

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

CORSO DI DOTTORATO IN METODI, MODELLI E TECNOLOGIE PER L'INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E MECCANICA



Valutazione dello Smart Readiness Indicator (SRI) per categorie di edifici appartenenti al parco edilizio nazionale ed impatto dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente sui consumi energetici degli edifici residenziali

Marianna De Monaco

marianna.demonaco@unicas.it

In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
PHILOSOPHIAE DOCTOR in
Civil and Mechanical Engineering

TUTOR

Magnifico Rettore Prof. Marco Dell'Isola

Prof. Giorgio Ficco

Ing. Biagio Di Pietra

COORDINATOR

Prof. Fabrizio Marignetti

Dottorato di Ricerca congiunto con ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,

l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



XXXVI Cycle

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CASSINO E DEL LAZIO MERIDIONALE

CORSO DI DOTTORATO IN METODI, MODELLI E TECNOLOGIE PER L'INGEGNERIA

Date: 27/02/2026

Author: **Marianna De Monaco**

Title: **Valutazione dello Smart Readiness Indicator (SRI) per categorie di edifici appartenenti al parco edilizio nazionale ed impatto dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente sui consumi energetici degli edifici residenziali**

Department: **DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E MECCANICA**

Degree: **PHILOSOPHIAE DOCTOR**

Permission is herewith granted to university to circulate and to have copied for non-commercial purposes, at its discretion, the above title upon the request of individuals or institutions.



Signature of Author

THE AUTHOR RESERVES OTHER PUBLICATION RIGHTS, AND NEITHER THE THESIS NOR EXTENSIVE EXTRACTS FROM IT MAY BE PRINTED OR OTHERWISE REPRODUCED WITHOUT THE AUTHOR'S WRITTEN PERMISSION.
THE AUTHOR ATTESTS THAT PERMISSION HAS BEEN OBTAINED FOR THE USE OF ANY COPYRIGHTED MATERIAL APPEARING IN THIS THESIS (OTHER THAN BRIEF EXCERPTS REQUIRING ONLY PROPER ACKNOWLEDGEMENT IN SCHOLARLY WRITING) AND THAT ALL SUCH USE IS CLEARLY ACKNOWLEDGED.

Indice

Ringraziamenti.....	IX
Lista delle figure.....	XI
Lista delle tabelle.....	XIV
Glossario.....	XVI
I	
Introduzione.....	XVIII
Introduction.....	XXII
Capitolo I – Valutazione della predisposizione all’intelligenza degli edifici: introduzione e contesto normativo.....	27
1.1 Performance energetiche degli edifici ed obiettivi Europei.....	27
1.1.1 Quadro legislativo.....	30
1.1.2 Analisi di letteratura e stato dell’arte.....	32
1.1.3 ICT e IoT negli edifici.....	32
1.2 Sistemi BACS: Building Automation Control Systems.....	33
1.2.1 Quadro legislativo	33
1.2.2 Analisi di letteratura e stato dell’arte.....	35
1.2.3 Smart Cities & Smart Buildings.....	36
1.3 SRI – Smart Readiness Indicator.....	46
1.3.1. Contesto normativo e analisi di letteratura.....	46
1.3.2. Metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator.....	48
1.3.3. Introduzione al primo strumento di calcolo per la valutazione dello Smart Readiness Indicator.....	53
Capitolo II - Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale: primi risultati del calcolo sul dominio ACS in edifici rappresentativi del parco edilizio italiano.....	58
2.1 – Introduzione.....	58
2.2 - Sistemi per l’acqua calda sanitaria nel settore residenziale.....	61
2.2.1 Sistemi di produzione, accumulo, distribuzione e regolazione.....	61
2.2.2 Utilizzo e monitoraggio.....	64
2.2.3. Sistemi smart per l’ACS.....	67
2.3 Caratterizzazione dei casi studio del parco edilizio nazionale.....	68
2.3.1 Caso di studio A.....	69

2.3.2 Caso di studio B.....	72
2.3.3. Caso di studio C.....	74
2.4 Metodologia di calcolo.....	74
2.4.1 Processo di triage.....	75
2.4.2 Determinazione dei servizi e livelli funzionali.....	79
2.5 Risultati.....	83
2.6 Conclusioni.....	86
Capitolo III – Valutazione dello Smart Readiness Indicator per edifici del parco edilizio nazionale oggetto di retrofit energetico.....	88
3.1 Introduzione.....	88
3.2 Metodologia.....	91
3.3 Approccio energy ed approccio energy smart per la valutazione dello Smart Readiness Indicator.....	94
	3.4
Risultati.....	103
3.4.1 Risultati dello scenario energy ed energy smart.....	107
3.5 Conclusioni.....	111
Capitolo IV – Analisi e prima ottimizzazione della metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator.....	113
4.1 Introduzione.....	113
4.2 Analisi di dettaglio della prima versione europea del foglio di calcolo.....	115
4.3 Analisi di mercato.....	130
4.4 Calcolo dello Smart Readiness Indicator per alcuni casi studio del parco edilizio nazionale mediante foglio di calcolo calibrato.....	132
4.4.1 Fase di triage: caratterizzazione degli edifici, dei domini e dei livelli di funzionalità.....	134
4.5 Prima ottimizzazione e calibrazione del foglio di calcolo europeo.....	136
4.5.1 Processo di ottimizzazione della prima versione del foglio di calcolo europeo.....	139
4.5.2 Descrizione del modulo “Edificio di riferimento”	139
4.5.3 Descrizione del modulo “Checklist” per la valutazione dei servizi smart ready e dei livelli funzionali.....	140
4.5.4 Descrizione del modulo “Calcolo SRI” per la determinazione dei punteggi.....	141
4.6 Risultati.....	142
4.6.1 SRI di dominio.....	142

4.6.2 SRI di impatto.....	145
4.7 Conclusioni.....	147
Capitolo V. Valutazione dello Smart Readiness Indicator su edifici del parco edilizio italiano mediante prima versione del foglio di calcolo europeo post calibrazione.....	150
5.1 Caratterizzazione degli edifici casi studio.....	150
5.1.1 Caso di studio A: edificio residenziale.....	150
5.1.2 Caso di studio B: edificio ad uso ufficio.....	152
5.1.3 Caso di studio C: edificio scolastico.....	154
5.1.4 Caso di studio D: struttura ospedaliera.....	155
5.2 Metodologia.....	156
5.3 Risultati.....	157
5.4 Conclusioni.....	161
Capitolo VI. Valutazione dello Smart Readiness Indicator su edifici del parco edilizio italiano mediante foglio di calcolo europeo versione v4.2.....	164
6.1 Introduzione.....	164
6.2 Caratterizzazione degli edifici casi di studio.....	165
6.3 Metodologia.....	166
6.4 Risultati.....	166
6.4 Conclusioni.....	168
Capitolo VII. Valutazione SRI con il foglio di calcolo europeo post calibrazione versione v4.2.....	172
7.1 Introduzione.....	172
7.2 Caratterizzazione dei casi di studio.....	172
7.3 Metodologia.....	173
7.4 Risultati.....	173
7.5 Valutazione dell'Attestato di Prestazione Energetica per il caso di studio A.....	183
7.5.1 Caratterizzazione del caso di studio e calcolo dell'APE.....	185
7.5.2 Confronto tra APE ed SRI.....	187
7.6 Conclusioni.....	188
Capitolo VIII. Analisi dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback per gli edifici residenziali del parco edilizio nazionale.....	193
8.1 Introduzione.....	193
8.1.1 Sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente.....	194

8.1.2 Impatto dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente sui consumi energetici degli edifici residenziali.....	198
8.2 Dispositivi smart ed infrastruttura di monitoraggio e raccolta dati.....	200
8.2.1 Impatto dei sistemi di contabilizzazione smart, telelettura e feedback utente sulla valutazione dello Smart Readiness Indicator.....	202
Capitolo IX. Analisi energetica di edifici residenziali condominiali mediante rilevamento dati dal portale informatico “GEN”	204
9.1 Introduzione.....	204
9.2 Portale GEN - Rienergy Smart.....	205
9.3 Ottimizzazione della piattaforma informatica Rienergy Smart.....	207
9.3.1 Individuazione delle criticità e risoluzione.....	207
9.4 Analisi energetica mediante rilevamento dati dal portale Rienergy Smart.....	209
9.4.1 Edifici oggetto di analisi monitorati dal portale Rienergy Smart.....	209
9.5 Metodologia.....	213
9.5.1 Applicazioni.....	214
9.6 Risultati.....	217
9.6.1 Condominio 1.....	217
9.6.2 Condominio 3.....	218
9.6.3 Condominio 3: Analisi e commenti degli indici di qualità dei consumi, delle temperature e della CO ₂ per alcuni giorni tipo rappresentativi confrontando appartamenti diversi.....	219
9.7 Conclusioni.....	228
Sintesi e conclusioni.....	231
Bibliografia.....	234
Appendice.....	251
Lavori scientifici.....	306

Ringraziamenti

Al prof. Marignetti ed ai miei supervisori, per il supporto durante gli anni di studio.

A mia figlia Lucia, nata durante questo percorso, che, nonostante le tante notti insonni e le difficoltà, mi ha dato la forza ed il coraggio di credere nei miei sogni.

A mia madre, per il grande lavoro svolto con Lucia, mentre studiavo.

Lista delle figure

- Figura 1. Domini tecnici e criteri di impatto dello Smart Readiness Indicator
- Figura 2. Rappresentazione della metodologia multilivello: servizi smart associati ai domini tecnici e livelli funzionali dello Smart Readiness Indicator
- Figura 3. Riferimenti dell'asseveratore
- Figura 4. Informazioni generali dell'edificio
- Figura 5. Indicazioni sul processo di triage
- Figura 6. Esempio di caratterizzazione di alcuni domini dell'edificio (Heating, DHW, Cooling)
- Figura 7. Rappresentazione dei punteggi di SRI totale, SRI di dominio e SRI di impatto
- Figura 8. Sistemi di produzione di ACS
- Figura 9. Caso di studio A: villa monofamiliare isolata rispetto al centro abitato
- Figura 10. Caso di studio A: sottotetto non isolato
- Figura 11. Caso di studio A: scaldacqua alimentato a G.P.L.
- Figura 12. Caso di studio B: condominio di appartenenza dell'unità immobiliare
- Figura 13. Caso di studio B: termostato indoor
- Figura 14. Processo di triage nella prima versione del foglio di calcolo europeo versione v2.0
- Figura 15. Esempio di dominio escluso dal processo di triage nel foglio di calcolo europeo versione v2.0
- Figura 16. Rappresentazione della selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS nella prima versione del foglio di calcolo europeo
- Figura 17. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio A
- Figura 18. Selezione dei livelli funzionali per il dominio riscaldamento post retrofit per il caso di studio B
- Figura 19. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio B
- Figura 20. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS ante retrofit per il caso di studio C
- Figura 21. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio C
- Figura 22. SRI totale ante e post retrofit dei tre casi di studio
- Figura 23. SRI di dominio ACS ante e post retrofit
- Figura 24. Punteggi di impatto ante retrofit
- Figura 25. Punteggi di impatto post retrofit
- Figura 26. Metodologia multilivello dello Smart Readiness Indicator
- Figura 27. Diagramma di flusso della metodologia di calcolo SRI

- Figura 28. Punteggi relativi ai criteri di impatto
- Figura 29. Punteggi relativi ai domini
- Figura 30. Punteggi di impatto per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy"
- Figura 31. Punteggi di dominio per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy"
- Figura 32. Punteggi di impatto per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy smart"
- Figura 33. Punteggi di dominio per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy smart"
- Figura 34. Informazioni dell'asseveratore nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 35. Informazioni generali dell'edificio nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 37. Impostazione dei dati di gestione del riscaldamento, dell'acqua calda sanitaria, del raffrescamento e della ventilazione meccanica controllata nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 38. Impostazione dei dati di gestione dell'involucro dinamico, dell'energia elettrica da fonti rinnovabili e sistemi di accumulo e della ricarica dei veicoli elettrici nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 39. Punteggio di SRI totale di edificio e punteggi per criteri di impatto nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 40. Punteggi di SRI per domini tecnici nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0
- Figura 41. Fattori di ponderazione definiti dall'utente
- Figura 42. Fattori di ponderazione di default per gli edifici residenziali del sud Europa
- Figura 42. Fattori di ponderazione di default per gli edifici non residenziali del sud Europa
- Figura 43. Sezione dedicata ai feedback dell'asseveratore post valutazione dello SRI
- Figura 44. Punteggi di SRI totale, di dominio e di impatto per il caso di studio A
- Figura 45. Punteggi di SRI totale, di dominio e di impatto per il caso di studio A
- Figura 46a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A allo stato originario
- Figura 46b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A allo stato originario
- Figura 47a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A post retrofit
- Figura 47b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A post retrofit
- Figura 48a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B allo stato originario
- Figura 48b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B allo stato originario
- Figura 49a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio C allo stato originario
- Figura 49b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio C allo stato originario
- Figura 50. Rappresentazione del Condominio 1 mediante software di modellazione 3D [199]
- Figura 51. Rappresentazione del Condominio 3 mediante software di modellazione 3D [199]
- Figura 52. Radiatori e potenza per singolo appartamento [199]
- Figura 53. Valori medi mensili della temperatura esterna per il calcolo del fabbisogno termico in condizioni di asset rating secondo la UNI TS 11300/1 [199]
- Figura 54. Valori medi mensili di temperatura esterna e irraggiamento solare su base statistica [199]

- Figura 55. Rappresentazione grafica dei dati caratteristici della singola unità immobiliare del Condominio 1: Q_{th}/gg (kWh/m²) e superficie di appartamento (m²)
- Figura 56. Rappresentazione grafica dei dati caratteristici della singola unità immobiliare del Condominio 3: Q_{th}/gg (kWh/m²) e superficie di appartamento (m²)
- Figura 57. Consumo atteso di appartamento [kWh]
- Figura 58. Consumo misurato rispetto al consumo atteso di appartamento [kWh]
- Figura 59. Indice di temperatura di appartamento [°C]
- Figura 60. Indice di consumo di CO₂ di appartamento [ppm]
- Figura 61. Indice di consumo di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 62. Indice di temperatura di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 63. Indice consumo utenti di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 64. Indice consumo utenti medio di condominio dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 65. Tempo di accesso [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 66. Timeline accessi di appartamento
- Figura 67. Tempo di visualizzazione delle pagine [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart
- Figura 68. Tempo di visualizzazione delle pagine e numero di accessi [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

Lista delle tabelle

- Tabella 1. Caratterizzazione degli edifici casi di studio
- Tabella 2. Caratterizzazione dei domini nei tre casi di studio
- Tabella 3. Caratterizzazione dei singoli domini per ciascun caso di studio
- Tabella 4. Obblighi legislativi che consentono di associare l'edificio al relativo impianto di riscaldamento
- Tabella 5. Caratterizzazione degli smart buildings
- Tabella 6. Caratteristiche impiantistiche delle tipologie di smart building (scenario base)
- Tabella 7. Livelli di funzionalità dello scenario "energy "
- Tabella 8. Livelli di funzionalità dello scenario "energy smart"
- Tabella 9. SRI totali degli edifici casi di studio
- Tabella 10. Superfici stimate edifici del parco edilizio nazionale [m²]
- Tabella 11. SRI del parco edilizio nazionale (scenario base).
- Tabella 12. Impatto degli interventi di retrofit sullo Smart Readiness Indicator totale di edificio
- Tabella 13. Opzioni di selezione per le caratteristiche di gestione dei domini tecnici
- Tabella 14. Overviews dei servizi tecnici: classificazione e livelli funzionali
- Tabella 15. Overviews dei servizi tecnici: riferimenti normativi ed applicativi
- Tabella 16. Caratterizzazione degli edifici sulla base del processo di triage
- Tabella 17. Domini presenti nei casi di studio
- Tabella 18. Caratterizzazione dei singoli domini (n/p = servizio non presente)
- Tabella 19. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico "Accumuli termici" nel dominio "Riscaldamento"
- Tabella 20. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico "Ottimizzazione dell'autoconsumo dell'elettricità generata localmente" nel dominio "Elettricità"
- Tabella 21. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico "Interazione e flessibilità con la rete" nel dominio "Raffrescamento"
- Tabella 22. Risultati di SRI totale ottenuto con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi e con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione
- Tabella 23. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio A)
- Tabella 24. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio B)
- Tabella 25. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio C)

Tabella 26. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio A)

Tabella 27. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio B)

Tabella 28. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio C)

Tabella 29. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio A)

Tabella 30. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio B)

Tabella 31. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio C)

Tabella 32. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio A)

Tabella 33. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio B)

Tabella 34. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio C)

Tabella 35. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio A allo stato originario

Tabella 36. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio B allo stato originario

Tabella 37. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio C allo stato originario

Tabella 38. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio D allo stato originario

Tabella 39. Caso di studio A: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 40. Caso di studio A: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 41. Caso di studio B: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 42. Caso di studio B: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 43. Caso di studio C: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 44. Caso di studio C: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 45. Caso di studio D: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 46. Caso di studio D: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Tabella 47. Differenze tra il foglio di calcolo iniziale e le versioni aggiornate

Tabella 49. Classi energetiche A4-G riferite all'attestato di prestazione energetica (APE)

Tabella 49. Punti di misura per singolo condominio

Tabella 50. Consumo atteso e destagionalizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG

Tabella 51. Valori di $Q_{h,nd/gg}$ utilizzati per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG (%)

Tabella 52. Valori di Q_{th} in asset rating per ciascun appartamento

Tabella 53. Indici di consumo, di temperatura e di CO_2 per ciascun appartamento nel periodo temporale di 7 giorni

Glossario

NZEB: Nearly Zero Energy Building, noti come edifici ad energia quasi zero, sono strutture ad elevatissima performance energetica, poco energivori in quanto il fabbisogno è coperto principalmente dall'utilizzo di fonti rinnovabili;

Decarbonizzazione: inteso come processo di riduzione delle emissioni di anidride carbonica e gas serra;

HVAC: Heating, Ventilation ad Air Conditioning, intesi come sistemi integrati di riscaldamento, climatizzazione e ventilazione meccanica.

BACS: Building Automation and Control System, sistemi di automazione e controllo degli edifici che riducono i consumi energetici, ottimizzando il comfort, la sicurezza e la consapevolezza dell'occupante.

Involucro dinamico: involucro edilizio a controllo dinamico, note anche come facciate adattative, rappresentano le schermature dell'edificio che sono in grado di autoadattarsi sulla base delle condizioni climatiche esterne e sulle esigenze degli occupanti;

Parametri termoigrometrici: parametri riferiti alla temperatura e all'umidità relativa dell'aria nell'ambiente di riferimento;

Smart Grid: rete elettrica intelligente, in grado di gestire le oscillazioni dei flussi di energia dai rami periferici della rete all'unità centrale, in modo da ottimizzare eventuali sovraccarichi di tensione e l'utilizzo di energia;

Demand Response: è una modalità di gestione dell'energia in cui gli utenti finali adeguano temporaneamente il proprio profilo di consumo in risposta a segnali di prezzo o a istruzioni dirette del gestore di rete, ricevendo incentivi economici;

FER: Fonti di energia rinnovabile, rappresentano tutte le fonti non fossili (solare, eolico, geotermico, biomasse, biogas);

EV Charger: colonnine di ricarica per i veicoli elettrici;

TBS: Technical Building Systems, sistemi tecnici (impianti, dispositivi integrati) presenti negli edifici;

STC: Solar Thermal Collector (collettori solari);

Introduzione

Negli ultimi anni, il tema dell'efficienza energetica nel settore edilizio, ha assunto un ruolo centrale nelle politiche energetiche europee e nazionali. Infatti, il settore residenziale, rappresenta una quota significativa dei consumi energetici complessivi, delle emissioni di gas serra e delle problematiche di sovraccarico delle tensioni nella rete elettrica di distribuzione.

Per tale ragione, sono state elaborate delle norme specifiche e delle Direttive Europee il cui obiettivo è incentrato sulla riduzione dei consumi energetici, sul miglioramento delle performance energetiche degli edifici, sulla diminuzione di CO₂ e gas serra e sulla gestione ottimizzata della rete elettrica. In particolare, affinché gli edifici possano contribuire alla realizzazione di tali obiettivi, si presenta la necessità di adeguarli agli standard nazionali ed europei, non solo in materia di energia, ma anche in materia di implementazione di sistemi intelligenti.

In questo contesto, è stata elaborata un'approfondita analisi dello Smart Readiness Indicator (SRI), ossia il nuovo indicatore di predisposizione all'intelligenza, atto a fornire un quadro comune europeo per la valutazione e la promozione dell'intelligenza degli edifici. Tale indicatore ha l'obiettivo di misurare la capacità dell'edificio di adattare il proprio funzionamento alle esigenze sia dell'occupante sia della rete e di migliorare l'efficienza e la prestazione energetica complessiva.

Nell'ambito dell'applicazione dello Smart Readiness Indicator, la letteratura esistente comprende un esiguo numero di studi, che analizzano principalmente il calcolo dell'indicatore per casi di studio limitati, senza approfondimento dell'adattamento della metodologia UE alla situazione impiantistica attuale del parco edilizio nazionale. In confronto allo stato dell'arte esistente sulla metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator, il presente lavoro introduce un contributo originale, che consiste in un approccio metodologico calibrato, a valle di un'analisi di mercato basata sull'esistenza e disponibilità delle logiche e dei dispositivi presenti in commercio, dei punteggi SRI adattato al contesto residenziale italiano. Tale proposta, è caratterizzata da ampia flessibilità di applicazione alle molteplici destinazioni d'uso degli edifici, adattabile sia ad edifici reali, sia ad edifici teorici. Pertanto, al fine di valutare la solidità della metodologia proposta, è stata condotta un'analisi di sensitività sui principali parametri che influenzano il punteggio di SRI, quali: grado di interazione tra gli impianti ed i sistemi di controllo centralizzato, presenza di sistemi di monitoraggio e reportistica dei consumi, livello di automazione delle tecnologie presenti negli edifici ed eventuali interventi di ristrutturazione/retrofit energetico rispetto allo stato originario.

Il secondo argomento affrontato in questo lavoro riguarda l'analisi energetica di edifici residenziali condominiali mediante rilevamento dati dal portale informatico "GEN - Rienergy Smart", implementato da ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - per il monitoraggio, la gestione e la visualizzazione degli indici

di consumo ed i valori determinati dai sensori e dai dispositivi di contabilizzazione del calore, temperatura, CO₂ e smart meters, al fine di valutare le condizioni di comfort e l'influenza dell'utilizzo degli ambienti sui consumi energetici.

Il portale web, è stato inizialmente ottimizzato a valle dell'individuazione delle criticità informatiche e tecnologiche rilevate nel corso degli studi, dopodiché sono stati analizzati i dati provenienti dai ripartitori di calore, dai totalizzatori e dalle centraline termiche, nonché degli indici di qualità dell'aria, di due condomini che hanno aderito alla campagna sperimentale di monitoraggio Rienergy Smart.

La tesi, nel complesso, è strutturata come segue. Nel primo capitolo, è stato presentato il quadro normativo e teorico relativo alle performance energetiche degli edifici e gli obiettivi Europei finalizzati all'implementazione di soluzioni smart che ne consentano il miglioramento dei consumi e delle prestazioni complessive. In particolare, è stata effettuata l'analisi dello stato dell'arte e degli aspetti tecnici e normativi dei sistemi di automazione e controllo (BACS) e del loro contributo allo sviluppo di "smart buildings" e "smart cities".

In tale contesto, viene introdotto lo Smart Readiness Indicator (SRI), analizzandone gli aspetti normativi e individuando dall'analisi di letteratura possibili primi studi a riguardo ed aspetti ancora carenti di approfondimento scientifico. A tal proposito, è introdotta la metodologia di calcolo proposta dai primi studi europei, dettagliata nel documento "Final Report on the technical support to the development of a Smart Readiness Indicator for buildings" e, contestualmente, il primo strumento di calcolo introdotto in ambito europeo, costituito da domini tecnici, servizi smart ready e livelli di funzionalità .

Nel capitolo secondo, è dettagliata la valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale, evidenziando i primi risultati del calcolo sul dominio tecnico "acqua calda sanitaria" in edifici rappresentativi del parco edilizio italiano. Pertanto, nel paragrafo 2.2, è effettuata una breve trattazione sui sistemi di produzione e distribuzione dell'acqua calda sanitaria, compresi i sistemi di utilizzo, monitoraggio, accumulo e tecnologie smart attualmente disponibili sul mercato o potenzialmente implementabili. Da queste premesse, viene introdotto il primo studio in Italia nel settore residenziale, per tre edifici casi di studio, relativo al calcolo dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza valutato principalmente nell'ambito dell'efficienza dei sistemi per l'acqua calda sanitaria. I risultati ottenuti, sono stati presentati in occasione del XX Congresso Nazionale CIRIAF - Sviluppo sostenibile, tutela dell'ambiente e della salute umana, evidenziando come i punteggi di SRI ottenuti siano piuttosto bassi per gli edifici non riqualificati tipici del parco edilizio Italiano. Inoltre, lo studio individua alcune criticità nello strumento di calcolo, come la presenza di livelli funzionali troppo ambiziosi rispetto allo stato impiantistico e tecnologico attuali e la difficile comprensione per alcune delle funzionalità smart indicate nel catalogo dei servizi. Inoltre, si sottolinea come alcuni servizi smart, come il controllo della ricarica di accumulo derivante dall'installazione di collettori solari, sia condizione necessaria per avere un incremento

nel punteggio di SRI di dominio, come dimostrazione che i sistemi di monitoraggio e controllo siano essenziali per rendere un edificio “smart” (Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale: primi risultati su edifici rappresentativi del parco edilizio italiano - De Monaco M., Canale L, Ficco G, Frattolillo A, Dell’Isola M, Di Pietra B, Puglisi G, Bertini I.). Il capitolo terzo, illustra la valutazione dello Smart Readiness Indicator per edifici del parco edilizio nazionale oggetto di retrofit energetico, utilizzando il primo strumento di calcolo europeo. Per gli edifici casi di studio considerati, è descritta la metodologia di calcolo applicata a due differenti scenari: “energy”, ossia non riqualificati ed “energy smart”, ossia post simulazione di interventi di retrofit impiantistico. I risultati sottolineano le differenze relative ai punteggi di intelligenza ottenuti nei due diversi approcci, in cui nello scenario “energy”, la valutazione dello Smart Readiness Indicator è influenzata dalle scarse tecnologie intelligenti e dalla mancanza di sistemi di monitoraggio e controllo negli edifici, mentre nello scenario “energy smart”, l’impatto della riqualificazione energetica e tecnologica, diventa essenziale per il raggiungimento di notevoli miglioramenti per l’efficienza energetica, il comfort, l’informazione agli occupanti relativa ai consumi e al funzionamento degli impianti e all’utilizzo dei sistemi da fonti rinnovabili. Tuttavia, sono illustrate anche le diverse criticità riscontrate durante il processo di valutazione, come livelli funzionali non corrispondenti al reale asset del parco edilizio residenziale attuale, la difficoltà di procedere ad interventi di riqualificazione per edifici storici o ubicate in zone rurali, la necessità di una revisione alla normativa che consenta di identificare livelli di funzionalità minimi in base alla tipologia di edificio e la fattibilità dell’applicazione delle tecnologie presenti nel catalogo dei servizi.

(De Monaco M, Canale L, Di Pietra B, Puglisi G, Ficco G, Bertini I, Dell’Isola M. Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian Residential Building Stock in Different Scenarios. *Energies*. 2021; 14(20):6442.)

La soluzione delle principali problematiche appena elencate, trova risoluzione nel quarto capitolo, in cui viene descritta la prima ottimizzazione della metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator, mediante implementazione di uno strumento di calcolo, basato sul primo prototipo europeo, nel quale si applica una specifica ponderazione delle funzionalità e dei servizi tecnici, al fine di adeguarli al parco edilizio nazionale esistente. In tal senso, è illustrata la procedura di calibrazione del catalogo dei servizi, effettuata a valle di un’attenta analisi di mercato condotta mediante un questionario strutturato in base alle funzionalità presenti nel catalogo, sottoposto a due aziende del settore energetico/elettrico. A seguito dell’applicazione dello strumento di calcolo calibrato, vengono descritti i benefici nella valutazione dello Smart Readiness Indicator, mostrandone la maggiore coerenza con lo stato degli edifici esistenti.

(B. Di Pietra, L. La Notte, G. Landi, A.L. Palma, A. Ciappa, E. Monno M. De Monaco, Progettazione di nuove architetture dell’impianto ibrido sperimentale e di una nuova piattaforma

per migliorare la consapevolezza dei consumi nei condomini dotati di sistemi di contabilizzazione individuale smart, Report RdS/PTR2021/127).

Nel quinto capitolo, è descritto il calcolo dello SRI con lo strumento calibrato, su edifici del parco edilizio italiano di differenti tipologie (residenziale, non residenziale, struttura ospedaliera, istituto scolastico), ampliando il processo di asseverazione ed analisi a contesti impiantistici ed energetici.

Il sesto ed il settimo capitolo riguardano l'analisi della successiva versione del foglio di calcolo europeo (v4.2) e la prima calibrazione dello strumento europeo sulla base dell'analisi di mercato descritta al capitolo quarto, evidenziando i risultati ottenuti pre e post ottimizzazione delle funzionalità smart ready ed introducendo un prototipo di scheda di asseverazione nazionale per lo Smart Readiness Indicator.

Infine, l'ottavo ed il nono capitolo sono dedicati all'analisi dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente e all'analisi energetica di due edifici residenziali italiani mediante rilevamento dati energetici dal portale Rienergy Smart. I due argomenti, sono contestualizzati nell'assetto tecnico e normativo attuale, descrivendone l'impatto sulla predisposizione all'intelligenza degli edifici ed al miglioramento dei comportamenti energetici da parte degli occupanti. L'analisi energetica descritta nell'ultimo capitolo, descrive l'applicazione dell'approccio asset rating (UNI 11300), con il quale sono calcolati i consumi attesi degli appartamenti casi di studio in esame. Inoltre, sono illustrati gli impatti delle abitudini di consumo degli utenti, delle caratteristiche termo-fisiche delle unità immobiliari e del livello di consapevolezza nell'utilizzo dei sistemi di monitoraggio, al fine di correlare tali aspetti con i risultati numerici ottenuti.

Nel complesso, ciascun capitolo analizza nel dettaglio gli argomenti proposti, descrivendo nei paragrafi conclusivi le criticità rilevate, la risoluzione e le possibili azioni di miglioramento attuabili.

Introduction

In recent years, the issue of energy efficiency in the building sector has assumed a central role in both European and national energy policies. Indeed, the residential sector accounts for a significant share of overall energy consumption, greenhouse gas emissions, and problems related to overloads in the electricity distribution network.

For this reason, specific regulations and European Directives have been developed with the aim of reducing energy consumption, improving the energy performance of buildings, decreasing CO₂ and greenhouse gas emissions, and optimizing the management of the electricity grid. In particular, in order for buildings to contribute to achieving these objectives, it is necessary to adapt them to national and European standards, not only in terms of energy performance, but also regarding the implementation of smart systems.

Within this context, an in-depth analysis of the Smart Readiness Indicator (SRI) has been carried out. The SRI is the new indicator of smart readiness, designed to provide a common European framework for assessing and promoting building intelligence. This indicator aims to measure the ability of a building to adapt its operation to the needs of both occupants and the grid, while improving overall energy efficiency and performance.

Regarding the application of the Smart Readiness Indicator, the existing literature includes only a limited number of studies, mainly focused on calculating the indicator for restricted case studies, without thoroughly investigating the adaptation of the EU methodology to the current plant and system conditions of the national building stock. Compared to the existing state of the art on the SRI calculation methodology, the present work introduces an original contribution consisting of a calibrated methodological approach, developed following a market analysis based on the existence and availability of commercial technologies, control logics, and devices, with SRI scores adapted to the Italian residential context. This proposal is characterized by a high degree of flexibility, allowing its application to multiple building uses and to both real and theoretical buildings. Therefore, in order to evaluate the robustness of the proposed methodology, a sensitivity analysis was carried out on the main parameters affecting the SRI score, such as the level of interaction between systems and centralized control systems, the presence of monitoring and energy reporting systems, the level of automation of building technologies, and possible renovation/energy retrofit interventions compared to the original building condition.

The second topic addressed in this work concerns the energy analysis of residential condominium buildings through data collection from the “GEN - Rienergy Smart” web portal, implemented by ENEA – the Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development – for monitoring, managing, and visualizing consumption indices and values

measured by sensors and devices for heat metering, temperature, CO₂, and smart meters, in order to evaluate comfort conditions and the influence of occupancy patterns on energy consumption. The web portal was initially optimized following the identification of IT and technological critical issues detected during the studies. Subsequently, data collected from heat cost allocators, totalizers, thermal substations, and indoor air quality indices were analyzed for two condominiums participating in the experimental Rienergy Smart monitoring campaign.

Overall, the thesis is structured as follows. The first chapter presents the regulatory and theoretical framework related to the energy performance of buildings and the European objectives aimed at implementing smart solutions capable of improving energy consumption and overall performance. In particular, an analysis of the state of the art and the technical and regulatory aspects of Building Automation and Control Systems (BACS) and their contribution to the development of “smart buildings” and “smart cities” is provided.

Within this framework, the Smart Readiness Indicator (SRI) is introduced, analyzing its regulatory aspects and identifying, through literature review, the first relevant studies and the aspects that still lack scientific investigation. In this regard, the calculation methodology proposed by the first European studies is introduced, as detailed in the document “Final Report on the technical support to the development of a Smart Readiness Indicator for buildings”, together with the first European calculation tool, consisting of technical domains, smart-ready services, and functionality levels.

The second chapter details the evaluation of the Smart Readiness Indicator in the residential sector, highlighting the first calculation results for the technical domain “domestic hot water” in buildings representative of the Italian building stock. Therefore, paragraph 2.2 presents a brief discussion of domestic hot water production and distribution systems, including usage systems, monitoring, storage, and smart technologies currently available on the market or potentially implementable. Based on these premises, the first Italian study in the residential sector is introduced, involving three case-study buildings and focusing on the calculation of the smart readiness indicator, mainly evaluated in relation to the efficiency of domestic hot water systems. The obtained results were presented during the XX CIRIAF National Congress – Sustainable Development, Environmental Protection and Human Health – highlighting how the SRI scores obtained are rather low for non-renovated buildings typical of the Italian building stock. Furthermore, the study identifies several critical issues in the calculation tool, such as the presence of functionality levels that are too ambitious compared to the current technological and plant conditions, as well as the difficulty in understanding some of the smart functionalities included in the service catalog.

In addition, it is emphasized that certain smart services, such as storage charging control resulting from the installation of solar collectors, represent a necessary condition for increasing the SRI domain score, demonstrating that monitoring and control systems are essential to make a building

“smart” (Assessment of the Smart Readiness Indicator in the residential sector: first results for buildings representative of the Italian building stock - De Monaco M., Canale L., Ficco G., Frattolillo A., Dell’Isola M., Di Pietra B., Puglisi G., Bertini I.).

The third chapter illustrates the evaluation of the Smart Readiness Indicator for buildings within the national building stock undergoing energy retrofit interventions, using the first European calculation tool. For the considered case-study buildings, the calculation methodology is described for two different scenarios: “energy”, referring to non-renovated buildings, and “energy smart”, referring to buildings after simulated plant retrofit interventions. The results highlight the differences in the intelligence scores obtained in the two approaches. In the “energy” scenario, the SRI evaluation is affected by the lack of smart technologies and monitoring and control systems within the buildings, whereas in the “energy smart” scenario, the impact of energy and technological retrofitting becomes essential for achieving significant improvements in energy efficiency, comfort, occupant information regarding energy consumption and system operation, and the use of renewable energy systems.

However, several critical issues encountered during the assessment process are also illustrated, including functionality levels not corresponding to the actual condition of the current residential building stock, the difficulty of carrying out renovation interventions in historical buildings or buildings located in rural areas, the need for regulatory revisions to identify minimum functionality levels according to building type, and the feasibility of implementing the technologies included in the service catalog.

(De Monaco M., Canale L., Di Pietra B., Puglisi G., Ficco G., Bertini I., Dell’Isola M. Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian Residential Building Stock in Different Scenarios. *Energies*. 2021; 14(20):6442.)

The solution to the main issues listed above is addressed in the fourth chapter, which describes the first optimization of the Smart Readiness Indicator calculation methodology through the implementation of a calculation tool based on the first European prototype. In this tool, a specific weighting of functionalities and technical services is applied in order to adapt them to the existing national building stock. In this regard, the calibration procedure for the service catalog is illustrated, carried out following a detailed market analysis conducted through a questionnaire structured according to the functionalities included in the catalog and submitted to two companies operating in the energy/electrical sector. Following the application of the calibrated calculation tool, the benefits in the evaluation of the Smart Readiness Indicator are described, demonstrating greater consistency with the actual condition of existing buildings.

(B. Di Pietra, L. La Notte, G. Landi, A.L. Palma, A. Ciappa, E. Monno, M. De Monaco, Design of new architectures for the experimental hybrid plant and a new platform to improve energy awareness in condominiums equipped with smart individual metering systems, Report RdS/PTR2021/127.)

The fifth chapter describes the calculation of the SRI using the calibrated tool for buildings belonging to the Italian building stock with different intended uses (residential, non-residential, hospital facility, educational institution), expanding the certification and analysis process to different plant and energy contexts.

The sixth and seventh chapters concern the analysis of the subsequent version of the European calculation spreadsheet (v4.2) and the first calibration of the European tool based on the market analysis described in Chapter Four, highlighting the results obtained before and after the optimization of smart-ready functionalities and introducing a prototype national assessment form for the Smart Readiness Indicator.

Finally, the eighth and ninth chapters are dedicated to the analysis of metering systems, remote reading systems, and user feedback, as well as to the energy analysis of two Italian residential buildings through energy data collection from the Rienergy Smart portal. Both topics are contextualized within the current technical and regulatory framework, describing their impact on building smart readiness and on improving occupants' energy behavior. The energy analysis described in the final chapter presents the application of the asset rating approach (UNI 11300), through which the expected energy consumption of the case-study apartments is calculated. Furthermore, the impacts of user consumption habits, the thermo-physical characteristics of the housing units, and the level of awareness in the use of monitoring systems are illustrated, in order to correlate these aspects with the numerical results obtained.

Overall, each chapter analyzes the proposed topics in detail, describing in the concluding sections the identified critical issues, their resolution, and the possible improvement actions that can be implemented.

Capitolo I – Valutazione della predisposizione all'intelligenza degli edifici: introduzione e contesto normativo

1.1 Performance energetiche degli edifici ed obiettivi Europei

1.1.1 Quadro legislativo

Secondo lo studio del Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente, gli edifici a livello globale utilizzano circa il 40% dell'energia, il 25% dell'acqua, il 40% delle risorse ed emettono circa il 33% delle emissioni di gas serra, gli edifici residenziali e commerciali utilizzano circa il 60% dell'elettricità mondiale [1] [2] Attualmente, è noto che il 75 % del parco immobiliare europeo ha una prestazione energetica insufficiente. “Gli edifici sono responsabili di circa il 40 % del consumo energetico totale dell'Unione e del 36 % delle emissioni di gas a effetto serra prodotte dall'energia” [3]. Pertanto, l'Unione Europea, ha istituito alcune direttive, tra cui la recente Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 che modifica il regolamento (UE) 2023/955 ed entrata in vigore il 10 ottobre 2023, in cui sono delineate linee guida che promuovono il miglioramento dell'efficienza energetica, tra cui anche il potenziamento delle performance energetiche degli edifici. Tra gli obiettivi presenti, infatti, ci sono:

- raggiungimento di un parco edilizio energeticamente efficiente e dalle elevate prestazioni (NZEB) e decarbonizzato entro il 2050;
- sensibilizzazione nei confronti del comportamento energetico degli occupanti;
- riduzione del consumo di energia mediante misure di incremento dell'efficienza energetica
- promozione della mobilità sostenibile;
- riduzione della povertà energetica;
- promozione di installazioni di tecnologie delle energie rinnovabili; [3] [4]

Il riscaldamento globale legato a fattori come l'inquinamento ambientale e lo sfruttamento continuo delle risorse naturali per la produzione di energia, nonché il repentino cambiamento climatico influenzato dall'aumento dell'andamento della concentrazione di gas prodotti dalle

attività produttive umane quali anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), hanno intensificato la necessità di attuare miglioramenti delle performance energetiche nel campo dell'edilizia sostenibile [5]. L'utilizzo di fonti rinnovabili occupa un ruolo fondamentale per sostituire l'impiego delle fonti di energia ad esaurimento (carbone, combustibili fossili, gas naturale) partecipando alla transizione energetica globale. Tale possibilità potrebbe avvenire attuando dei rafforzamenti per le soluzioni energetiche innovative, nelle politiche energetiche, nella ricerca e nelle infrastrutture. [6]

La Direttiva Europea 2023/2413 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 ottobre 2023, che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/1999 e la direttiva n. 98/70/CE e che abroga la direttiva (UE) 2015/652 del Consiglio [7] introduce alcuni cambiamenti per gli Stati Membri rispetto alla precedente Direttiva UE 2018/2001 [8] in materia di promozione dell'energia da fonti rinnovabili nei principali settori (trasporti, edilizia, industria, sistemi di teleriscaldamento e raffrescamento, impianti di produzione) e del contributo energetico ottenuto da fonti rinnovabili tale da poter garantire a livello europeo un incremento del 10,5% entro il 2030 (attualmente 42,5% di quota, 45% è l'obiettivo prefissato). In particolare, negli Articoli 15 bis, 15 sexies e 29 sono rispettivamente affrontati i temi dell'utilizzo dell'energia rinnovabile nell'edilizia, delle infrastrutture di rete e di stoccaggio per l'integrazione delle energie rinnovabili nel sistema elettrico e i criteri di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra per i combustibili rinnovabili di origine non biologica e i carburanti derivanti da carbonio riciclato. La direttiva è entrata in vigore in tutti i paesi dell'UE il 20 novembre 2023 [7]. "Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro 21 maggio 2025". Ulteriori novità della Direttiva 2023/2413 [7] consistono nel:

- processo di agevolazione dell'integrazione di energia elettrica da fonti rinnovabili e la semplificazione degli iter autorizzativi per le nuove connessioni di impianti che utilizzano fonti rinnovabili per la produzione di energia (ne sono esempi gli impianti fotovoltaici, solari, eolici, le pompe di calore);
- determinazione di zone di accelerazione per le energie rinnovabili consistenti in zone in cui l'impiego di impianti che producono energia da fonti rinnovabili potrebbero avere impatti ambientali non significativi, tali per cui i processi di rilascio autorizzativo durino massimo 12 mesi (salvo casi eccezionali che giustificano i tempi di proroga previsti dall'art.16 bis della presente Direttiva [7] e non potranno superare i 24 mesi per le zone che non ricadono in quelle di accelerazione. Inoltre, viene data la possibilità agli Stati Membri di escludere impianti idroelettrici e a biomassa dalle zone di accelerazione per le energie rinnovabili;
- per i sistemi di riscaldamento e raffrescamento in edilizia, al fine di promuovere la produzione e l'uso di energia rinnovabile in tale settore, sono previsti degli aumenti gradualmente nell'utilizzo delle fonti rinnovabili, precisamente fino al 2026 dello 0,8% dell'aliquota, mentre dal 2026 fino al 2030

del 1,1%. L'obiettivo finale dell'Unione è raggiungere il 49% dell'utilizzo dell'energia da fonti rinnovabili entro il 2030. "I piani nazionali integrati per l'energia e il clima presentati a norma degli articoli 3 e 14 del regolamento (UE) 2018/1999 [9] includono la quota nazionale indicativa determinata dagli Stati membri e informazioni su come intendono raggiungerla [7]",

A livello europeo, la Commissione ha lanciato nel maggio 2022 il piano "REPowerEU", per dare supporto ai cittadini e alle imprese fronteggiando le difficoltà del mercato energetico globale in cui ha impattato anche il conflitto tra Russia e Ucraina. Gli obiettivi del piano sono stati:

- diminuzione nell'utilizzo di combustibili fossili russi;
- risparmio del 20% del consumo energetico europeo;
- diversificazione dell'approvvigionamento energetico;
- investimento nelle energie rinnovabili (sono stati raggiunti 41GW di energia da fonte solare e 16GW da eolica);
- approvvigionamento energetico a prezzi accessibili;
- risparmio energetico mirato alla riduzione del 15% del consumo di gas in Europa [10]

Inoltre, per il raggiungimento degli obiettivi di transizione energetica e di limitazione del riscaldamento globale, è necessario sottolineare l'importanza delle strategie a lungo termine adottate in Europa. In particolare, con l'Accordo di Parigi, [11] gli Stati sono invitati ad elaborare strategie di sviluppo a lungo termine a basse emissioni di carbonio e gas a effetto serra, nell'ottica di presentare piani di azione per il clima (NDC – contributi determinati a livello nazionale) ogni volta più ambiziosi dei precedenti. In generale, l'obiettivo climatico è mantenere "l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali" e proseguire gli sforzi "per limitare l'aumento della temperatura a 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali". A livello nazionale, basandosi su due scenari (scenario di riferimento e scenario di decarbonizzazione), anche l'Italia ha presentato la propria strategia di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra tale da poter raggiungere nel 2050 una situazione di "neutralità climatica", in cui "le residue emissioni di gas a effetto serra sono compensate dagli assorbimenti di CO₂ e dall'eventuale ricorso a forme di stoccaggio geologico e riutilizzo della CO₂". [12]

Pertanto, si evince che il quadro legislativo Europeo legato all'utilizzo delle fonti rinnovabili e al miglioramento delle performance energetiche degli edifici è ampio e ben collocato all'interno di molteplici obiettivi prefissati e attuabili dagli Stati Membri che confluiscono in un unico punto centrale comune rappresentato dalla salvaguardia dell'ecosistema terrestre in termini climatici, energetici, economici e politici.

1.1.2 Analisi di letteratura e stato dell'arte

Attualmente, in letteratura, sono presenti numerosi studi sulle tematiche affrontate nel quadro legislativo Europeo. In relazione alla problematica relativa al cambiamento climatico e alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, Reddy et al. hanno analizzato gli approcci chiave per decarbonizzare il settore edilizio con l'obiettivo di un consumo energetico netto pari a zero, promuovendo la possibilità di interazione con la rete e la sostenibilità, nonché di integrazione delle fonti rinnovabili nel parco edilizio utilizzando tecnologie avanzate ed effettuando una valutazione dei possibili attuali sviluppi in campo edilizio. [13] Xu et al. hanno condotto uno studio analizzando un edificio campione NZEB con elevato isolamento termico situato in una zona climatica fredda, considerando un approccio non tradizionale per la progettazione di edifici a basso consumo energetico: la riduzione del fabbisogno di energia termica per il riscaldamento ed il raffrescamento è correlata al consumo di energia, mediante l'ottimizzazione con un'analisi quantitativa dei parametri termici dell'edificio. Inoltre, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, tecnologie energeticamente efficienti ed elevato isolamento termico hanno evidenziato elevata efficienza energetica con minime emissioni di CO₂ [14]

Ayr et al. hanno presentato nel loro lavoro scientifico una campagna di sensibilizzazione degli occupanti nei confronti dei consumi energetici in cui sono state utilizzate due app per smartphone, consentendo di mostrare agli utenti stessi il risparmio energetico e la qualità dell'aria indoor tramite dispositivi connessi ad un'unità di controllo, nonché la correlazione tra il monitoraggio delle azioni quotidiane con i risvolti energetici. [15] Prafitasiwi et al. hanno analizzato i criteri di consapevolezza energetica degli occupanti in un edificio adibito a campus di studi, mediante un questionario dedicato, individuando nel miglioramento delle prestazioni energetiche tre principali variabili critiche relative al consumo dell'energia elettrica: i) consapevolezza dell'esaurimento delle risorse; ii) condivisione delle risorse; iii) gestione dell'esaurimento delle risorse. [16] Allo stesso modo, utilizzando un questionario ad hoc, Vogiatzi et al. hanno condotto un'indagine per correlare le caratteristiche dell'edificio di residenza, con le abitudini energetiche ed il profilo socio-demografico, individuando sei principali modelli comportamentali energetici:

1. consapevole dell'ambiente;
2. rispettoso dell'ambiente;
3. adottante di pratiche di risparmio energetico;
4. risparmio energetico dipendente da motivazioni economiche;
5. non implicato nell'ambiente;
6. inconsapevole dell'ambiente.

Concludendo, pertanto, che la condotta energetica degli occupanti è fortemente influenzata da caratteristiche socio-demografiche ed economiche, quali l'età, il numero, il reddito dei nuclei familiari e che incentivi per la promozione di tecnologie di risparmio energetico per i nuclei con redditi bassi; nonché maggiore istruzione energetica potrebbero influire positivamente sulle abitudini di utilizzo energetico nel settore residenziale. [17]

Sul fronte della transizione energetica, numerosi studi sono stati condotti per comprendere quali tecnologie sono principalmente coinvolte e quali benefici possono essere ottenuti mediante il loro utilizzo. [18] [19] [20] [21]

Wang. et al. hanno analizzato l'impatto dell'utilizzo di energia da fonti rinnovabili sul processo di transizione energetica, confrontando due Paesi Europei climaticamente differenti e diversi sotto il profilo della domanda energetica e della produzione. In particolare, mediante l'attuazione di due principali scenari (base e di transizione, mediante la sperimentazione con l'utilizzo di quote di rinnovabili differenti) hanno rilevato che la transizione energetica da fonti rinnovabili ha impatto molto positivo nella riduzione delle emissioni di CO₂. [21]

Per ottenere quest'ultimo risultato, la transizione energetica, compatibilmente con la convenienza, la soddisfazione delle richieste di domanda della popolazione e il contesto politico-economico, deve essere protagonista di uno scenario in cui anche le fonti fossili di energia, ancora utilizzate su larga scala, vengano sostituite da FER e tecnologie in grado di garantire lo sviluppo di una rete elettrica a basse emissioni di CO₂ e gas serra che impattano negativamente sul cambiamento climatico globale. [22]

Mohammad et al. hanno individuato nell'utilizzo del gas naturale come fonte di energia, "una migliore soluzione per una transizione sostenibile verso le energie rinnovabili in qualsiasi paese del mondo, grazie alla sua competitività nei confronti di altri combustibili fossili come il carbone e alla sua capacità di favorire l'integrazione delle energie rinnovabili", considerando che l'utilizzo di gas naturale è compatibile con l'abbinamento a fonti di energia rinnovabile. [23]

Anche per il settore dei trasporti, la sostituzione di veicoli con motore a combustione interna con un parco elettrico, combinata all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, si possono trarre benefici in termini di riduzione delle emissioni e miglioramento della salute negli ambienti urbani [24] [25]

Tuttavia, ci sono numerose azioni su larga scala da intraprendere affinché gli obiettivi energetici fino ad ora enunciati si concretizzino, tra cui:

- limitare la deforestazione e promuovere le piantagioni per migliorare la qualità dell'ambiente; [26]
- utilizzare tecnologie che consentono la cattura e il sequestro del carbonio, che modulino le proprietà radiative delle radiazioni solari; [22]

-
- applicare strategie di mitigazione delle emissioni; [22]
 - realizzare un mercato unico europeo dell'energia per maggiore flessibilità ed affidabilità nella produzione di energia; [21]
 - migliorare la capacità di stoccaggio dell'energia elettrica; [21]
 - individuare di nuove metriche chiave (energia primaria totale e il relativo indicatore di efficienza energetica e intensità energetica, nonché capacità di generazione di energia elettrica) stanno diventando non rappresentative con l'elettrificazione e la decarbonizzazione su larga scala del sistema elettrico; [27]
 - incrementare l'istruzione energetica della popolazione;
 - sensibilizzare l'occupante in termini di abitudini energetiche [28];
 - utilizzare sistemi e dispositivi innovativi in grado di migliorare il monitoraggio e la correlazione tra impianti e necessità dell'occupante.

1.1.3 ICT e IoT negli edifici

Gli edifici rappresentano le aree dominanti in cui gli individui trascorrono la maggior parte della propria quotidianità e in cui impiegano grandi quantità di risorse ed energia. [29]

Essi rappresentano una delle principali cause di interesse verso la riduzione del consumo energetico, la transizione energetica sostenibile, l'impatto delle emissioni di gas serra [28]

Infatti, il 40% del consumo energetico globale, dipende dal settore edilizio, di cui gli impianti HVAC (riscaldamento, raffrescamento e ventilazione) determinano il 40% del consumo energetico degli edifici. [30] [31]

Numerosi studi, hanno evidenziato che l'implementazione di soluzioni ICT (Information and Communication Technologies) [32] [33] [34] consente agli edifici di ottenere un risparmio energetico significativo svolgendo un ruolo cruciale nell'incremento delle performance energetiche, per esempio attraverso la correlazione e l'interazione tra più sistemi e tecnologie presenti all'interno dell'edificio al fine di migliorare il controllo ed il funzionamento [35] [36] [37].

