



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare
A.a. 2022/2023
Sessione di Laurea ottobre 2023

Modellazione e calibrazione della sede di ARPA Novara

Relatori
Professor Vincenzo Corrado
Professor Marco Filippi

Candidato
Mario Carchia

Sommario

1. Scopo della tesi.....	4
2. Panorama dell'energia in Italia e quadro legislativo in vigore.....	5
2.1 Analisi della distribuzione dei consumi energetici per i vari settori economici in Italia.....	5
2.2 Prospettive e traguardi a lungo termine nell'ambito dell'energia entro il 2030	8
2.3 Lo sviluppo della legislazione italiana relativa all'energia nel contesto delle abitazioni	11
3. Procedura di Diagnosi Energetica.....	15
4. Descrizione del sito	19
4.1. Dati climatici.....	22
4.2 Involucro Opaco.....	24
4.3 Involucro trasparente.....	30
4.4 Impianto di riscaldamento e di produzione dell'ACS	33
4.5 Integrazioni impianto di riscaldamento	36
4.6 Impianto di raffrescamento	37
4.7 Illuminazione	39
4.8 Sistema di aspirazione meccanica.....	41
5. Analisi dei consumi annui di energia.....	43
5.1. Consumi di energia elettrica	43
5.2. Consumi di gas metano.....	53
6. Simulazioni energetiche modelli semplificati e modelli dettagliati.....	57
7. Simulazione impianti con software Edilclima	59
7.1. Riscaldamento.....	60
7.2. ACS.....	65
7.3. Raffrescamento	66
8. Identificazione delle zone termiche	67

Corridoi	69
Servizi.....	70
Locali Celle Frigo.....	71
Uffici.....	72
Laboratori.....	73
9. Calibrazione del modello	74
9.1 Generalità sul processo di calibrazione.....	74
9.2 Modelli statistici.....	75
9.3 Calibrazione Riscaldamento	78
9.4 Calibrazione Integrazioni Riscaldamento.....	83
9.5 Calibrazione ACS	85
9.6 Calibrazione Raffrescamento.....	86
10. Conclusione	89
BIBLIOGRAFIA.....	90

1. Scopo della tesi

Il presente progetto di tesi di laurea magistrale si pone l'obiettivo di affrontare la tematica della riqualificazione energetica di un edificio di tipologia mista E2/E8, sede dell'ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) nella città di Novara, analizzando quelli che sono i passaggi fondamentali per una corretta diagnosi energetica.

Il trattato è suddiviso in due parti principali. Nella sezione iniziale, a titolo introduttivo, verrà trattato inizialmente il contesto dello sviluppo dei consumi energetici nell'ambito residenziale. Successivamente, verrà eseguita un'analisi preliminare sull'evoluzione del fabbisogno energetico italiano per gli edifici degli ultimi tre decenni. Ci si sposterà quindi verso gli obiettivi climatici che l'Italia e l'Europa si sono posti da raggiungere entro il 2030. Infine, si esaminerà il progresso legislativo relativo all'energia in questo stesso settore.

In particolare, nella prima parte della relazione, viene presentato l'aspetto tecnico-normativo della diagnosi energetica. E quindi una descrizione dei requisiti, delle modalità di esecuzione e dei limiti dell'intervento, nonché una panoramica sulle eventuali modifiche apportate alla normativa negli ultimi anni.

Nella seconda parte del trattato, ci si concentrerà sull'analisi approfondita di un caso studio selezionato, con l'obiettivo di sviluppare un modello energetico preciso utilizzando il software di modellazione energetica Edilclima. Questo processo inizierà con la raccolta e l'analisi dei dati climatici, che influiscono direttamente sui consumi energetici dell'edificio. Si esamineranno anche l'impianto esistente, l'involucro edilizio e i modelli di utilizzo dei servizi, poiché giocano un ruolo fondamentale nel determinare il fabbisogno energetico. Una volta raccolti e analizzati questi dati, si procederà alla creazione del modello energetico, calibrandolo attentamente per rappresentare con precisione la realtà dell'edificio e dei suoi consumi energetici. Questa precisione consentirà di condurre simulazioni future per valutare e ottimizzare potenziali interventi di miglioramento energetico, contribuendo così a una gestione più efficiente e sostenibile delle risorse energetiche.

2. Panorama dell'energia in Italia e quadro legislativo in vigore

2.1 Analisi della distribuzione dei consumi energetici per i vari settori economici in Italia

Negli ultimi anni, un settore che ha attirato notevole interesse sul mercato, con particolare attenzione da un punto di vista economico-politico, è stato quello dell'energia. Questo ambito di interesse estremamente diversificato coinvolge la crescita di una nazione, spaziando dagli aspetti tecnici e ingegneristici a quelli sociali, poiché il soddisfacimento dei bisogni energetici è da sempre una delle priorità umane fondamentali.

L'aumentato interesse verso questo settore nei decenni recenti è stato principalmente stimolato da politiche più consapevoli in materia di consumo energetico. È stato riconosciuto che le risorse energetiche di origine fossile, che costituivano le principali fonti di approvvigionamento, sono limitate e la crescente domanda e consumo hanno accelerato la loro esauribilità. Inoltre, un altro fattore di rilievo che ha promosso uno sviluppo energetico più responsabile è legato all'aumento dei gas serra nell'atmosfera, contribuendo all'effetto serra e alla tossicità dell'aria. Questa situazione ha innescato cambiamenti climatici significativi, con un aumento delle temperature medie e fenomeni meteorologici più intensi, che hanno conseguenze sia sociali che economiche di notevole portata.

Questo insieme di fattori ha spinto le nazioni più avanzate a intensificare la ricerca e lo sviluppo di soluzioni energetiche più sostenibili dal punto di vista ambientale. Nel corso degli anni, sono state introdotte sul mercato tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili, come l'energia solare attraverso sistemi fotovoltaici e collettori solari termici. La presenza sempre più marcata di queste tecnologie ha richiesto la formulazione di politiche a lungo termine, specialmente in Europa, che mirano a una diffusione sempre maggiore di queste fonti alternative nella produzione energetica globale, sostituendo gradualmente le fonti inquinanti e contribuendo alla riduzione delle emissioni in atmosfera.

I consumi energetici vengono suddivisi in base ai settori economici di riferimento. Prima di esaminare in dettaglio gli aspetti e il caso studio di

questa analisi, è opportuno considerare la situazione attuale dei consumi energetici, soprattutto in Italia. Quest'analisi è essenziale per comprendere la necessità di adottare misure legislative che agevolino l'efficienza energetica generale, con particolare attenzione al settore residenziale, oggetto principale di questo studio. Inoltre, sarà importante esaminare il percorso legislativo dell'Italia in materia energetica, concentrandosi sul settore residenziale, dalle prime linee guida alle politiche attuali di incentivo e miglioramento. Saranno presentati anche grafici e tabelle che mostrano l'andamento storico dei consumi energetici in Italia, classificati per settore economico. I risultati di queste analisi, basati su dati forniti da ENEA e ARERA, utilizzano unità di misura come il Mtep, che indicano grandi quantità di energia.

Un "tep" rappresenta l'energia generata dalla combustione di una tonnellata di petrolio, pari a circa 42 GJ.

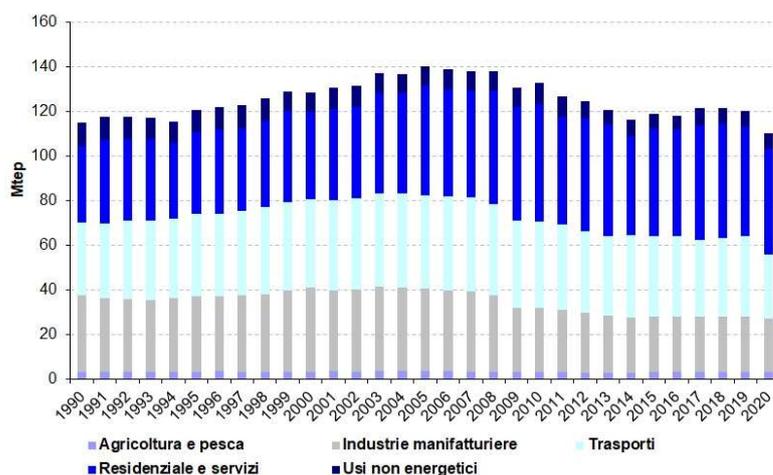


Fig.1 Distribuzione dei consumi di energia tra i vari settori

Come si evince chiaramente dal grafico precedente (fig.1), a differenza dei settori industriale e dei trasporti, in cui i consumi mostrano una tendenza parziale al ribasso, il settore residenziale e dei servizi evidenzia un aumento costante. Questi dati dimostrano come il settore residenziale sia diventato nel tempo uno dei maggiori consumatori di energia, richiedendo un monitoraggio

più attento e politiche di incentivazione per migliorarne le prestazioni energetiche.

Le prestazioni energetiche insufficienti degli edifici sono principalmente il risultato di decenni di progettazione strutturale senza normative chiare per la qualificazione energetica. Di conseguenza, è comune che la maggior parte degli edifici italiani presenti carenze nella pianificazione energetica in fase di progettazione. Questi problemi includono la mancanza di isolamento termico per ridurre le dispersioni di calore e l'uso di sistemi di riscaldamento obsoleti alimentati principalmente a metano o gasolio. Solo gli edifici di costruzione recente seguono tecnologie volte al miglioramento delle prestazioni energetiche, poiché sono soggetti a normative più rigorose. Tuttavia, rappresentano una piccola parte rispetto al numero di edifici che richiedono interventi di ristrutturazione.

2.2 Prospettive e traguardi a lungo termine nell'ambito dell'energia entro il 2030

Dopo aver esaminato il cambiamento nei consumi energetici italiani nell'arco degli ultimi trent'anni, prima di addentrarci maggiormente nell'evoluzione delle leggi italiane sull'efficientamento energetico residenziale, è opportuno gettare uno sguardo sul futuro del panorama energetico e ambientale in generale. Per compiere questa analisi, concentriamoci non solo sul futuro dell'Italia, ma soprattutto su quello dell'Europa. La Comunità Europea ha stabilito obiettivi vincolanti a cui tutti i membri devono aderire per evitare sanzioni, oltre a implementare politiche di incentivo, principalmente di natura economica, per promuovere lo sviluppo, la ricerca e l'integrazione di sistemi efficienti con un impatto ambientale ridotto o addirittura trascurabile. Per questa analisi, ci concentreremo sugli obiettivi fissati per il 2030, poiché rappresentano il primo grande traguardo nella transizione energetica.

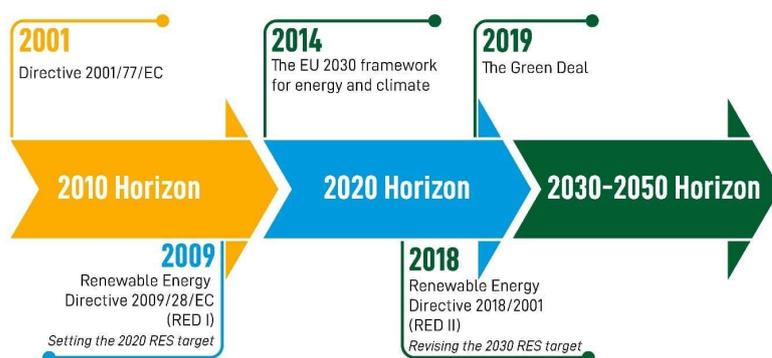


Fig.2 Diagramma di flusso delle direttive EU degli ultimi 20 anni

A porre le basi per quella che è l'attenzione attuale al tema dell'energia pulita e quindi della transizione energetica europea sono state: la direttiva 2001/77/CE e la Renewable Energy Directive del 2009/28/EC (RED I). Queste direttive hanno fissato obiettivi vincolanti per gli Stati membri in

termini di consumo di energia da fonti rinnovabili, contribuendo a promuovere lo sviluppo di questo settore.

In particolare, la direttiva 2001/77/CE ha introdotto l'obbligo per gli Stati membri di stabilire un piano per lo sviluppo delle energie rinnovabili, mentre la direttiva 2009/28/EC ha fissato obiettivi più ambiziosi per gli Stati membri, prevedendo che raggiungessero una quota di energia rinnovabile pari al 20% del consumo finale lordo di energia entro il 2020.

Il 22 gennaio 2014 la Commissione Europea ha presentato obiettivi più esigenti per il periodo attuale, successivamente approvati nel 2015 tramite il Quadro 2030 per le politiche dell'energia e del clima. Questi obiettivi comprendono la riduzione vincolante delle emissioni di gas serra di almeno il 40% rispetto ai livelli del 1990, l'aumento almeno del 27% della quota di produzione energetica da fonti rinnovabili e un ulteriore miglioramento dell'efficienza energetica di almeno il 27%.

Nel 2016, è stato presentato il pacchetto di modifiche legislative denominato Clean Energy Package, approvato nel 2018, con l'obiettivo di ridisegnare il panorama elettrico europeo. L'Unione Europea ha aggiornato gli obiettivi del 2015, introducendo il target del 32% di energia da fonti rinnovabili entro il 2030 attraverso la direttiva 2018/2001/UE e del 32,5% di efficienza energetica nello stesso periodo tramite la direttiva 2018/2002/UE.

Data l'importanza di questi obiettivi, in particolare la riduzione del 40% delle emissioni di gas serra, nel 2018 l'Unione Europea ha introdotto la Legge europea sul clima, nonché noto come il Regolamento UE 1999/2018, che vincola giuridicamente gli obiettivi sopra menzionati e fornisce una base legislativa per le politiche future volte allo sviluppo energetico sostenibile. Queste normative sono in sintonia con l'Accordo di Parigi del 2015, in cui almeno 55 paesi responsabili del 55% delle emissioni globali di gas serra si sono impegnati a limitare il riscaldamento globale, stabilendo obiettivi a lungo termine, contributi nazionali determinati, ambizioni continue, trasparenza e solidarietà.

A seguito del Green Deal europeo pubblicato nel dicembre 2019, che traccia una strategia complessiva per lo sviluppo energetico e climatico in Europa per i prossimi trent'anni, sono state introdotte ulteriori azioni legislative. Queste includono riduzioni delle emissioni di gas inquinanti del 50-55% entro il 2030 rispetto al 1990 e la neutralità climatica entro il 2050. La

strategia si concentra anche sulla protezione dalle intemperie climatiche, sull'incremento dell'uso di tecnologie verdi e sull'assicurare una transizione equa e inclusiva.

Di conseguenza, nel giugno 2021, è stato approvato il Regolamento (UE) 2021/1119, che modifica la Legge europea sul Clima del 2018, fissando l'obiettivo di una riduzione delle emissioni di gas serra del 55% rispetto agli anni '90. Inoltre, a luglio 2021, è stato presentato il Pacchetto "Fit to 55", che stabilisce ulteriori obiettivi ambiziosi su clima, energia, trasporti e edilizia. Questi includono un aumento del 40% di integrazione di fonti energetiche rinnovabili e una riduzione del 39% dei consumi energetici primari entro il 2030.

Nel 2022, a seguito della crisi tra Russia e Ucraina, è stato lanciato il Piano REPowerEU per affrontare l'emergenza energetica. Questo piano mira ad aumentare il risparmio energetico, produrre energia pulita e diversificare l'approvvigionamento energetico. Queste considerazioni implicano la produzione europea di 1.236 GW di energia da fonti rinnovabili entro il 2030, riducendo così la dipendenza dal gas naturale. In particolare, per il fotovoltaico, ciò significherebbe una produzione di 320 GW entro il 2025 e quasi 600 GW entro il 2030, riducendo i consumi di gas naturale di circa 9 miliardi di m³ all'anno entro il 2027.

2.3 Lo sviluppo della legislazione italiana relativa all'energia nel contesto delle abitazioni

Viene qui presentata una breve digressione sui traguardi energetico-ambientali dell'Unione Europea e, per conseguenza, dell'Italia, in quanto diverse disposizioni rappresentano l'applicazione di linee guida europee al contesto italiano. Indubbiamente, il settore residenziale figura tra le aree che richiedono incentivazioni al fine di rafforzare la situazione attuale.

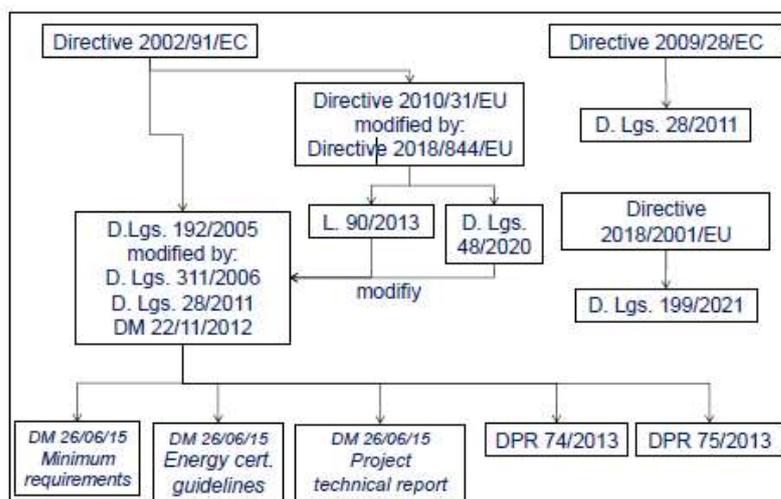


Fig.3 Mappa concettuale delle norme EU, e recepimento italiano

L'industria edilizia, come precedentemente dimostrato, concorre a circa il 40% del consumo energetico nazionale e rappresenta circa il 36% delle emissioni di gas serra. Ciò sottolinea la rilevanza di politiche di intervento e rinnovamento. L'Italia, conformemente a diverse direttive europee e in una prospettiva di miglioramento continuo, ha introdotto normative nel corso degli anni per ridurre i consumi energetici. Recentemente, sono stati istituiti incentivi fiscali come l'Ecobonus, il Sismabonus e il più recente Superbonus, per promuovere l'efficientamento energetico degli edifici più datati.

