



Ricerca di Sistema elettrico

Prove sperimentali con impianto ibrido
per l'autoconsumo collettivo e analisi
della nuova piattaforma utente applicata
a condomini con sistemi di
contabilizzazione individuale smart

B. Di Pietra, A.L. Palma, L. La Notte, E. Monno,
A.Ciappa, G. Landi, M. De Monaco

PROVE SPERIMENTALI CON IMPIANTO IBRIDO PER L'AUTOCONSUMO COLLETTIVO E ANALISI DELLA NUOVA PIATTAFORMA UTENTE APPLICATA A CONDOMINI CON SISTEMI DI CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE SMART

B. Di Pietra, A.L. Palma, L. La Notte, E. Monno, A. Ciappa, G. Landi, (ENEA)
M. De Monaco (Uni Cassino)

Con il contributo di: E. Allegrini, G. Azzolini, F. Erice, A. Martelli, D.A. Matera, D. Prisinzano

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *3 - Componenti e impianti innovativi per incrementare l'efficienza energetica e l'uso delle fonti rinnovabili negli edifici*
Linea di attività 3.3: *Prove sperimentali con impianti ibridi e analisi consumi termini individuali nei condomini con sistemi smart metering*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi

Responsabile del Work package: Biagio Di Pietra

Indice

1	LAVORI DI CONNESSIONE DELL'IMPIANTO TERMICO DEL SISTEMA SPERIMENTALE S.A.P.I.EN.T.E. AD UNA SEZIONE DELL'EDIFICIO F-83	8
1.1	SINTESI DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI ADOTTATE	8
1.2	LAVORI DI CONNESSIONE DELLA SEZIONE TERMICA DEL SISTEMA SAPINETE ALLA COLONNA MONTANTE DELL'EDIFICIO F83	9
2	PROVE SPERIMENTALI CON L'IMPIANTO S.A.P.I.EN.T.E.	11
2.1	DESCRIZIONE DEGLI AGGIORNAMENTI INERENTI ALLE INTERFACCE DI CONTROLLO DEL WEB SERVER	11
2.2	PROVE SPERIMENTALI CON SISTEMA S.A.P.I.EN.T.E. IN CONDIZIONE DI FUNZIONAMENTO REALE	15
2.2.1	<i>Prova n°1: Prima prova di inseguimento dell'impianto fotovoltaico reale e alimentazione della colonna montante dell'edificio F-83</i>	17
2.2.2	<i>Prova n°2: Fornitura potenza termica alla colonna montante dell'edificio F-83 – assenza controllo ad inseguimento fotovoltaico</i>	21
2.2.3	<i>Prova n°3: Fornitura potenza termica alla colonna montante dell'edificio F-83 –applicazione controllo ad inseguimento fotovoltaico del tipo power to heat</i>	25
2.2.4	<i>Prova n°4: Profilo di carico termico tipo residenziale controllo - inseguimento fotovoltaico non applicato 30</i>	30
2.2.5	<i>Profili di carico elettrico d'utente utilizzati per le prove sperimentali con il sistema SAPIENTE</i>	35
2.2.6	<i>Prova n°5: Sperimentazione con profilo di carico termico residenziale, impianto fotovoltaico emulato e carico elettrico non ottimizzato</i>	36
2.2.7	<i>Prova n°6: impianto fotovoltaico emulato, carico elettrico ottimizzato con logiche Demand-Response e carico termico con profilo di tipo residenziale</i>	41
2.2.8	<i>Prova n°7: Inseguimento del fotovoltaico reale e attivazione resistenze elettriche integrative</i>	45
2.2.9	<i>Prova n°8: prova con impianto termo-fotovoltaico e inverter ibrido con supercondensatori</i>	50
2.3	SISTEMA S.A.P.I.EN.T.E. :ANALISI COMPARATA PROVE SPERIMENTALI –SIMULAZIONI TEORICHE	57
3	STUDIO DI IMPATTO DELLE CONFIGURAZIONI AUC (AUTOCONSUMO COLLETTIVO) CONDOMINIALE CON SISTEMA IBRIDO TIPO S.A.P.I.EN.T.E. SUL TERRITORIO REGIONALE E NAZIONALE	60
3.1	DEFINIZIONE DELLO STUDIO	60
3.2	RISULTATI DELLO STUDIO DI IMPATTO NAZIONALE E REGIONALE OTTENUTO DALL'APPLICAZIONE DEL MODELLO AUTOCONSUMO COLLETTIVO CON SISTEMA IBRIDO TIPO S.A.P.I.EN.T.E.	64
4	ANALISI DELLA PIATTAFORMA WEB PER MIGLIORARE LA CONSAPEVOLEZZA DEI CONSUMI TERMICI NEI CONDOMINI DOTATI DI CONTABILIZZAZIONE INDIVIDUALE NEI CONDOMINI	68
4.1	SINTESI DEL PORTALE E ANALISI DEGLI INDICATORI GRAFICI IN ALCUNI GIORNI TIPO PER I TRE CONDOMINI MONITORATI	68
4.1.1	<i>Condominio 1 - Nord Italia</i>	71
4.1.2	<i>Condominio 2 - Centro Italia</i>	75
4.1.3	<i>Condominio 3 – Nord Italia</i>	78
4.2	ANALISI E CONFRONTO DEGLI INDICI DI QUALITÀ DEI CONSUMI, DELLE TEMPERATURE E DELLA CO ₂ PER ALCUNI GIORNI TIPO RAPPRESENTATIVI	83
4.3	ANALISI DEI POSSIBILI MIGLIORAMENTI DELLA METODOLOGIA DI STIMA DEI CONSUMI ATTESI IMPLEMENTATA NEL PORTALE WEB	89
4.3.1	<i>Introduzione</i>	89
4.3.2	<i>Sviluppi degli studi effettuati nelle precedenti annualità</i>	89
4.3.3	<i>Sintesi delle analisi eseguite</i>	91
4.4	SVILUPPI DELLA METODOLOGIA DI STIMA DEI CONSUMI	101
5	DESCRIZIONE DELLA PRIMA VERSIONE DEL FOGLIO DI CALCOLO DELLO SMART READINESS INDICATOR ADATTATO ALL'ANALISI DI MERCATO NAZIONALE DELLE TECNOLOGIE INTELLIGENTI	105
5.1	INTRODUZIONE	105
5.2	DESCRIZIONE MODULO EDIFICIO DI RIFERIMENTO	107
5.3	DESCRIZIONE MODULO CHECKLIST UTILIZZATO PER LA SELEZIONE DEI SERVIZI TECNICI E DEI LIVELLI FUNZIONALI DELL'EDIFICIO DA VALUTARE	109
5.4	MODULO CALCOLO SRI - DEL CALCOLO DELLO SMART READINESS INDICATOR E RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI	111
6	ANALISI DEI POSSIBILI SCENARI DI MIGLIORAMENTO DELLO SRI DI UN EDIFICIO UFFICI REALE	115

6.1	INDIVIDUAZIONE DEL CASO STUDIO	115
6.1.1	<i>Scenario base - stato attuale</i>	116
6.1.2	<i>Scenario 1 - ipotesi di media intelligenza</i>	116
6.1.3	<i>Scenario 2 - ipotesi di alta intelligenza</i>	117
6.1.4	<i>Risultati e analisi costi/benefici dei potenziali applicativi</i>	119
7	CONCLUSIONI	120
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	122

Sommario

Nel presente rapporto tecnico vengono descritti gli studi svolti e i risultati ottenuti nell'ambito del Piano Triennale dell'accordo di Programma ENEA – MiTE sulla Ricerca del Sistema Elettrico relativamente alla Linea di Attività 3.3 del Progetto di Ricerca 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti".

Le attività descritte nei seguenti paragrafi sono state svolte proseguendo gli studi avviati nella precedente linea di attività (LA 3.2) e si possono suddividere in quattro principali sessioni: i) lavori di connessione del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E a una sezione dell'edificio uffici F83 del Centro Ricerche ENEA Casaccia, ii) prove sperimentali in condizione di funzionamento reale del sistema ibrido con i nuovi componenti impiantistici e le nuove logiche di controllo, iii) analisi dei risultati ottenuti dall'utilizzo da parte degli utenti della piattaforma di monitoraggio dei consumi termici nei condomini dotati di impianti termici centralizzati e sistemi di contabilizzazione individuale del calore; iii) proposta di un nuovo foglio di calcolo per lo Smart Readiness Indicator (SRI) adattato al contesto nazionale.

Nel corso della linea di attività la sezione termica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. è stata posta a servizio di una porzione dell'edificio uffici F83, ubicato a pochi metri dallo stesso impianto, alimentando una colonna montante dell'edificio a cui sono connessi nove ventilconvettori. Con questa nuova configurazione sono state monitorate le prestazioni energetiche del sistema sperimentale in reali condizioni di funzionamento valutando gli indici di autosufficienza energetica e di autoconsumo ottenuti durante le prove.

Sono state condotte inoltre nuove sessioni sperimentali per provare il sistema di controllo del tipo power to heat e i nuovi sistemi di generazione e accumulo installati nella precedente linea di attività.

Parallelamente all'attività sperimentale è stata condotta un'analisi su scala regionale e nazionale sui potenziali impatti derivanti dalla diffusione di modelli di micro comunità energetiche realizzati con sistemi ibridi di tipo S.A.P.I.EN.T.E. in contesti condominiali dotati di impianti termici centralizzati. Lo studio è stato condotto utilizzando i risultati di simulazione dei diversi scenari di gestione della configurazione Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale descritti nel Report ENEA RdS/PTR2021/127.

Nell'ambito dello studio dei sistemi di contabilizzazione "smart", sono stati analizzati gli indicatori elaborati dalla piattaforma web resa accessibile agli utenti di tre condomini del centro e del nord Italia con impianto termico centralizzato e sistema di contabilizzazione individuale del calore. In particolare per singole unità immobiliari è stato analizzato l'andamento del consumo atteso rispetto al consumo reale, l'andamento delle temperature media giornaliere e della qualità dell'aria (concentrazione di CO₂) valutando come le informazioni fornite giornalmente dalla piattaforma riescono ad informare l'utente sulla qualità dei propri comportamenti energetici e come poterli migliorarli per limitare ulteriormente i consumi.

Inoltre, nel corso della linea di attività in oggetto è stato condotto uno studio per adattare al contesto nazionale il foglio di calcolo dello Smart Readiness Indicator, con l'obiettivo di valorizzare il livello di intelligenza degli edifici su un scala di valori corrispondente allo stato delle attuali tecnologie in commercio.

Nell'ultimo capitolo è stata condotta una analisi tecnico economica per valutare quale possono essere gli interventi necessari e i relativi costi da sostenere per migliorare l'indicatore SRI di un edificio uffici reale che presenta soluzioni impiantistiche tradizionali diffuse sul territorio nazionale

Introduzione

Nell'ambito delle tematiche della Linea di Attività 3.3 del Progetto di Ricerca 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti" dell'accordo di Programma ENEA – MiTE sulla Ricerca del Sistema Elettrico, trova spazio il concetto di autoconsumo di energia, ovvero la possibilità di consumare in loco l'energia elettrica prodotta da un impianto di generazione locale. Dei tre livelli di autoconsumo (individuale, collettivo e di comunità), la linea di attività in oggetto si focalizza su quello collettivo definito dal art. 42-bis del decreto n. 162/2019 e dal D.Lgs. 199/2021 costituito da più consumatori ubicati all'interno di un edificio in cui sono presenti uno o più impianti alimentati da fonti rinnovabili. L'applicazione degli schemi di autoconsumo collettivo favorisce, quindi, un esercizio del sistema elettrico più dinamico ed efficiente, con maggiore penetrazione delle fonti rinnovabili e implicazioni positive dal punto di vista economico, ambientale e sociale.

Nel corso della linea di attività in oggetto il sistema S.A.P.I.EN.T.E. è stato posto a servizio di una sezione dell'edificio F83, adibito ad uffici, ubicato a pochi metri dallo stesso impianto. In particolare, è stata realizzata la connessione tra la sezione termica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. e una colonna montante dell'edificio che alimenta nove ventilconvettori in altrettanti uffici. Nel capitolo 1 è riportata la descrizione dei lavori di installazione con i dettagli del posizionamento dei singoli componenti.

Nel capitolo 2 sono riportate le prove sperimentali del sistema S.A.P.I.EN.T.E. connesso alla colonna montante dell'edificio e funzionante applicando alla pompa di calore un sistema di controllo del tipo power to heat per inseguire la potenza elettrica generata dal nuovo impianto fotovoltaico locale da 11,4 kWp.

Nello stesso capitolo si riportano i risultati delle specifiche sessioni sperimentali per testare nel contesto di microcomunità energetiche le configurazioni del sistema S.A.P.I.EN.T.E. emulando i profili di carico termico ed elettrico tipiche di un piccolo condominio; in particolare sono stati analizzati i benefici in termini di incremento dell'indice di autoconsumo e autosufficienza energetica integrando il controllo power to heat con le logiche del tipo Demande Responsetelle applicate al carico elettrico del condominio; quest'ultimo prevede la possibilità di spostare i consumi programmabili degli utenti condominiali nelle ore di maggiore produzione del campo fotovoltaico.

Specifiche sessioni sperimentali sono state condotte per provare e caratterizzare il nuovo impianto termofotovoltaico da 6 kWp con produzione contestuale di energia elettrica ed energia termica per acqua calda sanitaria e il nuovo sistema di accumulo a supercondensatori con inverter ibrido.

Parallelamente alle attività sperimentali, nel terzo capitolo è descritto lo studio sull'impatto che potrebbe avere la potenziale diffusione su scala regionale e nazionale dei modelli di micro comunità energetiche condominiali realizzati con sistemi ibridi di tipo S.A.P.I.EN.T.E. Lo studio è stato condotto utilizzando i risultati di simulazione dei diversi scenari di gestione della configurazione Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale descritti nel Report ENEA RdS/PTR2021/127.

Nell'ambito dello studio dei sistemi di contabilizzazione "smart", è stata condotta una analisi dei primi risultati ottenuti dalla piattaforma web realizzata nella precedente linea di attività per migliorare la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici. In particolare la nuova piattaforma è stata resa accessibile agli utenti di tre condomini del centro e del nord Italia i quali vengono informati giornalmente sulla qualità dei consumi e del comfort ambientale con indicatori numerici e grafici semplificati; la piattaforma calcola giornalmente gli indicatori grazie alla tele lettura dei sistemi di contabilizzazione individuale del calore e dei sensori di temperatura e CO₂ presenti in diversi ambienti delle singole unità immobiliari dei condomini monitorati.

Una specifica analisi è stata effettuata per valutare come migliorare la stima degli indicatori di benchmark per informare in modo più corretto possibile l'utente su quali dovrebbero essere i consumi ideali del proprio appartamento.

Inoltre, nel corso della linea di attività in oggetto, è stata condotta una prima proposta del foglio di calcolo dello Smart Readiness Indicator (SRI) adattato al contesto nazionale e basato sul catalogo dei servizi definito nella precedente linea di attività a seguito dell'analisi di mercato che ha consentito di identificare la corrispondenza tra lo stato delle attuali tecnologie in commercio ed applicabili nel parco edilizio italiano con i livelli di funzionalità associati a ciascun servizio tecnico proposto. Il capitolo 5 descrive, quindi, i tre moduli

principali del software proposto per il calcolo dello SRI (edificio di riferimento, modulo checklist e modulo calcolo) con le relative pagine.

Nell'ultimo capitolo è stata condotta una analisi tecnico economica per valutare quale possono essere gli interventi necessari e i relativi costi da sostenere per migliorare l'indicatore SRI di un edificio uffici reale che presenta soluzioni impiantistiche tradizionali diffuse sul territorio nazionale. In particolare sono stati analizzati diversi scenari migliorativi del livello di smartness (media intelligenza e alta intelligenza), ipotizzando interventi concreti e fattibili sia dal punto di vista tecnologico sia commerciale.

1 Lavori di connessione dell'impianto termico del sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. ad una sezione dell'edificio F-83

1.1 Sintesi delle soluzioni progettuali adottate

Come descritto nel report ENEA RdS/PTR2021/127, nella precedente linea di attività è stata progettata la connessione del sistema ibrido sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. - Sistema di Accumulo e Produzione Integrata di ENergia Termica ed Elettrica - ad una delle colonne montanti dell'edificio F-83 del C.R. ENEA di Casaccia, come indicato nello schema di Figura 1.

La colonna montante individuata (Montante termico 1 di Figura 1) è installata nella parete dell'edificio a pochi metri dall'impianto SAPIENTE e alimenta 9 ventilconvettori posizionati in altrettanti uffici con una potenza termica totale installata pari a circa 36 kW prossima alla potenza nominale della pompa di calore (PDC) dell'impianto sperimentale.

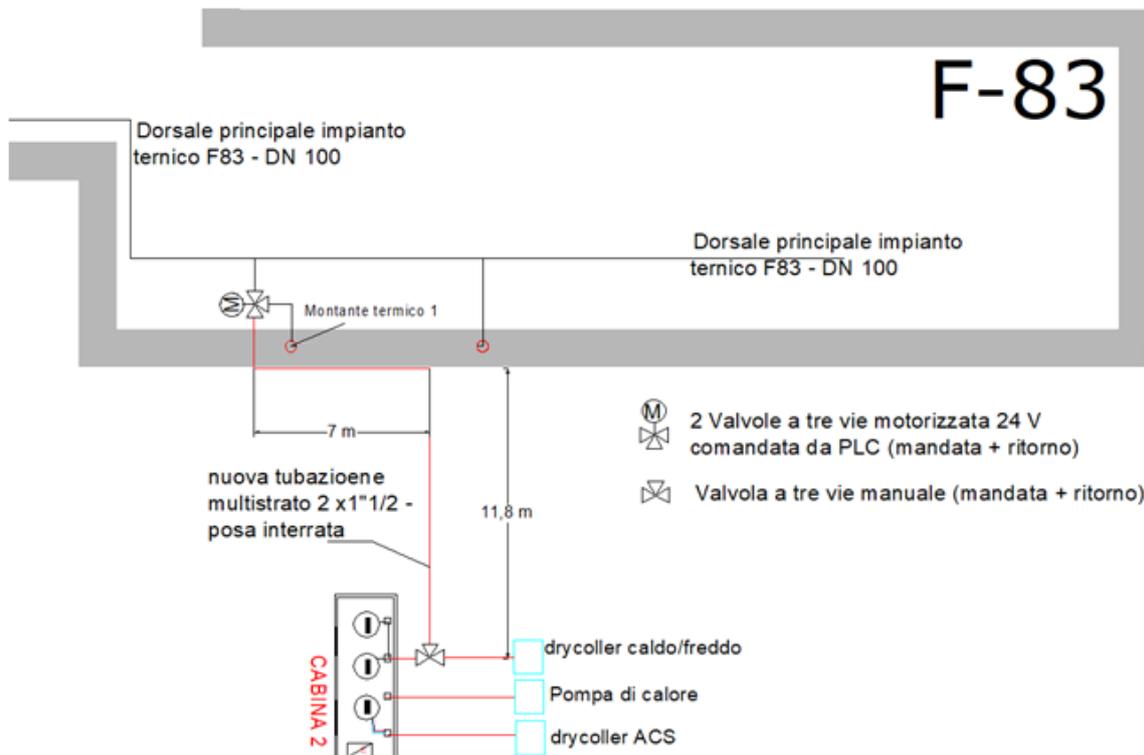


Figura 1: Planimetria con schema connessione impianto termico S.A.P.I.EN.T.E. – montante termico edificio F-83.

Come indicato nello schema di Figura 1, il progetto prevede:

- i) il sezionamento del circuito idraulico che collega il drycooler agli accumuli caldo/freddo posti in cabina 2
- ii) l'installazione di valvole a tre vie manuali per commutare la fornitura di energia termica dal drycooler all'edificio.
- iii) la posa interrata della tubazione multistrato di mandata e ritorno da 1" ½
- iv) il sezionamento della derivazione che collega il montante termico 1 alla dorsale principale
- v) l'installazione di due valvole elettro-attuate comandate dal PLC tramite un segnale 0-10 V per commutare l'alimentazione della colonna montante da centrale termica a impianto S.A.P.I.EN.T.E.

Dal calcoli di verifica idraulica è stata scelto una un circolatore del tipo Wilo Stratos 50/1-16 per compensare le perdite di carico nel circuito accumulo caldo/freddo-colonna montante F83.

1.2 Lavori di connessione della sezione termica del sistema SAPINETE alla colonna montante dell'Edificio F83

Come mostrato nella foto di Figura 2, al fine di realizzare i lavori descritti nel precedente paragrafo, nella zona del piazzale retrostante l'edificio F-83 è stato effettuato uno scavo per la posa delle tubazioni multistrato da 1" ½; lo scavo segue il percorso individuato nello scema di Figura 1 per collegare gli accumuli termici di cabina 2 al montante termico 1.



Figura 2: Lavori in corso per lo realizzazione dello scavo necessario al posizionamento delle tubazioni di collegamento termico dell'impianto S.A.P.I.EN.T.E. al montante termico 1 dell'edificio F-83.

Si riporta nelle seguenti foto il punto all'interno del locale tecnico dell'F83 in cui sono state intercettate le condotte di mandata e ritorno della colonna montante e l'installazione delle valvole a tre vie motorizzate. L'azionamento delle valvole motorizzate commuta l'alimentazione della colonna montante dalla centrale termica dell'F83 agli accumuli termici del sistema S.A.P.I.EN.T.E. Essendo il punto difficilmente raggiungibile e per implementare logiche automatiche di commutazione in funzione delle prestazioni del sistema e delle condizioni a contorno, le valvole sono state scelte del tipo motorizzate e comandate da PLC.



Figura 3: Vista interna ed esterne del locale tecnico e del punto di connessione alla condotta di manda e ritorno della colonna montante con installazione delle due valvole a 3 vie motorizzate

Terminati i lavori idraulici di connessione alla colonna montante è stato richiuso lo scavo ed è stata ripristinata la pavimentazione carrabile come indicato nella foto di Figura 4.



Figura 4: Ripristino dello stato esterno dei luoghi oggetto dello scavo all'interno del quale è stato realizzato il posizionamento delle tubature atte al collegamento termico dell'impianto S.A.P.I.EN.T.E. con una delle colonne montanti dell'edificio F-83.

Come sopra descritto la connessione termica all'F83 è stata derivata dal circuito del drycooler sezionando la tubazione e installando le valvole a tre vie manuali e un filtro defangatore come indicato in Figura 5 e in Figura 6. Per commutare il circuito dai drycooler all'F83 sono state installate valvole a tre vie del tipo manuali in quanto la stessa manovra verrà effettuata solo poche volte durante l'anno e le stesse valvole risultano facilmente accessibili.



Figura 5: Connessione alla tubazione del circuito idraulico drycooler – accumulo caldo/freddo



Figura 6: dettaglio Connessione alla tubazione del circuito idraulico drycooler – accumulo caldo/freddo, installazione valvole a tre vie manuali e filtro defangatore

2 Prove sperimentali con l’impianto S.A.P.I.EN.T.E.

2.1 *Descrizione degli aggiornamenti inerenti alle interfacce di controllo del web server*

Il web server del sistema di controllo dell’impianto S.A.P.I.EN.T.E è stato sottoposto ad upgrade per consentire l’implementazione di logiche di controllo inerenti alle installazioni effettuate nella seconda e terza annualità.

Pagina commutazione carico termico da drycooler a F83

La Figura 7 mostra l’interfaccia relativa alla gestione della connessione termica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. con l’edificio F83. In particolare, una volta isolato il dry cooler di cabina 2 tramite le relative valvole manuali (Figura 7), il comando dell’interfaccia Web permette di azionare le due valvole motorizzate a tre vie (del circuito di mandate e ritorno) per commutare l’alimentazione del montante termico 1 dell’edificio F83 dalla centrale termica alla pompa di calore del sistema S.A.P.I.EN.T.E.. In particolare, il riquadro “F83 Valve” comanda la chiusura e l’apertura delle valvole (rosso valvola in posizione centrale termica, verde in posizione alimentazione da SAPIENTE) e il riquadro “Valve” mostra lo stato effettiva della valvola.

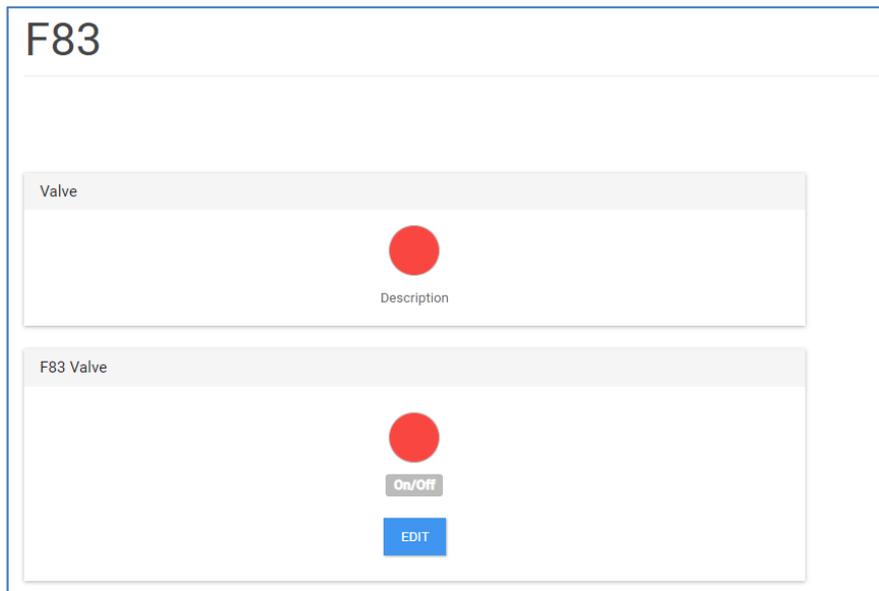


Figura 7: Interfaccia web server relativa alla connessione dell’impianto S.A.P.I.EN.T.E. con l’edificio F83.

Pagina monitoraggio inverter impianto FV 11,4 kWp

La Figura 8 mostra la pagina del web server dedicata alla visualizzazione delle misure lato corrente alternata dell’inverter connesso al nuovo campo fotovoltaico da 11,4 kWp. La pagina web riporta la potenza totale erogata dall’inverter e i singoli valori di tensione, corrente e potenza per ciascuna fase. In particolare la schermata di Figura 8 riporta le misura in una tipica giornata serena di fine inverno alle ore 12.00.

EM INVERTER SMA

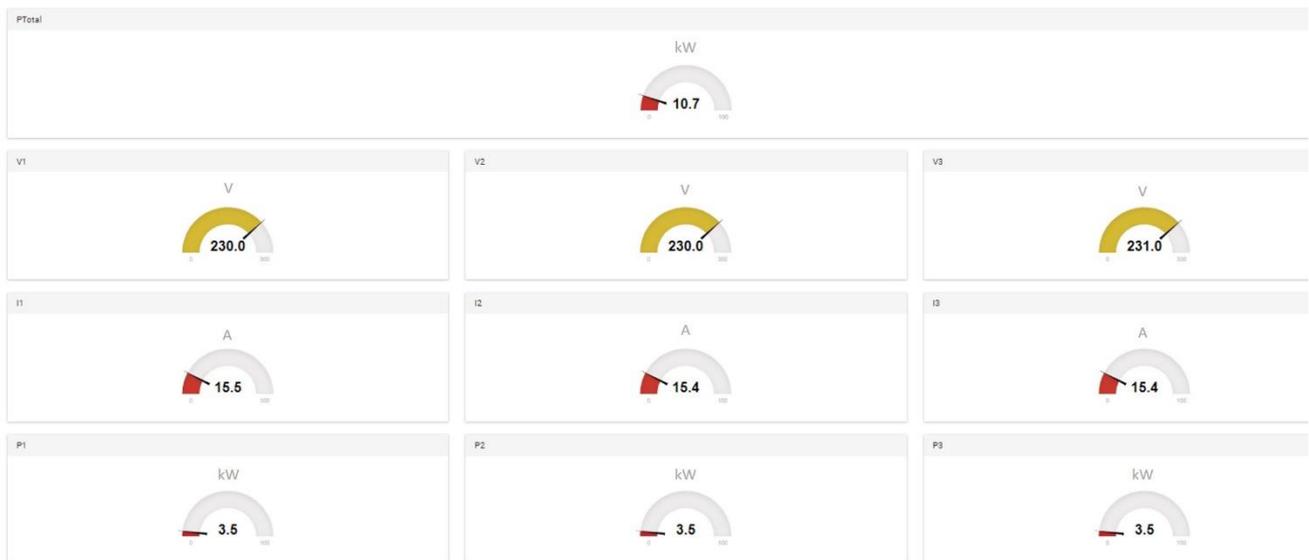


Figura 8: Interfaccia web server relativa al controllo della potenza erogata dall’impianto fotovoltaico.

Pagina monitoraggio termico nuovo impianto PVT

La Figura 9 mostra l’interfaccia di misura delle grandezze termiche del nuovo impianto ibrido termo-fotovoltaico PVT (Hybrid PhotoVoltaic Thermal collectors) costituito da 20 moduli da 320 Wp; l’impianto è

stato installato nella precedente linea di attività presso l'edificio F83 e connesso all'accumulo ACS del sistema S.A.P.I.EN.T.E. In particolare l'interfaccia indica la potenza e l'energia termica totale recuperata dal raffreddamento delle celle fotovoltaiche, la temperatura di mandata e ritorno dal campo solare e la portata dell'acqua tecnica.

EMT FV ->ACS

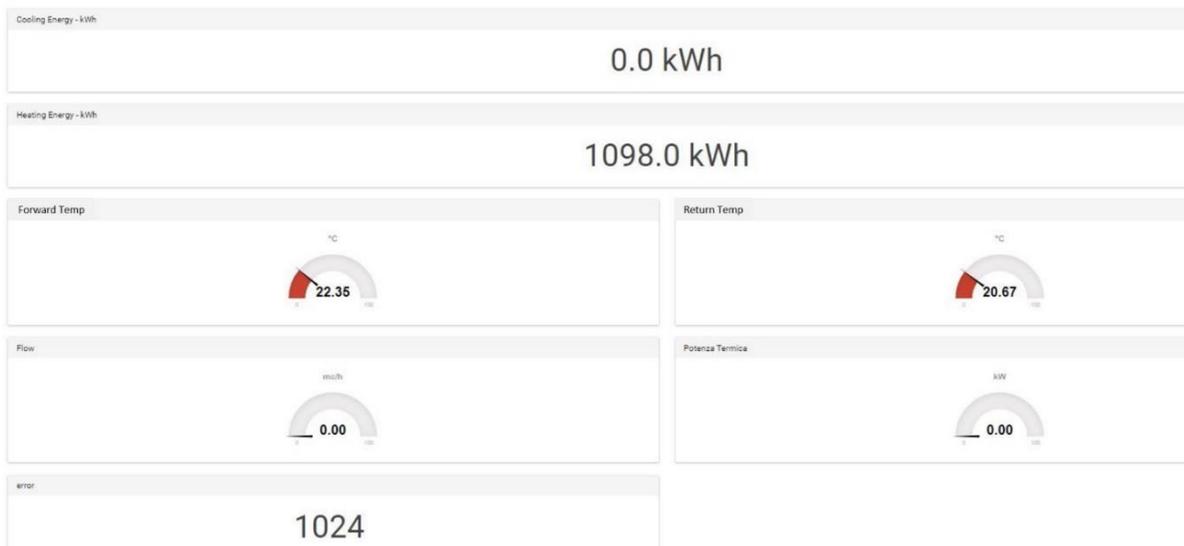


Figura 9: Interfaccia del web server per il monitoraggio delle grandezze termiche del nuovo impianto PVT

Misura dell'irraggiamento solare sul pian dei moduli

Nella pagina "Environment" del web server (Figura 10) è riportata la lettura istantanea dell'irraggiamento solare in W/mq, fornite da un piranometro installato sulla struttura portante dell'impianto PVT.

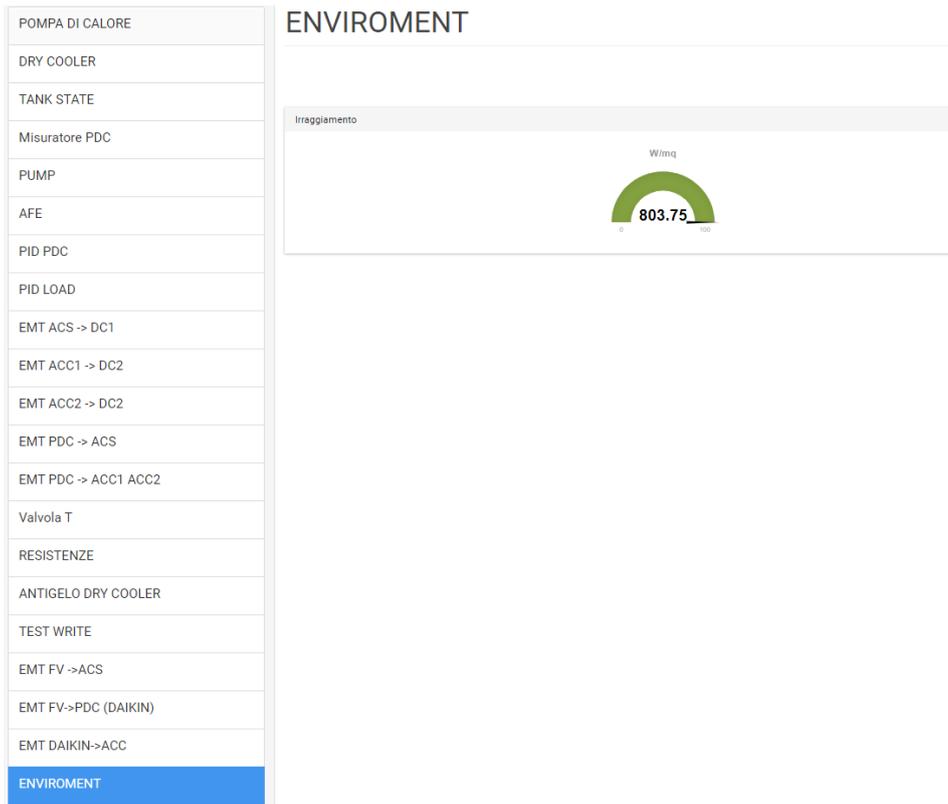


Figura 10: Interfaccia web server del piranometro installato sull'impianto PVT.

Pagina web server per monitoraggio inverter ibrido

La Figura 11 mostra le misure fornite via Modbus dal multimetro digitale installato a valle dell'inverter ibrido connesso all'impianto PVT e al sistema di supercondensatori; in particolare il webserver visualizza i valori di corrente, tensione e potenza delle tre fasi e la potenza totale erogata dall'inverter ibrido.

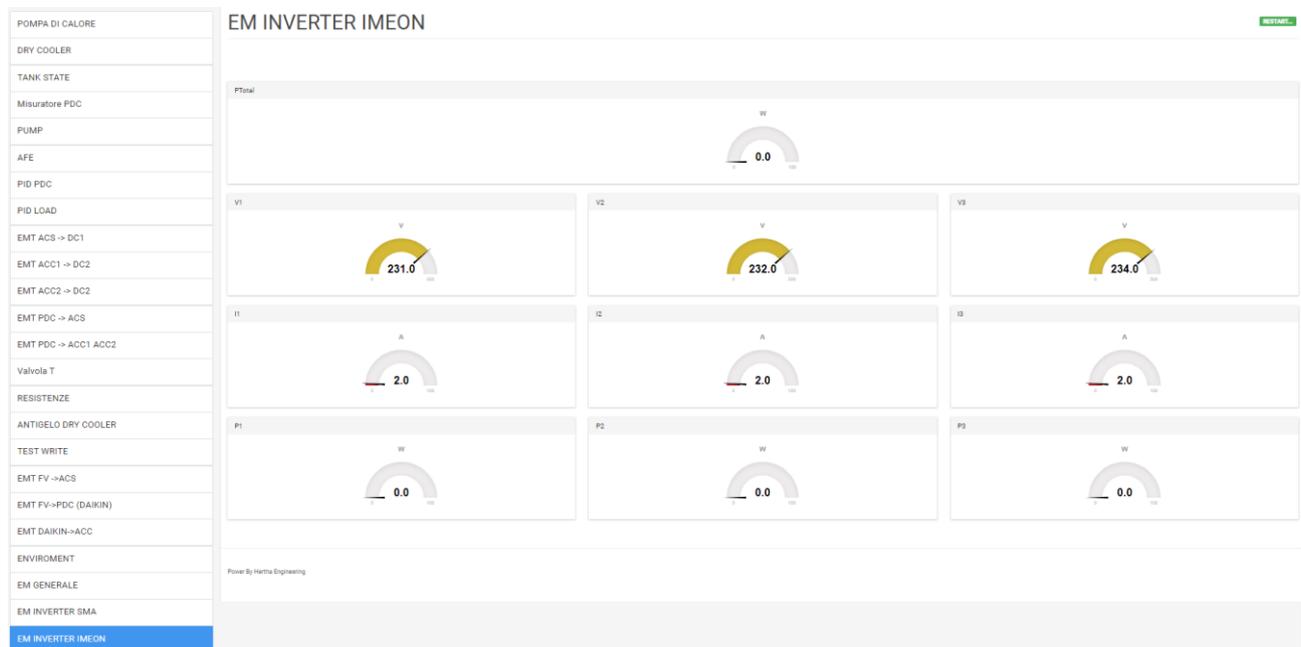


Figura 11: Interfaccia web server con i dati dell'inverter ibrido.

Interfaccia supercondensatori

L'ultimo upgrade del Web server riguarda l'interfaccia per il monitoraggio dei supercondensatori riportata in Figura 12 con indicazione della corrente, tensione e potenza erogata (positiva) o accumulata (negativa).

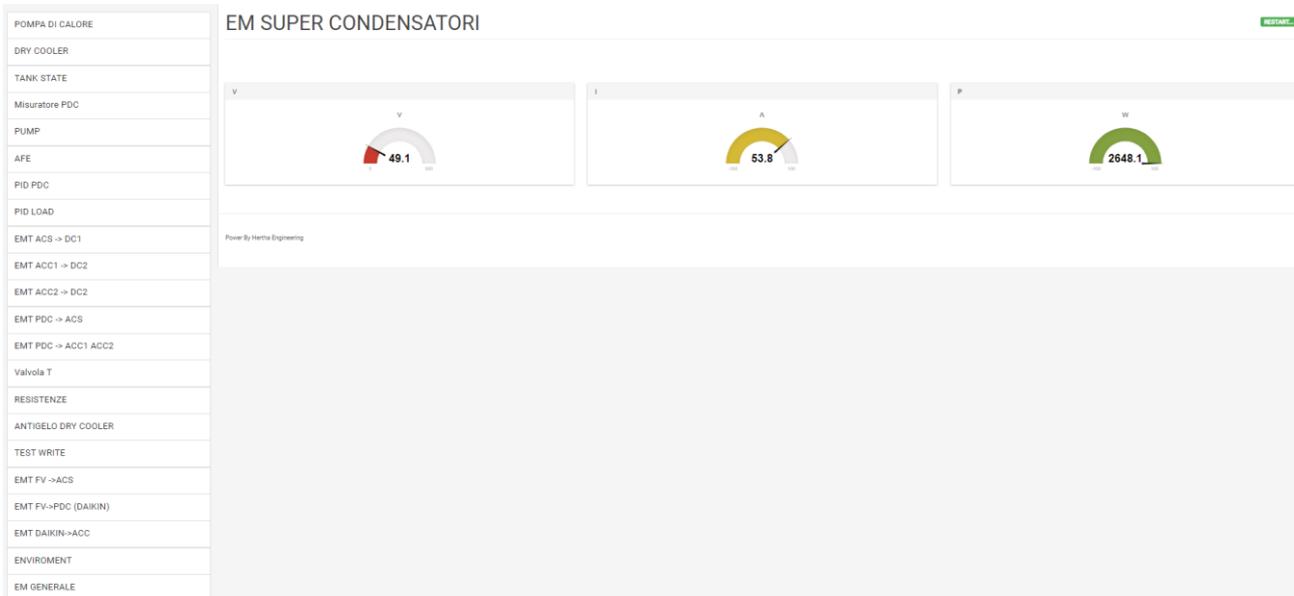


Figura 12: Interfaccia web server dei supercondensatori.

2.2 Prove sperimentali Prove sperimentali con sistema S.A.P.I.EN.T.E. in condizione di funzionamento reale

Nei seguenti paragrafi si riportano i risultati delle prove sperimentali condotte con il sistema ibrido SAPIENTE integrato con i nuovi impianti installati durante la precedente linea di attività. Per una descrizione dettagliata dell'impianto sperimentale si rimanda al report ENEA RdS/PTR2021/127 della linea LA 3.2.

Per supporto alla descrizione delle prove sperimentali, si riporta di seguito lo schema impiantistico generale del sistema S.A.P.I.EN.T.E. (Figura 13) e il dettaglio dello schema funzionale della sezione termica (Figura 14).



Figura 13: Schema generale sistema sperimentale S.A.P.I.EN.T.E. post integrazione nuovi componenti impiantistici.

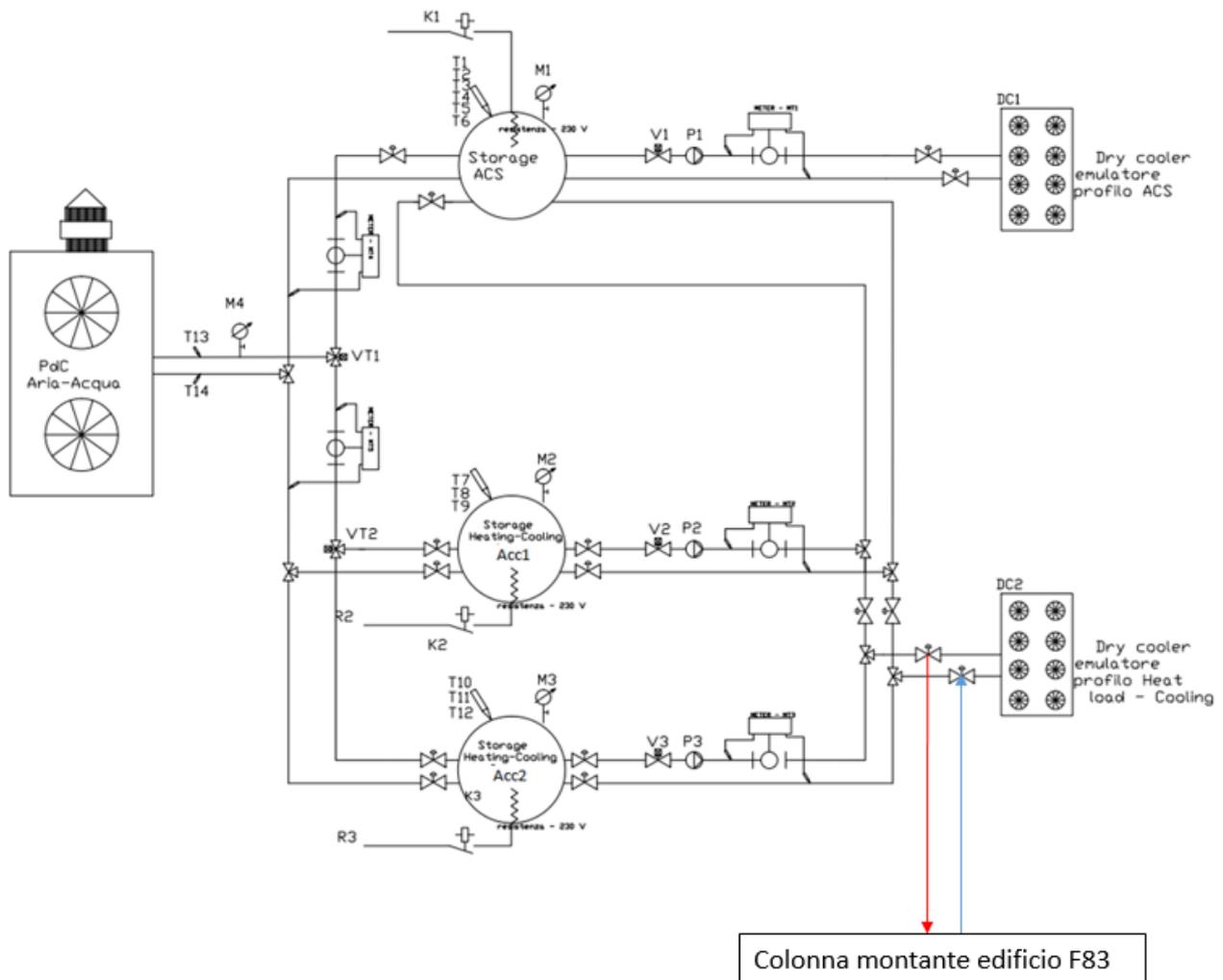


Figura 14: schema funzionale della sezione termica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. utilizzata durante le prove sperimentali

2.2.1 Prova n°1: Prima prova di inseguimento dell'impianto fotovoltaico reale e alimentazione della colonna montante dell'edificio F-83

Nelle prime prove sperimentali è stata verificata la capacità del sistema S.A.P.I.EN.T.E. di integrare il controllo del tipo power to heat applicato alla pompa di calore e all'impianto fotovoltaico reale da 11,4 kWp (Figura 13) e allo stesso tempo fornire la potenza termica richiesta dalla sezione dell'edificio F83.

In particolare è stato attivato il sistema di controllo della pompa di calore che prevede l'utilizzo del regolatore PID implementato nel Web server come descritto Report RdS/PTR2021/127.

Per applicare la funzione power to heat, il PID regola il numero di giri del compressore della pompa di calore fino ad annullare la differenza tra la potenza istantanea assorbita e la potenza generata dal impianto fotovoltaico reale da 11,4 kWp;

Durante l'inseguimento, la pompa di calore accumula l'energia termica in eccesso nell'accumulo ACC 2 (Figura 14) con un range di regolazione da 48 °C e 53 °C.

Nella prova 1 è stata verificata la connessione termica con la colonna montante dell'edificio F-83 fornendo l'energia termica accumulata dalla pompa di calore in ACC2.

Le condizioni con cui è stata eseguita la prova 1 sono di seguito elencate:

- impianto FV reale 11,4 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;

- logica applicata alla pompa di calore: modulazione compressore con PID per inseguire la curva di produzione del campo FV reale;
- accumulo termico utilizzato: ACC2 (1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- intervallo di regolazione della temperatura di accumulo: 48 °C - 53°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza: carico reale colonna montante edificio F-83;
- profilo di carico elettrico d'utenza: non applicato.

Si riporta nei successivi grafici i monitoraggi delle grandezze caratteristiche del sistema sperimentale misurate e memorizzate dal PLC.

Come indicato in Figura 15, si può osservare che anche nel caso del fotovoltaico reale il sistema di controllo con il regolatore PID riesce a modulare il numero di giri del compressore per inseguire la potenza elettrica prodotta mantenendo la temperatura dell'accumulo 2 all'interno dell'intervallo impostato da Web Server (Figura 16).

Dal monitoraggio del profilo di carico termico dell'edificio riportato in Figura 17 e dall'anadamento della temperatura riportata in Figura 16 viene confermato il corretto funzionamento della connessione termica tra la colonna montante e il sistema d'accumulo della pompa di calore. Infatti la pompa di calore riesce a mantenere la temperatura dell'accumulo termico ad un valore superiore a 35°C per garantire le condizioni di funzionamento dei fancoil; inoltre dalla Figura 17 si osserva come il carico termico dell'edificio è preponderante nelle prime ore della giornata e nelle fasce orarie caratterizzate da una maggiore presenza, per stabilizzarsi ad un valore di base dalle ore 15.50 circa.

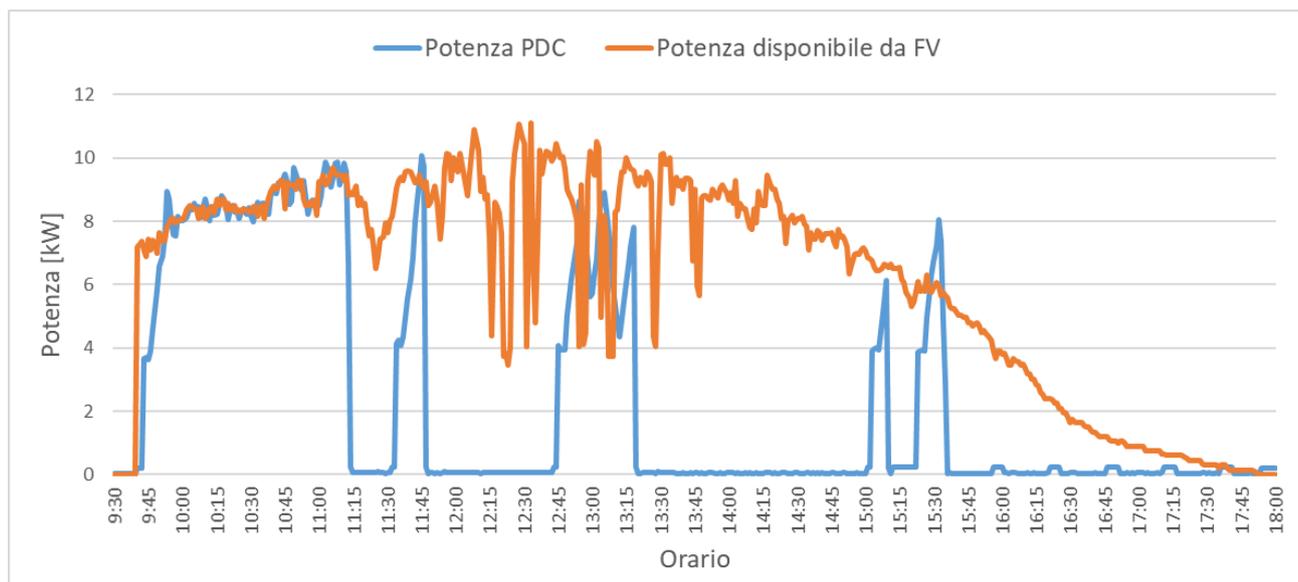


Figura 15: Andamento temporale della potenza disponibile da fotovoltaico reale e della potenza assorbita dalla PDC.

Come indicato in Figura 15, il sistema di controllo spegne la pompa di calore, annullando l'inseguimento della potenza prodotta dal fotovoltaico, quando la temperatura dell'accumulo 2 raggiunge il valore di 53°C impostato su web server.

La pompa di calore riparte in modalità inseguimento solo quando la temperatura scende sotto 48°C; visto il basso carico termico dell'edificio nella giornata di prova la temperatura risale in breve tempo alla temperatura massima di 53°C.

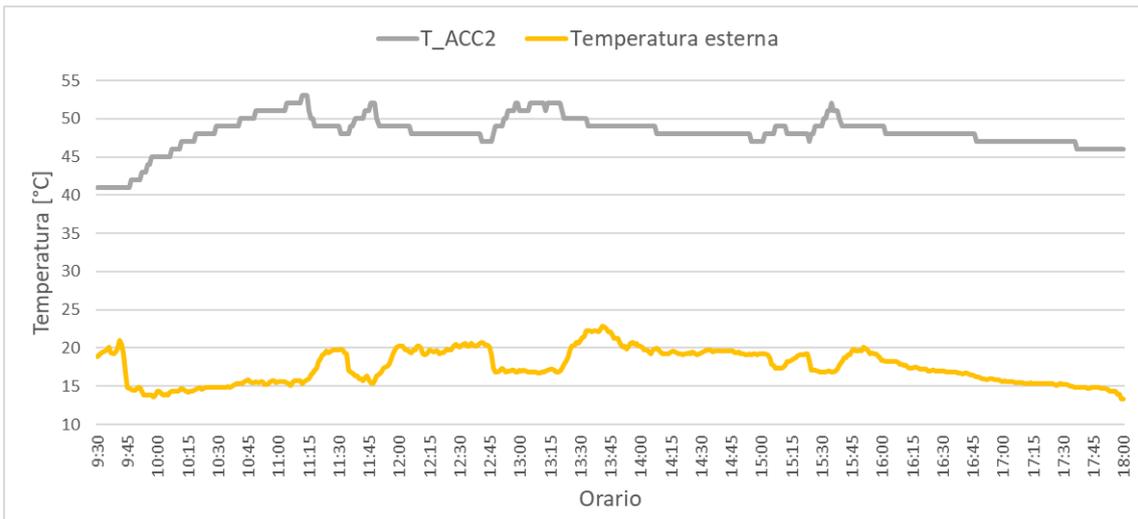


Figura 16: Andamento temporale della temperatura dell'accumulo ACC2 (rilevata nella condotta di ritorno alla pompa di calore) e della temperatura esterna.

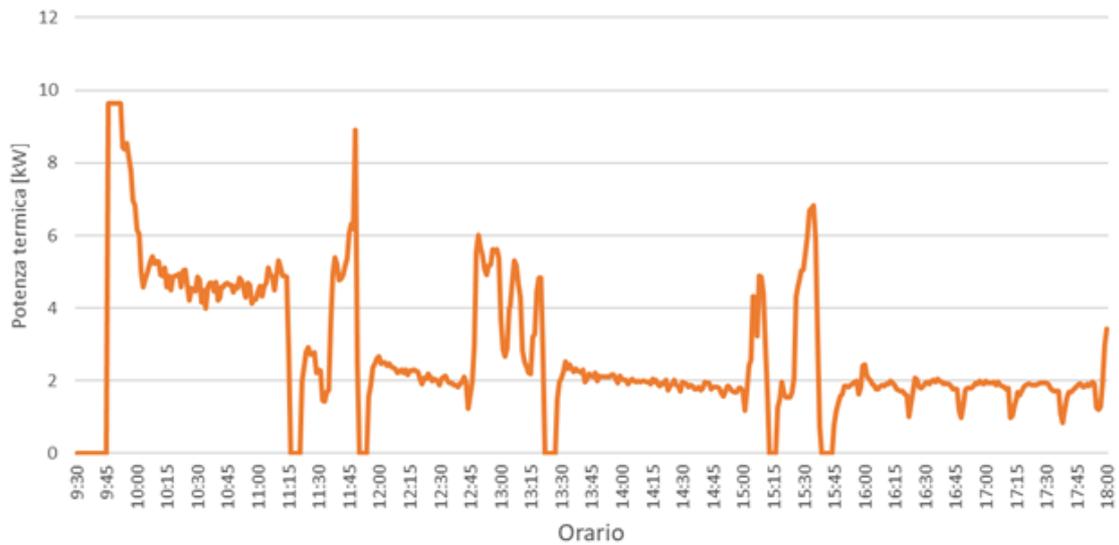


Figura 17: Andamento temporale della potenza termica scambiata tra ACC2 e la colonna montante dell'edificio F-83.

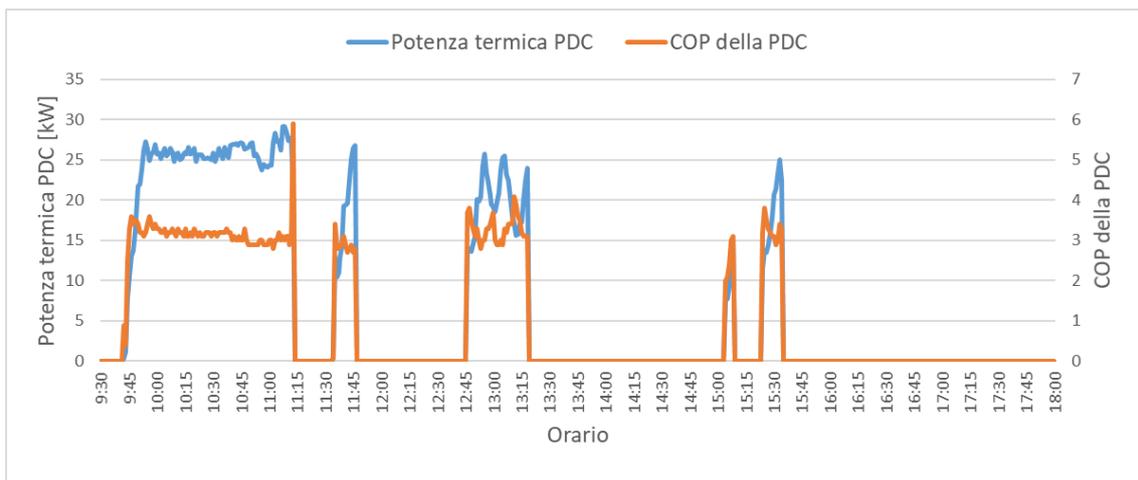


Figura 18: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

Si riporta di seguito il segnale di uscita del PID e l'effetto sulla modulazione del numero di giri del compressore. Dalla Figura 20 si nota come quando il punto di lavoro della la pompa di calore è regolata dal PID la potenza scambiata con la rete si annulla con un autoconsumo totale della generazione da fotovoltaico.

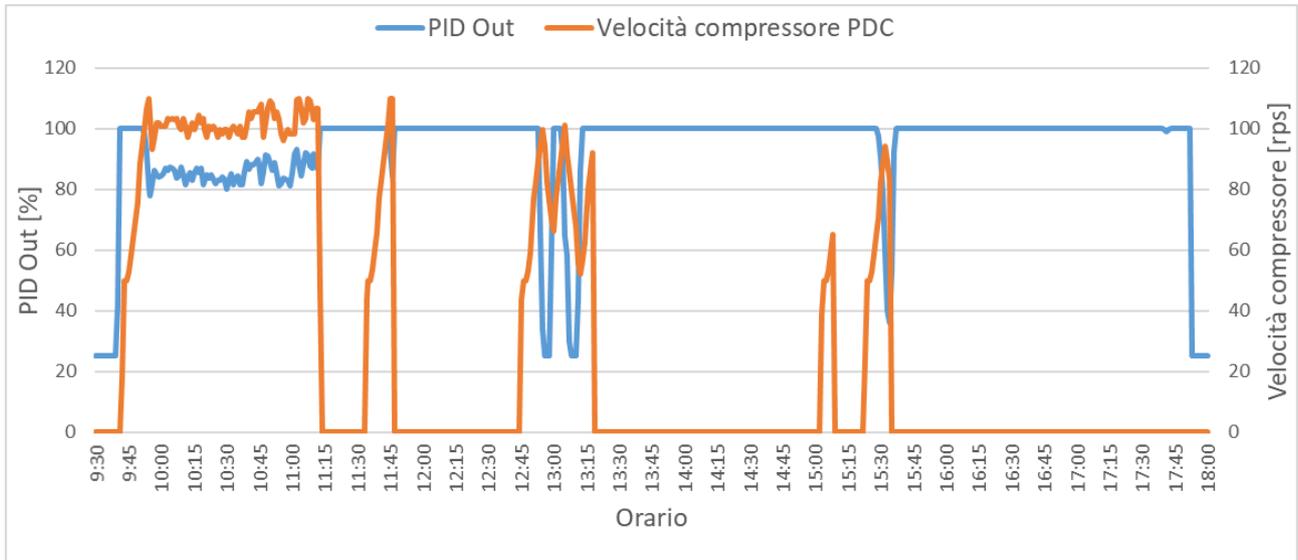


Figura 19: Andamento temporale dell'uscita del PID_PDC e della velocità del compressore della PDC.

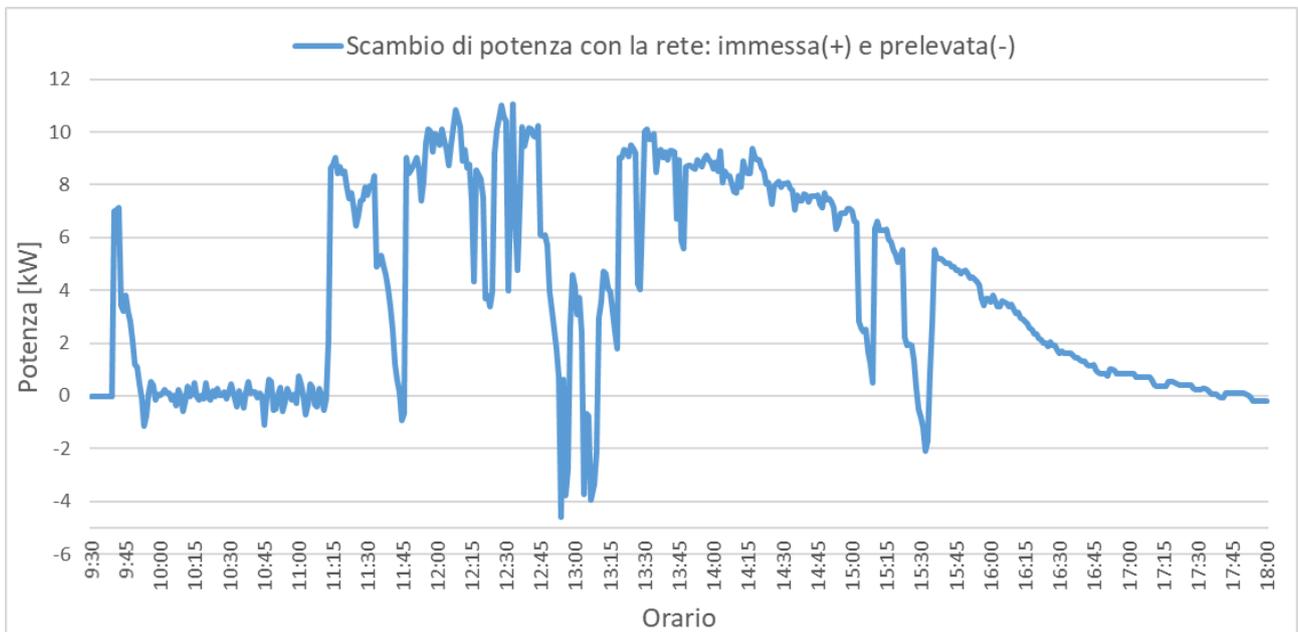


Figura 20: Andamento temporale dello scambio di potenza con la rete: (+) potenza immessa in rete; (-) potenza prelevata dalla rete.