L'articolo discute le prospettive di aumentare il livello di interazione sociale degli utenti dell'edificio attraverso l'uso sistematico delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) e, in particolare, di alcune piattaforme specifiche. Il sistema ICT, raccogliendo informazioni dagli occupanti in modo concentrato, può essere uno strumento importante per raccogliere dati, provenienti sia da sensori fisici che da persone, per sviluppare una strategia di controllo multi-obiettivo per i sistemi di riscaldamento, ventilazione e raffreddamento dell'aria (HVAC) al fine di ottenere risparmi energetici bilanciando il comfort degli utenti e le condizioni di salubrità. [38]

1.2 Sistemi BACS: Building Automation Control Systems

1.2.1 Quadro legislativo

In risposta alle esigenze del nostro pianeta riguardanti il miglioramento delle condizioni ambientali, la riduzione dell'inquinamento globale, la necessità di decarbonizzazione, l'incremento della consapevolezza nell'utilizzo di energia e molteplici aspetti derivanti, è stato concepito un nuovo paradigma edilizio: "Near Zero Energy Buildings – nZEB" [39][40][41]. Questi edifici, appunto ad energia "quasi zero" sono caratterizzati da tecnologie avanzate di automazione e controllo, nonché impianti tecnici in grado di contrastare il dispendio di energia quotidiano e favorire il recupero di quella che altrimenti andrebbe persa. Infatti, tali edifici, vengono realizzati nell'ottica di rispondere alle necessità di cui sopra, rispecchiando le recenti direttive europee in tema di energia, di riduzione delle emissioni di CO₂ e di gas serra. I sistemi BACS (Building Automation Control Systems) consistono in dispositivi, logiche o sistemi fisici dotati di hardware e software che vengono applicati all'interno degli edifici per avere il controllo degli impianti, dei dispositivi elettronici e degli elettrodomestici. I sistemi BACS, sono utilizzati anche per il monitoraggio della sicurezza degli edifici, come ad esempio le telecamere di sorveglianza, il controllo accessi, il controllo presenza degli occupanti, gli allarmi antincendio ed i sensori di movimento.

A tal proposito, con il nuovo emendamento della Direttiva Europea EPBD IV (2024/1275) [42] del 24 aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia, l'Unione Europea ha avuto come obiettivo il potenziamento delle soluzioni attuabili per le performance energetiche del parco edilizio, riprendendo i punti analizzati nelle precedenti Direttive UE, tra cui la recente 2023/2413 [7]. La EPBD IV (nota anche come Direttiva Case Green), analizza molteplici aspetti, che si riportano di seguito in ordine dall'Art.3 all'Art.15:

- Piano nazionale di ristrutturazione degli edifici: una soluzione pensata affinché ogni Stato membro possa stabilire un piano nazionale di ristrutturazione del proprio parco edilizio (edifici residenziali e non, pubblici e privati) in modo da raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione ed efficienza energetica entro il 2050, trasformando il parco edilizio attuale in un parco nZEB;
- Adozione di una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici;
- Requisiti minimi di prestazione energetica: la soluzione prevede di fissare dei livelli minimi che devono essere rispettati dagli edifici (esistenti e nuovi, di qualsiasi tipologia), calcolando la performance energetica secondo la metodologia prevista nell'articolo 4. della

presente Direttiva [42]. Ad esempio, fissare i requisiti minimi per gli elementi di impianto o edilizi al fine di rendere significativo l'impatto tra efficienza energetica e costi;

- Calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica: la soluzione consente da parte degli Stati Membri di aggiornare periodicamente la Commissione mediante una relazione descrivente il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi. Nel caso in cui non siano efficienti, deve avvenire un adeguamento degli stessi entro 24 mesi;
- Edifici di nuova costruzione ad emissioni zero;
- Miglioramento delle performance energetiche degli edifici esistenti;
- Norme minime di prestazione energetica per edifici non residenziali e traiettorie per la ristrutturazione progressiva del parco immobiliare residenziale;
- Energia solare negli edifici;
- Edifici ad emissioni zero: gli Stati Membri devono adottare le misure necessarie affinché la domanda di energia di questa tipologia di edifici rispetti una soglia massima;
- Passaporto di ristrutturazione: un'importante novità che prevede che gli Stati Membri debbano introdurre un sistema per i passaporti di ristrutturazione come previsto dall'allegato VIII;
- Sistemi tecnici per l'edilizia;
- Infrastrutture per la mobilità sostenibile;
- Predisposizione degli edifici all'intelligenza.

In particolare, per i sistemi di automazione e controllo, la Direttiva [42] prevede che gli Stati Membri definiscano dei requisiti per gli edifici non residenziali affinché siano dotati di sistemi di automazione e controllo. Per gli edifici residenziali, i sistemi di automazione e controllo rientrano nei principali obiettivi da raggiungere entro il 29 maggio 2026, ossia la riduzione del consumo medio di energia primaria e raggiungere la soglia del 43% del parco edilizio con le prestazioni peggiori oggetto di riqualificazione. Inoltre, considerato che la valutazione dell'intelligenza degli edifici è uno degli obiettivi da perseguire, la Direttiva [42] prevede che "l'indicatore della predisposizione all'intelligenza dovrebbe sensibilizzare i proprietari e gli occupanti sul valore dell'automazione degli edifici e del monitoraggio elettronico dei sistemi tecnici per l'edilizia e dovrebbe rassicurare gli occupanti circa i risparmi reali di tali nuove funzionalità potenziate". Della predisposizione all'intelligenza, è particolarmente importante considerare la trasversalità degli impianti presenti negli edifici, in modo che i sistemi BACS possano gestire l'intera struttura adattandolo alle esigenze degli occupanti e della rete.

1.2.2 Analisi di letteratura e stato dell'arte

Ad oggi, l'IoT ed i sistemi di automazione e controllo, possono essere definiti come una rete che consente l'interconnessione di persone e dispositivi in tempo reale ed in qualunque luogo ed istante [43] mediante l'utilizzo di software ed hardware che immagazzinano, processano dati e li comunicano attraverso Internet. I sistemi di automazione e controllo, hanno molteplici caratteristiche positive:

- incrementare la stabilità della rete;
- velocizzare la domanda degli occupanti;
- facilitare l'integrazione delle fonti di energia rinnovabile nei sistemi energetici [44]
- incrementare la sicurezza dei sistemi;
- ottimizzare il consumo energetico in tempo reale;
- riduzione dell'impatto ambientale;
- diminuzione dei costi di gestione degli edifici;
- risparmio energetico [44] [45]

Allo stato attuale, è stato registrato un incremento dell'applicazione delle tecnologie dell'Internet of Things (IoT) all'interno degli edifici, sia residenziali che non residenziali, in modo da rendere questi ultimi performanti ed intelligenti. Infatti, gli attuali sistemi, consentono di interagire con la rete e con gli occupanti, collegando dispositivi multipli, provvedere al trasferimento di informazioni, ottimizzare l'utilizzo dell'energia [46]. Inoltre, è necessario sottolineare come tali sistemi siano in grado di gestire anche la sicurezza degli edifici, mediante dei dispositivi collegati via wireless, scongiurando la possibilità di eventi dannosi per gli occupanti, come i cosiddetti "passive attacks", il furto di informazioni oppure l'accesso diretto in area da parte di non autorizzati all'accesso [47].

Tuttavia, nonostante la diffusione, i sistemi BACS sono stati maggiormente applicati negli edifici non residenziali (uffici, commerciali, healthcare etc.), mentre negli edifici residenziali sono ancora in via di sviluppo e di applicazione. [47]

Pur essendo tali sistemi in continua evoluzione, esistono ad oggi delle criticità:

- difficoltà nell'elaborare analisi dati complesse: sono necessari strumenti aggiuntivi avanzati per eseguire ulteriori analisi dei sistemi energetici integrati [48];
- problematicità di gestione delle analisi di manutenzione e prevenzione dei guasti: molteplici funzionalità in un sistema integrato sono più complesse da esaminare [49];
- mancanza di predisposizione adeguata per il cablaggio dell'infrastruttura di rete [49];

-
- non sono in grado di interagire con le soluzioni di altri fornitori senza costi aggiuntivi generali, vincolando i clienti a specifiche linee di prodotti (un problema importante se tali linee vengono interrotte) [49];
 - hanno specifiche tecniche poco ampie [50];
 - “sono troppo complesse per essere utilizzate da personale non specializzato, siano essi utenti finali o sviluppatori di sistemi” [50];
 - “funzionano in modo soddisfacente solo nelle condizioni esatte per cui sono state adattate, non funzionano così bene se l'ambiente di lavoro cambia, quindi mancano di flessibilità” [50];
 - spesso non hanno tutte le funzionalità che rispecchiano in pieno un sistema BACS [50];
 - difficoltà ad integrare in un'unica configurazione di controllo molteplici workstation per l'amministrazione dei sistemi [51];
 - spesso necessitano di interfacce utente più semplici ed intuitive nell'utilizzo [52];
 - necessità di aumentare le performance dell'interoperabilità tra i diversi sistemi [53];

Nonostante i sistemi di automazione e controllo negli edifici abbiano bisogno di essere ancora perfezionati e la maggior parte degli edifici esistenti abbia necessità di riadattamento per l'installazione di tali sistemi, la prospettiva di miglioramento ed i benefici concessi da queste tecnologie sono impattanti per l'incremento delle performance edilizie ed impiantistiche. Pertanto, gli edifici sono destinati a divenire sempre più intelligenti in modo direttamente proporzionale all'integrazione di dispositivi, sistemi e tecnologie avanzate come l'IoT e i big data: [44] da qui il concetto di “smart building”. Quest'ultimo, può essere esteso ad ampio raggio considerando le “smart cities”, ossia letteralmente “città intelligenti”, costituite da infrastrutture di rete e impiantistiche, edifici e collegamenti altamente performanti dal punto di vista dell'automazione e dell'interazione con la rete, in cui i cittadini, nonché utenti finali, sono coinvolti in un processo di gestione dell'energia che comporta molteplici vantaggi in termini di costi, praticità, velocità tra domanda e risposta, interazione tra i sistemi e sostenibilità ambientale.

1.2.3 Smart Cities & Smart Buildings

Gli edifici intelligenti (“smart buildings”) sono progettati in modo da includere tecnologie altamente performanti, tra cui sensori, smart meters, centraline di controllo, sistemi hardware di interconnessione, software di analisi dei dati, dispositivi di monitoraggio degli impianti. In particolare, è emersa sempre di più l'importanza di edifici che non solo rispettino stringenti requisiti prestazionali (i.e., NZEB) ma che associno a tale caratteristica la possibilità di interagire in maniera attiva con gli utenti e con le reti. In questa accezione, gli “Smart Building” inglobano una serie di fattori migliorativi, che meglio aderiscono con gli obiettivi Europei [54], ossia: i) possibilità per

occupanti e operatori di comunicare con l'edificio in modo agevole [55]; ii) raccolta di informazioni utili da e per l'occupante; iii) possibilità di comunicazione con la rete elettrica [56]; iv) applicabilità di sistemi per il controllo del carico sulla rete elettrica [57]; v) maggiore sicurezza [58,59]; vi) maggiori comfort e convenienza [60]; vii) riduzione delle emissioni di CO₂ [61]; viii) riduzione dei costi operativi (riscaldamento, raffrescamento, illuminazione) [62].

All'interno di un edificio le tecnologie avanzate possono essere applicate a molteplici sistemi:

- HVAC
- Illuminazione
- Involucro dinamico
- Sistemi di sicurezza
- Sistemi di monitoraggio e controllo
- Acqua calda sanitaria (ACS)
- Controllo e gestione degli impianti da fonti rinnovabili
- Ricarica dei veicoli elettrici

HVAC

I sistemi HVAC sono responsabili di un grande quantitativo di energia consumata negli edifici, soprattutto a causa dell'inefficienza degli stessi [63]. Di conseguenza, si è reso necessario intervenire sulla gestione di questi impianti, implementando soluzioni efficienti di controllo BACS/BEMS [64].

In commercio, sono applicate tecnologie, componenti intelligenti (valvole di regolazione, attuatori digitali integrati con sensori di temperatura e portata, sensori smart) e logiche (piattaforme IoT, portali web, applicazioni per smartphone) che consentono: i) il monitoraggio da remoto dei sistemi HVAC; ii) collegamento con cloud per il trasferimento di dati e comunicazione con utenti/stakeholders real time; iii) regolazione della portata dei flussi mediante BMS; iv) lavaggio e spurgo dell'impianto mediante BMS; vi) pianificazione delle attività di manutenzione; regolazione della temperatura di ritorno da sistema centralizzato; vii) elevati standard di qualità dell'aria; viii) minor costo ed impatto ambientale; ix) autoapprendimento dei modelli di consumo per effettuare la regolazione automatica delle necessità utente; x) reportistica in tempo reale e basata sui dati storici oppure mediante forecasting/benchmarking.

In letteratura, sono presenti algoritmi, modelli e logiche sperimentali al fine di migliorare il controllo dei sistemi HVAC. Una soluzione ottimale consiste nel controllo predittivo basato su modelli, che consente un risparmio energetico controllando il funzionamento del sistema sulla base della previsione nell'orizzonte futuro dei costi di sistema. Tali modelli, possono essere di diversa tipologia (white box, black box e grey box) e sono impiegati spesso per effettuare previsioni di temperatura all'interno degli edifici (es. metodi di calibrazione) [65][66]. Alcuni

autori, come Palaic et al, Arendt et al, Figueredo et al, Guyot et al. hanno creato, applicato, analizzato modelli predittivi (in particolare white box) per la valutazione della temperatura interna degli edifici analizzati, raggiungendo notevole accuratezza nei risultati [67]. Oppure, agendo su più fattori, come la riduzione del consumo di elettricità dell'edificio, la massimizzazione del comfort degli occupanti, Shi et al. hanno implementato un modello di previsione dell'occupazione per il controllo dei sistemi HVAC hanno proposto una strategia per il controllo intelligente dei sistemi HVAC, utilizzando il controllo predittivo per il carico HVAC nell'ambito della tariffazione dinamica dell'elettricità in tempo reale [63][68]. In sintesi, sia in commercio che in letteratura sono presenti molti dispositivi e studi che cercano di attuare delle soluzioni per migliorare i sistemi di raffrescamento e riscaldamento, con l'obiettivo di agire su più parametri e funzionalità.

Illuminazione

I sistemi intelligenti per l'illuminazione (SLS), consentono di regolare il funzionamento della luce negli ambienti mediante comando vocale, sensori di presenza o da smartphone. Non solo, è possibile ottenere anche una gestione da remoto, quando l'utente fisicamente non è sul posto e ciò comporta un importante vantaggio in termini di sicurezza (es. necessità di luce negli spazi esterni ed interni in zone buie, prima del rientro). Restando in tema di sensori, attualmente per l'illuminazione ne esistono in commercio diverse tipologie: con impostazione regolabile (diurna/notturna), collegabili a sistemi BACS centralizzati, sensori di movimento automatici di presenza entro un certo campo di rilevamento. I sistemi SLS, consentono non solo di effettuare lo spegnimento e l'accensione delle luci, ma anche di regolare la luminosità, cambiare i toni di colore, programmare automaticamente l'accensione in base alle scene di luce impostate durante l'utilizzo quotidiano. Grazie agli strumenti di assistenza vocale, come Amazon Alexa, Siri Shortcut o Google Assistant, le luci possono essere controllate anche vocalmente, senza l'utilizzo di applicazioni da smartphone o pannelli centralizzati da cui selezionare le impostazioni desiderate. I sistemi smart per l'illuminazione hanno dei vantaggi anche sul fronte economico, risparmio energetico e ambientale: l'utilizzo di dimmer e di sensori di presenza/movimento consentono di illuminare gli ambienti solo quando effettivamente ci sono persone presenti e di regolare l'illuminazione in base allo scenario di luce esterno. Pertanto, le lampadine hanno una durata più lunga, l'utilizzo dell'energia elettrica è limitato al tempo di permanenza degli occupanti nelle stanze, invece, l'impostazione degli orari di accensione e spegnimento e il controllo da remoto, sono utili per avvisare l'utente nel caso in cui le luci siano rimaste accese (in mancanza di sensori di controllo).

In letteratura, sono presenti diversi studi che analizzano i benefici della smart lighting e che implementano soluzioni per gli edifici [69][70], ma anche per le intere città [71]. Generalmente,

con i recenti sviluppi nelle tecnologie di illuminazione, come i LED e il controllo digitale della luce, è necessario considerare una connessione tra l'illuminazione smart e l'IoT con impatti positivi su molteplici settori (economia, tecnologia, utente finale) e sul valore aggiunto degli edifici e del rapporto con gli stakeholder del settore [72].

Anche il benessere dell'utente è al centro della smart lighting e lo dimostrano numerosi studi condotti, riguardanti le risposte fisiologiche degli occupanti, il ritmo circadiano, il miglioramento del sonno e delle azioni quotidiane, gli effetti dell'illuminazione sull'attività periferica [73].

Involucro dinamico

La necessità di ottenere edifici in grado di autoregolarsi agli stimoli ambientali e a parametri termo-fisici (temperatura, pressione, irraggiamento, umidità etc..) ha generato l'interesse di studiosi e case costruttrici nel realizzare dei sistemi di schermature solari in grado di adattarsi alle esigenze degli occupanti e ai fattori provenienti dall'esterno. In passato, la gestione manuale delle schermature solari era demandata unicamente all'azione dell'utente ed i materiali utilizzati erano principalmente il legno, l'alluminio ed i tendaggi. Tuttavia, il controllo manuale in questo ambito ha degli svantaggi importanti: i) nel caso in cui l'utente non sia fisicamente nell'edificio, non è in grado di gestire da remoto situazioni di emergenza come temporali improvvisi o eccessiva radiazione solare nei giorni caldi; ii) la regolazione del grado di copertura è soggettiva e basata sulle percezioni, non è connessa alle esigenze di risparmio energetico; iii) gli schermi sono indipendenti dai rimanenti impianti, pertanto non è possibile sfruttare la simultaneità nella convenienza di interazione (es. con i sistemi HVAC). Di rimando, sono state sviluppate delle soluzioni intelligenti tali da sopperire alle criticità dei sistemi tradizionali, che utilizzano sensori, centraline e attuatori smart. In commercio, esistono tecnologie in grado di combinare materiali dalle caratteristiche fisico-chimiche altamente performanti (e.g. smart materials: polimeri, leghe metalliche reversibili, materiali piezoelettrici...) con tecnologie che consentono il controllo automatico da remoto delle schermature. Le principali caratteristiche dell'involucro dinamico intelligente, possono essere riassunte come segue:

- facilitazione dell'occupante: i sistemi elettrici di chiusura e di apertura sono utili soprattutto in caso di impossibilità nel manovrare manualmente gli schermi, inoltre richiedono meno dispendio di energia e tempo;
- interoperabilità tra i sistemi: i sensori, comunicando con un processore centrale, trasferiscono le informazioni apprese dall'ambiente (abitudini, variazioni, sollecitazioni ambientali, richieste dell'utente) per la regolazione del set-point combinato con i parametri di sistemi interconnessi (BACS centralizzato, HVAC, sistemi da fonti rinnovabili);
- integrazione architettonica: l'involucro dinamico è progettato generalmente con materiali che garantiscono elevate prestazioni (resistenza meccanica, isolamento termico,

trasmissione, permeabilità dell'aria) e design innovativo, per renderne armonico l'inserimento nel contesto costruttivo;

- risparmio energetico: l'indipendenza dalla gestione da parte dell'utente ed il potenziamento dell'interconnessione tra impianti termici, consentono la diminuzione della domanda di riscaldamento e raffrescamento;
- benessere termoigrometrico: l'autoregolazione degli elementi oscuranti e la sinergia tra sistemi di riscaldamento e raffrescamento, garantiscono comfort automatico negli ambienti;
- isolamento acustico: utilizzando schermi dai materiali performanti, combinati con la tecnologia di automazione, è possibile ottenere una riduzione dei rumori percepiti dall'esterno;
- sicurezza: la gestione da remoto, mediante applicazione da smartphone, consente di effettuare la chiusura degli schermi anche da lontano, in modo da garantire protezione contro le intrusioni esterne;

In letteratura, esistono molteplici studi che analizzano sia le tecnologie utilizzate in ambito edilizio, sia quelle utilizzate per l'automazione e controllo, valutando impatti ambientali, economici, dinamici, architettonici e adattativi [74][75][76], tecnologie impiegate negli involucri dinamici si concentrano prevalentemente sul loro utilizzo in combinazione con impianti fotovoltaici, le pompe di calore sono valutate in bassa percentuale degli studi condotti a causa della difficoltà di integrazione con tali sistemi e ancor più pochi sono quelli che considerano elementi termoelettrici in combinazione [77].

Esistono, per tali sistemi, ancora delle lacune da colmare, ad esempio:

- la maggioranza degli studi condotti analizza l'involucro dinamico dal punto di vista del risparmio energetico trascurando l'aspetto delle esigenze degli occupanti [77];
- l'accoppiamento tra involucro dinamico con vetri colorati per il miglioramento delle prestazioni luminose è ancora oggetto di pochi studi [78];
- la maggior parte degli studi è incentrato sulla risoluzione del problema legato all'illuminazione diurna interna attraverso strumenti parametrici, mentre non sono incentrati su una strategia di controllo per le prestazioni delle facciate adattive non convenzionali [79].

Sistemi di sicurezza

Il tema della sicurezza è cruciale negli edifici e comprende sei principali aspetti:

- sicurezza informatica: i dati provenienti dagli edifici trasmessi nei cloud hanno bisogno di un elevato livello di protezione, in particolare dati sensibili riguardanti gli occupanti;
- protezione accessi non autorizzati: i moderni sistemi antintrusione adottano delle logiche intelligenti, basate sull'utilizzo di sensori di presenza, infrarossi ed allarmi che possono

essere collegati direttamente ad una centrale di sicurezza. Inoltre, le telecamere di videosorveglianza possono essere collegate in tempo reale ad applicazioni per smartphone che l'utente può consultare in qualsiasi momento controllando lo stato dei luoghi;

- salute e benessere: la sicurezza è direttamente collegata allo stato di salute dell'utente, infatti, attualmente esistono dispositivi in grado di funzionare da remoto, collegati ad una centralina e ad applicazioni per smartphone, che consentono di registrare le abitudini utente (come lo stato di salute, la routine sanitaria), in questo modo è possibile monitorare e avviare in caso di necessità chiamate di emergenza;
- antincendio: rilevatori di fumo, di CO₂, sistemi antipanico e sirene di allarme garantiscono prontamente l'individuazione di principi di incendio e, talvolta, i sistemi più avanzati possono essere connessi direttamente alle centrali di protezione e/o ad applicazioni da smartphone degli occupanti;
- rilevamento perdite: possono essere utilizzati dei sistemi con sensori dell'acqua che rilevano allagamenti oppure perdite nelle condotte;
- rilevamento infrazioni: grazie all'installazione di sensori specifici, possono essere individuate rotture di finestre e vetri dell'edificio;

In commercio, quindi, esistono molteplici sistemi intelligenti che supportano gli occupanti nei temi della sicurezza. Tuttavia, bisogna considerare una serie di esigenze (es. dimensione dell'edificio, presenza di animali domestici, monitoraggio connesso alla centrale, auto-monitoraggio, costi di gestione e di installazione, possibilità di installazione di sensori o sistemi ad infrarossi...) in base alle quali scegliere il sistema più adeguato.

I numerosi studi presenti in letteratura, dimostrano che la sicurezza degli edifici è stata resa sempre più smart nel corso degli anni, per garantire standard elevati e soprattutto la possibilità di intervenire con tempistiche ridotte al minimo possibile.

Sistemi di monitoraggio e controllo

I sistemi di monitoraggio e controllo si estendono a molteplici applicazioni e impianti (acqua calda sanitaria, riscaldamento, raffrescamento, involucro dinamico, impianti fotovoltaici, sistemi di sicurezza, illuminazione). L'esigenza di poter conoscere in tempo reale i consumi, i dati in ingresso e in uscita ed i parametri di funzionamento degli impianti presenti negli edifici, ha generato l'implementazione di logiche di controllo e monitoraggio applicabili attraverso tecnologie all'avanguardia, che conferiscono all'edificio notevole autonomia di gestione. Generalmente, tali sistemi, sono basati sull'IoT, che consente l'installazione di sensori tali da garantire il continuo monitoraggio dei parametri interni ed esterni dell'edificio, come temperatura ed umidità [80].

Inoltre, il beneficio di avere dei meccanismi di controllo, consente di ridurre il consumo energetico incrementando l'efficienza energetica dell'edificio [81].

In commercio, sono presenti soluzioni mirate a monitorare, ad esempio:

- consumi;
- funzionamento degli impianti e dispositivi associati;
- parametri termoigrometrici;
- CO₂
- abitudini utente;
- malfunzionamenti e guasti;
- gestione degli impianti da fonti rinnovabili;
- controllo accessi

In generale, i sistemi di monitoraggio e controllo rappresentano il core dei sistemi di automazione e controllo, in quanto consentono l'interazione tra diversi impianti e dispositivi, creando una solida rete di collegamento in grado di rendere l'edificio indipendente dal punto di vista energetico e comunicante con gli occupanti in maniera efficiente.

Acqua calda sanitaria

Studi condotti in edifici NZEB e ad alta efficienza energetica, mostrano che il 40-50% del consumo totale di energia è determinato dalla produzione di acqua calda sanitaria [82]. Questi dati in percentuale, dimostrano come attualmente è ancora presente la necessità di dover ridurre l'utilizzo di ACS negli edifici, sia residenziali che non, mirando ad una corretta informazione energetica di gestione. Alcuni accorgimenti, come non lasciare i rubinetti aperti quando non c'è immediato utilizzo, evitare di usare l'acqua calda per impieghi in cui può essere funzionale anche l'acqua fredda, riparare tempestivamente perdite e gocciolamenti da tubazioni e monitorare le abitudini di consumo, possono essere utili nella corretta gestione di questo bene prezioso. A sostegno della riduzione dei consumi di ACS, attualmente esistono tecnologie che ne consentono il controllo su più fronti:

- scaldacqua elettrico smart: con gestione da remoto tramite smartphone, sistemi di monitoraggio della temperatura e dell'acqua a istanza, report energetico e parametri chimico-fisici, con misurazione della temperatura dell'acqua basandosi su modelli di consumo o istruzioni impostate dall'utente;
- caldaia a condensazione smart: ne esistono diversi modelli, tra cui quelli con possibilità di autoadattare la produzione di calore in base alla potenza erogata, con collegamento ad

applicazioni da smartphone per il controllo remoto, termostato smart e a cui viene aggiunta la compatibilità per le funzioni supportate dall'IoT oppure modelli che oltre a queste caratteristiche integrano anche una piattaforma cloud su cui veicolano i dati di utilizzo;

- scaldacqua a pompa di calore smart: esistono in commercio delle soluzioni integrate con pompa di calore per la produzione di ACS combinate ad impianto fotovoltaico o solare termico, la cui gestione può avvenire da remoto mediante controllo con app dedicata da smartphone e le cui impostazioni di consumo possono essere regolate sulla base dei comportamenti dell'utente, di impostazioni fisse;

Ciascun sistema, può essere integrato con un sistema di reportistica che mostra all'utente i dati di consumo (storici ed in tempo reale), nelle tecnologie più avanzate anche con benchmarking o forecasting.

In letteratura, numerosi sono gli studi che mirano a soluzioni innovative per la gestione dell'acqua calda sanitaria, in particolare considerando:

- l'efficienza dei sistemi di stoccaggio [83][84];
- le tecnologie smart connesse al sistema BACS dell'edificio [85][86];
- i sistemi e gli algoritmi di misura [87][88][89];
- gli impianti e i sistemi di erogazione [86][90];
- il comportamento degli utenti [91][92];
- l'integrazione con la smart grid [92].

Controllo e gestione degli impianti da fonti rinnovabili

Gli impianti di generazione da fonti rinnovabili si stanno diffondendo largamente in tutte le città europee: le nuove Direttive, infatti, hanno come obiettivo l'incremento della produzione di energia da FER, nell'ottica del rispetto dei protocolli ambientali e della necessità di avere un parco edilizio decarbonizzato entro il 2050. Per massimizzare l'efficienza di tali impianti, si trovano in commercio delle soluzioni altamente efficienti, che combinano le tecnologie impiantistiche con quelle informatiche, in modo da coinvolgere l'utente e di ottenere il massimo risparmio possibile in termini energetici ed economici. Ad esempio, per gli impianti solari termici e fotovoltaici, sono state brevettate delle centraline dedicate che consentono in tempo reale di leggere tramite un monitor centralizzato i consumi di acqua, la quota impiegata, la temperatura dell'acqua nel serbatoio e la temperatura dell'acqua in circolo. Gli occupanti, inoltre, hanno la possibilità di verificare da smartphone i dati di consumo, i report attuali e storici, i dati di utilizzo preimpostati, i parametri di funzionamento (temperatura, umidità, portata). Inoltre, alcuni sistemi avanzati integrati con la Smart Grid, hanno la possibilità di memorizzare le abitudini di utilizzo e impostare automaticamente le preferenze di gestione degli utenti, garantendo una fornitura di

energia elettrica stabile, sostenibile e ottimizzata dal punto di vista dei costi. Il vantaggio dei sistemi che consentono l'interazione degli impianti di produzione da FER con la rete intelligente, sono molteplici: i) gestione dei cali e degli aumenti nella produzione di energia; ii) distribuzione della generazione di energia; iii) sinergia nella produzione; iv) continuità nella produzione anche in caso di raggiungimento della quota massima; v) maggiore consapevolezza di utilizzo da parte dell'utente finale. In letteratura, esistono diversi studi che analizzano i dispositivi smart per il controllo e la gestione degli impianti da FER, nonché l'associazione con la Smart Grid e il Demand Response [93][94][95].

Ricarica dei veicoli elettrici

Nel corso degli anni, dalle semplici wallbox per la ricarica dei veicoli elettrici, c'è stata un'evoluzione anche dal punto di vista della gestione. Infatti, se inizialmente era prevista unicamente la possibilità di ricarica incontrollata e senza funzioni di reportistica relative alla connettività (l'utente aveva contezza della percentuale di carica solo dal monitor del proprio veicolo), successivamente si sono sviluppate delle tecnologie che hanno consentito il controllo locale della carica oppure tramite la rete elettrica. Attualmente, esistono dei sistemi in grado di effettuare reportistica relativa alla ricarica del veicolo verso l'occupante. Inoltre, l'utente può essere esso stesso fornitore di energia elettrica alla rete, mediante la tecnologia V2G (vehicle to grid), in quanto durante la ricarica le batterie delle auto possono essere utilizzate come sistemi di accumulo connessi alla rete, in cui svolgono una duplice funzione: accumulare quando l'energia è prodotta in eccesso e cedere quando il fabbisogno di consumi giunge al picco. Oltre i vantaggi che derivano dall'applicazione di queste tecnologie, come il maggior controllo della produzione di energia, l'ottimizzazione dei consumi, i benefit economici, l'associazione con gli impianti di produzione da fonti rinnovabili sono in grado di dare un'ulteriore valore aggiunto ai sistemi. Infatti, l'utilizzo del V2G, consente di stabilizzare la produzione di elettricità non costante degli impianti di produzione da FER, in quanto la continuità è data dalle batterie di accumulo delle auto elettriche che immagazzinano energia in eccedenza. In letteratura, sono numerosi gli studi che analizzano l'ottimizzazione della ricarica dei veicoli elettrici e dell'integrazione con le tecnologie negli edifici: Guzman et al, hanno espresso come "la tendenza in crescita dei veicoli elettrici e del fotovoltaico integrato negli edifici sia un mezzo promettente per ridurre i problemi legati al cambiamento climatico. I carichi dei veicoli elettrici possono essere gestiti tramite un aggregatore per massimizzare l'utilizzo dell'energia verde prodotta dalle unità fotovoltaiche attraverso strategie di ricarica intelligenti che sfruttano la domanda controllabile di veicoli elettrici collegata all'impianto fotovoltaico di edificio"[96]. Marmaras et al. hanno implementato un algoritmo di

controllo che utilizza il V2G per ridurre i picchi di domanda dell'edificio o ridurre il costo giornaliero dell'elettricità [97] Koivuniemi et al. hanno implementato uno studio per la ricarica intelligente dei veicoli elettrici in un edificio di tipo ufficio [98]. Wi et al. hanno presentato un metodo di ricarica smart per i veicoli elettrici in abbinamento ad un impianto fotovoltaico, in cui il prototipo per la gestione dell'energia nell'edificio (EMS) [99][100][101] è in grado di fornire indicazioni di ricarica all'utente in base alle preferenze [102].

I sistemi integrati, come nel caso degli EV charger in combinazione agli impianti da FER, comportano dei vantaggi notevoli e sono rappresentativi di un traguardo importante: l'integrazione tra sistemi comporta l'amplificazione degli aspetti positivi delle tecnologie, un rafforzamento delle caratteristiche migliori per l'incremento delle performance negli edifici smart.

In conclusione, è possibile affermare che l'implementazione di sistemi intelligenti costituenti gli edifici, potrebbero trasformare il parco edilizio in un insieme di unità interagenti tra loro mirate a unificare il benessere ed il risparmio energetico attraverso una rete solida. Il concetto di "città intelligente" rispecchia appieno questi obiettivi, non solo dal punto di vista della tecnologia, ma anche del rispetto dell'ambiente circostante, dell'incrementare la stabilità nella distribuzione dell'energia da fonti rinnovabili e rendere gli utenti consapevoli che il luogo in cui vivono ha bisogno di misure di sostegno da parte di ciascuno per evitare sprechi di risorse naturali e azioni che hanno impatti climatici negativi. Una città smart, è caratterizzata dalla fusione delle tecnologie dell'IoT ed ICT [103][104] con le tradizionali infrastrutture, le quali sono gestite mediante logiche di controllo, dispositivi e tecnologie avanzate che riguardano edifici, ma anche servizi integrati ad essi. Tuttavia, un ruolo cruciale, oltre agli utenti, viene svolto anche dai governi e dalle amministrazioni, che hanno l'obiettivo di attuare delle misure volte al sostegno dell'avanguardia energetica e al coinvolgimento dei cittadini. Ad oggi, non esiste un modo per stimare il grado di intelligenza delle città, ma è possibile per gli edifici e le unità immobiliari, attraverso l'utilizzo di un indicatore di predisposizione all'intelligenza: lo Smart Readiness Indicator (SRI).

1.3 SRI – Smart Readiness Indicator

1.3.1. Contesto normativo e analisi di letteratura

La Energy Performance of Building Directive (EPBD) 2018/844/UE [105] (recepita in Italia con il D. Lgs. n. 48 / 2020) [106] e successivamente la recente Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 che modifica il regolamento (UE) 2023/955 ed entrata in vigore il 10 ottobre 2023 [107], hanno sottolineato l'importanza degli Smart Buildings, introducendo, in particolare, nell'art.8 della EPBD [105], un indicatore di predisposizione all'intelligenza noto come Smart Readiness Indicator (SRI), atto a fornire un quadro comune europeo per la valutazione e la promozione dell'intelligenza degli edifici. Tale indicatore ha l'obiettivo di misurare la capacità dell'edificio di adattare il proprio funzionamento alle esigenze sia dell'occupante sia della rete e di migliorare l'efficienza e la prestazione energetica complessiva. Il 22 Settembre 2020 è stato pubblicato il "Final Report on the technical support to the development of a Smart Readiness Indicator for buildings" [108] relativo al secondo studio tecnico promosso dalla Commissione Europea per fornire un supporto alla definizione e implementazione dello Smart Readiness Indicator e delineandone una metodologia di calcolo flessibile. Oltre a tale supporto, la Commissione Europea ha delineato una guida di riferimento per gli Stati Membri relativamente alle modalità di valutazione dell'indicatore e, il 14 Ottobre 2020, ha adottato i Regolamenti Delegato ed Esecutivo, nei quali sono definiti rispettivamente la metodologia di calcolo dello SRI e le eventuali modalità di attuazione del nuovo indice da parte dei singoli Stati membri.

In particolare, i servizi della Commissione europea (DG ENERGY) hanno commissionato e supervisionato due studi per dare supporto tecnico relativamente ad una metodologia comune e sui potenziali percorsi di attuazione di questo indicatore. In entrambe, è avvenuta un'intensa collaborazione con i portatori di interesse mediante riunioni, raccolta feedback, relazioni, consultazioni. Il primo studio tecnico, condotto nel marzo 2017 da un consorzio composto da VITO NV, Waide Strategic Efficiency Europe, Ecofys e Offis1 ha presentato una definizione e un progetto di metodologia per l'SRI. Il secondo studio tecnico avviato nel dicembre 2018 e concluso a giugno 2020 da un consorzio composto da VITO NV e Waide Strategic Efficiency Europe ha avuto come obiettivo il perfezionamento e la concretizzazione dell'SRI e della metodologia di calcolo. Quest'ultima, è stata testata in una prima versione beta durante una fase di testing aperta al pubblico, in cui sono state condotte 112 valutazioni provenienti da tutta l'Europa. Il test è stato

utile per avere degli spunti di miglioramento sulla metodologia e per informare la Commissione Europea e gli Stati Membri degli impatti potenziali dell'indicatore. [108]

Attualmente, lo Smart Readiness Indicator è in fase di test ufficiale (sostenuto dai team di supporto SRI e da uno o più attori tecnici) in 13 paesi dell'Unione Europea: Austria, Belgio (Fiandre), Bulgaria, Croazia, Cipro, Repubblica Ceca, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Polonia, Slovenia e Spagna. I riscontri delle fasi di test nazionali consentiranno di apportare degli adattamenti e dei miglioramenti nella procedura di valutazione dell'indicatore. Gli Stati Membri che per ora non sono coinvolti nella fase di test ufficiale, sono comunque incoraggiati a partecipare all'iniziativa e ad effettuare la valutazione dello SRI negli edifici dei propri territori. La fase di sperimentazione dell'indicatore è sostenuta dai progetti "LIFE" [109], lo strumento attraverso il quale l'Unione Europea promuove lo sviluppo delle misure a sostegno del clima e dell'ambiente (Green Deal, decarbonizzazione entro il 2050, obiettivi energia e clima entro il 2030, Protocollo di Kyoto). Sono stati avviati due progetti LIFE a partire dalla fine del 2022:

1. CET BUILD-PERFORM: comprende tre progetti che hanno come obiettivo il miglioramento del calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza, la durata è prevista fino al 2026;
2. CET SMART READY: comprende quattro proposte di sostegno per l'attuazione dello Smart Readiness Indicator, la durata è prevista fino al 2025.

A supporto dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza, la Commissione Europea ha elaborato 9 focus per ciascun dominio tecnico, volti a presentare ai lettori approfondimenti riguardo le modalità di valutazione dei servizi tecnici, dei criteri di impatto e dei livelli di funzionalità. Inoltre, sono stati presentati come esempio di casi di studio due edifici per i quali sono presentati i risultati del calcolo SRI, una panoramica degli aspetti che influiscono positivamente sulla valutazione e il potenziale di miglioramento.

In letteratura, sono stati trovati diversi studi, ma in numero ridotto, che analizzano in maniera dettagliata lo SRI, in riferimento sia alla metodologia di calcolo che all'applicazione a diversi edifici caso di studio. In particolare, Marzinger et al. [110] hanno descritto una metodologia semplificata per la valutazione quantitative dell'SRI, basata su modelli numerici, permettendo la categorizzazione degli edifici in base alla loro capacità di accumulo di energia, del potenziale spostamento del carico e dell'interazione degli edifici con la rete. Janhunen et al. [111] hanno valutato il calcolo dell'SRI negli edifici di paesi del nord Europa. In tale studio, la valutazione dei quattro smart ready services nel dominio Acqua Calda Sanitaria (ACS) è stata condotta su tre edifici campione evidenziando come, indipendentemente dalla lo SRI non sia in grado di

riconoscere le caratteristiche specifiche degli edifici a clima freddo, in particolare quelli che impiegano sistemi avanzati di teleriscaldamento. Gasparella et al. [112] hanno valutato l'impatto delle valutazioni soggettive sull'indicatore calcolato, adottando una valutazione in due fasi coinvolgendo due team di esperti, presentando una serie di raccomandazioni per un'efficace e ampia implementazione dell'indicatore SRI e di aumentare la comparabilità di tale indicatore per edifici con diversi livelli di intelligenza. Plienaitis et al [113] hanno effettuato la valutazione dello Smart Readiness Indicator per edifici scolastici, analizzando i possibili scenari per ottimizzare le prestazioni di questa tipologia di edifici.

Apostolopoulos et al. [114] hanno effettuato lo studio applicando la metodologia SRI in due tipologie di edifici residenziali: unifamiliari e plurifamiliari, in cinque paesi dell'UE, per valutare il costo di riqualificazione nel rendere smart gli edifici e valutare il punteggio SRI a seguito diversi scenari di retrofit. Similmente, per gli edifici del parco edilizio italiano, è stato effettuato uno studio da parte dell'Università degli Studi di Cassino ed ENEA, presentato nelle successive pagine di questo lavoro di tesi, [85] su edifici del parco edilizio nazionale, valutando lo Smart Readiness Indicator degli edifici allo stato originario e successivamente ad interventi di riqualificazione. Garzia et al. [115], hanno svolto un lavoro di valutazione SRI per 59 edifici ad elevate prestazioni di recente costruzione o recentemente ristrutturati in Alto Adige (Italia) e discutere la potenziale correlazione tra il livello di predisposizione intelligente e la classe di prestazione energetica dell'edificio.

1.3.2. Metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator

La metodologia di calcolo SRI è stata delineata, a seguito della consultazione con gli Stakeholder ed un primo beta testing europeo, nel "Final Report on the technical support to the development of a Smart Readiness Indicator for buildings" [108] relativo al secondo studio tecnico promosso dalla Commissione Europea per fornire un supporto alla definizione e implementazione dello Smart Readiness Indicator. Nel documento, sono stati proposti due metodi per il calcolo, a ciascuno dei quali corrisponde un catalogo dei servizi intelligenti contenente appunto una lista dei servizi tecnici smart:

- Metodo A (metodo semplificato): consiste in una rapida e semplice check-list dei servizi e principalmente viene utilizzato per gli edifici residenziali e per i piccoli edifici non residenziali. Il catalogo A contiene 27 servizi;
- Metodo B (metodo completo): consiste in una valutazione più dettagliata dello SRI, che si applica per lo più agli edifici non residenziali. Il metodo richiede un sopralluogo da parte del tecnico. Il catalogo B contiene 54 servizi.

Ogni catalogo elenca i servizi rilevanti nell'edificio e descrive i loro principali impatti attesi sugli utenti e sulla rete energetica. [108]

Inoltre, nel documento è menzionato un terzo metodo (Metodo C), che attualmente è considerato un'evoluzione futura del calcolo per lo Smart Readiness Indicator in quanto avrebbe l'opzione di quantificare le prestazioni effettive degli edifici in uso basandosi sull'auto-segnalazione futura dei livelli di funzionalità da parte dei sistemi TBS/BACS. Tale possibilità, va oltre l'ambito di applicazione previsto ad oggi per l'indicatore metodo, pertanto il metodo non viene trattato all'interno dello studio tecnico.

Per effettuare la valutazione dell'indicatore relativa all'edificio o all'unità immobiliare, l'asseveratore (che è rappresentato da un tecnico esperto) opta per uno dei due metodi e in base alla scelta, valuta i servizi smart presenti all'interno del catalogo. Nello studio tecnico, è indicato orientativamente il tempo di asseverazione utilizzando i due metodi derivante dal primo beta testing. Per il metodo A, la valutazione ha richiesto in media un'ora, mentre per la maggior parte delle valutazioni effettuate con il metodo B, al massimo 4 ore. Le tempistiche, sono state dettate sicuramente dalle informazioni a disposizione per la valutazione e dal grado di dettaglio delle stesse.

In concordanza con la Direttiva Europea EPBD (2018/844/UE) [105], sono state prese in considerazione tre funzionalità chiave della predisposizione per l'intelligenza negli edifici, riferite ai servizi tecnici presenti nel catalogo:

1. “Risparmio energetico e funzionamento: la capacità di garantire efficienza energetica, le prestazioni e il funzionamento dell'edificio attraverso l'adattamento dei consumi energetici, ad esempio attraverso l'uso di energia da fonti rinnovabili.
2. Rispondenza alle esigenze dell'occupante: la capacità di adattare la propria modalità di funzionamento in risposta alle esigenze dell'occupante, prestando la dovuta attenzione alla disponibilità di facilità d'uso, al mantenimento di condizioni climatiche interne salubri e alla capacità di riferire sul consumo di energia.
3. Rispondenza alle necessità della rete: La flessibilità della domanda complessiva di energia elettrica di un edificio, compresa la sua capacità di consentire la partecipazione alla gestione attiva e passiva della domanda, nonché implicita ed esplicita, in relazione alla rete, ad esempio attraverso la flessibilità e la capacità di trasferimento del carico.” [108]

La valutazione dello Smart Readiness Indicator avviene considerando 9 domini tecnici di valutazione: riscaldamento, raffreddamento, acqua calda sanitaria, ventilazione controllata,

illuminazione, involucro edilizio dinamico, generazione di energia rinnovabile in loco, ricarica dei veicoli elettrici, monitoraggio e controllo. A ciascun dominio tecnico, sono associati vari livelli di funzionalità, per i quali valori più elevati indicano un'implementazione più intelligente del rispettivo servizio. Le prestazioni di ogni servizio vengono valutate in base ai criteri di impatto, in totale 7:

1. Risparmio energetico in loco

Si riferisce all'impatto dovuto unicamente dai servizi smart sulla possibilità di garantire risparmio energetico, escludendo ulteriori fattori di contributo all'interno dell'edificio. Ad esempio, valutando come un servizio tecnico impatti sulla termoregolazione degli ambienti in modo intelligente oppure alla capacità di regolazione dell'illuminazione interna mediante sensori di presenza.

2. Flessibilità per la rete e lo stoccaggio

Si riferisce agli impatti dovuti ai servizi smart ready sulla flessibilità energetica dell'edificio, in particolare a quelli che si riferiscono sia alla rete elettrica, che alle reti di teleriscaldamento e teleraffreddamento. Un esempio, può essere il servizio collegato alla gestione dell'accumulo in caso di impianto di produzione da fonti rinnovabili.

3. Comfort

Si riferisce agli impatti sul comfort degli occupanti, ossia alla percezione di benessere che rende la permanenza in un luogo agevole.

4. Facilitazione utente

Indica gli impatti dovuti dai servizi smart ready sulla possibilità di agevolare l'occupante all'interno dell'edificio, ad esempio, l'utilizzo di dispositivi che consentono di effettuare programmazione da remoto delle impostazioni di accensione e regolazione dei diversi impianti presenti nell'edificio.

5. Salute e benessere

Si riferisce agli impatti dovuti ai servizi smart ready sulla salute ed il benessere degli occupanti. Ad esempio, l'installazione di sensori di qualità dell'aria, di umidità all'interno degli ambienti potrebbe garantire un miglioramento del benessere degli utenti, oppure l'installazione di un termostato intelligente che consente di regolare la temperatura degli ambienti in base alle abitudini dell'occupante.

6. Manutenzione e previsione dei guasti

Indica gli impatti che dipendono dall'installazione di sistemi, logiche o dispositivi che consentono la previsione dei guasti e la possibilità di intervenire prontamente per ristabilire lo stato di funzionamento standard degli impianti e dei sistemi. Tale tipologia di impatto, è molto importante in quanto l'individuazione predittiva dei guasti consente un ripristino tempestivo dei malfunzionamenti che ha un peso sul risparmio energetico dell'edificio.

7. Informazioni agli occupanti

Si riferisce agli impatti generati dai servizi smart ready sul grado di informazione all'occupante. In particolare, i sistemi di reportistica, monitoraggio ed elaborazione dei dati (es. centralina di controllo che registra le abitudini di consumo degli impianti HVAC ed elabora i dati storici e attuali da mostrare all'utente) sono di notevole importanza comunicativa e di impatto sulla consapevolezza nell'utilizzo di energia da parte degli occupanti.

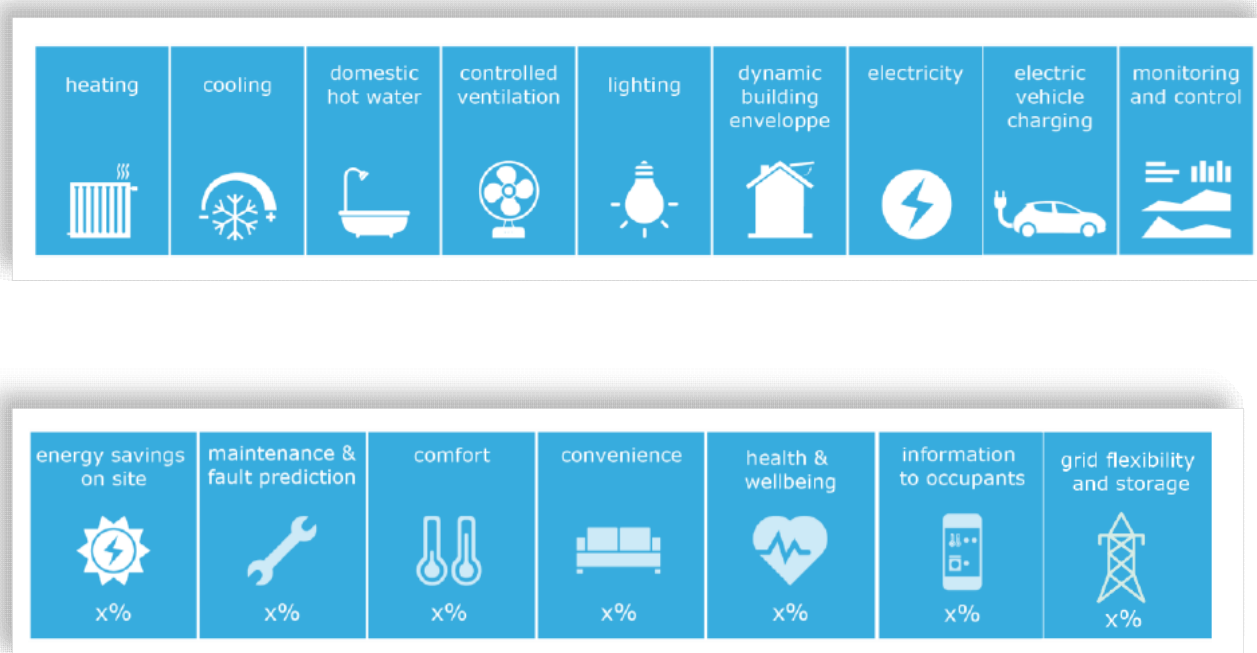


Figura 1. Domini tecnici e criteri di impatto dello Smart Readiness Indicator

A ciascun servizio tecnico, sono associati i livelli di funzionalità, i quali rappresentano un grado di intelligenza. Il livello di funzionalità più basso è lo 0, che indica un servizio “non intelligente”, mentre il livello massimo è rappresentato dal 5, ma può variare in base al servizio (possono essere

presenti nel catalogo dei servizi che hanno solo 3 livelli di funzionalità ed altri raggiungere il massimo). In generale, in ordine crescente, i livelli funzionali diventano sempre più intelligenti, rappresentativi di funzionalità avanzate. Poiché i punteggi massimi assegnati ai diversi livelli di funzionalità sono variabili, non è consentito un confronto diretto tra i diversi servizi [112]. Per ciascuno dei servizi smart ready del catalogo, sono stati definiti punteggi di impatto provvisori per i rispettivi livelli di funzionalità secondo una scala ordinale a sette livelli. Sebbene la maggior parte degli impatti sia positiva, la scala offre anche l'opportunità di attribuire impatti negativi. [108]

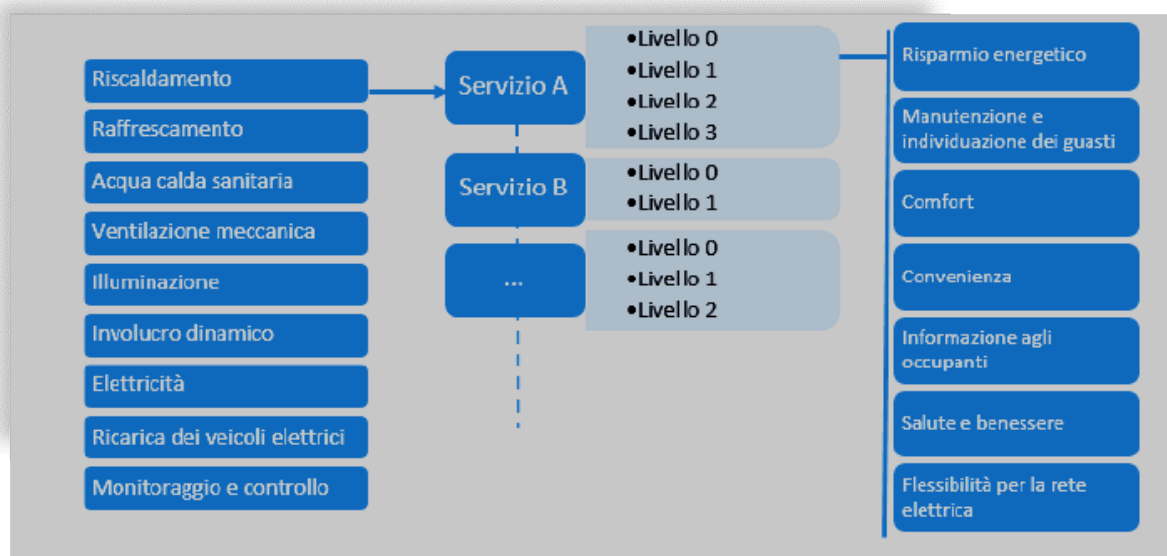


Figura 2. Rappresentazione della metodologia multilivello: servizi smart associati ai domini tecnici e livelli funzionali dello Smart Readiness Indicator

L'implementazione dello SRI potrebbe avere notevoli vantaggi, tra i quali:

- sostenere l'innovazione delle tecnologie smart negli edifici;
- aumentare la consapevolezza degli occupanti nei confronti del consumo energetico;
- migliorare l'efficienza energetica complessiva e la performance dell'edificio;
- contribuire all'obiettivo di decarbonizzazione e sensibilizzazione nell'utilizzo di tecnologie da fonti rinnovabili.