Il primo approccio legislativo in tema di risparmio energetico nel settore residenziale italiano risale al 1976, tramite la Legge 373/76, intitolata

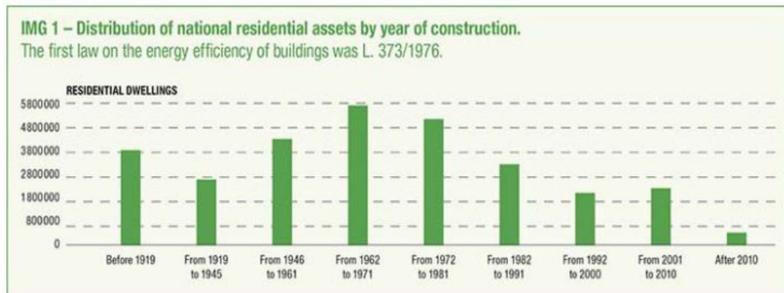


Figura 4 Quadro generale del parco edilizio residenziale italiano

"Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici". Questa legge ha introdotto linee guida sull'isolamento termico e sugli impianti termici. Originata dalle tensioni nei territori mediorientali, che rappresentavano principali fonti di energia fossile, è stata suddivisa in tre sezioni: progettazione degli impianti termici, isolamento termico e sanzioni per violazioni. Attualmente, questa legge è stata abrogata.

Dal quadro generale del settore (fig.4) si osserva che circa il 70% degli edifici in Italia supera i 45 anni, quindi potenzialmente precedente a questa prima normativa energetica. Mediamente, gli edifici residenziali in Italia richiedono da 160 a 180 kWh/m² all'anno di energia primaria.

In seguito, la Legge 9 gennaio 1991 n.10, parte del Piano Energetico Nazionale, ha regolamentato la progettazione e la gestione del sistema edificio/impianto. I decreti presidenziali 412/93 e 551/99 hanno delineato calcoli dettagliati, tra cui il FEN (fabbisogno energetico normalizzato) basato sulle norme UNI. Questi decreti hanno introdotto i Gradi Giorno e la divisione del paese in zone climatiche.

L'Europa, stimolata dal Protocollo di Kyoto del 1997, è stata la spinta per una sensibilizzazione sui consumi energetici ed emissioni di gas serra. La Direttiva 2002/91/CE, detta EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), è stata recepita in Italia attraverso il Dlgs.192/2005, che ha ampliato il calcolo delle prestazioni energetiche a tutti i consumi, non solo agli impianti termici. È emerso l'obbligo di fornire l'attestato di certificazione energetica (ACE) in caso di costruzione o vendita.

Nel 2010, la Direttiva 2010/31/UE, detta EPBD II "Recast", ha preso il posto di quella del 2001. Questa direttiva promuove il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici, considerando il comfort termigrometrico e l'efficienza degli impianti di riscaldamento/raffreddamento. Dal 1° gennaio 2021, tutti i nuovi edifici devono rispettare i parametri degli "edifici a energia quasi zero" (nZEB), con oltre il 60% dell'energia da fonti rinnovabili.

Con l'Allegato 3 del Dlgs 28/2011 sono definiti gli obblighi per l'installazione di fonti rinnovabili negli edifici per i bisogni termici ed elettrici. Sono stati stabiliti i requisiti in base ai tempi di presentazione delle richieste di permesso di costruire; le percentuali minime di fonti rinnovabili da inserire per tipologia di servizio (ad esempio rinnovabili termiche ed elettriche).

Nel 2012, l'UE emana la nuova Direttiva 2012/27/UE (EED) con la quale si stabiliscono gli obiettivi comuni da perseguire per aumentare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020, e viene riconosciuta la grande necessità di attuare investimenti per ristrutturare gli edifici residenziali e commerciali del parco edilizio nazionale. In Italia questa direttiva viene recepita con il Decreto-legge 102/14, con il quale sono stati avviati inizialmente dei provvedimenti di riqualificazione di edifici della Pubblica Amministrazione. Un periodo fondamentale per l'attuale analisi energetica residenziale è stato il biennio 2013-2015, inizialmente è stato emanato il DL 63/13, con il quale è stato introdotto l'Attestato di Prestazione Energetica (APE), che ha preso il posto della vecchia Certificazione Energetica (ACE) e ha incluso nuovi aspetti come i consumi di illuminazione (per il settore terziario) e la ventilazione. Ma il cambiamento sostanziale è avvenuto con il DM26/06/2015, con questo decreto ministeriale tutt'ora in vigore, sono stati definiti tre provvedimenti importanti che hanno completato le regole sull'efficienza energetica nelle costruzioni.

Sono stati stabiliti i "Requisiti Minimi" per calcolare le prestazioni energetiche dei nuovi edifici e di quelli ristrutturati. Sono state introdotte le Linee Guida per l'APE e si è precisato il documento tecnico della Legge 10, un aggiornamento sostanziale della legge del 19 agosto 2005, n.192.

Le operazioni edilizie sono state suddivise così:

- Nuove costruzioni o importanti ristrutturazioni, in linea con gli standard nZEB (edifici a energia quasi zero);
- Ristrutturazioni importanti di secondo livello;
- Miglioramento dell'efficienza energetica solo per gli impianti tecnici.

Nel 2018 è arrivata la Direttiva UE 2018/844, chiamata EPBD III, che fa parte del pacchetto di misure Clean Energy Package. Questa direttiva mira a promuovere ristrutturazioni efficienti a lungo termine degli edifici esistenti, promuovere l'uso di tecnologie informatiche per il controllo energetico, incoraggiare l'adozione di domotica e sviluppare infrastrutture di ricarica residenziale per auto elettriche. In Italia, questa direttiva è stata adottata tramite i Decreti Legislativi 48/2020 e 73/2020, e quindi entrati come aggiornamenti delle norme già in vigore.

Recentemente in Italia si sono intensificati con l'emanazione del Decreto Rilancio Italia (DL n.34 del 19 maggio 2020). Nel contesto dell'emergenza Covid-19, questo decreto affronta vari temi, tra cui incentivi fiscali come il Superbonus 110%, estendendo l'applicazione dei precedenti Ecobonus e Sismabonus.

3. Procedura di Diagnosi Energetica

La diagnosi energetica è una procedura sistematica che, dalla conoscenza dei profili di consumo energetico dell'edificio, permette l'individuazione degli interventi di miglioramento della prestazione energetica e la quantificazione delle opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici. Inoltre, la diagnosi consente la valutazione dei risultati e la classificazione per priorità di intervento.

Lo svolgimento della diagnosi energetica è condotto dal REDE (Referente della Diagnosi Energetica) il quale può avvalersi delle linee guida, strumento che descrive in maniera dettagliata le varie fasi della procedura. Le linee guida sono utili per un duplice motivo: garantire l'omogeneità di esecuzione e permettere il confronto dei risultati ottenuti con un database contenente altre diagnosi energetiche.

La norma di riferimento per la diagnosi energetica degli edifici in Italia è la UNI/TR 11775:2020. Questa norma incorpora i contenuti delle norme UNI CEI EN 16247-1:2012 e UNI CEI EN 16247-2:2014, e fornisce una metodologia completa e aggiornata per la diagnosi energetica degli edifici.

La Diagnosi segue le seguenti fasi:

1. **Contatto Preliminare:** Questa fase iniziale riguarda l'identificazione dei soggetti coinvolti, inclusi il Responsabile dell'Efficienza Energetica (REDE), il referente della proprietà e il personale cooperante. Successivamente, il REDE e il committente concordano sugli obiettivi, il grado di precisione e gli scopi della diagnosi per definire i confini e pianificare le fasi successive. Gli obiettivi concordati per la diagnosi energetica comprendono la riduzione dei costi/consumi energetici e/o dell'impatto ambientale, nonché la conformità agli obblighi legislativi. Lo scopo specifico determina il settore dell'edificio da esaminare a livello di sistema.
2. **Incontro di Avvio:** Durante questa fase, il REDE informa tutte le parti coinvolte sugli obiettivi stabiliti nella fase di contatto preliminare e organizza le modalità operative per condurre la Diagnosi Energetica (DE).
3. **Raccolta Documentazione Tecnica:** Conformemente a quanto concordato nell'incontro iniziale, il REDE organizza e raccoglie una

- serie di dati tecnici, tra cui documenti relativi alle dimensioni e alla geometria dell'edificio, elementi tecnologici ed impianti, impostazioni dei parametri ambientali interni, profili di occupazione, eventuali cambiamenti recenti, certificazioni energetiche, documentazione di interventi di manutenzione o riqualificazione passati, consumi energetici, produzione ed esportazione di energia per ogni fonte energetica disponibile, elenco delle apparecchiature presenti con relativi consumi e profili di utilizzo, e fattori che possono influenzare i consumi energetici.
4. **Attività sul Campo:** Questa fase implica sopralluoghi in loco attraverso i quali il REDE convalida i dati precedentemente raccolti e, se necessario, integra i dati mancanti tramite ulteriori rilevamenti. Inoltre, è possibile utilizzare strumentazione specifica per misurare dati fisici e intervistare gli occupanti al fine di valutare i profili di utilizzo e di potenza.
 5. **Analisi dei Consumi Reali e Costruzione dell'Inventario Energetico:** In questa fase, vengono analizzati i dati di consumo effettivo derivanti da letture e/o bollette al fine di stabilire un consumo di riferimento, utile come punto di riferimento per la successiva valutazione dei miglioramenti possibili. La costruzione dell'inventario energetico include la registrazione dettagliata degli impianti e la valutazione dei consumi relativi a ciascuna fonte energetica per il servizio energetico.
 6. **Indicatori di Prestazione Energetica:** Questa sezione si concentra sulla definizione e sul confronto dei principali indicatori utilizzati per rappresentare l'uso specifico di energia, espressi come consumo di riferimento per unità di superficie o volume. Gli indicatori includono l'EnPIef (Indicatore di Prestazione Energetica Effettivo), derivato da misurazioni effettive, e l'EnPIop (Indicatore di Prestazione Energetica Operativo), calcolato teoricamente dal modello energetico.
 7. **Individuazione delle Azioni di Miglioramento dell'Efficienza Energetica:** Attraverso l'analisi dell'involucro edilizio e degli impianti presenti, è possibile individuare le criticità che richiedono uno studio per identificare possibili interventi di miglioramento.

8. **Simulazione del Sistema Operativo e Validazione del Modello Energetico:** Nel caso di interventi di miglioramento, è essenziale costruire un modello energetico che simuli il sistema edificio-impianto per valutare le opportunità di risparmio energetico. Il calcolo della prestazione energetica può essere effettuato utilizzando due diversi metodi: il metodo quasi stazionario e il metodo dinamico. La validazione del modello si basa sul confronto tra i consumi operativi simulati e quelli effettivi (reali).
9. **Simulazione del Sistema Post Intervento e Valutazione dei Risparmi Energetici Possibili:** Per valutare i risparmi energetici ottenibili dopo interventi di miglioramento, è necessario simulare il sistema edificio-impianto dopo l'intervento e confrontare i consumi con quelli precedenti all'intervento. La differenza tra i consumi prima e dopo l'intervento definisce il risparmio energetico. Al termine, il responsabile deve compilare un report di diagnosi che descrive dettagliatamente gli interventi e indica i risparmi energetici possibili sia per singoli interventi che per scenari multipli.
10. **Analisi dei Costi e dei Benefici:** Dopo la simulazione degli interventi di miglioramento, vengono effettuate valutazioni economiche per identificare la soluzione con il miglior rapporto costi/benefici. Un parametro comune utilizzato è il "Simple Payback Time," che indica il periodo necessario per recuperare l'investimento iniziale in termini di risparmio economico. Questo valore è calcolato rapportando l'importo dell'investimento ai risparmi ottenuti. Durante la compilazione, è importante valutare questo parametro per ciascun intervento e scenario, evidenziando i risparmi in percentuale. In questa fase, il REDE può anche considerare i meccanismi di incentivazione per gli interventi di efficienza energetica e strumenti di supporto per recuperare parte degli investimenti.
11. **Redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica:** Una volta completata la diagnosi, il REDE deve redigere l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) per l'edificio nelle condizioni pre e post-intervento al fine di valutare l'impatto degli interventi sull'efficienza energetica dell'edificio. Questo documento è preparato principalmente per scopi di valutazione, ma può anche essere

utilizzato per ottenere incentivi fiscali. L'APE valuta l'edificio reale secondo condizioni standardizzate.

12. **Il Rapporto:** Questo capitolo riguarda la creazione del rapporto finale di diagnosi energetica, che deve essere consegnato al committente.

13. **L'Incontro Finale:** Nell'incontro conclusivo, il REDE consegna il rapporto di diagnosi energetica e presenta i risultati per facilitare il processo decisionale.

Nel caso studio in questione, la procedura di analisi segue le fasi precedentemente delineate, ma pone un'enfasi particolare sulla raffinazione di un modello accuratamente calibrato, il quale riveste un ruolo fondamentale per le future valutazioni degli interventi di miglioramento.

4. Descrizione del sito

La sede di ARPA in questione si trova a Novara, precisamente in Viale Roma 7/A, alle coordinate geografiche 45°26' di latitudine nord e 8°37' di longitudine est, ad un'altitudine di 159 metri. L'edificio ha una superficie totale di 4384 metri quadrati, di cui 3280 sono climatizzati, e un volume complessivo di 14029 metri cubi.

Per quanto riguarda le condizioni climatiche invernali, la struttura rientra nella zona climatica E, con 2463 gradi giorno e una temperatura esterna di progetto di -5°C. Durante l'estate, la temperatura di bulbo secco raggiunge i 30,7°C, mentre quella di bulbo umido si attesta sui 21,3°C, con un'escursione termica giornaliera di 11,5°C e un'umidità relativa del 44%. Inoltre, la direzione prevalente del vento è nord, con una velocità media di 1,40 metri al secondo.



Fig.5 Vista satellitare sede Arpa Novara

L'edificio, categorizzato E.2-E.8 secondo il DPR 412/93, si compone di tre strutture: Produzione, Tutela e vigilanza, Laboratorio. All'interno di queste strutture vengono svolte attività di laboratorio per l'analisi delle matrici ambientali campionate, oltre a servizi di tutela e vigilanza del territorio. Questa configurazione determina un utilizzo ibrido della struttura, come evidenziato nel modello energetico associato che sarà descritto successivamente.

La struttura, come mostrato in figura 5, assume una forma a ferro di cavallo, con il cortile che funge da area di sosta per i veicoli. L'area circostante è leggermente ribassata rispetto al piano stradale ed infatti, come è possibile notare dalla vista in sezione in figura 6, il primo dei tre piani di cui è composta la sede è parzialmente interrato, con gli altri due che mantengono la stessa configurazione del piano terra senza particolari caratteristiche distintive.

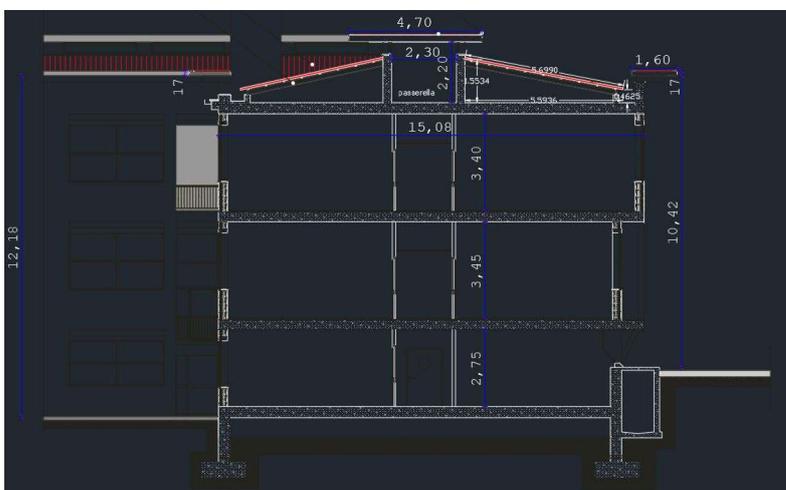


Fig.6 Vista in sezione dell'edificio

Nel piano interrato si trova la sottocentrale che ospita la sala gruppo pompe per la distribuzione dell'acqua, e due serbatoi per l'acqua calda sanitaria. Inoltre, sono collocati i quadri elettrici e l'intero sistema di gestione delle temperature per il riscaldamento.

L'edificio è dotato di un piano sottotetto non climatizzato che si estende per circa due terzi dell'edificio. Questo piano presenta un tetto a falde, e ospita un corridoio che funge sia da passerella, sia da alloggiamento per i motori e le canalizzazioni delle cappe di aspirazione utilizzate nell'edificio.

All'esterno della struttura principale si trova una centrale termica che ospita una caldaia per la produzione di acqua calda sanitaria e acqua tecnica per il riscaldamento; e due box laboratori esterni, separati dall'edificio principale, climatizzati grazie all'utilizzo di due gruppi frigoriferi.



Fig. 7 Vista dall'alto del piano terra

4.1. Dati climatici

L'aspetto essenziale per valutare il modo in cui un edificio consuma energia è l'analisi dei dati climatici, i quali forniscono un quadro completo del contesto territoriale, ambientale e delle condizioni meteorologiche relative all'edificio in questione.

Gli approcci possibili per i dati climatici sono molteplici, infatti, a seconda dell'analisi che si vuol seguire, è possibile scegliere di utilizzare dei dati standard o, se disponibili, dei dati più accurati.

Edilclima, software scelto per l'analisi energetica del caso in esame, è provvisto di un archivio di dati climatici orari, comprendente, per ogni Comune italiano, i valori orari di temperatura esterna, irradianza solare diretta e diffusa, umidità relativa esterna, pressione del vapore e velocità media del vento, come mostrato in figura 8, che possono essere modificati.