Tra le possibili soluzioni individuate per aumentare il periodo di attivazione del controllo ad inseguimento fotovoltaico si potrebbe aumentare la capacità termica del sistema, attivando oltre all'accumulo Acc2 anche l'accumulo ACC1 e l'accumulo ACS, o aumentare la temperatura massima di regolazione fino al limite tecnico di funzionamento della pompa di calore (circa 55°)

2.2.2 Prova n°2: Fornitura potenza termica alla colonna montante dell'edificio F-83 – assenza controllo ad inseguimento fotovoltaico

Al fine di caratterizzare il funzionamento della connessione termica del sistema S.A.P.I.EN.T.E. con la colonna montante dell'F83, è stata realizzata una sessione sperimentale applicando alla pompa di calore un controllo in temperatura ed escludendo l'inseguimento della potenza prodotta da fotovoltaico tramite PID.

Si riportano di seguito le condizioni con cui è stata eseguita la prova sperimentale:

- impianto FV reale da 11,4 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica applicata alla pompa di calore: inseguimento set point di temperatura dell'accumulo Acc2;
- PID controllo power to heat: disabilitato
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 2 (1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- set point temperatura accumulo Acc2: 48°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza: carico reale colonna montante edificio F-83;
- profilo di carico elettrico d'utenza: non applicato.

La modalità di funzionamento della pompa di calore e i valori di set point della temperatura sono stati impostati tramite Web server come indicato nella pagina di Figura 21.

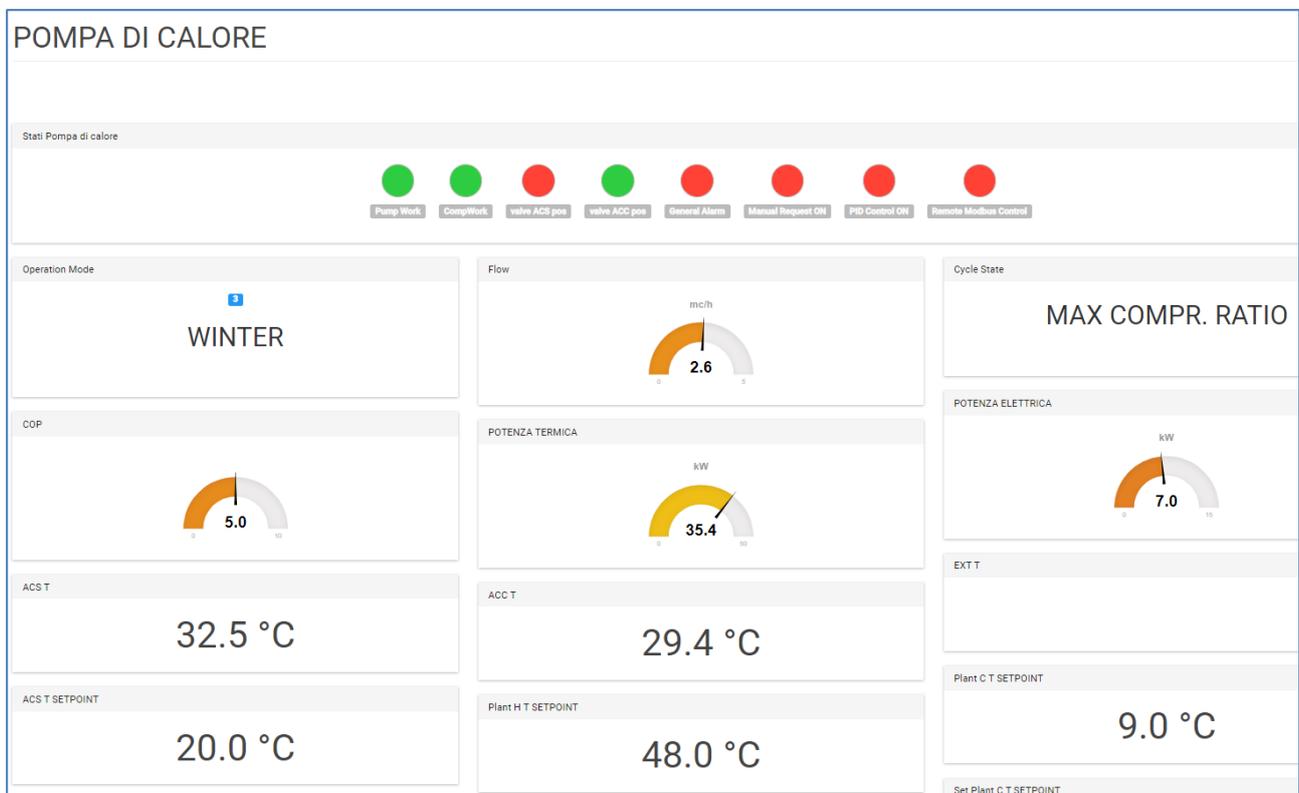


Figura 21 Interfaccia web server SAPIENTE – pagina pompa di calore: indicazione set point temperatura e indicazione stato di funzionamento pompa di calore (PID disabilitato)

Rispetto alla prova precedente, come si evince dal profilo di Figura 22, la giornata è stata caratterizzata da un carico termico dell'edificio più elevato confrontabile con la potenza nominale della pompa di calore.

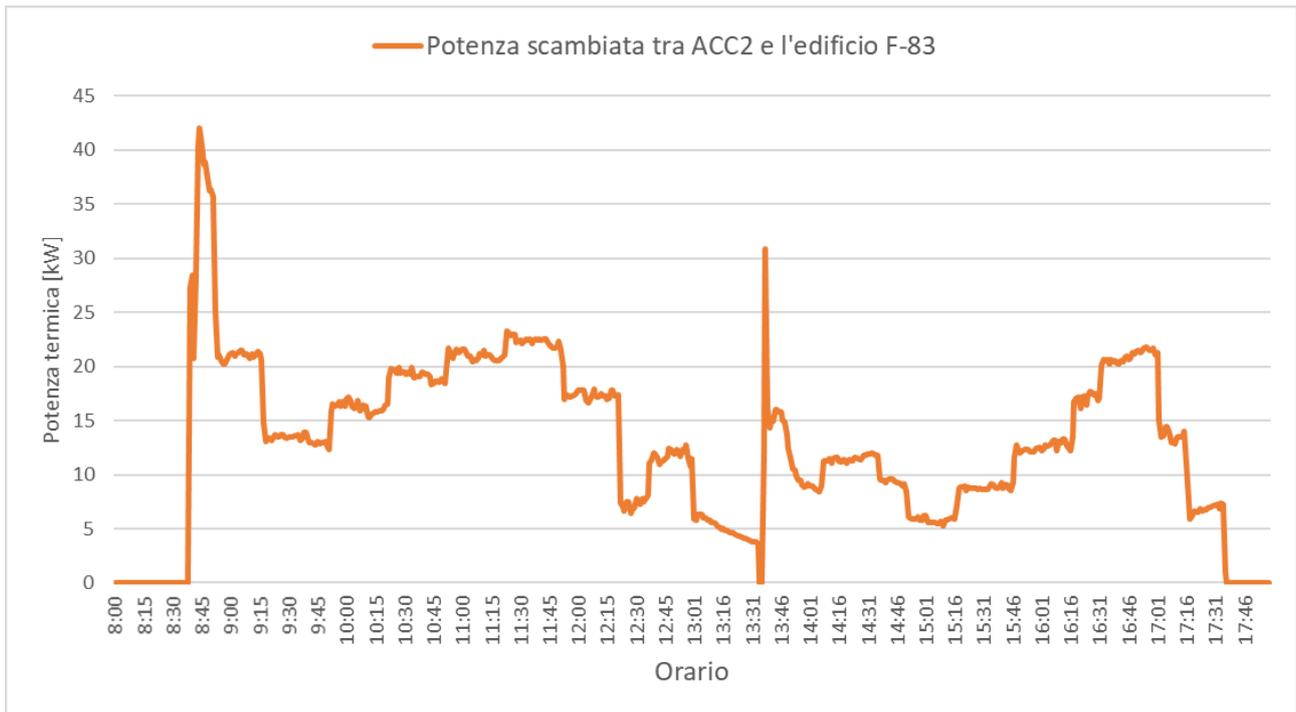


Figura 22: Andamento temporale della potenza termica scambiata tra ACC2 e la colonna montante dell'edificio F-83.

Come impostato da Webserver, la pompa di calore non segue un riferimento imposto dal PID ma viene gestita dal controllo interno nella modalità inseguimento termico per mantenere la temperatura dell'accumulo termico al valore di setpoint impostato a 48°.

Infatti, come si può osservare dalla Figura 23, quando la mattina la temperatura dell'accumulo scende sotto il valore di 48°C, il controllo regola il numero di giri del compressore al valore massimo per far erogare alla pompa di calore una potenza adeguata a bilanciare l'elevato carico termico iniziale dell'edificio.

Riducendosi il carico termico in corrispondenza della pausa pranzo, come indicato in Figura 24, la temperatura nell'accumulo 2 aumenta superando il valore del set point di 48°C; si nota inoltre come, avvicinandosi alla temperatura di setpoint, il controllo modula il numero di giri del compressore e la potenza generata dalla pompa di calore per adeguarla al carico termico dell'edificio.

In corrispondenza del carico termico pomeridiano, nelle ore di maggiore presenza di personale, la temperatura dell'accumulo torna a scendere determinando una nuovo incremento del numero di giri del compressore e della potenza termica fornita dalla pompa di calore come mostrato in Figura 23 e in Figura 25.

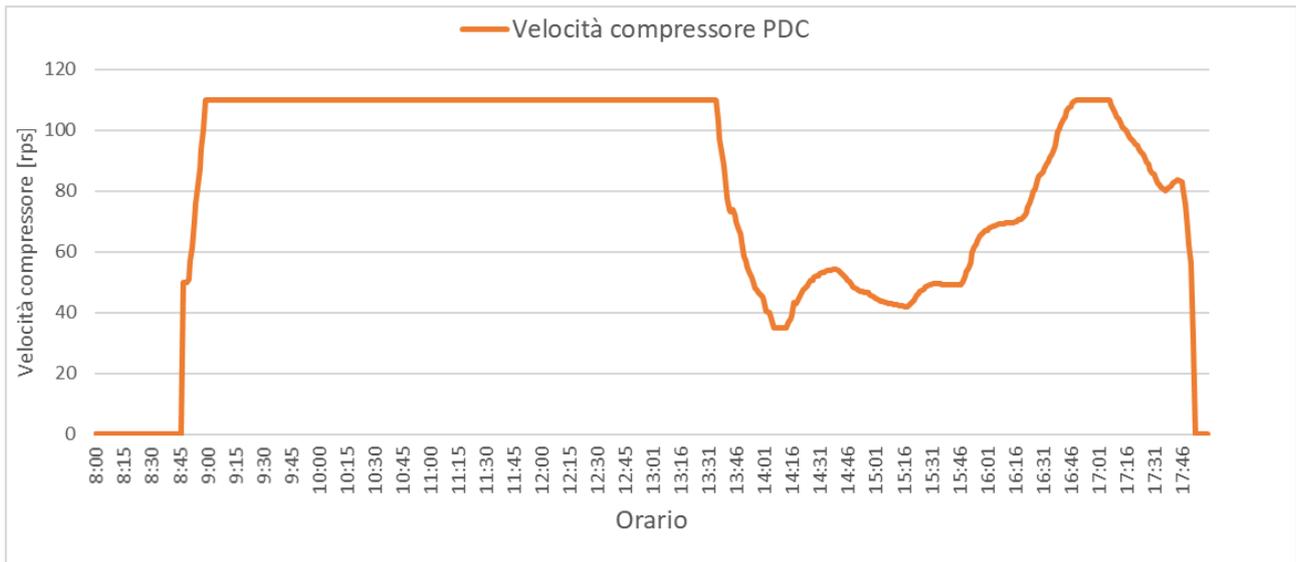


Figura 23: Andamento temporale della velocità del compressore della PDC.

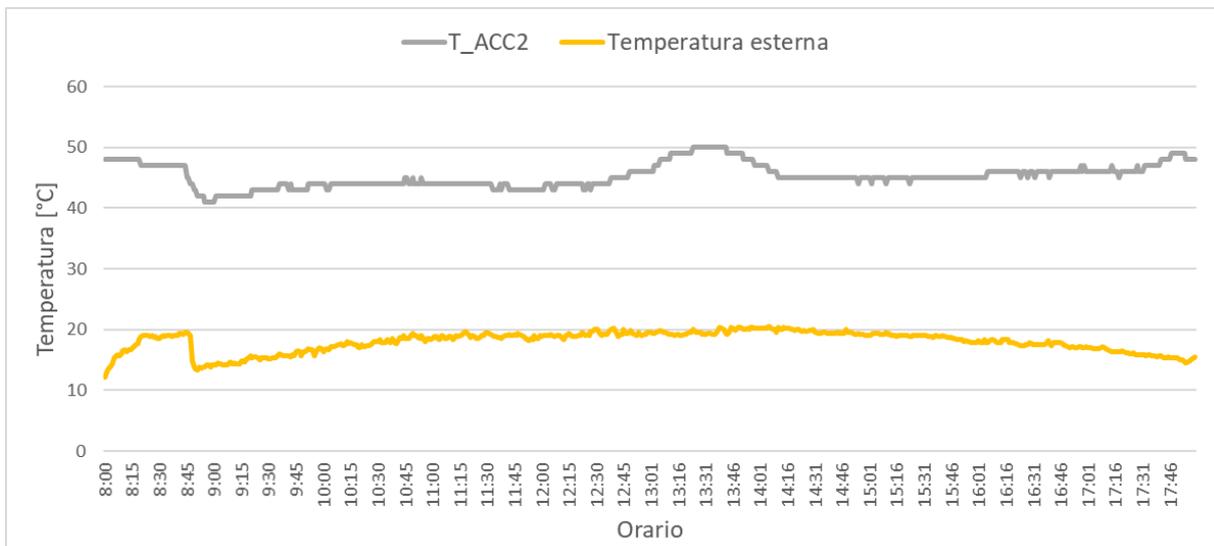


Figura 24: Andamento temporale della temperatura dell'accumulo ACC2 (rilevata nella condotta di ritorno alla pompa di calore) e della temperatura esterna.

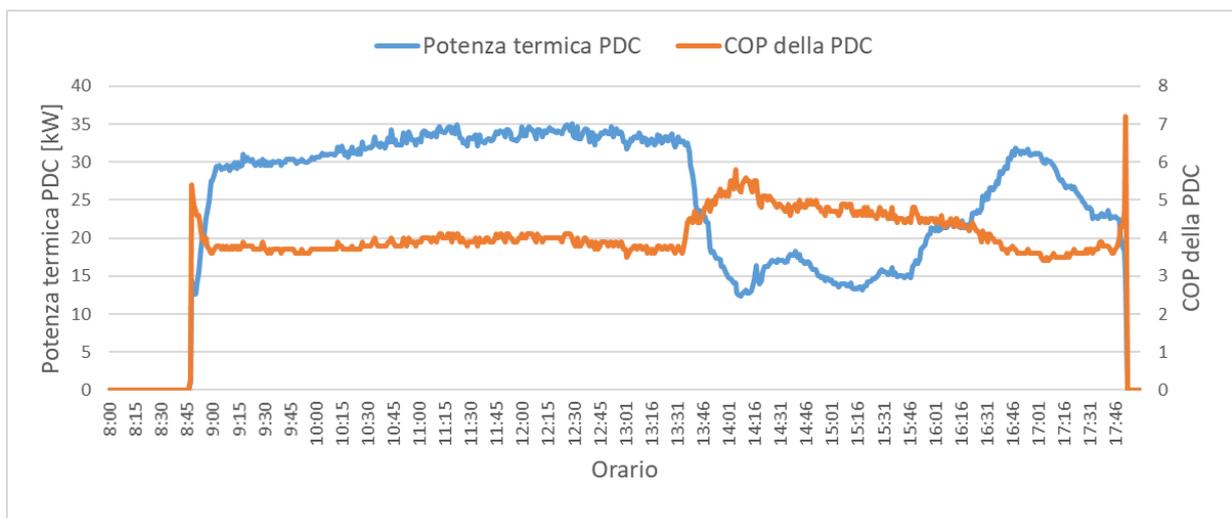


Figura 25: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

Si riporta di seguito l'analisi del profilo di carico elettrico della pompa di calore e del profilo della potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico del sistema SAPINETE.

Diversamente dalla prova precedente, come si può osservare dalla Figura 26, la pompa di calore gestita in modalità inseguimento carico termico dell'edificio non segue la potenza generata dalla fotovoltaico.

Si può notare comunque una buona contemporaneità tra i due profili in quanto l'ufficio presenta un carico termico coincidente con le ore di produzione del fotovoltaico a vantaggio del coefficiente di autoconsumo.

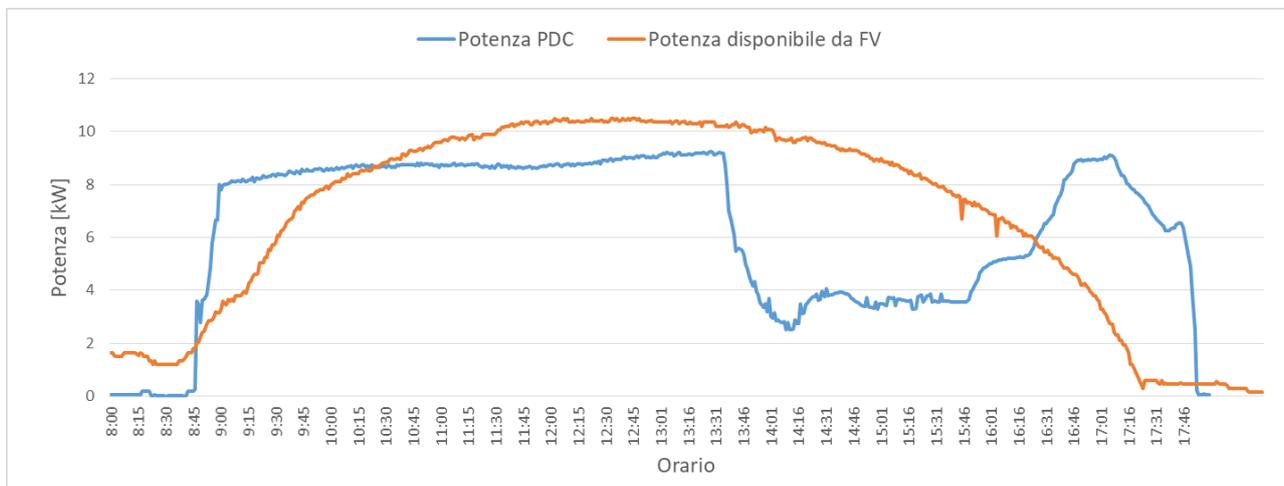


Figura 26: Andamento temporale della potenza assorbita dalla PDC e della potenza generata dal campo FV lato corrente alternata

Si riporta in Tabella 1 la sintesi dell'analisi energetica della sessione di prova.

Per compensare il fabbisogno termico giornaliero dell'edificio la pompa di calore ha erogato una energia termica pari a circa 240 kWh e assorbendo dalla rete elettrica solo 10,25 kWh.

Grazie alla elevata contemporaneità tra carico termico dell'edificio uffici e la curva di produzione del fotovoltaico, anche in assenza delle logiche di controllo power to heat applicate nella precedente prova, la prova dimostra una ottima integrazione del sistema S.A.P.I.EN.T.E. raggiungendo un elevato coefficiente di autosufficienza energetica pari a circa 84% con un autoconsumo superiore al 75%.

Tabella 1: Analisi energetica – calcolo coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica – prova 2

Energia elettrica prodotta da FV	70,35	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla pdc	63,45	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla pdc	240,14	kWh/giorno
Energia elettrica immessa in rete	17,14	kWh/giorno
Energia elettrica prelevata dalla rete	10,25	kWh/giorno
Coefficiente di autoconsumo impianto FV	75,63	%
Coefficiente di autosufficienza energetica pdc	83,85	%

I risultati ottenuti dalla presente sessione sperimentale serviranno come base di confronto per valutare i vantaggi ottenibili dall'applicazione del controllo power to heat (inseguimento della potenza prodotta dal fotovoltaico) allo stesso edificio uffici ed altre tipologie di utenze con differenti profili di carico termico (es. residenziale), come riportato nelle successive prove.

Infine si riporta il profilo di carico termico dello stesso porzione di edificio F83 simulato nella precedente linea di attività con il software ODESSE di ENEA (RdS/PTR2021/127); con l'utilizzo della simulazione dinamica in ODESSE è stata verificata la possibilità di alimentare i carichi della colonna montante con la sezione termica del sistema SAPIENTE.



Figura 27: profilo di carico termico porzione Edificio F83 simulato nelle precedente linea di attività – giorno invernale

Dal confronto tra il profilo di Figura 27, (riferito ad un giorno tipo del mese di Gennaio), e il profilo di carico misurato di Figura 22 è possibile osservare come il modello utilizzato per simulare l'edificio restituisca un valore del carico termico prossimo a quello reale

2.2.3 Prova n°3: Fornitura potenza termica alla colonna montante dell'edificio F-83 –applicazione controllo ad inseguimento fotovoltaico del tipo power to heat

In questa sessione sperimentale è stato attivato da Web Server il regolatore PID per controllare il punto di lavoro della pompa di calore con logica "power to heat"; come già descritto questa è basata sull'inseguimento della potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico accumulando l'energia termica prodotta in eccesso rispetto al carico dell'F83.

Il regolatore PID modula il numero di giri del compressore per far inseguire alla pompa di calore il profilo di produzione del campo fotovoltaico fino a quando la temperatura dell'accumulo non raggiunge un valore pari a 50°C; superata questa temperatura il controllo spegne la pompa di calore e la riattiva in modalità inseguimento fotovoltaico solo quando la temperatura scende sotto 35°C.

Le condizioni con cui è stata eseguita la prova sperimentale sono sintetizzati di seguito:

- impianto FV reale 11,4 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica di controllo applicata alla pompa di calore: power to heat - modulazione compressore con PID per inseguire la curva di produzione del campo FV;
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 2 (1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- range di regolazione temperatura accumulo 2: 35°C - 50°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza: carico reale colonna montante edificio F-83;
- profilo di carico elettrico d'utenza: non applicato.

In Figura 28 e in Figura 29 si può osservare la funzionalità del controllo power to heat applicato con il regolatore PID; all'avvio della prova il numero di giri del compressore non raggiunge subito il valore massimo ma viene limitato dal segnale generato PID per far assorbire alla pompa di calore la stessa potenza prodotta dal fotovoltaico.

Si può notare che anche nel caso del fotovoltaico reale il PID riesce a modulare correttamente la potenza assorbita dalla pompa di calore per far sovrapporre i due profili; inoltre, come riportato in Figura 33, il controllo riesce inoltre a mantenere la temperatura dell'accumulo 2 sopra 35°C in modo da garantire le condizioni per soddisfare il carico termico dell'edificio.

Come mostrato in Figura 28, il sistema di controllo disattiva l'inseguimento del fotovoltaico, spegnendo la pompa di calore, quando la temperatura dell'accumulo raggiunge 50°C. Quando quest'ultima scende sotto 35°C la pompa di calore viene riattivata in modalità inseguimento con un segnale generato dal PID costante al 100%; il PID satura al valore massimo il segnale generato fino a quando la potenza elettrica generata dal fotovoltaico non scende sotto la massima potenza che la pompa di calore può assorbire.

Il PID ritorna a modulare il numero di giri e la potenza assorbita dalla pompa di calore intorno alle 15:30 quando la potenza generata dal FV scende sotto 6,5 kW.

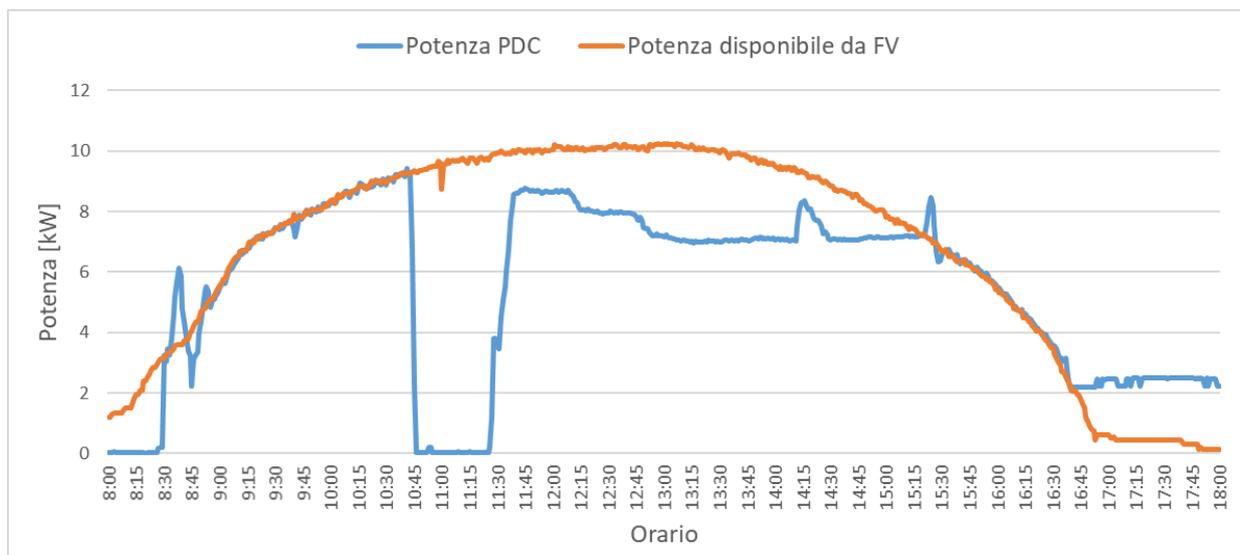


Figura 28: Andamento temporale della potenza disponibile da fotovoltaico reale e della potenza assorbita dalla PDC.

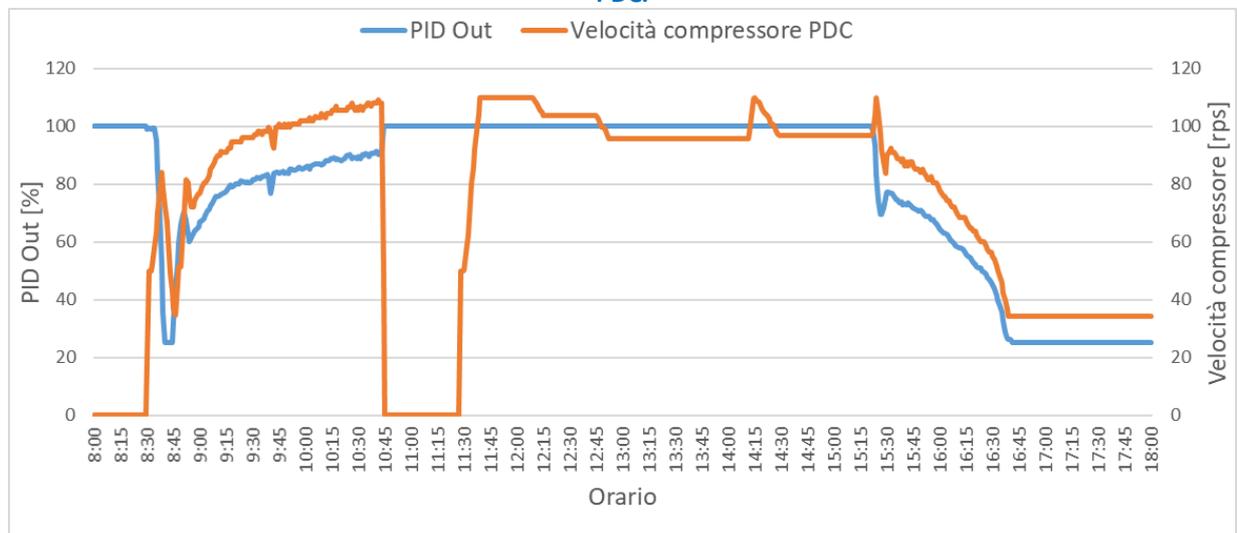


Figura 29: Andamento temporale dell'uscita del PID_PDC e della velocità del compressore della PDC.

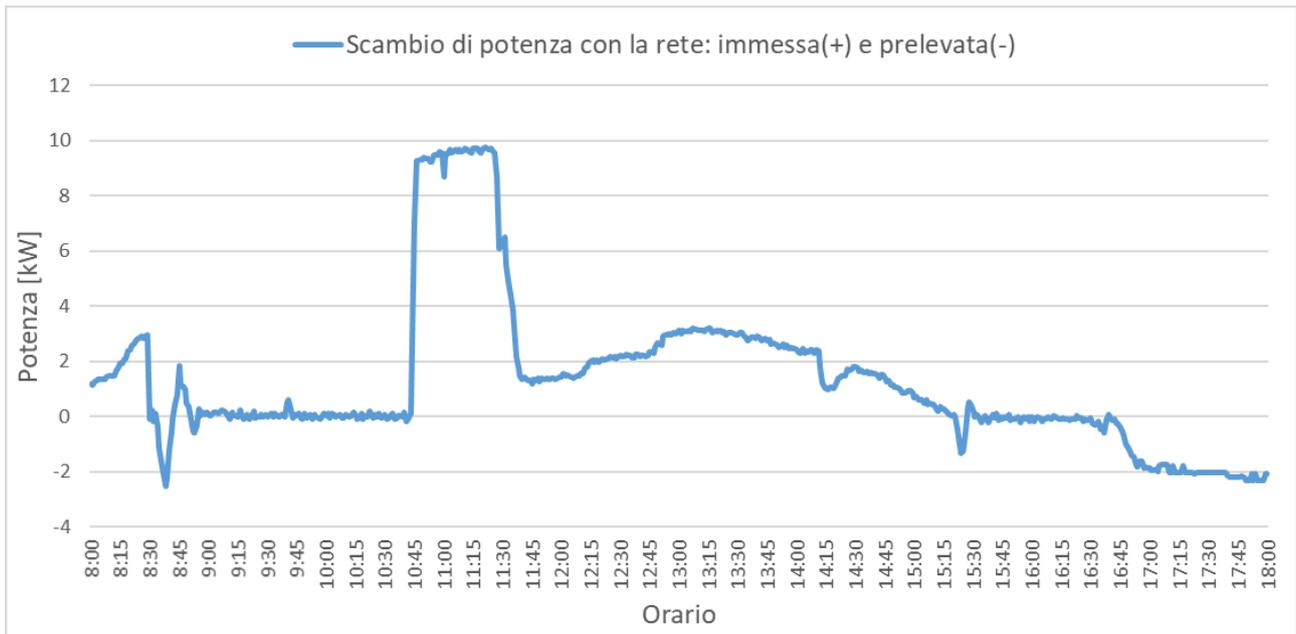


Figura 30: Andamento temporale dello scambio di potenza con la rete: (+) potenza immessa in rete; (-) potenza prelevata dalla rete.

Dal monitoraggio delle grandezze termiche, riportato nelle seguenti figure, si osserva come il sistema controllato in modalità inseguimento FV riesce a mantenere per tutta la prova una temperatura dell'accumulo superiore 35°C (temperatura di mandata ai fancoil alimentati dalla colonna montante dell'edificio) accumulando energia termica soprattutto nelle prime ore di funzionamento in corrispondenza del basso carico termico dell'edificio.

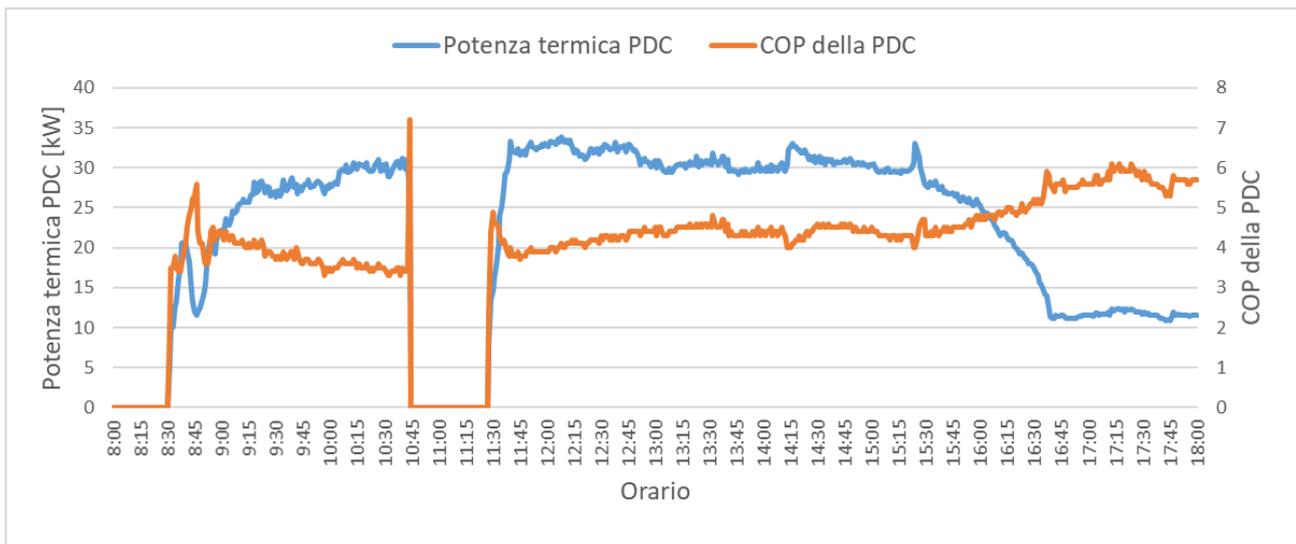


Figura 31: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

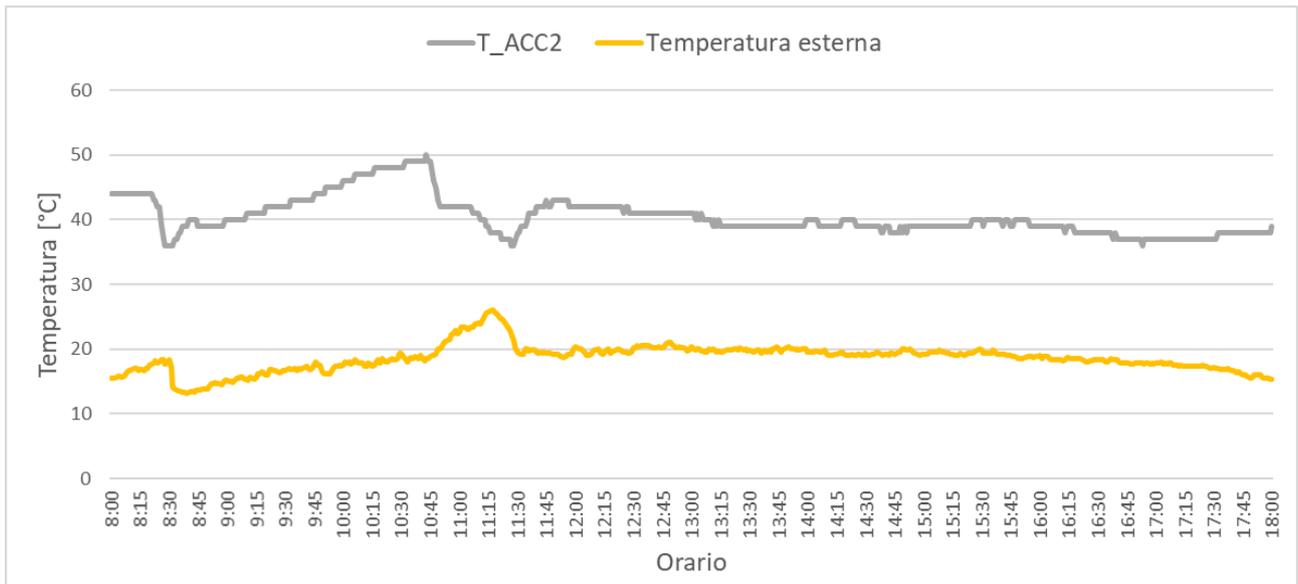


Figura 32: Andamento temporale della temperatura rilevata nell’accumulo ACC2 e della temperatura esterna.

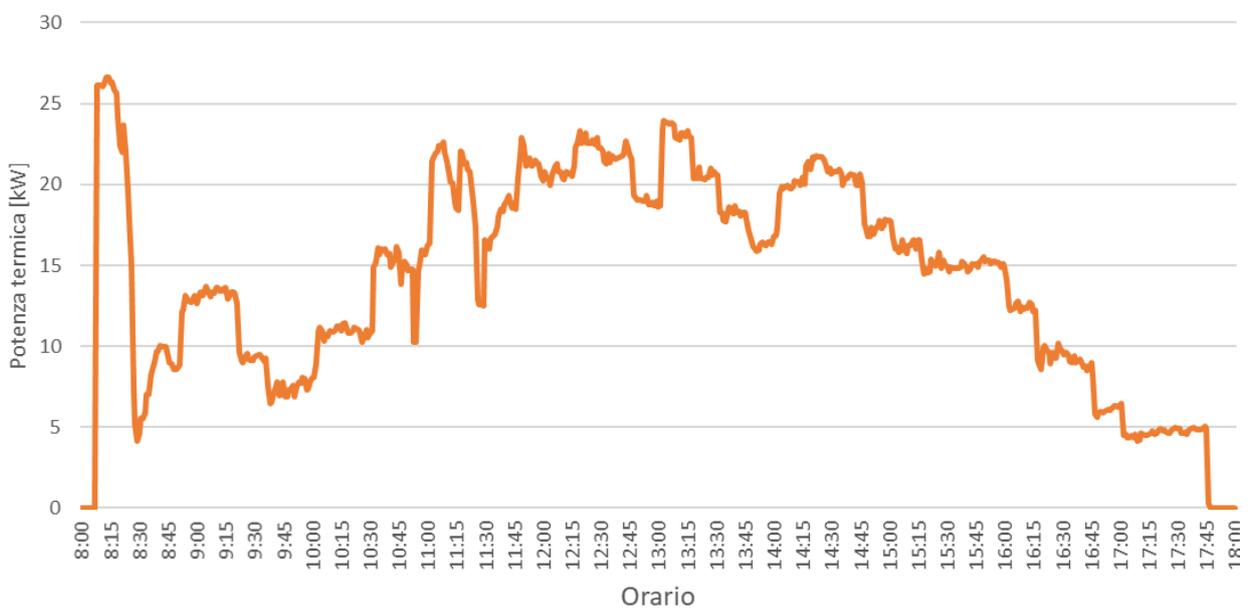


Figura 33: Carico termico colonna montante edificio F-83 alimentata da S.A.P.I.EN.T.E.

Dall’analisi energetica riportata in Tabella 2 e in Tabella 3, si può osservare come rispetto alla prova precedente, l’applicazione del controllo power to heat alla pompa di calore comporta un incrementato dell’autosufficienza energetica della pompa di calore dal’84% a circa il 95%, mentre rimane invariato il coefficiente di autoconsumo pari al 76%.

Tabella 2: Valori giornalieri di energia elettrica e termica misurati - prova 3

Energia elettrica prodotta da FV	68,39	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla pdc	55,23	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla pdc	222,25	kWh/giorno
Energia elettrica immessa in rete	16,08	kWh/giorno
Energia elettrica prelevata dalla rete	2,92	kWh/giorno

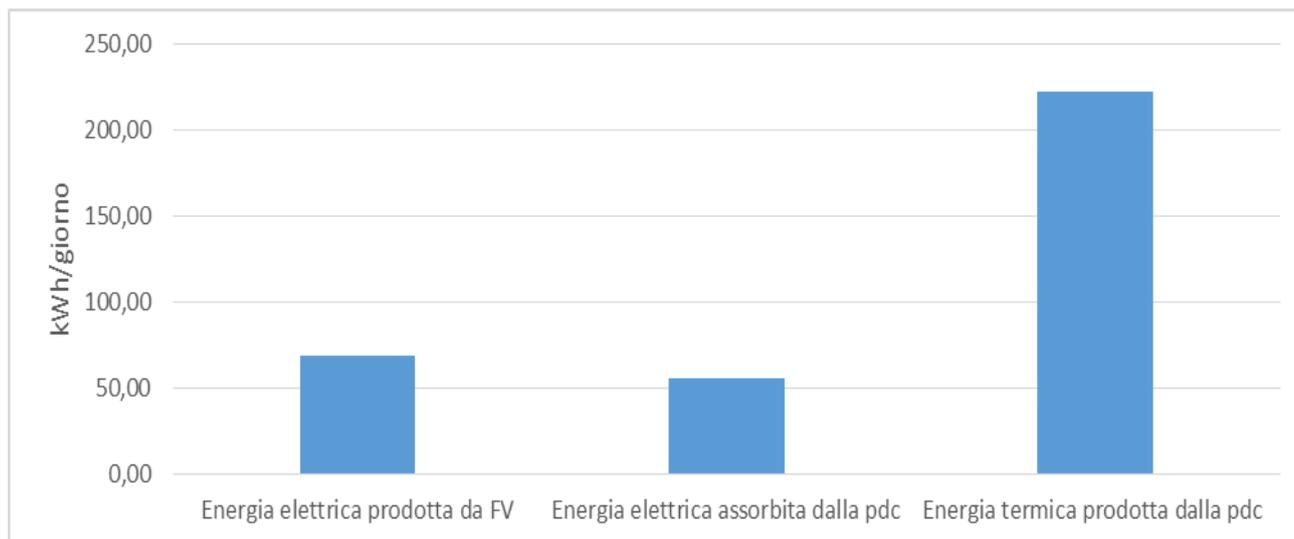


Figura 34: Rappresentazione grafica dei valori giornalieri di energia elettrica e termica inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Tabella 3: Coefficienti energetici e COP medio inerenti la sessione sperimentale in analisi – prova 3

Calcolo Coefficienti energetici	
Coefficiente di autoconsumo impianto FV	76%
Coefficiente di autosufficienza energetica PDC	95%
COP medio	4,02

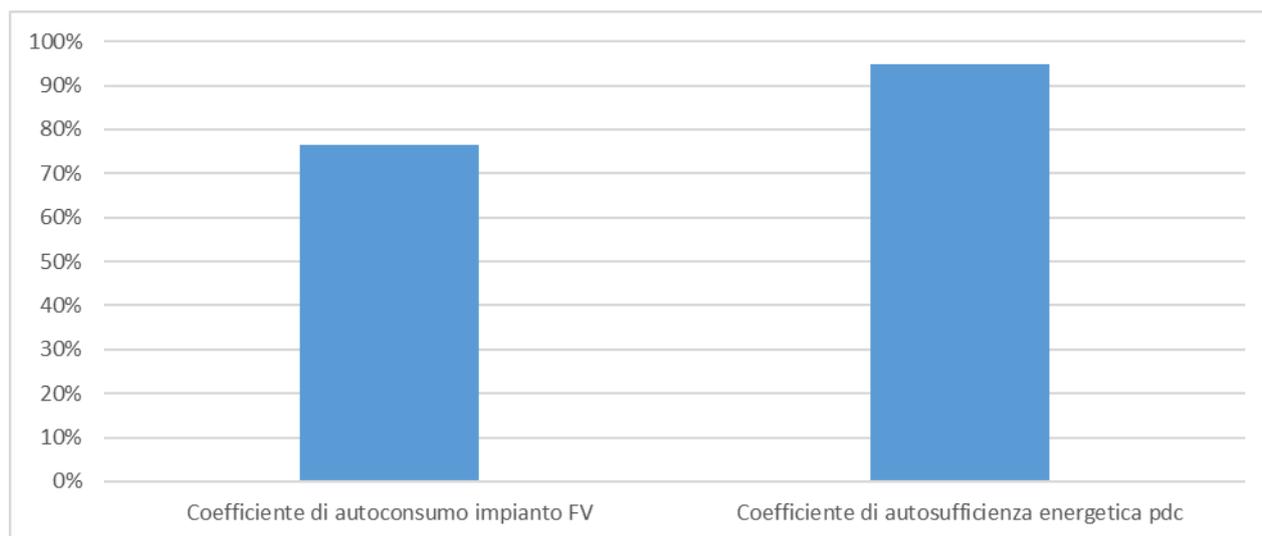


Figura 35: Rappresentazione grafica dei coefficienti energetici inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Come evidenziato nelle precedenti prove, l'applicazione del sistema S.A.P.I.EN.T.E. all'edificio F-83 con profilo di carico termico del tipo "uso ufficio" consente di ottenere elevati valori di autosufficienza energetica e di autoconsumo anche in assenza del controllo power to heat applicato alla pompa di calore. I suddetti vantaggi sono dovuti alla contemporaneità tra il profilo di carico termico dell'edificio ufficio e il profilo di produzione dell'impianto fotovoltaico.

Al fine di ampliare lo studio sulle potenzialità energetiche del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. in particolare per i contesti condominiali in configurazione Autoconsumo Collettivo si riportano nei successivi paragrafi i risultati delle prove sperimentali condotte applicando i profili di carico termico emulato di tipo residenziale.

2.2.4 Prova n°4: Profilo di carico termico tipo residenziale controllo - inseguimento fotovoltaico non applicato

Utilizzando la pagina PID_LOAD del Web Server di Figura 36 è stato applicato un controllo al dry cooler dell'impianto sperimentale per riprodurre una curva di carico termico giornaliero del tipo residenziale relativa ad un piccolo condominio di 4 unità abitative.

Diversamente dalla prova precedente questa sessione non prevede l'applicazione del regolatore PID per l'inseguimento della potenza prodotta dal campo fotovoltaico; in particolare da Web Server è stata commutata la gestione della pompa di calore sul suo controllo interno che prevede inseguimento del carico impostando un set point di temperatura per l'accumulo termico.

Si riportano di seguito i dettagli della configurazione impiantistica e i principali parametri di prova:

- impianto FV: attivo;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica di controllo della pompa di calore: controllo interno con set point di temperatura dell'accumulo;
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 2 (ACC2 -1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- set point temperatura accumulo: 50°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza: carico di prova con profilo tipo residenziale;
- profilo di carico elettrico d'utenza: non applicato.

PID LOAD

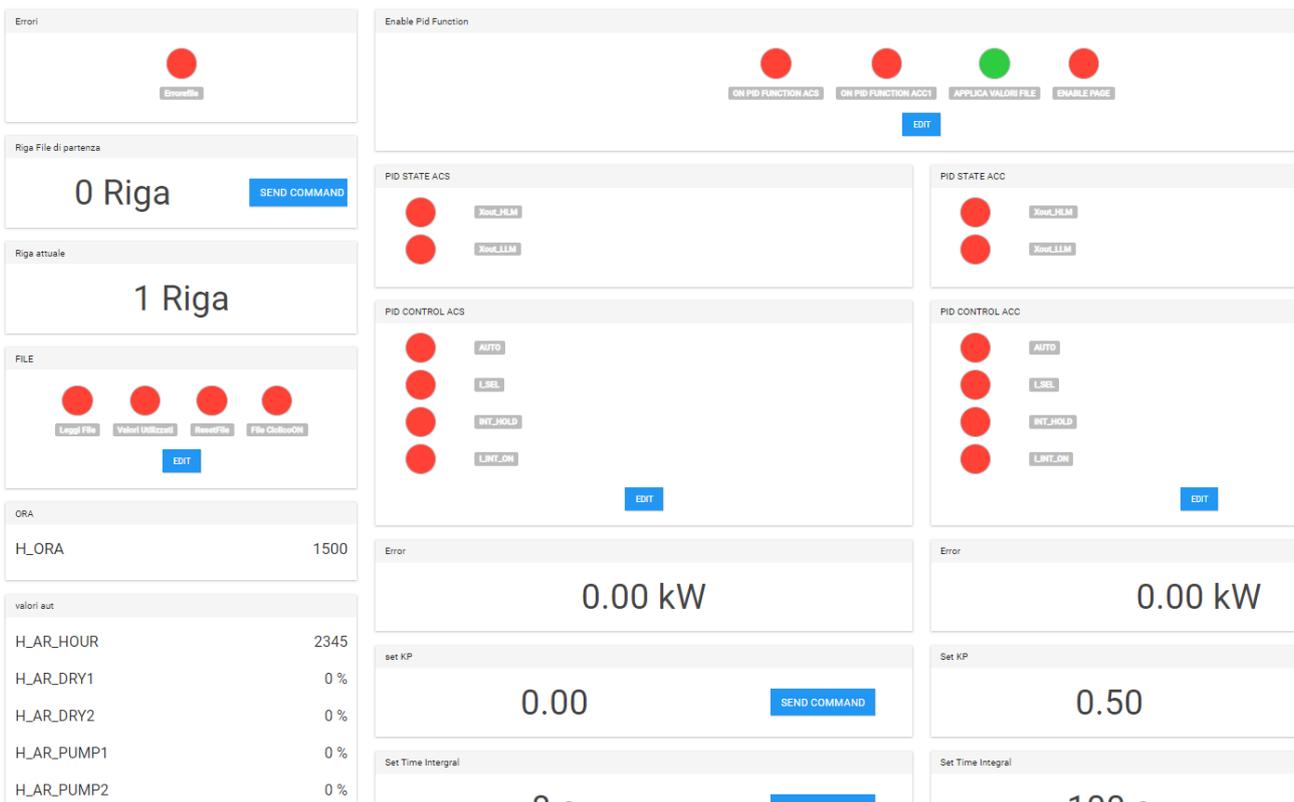


Figura 36: Web Server – interfaccia PID_LOAD per riprodurre un profilo di carico termico pilotando il sistema drycooler, valvola e circolatore

Con l'interfaccia del Web Server viene letto il file contenente il profilo di riferimento per generare il carico termico di Figura 37; quest'ultimo è ottenuto modulando da 0% a 100% la velocità delle ventole del dry cooler connesso all'accumulo 2 (DC2 Figura 14), seguendo il profilo riportato nel file csv.

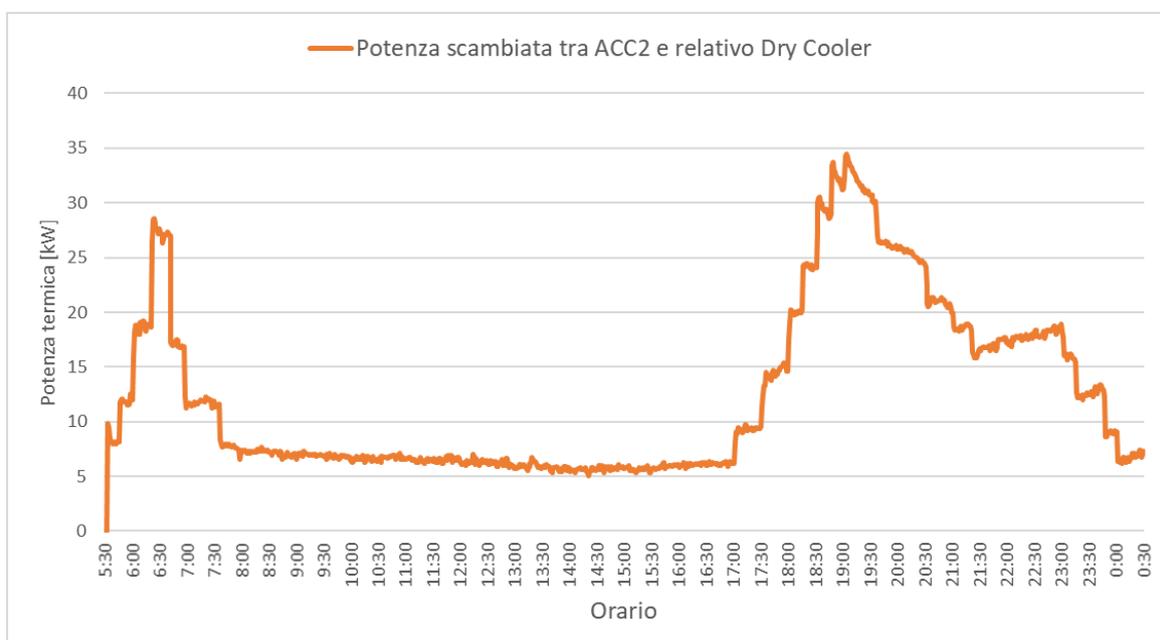


Figura 37: Andamento temporale del profilo di carico termico applicato all'accumulo ACC2 modulando la velocità delle ventole del Dry Cooler (DC2)

Come si può osservare dal grafico di Figura 37, il carico termico generato con il drycooler presenta un profilo complementare al carico dell'edificio uffici applicato nelle precedenti prove; infatti il profilo prevede una maggiore richiesta di potenza la mattina e la sera nelle ore di bassa o nulla produzione del fotovoltaico. La pompa di calore per mantenere l'accumulo alla temperatura di set point (Figura 39), insegue la richiesta termica del dry cooler generando il profilo di potenza riportato in Figura 42.

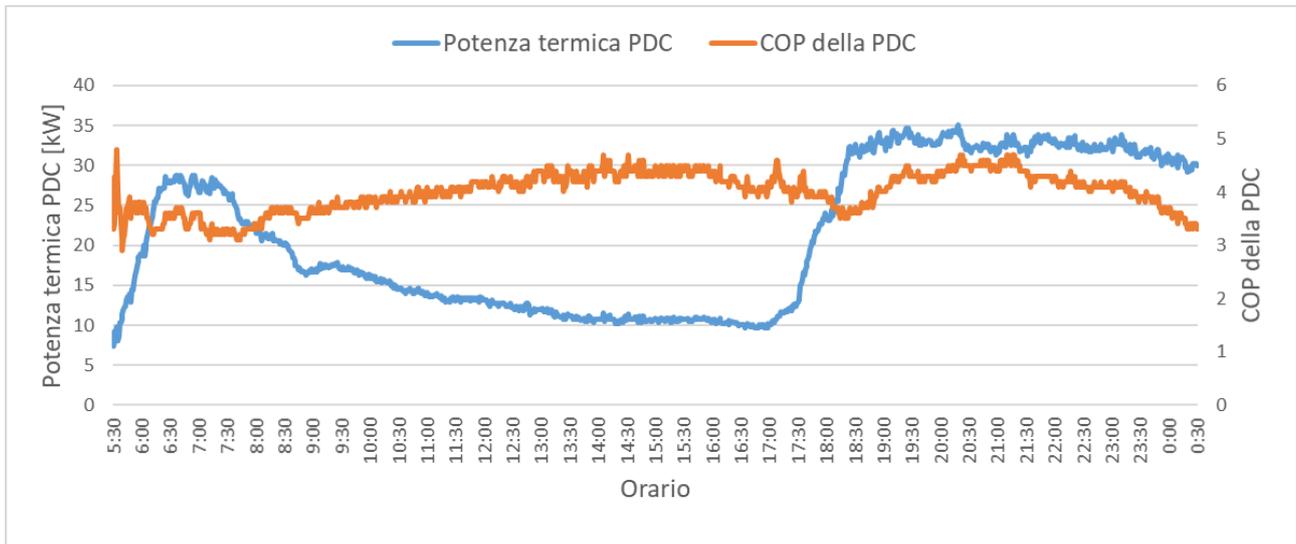


Figura 38: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

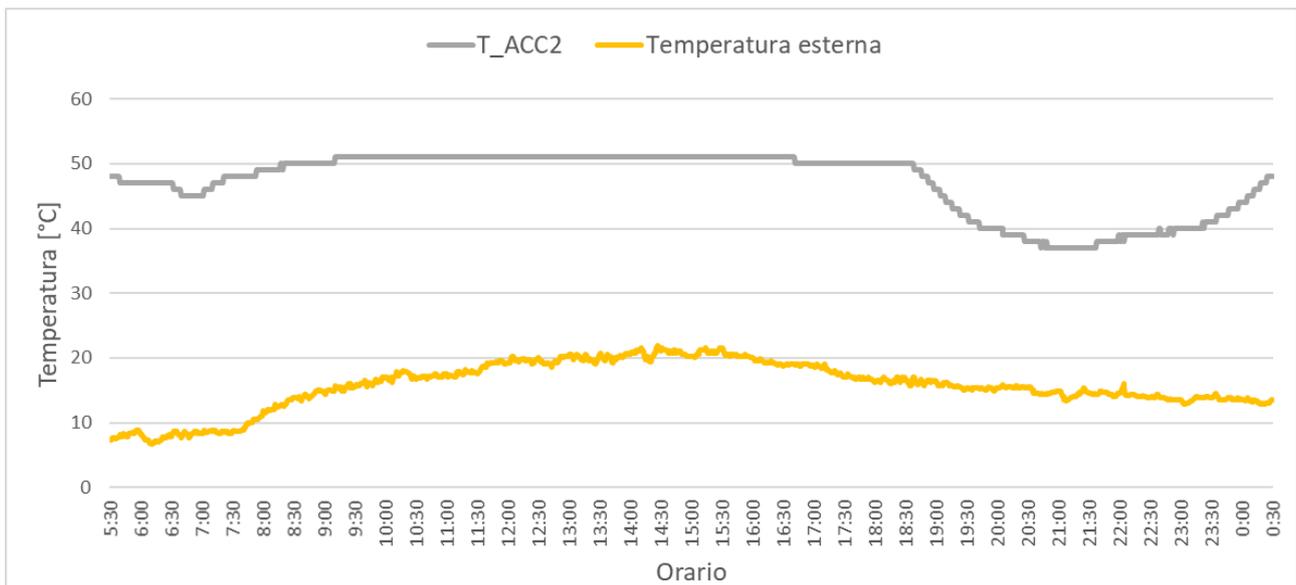


Figura 39: Temperatura misurat nell'accumulo ACC2 e temperatura esterna.

Il controllo della pompa di calore modula il numero di giri del compressore e la conseguente potenza elettrica assorbita come indicato in Figura 40 e Figura 41. Come si può osservare dai seguenti grafici, diversamente dalla prova precedente, applicando il profilo di carico termico di Figura 37, la pompa di calore assorbe una potenza maggiore nelle ore di non produzione dell'impianto fotovoltaico, determinando, come riportato dalla seguente analisi energetica, una riduzione del coefficiente di autosufficienza rispetto al caso studio ufficio.

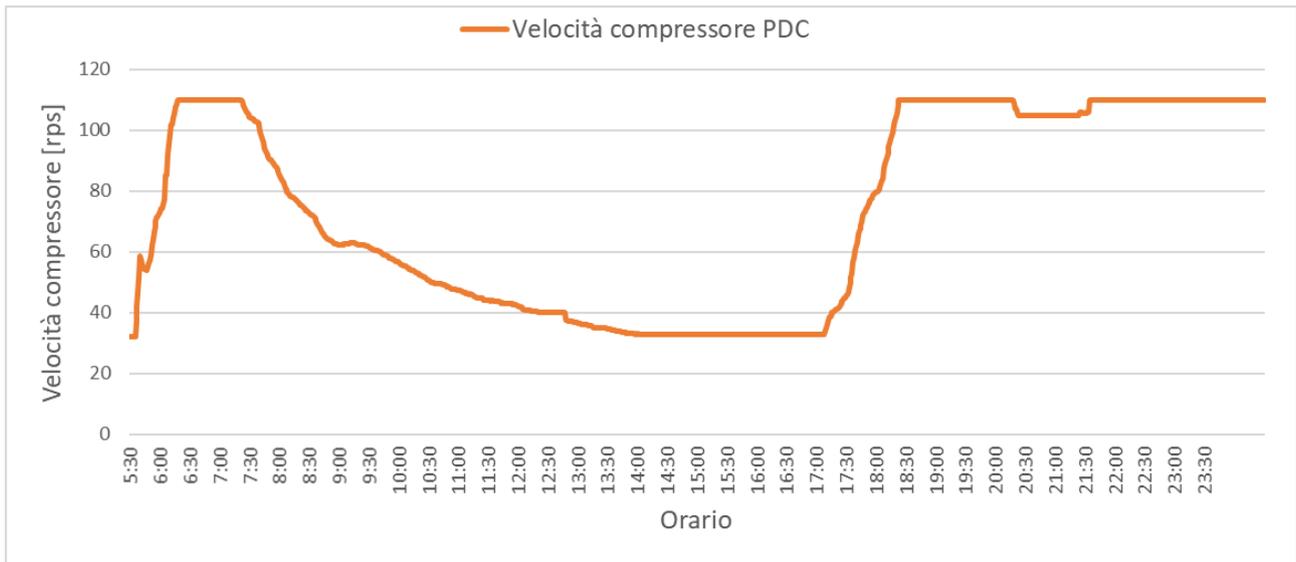


Figura 40: Andamento temporale della velocità del compressore della PDC.