Lo studio, inoltre, ha valutato diversi scenari di impatto potenziale dell'SRI a livello Europeo in termini di riduzione di emissioni CO₂ (da circa 9 milioni a oltre 30 milioni di tonnellate) e risparmio di energia primaria al 2050 (da circa 55 TWh/anno a 219 TWh/anno).

Da una prima e non esaustiva valutazione, è stato possibile evidenziare alcune criticità connesse all'SRI, tra le quali: i)

- alcuni servizi non sono coperti da alcuna norma;
- molti criteri di impatto possono ricevere una di valutazione soggettiva;
- alcuni livelli funzionali sono particolarmente complessi oppure difficilmente diffusi nel panorama edilizio italiano;
- l'intelligenza dei sistemi edilizi non può essere calcolata mediante un database comune per tutti i progettisti e gli operatori in qualità di assessor;
- in piccoli edifici dove non è presente un sistema BMS (Building Management Systems), i risultati ottenuti si sono dimostrati penalizzanti in relazione a edifici in cui era presente tale tipo di sistema.

1.3.3. Introduzione al primo strumento di calcolo per la valutazione dello Smart Readiness Indicator

Lo Smart Readiness Indicator viene valutato mediante un foglio di calcolo Excel in cui vengono inseriti dei dati di input che dipendono dall'edificio in esame. Il primo foglio di calcolo è stato distribuito dagli stakeholders nell'ambito degli studi tecnici europei. L'organizzazione dello spreadsheet è basata su una serie di fogli:

- **Building information:** contiene le informazioni necessarie per identificare le informazioni dell'asseveratore, l'edificio in termini di informazioni generali e i domini presenti. In particolare, l'edificio viene identificato sulla base della tipologia, dell'utilizzo e della posizione (automaticamente viene identificata la zona climatica), inoltre vengono richieste le informazioni relative alla superficie, all'anno di costruzione e allo stato (ossia se è originale oppure ristrutturato). Per la selezione dei fattori di peso necessari alla valutazione del punteggio di SRI, è richiesto all'utente di scegliere tra i fattori di peso impostati di default nel foglio di calcolo oppure definiti dall'utente durante il calcolo (Figura 4). La selezione dei domini presenti nell'edificio, viene effettuata nel processo di triage, il quale è descritto in Figura 5. mediante due opzioni di scelta rispondenti alle seguenti domande:
 - Il dominio è presente? Se sì, è obbligatorio?

La selezione delle opzioni non modifica il punteggio dello SRI.

In Figura 6 sono rappresentati a titolo di esempio la caratterizzazione di tre domini (riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento). Per ciascuno di essi, vengono richieste le informazioni salienti riguardanti la tipologia di emissione/produzione, la

presenza di accumulo e di generatori multipli e nel caso dell'acqua calda sanitaria anche della presenza di collettori solari. Selezionare un dominio, implica la presenza dello stesso nel tab del calcolo ("Calculation sheet") e l'attivazione dei servizi tecnici e dei livelli funzionali dello stesso. Qualora il dominio fosse indicato come non presente, non verrà attivato nemmeno nel tab di calcolo ed i servizi tecnici, nonché livelli funzionali verranno oscurati e omessi ai fini del calcolo del punteggio finale.

ASSESSOR INFORMATION	
Name	Ing. Marianna De Monaco
Organisation	University of Cassino
Contact information	
e-mail address	marianna.demonaco@unicas.it
telephone number (optional)	

Figura 3. Riferimenti dell'asseveratore

GENERAL BUILDING INFORMATION	
Building type	residential
Building usage	single-family house
Location	Italy
climate zone:	South Europe
Net floor area of the building	<200 m ²
Year of construction	> 2010
Building state	Original
Please provide a brief description of the building	Modern small-sized house in Caserta, Italy.
Address:	Caserta, Campania, Italy
Preferred weightings	Default

Figura 4. Informazioni generali dell'edificio

TRIAGE PROCESS		
Are the following technical building systems present in your building?		
If not, are they mandatory for new constructions in your country of residence? ⁽¹⁾		
	present?	if no, mandatory?
Heating system	yes	
Domestic Hot Water	Yes	
Cooling system	yes	
Controlled ventilation	yes	
Lighting	Yes	
Dynamic Envelope: automated windows & blind	yes	
Electricity: renewables & storage	yes	
Electric Vehicle Charging	No	No, not mandatory

Figura 5. Indicazioni sul processo di triage

HEATING	
Emission type	Non-hydronic system (e.g. all-air)
Production type	Heat Pump
Thermal energy storage	No storage present
Multiple heat generators	Single generator

DOMESTIC HOT WATER	
Production type	Non-electric
Storage present	Storage present
Solar collector	Solar collector present

COOLING	
Emission type	Non-hydronic system (e.g. all-air)
Thermal energy storage	No storage present
Multiple generators	Single generator

Figura 6. Esempio di caratterizzazione di alcuni domini dell'edificio (Heating, DHW, Cooling)

- *Calculation sheet:*

rappresenta il tab in cui vengono selezionati i servizi tecnici ed i livelli funzionali per effettuare il calcolo. Per ciascun dominio indicato nel processo di triage, si attivano i livelli funzionali corrispondenti. In particolare, se nel processo di triage è stato specificato che il dominio è caratterizzato da un generatore singolo e dall'assenza di accumulo, anche nel tab di calcolo saranno omessi i livelli funzionali legati al servizio tecnico. Per ciascun livello funzionale, è possibile inserire la percentuale di applicabilità nell'edificio. Ad esempio, nel dominio "Riscaldamento", il servizio tecnico "Controllo delle pompe di distribuzione nella rete" prevede una percentuale di applicabilità dell'80% relativa alla funzionalità "Controllo variabile della velocità della pompa mediante segnali esterni dalla rete" e una percentuale di applicabilità del 20% relativa alla funzionalità "Controllo multi-stadio".

- *Results:*

Nel tab sono riportati i risultati in punteggi percentuali di SRI totale, SRI di impatto e SRI di dominio, ottenuti applicando la metodologia multilivello implementata attraverso la prima versione del foglio di calcolo europeo.

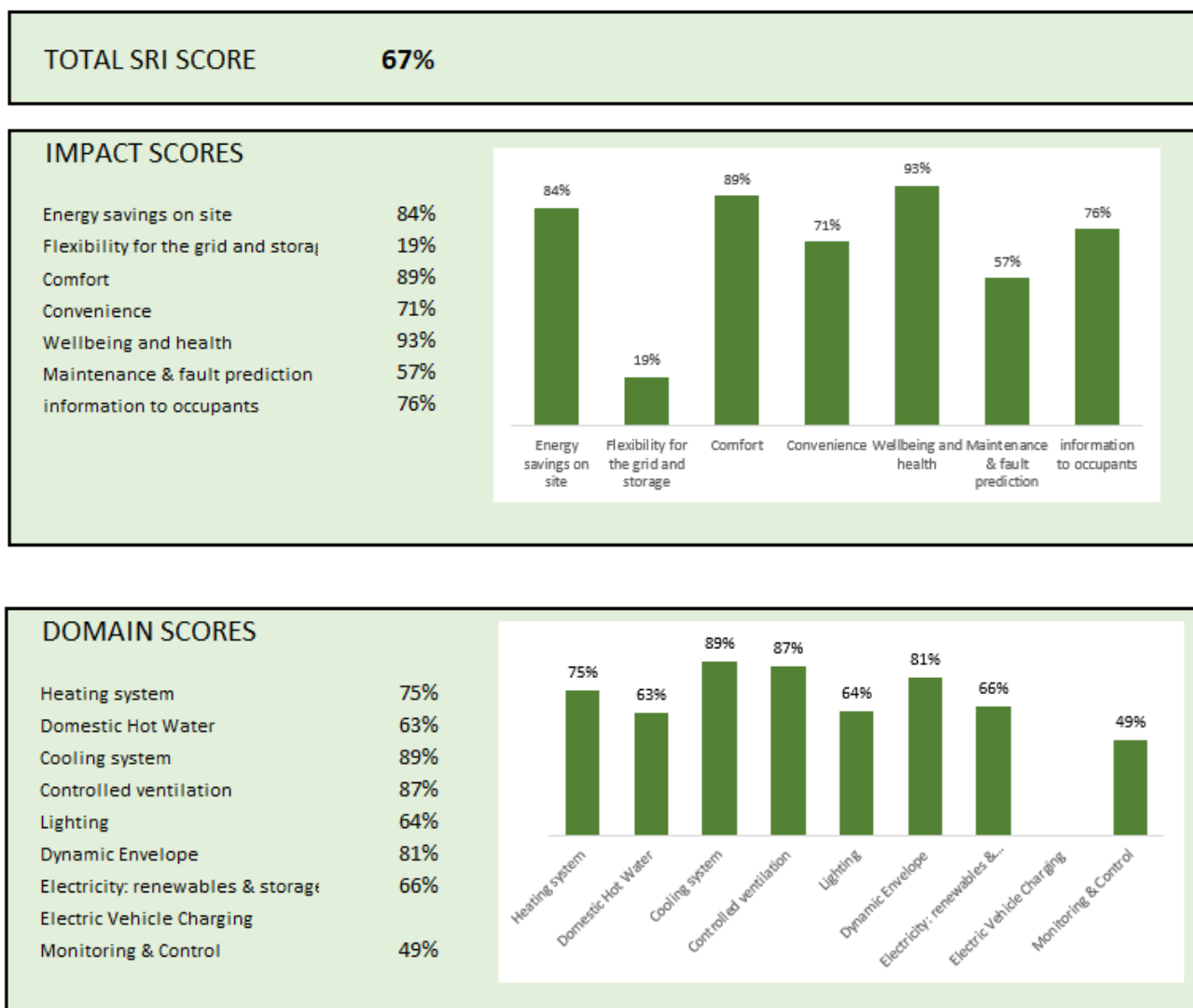


Figura 7. Rappresentazione dei punteggi di SRI totale, SRI di dominio e SRI di impatto

- *Weightings:*

i fattori di ponderazione possono essere attribuiti sia ai domini che ai criteri di impatto per dare i loro contributi relativi a un punteggio di impatto complessivo aggregato.

Un punteggio SRI aggregato indica il livello di intelligenza complessivo dell'edificio, mentre i punteggi parziali consentono di valutare domini specifici e categorie di impatto.

- *Overview of services:*

sono presenti tutti i servizi tecnici in corrispondenza dei quali sono riportate alcune informazioni, tra cui lo standard di riferimento (es. Norma UNI EN 15232 [116]) e la dipendenza da altri servizi/edifici.

- *Feedback:*

sono presenti i dati dell'asseveratore e dell'edificio, inoltre, all'interno di specifiche caselle di testo, è possibile inserire i feedback relativi all'edificio e alla metodologia.

Il foglio di calcolo, inoltre, comprende 9 fogli rappresentativi di ciascun dominio, in cui per ogni servizio tecnico e livello funzionale, in corrispondenza dei criteri di impatto, sono assegnati dei punteggi che concorrono al calcolo di SRI (di impatto, di dominio e totale). A ciascun livello funzionale è associato anche un indice di frequenza (livello comune, frequente o raro), il tempo di ispezione ed i possibili dispositivi o tecnologie associate. In aggiunta ai nove fogli relativi ai domini, ne è presente un altro denominato "various" in cui sono presenti una serie di servizi tecnici riguardanti ad esempio la sicurezza, la gestione delle emergenze, il controllo degli incendi e dell'allagamento. Essi, non hanno alcun punteggio associato ai criteri di impatto e rappresentano dei servizi da non considerare nel calcolo finale dello Smart Readiness Indicator, ma solo di carattere informativo.

Capitolo II - Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale: primi risultati del calcolo sul dominio ACS in edifici rappresentativi del parco edilizio italiano

2.1 – Introduzione

Risulta noto in letteratura, come analizzato anche nel Capitolo I, che un'elevata percentuale del parco edilizio europeo è caratterizzato da performance energetiche insufficienti dal punto di vista multifattoriale (consumi, impianti, elementi strutturali, controllo dei sistemi). In particolare, il settore edile è responsabile di circa il 40% del consumo energetico e il 36% delle emissioni di CO₂ [117].

Questi dati così allarmanti, hanno reso necessaria la consapevolezza da parte dell'Unione Europea di far fronte all'emergenza energetica istituendo alcune direttive in cui sono delineate linee guida che sostengono il potenziamento delle performance energetiche degli edifici: a partire dal 2022, la Energy Performance of Building Directive (EPBD) [105] e successivi emendamenti, tra cui la recente Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 che modifica il regolamento (UE) 2023/955 ed entrata in vigore il 10 ottobre 2023 [107] che, nello specifico, contiene molteplici obiettivi che mirano al miglioramento della situazione energetica facendo fronte ai principali problemi attualmente presenti, come l'inefficienza del parco edilizio, i consumi elevati di CO₂ e gas serra, l'istruzione degli occupanti sui comportamenti energetici, la mobilità con motori a combustione interna, la scarsità di impiego di fonti rinnovabili per la produzione di energia, la scarsità di diffusione di tecnologie smart negli edifici preesistenti e di nuova costruzione.

In particolare, è emersa sempre di più l'importanza di edifici che non solo rispettino stringenti requisiti prestazionali (i.e., NZEB) ma che associno a tale caratteristica la possibilità di interagire in maniera attiva con gli utenti e con le reti. Ad essere in linea con gli obiettivi Europei, sono gli edifici intelligenti ("smart buildings"), i quali sono rappresentati da numerose caratteristiche

migliorative dal punto di vista energetico-edilizio, che possono essere elencate brevemente come segue:

- facilitazione della comunicazione con i sistemi dell'edificio da parte di operatori del settore ed utenti [55];
- monitoraggio e raccolta di dati ed informazioni utili per l'occupante e viceversa mediante sistemi di reportistica intelligenti;
- possibilità di interazione con la rete elettrica [56];
- gestione e controllo del carico sulla rete elettrica [57];
- incremento della sicurezza [58,59];
- correlazione tra più sistemi e tecnologie presenti all'interno dell'edificio al fine di migliorare il controllo, il funzionamento ed i consumi;
- maggiori comfort e convenienza [55,60];
- riduzione delle emissioni di CO₂ e gas serra [117][61];
- riduzione dei costi relativi ai consumi energetici derivanti dai servizi utilizzati nell'edificio [21][55].

Lo Smart Readiness Indicator (SRI), rappresenta la possibilità di definire il grado di intelligenza degli edifici mediante la valutazione e la ponderazione dei fattori delle caratteristiche precedentemente elencate, mediante la loro classificazione all'interno dei domini, servizi e livelli funzionali.

Come è noto, il calcolo dello SRI può essere effettuato anche per singolo dominio, valutandone in percentuale il grado di intelligenza nell'edificio o nell'unità abitativa di studio. In particolare, ci sono dei domini tecnici che dovrebbero essere analizzati nello specifico e ricercate soluzioni migliorative in quanto il loro impatto energetico negli edifici è notevole. Tra essi, l'acqua calda sanitaria (ACS), è sicuramente uno dei più impattanti in termini di diffusione, consumi ed utilizzo, rappresentando una quota importante del consumo energetico in differenti tipologie di edifici [118].

La riduzione del consumo di acqua calda, è uno dei primi passi da muovere per incrementare l'efficienza del sistema idrico e per raggiungere gli obiettivi prefissati dall'Unione Europea, tra cui sviluppo sostenibile, riduzione del consumo di energia mediante misure di incremento dell'efficienza energetica e riduzione della povertà energetica [3][119].

Nell'ottica di: i) promuovere installazioni di tecnologie di energie rinnovabili; ii) ridurre il consumo energetico; iii) ridurre i costi di utilizzo di energia degli occupanti; iv) ridurre le emissioni di gas serra, alcuni studi hanno incoraggiato oppure analizzato l'utilizzo di sistemi residenziali per la produzione di acqua calda sanitaria mediante connessione con impianti solari termici o mediante l'utilizzo di pompe di calore/impianti fotovoltaici [120][121][122][123].

Tuttavia, in letteratura, non sono presenti molti scritti che testimoniano la conduzione di studi scientifici in materia di calcolo dello Smart Readiness Indicator relativamente ai singoli domini di calcolo e ancor più nello specifico, per il dominio ACS.

Ad esempio, Janhunen et al. [111] hanno valutato il calcolo dell'SRI negli edifici di paesi del nord Europa. In tale studio, la valutazione dei quattro smart ready services nel dominio Acqua Calda Sanitaria (ACS) è stata condotta su tre edifici campione evidenziando come, indipendentemente dalla lo SRI non sia in grado di riconoscere le caratteristiche specifiche degli edifici a clima freddo, in particolare quelli che impiegano sistemi avanzati di teleriscaldamento.

In questo contesto, gli autori hanno approfondito l'applicazione della metodologia di calcolo dell'SRI per il dominio ACS, in riferimento ad edifici casi di studio di edilizia residenziale situati in Italia, analizzando il livello di intelligenza e le potenzialità dei dispositivi attualmente presenti, applicabili ai sistemi di produzione della ACS. È stato scelto il dominio ACS per diversi motivi: i) i consumi di ACS avranno un peso percentuale sempre più impattante sui consumi energetici totali in un parco edilizio ad elevate prestazioni energetiche [110,111]; ii) le tecnologie di retrofit e di risparmio energetico sono state negli ultimi anni sempre di più indirizzate alla climatizzazione piuttosto che alla produzione di ACS; iii) i consumi di ACS impattano anche sui consumi di acqua e quindi hanno un duplice ruolo sulla sostenibilità energetica. A tal fine, è stata condotta un'analisi preliminare dei sistemi di ACS in riferimento ai sistemi di: produzione, accumulo, distribuzione, regolazione, monitoraggio e utilizzo. Il calcolo dello SRI viene poi applicato a 3 edifici caso di studio focalizzando l'attenzione sul dominio ACS, al fine di evidenziarne le principali criticità e proporre possibili miglioramenti applicabili con specifico riferimento alle tipologie impiantistiche utilizzate nel parco edilizio nazionale. Sono stati quindi simulati possibili scenari di efficientamento del dominio ACS e valutati i rispettivi impatti sullo SRI totale e di dominio. Il contributo del presente lavoro è relativo alla stima dell'impatto sull'SRI totale di un singolo dominio, che ha consentito di individuare le criticità e i possibili sviluppi futuri della metodologia di calcolo.

2.2 - Sistemi per l'acqua calda sanitaria nel settore residenziale

2.2.1 Sistemi di produzione, accumulo, distribuzione e regolazione

L'acqua calda sanitaria (ACS) è utilizzata negli edifici per numerosi scopi (igiene personale, uso domestico, cucina) ed è un elemento essenziale per gli occupanti, in quanto è necessaria per il corretto svolgimento delle azioni quotidiane. L'utilizzo dell'acqua calda sanitaria, ha permesso negli anni di ridurre al minimo il rischio di infezioni batteriche combinando il suo utilizzo a disinfettanti ed igienizzanti. Nell'ottica di diminuire le emissioni globali di CO₂ ed il consumo energetico globale, considerando gli obiettivi di transizione energetica e di limitazione del riscaldamento globale, le strategie a lungo termine adottate in Europa ed i protocolli internazionali sono concentrati principalmente sull'aliquota di impatto determinata dal riscaldamento degli edifici. Infatti, mentre quest'ultimo negli anni ha visto una notevole diminuzione, l'utilizzo di acqua calda sanitaria ha subito, invece, un incremento notevole. Il motivo risiede principalmente nelle abitudini e necessità degli occupanti, che al fine di migliorare il proprio comfort quotidiano, ricerca maggiore necessità di utilizzo e di frequenza di ACS, in tempi ancora più brevi di erogazione della stessa. Studi condotti in edifici NZEB e ad alta efficienza energetica, mostrano che il 40-50% del consumo totale di energia è determinato dalla produzione di acqua calda sanitaria [82].

Tuttavia, i sistemi di produzione di ACS si sono evoluti e migliorati in termini tecnologici, con l'obiettivo essere contemporaneamente sostenibili nei confronti dell'ambiente e ad elevato comfort. Pertanto, dal punto di vista della produzione, possono essere suddivisi come appartenenti a tre grandi macro sistemi, come mostrato anche in Figura 8.:

- da fonti rinnovabili: collettori solari termici, caldaie a biomassa
- da fonti non rinnovabili: scaldabagni elettrici, caldaie a combustione
- sistemi ibridi: caldaie a condensazione, scaldacqua a pompa di calore

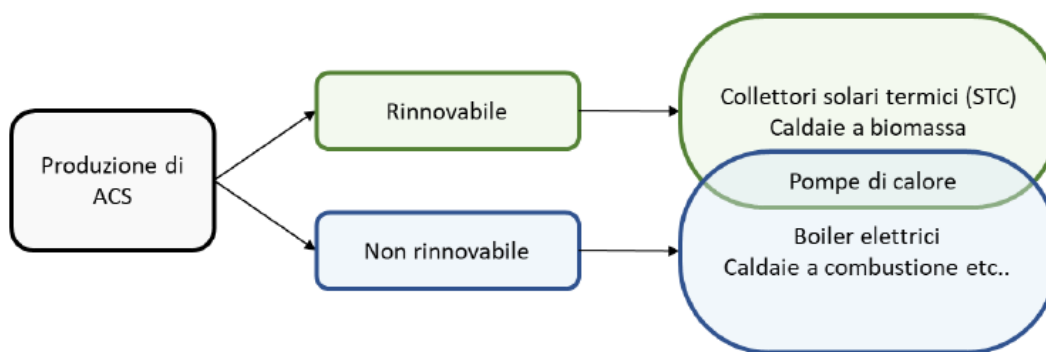


Figura 8. Sistemi di produzione di ACS

Nonostante i sistemi che impiegano fonti rinnovabili siano più performanti in quanto si basano sullo sfruttamento di energia derivante gratuitamente da fonti naturali (solare, biomassa) e quindi a costo zero, i sistemi ibridi, hanno alcuni vantaggi di utilizzo quando le condizioni per l'impiego di impianti da fonti rinnovabili non sia contemplato (zone scarsamente soleggiate, edifici storici, edifici in cui non è possibile l'installazione di pannelli solari, difficoltà di reperimento del legno etc..). Infatti, questi sistemi non utilizzano a pieno l'energia elettrica per riscaldare l'acqua, ma, nel caso ad esempio della pompa di calore, soltanto per azionare la stessa, che produrrà ACS con elevata efficienza, grazie all'energia termica prelevata dall'ambiente. In generale, la modalità di produzione dell'ACS influenza fortemente le prestazioni e l'efficienza energetica dell'impianto globale [124].

Un'ulteriore suddivisione, può essere effettuata considerando i tempi di erogazione di ACS:

- sistemi ad accumulo: sono utilizzati quando la disponibilità della fonte di energia è minore rispetto alla domanda, quando il sistema di produzione ha una potenza limitata oppure in ogni caso in cui occorra immagazzinare ACS e utilizzarla nel momento del bisogno (es. quando c'è minore disponibilità di fonti rinnovabili come minore irraggiamento solare);
- sistemi a produzione istantanea: la produzione di ACS avviene immediatamente, ossia nel momento in cui l'utente ha necessità, tuttavia non c'è possibilità che venga stoccata ed utilizzata anche in un arco temporale diverso da quello di utilizzo.

I sistemi di accumulo consistono in serbatoi di contenimento dell'ACS prodotti con materiali diversi ed isolati termicamente, hanno diverse caratteristiche positive:

- capacità di regolazione delle dispersioni energetiche (grazie alla coibentazione e al dimensionamento adeguato del serbatoio) [125];
- stabilizzazione dei livelli di pressione dell'impianto di produzione e distribuzione;
- continuità nell'utilizzo di ACS;

- stratificazione termica (massimizzazione della disponibilità di energia immagazzinata) [126].

Tuttavia, uno dei principali svantaggi dei sistemi di accumulo, è la possibilità che avvenga proliferazione di batteri patogeni (es. legionella, pseudomonas), che mettono a rischio la salute dell'utilizzatore. Per far fronte a tale problematica, esistono degli accorgimenti e dei processi di sanificazione che consentono di utilizzare l'acqua calda sanitaria stoccata con tranquillità. Infatti, la proliferazione di legionella, avviene a temperature comprese tra 20°C e 50°C, la cui morte avviene a temperature superiori a 50°C, per tale ragione i processi di disinfezione termica prevedono la circolazione di acqua calda ad almeno 70°C nella rete di distribuzione.

Non solo nei serbatoi di accumulo, ma anche nelle reti di distribuzione dell'acqua è necessario attuare delle soluzioni per fronteggiare la proliferazione batterica. Infatti, al fine di mantenere la temperatura dell'acqua al di sotto dei 20°C e al di sopra dei 60°C, sia per la distribuzione di acqua fredda che calda, occorre un idoneo isolamento termico della rete di distribuzione. Inoltre, al fine di non incorrere in surriscaldamento delle tubazioni in cui circola l'acqua e quindi raggiungere temperature ottimali per la proliferazione, bisogna collocare le tubazioni responsabili della distribuzione di acqua fredda a debita distanza dalle tubazioni in cui circola acqua calda, del riscaldamento e del ricircolo e, in generale, da qualsiasi elemento radiante.

I sistemi di distribuzione dell'acqua sanitaria sono costituiti da numerosi componenti (es. tubazioni, valvole, miscelatori, addolcitori, pompe di circolazione...) e sono regolamentati alla norma UNI 9182:2014 e norme del gruppo UNI EN 806 [127][128]. Le tubazioni, partono dal sistema di generazione e raggiungono gli elementi finali, che possono essere rappresentati da elementi radianti, rubinetti, fan coils e simili. Durante il percorso, l'acqua, oltre a dover percorrere una determinata lunghezza dovuta alle tubazioni stesse, incontra numerose resistenze (perdite di carico, rugosità superficiale delle tubazioni, gomiti, valvole raccordi) e per tale ragione, generalmente sono inserite nella rete delle pompe di circolazione che hanno come obiettivo la movimentazione del fluido all'interno dei condotti [129][130].

I sistemi di distribuzione dell'acqua calda sanitaria, devono essere performanti anche dal punto di vista della disponibilità nei confronti degli occupanti e della temperatura ottimale che caratterizza l'acqua in uscita dai rubinetti (rischio di scottamento: si fronteggia utilizzando miscelatori idonei). Generalmente, la vita utile di un impianto, è progettata per vita all'incirca di 50 anni, dunque anche la corretta tecnologia di tubazione ed i materiali sono elementi fondamentali per tali sistemi. Le tubazioni multistrato, per esempio, sono costituite da polietilene reticolato interno, che ha ottima resistenza al deterioramento dovuto alla corrosione, in particolare se nel sistema vengono utilizzati agenti di disinfezione come il cloro.

Pertanto, un sistema di distribuzione correttamente progettato ed esercito dovrebbe garantire: una portata idonea nelle diverse condizioni di utilizzo, un campo di temperatura ottimale dell'ACS

(idoneo isolamento termico), una disponibilità immediata di ACS e una corretta gestione dei componenti accessori come gli accumuli.

I sistemi di regolazione e controllo, invece, operano sulla gestione dell'impianto in totale, dalla distribuzione fino all'erogazione dai terminali di uscita. Generalmente, questi sistemi sono caratterizzati da una catena di controllo aperta, regolando esclusivamente la pressione in ingresso, le portate di ricircolo (nel caso di sistemi centralizzati con ricircolo), le temperature di mandata e di stoccaggio. La regolazione della temperatura, consente anche di ottimizzare la quantità dell'acqua contenuta nell'accumulo, in quanto all'aumentare della temperatura, il serbatoio sarà impiegato per un volume più elevato. Attualmente, esistono in commercio numerosi dispositivi di controllo ed anche in letteratura sono presenti degli studi in cui vengono analizzati i benefici connessi all'utilizzo di sistemi di controllo performanti nei confronti del benessere degli occupanti e della riduzione dei picchi di domanda di ACS mediante controllo del carico, nonché della qualità di fornitura dell'acqua calda sanitaria e delle prestazioni termiche dei sistemi di accumulo [131].

2.2.2 Utilizzo e monitoraggio

L'acqua calda sanitaria è utilizzata per numerosi scopi. Nel settore residenziale, vi è un largo utilizzo per l'igiene personale, per il lavaggio degli indumenti e delle stoviglie, per la pulizia degli ambienti domestici e per la cura degli animali. Inoltre, nel settore non residenziale, l'acqua calda sanitaria è utilizzata in grandi quantità nelle strutture ricettive (cucine, camere) e nel settore healthcare. Per tale ragione, la temperatura di utilizzo dell'ACS deve essere modulata e, dove necessario, monitorata costantemente affinché possa essere utilizzata in modo sicuro senza rischi di proliferazione batterica e che possa essere sempre adeguata alle esigenze degli occupanti. Ad esempio, basti pensare ad ambienti sanitari come i nidi degli ospedali, in cui la pulizia dei neonati deve avvenire a temperature idonee al loro stato fisiologico oppure ai grandi alloggi turistici in cui l'ACS deve essere disponibile agli utenti immediatamente, nonostante il percorso all'interno delle tubazioni sia molto esteso per via delle dimensioni delle strutture stesse. A tal fine, il set-point di temperatura richiesto dovrebbe essere impostato sulla base della temperatura massima necessaria all'utenza, considerando anche le problematiche legate alla contaminazione. La temperatura ottimale alla quale l'ACS dovrebbe essere utilizzata per la cura della persona, si aggira tra i 40,2°C ed i 43,8°, tenendo conto anche della capacità dell'essere umano di tollerare temperature maggiori di quella corporea. Inoltre, ai fini del monitoraggio e della caratterizzazione dell'utenza, risulta di notevole importanza la valutazione dei profili di prelievo [118].

In letteratura, sono presenti diversi studi a riguardo. Ad esempio, Hendron et al. hanno evidenziato come per la caratterizzazione dei profili di utilizzo di ACS, sia necessaria la conoscenza di: numero di prelievi, durata di prelievo, volumi, portate e gli orari di inizio degli

eventi per diversi edifici, utenti e condizioni climatiche [132]. Infatti, una delle principali criticità nella realizzazione di profili di prelievo rappresentativi precisi è la variabilità dei prelievi stesso effettuati dagli occupanti durante la quotidianità, considerando le abitudini di consumo, gli elettrodomestici posseduti, il numero e le informazioni demografiche. [Perlman e Mills, 1985] “È stato evidenziato come il consumo di ACS sia costituito da una componente deterministica e da una componente randomica: da un lato, gli utenti tendono a utilizzare ACS più o meno alla stessa ora ogni giorno (con alcune differenze nei giorni lavorativi rispetto ai giorni non lavorativi), dall'altro, il consumo di ACS varia stocasticamente a causa di eventi difficilmente prevedibili come periodi di vacanza/di non occupazione, ma anche del numero variabile di docce/persona/giorno, del numero variabile di carichi di vestiti e temperature dei cicli di lavaggio, dell'uso variabile di lavastoviglie, etc. [132]”

La conoscenza approfondita e la definizione dei profili di utilizzo dell'ACS, consentono una migliore valutazione dell'efficienza energetica degli edifici e delle strategie di controllo basate sull'implementazione dei modelli di consumo [111][132].

Dongellini et al. hanno effettuato delle simulazioni mediante approccio dinamico, relative alle prestazioni dei collettori solari termici per la produzione di ACS, per confrontare la tipologia costitutiva del collettore, il volume del serbatoio di accumulo con i profili di ACS generati dall'aliquota derivante dal fattore solare. Studiando differenti profili uniformi nel tempo di prelievo di ACS, diurni e notturni, gli autori hanno evidenziato come il fattore di copertura solare derivante dall'impianto fosse fortemente dipendente dalla tipologia di profilo di prelievo utilizzato durante la giornata [111][133].

Edwards et al. [134] hanno realizzato dei profili rappresentativi di prelievo di ACS ad elevata risoluzione temporale ed annuali, adeguati all'utilizzo di impianti quali solare termico, sistemi ibridi solari combinati e micro-cogenerazione. L'annualità delle simulazioni utilizzando profili di prelievo giornalieri ripetuti è dovuta principalmente al fatto che le abitudini di consumo e dunque le risposte ai carichi derivanti dai sistemi di generazione di ACS, siano costanti su base quotidiana [134][135][136].

Pertanto, da tali studi si evince che per individuare correttamente le previsioni dei profili di prelievo dell'ACS, occorrono dei sistemi di monitoraggio specifici per ottenere i dati di utilizzo real-time e storici relativi al consumo di acqua calda sanitaria, che saranno utilizzati per comprendere in che misura il sistema è idoneo nel soddisfare la richiesta degli occupanti.

L'aspetto relativo ai profili di prelievo dell'ACS, riveste notevole importanza anche dal punto di vista della predisposizione all'intelligenza degli edifici. Infatti, edifici dotati di sistemi avanzati di monitoraggio degli impianti, hanno un livello di “smartness” maggiore rispetto ad edifici i cui consumi non possono essere controllati e gestiti. Tale motivazione risiede, oltre che nell'utilizzo stesso di tecnologie avanzate ed in grado di svolgere un ruolo fondamentale nella gestione della consapevolezza dell'utente finale nei confronti dei consumi energetici, anche nel fatto che possono dare delle informazioni interessanti sulle abitudini di utilizzo e indicare il percorso corretto per

ridurre gli sprechi, in questo caso di acqua e globale di edificio o unità immobiliare [137]. I sistemi di monitoraggio avanzati, sono in grado di effettuare una scansione in tempo reale dell'edificio per il rilevamento guasti e perdite (i.e. fault-detection) sia sull'impianto di distribuzione idrica, che di accumulo e produzione di ACS. Quindi, al fine di garantire stabilità e continuità nel rilevamento dei dati, occorrono dei dispositivi performanti che tengano conto di più fattori di utilizzo, quali la temperatura del fluido nella rete di distribuzione, la temperatura dell'acqua calda, le abitudini di consumo giornaliero e cumulate, gli orari e gli intervalli di utilizzo, la temperatura esterna e dell'ambiente interno etc.

I dispositivi in grado di attuare questo processo sono i contatori d calore smart, impiegati non solo per il monitoraggio dei parametri dell'ACS, ma anche per il gas, il riscaldamento e l'elettricità. Essi, sono in grado di rilevare in modo accurato i consumi idrici degli edifici ed in caso di condomini, sono utili per le ripartizioni delle spese condominiali. Esistono numerose modalità di misura e trasmissione della portata (e quindi dei consumi), come la telelettura wireless via radio, la trasmissione ad impulsi oppure sistemi che utilizzano il protocollo Meter-Bus in accordo alle norme EN 1434-3 e EN 13757-2 [138][139] per la contabilizzazione di energia e la ripartizione dei consumi.

I contatori smart sono in grado di attuare le seguenti funzioni:

- misura (attraverso uno o più sensori, e.g. temperatura, pressione, flusso, un sistema di conteggio e un sistema di cronometraggio);
- esecuzione (per monitoraggio dei consumi utente, contrattuali, come funzione di controllo remoto)
- elaborazione (e.g. funzioni di calcolo integrale, compensazione, correzione, memorizzazione);
- trasmissione bidirezionale (wireless via radio, impulsi);
- visualizzazione dei dati;
- segnale acustico in caso di irregolarità.

In particolare, ponendo l'attenzione sugli smart meters di misura e ricarica individuali (IMC – individual metering and charging), è possibile trovare in letteratura numerosi studi che analizzano la loro efficienza riguardo la riduzione dei consumi di energia e di soddisfazione della domanda. Zubiaga et al. hanno condotto uno studio relativo agli effetti dell'utilizzo di IMC relativamente al riscaldamento e all'acqua calda sanitaria sul consumo energetico degli edifici nei climi temperati considerando impianti di riscaldamento centralizzati, evidenziando come nel caso di utilizzo di tecnologie IMC, la ripartizione dei consumi tra ACS e riscaldamento sia possibile, mentre con sistemi standard senza utilizzo di IMC i dati siano per la maggior parte presentati in forma aggregata e quindi di difficile interpretazione delle aliquote reali di energia utilizzata per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria [140].

Altri autori, come Cholewa et al., analizzano l'influenza dei contabilizzatori di calore sul consumo energetico di un edificio plurifamiliare in un arco temporale di 17 stagioni [141]. Michnikowski et

al. e Sigglesten et al. hanno analizzato la tematica della corretta ripartizione dei costi in edifici plurifamiliari [142][143].

Si evince che l'importanza di utilizzare dei sistemi di monitoraggio avanzati, è una tematica fondamentale sia per la ripartizione dei consumi energetici, ma anche dal punto di vista della ripartizione economica delle spese da affrontare per l'energia utilizzata per la produzione di ACS e riscaldamento.

I sistemi di monitoraggio avanzati sono caratterizzati da un'interfaccia completa consultabile dall'utente, i cui dati sono presentati in diverse forme. I sistemi base prevedono l'indicazione dei valori di consumo real-time, della temperatura dell'acqua, pressione, data e ora. Invece, i sistemi smart sono dotati di logiche che consentono di effettuare:

- analisi predittiva dei consumi;
- benchmarking (confronti con consumi storici, media dei consumi, confronto con i consumi di utenze simili);
- visualizzazione dei dati real-time e storici;
- separazione tra l'aliquota energetica per il riscaldamento e per l'acqua calda sanitaria [144].

In commercio ed in letteratura, tuttavia, le soluzioni per il monitoraggio dell'acqua calda sanitaria nello specifico sono poche, più frequenti risultano quelle legate all'energia termica ed elettrica, nonostante la problematica legata al consumo di acqua calda sanitaria e alla gestione dei parametri di funzionamento degli impianti responsabili della sua produzione siano fondamentali per la riduzione dei consumi globali e per il benessere degli occupanti [145].

2.2.3. Sistemi smart per l'ACS

Le misure energetiche mondiali previste nel corso dell'ultimo decennio, che hanno tra gli obiettivi ridurre al minimo possibile gli impatti ambientali dovuti all'utilizzo di energia e alla coerenza con il Protocollo di Kyoto [146][147] hanno portato alla necessità di incrementare la consapevolezza degli utenti finali nei confronti dei consumi e della possibilità di poter effettuare una modulazione delle abitudini quotidiane grazie a logiche, dispositivi e tecnologie impiantistiche smart che consentono una rapida elaborazione dei dati, presentati agli utenti in differenti comprensibili modalità. Tuttavia, l'interfaccia di questi dispositivi è per lo più indirizzata ad alcune utenze master di supervisione dell'impianto, mentre è maggiormente sottovalutata dal punto di vista della comunicazione nei confronti dell'occupante [148].

Di notevole importanza, è l'aspetto legato al contesto in cui sono collocati i sistemi smart per l'ACS. Infatti, considerando che gli smart metering molto spesso sono presenti in utenze interfacciate con reti intelligenti, oltre ad apportare i benefici prima menzionati, tali sistemi

consentono anche di incrementare la partecipazione degli utenti al demand-side, migliorare l'efficienza dei mercati energetici ed avere maggiore sicurezza nell'approvvigionamento energetico [149].

Tra i sistemi smart per l'acqua calda sanitaria, oltre ai dispositivi di misura, ci sono anche soluzioni impiantistiche smart per la produzione, sistemi e logiche di controllo e monitoraggio, nonché dispositivi di reporting e rilevamento guasti.

In letteratura, sono presenti molteplici soluzioni sperimentali, che consentono di avere dei benefici di utilizzo:

- buffer elettrici che consentono di aumentare la flessibilità delle risorse nel demand-side management, costituiti da un'interfaccia basata sul minor numero di indicatori chiave, realizzati per raggiungere una delimitazione nitida della temperatura tra acqua calda e fredda, controllando la temperatura in ingresso e uscita al fine di ottenere una miscelazione minima possibile [150];
- sistemi di accumulo intelligenti per solare termico, dotati di sensori di temperatura e smart meters [151][152];
- scaldabagni elettrici smart [153][154][155][156];
- sistemi intelligenti per il raffreddamento dei serbatoi di accumulo [157];
- sistemi ibridi combinati con logiche di controllo avanzate [158].

Pertanto, è evidente come i sistemi smart per l'ACS siano coinvolti in molteplici funzionalità che conferiscono agli edifici dei vantaggi importanti non solo in termini di automazione e controllo, ma anche di risparmio energetico, di modulazione dei consumi e di supporto nei confronti degli utilizzatori.

2.3 Caratterizzazione dei casi studio del parco edilizio nazionale

I tre edifici considerati come casi di studio per il calcolo dello Smart Readiness Indicator, appartengono alla categoria residenziale e sono ubicati in Italia. La loro scelta è stata effettuata principalmente sulla base delle categorie edilizie peculiari del parco edilizio nazionale e sull'analisi di dati statistici dell'ultimo censimento ISTAT degli edifici [160]. In particolare, gli edifici analizzati sono tutti allo stato originario, ossia non hanno subito interventi di rinnovamento né impiantistico né edilizio, dunque rappresentativi della maggioranza degli edifici italiani presenti sul territorio. Considerando il clima mite e temperato del centro-sud Italia, un numero cospicuo di edifici è caratterizzato da impianti di riscaldamento basilari e involucro edilizio non coibentato. Di seguito, l'elenco e le caratteristiche degli edifici analizzati, ponendo attenzione sulla percentuale di casi presenti nel parco edilizio nazionale in funzione dell'epoca costruttiva:

1. caso di studio A: un edificio monofamiliare costruito nel 1970, quando non era ancora stata definito il concetto di impianto regolatorio sull'efficienza energetica degli edifici (in media il 70% degli edifici italiani appartenenti a tale epoca costruttiva);
2. caso di studio B: un'unità immobiliare in un edificio multifamiliare costruita tra il 1981 e il 2000 (in media il 20% degli edifici italiani appartenenti a tale epoca costruttiva);
3. caso di studio C: un edificio di recente costruzione, dotato di impianti tecnici e di caratteristiche termofisiche particolarmente performanti.

Il calcolo dello SRI è stato effettuato ponendo l'attenzione sul dominio ACS, al fine di evidenziarne le principali criticità e proporre possibili miglioramenti applicabili con specifico riferimento alle tipologie impiantistiche utilizzate nel parco edilizio nazionale. Pertanto, il calcolo dello Smart Readiness Indicator è stato effettuato due volte per ciascun edificio: in primis considerando lo stato originario degli stessi, poi in seguito considerando interventi di retrofit sui casi studio.

Per effettuare la valutazione dello Smart Readiness Indicator, è stata effettuata inizialmente un'analisi delle caratteristiche generali (impiantistiche, costruttive, urbanistiche, vincolistiche, climatiche), dopodiché è stato condotto il processo di triage, per la selezione dei domini tecnici presenti in ciascun edificio. Le informazioni necessarie per l'asseverazione SRI raccolte nella fase iniziale dello studio, sono state elaborate ed utilizzate nella prima versione del foglio di calcolo europeo [108], la stessa con cui è stato condotto il primo beta testing nazionale, sia per effettuare il calcolo dello SRI degli edifici allo stato originario, sia per il calcolo effettuato sugli edifici post-retrofit simulato.

2.3.1 Caso di studio A

Il caso di studio A è rappresentato una villetta monofamiliare isolata, situata in Campania, costruita negli anni '70 e con una superficie netta totale di 133m². È ubicata in una zona rurale, in cui la fornitura di gas per gli usi domestici avviene tramite un bombolone interrato di G.P.L. in quanto non è raggiunta dai condotti del gas metano cittadino. La fornitura di acqua deriva da un pozzo artesiano. La connessione ad internet non è realizzata tramite fibra ottica in quanto non presente l'infrastruttura nei pressi dell'abitazione, ma tramite hotspot da rete mobile.

L'edificio consiste in un piano terra, confinante superiormente con un sottotetto non isolato, allo stato costruttivo grezzo. Planimetricamente, è progettato per le esigenze di una famiglia di 5 persone, con tre camere da letto, due bagni ed un'area pranzo che funge anche da sala. Gli spazi esterni sono molto ampi ed impiegati anche per l'agricoltura e l'allevamento.

L'involucro edilizio presenta delle basse performance energetiche, consistendo in una muratura portante in mattoni pieni di tufo (spessore 0.65 m), serramenti con telaio in alluminio senza taglio termico e singolo vetro. Il riscaldamento è realizzato attraverso un camino a legna e da generatori a resistenza elettrica, mentre uno scaldacqua di potenza 16 kW alimentato a G.P.L. (Figura 11) è preposto alla produzione di ACS. Il sistema di raffrescamento è assente. L'abitazione presenta

delle schermature solari manuali, in alluminio. Non presenta sistemi da fonti rinnovabili (es. solare termico, fotovoltaico), né sistemi di monitoraggio interni, né punti di ricarica per i veicoli elettrici. Nessuna automazione è presente per le funzioni dei principali domini tecnici, ma ognuna di esse avviene in modo manuale.



Figura 9. Caso di studio A: villa monofamiliare isolata rispetto al centro abitato



Figura 10. Caso di studio A: sottotetto non isolato



Figura 11. Caso di studio A: scaldacqua alimentato a G.P.L.

2.3.2 Caso di studio B

Il caso di studio B è un'unità immobiliare situata in un condominio multi-familiare in provincia di Caserta, costruito negli anni '90, avente una superficie netta totale di 70 m². È ubicata in centro città, pertanto, a differenza del caso di studio A, è caratterizzata dalla fornitura di gas metano cittadino, di acqua potabile da acquedotto e di possibilità di connessione al web tramite fibra ultraveloce.

La muratura esterna è in tamponatura a corpo unico (spessore 0.40 m), i solai interpiano sono laterocementizi non isolati, i serramenti sono in alluminio, con doppio vetro e taglio termico. È

presente una caldaia monostadio da 24 kW per la produzione combinata di ACS e riscaldamento con un termostato per la regolazione della temperatura interna e con indicazione della temperatura raggiunta indoor. L'impianto di climatizzazione è costituito da una pompa di calore per il raffrescamento estivo. Non è presente impianto solare termico, né fotovoltaico e non ci sono punti di ricarica per i veicoli elettrici. L'unità immobiliare non è dotata di sistemi di reportistica, né di monitoraggio e controllo degli impianti.



Figura 12. Caso di studio B: condominio di appartenenza dell'unità immobiliare



Figura 13. Caso di studio B: termostato indoor

2.3.3. Caso di studio C

Il caso di studio C è una villetta monofamiliare costruita nel 2015 e situata in provincia di Catania. È ubicata in centro paese e, come nel caso di studio B, è caratterizzata dalla fornitura di gas metano cittadino, di acqua potabile da acquedotto e di connessione tramite fibra ultraveloce.

L'edificio risponde ai requisiti minimi prestazionali determinati dalla legislazione vigente sia in relazione all'involucro edilizio, che in relazione agli impianti [159]. Gli impianti tecnici presenti nel caso di studio C sono in particolare:

- una unità di trattamento aria con recupero termico dall'aria esausta;
- un sistema solare termico con serbatoio di accumulo per la produzione di ACS;
- un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo elettrico;
- una gestione automatica degli schermi;
- un sistema di free cooling controllato in funzione dei dati importati dalla stazione meteo installata in loco.

2.4 Metodologia di calcolo

Per il calcolo dello Smart Readiness Indicator, è stata attuata la metodologia di calcolo presente nel documento "Final Report On The Technical Support To The Development Of A Smart Readiness Indicator For Buildings" [108].

In particolare, per questi studi, è stato applicato il Metodo B (metodo completo), il quale prevede un catalogo di 54 servizi intelligenti per la valutazione dell'edificio. È stata utilizzata la prima versione del foglio di calcolo europeo v2.0. Gli step che sono stati percorsi per effettuare il calcolo, sia ad edificio originario che simulato, sono stati i seguenti:

- Sopralluogo presso l'edificio;
- Raccolta dati impiantistici, planimetrici, costruttivi, climatici, storici;
- Processo di triage;
- Definizione dei servizi;
- Definizione dei livelli di funzionalità per ciascun servizio;
- Calcolo SRI per criterio di impatto;
- Calcolo SRI per dominio;
- Calcolo SRI per le funzionalità chiave delle EPBD;
- Calcolo SRI totale di edificio.

2.4.1 Processo di triage

Nel processo di triage, sono stati selezionati i domini presenti in ciascun edificio, sulla base dei dati raccolti dai sopralluoghi. Nel caso in cui un dominio non è presente all'interno di un edificio, il calcolo dello SRI esclude l'impatto di quel dominio sul punteggio totale. In Tabella 1. è rappresentata la caratterizzazione degli edifici a valle del triage in sono elencate le caratteristiche dei singoli casi di studio.

<i>Informazioni di input</i>	<i>Caso di studio A</i>	<i>Caso di studio B</i>	<i>Caso di studio C</i>
<i>Tipo di edificio</i>	Residenziale	Residenziale	Residenziale
<i>Categoria</i>	Monofamiliare	Monofamiliare	Monofamiliare
<i>Zona climatica</i>	Sud Europa	Sud Europa	Sud Europa
<i>Località</i>	Italia	Italia	Italia
<i>Anno di costruzione</i>	1960-1990	1960-1990	> 2010
<i>Stato dell'edificio</i>	Originale	Originale	Originale
<i>Superficie netta</i>	< 200 m2	< 200 m2	< 200 m2

Tabella 1. Caratterizzazione degli edifici casi di studio

Per la selezione dei domini, il foglio di calcolo europeo nella prima versione (v2.0), prevede la definizione dell'obbligatorietà dei domini, nel caso in cui non venga selezionato nella lista e si riferisca ad un edificio o unità immobiliare di nuova costruzione (Figura 14).

TRIAGE PROCESS

Are the following technical building systems present in your building?
If not, are they mandatory for new constructions in your country of residence? ⁽¹⁾

	present?	if no, mandatory?
Heating system	yes	
Domestic Hot Water	Yes	
Cooling system	yes	
Controlled ventilation	yes	
Lighting	Yes	
Dynamic Envelope: automated windows & blind	yes	
Electricity: renewables & storage	yes	
Electric Vehicle Charging	No	No, not mandatory

⁽¹⁾ This selection will be automated in the final version, option should not be available for assessors

Figura 14. Processo di triage nella prima versione del foglio di calcolo europeo versione v2.0

Quando un dominio non viene selezionato nel triage, sia nel caso in cui risulti obbligatorio che non, il foglio di calcolo prevede l'esclusione del dominio dalla lista, come in Figura 15.

ELECTRIC VEHICLE CHARGING

--> TBS not present, not to be assessed.