Questi valori, seppur fedeli alla realtà, sono basati su dati storici raccolti da stazioni meteorologiche, e in virtù di questo possono non essere rappresentativi delle condizioni climatiche attuali.

Dati geografici

Comune	Novara	Dettagli mensili	
Provincia	Novara	Distanza dal mare	> 40 km
Gradi giorno DPR 412/93	2463 gg	Regione di vento	A
Altitudine s.l.m.	159 m	Direz. preval. vento	N
Latitudine Nord	45 + 26	Velocità vento media	1.40 m/s
Longitudine Est	8 + 37	Velocità vento max	2.80 m/s
Codice Catastale	F952 CAP 28100	Codice ISTAT	3106

Dati invernali

Stazione di rilevazione per	NO - Cameri	Temperatura esterna	Località di rif.	Novara	Periodo convenzionale riscaldamento	Zona climatica	E
Temperatura	NO - Cameri	Temperatura	-5,0 °C		Durata	183	giorni
Irraggiamento	NO - Cameri	Variazione	0,0 °C		Dal giorno	15 ottobre	
Ventosità	NO - Cameri	Adottata	-5,0 °C		Al giorno	15 aprile	
Irradianza solare massima sul piano orizzontale	270,8						W/m²

Dati estivi

Località riferimento estivo	Novara	Temperatura bulbo secco	30,7 °C	Temperatura bulbo umido	21,3 °C	Umidità relativa	44,0 %
Escursione termica giornaliera	11,5 °C					Umidità assoluta	12,5 g/kg

Fig.8 Schermata inserimento dati climatici Edilclima

Nel caso in esame, i dati sono stati richiesti direttamente ad ARPA, ed estratti quindi direttamente dalle misurazioni eseguite dalla centralina localizzata a circa 200 metri dalla sede di Novara. In questo modo, si è potuto utilizzare i dati raccolti in tempo reale che riflettono a pieno le condizioni climatiche attuali.

Per integrare i dati ottenuti all'interno del software, è stato necessario rielaborarli utilizzando il layout in figura 9:

Mese	Giorno	Ora	Temp. [°C]	irr. diretta [W/m ²]	irr. diffusa [W/m ²]	irr. globale [W/m ²]	Umidità rel. [%]	Press. vapore [Pa]	Vel. vento [m/s]
1	1	00	1,3	0,0	0,0	0,0	99,0	1007,0	1,3
1	1	01	1,3	0,0	0,0	0,0	99,0	1007,0	1,3
1	1	02	3,9	0,0	0,0	0,0	99,0	1007,0	1,0
1	1	03	3,0	0,0	0,0	0,0	99,0	1006,0	0,0
1	1	04	2,8	0,0	0,0	0,0	99,0	1006,0	0,8
1	1	05	1,2	0,0	0,0	0,0	99,0	1006,0	1,1
1	1	06	1,3	0,0	0,0	0,0	99,0	1006,0	0,6
1	1	07	1,6	0,0	0,0	0,0	99,0	1007,0	0,6
1	1	08	0,8	69,0	2,0	71,0	99,0	1007,0	0,9
1	1	09	1,9	105,0	3,0	108,0	99,0	1008,0	1,0
1	1	10	4,1	206,0	25,0	231,0	97,0	1008,0	2,1
1	1	11	5,1	239,0	87,0	326,0	99,0	1008,0	2,1
1	1	12	6,7	154,0	193,0	347,0	95,0	1008,0	2,0

Fig.9 Layout dati climatici Edilclima

In figura 10 segue l'andamento della temperatura esterna per l'intero anno, ottenuto con Edilclima.

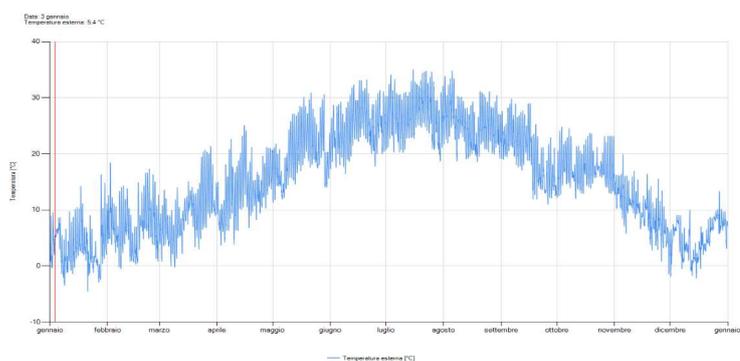


Fig.10 Andamento delle temperature esterne

4.2 Involucro Opaco

La struttura, che risale agli anni '70, presenta un involucro con pareti verticali a cassa vuota, spesse in media 40cm e prive di isolante. Gli spessori dei solai interpiano, anch'essi di 40cm, sono realizzati in laterocemento e calcestruzzo, e includono le serpentine per il riscaldamento a pavimento radiante. Questo sistema di riscaldamento è adottato nei piani primo e secondo, mentre il piano terra riscaldato tramite radiatori.

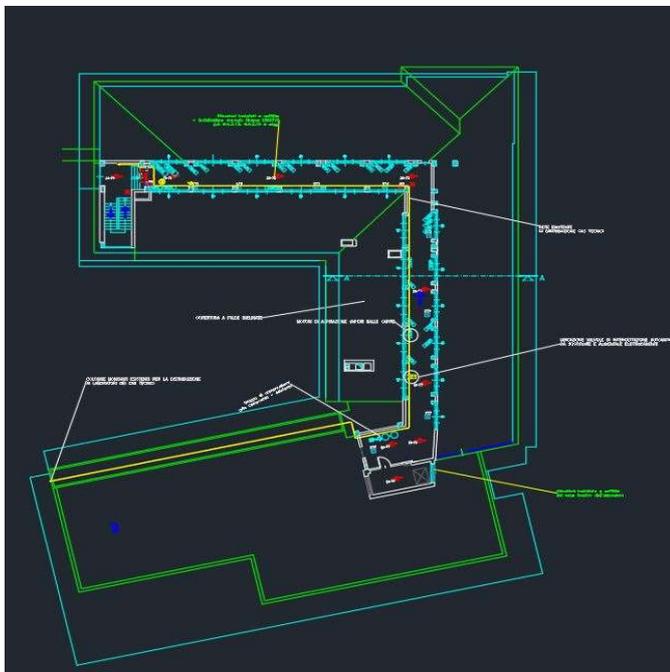


Fig.11 Vista CAD del tetto

La copertura del secondo piano, in figura 11, presenta una struttura simile a quella del solaio interpiano, ma con una significativa variazione nella sua configurazione. Una parte della copertura è stata progettata con uno strato di cemento bituminoso aggiunto, che funge da impermeabilizzante per proteggere l'edificio da eventuali infiltrazioni di pioggia, e rende la superficie calpestabile.

Mentre la restante parte della copertura costituisce il pavimento del piano sottotetto non climatizzato, sopra il quale si trova un tetto a falde, nel quale, come precedentemente descritto, sono alloggiati i motori delle cappe di aspirazione dei laboratori.

A scopo esemplificativo, è mostrata in figura 12 la vista 3D della copertura:

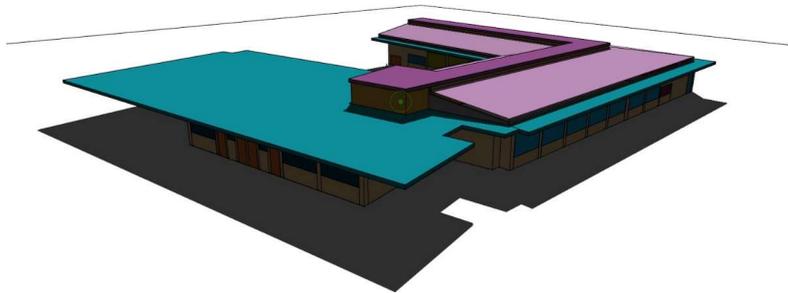
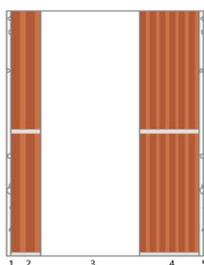


Fig.12 Vista 3D

Le caratteristiche dell'involucro opaco sono state ricavate intrecciando le informazioni ottenute durante i sopralluoghi, con le informazioni ricercate nell'abaco delle strutture - UNI/TR 11552, e confermate successivamente dal personale dell'ufficio tecnico.

a) Muro esterno perimetrale



Trasmittanza termica **1,259** W/m²K

Spessore **400** mm

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale) **-5,0** °C

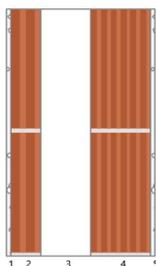
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	60,00	0,3600	0,167	1000	1,00	7
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	200,00	-	0,180	-	-	-
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	120,00	0,4700	0,255	1000	1,00	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071	-	-	-

Il muro perimetrale è stato utilizzato per tutte le strutture verticali, comprese le zone contro terra del piano interrato, considerando però la necessità di settare delle impostazioni aggiuntive su

Edilclima, come la tipologia di muro e la profondità di interramento ricavata dal CAD della sezione.

b) Muro interno divisorio

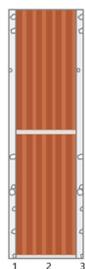
I muri interni divisorio sono i medesimi per ogni ambiente, differiscono unicamente per gli spessori di 15 e 30 cm, identificabili tramite l'osservazione su CAD e confermati a campione con il sopralluogo.



Trasmittanza termica **1,131** W/m²K

Spessore **300** mm

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	60,00	0,3600	0,167	1000	1,00	7
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	100,00	-	0,180	-	-	-
4	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	120,00	0,4700	0,255	1000	1,00	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

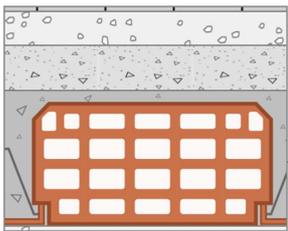


Trasmittanza termica **1,585** W/m²K

Spessore **150** mm

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
2	Muratura in laterizio pareti interne (um. 0.5%)	120,00	0,3600	0,333	1000	1,00	7
3	Intonaco di gesso e sabbia	15,00	0,8000	0,019	1600	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

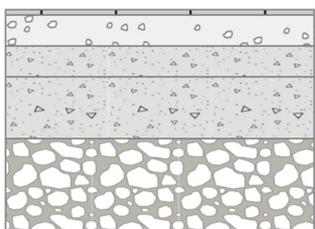
c) Solaio di terra (contro terra)



Trasmittanza termica **1,063** W/m²K
 Spessore **400** mm

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	0,008	2300	0,84	9999999
2	Massetto Autolivellante	50,00	1,4000	0,036	1950	1,00	100
3	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,7000	0,071	1600	0,88	20
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	100,00	1,4900	0,067	2200	0,88	70
5	Ghiaia grossa senza argilla (um. 5%)	150,00	1,2000	0,125	1700	1,00	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

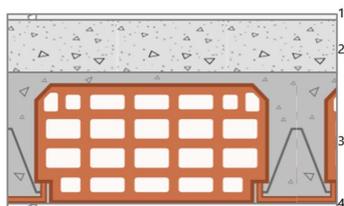
d) Solaio interpiano



Trasmittanza termica **1,934** W/m²K
 Trasmittanza controterra **1,395** W/m²K
 Spessore **360** mm
 Temperatura esterna (calcolo potenza invernale) **-5,0** °C

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,3000	0,008	2300	0,84	9999999
2	Massetto Autolivellante	60,00	1,4000	0,043	1950	1,00	100
3	C.I.s. con massa volumica media	80,00	1,3500	0,059	2000	1,00	100
4	Soletta in laterizio	240,00	0,5000	0,480	1450	0,84	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

e) Solaio copertura



Trasmittanza termica **1,383** W/m²K

Spessore **300** mm

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
2	C.l.s. con massa volumica media	80,00	1,3500	0,059	2000	1,00	100
3	Soletta in laterizio	200,00	0,5000	0,400	1450	0,84	7
4	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,9000	0,011	1800	1,00	22
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071	-	-	-

In fase di modellazione su Edilclima, le strutture sono aumentate notevolmente rispetto alla realtà, in quanto è stato necessario duplicarle, al fine di poter modellare anche i locali non climatizzati e i locali adibiti a celle frigo.

4.3 Involucro trasparente

Con l'ausilio dei file CAD, rappresentativo dell'edificio, e con i sopralluoghi in sede è stato possibile identificare la posizione e le dimensioni dei serramenti presenti all'interno dell'edificio, per le informazioni restanti, si è seguito l'approccio precedentemente descritto per l'involucro opaco.

I serramenti si distinguono principalmente in due tipologie: un serramento più datato, diffuso nella maggior parte degli ambienti; e un serramento di più recente fattura, presente solo in alcune stanze dell'edificio in esame. Oltre a questa classificazione, si distinguono finestre da porte finestre. Il telaio è in PVC unicamente per le finestre più recenti, per le restanti è in alluminio.

I serramenti più datati, figura 14, e le porte finestre, figura 13, sono costituiti da un solo vetro, con un telaio in alluminio non trattato termicamente:

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	1,00	0,006
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	4,50	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,000	W/mK

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo
Classe di permeabilità	Classe 1 secondo Norma UNI EN 12207

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,850	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	0,45	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	0,45	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,378	-

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0,09	m ² K/W
f shut		0,6	-

Le dimensioni delle finestre non sono fisse, ma variano, seguono degli esempi rappresentativi

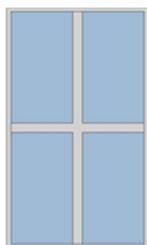


Fig.14 Porta finestra con vetro singolo

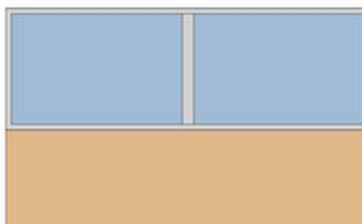


Fig.13 Serramento con vetro singolo

:
Mentre le caratteristiche del serramento con doppio vetro, con telaio in PVC, in figura 15:

Descrizione strato	s	λ	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130
Primo vetro	6,0	0,50	0,012
Intercapedine	-	-	0,259
Secondo vetro	8,0	0,50	0,016
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,071

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	2,20	W/m ² K
K distanziale	K_d	0,080	W/mK

Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	Singolo
Classe di permeabilità	Classe 1 secondo Norma UNI EN 12207

Dati per il calcolo degli apporti solari e delle schermature

Emissività	ϵ	0,837	-
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0,750	-
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	0,45	-
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	0,45	-
Fattore trasmissione solare totale	g_{gl+sh}	0,331	-

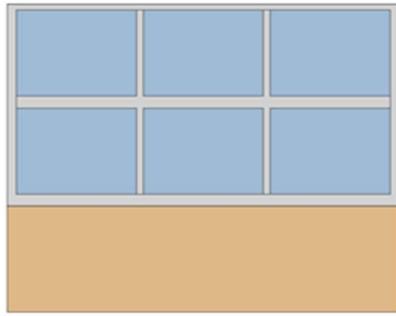


Fig.15 Serramento con doppio vetro e telaio in PVC

4.4 Impianto di riscaldamento e di produzione dell'ACS

Il riscaldamento dell'intero edificio è centralizzato, l'intera rete di riscaldamento, infatti, è alimentata da una caldaia posizionata esternamente alla struttura. La caldaia è una BKLIM da 697 kW di potenza termica utile che riscalda l'acqua per alimentare il circuito della sottocentrale, presente in figura 16.



Fig.16 caldaia BKLIM

La centrale si occupa di distribuire il calore agli ambienti dell'edificio ed è composta da:

- Pompe di circolazione;
- Scambiatori di calore;
- Valvole di regolazione;
- Collettori:
- Valvole di intercettazione:
- Strumentazione di controllo, come termostati e sonde di misurazione;
- Vasi di espansione
- Serbatoi di accumulo figura 17



Fig.17 Serbatoio di accumulo

Dalla centrale la distribuzione del riscaldamento si divide in due circuiti, gestiti dal pannello in figura 18:

- Il circuito dei radiatori che distribuisce l'acqua tecnica ai terminali del piano terra ad una temperatura di 75°C;
- Il circuito di distribuzione del pavimento radiante, che alimenta le serpentine del primo e secondo piano ad una temperatura di 40°C.



Fig.18 Pannello di gestione dei circuiti di riscaldamento

Oltre che per il riscaldamento degli ambienti, la caldaia genera calore per alimentare il circuito dell'acqua calda sanitaria.

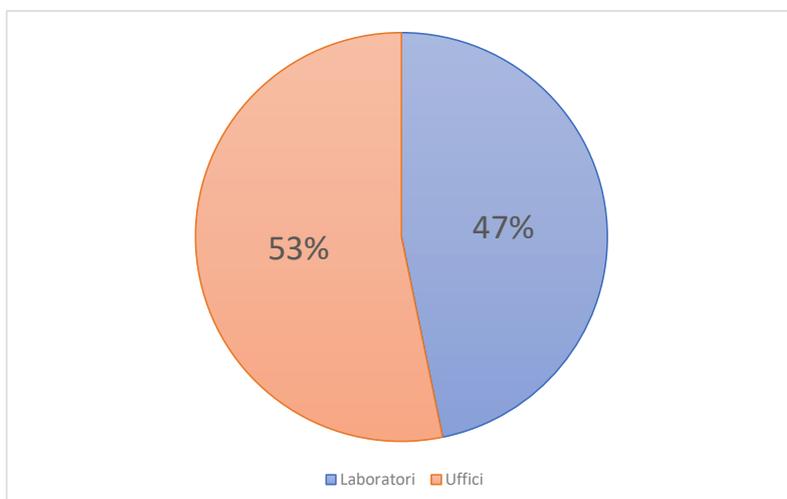
4.5 Integrazioni impianto di riscaldamento

Al sistema di riscaldamento centralizzato si aggiunge il contributo dato dalle integrazioni. Infatti, il fabbisogno dell'intero edificio non è fornito soltanto dal riscaldamento centralizzato ma, in alcune zone termiche della struttura, sono presenti delle unità autonome a pompa di calore adoperate in caso di necessità.