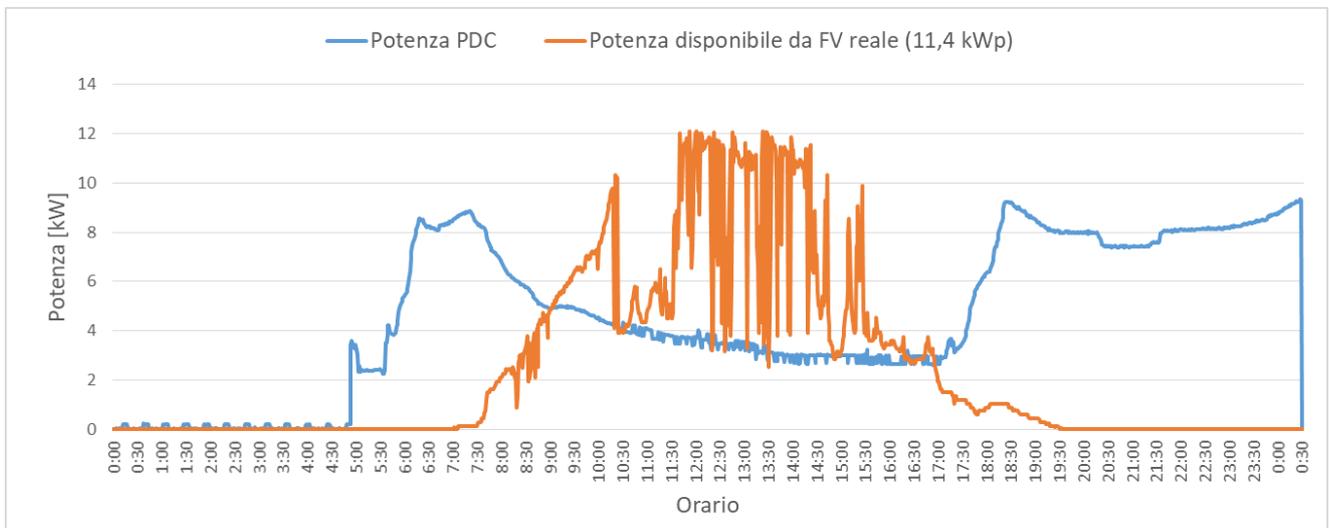


Figura 41: Misura nella giornata di prova della potenza assorbita dalla PDC e della potenza generata dal campo fotovoltaico da 11,4 kWp lato corrente alternata – prova 4

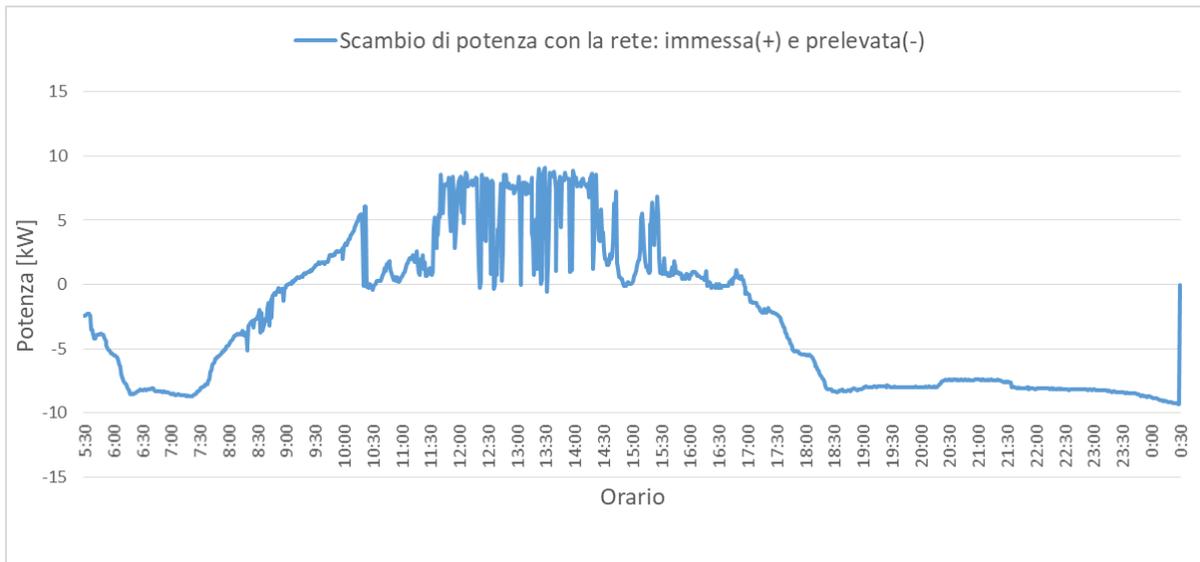


Figura 42: Andamento temporale dello scambio di potenza con la rete: (+) potenza immessa in rete; (-) potenza prelevata dalla rete.

Si riporta di seguito la sintesi dell’analisi energetica della prova con il calcolo dei coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica della pompa di calore.

Tabella 4: principali grandezze energetiche della pompa di calore e del fotovoltaico ottenute dall’analisi delle misure della prova 4

Energia elettrica prodotta da FV	59,46	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla pdc	108,73	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla pdc	402,04	kWh/giorno
Energia elettrica immessa in rete	25,69	kWh/giorno
Energia elettrica prelevata dalla rete	74,97	kWh/giorno

Tabella 5: Coefficienti di Autoconsumo e autosufficienza energetica ottenuti dalla prova 4

Calcolo Coefficienti energetici		
Coefficiente di autoconsumo impianto FV	56,79	%
Coefficiente di autosufficienza energetica pdc	31,06	%
COP medio	3,70	

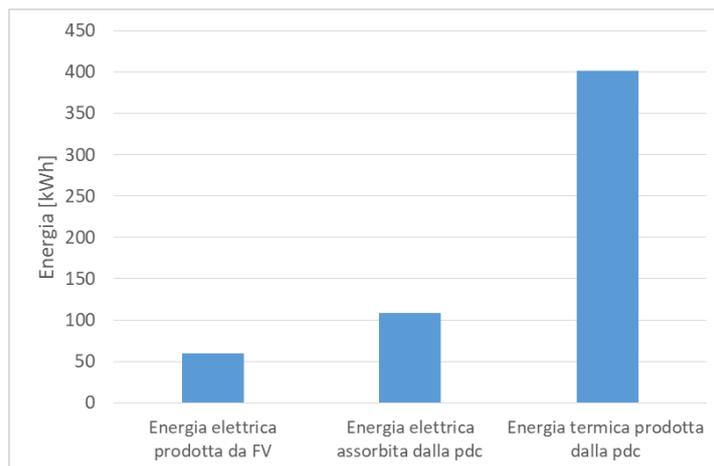


Figura 43: Rappresentazione grafica dei valori giornalieri di energia elettrica e termica inerenti la sessione sperimentale in analisi.

La pompa di calore per bilanciare il carico termico residenziale applicato dal dry cooler all'accumulo, ha prodotto una energia pari a circa 402 kWh assorbendo un'energia elettrica pari a circa 109 kWh. Rispetto ai risultati riportati in Tabella 1, ottenuti con l'applicazione al sistema S.A.P.I.EN.T.E. del carico termico dell'edificio F83, si osserva un calo sia dell'indice di autosufficienza energetica, da circa l'84% al 31 %, sia dell'indice di autoconsumo da circa il 76% a circa il 57%. La riduzione dei coefficienti rispetto al caso ufficio è dovuta al diverso profilo di carico termico, per cui, mantenendo il profilo termico residenziale, sarà utile valutare nelle successive prove i potenziali vantaggi energetici ottenibili dall'applicazione della logica di controllo del tipo power to heat per far inseguire alla pompa di calore il profilo di produzione elettrica del fotovoltaico locale.

2.2.5 Profili di carico elettrico d'utente utilizzati per le prove sperimentali con il sistema SAPIENTE

Nelle successive prove sono state emulate con il Web server i profili elettrici di una utenza multi familiare (costituita da 4 appartamenti) al fine di verificare le prestazioni del sistema S.A.P.I.EN.T.E. in un contesto condominiale nel caso di: i) applicazione del profilo di carico termico e del carico elettrico totale del piccolo condominio (curva blu Figura 44), ii) applicazione del profilo di carico termico e del carico elettrico totale del condominio ottimizzato aggregando l'accensione di tutti i carichi programmabili nelle ore di produzione del campo FV secondo una logica del tipo Demand-Response (curva rossa Figura 44).

Le prove verranno condotte fornendo come riferimento al regolatore PID, utilizzato per controllare il numero di giri del compressore della pompa di calore, la potenza netta risultante dalla differenza tra la potenza prodotta dal fotovoltaico e il carico elettrico complessivo del condominio.

Per un confronto con i risultati ottenuti da prove già effettuate, le curve di carico elettrico emulate con il Web server e riportate nel grafico di Figura 44 coincidono con quelle già utilizzate per le prove sperimentali della precedente linea di attività.

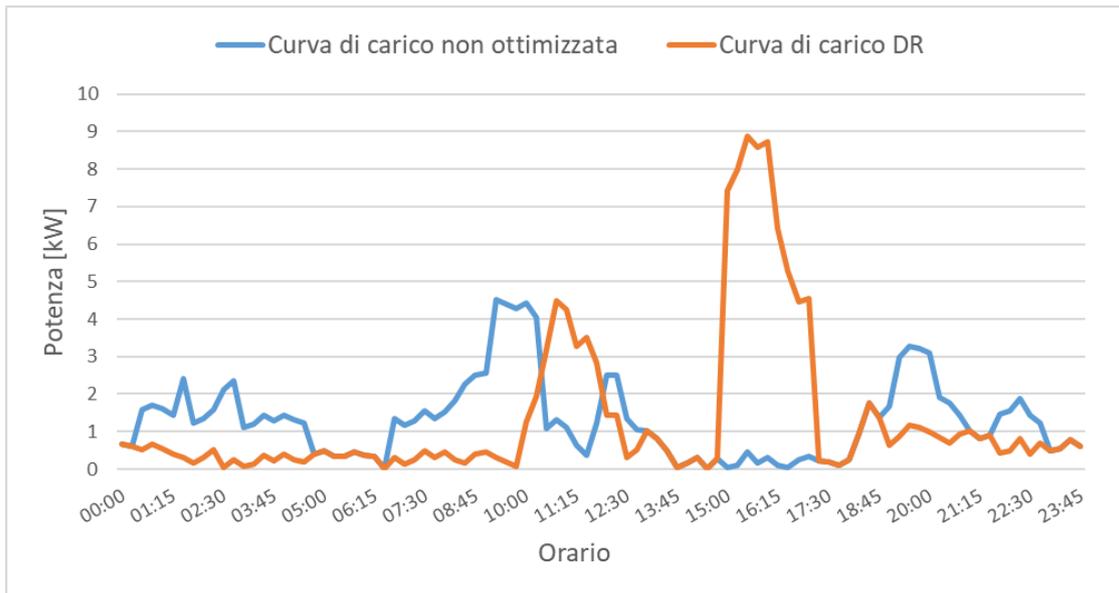


Figura 44: Curve di carico elettrico non ottimizzato (blu) e ottimizzato tramite logiche Demand-Response (rossa) impiegate nelle sessioni sperimentali riportate nei successivi paragrafi.

2.2.6 Prova n°5: Sperimentazione con profilo di carico termico residenziale, impianto fotovoltaico emulato e carico elettrico non ottimizzato

Per la prima sessione sperimentale è stata utilizzata una curva emulata per la potenza generata dal fotovoltaico e una curva di carico elettrico complessivo del condominio del tipo non ottimizzato come riportate in Figura 45.

La potenza netta (Figura 46), ottenuta dalla differenza delle due curve, è utilizzata come riferimento del PID per applicare il controllo power to heat alla pompa di calore in modo da modulare il compressore per inseguire la potenza elettrica prodotta dal fotovoltaico.

Nelle ore di assenza di produzione del campo fotovoltaico la gestione della pompa di calore passa al suo controllo interno per inseguire il carico termico emulato e mantenere la temperatura di setpoint dell’accumulo impostata da Web server.

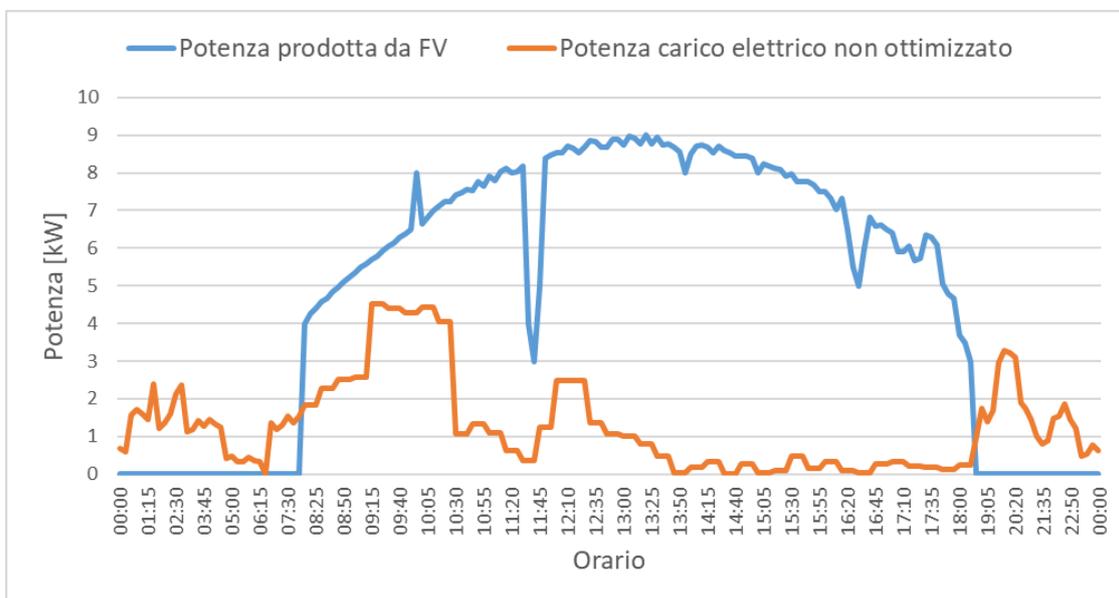


Figura 45: Curva di potenza generata da fotovoltaico (blu) e curva di carico elettrico non ottimizzato del piccolo condominio (rosso) impiegate nella sessione sperimentale in oggetto.

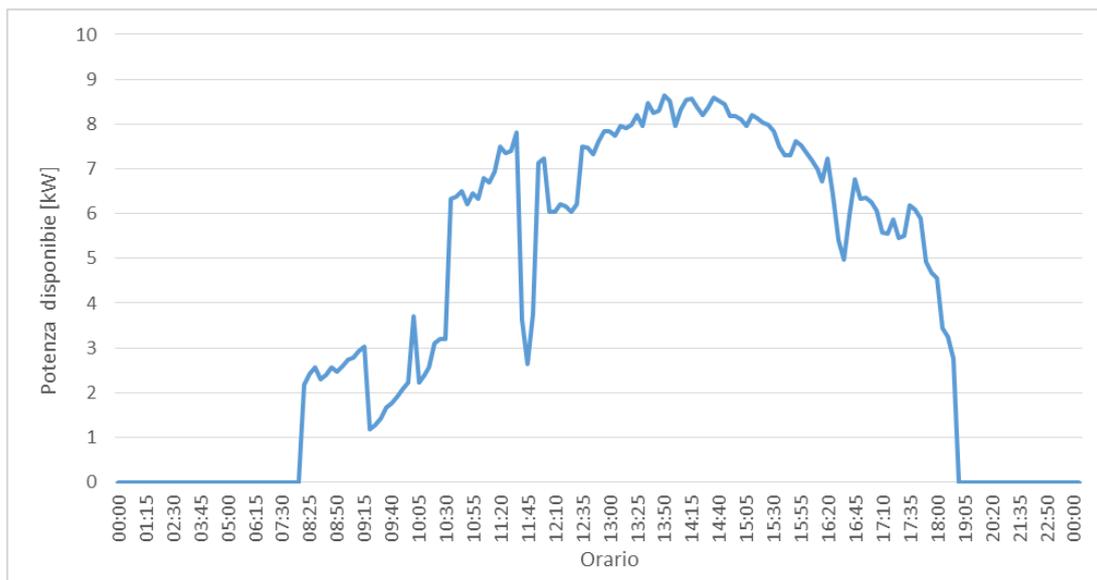


Figura 46: Profilo di potenza generata dal fotovoltaico al netto del carico elettrico totale del piccolo condominio – riferimento per il PID

La configurazione del sistema sperimentale e i parametri della prova sono riportati di seguito:

- Potenza impianto FV emulato: 10 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica applicata alla pompa di calore: modulazione compressore con PID per inseguire la curva di produzione del FV + mantenimento temperatura set point accumulo nelle ore di non produzione FV;
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 2 (Acc2 1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- range di regolazione della temperatura di accumulo per applicazione controllo power to heat: 45°C - 50°C;
- set point temperatura pompa di calore per funzionamento in modalità inseguimento termico: 50°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza emulato con il dry cooler (DC2) : tipo residenziale;
- profilo di carico elettrico d'utenza emulato con Web server: carico elettrico totale non ottimizzato del piccolo condomino indicata in Figura 45.

Si riportano di seguito i grafici con i risultati della prova sperimentale; in particolare dal grafico di Figura 47 si possono osservare i seguenti punti:

- i) dalle 18:10 alle 8:00 circa, in assenza di produzione da fotovoltaico, la pompa di calore viene gestita dal controllo interno per bilanciare il carico termico dell'edificio riportato in Figura 49, e mantenere il setpoint di temperatura dell'accumulo a 50°C,
- ii) nelle ore di produzione del fotovoltaico il regolatore PID riesce a modulare il numero di giri del compressore per far seguire alla pompa di calore la potenza elettrica generata; quando la temperatura dell'accumulo, indicata in Figura 48, raggiunge la temperatura massima impostata a 50 °C il controllo spegne la pompa di calore per riaccenderla in modalità inseguimento solo quando la stessa temperatura scende sotto 45°C.
- iii) Il basso carico termico nelle ore di attivazione del controllo ad inseguimento fotovoltaico comporta, come si può osservare dalla Figura 48, una oscillazione della temperatura di accumulo tra il valore massimo e minimo dell'intervallo di regolazione determinando le frequenti accensioni e spegnimenti della pompa di calore riportate in Figura 47.

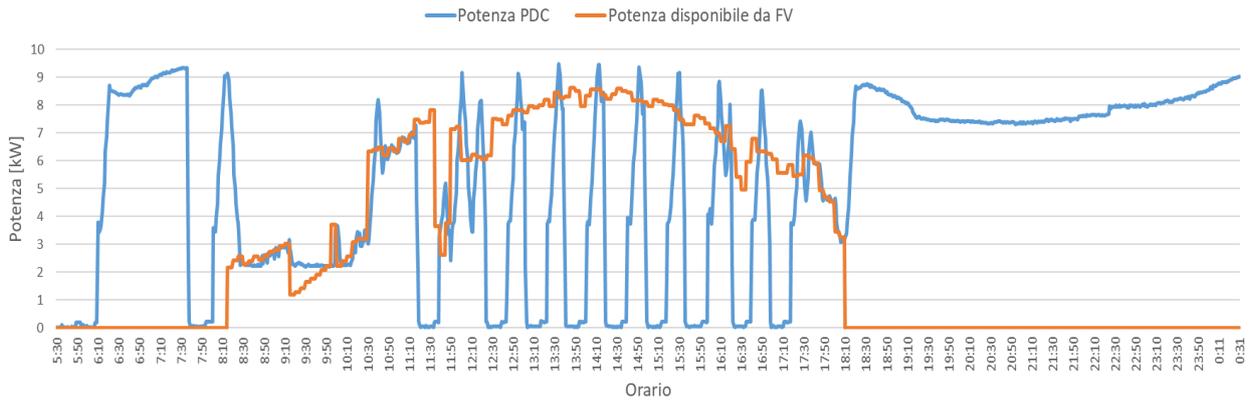


Figura 47: Andamento durante la prova sperimentale della potenza disponibile da fotovoltaico emulato e della potenza assorbita dalla pompa di calore.

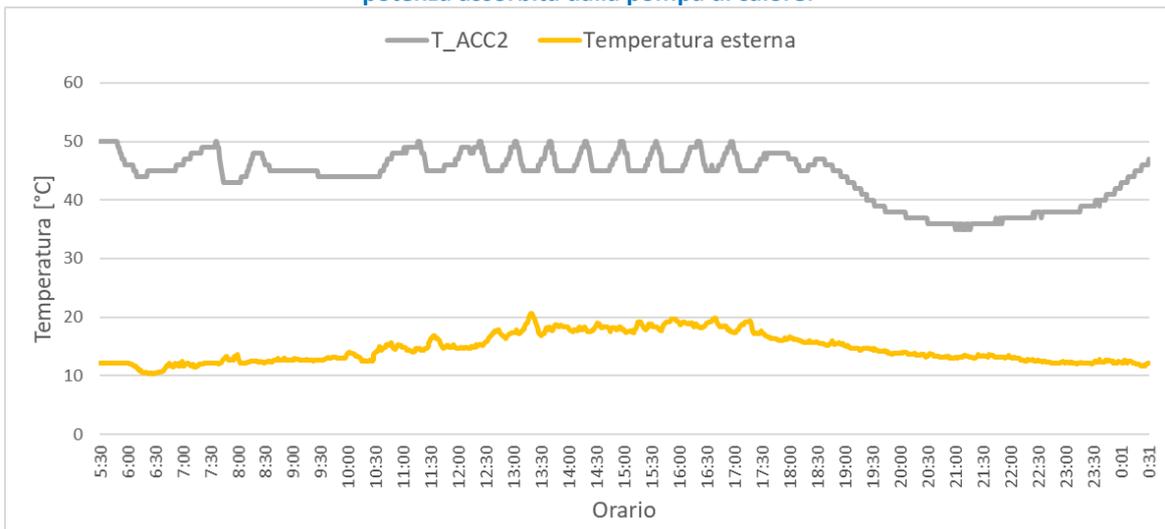


Figura 48: Andamento temporale della temperatura rilevata nell'accumulo ACC2 e della temperatura esterna.

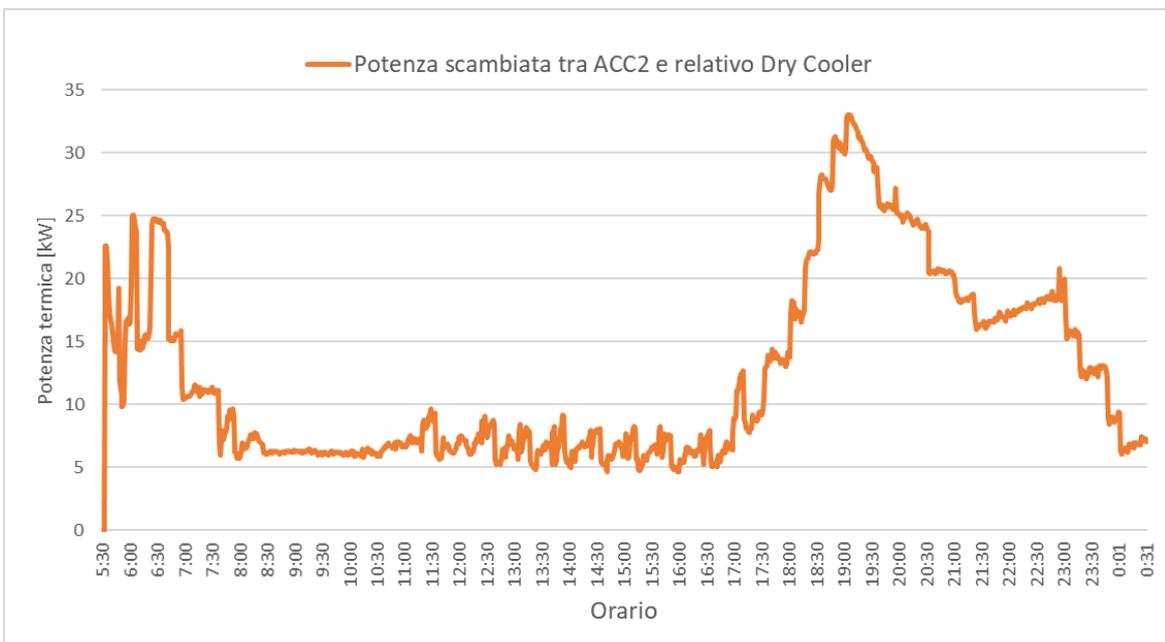


Figura 49: profilo di carico termico applicato all'accumulo 2 (ACC2) modulando la velocità della ventola del dry cooler secondo il profilo letto da Web server

Si riporta di seguito la regolazione del compressore della pompa di calore e la relativa potenza termica generata sia nelle ore di funzionamento ad inseguimento del setpoint di temperatura sia nelle ore di attivazione del regolatore PID per inseguire la potenza generata dal fotovoltaico.

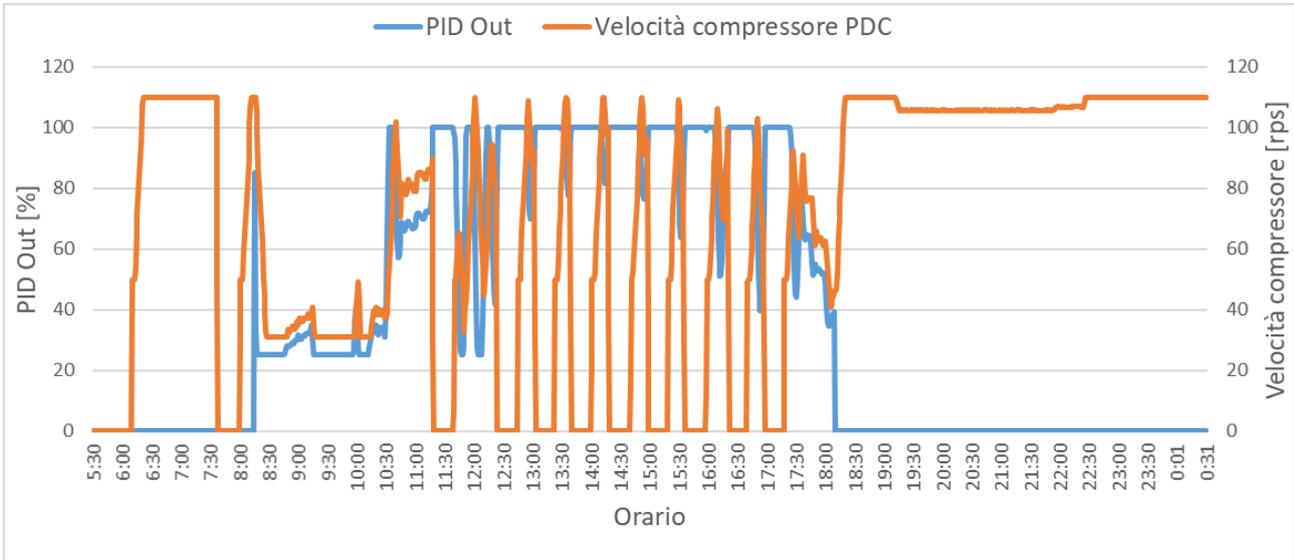


Figura 50: Andamento temporale dell'uscita del PID_PDC e della velocità del compressore della PDC.

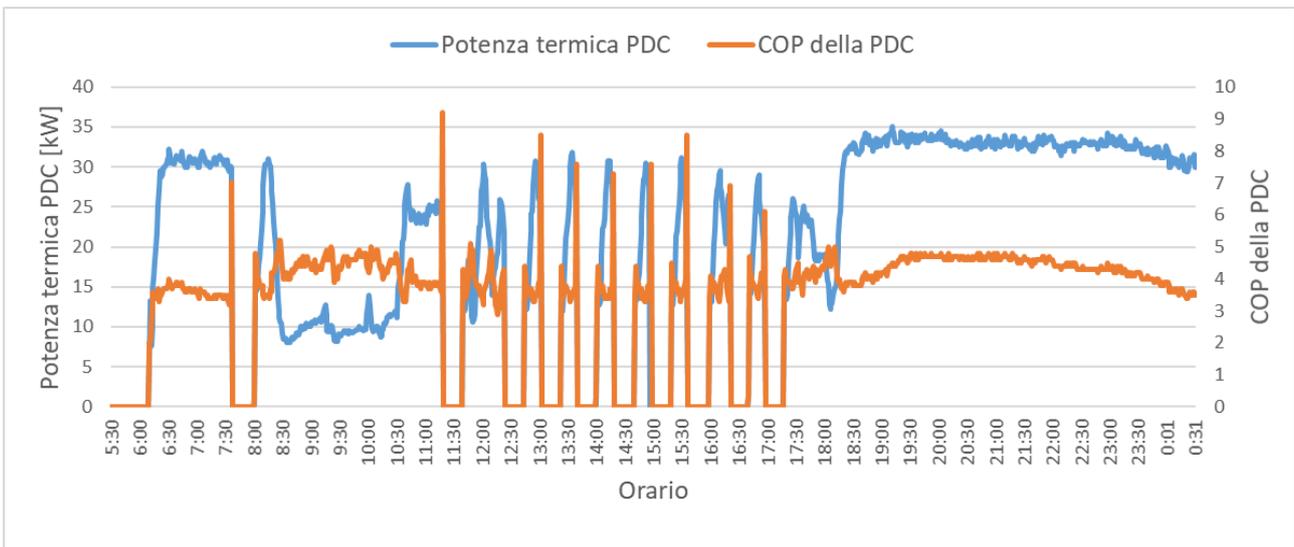


Figura 51: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

Si riporta in Tabella 6 e in Tabella 7 l'analisi delle prova sperimentale valutando i principali parametri energetici. Il coefficiente di autoconsumo è riferito al sistema condominio-pompa di calore, in particolare è dato dalla somma dell'energia autoconsumata fisicamente dalla pompa di calore e della quota di energia autoconsumata virtualmente dagli utenti condominiali (come previsto dallo schema di autoconsumo collettivo).

Tabella 6: Valori giornalieri di energia elettrica e termica relativi alla prova 5

Analisi energetica		
Energia elettrica prodotta da FV	71,04	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dall'edificio	31,19	kWh/giorno
Energia elettrica disponibile (FV-carico elettrico edificio)	58,41	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla PDC	97,43	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla PDC	375,93	kWh/giorno

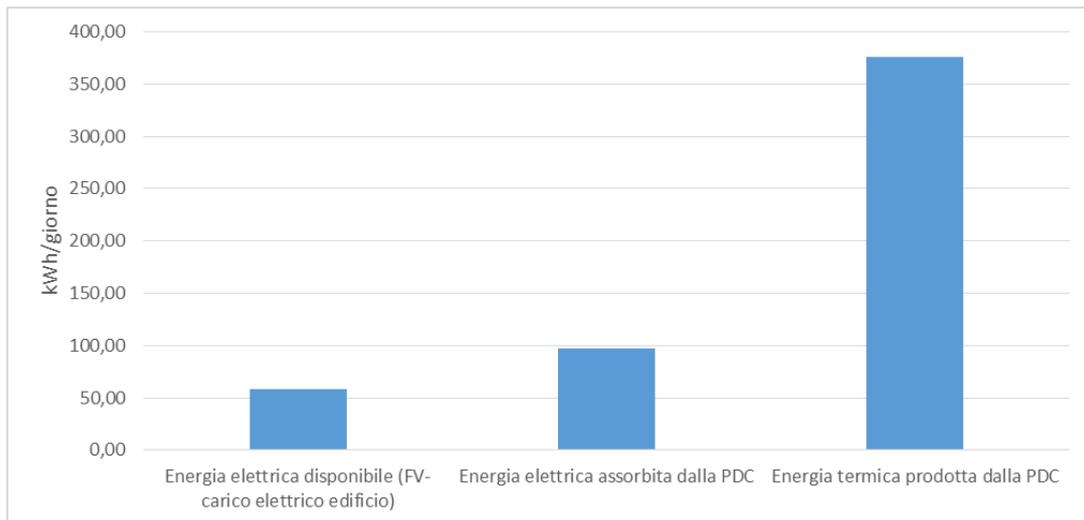


Figura 52: Rappresentazione grafica dei valori giornalieri di energia elettrica e termica inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Tabella 7: Coefficienti energetici e COP medio ottenuti dalla prova 5.

Calcolo Coefficienti energetici	
Coefficiente di autoconsumo impianto FV	62%
Coefficiente di autosufficienza energetica edificio + PDC	34%
Coefficiente di autosufficienza energetica solo PDC	32%
COP medio	3,86

Da risultati dell'analisi energetica si evince come rispetto alla prova precedente (assenza del controllo ad inseguimento fotovoltaico applicato alla pompa di calore) si sia ottenuto un miglioramento del coefficiente di autoconsumo passando da circa 57% (Tabella 5) all'attuale 62% mantenendo invece quasi invariato il coefficiente di autosufficienza della pompa di calore a circa 32%. In Tabella 6 è riportato anche il coefficiente di autosufficienza energetica riferito alla somma dei consumi elettrici dell'edificio e della pompa di calore pari a 34%.

Risulta interessante osservare come per la stessa prova effettuata nella precedente linea di attività, emulando lo stesso profilo di carico elettrico e lo stesso profilo di produzione del fotovoltaico, si sia ottenuto un coefficiente di autoconsumo pari al 92% e un coefficiente di autosufficienza della pompa di calore pari al 95%. (Report RdS/PTR2021/127).

Questi ultimi valori sono stati ottenuti poiché durante la prova è stato emulato con il drycooler un profilo di carico termico tale da mantenere la temperatura dell'accumulo sotto il valore di 50°C, consentendo alla pompa di calore di lavorare per un tempo maggiore in modalità inseguimento fotovoltaico.

Dall'analisi sopra riportata si evince come i bassi valori dei coefficienti energetici ottenuti dalla prova in oggetto siano dovuti al tipo di profilo di carico termico; questo infatti, essendo caratterizzato da una bassa potenza nelle ore di produzione del fotovoltaico, limita la possibilità di applicare il controllo power to heat alla pompa di calore in quanto l'inseguimento della potenza elettrica prodotta dal fotovoltaico si interrompe quando l'accumulo raggiunge la temperatura massima pari a 50°C.

Si riportano di seguito alcune delle soluzioni valutate per migliorare i coefficienti energetici:

- i) aumento del volume d'accumulo utilizzato per gestire la potenza termica generata in eccesso nelle ore di basso carico,
- ii) ottimizzare il profilo di carico termico del condominio preriscaldando gli ambienti nelle ore di produzione del fotovoltaico; per i condomini con impianto centralizzato e contabilizzazione individuale del calore, la curva di carico termico dell'edificio può essere modificata premiando con una tariffa incentivante i consumi termici dei singoli utenti se coincidono con le ore di maggiore produzione del campo fotovoltaico,
- iii) innalzare la temperatura di accumulo integrando una resistenza elettrica o impiegando pompe di calore ad alta temperatura,
- iv) gestire i carichi elettrici programmabili degli utenti condominiali con logiche Demand Response per spostare parte dei consumi nelle ore di produzione del campo fotovoltaico

Le ultime due soluzioni proposte sono state applicate nelle prove sperimentali riportate di seguito.

2.2.7 Prova n°6: impianto fotovoltaico emulato, carico elettrico ottimizzato con logiche Demand-Response e carico termico con profilo di tipo residenziale

Mantenendo la stessa configurazione della precedente prova, in questa sessione è stato emulato con il Webserver il profilo di carico elettrico ottimizzato con logia DR e il profilo di potenza generata da fotovoltaico riportate in Figura 53.

La potenza elettrica disponibile di Figura 54, utilizzata come riferimento al regolatore PID per l'applicazione del controllo power to heat; è data dalla curva di potenza generata dal fotovoltaico al netto del profilo di carico elettrico ottimizzato.

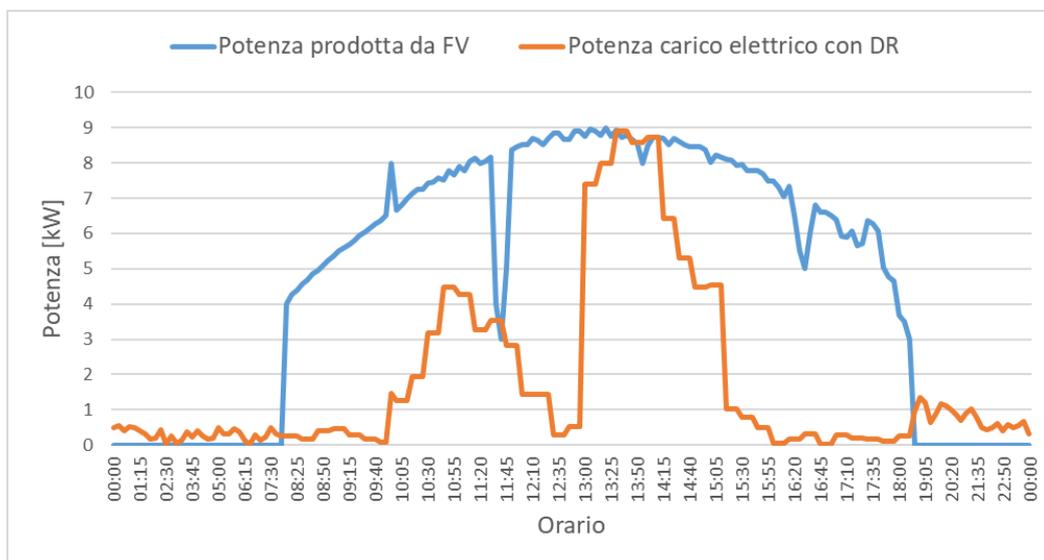


Figura 53: Curva di produzione del fotovoltaico e curva di carico dell'edificio ottimizzata con logiche Demand-Response – curve impiegate nella prova 6.

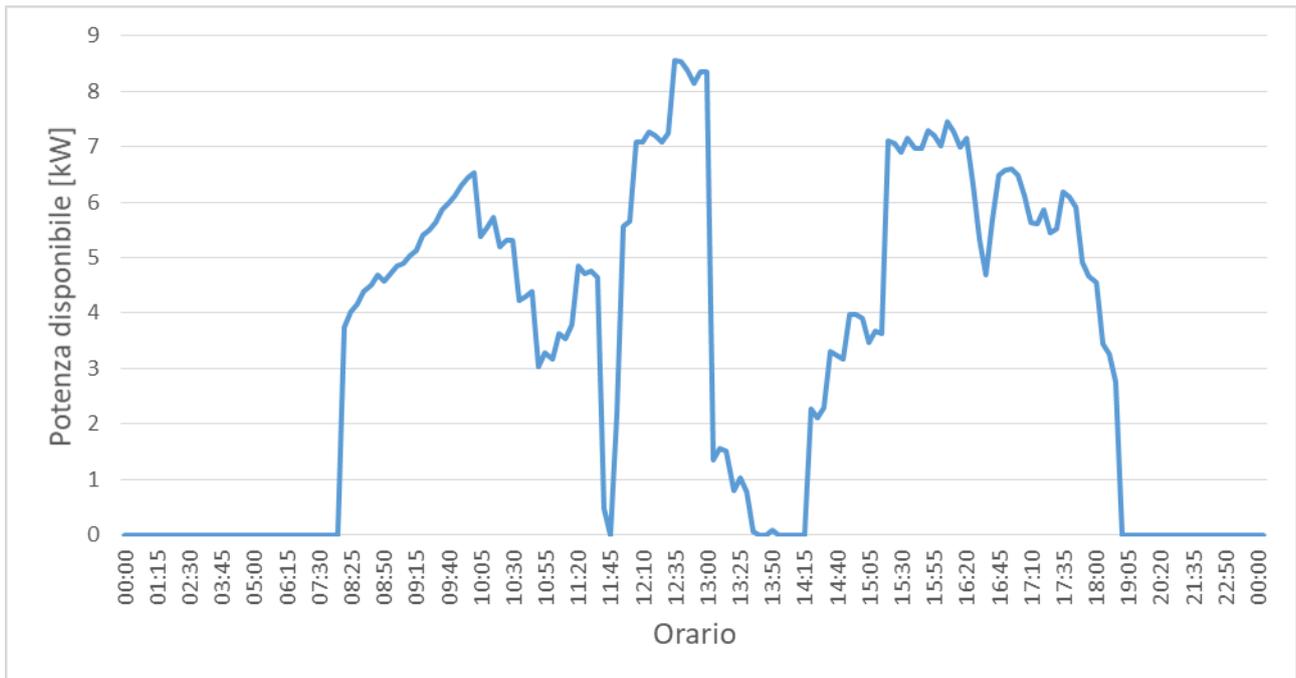


Figura 54: Potenza disponibile ottenuta dalla curva di produzione del fotovoltaico al netto della la potenza del carico elettrico ottimizzato.

Si riporta di seguito la configurazione della prova sperimentale:

- impianto FV emulato con potenza nominale pari a 10 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica applicata alla pompa di calore: modulazione compressore con PID per inseguire il profilo di potenza disponibile del FV + set point temperatura accumulo nelle ore di non produzione del FV;
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 2 (Acc2 -1500 litri);
- accumulo ACS: nessuno;
- intervallo di regolazione della temperatura di accumulo con logica ad inseguimento FV: 45°C - 50°C
- set point temperatura accumulo caldo: 50°C; (mantenimento temperatura nelle ore di non produzione del FV);
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d'utenza generato con dry cooler: profilo di prova, tipo residenziale;
- profilo di carico elettrico d'utenza emulato con Webserver: profilo di prova, carico elettrico ottimizzato con logiche Demand Response.

Dalle misure riportate in Figura 55 si può osservare come, rispetto alla prova precedente, la pompa di calore riesce meglio ad inseguire la potenza disponibile; infatti avendo spostato i carichi programmabili nelle ore di produzione del fotovoltaico si riduce la potenza disponibile inseguita dalla pompa di calore producendo meno potenza termica in corrispondenza del basso carico generato con il dry cooler riportato in Figura 57.

Riducendo la potenza termica generata, la pompa di calore lavora con maggiore continuità in modalità inseguimento fotovoltaico nelle ore di basso carico in quanto la temperatura d'accumulo, come m indicato in Figura 56, raggiunge meno frequentemente la temperatura massima di 50°C.

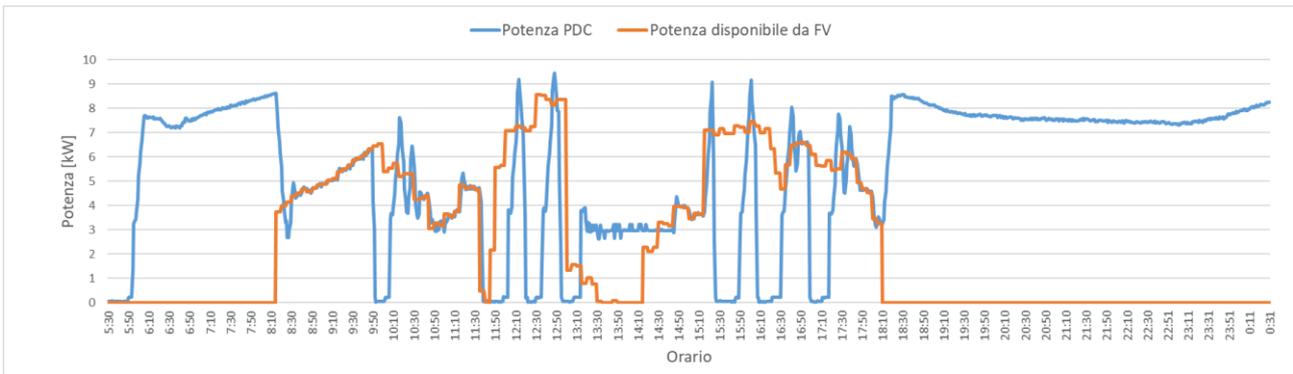


Figura 55: Andamento temporale della potenza disponibile da fotovoltaico emulato e della potenza assorbita dalla PDC.

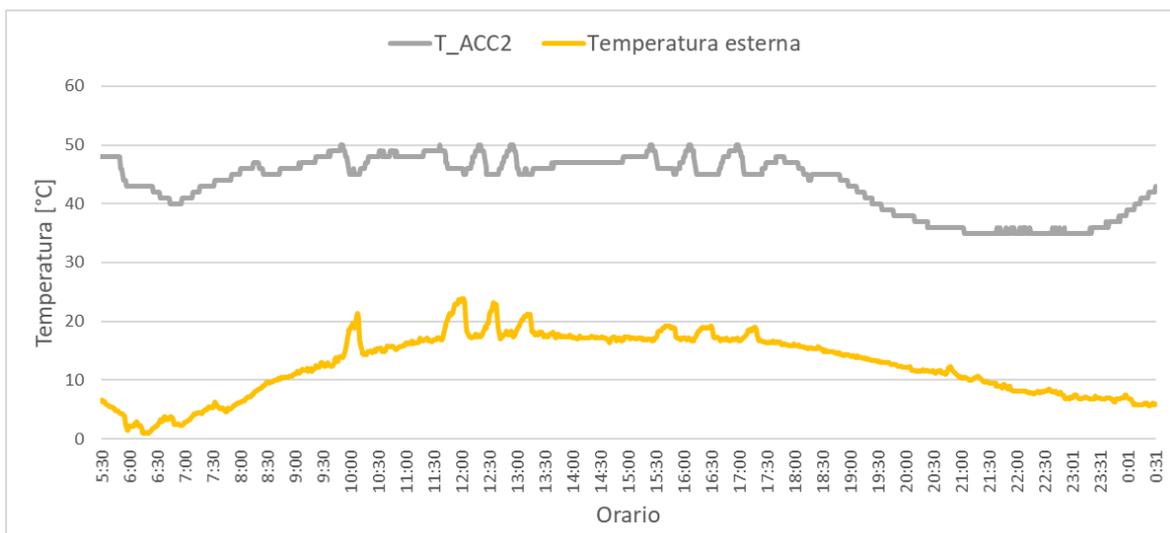


Figura 56: Andamento temporale della temperatura rilevata nell'accumulo ACC2 e della temperatura esterna.

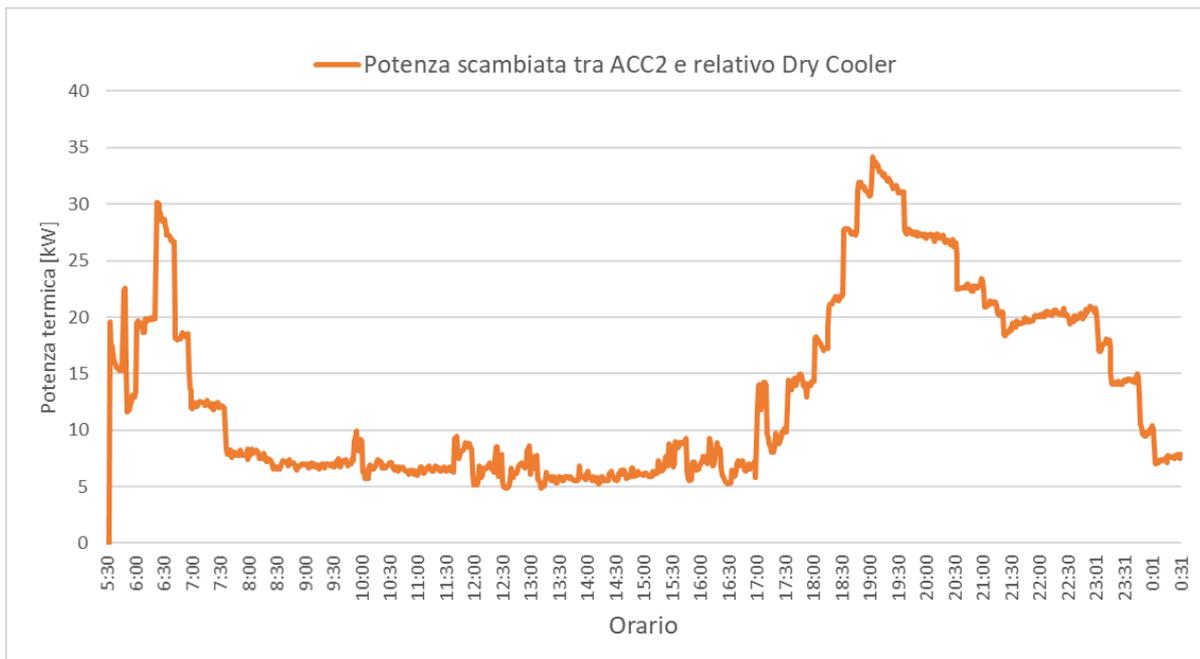


Figura 57: Andamento temporale della potenza termica scambiata tra ACC2 e il relativo Dry Cooler.

Si riporta di seguito la modulazione del numero di giri del compressore gestito dal PID e la potenza termica generata dalla pompa di calore durante la prova.

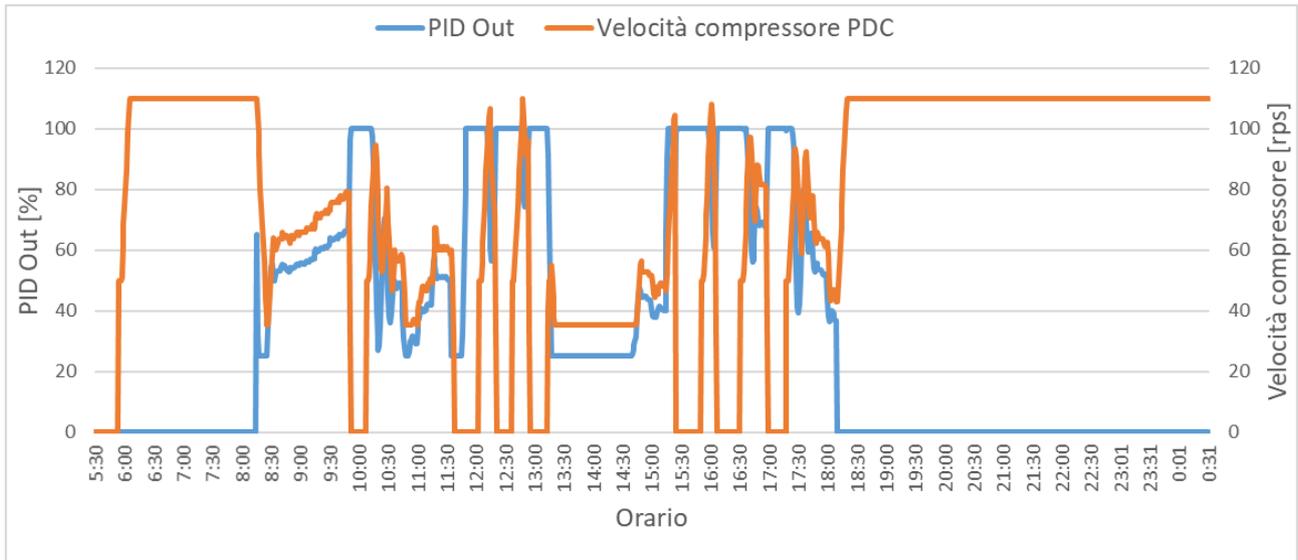


Figura 58: Andamento temporale dell’uscita del PID_PDC e della velocità del compressore della PDC.

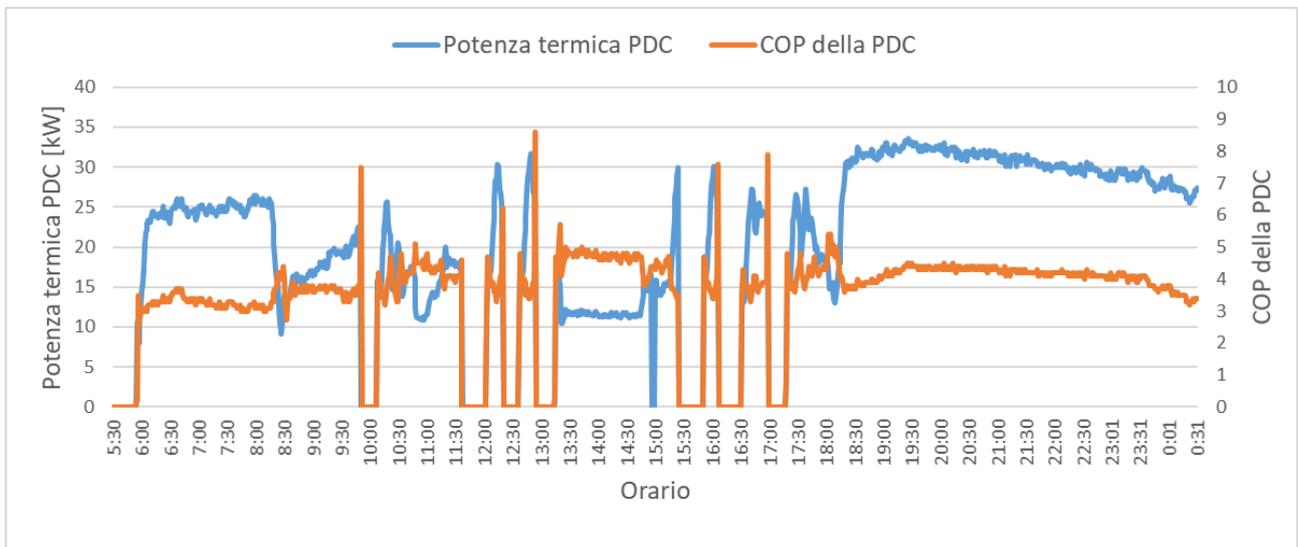


Figura 59: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

Dall’analisi energetica riportata di seguito si possono notare i vantaggi introdotti dall’applicazione delle logiche DR per ottimizzare il profilo di carico elettrico dell’edificio già evidenziati nella precedente analisi del funzionamento della pompa di calore.

In particolare il profilo di carico ottimizzato consente una applicazione più efficace del controllo della pompa di calore con logica power to heat ad inseguimento della potenza del fotovoltaico , infatti dal confronto dei risultati riportati in Tabella 9, si evince sia un incremento del coefficiente di autoconsumo rispetto alla precedente prova dal 62% al 71% sia un incremento dell’autosufficienza complessiva (edificio + pompa di calore) dal 34% al 41%.

D’altra parte, a causa della minore potenza disponibile, l’autosufficienza della pompa di calore si riduce rispetto alla precedente prova dal 32% al 30%.

Tabella 8: Valori giornalieri di energia elettrica e termica inerenti la sessione sperimentale in analisi.

	Carico non ottimizzato (prova 5)	Carico elettrico ottimizzato (prova 6)	
Energia elettrica prodotta da FV	71,04	71,04	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dall'edificio	31,19	31,19	kWh/giorno
Energia elettrica disponibile (FV - carico elettrico edificio)	58,41	46,72	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla PDC	97,43	101,71	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla PDC	375,93	375,57	kWh/giorno

Tabella 9: Coefficienti energetici e COP medio inerenti la sessione sperimentale in analisi.

	Carico non ottimizzato (prova 5)	Carico elettrico ottimizzato (prova 6)	
Coefficiente di autoconsumo impianto FV con PDC e inseguimento FV	62,00	77,28	%
Coefficiente di autosufficienza energetica dell'edificio con PDC e inseguimento FV	34,00	41,31	%
Coefficiente di autosufficienza energetica della PDC con controllo ad inseguimento della potenza prodotta dal FV	32,00	30,07	%
COP medio	3,86	3,69	

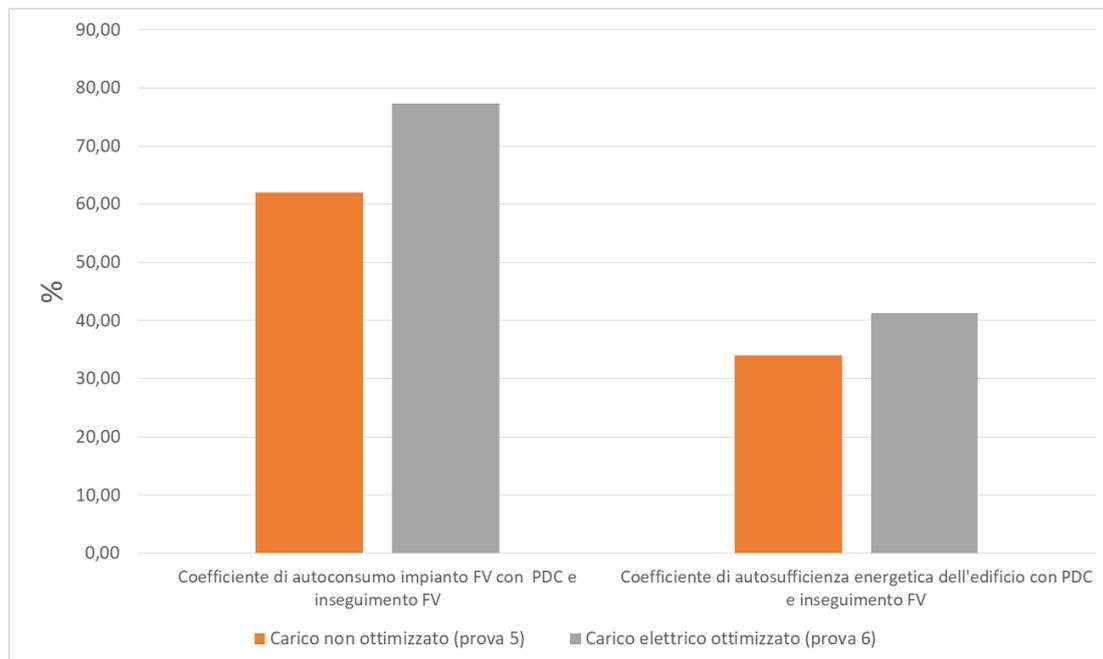


Figura 60: Rappresentazione grafica - confronto coefficienti energetici ottenuti dalla 5 e dalla prova 6.

2.2.8 Prova n°7: Inseguimento del fotovoltaico reale e attivazione resistenze elettriche integrative

In questa sessione sperimentale è stata provata la possibilità di gestire le resistenze elettriche integrate negli accumuli termici per continuare ad autoconsumare sul posto la potenza prodotta dal fotovoltaico locale quando il controllo ad inseguimento applicato alla pompa di calore si interrompe a causa del raggiungimento della temperatura massima di funzionamento impostata nell'interfaccia del PID.

I tre accumuli termici sono dotati di resistenze elettriche indicate con R1, R2 e R3 come indicate nello schema di Figura 14; ciascuna resistenza è alimentata in trifase e ha una potenza pari a 4,5 kW

Le resistenze vengono attivate e monitorate singolarmente dalla specifica interfaccia del Web Server riportata in Figura 61 già descritta nella precedente linea di attività; attivando i pulsanti del pannello “On Off”, vengono chiusi i singoli contattori K1, K2e K3, indicate nello schema di Figura 14, con i quali vengono alimentate le tre resistenze elettriche.

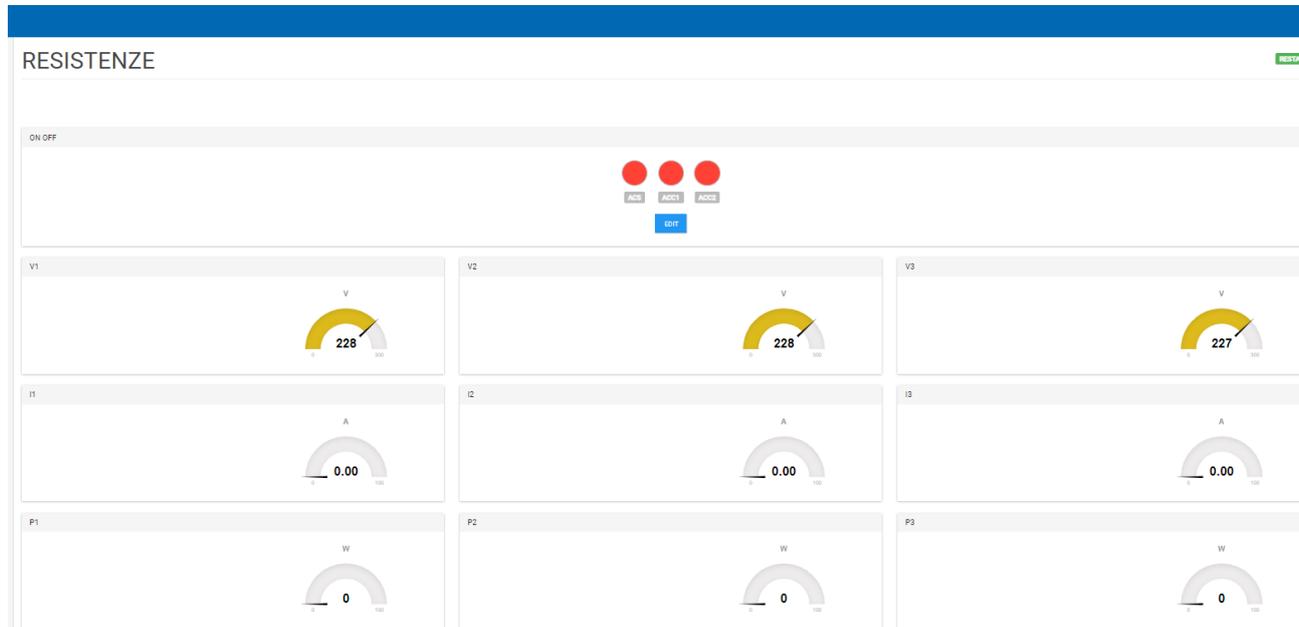


Figura 61: Interfaccia del Web Server utilizzata per attivare singolarmente le resistenze degli accumuli e monitorare la potenza assorbita

Nella prova seguente, viene attivato in via prioritaria il regolatore PID per applicare il controllo power to heat per far inseguire alla pompa di calore la reale potenza erogata dal campo fotovoltaico da 11,4 kWp.