On-site parking spots	On-site parking
Electric vehicle charging spots	EV charging

Figura 15. Esempio di dominio escluso dal processo di triage nel foglio di calcolo europeo versione v2.0

Per ciascun caso di studio, la Tabella 2. riporta la selezione dei domini tecnici: si può evincere che, nel caso di studio A i domini si riducono a tre (riscaldamento, ACS ed illuminazione), nel caso di studio B si aggiunge il raffrescamento, mentre nel caso di studio C l'unico non attivo è la ricarica dei veicoli elettrici, non obbligatorio se non presente, a sottolineare come tale edificio sia in termini costruttivi il più avanzato.

Domini	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Riscaldamento	SI	SI	SI
Raffrescamento	NO	SI	SI

ACS	SI	SI	SI
Ventilazione meccanica	NO	NO	SI
Illuminazione	SI	SI	SI
Involucro dinamico	NO	NO	SI
Elettricità: rinnovabili e storage	NO	NO	SI
Ricarica dei veicoli elettrici	NO	NO	NO

Tabella 2. Caratterizzazione dei domini nei tre casi di studio

Al fine di particularizzare i domini tecnici, per ciascun caso di studio analizzato ante e post riqualificazione energetica, sono state specificate le informazioni di input relative alla generazione, produzione, emissione, stoccaggio per i domini riscaldamento, raffrescamento e ACS, nonché di sistema e di controllo per la ventilazione meccanica, l'illuminazione e l'involucro dinamico. Per il dominio "Elettricità: fonti rinnovabili e accumulo" sono state specificate rispettivamente le funzioni di generazione, accumulo, cogenerazione. Per la ricarica dei veicoli elettrici, l'indicazione del numero di punti di ricarica e di parking spot on-site, mentre per il monitoraggio e controllo la presenza di un sistema centralizzato.

Per i domini oggetto di retrofit, sono state indicate le informazioni ante e post simulazione degli interventi. Nel caso in cui una funzione, componente o tecnologia non sia stata individuata nell'edificio, è stato indicato nella cella corrispondente il valore n/p (e.g. non presente).

Dominio	Informazioni di input	Caso di studio A		Caso di studio B		Caso di studio C	
				Pre retrofit	Post retrofit		
Riscaldamento	Emissione	Non idronico		Idronico	n/p	Non idronico	
	Produzione	Decentrato		Combustione	Combustione	Pompa di calore	
	Storage	n/p		n/p	Presente	Non presente	
	Generazione singola/multipla	Generatori multipli		Generatore singolo	Generatore singolo	Generatore singolo	
Raffrescamento	Emissione	n/p		Sistema non-idronico		Non idronico	
	Storage	n/p		n/p		n/p	
	Generazione multipla	n/p		Generatore singolo		Generatore singolo	
ACS		Pre retrofit	Post retrofit	Pre retrofit	Post retrofit	Pre retrofit	Post retrofit
	Produzione	Elettrico	Elettrico	Non elettrico	Non elettrico	Non elettrico	Non elettrico
	Storage	n/p	Presente	n/p	n/p	Presente	Presente
	STC	n/p	Presente	n/p	n/p	Presente	Presente
Ventilazione meccanica	Sistema	n/p		n/p		Ventilazione meccanica	
	Recupero di calore	n/p		n/p		Presente	
	Riscaldamento	n/p		n/p		Predisposto	
	Sotto-sistemi	n/p		n/p		Non idronico (all air)	
Illuminazione	Controllo dell'occupazione e per l'illuminazione indoor	n/p		n/p		Presente	
	Controllo della potenza assorbita per illuminazione basata sulla misura del livello di illuminazione esterno	n/p		n/p		Presente	
Involucro dinamico	Schermature solari mobili ed oscuranti	n/p		n/p		Presente	
Elettricità: fonti rinnovabili e accumulo	Generazione rinnovabile on-site	n/p		n/p		Generazione da FER on-site	
	Storage on-site	n/p		n/p		n/p	

	Sistema di cogenerazione	n/p	n/p	n/p
Ricarica dei veicoli elettrici	Parking spot on-site	n/p	n/p	n/p
	Punti di ricarica on-site	n/p	n/p	n/p
Monitoraggio e controllo	Sistema centralizzato di monitoraggio e controllo	n/p	n/p	n/p

Tabella 3. Caratterizzazione dei singoli domini per ciascun caso di studio

2.4.2 Determinazione dei servizi e livelli funzionali

Dopo aver effettuato la selezione dei domini, è necessario selezionare i servizi tecnici ed i rispettivi livelli di funzionalità corrispondenti. Ad ogni servizio possono essere assegnati diversi livelli di funzionalità, ognuno dei quali rappresenta un grado di intelligenza, con il livello di funzionalità 0 indicante un servizio “non intelligente”, mentre il livello più alto (che può variare da un minimo di 2 a un massimo di 5 a seconda del servizio) una funzionalità avanzata. Per il dominio ACS sono previsti 4 servizi intelligenti, ciascuno dei quali può essere rappresentato da uno soltanto dei livelli funzionali previsti per ciascun servizio. Per il caso di studio A, la selezione ha previsto che per ciascun servizio scelto, di ciascun dominio, il livello di funzionalità corrispondente è stato di punteggio “0”, in quanto non è presente alcun tipo di controllo automatico, ma unicamente manuale. Per il caso di studio B, invece, gli unici livelli di funzionalità con punteggio diverso da “0” e pari ad “1”, sono stati identificati con il controllo dell’emissione e il controllo della temperatura del fluido nella rete di distribuzione per il dominio riscaldamento, in quanto è presente un termostato che consente rispettivamente il controllo centralizzato automatico dell’appartamento e il controllo compensato della temperatura esterna. Inoltre, anche i sistemi di reporting per il riscaldamento e per il raffrescamento sono stati caratterizzati dal punteggio “1” per la funzionalità, in quanto entrambe i domini sono dotati di sistemi che consentono l’indicazione dei valori attuali di utilizzo (es. il termostato che riporta la temperatura interna, la data, l’ora e la temperatura impostata per il riscaldamento). Per il caso di studio C, invece, sono stati selezionati numerosi livelli di punteggio elevato, in quanto l’edificio è costituito da sistemi smart e impianti tecnologicamente avanzati. A titolo di esempio, nella Figura 16 è rappresentata una porzione della prima versione del foglio di calcolo riferita alla scelta dei livelli funzionali del dominio DHW (Domestic Hot Water).

		residential										
building type →												
Code	Service	Main functionality level as inspected by SRI assessor	Share (default = 100% means applicable throughout the building)	Optional additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3	Functionality level 4	Service to be assessed?
DHW-1a	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)</i>				0%			Automatic control on / off and scheduled charging enable				0
DHW-1b	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (using hot water generation)</i>	0	100%		0%		Automatic control on / off	Automatic control on / off and scheduled charging enable	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	Automatic charging control based on signals from district heating grid (DR, DSM)		1
DHW-1d	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)</i>				0%		Manual selected control of solar energy or heat generation					0
DHW-3	Information to occupants and facility managers <i>Report information regarding domestic hot water performance</i>	0	100%		0%		None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault	1

Figura 16. Rappresentazione della selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS nella prima versione del foglio di calcolo europeo

Per il caso di studio A, è stata simulata la seguente soluzione di retrofit per il dominio ACS:

- il controllo della ricarica di accumulo dello scaldabagno elettrico avviene automaticamente, in base alle informazioni che giungono dalla rete elettrica (DR,DSM: livello di funzionalità 3) [161][162][163];
- il controllo della ricarica di accumulo derivante dall'installazione di collettori solari avviene automaticamente mediante l'utilizzo di sensori multipli (livello di funzionalità 2);
- il sistema di reporting relativo alle performance del dominio ACS avviene mediante forecasting [164][165] (livello di funzionalità 3).

In Figura 17 è rappresentata la selezione dei livelli funzionali della prima versione europea del foglio di calcolo post retrofit per il dominio ACS.

Code	Service	Main functionality level as inspected by SRI assessor	Share (default = 100% means applicable throughout the building)	Optional additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3	Functionality level 4
DHW-1a	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)</i>	3	100%		0%		Automatic control on / off	Automatic control on / off and scheduled charging enable	Automatic control on / off and scheduled charging enable and multi-sensor storage management	Automatic charging control based on local availability of renewables or information from electricity grid (DR, DSM)	
DHW-1b	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (using hot water generation)</i>				0%				Automatic control on / off and scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management		
DHW-1d	Control DHW production facilities <i>Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)</i>	2	100%		0%		Manual selected control of solar energy or heat generation	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage		
DHW-3	Information to occupants and facility managers <i>Report information regarding domestic hot water performance</i>	3	100%		0%		None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault

Figura 17. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio A

Per il caso di studio B, il retrofit è stato applicato ai domini riscaldamento e ACS. Per il riscaldamento, sono state attuate le seguenti soluzioni:

- il controllo dell'emissione avviene non più in modo centralizzato mediante termostato, ma individualmente per ogni stanza mediante un controller elettronico (livello di funzionalità 3);

- il controllo delle pompe di distribuzione nella rete avviene mediante controllo variabile della velocità (livello di funzionalità 4);
- il controllo intermittente dell'emissione e della distribuzione avviene automaticamente con un programma a tempo prefissato (livello di funzionalità 1);
- il controllo del preriscaldamento dell'unità immobiliare avviene mediante termostato basato sui comportamenti dell'utente (presenza, setpoint) – livello di funzionalità 2);
- il sistema di reporting relativo alle performance del sistema di riscaldamento è basato sul forecasting (livello di funzionalità 3);

Per il dominio ACS, gli interventi di riqualificazione sono stati determinati dalle seguenti funzionalità:

- il controllo dell'accumulo termico avviene automaticamente in modo schedato mediante sensori multipli e rifornimento basato sulla domanda (livello di funzionalità 3);
- il controllo della ricarica di accumulo derivante dall'installazione di collettori solari avviene automaticamente mediante l'utilizzo di sensori multipli (livello di funzionalità 2);
- il sistema di reporting relativo alle performance del dominio ACS avviene mediante forecasting (livello di funzionalità 3).

Code	Service	Main functionality level as inspected by SRI assessor	Share (default = 100% means applicable throughout the building)	Optional: additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3	Functionality level 4
Heating-1a	Heat control - demand side	Heat emission control	2	100%		0%	No automatic control	Central automatic control (e.g. central thermostat)	Individual room control (e.g. thermostatic valves, or electronic controller)	Individual room control with communication between controllers and to BACS	Individual room control with communication and presence control
Heating-1b	Heat control - demand side	Emission control (for TABS/heating mode)				10%	No automatic control			Variable speed pump control (pump unit internal estimation)	
Heating-1c	Heat control - demand side	Control of distribution fluid temperature (supply or return air flow or water flow) - Similar function can be applied to the control of direct electric heating networks	1	100%		0%	No automatic control	Outside temperature compensated control	Demand based control		
Heating-1d	Heat control - demand side	Control of distribution pumps in networks	3	100%		0%	No automatic control	On off control	Multi-Stage control	Variable speed pump control (pump unit internal estimation)	Variable speed pump control (external demand signal)
Heating-1e	Heat control - demand side	Intermittent control of emission and/or distribution - One controller can control different room/zones having same occupancy patterns	1	100%		0%	No automatic control	Automatic control with fixed time program	Automatic control with optimum start/stop	Automatic control with demand evaluation	
Heating-1f	Heat control - demand side	Thermal Energy Storage (TES) for building heating (excluding TABS)				0%	No automatic control				
Heating-1g	Heat control - demand side	Building preheating control	2	100%		0%	No automatic control	Program heating schedule in advance	Thermostat self-learning user behavior (presence, setpoint)		
Heating-2a	Control heat production facilities	Heat generator control (all except heat pump)	2	100%		0%	Constant temperature control	Variable temperature control depending on outdoor temperature	Variable temperature control depending on the load (e.g. depending on supply water temperature set point)		
Heating-2b	Control heat production facilities	Heat generator control (for heat pumps)				0%	ACS control of heat generator				
Heating-2c	Control heat production facilities	Heat system control according to external signal (e.g. electricity tariff, gas pricing, load shedding signal etc.)	0	100%		0%	No automatic control based on external signals	Heat system control according to external signals (tariff, availability of renewables, etc.)	Heat system control according to external signals combined with internal signals (predicted demand, temperature etc.)		
Heating-2d	Control heat production facilities	Sequencing of different heat generators				0%	Thermostat self-learning user behavior				
Heating-3	Information to occupants and facility managers	Report information regarding heating system performance	3	100%		0%	None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault

Figura 18. Selezione dei livelli funzionali per il dominio riscaldamento post retrofit per il caso di studio B

Code	Service	Main functionality level as inspected by SRI assessor	Share (default = 100% means applicable throughout the building)	Optional additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3	Functionality level 4
DHW-1a	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)				0%		Automatic control on / off and scheduled charging enable			
DHW-1b	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (using hot water generation)	2	100%		0%	Automatic control on / off	Automatic control on / off and scheduled charging enable	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	Automatic charging control based on signals from district heating grid (DR, DSM)	
DHW-1d	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	3	100%		0%	Manual selected control of solar energy or heat generation	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage	
DHW-3	Information to occupants and facility managers	Report information regarding domestic hot water performance	3	100%		0%	None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and fault	

Figura 19. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio B

Per il caso di studio C, allo stato originario l'edificio presenta di base dei sistemi avanzati per il dominio ACS:

- il controllo della ricarica dell'accumulo è automatico, programmato e basato sulla richiesta: sono presenti sensori per la gestione della ricarica (livello di funzionalità 2);
- la ricarica dell'accumulo mediante collettore solare avviene con controllo automatico (livello di funzionalità 1);
- il sistema di reporting relativo alle performance del dominio ACS avviene mediante forecasting (livello di funzionalità 3)

Code	Service	Main functionality level as inspected by SRI	Share (default = 100% means applicable throughout the building)	Optional additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3
DHW-1a	Control of DHW storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)				0%		Automatic control on / off			
DHW-1b	Control of DHW storage charging (using hot water generation)	2	100%		0%		Automatic control on / off	Automatic control on / off and scheduled charging enable	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	Automatic charging control based on signals from district heating grid (DR, DSM)
DHW-1d	Control of DHW storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	1	100%		0%		Manual selected control of solar energy or heat generation	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage
DHW-3	Report information regarding domestic hot water performance	3	100%		0%		None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking

Figura 20. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS ante retrofit per il caso di studio C

A seguito degli interventi di simulazione di riqualificazione energetica (solo sul dominio ACS), sono stati potenziati i livelli di funzionalità dei servizi tecnici DHW-1d e DHW-3 come in Figura:

- la ricarica dell'accumulo mediante collettore solare avviene con controllo automatico, basato sulla domanda, sul controllo della temperatura di ritorno e sensori multipli (livello di funzionalità 3);
- il sistema di reporting relativo alle performance del dominio ACS avviene mediante forecasting includendo la gestione predittiva dei guasti (livello di funzionalità 4)

Code	Service	main functionality level as inspected by SRI	score (default = 100% means applicable throughout the building)	upstream additional functionality level in part of the building	Share of additional functionality level	Warnings	Functionality level 0 (as non-smart default)	Functionality level 1	Functionality level 2	Functionality level 3	Functionality level 4
DHV-1a	Control of DHV storage charging (with direct electric heating or integrated electric heat pump)				0%		Automatic control on / off				
DHV-1b	Control of DHV storage charging (using hot water generation)	2	100%		0%		Automatic control on / off	Automatic control on / off and scheduled charging enable	Automatic on/off control, scheduled charging enable and demand-based supply temperature control or multi-sensor storage management	Automatic charging control based on signals from district heating grid (DR, DSM)	
DHV-1d	Control of DHV storage charging (with solar collector and supplementary heat generation)	3	100%		0%		Manual selected control of solar energy or heat generation	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge and demand-oriented supply or multi-sensor storage management	Automatic control of solar storage charge (Prio. 1) and supplementary storage charge, demand-oriented supply and return temperature control and multi-sensor storage	
DHV-3	Report information regarding domestic hot water performance	4	100%		0%		None	Indication of actual values (e.g. temperatures, submetering energy usage)	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking, also including predictive management and

Figura 21. Selezione dei livelli funzionali per il dominio ACS post retrofit per il caso di studio C

2.5 Risultati

I risultati delle valutazioni condotte sui tre casi di studio, sono rappresentate nelle Figure 22, 23, 24, 25 rispettivamente indicative nella duplice versione ante e post retrofit dei punteggi di SRI totali, dei punteggi di SRI di dominio ACS e dei punteggi di impatto.

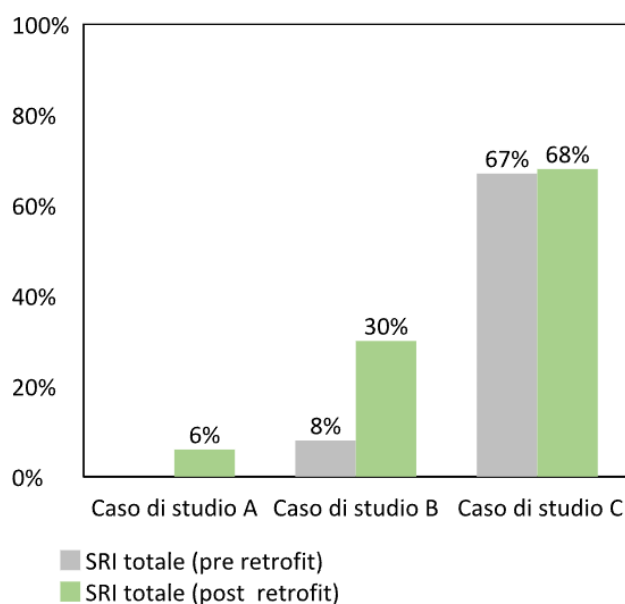


Figura 22. SRI totale ante e post retrofit dei tre casi di studio

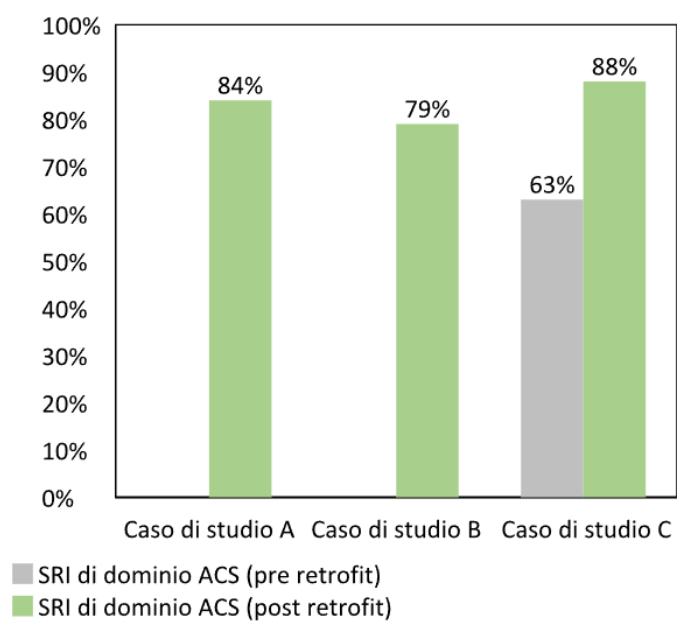


Figura 23. SRI di dominio ACS ante e post retrofit

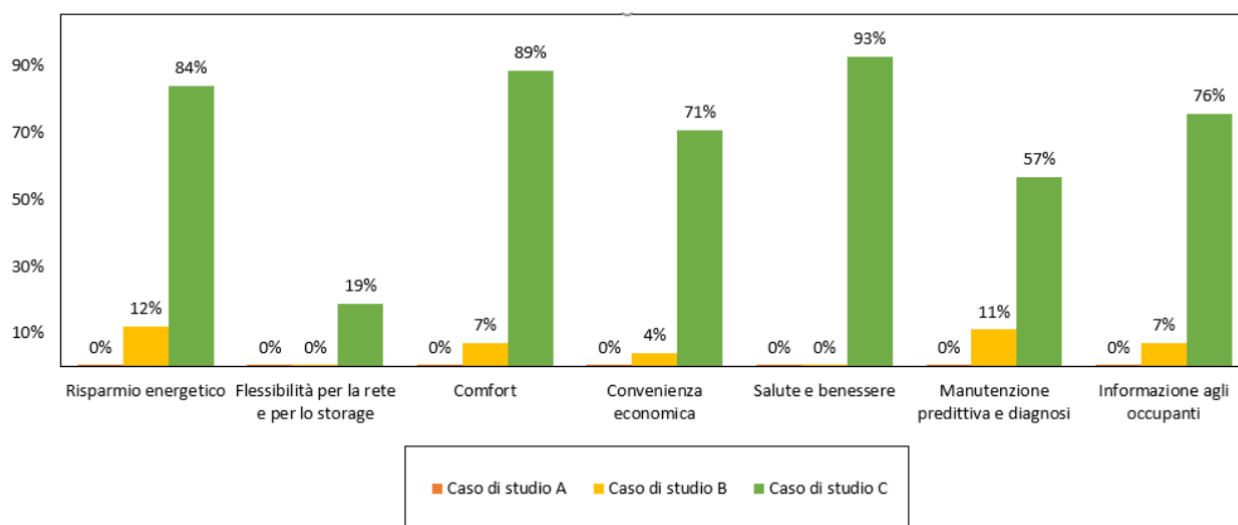


Figura 24. Punteggi di impatto ante retrofit

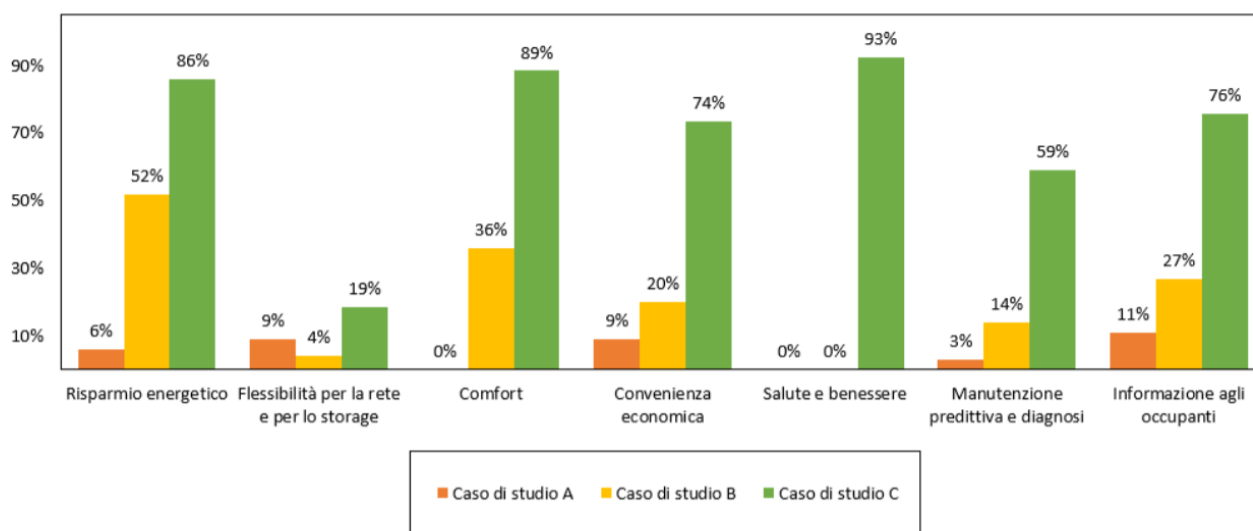


Figura 25. Punteggi di impatto post retrofit

Dai grafici, si evince come prima della riqualificazione, il caso di studio A abbia totalizzato gli scores più bassi per i tre punteggi (SRI totale, di dominio ACS e di impatto), ottenendo in tutti i casi lo 0%. La ragione risiede principalmente nell'assenza di impianti dotati di sistemi smart: non sono presenti dispositivi e tecnologie in grado di dare un contributo all'automazione e al controllo dei servizi tecnici presenti nell'edificio. Inoltre un secondo fattore di incidenza è rappresentato anche dalla mancanza di molti dei domini di edificio (sono presenti unicamente il riscaldamento, l'ACS e l'illuminazione ai minimi livelli di funzionalità).

Dopo la simulazione di riqualificazione energetica sul dominio ACS, il punteggio di SRI totale di edificio ha raggiunto il 6%, in dipendenza dall'aver ottenuto un punteggio di SRI di dominio pari all'84%. Infatti, tali interventi hanno migliorato i punteggi percentuali degli impatti relativi alla flessibilità per la rete e lo storage (9%), la convenienza economica (9%) e l'informazione agli occupanti (11%). È opportuno evidenziare come nella valutazione dello SRI non incida l'installazione di un sistema di produzione da FER (STC), ma esclusivamente il suo livello di automazione e controllo (i.e., smartness).

Il caso di studio B, ha raggiunto un punteggio di SRI totale dell'8% allo stato originario, più alto del caso di studio A in quanto l'unità immobiliare è dotata di un termostato di zona che regola la temperatura ambiente e consente di mostrare all'utente i dati relativi alla temperatura indoor, la data e l'ora, la temperatura impostata. Tuttavia, dopo la simulazione di retrofit in cui è stata sostituita la caldaia a condensazione con un generatore smart, l'impatto sui domini ACS e riscaldamento è stato notevole: rispettivamente hanno incrementato il punteggio di dominio al 79% e al 54%. Il valore totale di SRI è giunto, quindi, al 30%. Anche i punteggi di impatto sono aumentati, come testimonianza del miglioramento ottenuto sul risparmio energetico (52%), sulla convenienza economica (20%), il comfort (36%), l'informazione agli occupanti (27%) e la

manutenzione e diagnosi (14%). Si evidenzia come, un impianto smart che agisca su più domini tecnici, possa rendere uniformemente elevato l'incremento della predisposizione all'intelligenza dell'edificio/unità immobiliare, agendo su più impatti.

Il caso di studio C, considerati i dispositivi e le logiche smart applicate all'edificio, ha raggiunto un SRI totale di edificio allo stato originario del 67%. Tale valore è dovuto principalmente alla presenza di: i) un sistema BACS per il controllo dell'impianto HVAC e del sistema di illuminazione; ii) un sistema automatico di controllo delle schermature solari; iii) un sistema di controllo della generazione e dello storage di energia elettrica da FER (PV) corredato di un sistema di reporting delle performance; iv) un sistema tecnico di reporting in tempo reale su tutti i consumi energetici dell'edificio; v) controllo programmato del livello termico del serbatoio asservito ai pannelli solari termici. A seguito dell'intervento di installazione di un sistema di reporting relativo alle prestazioni degli impianti di produzione di ACS e riscaldamento (incluso un servizio di previsione futura e benchmarking, individuazione predittiva dei guasti), lo SRI è incrementato da 67 a 68%. Questo incremento così ridotto sottolinea, da un lato, la saturazione che può verificarsi in edifici molto prestanti dal punto di vista della smartness, dall'altro, la difficoltà di individuare sul mercato soluzioni che consentano di raggiungere i massimi livelli di funzionalità previsti dalla metodologia di calcolo.

2.6 Conclusioni

Nel presente lavoro, è stata approfondita l'applicazione della metodologia di calcolo dell'SRI per il dominio ACS, in riferimento ad edifici casi di studio di edilizia residenziale situati in Italia, analizzando il livello di intelligenza e le potenzialità dei dispositivi attualmente presenti, applicabili ai sistemi di produzione dell'acqua calda sanitaria. La metodologia è stata applicata a tre casi studio appartenenti al parco edilizio residenziale italiano, in particolare valutando il dominio ACS, simulando per ciascun caso un intervento di retrofit.

Dall'analisi, sono emerse le seguenti considerazioni riguardanti gli aspetti principali della valutazione della predisposizione all'intelligenza degli edifici in esame:

- Metodologia: i) alcuni servizi tecnici non sono dotati di normativa di riferimento, pertanto non essendo unificata la procedura di valutazione per ciascuno di essi, un ruolo fondamentale è svolto dalla soggettività dell'asseveratore; ii) i livelli di funzionalità non rispecchiano sempre le funzionalità delle tecnologie presenti sul mercato; iii) i livelli di funzionalità, talvolta, sono di difficile interpretazione per via della descrizione sintetica; iv) alcuni domini presentano impropriamente un peso nullo (come quello dell'ACS sull'impatto sulla salute e sul benessere); v) nel processo di triage, in fase di selezione dei domini, non è considerata la selezione del dominio "monitoraggio e controllo", che potrebbe essere attivata per migliorare la valutazione in termini di

BACS; vi) nel processo di triage, la selezione dell'obbligatorietà dei domini potrebbe essere utile per dare un impatto in termini di punteggio di SRI totale di edificio, di dominio e di impatto.

- Assegnazione dei punteggi: i) la definizione dei sistemi/impianti connessi ai singoli domini non sempre risulta adeguata alla caratterizzazione degli stessi (e.g., nel caso dei sistemi di produzione di ACS, la semplice distinzione in "elettrico" e "non elettrico" non rappresenta adeguatamente i molteplici dispositivi e conseguentemente gli impatti che gli stessi presentano sui consumi di energia, sui risparmi economici, sulla salute e sul benessere, sul comfort etc.); ii) nella valutazione dello SRI incide marginalmente l'installazione di eventuali sistemi di produzione da FER, ma esclusivamente il suo livello di automazione e controllo (i.e., smartness); iii) non tutti i livelli di funzionalità includono le reali funzioni delle tecnologie presenti sul mercato, pertanto l'assegnazione dei punteggi diventa non rappresentativa in pieno dell'intelligenza del servizio in oggetto;

- Definizione dei domini: i) in alcuni domini tecnici potrebbe essere utile inserire dei servizi relativi alle funzionalità sulla sicurezza degli occupanti; ii) alcuni domini sono trasversali, come ad esempio "Monitoraggio e controllo" (risulta complicato talvolta comprendere come valutare sistemi integrati); iii) alcuni domini sono molto specifici e dovrebbero essere più generici, come "Veicoli elettrici" e "Illuminazione", che rispettivamente potrebbero includere aspetti relativi alla movimentazione e trasporto delle persone e sistemi di sicurezza per l'illuminazione esterna degli edifici.

Dalla valutazione dei casi di studio, si evince che:

- gli edifici residenziali del parco edilizio nazionale allo stato originario, stimano un SRI medio compreso tra lo 0% e il 10%, testimonianza del fatto che la maggior parte di essi non sono stati oggetto di riqualificazione energetica, soprattutto in termini di controllo;
- gli edifici residenziali del parco edilizio nazionali dalle performance particolarmente elevate non riescono a raggiungere il punteggio totale massimo di SRI in quanto esistono delle limitazioni di mercato riguardanti le tecnologie applicabili a disposizione;
- per ottenere un miglioramento generalizzato delle performance dell'edificio o dell'unità immobiliare è necessario agire su più domini contemporaneamente;
- nel dominio ACS in particolare, il controllo della ricarica di accumulo derivante dall'installazione di collettori solari è condizione necessaria per avere un incremento nel punteggio di SRI di dominio;

Capitolo III – Valutazione dello Smart Readiness Indicator per edifici del parco edilizio nazionale oggetto di retrofit energetico

3.1 Introduzione

La direttiva 2018/844/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia ha introdotto la predisposizione (SRI) per fornire un quadro di riferimento per valutare e promuovere l'intelligenza degli edifici in Europa [105]. In linea generale, le recenti Direttive UE hanno introdotto una serie di obiettivi e misure per l'incremento delle performance edilizie. Rispetto agli edifici NZEB, che soddisfano elevati standard di prestazioni energetiche, è stata considerata l'importanza dell'interazione con gli occupanti, con le reti energetiche (ad esempio la Smart Grid) e con i sistemi/dispositivi intelligenti applicati negli edifici stessi. Pertanto, un edificio smart, rispetto ad uno NZEB, consente maggiori punti di forza, come il risparmio dei costi di gestione energetica (riscaldamento, raffrescamento e illuminazione) e la riduzione delle emissioni di CO₂. In questo contesto, è stato introdotto lo Smart Readiness Indicator (SRI), ossia l'indicatore di predisposizione all'intelligenza degli edifici o unità immobiliari, per valutare il livello di "smartness" in termini di adattamento alle esigenze degli utenti, alle reti energetiche e all'efficienza delle tecnologie connesse. Al fine di stabilire un quadro metodologico per il calcolo dell'SRI, sono stati emanati due regolamenti UE: regolamento delegato [166] e regolamento di attuazione [167] nei quali è stata proposta una metodologia consolidata per il calcolo dell'SRI di un edificio o di unità immobiliare su un sistema di valutazione multicriterio flessibile e modulare. Per la messa a punto della metodologia, sono stati condotti, in particolare, due studi tecnici in cui è stato avviato un primo beta-testing della metodologia proposta e sono stati messi a disposizione delle parti interessate anche due specifici fogli di calcolo automatizzati per supportare un processo di calcolo dell'SRI uniforme tra gli Stati membri dell'UE. Ai beta test hanno partecipato le parti interessate di 21 Stati membri, con 112 edifici valutati (di cui 57 residenziali e 65 non residenziali, la maggior parte dei quali costruiti dopo il 2010) [168]. L'Italia ha partecipato alla fase di beta testing pubblico del secondo studio tecnico eseguendo oltre quindici valutazioni SRI in edifici di casi di studio reali (ad esempio, edifici residenziali, scuole, uffici, ospedali). "In letteratura sono

disponibili pochi studi che analizzano in dettaglio l'SRI, con riferimento sia alla metodologia di calcolo che all'applicazione a diversi edifici considerati come casi di studio. Marzinger et al. [110] hanno proposto una metodologia semplificata per la valutazione quantitativa del potenziale di spostamento del carico degli edifici con l'obiettivo di fornire un approccio numerico che consenta di classificare gli edifici in base alla loro capacità di accumulo di energia, al carico e alla loro interazione con la rete. Gli stessi autori hanno ulteriormente sviluppato il loro approccio basato su modelli numerici sulla valutazione di interi distretti. Janhunen et al. [111] hanno applicato il calcolo dell'SRI in alcuni edifici del nord Europa dimostrando che, nella sua forma attuale, l'SRI non è in grado di riconoscere le peculiarità degli edifici a clima freddo, in particolare quelli che impiegano sistemi avanzati di teleriscaldamento. Un'altra implicazione è che l'applicabilità dell'SRI in tutti gli Stati membri dell'UE potrebbe essere problematica a causa della natura soggettiva del processo proposto per la selezione dei servizi pertinenti. Vigna et al. [112] hanno valutato l'impatto della natura soggettiva della metodologia SRI, adottando una valutazione in due fasi con il coinvolgimento di due team di esperti. Gli autori presentano anche una serie di raccomandazioni per un'attuazione efficace e ampia dell'SRI per aumentare la pertinenza della sua valutazione ed efficacia, nonché per migliorare la comparabilità della preparazione degli edifici intelligenti. Fokaides et al. [2] hanno evidenziato che i valori SRI sono particolarmente penalizzanti nei piccoli edifici dove non sono presenti BMS (sistemi di gestione degli edifici), concludendo che, sebbene l'indicatore sia promettente, ci sono diversi aspetti che devono essere migliorati. Ramenzani et al. [169] hanno applicato la metodologia SRI in due edifici di servizio situati nel clima mediterraneo e sono stati valutati i possibili effetti delle azioni di retrofit e delle funzionalità intelligenti sulle prestazioni energetiche e sulla qualità dell'ambiente interno. I risultati hanno mostrato che i fattori di ponderazione definiti non sono in grado di catturare la prestazione energetica degli edifici di servizio e necessitano di una revisione. Becchio et al. [170] hanno eseguito una simulazione dinamica dell'edificio dell'Energy Center di Torino in diversi scenari (stato attuale e aumento del livello di gestione e controllo), e hanno valutato l'influenza di queste azioni sulla valutazione SRI complessiva. I risultati hanno permesso di collegare l'SRI con il fabbisogno energetico dell'edificio.

Il Regolamento Delegato [166] prevede, inoltre, che gli Stati Membri possano decidere di attuare una fase di test su edifici di libera scelta, al cui termine potranno valutare se utilizzare la metodologia di calcolo proposta nei due studi tecnici. Pertanto, per ciascuno Stato Membro sarà utile applicare la metodologia su differenti edifici (residenziali e non, uffici, ospedali, scuole, etc...) in modo da rendere significativa la fase di test (che si precisa essere non vincolante). Dunque, anche l'Italia, in qualità di Stato Membro, è invitata a partecipare alla fase di test e a decidere se implementare il calcolo dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza degli edifici del patrimonio edilizio. Nel presente lavoro, gli autori hanno applicato la metodologia di calcolo descritta per effettuare il calcolo dello Smart Readiness Indicator per la valutazione del grado di

“smartness” effettivo e potenziale del parco edilizio residenziale italiano, per otto tipologie di edifici del parco edilizio nazionale in tre differenti scenari:

1. Scenario base: parco edilizio allo stato originario;
2. Scenario energetico: edifici oggetto di riqualificazione semplice
3. Scenario energetico intelligente: edifici oggetto di riqualificazione secondo una prospettiva “smart”

È stato quindi possibile stimare un valore SRI medio nazionale del 5,0%, 15,7% e 27,5% nei tre scenari sopra definiti, rispettivamente.

Il presente studio, è stato condotto nell’ambito del progetto di ricerca nazionale triennale *“Ricerca di Sistema Elettrico - ENEA”*, in cui l’obiettivo è sviluppare una metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator nazionale. Il progetto prevede diverse fasi:

1. calcolo dello SRI nel parco edilizio italiano;
2. elaborazione di un’analisi di mercato alla quale partecipano i principali attori del mercato BACS;
3. analisi e revisione nell’ambito nazionale del catalogo dei servizi intelligenti;
4. sviluppo nell’ambito nazionale
5. di uno strumento di calcolo per l’indicatore di predisposizione all’intelligenza

Il patrimonio immobiliare italiano è prevalentemente costituito da edifici residenziali: lo studio di seguito presentato, rispetto agli altri presenti in letteratura, è innovativo dal punto di vista del settore edilizio analizzato, della panoramica più ampia per definire le tipologie di edifici di riferimento per il calcolo dell’indicatore rispetto allo studio di singoli casi ed infine, ne elabora il processo di attuazione ottimale per gli edifici residenziali.

3.2 Metodologia

La metodologia di calcolo utilizzata in questo studio è multilivello, per ciascun dominio sono definiti specifici servizi smart in base alle caratteristiche impiantistiche del servizio considerato. Ad ogni servizio sono assegnati dei livelli di funzionalità rappresentativi ognuno di un grado di intelligenza, su una scala crescente da 0 (cioè servizio “non intelligente”) a un valore massimo (che varia da 2 a 5 seconda del servizio) per le funzionalità più avanzate. Seppur la misura dell’intelligenza di ciascun livello funzionale assegnato al singolo servizio sia di punteggio crescente, la variabilità dei punteggi massimi assegnati ai livelli funzionali non consente l’applicabilità di confrontare i diversi servizi tra loro [112].

I punteggi assegnati ai singoli servizi vengono sommati per ciascuno dei domini e divisi per i punteggi massimi individuali in modo da ottenere un punteggio di impatto del dominio. Per ciascun criterio di impatto, il punteggio totale viene calcolato come somma ponderata dei punteggi di impatto del dominio. L'SRI è quindi ottenuto come somma ponderata dei punteggi di impatto totali.

Il valutatore SRI è libero di scegliere il sistema di ponderazione predefinito o di assegnare diversi fattori di ponderazione in base alle caratteristiche specifiche degli edifici oggetto di valutazione (condizioni climatiche, caratteristiche del patrimonio edilizio nazionale o regionale, ecc.). Nel presente studio, è stato applicato il sistema di ponderazione predefinito. È possibile calcolare l'SRI totale dell'edificio o dell'unità immobiliare, l'SRI per criterio di impatto, l'SRI relativo alle funzionalità chiave dell'EPBD e l'SRI per dominio. In Figura è rappresentato il processo di calcolo dello Smart Readiness Indicator mediante valutazione dei fattori di ponderazione.

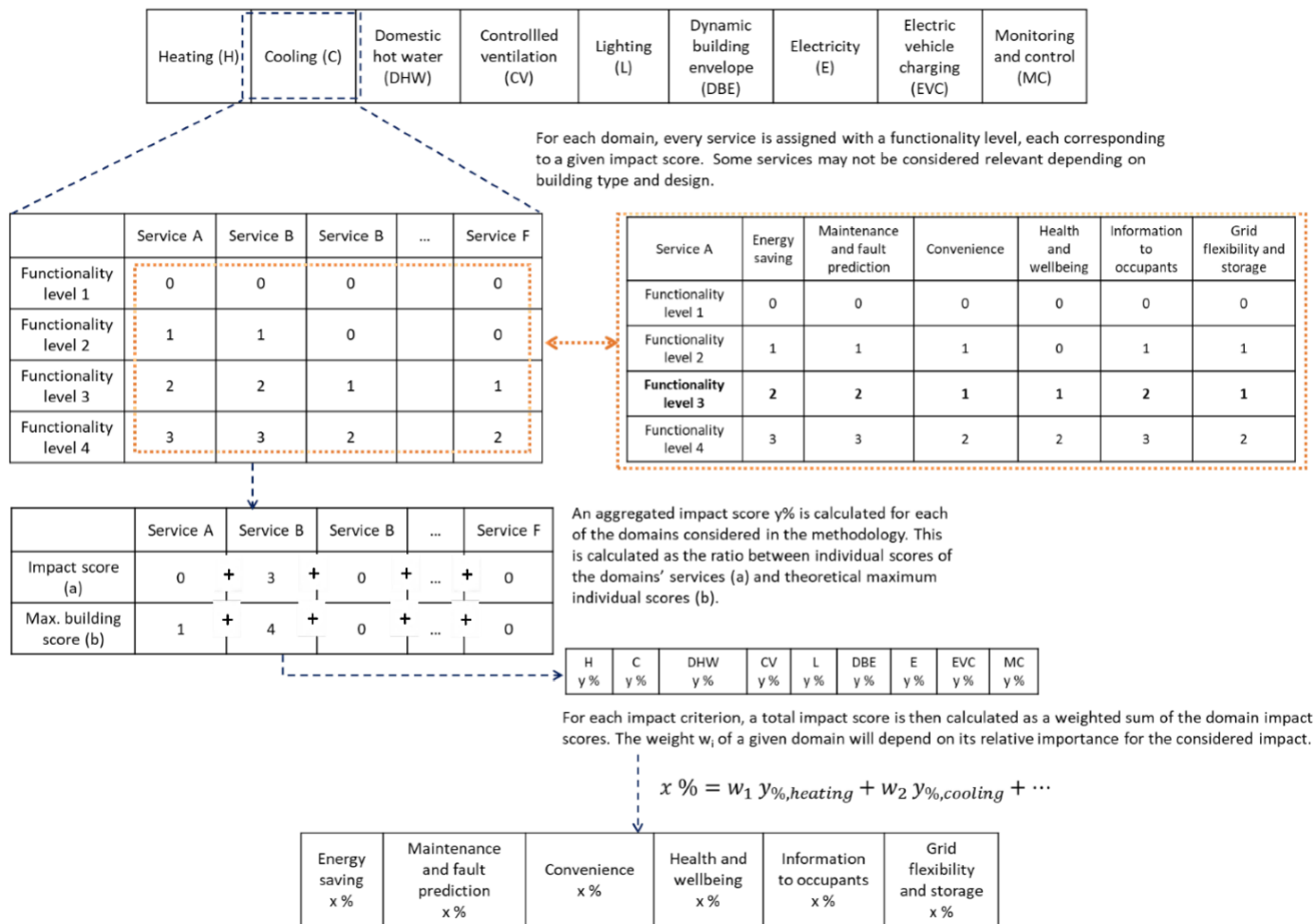


Figura 26. Metodologia multilivello dello Smart Readiness Indicator

La metodologia di calcolo SRI è stata delineata, a seguito della consultazione con gli stakeholder ed un primo beta testing europeo, nel “Final Report on the technical support to the development of a Smart Readiness Indicator for buildings” [108] relativo al secondo studio tecnico promosso dalla Commissione Europea per fornire un supporto alla definizione e implementazione dello Smart Readiness Indicator.

Nel documento, sono stati proposti due metodi per il calcolo, a ciascuno dei quali corrisponde un catalogo dei servizi intelligenti contenente appunto una lista dei servizi tecnici smart:

- Metodo A (metodo semplificato): consiste in una rapida e semplice check-list dei servizi e principalmente viene utilizzato per gli edifici residenziali e per i piccoli edifici non residenziali. Il catalogo A contiene 27 servizi;
- Metodo B (metodo completo): consiste in una valutazione più dettagliata dello SRI, che si applica per lo più agli edifici non residenziali. Il metodo richiede un sopralluogo da parte del tecnico. Il catalogo B contiene 54 servizi [108].

Inoltre, nel documento è menzionato un terzo metodo (Metodo C), che consisterebbe in un automonitoraggio da parte dei sistemi di automazione presenti negli edifici, ma che attualmente è considerato un'evoluzione futura del calcolo per lo Smart Readiness Indicator. Nel presente studio, è stato considerato il metodo B per effettuare il calcolo SRI.

Per la valutazione dell'indicatore, è stata in via preliminare effettuata la classificazione delle funzioni degli edifici, dapprima con la selezione dei domini presenti negli edifici oggetto di studio e dei servizi smart ready mediante una "chek-list" (processo di triage), dopodiché sono stati definiti i livelli funzionali per ciascun servizio tecnico in base alla valutazione derivante dall'analisi impiantistica ed edilizia degli edifici sulla base dei sopralluoghi effettuati. Il passo successivo, è stato il calcolo dei punteggi (di dominio e di impatto), ed infine, il calcolo dello Smart Readiness Indicator di impatto, di dominio, per le key capabilities e totale di edificio.

Gli step di calcolo, sono rappresentati nel diagramma di flusso SRI in Figura.

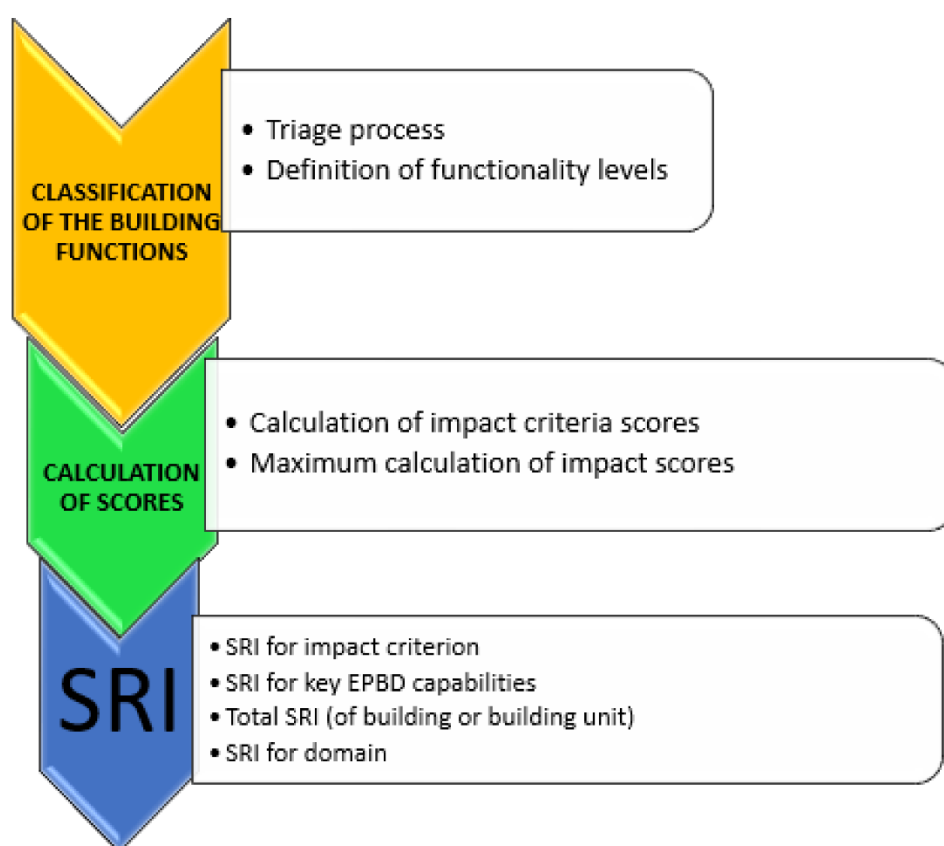


Figura 27. Diagramma di flusso della metodologia di calcolo SRI

3.3 Approccio energy ed approccio energy smart per la valutazione dello Smart Readiness Indicator

La valutazione dello Smart Readiness Indicator nel parco edilizio italiano dipende dalle caratteristiche degli impianti di riscaldamento ed acqua calda sanitaria. Nel corso del tempo, sono state emanate una serie di norme con l'obiettivo di regolamentare gli impianti termici. In Tabella 4 sono rappresentati gli obblighi legislativi che consentono di associare l'edificio al relativo impianto di riscaldamento. Tuttavia, ci sono alcuni aspetti negativi, quali la scarsa diffusione dei sistemi di ventilazione meccanica controllata e dei sistemi HVAC, nonché delle carenze normative riferite ai requisiti minimi del livello di intelligenza e all'assenza di regolamentazione relativa all'installazione dei sistemi BACS negli edifici residenziali.

Anno	Obblighi legislativi
1976	Obbligo di installare un sistema di controllo del generatore di calore basato sulla misurazione della temperatura esterna [171]
1993	Per gli impianti di riscaldamento centralizzato, obbligo di installare un unico sistema di regolazione della temperatura ambiente su almeno due livelli azionato da una sonda di temperatura esterna. Devono essere misurate la temperatura esterna e le temperature di mandata/ritorno del fluido termovettore. Per gli impianti di riscaldamento autonomi, un sistema di termoregolazione controllato da una o più sonde di misura della temperatura ambiente con un programmatore che consente la regolazione di tale temperatura su almeno due livelli di temperatura [172]
2009	Obbligo di installare un sistema di controllo della temperatura programmabile e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente in singoli locali o zone. Per impianti di riscaldamento centralizzato, regolazione controllata da sonde di temperatura interne (centralina analogica opzionale per la temperatura esterna). Per impianti di riscaldamento autonomo, programmatore che consente la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura [173]
2014	Obbligo di installare sistemi di contabilizzazione termica per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di ACS, per tutti gli edifici alimentati da impianti centralizzati di riscaldamento/raffrescamento [174]

Tabella 4. Obblighi legislativi che consentono di associare l'edificio al relativo impianto di riscaldamento

Per la stima dello Smart Readiness Indicator del parco edilizio Italiano e per l'identificazione degli edifici casi di studio, gli autori hanno analizzato i seguenti dati:

- requisiti normativi impiantistici per gli edifici presenti sul territorio;
- dati statistici aggiornati all'ultimo censimento ISTAT per gli edifici e gli impianti;
- dati statistici su impianti di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria nonché risultati del progetto TABULA per la caratterizzazione delle tipologie di edifici/impianti termici;
- funzionalità intelligenti presenti negli edifici residenziali.

Gli edifici individuati, in totale otto, sono stati scelti in base a due principali criteri di selezione, ossia la tipologia di riscaldamento e il periodo di costruzione. In particolare, sottolineando l'importanza dell'obbligo di installazione dei sistemi di contabilizzazione del calore e di regolazione della temperatura indoor.

Pertanto, sono state individuate le seguenti tipologie impiantistiche:

1. Impianto di riscaldamento autonomo o singoli apparecchi asserventi l'intera abitazione o di parti di essa, rispettivamente in percentuale del 60,5% e 20,7% degli immobili residenziali italiani [160];
2. Impianto di riscaldamento centralizzato, rappresentanti il 18,8% del parco edilizio nazionale [160].

I periodi di costruzione individuati sono stati in totale quattro (prima del 1980, compreso tra il 1981 e il 1990, compreso tra il 1990 e il 2005 e dopo il 2006), sulla base della legislazione relativa agli impianti termici e dei risultati del censimento ISTAT.

Infine, a valle delle analisi descritte, dei sopralluoghi e delle interviste effettuate agli occupanti, ogni smart building è stato associato ad un edificio reale, caratterizzandone servizi tecnici e funzionalità smart.