Le integrazioni sono presenti essenzialmente nei locali Uffici e Laboratori dei tre piani, mentre non sono installate in Corridoi e Servizi.

In totale le unità sono 50 ed assorbono una potenza elettrica complessiva di 107 kW.

	Piano terra	Piano primo	Piano secondo
Numero di unità	8	19	23
Potenza elettrica assorbita [kW]	15.8	35.4	55.8



4.6 Impianto di raffrescamento

Il raffrescamento è gestito diversamente dal riscaldamento, infatti, il sistema radiante a pavimento non ha funzione di raffrescamento e non è stata prevista un'altra tipologia di raffrescamento centralizzato per l'edificio.

Ad oggi sono presenti dei condizionatori autonomi (tipo split), come in figura 19, che sono stati aggiunti col passare degli anni, con l'obiettivo di sopperire alle necessità via via crescenti.



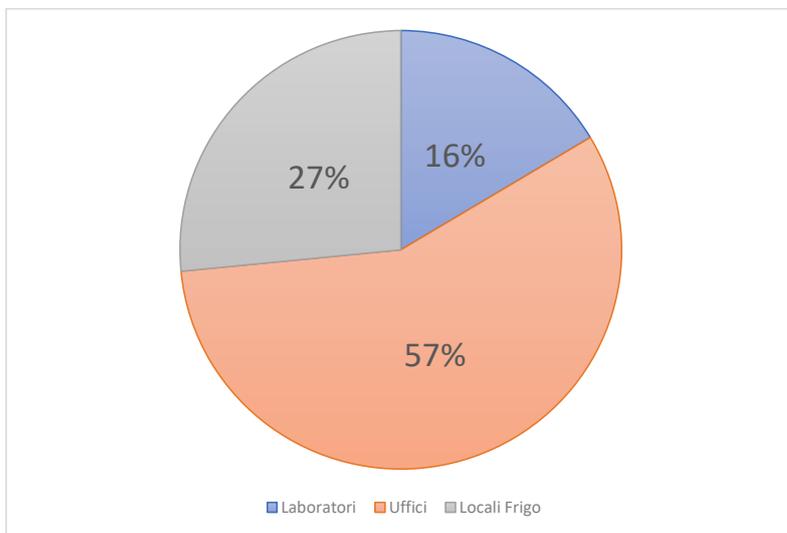
Fig.19 Primo piano condizionatori autonomi

Quindi, in aggiunta alle unità autonome a pompe di calore, riepilogate nella sezione per le integrazioni al riscaldamento, sono presenti 15 unità utilizzate unicamente per raffrescare i locali Uffici e Laboratori.

	Piano terra	Piano primo	Piano secondo
Numero di unità	7	4	4
Potenza elettrica assorbita [kW]	9.5	6.5	7.2

Sono presenti, inoltre, dei locali raffrescati per la quasi totalità dell'anno, e definiti "Locali Frigo" nel file CAD fornito da ARPA. Questi locali, presenti sia al piano terra che al primo, sono raffrescati per la quasi totalità dell'anno con l'ausilio delle unità autonome a pompa di calore.

	Piano terra	Piano primo
Numero di unità	3	2
Potenza elettrica assorbita [kW]	4	4.4



4.7 Illuminazione

L'edificio viene illuminato per mezzo di lampade individuate nel corso dei rilievi effettuati presso la struttura. Si tratta di lampade fluorescenti la cui taglia varia tra i 72 e i 36W, in funzione del numero di tubi presenti all'interno (ciascuno da 18 o da 36W) e con una potenza totale installata pari a 26 kW.



Fig.20 Lampada di tipologia 1



Fig.21 Lampada di tipologia 2

Descrizione	Potenza installata W
Corridoio PT	1080
Uffici PT	2700
Locali Frigo PT	360
Laboratori PT	2016
Servizi PT	792
Uffici PP	4104
Corridoio PP	1224
Servizi PP	864
Locali Frigo PP	360
Laboratori PP	1152
Corridoio PS	1224
Servizi PS	792
Uffici PS	2988
Laboratori PS	2772
Magazzino PT	720
Archivio PT	216
SA 23-24	72
SA 29-32 + VS03	1008
SB35	144
VS03	108
SB10B	72
SB01 + VS01	180
VS01	108

4.8 Sistema di aspirazione meccanica

I laboratori posti ad ogni piano presentano un sistema di aspirazione effettuato per mezzo di cappe che prelevano costantemente aria dall'ambiente. Il fine è quello di estrarre dall'ambiente gli aerosol di agenti patogeni e le sostanze volatili chimiche tossiche, rispettivamente dei laboratori biologici e chimici, per garantire la sicurezza degli operatori.

Come precedentemente esposto, i motori di aspirazione sono posti prevalentemente nel piano sottotetto e la potenza totale installata è di circa 35 kW.



Fig.22 Motore di aspirazione con canalizzazione

Dal censimento delle cappe presenti e sulla base dell'utilizzo costante riscontrato, si riportano i valori di portata di estrazione, e di potenza elettrica dei ventilatori:

Descrizione	Portata di estrazione m³/h	Potenza elettrica ventilatori W
Laboratori PT	2943	5900
Laboratori PP	1817	3680
Laboratori PS	17089	25780

I valori di portata di estrazione sono valori medi che sono stati valutati per via di alcune restrizioni presenti nel software di simulazione utilizzato per il caso in esame.

In Edilclima, infatti, non è possibile inserire un profilo con differenti valori di portata (ad esempio portata massima dalle 8:00 alle 17:00, e portata minima nel resto della giornata) ed è stato quindi necessario impostare un valore medio per un ciclo di funzionamento sulle 24 ore.

5. Analisi dei consumi annui di energia

La valutazione dei consumi è stata fatta prendendo in considerazione il consumo di gas metano per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria e il consumo elettrico delle apparecchiature grandi e piccole della struttura, dell'illuminazione, delle cappe, dei macchinari nei laboratori e delle macchine termiche.

5.1. Consumi di energia elettrica

Dalle bollette elettriche fornite da ARPA è stato possibile ricostruire i consumi elettrici mensili dal 2012 ad oggi. I profili individuati, presenti in figura 23 però, non sono simili e, pertanto, è stata necessaria un'analisi più approfondita per determinare la baseline di questo caso studio. Qui di seguito viene mostrato il grafico dei consumi appena descritto.

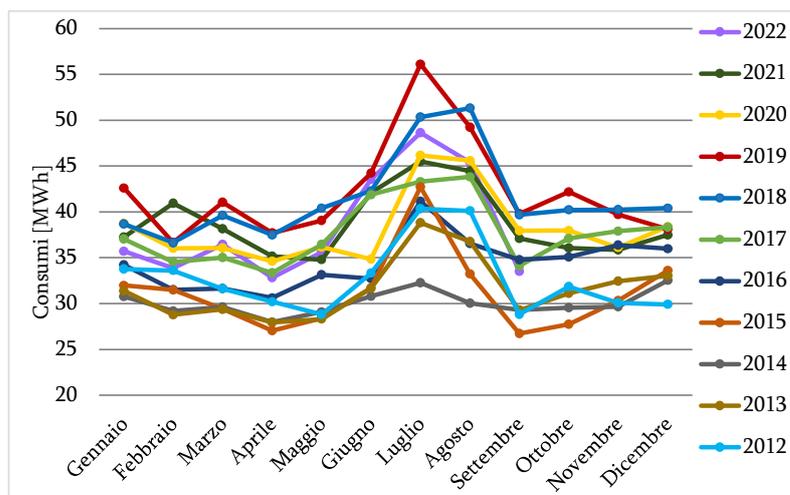


Fig.23 19 Profilo dei consumi elettrici dal 2012 al 2022

La scelta dell'anno rappresentativo sul quale successivamente calibrare il modello ha portato ad escludere tutti gli anni remoti perché poco rappresentativi del consumo attuale dell'edificio, e dopo alcune

considerazioni, si è scelto di non considerare anche il 2020 e 2021, poiché entrambi sono stati influenzati dalla pandemia del virus SARS-CoV-2.

Alla luce di queste motivazioni, è stato necessario sviluppare il modello analizzando i soli dati del 2022, questo periodo non è stato influenzato dalla pandemia ed è quindi rappresentativo dell'utilizzo attuale dello stabile. È presente una sola differenza rispetto agli anni precedenti, ed è un consumo totale annuale minore, dovuto ad una direttiva interna in linea con le indicazioni nazionali riguardanti l'energia che ha portato nel tardo 2022 ad una diminuzione dell'energia elettrica assorbita per motivi di risparmio economico.

Nelle figure seguenti sono confrontati i consumi mensili (fig.24) e i consumi annui (fig.25) per gli anni dal 2020 al 2022

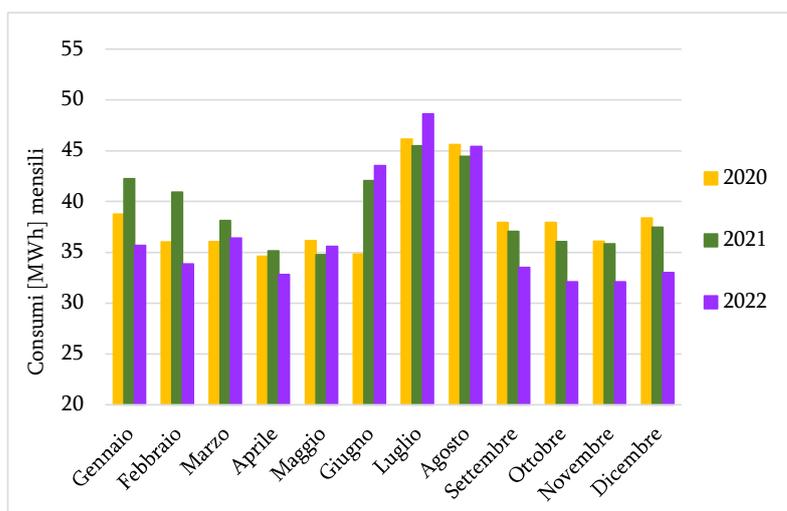


Fig.24 Consumi elettrici mensili 2020-2022

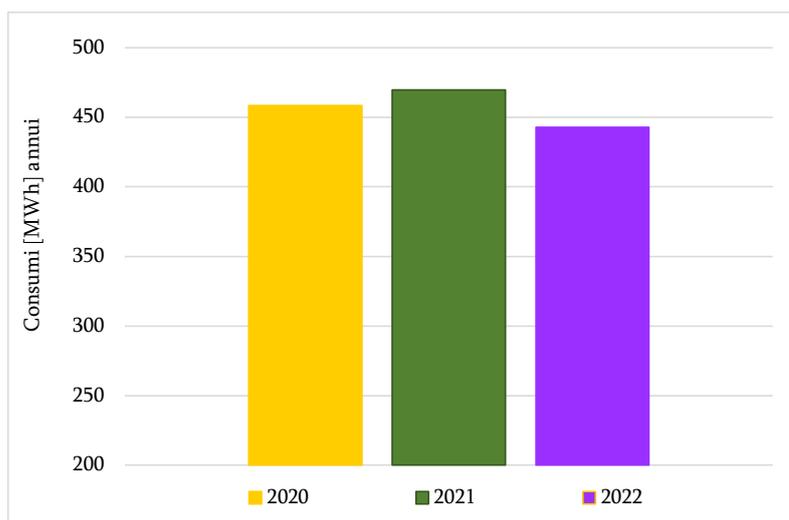


Fig.25 Consumi elettrici totali 2020 - 2022

Avendo a disposizione i consumi elettrici espressi per quarti d'ora è stato possibile analizzare in maniera più approfondita i consumi elettrici. E quindi, aggregando i consumi su base oraria, sono stati ricostruiti i profili di potenza oraria assorbita per il giorno medio di ogni mese.

Si riporta come esempio la ricostruzione dei mesi di luglio e dicembre per il periodo estivo ed invernale, e dei mesi di aprile e settembre.

Analizzando il grafico del mese di luglio in figura 26, si può notare che è presente un consumo quasi costante non nullo nelle ore notturne, dovuto ad alcuni macchinari, alle luci e alle cappe di aspirazione. Inoltre, il consumo diurno presenta dei picchi nella fascia 12:00 – 14:00, probabilmente in seguito all'attivazione dei condizionatori e delle unità autonome a pompa di calore.



Fig.26 Profilo del giorno medio di luglio

Con il mese di dicembre, figura 27, si ha conferma quanto ricavato per il mese di luglio, e quindi l'utilizzo della strumentazione da laboratorio in orario notturno, con un incremento notevole della potenza sino a raggiungere un picco alle 10:00, e probabilmente dovuto all'utilizzo degli impianti di integrazione al riscaldamento.



Fig.27 Profilo del giorno medio di dicembre

Per i mesi di aprile, figura 28, e settembre, figura 29, l'andamento resta decisamente simile a quello precedentemente descritto.

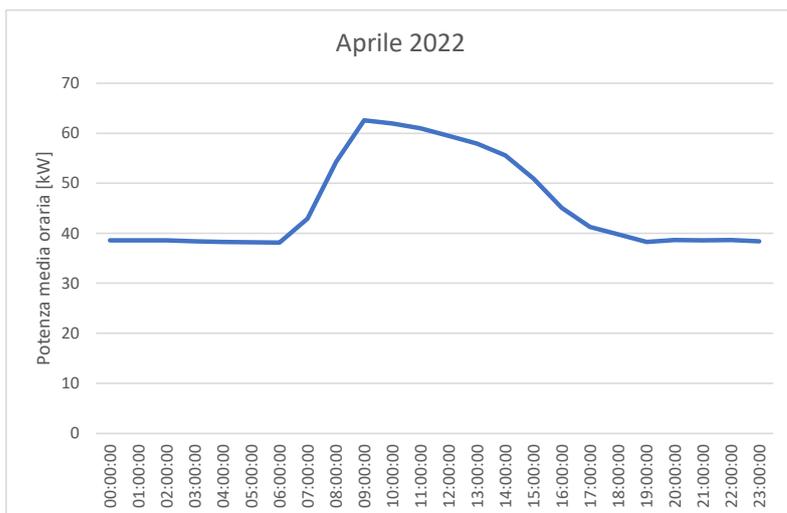


Fig.28 Profilo del giorno medio di aprile

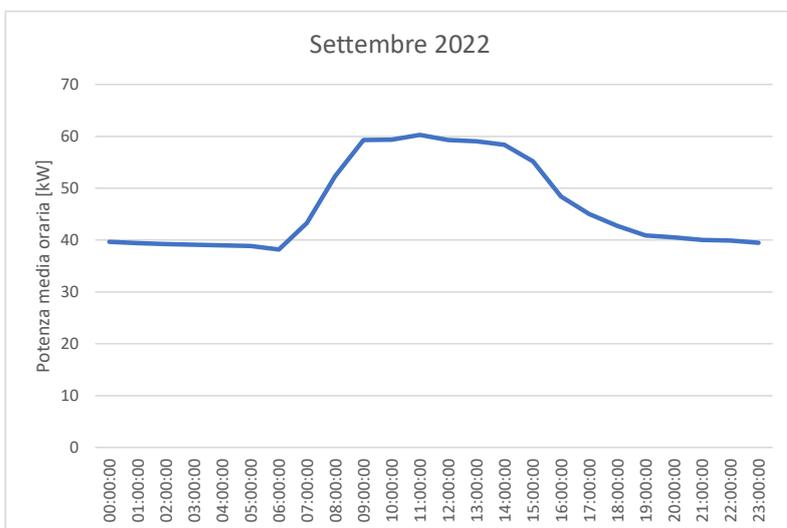


Fig.29 Profilo del giorno medio di settembre

Dalla media giornaliera dei valori di potenza oraria assorbita distinti per le fasce: diurna (8:00-19:00), notturna (19:00-8:00) e giorni festivi. È stato valutato il valor medio su tutti i giorni, e sono stati ricavati i kWh medi giornalieri per ogni mese, come è possibile osservare nel grafico presente nella figura 30. Dal grafico si osserva che durante la notte e durante tutti i giorni festivi il consumo è quasi piatto, con un leggero aumento nei mesi estivi a causa delle unità autonome a pompa di calore sempre attive per il raffrescamento dei laboratori. Mentre nelle ore diurne, si verifica un aumento dei consumi, in particolare a luglio, e man mano si riduce in prossimità della stagione autunnale.

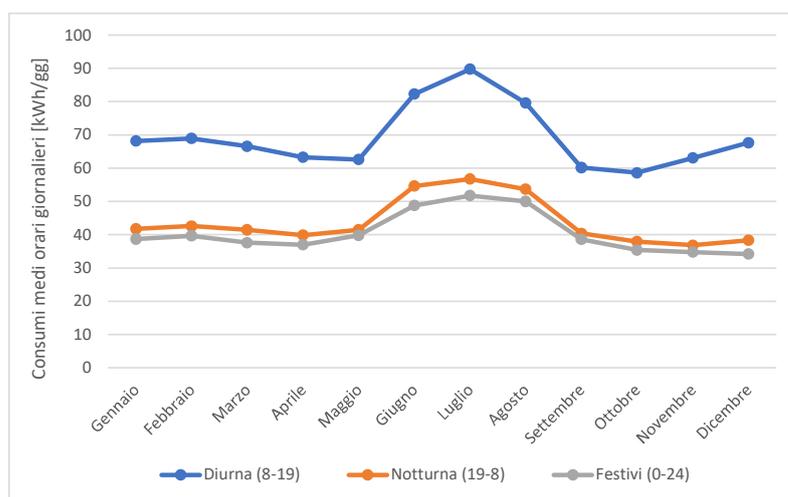


Fig. 30 Consumo medio giornalieri per fascia oraria e mese

Dalla figura 30 si è cercato di definire quali fossero nel dettaglio gli elementi che determinassero il consumo. Si è preso come riferimento l'andamento notturno e dei festivi, utile per definire la baseline delle apparecchiature dell'edificio. Questo poiché di notte, nei mesi invernali, le unità autonome a pompa di calore non vengono utilizzate, fatta eccezione per quelle adibite al raffrescamento dei locali celle frigo.