Quando la temperatura degli accumuli raggiunge la temperatura massima di fine inseguimento (impostata nell’interfaccia del PID), il controllo spegne la pompa di calore e vengono attivate le singole resistenze per assorbire una potenza prossima a quella erogata dal fotovoltaico ma senza superarla.

Diversamente dal regolatore PID applicato alla pompa di calore, l’inseguimento della potenza erogata dal fotovoltaico con l’inserzione delle resistenze è ottenuto a scalini di potenza.

Le condizioni di esecuzione della prova 7 sono descritte di seguito:

- impianto FV reale 11,4 kWp;
- intervallo di campionamento delle misure: 1 min;
- logica applicata alla pompa di calore: modulazione compressore con PID per inseguire la curva di produzione del campo FV;
- accumulo termico utilizzato: Accumulo 1 (Acc1 1500 litri) e Accumulo 2 (Acc 2 1500 litri);
- accumulo acqua calda sanitaria: ACC ACS 1000 litri;
- intervallo di regolazione temperatura accumuli per controllo pompa di calore con PID : 45°C - 50°C;
- set point temperatura accumulo per disattivazione resistenze: 72°C;
- accumulo elettrico: no;
- profilo di carico termico d’utenza: non applicato;
- profilo di carico elettrico d’utenza: non applicato.
- profilo di carico elettrico d’utenza: non applicato.

Per valutare gli effetti termici ottenuti dall’attivazione delle resistenza, nella prova in oggetto non è stato applicato un carico termico agli accumuli.

Dal monitoraggio elettrico del sistema sperimentale riportato in Figura 62 si può osservare il corretto funzionamento del controllo power to heat applicato con il regolatore PID alla pompa di calore. Il PID regola

in continuo il numero di giri del compressore (Figura 64) per far coincidere la potenza assorbita dalla pompa di calore con la potenza reale erogata dall'impianto fotovoltaico del sistema SAPIENTE.

Quando i tre accumuli raggiungono una temperatura di 50°C (Figura 63) il controllo spegne la pompa di calore interrompendo il numero di giri del compressore e la potenza termica erogata come indicato in Figura 64 e Figura 65. Per continuare ad autoconsumare la potenza erogata dal fotovoltaico vengono attivate le resistenze, come indicato in Figura 62.

Nella fase iniziale sono state accese le tre le resistenze; quindi è stata disattivata la resistenza dell'accumulo ACC2, in modo che la potenza assorbita fosse minore o uguale alla potenza erogata dal fotovoltaico. La resistenza dell'ACS si è spenta dopo aver portato l'accumulo alla temperatura massima di 72°C. Per continuare ad assorbire una potenza prossima a quella erogata dal fotovoltaico è stata accesa la resistenza dell'ACC2; quando la potenza erogata è scesa sotto 9 kW è stata spenta la resistenza dell'ACC1 e quindi la resistenza dell'ACC2 quando la potenza del fotovoltaico è scesa sotto 4.5 kW.

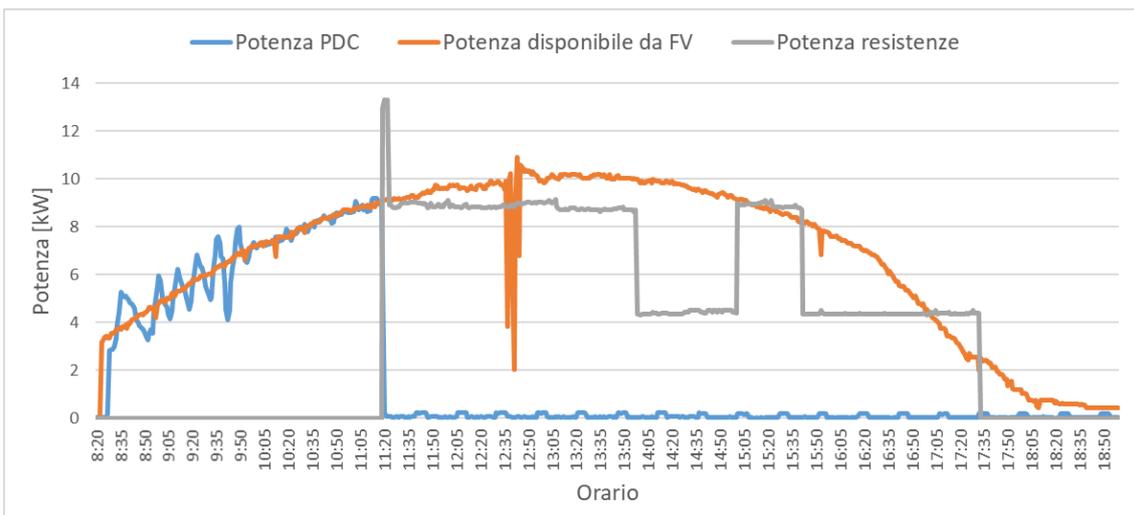


Figura 62: Andamento temporale della potenza disponibile da fotovoltaico reale e della potenza assorbita dalla PDC.

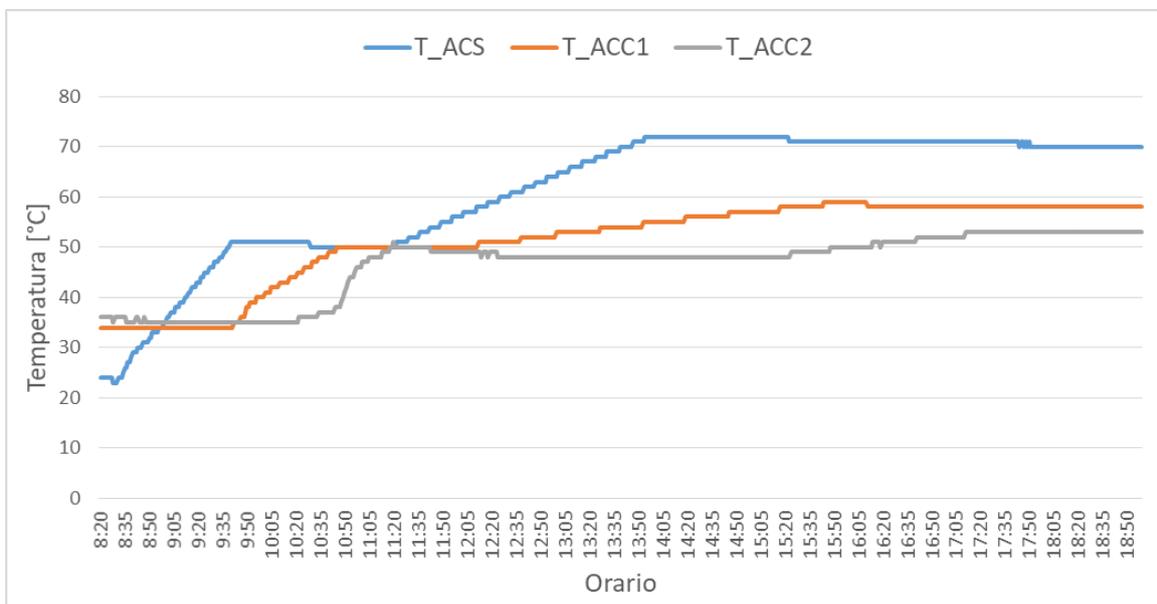


Figura 63: Andamento temporale delle temperature rilevate negli accumuli.

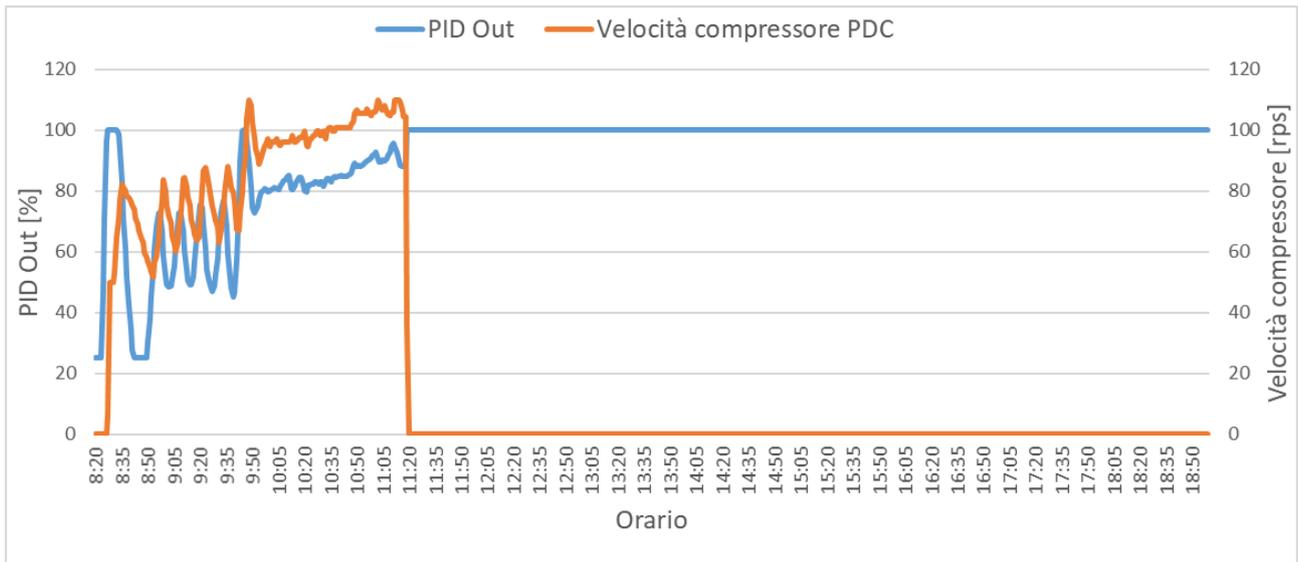


Figura 64: Andamento temporale dell’uscita del PID_PDC e della velocità del compressore della PDC.

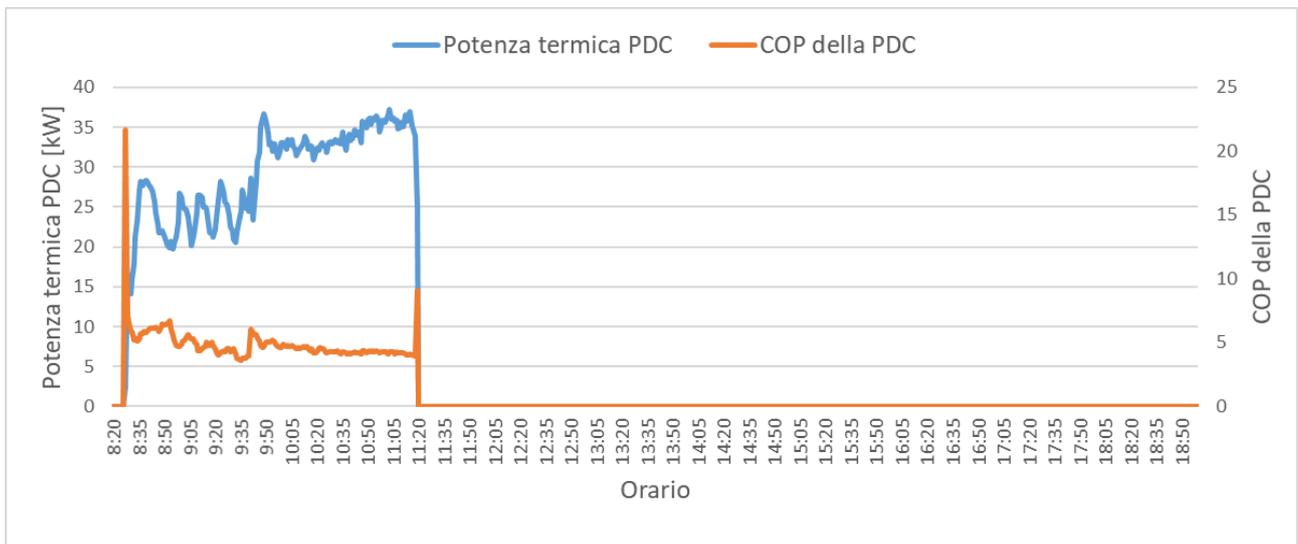


Figura 65: Andamento temporale della potenza termica e del COP della PDC.

Dall’analisi della prova riportata in Tabella 10 e in Tabella 11 si può osservare come l’incremento dell’energia termica accumulata attivando le resistenze elettriche influenzi positivamente i coefficienti energetici. Infatti limitando il funzionamento del sistema sperimentale al solo controllo ad inseguimento fotovoltaico si sarebbe ottenuto un coefficiente di autoconsumo pari al 26%; attivando le resistenze per continuare ad accumulare energia termica da fotovoltaico il coefficiente di autoconsumo sale a circa l’83%. Inoltre grazie all’applicazione congiunta del controllo ad inseguimento fotovoltaico applicato alla pompa di calore e all’attivazione delle resistenze si raggiunge un’autosufficienza energetica pari a circa il 97%.

Tabella 10: Valori giornalieri di energia elettrica e termica inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Energia elettrica prodotta da FV	72,98	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalla pdc	19,71	kWh/giorno
Energia elettrica assorbita dalle resistenze	42,59	kWh/giorno
Energia termica prodotta dalla pdc	83,98	kWh/giorno
Energia elettrica immessa in rete <u>senza</u> resistenze	53,83	kWh/giorno
Energia elettrica immessa in rete <u>con</u> resistenze	12,74	kWh/giorno
Energia elettrica prelevata dalla rete	2,05	kWh/giorno

Tabella 11: Coefficienti energetici e COP medio inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Calcolo Coefficienti energetici		
Coefficiente di autoconsumo impianto FV <u>senza</u> resistenze	26,23	%
Coefficiente di autoconsumo impianto FV <u>con</u> resistenze	82,55	%
Coefficiente di autosufficienza del sistema pdc+resistenze	96,70	%
COP medio	4,26	

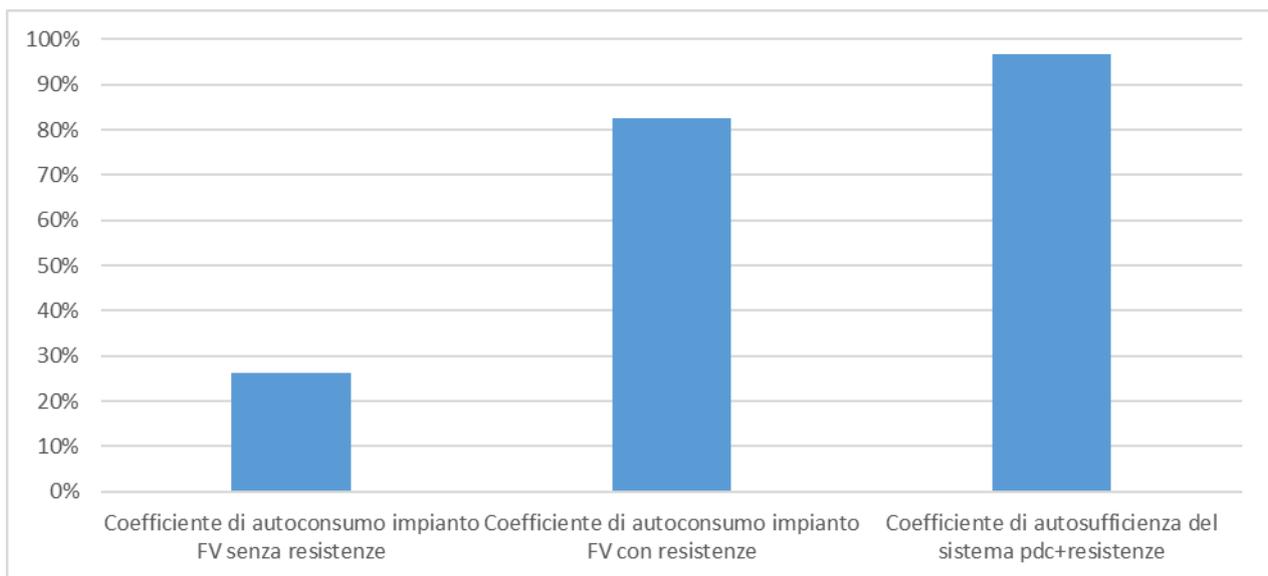


Figura 66: Rappresentazione grafica dei coefficienti energetici inerenti la sessione sperimentale in analisi.

Anche se la sessione sperimentale in analisi ha mostrato come la soluzione che prevede l'impiego delle resistenze integrate al controllo ad inseguimento fotovoltaico può influenzare positivamente l'autoconsumo e l'autosufficienza energetica del sistema ibrido sperimentale, risulta comunque necessaria un'ulteriore estensione dello studio per verificare i reali vantaggi energetici ed economici.

2.2.9 Prova n°8: prova con impianto termo-fotovoltaico e inverter ibrido con supercondensatori

Come descritto nel Report RdS/PTR2021/127, nella precedente linea è stata installata una nuova sezione di generazione e accumulo del sistema S.A.P.I.EN.T.E. costituita da un impianto termo-fotovoltaico PVT da 6,4 kWp collegato termicamente all'accumulo ACS esistente ed elettricamente ad un nuovo inverter ibrido dotato di accumulo a supercondensatori secondo lo schema di Figura 13.

Nella prova di seguito descritta è stata provata la funzionalità smart dell'inverter ibrido che prevede: i) la gestione prioritaria della potenza elettrica generata dall'impianto termo-fotovoltaico per caricare i supercondensatori e alimentare i carichi locali, ii) l'immissione in rete della sola potenza prodotta in eccesso; iii) l'alimentazione prioritario del carico da super condensatori nelle ore di non produzione dell'impianto PVT fino al raggiungimento dello stato di carica (SOC) minimo.

Per il monitoraggio delle funzionalità del nuovo impianto, oltre al Web Server di S.A.P.I.EN.T.E. è stata utilizzata l'interfaccia web proprietaria dell'inverter ibrido riportata In Figura 67; questa riporta, con scansione oraria:

- i) la produzione di energia elettrica da fotovoltaico.
- ii) la quota di consumo dell'edificio fornita da fotovoltaico,
- iii) la quota di consumo di energia elettrica fornita dalla rete,
- iv) l'energia immessa in rete,
- v) l'energia accumulata nei supercondensatori da fotovoltaico,
- vi) l'energia prelevata dai supercondensatori,

Inoltre l'interfaccia fornisce una indicazione sulla previsione di produzione, visualizza in forma grafica lo stato di carica dei supercondensatori, l'indice di autoconsumo giornaliero dell'impianto e un dato di massima su quanti chilometri avrebbe potuto viaggiare un'automobile elettrica con la produzione solare monitorata.

Dall'interfaccia web dell'inverter è possibile estrapolare i dati sopra descritti in formato csv, excel e pdf.

Come di seguito indicato la prova è stata condotta attivando anche la sezione termica del campo termo fotovoltaico connesso all'accumulo ACS del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

Si riporta di seguito la configurazione del sistema per la conduzione delle prova sperimentale:

- impianto PVT reale 6,4 kWp – costituito da 20 moduli ibridi del tipo termo-fotovoltaico.
- intervallo di campionamento delle misure: 1 h (interfaccia web proprietaria) - 1 min (Web Server S.A.P.I.EN.T.E.);
- accumulo elettrico: supercondensatori, capacità utilizzata 3 kWh
- range di carica e scarica dei supercondensatori: da SOC 0 % a SOC 40% (prima parte della prova) – da SOC 40% a SOC 100 % seconda parte della prova
- accumulo ACS: 1000 litri.
- Modalità di funzionamento inverter ibrido: smart nella prima fase – off grid dalla metà del secondo girone di prova

La modalità di funzionamento "Off-grid" prevede un funzionamento grid connected dell'inverter ibrido disabilitando la possibilità di immettere potenza in rete; in questa modalità l'inverter alimenta da fotovoltaico i supercondensatori fino al SOC massimo; in assenza di potenza da FV l'eventuale carico alimentato dall'uscita in isola dell'inverter viene alimentato solo dai supercondensatori fino al raggiungimento del SOC minimo.

Si riporta di seguito lo screenshot dell'interfaccia web dell'inverter con la grafica dell'andamento dei flussi energetici nelle tre giornate di prova.

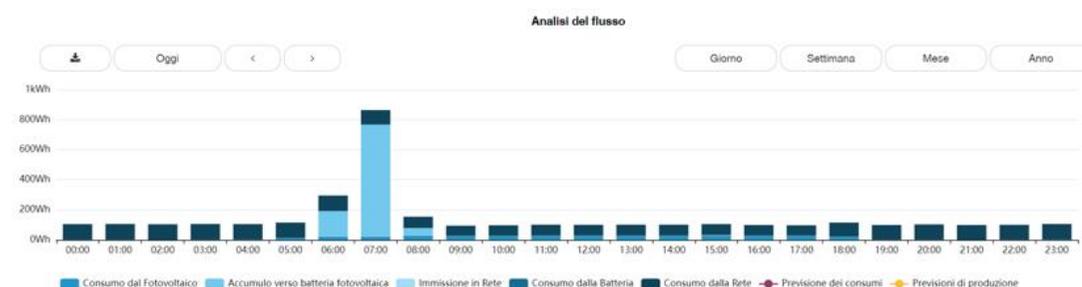
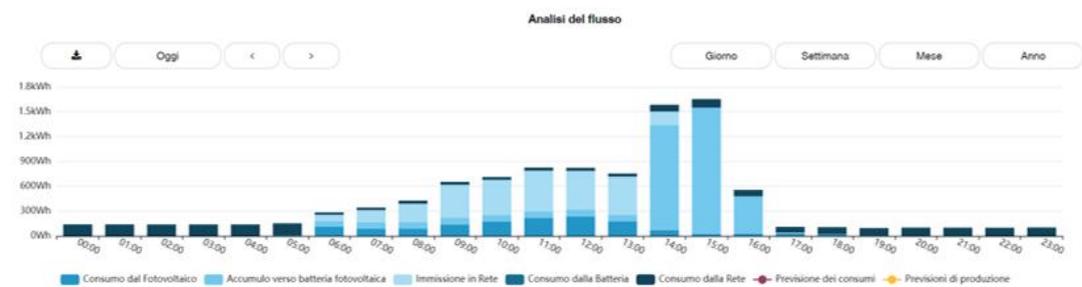
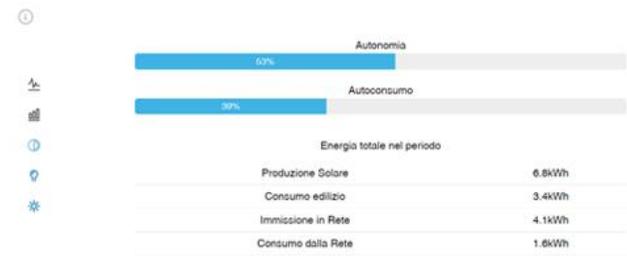
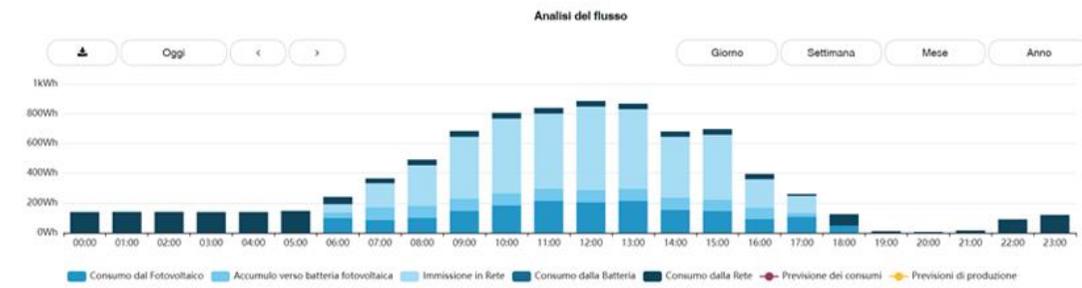


Figura 67: Schermata interfaccia sistema di monitoraggio dell'inverter che gestisce i supercondensatori e l'impianto termo-fotovoltaico - visualizzazione delle tre giornate consecutive di prova .

Dai seguenti grafici di dettaglio si può osservare la gestione dei flussi di potenza da parte dell'inverter ibrido nei tre giorni di prova; in particolare si nota come:

- i) nei primi due giorni l'energia prodotta dal fotovoltaico viene utilizzata per portare i supercondensatori al SOC massimo, impostato al 40%, (Figura 71) e per alimentare i consumi locali (Figura 69);
- ii) l'eccesso di energia prodotta dal fotovoltaico viene immesso in rete (Figura 66)
- iii) nelle ore serali i supercondensatori si scaricano per alimentare i consumi locali (Figura 71)

Dalle 16:00 del secondo giorno la modalità di funzionamento dell'inverter ibrido viene commutata in "off grid" osservando i seguenti cambiamenti nella gestione dei flussi di potenza:

- i) l'energia prodotta dal campo fotovoltaico si riduce notevolmente (da circa 8 kWh del giorno precedente a 1,3 kWh come mostrato nella pagina web di Figura 67)
- ii) l'energia immessa in rete si annulla (Figura 68)
- iii) l'inverter alimenta con l'energia prodotta dal fotovoltaico i consumi locali (Figura 69) e ricarica i supercondensatori per portare il SOC al 100% (Figura 71)
- iv) i supercondensatori vengono scaricati dall'inverter nelle ore serali per alimentare i carichi locali (Figura 71)

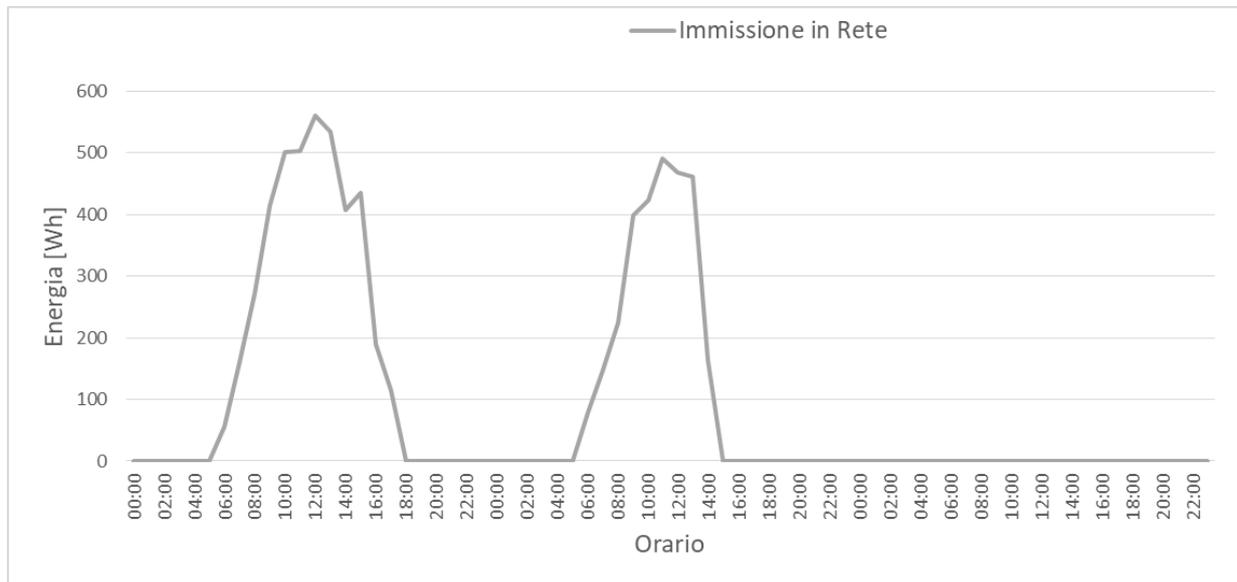


Figura 68: Andamento temporale dell'energia elettrica immessa in rete dall'inverter ibrido. Misure fornite dall'interfaccia web del sistema di monitoraggio dell'inverter.

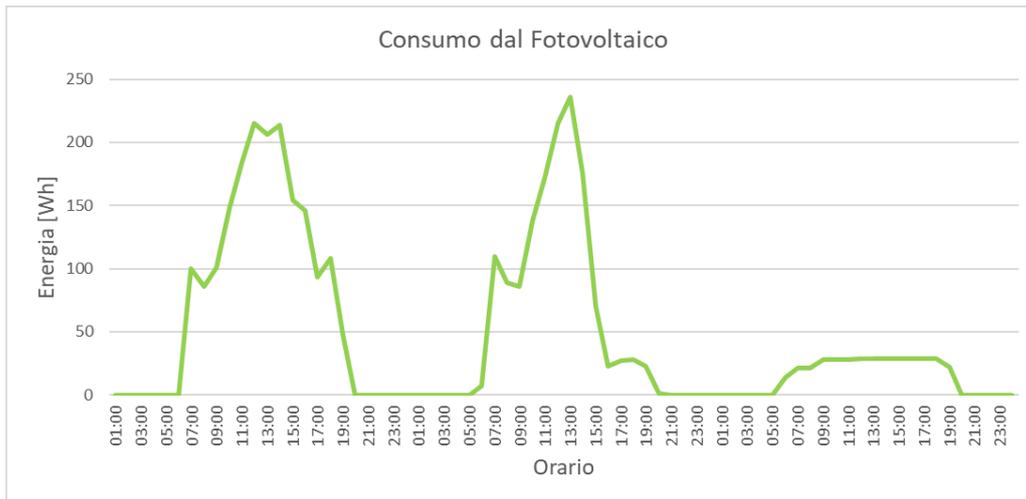


Figura 69: Andamento temporale dell'energia elettrica fornita dal campo termo-fotovoltaico. Misure fornite dall'interfaccia web del sistema di monitoraggio dell'inverter.

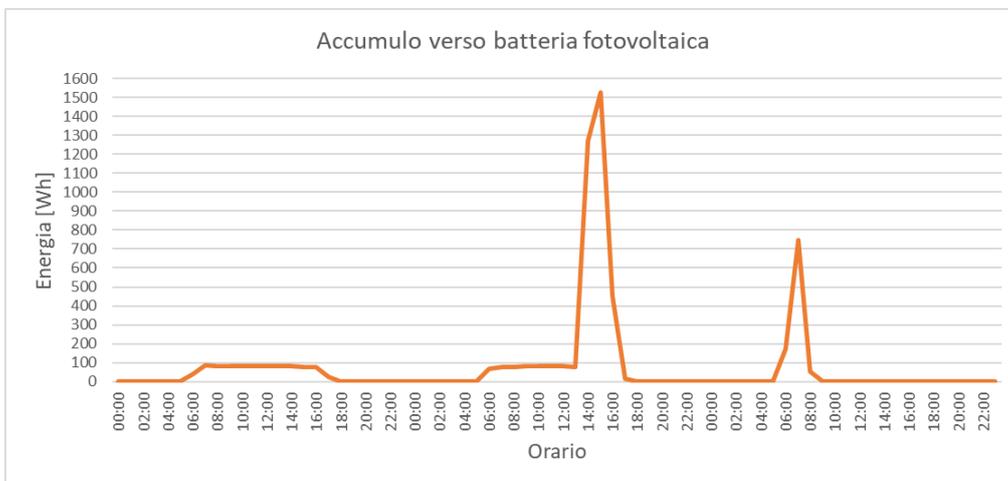


Figura 70: Andamento temporale dell'energia elettrica accumulata nei supercondensatori da parte dell'inverter ibrido. Misure fornite dall'interfaccia web del sistema di monitoraggio dell'inverter.

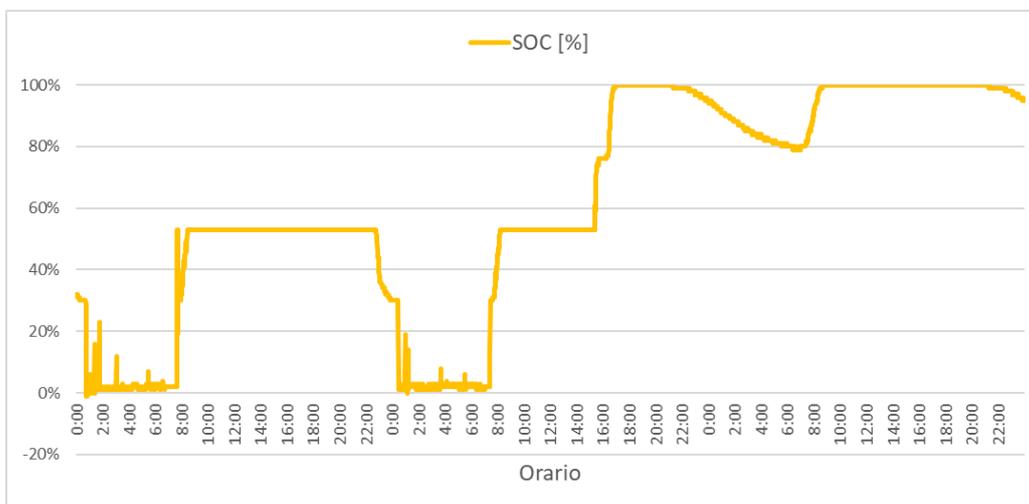


Figura 71: Andamento temporale dello State Of Charge (SOC) dei supercondensatori - da Web server del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

Tramite trasduttori di tensione e corrente installati nell'impianto è stato possibile misurare e acquisire da Web server di S.A.P.I.EN.T.E. l'immissione di potenza da fotovoltaico in rete (Figura 72) e lo scambio di potenza nei supercondensatori durante i processi di carica e scarica (Figura 73).

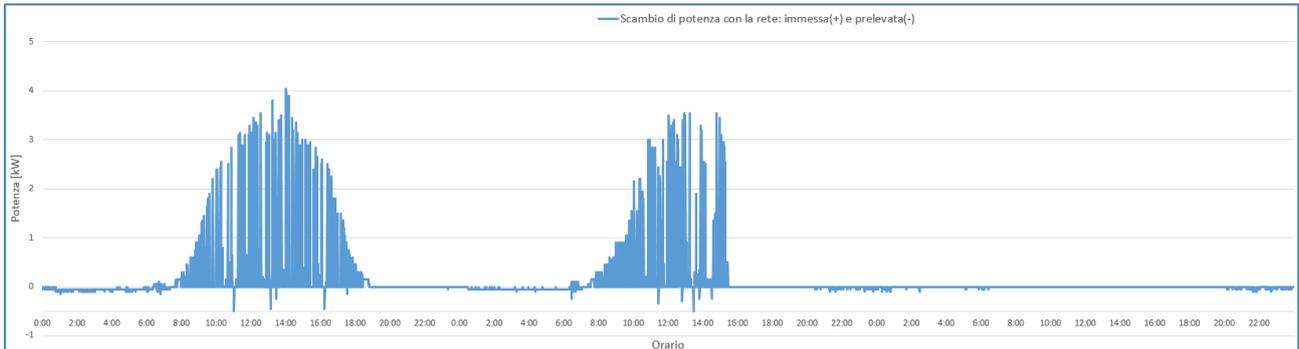


Figura 72: Andamento temporale della potenza immessa in rete dall'inverter ibrido, misurata dal trasduttore installato nell'impianto e visualizzata dal Web server di S.A.P.I.EN.T.E.;

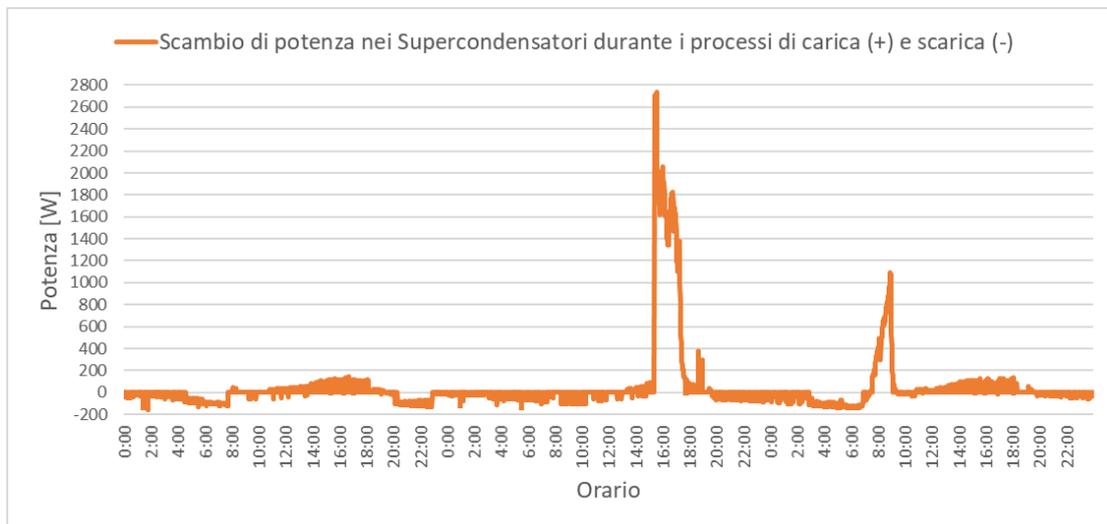


Figura 73: Andamento temporale dello scambio di potenza dei supercondensatori con l'inverter ibrido: segno positivo carica. Segno negativo scarica. Misura effettuata dal trasduttore installato nell'impianto e visualizzata dal Web server di S.A.P.I.EN.T.E.;

Come descritto nella configurazione di prova, contemporaneamente all'inverter ibrido è stato attivato il circolatore solare per valutare il funzionamento della sessione termica dell'impianto termo-fotovoltaico (PVT); in particolare come indicato dallo schema di installazione di Figura 13, l'energia termica di scarto recuperate dal raffreddamento delle celle fotovoltaiche è impiegato per riscaldare l'accumulo ACS del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

In Figura 74 è riportata l'interfaccia del Web server di S.A.P.I.EN.T.E utilizzata per il monitoraggio della sessione termica dell'impianto PVT nella quale è riportata la misura istantanea delle temperature di mandata dal campo PVT e ritorno dall'accumulo ACS, la portata e la potenza termica generata; inoltre l'interfaccia fornisce la totale energia termica prodotta dal campo PVT.

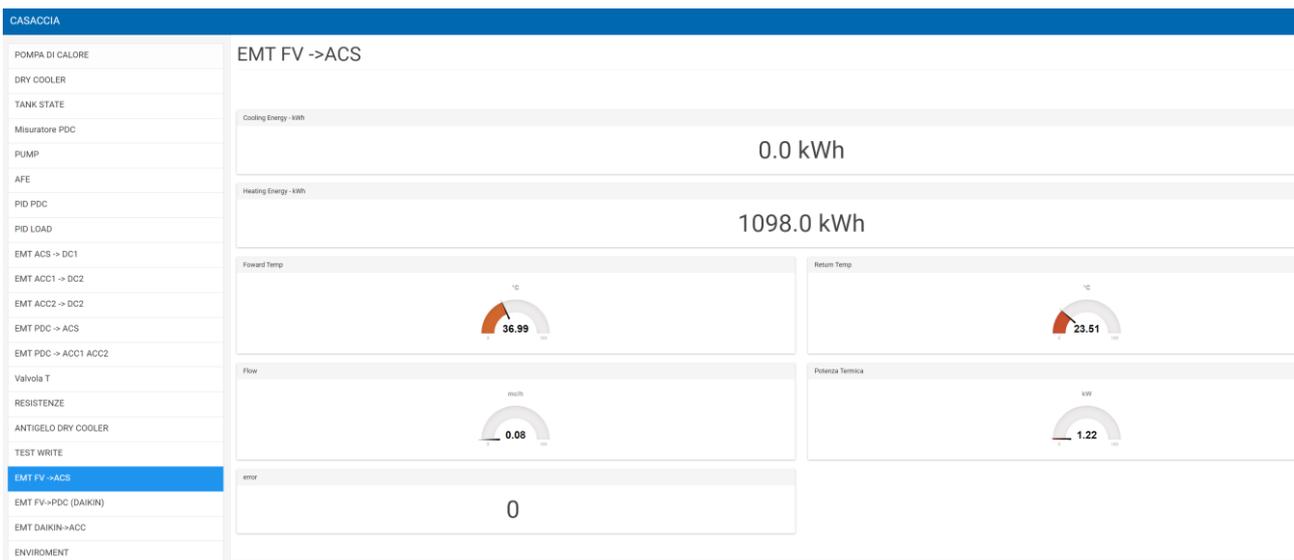


Figura 74: Interfaccia del web server S.A.P.I.EN.T.E. – pagina con misure termiche istantanee dell’impianto PVT durante la prova sperimentale.

Per caratterizzare il funzionamento dell’impianto PVT si riportano di seguito per due giornate di prova: i) la temperatura di mandata dal campo PVT e di ritorno dall’accumulo ACS, ii) l’irraggiamento solare sul piano dei moduli misurato con il piranometro installato in campo.

Durante le prove la pompa di calore è rimasta spenta, pertanto l’unica potenza termica fornita all’accumulo ACS è quella recuperata dal campo PVT.

Nelle due giornate di prova il circolatore solare è stato azionato da web server manualmente nelle ore di massimo irraggiamento solare per caratterizzare il funzionamento del circuito PVT utile a definire una logica di automazione.

In particolare come si può osservare dalla Figura 75 e dalla Figura 76, azionando il circolatore solare in corrispondenza del massimo irraggiamento solare (circa 900 W/mq), il campo PVT genera un ΔT superiore a 15°C tra la temperatura di mandata e ritorno. Nelle due giornate di prova, recuperando l’energia di scarto dal raffreddamento delle celle fotovoltaiche, la temperatura dell’accumulo ACS (1000 litri) viene innalzata da circa 22°C a circa 31 °C. Inoltre in entrambe le due giornate la potenza termica recuperata dal campo PVT si annulla in corrispondenza dell’irraggiamento solare pari a circa 300 W/mq; in corrispondenza di questo valore il salto termico tra mandata e ritorno si annulla e nel caso in cui il circolatore restasse acceso il campo PVT comincerebbe a dissipare l’energia termica accumulata.

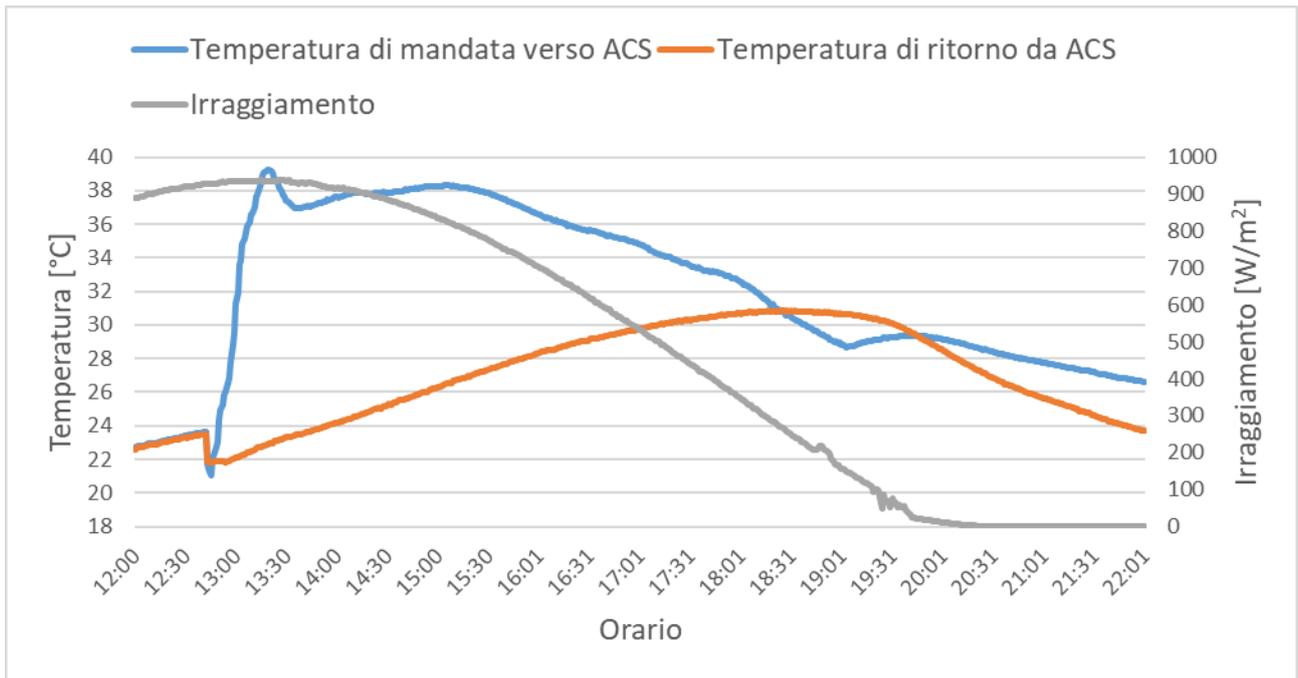


Figura 75: Andamento temporale della temperatura di mandata da PVT verso ACS e ritorno da ACS verso PVT e dell'irraggiamento solare durante la prima prova relativa alla sessione in analisi.

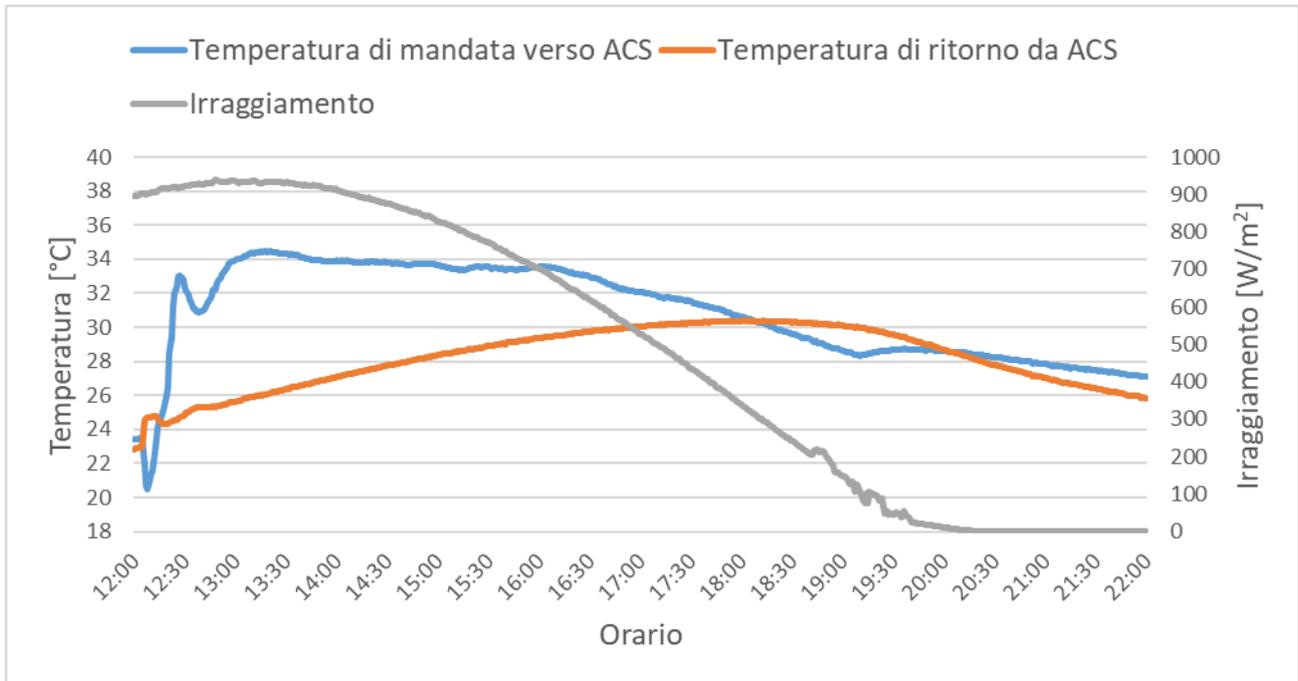


Figura 76: Andamento temporale della temperatura di mandata da PVT verso ACS e ritorno da ACS verso PVT e dell'irraggiamento solare durante la seconda prova relativa alla sessione in analisi.

Dalle misure acquisite durante le due giornate di prove è stato possibile effettuare una prima caratterizzazione del campo solare ibrido PVT; in particolare sono state individuate le soglie di attivazione automatica del circolatore da impostare nel Web server di S.A.P.I.EN.T.E.

2.3 Sistema S.A.P.I.EN.T.E. :analisi comparata prove sperimentali –simulazioni teoriche

Dai risultati delle prove sperimentali si può osservare una buona corrispondenza con i risultati ottenuti dalle simulazioni condotte nella precedente linea di attività del sistema S.A.P.I.EN.T.E.

Come riportato nel Report RdS/PTR2021/127, il sistema SAPIENTE è stato simulato per un contesto condominiale in diverse zone climatiche e per diversi scenari di gestione dei flussi di potenza.

1) Scenario 1: impianto fotovoltaico comune e pompa di calore gestita in modalità inseguimento termico

Si riporta nel grafico di Figura 77 il confronto tra i coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica ottenuti per l'analisi teorica condotta e per la sessione sperimentale condotta con la prova 4. In particolare il coefficiente di autoconsumo per l'analisi teorica comprende la somma dell'autoconsumo fisico e autoconsumo virtuale ottenuto dalla condivisione da parte degli utenti condominiali dell'energia prodotta dal campo fotovoltaico comune

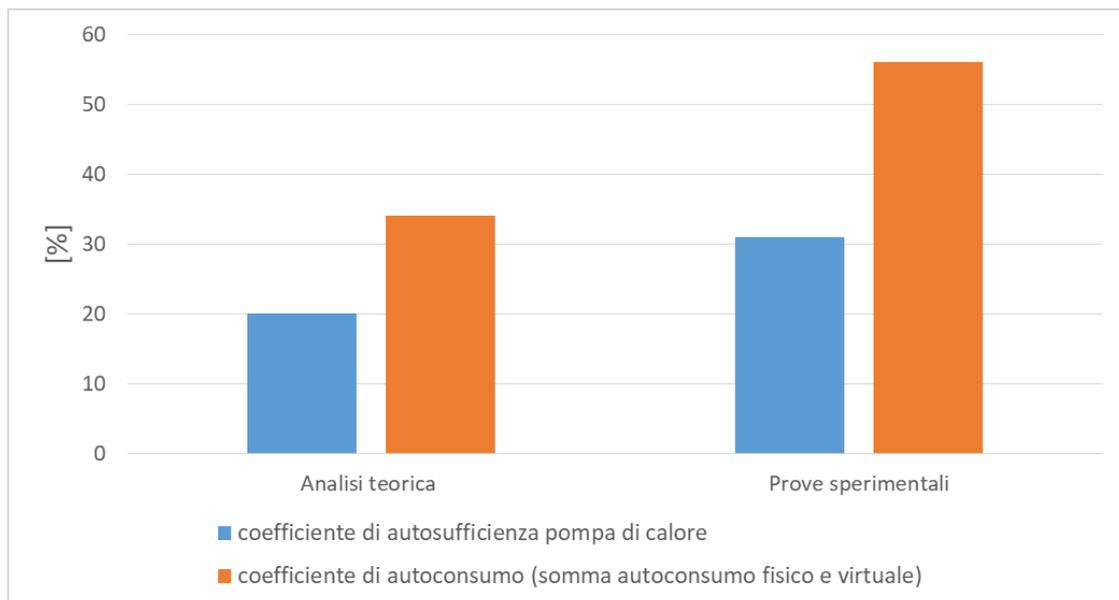


Figura 77: confronto coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica – scenario 1

Per l'analisi teorica sono stati considerati valori medi ottenuti dalla simulazione dell'edificio in tre zone climatiche (sud, centro e nord Italia) e con caratteristiche termofisiche previsti dall'allegato C del D.Lgs. 311/2006.

2) Scenario 2: Applicazione controllo power to heat alla pompa di calore per inseguire la potenza prodotta dal fotovoltaico

I coefficienti ottenuti dall’analisi teorica e dalla sessione sperimentale sono riportati nel grafico di Figura 78. Per il coefficiente di autoconsumo relativo all’analisi teorica si è considerato il valore medio dei risultati ottenuti dalla simulazione del sistema sperimentale applicato al caso condominiale (epoca costruttiva post del D.Lgs. 311/2006) per le trone zone climatiche: da circa 36% a circa 62%

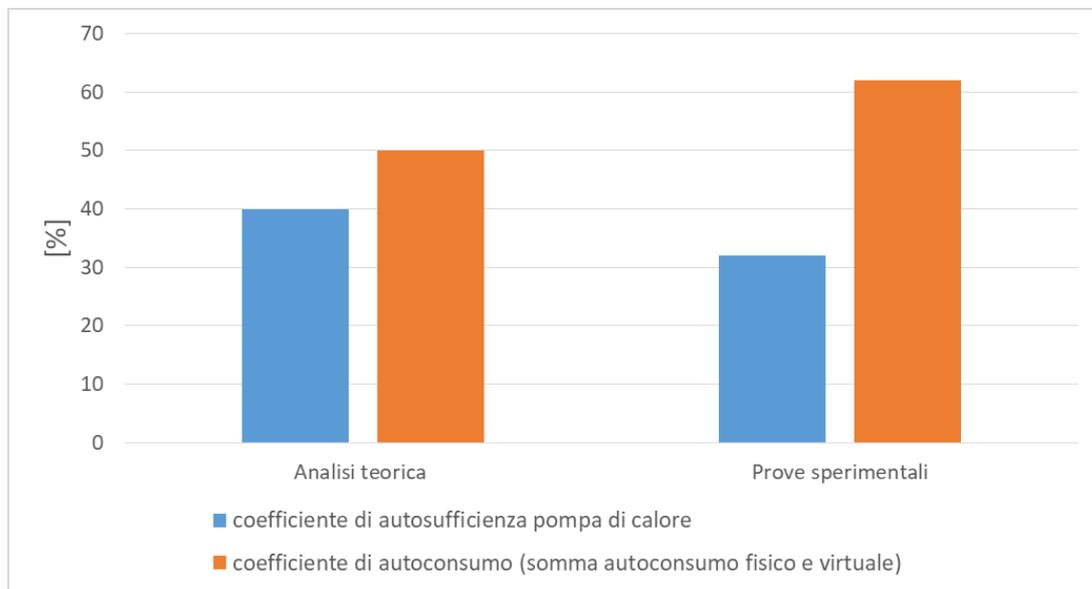


Figura 78: confronto coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica – scenario 2

3) Scenario 3: Applicazione controllo power to heat alla pompa di calore per inseguire la potenza prodotta dal fotovoltaico integrato con logiche Demand Response per spostare i carichi programmabili del condominio nelle ore di produzione del campo fotovoltaico

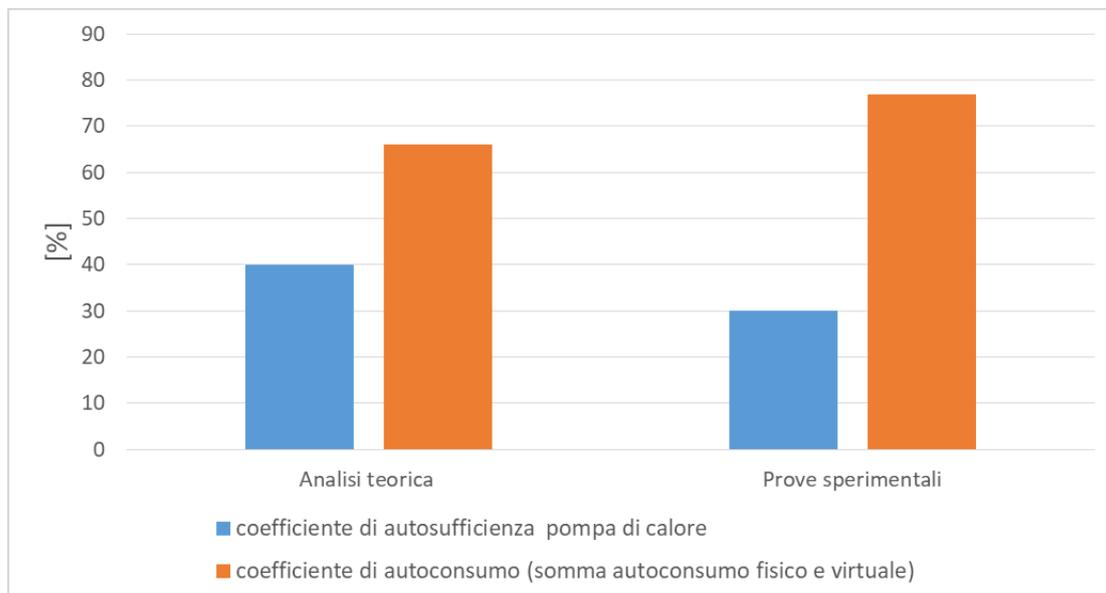


Figura 79: confronto coefficienti di autoconsumo e autosufficienza energetica – scenario 3

Analisi dei risultati:

Da una prima analisi comparata tra le prove sperimentali e quelle teoriche, in generale si può osservare come i valori dei coefficienti di autoconsumo e autosufficienza anche se non coincidenti risultino equivalenti, in particolare per lo scenario 2 e per lo scenario 3.

Dal confronto dei risultati riportati nei precedenti grafici si può osservare quanto segue:

- per lo scenario 1 il coefficiente di autosufficienza della pompa di calore per l'analisi teorica risulta più basso a causa del diverso profilo di carico termico e del profilo di potenza generata da fotovoltaico; in particolare per la simulazione del sistema sperimentale è stato considerato anche il carico per acqua calda sanitaria non presente nelle sessioni sperimentali.
- per lo scenario 2 e scenario 3 i valori dei coefficienti di autoconsumo e di autosufficienza ottenuti dall'analisi teorica e dalle prove sperimentali risultano maggiormente coincidenti rispetto al primo scenario. Si evidenzia che per le prove sperimentali condotte nei due scenari è stato introdotto un profilo di carico elettrico dell'edificio emulato con il Webserver avvicinando quindi le condizioni al contorno rispetto all'analisi teorica.
- per lo scenario 2, in uno dei casi simulati (condominio nord Italia – epoca costruttiva 2010) il coefficiente di autoconsumo complessivo risulta coincidente con il valore ottenuto dalle prove sperimentali.
- per lo scenario 3 il coefficiente di autosufficienza energetica della pompa di calore rimane invariato rispetto allo scenario 2 sia per l'analisi teorica sia per la prova sperimentale.

Da un primo confronto tra l'analisi teorica e le prove sperimentali risulta che la piattaforma di simulazione dinamica, se ulteriormente calibrata con i risultati delle prove sperimentali, possa essere uno strumento di studio di diversi schemi e scenari gestionali del sistema sperimentale SAPIENTE applicato alle configurazioni di autoconsumo collettivo condominiali.

Per valutare con maggiore dettaglio le differenze del modello analitico rispetto all'impianto sperimentale al fine di calibrare i parametri dei singoli componenti, saranno estese le simulazioni condotte con il modello Matlab/Simulink del sistema S.A.P.I.EN.T.E. applicato ai condomini, riproducendo le stesse condizioni al contorno che caratterizzano le corrispondenti prove sperimentali

3 Studio di impatto delle configurazioni AUC (Autoconsumo Collettivo) condominiale con sistema ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E. sul territorio regionale e nazionale

Nei seguenti paragrafi si riportano i primi risultati dell'analisi sulla potenziale diffusione su scala regionale e nazionale di modelli di micro comunità energetiche condominiali realizzati con sistemi ibridi di tipo S.A.P.I.EN.T.E. Lo studio è stato condotto utilizzando i risultati di simulazione dei diversi scenari di gestione della configurazione Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale riportati nel Report ENEA RdS/PTR2021/127 relativo alla linea di attività LA 3.2.

3.1 Definizione dello studio

Per lo studio d'impatto sono stati utilizzati i dati ISTAT [3] relativi al 15° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni del 2011. I dati statistici del censimento contengono informazioni, disaggregate fino a livello subcomunale, sulla struttura demografica e sociale della popolazione con dimora abituale in Italia e sul patrimonio abitativo italiano.

In particolare per il contesto della presente analisi, sono stati estrapolati per ogni regione gli edifici condominiali occupati da persone residenti e divisi per numero di abitazione. In particolare, dall'analisi dei dati statistici è stato elaborato, come riportato in Figura 80e in Figura 81, il numero di edifici costituiti da almeno due abitazioni serviti da un impianto di riscaldamento centralizzato, in quanto tipologia predisposta per configurarsi come Autoconsumo Collettivo Condominiale da fonte rinnovabile con sistema ibrido di tipo S.A.P.I.EN.T.E.