Di seguito, in Tabella 5. è rappresentata la caratterizzazione degli edifici, descrivendone il periodo di costruzione, la tipologia di impianto di riscaldamento e i domini tecnici. In Tabella 6. invece, sono descritti per ogni smart building allo stato originario (scenario base) le funzionalità e i dispositivi utilizzati nel riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria. Da notare che unicamente per gli edifici E, G ed H è presente il sistema di raffrescamento. Invece, per maggiore chiarezza, sono stati omessi i domini "Illuminazione", "Involucro dinamico" ed "Elettricità da fonti rinnovabili e stoccaggio", infatti per il primo dominio in elenco si è ipotizzato il controllo manuale on/off per ciascun edificio, mentre "Involucro dinamico" ed "Elettricità da fonti rinnovabili e stoccaggio" sono stati considerati solo per gli edifici G (schermi motorizzati a controllo non automatico) ed H (impianto fotovoltaico senza accumulo). I domini "Ventilazione meccanica controllata", "Ricarica dei veicoli elettrici" e "Monitoraggio e controllo" non sono stati considerati in nessuno degli edifici in quanto l'analisi di letteratura e l'analisi dei dispositivi, delle

logiche e delle tecnologie presenti sul territorio nazionale hanno rilevato una scarsa presenza all'interno degli edifici residenziali.

Edificio	A	B	C	D	E	F	G	H
Periodo di costruzione	<1980	<1980	1981-1990	1981-1990	1990-2005	1990-2005	>2006	>2006
Tipologia impianto di riscaldamento	Autonomo	Centralizzato	Autonomo	Centralizzato	Autonomo	Centralizzato	Autonomo	Centralizzato
Dominio tecnico								
Riscaldamento	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Acqua calda sanitaria	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Ventilazione meccanica controllata	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
Illuminazione	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Raffreddamento	Assente	Assente	Assente	Assente	Presente	Assente	Presente	Presente
Involucro dinamico	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Presente	Presente
Elettricità da fonti rinnovabili	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Presente	Presente
Ricarica dei veicoli elettrici	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente
Monitoraggio e controllo	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente

Tabella 5. Caratterizzazione degli smart buildings

	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria (ACS)	Raffreddamento
A	Generatori a resistenza elettrica utilizzati per il riscaldamento dei singoli ambienti. Nessun sistema di controllo del sistema di generazione/emissione e regolazione.	Scaldabagno elettrico dedicato con sistema di accumulo. Nessun sistema di controllo.	-
B	Impianto di riscaldamento centralizzato con generatore a gasolio per la produzione combinata di riscaldamento e ACS. Sistema di distribuzione verticale idronica con radiatori e pompa di circolazione a velocità variabile. Sistema di contabilizzazione indiretta del calore e valvole termostatiche meccaniche su ogni radiatore.		-
C	Impianto di riscaldamento autonomo alimentato da caldaia monostadio a metano con bruciatore atmosferico e regolazione climatica per la produzione combinata di riscaldamento e ACS. Termoregolazione effettuata tramite termostato di zona programmabile centrale.		-
D	Impianto centralizzato con caldaia tradizionale a metano,	Produzione	-

	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria (ACS)	Raffreddamento
	dotata di programmatore orario a regolazione manuale. Sistema di distribuzione idronica verticale con radiatore e pompa di circolazione a velocità variabile. Sistema di contabilizzazione indiretta del calore con contatempì ad inserimento e valvole termostatiche elettroniche per radiatori comandate da termostato centrale.	autonoma con scaldabagni elettrici o caldaia murale alimentata a gas metano.	
E	Impianto autonomo con caldaia a pellet per la produzione combinata di riscaldamento e ACS, regolazione climatica e cronotermostato. Sistema di distribuzione idronica orizzontale con terminali di emissione termoconvettori.		Refrigeratore elettrico ad assorbimento, distribuzione idronica e terminali di emissione termoconvettori.
F	Impianto centralizzato alimentato da caldaia a condensazione alimentata a gas metano per la produzione combinata di riscaldamento e ACS. Programmatore associato al generatore principale per la regolazione della temperatura su almeno due livelli, misura della temperatura del fluido termovettore e sonda di temperatura esterna. Sistema di distribuzione idronica orizzontale con emissione del radiatore e pompa di circolazione a velocità variabile. Sistema di contabilizzazione diretta con contatori di energia termica. Cronotermostato di zona a tratti. Collettori solari termici dotati di accumulo senza gestione del livello termico.		-
G	Caldaia a condensazione a bassa temperatura alimentata a gas metano per la produzione combinata di riscaldamento e ACS. Misura della temperatura del fluido termovettore e sonda di temperatura esterna. Sistema di riscaldamento a pavimento idronico. Collettori solari termici dotati di accumulo senza gestione del livello termico.		Sistema di raffreddamento a pompa di calore aria-aria (sistema multisplit ad espansione diretta).
H	Impianto centralizzato alimentato da tre generatori a pompa di calore aria-acqua per il raffrescamento, il riscaldamento e la produzione di ACS. Programmatore associato al generatore principale per la regolazione della temperatura su almeno due livelli, misura della temperatura del fluido termovettore e sonda di temperatura esterna. Controllo multistadio dei generatori in base al carico termico effettivo. Sistema di distribuzione idronica con emissione di pannelli radianti incassati nel pavimento. Sistema di contabilizzazione diretta con contatori di energia termica e ACS. Termostato di zona. Collettori solari termici per ACS dotati di accumulo senza gestione del livello termico.		

Tabella 6. Caratteristiche impiantistiche delle tipologie di smart building (scenario base)

Al fine di valutare il potenziale miglioramento del punteggio SRI complessivo del parco immobiliare nazionale, sono stati valutati gli impatti dei vari interventi di riqualificazione applicati alle tipologie edilizie selezionate. In particolare, gli interventi di retrofit sono stati individuati tenendo conto dei domini più diffusi e dei rispettivi servizi nel settore residenziale (i.e., riscaldamento, illuminazione, produzione ACS, involucro dinamico e installazione di sistemi di produzione da FER). Per la definizione degli scenari di retrofit è stata eseguita un'analisi statistica preliminare degli interventi di retrofit effettuati nel periodo 2014-2019 [42] in base alla tipologia di intervento e alla potenziale "smartness". A tal fine, sono stati definiti due scenari di efficienza ("energy" e "energy smart") con un livello crescente di intelligenza. Lo scenario "energetico" si basa sull'ipotesi di adeguare il parco immobiliare ai trend 2014-2019, i cui principali

risultati sono descritti in [175]. Le funzionalità intelligenti minime dei nuovi sistemi di installazione/sostituzione per lo scenario "energetico" sono mostrate nella Tabella 7. Nel caso di impianti preesistenti già rispondenti ai requisiti minimi stabiliti, non è stata presa in considerazione alcuna sostituzione/riqualificazione.

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
Riscaldamento	Generazione	- Rilevamento e controllo della temperatura esterna e dei parametri del sistema (temperatura del fluido, carico termico richiesto) - Controllo basato sulla domanda (temperatura del fluido di trasferimento termico)	Sostituzione della caldaia a singolo stadio con una caldaia a condensazione modulante
	Distribuzione	Controllo automatico basato sulla temperatura esterna e sulla misurazione della temperatura del fluido di riscaldamento	
	Emissioni e controllo	Regolazione della temperatura per una singola stanza/zona	
Raffreddamento	Generazione	- Rilevamento e controllo della temperatura esterna e dei parametri del sistema (temperatura del fluido, carico termico richiesto) - Controllo basato sulla domanda (temperatura del fluido di trasferimento di calore)	Installazione di un sistema di raffreddamento a pompa di calore (sistema di espansione diretta mono-split o multi-split)
	Distribuzione	Controllo automatico basato sulla temperatura esterna e sulla misurazione della	

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
		temperatura del fluido di raffreddamento	
	Emissioni e controllo	Regolazione della temperatura per una singola stanza/zona	
Acqua calda domestica (DHW)	Generazione	Produzione rinnovabile (Collettori solari termici)	Installazione di collettori solari termici e sistema di accumulo DHW
	Stoccaggio	Archiviazione senza sistema di controllo	
Illuminazione	Controllo	Controllo della potenza assorbita (dimming manuale per stanza/ambiente)	Installazione di un sistema di dimming manuale
Involucro dinamico	Controllo	Schermi motorizzati per dispositivi mobili con controllo manuale	Installazione di schermi motorizzati manuali
Elettricità: rinnovabili e accumulo	Generazione	Produzione rinnovabile (sistema fotovoltaico)	Installazione di un sistema di produzione di energia rinnovabile (pannelli fotovoltaici)
	Stoccaggio	Nessuno spazio di stoccaggio	

Tabella 7. Livelli di funzionalità dello scenario "energy"

Per lo scenario "energy smart", sono stati ipotizzati interventi di retrofit per l'efficienza energetica intelligente, agendo su singoli servizi e domini con installazioni che non comportano cambiamenti sostanziali ai sistemi presenti negli edifici. Pertanto, gli interventi già ipotizzati per lo scenario "energy" sono stati rivisti da una prospettiva "intelligente", assumendo così per i sistemi appena installati/sostitutivi le funzioni aggiuntive minime tra cui: connettività WLAN/wireless, sistemi di gestione e controllo remoto, sensori connessi per scopi di gestione, controllo e monitoraggio. Le funzionalità smart minime dei sistemi appena installati/sostituiti per lo scenario "energy smart" sono mostrate nella Tabella 8.

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
---------	---------	---------------------	---------

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
Riscaldamento	Generazione	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento, allarmi) • Rilevamento e controllo dei parametri ambientali (temperatura) e del sistema (temperatura di consegna, carico termico richiesto) • Smart metering (lettura e gestione remota del consumo di energia termica/gas/elettricità)	• Installazione di una caldaia di condensazione intelligente dotata di connettività WLAN e gestione remota integrata del sistema per il monitoraggio in tempo reale; • Installazione di un termostato Smart con funzionalità di autoapprendimento basate sulle abitudini e preferenze dell'utente
	Distribuzione	• Controllo automatico basato sulla temperatura esterna e sulla temperatura del fluido di trasferimento termico	
	Emissioni e controllo	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento, allarmi)	
	Informazioni per gli occupanti	• Regolazione della temperatura per singola stanza/zona • Funzionalità di autoapprendimento	

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
	Generazione	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento, allarmi) • Rilevamento e controllo dei parametri ambientali (temperatura) e del sistema (temperatura di consegna, carico termico richiesto) • Smart metering (lettura e gestione remota del consumo di energia termica/gas/elettricità assorbiti dal generatore)	
Raffreddamento	Distribuzione	• Controllo automatico basato sulla temperatura esterna e sulla temperatura del fluido di trasferimento termico	• Installazione di un sistema di raffreddamento a pompa di calore (sistema di espansione diretta multi-split) integrato con un sistema di monitoraggio e controllo dei parametri ambientali e un sistema di monitoraggio energetico
	Emissioni e controllo	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento, allarmi) • Interblocco completo • Regolazione della temperatura per singola stanza/zona	
	Informazioni per gli occupanti	• Rapporto sui valori attuali e storici di temperatura/consumo	
Acqua calda domestica (DHW)	Generazione	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento,	• Installazione di collettori solari termici con gestione del carico termico e di accumulo

Dominio	Sistema	Funzionalità Minime	Esempio
		- allarmi) • Produzione rinnovabile (collettore termico solare)	
	Stoccaggio	• Accumulo con controllo del livello termico	
	Informazioni per gli occupanti	• Rapporto sui valori attuali e storici di temperatura/consumo	
Illuminazione	Controllo	• Controllo degli occupanti (manuale con spegnimento automatico in caso di assenza) • Controllo della potenza assorbita (dimming manuale per stanza/ambiente)	• Installazione di un sistema di illuminazione efficiente con sensore di presenza e dimmer
Involucro dinamico	Controllo	• Schermi mobili motorizzati	• Installazione di schermi mobili motorizzati con controllo manuale integrato con un sistema informativo sullo stato attuale e telecomando
	Informazioni per gli occupanti	• Monitoraggio degli stati attuali e controllo remoto	
Elettricità: rinnovabili e accumulo	Generazione	• Connettività WLAN/WiFi/ecc. • Gestione e controllo remoto (acceso/spento, allarmi) • Produzione rinnovabile (sistema fotovoltaico)	• Installazione di un impianto fotovoltaico con accumulo (batterie piccole) integrato con un sistema di monitoraggio dello stato di carica
	Stoccaggio	• Memoria presente con controllo dello Stato di Carica (SOC)	
	Informazioni per gli occupanti	• Rapporto sui valori attuali e storici dei consumi e sul SOC	

Tabella 8. Livelli di funzionalità dello scenario “energy smart”

3.4 Risultati

I valori dello Smart Readiness Indicator totale per gli edifici casi di studio nello scenario base sono mostrati in Tabella 9, i punteggi relativi ai criteri di impatto (impact scores) e di dominio (domain scores) sono illustrati in Figura 28 e 29.

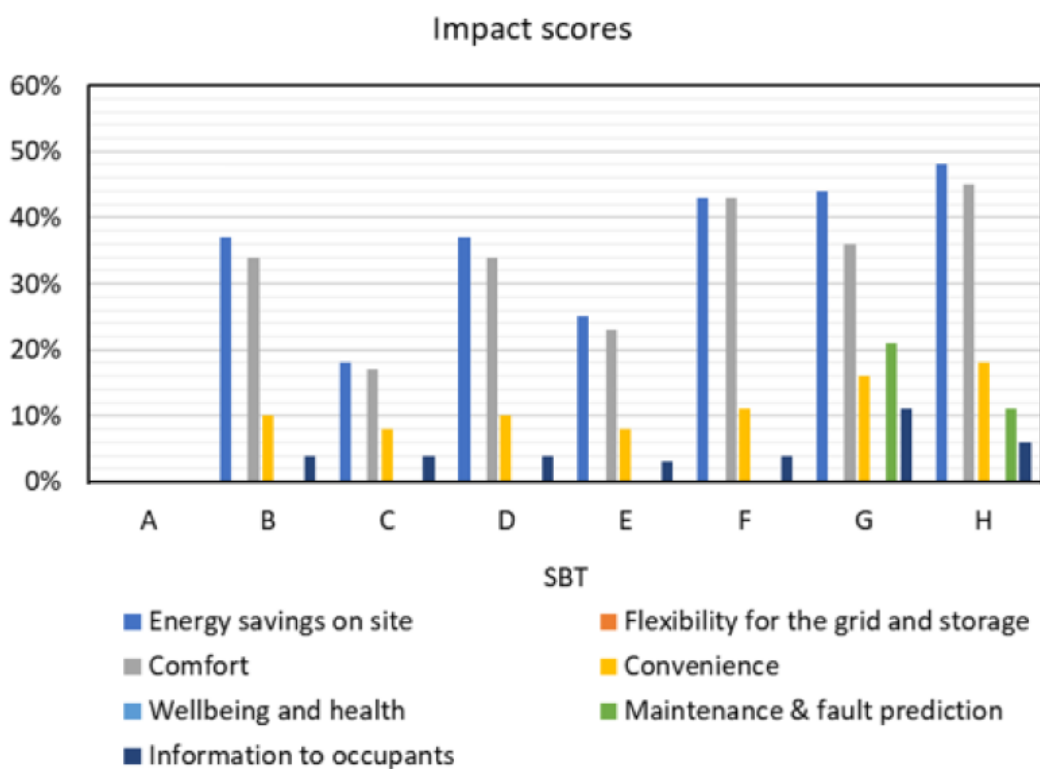


Figura 28. Punteggi relativi ai criteri di impatto

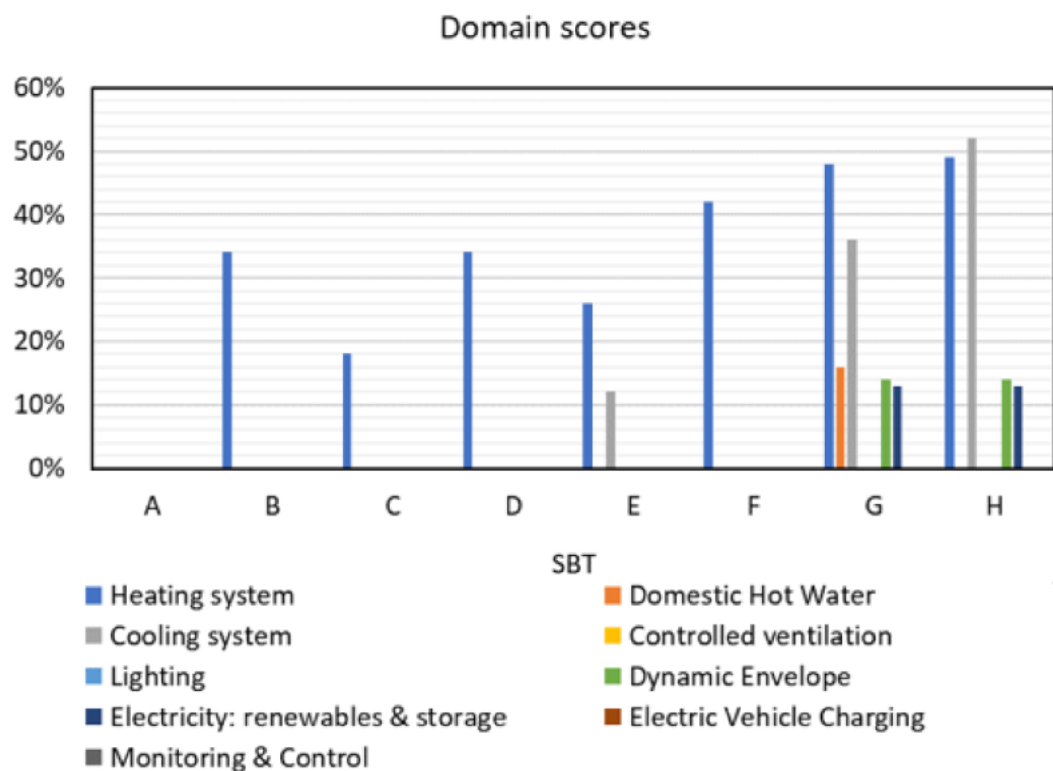


Figura 29. Punteggi relativi ai domini

SBT	Tipo	Periodo di costruzione	SRI
A	Autonomo	<1980	0%
B	Centralizzato		17%
C	Autonomo	1981–1990	9%
D	Centralizzato		17%
E	Autonomo	1990–2005	12%
F	Centralizzato		20%
G	Autonomo	>2006	23%
H	Centralizzato		23%

Tabella 9. SRI totali degli edifici casi di studio

I dati riportati nella tabella, sono rappresentativi dello SRI calcolato per le diverse tipologie degli edifici ed è compreso tra lo 0% ed il 23%, incrementando in valore coerentemente con la definizione dei requisiti minimi di regolamentazione del sistema di generazione.

In termini di impatti, dalla Tabella si evince che i più rilevanti siano:

- risparmio energetico (0–48%);
- comfort (0–45%);
- facilitazione all'occupante (0–18%).

I contributi degli impatti relativi alle informazioni verso gli occupanti (0–11%) e della manutenzione predittiva (11–21% solo nei casi G e H) sono meno significativi.

Osservando la tabella relativa ai domini, è evidente che il dominio più impattante è il riscaldamento, con un punteggio ottenuto compreso tra lo 0% ed il 49%. A seguire, il contributo più significativo è il raffrescamento (12-52%). I risultati ottenuti, invece, per lo Smart Readiness Indicator totale di ciascun edificio, mostrano come la variazione nel punteggio percentuale possa essere differente tra il cluster degli edifici con sistemi autonomi, rispetto a quelli con sistemi centralizzati. Il motivo di questa diversità risiede nell'applicazione del Dlgs. 102/2014, che stabilisce l'obbligo di installare sistemi di contabilizzazione del calore negli edifici alimentati da sistemi di riscaldamento centralizzati. Quando sono presenti sistemi di distribuzione idronica verticale (cioè, nel caso di quasi tutti gli edifici con generatori centralizzati prima del 1980), questo obbligo ha un impatto non solo sul sistema di regolazione dei terminali di emissione (introducendo la regolazione della temperatura per ciascun ambiente), ma anche sull'adattamento del sistema di distribuzione (installazione di una pompa di circolazione a velocità variabile per bilanciare il sistema) e sulla generazione (regolazione dei generatori).

La stima del valore SRI nazionale è stata effettuata tramite una media ponderata sulla superficie stimata di ciascun tipo di edificio e utilizzando l'SRI ottenuto dalla simulazione degli studi di caso secondo l'Equazione (1). Le superfici utilizzate nel calcolo sono mostrate nella Tabella 10, mentre i coefficienti di ponderazione per l'SRI sono mostrati nella Tabella 11. La superficie media degli edifici unifamiliari era fissata pari a 154 m² secondo [35], mentre quella degli edifici multifamiliari era fissata a 413 m² e ottenuto tramite una media ponderata degli edifici multifamiliari italiani. In particolare, i coefficienti di ponderazione sono stati calcolati in base a dati statistici [34] relativi al numero e al tipo di edificio multifamiliare (numero di edifici multifamiliari piccoli, medi e grandi), mentre le superfici medie relative sono state recuperate da [34] e [35].

$$SRI = \frac{\sum_{i=A}^H SRI_{SBT,i} \cdot floor\ area_{SBT,i}}{Superficie\ totale}$$

(1)

Periodo di costruzione	Edificio unifamiliare (a)	Edifici plurifamiliari (Sistemi Autonomi) (b)	Edifici plurifamiliari (Sistemi Centralizzati) (c)
≤1980	750,837,586	1,393,288,493	321,621,222
1981–1990	121,643,704	225,727,608	52,106,071
1991–2005	111,116,313	206,192,502	47,596,664
≥2006	29,935,854	55,550,336	12,823,021

Tabella 10. Superfici stimate edifici del parco edilizio nazionale [m²]

Tipo	SBT	Superficie del pavimento [m2]	Weight%	SRI	SRI ponderato
(a) + (b)	A	2,144,126,079	64.42%	0%	0.00%
(c)	B	321,621,222	9.66%	17%	1.64%
(a) + (b)	C	347,371,312	10.44%	9%	0.94%
(c)	D	52,106,071	1.57%	17%	0.27%
(a) + (b)	E	317,308,815	9.53%	12%	1.14%
(c)	F	47,596,664	1.43%	20%	0.29%
(a) + (b)	G	85,486,190	2.57%	23%	0.59%
(c)	H	12,823,021	0.39%	23%	0.09%
SRI					5.0%

Tabella 11. SRI del parco edilizio nazionale (scenario base).

I dati riportati nella Tabella 10 sono stati ottenuti dall'elaborazione dei dati del censimento ISTAT, dividendo il numero totale di edifici plurifamiliari in due categorie:

- 1) edifici plurifamiliari in cui sono presenti sistemi autonomi (81% del totale);
- 2) edifici plurifamiliari fin cui sono presenti sistemi centralizzati (19% del totale).

Infine, la Tabella 11 mostra la stima della media nazionale SRI secondo la metodologia definita. I dati mostrati in essa evidenziano come, secondo le ipotesi introdotte in questo studio, un SRI del

5,0% possa essere associato al parco edilizio italiano nello scenario base (questa stima non considera alcun miglioramento di efficienza già effettuato agli edifici datati prima del 2005).

3.4.1 Risultati dello scenario energy ed energy smart

La Tabella 9 mostra i risultati dell'analisi condotta negli scenari sopra descritti rispetto allo scenario base, mentre la Figura 30 e la Figura 31 mostrano i punteggi di dominio e impatto per ciascuno dei casi considerati nei due diversi scenari. Gli impatti mostrati nella Tabella 12 presuppongono che gli interventi "energy" e "energy smart" siano applicati in tutti gli edifici casi di studio (cioè il patrimonio edilizio completamente ristrutturato). Pertanto, questi valori rappresentano un SRI massimo ottenibile per ogni scenario di retrofit.

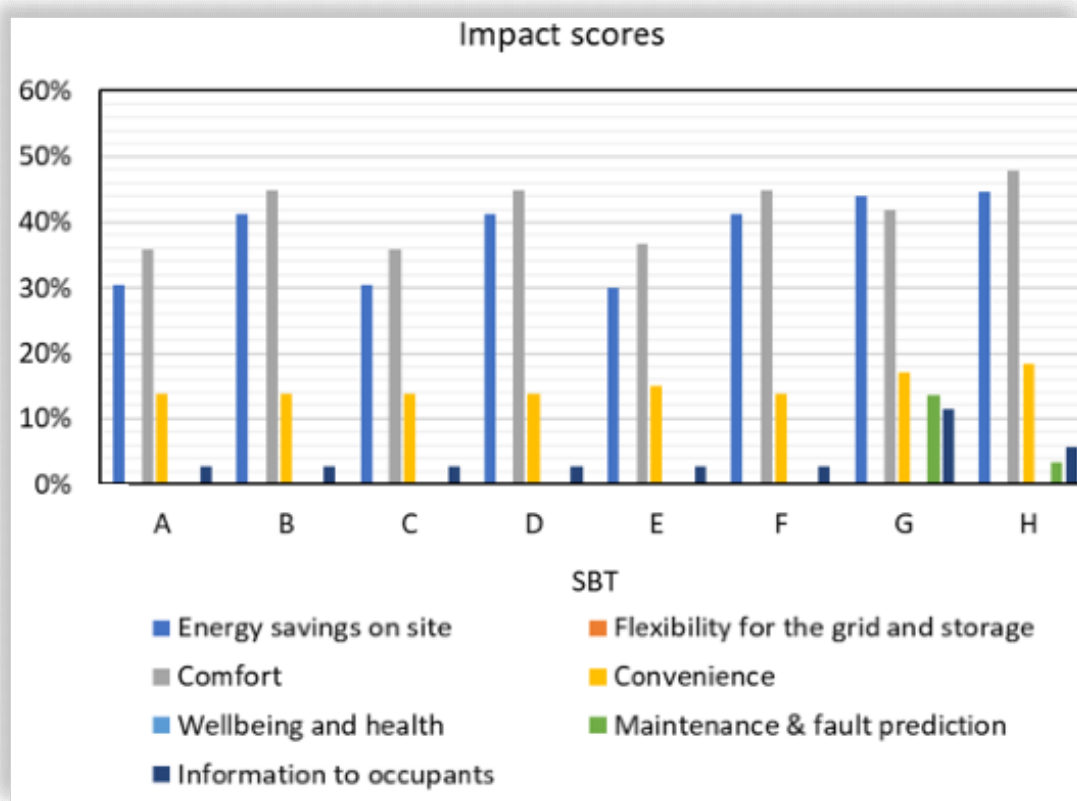


Figura 30. Punteggi di impatto per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy"

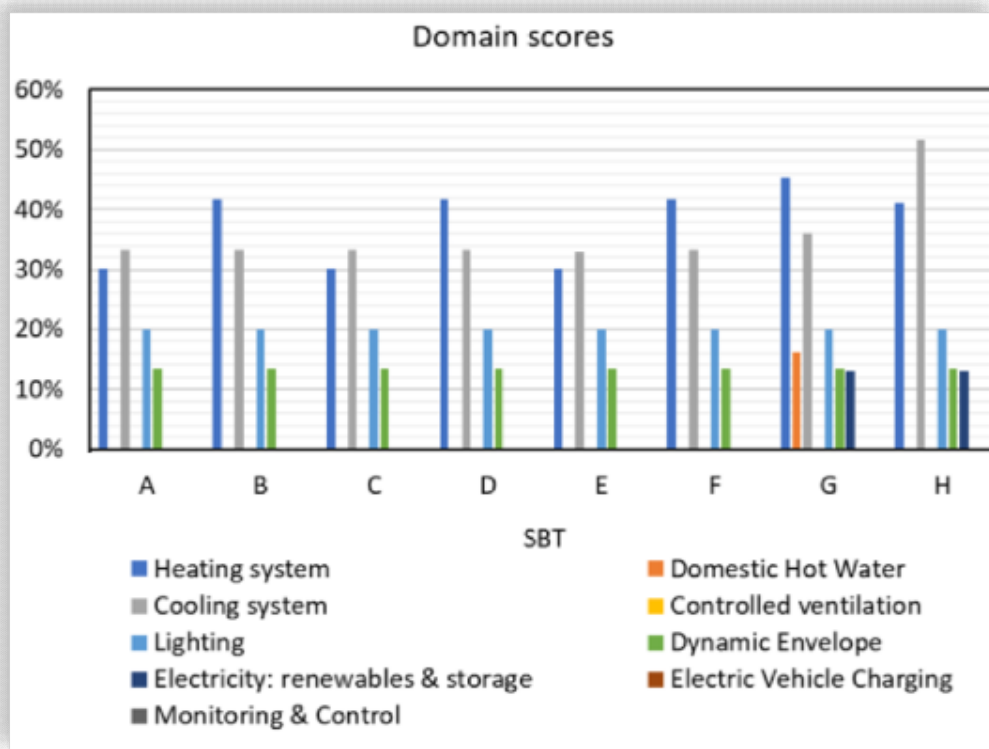


Figura 31. Punteggi di dominio per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy"

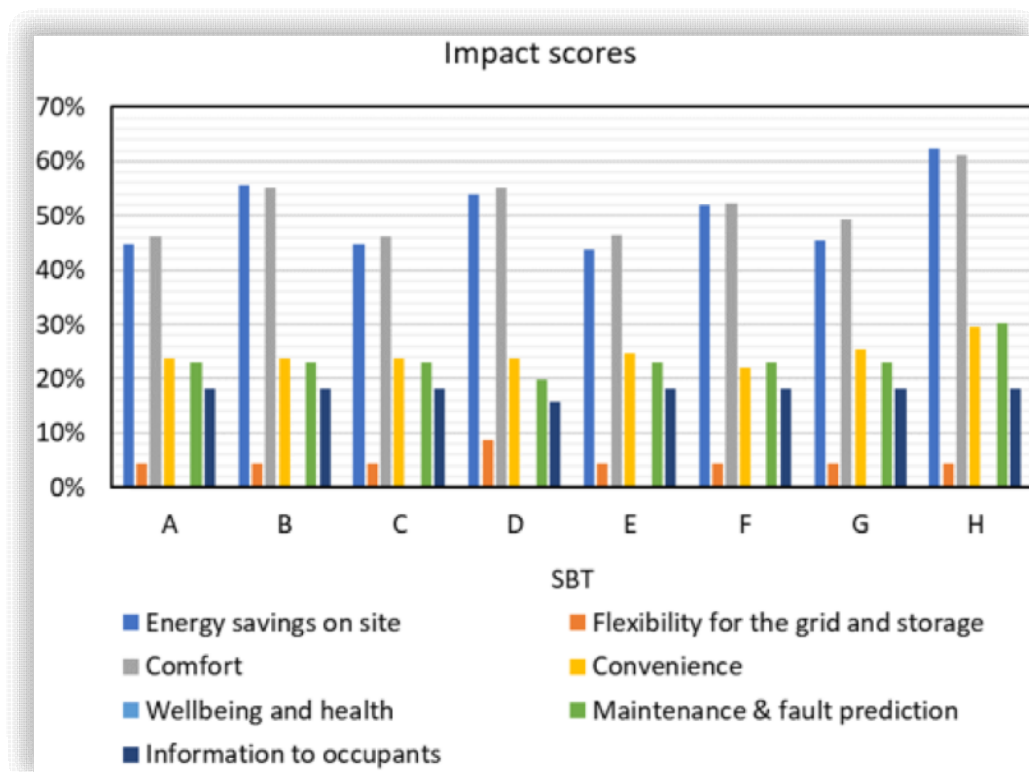


Figura 32. Punteggi di impatto per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy smart"

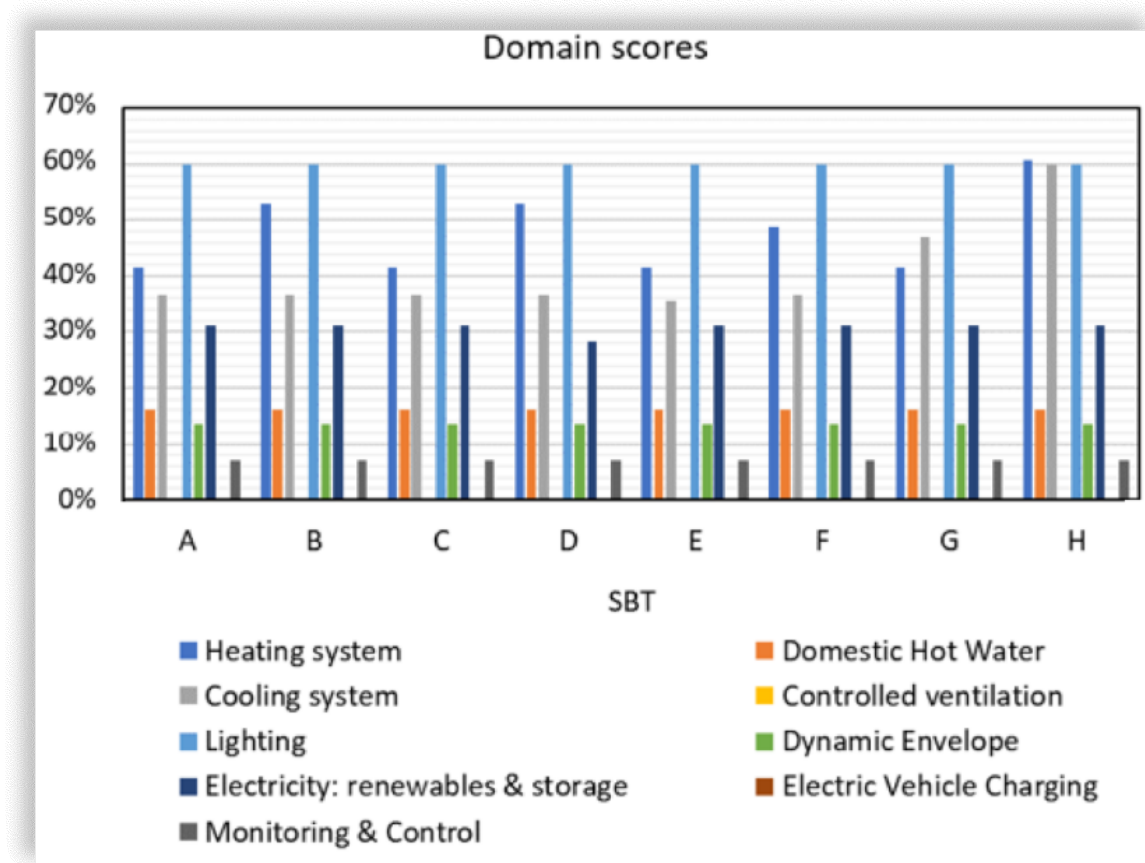


Figura 33. Punteggi di dominio per ciascun edificio (SBT) nello "scenario energy smart"

SBT	Scenario base	Scenario energy	Scenario Energy Smart
A	0%	15%	27%
B	17%	19%	31%
C	9%	15%	27%
D	17%	19%	31%
E	12%	15%	27%
F	20%	19%	30%
G	23%	23%	31%
H	23%	23%	28%
Impatto	5.0%	15.7%	27.5%

Tabella 12. Impatto degli interventi di retrofit sullo Smart Readiness Indicator totale di edificio

Come mostrato nella Tabella 12, il valore massimo SRI dell'intero patrimonio edilizio nazionale, calcolato tramite diversi livelli di interventi di retrofit energetico/ristrutturazione per ciascun edificio è, rispettivamente, del 15,7% e del 27,5% negli scenari "energy" e "energy smart".

L'aumento ottenuto nello scenario "energy" è principalmente dovuto all'implementazione dei sistemi di generazione di riscaldamento e alla presenza del dominio di raffreddamento (con gli stessi requisiti minimi di prestazione richiesti per i sistemi di generazione di energia per il riscaldamento).

E' necessario considerare come, l'installazione di un sistema di controllo dei consumi energetici, consente di incrementare il punteggio percentuale di dominio di circa il 20%.

Dalla Figura 5, si evince che gli impatti più significativi per lo scenario "energy" sono rappresentati rispettivamente da quelli dati dal risparmio energetico (30–45%), dal comfort (36–45%) e dalla facilitazione all'utente (14–18%).

Invece, come mostrato in Figura 6a, nello scenario "energy smart", è stato osservato un aumento dei punteggi dei criteri di impatto per risparmio energetico (45–62%), comfort (46–61%), facilitazione all'utente (24–30%), informazioni agli occupanti (16–18%) e dei punteggi d'impatto relativi alla manutenzione predittiva (20–30%) e alla flessibilità della rete e accumulo (4%).

Gli incrementi di punteggio per i criteri di impatto sono principalmente dovuti da:

- installazione di un sistema di report per gli utenti che consente un accesso frequente ai dati sul consumo energetico e ai dati storici per ciascun dominio presente;
- installazione di termostati intelligenti con funzioni di autoapprendimento;
- installazione di un sistema di accumulo in loco per l'elettricità rinnovabile prodotta in loco;
- installazione di un sistema di monitoraggio per la gestione del dominio illuminazione.

3.5 Conclusioni

Da questo studio emergono alcune considerazioni sia sull'applicazione della metodologia SRI negli edifici residenziali, sia sulla simulazione dell'impatto nei diversi scenari del patrimonio edilizio italiano.

I principali risultati possono essere riassunti come segue:

- L'attivazione di alcuni domini in edifici storici o soggetti a vincoli architettonici potrebbe non essere possibile (ad esempio, ventilazione controllata, elettricità: da fonti rinnovabili ed accumulo, sistemi di automazione e controllo dell'edificio), e pertanto questi aspetti devono essere considerati nella definizione degli edifici di riferimento;
- Nello scenario "energy" che rappresenta la tendenza attuale di ristrutturazione degli edifici esistenti, l'SRI è relativamente basso, il cui punteggio percentuale totale è risultato compreso tra il 15 e il 23%. La causa, risiede nel basso livello di automazione e controllo dei sistemi attualmente utilizzati per la ristrutturazione degli edifici residenziali esistenti. Infatti, l'installazione di sistemi ad alta efficienza energetica o di sistemi di produzione di energia rinnovabile non influisce sullo SRI, ma solo sul loro livello di automazione e controllo (se all'interno di un edificio esistente del parco edilizio residenziale italiano viene effettuata una ristrutturazione degli impianti, utilizzando sistemi più performanti in termini energetici, ma senza intervenire sullo scenario BACS, allora il punteggio totale di SRI non aumenterà significativamente, in quanto la valutazione dell'intelligenza dell'edificio risulta scarsa).
- Nella riqualificazione "smart", gli SBT hanno raggiunto un SRI complessivo fino al 31%, in quanto non è stata effettuata l'installazione di BACS centralizzato (non obbligatorio, sebbene promosso in caso di nuove costruzioni e grandi ristrutturazioni) e non sono stati ipotizzati sistemi di interazione tra l'edificio e la rete.

Considerando la totalità degli edifici residenziali del parco edilizio italiano, l'installazione di sistemi di automazione e controllo, nonché di interazione tra edificio e rete, non sono ancora diffusi, nonostante la possibilità di applicazione.

- Considerando gli edifici esistenti nel parco edilizio nazionale, al fine di raggiungere un significativo aumento del livello di efficienza energetica e di “smartness”, la soluzione è quella di agire con ristrutturazioni e riqualificazioni mirate. La criticità nel procedere, deriva dall'impossibilità di effettuare alcuni interventi di retrofit per cause edilizie, economiche, urbanistiche e impiantistiche (mancanza di superfici utili per l'installazione di sistemi efficienti di produzione e stoccaggio di energia, impossibilità di intercettare i tubi di distribuzione, soluzioni eccessivamente costose che richiedano dispositivi e sistemi BACS, edifici situati nei centri storici ove non è possibile l'installazione di pannelli fotovoltaici, difficoltà nell'utilizzo).

A valle della presente esposizione, le raccomandazioni utili per l'applicazione della metodologia di calcolo SRI negli edifici del parco edilizio attuale sono le seguenti:

- Per facilitare l'applicazione della metodologia SRI nel settore residenziale, sarebbe necessario considerare le peculiarità del BACS negli edifici residenziali e in quelli del settore terziario. Ciò implica differenziare il catalogo dei servizi considerando la categoria di edifici (residenziali/non residenziali);
- Per ottenere una buona corrispondenza tra il catalogo dei servizi e delle funzionalità e le caratteristiche effettive dei sistemi disponibili sul mercato e permettere la definizione delle tipologie di riferimento degli edifici, sarebbe necessario effettuare un'analisi statistica specifica sia sui sistemi di automazione edilizia comunemente presenti negli edifici residenziali, sia sulle caratteristiche intelligenti dei dispositivi disponibili sul mercato;
- Dovrebbero essere selezionati edifici rappresentativi specifici sia nel settore residenziale che in quello non residenziale per effettuare un'analisi di fattibilità tecnico-economica e per identificare gli interventi di riqualificazione più adatti al fine di ottenere un aumento significativo del SRI. Un'analisi di sensibilità dell'SRI al costo di aumentare gli interventi di retrofit negli edifici esistenti, in questo senso, sarebbe auspicabile;
- Per un'effettiva implementazione dei sistemi di automazione e controllo necessari per ottenere un aumento tangibile dell'SRI, sarebbe necessario uno sforzo legislativo e normativo per definire i livelli minimi di funzionalità, specialmente per i servizi di quei domini (ad esempio, riscaldamento, raffreddamento e DHW) che hanno un impatto maggiore sul consumo energetico degli edifici nel settore residenziale.

Capitolo IV – Analisi e prima ottimizzazione della metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator

4.1 Introduzione

Come analizzato nei precedenti capitoli, l'esigenza di ottenere un risparmio energetico complessivo derivante dagli edifici, è stata l'obiettivo principale di numerose Direttive Europee negli ultimi anni (il 40% dell'energia totale consumata in Europa è imputabile agli edifici, tuttavia l'applicazione di direttive più stringenti dal punto di vista energetico, potrebbe portare ad un risparmio dell'8% di tale quota). In particolare, una categoria particolarmente energivora è rappresentata dagli edifici non residenziali appartenenti a settori differenti (es. scolastico, alberghiero, sanitario), per i quali è stato registrato un aumento dei consumi di energia elettrica che potrebbe incrementare fino al 50% i consumi totali [176]. Dunque, l'obiettivo dello sviluppo di un sistema energetico che abbia caratteristiche di sostenibilità, mobilità elettrica e riduzione delle emissioni di CO₂, è alla base della Direttiva 2018/844/UE [105] che modifica ed integra le precedenti direttive 2010/31/UE [177] sulla prestazione energetica nell'edilizia e 2012/27/UE [178] sull'efficienza energetica. In tale contesto normativo, avanza la propensione di promuovere sistemi alternativi ad elevato livello di automazione e controllo per gli edifici, mediante l'implementazione di logiche particolarmente avanzate dal punto di vista della gestione degli impianti tecnici e di dispositivi autoregolanti, in grado di sensibilizzare gli occupanti sul valore stesso dell'utilità che essi comportano. In linea con tali principi, l'attuazione della Direttiva 2018/844/UE a livello di BACS (Building Automation and Control System) è possibile mediante l'introduzione della norma UNI EN 15232 [116], che stabilisce i criteri per la valutazione del livello di automazione negli edifici e gli annessi benefici in termini di costi energetici ed impatto ambientale attraverso l'adozione di sistemi avanzati di regolazione, monitoraggio e controllo. In particolare, al fine di provvedere ad una corretta attuazione delle disposizioni della Direttiva [105] e di promuovere lo sviluppo di edifici ad energia quasi zero, per gli edifici non residenziali di nuova costruzione oppure oggetto di ristrutturazioni importanti, il Decreto interministeriale 26 giugno 2015 [179] ha previsto l'obbligo di raggiungere la classe B prevista dalla norma [116]. Inoltre, secondo la Direttiva [105], tali aspetti potrebbero essere valutati da un indicatore di predisposizione all'intelligenza degli edifici (i.e. SRI, Smart Readiness Indicator) la cui

implementazione conduce ad alcuni vantaggi in linea con gli obiettivi prefissati, tra i quali: i) sostenere l'innovazione delle tecnologie smart negli edifici; ii) aumentare la consapevolezza degli occupanti nei confronti del consumo energetico; iii) migliorare l'efficienza energetica complessiva e la performance dell'edificio; iv) contribuire all'obiettivo di decarbonizzazione e sensibilizzazione nell'utilizzo di tecnologie da fonti rinnovabili.

In particolare, gli edifici non residenziali, rispetto agli edifici residenziali, sono connessi sia agli occupanti, sia ai gestori degli edifici stessi, pertanto la valutazione dello Smart Readiness Indicator ha la finalità di indurre miglioramenti futuri in termini di efficienza energetica e di automazione nei diversi campi di applicazione. Il vantaggio da parte dei gestori è rappresentato da una maggiore valorizzazione commerciale degli edifici gestiti, mentre nel settore residenziale tale vantaggio non è contemplato in quanto gli occupanti non hanno la necessità di dimostrare l'incremento delle performance a meno di effettuare una compravendita immobiliare. [9 art.ciriaf] Tuttavia, accanto ai vantaggi previsti, esistono dei limiti relativi alla progettazione e all'evoluzione dei sistemi di building automation che coinvolgono gli aspetti della variabilità di alcuni fattori, come le condizioni climatiche, i comportamenti degli occupanti e il degrado delle prestazioni tecnologiche [180].

Altro aspetto negativo, è stato registrato in termini di risparmio energetico a seguito della comparazione tra l'impatto del retrofitting del solo sistema di automazione e del solo involucro edilizio. Infatti, in tal caso, l'incidenza relativa all'energy savings della riqualificazione applicata ai soli sistemi BACS è risultata essere minore rispetto a quella della sola riqualificazione applicata agli elementi dell'involucro edilizio. Pertanto, sarebbe necessario integrare le due tipologie di retrofitting per raggiungere risparmi energetici ottimali. Inoltre, l'impatto sul risparmio energetico dei sistemi BACS installati all'interno degli edifici oggetto di riqualificazione decresce in maniera inversamente proporzionale alla quantità di energia prodotta dagli stessi [181].

Secondo quanto previsto dall'articolo 8 della Direttiva [105], l'elaborazione del Regolamento Delegato 2020/2155 UE [166] e del Regolamento Esecutivo 2020/2156 UE [167] ha come obiettivo l'istituzione di una metodologia comune con specifiche modalità tecniche di implementazione per la valutazione della predisposizione all'intelligenza degli edifici. I servizi della Commissione Europea (DG ENERGY) hanno commissionato e supervisionato due studi [108] allo scopo di fornire supporto tecnico per implementare una metodologia comune di calcolo e un possibile processo comune di attuazione per l'SRI, mediante l'utilizzo di due cataloghi di riferimento contenenti una lista dei servizi tecnici possibilmente presenti all'interno degli edifici. Il Regolamento Delegato [166], a tal proposito, prevede che l'utilizzo della metodologia di calcolo sia flessibile dal punto di vista della valutazione delle funzionalità e dei servizi tecnici previsti dai cataloghi. Attualmente, in letteratura, sono presenti pochi lavori riguardanti l'applicazione e gli eventuali processi di modifica della metodologia di calcolo dello SRI.

In questo lavoro, gli autori hanno presentato l'applicazione della metodologia di calcolo modificata sulla base dell'analisi di mercato condotta per effettuare una valutazione della presenza attuale dei dispositivi, sistemi e logiche negli edifici non residenziali più performanti del panorama edilizio italiano. L'analisi di calibrazione è stata realizzata effettuando un'indagine di mercato applicata ai servizi tecnici ed ai livelli di funzionalità presenti nel catalogo dettagliato dei servizi, per valutarne l'effettiva compatibilità con gli edifici dello stock edilizio nazionale.

Il Regolamento Delegato 2020/2155 UE ed il Regolamento Esecutivo 2020/2156 UE, dunque, hanno come obiettivo l'istituzione di una metodologia comune con specifiche modalità tecniche di implementazione per la valutazione della predisposizione all'intelligenza degli edifici. Considerata la flessibilità della metodica proposta, è stato effettuato uno studio tecnico basato su un'analisi di calibrazione per il calcolo dello Smart Readiness Indicator mediante un processo versatile e automatizzato di revisione del foglio di calcolo utilizzato durante il primo studio tecnico con l'obiettivo di incrementarne le performance. In questa attività di ricerca, è stata applicata tale analisi a tre edifici di tipo uffici nel settore non residenziale italiano. Lo Smart Readiness Indicator è stato calcolato considerando due scenari: a) "ante calibrazione" (utilizzando il software non modificato) e b) "post calibrazione" (utilizzando il software revisionato sulla base dei risultati dell'analisi).

4.2 Analisi di dettaglio della prima versione europea del foglio di calcolo

Il primo foglio di calcolo europeo, è stato distribuito dagli stakeholders dello Smart Readiness Indicator a partire dal 2021. E' costituito da un file Excel in cui ci sono sei sezioni raggruppate ciascuna in un foglio dedicato per quanto concerne la struttura di riferimento per l'applicazione della metodologia e nove fogli per ciascun dominio tecnico (in cui sono riportate le funzionalità, i punteggi di impatto per ciascun criterio di impatto, la tipologia di edificio, il tempo di ispezione e la descrizione delle tecnologie ed i servizi corrispondenti a ciascun livello).

Le sezioni sono riportate come segue e sono analizzate nel dettaglio in questo paragrafo:

1. Informazioni dell'edificio: scheda complessiva delle informazioni generali dell'edificio (o unità immobiliare) e sistemi tecnici;
2. Foglio di calcolo: sono presenti i domini tecnici, per ciascuno dei quali sono strutturati i servizi tecnici e i relativi livelli funzionali;

3. Risultati: sono mostrati i risultati ottenuti a valle del processo di asseverazione tramite il foglio di calcolo e comprende i punteggi di SRI totale, di impatto e di dominio;
4. Fattori di ponderazione: è costituito da tabelle in cui sono presenti dei fattori di ponderazione come spiegati nel [108] che possono essere sia di default, sia impostati dall'utente (user-defined weighting);
5. Panoramica dei servizi: sezione dedicata all'effettiva attuazione delle funzionalità smart presenti nel catalogo, in base ai riferimenti normativi e all'azione dell'asseveratore;
6. Feedback: sezione dedicata all'asseveratore e ai dati dell'edificio;
7. Riscaldamento;
8. Acqua calda sanitaria (DHW);
9. Raffrescamento;
10. Ventilazione meccanica;
11. Illuminazione;
12. Involucro dinamico;
13. Ricarica dei veicoli elettrici;
14. Monitoraggio e controllo;
15. Varie.

1. Informazioni dell'edificio

Come precedentemente evidenziato nel Capitolo II, la sezione informativa dell'edificio (o unità immobiliare), consta in dieci tabelle da compilare nei rispettivi menù a tendina, in cui l'asseveratore provvede, sulla base delle informazioni raccolte, a selezionare i dati richiesti.

La prima tabella riguarda le informazioni generali dell'asseveratore (nome, cognome, organizzazione di appartenenza, informazioni di contatto).

La seconda tabella consiste in una panoramica generale dei dati dell'edificio (tipologia, utilizzo, luogo, zona climatica (nord, centro o sud europa), superficie, anno di costruzione, stato dell'edificio (se originario o ristrutturato), descrizione, indirizzo e preferenze sull'impostazione dei fattori di ponderazione (user-defined o preimpostati).

La terza tabella consiste nelle indicazioni derivanti dal processo di triage, dunque valutando la presenza dei sistemi tecnici presenti nell'edificio e dell'obbligatorietà degli stessi derivanti dalle norme in fatto di costruzione e gestione degli edifici del territorio nazionale, già esposte nelle pagine precedenti.

Le tabelle successive alla terza, si riferiscono ciascuna alle caratteristiche di gestione dei domini tecnici selezionati. In Tabella 13 sono indicate, per ciascun dominio, la selezione presente sul foglio di sistema.