Dall'analisi dei profili presenti nella figura 31, è possibile definire un consumo per il laboratorio di circa 30 kWh durante la fascia notturna (19:00-8:00), da ciò ne consegue che il valore nella fascia diurna non potrà che essere superiore.

Nei mesi estivi, i sistemi di raffrescamento degli uffici non sono utilizzati ed infatti il consumo è completamente assente durante l'orario notturno. È presente invece nei laboratori.

Le motivazioni sono essenzialmente due, e sono state confermate dalle interviste in fase di sopralluogo:

- alcuni strumenti da laboratorio restano in funzione per svolgere analisi anche in orario notturno;
- si preferisce tenere attivo il raffrescamento anche in orario notturno per poter lavorare al meglio il mattino seguente.

La strumentazione, infatti, per funzionare al meglio, necessita di una temperatura ottimale, quindi è necessario attivare il raffrescamento.

Il consumo per illuminazione e cappe è quasi costante durante la notte; stesso dicasi per le unità autonome a pompa di calore presenti nei locali celle frigo.

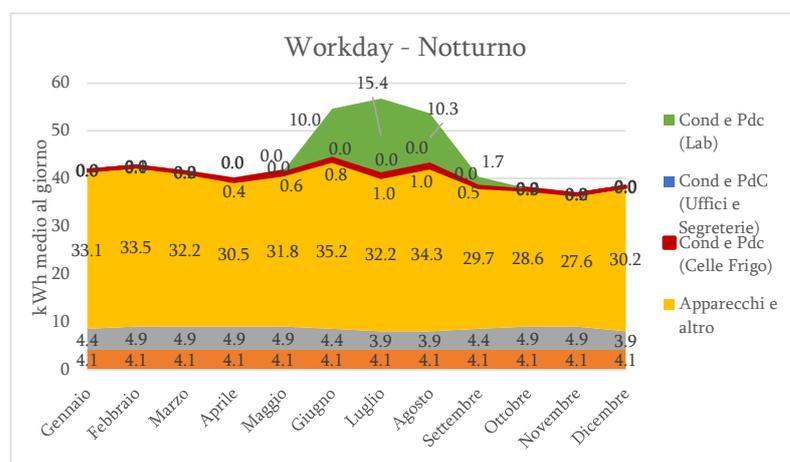


Fig. 31 20Dettaglio dei consumi medi orari giornalieri per mese (notturno)

Per il profilo diurno dei giorni lavorativi, in figura 32, si può osservare un aumento generale dei consumi.

Come descritto precedentemente, le attrezzature dei laboratori sono utilizzate maggiormente, con un valore medio di circa 40 kWh, all'interno di questo valore è possibile racchiudere anche le apparecchiature presenti negli uffici che partecipano, seppur in minima parte, a questi consumi.

Le integrazioni presenti in uffici, laboratori e celle frigorifere presentano un consumo maggiore nei mesi estivi rispetto ai mesi invernali; nel caso di uffici e laboratori il consumo è nullo ad aprile, maggio ed ottobre.

Nei mesi invernali il consumo è minore rispetto a quello estivo, in quanto le integrazioni concorrono in misura minore, e l'azione è saltuaria, e cioè solo quando l'impianto centralizzato di riscaldamento non riesce a coprire la richiesta.

Nei mesi estivi invece, gli impianti di integrazione, fungono, come tali, da sistema principale di raffrescamento.

Osservando con dettaglio i consumi nei mesi estivi si evidenzia un picco di consumo a luglio, con un consumo pressoché simile tra giugno e agosto. La giustificazione potrebbe essere che, nonostante l'aumento delle temperature, da luglio in poi c'è una riduzione del personale, molto probabilmente dovuto alle ferie lavorative.

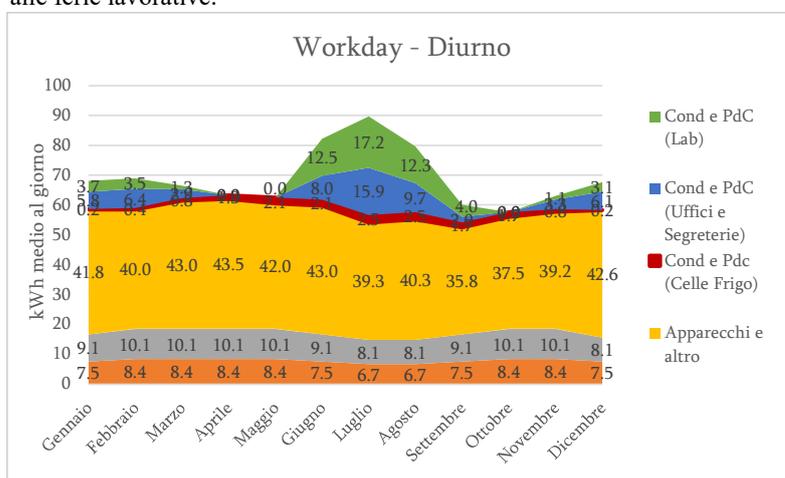


Fig.32 Dettaglio dei consumi medi orari giornalieri per mese (diurno)

La ricostruzione dei consumi è necessaria per poter confrontare i consumi finora analizzati, con quelli ricavati dalla simulazione.

L'obiettivo della diagnosi energetica è quello di costruire un modello che sia il più possibile corrispondente all'edificio reale, così da poter valutare l'impatto che degli interventi di riqualificazione, siano essi modifiche all'involucro edilizio piuttosto che all'impianto, avrebbero sui consumi e in termini economici.

Per far questo, è necessario però che il modello sia validato, e cioè che, costruito lo stato di fatto, i consumi ricavati in seguito all'impostazione di tutti i dati di input necessari, siano approssimativamente simili ai consumi da bolletta.

5.2. Consumi di gas metano

La documentazione fornita per i consumi di gas è relativa al periodo 2012-2022 ed è stata ottenuta dai dati presenti in bolletta. Nei grafici che seguono sono rappresentati gli andamenti mensili, e il consumo totale per ogni anno, rispettivamente figura 33 e 34; non sono presenti gli anni 2020 e 2021, perché non è stato possibile identificare dei valori mensili attendibili di consumo, in seguito all'errata rendicontazione da parte dell'azienda fornitrice di gas.

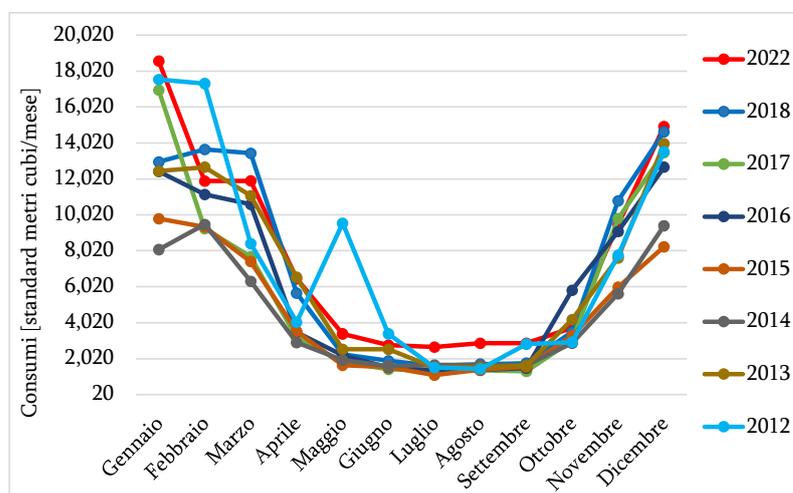


Fig.33 Andamento mensile dei consumi di gas (2012-2022)

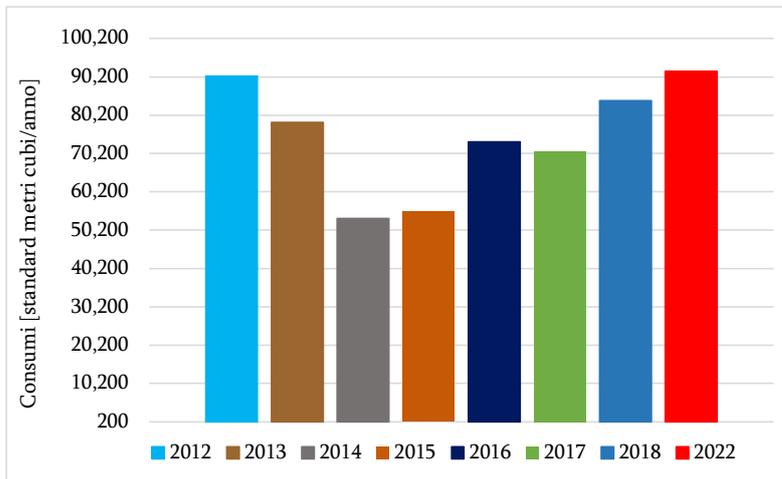


Fig. 34 21Consumi Totali di gas (2012-2022)

Tutti i dati remoti sono stati esclusi dall'analisi e, non essendo presenti dati reali più recenti, erano stati scelti come anni di riferimento 2016, 2017 e 2018. Di questi era stata calcolata la media tra i due più simili, in modo da individuare il consumo di riferimento, in figura 35.

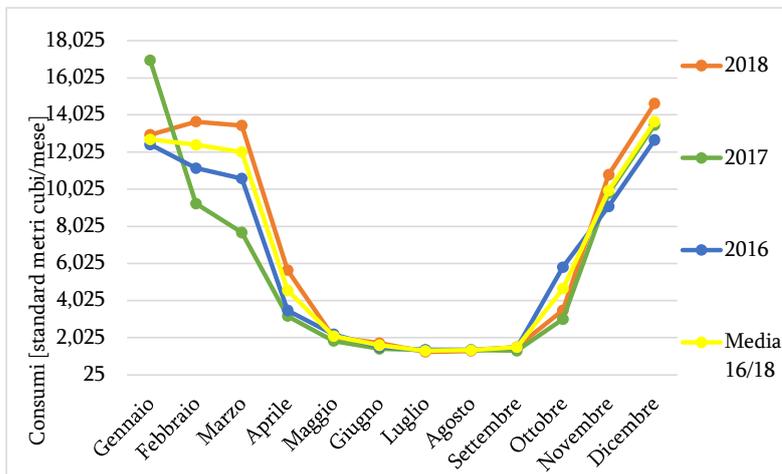


Fig.3522 Media dei consumi di gas (2016-2018)

Successivamente, è stato possibile attingere a dati più recenti, senza la necessità di ricostruire i consumi in funzione dei dati climatici, e quindi l'analisi è proseguita con lo studio dei consumi reali del 2022.

Dal grafico in figura 35, che descrive gli andamenti mensili dei consumi per gli anni 2012-2022, è possibile ricavare delle informazioni utili a distinguere il consumo dovuto al riscaldamento da quello dovuto alla produzione di acqua calda sanitaria.

Nei mesi estivi, infatti, non è attivo il riscaldamento, e l'unica quota presente è quella dovuta al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria. Con questa informazione è possibile quindi ricavare anche il consumo di ACS nei mesi invernali

Per valutarlo, sono stati presi in considerazione i consumi di gas dei mesi estivi (maggio-settembre) dal 2013 al 2022, e sono state fatte delle medie.

Una media, eseguita su base mensile considerando tutti gli anni a disposizione, è servita per ricostruire i consumi di ACS del 2018 che non erano stati rendicontati.

L'altra, eseguita su base annuale per singolo anno, e maggiorata del 10% ipotizzando un utilizzo maggiore di acqua calda nel periodo invernale rispetto a quello estivo, è stata utilizzata per ottenere i consumi di metano per il solo riscaldamento e quindi decurtati del consumo di ACS, rappresentati nel grafico della figura 36.

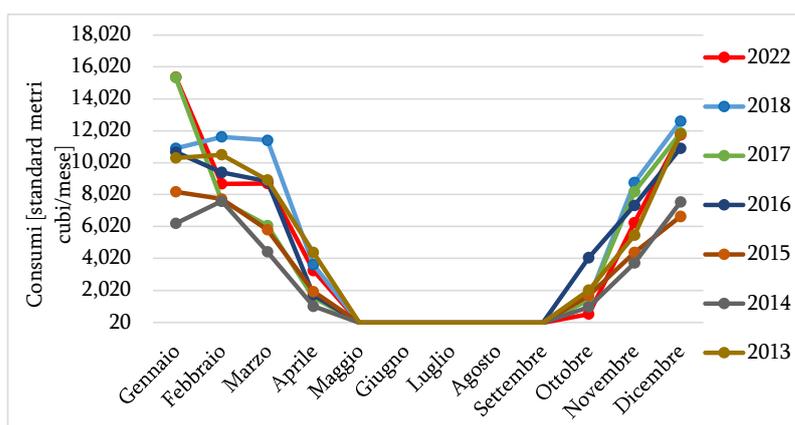


Fig.36 Andamento mensile dei consumi di gas per il solo riscaldamento (2013-2022)

Il grafico seguente, figura 37, rappresenta l'andamento complessivo dei consumi di metano per il 2022, ripartito per servizio energetico.

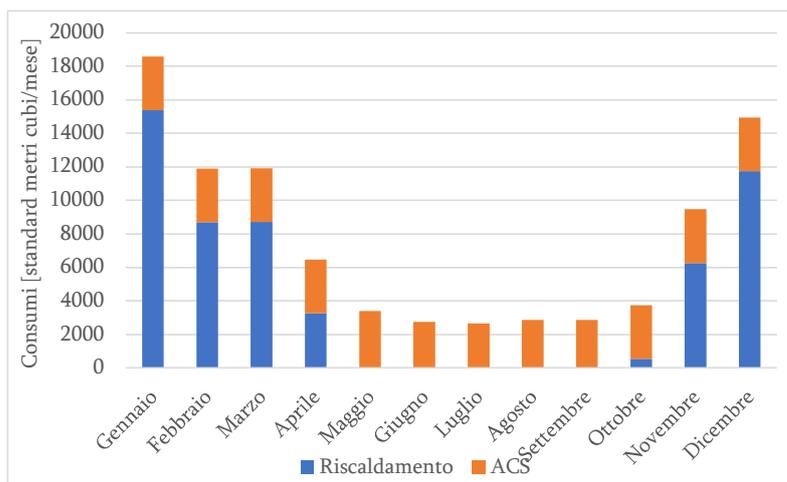


Fig.37 Andamento dei consumi in funzione dei servizi energetici

E il peso percentuale sui consumi totali, figura 38:

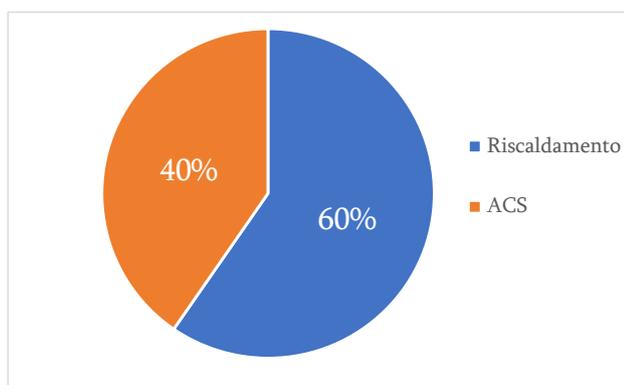


Fig. 38 Grafico a torta dei servizi energetici

6. Simulazioni energetiche modelli semplificati e modelli dettagliati

Il calcolo quasi-steady state (QSS) è un metodo di calcolo che si basa sul presupposto che le temperature all'interno e all'esterno dell'edificio non variano molto nel tempo. Questo presupposto è valido per edifici di dimensioni ridotte o per edifici con un'inerzia termica relativamente bassa.

Il calcolo QSS è utilizzato per determinare il fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento di un edificio, in base ai seguenti parametri:

- La forma e la geometria dell'edificio;
- I materiali e le caratteristiche degli elementi costruttivi;
- La presenza di impianti di climatizzazione e riscaldamento;
- Le condizioni climatiche esterne;
- Le attività degli occupanti.

Il calcolo QSS viene eseguito dividendo l'anno in un certo numero di intervalli di tempo, ad esempio 1 mese, e calcolando l'energia scambiata tra l'edificio e l'ambiente esterno per ogni intervallo di tempo.

Il vantaggio del calcolo QSS rispetto al metodo di calcolo statico è che consente di ottenere risultati più accurati, in quanto tiene conto delle variazioni di temperatura e di altri parametri nel tempo.

Il calcolo QSS è utilizzato nelle norme UNI TS 11300-1 e UNI EN ISO 13790 per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici.

Il calcolo dinamico è un metodo di calcolo che si basa sul presupposto che le temperature all'interno e all'esterno dell'edificio varino nel tempo. Questo presupposto è valido per edifici di dimensioni elevate o per edifici con un'inerzia termica relativamente alta.

Il calcolo dinamico viene eseguito dividendo l'anno in un certo numero di istanti di tempo, ad esempio 1 ora, e calcolando l'energia scambiata tra l'edificio e l'ambiente esterno per ogni istante di tempo.

Il vantaggio del calcolo dinamico rispetto al metodo di calcolo QSS è che consente di ottenere risultati più accurati, in quanto tiene conto delle variazioni di temperatura e di altri parametri in modo molto più preciso.

Il calcolo dinamico è utilizzato nella norma UNI EN ISO 52016-1 per il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici.

Per poter svolgere un calcolo in regime dinamico è necessario utilizzare un software di modellazione, ci si affida quindi al CTI (Comitato Termotecnico Italiano) che, come definito dal DM 26 giugno 2015, svolge un'attività di verifica dei software commerciali e degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici

Dall'elenco messo a disposizione dal CTI, si è scelto di utilizzare il software Edilclima per la diagnosi energetica di un edificio, essendo uno strumento completo e affidabile che permette di effettuare il calcolo dinamico con precisione.