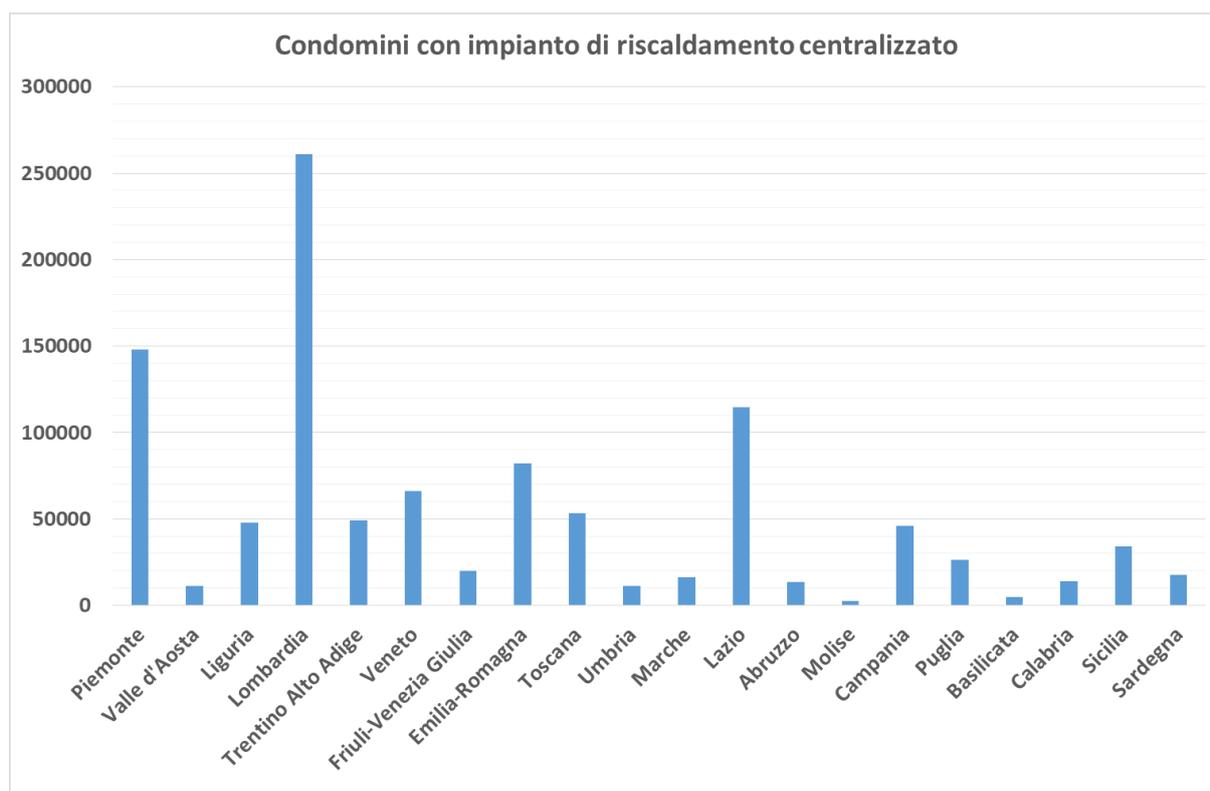


Figura 80: Edifici condominiali con più di due abitazioni dotati di impianto termico centralizzato per ogni regione d'Italia (fonte - censimento Istat 2011).

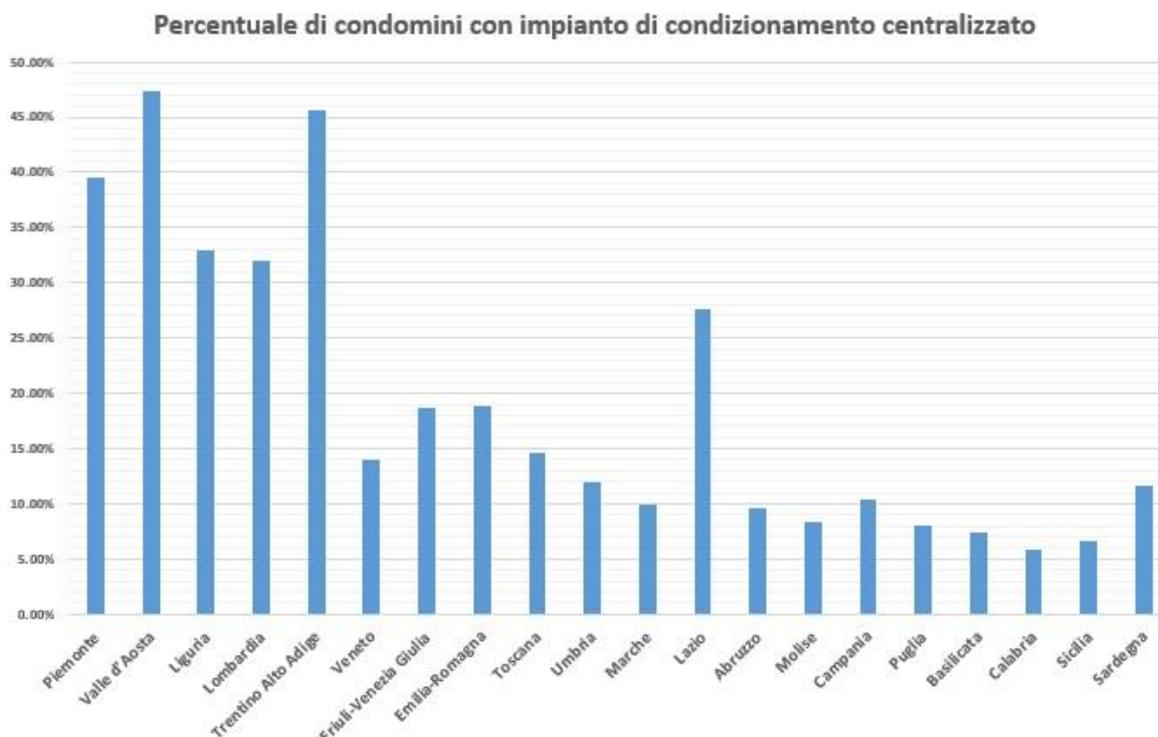


Figura 81: - Percentuale di edifici condominiali con più di due abitazioni dotati di impianto termico centralizzato per ogni regione d'Italia (fonte - censimento Istat 2011).

Dalla classificazione ISTAT degli edifici del parco edilizio nazionale, è stata ottenuto per ogni classe di dimensione edilizia il numero di edifici dotati di impianti di termici centralizzati come riportato in Tabella 12. Per ciascuna classe di dimensione edilizia (numero di abitazione per edificio) è stato utilizzato il valore medio percentuale regionale di Figura 81

Tabella 12: calcolo statistico numero di edifici con impianti termici centralizzati per classe di dimensione – esempio di calcolo per Regione Piemonte – (dati da fonte Istat).

Numero di abitazioni	Piemonte	
	Numero edifici	Numero edifici con impianti centralizzati
2	198614	78433
4	85262	33670
8	44196	17453
15	25045	9890
30	21953	8669
TOT	375070	148115
N° abitazioni con impianto centralizzato	39,49%	

Per stimare su base regionale la superficie disponibile complessiva delle coperture per l'installazione dell'impianto fotovoltaico condominiale, è stata calcolata, come riportato in Tabella 13 la superficie di copertura media per singola dimensione edilizia considerando la superficie media del singolo appartamento e il numero di abitazioni per piano.

Per stimare la potenza fotovoltaica installabile negli edifici condominiali individuati si è considerata come superficie utile il 70% della superficie di copertura disponibile come indicato in Tabella 13.

Dalla densità di potenza media installabile su una superficie piana, stimata a circa 6,5 kWp/m² e dal dato statistico di superficie potenzialmente disponibile per ciascuna dimensione edilizia si è ottenuto la totale potenza fotovoltaica installabile per ogni condominio dotato di impianto termico centralizzato.

Tabella 13: calcolo superficie della copertura disponibile per l'installazione dell'impianto fotovoltaico condominiale per edifici dotati di impianti di termici centralizzati – regione Piemonte.

Piemonte						
Numero di abitazioni	numero edifici	numero edifici con impianti centralizzati	Copertura singolo edificio [m ²]	Sup potenzialmente disponibile per FV [m ²]	Pot_FV singolo edificio [kW]	Pot_FV tot [kW]
2	198614	78433	84,02	58,81	9,12	715005,54
4	85262	33670	149,76	104,83	16,25	547101,89
8	44196	17453	252,16	176,51	27,36	477502,92
15	25045	9890	343,20	240,24	37,24	368285,98
30	21953	8669	512,40	358,68	55,60	481969,85
TOT	375070	148115	1341,54	939,08	145,56	2589866,19
N° abitazioni con impianto	39,49%					

Utilizzando il tool online PVGIS [4] è stato possibile stimare per ogni regione d'Italia la produzione da fotovoltaico per unità di potenza installata (kWh/kWp*anno). Dal suddetto dato è stata ricavata per i soli condomini dotati di impianti termici centralizzati e per ciascuna dimensione edilizia la totale energia annua potenzialmente producibile dagli impianti fotovoltaici comuni installati in copertura come riportato nell'istogramma di Figura 82. Si riporta in Tabella 14 l'esempio di calcolo relativo alla regione Piemonte.

Tabella 14: Calcolo energia potenzialmente producibile da impianti fotovoltaici condominiali installati in edifici dotati di impianti termici centralizzati – regione Piemonte.

Piemonte				Dati PVGIS per regione Piemonte	
Numero di abitazioni	numero edifici	numero edifici con impianti centralizzati	Pot_FV tot [kW]	[kWh/kWp*anno]	[GWh/anno]
2	198614	78433	715005,54	1242,47	888,37
4	85262	33670	547101,89	1242,47	679,76
8	44196	17453	477502,92	1242,47	593,28
15	25045	9890	368285,98	1242,47	457,58
30	21953	8669	481969,85	1242,47	598,83
TOT	375070	148115	2589866,19	Totale	3217,83

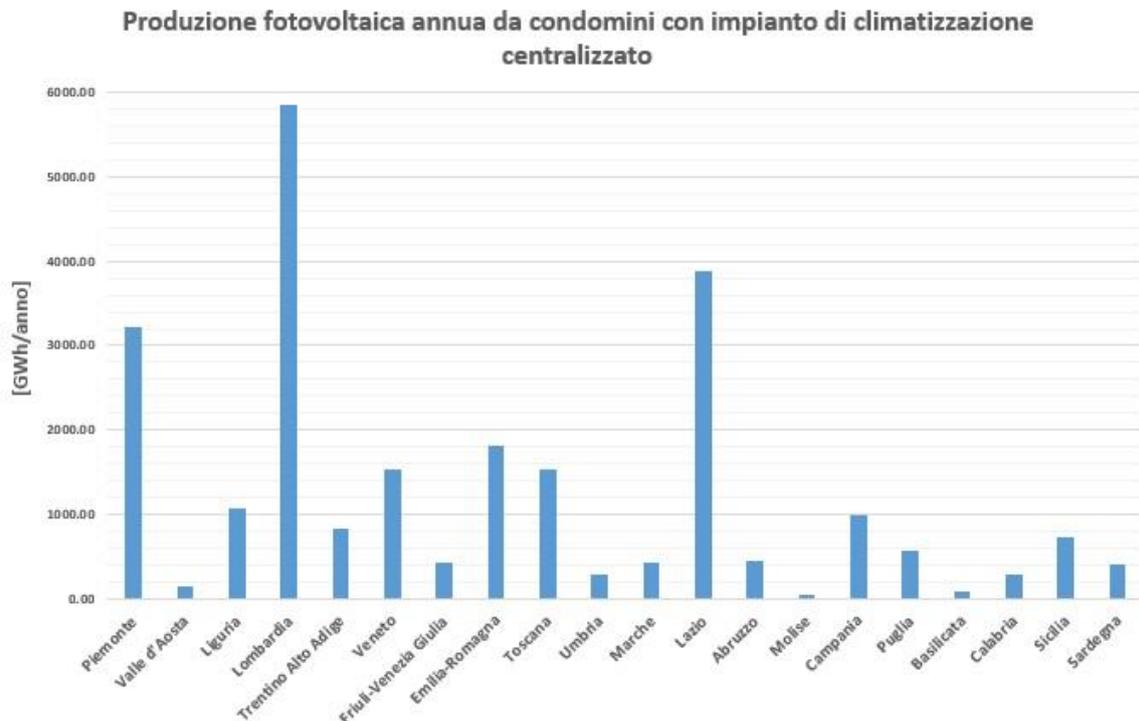


Figura 82: Produzione fotovoltaica dagli edifici condominiali dotati di impianto di termico centralizzato per ogni regione d'Italia.

Dai dati riportati in Figura 82, si osserva che in alcune regioni come la Lombardia e il Piemonte, pur essendo caratterizzate da una minore radiazione solare, presentano una produzione totale annua notevolmente maggiore rispetto alle regioni del sud in quanto è presente un numero superiore di condomini con impianto termico centralizzato.

Per stimare a livello regionale anche i potenziali vantaggi ambientali è stata calcolata la quantità di CO₂ evitata ottenibile dall'applicazione diffusa del sistema ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E. negli edifici condominiali. La quantità di CO₂ evitata è stata stimata dal fattore di emissione relativo ai consumi elettrici finali pubblicato da ISPRA e pari per l'anno 2019 a 268.6 g CO₂/kWh.

I risultati riportati in Figura 82 sono stati convertiti in tonnellate di CO₂ evitate per ogni regione come riportato in Figura 83:

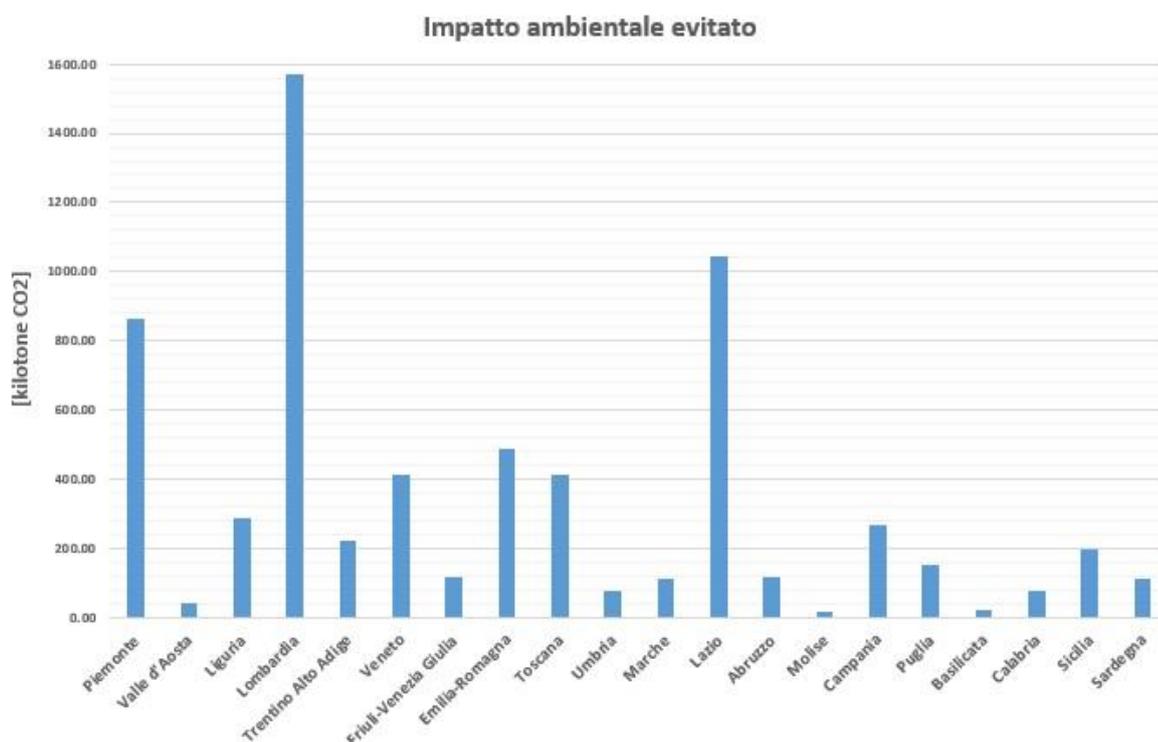


Figura 83: Impatto ambientale evitato per ogni regione dai condomini dotati di impianto di condizionamento centralizzato che producono energia dall'impianto fotovoltaico condominiale.

3.2 Risultati dello studio di impatto nazionale e regionale ottenuto dall'applicazione del modello Autoconsumo collettivo con sistema ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E.

Lo studio di impatto di seguito riportato valuta su base regionale, per i condomini con impianto termico centralizzato presenti in ciascuna regione, la potenziale energia rinnovabile autoconsumata e l'energia virtualmente condivisa nell'ipotesi in cui tutti gli edifici individuati costituiscano una configurazione di Autoconsumo Collettivo utilizzando lo schema impiantistico tipo S.A.P.I.EN.T.E. riportato Figura 84.

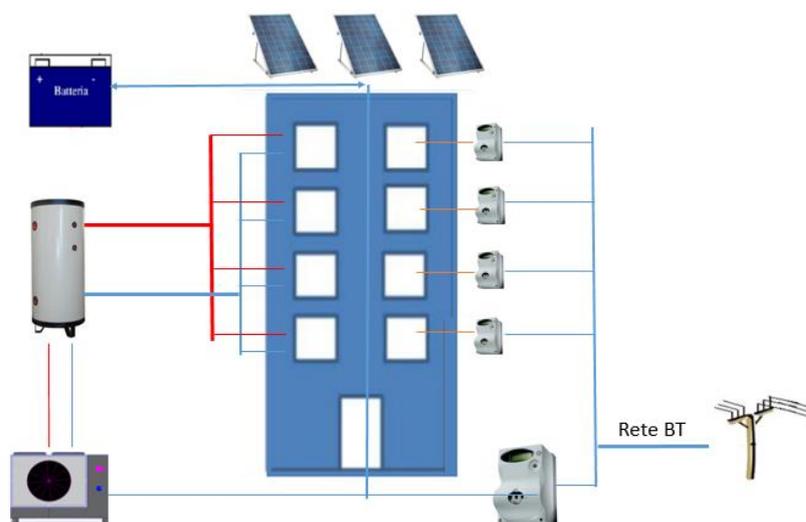


Figura 84: Configurazione Autoconsumo Collettivo condominiale con schema impiantistico tipo S.A.P.I.EN.T.E.

Le valutazioni su base nazionale e regionali sono state ottenute applicando i risultati di simulazione descritti nel Report ENEA RdS/PTR2021/127 relative al sistema ibrido costituito da:

- i) Un impianto fotovoltaico condominiale,
- ii) Una pompa di calore centralizzata con possibilità di gestire il numero di giri del compressore da un sistema di controllato esterno in modo da modulare la potenza elettrica assorbita per inseguire il profilo di produzione dell'impianto FV,
- iii) Un sistema di accumulo termico,
- iv) Gestione dei carichi programmabili degli utenti condominiali con logiche Demand Response per attivarli nelle ore di maggiore produzione del campo fotovoltaico.

La configurazione sopra descritta è stata simulata per edifici tipo aventi caratteristiche termofisiche corrispondenti a due epoche costruttive diverse:

- Epoca 1: tra il 1970 e il 1980.
- Epoca 2: successiva al 2006.

La prima epoca corrisponde ad un'epoca antecedente alla prima normativa in materie di efficienza energetica degli edifici: legge n. 373 emanata nel 1976 [5] che per la prima volta regolamentava gli impianti di produzione del calore e gli annessi sistemi di termoregolazione nonché l'isolamento termico degli edifici.

In maniera duale, si è scelto di considerare la classe di epoca costruttiva più recente e quindi successiva al 2006 in modo tale da simulare gli edifici che da un punto di vista delle caratteristiche termofisiche dell'involucro edilizio rispettano i più recenti limiti di legge. Nello specifico per la seconda epoca costruttiva sono stati considerati, per ogni zona climatica, edifici con involucro esterno avente un valore di trasmittanza in linea con i valori limite riportati nell'allegato C del D.Lgs. 311/2006. [6]

La sintesi dei risultati di simulazione della configurazione sopra descritta per le due epoche costruttive è riportata in Tabella 15 (corrispondente ai risultati dello scenario 2F+DR descritto nel report RdS/PTR2021/127):

Tabella 15: Risultati di simulazione del sistema ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E. applicato ad un condominio tipo in configurazione autoconsumo collettivo (Report RdS/PTR2021/127).

	Epoca costruttiva tra il 1970 e il 1980			Epoca costruttiva dopo il 2006		
	sud	centro	nord	sud	centro	nord
Autoconsumo [%]	16	15	18	20	23	39
Energia condivisa [%]	25	30	37	25	28	39
Risparmio complessivo bolletta consumi termici + elettrici [%]	34	28	22	34,5	42	29

Come indicato nell'esempio di calcolo dettagliato riportato in Tabella 16 per la regione Piemonte, a partire dal valore di energia fotovoltaica annua potenzialmente prodotta dagli edifici dotati di impianto termico centralizzato, è stata stimata la quantità di energia autoconsumata e la quantità di energia condivisa virtualmente per ciascuna regione applicando i rispettivi indici energetici riportati in Tabella 15.

Tabella 16: Calcolo dettagliato dell'energia autoconsumata e dell'energia rinnovabile condivisa virtualmente da tutti gli utenti degli edifici condominiali configurati in Autoconsumo collettivo con sistema tipo SAPINETE – esempio Regione Piemonte

Numero di abitazioni	Piemonte		Dati PVGIS per regione Piemonte	Indici riferiti ad edifici di epoca costruttiva tra il 1970 e 1980			
	numero edifici	numero edifici con impianti centralizzati	[GWh/anno]	Autoconsumo [%]	Energia autoconsumata [GWh]	Condivisione [%]	Energia condivisa [GWh]
2	198614	78433	888,37	16,20%	143,92	33,30%	295,83
4	85262	33670	679,76	16,20%	110,12	33,30%	226,36
8	44196	17453	593,28	16,20%	96,11	33,30%	197,56
15	25045	9890	457,58	16,20%	74,13	33,30%	152,38
30	21953	8669	598,83	16,20%	97,01	33,30%	199,41
TOT	375070	148115	3217,83	Totale	521,29		1071,54

Si riporta in Figura 85 e in Figura 86, la stima della totale energia autoconsumata e della totale energia condivisa virtualmente per tutte le regioni ipotizzando due scenari di valutazione:

- Scenario 1: applicazione dei coefficienti di autoconsumo ed energia condivisa riferiti alla simulazione degli edifici di epoca costruttiva 70'-80'
- Scenario 2: applicazione dei coefficienti di autoconsumo ed energia condivisa riferiti alla simulazione degli edifici di epoca costruttiva successiva al 2006.

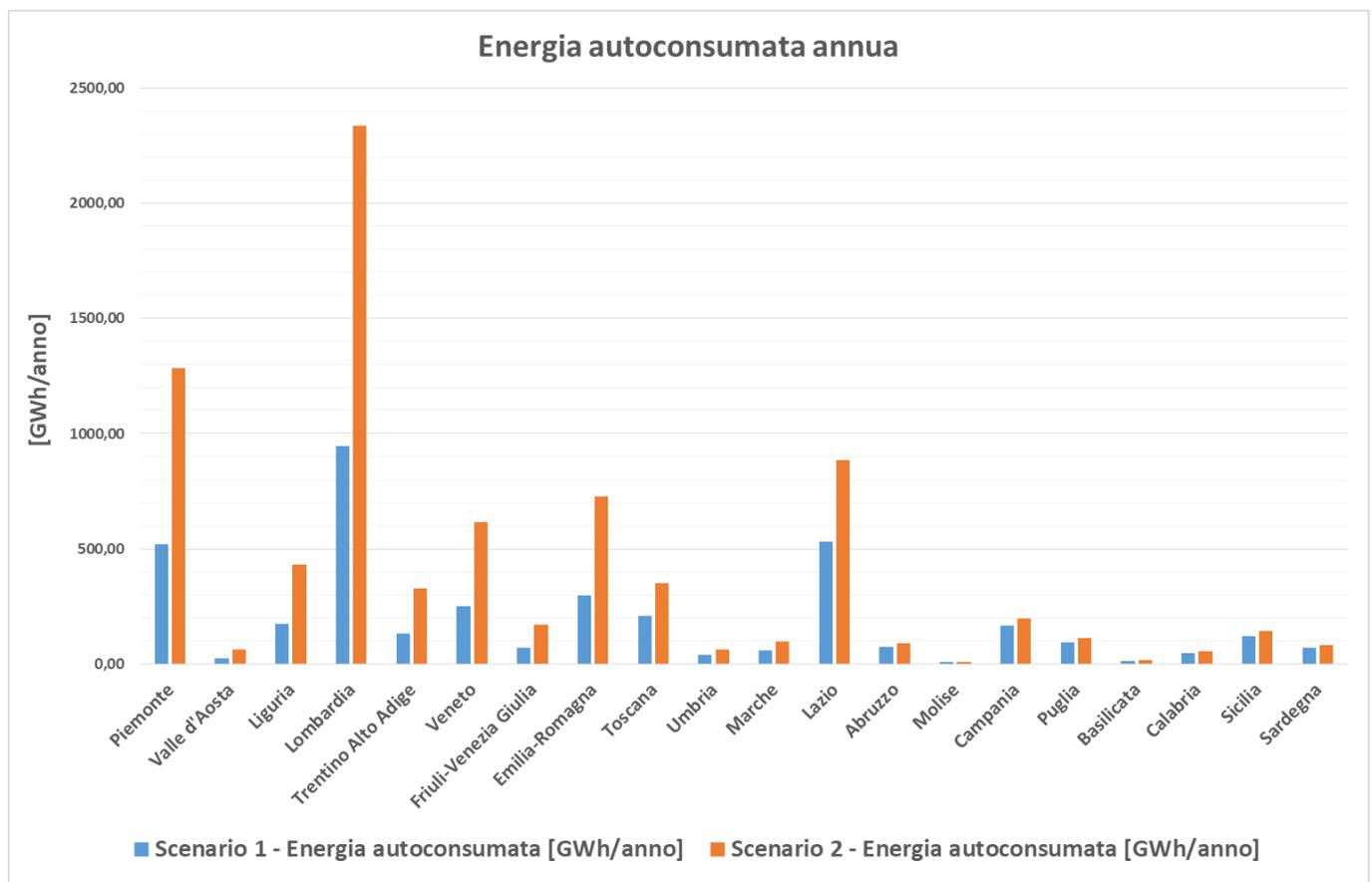


Figura 85: Stima regionale dell'energia autoconsumata dagli edifici condominiali con impianto termico centralizzato con configurazione AUC e impianto ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E.

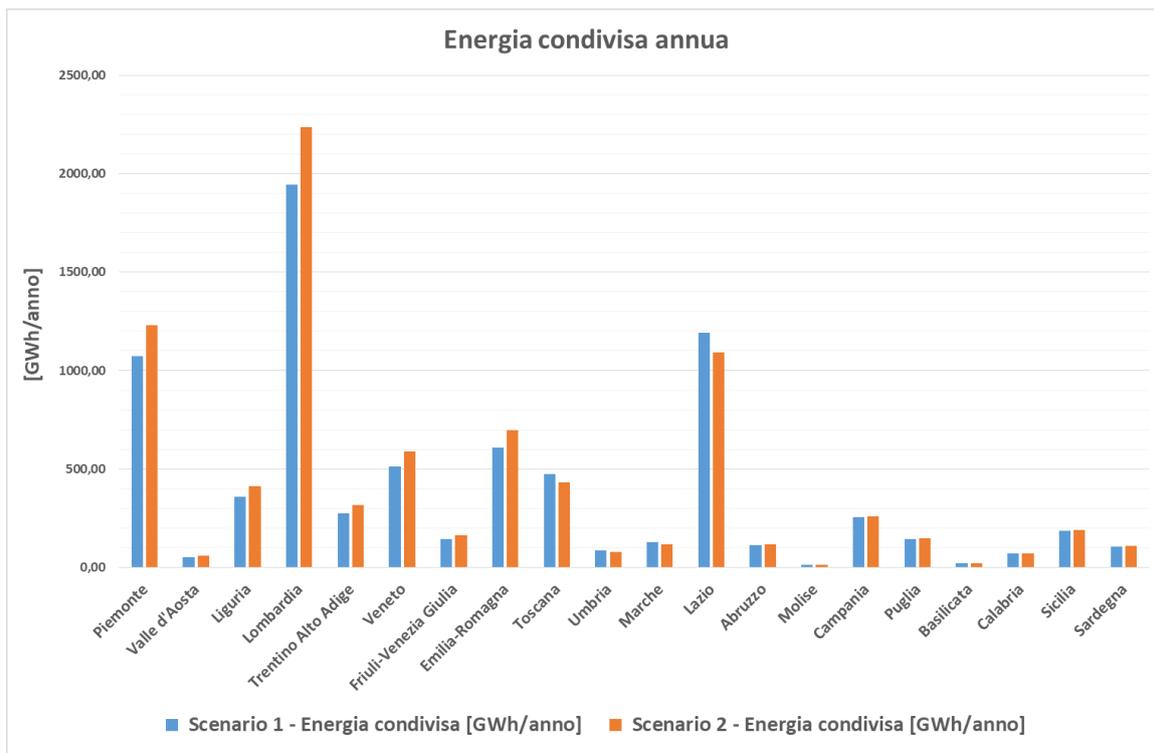


Figura 86: Stima regionale dell'energia condivisa virtualmente dagli edifici condominiali con impianto termico centralizzato con configurazione AUC e impianto ibrido tipo S.A.P.I.EN.T.E.

Dai risultati riportati in Figura 85 si può osservare come il range di energia autoconsumata sia particolarmente ampio per le regioni del nord; per queste infatti, in accordo con i valori riportati in Tabella 15, lo scenario 1 prevede un valore dell'indice di autoconsumo circa la metà rispetto a quello previsto per lo scenario 2. Dalla Figura 86 si può osservare invece come la stima dell'energia condivisa virtualmente dai singoli utenti condominiali sia per ciascuna regione equivalente per i due scenari considerati. I risultati riportati in Figura 85 e Figura 86 mostrano comunque un importante potenziale impatto in termini di autoconsumo ed energia condivisa per le regioni del centro e nord Italia, essendo le stesse caratterizzate da una maggior percentuale di condomini con impianti termici centralizzati. L'elevata energia autoconsumata e l'elevata energia condivisa corrisponde ad un importante valorizzazione economica, nel primo caso tramite il risparmio in bolletta elettrica nel secondo caso attraverso gli incentivi previsti per l'energia condivisa dagli utenti della configurazione dell'Autoconsumo Collettivo condominiale [7] [8].

4 Analisi della piattaforma web per migliorare la consapevolezza dei consumi termici nei condomini dotati di contabilizzazione individuale nei condomini

4.1 Sintesi del portale e analisi degli indicatori grafici in alcuni giorni tipo per i tre condomini monitorati

Nella linea di attività di oggetto è stata condotta una analisi dei primi risultati ottenuti dalla piattaforma web realizzata come descritto nel Report ENEA RdS/PTR2021/127 per migliorare, rispetto alla bolletta stagionale, la consapevolezza degli utenti sui propri consumi energetici attraverso la tele lettura dei sistemi di contabilizzazione individuale del calore e dei sensori di temperatura e CO₂ presenti in diversi ambienti dei condomini monitorati. In particolare lo studio è stato condotto rendendo disponibile la piattaforma web agli utenti di tre condomini del centro e del nord Italia con impianto termico centralizzato e sistema di contabilizzazione individuale del calore per singola unità immobiliare.

Per informare gli utenti sull'andamento dei propri consumi termici la piattaforma web, oltre a riportare le misure orarie delle principali grandezze energetiche (es. potenza termica, temperatura ambiente, CO₂), fornisce l'andamento giornaliero di indici di benchmark semplificati e facilmente interpretabili dagli utenti. In ciascuno dei tre condomini sono stati installati specifici sistemi di comunicazione evoluta (ICT) i quali hanno permesso di realizzare un sistema integrato di tipo "smart" consentendo di trasferire le letture di ciascun dispositivo al web server senza l'esigenza di sostituire i singoli contabilizzatori e ripartitori di costo presenti in ciascun appartamento.

Accedendo con le proprie credenziali alla piattaforma web gli utenti possono visualizzare gli indici semplificati le informazioni fornite dalle singole pagine come di seguito riportate: (descritte nel dettaglio nel report RdS/PTR2021/127):

Indice di consumo di appartamento (IG): la pagina utente, come indicato in Figura 87, riporta il valore di quello che dovrebbe essere il consumo termico atteso dell'appartamento in funzione delle condizioni climatiche esterne e l'indicatore energetico IG; quest'ultimo indica di quanto percentualmente il consumo termico reale si discosta dal consumo atteso. L'indicatore numero è associato ad una informazione grafica che indica qualitativamente se il consumo misurato nel giorno selezionato è basso o alto rispetto al consumo atteso ideale.



Figura 87: Pagina utente: indice di consumo appartamento – indicazione grafica del consumo termico misurato rispetto al consumo atteso.

Temperatura media di appartamento e concentrazione media CO₂ nell'aria: E riportata una informazione sulla temperatura media misurata in alcuni ambienti e la temperatura media complessivamente dell'appartamento; come indicato in Figura 88, alla temperatura media è associata una informazione grafica semplificata per indicare se la stessa è troppo alta, buona o troppo bassa. Nella stessa sezione è indicata anche la concentrazione media di CO₂ [ppm] nell'aria dell'appartamento (attualmente inserito solo per il condominio 3), con indicazione della qualità: buona se inferiore a 800 ppm, media tra 800 e 1000, bassa se superiore a 1000;

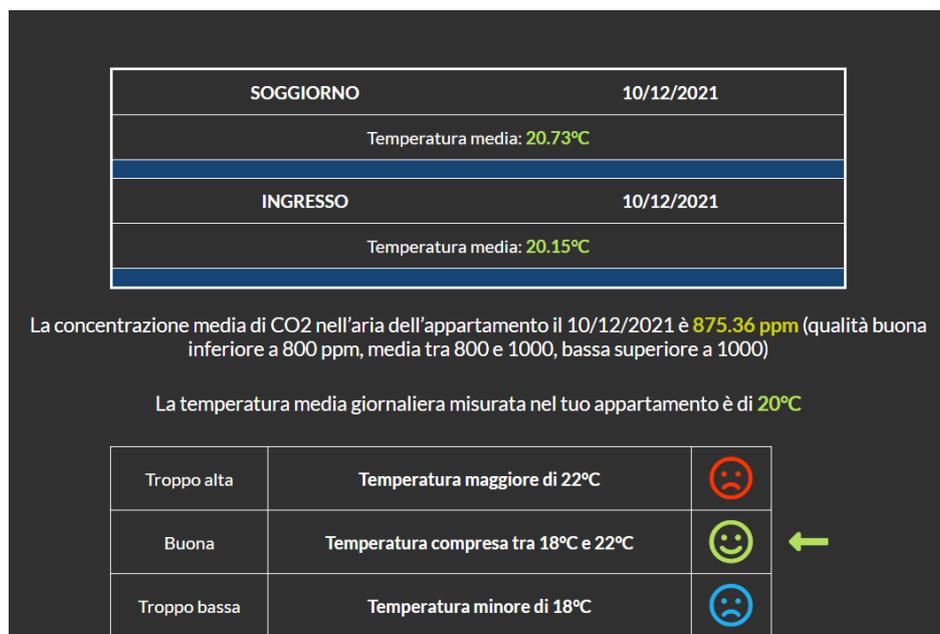


Figura 88: Pagina utente – indicazione sui valori di temperatura media e della concentrazione di CO₂ nell'aria per il giorno selezionato.

Confronto consumo medio appartamento con consumo medio del condominio: riporta tramite una indicazione grafica e numerica, come indicato in Figura 89, il confronto tra il consumo specifico dell'appartamento (kWh/mq) e il consumo specifico medio del condominio.

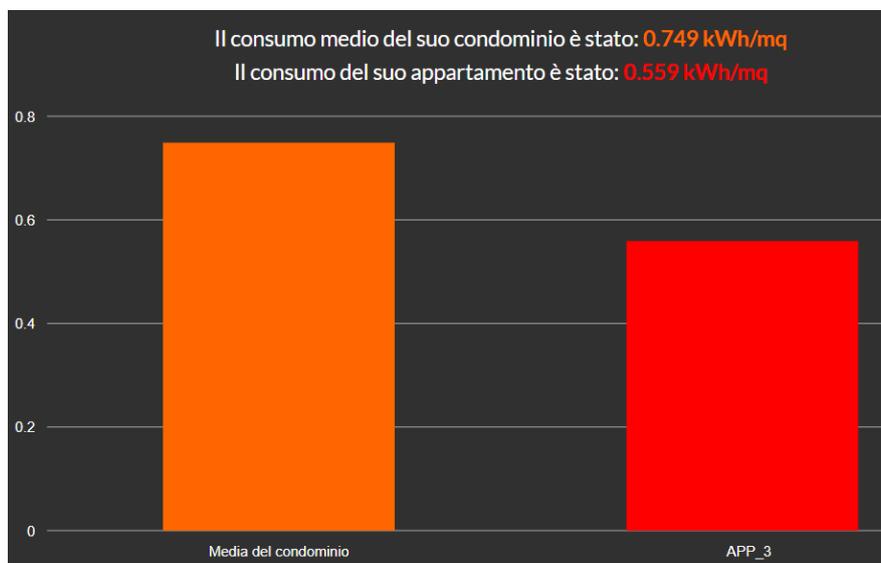


Figura 89: Pagina utente – Confronto consumo termico specifico appartamento con consumo specifico medio del condominio.

Pagina feedback: è previsto che l'utente possa fornire un feedback sugli indici e sulle informazioni visualizzate o un commento su come le stesse vengono recepite per possibili miglioramenti.

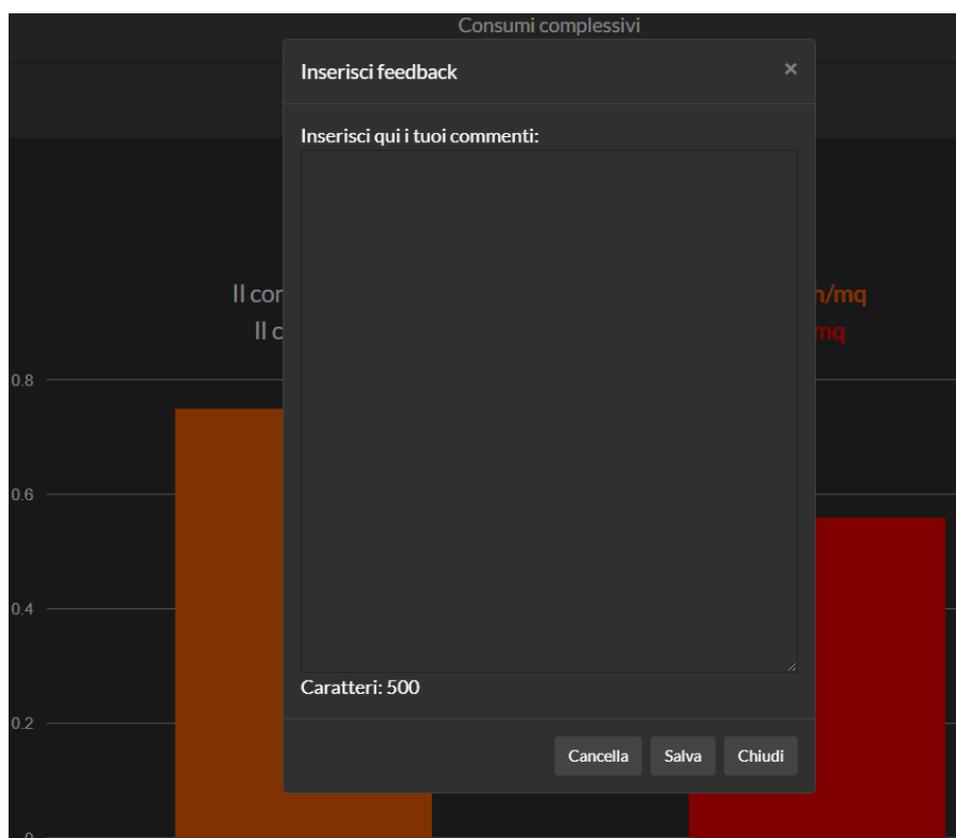


Figura 90: Pagina utente – riquadro per inserire e inviare un commento.

Inoltre se gli indicatori energetici sono troppo alti, la piattaforma web, come riportato in Figura 91, suggerisce all'utente alcuni consigli da attuare per limitare i consumi energetici.



Figura 91: Suggerimenti forniti dalla piattaforma all'utente nel caso di indici di consumi elevati.

Si riporta di seguito una analisi degli indicatori e i valori da questi conseguiti per alcuni giorni tipo dell'ultima stagione di riscaldamento così come visualizzati dagli stessi utenti dei tre condomini.

4.1.1 Condominio 1 - Nord Italia

Il condominio sito in Provincia di Milano è costituito da 3 palazzine per un numero unità abitative totali pari a 16.

Il condominio, dotato di impianto termico centralizzato, ha una un sistema di contabilizzazione individuale di tipo diretto.

Si riporta di seguito il cruscotto mostrato dal portale web con la grafica degli indicatori osservati giornalmente dagli utenti delle unità abitative della palazzina C.

In particolare in questo condominio è presenta un sistema di contabilizzazione diretta con sistema di trasmissione wireless della misura e manca una termoregolazione per singolo ambiente diversamente dagli altri due condomini monitorati. Gli utenti possono osservare giornalmente l'andamento dell'indicatore energetico confrontando i consumi misurati con i consumi attesi e con i consumi medi del condominio come riportato di seguito. In questo caso essendo presente un sistema di contabilizzazione diretta non è necessario ricostruire i consumi volontari dalle Unità di Riparto (UR), ma la piattaforma legge direttamente i consumi dal contatore di appartamento.

Giorno 7 Dicembre 2021

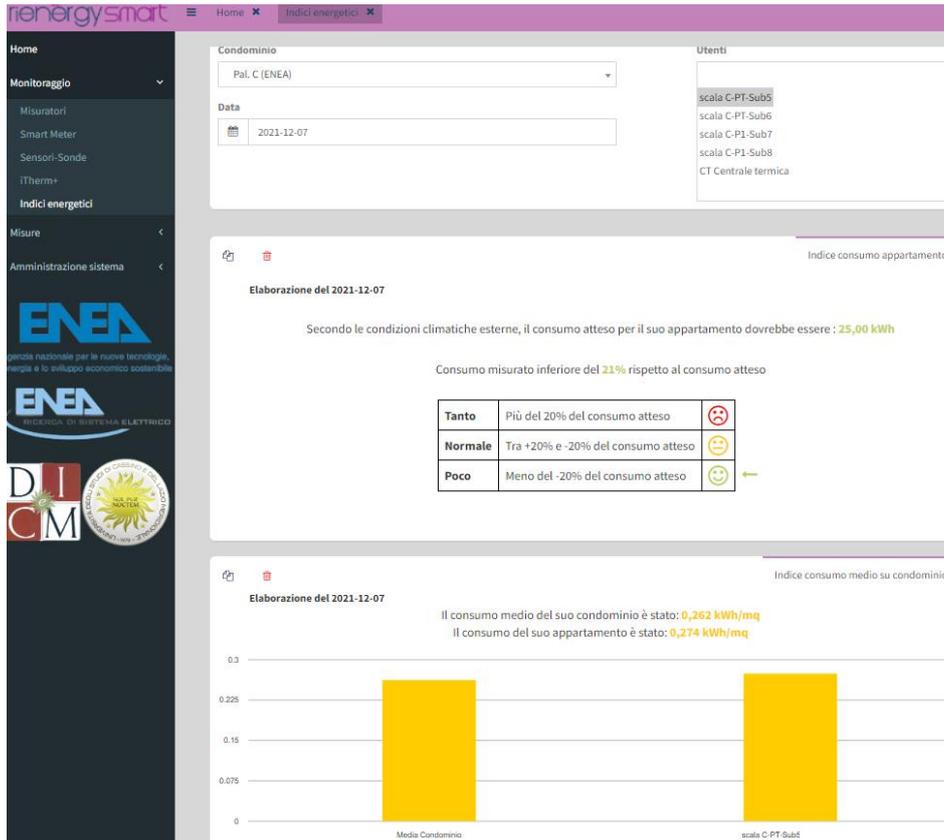


Figura 92: Indice di consumo – Appartamento sub 5 scala C.

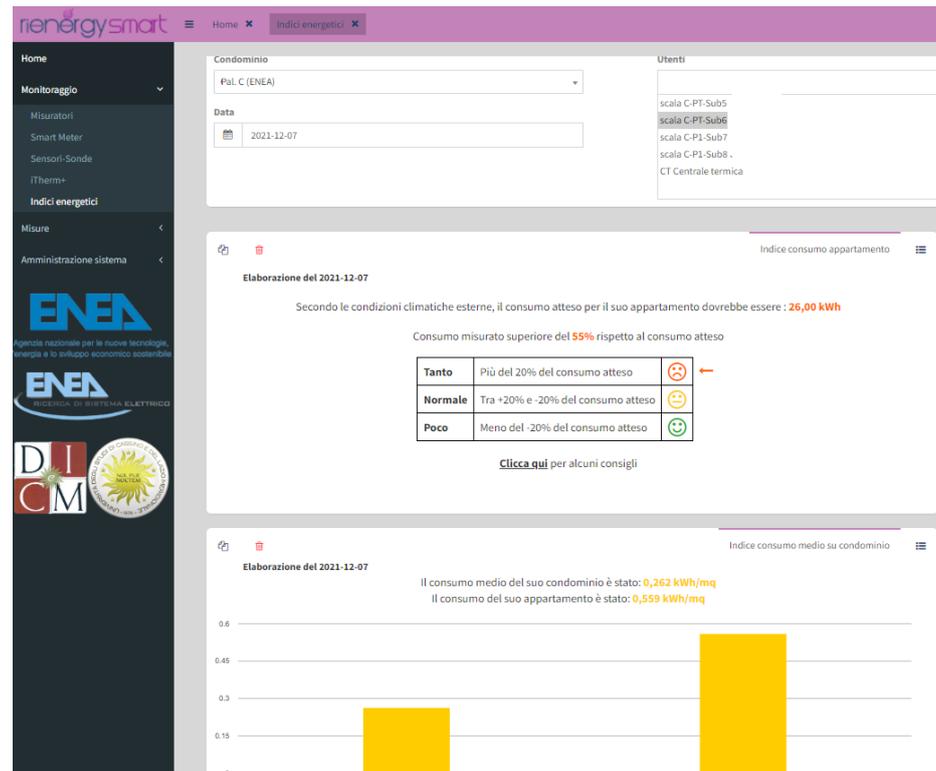


Figura 93: Indice di consumo – Appartamento sub 6 scala C.

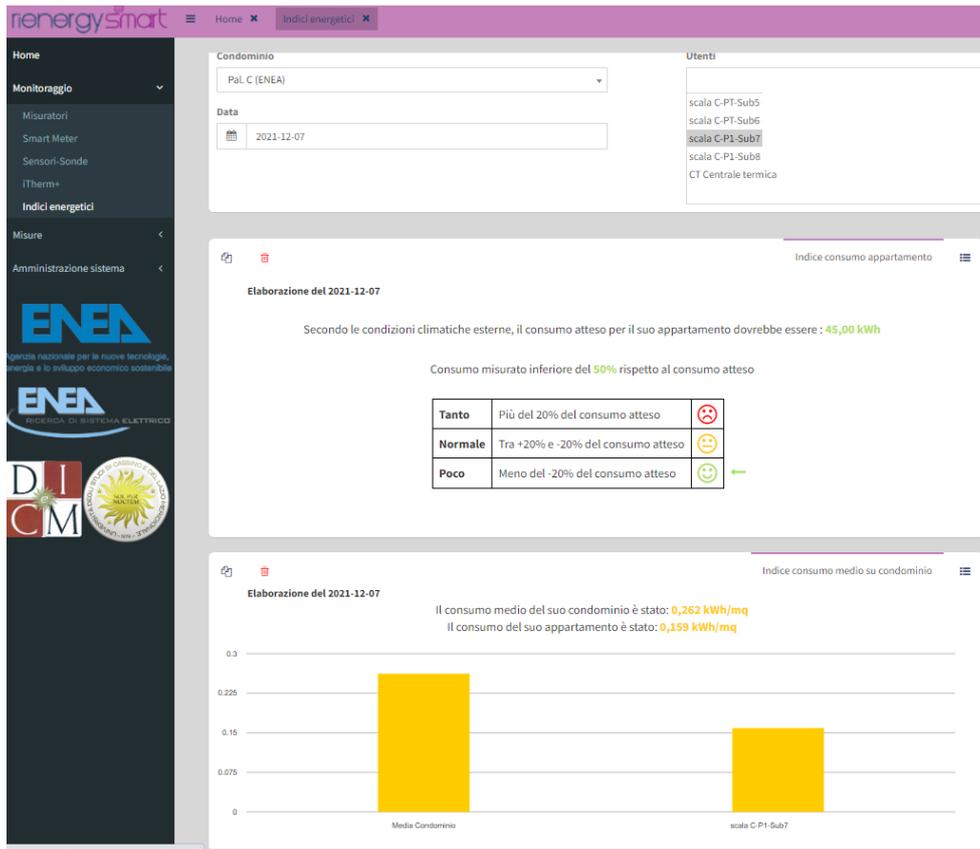


Figura 94: Indice di consumo – Appartamento sub 7 scala C.

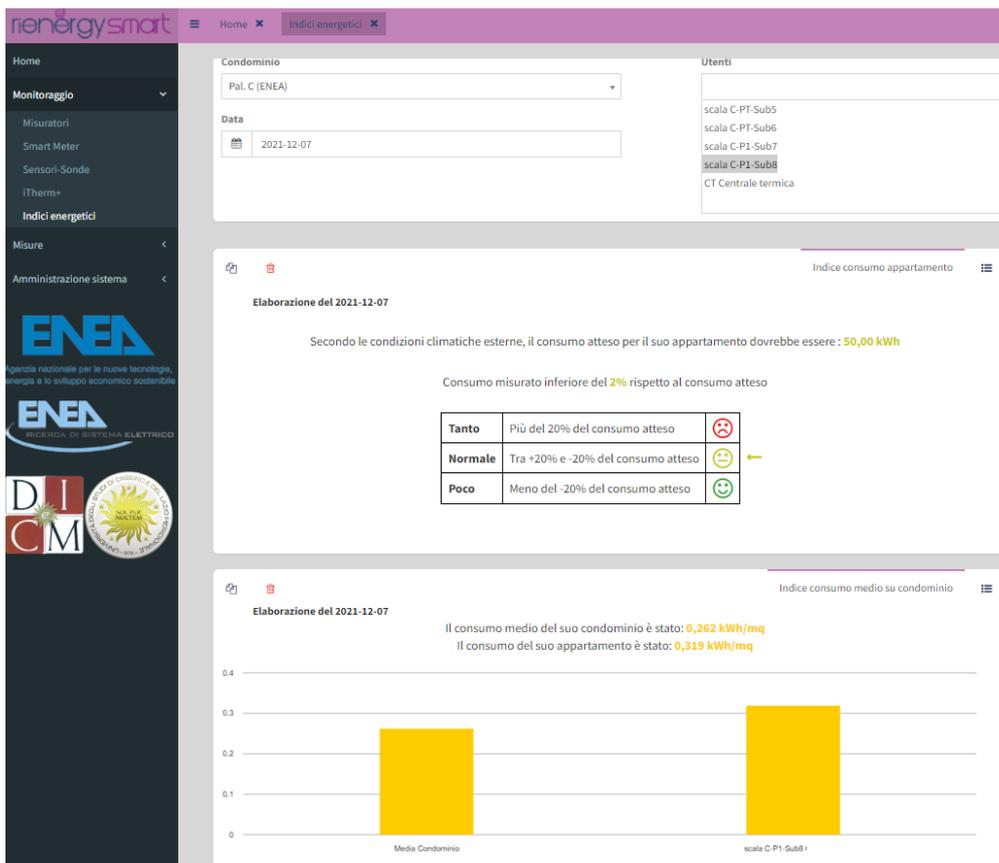


Figura 95: Indice di consumo – Appartamento sub 8 scala C.

Dalla grafica degli indici energetici riportati nelle precedenti figure si può osservare come quasi tutti gli appartamenti della scala C abbiamo un consumo misurato minore o uguale a quello atteso; L'unico appartamento a presentare un consumo misurato superiore del 50% rispetto a quello atteso è il Sub 2; questo infatti pur avendo un consumo termico simile al sub 5, per la sua posizione e per l'orientamento delle pareti esterne presenta un consumo atteso nettamente inferiore rispetto al consumo misurato. Quindi la piattaforma web, come indicato in Figura 93, indica un "allert" all'utente del sub 6 a causa dei consumi termici troppo alti. L'utente inoltre può verificare ulteriormente le condizioni anomale di consumo osservando il confronto con la media del condominio dal quale si evince come il consumo specifico (kWh/mq) dell'appartamento per il giorno indicato sia circa il doppio rispetto alla media dei consumi del condominio. Inoltre come riportato nei seguenti grafici, i consumali anomali del sub 6 rispetto al consumo atteso e rispetto alla media del condominio si presentano anche in altri giorni del mese; per cui l'utente potrebbe risalire alla causa valutando i propri comportamenti energetici (mantenimento delle finestre aperte per molto tempo, mantenimento della temperatura ambiente troppo alta, ecc) secondo i consigli proposti dalla specifica pagina della stessa piattaforma riportata in Figura 91.

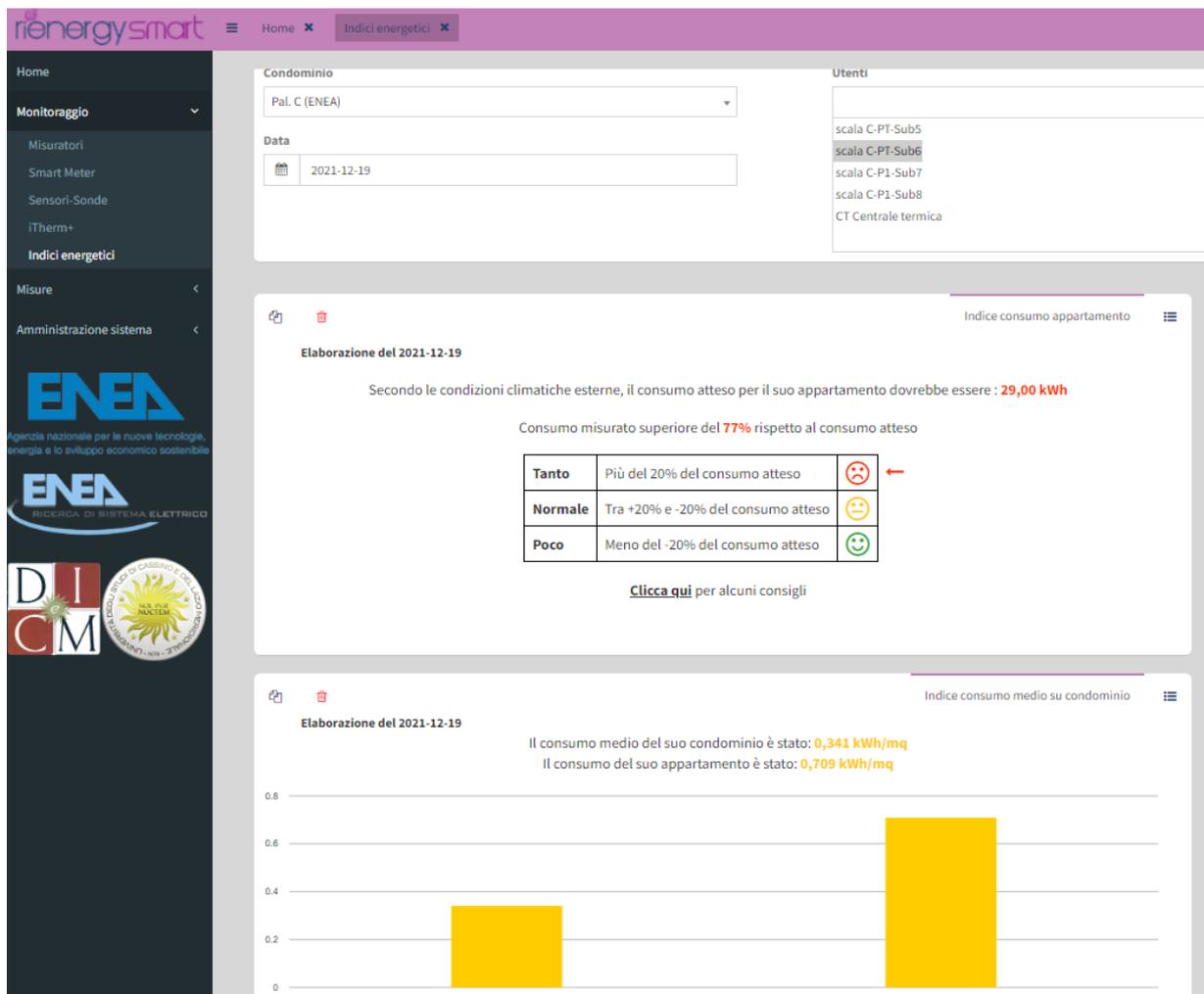


Figura 96: Indice di consumo – Appartamento sub 6 scala C – giorno 19 Dicembre 2021.

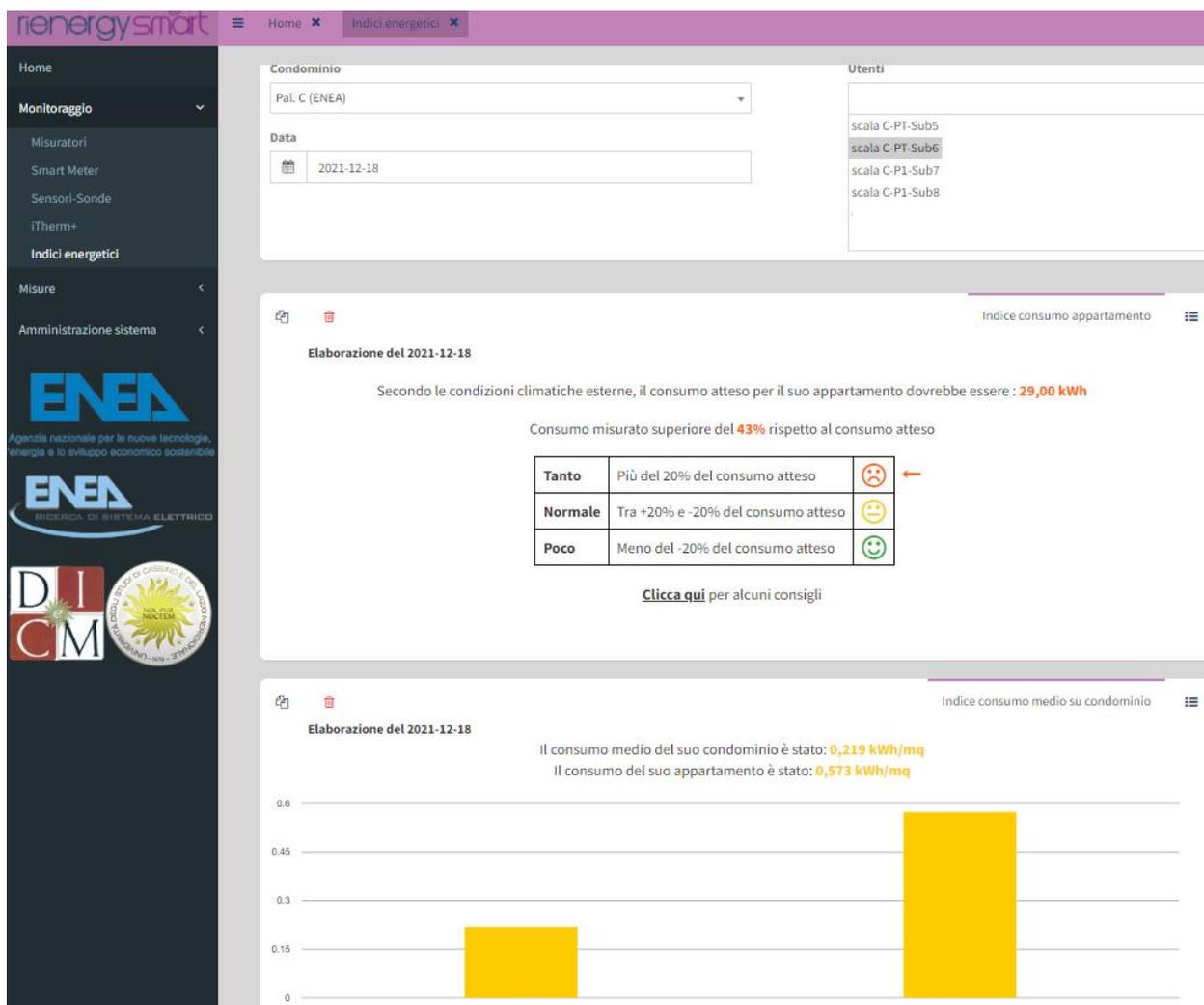


Figura 97: Indice di consumo – Appartamento sub 6 scala C – gironi 18 Dicembre 2021.

4.1.2 Condominio 2 - Centro Italia

Sito in Provincia di Frosinone è costituito da un unico edificio con 9 unità abitative. Il condominio ha un impianto termico centralizzato con caldaia a gas e un sistema di contabilizzazione individuale del calore di tipo indiretto costituito da ripartitori wifi e valvole termostatiche manuali installate in ciascun radiatore.

La possibilità di leggere i ripartitori per singolo ambiente consente la visualizzazione sul portale web sia dell'indice energetico generale di appartamento sia la visualizzazione degli indicatori di consumo relativi alle singole stanze (calcolo dell'indicatore descritto nel Report dell'Università di Cassino RdS/PTR2020/130). Inoltre sono stati collocati due sensori di temperatura per ciascun appartamento con i quali vengono fornite le temperature media giornaliere con la relativa grafica.