Dominio	Informazioni di input	Opzioni
Ricarica dei veicoli elettrici	Parcheggi in loco	Presente/Non presente
	Punti di ricarica	Presente/Non presente
Riscaldamento	Emissione	TABS/ Idronico/ Non idronico
	Produzione	TABS/ Idronico/ Non idronico
	Storage	Presente/Non presente
	Generazione singola/multipla	Singola/ Multipla
Raffrescamento	Emissione	TABS/ Idronico/ Non idronico
	Storage	Presente/Non presente
	Generazione multipla	Singola/ Multipla
ACS	Produzione	Elettrico/non elettrico
	Storage	Presente/Non presente
	Collettori solari	Presente/Non presente
Ventilazione meccanica	Sistema	Meccanica/Naturale controllata
	Recupero di calore	Meccanica/Naturale controllata
	Riscaldamento	Presente/Non presente
	Sotto-sistemi	Aria/ Aria-acqua/ Altri
Involucro dinamico	Schermature solari mobili ed oscuranti	Presente/Non presente
Elettricità: fonti rinnovabili e accumulo	Generazione rinnovabile on-site	Presente/Non presente
	Storage on-site	Presente/Non presente
	Sistema di cogenerazione	Presente/Non presente

Tabella 13. Opzioni di selezione per le caratteristiche di gestione dei domini tecnici

ASSESSOR INFORMATION			
Name	Marianna De Monaco		
Organisation	UNICAS- ENEA		
Contact information			
<i>e-mail address</i>	marianna.demonaco@unicas.it		
<i>telephone number (optional)</i>			

Figura 34. Informazioni dell'asseveratore nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

GENERAL BUILDING INFORMATION			
Building type	residential		
Building usage	single-family house		
Location	Italy		
<i>climate zone:</i>	South Europe		
Net floor area of the building	<200 m ²		
Year of construction	> 2010		
Building state	Original		
Please provide a brief description of the building	Modern small-sized house in Catania, Italy.		
Address:	Catania, Italy		
Preferred weightings	Default		

Figura 35. Informazioni generali dell'edificio nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

TRIAGE PROCESS				
Are the following technical building systems present in your building? If not, are they mandatory for new constructions in your country of residence? ⁽¹⁾				
	present?	if no, mandatory?		
Heating system	yes			
Domestic Hot Water	Yes			
Cooling system	yes			
Controlled ventilation	yes			
Lighting	Yes			
Dynamic Envelope: automated windows & blinds	yes			
Electricity: renewables & storage	yes			
Electric Vehicle Charging	No	No, not mandatory		

⁽¹⁾ This selection will be automated in the final version, option should not be available for assessors

Figura 36. Processo di triage nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

HEATING			
Emission type	Non-hydronic system (e.g. all-air)		
Production type	Heat Pump		
Thermal energy storage	No storage present		
Multiple heat generators	Single generator		

DOMESTIC HOT WATER			
Production type	Non-electric		
Storage present	Storage present		
Solar collector	Solar collector present		

COOLING			
Emission type	Non-hydronic system (e.g. all-air)		
Thermal energy storage	No storage present		
Multiple generators	Single generator		

CONTROLLED VENTILATION			
System type	Mechanical ventilation		
Heat recovery	Heat recovery		
Space heating	Used for space heating		
System sub-type	All-air		

Figura 37. Impostazione dei dati di gestione del riscaldamento, dell'acqua calda sanitaria, del raffrescamento e della ventilazione meccanica controllata nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

DYNAMIC ENVELOPE									
Movable shades, screens or blinds					Present				

ELECTRICITY: renewables & storage									
On-site renewable electricity generation					On-site renewable electricity generation				
Storage of on-site generated renewable electricity					Storage present				
CHP (Combined Heat and Power)					No CHP				

ELECTRIC VEHICLE CHARGING										-> TBS not present, not to be assessed.									
On-site parking spots										On-site parking									
Electric vehicle charging spots										EV charging									

Figura 38. Impostazione dei dati di gestione dell'involucro dinamico, dell'energia elettrica da fonti rinnovabili e sistemi di accumulo e della ricarica dei veicoli elettrici nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

2. Foglio di calcolo

Il foglio di calcolo ha una struttura complessa, derivante dai molteplici fattori di incidenza associati a ciascun livello funzionale. In Appendice, ne è riportato lo schema completo.

Suddividendo l'impostazione per colonne, gli elementi sono indicati come segue:

- Codice del servizio: ciascun servizio tecnico è classificato con un codice di appartenenza al dominio;
- Servizi: in base al processo di triage effettuato, si autoselezionano i servizi smart nel dominio tecnico;
- Livello funzionale principale del servizio tecnico: consente di indicare numericamente (da 0 a 4) la funzionalità smart preponderante nel servizio;
- Applicabilità del livello funzionale sulla totalità dell'edificio: consente di indicare in percentuale quanto la funzionalità è applicabile all'edificio;

- Livello funzionale addizionale del servizio tecnico: consente di indicare numericamente (da 0 a 4) la funzionalità smart opzionale nel servizio;
- Applicabilità del livello funzionale parzializzata dell'edificio: consente di indicare in percentuale quanto la funzionalità è applicabile in parte all'edificio;
- Warnings: rappresenta la colonna dove si registrano eventuali errori nel calcolo;
- Livello funzionale 0: indica che nell'edificio non sono presenti sistemi di controllo automatico per quel servizio;
- Livello funzionale 1: indica il livello base di funzionalità nell'edificio (es. controllo del riscaldamento tramite termostato, controllo manuale motorizzato degli schermi, controllo della temperatura del raffrescamento in base alla temperatura outdoor etc...);
- Livelli funzionali 2 e 3: sono indice di presenza di sistemi di controllo automatico, sistemi di reporting verso l'utente e di monitoraggio e controllo avanzati;
- Livello funzionale 4: massimo livello raggiungibile del servizio smart, comprende logiche predittive, monitoraggio e sistemi di reporting avanzato e gestione degli impianti con dispositivi ultra-intelligenti (Demand Side Response, Demand Side Management, Vehicle to Grid per la ricarica dei veicoli elettrici, controllo automatico delle pompe del sistema idraulico etc...);
- Presenza del servizio: indica se in fase di asseverazione sia stato considerato il livello funzionale corrispondente;
- Tempo di asseverazione: tempistica di asseverazione per ciascuna funzionalità;
- Commenti opzionali dell'asseveratore;
- Triage checks: comprende tre categorie di selezione che consentono rispettivamente di i) definire se la funzionalità è sempre presente oppure se viene selezionata in base al processo di triage; ii) obbligatorietà del dominio presente o assente; iii) funzionalità inclusa nell'ottenimento del punteggio massimo per il calcolo;
- Punteggi di impatto per le principali funzionalità;
- Punteggi di impatto per le funzionalità addizionali;
- Fattori di ponderazione per criteri di impatto;
- Punteggi di SRI di impatto per domini;
- Punteggi di SRI di dominio (relativi alle principali funzionalità);
- Punteggi di SRI di dominio (in seguito all'applicazione dei fattori di ponderazione);
- Punteggio massimo totale possibile di impatto;
- Punteggio massimo totale di SRI di impatto (in seguito all'applicazione dei fattori di ponderazione);
- Punteggio di SRI di impatto normalizzato (in seguito all'applicazione dei fattori di ponderazione).

3. Risultati

I dati raccolti e riportati nel foglio di calcolo da parte dell'asseveratore, sono rielaborati nel foglio dei risultati, dove è espresso il punteggio in percentuale dello Smart Readiness Indicator di edificio (o unità immobiliare), i punteggi in percentuale dei criteri di impatto e di dominio.

Nelle Figure 39 e 40, è mostrato a titolo di esempio il quadro generale dei punteggi ottenuti per un edificio italiano, con un sistema di automazione avanzato, senza ricarica dei veicoli elettrici, allo stato originario.

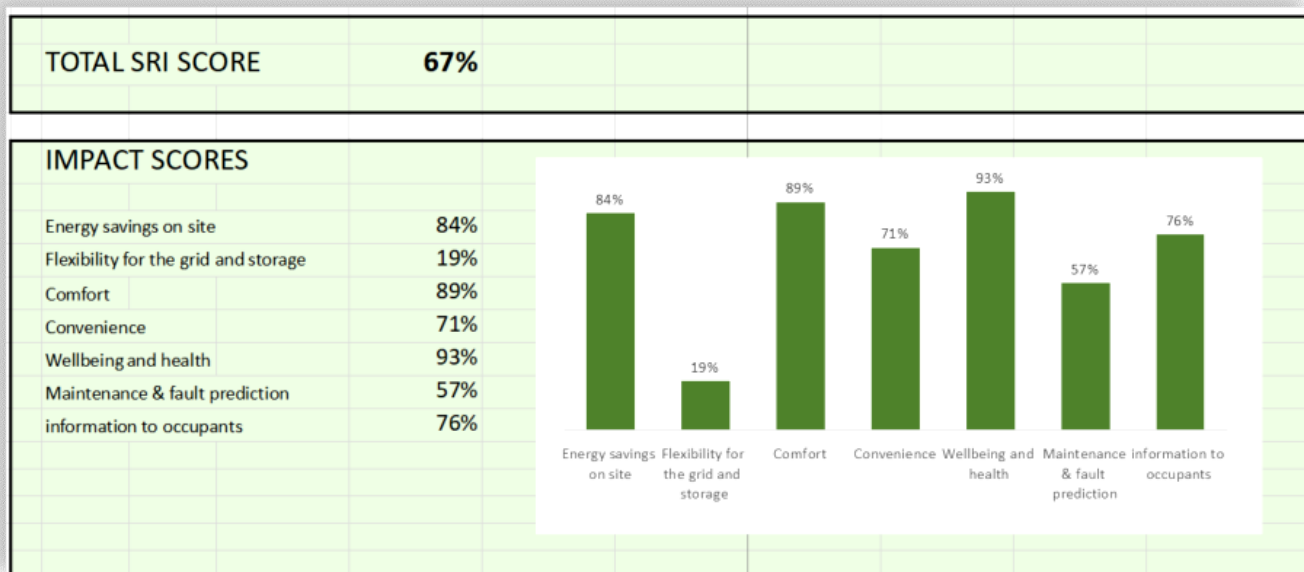


Figura 39. Punteggio di SRI totale di edificio e punteggi per criteri di impatto nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

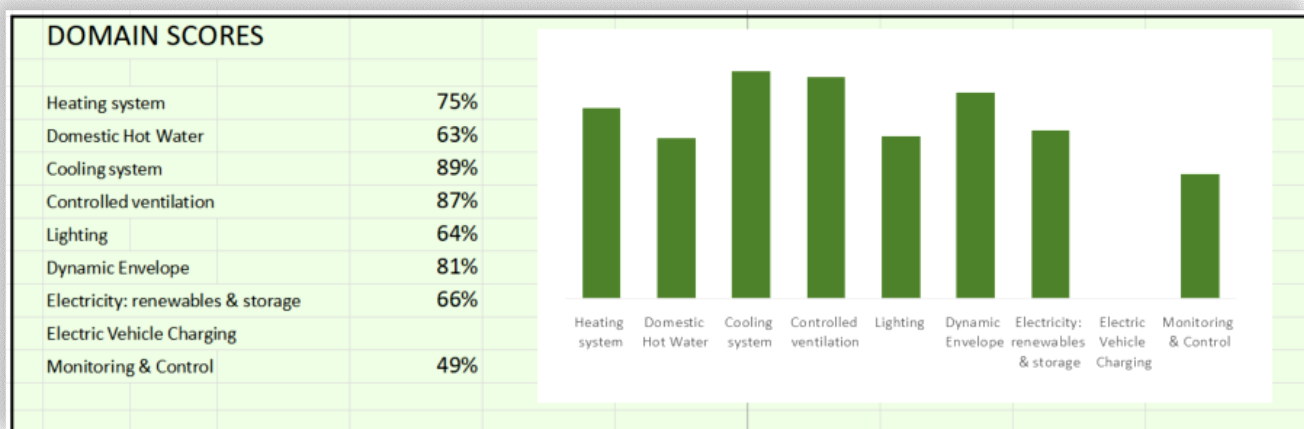


Figura 40. Punteggi di SRI per domini tecnici nel foglio di calcolo europeo versione v.2.0

4. Fattori di ponderazione

Al fine di calcolare i punteggi di impatto, di dominio e di SRI totale, sono stati implementati dagli studi di settore [105] i fattori di ponderazione (“weightings”), che tengono conto sia della zona climatica in cui è presente l’edificio, sia della tipologia (residenziale/non residenziale). Essi consistono in coefficienti numerici adimensionali (per i fattori di default) e coefficienti percentuali (per i fattori user-defined), che vengono moltiplicati per il punteggio totale ottenuto dalla somma di ciascun punteggio per il singolo criterio di impatto (per determinare gli “scores” di impatto) e per il punteggio massimo ottenuto dalla somma di tutti i massimi per criterio di impatto (per determinare i “max” di impatto). Il rapporto espresso in percentuale tra la somma degli scores di tutti gli impatti presenti in un dominio tecnico e la somma dei massimi scores di impatto, per ciascun criterio di impatto, rappresenta il punteggio di SRI di dominio. Per ottenere il punteggio percentuale dei singoli criteri di impatto, è necessario, invece, effettuare il rapporto tra la somma dei massimi ottenuti per ciascun criterio di impatto e la somma degli scores ottenuti per ciascun criterio di impatto. Per ottenere il punteggio di SRI totale di edificio, bisogna calcolare in primis gli scores ed i massimi per ciascun criterio di impatto moltiplicando per i fattori di ponderazione lo score di criterio di impatto calcolato dalla somma degli score per ciascun dominio, dopodiché effettuare la stessa operazione per i massimi ed infine effettuare la somma separate degli gli scores e i massimi così ottenuti per ogni singolo impatto. Il punteggio di SRI totale, è definito dal rapporto espresso in percentuale tra la somma degli scores e la somma dei massimi.

L’asseveratore non è obbligato ad utilizzare i fattori di default: ha la possibilità di modulare numericamente i fattori di ponderazione, sulla base dei propri criteri di definizione.

Nell’ambito degli studi condotti, sono stati considerati unicamente i fattori di default, in modo da ottenere una valutazione attinente ai criteri introdotti dai primi beta testing di settore. In Figura 41 sono mostrati i fattori di ponderazione user-defined, sia di dominio che di impatto. In Figura 42 e 43, invece, i fattori di ponderazione di default per gli edifici residenziali e nono residenziali del sud Europa.

Vale la pena notare come, ai fini della completezza del calcolo, la somma dei singoli fattori di peso per ciascun criterio di impatto calcolata per ogni dominio debba risultare 1, corrispondente al 100%.

USER DEFINED

user-defined

DOMAIN WEIGHTINGS

	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Heating system	11,1%	12,5%	16,7%	11,1%	0,0%	14,3%	12,5%
Domestic Hot Water	11,1%	12,5%	16,7%	11,1%	0,0%	14,3%	12,5%
Cooling system	11,1%	12,5%	16,7%	11,1%	0,0%	14,3%	12,5%
Controlled ventilation	11,1%	12,5%	16,7%	11,1%	50,0%	14,3%	12,5%
Lighting	11,1%	0,0%	16,7%	11,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Electricity: renewables & storage	11,1%	12,5%	0,0%	11,1%	0,0%	14,3%	12,5%
Dynamic Envelope	11,1%	12,5%	16,7%	11,1%	50,0%	14,3%	12,5%
Electric Vehicle Charging	11,1%	12,5%	0,0%	11,1%	0,0%	0,0%	12,5%
Monitoring & Control	11,1%	12,5%	0,0%	11,1%	0,0%	14,3%	12,5%
	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

IMPACT WEIGHTINGS

Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%

Figura 41. Fattori di ponderazione definiti dall'utente

southern europe	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Heating system	0,32	0,30	0,13	0,1	0	0,32	0,11
Domestic Hot Water	0,10	0,09	0,13	0,1	0	0,10	0,11
Cooling system	0,07	0,07	0,13	0,1	0	0,07	0,11
Controlled ventilation	0,09	0,09	0,13	0,1	0,4	0,09	0,11
Lighting	0,03	0,03	0,13	0,1	0	0,03	0,00
Electricity: renewables & storage	0,14	0,13	0,00	0,1	0	0,14	0,11
Dynamic Envelope	0,05	0,05	0,13	0,1	0,4	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
IMPACT WEIGHTINGS							
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
	0,17	0,33	0,08	0,08	0,08	0,17	0,08

Figura 42. Fattori di ponderazione di default per gli edifici residenziali del sud Europa

southern europe	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
Heating system	0,31	0,29	0,13	0,1	0	0,31	0,11
Domestic Hot Water	0,10	0,10	0,13	0,1	0	0,10	0,11
Cooling system	0,11	0,11	0,13	0,1	0	0,11	0,11
Controlled ventilation	0,09	0,08	0,13	0,1	0,4	0,09	0,11
Lighting	0,12	0,11	0,13	0,1	0	0,12	0,00
Electricity: renewables & storage	0,02	0,02	0,00	0,1	0	0,02	0,11
Dynamic Envelope	0,05	0,05	0,13	0,1	0,4	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
IMPACT WEIGHTINGS							
	Energy savings on site	Flexibility for the grid and storage	Comfort	Convenience	Wellbeing and health	maintenance & fault prediction	information to occupants
	0,17	0,33	0,08	0,08	0,08	0,17	0,08

Figura 42. Fattori di ponderazione di default per gli edifici non residenziali del sud Europa

5. *Panoramica dei servizi*

Consiste in un'overview dei servizi tecnici e dei livelli funzionali per ciascun dominio, dove sono riportate informazione di carattere normativo e valutativo.

Per ciascun livello funzionale, sono indicati:

- gli standard normativi di riferimento per ciascun livello funzionale;
- la dipendenza da altri servizi o tipologie di edifici;
- i commenti sull'applicabilità di ciascuna funzionalità smart, sulla base degli studi condotti e ai dispositivi presenti in commercio;
- l'impatto su larga scala dei livelli smart (es. impatto alto del sistema di interblocco per raffrescamento/riscaldamento combinato, quando il sistema di raffrescamento è prioritario nell'edificio);
- il grado di importanza per il quale l'impatto può essere ascritto alla funzionalità;
- il grado di importanza per il quale la funzionabilità può essere determinata durante il processo di ispezione asseverativo.

Nelle Tabelle 14 e 15 sono mostrati a titolo di esempio, alcune casistiche di overview dei servizi tecnici. Nel dettaglio, in Tabella 14 è rappresentata la classificazione di alcuni servizi smart mediante codice, gruppo e tipologia ed i livelli funzionali associati al servizio. In Tabella 15, per ciascun servizio tecnico individuato, sono associate le informazioni di carattere normativo e funzionale.

Domain	Code	Service group	Smart ready service	Level 0	Level 1	Level 3	Level 3	Level 4
Heating	Heating-1a	Heat control-demand side	Heat emission control	No auto control	Central automatic control	Individual room control	Individual room control with BACS	Individual room control with BACS and presence control
Domestic hot water	DHW-1C	Control DHW production facilities	Control of DHW storage charging	Manual selected control	Automatic control of solar storage charge and supplementary storage	As level 1 with demand-oriented supply or multi sensor storage management	As level 2 with return temperature control	Not present
Cooling	Cooling-3	Information to occupants and facility managers	Report information regarding cooling system performance	Not present	Indication of actual values	Actual values and historical data	Performance evaluation including forecasting and/or benchmarking	As level 3 with predictive management and fault prediction
Monitoring and control	MC-1	HVAC interaction control	Heating and cooling set point management	Manual setting room by room individually	Adaption from distributed/decentralized plant rooms only	Adaption from a central room	As level 2 with frequent set back of user inputs	Not present

Tabella 14. Overviews dei servizi tecnici: classificazione e livelli funzionali

Smart ready service	Dependency on other services or building types	Comments	Basis for impacts ascribed to functionality	Degree by which the impact can be ascribed to the functionality	Degree to which the functionality can be determined by inspection
Heat emission control	Always to be assessed	Average impacts derived from multiple simulations to produce BACS factors in EN15232.	Building energy simulation for EN15232	High - taken directly from EN15232	High but levels 3 and 4 are harder to assess
Control of DHW storage charging	Non present	This capability is no longer within EN15232 (version-1-17).	Building energy simulation for EN15232	High - taken directly from EN15232	Low
Report information regarding cooling system performance	Only applicable in case mechanical cooling systems are present	Non present	Non present	Non present	Non present
Heating and cooling set point management	Non present	The inspectability of the nature of the control algorithm would need to be facilitated for level 3. Average impacts derived from multiple simulations to produce BACS factors in EN15232.	Building energy simulation for EN15232	High - taken directly from EN15232	Medium

Tabella 15. Overviews dei servizi tecnici: riferimenti normativi ed applicativi

16. Feedback

Nella sezione Feedback l'asseveratore ha la possibilità di esprimere il proprio giudizio riguardo le aspettative sul punteggio totale di edificio ottenuto e sul processo di valutazione.

In questa sezione sono incluse le domande relative al tempo di impiego per la procedura di assessment, la disponibilità di tutte le informazioni per la valutazione, la correlazione con i sistemi presenti nell'edificio con i sistemi di cybersecurity e la presenza di funzionalità che eventualmente non risultano ancora espresse nella metodologia SRI che impattano sull'edificio.

Below, please provide feedback, specifically for this building. Please use the general feedback survey to provide more general feedback on the methodology.	
Is the SRI score in line with initial expectations by the assessor or building owner/user?	Yes for assessor. The owner expects a high value because he has installed several building automation systems and very efficient technologies
Did you do an onsite walkthrough of the building?	yes
How much time did the assessment process take you (excluding travel, administration, intake discussions)?	one day (onsite walkthrough included)
Which information was missing to complete the assessment?	no missing informations
Are there smart services relevant for this building which are currently not part of the draft SRI methodology?	no
Were any relevant functionality levels missing for this particular building:	no
Do you have any indications on the interoperability or cybersecurity of the technical building systems?	no
For this particular building, you have any other comments:	the building is certified "Passivhaus" and "KlimaHaus Gold". The building has been used to carry out several experimental projects on building automation by Italian universities

Figura 43. Sezione dedicata ai feedback dell'asseveratore post valutazione dello SRI

La distribuzione dei servizi tra i diversi domini tecnici riflette il diverso grado di complessità e di diffusione delle tecnologie negli edifici. In particolare, i domini relativi agli impianti termici, come riscaldamento e raffrescamento, presentano un numero maggiore di servizi, in quanto comprendono numerose funzionalità di controllo e regolazione. Al contrario, domini come la ricarica dei veicoli elettrici o l'elettricità includono un numero più limitato di servizi, poiché rappresentano ambiti tecnologici più recenti o ancora in fase di diffusione nel parco edilizio.

Per completezza, la descrizione dettagliata di alcuni dei principali domini tecnici in cui sono indicati i livelli funzionali ed i punteggi associati per ognuno di essi a ciascun criterio di impatto, considerati nella valutazione dello Smart Readiness Indicator — riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica — è riportata in Appendice A., al fine di fornire un approfondimento dei servizi tecnici e dei relativi livelli funzionali senza appesantire la trattazione principale.

4.3 Analisi di mercato

In questo lavoro, è stata applicata la metodologia di calcolo modificata sulla base dell'analisi di mercato condotta per effettuare una valutazione della presenza attuale dei dispositivi, sistemi e logiche negli edifici non residenziali più performanti del panorama edilizio italiano. L'analisi di calibrazione è stata realizzata effettuando un'indagine di mercato applicata ai servizi tecnici ed ai livelli di funzionalità presenti nel catalogo dettagliato dei servizi, per valutarne l'effettiva compatibilità con gli edifici dello stock edilizio nazionale.

Gli obiettivi dell'analisi di mercato sono stati:

- promuovere lo sviluppo e la valorizzazione dei sistemi tecnologici presenti o implementabili negli edifici appartenenti allo stock nazionale;
- individuare i trend energetici attuali;
- in ambito economico, individuare i cluster di domanda e di investimenti sulle tecnologie;
- analizzare i cambiamenti normativi e tecnologici;
- valutare la maturità e il consolidamento delle tecnologie e delle logiche esistenti e in early stage;
- mappare il gap tra soluzioni attuali e bisogni futuri;
- comprendere le problematiche degli utenti;
- valutare lo smart readiness indicator sulla base di dati certi;

Le modalità di realizzazione di tale analisi, invece, sono state le seguenti: i) analisi dei livelli funzionali presenti nel catalogo dettagliato dei servizi valutando la corrispondenza con gli stessi previsti dalla norma UNI EN 15232 [116]; ii) somministrazione di un questionario agli stakeholder e tecnici del settore per la selezione dei livelli di predisposizione all'intelligenza maggiormente attinenti alle soluzioni di automazione attualmente presenti o implementabili negli edifici; iii) individuazione di tre edifici non residenziali di tipo uffici per la valutazione dell'indicatore di smartness; iv) calcolo dello SRI mediante il foglio di calcolo basato sulla metodologia europea, aggiornato all'ultima versione del catalogo dettagliato dei servizi; v) calcolo dello SRI mediante il foglio di calcolo ottimizzato sulla base dei livelli funzionali massimi selezionati a seguito dell'analisi di mercato per la specifica tipologia edilizia.

Il calcolo dello SRI è stato effettuato considerando un processo iniziale di individuazione dei domini presenti o rilevanti, dopodiché a ciascun livello funzionale di ogni servizio tecnico attivato è stato assegnato un punteggio numerico (da 0 a 4) indicante il grado di predisposizione all'intelligenza.

Mediante un processo automatizzato, si sono ottenuti due risultati diversi di SRI totale di edificio, in base al fatto che sia stato utilizzato il catalogo completo dei servizi oppure il catalogo ottimizzato post calibrazione.

Gli stakeholder che hanno partecipato al questionario sono 2 aziende del settore BACS, nonché operatori e tecnici del settore. L'azienda A è caratterizzata da una forte presenza sul mercato relativa ai dispositivi elettronici intelligenti ed è inclusa tra le sei aziende che rappresentano complessivamente l'85% della quota di mercato di tale settore nel 2018. [Global Intelligent electronic Devices Market Research, 2020]. L'azienda B rappresenta un attore rappresentativo della tecnologia per la gestione efficiente degli impianti di edificio, in particolare inerente l'automazione degli impianti, la regolazione remota, il monitoraggio energetico ed ambientale mediante dispositivi di building automation.

Gli operatori del settore rappresentano tecnici, ingegneri, installatori specializzati in sistemi di automazione e controllo, nonché di impianti termomeccanici.

Per quanto concerne gli aspetti particolari emersi dai questionari, si elencano di seguito le risposte ottenute rispettivamente dall'azienda A e dall'azienda B. In particolare, sono riportati in forma tabellare, in Appendice B, i servizi tecnici ed i livelli funzionali per ciascun dominio previsto dal catalogo dettagliato dei servizi. Per ciascun livello funzionale, il compilatore del questionario ha potuto indicare la possibilità che il dispositivo o il sistema esistesse, non esistesse o non fosse sicuro dell'esistenza in commercio, indicando nell'apposito riquadro, rispettivamente, la lettera S (presente), la lettera N (non presente) oppure un punto interrogativo "?".

Sono stati scelti come oggetto di studio edifici non residenziali di medio-elevato livello di automazione degli impianti tecnici, in quanto la valutazione è stata incentrata sulla reale

predisposizione all'intelligenza di una categoria edilizia particolarmente versatile dal punto di vista della gestione impiantistica, ma anche caratterizzata da importanti consumi energetici oggetto di risoluzione da parte della legislazione europea. A tal fine, è stata condotta un'analisi impiantistica ed edilizia degli edifici scelti, valutando mediante il processo di triage previsto dalla metodologia [108] i domini effettivamente presenti e la tipologia di impianti e funzionalità presenti.

Sono stati considerati 3 edifici oggetto di applicazione del calcolo dello Smart Readiness Indicator, per valutare il livello di predisposizione all'intelligenza totale dei singoli edifici in funzione delle soluzioni BACS ed impiantistiche presenti ed identificare eventuali evoluzioni determinate dall'applicazione delle tecnologie attualmente presenti sul mercato nazionale. Il contributo di questo lavoro è relativo alla stima dell'impatto sullo SRI dell'aggiornamento del catalogo dettagliato dei servizi e del calcolo in funzione del reale stato dell'arte delle soluzioni smart ready realmente applicabili alle diverse categorie edilizie nazionali e l'individuazione di una possibile ottimizzazione della metodologia di calcolo per il contesto nazionale.

4.4 Calcolo dello Smart Readiness Indicator del parco edilizio nazionale mediante foglio di calcolo calibrato

Gli autori hanno applicato l'ottimizzazione del procedimento di calcolo dello Smart Readiness Indicator, derivante dall'analisi di calibrazione del foglio di calcolo europeo, a tre edifici appartenenti al parco edilizio italiano. Gli edifici sono stati scelti nell'ottica di considerare ai fini del calcolo, degli standard nazionali ad elevato livello di automazione e controllo. Sono stati, in particolare, considerati:

- un edificio scolastico (caso di studio A) oggetto di ampliamento e riqualificazione degli impianti termomeccanici presenti;
- un edificio del terziario avanzato (caso di studio B) ad elevato grado di automazione;
- un edificio del terziario avanzato (caso di studio C) ad energia quasi zero;

L'edificio caso di studio A è rappresentato da un istituto di istruzione scolastica secondaria con 14 aule e 14 locali accessori per una capienza pari a 420 alunni ed una superficie lorda riscaldata di 1316 m². Gli impianti termomeccanici sono stati riqualificati, considerando 4 circuiti di suddivisione dell'impianto complessivo. L'impianto di climatizzazione invernale/estiva prevede l'utilizzo di una pompa di calore geotermica con sistema di emissione costituito da pannelli radianti, la cui emissione è regolata automaticamente a livello centralizzato. La regolazione della temperatura dell'acqua nella rete di distribuzione avviene in base alla richiesta, le pompe di

distribuzione nelle reti sono a velocità variabile. In ogni aula è presente un sistema di ventilazione meccanica a recupero di calore (free-cooling), mentre la regolazione del flusso d'aria in ambiente avviene in base alla presenza degli occupanti nei locali dell'edificio. L'unità di trattamento aria è caratterizzata dalla regolazione automatica del flusso o della pressione, inoltre, è prevista la prevenzione del surriscaldamento mediante regolazione del surriscaldamento stesso. Per la produzione di acqua calda sanitaria è stata predisposta una pompa di calore dedicata. Il servizio tecnico illuminazione è dotato di regolazione automatica in base alla presenza, mentre in termini di gestione tecnica dell'edificio, sono installati sistemi di rilevamento guasti, supporto alla diagnosi e reporting. In termini di automazione, l'edificio rientra in classe B secondo quanto previsto dalla UNI 15232 [116], dipendente dall'installazione di impianti BACS rappresentativi di un livello di automazione, controllo e regolazione di base.

L'edificio caso di studio B è un edificio direzionale situato nel nord Italia, ospitante numerosi uffici del terziario avanzato. L'impianto di riscaldamento prevede una pompa di calore elettrica che alimenta dei sistemi idronici (ventilconvettori), l'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria prevede una pompa di calore elettrica con serbatoio, senza integrazione di collettori solari. È presente un impianto di ventilazione meccanica controllata senza recupero termico, schermature solari, impianto fotovoltaico ed on-site parking spots per la ricarica di veicoli elettrici. Gli impianti termici sono regolati da un sistema BACS, che consente di effettuare una regolazione di tipo PID (Proporzionale Integrata Derivativa), inoltre è prevista la regolazione antigelo dell'impianto mediante sonda di temperatura in ambiente esterno.

L'edificio caso di studio C è anch'esso un edificio direzionale del terziario avanzato situato nel nord Italia, ospitante numerosi uffici, aziende, laboratori e aree comuni. Per gli impianti di riscaldamento e raffrescamento sono previste pompe di calore acqua – acqua e tre caldaie, la potenza termica in riscaldamento è di 1802 kW mentre quella in raffrescamento è di 1092 kW. I terminali di emissione sono costituiti da pannelli radianti a soffitto. È presente un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in loco, con potenza installata pari a 217,08 kWp, connesso alla microgrid per la gestione attiva dei carichi elettrici e degli accumuli. I sistemi di controllo installati per l'impianto di riscaldamento e di raffrescamento, prevedono controllo individuale delle stanze mediante collegamento al sistema BACS centralizzato. Il controllo delle pompe di distribuzione nella rete, raggiunge il massimo livello di automazione, prevedendo un variable speed pump control basato sui segnali esterni dalla rete elettrica. La ventilazione controllata è particolarmente avanzata, caratterizzata da controllo centrale per stanza dell'apporto di ventilazione mediante sensori di qualità (CO₂, VOC etc), controllo automatico del flusso o della pressione e sistema di freecooling basato su un controllo del tipo "H,x". L'illuminazione prevede un controllo di presenza mediante interruttore manuale on/off con segnale di estinzione graduale automatica e un controllo del livello di illuminazione diurna mediante controllo degli scenari differenziati in base a differenti intervalli di tempo (es. in

termini di distribuzione della luce all'interno degli ambienti, dei bisogni degli occupanti). L'elettricità da fonti rinnovabili prodotte in loco prevede un sistema di reporting delle informazioni riguardanti la produzione di energia mediante un sistema rilevante i valori attuali e i dati storici. È previsto un sistema di ricarica dei veicoli elettrici con power plug standard, mentre per il monitoraggio e controllo, gli impianti HVAC sono gestiti mediante un controllo dipendente dai carichi dell'edificio e il reporting delle performance dei servizi tecnici e dei profili di consumo è determinato in tempo reale, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini.

4.4.1 Fase di triage: caratterizzazione degli edifici, dei domini e dei livelli di funzionalità

Le caratteristiche degli edifici oggetto di valutazione, determinate in fase di triage, sono riportate in Tabella 16 e in Tabella 17. Le caratteristiche impiantistiche dei domini presenti nell'edificio sono riportate in Tabella 18.

Informazioni di input	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Tipo di edificio	Non residenziale	Non residenziale	Non residenziale
Categoria	Uffici	Uffici	Uffici
Zona climatica	Sud Europa	Sud Europa	Sud Europa
Località	Italia	Italia	Italia
Anno di costruzione	<2010	>2010	>2010
Stato dell'edificio	Originale	Originale	Originale
Superficie netta	<10000 m2	10000 – 25000 m2	>25000 m2

Tabella 16. Caratterizzazione degli edifici sulla base del processo di triage

Domini	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Riscaldamento	SI	SI	SI
Raffrescamento	SI	SI	SI
ACS	SI	SI	SI
Ventilazione meccanica	SI	SI	SI
Illuminazione	SI	SI	SI
Involucro dinamico	NO	SI	SI
Elettricità: rinnovabili e storage	SI	SI	SI
Ricarica dei veicoli elettrici	NO	SI	SI

Tabella 17. Domini presenti nei casi di studio

Dominio	Informazioni di input	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
Riscaldamento	Emissione	TABS (Thermally Activated Building Systems)	Hydronic systems	Hydronic systems
	Produzione	Heat pump	Heat pump	Heat pump
	Storage	Present	n/p	n/p
	Generazione singola/multipla	Generatore singolo	Multiple generators	Multiple generators
ACS	Produzione	Electric	Electric	Electric
	Storage	Present	Present	Present
	Solar collector	n/p	n/p	n/p
Raffrescamento	Emissione	TABS (Thermally Activated Building Systems)	Hydronic systems	Hydronic system
	Produzione	Heat pump	Heat pump	Heat pump
	Storage	Present	n/p	n/p
	Generazione singola/multipla	Generatore singolo	Multiple generators	Multiple generators
Ventilazione meccanica	Sistema	Mechanical ventilation	Mechanical ventilation	Mechanical ventilation
	Recupero di calore	Heat recovery	n/p	n/p
	Riscaldamento	n/p	Not used for space heating	Not used for space heating
	Sotto-sistemi	n/p	n/p	n/p
Illuminazione	Controllo dell'occupazione per l'illuminazione indoor	Present	Present	Present
	Regolazione in base alla luce diurna	n/p	Present	Present
Involucro dinamico	Oscuranti e schermi mobili	n/p	Present	n/p
Elettricità: rinnovabili e storage	Generazione rinnovabile on-site	n/p	Generazione rinnovabile da FER in loco	Generazione rinnovabile da FER in loco
	Storage on-site	n/p	n/p	n/p
	Cogenerazione	n/p	n/p	n/p
Ricarica dei veicoli elettrici	Parking spot on-site	n/p	On-site parking	On-site parking
	Punti di ricarica on-site	n/p	EV charging	EV charging
Monitoraggio e controllo	Sistema centralizzato di monitoraggio	Present	Present	Present
	Manutenzione e previsione dei guasti	Present	Present	Present
Monitoraggio e controllo	Integrazione con la Smart Grid	n/p	n/p	n/p

Dominio	Informazioni di input	Caso di studio A	Caso di studio B	Caso di studio C
	Controllo e reporting del DSM	n/p	n/p	n/p
	Controllo presenza	Per funzioni individuali e.g. lighting	Per funzioni individuali e.g. lighting	n/p

Tabella 18. Caratterizzazione dei singoli domini (n/p = servizio non presente)

4.5 Prima ottimizzazione e calibrazione del foglio di calcolo europeo

Al fine di stimare le performance raggiunte dagli edifici in termini di Smart Readiness Indicator totale, è stato inizialmente applicato il foglio di calcolo ai casi studio sia considerando il catalogo dei servizi completo, come proposto dallo studio tecnico europeo, sia la prima versione del catalogo ottimizzato con i livelli funzionali pertinenti per gli edifici non residenziali ad uso uffici in Italia. In Tabella 68, 69 e 70, a titolo di esempio, sono riportate alcune principali funzionalità e servizi tecnici aggiornati rispetto alla prima versione europea del foglio di calcolo completo di tutti i servizi ed i livelli funzionali ad una prima analisi di mercato valutando l'attuale stato dell'arte delle tecnologie smart ready.

Denominazione	Catalogo dettagliato	Possibili revisioni al catalogo dettagliato	NOTE
Riscaldamento-1f	Servizio tecnico: Accumuli termici	Servizio tecnico: Accumuli termici	Il livello 3 potrebbe essere omesso dal calcolo: è poco probabile che possa ad oggi essere diffusa tale funzionalità. Attuale mancanza predisposizione edificio/dispositivi. Possibilità di aggiungere un livello
Livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	
livello 1	Controllo schedulato (programmazione oraria) dell'accumulo di energia termica	Controllo schedulato (programmazione oraria) dell'accumulo di energia termica	
livello 2	Accumulo di energia termica	Accumulo di	

	in funzione della previsione del carico	energia termica in funzione della previsione del carico	4 inerente alla capacità di accumulo in funzione del segnale dalla rete.
livello 3	Capacità di accumulare l'energia termica (es. con pompa di calore) in funzione di un segnale che arriva dal gestore della rete elettrica		

Tabella 19. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico "Accumuli termici" nel dominio "Riscaldamento"

Denominazione	Catalogo dettagliato	Possibili revisioni al catalogo dettagliato	NOTE
Elettricità - 4	Servizio tecnico: Ottimizzazione dell'autoconsumo dell'elettricità generata localmente	Servizio tecnico: Ottimizzazione dell'autoconsumo o dell'elettricità generata localmente	Il livello 3 potrebbe essere omesso dal calcolo: è poco probabile che possa ad oggi essere diffusa tale funzionalità. Attuale mancanza predisposizione edificio/dispositivi. Possibilità di aggiungere un livello 4 inerente alla capacità di accumulo in funzione del segnale dalla rete.
Livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	
livello 1	Consumo di elettricità programmato	Consumo di elettricità programmato	
livello 2	Gestione automatica del consumo di energia elettrica locale basato sull'attuale disponibilità di energia rinnovabile	Gestione automatica del consumo di energia elettrica locale basato sull'attuale disponibilità di energia rinnovabile	
livello 3	Gestione automatica del consumo di energia elettrica locale basato sull'attuale disponibilità di energia rinnovabile e sulla previsione del carico		

Tabella 20. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico "Ottimizzazione dell'autoconsumo dell'elettricità generata localmente" nel dominio "Elettricità"

Denominazione	Catalogo dettagliato	revisioni proposte al catalogo dettagliato	NOTE
Raffrescamento - 4	Servizio tecnico: Interazione e flessibilità con la rete	Servizio tecnico: Interazione e flessibilità con la rete	Il livello 3 ed il livello 4 potrebbero essere omessi dal calcolo: è poco probabile che possa ad oggi essere diffusa tali funzionalità.
Livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	Descrizione del livello funzionale	
livello 1	Funzionamento programmato del sistema di raffrescamento	Funzionamento programmato del sistema di raffrescamento	
livello 2	Controllo ottimale del sistema di raffrescamento mediante autoapprendimento	Controllo ottimale del sistema di raffrescamento mediante autoapprendimen to	
livello 3	Controllo flessibile del sistema di raffrescamento attraverso i segnali inviati dal gestore della rete elettrica (es. DSM)		
livello 4	Controllo ottimizzato del sistema di raffrescamento basato su previsioni del carico termico e segnali dalla rete (es. attraverso controllo predittivo)		

Tabella 21. Aggiornamento del foglio di calcolo con possibili revisioni al catalogo dettagliato del servizio tecnico “Interazione e flessibilità con la rete” nel dominio “Raffrescamento”

4.5.1 Processo di ottimizzazione della prima versione del foglio di calcolo europeo

La struttura del software sviluppato per il calcolo dello Smart Readiness Indicator (SRI) si articola in tre moduli principali, ciascuno con una funzione specifica all'interno del processo di valutazione. Il primo è rappresentato dall'“Edificio di riferimento”, costituito da un catalogo dei servizi tecnici (54 servizi, metodo B), i cui livelli funzionali sono stati aggiornati sulla base dei risultati dell'indagine di mercato. Questo modulo descrive una configurazione ideale dell'edificio, caratterizzata dal raggiungimento dei punteggi massimi per tutti i servizi considerati, e viene utilizzato come benchmark per esprimere lo SRI in termini percentuali rispetto al valore massimo ottenibile. Il secondo modulo, denominato “Checklist”, è lo strumento operativo a disposizione del tecnico asseveratore, che consente di associare a ciascun servizio tecnico presente nell'edificio il relativo livello funzionale. A valle delle scelte effettuate, il sistema calcola in automatico il punteggio di ogni servizio in relazione ai sette criteri d'impatto. Infine, il “Modulo di calcolo SRI” elabora i punteggi ottenuti, determinando sia i valori relativi ai singoli criteri d'impatto sia l'indicatore complessivo, secondo le modalità definite dal Regolamento Delegato. Nei paragrafi successivi si riporta una descrizione più approfondita dei singoli moduli.

4.5.2 Descrizione del 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 definito univocamente 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 cluster 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);
- azzerava il punteggio dei livelli funzionali che non hanno trovato corrispondenza nella analisi di mercato;
- calcola in ogni dominio tecnico il punteggio massimo associato a ciascun criterio di impatto come somma dei punteggi corrispondenti ai livelli funzionali massimi (tale valore viene utilizzato come 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, che deve limitarsi ad individuare le funzionalità corrispondenti ai servizi smart ready e a selezionarle nello strumento di calcolo. 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.

L'esclusione dal calcolo dei livelli funzionali più alti, determina 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 dall'impossibilità di adottare eventuali tecnologie, dispositivi e sistemi ancora non presenti nel mercato nazionale. Nel modulo "Edificio di riferimento" per ogni dominio tecnico viene calcolato 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.

4.5.3 Descrizione del modulo "Checklist" per la valutazione dei servizi smart ready e dei livelli funzionali

La seconda sezione del foglio di calcolo è utilizzata per la valutazione dei servizi smart ready presenti nell'immobile, attraverso una procedura di tipo "checklist" in cui 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, pertanto l'asseveratore può scegliere nello strumento di calcolo le funzionalità che ritiene idonee, escludendo i servizi dal calcolo se non sono presenti nell'edificio e non sono obbligatori. L'esclusione avviene imponendo il valore "0" nella cella definita per l'attivazione del servizio smart ready, in questo modo il servizio tecnico viene automaticamente escluso dal calcolo dello Smart Readiness Indicator e dall'edificio di riferimento per evitare che possa influenzare il punteggio "max". I servizi non presenti nell'edificio, ma obbligatori (es. previsti dalla normativa di riferimento in materia di impianti tecnici) non sono disattivabili dal calcolo e dall'edificio di riferimento, in quanto bisogna tener conto che il punteggio di SRI deve comprenderne la selezione. In ciascuno dei 9 fogli strutturati per i domini tecnici, viene calcolato

l'SRI di dominio. In particolare per ogni criterio di impatto vengono calcolati in modo automatico i due valori:

1. “max ”: punteggi massimi letti dall’edificio di riferimento;
2. “score”: somma dei punteggi associati ai livelli funzionali scelti per ciascuno dei servizi presenti nell’edificio.

Il punteggio di Smart Readiness Indicator di dominio è dato dal rapporto espresso in percentuale tra la somma dei punteggi “score” e la somma dei punteggi “max”.

Uno studio ad hoc valuterà per ogni tipologia di edifici quali servizi inserire come obbligatori e non escludibili se non presenti.

4.5.4 Descrizione del modulo “Calcolo SRI” per la determinazione dei punteggi

Nel modulo dello strumento di calcolo denominato “Calcolo SRI”, i risultati dell’analisi sono presentati sia in forma numerica che grafica, consentendo di visualizzare facilmente i valori dello Smart Readiness Indicator complessivo, di ciascun criterio d’impatto e dominio. Il calcolo dello SRI per singolo criterio segue una procedura articolata in più fasi, attraverso l’implementazione di tabelle di calcolo. In primo luogo, è stata realizzata una tabella denominata “Impact score” in cui vengono riportati i punteggi ottenuti dai diversi domini per ciascuno dei sette criteri d’impatto. In seguito, è stata realizzata una tabella “Impact max” in cui sono indicati i corrispondenti punteggi massimi, derivati dal modulo “Edificio di riferimento”. In una fase successiva, tali valori vengono ponderati attraverso l’applicazione dei fattori di peso previsti dal Regolamento Delegato, i quali possono essere definiti a livello di Stato Membro. Nel caso specifico, sono stati adottati i fattori di peso relativi all’area geografica del Sud Europa, così come proposti nel catalogo completo dei servizi proposto dallo studio europeo. L’applicazione di questi coefficienti consente di ottenere i punteggi finali di “score” e “max”, il cui rapporto determina lo SRI per ciascun criterio d’impatto. Lo SRI complessivo dell’edificio è infine calcolato come media pesata dei valori ottenuti per i sette criteri, utilizzando i medesimi pesi suggeriti a livello europeo. Tuttavia, tali pesi potrebbero essere oggetto di successive revisioni e adattamenti in funzione delle specificità del contesto nazionale.

4.6 Risultati

I risultati ottenuti dal calcolo dello SRI totale sono mostrati in Tabella 71:

Edificio	SRI ottenuto con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi	SRI ottenuto con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione
A	42%	61%
B	45%	70%
C	43%	65%

Tabella 22. Risultati di SRI totale ottenuto con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi e con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione

4.6.1 SRI di dominio

Nelle Tabelle 23, 24 e 25 sono riportati i valori dello SRI di dominio calcolati con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi, per ciascuno dei tre casi di studio, mentre nelle Tabelle 26, 27 e 28 sono riportati i valori dello SRI di dominio calcolati con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione, , per ciascuno dei tre casi di studio.

Edificio A	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio A
Riscaldamento	84%
Acqua calda sanitaria	0%
Raffrescamento	39%
Ventilazione meccanica	80%
Illuminazione	53%
Involucro dinamico	50%
Elettricità	0%
Ricarica di veicoli elettrici	0%
Monitoraggio e controllo	38%

Tabella 23. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio A)

Edificio B	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio B
Riscaldamento	71%
Acqua calda sanitaria	21%
Raffrescamento	61%
Ventilazione meccanica	78%
Illuminazione	95%
Involucro dinamico	0%
Elettricità	13%
Ricarica di veicoli elettrici	40%
Monitoraggio e controllo	38%

Tabella 24. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio B)

Edificio C	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio C
Riscaldamento	71%
Acqua calda sanitaria	0%
Raffrescamento	63%
Ventilazione meccanica	78%
Illuminazione	79%
Involucro dinamico	0%
Elettricità	19%
Ricarica di veicoli elettrici	10%
Monitoraggio e controllo	39%

Tabella 25. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio C)

Edificio A	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio A
Riscaldamento	88%
Acqua calda sanitaria	0%
Raffrescamento	41%
Ventilazione meccanica	69%
Illuminazione	53%
Involucro dinamico	64%
Elettricità	0%
Ricarica di veicoli elettrici	0%
Monitoraggio e controllo	69%

Tabella 26. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio A)

Edificio B	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio B
Riscaldamento	82%
Acqua calda sanitaria	21%
Raffrescamento	72%
Ventilazione meccanica	78%
Illuminazione	95%
Involucro dinamico	0%
Elettricità	33%
Ricarica di veicoli elettrici	67%
Monitoraggio e controllo	69%

Tabella 27. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post caibrazione (Edificio B)

Edificio C	
Dominio	SRI di dominio per l'edificio C
Riscaldamento	82%
Acqua calda sanitaria	0%
Raffrescamento	67%
Ventilazione meccanica	78%
Illuminazione	79%
Involucro dinamico	0%
Elettricità	50%
Ricarica di veicoli elettrici	14%
Monitoraggio e controllo	62%

Tabella 28. SRI di dominio calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post caibrazione (Edificio C)

4.6.2 SRI di impatto

Nelle Tabelle 29, 30 e 31 sono riportati i valori dello SRI di impatto calcolati con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi, per ciascuno dei tre casi di studio, mentre nelle Tabelle 32, 33 e 34 sono riportati i valori dello SRI di impatto calcolati con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione, , per ciascuno dei tre casi di studio.

Edificio A	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio A
Informazione agli occupanti	33%
Manutenzione e previsione dei guasti	40%
Salute, benessere e accessibilità	62%
Comodità	46%
Comfort	82%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	15%
Efficienza energetica	73%

Tabella 29. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio A)

Edificio B	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio A
Informazione agli occupanti	61%
Manutenzione e previsione dei guasti	40%
Salute, benessere e accessibilità	62%
Comodità	70%
Comfort	82%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	77%
Efficienza energetica	73%

Tabella 30. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio B)

Edificio C	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio C
Informazione agli occupanti	35%
Manutenzione e previsione dei guasti	39%
Salute, benessere e accessibilità	60%
Comodità	45%
Comfort	91%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	20%
Efficienza energetica	64%

Tabella 31. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi (Edificio C)

Edificio A	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio A
Informazione agli occupanti	59%
Manutenzione e previsione dei guasti	48%
Salute, benessere e accessibilità	55%
Comodità	63%
Comfort	78%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	57%
Efficienza energetica	77%

Tabella 32. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio A)

Edificio B	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio B
Informazione agli occupanti	61%
Manutenzione e previsione dei guasti	45%
Salute, benessere e accessibilità	60%
Comodità	70%
Comfort	100%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	77%
Efficienza energetica	78%

Tabella 33. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio B)

Edificio C	
Criterio di impatto	SRI di impatto per l'edificio C
Informazione agli occupanti	53%
Manutenzione e previsione dei guasti	45%
Salute, benessere e accessibilità	60%
Comodità	63%
Comfort	91%
Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia	68%
Efficienza energetica	74%

Tabella 34. SRI di impatto calcolato con la prima versione europea del foglio di calcolo completo dei servizi post calibrazione (Edificio C)

4.7 Conclusioni

Il confronto tra i valori di SRI di dominio calcolati prima e dopo la fase di calibrazione evidenzia alcune variazioni significative nei tre edifici analizzati, che possono essere interpretate anche alla luce delle considerazioni emerse dall'analisi di mercato. In generale, la calibrazione ha portato ad un miglioramento dei punteggi in diversi domini, rendendo la valutazione più coerente con la reale diffusione delle tecnologie smart nel contesto edilizio nazionale.

Per quanto riguarda l'Edificio A, si osserva un incremento nei domini riscaldamento (da 84% a 88%), raffrescamento (da 39% a 41%) e soprattutto monitoraggio e controllo, che passa dal 38% al 69%. Questo miglioramento è coerente con quanto emerso dall'analisi di mercato, secondo cui i sistemi di monitoraggio e gestione degli impianti risultano oggi sempre più diffusi negli edifici e rappresentano uno degli elementi principali dell'automazione degli impianti. Si registra inoltre un aumento nel dominio involucro dinamico, che passa dal 50% al 64%, confermando come le tecnologie relative alla gestione dinamica dell'involucro e dell'illuminazione siano già pienamente disponibili sul mercato. Rimangono invece pari a zero i domini elettricità, acqua calda sanitaria e ricarica dei veicoli elettrici, indicando l'assenza di tali servizi tecnici nel caso studio.

Nel caso dell'Edificio B, la calibrazione determina un miglioramento più marcato in diversi domini. Il raffrescamento aumenta da 61% a 72%, mentre monitoraggio e controllo passa da 38% a 69%. Particolarmente significativo è l'incremento nel dominio ricarica di veicoli elettrici, che passa dal 40% al 67%, e nel dominio elettricità, che cresce da 13% a 33%. Tali risultati possono essere interpretati considerando che alcune funzionalità avanzate legate all'interazione con la rete elettrica risultano ancora poco diffuse nel parco edilizio esistente, come evidenziato anche dall'analisi di mercato. La calibrazione ha quindi permesso di adeguare la valutazione a livelli funzionali più rappresentativi delle tecnologie effettivamente presenti o realisticamente implementabili.

Per quanto riguarda l'Edificio C, si osservano incrementi in diversi domini, tra cui riscaldamento (da 71% a 82%), raffrescamento (da 63% a 67%), elettricità (da 19% a 50%) e monitoraggio e controllo (da 39% a 62%). Anche in questo caso il miglioramento nei domini legati alla gestione dell'energia e al controllo degli impianti risulta coerente con le indicazioni dell'analisi di mercato, che evidenziano una crescente diffusione di sistemi di automazione e supervisione degli edifici, spesso in linea con quanto previsto anche dalla norma UNI 15232 [116]. Tuttavia, alcuni domini, come involucro dinamico e acqua calda sanitaria, rimangono invariati, indicando che tali servizi non sono stati implementati nei casi studio considerati.