Inoltre, Edilclima dispone di una vasta libreria di modelli di edifici, che permette di selezionare il modello più adatto alle caratteristiche dell'edificio da analizzare, e consente di modificare i parametri del modello in modo da adattarlo alle esigenze specifiche dell'edificio.

In definitiva, il calcolo dinamico è il metodo di calcolo più accurato per la diagnosi energetica degli edifici, e Edilclima è uno strumento ideale per effettuare questo tipo di calcoli.

7. Simulazione impianti con software Edilclima

Nella sezione che segue è presentata la modellazione degli impianti descritti nel capitolo 4, sul software Edilclima.

La sezione impianti permette di modellare i sistemi impiantistici e gestire le relazioni che sussistono tra le varie zone e sistemi che le interessano, segue infatti due schermate per riepilogare le zone climatizzate e i sistemi impiantistici presenti al loro interno, figura 39 e 40.

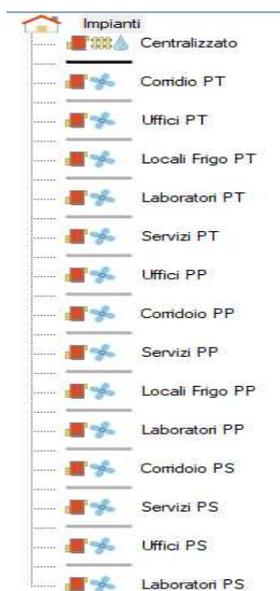


Fig.39 Zone climatizzate per riscaldamento



Fig.40 Zone climatizzate-
raffrescamento

7.1. Riscaldamento

Il riscaldamento è centralizzato per tutti i locali meno che per le zone non climatizzate. È possibile impostare questa condizione nella prima schermata della sezione Impianti.



Da questa schermata successivamente si passa alla modellazione dei circuiti presenti con il relativo fluido termovettore, che in questo caso è acqua per entrambi i circuiti.

I circuiti presenti sono due, il primo alimenta i radiatori su parete del piano terra; il secondo, i pannelli radianti annessi a pavimento per il piano primo e secondo.

Nella parte dei dati generali si seleziona il tempo di attivazione mensile dell'impianto, impostato come "da profilo di temperatura di set-point" e successivamente sono analizzati come maggior dettaglio i dati del sistema di emissione.

Pannelli annessi a pavimento:

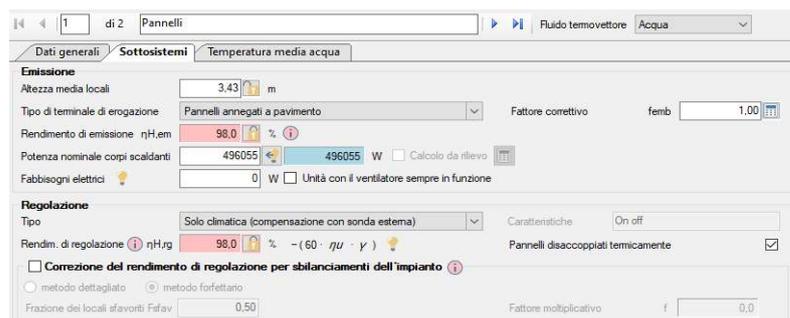


Fig. 41 Scheda sottosistemi Pannelli annessi a pavimento 1

Distribuzione utenza

Metodo semplificato

Tipo di impianto: Centralizzato con montanti non isolati correnti nell'intercapedine dei muri esterni

Posizione impianto: Impianto a piano intermedio

Posizione tubazioni: Tubazioni correnti nel cantinato in vista

Isolamento tubazioni: Medio Nr. piani: 2 Fattore di correzione: 0.62

Rendimento di distribuzione $\eta_{H,du}$: 93.9 %

Metodo analitico

Rete di distribuzione: (nessuno) Coefficiente di recupero: 0.80

Fabbisogni elettrici

Potenza elettrica assorbita: 1000 W sempre in funzione velocità variabile

Fig. 42 Scheda sottosistemi Pannelli annegati a pavimento 2

Per i pannelli è stata inserita una regolazione solo climatica con compensazione con sonda esterna e relativo rendimento di regolazione, come visibile in figura 41. Ed è stato impostato un isolamento medio per le tubazioni che scorrono nell'intercapedine dei muri esterni dei due piani: primo e secondo, figura 42.

Edilclima restituisce un valore editabile di “potenza nominale corpi scaldanti”. Questo valore varia al variare dei Δ di temperature lato aria e lato acqua impostate nella sezione “Temperatura media acqua”. Per ipotesi:

- ΔT nominale lato aria = 15°C;
- ΔT di progetto lato acqua = 5°C

Radiatori su parete:

di 2 Radiatori | Fluido termovettore: Acqua

Dati generali | **Sottosistemi** | **Temperatura media acqua**

Emissione

Altezza media locali: 2.75 m

Tipo di terminale di erogazione: Radiatori su parete esterna isolata e riflettente Temperatura di mandata di progetto: 75.0 °C

Rendimento di emissione $\eta_{H,em}$: 96.7 %

Potenza nominale corpi scaldanti: 122090 W Calcolo da rilievo

Fabbisogni elettrici: 0 W Unità con il ventilatore sempre in funzione

Regolazione

Tipo: Solo climatica (compensazione con sonda esterna) Caratteristiche: On off

Rendim. di regolazione $\eta_{H,rg}$: 100.0 % $-(60 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$

Correzione del rendimento di regolazione per sbilanciamenti dell'impianto

metodo dettagliato metodo forfettario

Scostamento di temperatura per regolazione imperfetta $\Delta\theta$: 0.0 °C

Fig. 43 Scheda sottosistemi Radiatori su parete 1

Le impostazioni per regolazione e isolamento dei radiatori a muro, sono le medesime dei pannelli a pavimento, quindi, la regolazione è solo climatica, con compensazione con una sonda esterna; figura 43, e l'isolamento delle tubazioni di distribuzione è medio, figura 44.

The screenshot shows the 'Distribuzione utenza' (Distribution of energy) configuration window. It is divided into two main sections: 'Metodo semplificato' (Simplified method) and 'Metodo analitico' (Analytical method). The 'Metodo semplificato' section is active and contains the following settings: 'Tipo di impianto' (Type of system) set to 'Centralizzato con montanti non isolati correnti nell'intercapedine dei muri esterni'; 'Posizione impianto' (Plant position) set to 'Impianto a piano intermedio'; 'Posizione tubazioni' (Pipe position) set to 'Tubazioni correnti nel cantinato in vista'; 'Isolamento tubazioni' (Pipe insulation) set to 'Medio'; 'Nr. piani' (Number of floors) set to '1'; 'Fattore di correzione' (Correction factor) set to '0.94'; and 'Rendimento di distribuzione ηH,d,u' (Distribution efficiency) set to '92.5 %'. The 'Metodo analitico' section is inactive and shows 'Rete di distribuzione' (Distribution network) set to '(nessuno)'. Below these sections, the 'Fabbisogni elettrici' (Electrical requirements) section is visible, with 'Potenza elettrica assorbita' (Absorbed electrical power) set to '1000 W' and checkboxes for 'sempre in funzione' (always on) and 'velocità variabile' (variable speed) both unchecked.

Fig. 44 Scheda sottosistemi Radiatori su parete 2

In questo caso le ipotesi sui Δ di temperatura lato aria e lato acqua sono:

- ΔT nominale lato aria = 50°C;
- ΔT di progetto lato acqua = 10°C

Nella sezione “Generazione”, presente nella figura 45, sono definite il numero e la tipologia di sistemi di generazione presenti e la presenza o meno di sistemi ad integrazione.

Nel caso in questione, un generatore singolo di tipo “caldaia tradizionale” e delle unità autonome a pompa di calore come sistemi ad integrazione.

Per i dati della caldaia sono stati utilizzati sia la scheda tecnica disponibile in rete, sia il libretto caldaia fornito direttamente da ARPA. Segue quanto inserito sul software:

Caratteristiche

Marca/serie/modello (*) BIKLIM (*) = Dati da archivio

Potenza nominale al focolare (*) Φ_{cn} 771,00 618,14 kW

Potenza utile nominale (*) P_n 697,00 679,88 kW

Perdite camino bruciatore acceso (*) Caldaia a gas con bruciatore ad aria soffiata $P'_{ch,on}$ 10,00 %

Perdite camino bruciatore spento (*) Bruciatore aria soffiata, combustibile liquido/gassoso con chiusura dell'aria all'arresto $P'_{ch,off}$ 0,20 %

Perdite al mantello (*) Generatore vecchio, isolamento medio $P'_{gn,env}$ 1,82 %

Materiale del generatore Generatore in acciaio Circolazione permanente di acqua in caldaia

Rendimento utile - 100% (*) $\eta_{gn,Pn}$ 93,0 %

Rendimento utile - 30% (*) $\eta_{gn,Pint}$ 87,0 %

Temperatura media dell'acqua 75,0 °C (in condizioni di prova)

Installazione

Ambiente Centrale termica Temperatura 0,00 °C

Fattore di riduzione delle perdite $kg_{n,env}$ 0,70 Valori mensili 174

Vettore energetico

Tipo (*) Metano

Potere calorifico inferiore H_i 9,940 kWh/Nm³

Fattore di emissione CO2 0,2100 kgCO₂/kWh

Fattori di conversione in energia primaria

fp_{ren} (non rinnovabile) 1,050

fp_{ren} (rinnovabile) 0,000

fp_{tot} 1,050

Fabbisogni elettrici

Tipo di bruciatore Ad aria soffiata

Potenza elettrica bruciatore (*) W_{br} 1094 1094 W

Potenza elettrica pompe circolazione W_{af} 1642 1642 W

Fattore di recupero K_{br} 0,80

Fattore di recupero K_{af} 0,80

Pompa di circolazione sempre in funzione

Fig.45 Scheda Generazione

Per le integrazioni, si è mantenuta la suddivisione utilizzata per le zone termiche e sono state definite quindi, 6 integrazioni divise equamente per Uffici e Laboratori (figura 46)

- Integrazione Lab PT - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Uffici PP - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Lab PT - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Uffici PT - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Lab PP - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Uffici PS - Sistema a espansione diretta
- Integrazione Lab PS - Sistema a espansione diretta

Fig.46 Tipologie di integrazioni

Il tipo di terminale utilizzato (e di conseguenza il rendimento associato) per le integrazioni è il medesimo per ognuna di esse, stesso dicasi per la regolazione che è gestita per singolo ambiente, in quanto è il personale che decide come regolare.

Gli unici dati che variano sono l'altezza media dei locali e la potenza nominale dei corpi scaldanti.

Nella figura 47 è definito il sistema di emissione delle integrazioni:

Quota di energia fornita dal sistema di integrazione

Percentuale: 10,0 % Valori mensili

Modalità di funzionamento

Funzionamento continuato Funzionamento per 24,0 ore giornaliere Funzionamento in proporzione al carico

Circuiti Generazione

Emissione

Altezza media locali: 3,45 m Fluido termovettore: Aria

Tipo di terminale di erogazione: Bocchette in sistemi ad aria calda

Rendimento di emissione $\eta_{H,em}$: 90,0 %

Potenza nominale corpi scaldanti: 83940 W Calcolo da rilievo

Fabbisogni elettrici: 0 W Unità con il ventilatore sempre in funzione

Regolazione

Tipo: Solo per singolo ambiente Caratteristiche: PI o PID

Rendim. di regolazione $\eta_{H,rg}$: 99,5 %

Correzione del rendimento di regolazione per sbilanciamenti dell'impianto

metodo dettagliato metodo forfettario

Scostamento di temperatura per regolazione imperfetta $\Delta\theta$: 0,0 °C

Fig.47 Sistema di emissione integrazione

Nella sezione “Generazione” delle integrazioni, in figura 48, sono inseriti i dati generali di funzionamento delle macchine specificando le temperature per sorgente fredda (min -5°C e max 25°C) e per sorgente calda (min 15°C e max 35°C) e le prestazioni dichiarate.

Per quest'ultime, data la presenza di molte unità, e vista la necessità di modellare per zona piuttosto che per singolo locale, dopo un'accurata analisi delle schede tecniche, si è deciso di impostare un valore generale per il COP.

Prestazioni della pompa di calore

Calcolo semplificato Calcolo analitico

Coefficiente di prestazione (*) COP: 3,00 Temperatura sorgente fredda (*) θ_f : 6 °C

Potenza utile (*) P_u : 83,94 kW Temperatura sorgente calda (*) θ_c : 35 °C

Potenza assorbita P_{ass} : 27,98 kW

Coefficienti correttivi della pompa di calore (*)

Calcolo con fattori di correzione clima di riferimento (UNI EN 14825)

Fattore di correzione C_d : 0,25 Fattore min modulazione F_{min} : 0,50

CR [-]	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Fc [-]	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Condizioni nominali

Coefficiente di prestazione COP: 3,00 Temperatura sorgente fredda θ_f : 6 °C

Potenza utile P_u : 83,94 kW Temperatura sorgente calda θ_c : 35 °C

Fig.48 Dati generali di funzionamento unità autonome a pompa di calore

7.2. ACS

Per l'acqua calda sanitaria i valori inseriti sono stati stimati direttamente dal consumo di gas metano come descritto nel capitolo 5.2. Si è ricavato quindi un valore di circa 21000 litri al giorno per mese, equamente suddiviso per i locali Laboratori e Servizi.

Il valore descritto potrebbe sembrare alto ma è giustificabile, innanzitutto per le dimensioni notevoli della sede, e in secondo luogo per la presenza di un locale laboratori dedicato al lavaggio vetreria, quindi di tutta la strumentazione per le attività da laboratorio, come ad esempio i becher.

Nel circuito dell'ACS è presente, come precedentemente descritto, un boiler con le seguenti caratteristiche, figura 49.

Installato in centrale e con una temperatura media di accumulo di 60°C.

● Calcolo da geometria	
Diametro	D <input type="text" value="600"/> mm
Altezza	h <input type="text" value="1815"/> mm
Superficie esterna	Ss <input type="text" value="3.99"/> m ² <input type="button" value="↔"/> <input type="text" value="3.99"/>
Conduttività dello strato isolante	λs <input type="text" value="0.040"/> W/mK
Spessore dello strato isolante	ds <input type="text" value="60"/> mm
Dispersione termica risultante	K _{boll} <input type="text" value="2.660"/> W/K
<input type="radio"/> Calcolo da perdita giornaliera di energia	
<input type="button" value="OK"/>	

Fig.49 Dati generali Boiler

7.3. Raffrescamento

Il raffrescamento è gestito in modo molto simile alle integrazioni per il riscaldamento, si veda la figura 50, infatti come riportato nell'introduzione del capitolo, gli unici locali raffrescati sono uffici, laboratori e locali frigo, ma diversamente da queste il funzionamento è funzione del fabbisogno orario.

I sistemi presenti sono i medesimi per tutti i locali, l'unico dato variabile, è la potenza elettrica installata.

The screenshot shows a software interface for climate control settings, divided into three main sections: Emissione, Regolazione, and Distribuzione.

- Emissione:** Tipo di terminale di erogazione: Terminali ad espansione diretta, unità interne sistemi split, ecc. Rendimento di emissione: 97.0%. Fabbisogni elettrici: 0 W. Unità con il ventilatore sempre in funzione: .
- Regolazione:** Tipo: Controllori di zona. Caratteristiche: Regolazione modulante (banda 2°C). Rendimento di regolazione: 95.0%.
- Distribuzione:** Rete di distribuzione - aria trattata. Metodo: Metodo analitico. Rete di distribuzione: (nessuno). Lunghezza totale rete di distribuzione: 0,00 m. Temperatura di mandata in condizioni di progetto: 15,00 °C. Potenza frigorifera di scambio della rete: Table with 12 columns (Gen to Dic) and 1 row (0,0). Potenza elettrica assorbita: 0 W. Ventilatore sempre in funzione: .

Fig.50 Dati generali climatizzatori

8. Identificazione delle zone termiche

L'edificio è composto da 101 locali climatizzati, di cui 5 dedicati esclusivamente al raffrescamento, e 18 locali non climatizzati. Al fine di semplificare la gestione e l'organizzazione degli ambienti, i locali sono stati raggruppati in zone termiche.

I criteri di selezione per definire una zona termica includono la destinazione d'uso dei locali, la tipologia di sistema di condizionamento adottato e le particolari esigenze termiche. L'obiettivo principale è creare gruppi di locali che richiedono condizioni climatiche analoghe per ottimizzare l'efficienza energetica e garantire il comfort degli occupanti.

Nel caso in questione la scelta delle zone termiche è stata basata sia sull'osservazione durante l'ispezione dell'edificio, sia prendendo in considerazione i dati e le informazioni raccolte in merito alle caratteristiche degli ambienti e ai sistemi di riscaldamento presenti.

Tale valutazione ha permesso di individuare le zone termiche in base a criteri oggettivi, finalizzati a semplificare l'organizzazione e la gestione degli ambienti all'interno dell'edificio.