Si riporta di seguito il cruscotto degli indici completi per un giorno tipo dell'ultima stagione di riscaldamento per i singoli appartamenti visualizzabili dagli utenti del condominio 2 tramite l'accesso alla propria pagina del portale web.

Giorno 15 Novembre 2021

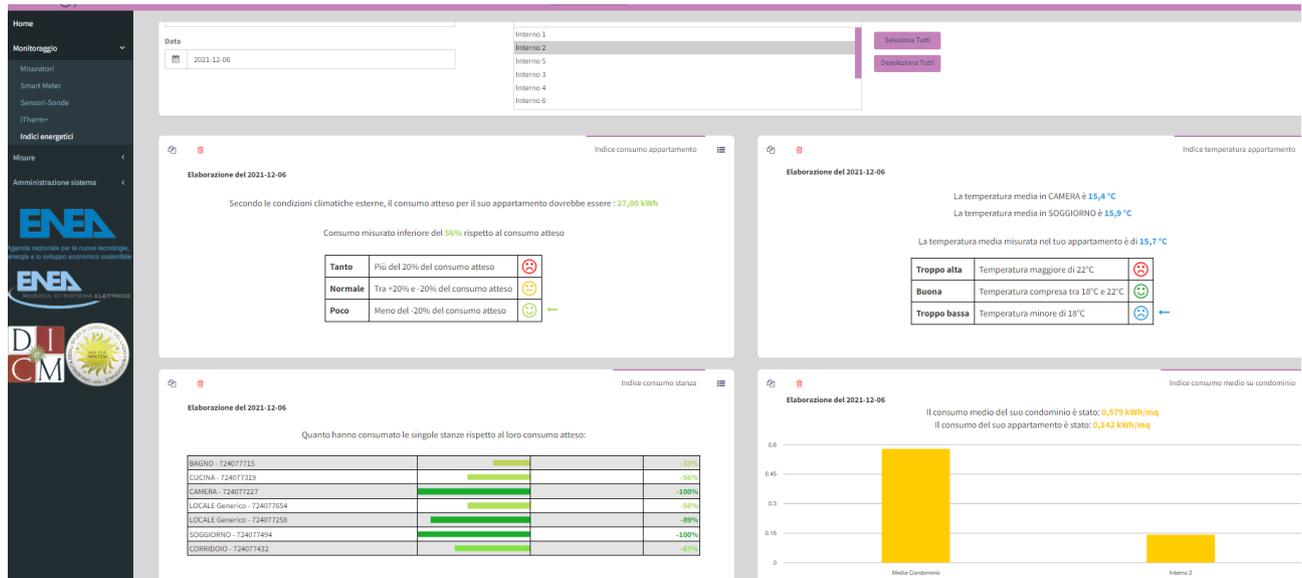


Figura 98 Interno 2 -Indice di consumo per appartamento – indice di consumo parziale per stanza, confronto con consumo medio del condominio, visualizzazione temperatura media — giorno 6 Dicembre 2021.

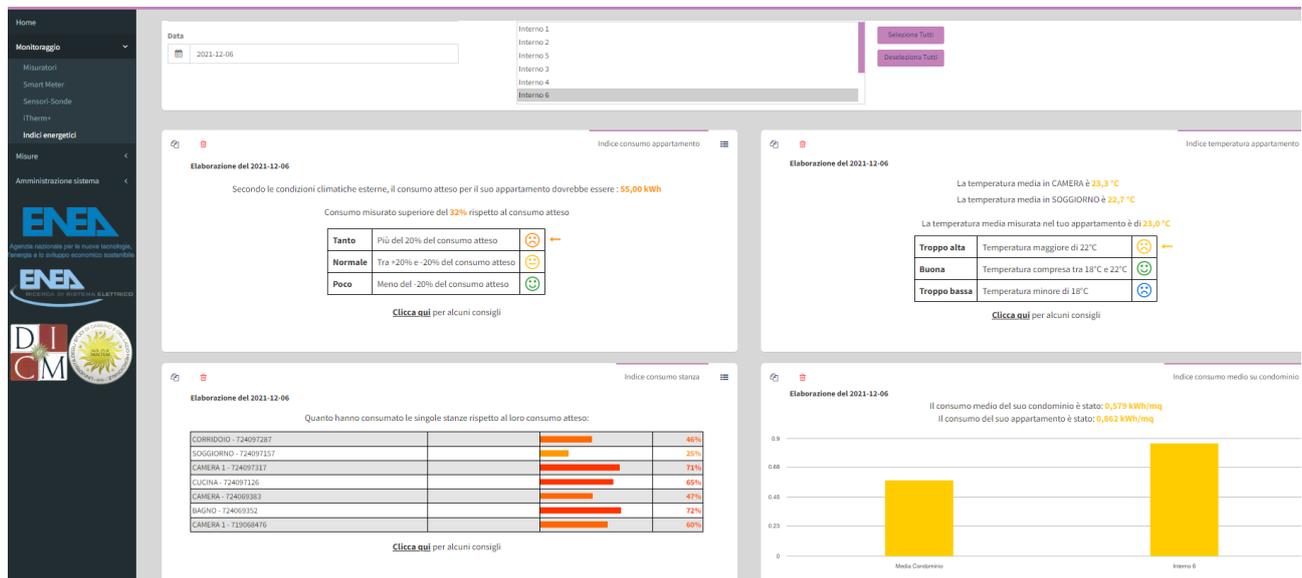


Figura 99: Interno 6 - Indice di consumo per appartamento – indice di consumo parziale per stanza, confronto con consumo medio del condominio, visualizzazione temperatura media – giorno 6 Dicembre 2021.

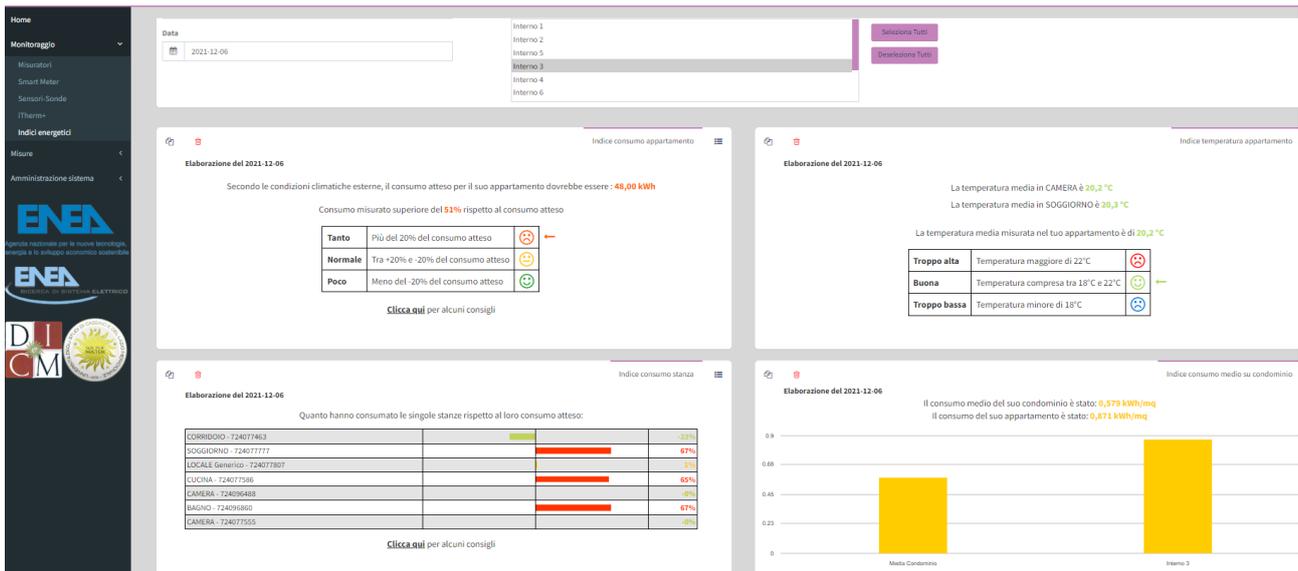


Figura 100: Interno 3 - Indice di consumo per appartamento – indice di consumo parziale per stanza, confronto con consumo medio del condominio, visualizzazione temperatura media – giorno 6 Dicembre 2021.

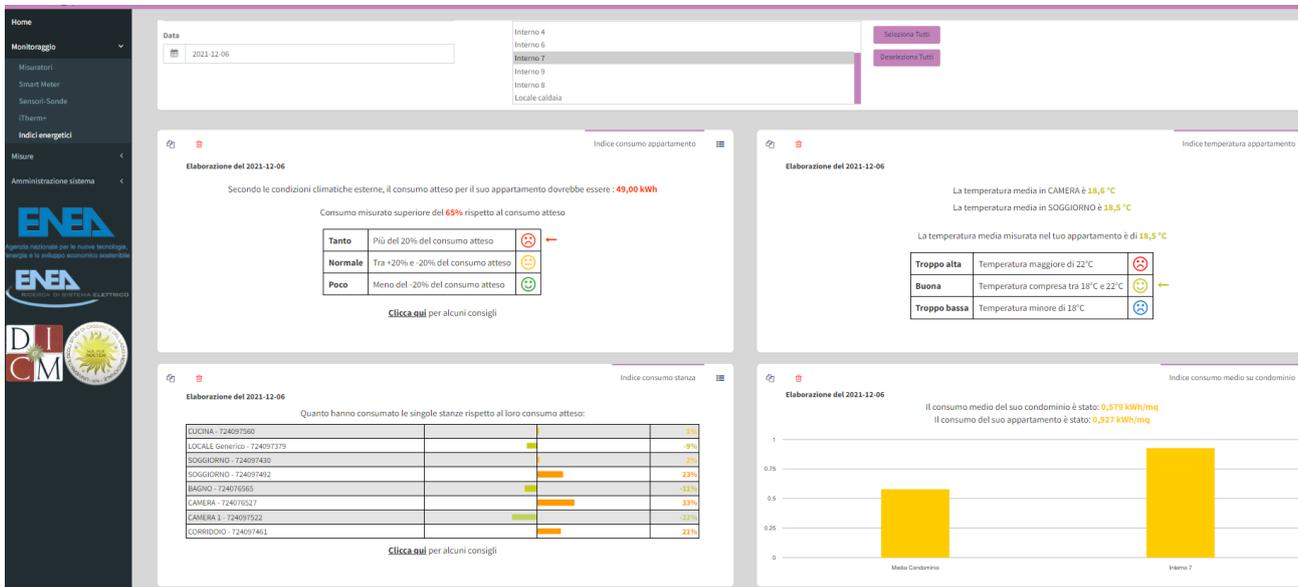


Figura 101: Interno 7 - Indice di consumo per appartamento – indice di consumo parziale per stanza, confronto con consumo medio del condominio, visualizzazione temperatura media – giorno 6 Dicembre 2021.

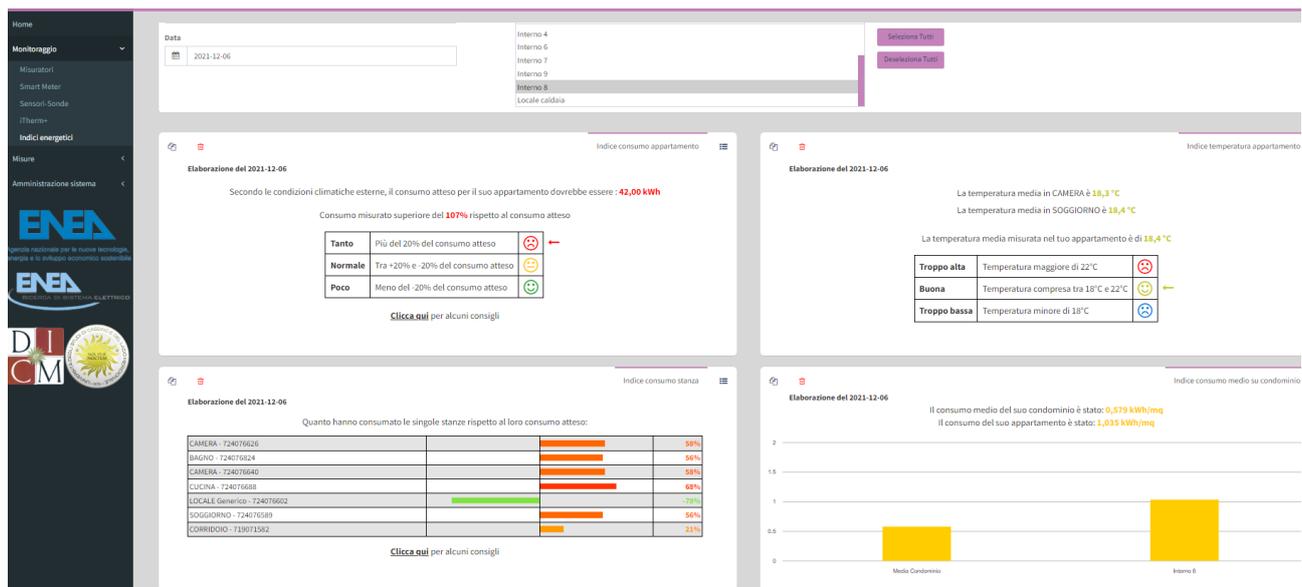


Figura 102: Interno 8 - Indice di consumo per appartamento – indice di consumo parziale per stanza, confronto con consumo medio del condominio, visualizzazione temperatura media – giorno 6 Dicembre 2021.

Dalle pagine web riportate nelle precedenti figure, l’utente può visionare gli indicatori energetici del proprio appartamento con la possibilità di verificare nel dettaglio quali sono gli ambienti che hanno un maggiore consumo rispetto a quello atteso. I sensori di temperatura presenti in ciascun appartamento consentono di fornire all’utente informazioni sulla temperatura media mantenuta per l’intera unità immobiliare e per due zone specifiche.

Dalla pagina web di Figura 98 si nota come per il giorno selezionato, l’unico appartamento che presenta un consumo termico volontario inferiore alla media del condominio è l’interno 2. In questo caso, come confermato dall’indicatore della temperatura media, i ridotti consumi possono essere dovuti ad una impostazione delle valvole termostatiche da parte dell’utente per mantenere una bassa temperatura degli ambienti per poco utilizzo dell’appartamento. Dagli indici di consumo per singola stanza si nota infatti che in alcuni ambienti le valvole sono state totalmente chiuse (indice -100%) mentre in altri ambienti le valvole termostatiche sono state impostate ad una temperatura minima. Dalla visualizzazione della propria pagina web, l’utente può valutare giornalmente la variazione di consumo associata alle impostazioni delle valvole termostatiche e la temperatura minima mantenute.

4.1.3 Condominio 3 – Nord Italia

Sito nel Nord Italia, è una palazzina residenziale di tre piani fuori terra costruita nell’anno 1955 con un singolo appartamento per piano. L’edificio è dotato di impianto termico centralizzato con caldaia a gas; nelle singole unità abitative è presente un sistema di contabilizzazione individuale del calore di tipo indiretto, costituito da sistema di ripartizione e termoregolazione elettronico del tipo “Totalizzatore ad ore compensate”.

Ogni ambiente è dotato di un sistema di ripartizione e termoregolazione tramite il quale è possibile effettuare una regolazione a comando elettronico.

Si riporta di seguito per un giorno tipo dell’ultima stagione di riscaldamento il cruscotto con la sintesi grafica degli indicatori semplificati.

Giorno 7 Dicembre 2021:

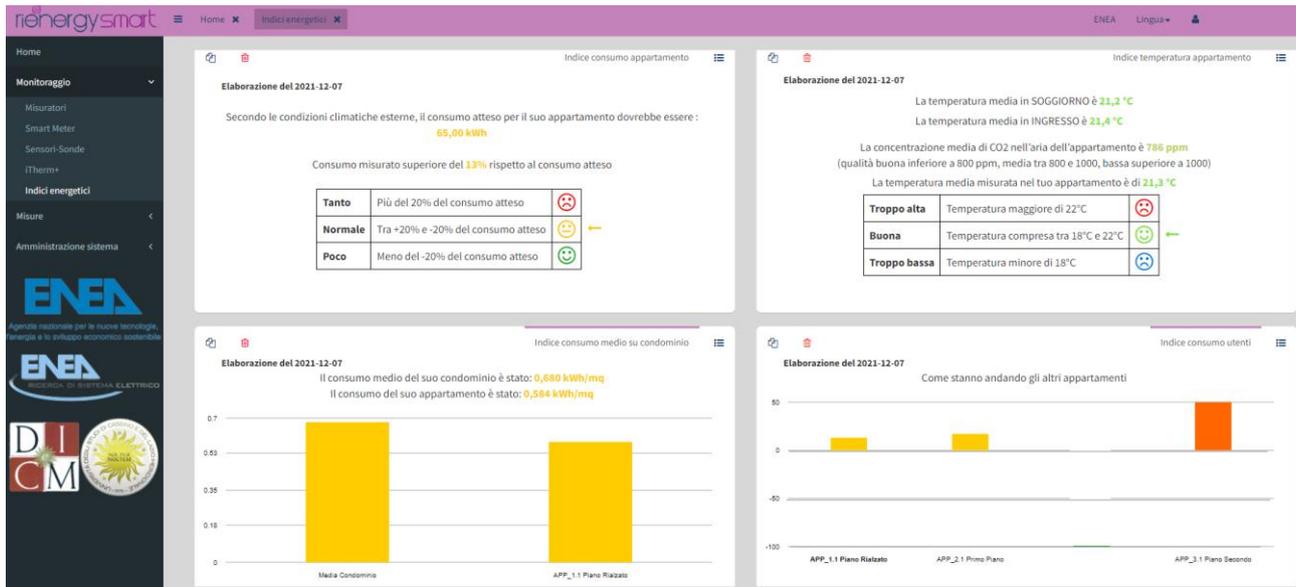


Figura 103. Indice di consumo – temperatura e CO₂ Appartamento 1, Condominio 3 - giorno 07/12/2021.

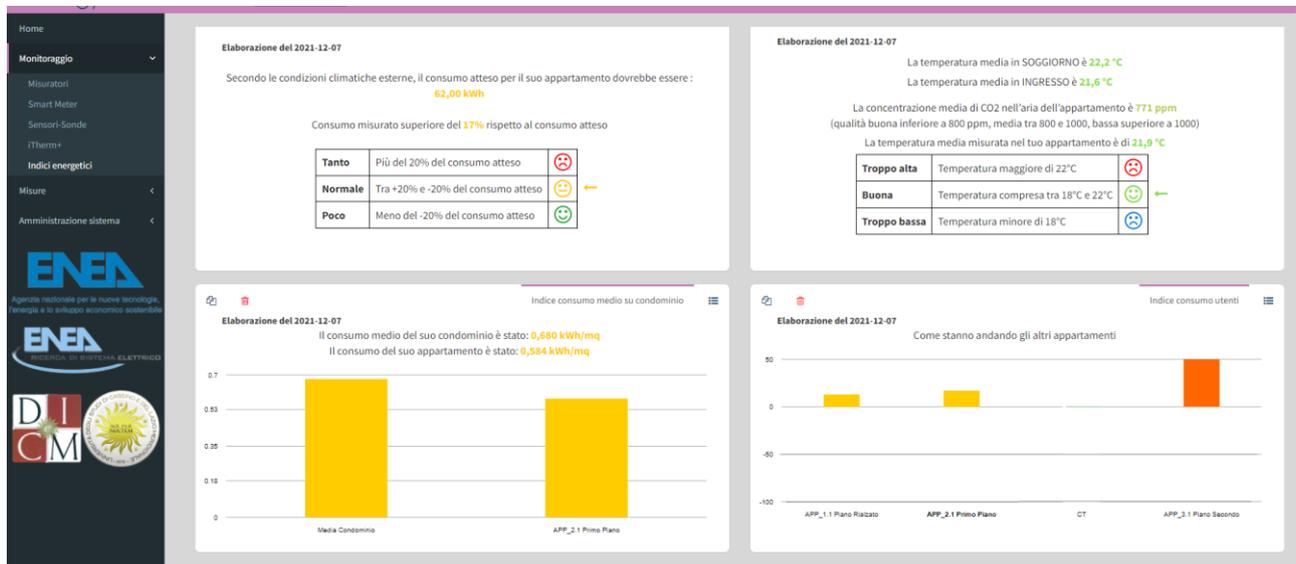


Figura 104: Indice di consumo – temperatura e CO₂ Appartamento 2, Condominio 3 - giorno 07/12/2021.

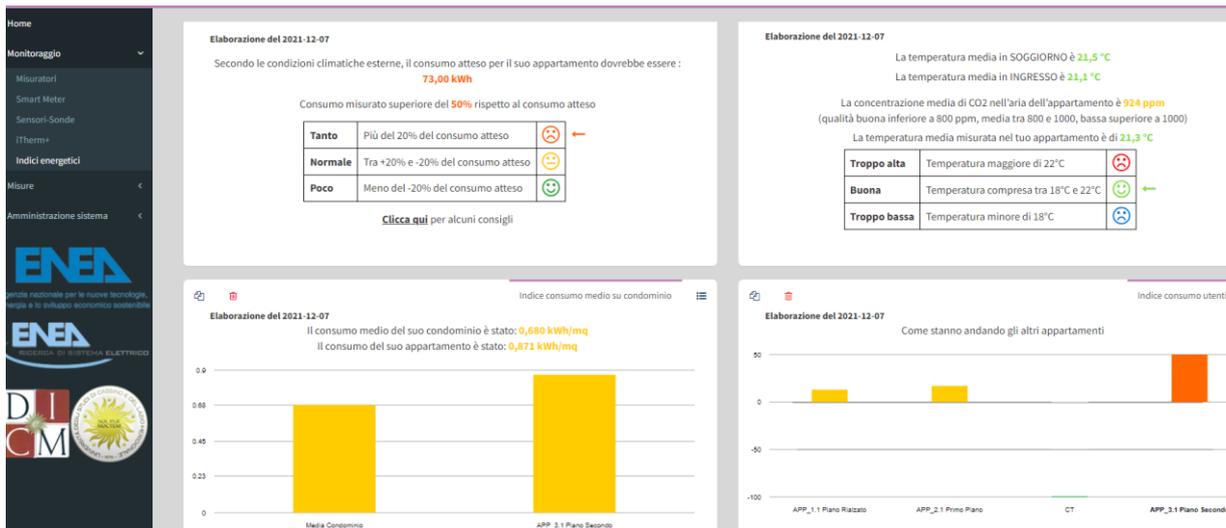


Figura 105; Indice di consumo – temperatura e CO₂ Appartamento 3, Condominio 3 - giorno 07/12/2021.

Dalla grafica degli indicatori per i tre appartamenti nella giornata del 7 Dicembre 2021, è interessante osservare come il consumo termico misurato risulta prossimo al consumo atteso per gli appartamenti del piano terra e del primo piano con uno scostamento superiore rispettivamente al 13% e al 17%. Gli stessi appartamenti inoltre presentano un consumo specifico medio (kWh/mq) inferiore rispetto alla media del condominio. Si può osservare inoltre come l'appartamento del primo piano presenta una temperatura media giornaliera superiore rispetto agli altri due piani a limite al piano terra.

Inoltre la piattaforma web per il condominio 3 fornisce la lettura continua delle temperature di set point impostate nei termostati delle singole zone come riportato nelle seguenti figure.

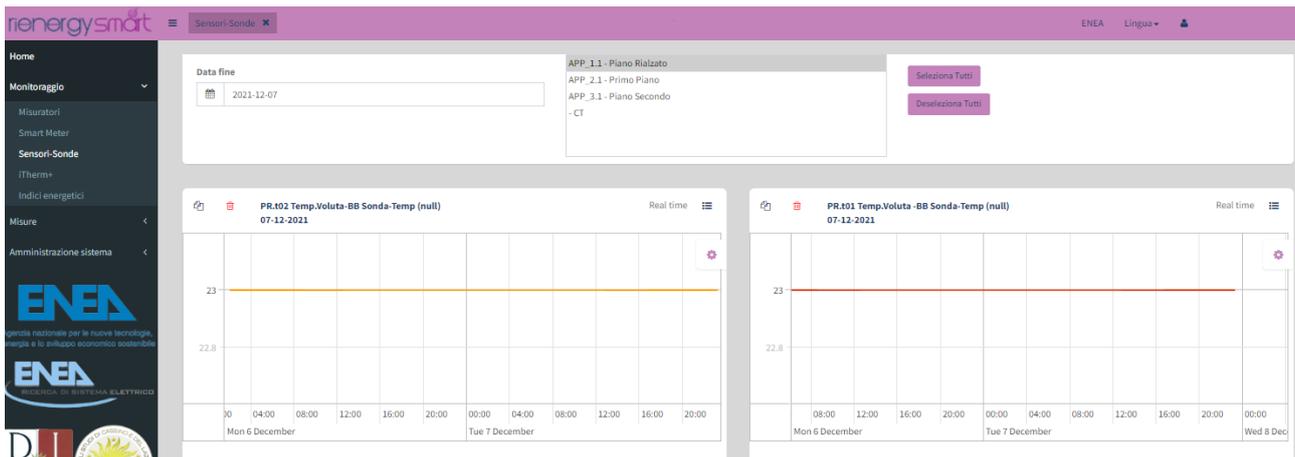


Figura 106: Appartamento piano rialzato 1.1 – lettura del set point della temperatura impostata nei singoli termostati ambientali – giorno 7 Dicembre 2021.

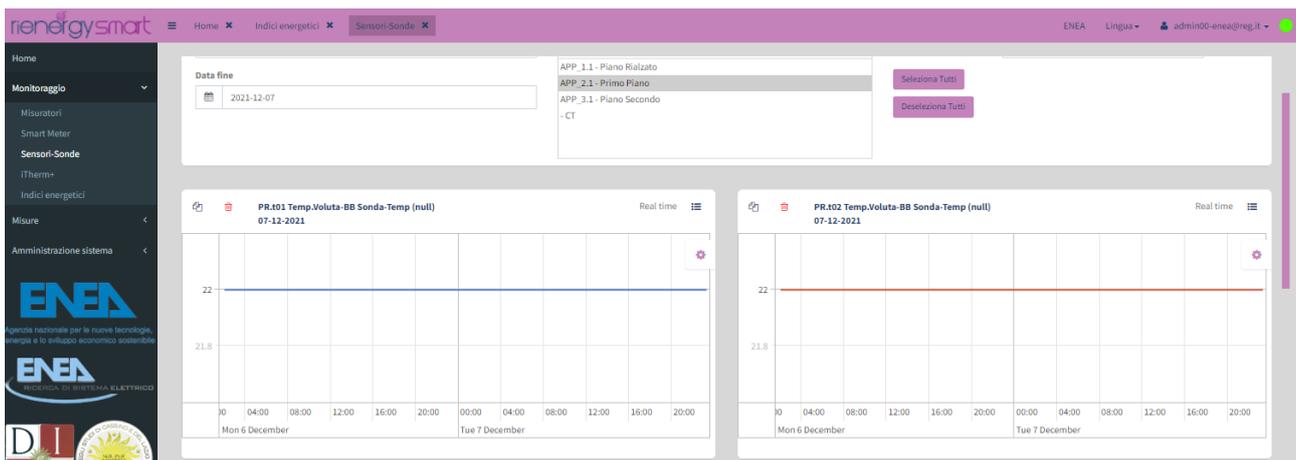


Figura 107: Appartamento primo piano 2.1 – lettura del set point della temperatura impostata nei singoli termostati ambienti – giorno 7 Dicembre 2021.

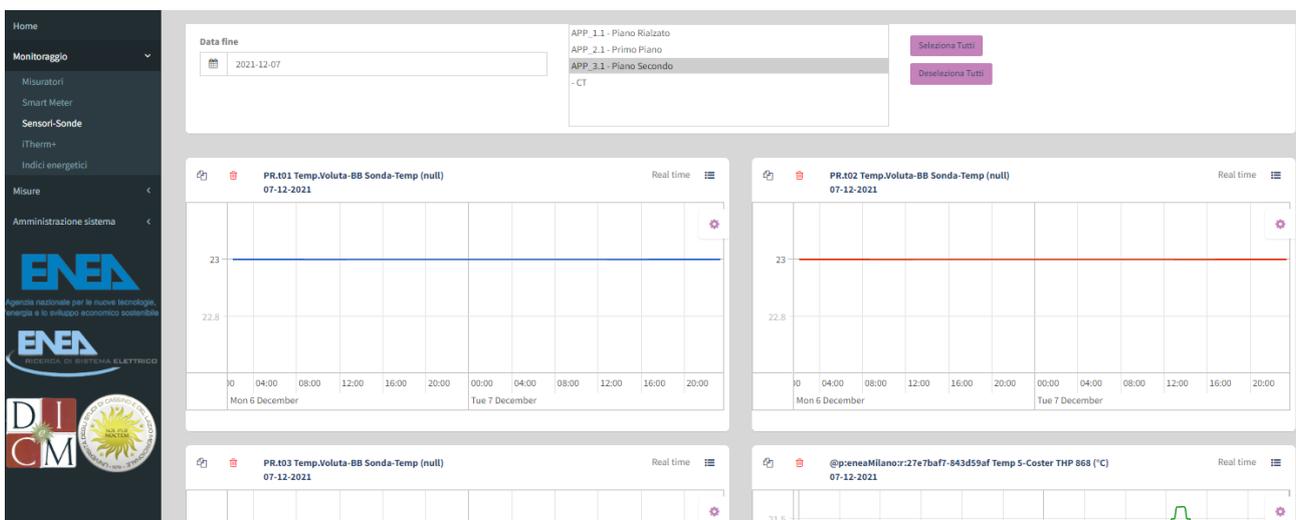


Figura 108: Appartamento secondo piano 3.1 – lettura del set point della temperatura impostata nei singoli termostati ambienti – giorno 7 Dicembre 2021.

Osservando le temperature impostate per i tre appartamenti del condominio, si intuisce come l'appartamento del piano intermedio riesca a mantenersi alla sua temperatura voluta di 22°C in quanto confinante con gli appartamenti del piano terra e del secondo piano che presentano una temperatura voluta per le singole zone pari a 23°C per 24 ore.

L'appartamento dell'ultimo piano come riportato nella grafica di Figura 105, presenta gli indicatori energetici peggiori in quanto ha un consumo misurato superiore al 50% del consumo atteso e un indice di consumo medio *superiore* alla media dei consumi del condominio. Inoltre lo stesso appartamento presenta un indicatore della concentrazione di CO₂ media giornaliera di 924 ppm superiore rispetto alle altre unità abitative. Come si osserva dai grafici di Figura 109, l'andamento orario della concentrazione della CO₂ presenta sempre valori alti con valori massimi superiori a 1000 ppm prevalentemente nelle ore serali, presupponendo un ridotto ricambio d'aria degli ambienti.



Figura 109: Appartamento secondo piano -3.1 - Andamento istantaneo della concentrazione di CO₂ (ppm), temperatura ambiente e umidità relativa rilevati da alcuni sensori installati all’interno dell’appartamento – giorno 7 Dicembre 2021.

Dall’andamento orario di Figura 109, si nota inoltre come la temperatura dei diversi ambienti si mantenga quasi sempre superiore a 21°C con punte di 21,8°C.

Per l’appartamento del terzo piano, la causa degli elevati indici di consumo rispetto agli altri appartamenti non sono da ricercare in una eccessiva apertura degli infissi ma in una elevata temperatura impostata per i singoli ambienti (23°C per 24 ore) e in una maggiore dispersione termica dell’unità abitativa in quanto lo stesso si trova all’ultimo piano dello stabile.

Se gli indicatori energetici sono troppo alti come in questo caso, la piattaforma web, come riportato in Figura 91, suggerisce all’utente alcuni consigli da attuare per limitare i consumi energetici; per il caso specifico una delle soluzioni da seguire dall’utente dell’ultimo piano è quella di ridurre la temperatura di set point rispetto a quella impostata, limitando la temperatura degli ambienti a 20°C in modo da mantenere le condizioni di confort e limitare allo stesso tempo le dispersioni termiche verso l’esterno.

Per valutare come il portale viene utilizzato dagli utenti, la pagina “Accessi”, riportata in Figura 110, fornisce in modo anonimo la durata complessiva di accesso e quale siano state le pagine e i relativi indicatori osservati per maggior tempo. In particolare si riporta di seguito la grafica con gli indicatori di accesso al portale web da parte degli utenti del condominio 3 dall’avvio della stagione di riscaldamento; si nota un utilizzo diverso da parte degli utenti e un interesse particolare per la pagina che riporta l’indicatore di consumo complessivo di appartamento.

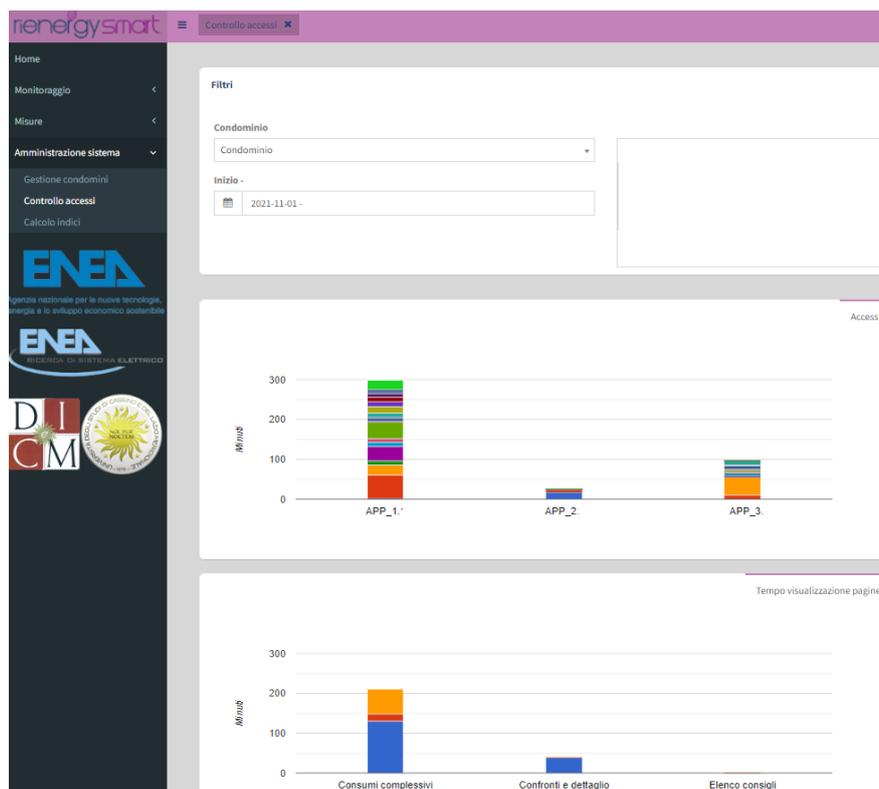


Figura 110: Pagina per visualizzare la durata degli accessi – Condominio 3.

4.2 Analisi e confronto degli indici di qualità dei consumi, delle temperature e della CO₂ per alcuni giorni tipo rappresentativi

Sono stati elaborati gli andamenti degli indici energetici, delle temperature e del monitoraggio della CO₂, al fine di valutare su una scala più ampia rispetto all'osservazione del singolo giorno, quanto siano stabili i valori ottenuti ed eventuali effetti positivi nei trend dei consumi.

Si riporta di seguito l'elaborazione dei dati per il Condominio 3 relativi all'intervallo di tempo 12/12/2021 – 18/12/2021. Nella Tabella sono riportati i dati relativi agli indici di consumo, la temperatura media di appartamento e la concentrazione media di CO₂ nell'aria per ciascun appartamento in corrispondenza di ciascun giorno analizzato. Ciascun valore indicato nella tabella, è evidenziato da un colore specifico, che assume significato di indice di qualità. Per l'indice di consumo atteso di appartamento [kWh] e per l'indice che esprime la differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso di appartamento [%], sono utilizzati i seguenti colori:

- **Verde scuro:** il consumo misurato è molto meno del -20% del consumo atteso;
- **Verde chiaro:** il consumo misurato è meno del -20% del consumo atteso;
- **Giallo:** il consumo misurato è tra +20% e -20% del consumo atteso;
- **Arancione:** il consumo misurato è prossimo al +20% del consumo atteso;
- **Rosso:** il consumo misurato è più del 20% del consumo atteso.

Per l'indice di temperatura appartamento, sono utilizzati:

- **Rosso:** temperatura superiore ai 22°C (troppo alta);
- **Verde scuro:** temperatura compresa tra i 18°C e i 22°C (buona);
- **Blu:** temperatura inferiore ai 18°C (troppo bassa);

Per l'indice di consumo della CO₂ per appartamento, sono utilizzati:

- **Verde chiaro:** indice inferiore a 800 ppm (qualità alta);
- **Giallo:** indice compreso tra 800 ppm e 1000 ppm (qualità media);
- **Rosso:** indice superiore a 1000 ppm (qualità bassa);

Tabella 17: Rappresentazione degli indici energetici per gli appartamenti del condominio 3.

Appartamento 1						
Data	Consumo atteso [kWh]	IG - differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso [%]	Temperatura media [°C]	Concentrazione media CO ₂ [ppm]	Consumo specifico appartamento [kWh/m ² *day]	Consumo specifico condominio [kWh/m ² *day]
12/12/2021	69,0	-12	21,2	846	0,752	0,377
13/12/2021	67,0	+7	21,3	928	0,576	0,671
14/12/2021	53,0	+56	21,0	960	0,665	0,664
15/12/2021	66,0	-39	21,4	872	0,322	0,643
16/12/2021	69,0	+22	21,5	852	0,672	0,671
17/12/2021	74,0	+45	21,4	757	0,864	0,720
18/12/2021	67,0	+53	21,3	821	0,823	0,730
Appartamento 2						
Data	Consumo atteso [kWh]	IG - differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso [%]	Temperatura media [°C]	Concentrazione media CO ₂ [ppm]	Consumo specifico appartamento [kWh/m ² *day]	Consumo specifico condominio [kWh/m ² *day]
12/12/2021	67,0	+113	21,2	879	1,131	0,752
13/12/2021	65,0	+66	21,4	903	0,864	0,671
14/12/2021	44,0	+90	21,6	927	0,665	0,664
15/12/2021	63,0	+91	21,6	840	0,967	0,643
16/12/2021	66,0	+27	21,9	773	0,672	0,671
17/12/2021	72,0	+51	22,0	884	0,864	0,720
18/12/2021	65,0	+6	21,4	824	0,549	0,730
Appartamento 3						
Data	Consumo atteso [kWh]	IG - differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso [%]	Temperatura media [°C]	Concentrazione media CO ₂ [ppm]	Consumo specifico appartamento [kWh/m ² *day]	Consumo specifico condominio [kWh/m ² *day]
12/12/2021	78	+21	21,2	990	0,750	0,752
13/12/2021	76	+5	21,6	1.039	0,573	0,671
14/12/2021	56	+49	21,9	1.065	0,661	0,664
15/12/2021	74	+8	22,0	998	0,641	0,643
16/12/2021	78	+8	22,3	990	0,669	0,671
17/12/2021	84	-36	22,0	884	0,430	0,720
18/12/2021	76	+36	21,5	953	0,818	0,730

Di seguito, sono rappresentati in forma grafica, i valori misurati per ciascun giorno del periodo campione e per ciascun appartamento del condominio 3.

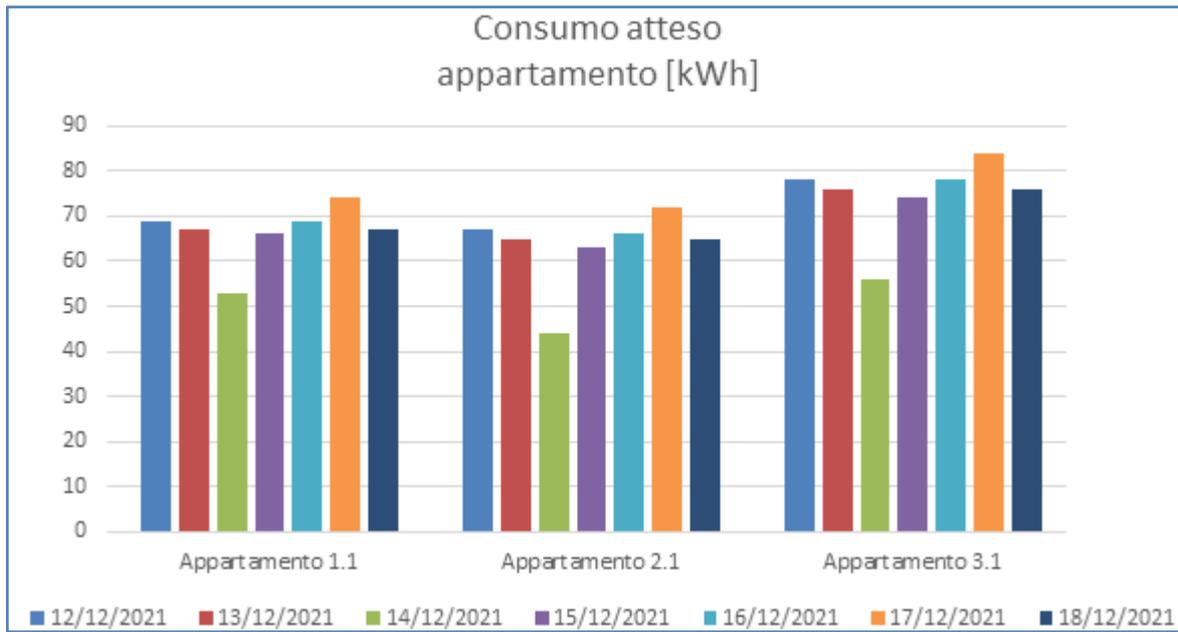


Figura 111: Consumo atteso per appartamento [kWh].

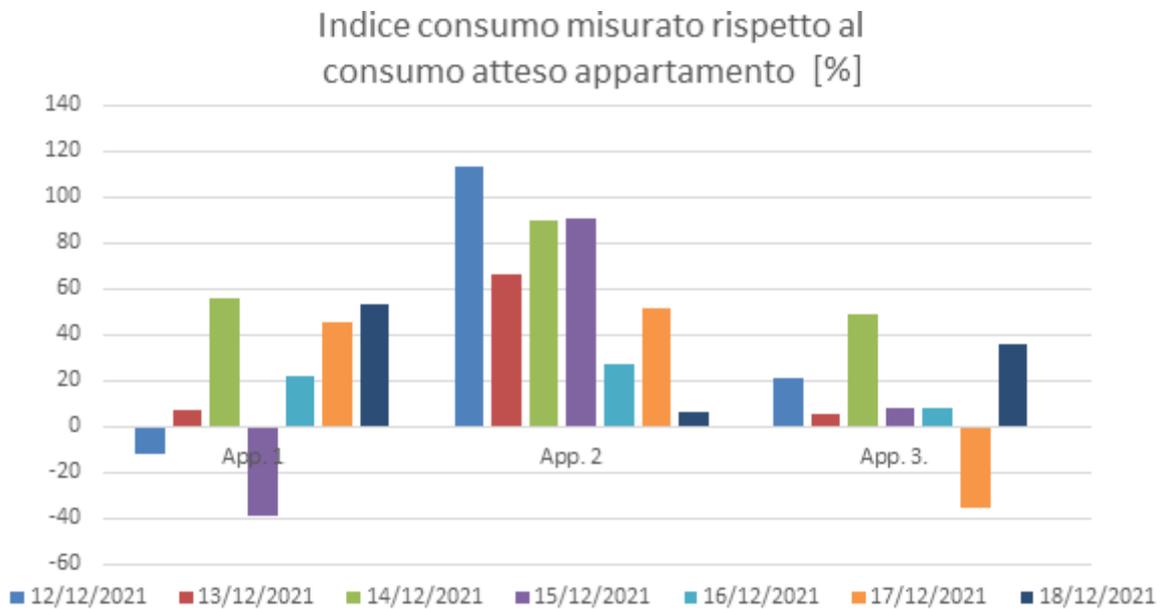


Figura 112: Indice consumo misurato rispetto al consumo atteso per appartamento [%].

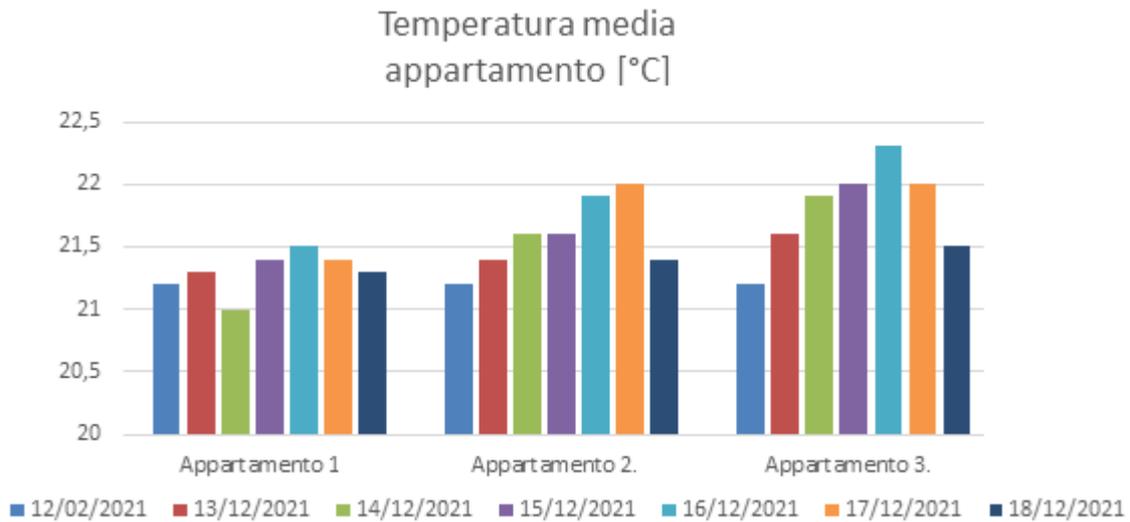


Figura 113: Indice di temperatura per appartamento [°C].

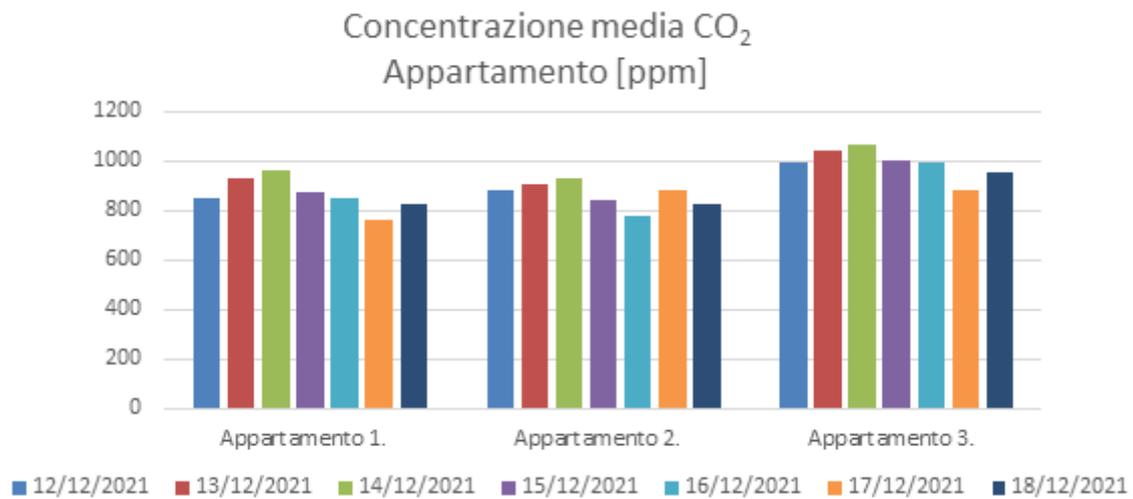


Figura 114: Indice consumo CO₂ per appartamento.

Da una prima valutazione dei valori giornalieri misurati, è possibile notare come per l'appartamento 2 i consumi misurati sono sempre superiori ai consumi attesi; quest'ultimo essendo posizionato in un piano intermedio è soggetto a minori dispersioni termiche rispetto agli altri due appartamenti e quindi, a pari temperatura impostata, dovrebbe essere caratterizzato da minori consumi termici. Infatti come si nota dal grafico di Figura 111, l'appartamento 2 presenta consumi attesi più bassi rispetto all'appartamento 1 (posto a piano terra) e notevolmente più bassi rispetto all'appartamento 3 (posto all'ultimo piano). Per l'appartamento 2, la causa dell'elevato indice di consumo nei giorni selezionati è da ricercare nell'elevata temperatura impostata nei singoli termostati di zona (il cui valore giornaliero è riportato in Figura 119); questa infatti potrebbe essere ulteriormente ridotta rispetto agli altri due appartamenti (Figura 118 e Figura 120) pur mantenendo le condizioni di comfort grazie alla posizione energeticamente vantaggiosa dell'appartamento.

Dall'andamento delle misure riportate nei precedenti grafici si nota l'elevata temperatura media giornaliera dell'appartamento 3 (posto all'ultimo piano) con consumi prossimi a quelli attesi anche se in assoluto maggiori rispetto agli altri due appartamenti.

Pur essendo impostata nei termostati di zona una temperatura alta, l'appartamento dell'ultimo piano riesce a mantenere i consumi giornalieri vicini a quelli attesi (ottenuti dalla simulazione dell'edificio con una temperatura impostata a 20°C) a discapito della qualità dell'aria; infatti dal grafico di Figura 114e dall'andamento orario di Figura 117 sembra limitare al minimo il ricambio con l'esterno in quanto presenta

valori di concentrazione di CO₂ superiori rispetto agli altri appartamenti e comunque elevati (prossimi a 1000 ppm).

Si riportano di seguito per alcuni giorni tipo dell'ultima stagione di riscaldamento l'andamento dei valori orari e giornalieri dei principali parametri energetici e ambientali misurati.

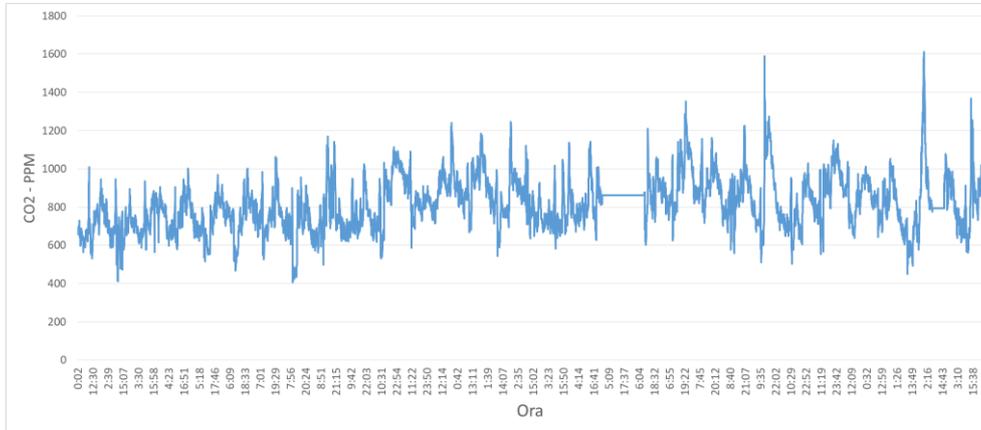


Figura 115: Andamento concentrazione CO₂ nell'aria - Appartamento 2.

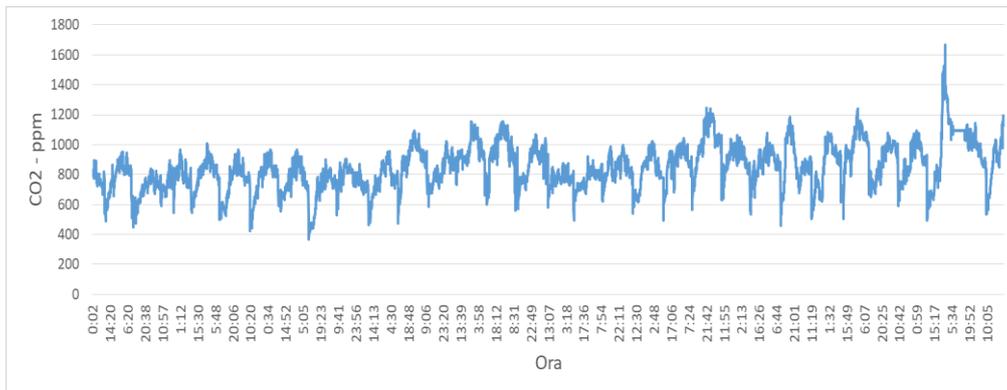


Figura 116: Andamento concentrazione CO₂ nell'aria - Appartamento 1.

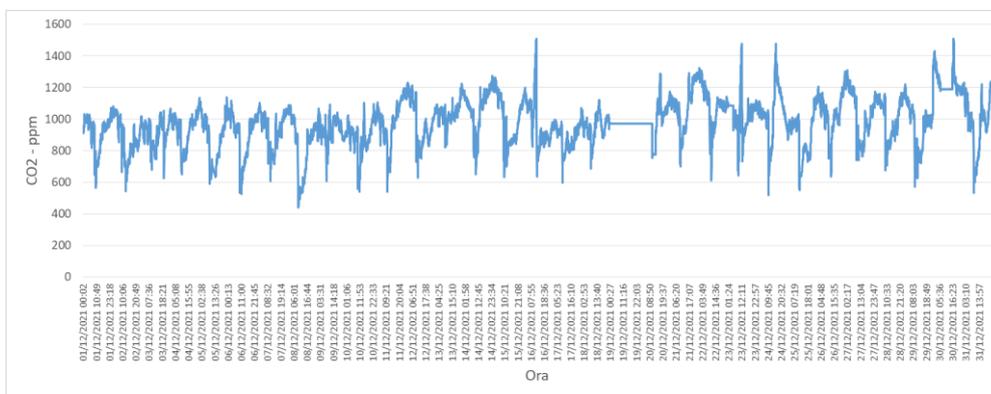


Figura 117: Andamento concentrazione CO₂ nell'aria - Appartamento 3.

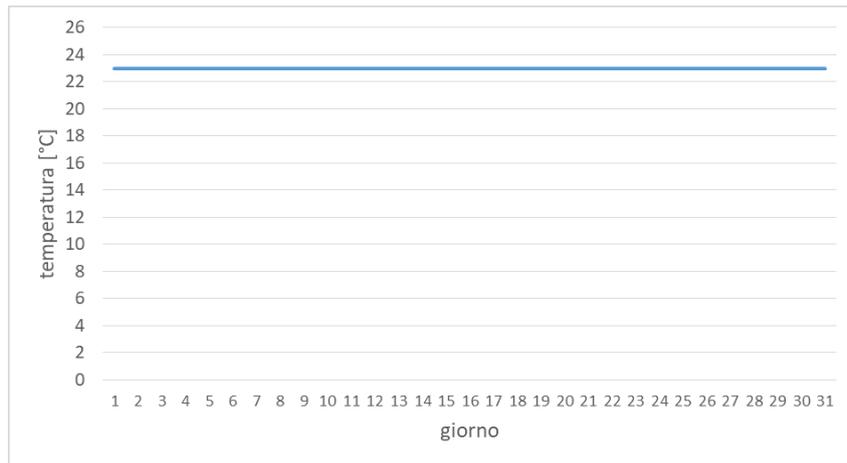


Figura 118: Appartamento 1- temperatura impostata nel termostato ambiente.



Figura 119: Appartamento 2 – temperatura impostata nel termostato ambiente.

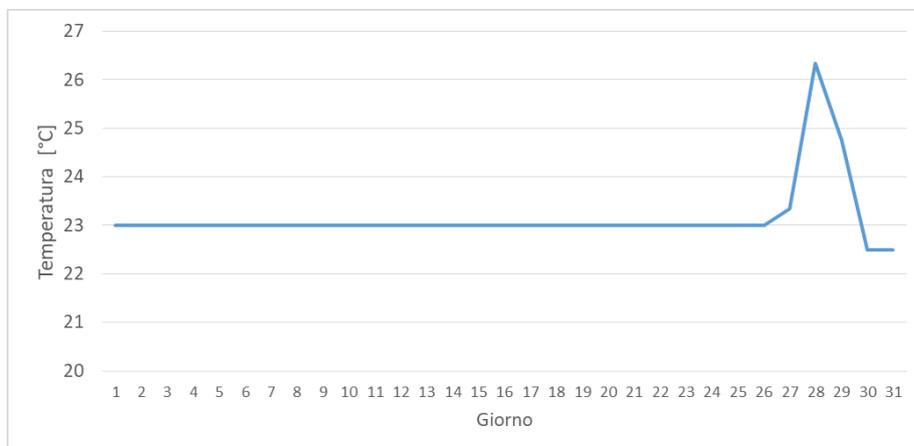


Figura 120: Appartamento 3 – temperatura impostata nel termostato ambiente.

L'analisi degli indicatori energetici e del comfort termico dei singoli appartamenti ha consentito di studiare nei successivi paragrafi possibili miglioramenti nella stima dei consumi attesi e dei benchmark di riferimento rispetto ai quali l'utente può valutare la qualità dei propri consumi volontari giornalieri.

4.3 Analisi dei possibili miglioramenti della metodologia di stima dei consumi attesi implementata nel Portale Web

4.3.1 Introduzione

In questa sezione vengono valutati possibili miglioramenti nella stima del consumo atteso, ottenuto dalla simulazione del singolo appartamento in condizioni ideali come descritto nel Rapporto della precedente linea di attività RdS/PTR2021/127; il calcolo del consumo atteso è necessario per consentire alla piattaforma Web di valutare giornalmente l'indice di benchmark IG con il quale l'utente può valutare la qualità dei propri consumi volontari.

In particolare, come riportato nel Rapporto della precedente linea di attività, l'indicatore IG è ricavato giornalmente come di seguito indicato dal confronto tra il consumo reale della singola unità immobiliare Q_{real} ed il cosiddetto "consumo atteso" Q_{Th}

$$IG = \frac{Q_{real} - Q_{Th}}{Q_{Th}} \% (1)$$

Il "consumo atteso" Q_{Th} viene calcolato giornalmente, ricorrendo alle semplificazioni della metodologia basata sulla normalizzazione dei consumi rispetto ai gradi giorno, tramite la seguente relazione

$$Q_{Th} = (Q_{H,nd}/gg) \cdot GG (2)$$

dove

- $Q_{H,nd}$: fabbisogno termico annuo dell'appartamento stimato secondo UNI TS 11300/1 per condizioni standard di riferimento di Asset Rating (riferite in particolare a valori di set point normativi delle temperature interne degli appartamenti di 20°C e statistici delle temperature dell'aria esterna),
- gg: gradi giorno totali annui del sito, utilizzati dalla procedura di calcolo della UNI TS 11300/1 per condizioni standard di riferimento di Asset Rating
- GG: gradi giorno effettivi del sito ottenuti dalla differenza, rilevata giornalmente, tra la temperatura interna di riferimento (20°C) la temperatura esterna media giornaliera rilevata dai sensori installati.

4.3.2 Sviluppi degli studi effettuati nelle precedenti annualità

Sono stati estesi gli studi sul calcolo dell'indice di benchmark IG e sul calcolo del consumo atteso, avviati nella precedente linea di attività, con l'obiettivo di valutare la possibilità di sviluppi della metodologia attualmente implementata nel portale web.

Questa infatti è stata inizialmente sviluppata, per esigenze di implementazione nella piattaforma e per facilitare la lettura da parte degli utenti, in modo semplificato sia nelle modalità di stima del consumo termico atteso Q_{Th} con l'equazione (2), sia nell'integrazione di informazioni aggiuntive di maggior dettaglio su cause e diversi fattori da cui dipendono i maggiori consumi misurati rispetto ai consumi attesi.

Lo studio eseguito nella corrente annualità ha considerato nello specifico l'impiego di metodologie di diagnosi energetica per la stima dei consumi attesi Q_{Th} basate sulla modalità Tailored prevista dalle Norma UNI TS 11300; la nuova metodologia risulta più accurata e dettagliata rispetto alla precedente linea di attività anche se più complessa nella implementazione.

In tal senso, la Norma UNI TS 11300 considera che, durante la stagione di riscaldamento, il "consumo atteso" Q_{Th} , ovvero il fabbisogno di energia termica degli appartamenti $Q_{H,nd}$ (Heat needs), possa essere stimato sia per condizioni di riferimento di Asset Rating e sia, più in generale, per le condizioni Tailored dell'annualità da considerare tramite la relazione di bilancio energetico di seguito riportata:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ve} + Q_{H,tr} - \eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol,w}) \text{ [kWh]}, \quad (3)$$

dove

$$Q_{H,tr} = Q_d + Q_g + Q_u + Q_a + Q_r - Q_{sol,op} \text{ [kWh]}, \quad (4)$$

Tabella 18: Illustrazione dei simboli usati nelle equazioni in analisi

Q_{int}	apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
$Q_{sol,w}$	apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti vetriati
$Q_{sol,op}$	apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente su componenti opachi
Q_{gn}	apporti totali di energia termica
$Q_d + Q_g + Q_u + Q_a$	scambi di energia termica totali verso esterno, terreno, ambienti non riscaldati, ambienti riscaldati adiacenti
Q_r	extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste
$Q_{H,ve}$	scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
$Q_{H,tr}$	scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
γ_H	rapporto apporti - dispersioni
$\eta_{H,gn}$	fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica
$Q_{H,nd}$	fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento degli ambienti

Il termine Q_a relativo agli scambi di energia termica verso ambienti riscaldati adiacenti risulta da differenze di temperatura con gli appartamenti confinati.