Nel complesso, il confronto tra i risultati evidenzia come la fase di calibrazione abbia contribuito a rendere i valori di SRI maggiormente allineati con la realtà del mercato e con il livello di maturità tecnologica dei diversi domini. Le osservazioni raccolte attraverso il questionario hanno inoltre

evidenziato alcune difficoltà interpretative relative ai livelli funzionali del catalogo dei servizi, che potrebbero aver influenzato la valutazione iniziale dei sistemi. Pertanto, l'integrazione tra analisi quantitativa e analisi di mercato si conferma uno strumento utile per migliorare l'affidabilità della valutazione della smart readiness degli edifici.

L'analisi di mercato condotta sugli attori del settore ha permesso di integrare e interpretare i risultati ottenuti dal calcolo dello Smart Readiness Indicator (SRI) per i tre casi studio analizzati (Edificio A, Edificio B ed Edificio C). In particolare, le osservazioni qualitative emerse dal questionario aiutano a comprendere alcune variazioni registrate tra i valori calcolati con la prima versione del foglio di calcolo europeo e quelli ottenuti dopo la fase di calibrazione.

Una prima considerazione riguarda le funzionalità basate sui segnali provenienti dalla rete elettrica, per le quali è stato evidenziato che i livelli funzionali più avanzati potrebbero non essere presenti o non essere ancora diffusi nel parco edilizio nazionale. Questo aspetto si riflette nei risultati iniziali del calcolo SRI, dove alcuni domini presentano valori relativamente contenuti, in particolare per quanto riguarda la flessibilità energetica e lo stoccaggio dell'energia. Ad esempio, nell'Edificio A questo indicatore passa dal 15% prima della calibrazione al 57% dopo la calibrazione, evidenziando come la revisione dei livelli funzionali e la loro interpretazione più coerente con il mercato reale abbiano portato a una valutazione più rappresentativa delle tecnologie effettivamente disponibili.

Al contrario, alcuni domini risultano già ampiamente maturi dal punto di vista tecnologico. In particolare, l'analisi di mercato ha evidenziato che i domini relativi a illuminazione e involucro dinamico presentano servizi tecnici e livelli funzionali già pienamente compatibili con i dispositivi e i sistemi attualmente disponibili in commercio. Questo si riflette nei valori relativamente elevati di alcuni criteri di impatto, come comfort, efficienza energetica e salute, benessere e accessibilità, che presentano valori mediamente alti già nella valutazione iniziale.

Un ulteriore risultato emerso dall'analisi di mercato è che non sono stati individuati servizi tecnici da escludere dal catalogo dettagliato dei servizi, confermando quindi la completezza dell'attuale struttura metodologica dello SRI. Tuttavia, gli attori coinvolti nel questionario hanno evidenziato alcune difficoltà nella comprensione delle descrizioni dei livelli funzionali, suggerendo la necessità di una maggiore chiarezza nella definizione dei livelli e nella loro applicazione pratica durante la fase di valutazione.

Questo aspetto può spiegare alcune differenze tra i risultati prima e dopo la calibrazione. Ad esempio, per l'Edificio A si osserva un aumento significativo in diversi criteri di impatto:

- Informazione agli occupanti: da 33% a 59%
- Facilitazione utente: da 46% a 63%
- Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia: da 15% a 57%

Analogamente, anche per l'Edificio B si registrano incrementi rilevanti:

- Informazione agli occupanti: da 37% a 61%;
- Comodità: da 45% a 70%;
- Flessibilità energetica e stoccaggio dell'energia: da 24% a 77%;

L'Edificio C mostra un andamento simile, con miglioramenti soprattutto nei criteri legati alla gestione energetica e all'interazione con gli utenti, come l'informazione agli occupanti (da 35% a 53%) e la flessibilità energetica (che raggiunge 68% dopo la calibrazione).

Un ulteriore elemento emerso dal confronto con il mercato è la presenza di similitudini con la norma UNI 15232, che disciplina l'automazione e il controllo degli edifici [116]. Questa corrispondenza suggerisce una certa coerenza tra la metodologia SRI e gli standard già adottati nel settore dell'automazione degli edifici, rafforzando la validità dell'approccio utilizzato.

Infine, alcuni partecipanti hanno espresso perplessità sulla gerarchia dei livelli funzionali, chiedendosi se i livelli inferiori siano implicitamente inclusi nei livelli superiori (ad esempio se il livello 2 sia automaticamente incluso nel livello 3). Questa incertezza metodologica potrebbe aver influito sulla valutazione iniziale dei servizi e rappresenta un ulteriore elemento che giustifica le differenze osservate tra i risultati prima e dopo la fase di calibrazione.

Nel complesso, il confronto tra i risultati quantitativi e le considerazioni qualitative dell'analisi di mercato evidenzia come la fase di calibrazione abbia permesso di ottenere valori di SRI più coerenti con lo stato reale delle tecnologie disponibili nel mercato nazionale, migliorando la rappresentatività della valutazione della smart readiness degli edifici analizzati.

Capitolo V. Valutazione dello Smart Readiness Indicator su edifici del parco edilizio italiano mediante prima versione del foglio di calcolo europeo post calibrazione

5.1 Caratterizzazione degli edifici casi studio

Al fine di applicare la metodologia dello Smart Readiness Indicator e analizzarne i risultati in diversi contesti d'uso, sono stati considerati alcuni edifici rappresentativi di differenti destinazioni funzionali. In particolare, il calcolo dello SRI è stato applicato a quattro casi studio: un edificio residenziale, un edificio ad uso ufficio, un edificio scolastico e una struttura ospedaliera. La scelta di tali tipologie edilizie è stata effettuata con l'obiettivo di analizzare il livello di smart readiness in contesti caratterizzati da differenti modalità di utilizzo, livelli di complessità impiantistica e requisiti di gestione energetica. Nei paragrafi successivi vengono descritti i principali sistemi tecnici presenti nei diversi edifici e i risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia di valutazione.

In questo studio, la valutazione dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza è stata effettuata considerando due scenari: stato originario dell'edificio e stato post retrofit dell'edificio.

5.1.1 Caso di studio A: edificio residenziale

Il primo caso studio analizzato è rappresentato da un edificio ad uso residenziale, scelto come esempio di tipologia edilizia ampiamente diffusa nel contesto urbano e caratterizzata da esigenze specifiche in termini di comfort abitativo, gestione energetica e semplicità di utilizzo dei sistemi tecnologici. Gli edifici residenziali rappresentano infatti una parte significativa del parco edilizio e costituiscono un ambito particolarmente rilevante per l'implementazione di soluzioni smart finalizzate al miglioramento dell'efficienza energetica e della qualità dell'ambiente interno.

Nel caso degli edifici residenziali, l'integrazione di sistemi intelligenti risulta spesso legata principalmente alla gestione degli impianti di climatizzazione, dell'illuminazione e del monitoraggio dei consumi energetici, con l'obiettivo di garantire condizioni di comfort adeguate agli occupanti e, al tempo stesso, ottimizzare l'utilizzo delle risorse energetiche. A differenza di

altre tipologie edilizie, come edifici ad uso terziario o sanitario, gli impianti presenti negli edifici residenziali risultano generalmente caratterizzati da una minore complessità impiantistica, ma offrono comunque opportunità significative per l'introduzione di sistemi di automazione e controllo.

L'applicazione della metodologia dello Smart Readiness Indicator a questa tipologia edilizia consente quindi di valutare il grado di integrazione di soluzioni tecnologiche in grado di migliorare la gestione energetica dell'edificio, il comfort degli occupanti e la capacità di interazione con gli utenti e con la rete energetica. L'analisi dell'edificio residenziale rappresenta pertanto un riferimento importante per comprendere come le tecnologie smart possano contribuire al miglioramento delle prestazioni degli edifici nel settore residenziale, che costituisce una componente rilevante delle politiche europee di efficientamento energetico.

Gli impianti tecnici presenti nel caso di studio A sono, in particolare [Tabella 36]:

- una unità di trattamento aria con recupero termico dall'aria esausta;
- un sistema solare termico con serbatoio di accumulo per la produzione di ACS;
- un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo elettrico;
- una gestione automatica degli schermi;
- un sistema di free cooling controllato in funzione dei dati importati dalla stazione meteo installata in loco.

Riscaldamento	Pompa di calore elettrica	Controllo individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio, Controllo della pompa a velocità variabile con segnale esterno (segnale proveniente da un dispositivo remoto). Sistema di reporting centralizzato dell'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento.
	Accumulo	Non presente
Acqua calda sanitaria	Caldaia a condensazione	Controllo automatico on/off, del livello termico, dell'accumulo programmato e gestione dell'accumulo mediante sensori. Sistema di reporting dell'attuale performance dell'impianto basato su previsione futura e confronto con impianti di riferimento, nonché individuazione predittiva dei guasti.
	Accumulo	Controllo automatico del livello di accumulo da solare termico e della generazione supplementare di energia termica fornita dall'accumulo. Fornitura in base alla domanda o al segnale proveniente da sensori di temperatura.
Raffrescamento	Pompa di calore elettrica	Controllo individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio,

		Controllo della pompa a velocità variabile con segnale esterno (segnale proveniente da un dispositivo remoto). Sistema di reporting centralizzato dell'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento.
	Accumulo	Non presente
Ventilazione	UTA centralizzate	Controllo locale della ventilazione meccanica basata su sensori di qualità dell'aria (CO2, VOC,...) con regolazione locale della portata in aspirazione e in immissione. Recupero termico modulato basato sull'impiego di un sensore di temperatura installato nella condotta dell'aria esausta. Reporting mediante monitoraggio in tempo reale e informazioni storiche sulla qualità dell'aria indoor disponibili agli occupanti.
Illuminazione	LED	Rilevamento automatico (accensione automatica/ dimmer o spegnimento automatico)
Involucro dinamico	Si	Controllo combinato luminosità/schermo/HVAC. Posizione di ogni componente dinamico d'involucro associata al rilevamento guasti.
Ricarica veicoli elettrici	No	L'edificio non predispone di wallbox per la ricarica dei veicoli elettrici
Rinnovabili (accumulo)	Si	L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici e di accumulo
Monitoraggio e controllo	Si	Impostazione di esecuzione programmata oraria degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti con segnale d'allarme per alcuni impianti. Reporting centralizzato o da remoto dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini.

Tabella 35. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio A allo stato originario

5.1.2 Caso di studio B: edificio ad uso ufficio

Tra i casi studio analizzati è stato considerato anche un edificio ad uso uffici, in quanto rappresenta una tipologia edilizia caratterizzata da un'elevata presenza di sistemi impiantistici e tecnologie di gestione degli ambienti interni. Gli edifici per uffici, infatti, richiedono un controllo continuo delle condizioni di comfort, quali temperatura, qualità dell'aria e illuminazione, e presentano generalmente sistemi di automazione e monitoraggio più sviluppati rispetto agli edifici residenziali. L'inclusione di questa tipologia edilizia nel calcolo dello Smart Readiness Indicator consente pertanto di valutare il livello di integrazione delle tecnologie smart in un

contesto caratterizzato da una maggiore complessità impiantistica e da esigenze gestionali più articolate. Le caratteristiche impiantistiche dell'edificio B sono rappresentate in Tabella 37.

Riscaldamento	Sistema combinato	Controllo individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio. Controllo a velocità variabile della pompa di distribuzione. Sistema di reporting centralizzato basato su previsioni attuali e storiche
	Accumulo	Controllo mediante programmazione oraria dell'accumulo di energia termica
Acqua calda sanitaria	Scaldacqua elettrico	Controllo automatico di on/off e del livello termico dell'accumulo programmato. Sistema di reporting basato su previsioni attuali e storiche
	Accumulo	Non presente
Raffrescamento	Sistema combinato	Controllo individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio. Controllo a velocità variabile della pompa di distribuzione. Interblocco parziale per la simultaneità riscaldamento/raffrescamento. Sistema di reporting centralizzato basato su previsioni attuali e storiche
	Accumulo	Non presente
Ventilazione	UTA centralizzate	Controllo orario e parzialmente controllo centralizzato basato su sensori di qualità dell'aria con erogazione della portata in corrispondenza dell'orario nominale di occupazione di tutti gli ambienti. Sistema di freecooling. Reporting mediante monitoraggio in tempo reale mediante sensori di qualità dell'aria
Illuminazione	LED	Rilevamento automatico (accensione automatica/ dimmer o spegnimento automatico)
Involucro dinamico	Si	Controllo manuale
Ricarica veicoli elettrici	No	L'edificio predispone di wallbox per la ricarica dei veicoli elettrici in misura maggiore del 50% dei parcheggi disponibili e con ricarica controllata dalla rete verso l'utente. Reporting di informazioni sullo stato della ricarica dei veicoli elettrici per l'occupante.
Rinnovabili (accumulo)	Si	L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici e di accumulo. Reporting basato su feedback in tempo reale
Monitoraggio e controllo	Si	Impostazione di esecuzione programmata oraria degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Sistema di individuazione dei guasti. Reporting centralizzato dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini

Tabella 36. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio B allo stato originario

5.1.3 Caso di studio C: edificio scolastico

Il terzo caso di studio esaminato è stato un edificio ad uso uffici, in quanto questa tipologia edilizia è generalmente caratterizzata da una maggiore complessità impiantistica e dal mantenimento della stabilità delle condizioni di comfort interno, quali temperatura, qualità dell'aria, illuminazione e ventilazione, al fine di garantire condizioni adeguate per lo svolgimento delle attività scolastiche. In questo contesto, l'integrazione di sistemi intelligenti per il monitoraggio e la regolazione degli impianti assume un ruolo particolarmente rilevante, consentendo di ottimizzare i consumi energetici e migliorare l'efficienza operativa dell'edificio. L'analisi di un edificio scolastico attraverso la metodologia dello Smart Readiness Indicator permette quindi di valutare in che misura tali sistemi siano presenti e integrati, offrendo un esempio significativo di applicazione della metodologia in un contesto caratterizzato da un elevato potenziale di implementazione di tecnologie smart. In Tabella 38, sono rappresentati i domini tecnici presenti, con annessi servizi e livelli funzionali.

Riscaldamento	Sistema combinato	Regolazione automatica centrale avanzata con funzionamento intermittente e regolazione in retroazione della temperatura ambiente, comunicazione con il sistema BACS centralizzato
	Accumulo	Controllo mediante programmazione oraria dell'accumulo di energia termica
Acqua calda sanitaria	Scaldacqua elettrico	Controllo on/off dei sistemi
	Accumulo	Non presente
Raffrescamento	Sistema combinato	Regolazione automatica centrale avanzata con funzionamento intermittente e regolazione in retroazione della temperatura ambiente con programma orario fisso. Controllo a velocità variabile della pompa di distribuzione
	Accumulo	Non presente
Ventilazione	UTA centralizzate	Regolazione automatica del flusso di aria in base alla presenza, con set point variabile in base alla temperatura esterna. Regolazione diretta dell'umidità
Illuminazione	LED	Rilevamento automatico (accensione automatica/ dimmer o spegnimento automatico). Rilevamento dei guasti e supporto di diagnosi
Involucro dinamico	Si	Controllo automatico in base alla presenza, rilevamento dei guasti e supporto di diagnosi
Ricarica veicoli elettrici	No	Non presente
Rinnovabili	Si	L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici e di accumulo.

(accumulo)		Reporting basato su feedback in tempo reale
Monitoraggio e controllo	Si	Impostazione di esecuzione programmata oraria degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Sistema di individuazione dei guasti. Reporting centralizzato dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini

Tabella 37. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio C allo stato originario

5.1.4 Caso di studio D: struttura ospedaliera

L'ultimo dei casi di studio esaminati è stato un edificio ospedaliero, anch'esso rappresentativo di una tipologia edilizia in cui sono presenti numerosi sistemi impiantistici e tecnologie di gestione degli ambienti interni, che devono soddisfare degli standard di sicurezza, efficienza e comfort elevatissimi. Le strutture ospedaliere, infatti, devono essere progettate per essere efficienti continuamente, dovendo garantire ai pazienti e al personale operativo condizioni di stabilità permanente della qualità dell'aria, dell'illuminazione, della temperatura interna e dei sistemi di interconnessione tra i diversi impianti con l'unità di BACS centralizzata.

L'inclusione di questa tipologia edilizia nel calcolo dello Smart Readiness Indicator consente pertanto di valutare la predisposizione alla smart readiness dei servizi tecnici in un contesto rappresentativo dei massimi requisiti di performance per gli occupanti. Le caratteristiche impiantistiche dell'edificio D sono rappresentate in Tabella 38.

Riscaldamento	Sistema combinato (CHP/caldaia a gas)	Controllo centralizzato e individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio, variabile a seconda del carico o della domanda (ad es. frequenza dell'inverter). Controllo dei generatori di calore secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico e sulla capacità dei generatori. Sistema di reporting delle prestazioni attuali e storiche.
	Accumulo	Non presente
Acqua calda sanitaria	Sistema combinato (CHP/caldaia a gas)	Controllo del livello termico automatico, basato sulla disponibilità locale di fonti rinnovabili oppure in base alle informazioni dalla rete elettrica (es.DSM). Sistema di reporting delle prestazioni attuali e storiche.
Raffrescamento	Sistema combinato (CHP/pompa di calore elettrica)	Controllo centralizzato e individuale per singolo ambiente, dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio. Interblocco parziale per minimizzare il rischio legato alla simultaneità tra riscaldamento e raffrescamento. Controllo sequenziale

		dei generatori basati sull'efficienza e sulle caratteristiche degli stessi. Sistema di reporting delle prestazioni attuali e storiche.
	Accumulo	Non presente
Ventilazione	UTA centralizzate con fan coils alimentati dal circuito idronico	Monitoraggio real-time e impiego di sensori di qualità dell'aria (es. CO ₂). Controllo automatico della portata erogata, dipendente dal fabbisogno di tutte le stanze connesse. Reporting mediante monitoraggio in tempo reale e informazioni storiche sulla qualità dell'aria indoor disponibili agli occupanti.
Illuminazione	LED	Controllo manuale on/off
Involucro dinamico	No	Controllo unicamente manuale delle schermature. Assente sistema di reporting.
Ricarica veicoli elettrici	No	L'edificio non predispone di wallbox per la ricarica dei veicoli elettrici
Rinnovabili (accumulo)	Sì	L'edificio è dotato di pannelli fotovoltaici
Monitoraggio e controllo	Sì	Controllo on/off dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento dipendente dai carichi dell'edificio. Reporting centralizzato dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini.

Tabella 38. Caratteristiche impiantistiche dei domini tecnici del caso di studio D allo stato originario

5.2 Metodologia

La metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator (SRI) è stata applicata considerando gli edifici analizzati secondo un approccio comparativo in due differenti configurazioni. In una prima fase, gli edifici sono stati valutati nel loro stato originario, ovvero nelle condizioni impiantistiche e tecnologiche esistenti, al fine di determinare il livello iniziale di prontezza “smart” e di integrazione dei sistemi tecnici presenti. Successivamente, è stata condotta una seconda valutazione ipotizzando interventi di retrofit mirati su alcuni domini funzionali, con l’obiettivo di incrementare il livello di intelligenza e automazione dei sistemi. In particolare, tali interventi hanno riguardato il potenziamento delle funzionalità di controllo, monitoraggio e gestione automatizzata degli impianti, attraverso l’introduzione o l’aggiornamento di sistemi di gestione dell’edificio (BACS/BEMS) e di tecnologie digitali avanzate. Questo approccio ha consentito di confrontare i risultati dello SRI nelle due configurazioni e di evidenziare come l’implementazione di soluzioni tecnologiche più evolute possa migliorare la capacità dell’edificio di adattarsi alle esigenze degli occupanti, ottimizzare i consumi energetici e interagire in modo più efficace con la

rete energetica. L'ottimizzazione dello strumento di calcolo è stata realizzata attraverso la costruzione di un nuovo foglio di calcolo sviluppato ex novo, progettato per rendere più semplice e sistematica l'applicazione della metodologia dello Smart Readiness Indicator. In particolare, per ciascun dominio tecnico e per i relativi servizi previsti dalla metodologia SRI, sono stati implementati specifici algoritmi di calcolo in grado di automatizzare la determinazione dei punteggi. La struttura del foglio consente, per ogni servizio considerato, di selezionare la presenza o l'assenza del servizio all'interno dell'edificio e di indicare il livello di funzionalità o di intelligenza associato, in base alla scala prevista dalla metodologia. Tali informazioni vengono elaborate automaticamente dagli algoritmi implementati, che calcolano i punteggi parziali per ciascun dominio e contribuiscono alla determinazione dell'indicatore complessivo. Questa impostazione ha permesso di rendere il processo di valutazione più flessibile, ridurre la possibilità di errori manuali e facilitare l'analisi comparativa tra differenti configurazioni dell'edificio, come nel caso dello stato originario e degli scenari di retrofit.

5.3 Risultati

Per maggiore chiarezza di interpretazione, i risultati degli studi sono stati rappresentati in forma tabellare (Tabelle da 39 a 46).

Edificio A	SRI di dominio pre retrofit	SRI di dominio post retrofit
Domini tecnici		
Riscaldamento	81%	87%
Acqua calda sanitaria	62%	65%
Raffrescamento	69%	74%
Ventilazione meccanica	65%	71%
Illuminazione	58%	58%
Involucro dinamico	61%	61%
Elettricità da fonti rinnovabili ed accumulo	59%	62%
Ricarica dei veicoli elettrici	0%	0%
Monitoraggio e controllo	41%	50%
SRI totale di edificio	52%	63%

Tabella 39. Caso di studio A: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio A	SRI di impatto pre retrofit	SRI di impatto post retrofit
Criteri di impatto		
Risparmio energetico in loco	79%	82%
Flessibilità per la rete e accumulo	33%	57%
Comfort	76%	79%
Facilitazione utente	57%	62%
Salute e benessere	53%	56%
Manutenzione e individuazione dei guasti	50%	55%
Informazioni all'occupante	49%	57%

Tabella 40. Caso di studio A: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio B	SRI di dominio pre retrofit	SRI di dominio post retrofit
Domini tecnici		
Riscaldamento	50%	81%
Acqua calda sanitaria	50%	50%
Raffrescamento	47%	61%
Ventilazione meccanica	63%	63%
Illuminazione	84%	100%
Involucro dinamico	0%	83%
Elettricità da fonti rinnovabili ed accumulo	11%	59%
Ricarica dei veicoli elettrici	70%	70%
Monitoraggio e controllo	57%	81%
SRI totale di edificio	43%	63%

Tabella 41. Caso di studio B: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio B	SRI di impatto pre retrofit	SRI di impatto post retrofit
Criteri di impatto		
Risparmio energetico in loco	50%	74%
Flessibilità per la rete e accumulo	50%	44%
Comfort	47%	89%
Facilitazione utente	63%	82%
Salute e benessere	84%	65%
Manutenzione e individuazione dei guasti	0%	60%
Informazioni all'occupante	11%	77%

Tabella 42. Caso di studio B: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio C	SRI di dominio pre retrofit	SRI di dominio post retrofit
Domini tecnici		
Riscaldamento	54%	79%
Acqua calda sanitaria	0%	0%
Raffrescamento	23%	53%
Ventilazione meccanica	70%	78%
Illuminazione	58%	58%
Involucro dinamico	0%	0%
Elettricità da fonti rinnovabili ed accumulo	0%	0%
Ricarica dei veicoli elettrici	20%	29%
Monitoraggio e controllo	48%	81%
SRI totale di edificio	35%	58%

Tabella 43. Caso di studio C: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio C	SRI di impatto pre retrofit	SRI di impatto post retrofit
Criteri di impatto		
Risparmio energetico in loco	48%	74%
Flessibilità per la rete e accumulo	8%	38%
Comfort	69%	88%
Facilitazione utente	38%	66%
Salute e benessere	58%	69%
Manutenzione e individuazione dei guasti	42%	54%
Informazioni all'occupante	40%	67%

Tabella 44. Caso di studio C: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio D	SRI di dominio pre retrofit	SRI di dominio post retrofit
Domini tecnici		
Riscaldamento	37%	56%
Acqua calda sanitaria	75%	75%
Raffrescamento	40%	43%
Ventilazione meccanica	74%	79%
Illuminazione	16%	58%
Involucro dinamico	0%	0%
Elettricità da fonti rinnovabili ed accumulo	45%	41%
Ricarica dei veicoli elettrici	0%	0%
Monitoraggio e controllo	71%	81%
SRI totale di edificio	47%	53%

Tabella 45. Caso di studio D: punteggi di SRI totale e di dominio pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

Edificio D	SRI di impatto pre retrofit	SRI di impatto post retrofit
Criteri di impatto		
Risparmio energetico in loco	68%	77%
Flessibilità per la rete e accumulo	30%	30%
Comfort	61%	74%
Facilitazione utente	51%	62%
Salute e benessere	41%	65%
Manutenzione e individuazione dei guasti	43%	47%
Informazioni all'occupante	67%	76%

Tabella 46. Caso di studio D: punteggi di SRI di impatto pre retrofit e post retrofit calcolati mediante foglio di calcolo post calibrazione

5.4 Conclusioni

L'applicazione della metodologia dello Smart Readiness Indicator ai tre casi di studio analizzati ha permesso di valutare il livello di "intelligenza" degli edifici sia nello stato originario (pre retrofit) sia a seguito di interventi di miglioramento tecnologico (post retrofit), evidenziando l'impatto che l'introduzione o il potenziamento di sistemi di automazione, controllo e gestione può avere sulle prestazioni complessive dell'edificio.

Nel caso dell'edificio A, il valore complessivo dello SRI passa dal 52% nello stato iniziale al 63% nello scenario post retrofit, mostrando un miglioramento complessivo della capacità dell'edificio di integrare e gestire sistemi intelligenti. Analizzando i singoli domini tecnici, si osservano incrementi in particolare nel riscaldamento (da 81% a 87%), nel raffrescamento (da 69% a 74%), nella ventilazione meccanica (da 65% a 71%) e nel dominio elettricità da fonti rinnovabili e accumulo (da 59% a 62%). Più significativo è l'aumento nel dominio monitoraggio e controllo, che passa dal 41% al 50%, indicando un miglioramento delle capacità di gestione e supervisione dei sistemi impiantistici. Alcuni domini rimangono invece invariati, come illuminazione (58%) e involucro dinamico (61%), mentre ricarica dei veicoli elettrici resta assente (0%), evidenziando potenziali ambiti di ulteriore sviluppo tecnologico. Dal punto di vista dei criteri di impatto, si registrano dei miglioramenti in termini di punteggio: il risparmio energetico in loco aumenta dal 79% all'82%, la flessibilità per la rete e accumulo mostra un incremento più marcato (dal 33% al 57%), mentre comfort, facilitazione utente, salute e benessere e manutenzione e individuazione dei guasti registrano miglioramenti più contenuti, ma comunque positivi. Anche la disponibilità di

informazioni per l'occupante cresce dal 49% al 57%, evidenziando un miglioramento nella capacità del sistema edificio di comunicare dati e prestazioni agli utenti.

Per quanto riguarda l'edificio B, il miglioramento risulta significativo, infatti, lo SRI totale passa dal 43% al 63%, mostrando uno degli incrementi più rilevanti tra i casi analizzati. Tale risultato è dovuto principalmente al potenziamento di alcuni domini tecnici obbligatori. Il riscaldamento aumenta dal 50% all'81%, mentre il raffrescamento passa dal 47% al 61%. Il punteggio di SRI di dominio relativo all'involucro dinamico, passa dallo 0% all'83%, a causa dell'introduzione di sistemi avanzati di gestione dell'involucro edilizio, che nell'edificio allo stato originario non erano presenti. L'illuminazione raggiunge il valore massimo del punteggio (dall'84% al 100%), dovuto agli interventi simulati di ristrutturazione caratterizzati dalla massima efficienza smart. Anche il dominio elettricità da fonti rinnovabili e accumulo mostra un aumento molto significativo (dall'11% al 59%), mentre monitoraggio e controllo passa dal 57% all'81%, a causa della simulazione post retrofit in cui è stata potenziata la capacità di gestione integrata degli impianti. Alcuni domini restano invariati, come acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica e ricarica dei veicoli elettrici, in quanto le azioni di miglioramento sono state concentrate su specifici ambiti tecnologici. Dal punto di vista dei criteri di impatto, i risultati evidenziano incrementi molto marcati: il risparmio energetico in loco cresce dal 50% al 74%, mentre il comfort registra uno dei miglioramenti più evidenti, passando dal 47% all'89%. Anche la facilitazione utente aumenta significativamente (dal 63% all'82%). Particolarmente rilevante è il miglioramento nella manutenzione e individuazione dei guasti, che passa da 0% a 60%, indicando l'introduzione di sistemi di diagnostica e monitoraggio avanzati. Allo stesso modo, le informazioni all'occupante registrano un incremento molto significativo (dall'11% al 77%), evidenziando un miglioramento nella trasparenza e nella gestione informativa dell'edificio. L'unico criterio che registra una lieve diminuzione è salute e benessere, che passa dall'84% al 65%, probabilmente per effetto della ricalibrazione dei pesi e dell'influenza di altri domini nel calcolo complessivo.

Infine, nel caso dell'edificio C, il valore complessivo dello SRI aumenta dal 35% al 58%.

Gli incrementi più significativi si registrano nel riscaldamento (dal 54% al 79%), nel raffrescamento (dal 23% al 53%) e nella ventilazione meccanica (dal 70% al 78%). Il dominio monitoraggio e controllo evidenzia uno degli incrementi più rilevanti, passando dal 48% all'81%. Il dominio ricarica dei veicoli elettrici registra un incremento più contenuto (dal 20% al 29%), mentre alcuni ambiti restano invariati o non implementati, come acqua calda sanitaria, involucro dinamico ed elettricità da fonti rinnovabili e accumulo, che rimangono a valori pari a 0%, indicando potenziali azioni di miglioramento futuri. Analizzando i criteri di impatto, il risparmio energetico in loco passa dal 48% al 74%, la flessibilità per la rete e accumulo aumenta dall'8% al 38%, mentre il comfort passa dal 69% all'88%. Anche facilitazione utente, salute e benessere, manutenzione e individuazione dei guasti e informazioni all'occupante registrano incrementi

significativi, evidenziando come l'introduzione di sistemi intelligenti migliori non solo le prestazioni energetiche ma anche la qualità dell'interazione tra edificio e utenti.

Nel complesso, l'analisi dei casi studio dimostra come gli interventi di retrofit basati sull'integrazione di sistemi intelligenti e tecnologie di automazione possano determinare miglioramenti significativi del livello di smart readiness degli edifici. In particolare, i domini maggiormente influenzati dagli interventi risultano essere monitoraggio e controllo, gestione degli impianti termici, integrazione delle fonti rinnovabili, e gestione dell'informazione verso l'utente, che incidono direttamente anche sui criteri di impatto legati al risparmio energetico, al comfort e alla gestione operativa dell'edificio. Allo stesso tempo, l'analisi evidenzia come alcuni domini, quali involucro dinamico, ricarica dei veicoli elettrici o sistemi di accumulo, rappresentino ancora ambiti di sviluppo con ampi margini di miglioramento, confermando il ruolo dello SRI come strumento utile per identificare le potenzialità di evoluzione tecnologica degli edifici e orientare strategie di riqualificazione verso soluzioni sempre più intelligenti e integrate.

Capitolo VI. Valutazione dello Smart Readiness Indicator su edifici del parco edilizio italiano mediante foglio di calcolo europeo versione v4.2

6.1 Introduzione

Il foglio di calcolo SRI attualmente utilizzato rappresenta un'evoluzione rispetto alle prime versioni della metodologia. Le principali differenze riguardano l'introduzione di una maggiore flessibilità nella gestione del catalogo dei servizi, la possibilità di adattare i fattori di ponderazione ai diversi contesti climatici e nazionali, una gestione più accurata dei domini tecnici non presenti nell'edificio e un miglioramento della struttura del foglio di calcolo, che consente una valutazione più coerente e rappresentativa del livello di smart readiness degli edifici.

Nel corso dello sviluppo della metodologia dello Smart Readiness Indicator, il foglio di calcolo utilizzato per la valutazione è stato aggiornato al fine di migliorarne l'applicabilità e la coerenza con il contesto tecnologico e normativo europeo. Nella Tabella 47 sono riportate le principali differenze tra la versione iniziale del foglio di calcolo e quella attualmente utilizzata.

Caratteristiche	Foglio di calcolo SRI iniziale	Foglio di calcolo SRI aggiornato all'ultima versione
Catalogo dei servizi	Catalogo dei servizi più rigido e standardizzato, con minore possibilità di adattamento ai diversi contesti nazionali	Catalogo dei servizi più flessibile, con possibilità di attivare o disattivare alcuni servizi e adattare la valutazione ai diversi contesti edilizi
Domini tecnici	Gestione meno flessibile dei domini tecnici; tutti i domini venivano considerati in modo uniforme anche quando non presenti nell'edificio	Migliore gestione dei domini tecnici: è possibile indicare se un dominio è presente o assente e il punteggio viene normalizzato automaticamente
Metodologia	Metodo di valutazione più rigido, con minori possibilità di personalizzazione	Maggiore flessibilità nella configurazione della valutazione e nella gestione dei servizi tecnici
Struttura del foglio di calcolo	Struttura più semplice e con meno controlli sugli input inseriti	Struttura più articolata con fogli di configurazione, calcolo e riepilogo,

Caratteristiche	Foglio di calcolo SRI iniziale	Foglio di calcolo SRI aggiornato all'ultima versione
		che facilitano la compilazione
Coerenza con il mercato tecnologico	Basato su una prima definizione teorica dei servizi smart negli edifici	Aggiornato sulla base delle fasi di test europee e più coerente con i sistemi, dispositivi e logiche disponibili sul mercato
Numero di servizi tecnici	Presenta un numero di servizi tecnici più ampio (es. controllo umidità, sicurezza etc..)	Presenta un numero di servizi tecnici minore, in modo da essere maggiormente rappresentativo dei servizi smart essenziali per ogni dominio

Tabella 47. Differenze tra il foglio di calcolo iniziale e le versioni aggiornate

6.2 Caratterizzazione degli edifici casi di studio

Nel presente lavoro sono stati presi in esame due casi di studio, analizzati mediante l'utilizzo del foglio di calcolo relativo all'ultima versione della metodologia dello Smart Readiness Indicator (v4.2). In particolare, l'analisi è stata condotta considerando un edificio a destinazione d'uso residenziale (5.1.2 Caso di studio A: edificio residenziale) e un edificio a destinazione d'uso uffici (5.1.3 Caso di studio B: edificio ad uso uffici), scelti in quanto rappresentativi di due tipologie edilizie ampiamente diffuse e caratterizzate da differenti modalità di utilizzo degli spazi, livelli di occupazione e requisiti funzionali e impiantistici.

La scelta di applicare il calcolo a entrambe le tipologie edilizie, consente di valutare come l'applicazione della metodologia SRI possa essere effettuata su differenti tipologie di destinazione d'uso dell'edificio, evidenziando il ruolo delle tecnologie intelligenti nel migliorare le prestazioni complessive del sistema edificio-impianto. Gli edifici residenziali presentano generalmente profili di utilizzo più variabili e legati alle abitudini degli occupanti, mentre gli edifici ad uso uffici sono caratterizzati da orari di utilizzo più definiti, una maggiore intensità di occupazione durante specifiche fasce orarie e da una più ampia integrazione di sistemi tecnologici per la gestione degli impianti.

Mediante l'impiego del foglio di calcolo v4.2 è stato possibile applicare in modo strutturato i criteri di valutazione previsti dalla metodologia europea, analizzando i diversi domini tecnici dell'edificio, quali ad esempio il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione, l'illuminazione, la gestione dell'energia e l'automazione degli impianti. Tale approccio ha permesso di confrontare i risultati ottenuti nei due casi di studio, evidenziando le potenzialità e le differenze

nell'implementazione delle tecnologie smart nei diversi contesti d'uso, nonché il loro contributo al miglioramento dell'efficienza energetica, del comfort degli occupanti e della flessibilità operativa dell'edificio e l'impatto ottenuto su ciascuna chiave funzionale.

6.3 Metodologia

La metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator è stata applicata considerando il foglio di calcolo europeo, versione v4.2 (ultima versione), al fine di comparare i risultati ottenuti con il calcolo ottimizzato (foglio di calcolo post calibrazione). Per quanto concerne il foglio dei risultati, nella versione v4.2, rispetto al foglio di calcolo iniziale ed ottimizzato, è presente la classificazione del punteggio di SRI totale, che consiste nella definizione delle classi da A a G, similmente all'Attestato di Prestazione Energetica (APE). Inoltre, è stata aggiunta una tabella dedicata ai punteggi aggregati ("aggregated scores"), in cui sono definiti i punteggi di SRI ottenuti per ciascuna chiave funzionale (building, user, grid) e la percentuale di incidenza su di esse da parte di ciascun dominio tecnico presente nell'edificio.

6.4 Risultati

L'edificio A ha raggiunto un punteggio di SRI complessivo del 48% (SRI di classe E). I principali impatti derivanti dalle tecnologie in uso nell'edificio derivano dai sistemi di efficienza energetica (controllo dell'emissione per i sistemi HVAC, della distribuzione - 65%), dal comfort (66%) e dai sistemi di reporting verso l'occupante (74%). I domini tecnici maggiormente smart sono identificati nella ventilazione meccanica (76%) , dall'illuminazione (57%) e dall'involucro dinamico (59%), in virtù dei sistemi di controllo e gestione degli impianti presenti che prevedono la modulazione mediante sensori di presenza e controlli automatici.

L'edificio B, nonostante l'avanzata struttura impiantistica che lo caratterizza, ha raggiunto un punteggio di SRI pari al 35% (classe E). Il dominio più "smart" è rappresentato dall'illuminazione, con un controllo di presenza degli ambienti (87%), seguito dalla ventilazione meccanica (50%) e dalla ricarica dei veicoli elettrici (44%) alla pari con l'acqua calda sanitaria (44%).

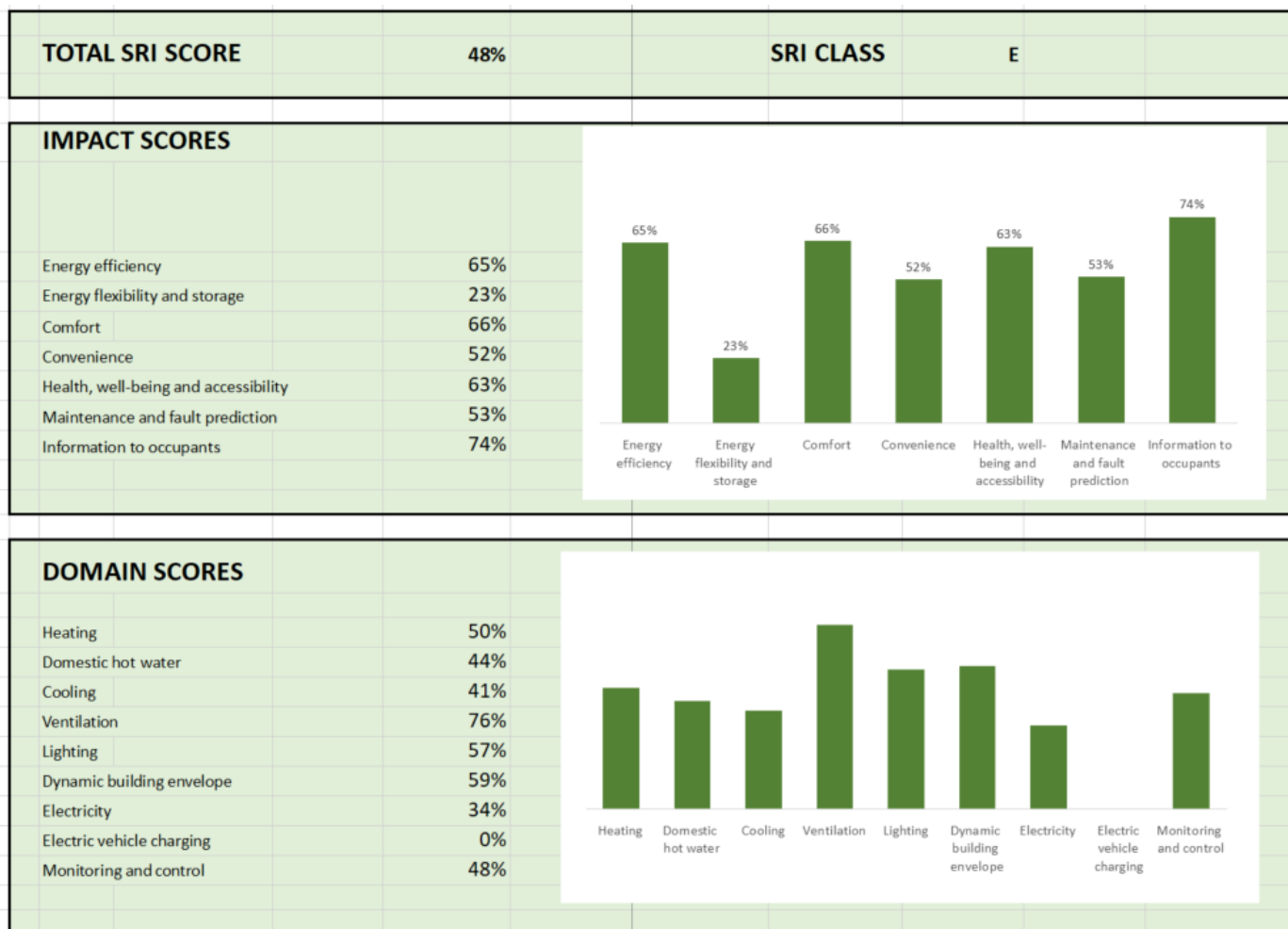


Figura 44. Punteggi di SRI totale, di dominio e di impatto per il caso di studio A

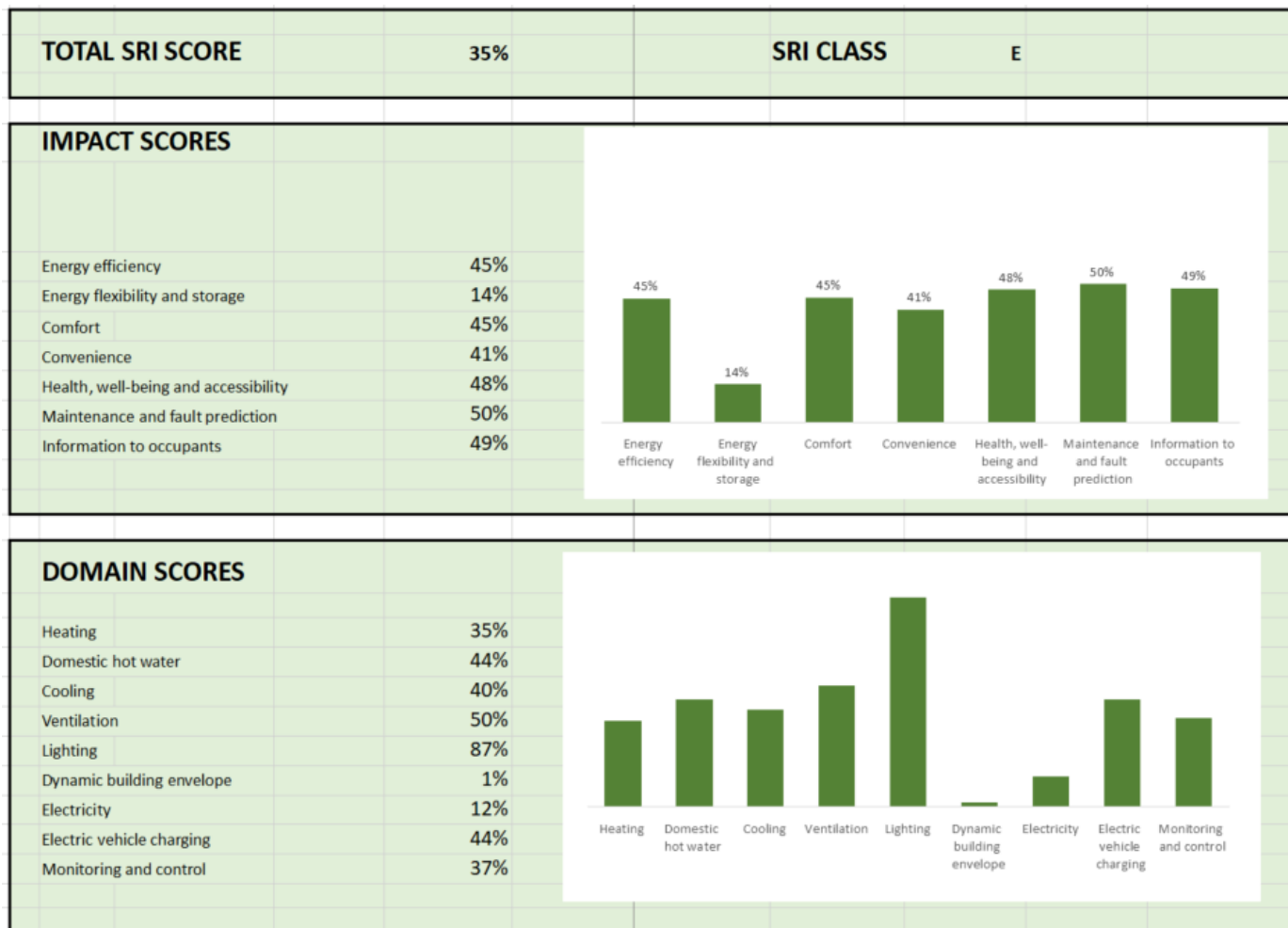


Figura 45. Punteggi di SRI totale, di dominio e di impatto per il caso di studio A

6.5 Conclusioni

Il confronto tra i risultati ottenuti attraverso il nuovo foglio di calcolo europeo e quelli derivanti dal foglio di calcolo calibrato evidenzia alcune differenze significative nella valutazione del livello di smart readiness degli edifici analizzati, in particolare per i casi studio A e B. Considerando i valori derivanti dal calcolo con la versione v4.2, l'edificio A presenta uno SRI totale pari al 43%, con valori dei criteri di impatto (efficienza energetica, flessibilità della rete e accumulo, comfort, facilitazione utente, salute e benessere, manutenzione predittiva e individuazione dei guasti, informazioni all'occupante) pari rispettivamente a 65%, 23%, 52%, 63%, 53% e 74%, mentre i punteggi relativi ai domini tecnici (riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione meccanica, illuminazione, involucro dinamico, elettricità da fonti rinnovabili e accumulo, ricarica dei veicoli elettrici, monitoraggio e controllo) risultano pari a 50%, 44%, 41%, 76%, 57%, 59%, 34%, 0% e 48%. Analogamente, per l'edificio B il calcolo restituisce uno SRI totale

del 35%, con valori dei criteri di impatto (efficienza energetica, flessibilità della rete e accumulo, comfort, facilitazione utente, salute e benessere, manutenzione predittiva e individuazione dei guasti, informazioni all'occupante) pari a 45%, 14%, 45%, 41%, 48%, 50% e 59%, mentre i punteggi dei domini tecnici (riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione meccanica, illuminazione, involucro dinamico, elettricità da fonti rinnovabili e accumulo, ricarica dei veicoli elettrici, monitoraggio e controllo) risultano 35%, 44%, 40%, 50%, 87%, 1%, 12%, 44% e 37%. Se confrontati con i risultati ottenuti tramite il foglio di calcolo calibrato, si evidenzia come quest'ultimo restituisca valori complessivamente più elevati e una maggiore evidenza degli effetti degli interventi di retrofit, mentre la versione v4.2 tende a fornire una rappresentazione più prudente e aderente alle reali condizioni tecnologiche degli edifici nello stato iniziale. In questo senso, la calibrazione della metodologia consente di ottenere una valutazione maggiormente rappresentativa dello stato effettivo degli edifici, riducendo possibili sovrastime legate alla semplificazione di alcuni passaggi di calcolo e garantendo una maggiore coerenza con la struttura metodologica dello SRI. Allo stesso tempo, lo sviluppo del foglio di calcolo calibrato presenta diversi vantaggi operativi:

- la possibilità di selezionare la presenza dei servizi e il relativo livello di funzionalità con una maggiore riflessione da parte dell'asseveratore;
- l'automatizzazione degli algoritmi di calcolo per ciascun dominio e criterio di impatto;
- la riduzione degli errori manuali e una maggiore rapidità nell'analisi di scenari differenti come nel caso della valutazione pre e post retrofit.

Nel complesso, il confronto tra i due approcci mette in evidenza come l'utilizzo di uno strumento di calcolo ottimizzato possa facilitare l'applicazione della metodologia e l'analisi comparativa tra edifici, pertanto la calibrazione dei livelli funzionali rappresenta un passaggio fondamentale per garantire una lettura più realistica e affidabile del livello di intelligenza del complesso edificio-impianto.

Inoltre, il confronto tra i risultati ottenuti con il nuovo foglio di calcolo sviluppato e quelli derivanti dal calcolo calibrato mette in evidenza differenze rilevanti nella valutazione del livello di smart readiness degli edifici A e B, sia in termini di SRI totale, sia nella distribuzione dei punteggi tra domini tecnici e criteri di impatto. Tali differenze permettono di comprendere meglio come la struttura del foglio di calcolo e la modalità di implementazione degli algoritmi possano influenzare la rappresentazione delle prestazioni dell'edificio.

Nel caso dell'edificio A, il foglio di calcolo calibrato restituisce un valore di SRI totale pari al 52% nello stato iniziale e 63% nello scenario post retrofit, evidenziando un livello di smart readiness già piuttosto elevato nella configurazione di partenza e un miglioramento moderato a seguito degli interventi ipotizzati. Al contrario, il calcolo con la versione v4.2 attribuisce allo stesso edificio uno SRI totale pari al 43%, indicando una valutazione più prudente dello stato tecnologico dell'edificio. Questa differenza suggerisce che il metodo calibrato tende a valorizzare

maggiormente la presenza di alcuni servizi o livelli di funzionalità, mentre il nuovo foglio di calcolo restituisce una rappresentazione più conservativa e probabilmente più aderente alla reale diffusione dei sistemi intelligenti nell'edificio. Anche osservando la distribuzione dei punteggi nei domini tecnici, nel nuovo foglio di calcolo emergono valori mediamente più contenuti e più differenziati tra i vari ambiti, con risultati compresi tra 0% e 76%, evidenziando come alcuni sistemi risultino poco sviluppati o completamente assenti (come la ricarica dei veicoli elettrici, pari a 0%). Nel calcolo calibrato, invece, diversi domini risultano già caratterizzati da livelli relativamente elevati di smartness, come riscaldamento, raffrescamento e ventilazione, con incrementi ulteriori nello scenario post retrofit. Analogamente, anche i criteri di impatto mostrano nel calcolo v4.2 una distribuzione più equilibrata ma generalmente inferiore rispetto ai valori del foglio calibrato: ad esempio il risparmio energetico in loco e la manutenzione e individuazione dei guasti risultano particolarmente rilevanti, con valori rispettivamente pari al 65% e al 74%, mentre la flessibilità per la rete e accumulo rimane più limitata (23%). Nel foglio di calcolo calibrato, invece, i valori risultano complessivamente più elevati già nello scenario iniziale e crescono ulteriormente nello scenario di retrofit, evidenziando con maggiore chiarezza il contributo dei sistemi intelligenti al miglioramento delle prestazioni energetiche e gestionali.