Le zone termiche climatizzate sono risultate le seguenti:

Descrizione	Sup. netta [m²]	Vol. lordo [m³]	Sup. lorda [m²]	S / V [m⁻¹]
Corridoio PT	255.20	973.41	600.38	0.62
Uffici PT	270.30	1030.28	592.23	0.57
Locali Frigo PT	52.23	203.84	116.43	0.57
Laboratori PT	240.75	896.06	504.02	0.56
Servizi PT	47.71	189.52	133.88	0.71
Uffici PP	516.45	2283.25	690.85	0.30
Corridoio PP	292.77	1265.48	201.19	0.16
Servizi PP	58.45	276.80	111.33	0.40
Locali Frigo PP	52.00	234.76	69.68	0.30
Laboratori PP	198.33	849.68	200.82	0.24
Corridoio PS	252.70	1131.67	435.72	0.39
Servizi PS	36.61	184.54	115.17	0.62
Uffici PS	413.38	1827.77	910.46	0.50
Laboratori PS	453.64	1980.45	908.45	0.46

Mentre le zone non climatizzate risultano:

Descrizione	Sup. utile [m²]	Vol. netto [m³]	btr,u [-]
Magazzino PT	207.71	571.20	0.70
Archivio PT	39.73	109.26	0.46
SA 23-24	15.52	42.68	0.29
SA 29-32 + VS03	106.25	292.19	0.53
SB35	24.18	83.42	0.25
VS03	13.82	47.68	0.22
SB10B	15.93	54.96	0.21
SB01 + VS01	68.33	235.74	0.41
VS01	58.19	197.85	0.54
Passerella	181.16	398.55	0.61

Le zone termiche climatizzate sopraelencate possono essere ulteriormente aggregate in cinque macrocategorie perché presentano le stesse impostazioni, fatta eccezione per la tipologia di circuito di riscaldamento.

Come seguono:

- Corridoio;
- Servizi;
- Locali Celle Frigo;
- Uffici;
- Laboratori.

I valori per gli apporti sensibili sono stati ricavati nel seguente modo:

- Per le persone è stato impostato un valore standard preso dall'archivio di Edilclima, il software infatti assegna ad ogni tipologia di locale un valore standard ricavabili dalle norme UNI 10349 e 11300;
- Per l'illuminazione sono stati inseriti i valori di potenza presenti in ogni locale, ottenuti con i sopralluoghi in sede;
- Per le apparecchiature, invece, è stato utilizzato l'elenco della strumentazione fornito da ARPA, e della quale si è considerata la potenza termica dispersa

Commentato [MC1]: Vedere se aggiungere allegato

Corridoi

Profilo lunedì – venerdì:

- dal 1° gennaio al 15 aprile la temperatura di set point per il riscaldamento è fissa a 21°C
- dal 15 ottobre al 31 dicembre è fissa invece a 19°C

Ore del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Medio
OCCUPAZIONE																									
f _{occ} {}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.50	0.20	0.10	0.10	0.30	0.30	0.30	0.10	0.10	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
TEMPERATURA																									
θ _{int,e} [°C]	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	-
θ _{int,i} [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																									
q _{int,P} [W/m²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	1.80	0.72	0.36	0.36	1.08	1.08	1.08	0.36	0.36	1.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
f _{int,A} {}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
q _{int,A} [W/m²]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
f _{int,L} {}	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.50	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20	0.40	0.40	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20
q _{int,L} [W/m²]	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	3.00	7.50	6.00	6.00	6.00	3.00	3.00	6.00	6.00	4.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	3.00

Profilo sabato e festivi:

Il profilo per il riscaldamento resta il medesimo, il fattore di utilizzo dell'illuminazione artificiale ($f_{int,L}$) è fissato ad un valore di 0.10; mentre il fattore di occupazione (f_{occ}) e il fattore di utilizzo degli apporti interni ($f_{int,A}$) sono fissati a 0.

È stato necessario impostare un ulteriore profilo con T setpoint pari a 19°C in seguito alle modifiche che hanno interessato il DPR412/93 nel 2022.

Gli apporti interni sensibili sono stati così assunti:

Persone	<input type="text" value="3,60"/>	W/m²
Apparecchiature	<input type="text" value="2,00"/>	W/m²
Illuminazione	<input type="text" value="15,00"/>	W/m²

Per la ventilazione dei corridoi, essendo dei locali di transito, la normativa UNI10339 non indica ricambio orario e indice di affollamento.

Servizi

Profilo lunedì – venerdì:

- dal 1° gennaio al 15 aprile la temperatura di set point per il riscaldamento è fissa a 21°C
- dal 15 ottobre al 31 dicembre è fissa invece a 19°C

Orario del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media
OCCUPAZIONE																									
facc {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,30	0,10	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
TEMPERATURA																									
BHset [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
BCset [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																									
Int.P [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,36	0,36	0,36	0,36	1,08	1,08	0,36	0,36	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Int.A {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Int.A [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Int.L {}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,50	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,40	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20
Int.L [W/m²]	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	3,00	7,50	6,00	6,00	6,00	3,00	3,00	6,00	6,00	4,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	3,00

Profilo sabato e festivi:

Il profilo per il riscaldamento resta il medesimo per gli altri fattori valgono le stesse assunzioni della zona Corridoi

Gli apporti interni sensibili sono stati così assunti:

Persone	<input type="text" value="3,60"/>	W/m²
Apparecchiature	<input type="text" value="0,00"/>	W/m²
Illuminazione	<input type="text" value="15,00"/>	W/m²

Locali Celle Frigo

Profilo dal 1° marzo al 31 ottobre

Ore del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media
OCCUPAZIONE																									
focc. {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TEMPERATURA																									
θint. [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
θext. [°C]	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
APPORTI INTERNI SENSIBILI																									
qint.P. [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
qint.A. {}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
qint.A. [W/m²]	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00
qint.L. {}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
qint.L. [W/m²]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

Gli apporti interni sensibili sono stati così assunti:

Persone	<input type="text" value="0,00"/>	W/m²
Apparecchiature	<input type="text" value="46,00"/>	W/m²
Illuminazione	<input type="text" value="12,00"/>	W/m²

Uffici

Profilo lunedì – venerdì:

- dal 1° gennaio al 15 aprile la temperatura di set point per il riscaldamento è fissa a 21°C
- dal 15 ottobre al 31 dicembre è fissa invece a 19°C

Orario del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media	
OCCUPAZIONE																										
facc {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,40	0,40	0,40	0,25	0,25	0,40	0,40	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	
TEMPERATURA																										
θint [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
θext [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																										
qint.P [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	4,76	4,76	4,76	2,98	2,98	4,76	4,76	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54	
qint.A [h]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	
qint.A [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,35	
qint.L [h]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,50	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,40	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	
qint.L [W/m²]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	2,40	6,00	4,80	4,80	4,80	2,40	2,40	4,80	4,80	3,60	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	2,40	

Profilo sabato e festivi:

Il profilo per il riscaldamento resta il medesimo per gli altri fattori valgono le stesse assunzioni della zona precedente

Orario del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media	
OCCUPAZIONE																										
facc {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TEMPERATURA																										
θint [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
θext [°C]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																										
qint.P [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
qint.A [h]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
qint.A [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
qint.L [h]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
qint.L [W/m²]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	

Gli apporti interni sensibili sono stati così assunti:

Persone	11,90	W/m²
Apparecchiature	12,00	W/m²
Illuminazione	12,00	W/m²

Per la ventilazione è stato assunto un indice di affollamento pari a 0.06 persone/m² e una portata d'aria esterna di 11*10⁻³ m³/s per persona, come previsto dalla normativa UNI 10339 per la tipologia di locale Ufficio singolo.

Laboratori

Profilo lunedì – venerdì:

- dal 1° gennaio al 15 aprile la temperatura di set point per il riscaldamento è fissa a 21°C
- dal 15 ottobre al 31 dicembre è fissa invece a 19°C

Ore del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media
OCCUPAZIONE																									
facc {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	
TEMPERATURA																									
BHset [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
BCset [°C]	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																									
qint.P [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,57	3,57	3,57	3,57	2,38	3,57	3,57	3,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	
qint.A [t]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
qint.A [W/m²]	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	17,04	
qint.L [t]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	0,50	0,40	0,40	0,40	0,20	0,40	0,40	0,30	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,20	
qint.L [W/m²]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	2,40	6,00	4,80	4,80	4,80	2,40	4,80	4,80	3,60	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	2,40		

Profilo sabato e festivi:

Il profilo per il riscaldamento resta il medesimo per gli altri fattori valgono le stesse assunzioni della zona precedente

Ore del giorno	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Media
OCCUPAZIONE																									
facc {}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TEMPERATURA																									
BHset [°C]	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	-
BCset [°C]	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	-
APPORTI INTERNI SENSIBILI																									
qint.P [W/m²]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
qint.A [t]	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
qint.A [W/m²]	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	15,15	
qint.L [t]	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
qint.L [W/m²]	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	

Gli apporti interni sensibili sono

Persone	11,90	W/m²
Apparecchiature	101,00	W/m²
Illuminazione	12,00	W/m²

Per la ventilazione, oltre all'estrazione delle sostanze chimiche volatili con l'ausilio delle cappe, è stato assunto un indice di affollamento pari a 0.30 persone/m² e una portata d'aria esterna di $7 \cdot 10^{-3}$ m³/s per persona, come previsto dalla normativa UNI 10339 per la tipologia di locale Laboratori.

9. Calibrazione del modello

9.1 Generalità sul processo di calibrazione

La calibrazione rappresenta una fase cruciale nel processo di sviluppo di un modello energetico di un edificio. Questo processo mira a ottimizzare la precisione del modello in modo che i risultati simulati, che inizialmente possono discostarsi notevolmente dai dati reali misurati, si avvicinino il più possibile alla realtà. Per valutare l'efficacia della calibrazione, vengono utilizzati criteri statistici che sintetizzano le differenze tra i valori mensili di consumo energetico ottenuti sia dal modello che dalle misurazioni effettive. Questa procedura è iterativa, comportando la modifica dei dati di input del modello e l'esecuzione di nuove simulazioni orarie, al fine di confrontare i dati misurati (M) con quelli simulati (S) per verificare l'approssimazione dei valori.

Nel processo di selezione dei dati di input da modificare per la calibrazione, vengono presi in considerazione principalmente i parametri che mostrano un grado significativo di incertezza durante la fase di modellazione. Questi dati possono riguardare variabili come i profili di utilizzo dell'edificio da parte degli occupanti, le impostazioni e il comportamento dei sistemi impiantistici, o persino le informazioni relative all'involucro opaco dell'edificio, specialmente quando non si dispone di stratigrafie dettagliate. È fondamentale sottolineare che non è opportuno modificare dati che sono ben definiti o che derivano direttamente dalla progettazione, così come i parametri privi di incertezza.

Una volta che il modello raggiunge un livello di accuratezza accettabile secondo gli indicatori statistici prescelti, la calibrazione viene considerata completata con successo, e il modello può essere considerato rappresentativo della realtà. A questo punto, il modello è pronto per essere utilizzato nell'implementazione di misure di efficienza energetica e per supportare le decisioni relative alla gestione ottimizzata dell'edificio.

9.2 Modelli statistici

Per valutare la discrepanza tra i dati simulati e quelli misurati, esistono diverse strategie a disposizione. Un approccio iniziale può essere di natura visuale, sfruttando la potenza dei grafici per discernere la divergenza tra i dati simulati e quelli effettivamente osservati, ed è questo il caso delle firme energetiche.

La firma energetica è un grafico significativo che mette in evidenza come il consumo energetico o la potenza varino in relazione a un parametro esterno, spesso la temperatura ambientale. Questo strumento ha un ruolo cruciale in diverse applicazioni, come l'analisi dei consumi energetici effettivi di un edificio, il confronto tra previsioni e dati reali, e la valutazione dell'efficacia di interventi di miglioramento energetico mediante l'analisi della correlazione tra la temperatura esterna e la potenza termica assorbita dall'edificio.

La sua creazione si basa sull'assunto che il consumo energetico per il riscaldamento di un edificio diminuisca all'aumentare della temperatura esterna. Per realizzare la firma energetica, si rappresenta il consumo in funzione della temperatura esterna per ogni mese o settimana durante un periodo di osservazione specifico. Di solito, i dati tendono a distribuirsi in modo approssimativamente lineare, riflettendo come il sistema edificio-impianto risponda alle variazioni della temperatura esterna.

Questa linea, ottenuta attraverso una semplice analisi statistica, è chiamata "firma energetica" ed è la curva che meglio si adatta ai dati reali, mostrando quindi il reale comportamento energetico dell'edificio.

Solitamente, la firma energetica viene costruita utilizzando dati di consumo settimanali poiché garantiscono una distribuzione uniforme dei punti. Tuttavia, è altresì possibile esaminare la firma energetica su intervalli temporali diversi, in base alle specifiche esigenze, come il periodo tra le letture del contatore del combustibile o altri fattori rilevanti.

La pendenza della retta rappresenta una relazione diretta con fattori proporzionali alla temperatura esterna, come la dispersione termica dell'edificio e le perdite proporzionali dell'impianto. L'attuazione di interventi di miglioramento energetico, come l'isolamento termico dell'involucro edilizio o l'ottimizzazione dell'impianto, dovrebbe comportare

una riduzione della pendenza della firma energetica. Inoltre, il confronto tra le firme energetiche di anni successivi consente di valutare se il sistema edificio-impianto funziona in modo corretto ed efficiente nel corso del tempo.

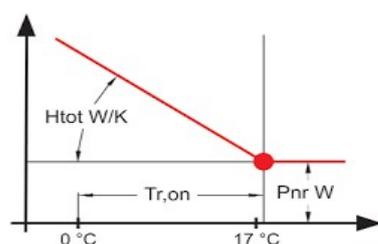


Fig. 51 Esempio di una firma energetica

Ma l'approccio che permette di determinare la congruenza tra i dati reali e quelli simulati, è strutturato con metodologie quantitative più rigorose, come raccomandato dalla Guideline 14 dell'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

In questo contesto, vengono comunemente adottati due indici statistici fondamentali: l'Errore di Bias Medio (MBE) e il Coefficiente di Variazione dell'Errore Quadratico Medio (CVRMSE), come spiegato nell'Annex C della stessa Guideline 14.

Il calcolo dell'MBE comporta la sottrazione del valore energetico simulato dal valore energetico misurato per ciascuna unità di tempo nell'intervallo considerato, come ad esempio un mese o un anno, seguendo le indicazioni fornite nella Guideline 14. Le differenze risultanti vengono sommate e poi divise per la somma totale dell'energia misurata nello stesso arco di tempo. Il risultato è espresso come un errore percentuale, offrendo un quadro chiaro di quanto il valore energetico previsto dal modello si avvicini al valore effettivamente misurato su base mensile e/o annuale, secondo i criteri stabiliti dalla Guideline 14.

D'altra parte, l'Errore Quadratico Medio (RMSE) misura la dispersione o la variabilità dei dati, seguendo le direttive dell'Annex C della Guideline 14. Per ciascun intervallo di tempo, si calcola l'errore o la discrepanza tra i dati

simulati e quelli misurati, elevandolo al quadrato. La somma dei quadrati degli errori viene poi valutata per ciascun mese e per l'intero periodo considerato, e viene divisa per il numero di punti utilizzati per calcolare l'errore medio. La radice quadrata di questo valore produce l'RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(S - M)^2}{n}}$$

Dove:

- M sono i valori osservati o misurati.
- S sono i valori previsti o simulati dal modello.
- n è il numero totale di campioni o osservazioni.

Il CVRMSE, ottenuto seguendo le raccomandazioni dell'Annex C, si ottiene dividendo l'RMSE per la media dei dati misurati, anch'esso espresso come percentuale.

$$CV(RMSE) = \frac{RMSE}{\bar{M}} \%$$

Dove:

- \bar{M} è la media dei valori osservati o misurati

Questo indice consente di valutare quanto bene il modello si adatti ai dati, con valori inferiori che indicano una migliore calibrazione, seguendo gli standard definiti nella Guideline 14 dell'ASHRAE.

Solitamente, per considerare un modello calibrato, si richiede che l'MBE rientri nell'intervallo di $\pm 10\%$ e il CVRMSE nell'intervallo di $\pm 30\%$ quando si utilizzano dati orari. In alternativa, con dati mensili, si richiede un MBE nell'intervallo di $\pm 5\%$ e un CVRMSE nell'intervallo di $\pm 15\%$. In sintesi, l'MBE valuta la discrepanza media tra i valori simulati e quelli misurati, mentre il CVRMSE esamina la dispersione dei dati rispetto alla media misurata, seguendo le raccomandazioni della Guideline 14, che rappresenta un punto di riferimento nell'ambito delle valutazioni energetiche.

9.3 Calibrazione Riscaldamento

Per la calibrazione del servizio di riscaldamento si sono seguiti i due approcci sopra descritti. L'approccio grafico, eseguito essenzialmente con l'ausilio delle firme energetiche, ha permesso di capire quali fossero gli elementi da modificare; mentre l'approccio statistico ha permesso di quantificare lo scostamento e successivamente di validare la calibrazione del modello.

In totale si possono contare tre modifiche principali che sono state effettuate sul modello, tralasciando modifiche intermedie, utili a comprendere se il percorso seguito fosse ottimale.

Il grafico nella figura 52 mostra lo scostamento tra la firma energetica ottenuta dalla prima simulazione e i dati misurati:

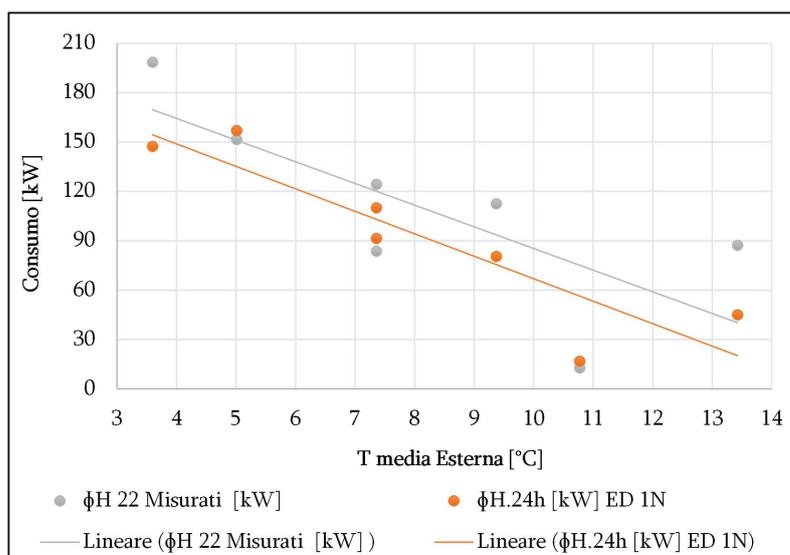


Fig. 52 Confronto tra la prima firma energetica e i dati misurati

Dove ED 1N indica la prima simulazione.