Il termine $Q_{H,ve}$ rappresenta le dispersioni di energia termica per ventilazione che dipendono in particolare anche dalle modalità d'uso dei serramenti.

I contributi solari Q_{sol} trasmessi attraverso l'involucro opaco e trasparente dipendono dall'entità media mensile della radiazione solare al suolo disponibile nella località, dall'orientamento e dal fattore di assorbimento (colore) delle superfici soleggiate nonché dalla presenza di ombreggiamento da parte di strutture permanenti e manovrabili (ad esempio, tapparelle). Gli apporti interni per edifici residenziali indicati su base statistica dalla Norma UNI TS 113300 variano in relazione alla attività eseguite e presenza di persone. Il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti $\eta_{H,gn}$ dipende dal comportamento dinamico dell'edificio (inerzia delle strutture).

Dalle suddette equazioni di bilancio energetico (3) e (4), ne consegue che normalizzare i fabbisogni $Q_{H,nd}$ rispetto ai gradi giorno equivale in pratica a normalizzare, rispetto ai gradi giorno i seguenti termini: i) la dispersioni termiche per ventilazione naturale $Q_{H,ve}$, ii) l'irraggiamento solare, peraltro anche stagionale, iii) gli apporti interni che non dipendendo da tali differenze di temperatura e quindi dai gradi giorno.

Ne consegue che le metodologie che utilizzano la normalizzazione dei fabbisogni rispetto ai gradi giorno ai fini della stime dei consumi attesi Q_{Th} , come da equazione (2), sebbene semplificate potrebbero risultare approssimate.

Ai fini di una maggiore accuratezza, la stima dei valori giornalieri dei consumi attesi Q_{Th} , al variare dei gradi giorno, dovrebbe pertanto essere eseguita utilizzando, in alternativa all'equazione (2) semplificata, metodologie di diagnosi energetica. Queste ultime, in quanto basate sui calcoli di bilancio energetico (3) e (4), eseguiti sulla base dei dati rilevati giornalmente, possono consentire di procedere in modo analitico più dettagliato ed anche con maggiore accuratezza alla stima dei consumi attesi giornalieri Q_{Th} . La metodologia basata sulla diagnosi energetica consente inoltre di evidenziare nel dettaglio anche i diversi fattori che contribuiscono alle differenze tra consumi misurati ed attesi.

Lo studio eseguito nella corrente linea di attività ha pertanto avuto come obiettivo l'elaborazione di una metodologia di diagnosi energetica sviluppata tramite ausilio di fogli di calcolo da implementare nella piattaforma web.

4.3.3 Sintesi delle analisi eseguite

Lo studio eseguito nella corrente annualità è stato sviluppato in due fasi distinte.

Una prima fase di analisi dell'accuratezza dei valori dei consumi attesi, Q_{Th} , stimati con la metodologia già implementata nel portale web e basata sull'uso destagionalizzato del consumo a grado giorno Qh/gg come da equazione (2)

Una fase successiva di sviluppo di metodologie più accurate nella stima dei consumi attesi basate sulla diagnosi energetica; queste ultime saranno in grado, inoltre, di fornire informazioni più dettagliate sulle cause che determinano le differenze tra consumi misurati ed attesi.

Per il suddetto studio sono state considerate gli stessi condomini già monitorati dalla piattaforma web e descritte nel Rapporto RdS/PTR2021/127. Dati climatici di irraggiamento solare, umidità e condizioni di vento dell'aria esterna sono stati acquisiti dalle centraline meteo.

Condominio 2

Il condominio, ricostruito in 3D in Figura 121, sito nel Nord Italia è una palazzina residenziale di tre piani fuori terra con un singolo appartamento per piano, costruito nell'anno 1955. Inoltre l'edificio presenta anche i locali sottotetto, cantinati e garage non riscaldati.



Figura 121: Ricostruzione 3D con il software di simulazione del Condominio 2.

In riferimento allo studio precedentemente eseguito, illustrato nel Rapporto RdS/PTR2021/127 paragrafo 5.3.2, si riportano di seguito i valori dei fabbisogni a grado giorno $Qh,nd/gg$ stimati per le condizioni di riferimento di Asset Rating e utilizzati per la stima dei consumi attesi Q_{Th} con l'equazione (2) e quindi per il calcolo dell'indice giornaliero IG con l'equazione (1).

Tabella 19: Condominio2 - Qh/gg utilizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG.

Unità immobiliare	QH/gg Asset Rating
1 - Unità immobiliare 01	3,49
2 - Unità immobiliare 02	2,86
3 - Unità immobiliare 03	3,66

Analisi della metodologia implementata nel portale web

Di seguito si riporta una sintesi dei principali risultati delle analisi eseguite riguardo l'accuratezza dei valori dei consumi attesi Q_{Th} stimati con la metodologia implementata nel portale web.

Per la suddetta analisi è stato confrontato il consumo atteso destagionalizzato Qh/gg medio annuale e il valore assunto dallo stesso indicatore su base mensile; i due indicatori sono stati calcolati come riportato di seguito:

- Indice di consumo a grado giorno atteso medio annuale ottenuto dal rapporto tra fabbisogni e gradi giorno annuali stimati per le condizioni di riferimento di Asset Rating come da norma UNI TS 11300;

$$I_{f \text{ UNI TS 11300 anno}} = \frac{Q_{H,nd \text{ UNI TS 11300 anno}}}{gg \text{ UNI TS 11300 anno}} \frac{kWh}{^\circ C} \quad (5)$$

- Indice di consumo a grado giorno atteso medio mensile ottenuto dal rapporto tra fabbisogni e gradi giorno mensili stimati per le condizioni di riferimento di Asset Rating come da norma UNI TS 11300.

$$I_{f \text{ UNI 11300 mensile}} = \frac{Q_{H,nd \text{ UNI TS 11300 mensile}}}{gg \text{ UNI TS 11300 mensile}} \frac{kWh}{^\circ C} \quad (6)$$

Nella Figura 122 si riportano i valori ottenuti per i due indici applicando le formule (5) e (6) all'unità immobiliare 01 del condominio 2.

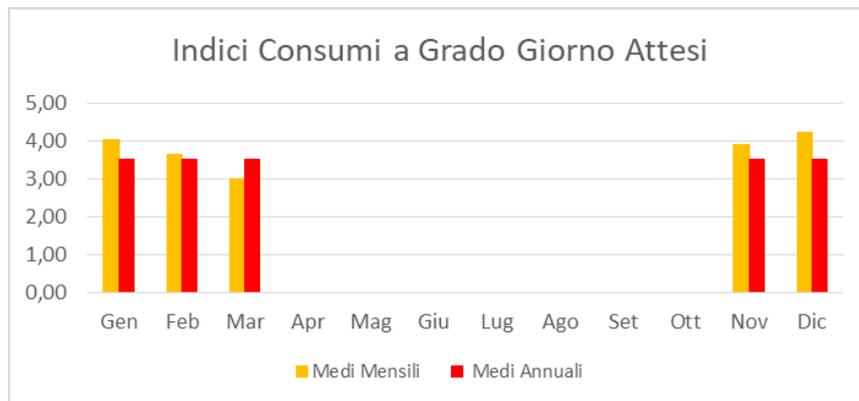
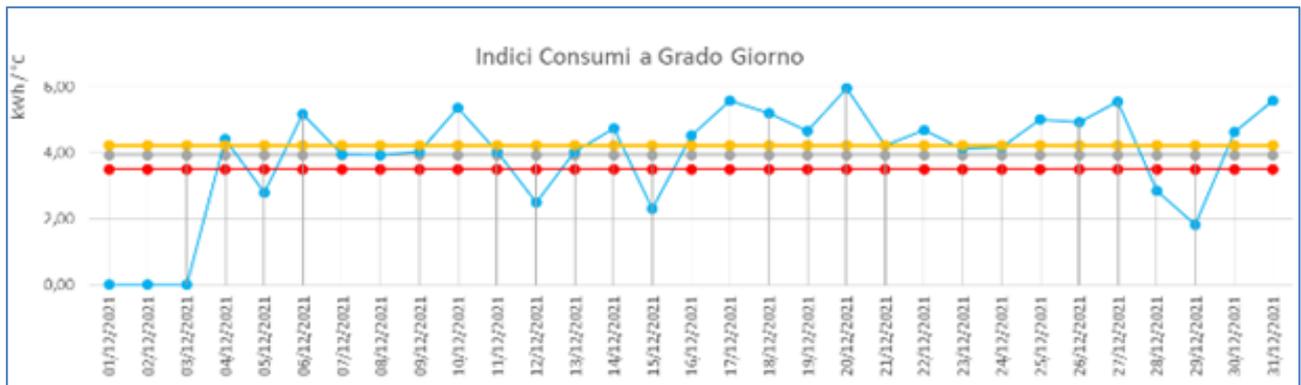


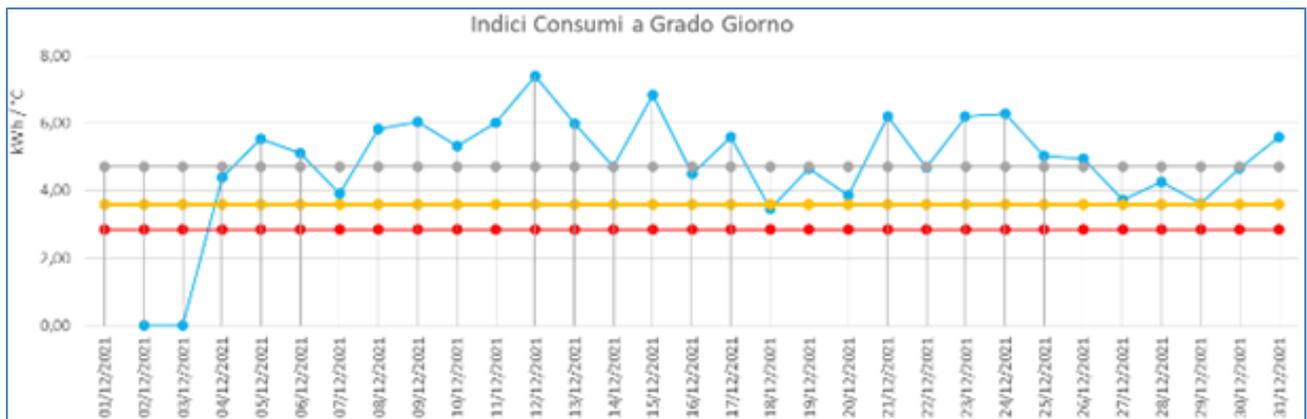
Figura 122: Indici di consumo a grado giorno attesi medi mensili e annuali – unità immobiliare 01

L'indice di consumo medi mensili risultano per i mesi più freddi, come quello di dicembre, maggiori dei valori medi annuali a seguito dei maggiori consumi di energia termica rispetto alla media annuale.

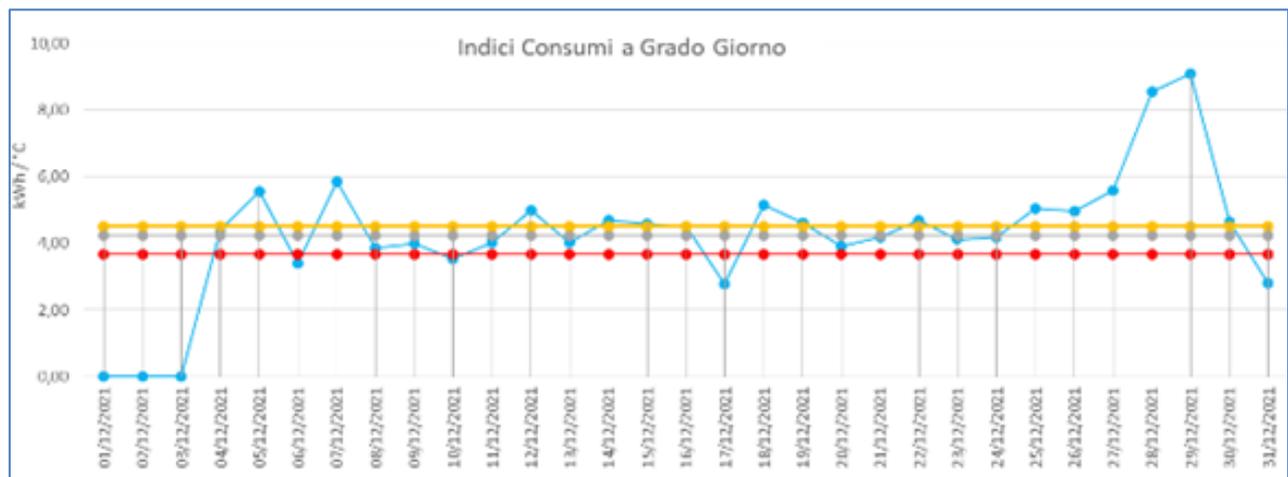
Ciò è evidente anche per le altre due unità immobiliare come riportato nei grafici di Figura 123, dai quali risultano per il mese di dicembre valori degli indici di consumo atteso medio mensile (stimati per le condizioni di Asset Rating), maggiori rispetto ai corrispondenti valori degli indici di consumo atteso medio annuale.



PIANO RIALZATO



PRIMO PIANO



SECONDO PIANO

- (4) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Medi Mensili rilevati a Consuntivo (da Rapporto Consumi e GG misurati Mese)
- (3) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Rilevati (da rapporto tra Consumi e GG Misurati Giornalmente)
- (2) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Mensili (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Mese)
- (1) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Annuali (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Anno)

Figura 123: Mese di Dicembre: indici consumi a grado giorno medi mensili effettivi e attesi.

Dalla prima analisi dei dati di Figura 123 risulta come la stima dei consumi attesi Q_{Th} , eseguita giornalmente con la equazione (2), può essere effettuata con maggiore accuratezza calcolando il termine $Q_{h,nd/gg}$ su base medio mensile in alternativa ai valori medi annuali attualmente utilizzati.

Modificare la metodologia di calcolo come sopra indicato richiede soltanto la modifica nel portale delle schede relative alle singole unità immobiliari, inserendo un valore di riferimento $Q_{h,nd/gg}$ per ciascun mese del periodo di riscaldamento al posto del singolo valore annuale.

Per approfondire con maggiore dettaglio l'analisi dei possibili miglioramenti nel calcolo del consumo atteso, in Figura 123 sono riportati inoltre i seguenti indicatori ottenuti dalle letture effettuate della piattaforma:

- indice di consumo misurato giornalmente ed ottenuto dal rapporto tra i consumi misurati e i gradi giorno effettivi (calcolati su base giornaliera), ottenuti dalla temperatura media esterna rilevata da centraline meteo o dai sensori.

$$(7) I_{f \text{ misurato}} = \frac{\text{consumo misurato giornalmente}}{\Delta T = (20 - T_{\text{media esterna giornaliera}})} \frac{kWh}{^{\circ}C}$$

- indice di consumo misurato medio mensile ottenuto a consuntivo dal rapporto tra i valori dei consumi e dei gradi giorno misurati nel mese;

$$(8) I_{f \text{ misurato medio mensile}} = \frac{\text{consumo mensile misurato}}{GG_{\text{mensile misurati}}} \frac{kWh}{^{\circ}C}$$

Dai grafici di Figura 123 risultano differenze tra i valori dell'indice di consumo medio mensile misurato a consuntivo a fine mese e l'indice di consumo atteso medio mensile stimato in condizioni di Asset Rating secondo UNI TS 11300.

Tale differenze risultano più contenute per il piano rialzato e per il secondo piano, mentre risultano più evidenti per il piano intermedio.

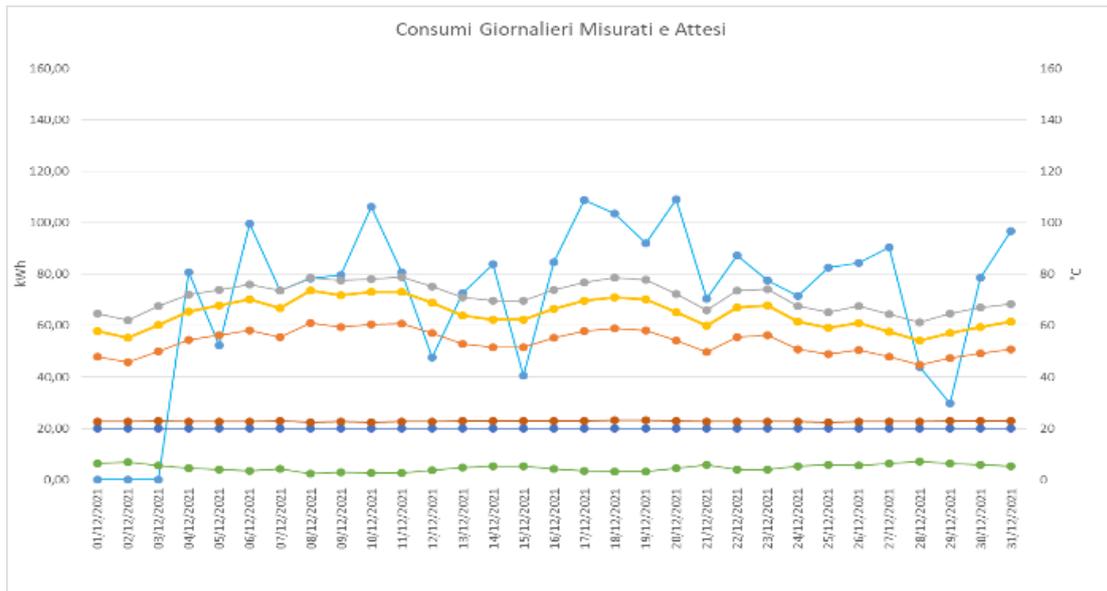
I grafici di Figura 123 evidenziano inoltre scostamenti sia in positivo che in negativo dell'indice di consumo misurato giornalmente rispetto ai corrispondenti valori ottenuto dall'indici di consumo misurato medio mensile.

Le suddette differenze sono dovute alle variazioni giornaliere, rispetto ai valori medi mensili, delle condizioni di irraggiamento (in relazione alle condizioni di schermature degli infissi), di vento, degli apporti interni, degli scambi termici con gli appartamenti confinanti ed in particolare delle condizioni di ventilazione naturale.

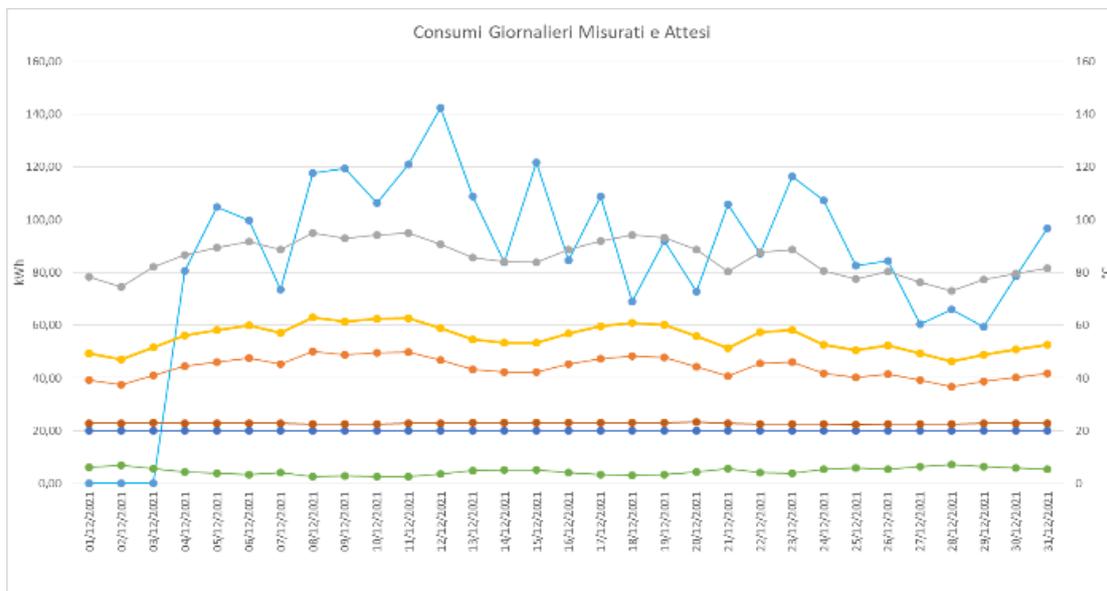
Per valutare gli effetti delle diverse metodologie di calcolo sopra esposte si riportano in Figura 124 e in Figura 125 per il mese di Dicembre i consumi giornalieri dei singoli appartamenti valutati come di seguito indicato:

- consumo volontario giornaliero reale (Q_{real}), ottenuto dalla ripartizione dei consumi misurati dal contatore termico di centrale,
- consumo giornaliero atteso, Q_{Th} , calcolato utilizzando nell'equazione (2) il valore dell'indice di consumo $Q_{h/gg}$ medio annuale in condizioni di Asset rating,
- consumo giornaliero atteso, Q_{Th} , calcolato utilizzando nell'equazione (2) il valore dell'indice di consumo $Q_{h/gg}$ medio mensile in condizioni di Asset rating,
- consumo giornaliero rilevato a consuntivo in condizioni Tailored ottenuto come indicato dall'equazione (8) moltiplicando l'indice di consumo medio mensile $Q_{h/gg}$ misurato a fine mese per la differenza tra la temperatura media interna ed esterna rilevate giornalmente dai sensori.

Dall'analisi dei consumi attesi giornalieri riportati in Figura 124 e in Figura 125, si osserva come il metodo Tailored basato sui consumi e gradi giorno misurati a fine mese si avvicina al trend dei consumi volontari reali dei tre appartamenti; inoltre si nota come il consumo giornaliero atteso, valutato con la metodologia basata sul calcolo in Asset rating dell'indice di consumo $Q_{h/gg}$ su base mensile, si avvicina maggiormente al profilo dei consumi valutati in condizioni Tailored. Considerando l'obiettivo del portale, si ritiene che quest'ultimo metodo potrebbe fornire una indicazione più corretta sul consumo giornaliero di benchmark da confrontare con il consumo reale e allo stesso tempo non introduce un livello eccessivo di complessità rispetto all'indice di consumo medio annuale.



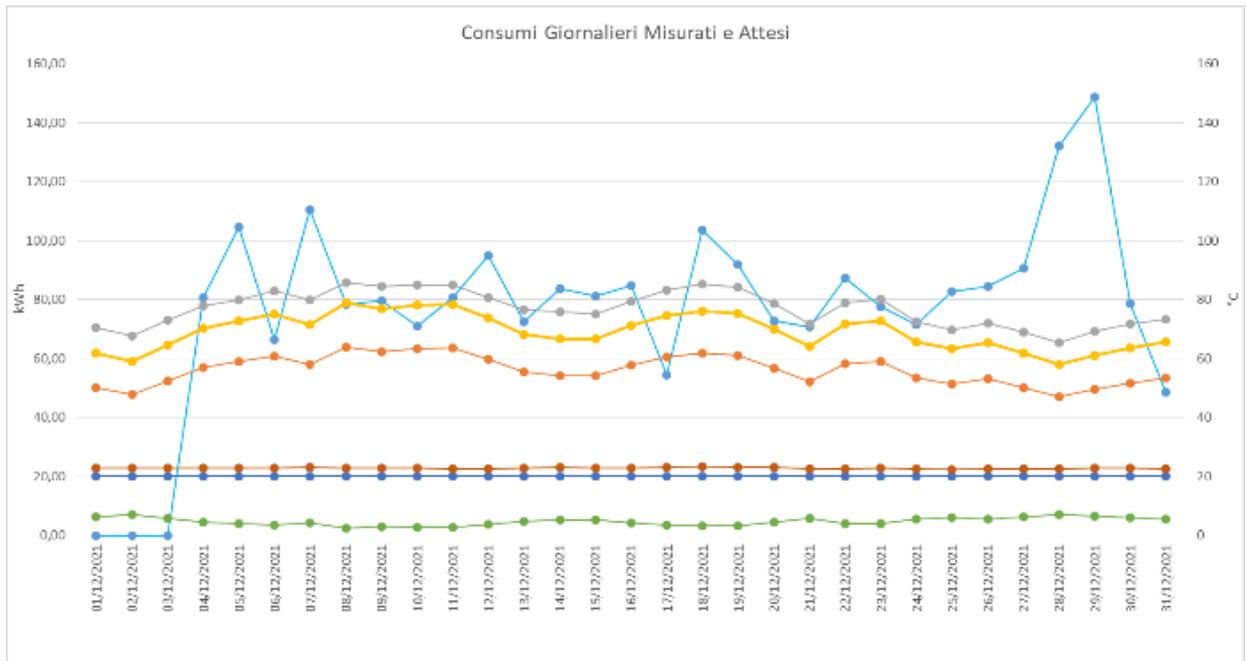
PIANO RIALZATO



PRIMO PIANO

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultanti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 124: Mese di Dicembre: andamenti temperature interne ed esterna e consumi giornalieri effettivi giornalieri e medi mensili e attesi (fabbisogni) e stimati.



SECONDO PIANO

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultanti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 125: Mese di Dicembre: andamenti temperature interne ed esterna e consumi giornalieri effettivi giornalieri e medi mensili e attesi (fabbisogni) e stimati.

Condominio 1

Secondo le stesse modalità riportate nel precedente paragrafo è stato simulato il condominio 1 individuato tra i casi studio per la prima applicazione del portale web.

Il condominio 1, sito nel Nord Italia in zona climatica E, è costituito da tre palazzine separate di due piani e due appartamenti per piano, anno di costruzione 2007. Il condominio è riscaldato con un impianto centralizzato e ciascuna unità immobiliare ha un sistema di contabilizzazione individuale del tipo diretto.

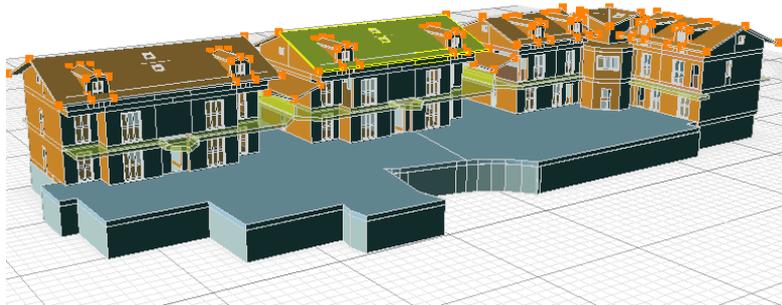


Figura 126: Ricostruzione 3D del condominio 1 con software di simulazione termica.

In riferimento allo studio precedentemente eseguito per il suddetto condominio illustrato nel Rapporto RdS/PTR2021/127 paragrafo 5.3.1, si riportano nelle seguenti tabelle i valori dell'indice di consumo a grado giorno $Q_{H,nd}/gg$ stimati in condizioni Asset Rating utilizzati per il calcolo del consumo atteso Q_{Th} giornaliero secondo l'equazione (2) e quindi per il calcolo dell'indice giornaliero IG secondo l'equazione (1).

Tabella 20: Condominio 1 – Scala A - Q_h/gg utilizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG

Unità immobiliare	Q_h/gg
A1	2,24
A2	1,82
A3	2,24
A4	1,34
A5	0,97
A6	1,66
A7	0,97
A8	1,34

Tabella 21: Condominio 1 – Scala B - Q_h/gg utilizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG

Unità immobiliare	Q_h/gg
B1	1,64
B2	1,64
B3	2,43
B4	2,43

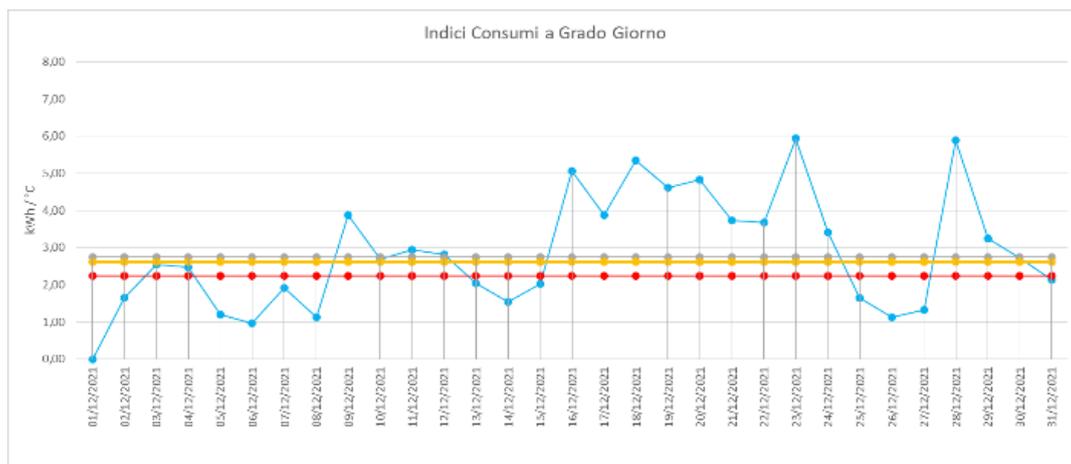
Tabella 22: Condominio 1 – Scala C - Q_h/gg utilizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG

Unità immobiliare	Q_h/gg
C1	1,64
C2	1,64
C3	2,43
C4	2,43

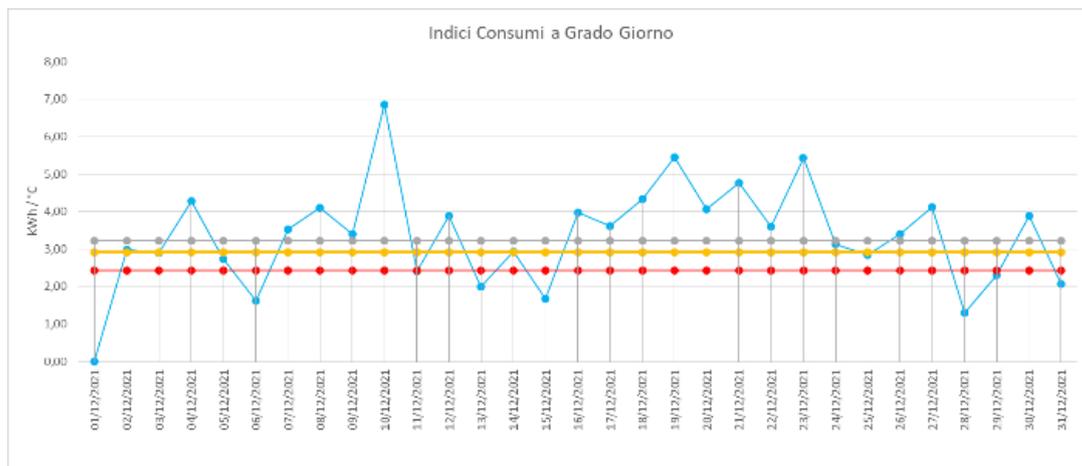
Analisi della metodologia implementata

Si riportano in Figura 127 e in Figura 128 l’andamento degli indici di consumo per alcuni delle unità immobiliari del condominio 1 valutati, come per il caso precedente, secondo le seguenti condizioni: i) consumo giornaliero effettivo misurato dai sistemi di contabilizzazione diretta dei singoli appartamenti destagionalizzato con gradi giorno misurati su base giornaliera, ii) consumo termico mensile rapportato ai gradi giorni mensili simulati in condizioni Asset Rating, iii) consumo termico annuo rapportato ai gradi giorno anno simulati in condizioni di Asset Rating, iv) Consumo termico mensile effettivo fornito a fine mese dalla piattaforma web, rapportato ai gradi giorno mensili misurati. Per gli indici riportati nei seguenti grafici si possono fare analoghe considerazioni a quanto già in precedenza evidenziato per il condominio 2.

In particolare si nota come l’indice di consumo simulato su base mensile in Asset Rating si avvicina al calcolo dell’indice in condizioni Tailored con i consumi mensili reali forniti dalla piattaforma web a fine mese.



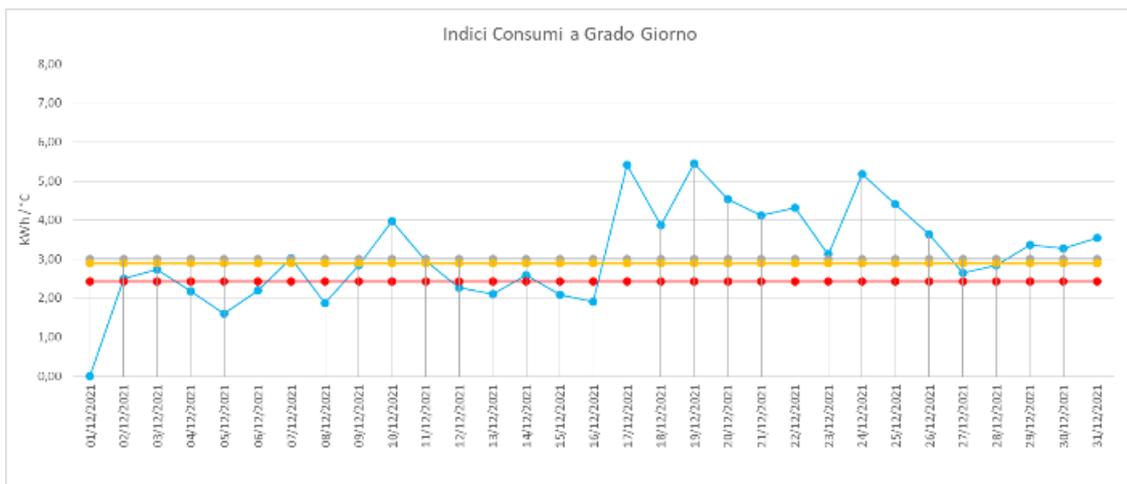
PALAZZINA A – A1 PIANO TERRA



PALAZZINA B – B3 PRIMO PIANO

- (4) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Medi Mensili rilevati a Consuntivo (da Rapporto Consumi e GG misurati Mese)
- (3) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Rilevati (da rapporto tra Consumi e GG Misurati Giornalmente)
- (2) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Mensili (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Mese)
- (1) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Annuali (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Anno)

Figura 127: Mese di Dicembre: indici consumi medi mensili effettivi e simulati – due interni della palazzina A e B



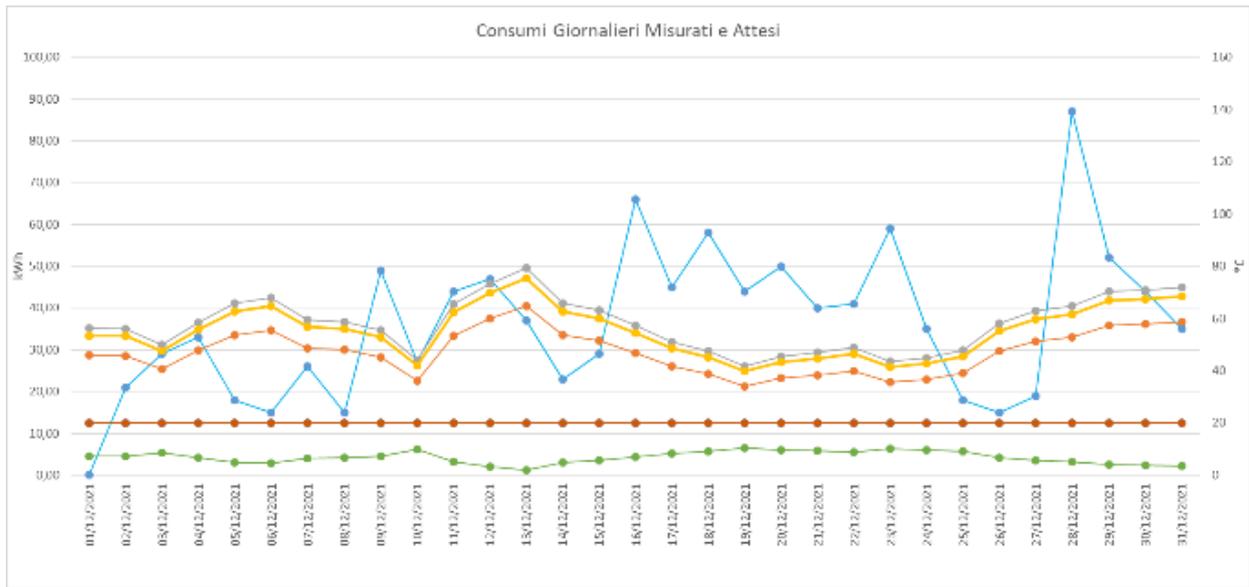
PALAZZINA C – C3 PRIMO PIANO

- (4) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Medi Mensili rilevati a Consuntivo (da Rapporto Consumi e GG misurati Mese)
- (3) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Rilevati (da rapporto tra Consumi e GG Misurati Giornalmente)
- (2) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Mensili (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Mese)
- (1) Indici di Consumi a Grado Giorno Giornalieri Attesi Medi Annuali (da Rapporto Fabbisogni e GG Asset Rating UNI TS 11300 Anno)

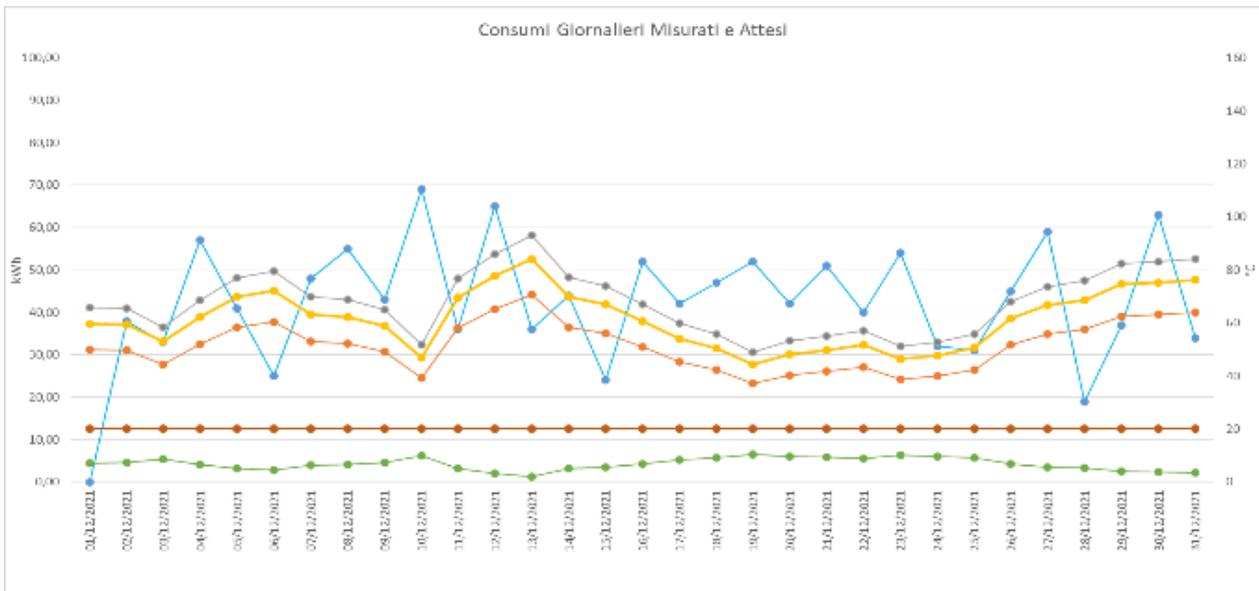
Figura 128: Mese di Dicembre: indici consumi medi mensili effettivi e simulati .

I consumi attesi stimati per le condizioni medie annuali e medie mensili di Asset Rating (rappresentati graficamente dalle serie (1, 2) di Figura 130 e Figura 130) vengono ottenuti dagli indici di consumo atteso medio annuale e mensile stimati per le condizioni di Asset Rating (serie (1, 2) di Figura 127 e Figura 128), moltiplicati per le differenze tra temperatura interna di 20°C e la temperatura media esterna rilevata giornalmente .

I consumi medi mensili per le condizioni tailored rilevate per l'annualità considerata (rappresentati graficamente dalle serie (4) di Figura 130 e Figura 130) vengono quindi ottenuti dagli indici di consumo a grado giorno medi mensili rilevati a consuntivo a fine mese, (rappresentati graficamente dalla serie (4) dei grafici di Figura 127 e Figura 128), moltiplicati per le differenze tra temperature interna ed esterna media rilevati giornalmente.



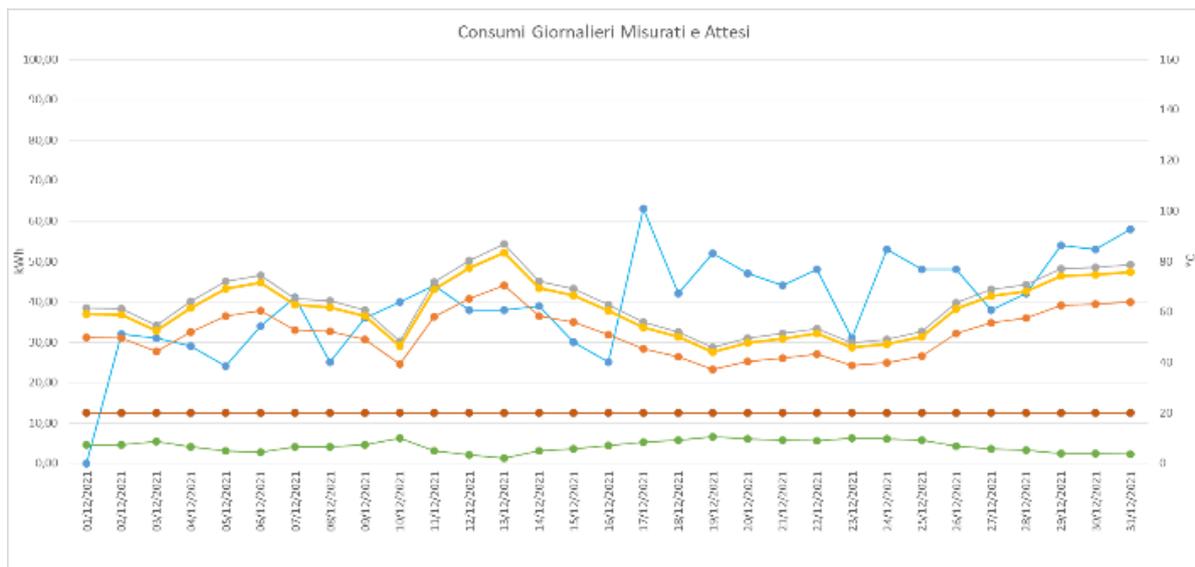
PALAZZINA A – A1 PIANO TERRA



PALAZZINA B – B3 PRIMO PIANO

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultanti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 129: Mese di Dicembre: andamenti consumi giornalieri effettivi e attesi (fabbisogni) e temperature interne ed esterna Appartamenti palazzina A e palazzina B



PALAZZINA C – C3 PRIMO PIANO

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultatnti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 130: Mese di Dicembre: andamenti consumi giornalieri effettivi e attesi (fabbisogni) e temperature interne ed esterna appartamento palazzna C

Rispetto ai consumi misurati giornalmente (rappresentati graficamente dalle serie (3) di Figura 130 e Figura 130), i consumi medi rappresentati dalle serie 1, 2 e 4 risultano caratterizzati da un andamento analogo a quello dei gradi giorno.

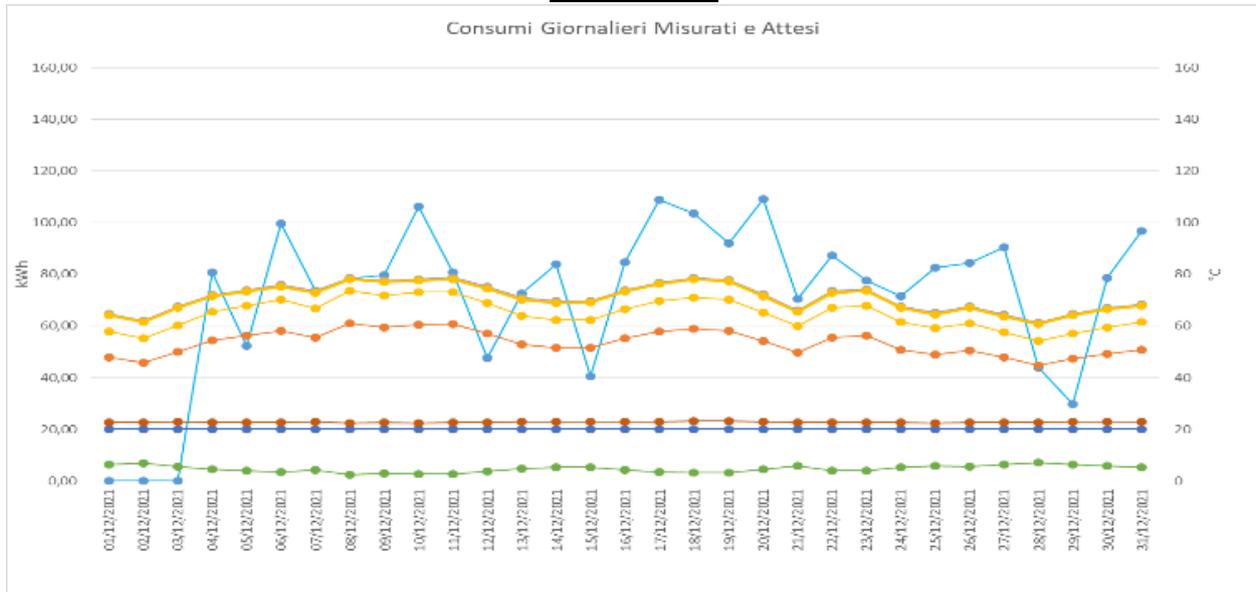
I grafici di Figura 130 e Figura 130 cofermano come la stima del consumo atteso giornaliero con l'indice di consumo medio mensile secondo Asset Rating (serie 2) sia prossimo alla valutazione effettuata con i dati misurati a fine mese dalla piattaforma (serie 4) come già osservato per la precedente analisi del condominio 2.

Per migliorare la stima dei consumi attesi di ciascuna unità immobiliare verrà intergrato nella scheda anagrafica d'utente della piattaforma web l'indice di consumo Qh/gg calcolato per ogni mese della stagione di riscaldamento.

4.4 Sviluppi della Metodologia di stima dei consumi

Di seguito si riporta una sintesi dei consumi giornalieri effettivi e attesi (fabbisogni) valutati con le metodologie descritte nei precedenti paragrafi.

Condominio 2

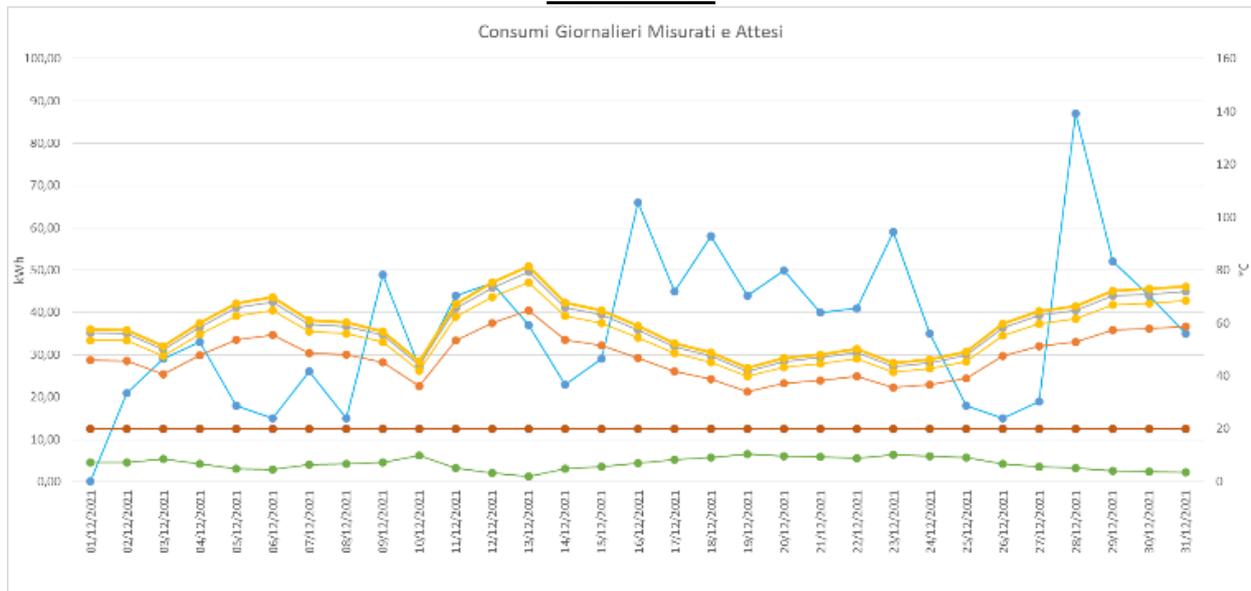


PIANO RIALZATO

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultatnti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultantii da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (2a) Consumi Attesi Giornalieri Tailored UNI TS 11300
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 131: Mese di Dicembre: andamenti consumi giornalieri effettivi e attesi (fabbisogni) e temperature interne ed esterna Condominio 2.

Condominio 1



PALAZZINA A – A1 PIANO TERRA

- (4) Consumi Giornalieri Medi rilevati a consuntivo risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Misurati Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (3) Consumi Giornalieri risultanti da Ripartizione Letture Contatore di Centrale
- (2) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Mensili e GG Giornalieri Misurati
- (1) Consumi Attesi Giornalieri risultanti da Indici Consumi a Grado Giorno Attesi Asset Rating UNI TS 11300 Medi Annuali e GG Giornalieri Misurati
- (2a) Consumi Attesi Giornalieri Tailored UNI TS 11300
- (a) Temperatura Asset Rating UNI TS 11300
- (c) Temperatura Interna Rilevata da Sonde
- (b) Temperatura Esterna Rilevata da Sonde

Figura 132: Mese di Dicembre: andamenti consumi giornalieri effettivi e attesi (fabbisogni) e temperature interne ed esterna Condominio 1.

Una fase successiva di sviluppo di metodologie più accurate nella stima dei consumi attesi basate sulla diagnosi energetica.

Per fornire informazioni più dettagliate sui singoli contributi dai quali dipendono le differenze tra consumi misurati Q_{real} e attesi Q_H , in alternativa o ad integrazione della metodologia basata sull'uso destagionalizzato degli indici di consumo, possono essere adottate metodologie di diagnosi energetica più dettagliate e pertanto più complesse basate su calcoli di bilancio energetico (equazioni **(3)** e **4**) eseguite giornalmente sulla base dei dati rilevati.

Il metodo basato sul bilancio energetico dettagliato basato in condizione Tailored potrebbe consentire la stima delle componenti dei consumi termici per indicare all'utente quale è la causa dello scostamento dei propri consumi rispetto al consumo ideale di benchmark e quanto lo stesso dipenda dalle azioni dello stesso utente.

Ad esempio si porta in Figura 133 l'andamento della portata del ricambio d'aria naturale giornaliero per il piano rialzato del Condominio 2 per valutare se l'elevato carico termico rispetto al benchmark di riferimento dipenda da una apertura eccessiva delle finestre (in assenza di rilevatori di CO₂ nell'aria).

Il valore dei ricambi d'aria non essendo noto a priori è stato ottenuto dagli scostamenti tra il consumo giornaliero misurato e il consumo giornaliero atteso valutato in condizioni Tailored UNI TS 11300 (serie 3 e

2a di Figura 132), decurtato dal guadagno solare, dagli apporti interni ed eventuali scambi termici in presenza di differenze di temperatura con gli appartamenti confinanti.

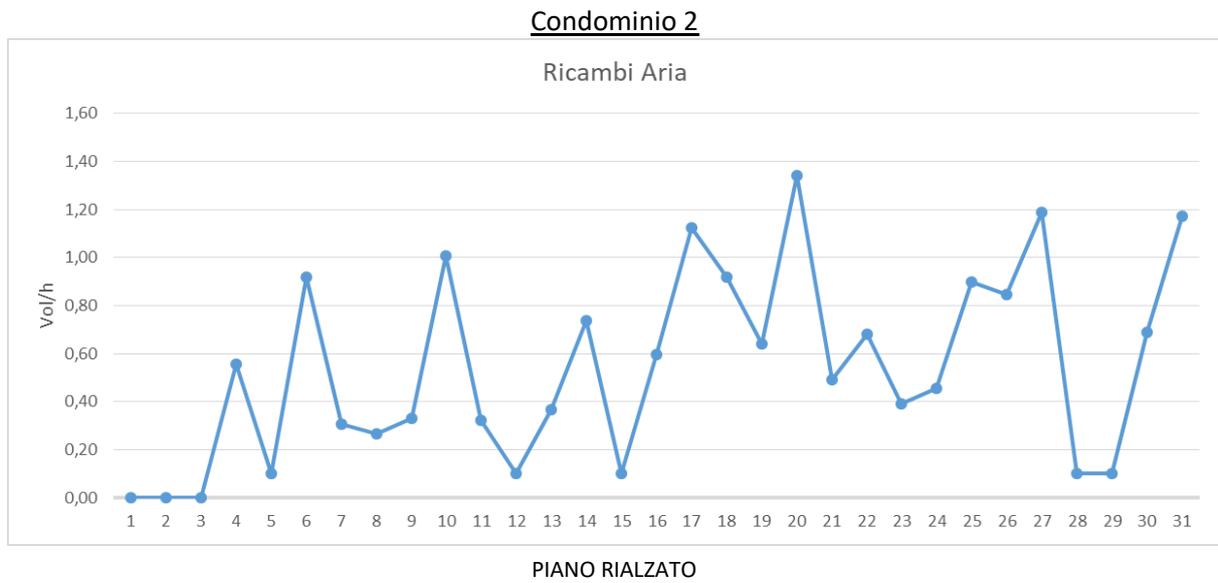


Figura 133: Mese di Dicembre Ventilazione naturale; Ricambi aria. Condominio 2 – Piano rialzato

5 Descrizione della prima versione del foglio di calcolo dello Smart Readiness Indicator adattato all'analisi di mercato nazionale delle tecnologie intelligenti

5.1 Introduzione

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi di mercato condotta nella precedente linea di attività (Report RdS/PTR2021/127), è stata condotta una prima elaborazione del foglio di calcolo dello Smart Readiness Indicator per il contesto nazionale, con l'obiettivo di applicare la metodologia di calcolo prevista dal Regolamento Delegato Europeo [9] utilizzando il catalogo dei servizi tecnici adattato allo stato dell'arte delle soluzioni tecnologiche.

In particolare, come di seguito descritto, il foglio di calcolo è stato elaborato sulla base della struttura del catalogo completo proposto dallo studio tecnico europeo (<https://smartreadinessindicator.eu/>) costituito da 54 servizi intelligenti distribuiti in 9 domini tecnici (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica controllata, illuminazione, involucro dinamico, generazione elettrica, ricarica di veicoli elettrici, monitoraggio e controllo). Il catalogo ad ogni servizio tecnico associa fino a quattro livelli funzionali; al livello funzionale zero corrisponde un funzionamento base non automatico, al livello massimo corrisponde una funzionalità del servizio con la più alta intelligenza prevista.

Si riporta in Figura 134 e in Figura 135 un esempio estratto del catalogo completo proposto dallo studio tecnico relativo ad un servizio del Dominio riscaldamento.

Come riportato nell'esempio seguente a ciascuno dei livelli funzionali del servizio è pre-associato un punteggio per ognuno dei sette criteri di impatto (risparmio energetico, manutenzione e fault detection, comfort, convenienza, informazione agli occupanti, salute e benessere, flessibilità della domanda energetica). Per i servizi o i livelli funzionali che non hanno alcuna correlazione con il criterio d'impatto, viene associato un punteggio zero.

La Commissione Europea ha predisposto una piattaforma on line per informare e aggiornare gli stakeholder sulle evoluzioni dello SRI e supportare gli stati membri nell'avvio delle fasi di testing [10]

domain heating								
code	service	Service group: Heat control - demand side						
Functionality levels		IMPACTS						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Well-being and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	No automatic control	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Central automatic control (e.g. central thermostat)	+	0	+	+	0	0	0
level 2	Individual room control (e.g. thermostatic valves, or electronic controller)	++	0	++	++	0	0	0
level 3	Individual room control with communication between controllers and to BACS (e.g. scheduler, room temperature setpoint)	++	0	++	+++	0	+	0
level 4	Individual room control with communication and presence control	+++	0	++	+++	0	+	0
Information sources								
Standard?		EN 15232						

code	service	Service group: Heat control - demand side						
Functionality levels		IMPACTS						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Well-being and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	No automatic control	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Central automatic control	+	0	+	+	0	0	0
level 2	Advanced central automatic control	+	0	+	++	0	0	0
level 3	Advanced central automatic control with intermittent operation and/or room temperature feedback control	++	0	++	+++	0	+	+

Figura 134: Esempio servizi del Dominio Riscaldamento – punteggi associati a ciascun livello funzionale secondo sette criteri d’impatto – (dal catalogo competo: smartreadinessindicator.eu).

domain lighting								
code	service	Service group: Artificial lighting control						
Functionality levels		IMPACTS						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Well-being and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	Manual on/off switch	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal	+	0	+	+	0	0	0
level 2	Automatic detection (auto on / dimmed or auto off)	++	0	++	++	0	0	0
level 3	Automatic detection (manual on / dimmed or auto off)	++	0	++	++	0	0	0
level 4	?							
Information sources								
Standard?		EN 15232						

code	service	Service group: Artificial lighting control						
Functionality levels		IMPACTS						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Well-being and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	Manual on/off	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Programmed control	+	0	0	+	0	0	0
level 2	Automated or mobile triggered detection	+	0	0	++	0	0	0

Figura 135: Esempio servizi Dominio Illuminazione – punteggi associati a ciascun livello funzionale secondo sette criteri d’impatto (dal catalogo competo: smartreadinessindicator.eu).

Il nuovo foglio di calcolo, implementato in questa annualità, si basa sullo strumento reso disponibile durante il Technical Study Europeo per il primo beta testing (smartreadinessindicator.eu) e utilizza la struttura del

catalogo sopra descritta alla quale sono state apportate le modifiche dei livelli funzionali di alcuni servizi secondo i primi risultati dell'indagine di mercato descritta nel report ENEA RdS/PTR2021/127.

In particolare la struttura del software proposto per il calcolo dello SRI è costituito da tre moduli principali:

- Edificio di riferimento: è costituito da catalogo dei servizi tecnici di riferimento con i livelli funzionali modificati a seguito dell'indagine di mercato. Rappresenta l'edificio ideale con i massimi punteggi ottenibili per tutti i servizi tecnici oggetto di valutazione; l'edificio di riferimento è utilizzato per il calcolo dello SRI espresso in valore percentuale rispetto al valore massimo ottenibile.
- Modulo checklist: utilizzato dal tecnico asseveratore per associare i livelli funzionali ai servizi tecnici presenti nell'edificio; il modulo calcola automaticamente il punteggio raggiunto da ciascun servizio secondo i sette criteri d'impatto in funzione della scelta fatta dal tecnico.
- Modulo calcolo SRI: elaborando i punteggi ottenuti dai servizi in funzione dei livelli funzionali scelti, il modulo calcola l'SRI per ciascuno dei sette criteri d'impatto e lo SRI complessivo secondo la modalità prevista dal Regolamento Delegato.

Si riporta di seguito la descrizione dettagliata dei singoli moduli.

5.2 Descrizione modulo edificio di riferimento

Il modulo "edificio di riferimento" riproduce il catalogo dei servizi elaborato a seguito dell'indagine di mercato e rappresenta l'edificio costituito dai livelli funzionali caratterizzati dal punteggio massimo a cui deve essere riferito il calcolo dello Smart Readiness Indicator dell'edificio reale oggetto di valutazione.

L'edificio di riferimento è univocamente definito e non è possibile modificarlo durante il processo di calcolo. La struttura del modulo prevede 9 pagine, ciascuna corrispondente ad un dominio tecnico e svolge le seguenti funzioni:

- individua il pacchetto di servizi da valutare per una determinata categoria di edifici; nel caso di servizi definiti "non applicabili" vengono azzerati i punteggi associati a tutti i livelli funzionali (predisposizione implementata nel foglio di calcolo da applicare a seguito di uno studio specifico);
- azzerà il punteggio dei livelli funzionali che non hanno trovato una rispondenza nella analisi di mercato;
- calcola in ogni Dominio il punteggio massimo associato a ciascun criterio di impatto (somma dei punteggi corrispondenti ai livelli funzionali massimi); questo valore viene utilizzato a denominatore nella formula per il calcolo dell'SRI d'impatto.

Le informazioni inserite nelle 9 pagine dell'edificio di riferimento non possono essere modificate nella fase di applicazione e utilizzo del foglio di calcolo da parte del tecnico asseveratore.

In questa fase dello studio sono stati modificati i livelli funzionali in funzione della prima analisi di mercato, nei successivi sviluppi potrebbe essere opportuno definire più edifici di riferimento per diverse categorie di edifici (residenziale, uffici, centri direzionali, ecc...) o per diversa epoca costruttiva.

Nelle seguenti figure si riporta un estratto dell'edificio di riferimento contenente alcuni servizi del Dominio Riscaldamento, Illuminazione e Acqua Calda Sanitaria. Nell'esempio di Figura 136, si può osservare come nella colonna "Edificio di riferimento" vengano selezionati i livelli funzionali esclusi dall'indagine di mercato (valore zero) e come in corrispondenza ad ogni servizio vengono calcolati i punteggi massimi (riga "max") corrispondenti ai sette criteri d'impatto.

code		service		IMPACTS						
code		service		IMPACTS						
code		service		IMPACTS						
Heating-3	Report information regarding HEATING system performance			Service group: formation to occupants and facility manage						
Functionality levels		Edificio di riferimento		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Health & wellbeing	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	None	1		0	0	0	0	0	0	0
level 1	Central or remote reporting of current performance KPIs (e.g. temperatures, submetering energy usage)	1		1	0	0	0	0	1	1
level 2	Central or remote reporting of current performance KPIs and historical data	1		1	0	0	0	0	1	2
level 3	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	1		1	0	0	0	0	1	3
level 4	Central or remote reporting of performance evaluation including forecasting and/or benchmarking; also including predictive management and fault detection	1		1	0	0	1	0	3	3
max				1	0	0	1	0	3	3
Information sources Standard?										
Heating-4	Flexibility and grid interaction			Service group: Flexibility and grid interaction						
Functionality levels		Edificio di riferimento		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Health & wellbeing	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	No automatic control	1		0	0	0	0	0	0	0
level 1	Scheduled operation of heating system	1		1	0	1	1	0	0	0
level 2	Self-learning optimal control of heating system	1		2	1	2	2	0	0	0
level 3	Heating system capable of flexible control through grid signals (e.g. DSM)	0		0	0	0	0	0	0	0
level 4	Optimized control of heating system based on local predictions and grid signals (e.g. through model predictive control)	0		0	0	0	0	0	0	0
max				2	1	2	2	0	0	0

Figura 136: Individuazione dei livelli funzionali presenti nell'edificio di riferimento – calcolo del punteggio massimo di riferimento (max) associato a ogni criterio d'impatto – esempio Dominio Riscaldamento.

domain lighting

code		service		IMPACTS						
code		service		IMPACTS						
code		service		IMPACTS						
Lighting-1a	Occupancy control for indoor lighting			Service group: Artificial lighting control						
Functionality levels		Edificio di riferimento		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	Manual on/off switch	1		0	0	0	0	0	0	0
level 1	Manual on/off switch + additional sweeping extinction signal	1		1	0	1	1	0	0	0
level 2	Automatic detection (auto on / dimmed or auto off)	1		2	0	2	2	0	0	0
level 3	Automatic detection (manual on / dimmed or auto off)	1		3	0	2	2	0	0	0
Information sources										
max				3	0	2	2	0	0	0
Lighting-2	Control artificial lighting power based on daylight levels			Service group: ol artificial lighting power based on daylight						
Functionality levels		Edificio di riferimento		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	Manual (central)	1		0	0	0	0	0	0	0
level 1	Manual (per room / zone)	1		1	0	1	1	0	0	0
level 2	Automatic switching	1		2	0	1	1	1	0	0
level 3	Automatic dimming	1		3	0	2	2	2	0	0
level 4	Scene-based light control (during time intervals, dynamic and adapted lighting scenes are set, for example, in terms of illuminance level, different correlated colour temperature (CCT) and the possibility to change the light distribution within the space according to e.g. design, human needs, visual tasks)	1		3	0	3	3	3	0	0
max				3	0	3	3	3	0	0

Figura 137: Individuazione dei livelli funzionali presenti nell'edificio di riferimento – calcolo del punteggio massimo di riferimento (max) associato a ogni criterio d'impatto – esempio Dominio Illuminazione.

domain domestic hot water									
code	service		Service group: Control DHW production facilities						
Functionality levels		Edificio di riferimento	IMPACTS						
			Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
DHW-1a	Control of DHW storage charging [with direct electric heating or integrated electric heat pump]								
level 0	Automatic control on / off	1	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Automatic control on / off and scheduled charging enable	1	1	1	0	1	0	0	0
level 2	Automatic control on / off and scheduled charging enable and multi-sensor storage management	1	2	2	0	2	0	0	0
level 3	Automatic charging control based on local availability of renewables or information from electricity grid (DR, DSM)	1	2	3	0	2	0	0	0
max			2	3	0	2	0	0	0
code	service		Service group: Control DHW production facilities						
Functionality levels		Edificio di riferimento	IMPACTS						
			Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
DHW-1b	Control of DHW storage charging (using hot water generation)								
level 0	Automatic control on / off	1	0	0	0	0	0	0	0
level 1	Automatic control on / off and scheduled charging enable	1	1	1	0	1	0	0	0
level 2	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	1	2	2	0	2	0	0	0
level 3	DHW production system capable of automatic charging control based on external signals (e.g. from district heating grid)	0	0	0	0	0	0	0	0
max			2	2	0	2	0	0	0

Figura 138: Individuazione dei livelli funzionali presenti nell’edificio di riferimento – calcolo del punteggio massimo di riferimento (max) associato a ogni criterio d’impatto – esempio Dominio Acqua calda Sanitaria.

In particolare, come riportato nell’esempio di Figura 136, per il servizio “flexibility and grid interaction” del Dominio Acqua Calda Sanitaria sono stati esclusi dall’edificio di riferimento i livelli 3 e 4 in quanto, a seguito dell’analisi di mercato, non sarebbero attualmente applicabili.

L’esclusione dei livelli funzionali più alti comporta una riduzione del punteggio massimo di riferimento (max) rispetto al catalogo completo e un conseguente impatto positivo per il calcolo dello SRI degli edifici, infatti gli stessi sarebbero penalizzati dalla impossibilità di adottare eventuali tecnologie ancora non presenti nel mercato nazionale.

Nel modulo “Edificio di riferimento” per ogni Domino viene calcolato, come nell’esempio di Figura 139, il massimo punteggio corrispondente ad ogni criterio d’impatto dato dalla somma dei punteggi massimi associati a ciascuno dei servizi (somma dei valori “max”). Il punteggio massimo viene utilizzato come riferimento per il calcolo dello SRI dell’edificio reale.

Heating	IMPACTS						
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
max score	20	4	11	10	4	5	4

Figura 139: Calcolo del punteggio massimo (max score) corrispondente ad ogni criterio d’impatto del dominio Riscaldamento dell’edificio di riferimento.

5.3 Descrizione modulo checklist utilizzato per la selezione dei servizi tecnici e dei livelli funzionali dell’edificio da valutare

La seconda parte del foglio di calcolo è utilizzata per la valutazione dei servizi smart ready presenti nell’immobile; con una procedura di tipo checklist vengono selezionati i livelli funzionali associati ai servizi tecnici presenti nel catalogo scegliendo il livello che più si avvicina alla funzione reale del servizio. Non risultano selezionabili i servizi e i livelli funzionali esclusi dall’edificio di riferimento.

Si riportano di seguito, dalla Figura 140 alla Figura 142, alcuni esempi della sezione dedicata alla scelta dei livelli funzionali per qualche servizio del Dominio Riscaldamento, ventilazione Meccanica e Fonti Rinnovabili elettriche. In particolare si può osservare che:

- in corrispondenza di ogni servizio vengono determinati i punteggi associati al livello funzionale selezionato dal tecnico e i relativi punteggi massimi raggiungibili (letti dal modulo “Edificio di riferimento”)

- è possibile escludere alcuni servizi dal calcolo se questi non sono presenti nell’edificio e non sono obbligatori; imponendo il valore “0” nella cella in giallo, il servizio tecnico viene automaticamente escluso dal calcolo e dall’edificio di riferimento per evitare che possa influenzare il punteggio max.

Nell’esempio riportato in Figura 140, è stato escluso il servizio “Emission control for TABS” (Thermally Active Building System) in quanto il sistema di emissione dell’edificio valutato è realizzato con radiatori e non sono presenti pavimenti radianti e pareti attive previste per i TABS . Il sistema non è obbligatorio e quindi escludibile dal calcolo e dall’edificio di riferimento. Per i servizi non presenti ma obbligatori (es. per normativa) non è possibile escluderli dal calcolo e dall’edificio di riferimento. Uno studio ad hoc valuterà per ogni tipologia di edifici quali servizi inserire come obbligatori e non escludibili se non presenti.

service		Service group: Heat control - demand side							
Heat emission control		Service group: Heat control - demand side							
functionality levels	scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS							
	1	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	wellbeing and wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	
No automatic control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Central automatic control (e.g. central thermostat)	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Individual room control (e.g. thermostatic valves, or electronic controller)	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Individual room control with communication between controllers and to BACS	1	2	0	2	3	2	1	0	
Individual room control with communication and occupancy detection	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
max		3	0	2	3	2	1	0	
score		2	0	2	3	2	1	0	

service		Service group: Heat control - demand side							
Emission control for TABS (heating mode)		Service group: Heat control - demand side							
functionality levels	scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS							
	0	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	wellbeing and wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	
No automatic control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Central automatic control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Advanced central automatic control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
Advanced central automatic control with intermittent operation and/or room temperature feedback control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
max		0	0	0	0	0	0	0	
score		0	0	0	0	0	0	0	

Figura 140: Modulo per la selezione dei livelli funzionali associati ai servizi tecnici – esempio servizi del Dominio Riscaldamento.

domain		mechanical ventilation							
code		service							
Ventilation-1a		Supply air flow control at the room level							
Service group:		Air flow control							
Functionality levels	scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS							
	1	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	wellbeing and wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	
level 0	No ventilation system or no automatic control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 1	Time control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 2	Occupancy detection control	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 3	Demand control based on air quality sensors (CO2, VOC,PH...))	1	2	0	3	3	3	0	
level 4	Local Demand Control based on air quality sensors (CO2, VOC,...) with local flow from/to the zone regulated by dampers	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
max		3	0	3	3	3	0	0	
score		2	0	3	3	3	0	0	

code		service							
Ventilation-1c		Air flow or pressure control at the air handler level							
Service group:		Air flow control							
Functionality levels	scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS							
	1	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	wellbeing and wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	
level 0	No automatic control: Continuously supplies of air flow for a maximum load of all rooms	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 1	On off time control: Continuously supplies of air flow for a maximum load of all rooms during nominal occupancy time	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 2	Multi-stage control: To reduce the auxiliary energy demand of the fan	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 3	Automatic flow or pressure control without pressure reset: Load dependent supplies of air flow for the demand of all connected rooms	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	
level 4	Automatic flow or pressure control with pressure reset: Load dependent supplies of air flow for the demand of all connected rooms (for variable air volume systems with	1	3	0	0	0	0	0	
max		3	0	0	0	0	0	0	
score		3	0	0	0	0	0	0	

Figura 141: Modulo per la selezione dei livelli funzionali associati ai servizi tecnici – esempio servizi del Dominio Ventilazione meccanica.

domain Electricity									
Functionality levels		scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS						
			Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	None	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 1	On site storage of electricity (e.g. electric battery)	1	0	1	0	2	0	0	0
level 2	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller based on grid signals	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 3	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller optimising the use of locally generated electricity	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 4	On site storage of energy (e.g. electric battery or thermal storage) with controller optimising the use of locally generated electricity and possibility to feed back into the grid	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
max			0	3	0	2	0	0	0
score			0	1	0	2	0	0	0
code	service		01						
electricity-4	Optimizing self-consumption of locally generated electricity		Service group: DER- Optimization						
Functionality levels		scelta funzionalità [0=non scelto, 1 scelto]	IMPACTS						
			Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
level 0	None	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 1	Scheduling electricity consumption (plug loads, white goods, etc.)	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 2	Automated management of local electricity consumption based on current renewable energy availability	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 3	Automated management of local electricity consumption based on current and predicted energy needs and renewable energy availability	0	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO	FALSO
level 4		0							
max			0	0	0	0	0	0	0
score			0	0	0	0	0	0	0

Figura 142: Modulo per la selezione dei livelli funzionali associati ai servizi tecnici – esempio servizi del Dominio Electricity (fonti rinnovabili elettriche).

In ciascuno dei 9 fogli dei Domini tecnici viene calcolato l’SRI di Dominio come indicato nell’esempio di Figura 143. In particolare per ogni criterio di impatto vengono calcolati in modo automatico i due valori:

- “max”: punteggi massimi letti dall’edificio di riferimento (Figura 139);
- “score”: somma dei punteggi associati ai livelli funzionali scelti per ciascuno dei servizi presenti nell’edificio.

Come indicato nell’esempio di Figura 143, lo SRI di Dominio è dato dal rapporto espresso in percentuale tra la somma dei punteggi “score” e la somma dei “max”

Heating	IMPACTS							TOTALE
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants	
max score	12	2	5	5	2	4	3	33
score	10	2	5	4	2	2	2	27
SRI DOMINIO HEATING								82%

Figura 143: Calcolo dello SRI per il dominio "Heating".

5.4 Modulo calcolo SRI - del calcolo dello Smart Readiness Indicator e rappresentazione grafica dei risultati

In un foglio denominato “calcolo SRI” sono espressi sia in forma grafica che numerica i risultati totali relativi allo SRI calcolato per Criterio d’impatto e ala SRI complessivo.

Il calcolo dello SRI di impatto viene determinato secondo gli step di seguito indicati:

- 1) in tabella “Impact score” vengono riportati i punteggi ottenuti da ciascun dominio in corrispondenza dei sette criteri d’impatto - esempio di Figura 144
- 2) In tabella “Impact max” vengono riportati i massimi punteggi letti dal modulo “edificio di riferimento” - esempio di Figura 144;

		IMPACTS SCORES						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Domains	HEATING	10,00	2,00	5,00	4,00	2,00	2,00	2,00
	DHW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cooling	11,00	2,00	5,00	4,00	2,00	1,00	1,00
	Ventilation	6,00	3,00	6,00	5,00	3,00	1,00	1,00
	Lighting	5,00	0,00	5,00	5,00	3,00	0,00	0,00
	DE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	ELECTRICITY	1,00	1,00	0,00	2,00	0,00	1,00	1,00
	EV	0,00	1,00	0,00	3,00	0,00	0,00	4,00
	MC	4,00	1,00	3,00	6,00	2,00	4,00	20,00
		IMPACTS MAX						
		Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Domains	HEATING	12	2	5	5	2	4	3
	DHW	3	3	0	3	0	2	3
	Cooling	15	2	5	5	2	4	3
	Ventilation	9	0	6	5	7	2	3
	Lighting	6	0	5	5	3	0	0
	DE	0	0	0	0	0	0	0
	ELECTRICITY	1	3	0	3	0	2	3
	EV	0	1	0	5	0	0	6
	MC	4	1	3	9	4	8	29

Figura 144: Punteggi associati ai singoli domini per l'edificio analizzato e punteggi massimi letti dall'edificio di riferimento.

3) I punteggi di Figura 144 vengono moltiplicati per i fattori di peso previsti dal Regolamento Delegato come riportati in Figura 145. I fattori di peso possono essere stabiliti dallo Stato Membro; in questa fase, nel foglio di calcolo sono stati utilizzati i fattori di peso per l'area geografica del Sud Europa presenti nel catalogo completo proposto dallo Studio Tecnico Europeo.

Dall'utilizzo dei fattori di peso si ottengono i punteggi di Figura 146

southern europe	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Health & Wellbeing	Maintenance & fault prediction	Information to occupants
Heating system	0,32	0,38	0,16	0,1	0,2	0,33	0,11
Domestic Hot Water	0,10	0,12	0,00	0,1	0	0,10	0,11
Cooling system	0,07	0,08	0,16	0,1	0,2	0,07	0,11
Controlled ventilation	0,09	0,00	0,16	0,1	0,20	0,10	0,11
Lighting	0,03	0,00	0,16	0,1	0,00	0,00	0,00
Electricity: renewables & storage	0,15	0,17	0,00	0,1	0,00	0,15	0,11
Dynamic Envelope	0,05	0	0,16	0,1	0,20	0,05	0,11
Electric Vehicle Charging	0	0,05	0	0,1	0	0	0,11
Monitoring & Control	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Figura 145: Fattori di peso per calcolo dello SRI per ciascuno dei criteri d'impatto.

IMPACTS SCORES con pesi							
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Heating system	3,17	0,75	0,80	0,40	0,40	0,66	0,23
Domestic Hot Water	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cooling system	0,76	0,16	0,80	0,40	0,40	0,07	0,11
Controlled ventilation	0,55	0,00	0,96	0,50	0,60	0,10	0,11
Lighting	0,13	0,00	0,80	0,50	0,00	0,00	0,00
Electricity: renewables & storage	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dynamic Envelope	0,05	0,00	0,00	0,20	0,00	0,05	0,11
Electric Vehicle Charging	0,00	0,05	0,00	0,30	0,00	0,00	0,46
Monitoring & Control	0,80	0,20	0,60	1,20	0,40	0,80	4,00
IMPACTS MAX con pesi							
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	Maintenance & fault prediction	Information to occupants
Heating system	3,80	0,75	0,80	0,50	0,40	1,31	0,34
Domestic Hot Water	0,30	0,36	0,00	0,30	0,00	0,21	0,34
Cooling system	1,03	0,16	0,80	0,50	0,40	0,29	0,34
Controlled ventilation	0,83	0,00	0,96	0,50	1,40	0,19	0,34
Lighting	0,16	0,00	0,80	0,50	0,00	0,00	0,00
Electricity: renewables & storage	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dynamic Envelope	0,05	0,00	0,00	0,30	0,00	0,10	0,34
Electric Vehicle Charging	0,00	0,05	0,00	0,50	0,00	0,00	0,69
Monitoring & Control	0,80	0,20	0,60	1,80	0,80	1,60	5,80

Figura 146: Valori dei "max" e degli "scores" che tengono conto dei fattori di peso.

4) In tabella di Figura 147, sono riportati la somma dei punteggi Impact Scores e la somma dei punteggi Impacts Max di Figura 146 ottenuti dall'applicazione dei fattori di peso. Lo SRI per singolo Criterio di Impatto viene calcolato, come riportato in Figura 147, come rapporto tra il punteggio "Score" e il punteggio "Max"

	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	Maintenance & fault prediction	Information to occupants
Score (somma)	5,46	1,17	3,96	3,50	1,80	1,67	5,03
Max (somma)	6,97	1,52	3,96	4,90	3,00	3,70	8,20
SRI per impact criteria	78%	77%	100%	71%	60%	45%	61%

Figura 147: Calcolo SRI per i sette criteri d'impatto.

5) Nella tabella di Figura 148 viene calcolato lo SRI complessivo dell'edificio come media pesata dei valori dello SRI dei sette criteri d'impatto. Il foglio di calcolo riporta lo stesso valore dei pesi associati ai singoli criteri d'impatto proposti dallo studio tecnico europeo. Gli stessi a seguito di una analisi più approfondita potrebbero essere adattati al contesto nazionale

	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	Maintenance & fault prediction	Information to occupants
SRI per impact criteria	78%	77%	100%	71%	60%	45%	61%
IMPACT WEIGHTINGS	0,17	0,33	0,08	0,08	0,08	0,17	0,08
SRI per impact criteria*weightings	13%	26%	8%	6%	5%	8%	5%
Total SRI	71%						

Figura 148: Calcolo dell'SRI totale.

Il foglio di calcolo riporta in forma grafica lo SRI di Dominio e lo SRI di Criterio di Impatto come riportato di seguito.

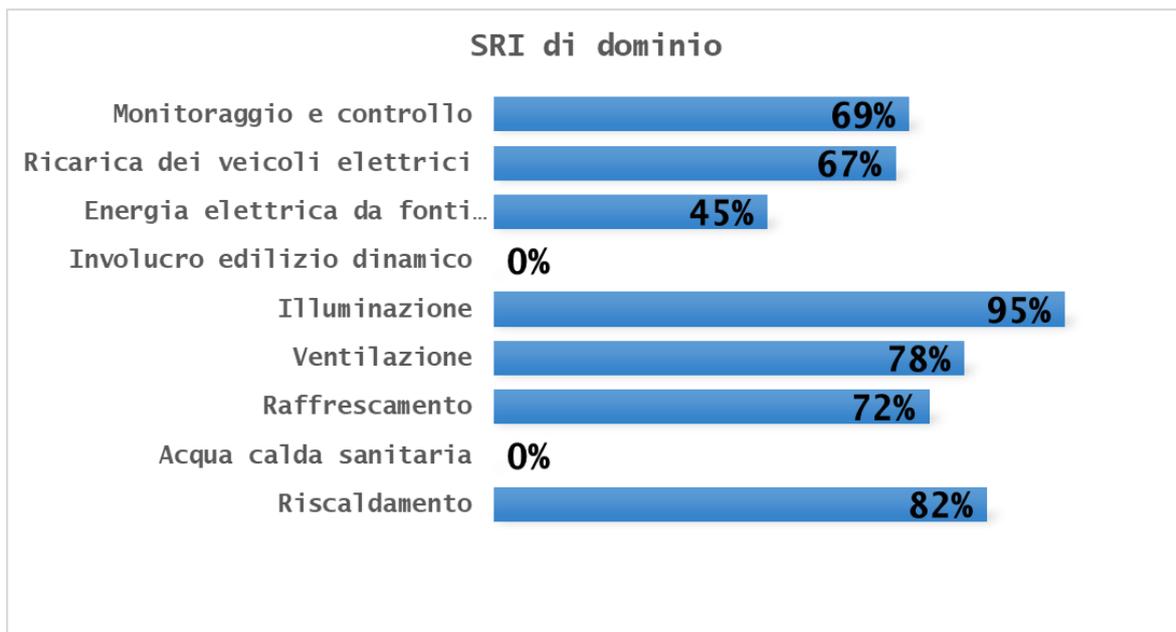


Figura 149: SRI di Dominio.

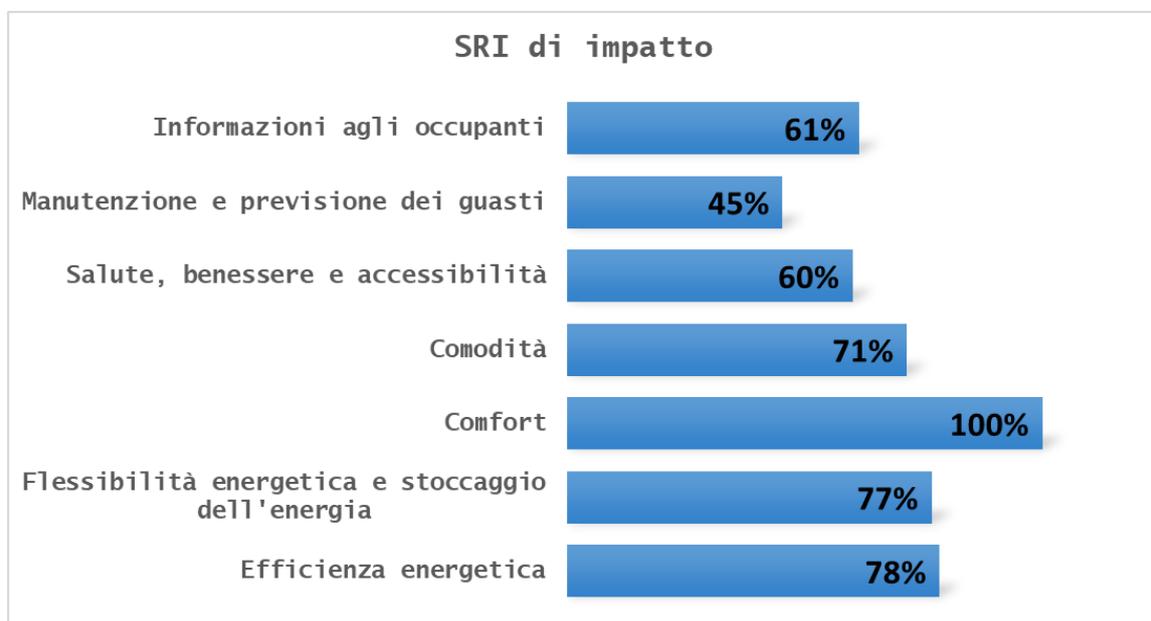


Figura 150: SRI di Impatto.

6 Analisi dei possibili scenari di miglioramento dello SRI di un edificio uffici reale

6.1 Individuazione del caso studio

In questo capitolo si presentano i risultati dell'analisi tecnico economica condotta per valutare quale possono essere gli interventi di retrofit necessari e i relativi costi da sostenere per migliorare l'indicatore SRI di un edificio uffici che presenta soluzioni impiantistiche tradizionali e diffuse sul territorio nazionale.

L'obiettivo dello studio, di seguito riportato, è stato quello di analizzare due diversi scenari migliorativi del livello di smartness (media intelligenza e alta intelligenza) di un edificio uffici rappresentativo del parco edilizio nazionale, ipotizzando interventi concreti e fattibili sia dal punto di vista tecnologico sia commerciale; per tale motivo per la valutazione degli interventi e delle soluzioni associate a ciascuna delle due proposte, ci si è avvalsi dell'esperienza di aziende leader del settore sia per gli aspetti impiantistici sia per le informazioni di tipo commerciale.

Per il caso studio è stato individuato un edificio reale pluripiano ad uso uffici costruito negli anni 90' sito nel comune di Roma avente una superficie di circa 600 m² per piano.

Al fine di rendere il lavoro il più generale possibile, nel *triage* iniziale sono stati esclusi dal calcolo dello SRI i domini relativi a DHW e alla ricarica elettrica dei veicoli, non essendo impianti obbligatori o strettamente necessari alla effettiva destinazione d'uso.

La climatizzazione estiva ed invernale dell'edificio è realizzata con un sistema a pompa di calore e distribuzione termoidraulica con ventilconvettori d'ambiente. La ventilazione è di tipo meccanico tramite UTA. La struttura edilizia presenta, in ogni piano un sistema di finestre continuo e all'interno degli ambienti sono presenti schermature solari di tipo manuale. L'impianto d'illuminazione, di tipo *standard*, è realizzato con tubi fluorescenti e interruttori *on/off* di tipo manuale. Soltanto nei bagni l'accensione delle lampade avviene tramite rilevatori di presenza.

Secondo le caratteristiche sopra riportate lo stato attuale può ritenersi rappresentativo dell'attuale situazione del parco uffici italiano.

Per valutare la tipologia degli interventi ed elaborare un computo metrico necessario all'analisi dei costi, sono state acquisite ed analizzate le planimetrie dell'edificio oggetto di intervento di retrofit.

L'edificio uso ufficio è costituito da tre livelli fuori terra, come si può osservare dalla planimetria del piano tipo di Figura 151 presenta due corpi di fabbrica principali lunghi circa 30 m ciascuno per una superficie utile complessiva di ciascun piano di circa 600 mq. In ogni piano sono presenti 27 uffici e una sala riunione oltre servizi e corridoi.

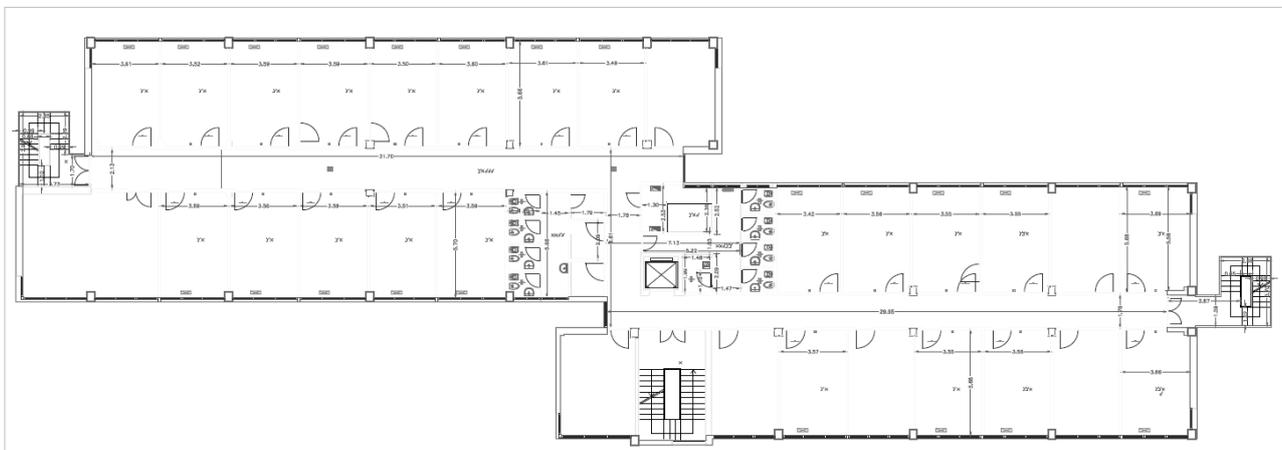


Figura 151: Planimetria piano tipo edificio oggetto di intervento di retrofit per miglioramento livello SRI.

Si riportano di seguito le soluzioni impiantistiche corrispondenti ai due diversi scenari di intervento, a medio e alto livello, per migliorare il livello di intelligenza. Per il calcolo dello SRI è stato utilizzato il foglio di calcolo reso disponibile dallo secondo studio tecnico europeo tramite il sito <https://smartreadinessindicator.eu/>.

6.1.1 Scenario base - stato attuale

Per la valutazione dello SRI corrispondente allo stato attuale dell'edificio, è stato applicato il foglio di calcolo con il catalogo dei servizi completo con i 54 servizi tecnici distribuiti nei 9 domini tecnici e con 7 criteri di impatto.

In Figura 152 si riporta il risultato del calcolo dello SRI in relazione all'attuale configurazione del complesso edificio - impianti. Oltre al valore dello SRI totale, pari a 16%, i grafici mostrano gli indicatori parziali per i singoli criteri d'impatto sono compresi tra zero e 25 %.

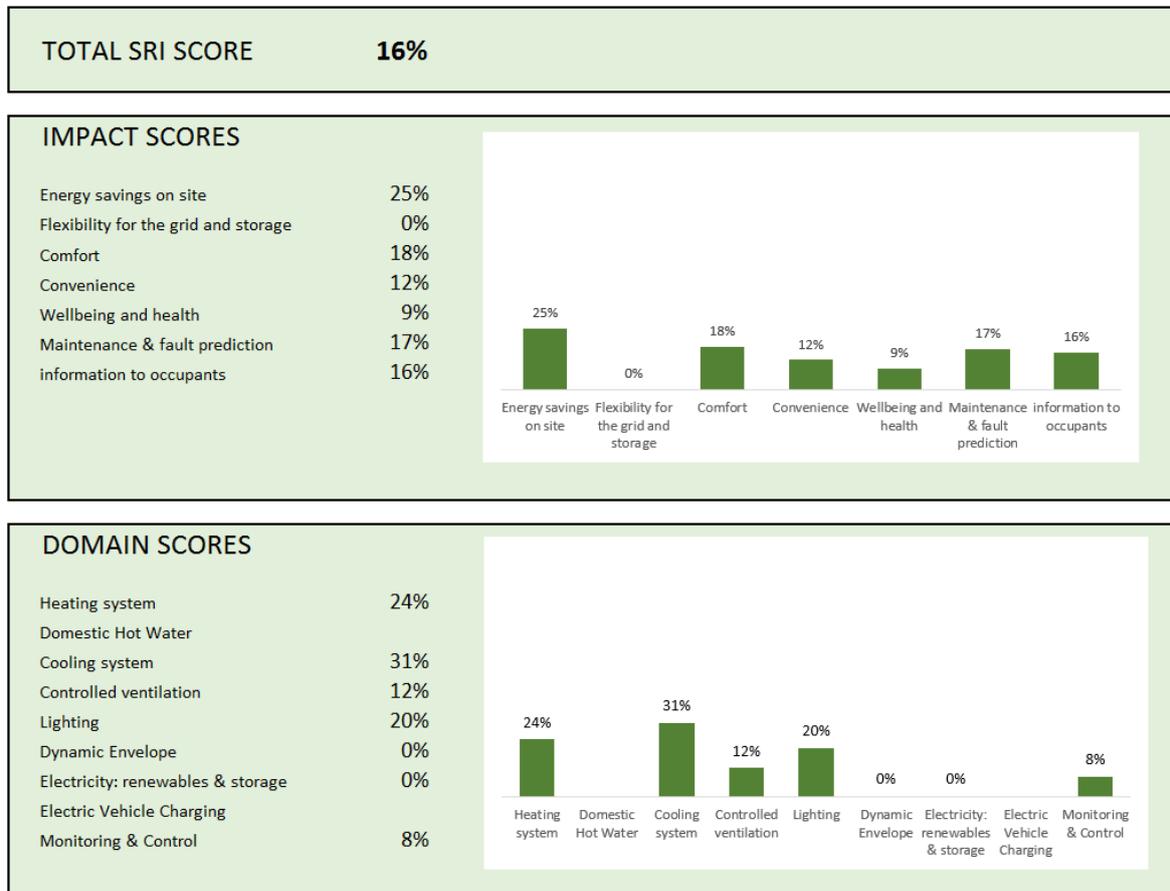


Figura 152: Sintesi risultati calcolo SRI per edificio uffici – stato attuale.

Nei successivi paragrafi vengono valutati i due scenari di intervento impiantistico che comportano un miglioramento dello SRI e la relativa analisi tecnico economica.

6.1.2 Scenario 1 - ipotesi di media intelligenza

In questa sezione vengono ripotati le soluzioni corrispondenti agli interventi di retrofit corrispondenti al primo dei due scenari ipotizzati che prevede il raggiungimento di un livello di media intelligenza.

Tra le gli interventi ipotizzati per il primo scenario sono stati valutate le soluzioni che comportano una più efficiente gestione dei domini riguardanti il condizionamento invernale ed estivo.

In particolare la soluzione prevede un controllo del sistema di distribuzione attraverso la modulazione, a stadi, della portata di fluido termovettore e la modulazione della temperatura di mandata con la lettura di una sonda di temperatura esterna (curva climatica) da installare all'esterno dell'edificio.

L'intervento sull'UTA prevede un controllo della portata di ventilazione tramite i sensori di CO₂ e di presenza. Il sistema prevede l'attivazione, negli ambienti, di un ricircolo dell'aria e la possibilità di effettuare *nightcooling* per pre-raffrescare gli ambienti durante la notte, in modo da ridurre le ore di attivazione dell'impianto di climatizzazione durante le ore di utilizzo dell'edificio.

Per la gestione dell'impianto di illuminazione è stato ipotizzato un nuovo sistema di controllo di tipo *auto on/dimmed/auto off* integrato con sensori di presenza e con sensori di luminosità per regolare il *daylighting in funzione della luce naturale* e per accendere e spegnere le luci automaticamente.

Riguardo al dominio "*Dynamic Envelope*", la proposta è stata quella di implementare una motorizzazione delle schermature, mantenendone tuttavia un controllo manuale.

Non sono stati previsti interventi migliorativi del grado di integrazione attivo con la rete elettrica.

Con gli interventi sopra descritto l'edificio raggiunge un valore di SRI pari al 49%. Nello *screenshot* dei risultati, si nota inoltre un significativo innalzamento dei livelli SRI parziali di impatto relativi al risparmio energetico, al monitoraggio e controllo e del benessere.

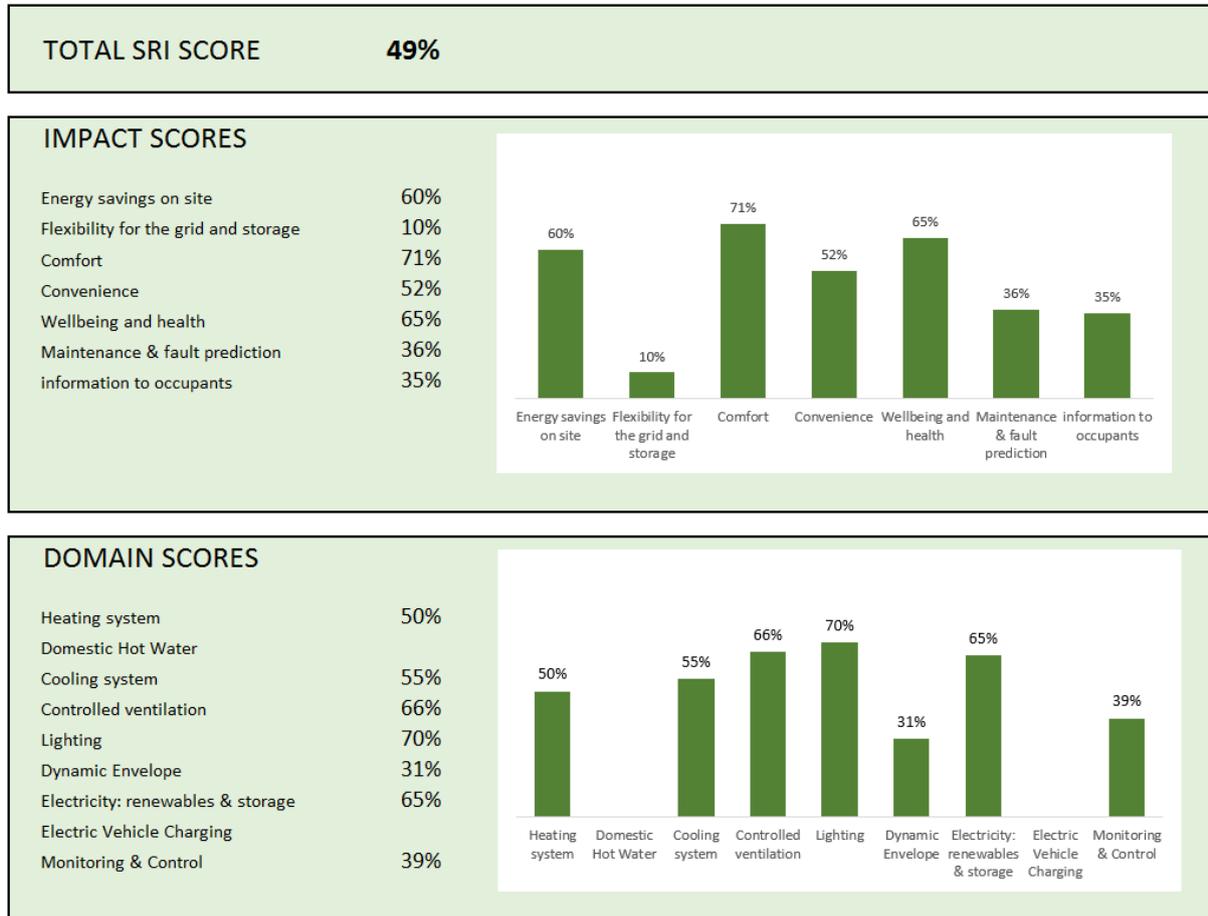


Figura 153: Sintesi risultati calcolo SRI per edificio uffici – scenario “media intelligenza”.

Grazie al supporto di operatori del settore alle soluzioni tecniche è stato associata anche una valutazione economica dei costi di fornitura e installazione dei materiali, a prezzi di listino.

Per gli interventi sopra descritti è stato calcolato un costo di circa 20.000 euro a piano, per un totale, quindi, di circa 55.000 euro per l'intero edificio.

Inoltre è stato valutato un costo di 5.000 euro per la progettazione e ingegnerizzazione degli interventi.

6.1.3 Scenario 2 - ipotesi di alta intelligenza

Nello scenario ad alta efficienza sono stati individuati le soluzioni commerciali presenti nello stato dell'arte delle tecnologie intelligenti che consentono di raggiungere i livelli funzionali massimi da ciascun servizio tecnico per raggiungere un punteggio per lo SRI prossimo a 100%.

In particolare per lo scenario “alta intelligenza” sono state ipotizzate i seguenti interventi integrativi alla precedente scenario;

- controllo del sistema di distribuzione del condizionamento invernale ed estivo eseguito con sensori di presenza in ogni ambiente e in ogni corridoio.

In particolare le pompe che regolano la portata del fluido termovettore nel circuito di emissione e distribuzione vengono controllate automaticamente con velocità modulabile in funzione delle stime di carico. Queste stime vengono effettuate da un termostato intelligente in grado di apprendere le abitudini degli occupanti, in funzione delle quali il sistema di controllo regola la temperatura di mandata.

- funzione accumulo: il sistema di controllo decide se accumulare l'energia termica prodotta dalla pompa di calore in funzione della previsione del costo dell'energia elettrica o la disponibilità di energia rinnovabile nelle successive ore.

- la funzione di preriscaldamento e pre condizionamento si basano sulla previsione di utilizzo degli ambienti durante i giorni della settimana.

- la nuova gestione dell'UTA viene effettuata con l'installazione di sensori di qualità dell'aria con i quali il controllo regola, in modo variabile, la pressione del flusso d'aria e il rapporto tra aria in ingresso ed aria "esausta".

Viene effettuato una modulazione o *bypass* del recupero di calore grazie alla presenza di sensori multipli di temperatura in ogni ambiente.

- per la gestione dell'involucro dinamico, oltre alla regolazione automatica delle schermature solari in funzione delle previsioni meteo, è presente una motorizzazione delle finestre che ne permette l'apertura automatica per favorire il *night/freecooling*. Inoltre è prevista l'installazione di sensori di rilevamento apertura o chiusura degli infissi per interrompere la climatizzazione ambiente.

- Per la gestione dell'impianto di illuminazione l'attivazione delle lampade è effettuata con sensori di presenza, mentre il *daylighting* è gestito tramite sensori di luminosità; in particolare quest'ultimo viene effettuato in base alle esigenze dell'utente, attivando scenari prefissati o impostabili tramite touchscreen d'ambiente, a seconda dell'uso generale o particolare dell'ufficio.

- per il dominio monitoraggio e controllo, per tutti i domini tecnici presenti viene eseguito un *data logging* avanzato; quest'ultimo rende possibile elaborare *benchmark* dei valori di consumo e funzionamento misurati confrontandoli con i valori nominali. Il confronto consente di attuare una previsione dei guasti ed effettuare una manutenzione di tipo predittivo, per esempio, dei filtri dell'aria.

Le informazioni ottenute dai monitoraggi sono disponibili agli occupanti grazie ad interfacce grafiche di tipo *touch*.

Applicando gli interventi sopra elencati si riescono a raggiungere per quasi tutti i servizi i massimi livelli funzionali di intelligenza, ottenendo un valore dello SRI complessivo pari al 93%.

Anche i valori dello SRI di impatto raggiungono valori molto elevati, in particolare si ha un importante innalzamento dello score relativo al criterio di impatto "flessibilità di rete" che, come previsto dalla metodologia di calcolo, da sola pesa per il 33% sul valore finale dello SRI, giustificando l'importante incremento dello stesso rispetto allo scenario precedente.

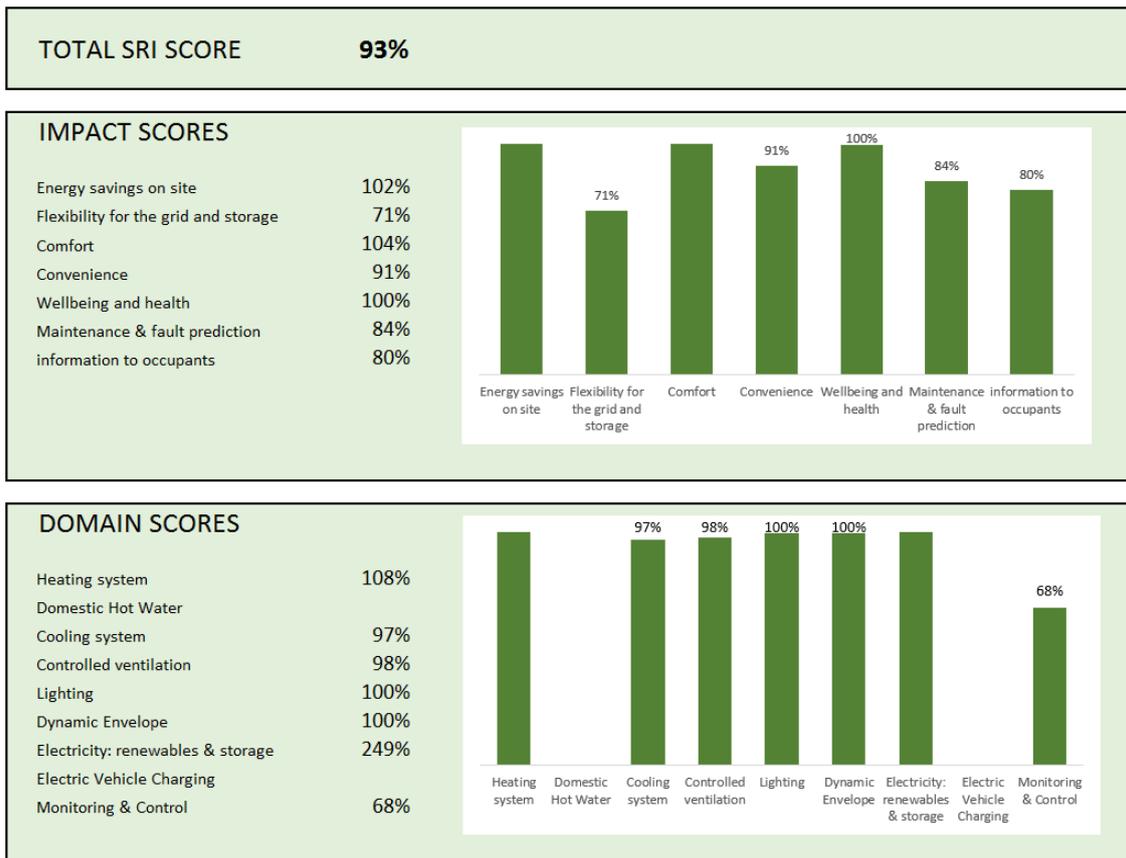


Figura 154: Sintesi risultati calcolo SRI per edificio uffici – scenario “alta intelligenza”.

Dal punto di vista dell’investimento finanziario, per gli interventi sopra descritti è stato stimato un costo pari a circa 45.000 euro a piano, per un totale di quasi 135.000 euro per l’intero edificio. Al costo totale deve essere sommata una spesa, per la progettazione e l’ingegnerizzazione del sistema pari a circa 15.000 euro.

6.1.4 Sintesi analisi costi/benefici dei due scenari di intervento migliorativo dello SRI

Dall’analisi tecnico-economica riportata nei precedenti paragrafi, possono essere stimati in prima approssimazione degli indicatori economici necessari a valutare un costo di intervento associato al miglioramento del livello di SRI dell’edificio.

In particolare nel caso dell’edificio uffici valutato nei precedenti paragrafi, per il passaggio da un livello SRI base, pari al 16%, ad un valore di SRI intermedio, pari a 49%, è stato valutato un costo specifico compreso tra 30 e 35€/m².

Nella seconda ipotesi di intervento, corrispondente ad un miglioramento dell’SRI dal valore base ad un livello prossimo alla massima intelligenza (SRI=93%) è stato stimato un costo specifico compreso tra 80 e 90 euro/m².

7 Conclusioni

Nel presente rapporto tecnico sono descritti gli studi svolti e riportati i risultati ottenuti nell'ambito del Piano Triennale dell'accordo di Programma ENEA – MiSE sulla Ricerca del Sistema Elettrico relativamente alla Linea di Attività (LA) 3.3 del Progetto di Ricerca 1.5 “Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti”.

Le attività descritte sono state svolte proseguendo gli studi avviati nella annualità precedente (LA 3.2) e si sono focalizzati principalmente su tre sessioni : i) connessione del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. a una sezione dell'edificio uffici F83 del Centro Ricerche ENEA Casaccia e relative prove sperimentali in condizione di funzionamento reale con i componenti impiantistici installati e le logiche di controllo implementate nella LA 3.2; ii) analisi della piattaforma web implementata nella LA 3.2 per l'incremento della consapevolezza dei consumi termici nei condomini dotati di impianti termici centralizzati e sistemi di contabilizzazione individuale del calore; iii) proposta di un foglio di calcolo per lo Smart Readiness Indicator (SRI) adattata al contesto nazionale.

Nel corso della linea di attività, oggetto di questo rapporto, la sezione termica del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. è stato posto a servizio di un'utenza reale, una porzione dell'edificio F83, adibito ad uffici, ubicato a pochi metri dallo stesso impianto. In particolare, è stata realizzata la connessione, progettata nella LA 3.2, tra il sistema di accumuli termici di S.A.P.I.EN.T.E. e una colonna montante dell'edificio che alimenta nove ventilconvettori. Sono state svolte prove sperimentali per verificare la capacità di S.A.P.I.EN.T.E. di fornire la potenza termica richiesta dall'edificio ufficio in più modalità e assetti d'impianto:

- sistema ibrido con nuovo impianto fotovoltaico da 11,4 kWp e pompa di calore gestita da controllo interno in modalità inseguimento termico impostando un set point di temperatura
- sistema ibrido con nuovo impianto fotovoltaico da 11,4 kWp e pompa di calore gestita dal sistema di controllo di S.A.P.I.EN.T.E. in modalità “power to heat” modulando con regolatore PID il numero di giri del compressore per inseguire in modo continuo la potenza elettrica prodotta dal fotovoltaico.

Dalle prove sperimentali emerge una ottima capacità del sistema ibrido S.A.P.I.EN.T.E. di fornire la potenza termica alla colonna montante dell'edificio F83; inoltre è stato possibile valutare come l'entità del carico termico dell'edificio sia coincidente con il carico simulato nella precedente linea di attività per individuare la sezione dell'edificio da connettere a S.A.P.I.EN.T.E.

Elaborando i risultati delle prove effettuate con l'edificio uffici F83 si ottengono valori elevati di autoconsumo pari a circa 76%, e autosufficienza pari a circa 84%, grazie al profilo di carico dell'edificio coincidente con le ore di maggiore produzione del fotovoltaico.

In una successiva prova con la stessa configurazione d'impianto è stato applicato il sistema di controllo power to heat per far inseguire alla pompa di calore il profilo di potenza del nuovo impianto fotovoltaico; dall'elaborazione dei risultati di osserva sia la capacità della pompa di calore di mantenere una temperatura dell'accumulo superiore a 35°C sia un incremento del coefficiente di autosufficienza energetica dall'84% al 95%; mentre rimane invariato il coefficiente di autoconsumo in quanto il profilo di carico termico dell'edificio uffici favorisce un elevato valore anche in assenza del controllo ottimizzato della pompa di calore.

Per valutare le performance del sistema S.A.P.I.EN.T.E. a servizio di utenze diverse dalla tipologia ufficio, con il Web server è stato controllato il dry cooler dell'impianto sperimentale per generar profilo di carico termico di tipo residenziale corrispondente ad un piccolo condominio caratterizzato da una maggiore richiesta di potenza nelle ore di non produzione del fotovoltaico.

La prima sessione sperimentale con il profilo di carico residenziale è stato condotto nella prova 4 nel quale la pompa di calore è stata controllata in modalità inseguimento termico. Dai risultati della prova si osserva un corretto funzionamento del sistema mantenendo l'accumulo termico in temperatura ma con coefficienti di autosufficienza e di autoconsumo più bassi rispetto alle precedenti prove, rispettivamente pari a 31% e 57%. Per valutare le soluzioni per incrementare i coefficienti energetici nel caso di un profilo di carico termico tipo residenziale sono state condotte sessione di prove sperimentali con le seguenti integrazioni: i) applicazione del controllo power to heat alla pompa di calore per inseguire la produzione elettrica del fotovoltaico modulando il numero di giri del compressore, ii) applicazione di un profilo di carico elettrico dell'edificio (piccolo condominio) emulato con Webserver per far inseguire alla pompa di calore la potenza prodotta dal fotovoltaico al netto della potenza totale assorbita dall'edificio, iii) applicazione della curva di carico elettrico

del piccolo condominio ottimizzata con logiche del tipo Demand Response in modo da spostare i carichi programmabili degli utenti nelle ore di maggiore produzione del campo fotovoltaico.

I migliori risultati si sono ottenuti integrando il controllo power to heat e l'ottimizzazione del profilo di carico elettrico del condominio con logiche DR; in questo caso infatti applicando il profilo di carico termico residenziale il coefficiente di autoconsumo sale fino al 77%, mentre l'autosufficienza energetica dell'edificio raggiunge un valore del 41%. I migliori risultati sono garantiti da una potenza disponibile da FV minore avendo spostato i carichi elettrici programmabili nelle ore di produzione; una potenza disponibile minore comporta una maggiore parzializzazione della pompa di calore e un maggiore durata del funzionamento in modalità power to heat prima che l'accumulo termico raggiunga la temperatura massima impostata.

E' stata condotta una sessione di prove per verificare la possibilità di migliorare i coefficienti energetici attivando le resistenze ausiliarie installate nei tre accumuli termici quando gli stessi accumuli raggiungono la massima temperatura di funzionamento della pompa di calore. Dalla prime prove sperimentali, condotte in assenza di carico termico, si osserva un corretto funzionamento del sistema; infatti attivando le tre resistenze da 4,5 kW ciascuna, si continua ad accumulare energia termica inseguendo a scalini la curva di produzione del fotovoltaico dal momento in cui si interrompe il funzionamento ad inseguimento della pompa di calore. Dall'analisi risultati ottenuti il coefficiente di autoconsumo passa dal 26% (caso senza inserzione delle resistenze ausiliarie) all'82%; mentre il coefficiente di autosufficienza energetica del sistema pompa di calore-resistenze ausiliarie raggiunge un valore pari al 92%. Ulteriori analisi saranno condotte per valutare l'efficacia della soluzione con resistenze ausiliarie applicando diversi profili di carico termico al fine di stimare oltre alla convenienza energetica anche la convenienza economica.

Nei capitolo 3 del documento è riportato lo studio e i primi risultati dell'analisi sulla potenziale diffusione regionale e nazionale di modelli di micro comunità energetiche condominiali realizzati con sistemi ibridi di tipo S.A.P.I.EN.T.E. Lo studio è stato condotto utilizzando i risultati di simulazione dei diversi scenari di gestione della configurazione Autoconsumo Collettivo (AUC) condominiale descritti nel Report ENEA (RdS/PTR2021/127) relativo alla linea di attività LA 3.2. In particolare dai dati ISTAT è stato valutato per ogni regione il numero di condomini dotati di impianti termici centralizzati e quindi potenzialmente dotati anche di sistemi di contabilizzazione individuale del calore. L'analisi è stata effettuata per cinque categorie di condomini distinte per numero di appartamenti, per ciascuna delle quali è stata valutata su base statistica la superficie disponibile in copertura utile a dimensionare la taglia dell'impianto fotovoltaico installabile dal quale è stato possibile ricavare la produzione elettrica annua per ciascuna regione. Per lo studio sono stati applicati i coefficienti di autoconsumo fisico (energia da fotovoltaico consumata dalla pompa di calore centralizzata) e autoconsumo virtuale (energia da fotovoltaico condivisa virtualmente dagli utenti della configurazione AUC condominiale) ottenuti per le diverse zone d'Italia dalle simulazioni condotte nella linea di attività 3.2 (RdS/PTR2021/127) corrispondenti allo scenario che precede l'applicazione delle logiche di controllo della pompa di calore ad inseguimento fotovoltaico (power to heat) e l'ottimizzazione del profilo di carico elettrico condominiale con logiche Demand Response. Dai risultati dello studio si ottiene in particolare per la regione Lombardia (regione con maggiore numero di condomini dotati di impianto termico centralizzato) una potenziale energia autoconsumata fisicamente fino a 2300 GWh/anno e una potenziale energia virtualmente condivisa dal totale degli utenti delle configurazioni AUC condominiale fino a 2200 GWh/anno. L'elevata energia autoconsumata da fotovoltaico e l'elevata energia condivisa corrisponde ad un importante valorizzazione economica, nel primo caso dovuto al risparmio in bolletta elettrica per i consumi della pompa di calore condominiale, nel secondo caso attraverso gli incentivi previsti per l'energia condivisa dagli utenti della configurazione dell'Autoconsumo Collettivo condominiale.

Nel capitolo 4 sono stati elaborati i risultati ottenuti dall'applicazione della piattaforma web per il monitoraggio dei consumi termici resa accessibile agli utenti di tre condomini del centro e del nord Italia caratterizzati da impianto termico centralizzato e sistema di contabilizzazione individuale del calore. La piattaforma, tramite la visualizzazione giornaliera di indici di benchmark semplificati, fornisce agli utenti dei condomini le informazioni sulla qualità dei propri consumi termici in modo che possano valutare in tempo utile le azioni per ottenere un risparmio energetico.

In particolare è stato analizzato l'andamento degli indici, della temperatura media e della qualità dell'aria (concentrazione di CO₂) monitorati dalla piattaforma durante l'ultima stagione di riscaldamento. La suddetta

analisi è stata condotta al fine di verificare la validità degli indici energetici semplificati e l'eventuale impatto sul comportamento energetico e sulla gestione degli impianti dovuti ad una maggiore consapevolezza degli utenti sulla qualità dei propri consumi termici e sulle condizioni di comfort ambientale.

Dall'analisi degli indici e dei valori giornalieri misurati si osserva come per alcuni appartamenti i consumi misurati sono sempre superiori ai consumi attesi; in alcuni casi è stato verificato come la causa sia da ricercare nell'elevata temperatura impostata nei singoli termostati di zona e come la stessa potrebbe essere ridotta pur mantenendo le condizioni di comfort grazie alla posizione energeticamente vantaggiosa dell'appartamento.

In altri casi (appartamento posto all'ultimo piano) è stato osservato che pur essendo impostata nei termostati di zona una temperatura alta rispetto a 20°C, l'appartamento riesce a mantenere i consumi giornalieri vicini a quelli attesi a discapito della qualità dell'aria; infatti sembra che nell'appartamento sia limitato al minimo il ricambio d'aria con l'esterno in quanto presenta valori di concentrazione media di CO₂ superiori rispetto agli altri appartamenti e comunque elevati (prossimi a 1000 ppm).

Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi di mercato condotta nella precedente linea di attività (Report RdS/PTR2021/127), nel capitolo 5 è stata condotta una prima elaborazione del foglio di calcolo dello Smart Readiness Indicator ottimizzato per il contesto nazionale, con l'obiettivo di applicare la metodologia di calcolo prevista dal Regolamento Delegato Europeo utilizzando il catalogo dei servizi tecnici adattato allo stato dell'arte delle soluzioni tecnologiche.

In particolare il foglio di calcolo è stato elaborato sulla base della struttura del catalogo completo proposto dallo studio tecnico europeo (<https://smartreadinessindicator.eu/>) costituito da 54 servizi intelligenti distribuiti in 9 domini tecnici (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica controllata, illuminazione, involucro dinamico, generazione elettrica, ricarica di veicoli elettrici, monitoraggio e controllo).

Nell'ultimo capitolo si presentano i risultati dell'analisi tecnico economica condotta per valutare quale possono essere gli interventi necessari e i relativi costi da sostenere per migliorare l'indicatore SRI di un edificio uffici reale che presenta soluzioni impiantistiche tradizionali diffuse sul territorio nazionale.

L'obiettivo dello studio, di seguito riportato, è stato quello di analizzare due diversi scenari migliorativi del livello di smartness (media intelligenza e alta intelligenza) di un edificio uffici rappresentativo del parco edilizio nazionale, ipotizzando interventi concreti e fattibili sia dal punto di vista tecnologico sia commerciale. Per il caso studio è stato individuato un edificio pluripiano ad uso uffici costruito negli anni 90' sito nel comune di Roma avente una superficie di circa 600 m² per piano.

In particolare per il caso studio valutato, è stato stimato per il passaggio da un livello SRI base, pari al 16%, ad un valore di SRI intermedio, pari a 49%, un costo specifico compreso tra 30 e 35€/m².

Nella seconda ipotesi di intervento, corrispondente ad un miglioramento dell'SRI dal valore base ad un livello prossimo alla massima intelligenza (SRI=93%) è stato stimato un costo specifico compreso tra 80 e 90 euro/m².

8 Riferimenti Bibliografici

[1] Decreto-legge del 30/12/2019 n. 162: Disposizioni urgenti in materia di proroga di termini legislativi, di organizzazione delle pubbliche amministrazioni, nonché di innovazione tecnologica (decreto Milleproroghe 2020). Art. 42 bis: Autoconsumo da fonti rinnovabili – pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 305 del 31/12/2019

[2] Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n. 199: Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. (21G00214)

[3] ISTAT, Censimento Popolazione Abitazioni, 2011 - Available: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it>.

[4] PVGIS - https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[5] LEGGE 30 marzo 1976, n. 373 Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. (GU Serie Generale n.148 del 07-06-1976)

[6] Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 - Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo n. 192 del 2005, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia (G.U. 1 febbraio 2007, n. 26)

[7] DECRETO 16 settembre 2020 - Individuazione della tariffa incentivante per la remunerazione degli impianti a fonti rinnovabili inseriti nelle configurazioni sperimentali di autoconsumo collettivo e comunità energetiche rinnovabili, in attuazione dell'articolo 42-bis, comma 9, del decreto-legge n. 162/2019, convertito dalla legge n. 8/2020. (20A06224) (GU Serie Generale n.285 del 16-11-2020)

[8] Delibera ARERA 04 agosto 2020 318/2020/R/eel - Regolazione delle partite economiche relative all'energia elettrica condivisa da un gruppo di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente in edifici e condomini oppure condivisa in una comunità di energia rinnovabile

[9] REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2020/2155 DELLA COMMISSIONE del 14 ottobre 2020 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio istituendo un sistema comune facoltativo dell'Unione europea per valutare la predisposizione degli edifici all'intelligenza

[10] SRI Platform - https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_en