Da questo grafico si nota innanzitutto una traslazione verso il basso della curva, il che denota consumi ridotti dovuti probabilmente ad una

Temperatura di set point errata, e la pendenza diversa tra le due che è giustificabile con un'errata modellazione dell'efficienza dell'impianto.

A scopo di riepilogo si allega la tabella con i valori dei consumi in relazione al mese di osservazione:

Mese	θ_{est} [°C]	ϕH_{22} Reali [kW]	ϕH_{24h} [kW] ED 2N
Gennaio	3.6	198.4	147.3
Febbraio	7.4	124.2	109.9
Marzo	9.4	112.4	80.4
Aprile	13.4	87.1	44.9
Ottobre	10.8	12.7	16.7
Novembre	7.4	83.5	91.3
Dicembre	5.0	151.5	157.0

La prima variazione è stata sulla temperatura di set point. Inizialmente, infatti, la temperatura di riscaldamento era stata fissata a 20°C per tutta la stagione. In realtà, però, nel periodo ottobre-dicembre del 2022 la temperatura è stata ridotta a 19°C per ottemperare alle richieste nazionali in ottica di riduzione dei consumi energetici, questo ovviamente ha un impatto notevole sulla firma energetica.

Dalla modifica successiva si ottiene la firma energetica in figura 53:

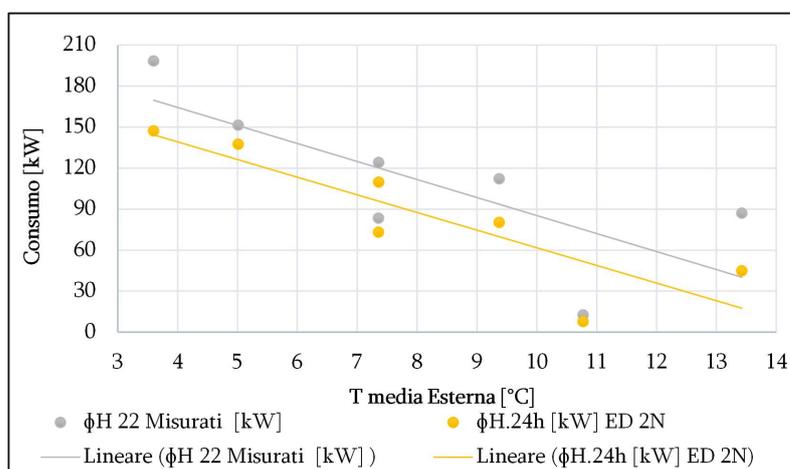


Fig. 53 Confronto tra la seconda firma energetica e i dati misurati

Si inseriscono i valori di consumo anche per la seconda firma energetica

Mese	θ_{est} [°C]	ϕH 22 Reali [kW]	ϕH .24h [kW] ED 3N
Gennaio	3.6	198.4	147.3
Febbraio	7.4	124.2	109.9
Marzo	9.4	112.4	80.4
Aprile	13.4	87.1	44.9
Ottobre	10.8	12.7	7.8
Novembre	7.4	83.5	73.4
Dicembre	5.0	151.5	137.6

Come si può notare i valori, specialmente a basse temperature esterne tendono ad essere molto vicini a quelli misurati. Diversamente accade per i valori di aprile e ottobre, per i quali lo scostamento è evidente.

Per le motivazioni sopra evidenziate e per cercare di uguagliare la pendenza delle due curve, è stato necessario modificare l'efficienza dell'impianto.

Si è peggiorato l'impianto, e sono state modificate le ipotesi iniziali, infatti in fase di modellazione, molti dei dati inseriti erano stati ipotizzati perché non disponibili, e quindi il margine di scelta sulle caratteristiche da peggiorare era ampio, la prima modifica ha riguardato il rendimento dell'impianto ed in particolare l'isolamento delle tubazioni.

Da questa modifica si è ottenuto la firma energetica in figura 54:

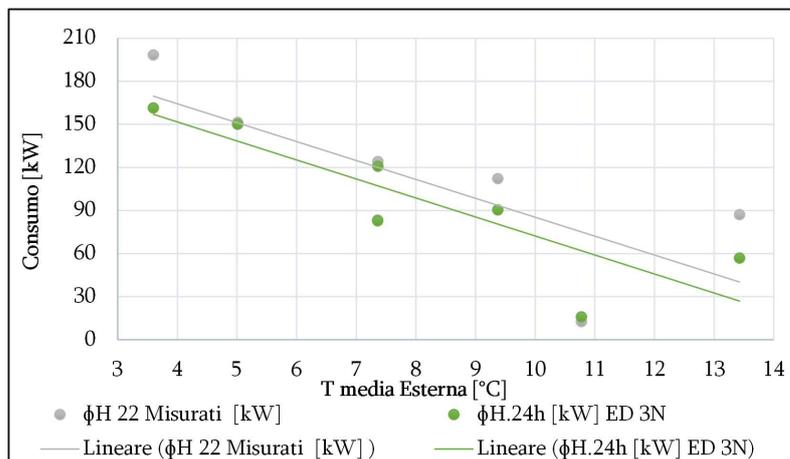


Fig. 54 Confronto tra la terma firma energetica e i dati misurati

I valori ottenuti dalla terza firma energetica sono i seguenti:

Mese	θ_{est} [°C]	ϕH 22 Reali [kW]	ϕH .24h [kW] ED 4N
Gennaio	3.6	198.4	158.6
Febbraio	7.4	124.2	119.8
Marzo	9.4	112.4	88.0
Aprile	13.4	87.1	51.4
Ottobre	10.8	12.7	16.8
Novembre	7.4	83.5	97.4
Dicembre	5.0	151.5	169.0

Dai valori tabellati è possibile osservare la differenza presenti tra dati reali e dati simulati, questa differenza è dovuta ad un'erronea valutazione del profilo della temperatura di set point.

Per compensare questa differenza, è stato aumentato il consumo per il periodo tra gennaio e aprile, aumentando la temperatura di set point in quel periodo a 21°C, e questo ha permesso di ottenere la firma ED 4N, in figura 55, sulla quale poi sono stati valutati gli indici statistici per verificare l'effettiva calibrazione del modello.

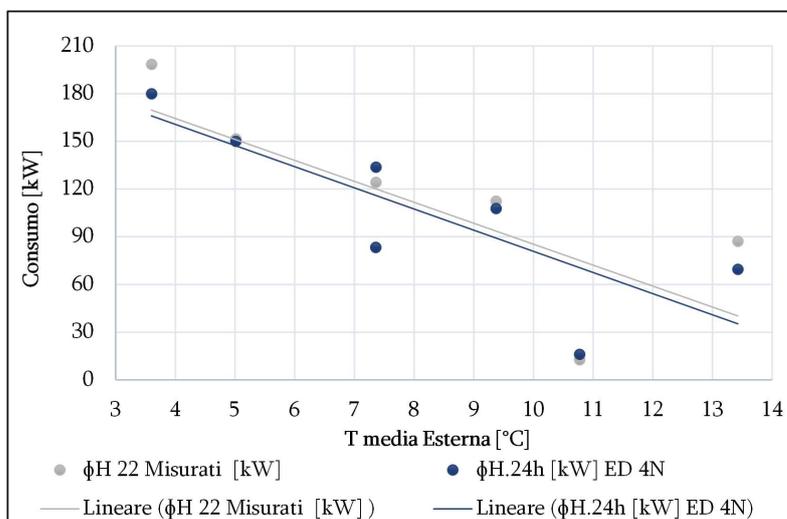


Fig. 55 Confronto tra l'ultima firma energetica e i dati misurati

	Simulati	Misurati	Simulati/ Misurati %	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	13942	15379	91%	1437	3.3%	666	8.5%
Febbraio	9364	8697	108%	-667			
Marzo	8349	8708	96%	359			
Aprile	2607	3268	80%	660			
Maggio	0	0					
Giugno	0	0					
Luglio	0	0					
Agosto	0	0					
Settembre	0	0					
Ottobre	681	540	126%	-142			
Novembre	6242	6266	100%	23			
Dicembre	11633	11745	99%	112			

Nella tabella sono stati valutati, come precedentemente descritto, gli indici statici, a partire dai consumi in standard metri cubi di gas metano.

Dai valori di MBE e CVRMSE ottenuti, il modello può essere ritenuto correttamente calibrato.

9.4 Calibrazione Integrazioni Riscaldamento

La calibrazione delle integrazioni invece è stata ottenuta modificando le percentuali di funzionamento, di seguito riportate.

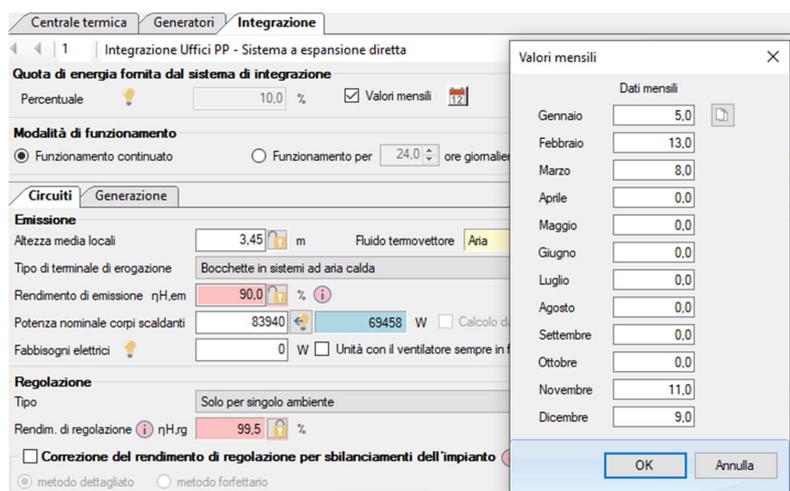


Fig. 56 Percentuali di funzionamento mensili

Si è ipotizzato inizialmente un valore pari al 10% per tutti i mesi, successivamente questo valore è stato modificato e adattato mensilmente, per ridurre lo scostamento tra i dati misurati, che in questo caso erano stati ricostruiti come descritto nel capitolo 8.1, e i dati simulati con il software. Quanto segue è il valore espresso in kWh di consumo per le integrazioni nei mesi di funzionamento.

	GEN	FEB	MAR	NOV	DIC	Somma
Lab PT	140	147	66	39	123	515
Uffici PT	205	334	166	187	304	1196
Lab PP	132	131	51	31	127	472
Uffici PP	364	543	220	255	551	1933
Uffici PS	463	709	312	370	672	2526
Lab PS	522	519	186	193	538	1958

Per valutare gli indici statistici i consumi sono stati aggregati, distinguendo unicamente i laboratori dagli uffici.

UFFICI	Simulati	Misurati	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	1032	1217	185	1.2%	113.6	9.9%
Febbraio	1586	1417	-169			
Marzo	698	733	35			
Novembre	812	805	-7			
Dicembre	1527	1548	21			

LABORATORI	Simulati	Misurati	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	794	764	-30	-0.4%	22.5	3.8%
Febbraio	797	773	-24			
Marzo	303	334	31			
Novembre	263	274	11			
Dicembre	788	788	0			

9.5 Calibrazione ACS

Per la calibrazione dell'ACS non sono state eseguite modifiche ai dati già dichiarati nei capitoli precedenti, essendo in fatti dei dati completamente ricostruiti.

Si riporta lo studio degli indici statistici solo per completezza.

	Simulati	Misurati	Simulati/ Misurati %	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	3145	3203	98%	59	0.2%	233.3	7.6%
Febbraio	2837	3203	89%	366			
Marzo	3138	3203	98%	65			
Aprile	3035	3203	95%	169			
Maggio	3131	3393	92%	262			
Giugno	3026	2760	110%	-266			
Luglio	3127	2657	118%	-470			
Agosto	3126	2874	109%	-252			
Settembre	3029	2877	105%	-152			
Ottobre	3134	3203	98%	69			
Novembre	3038	3203	95%	166			
Dicembre	3143	3203	98%	61			

9.6 Calibrazione Raffrescamento

La calibrazione dell'impianto di raffrescamento per certi aspetti è molto simile a quella seguita per le integrazioni del riscaldamento. L'unica differenza principale è dovuta alla ricostruzione dei dati per i consumi elettrici. Infatti, le relazioni principali sulle quali si basa l'intera ricostruzione, è che il rapporto che intercorre tra i consumi notturni e diurni non si modifichi, e che il totale non cambi perché noto. Per chiarire meglio la prima relazione può essere utile un esempio.

Consideriamo i consumi di maggio, nella tabella che segue, sono confrontati il consumo diurno e quello notturno.

Maggio (2022)	Diurno	Notturmo
Luci	8.4	4.1
Unità autonome (Laboratori)	0.0	0.0
Unità autonome (Uffici)	0.0	0.0
Unità autonome (Locali celle frigo)	2.1	0.6
Cappe	10.1	4.9
Strumentazione	42.0	33.6
Tot	62.6	43.2

È importante che al variare dei valori dei singoli elementi (luci, cappe, strumentazione, ecc...) il consumo notturno del singolo non diventi superiore al corrispettivo diurno.

In seguito a questa relazione quindi, qualsiasi consumo impostato per il raffrescamento, deve far sì che non cambi la relazione tra diurno e notturno. Conoscendo con esattezza il totale degli assorbimenti elettrici e le potenze installate di tutti gli elementi, tranne che per la strumentazione, della quale si ha minore certezza, si è scelto di rendere la strumentazione l'unico elemento variabile (ottenibile come differenza tra i consumi totali e quelli degli altri elementi).

In funzione di ciò, se si aumenta il consumo per raffrescamento nel diurno, l'unico valore che si può ridurre è quello legato alla strumentazione, che deve essere comunque in linea con il valore medio degli altri mesi, e non scendere al di sotto del valore fissato nel notturno.

Alla luce di ciò si può procedere con la valutazione degli indici statistici dei tre locali:

Locali Frigo	Simulati	Misurati	Simulati/ Misurati %	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	51	72	71%	-21	-3.1%	63.2	9.9%
Febbraio	199	163	122%	36			
Marzo	344	361	95%	-17			
Aprile	581	572	102%	9			
Maggio	921	985	93%	-64			
Giugno	1097	1033	106%	64			
Luglio	1234	1281	96%	-47			
Agosto	1114	1281	87%	-167			
Settembre	821	763	108%	58			
Ottobre	687	722	95%	-35			
Novembre	297	349	85%	-52			
Dicembre	76	72	105%	4			

Uffici	Simulati	Misurati	Simulati/ Misurati %	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	0	0	0	0	1.5%	39.9	2.0%
Febbraio	0	0	0	0			
Marzo	0	0	0	0			
Aprile	0	0	0	0			
Maggio	0	0	0	0			
Giugno	1806	1754	103%	52			
Luglio	3608	3608	100%	0			
Agosto	2270	2210	103%	60			
Settembre	440	432	102%	8			
Ottobre	0	0	0	0			
Novembre	0	0	0	0			
Dicembre	0	0	0	0			

Laboratori	Simulati	Misurati	Simulati/ Misurati %	Misurati - Simulati	MBE	RMSE	CV(RMSE)
Gennaio	0	0	0	0	0.6%	92.6	1.6%
Febbraio	0	0	0	0			
Marzo	0	0	0	0			
Aprile	0	0	0	0			
Maggio	0	0	0	0			
Giugno	6176	6208	99%	-32			
Luglio	8797	8722	101%	75			
Agosto	6577	6421	102%	156			
Settembre	1378	1435	96%	-57			
Ottobre	0	0	0	0			
Novembre	0	0	0	0			
Dicembre	0	0	0	0			

10. Conclusione

Nel quadro della mia ricerca, l'obiettivo principale è stato creare un modello energetico per un edificio e calibrarlo per riflettere accuratamente la situazione attuale. I risultati della calibrazione hanno dimostrato che il modello è in grado di fornire risultati molto accurati, in particolare per il servizio di riscaldamento per il quale si è riscontrato un errore medio del 3.3%, ampiamente nei limiti del 10% per la calibrazione oraria secondo le linee guida dell'ASHRAE.

Tuttavia, è importante notare che questo errore può essere influenzato da una serie di fattori, in particolare la disponibilità e la qualità dei dati, le caratteristiche specifiche dell'edificio e le condizioni climatiche.

Nonostante alcune limitazioni, il modello può essere utilizzato per analizzare i possibili interventi di efficientamento energetico con un ottimo grado di affidabilità.

Ad esempio, l'intervento di sostituzione degli infissi, che nel caso in questione presentano una certa criticità, essendo costituiti principalmente da un vetro singolo con telaio in alluminio.

Il miglioramento dell'isolamento termico dei componenti opachi della struttura, ad esempio con insufflaggi per poter sfruttare la presenza di intercapedini vuote nei muri perimetrali.

Inoltre, sarebbe utile esaminare una strategia di controllo più efficace per la ventilazione, considerando le esigenze particolari legata alle alte portate di estrazione dalle cappe di aspirazione dei laboratori.

BIBLIOGRAFIA

[1]<https://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/paris-agreement/>

[2]https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sys_ind/macro/31

[3]https://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_it

[4]<https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>

[5]<https://www.bimportale.com/ec700/>

[6] Manuale d'uso_EC700

[7] Linee Guida per la diagnosi energetica degli edifici pubblici
<https://www.energiaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=178&catid=43&Itemid=101>

[8] V. CORRADO, I. BALLARINI, Energy audit and certification of buildings - Appunti del Corso, Politecnico di Torino, A.A. 2022/2023

[9]https://www.ediliziaenergetica.it/images/EDENGROUP/Documentazione/Approfondimenti/Inarcos_734_Modellazione-energetica-dinamica_Pifferi-Subazzoli

[10] ASHRAE Annex C Guideline 14 - 2014.