Un confronto analogo può essere condotto per l'edificio B, per il quale il foglio di calcolo calibrato evidenzia un incremento dello SRI totale dal 43% al 63%, mostrando un miglioramento molto significativo dovuto soprattutto al potenziamento di alcuni domini chiave come riscaldamento, involucro dinamico, illuminazione, fonti rinnovabili e accumulo e monitoraggio e controllo. In questo caso il nuovo strumento mette chiaramente in evidenza il potenziale degli interventi di retrofit nel trasformare un edificio con un livello medio di smart readiness in un sistema tecnologicamente più avanzato e integrato. Tuttavia, nel calcolo v4.2, lo stesso edificio presenta uno SRI totale pari al 35%, quindi sensibilmente inferiore rispetto al valore restituito dal calcolo calibrato nella configurazione iniziale. Anche in questo caso, quindi, la nuova versione v4.2 restituisce una valutazione più cauta dello stato reale dell'edificio. Analizzando i domini tecnici, il calcolo v4.2 evidenzia una forte eterogeneità tra i diversi sistemi: alcuni domini presentano valori molto elevati, come l'illuminazione (87%), mentre altri risultano estremamente limitati, come il dominio relativo alle fonti rinnovabili e accumulo (1%) o alla ricarica dei veicoli elettrici (12%). Questo andamento evidenzia come l'edificio presenti alcuni sistemi tecnologicamente avanzati affiancati da altri ancora poco sviluppati. Nei criteri di impatto, invece, i valori risultano mediamente compresi tra il 14% e il 59%, con punteggi più elevati per informazioni all'occupante e manutenzione, mentre risultano più limitati gli impatti legati alla flessibilità per la rete e accumulo, confermando una minore integrazione dell'edificio con il sistema energetico. Nel complesso, il confronto tra i due approcci di calcolo evidenzia come il foglio di calcolo ottenuto post calibrazione consenta di rappresentare in modo più immediato e dinamico gli effetti degli interventi di retrofit e il potenziale di miglioramento degli edifici, mettendo in evidenza

l'aumento dei punteggi nei diversi domini e criteri di impatto. D'altra parte, il foglio v4.2 restituisce una valutazione generalmente più prudentiale e probabilmente più rappresentativa dello stato reale degli edifici nello scenario iniziale, evitando possibili sovrastime delle prestazioni smart. Pertanto, l'utilizzo combinato dei due strumenti risulta particolarmente utile: da un lato il calcolo calibrato offre maggiore flessibilità operativa, automazione dei calcoli, riduzione degli errori manuali e facilità nell'analisi di scenari pre e post retrofit e consente di ottenere una lettura più realistica e coerente con le condizioni tecnologiche effettivamente presenti negli edifici, migliorando l'affidabilità complessiva dell'analisi dello Smart Readiness Indicator.

Capitolo VII. Valutazione SRI con il foglio di calcolo europeo post calibrazione versione v4.2

7.1 Introduzione

Al fine di migliorare ulteriormente l'applicazione della metodologia dello Smart Readiness Indicator, anche il nuovo foglio di calcolo è stato ottimizzato seguendo la stessa modalità operativa adottata per l'ottimizzazione del primo strumento di calcolo. In particolare, sono stati implementati specifici algoritmi di calcolo per ciascun dominio tecnico e servizio, progettati per automatizzare la determinazione dei punteggi e rendere il processo di valutazione più semplice e sistematico. La struttura del foglio consente infatti di selezionare il livello funzionale dei singoli servizi secondo l'approccio previsto dalla metodologia SRI, distinguendo tra le configurazioni "smart ready" e "possible", ovvero tra le funzionalità effettivamente presenti nell'edificio e quelle potenzialmente implementabili. Attraverso questa modalità di selezione, gli algoritmi elaborano automaticamente i punteggi associati ai diversi livelli di funzionalità, contribuendo al calcolo dei risultati a livello di dominio tecnico, criteri di impatto e indicatore complessivo SRI. Tale ottimizzazione ha permesso di rendere lo strumento più flessibile e intuitivo, facilitando l'analisi di diversi scenari tecnologici e migliorando la rapidità e l'affidabilità del processo di valutazione.

7.2 Caratterizzazione dei casi di studio

Per lo sviluppo di questo lavoro, sono stati presi in esame l'edificio A (residenziale), l'edificio B (non residenziale, uso uffici) descritti rispettivamente ai paragrafi 5.1.2 e 5.1.3. La scelta di questi due casi è stata basata sulla possibilità di fare un confronto tra i risultati ottenuti con il primo foglio di calcolo post calibrazione e quelli derivanti dall'utilizzo del nuovo foglio di calcolo ottimizzato.

7.3 Metodologia

La metodologia utilizzata è stata adattata al nuovo foglio di calcolo europeo, ma comprensiva delle modifiche effettuate sulle automazioni realizzate per la selezione dei domini e dei servizi tecnici e tenendo conto delle modalità operative del processo di triage e della valutazione intrinseca dei domini e dei servizi smart ready. Infatti, il processo di triage non influisce solo sul tempo e sugli sforzi di ispezione, ma anche sul “massimo punteggio raggiungibile” di edificio, poiché sarebbe ingiusto penalizzare un edificio valutando dei servizi che non sono pertinenti. Infatti, risulta probabile che, a causa del contesto locale e specifico del sito, alcuni domini e servizi smart ready siano non pertinenti, non applicabili o non auspicabili. A tal proposito, il “Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings” [108] introduce la possibilità di applicare due approcci per gestire domini o servizi smart ready assenti:

- Approccio Smart Ready: utilizzando questo approccio, un servizio smart ready è considerato pertinente se è presente nell'edificio;
- Approccio Smart Possible: utilizzando questo approccio, un servizio smart ready è considerato pertinente se potrebbe essere presente nell'edificio, ma non è effettivamente implementato.

Nell'ambito dell'analisi è stato scelto di adottare prevalentemente l'approccio Smart Possible, in quanto consente di considerare le tecnologie e le funzionalità realmente implementate nell'edificio, nell'ottica di verificare un eventuale miglioramento della valutazione più rappresentativa e aderente alle condizioni di smartness del sistema edificio-impianto.

I due casi di studio sono stati analizzati dapprima allo stato originario e poi dopo interventi di retrofit.

7.4 Risultati

Nell'ambito dello studio condotto, è stato elaborato un prototipo di scheda di asseverazione dello Smart Readiness Indicator, in cui si evidenziano:

- le caratteristiche salienti dell'edificio analizzato e degli impianti;
- i punteggi di SRI ottenuti per criterio di impatto e per dominio tecnico;
- l'indicazione del punteggio totale di SRI e della classe raggiunta in accordo con la nuova modalità prevista nel foglio di calcolo europeo versione v4.2;
- i punteggi di SRI raggiunti dalle chiavi funzionali;
- una sezione comprendente la valutazione generale dell'edificio, con i potenziali miglioramenti che potrebbero essere applicati in ambito smart ready;

- delle sezioni definite per ciascun dominio tecnico, in cui sono indicate le funzionalità maggiormente impattanti sull'intelligenza dell'edificio e anche quelle che penalizzano o potrebbero essere potenziate, ai fini di raggiungere un livello di smartess più elevato, corredate dal punteggio raggiunto di SRI per ciascun dominio.

Per la rappresentazione dei risultati ottenuti, si fa riferimento alle:

1. Figure 46a-46b per il caso di studio A allo stato originario;
2. Figure 47a-47b per il caso di studio A post retrofit;
3. Figure 48a-48b per il caso di studio B allo stato originario;
4. Figure 49a-49b per il caso di studio B post retrofit;

Scheda caso applicativo

Edificio residenziale

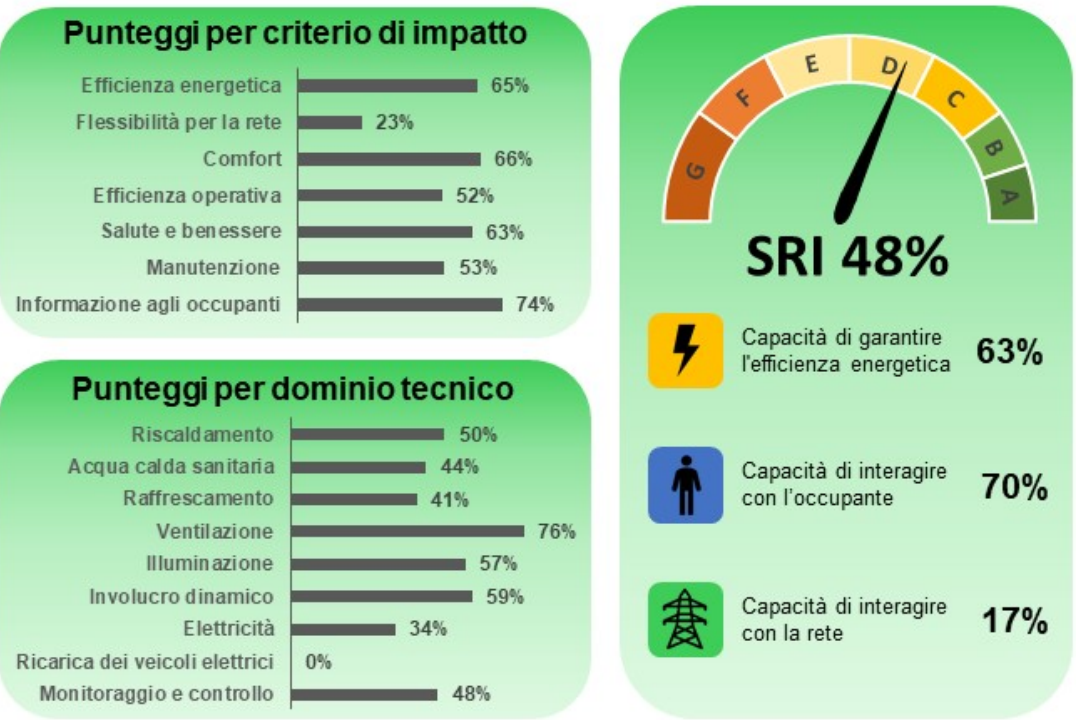
Data di valutazione: Maggio 2023

Dati dell'edificio

Tipologia di edificio	Residenziale	Piani dell'edificio	2
Destinazione d'uso	Abitativo	Anno di costruzione	2012
Ubicazione	Catania	Stato dell'edificio	Originale
Superficie utile totale [m²]	>200	Rilevanza dell'edificio	Nessuna

Caratterizzazione domini tecnici

Riscaldamento	Pompa di calore elettrica	Acqua calda sanitaria	Pompe di calore elettriche
Raffrescamento	Pompa di calore elettrica	VMC	UTA centralizzate con fan coils
Illuminazione	LED	Involucro dinamico	Presente
Elettricità	Fotovoltaico con accumulo	Ricarica EV	Non presente
Monitoraggio (BEMS)	Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti	Note	Non presenti sistemi di accumulo



Internati

Figura 46a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A allo stato originario

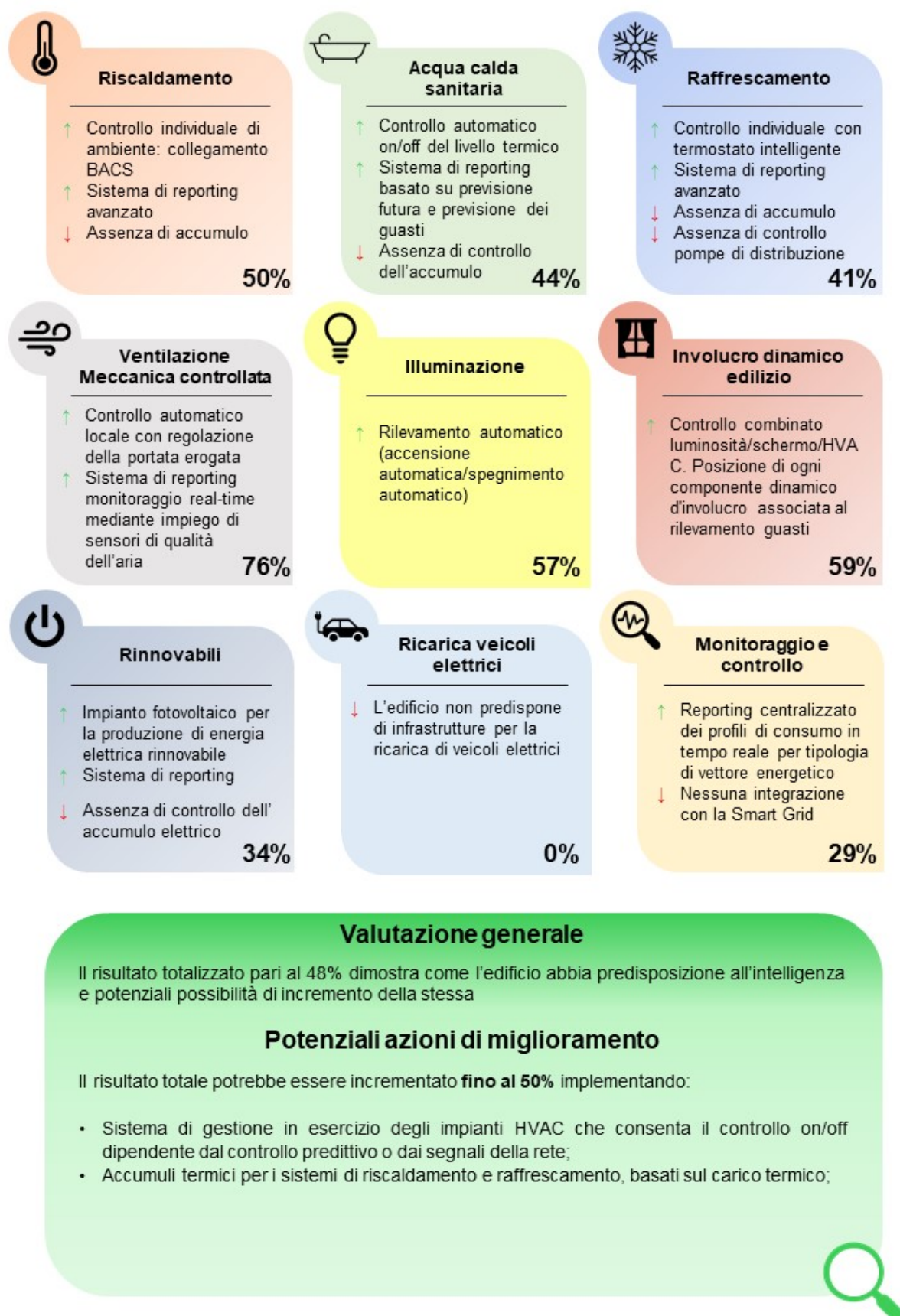


Figura 46b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A allo stato originario

Scheda caso applicativo

Edificio residenziale

Data di valutazione: Maggio 2023

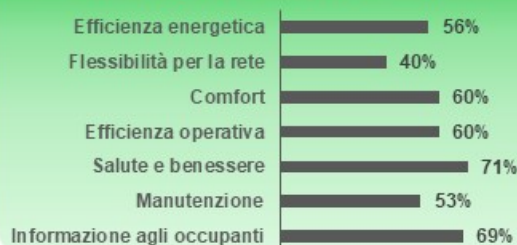
Dati dell'edificio

Tipologia di edificio	Residenziale	Piani dell'edificio	2
Destinazione d'uso	Abitativo	Anno di costruzione	2012
Ubicazione	Catania	Stato dell'edificio	Originale
Superficie utile totale [m²]	>200	Rilevanza dell'edificio	Nessuna

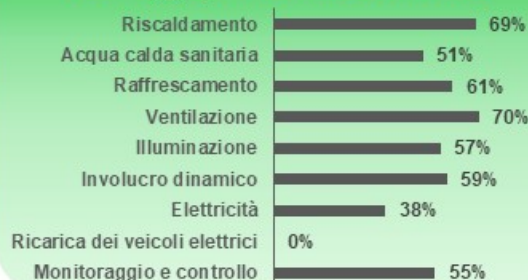
Caratterizzazione domini tecnici

Riscaldamento	Pompa di calore elettrica	Acqua calda sanitaria	Pompe di calore elettriche
Raffrescamento	Pompa di calore elettrica	VMC	UTA centralizzate con fan coils
Illuminazione	LED	Involucro dinamico	Presente
Elettricità	Fotovoltaico con accumulo	Ricarica EV	Non presente
Monitoraggio (BEMS)	Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti	Note	Non presenti sistemi di accumulo

Punteggi per criterio di impatto



Punteggi per dominio tecnico



 Capacità di garantire l'efficienza energetica **60%**

 Capacità di interagire con l'occupante **67%**

 Capacità di interagire con la rete **32%**

Internesi

Figura 47a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A post retrofit

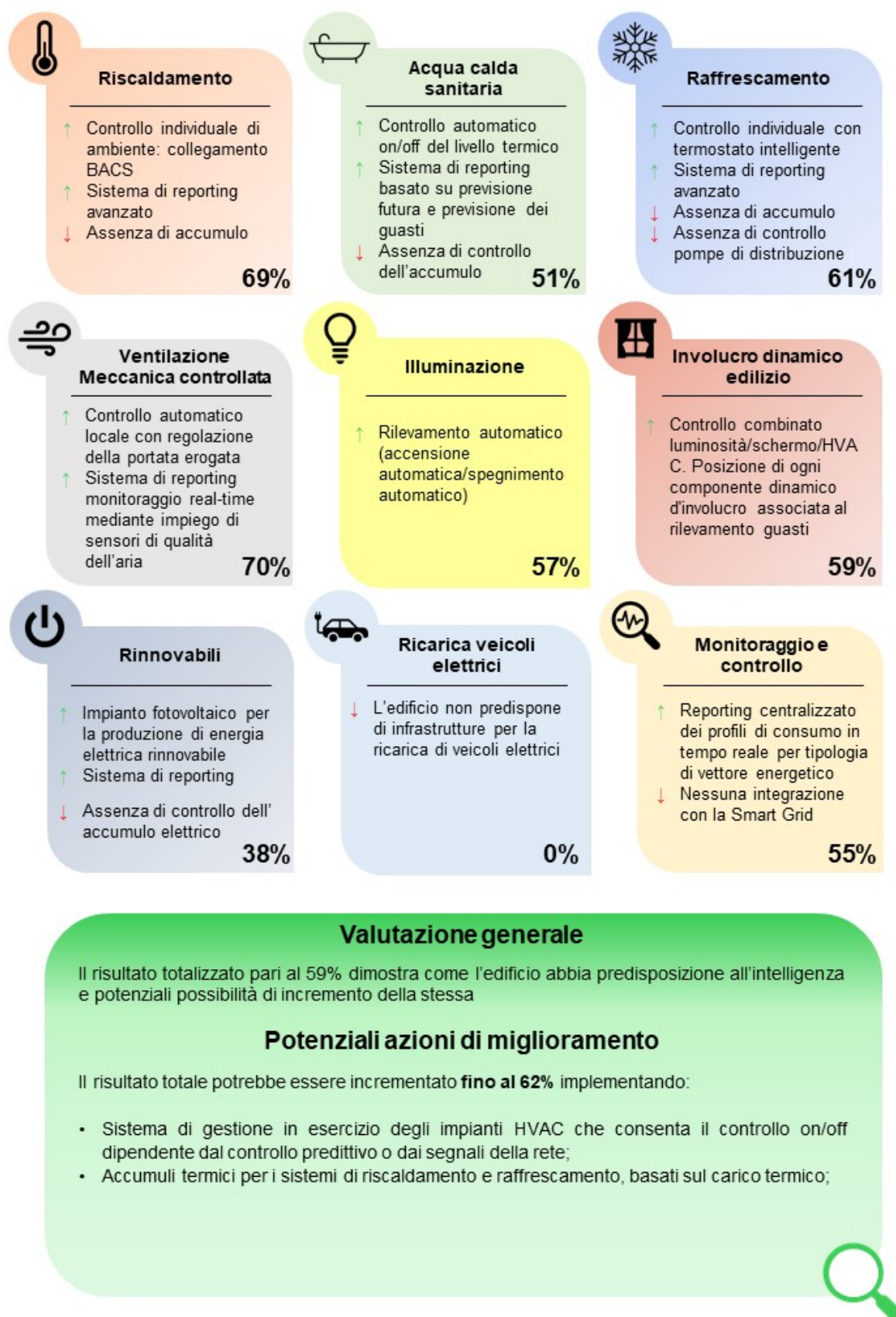


Figura 47b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio A post retrofit

Scheda caso applicativo

Edificio non residenziale

Data di valutazione: Maggio 2022

Dati dell'edificio

Tipologia di edificio	Non residenziale	Piani dell'edificio	6
Destinazione d'uso	Terziario - uffici	Anno di costruzione	2004-2005
Ubicazione	Padova	Stato dell'edificio	Originale
Superficie utile totale [m ²]	10.000 – 25.000 m ²	Rilevanza dell'edificio	Nessuna

Caratterizzazione domini tecnici

Riscaldamento	Sistema di generazione combinato elettrico con pompe di calore/non elettrico	Acqua calda sanitaria	Scaldacqua elettrico
Raffrescamento	Sistema di generazione combinato elettrico con pompe di calore/non elettrico	VMC	UTA centralizzate
Illuminazione	LED	Involucro dinamico	Schermature solari
Elettricità	Fotovoltaico	Ricarica EV	Non presente
Monitoraggio (BEMS)	Programmazione oraria di funzionamento impianti termici	Note	Sistema di reporting centralizzato per tutti i domini

Punteggi per criterio di impatto

Efficienza energetica	46%
Flessibilità per la rete	22%
Comfort	47%
Efficienza operativa	45%
Salute e benessere	52%
Manutenzione	49%
Informazione agli occupanti	55%

Punteggi per dominio tecnico

Riscaldamento	49%
Acqua calda sanitaria	51%
Raffrescamento	56%
Ventilazione	50%
Illuminazione	85%
Involucro dinamico	0%
Elettricità	16%
Ricarica dei veicoli elettrici	46%
Monitoraggio e controllo	60%



SRI 45%



Capacità di garantire l'efficienza energetica **47%**



Capacità di interagire con l'occupante **50%**



Capacità di interagire con la rete **22%**

Internal

Figura 48a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B allo stato originario



Valutazione generale

Il risultato totalizzato pari al 45% dimostra come l'edificio abbia potenziale per la predisposizione all'intelligenza.

Potenziali azioni di miglioramento

Il risultato totale potrebbe essere incrementato **fino al 57%** :

- potenziando le performance relative all'impianto di produzione da fonti rinnovabili in termini di reporting e associando un sistema di accumulo elettrico;
- implementando un sistema che consenta il controllo automatico ed il coordinamento tra i servizi tecnici in base ai segnali provenienti dalla rete;
- potenziando il sistema BACS relativo al controllo degli schermi, con possibilità di gestione delle schermature solari in base ai dati rilevati dai sensori.

Internal

Figura 48b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B allo stato originario

Scheda caso applicativo

Edificio non residenziale

Data di valutazione: Maggio 2022

Dati dell'edificio

Tipologia di edificio	Non residenziale	Piani dell'edificio	6
Destinazione d'uso	Terziario - uffici	Anno di costruzione	2004-2005
Ubicazione	Padova	Stato dell'edificio	Originale
Superficie utile totale [m ²]	Rilevanza dell'edificio: Nessuna		

Caratterizzazione domini tecnici

Riscaldamento	Sistema di generazione combinato elettrico con pompe di calore/non elettrico	Acqua calda sanitaria	Scaldacqua elettrico
Raffrescamento	Sistema di generazione combinato elettrico con pompe di calore/non elettrico	VMC	UTA centralizzate
Illuminazione	LED	Involucro dinamico	Controllo automatico schermature solari
Elettricità	Fotovoltaico con accumulo	Ricarica EV	Non presente
Monitoraggio (BEMS)	Programmazione oraria di funzionamento impianti termici	Note	Sistema di reporting centralizzato per tutti i domini

Punteggi per criterio di impatto

Efficienza energetica	46%
Flessibilità per la rete	22%
Comfort	47%
Efficienza operativa	45%
Salute e benessere	52%
Manutenzione	49%
Informazione agli occupanti	55%

Punteggi per dominio tecnico

Riscaldamento	50%
Acqua calda sanitaria	51%
Raffrescamento	56%
Ventilazione	50%
Illuminazione	85%
Involucro dinamico	78%
Elettricità	37%
Ricarica dei veicoli elettrici	46%
Monitoraggio e controllo	83%



SRI 57%



Capacità di garantire l'efficienza energetica **55%**



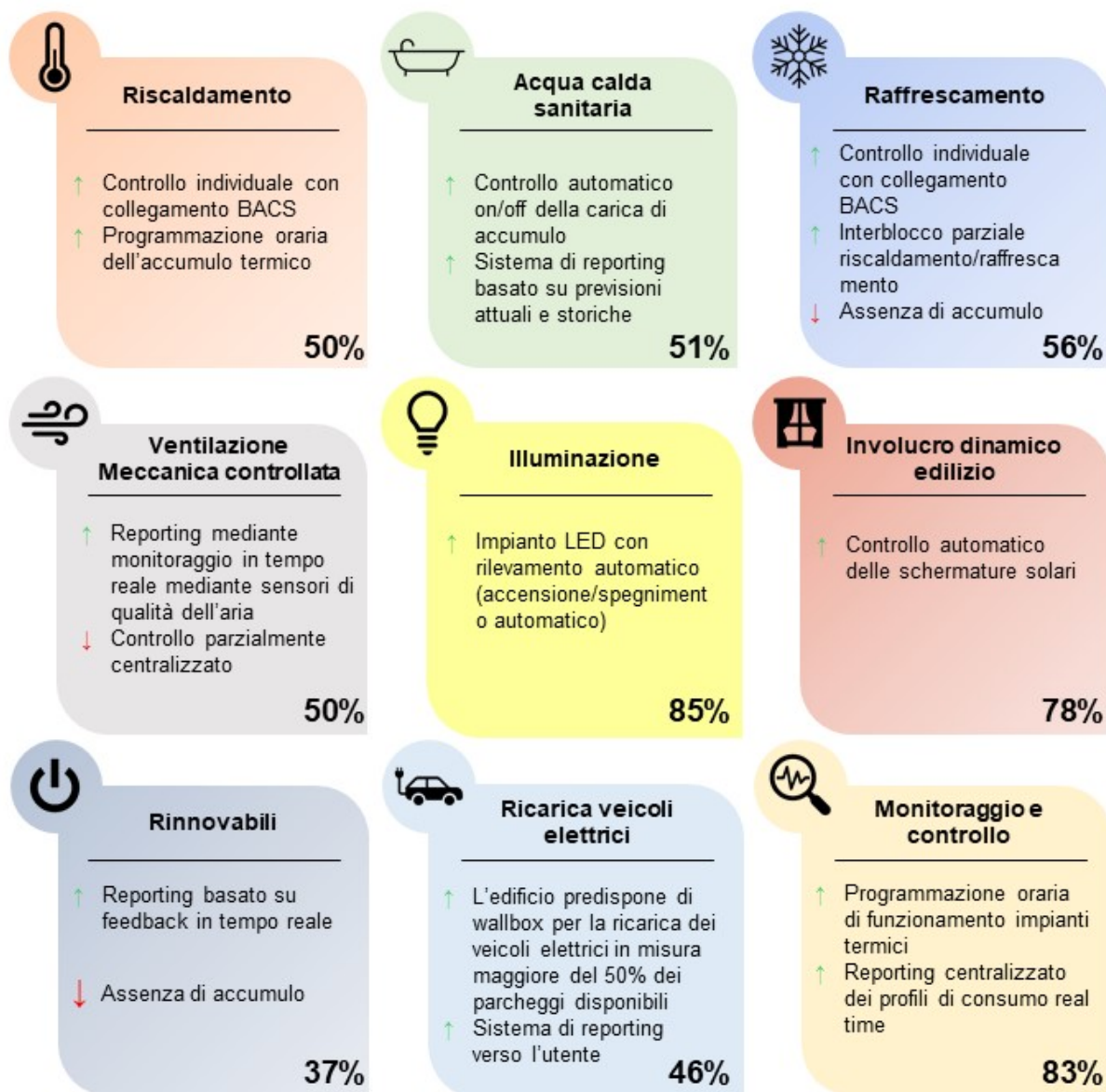
Capacità di interagire con l'occupante **65%**



Capacità di interagire con la rete **40%**

Internati

Figura 49a. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B post retrofit



Valutazione generale

Il risultato totalizzato pari al 57% dimostra, in particolare, come il retrofit attuato abbia notevolmente migliorato lo Smart Readiness Indicator di dominio tecnico relativamente all'utilizzo delle fonti rinnovabili ed al controllo delle schermature solari.



Internal

Figura 49b. Prototipo di scheda di asseverazione SRI per il caso di studio B post retrofit

7.5 Valutazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE) per il caso di studio A

Nel contesto delle politiche europee atte al miglioramento delle prestazioni del settore edilizio, la valutazione degli edifici si è evoluta da un approccio inizialmente energetico a uno più integrato, che include anche aspetti legati alla digitalizzazione e all'interazione con l'utente e con la rete. In tale prospettiva, si inserisce la distinzione tra Attestato di Prestazione Energetica (APE) e Smart Readiness Indicator (SRI), due strumenti tra loro complementari, ma concettualmente distinti in termini applicativi. L'APE, introdotto e regolamentato nell'ambito della Direttiva EPBD [182], rappresenta un indicatore consolidato e obbligatorio in molti contesti nazionali, finalizzato a classificare gli edifici in base al loro fabbisogno energetico annuo (kWh/m^2 anno) e rappresentato attraverso una scala di classi energetiche (da A4 a G per gli edifici del parco edilizio italiano). Tale indicatore, si basa su una valutazione standardizzata delle caratteristiche dell'involucro edilizio e degli impianti tecnici, considerando condizioni d'uso convenzionali, ma esula dal comportamento degli occupanti o alla gestione dinamica ed intelligente delle tecnologie presenti negli edifici. Pertanto, l'APE fornisce una misura "statica" dell'efficienza energetica, utile per confronti normativi, per identificare ai fini di legge la prestazione energetica degli edifici e per orientare interventi di riqualificazione/ristrutturazione basati sull'aspetto impiantistico.

Di rimando, lo Smart Readiness Indicator, introdotto dalla Commissione Europea come estensione del quadro metodologico della EPBD, si propone di valutare la capacità di un edificio di adattare il proprio funzionamento in risposta a differenti fattori, quali le esigenze degli occupanti, le condizioni climatiche e i segnali provenienti dalla rete. L'approccio per la valutazione dell'indicatore di predisposizione all'intelligenza è multidimensionale: in un edificio sono previsti nove domini tecnici che comprendono un notevole numero di servizi smart ready, al quale sono associati dei livelli di funzionalità intelligente, attribuendo punteggi in base alla presenza e al grado di integrazione di tecnologie avanzate di controllo, monitoraggio e automazione. A differenza dell'APE, lo SRI non misura direttamente i consumi energetici, bensì la capacità del sistema edificio-impianto di ottimizzarli nel tempo e di essere predisposto all'interazione con la rete e con tutti i sottosistemi integrati (impianti, dispositivi, tecnologie), migliorando comfort, efficienza operativa e flessibilità energetica.

La principale differenza tra i due indicatori risiede nella natura della valutazione: l'APE fornisce una panoramica statica della prestazione energetica, mentre lo SRI introduce una dimensione dinamica e qualitativa legata al livello di "smartness" dell'edificio. Tale distinzione implica che un edificio possa presentare una classe energetica elevata pur essendo caratterizzato da un basso livello di automazione e controllo, oppure, viceversa, possa essere dotato di sistemi smart

avanzati, ma non raggiungere prestazioni energetiche ottimali. In questo senso, i due indicatori non sono sovrapponibili, ma complementari: il primo orientato alla riduzione dei fabbisogni energetici attraverso interventi strutturali e impiantistici, il secondo focalizzato sulla gestione energetica in termini di flessibilità sulla rete e tecnologie intelligenti.

L'integrazione tra APE e SRI è quindi necessaria per una valutazione più completa delle prestazioni degli edifici complessive nel contesto della transizione energetica promossa dal contesto normativo attuale. Infatti, mentre l'APE resta tutt'ora uno strumento normativo chiave per il monitoraggio dei consumi e la definizione di requisiti minimi previsti dalla legge, lo SRI si configura come un indicatore innovativo in grado di cogliere il potenziale evolutivo degli edifici verso strutture smart, contribuendo a valorizzare l'adozione di sistemi tecnologicamente avanzati e interagenti tra loro in modo efficiente. Tuttavia, l'applicazione congiunta dei due strumenti pone anche sfide metodologiche, legate alla necessità di armonizzare approcci valutativi differenti e di integrare dati statici (APE) e dinamici (SRI). Nonostante tali criticità, la loro complementarità consente di inquadrare gli edifici in un contesto valutativo ampio e di promuoverne non solo il miglioramento impiantistico/edilizio, ma anche l'intelligenza e la capacità di coordinamento tra i diversi sistemi.

Al fine di mostrare un esempio di applicazione dei due indicatori, è stato considerato come caso di studio l'edificio A allo stato originario, il quale presenta, rispetto allo standard nazionale, un grado moderato-elevato di tecnologie smart integrate e una condizione impiantistica energeticamente più sviluppata.

Nel caso studio considerato, il calcolo dello SRI restituisce un punteggio complessivo pari al 48%, indicativo appunto di un livello medio di "smart readiness". In particolare, i risultati mostrano una buona performance nella capacità di interazione con l'occupante (70%) e nel comfort (66%), mentre risultano più basse le prestazioni legate alla flessibilità energetica e interazione con la rete (17%), evidenziando una limitata integrazione con logiche di demand-response e smart grid. I domini tecnici, raggiungono dei punteggi eterogenei, più elevati nella ventilazione (76%) e nell'illuminazione (57%), e valori più contenuti per elettricità (34%), a conferma di una parziale predisposizione all'intelligenza e non sistemica dell'edificio.

In parallelo, sulla base delle caratteristiche impiantistiche e costruttive (pompa di calore elettrica, presenza di impianto fotovoltaico con accumulo, involucro edilizio dinamico), è possibile stimare un APE teorico corrispondente a una classe energetica B, con un fabbisogno energetico globale indicativo compreso tra 50 e 70 kWh/m² anno.

Il calcolo dell'APE è stato effettuato secondo la norma UNI/TS 11300 [198], utilizzando parametri termo-fisici relativi alla geometria dell'edificio, agli impianti installati per il raffrescamento, riscaldamento e acqua calda sanitaria, all'impianto fotovoltaico e alle condizioni climatiche (Catania, sud Italia).

7.5.1 Caratterizzazione del caso di studio e calcolo dell'indice di prestazione energetica

Per effettuare la valutazione dell'APE, sono stati considerati i seguenti dati, rispettivamente relativi alle condizioni climatiche e alla geometria dell'involucro edilizio dell'edificio:

- Gradi giorno: 833GG;
- Temperatura interna: 20°C;
- Superficie utile A : 200 m²
- Pareti: 150 m²
- Copertura: 100 m²
- Pavimento: 100 m²
- Serramenti: 50 m²
- Volume lordo edificio V : 500 m³
- Superficie disperdente A_d : 300 m²
- Rapporto S/V : 0,60

Per quanto concerne i valori di trasmittanza, sono stati ipotizzati per le pareti, la copertura ed il pavimento dei valori medi caratteristici per la tipologia di edificio. In particolare, è stato considerato per le pareti un valore pari a 0,34 W/m²K, ipotizzato secondo i limiti normativi relativi alla zona B, per la copertura ed il pavimento rispettivamente 0,30 W/m²K e 0,33 W/m²K. Per i serramenti, sulla base del sopralluogo effettuato nell'edificio, sono state riscontrate strutture con doppi vetri standard, dalla trasmittanza pari a 2,20 W/m²K.

Al fine di effettuare una stima delle dispersioni dell'edificio tra interno ed esterno, è stato calcolato il coefficiente globale di dispersione H (2), ottenendo un valore pari a 224 W/K dove:

- U_i = trasmittanza termica dell'elemento [W/m²K]
- A_i = superficie dell'elemento [m²]

$$H = \sum U_i A_i \quad (2)$$

Secondo il recepimento della Direttiva 2010/31/UE [166], la classe energetica non deriva dal calcolo dei consumi parziali dell'edificio, ma viene valutata in base all'indice di prestazione energetica non rinnovabile $E_{p,nren, edificio}$ (3).

$$EP_{p,nren,edificio} = (Q_H/COP_H + Q_C/EER + Q_{DHW}/COP_{DHW})f_{p,nren} - EP_{FV} \quad (3)$$

Dove:

- Q_H : fabbisogno energetico riscaldamento con pompa di calore stimato di 30,6 kWh/m² anno;
- COP_H : rendimento della pompa di calore per riscaldamento stimato pari a 3,2;
- Q_C : fabbisogno energetico raffrescamento con pompa di calore stimato di 28 kWh/m² anno;
- COP_C : rendimento della pompa di calore per raffrescamento stimato pari a 3,0;
- Q_{DHW} : fabbisogno energetico acqua calda sanitaria con pompa di calore stimato di 25 kWh/m² anno;
- COP_{DHW} : rendimento della pompa di calore per raffrescamento stimato pari a 2,8;
- $f_{p,nren}$: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile dell'energia elettrica derivante dalla Direttiva 2010/31/UE e dalle UNI/TS 11300 [166][198];
- EP_{FV} : contributo energetico dell'impianto fotovoltaico, ipotizzando una potenza nominale dell'impianto pari a 3 kW con accumulo ed autoconsumo elettrico, con produzione annua di circa 4500 kWh e quota autoconsumata dall'edificio pari al 60% dell'energia prodotta dall'impianto (2700 kW/anno).

Applicando la (2), si ottiene un valore di $E_{p,nren, edificio}$ pari a 42 kWh/m² anno, che diviso per l'indice di prestazione energetica dell'edificio di riferimento ($E_{p,nren, edificio, riferimento}$) ipotizzato pari a 50 kWh/m² anno, restituisce un valore adimensionale pari a 0,84 corrispondente al rapporto energetico per l'edificio caso di studio ($E_{gl,nren, edificio}$).

In base alla tabella di assegnazione della classe per la valutazione dell'APE, l'edificio risulta appartenente alla classe A1.

Classe energetica	$E_{gl,nren, edificio}$ [kWh/m ² anno]	Consumo energetico indicativo	Costo energia/anno	Descrizione edificio
A4	$\leq 0,40 \times EP \text{ rif.}$	< 15 kWh/m ²	€150-€250	NZEB — Edificio a energia quasi zero
A3	$0,40 - 0,60 \times EP \text{ rif.}$	15-25 kWh/m ²	€250-€400	Altissima efficienza
A2	$0,60 - 0,80 \times EP \text{ rif.}$	25-40 kWh/m ²	€400-€550	Alta efficienza
A1	$0,80 - 1,00 \times EP \text{ rif.}$	40-55 kWh/m ²	€550-€750	Buona efficienza
B	$1,00 - 1,20 \times EP \text{ rif.}$	55-70 kWh/m ²	€750-€950	Efficienza sopra la media

C	1,20 — 1,50 × EP rif.	70-100 kWh/m ²	€950-€1.300	Media efficienza
D	1,50 — 2,00 × EP rif.	100-130 kWh/m ²	€1.300-€1.700	Sotto la media
E	2,00 — 2,60 × EP rif.	130-175 kWh/m ²	€1.700-€2.200	Bassa efficienza
F	2,60 — 3,50 × EP rif.	175-220 kWh/m ²	€2.200-€2.800	Molto bassa efficienza
G	> 3,50 × EP rif.	> 220 kWh/m ²	> €2.800	Pessima efficienza

Tabella 49. Classi energetiche A4-G riferite all'attestato di prestazione energetica (APE)

7.5.2 Confronto tra APE ed SRI

La classificazione energetica è stata determinata mediante confronto con l'edificio di riferimento ai sensi del DM 26/06/2015, ottenendo un valore compatibile con la classe energetica A1. Tuttavia, è essenziale precisare che nel sistema di classificazione italiano, le soglie stabilite non sono universali, ma dipendono da molteplici fattori, quali destinazione d'uso, zona climatica, edificio di riferimento e situazione impiantistica. Per l'edificio considerato, la classe energetica ottenuta risponde alla presenza di fattori di valore aggiunto, quali involucro edilizio dinamico (ma non NZEB), serramenti con efficienza standard (doppi vetri), livello di automazione ed intelligenza medio. Pertanto, tale valore riflette una buona efficienza energetica dell'edificio, attribuibile all'uso di tecnologie efficienti e fonti rinnovabili, ma non tiene conto della capacità dei sistemi di adattarsi automaticamente alle condizioni operative o alle esigenze dell'utente.

Il confronto tra i due indicatori mette in evidenza come, a fronte di una prestazione energetica relativamente elevata (APE di classe A1), il livello di intelligenza e automazione dell'edificio rimanga intermedio (SRI 48%). Il disallineamento tra i due indicatori, sottolinea come l'efficienza energetica derivante dalle prestazioni impiantistiche e dalle caratteristiche dell'involucro edilizio non implichi necessariamente un elevato grado di smart readiness. In particolare, l'assenza di sistemi avanzati di controllo, monitoraggio evoluto e integrazione con la rete limita il potenziale dell'edificio in termini di ottimizzazione dei consumi e predisposizione alla gestione automatica.

I risultati ottenuti in entrambe le valutazioni, sono coerenti con l'impostazione della Direttiva EPBD, che distingue tra prestazione energetica e predisposizione intelligente degli edifici, promuovendo l'adozione dello SRI come indicatore complementare all'APE. Ne emerge che, mentre l'APE rappresenta un indicatore consolidato della qualità energetica statica dell'edificio, lo SRI fornisce una misura dinamica e fondamentale della sua capacità di evolvere verso modelli di gestione energetica più flessibili, interattivi e digitalizzati.

7.6 Conclusioni

L'utilizzo del nuovo foglio di calcolo europeo ottimizzato, sia per la valutazione degli edifici allo stato originario, sia post retrofit, ha dato origine a risultati molto interessanti dal punto di vista del miglioramento complessivo nell'analisi degli edifici casi di studio.

In particolare, effettuando un confronto tra la valutazione effettuata per l'edificio A utilizzando il calcolo v4.2 non ottimizzato e successivamente il calcolo ottimizzato, si evince che il punteggio totale di SRI nello stato pre-retrofit è rimasto lo stesso (48%), mentre per l'edificio non residenziale, il punteggio di SRI nelle medesime condizioni di calcolo, è passato dal 35% al 45%. Ciò è dovuto al riadattamento del calcolo dei punteggi nel nuovo foglio di calcolo versione v4.2, che tiene conto dell'applicabilità dei servizi tecnici agli edifici non residenziali, riuscendo in questo modo a dare una stima effettiva dell'intelligenza dell'edificio, senza penalizzazioni.

Il confronto tra lo scenario pre-retrofit e post-retrofit di tutti i casi di studio esaminati, evidenzia come l'introduzione di sistemi di controllo più avanzati e di funzionalità di gestione intelligente degli impianti abbia determinato un miglioramento complessivo delle prestazioni dell'edificio in termini di Smart Readiness Indicator. Per l'edificio A, il valore dello SRI totale passa dal 48% nello scenario allo stato originario al 59% nello scenario post-retrofit, mostrando un incremento significativo del livello di intelligenza dell'edificio e una maggiore capacità di integrazione tra sistemi tecnologici, utenti e rete.

Analizzando nel dettaglio i domini tecnici, si osservano miglioramenti rilevanti nei sistemi HVAC. Il dominio riscaldamento registra un incremento dal 50% al 69%, grazie all'implementazione di sistemi di controllo più evoluti e ad una maggiore integrazione con i sistemi di automazione e controllo dell'edificio (BACS). Anche il dominio raffrescamento passa dal 41% al 61%, mentre il dominio acqua calda sanitaria migliora dal 44% al 51%, indicando una gestione più efficiente e monitorata degli impianti, dovuta all'applicazione di sistemi di reporting per l'utente.

Per quanto riguarda gli altri domini, il sistema di illuminazione rimane stabile intorno al 57%, poiché le funzionalità di controllo automatico erano già presenti nello scenario iniziale e non sono state modificate nella ristrutturazione. L'involucro dinamico mantiene un valore pari al 59%, indicando che le tecnologie di controllo delle schermature e dell'interazione con gli impianti HVAC non sono state oggetto di retrofit. Il dominio elettricità da fonti rinnovabili ed accumulo è caratterizzato da un modesto miglioramento, passando dal 34% al 38%, grazie ad interventi mirati sulla gestione di reporting dell'impianto fotovoltaico. Rimane invece invariato il dominio relativo alla ricarica dei veicoli elettrici (0%), poiché l'edificio non dispone di infrastrutture dedicate.

Dal punto di vista dei criteri di impatto, si registrano miglioramenti in diversi ambiti. In particolare, aumentano le prestazioni relative alla salute e al benessere degli occupanti (dal 63% al 71%) e alla flessibilità per la rete e accumulo (dal 23% al 40%), indicando una maggiore capacità dell'edificio di interagire con il sistema elettrico, a causa degli interventi mirati di introduzione di sistemi e tecnologie avanzate di gestione degli impianti e comunicazione con la rete. Anche l'efficienza operativa migliora, passando dal 52% al 60%, grazie all'introduzione di sistemi di monitoraggio e controllo più avanzati.

Infine, analizzando le chiavi funzionali di SRI, si evince che l'efficienza energetica rimane pressoché stabile (dal 63% al 60%), mentre la capacità di interazione con l'occupante registra una lieve riduzione (dal 70% al 67%). Tuttavia, il miglioramento più significativo riguarda la capacità di interazione con la rete, che aumenta dal 17% al 32%. La diminuzione di alcuni punteggi percentuali è dovuta al riadattamento del calcolo e alla scelta in fase di selezione dei livelli funzionali sulla base degli interventi di ristrutturazione desiderati. Resta chiaro, che gli scenari pre e post retrofit, sono stati simulati in base alle caratteristiche reali tecnico-operative degli edifici e gli interventi di miglioramento sono stati simulati secondo il giudizio dell'asseveratore.

Allo stesso modo, per l'edificio non residenziale (caso di studio B), il punteggio di SRI totale passa dal 45% al 57%, con un notevole incremento anche delle tre chiavi funzionali (capacità di garantire efficienza energetica dal 47 % al 55%, capacità di interagire con l'occupante dal 50% al 65% e capacità di interagire con la rete dal 22% al 40%). Il dominio che maggiormente impatta sul punteggio totale è l'involucro dinamico, in quanto allo stato originario non era previsto nell'edificio, mentre nello stato post-retrofit è stato considerato e implementato ad un livello di automazione avanzato (il punteggio di SRI di dominio passa dallo 0% iniziale al 78%). Parallelamente, anche i domini elettricità e monitoraggio e controllo registrano un significativo aumento (rispettivamente dal 16% al 37% e dal 60% a 83%), a causa degli interventi di implementazione di un sistema che consenta il controllo automatico ed il coordinamento dei servizi tecnici in base ai segnali provenienti dalla rete ed il potenziamento delle performance relative all'impianto di produzione da fonti rinnovabili in termini di reporting e contemporanea associazione di un sistema di accumulo elettrico. Il dominio riscaldamento registra un incremento dal 49% al 50%, in quanto durante la simulazione di ristrutturazione è stato migliorato solo uno dei livelli di funzionalità smart legato alla gestione degli impianti. I punteggi di SRI di impatto, rimangono pressoché stabili, a causa dei punteggi associati a ciascun livello di funzionalità selezionato per il retrofit e alla struttura intrinseca del calcolo.

Effettuando un confronto tra i risultati ottenuti pre e post retrofit utilizzando dapprima il foglio di calcolo ottimizzato prima versione e poi il calcolo ottimizzato v4.2, considerando entrambe gli edifici, emergono interessanti considerazioni:

- L'effetto della ricalibrazione dei pesi, porta un'eterogeneità nella classificazione dei punteggi: non è scontato che effettuando il calcolo con l'uno o con l'altro strumento si presentino dei casi in cui i punteggi di dominio o di impatto possano risultare leggermente minori o leggermente maggiori a seconda dell'edificio considerato;
- In alcuni casi di interventi di retrofit, come nell'edificio B, in cui sono stati simulati massimi livelli di tecnologia nell'ambito illuminazione, si può notare che nel caso del calcolo ottimizzato prima versione è stato possibile raggiungere un punteggio del 100% di SRI di dominio, mentre, applicando le stesse funzionalità al foglio di calcolo ottimizzato v4.2, il massimo SRI di dominio non viene raggiunto (85%). La motivazione è probabile che risieda nell'utilizzo dell'approccio "Smart Possible" e nella ricalibrazione dei punteggi associati a ciascun livello funzionale per ogni criterio di impatto;
- Utilizzando la versione ottimizzata v4.2 è possibile stimare anche la classe di appartenenza del punteggio totale di SRI, mentre con la prima versione ottimizzata questa funzione non era ancora stata implementata;
- In ogni caso di studio, alcuni impatti calcolati con la versione v4.2, risultano ancora lontani dai punteggi massimi di SRI, come ad esempio per la flessibilità per la rete e storage e informazioni agli occupanti, sebbene si possano ipotizzare importanti interventi di riqualificazione. La motivazione potrebbe essere che esistono ancora dei livelli funzionali che non siano calibrati adeguatamente e che risultino troppo ambiziosi rispetto alle tecnologie disponibili sul mercato;

Nel complesso, gli studi condotti sulla valutazione dello Smart Readiness Indicator per gli edifici del parco edilizio nazionale, si sono rivelati essenziali per la comprensione delle effettive capacità degli edifici attuali di essere predisposti all'intelligenza. *Tuttavia, nonostante l'approccio metodologico utilizzato consenta una valutazione strutturata dello Smart Readiness Indicator, esso racchiude in sé limiti ed incertezze legati principalmente alla discrepanza tra framework teorico e disponibilità tecnologia sul mercato, nonché dalla valutabilità dei comportamenti degli utenti in relazione ai dispositivi smart presenti negli edifici. In particolare, nonostante la calibrazione, alcuni livelli funzionali previsti dal catalogo dei servizi, risultano difficilmente implementabili o poco diffusi sia nel settore residenziale che non residenziale. Tali livelli includono, ad esempio, funzionalità avanzate di automazione predittiva, integrazione completa tra sottosistemi (HVAC, illuminazione, ventilazione controllata) e interazione dinamica con la rete elettrica (smart grid e demand-response), che richiedono infrastrutture digitali, standard di interoperabilità e modelli di business ancora in fase di sviluppo. Di conseguenza, l'assegnazione di punteggi elevati in questi ambiti può riflettere scenari teorici piuttosto che condizioni realistiche, introducendo un potenziale bias nella valutazione complessiva dello SRI. Inoltre, tali limitazioni, si riflettono nell'impossibilità di mappare univocamente i dispositivi, le logiche ed i sistemi smart disponibili sul mercato, a causa della mancanza di standard condivisi a livello impiantistico, generando variabilità nei risultati, anche a parità di configurazione impiantistica degli edifici. Un'ulteriore criticità è rappresentata dalla correlazione tra i*

sistemi di reporting e monitoraggio e i dati di utilizzo estrapolati dagli stessi: lo SRI valuta la predisposizione all'intelligenza di un edificio, pertanto, tiene conto della presenza della funzionalità smart, ma non dell'output derivante dalle abitudini di consumo e di interesse da parte degli occupanti. Tale discrepanza, comporta una definizione unicamente di tipo quantitativo sulle tecnologie di reportistica e monitoraggio smart, esulando dall'aspetto qualitativo dei dati di utilizzo, che hanno, tuttavia, un impatto notevole sull'effettiva gestione energeticamente intelligente di un edificio. Infine, la calibrazione dei pesi che impatta sul punteggio di SRI complessivo, introduce una componente soggettiva, che contribuisce alla valutazione complessiva della predisposizione all'intelligenza degli edifici e che potrebbe essere rimodulata introducendo un sistema univoco di individuazione dei livelli di funzionalità basato su definizioni più ampie e differenziate. In funzione dei dati di input utilizzati per il calcolo dello SRI nei differenti scenari e casi di studio esaminati, complessivamente è emersa in termini quantitativi, un'incertezza del modello stimata nell'ordine del 10-20%, considerando il medesimo caso di studio, ma valutazioni dell'asseveratore differenti. L'analisi condotta, inoltre, evidenzia come l'integrazione tra Attestato di Prestazione Energetica (APE) e Smart Readiness Indicator (SRI) rappresenti un approccio significativo per una valutazione completa e complementare delle prestazioni degli edifici. In particolare, il confronto tra i risultati ottenuti mostra come edifici caratterizzati da buone prestazioni energetiche non presentino automaticamente livelli elevati di smart readiness, confermando che efficienza energetica e predisposizione all'intelligenza costituiscono aspetti distinti, ma sinergici. Tale correlazione assume rilevanza strategica soprattutto in prospettiva futura, considerando l'evoluzione del quadro normativo europeo che promuove una progressiva integrazione tra efficienza, automazione e flessibilità energetica.

Un ulteriore elemento di interesse emerso dall'analisi riguarda la diversa natura metodologica dei due strumenti. I risultati derivanti dall'APE si basano su parametri quantitativi definiti dalla normativa e dalla termodinamica, quali trasmittanze, rendimenti impiantistici, fattori di conversione energetica e fabbisogni standardizzati, caratterizzando il processo di valutazione dell'indice di prestazione energetica in modo stabile e vincolato in cui il certificatore energetico ha poco margine decisionale. Invece, l'applicazione dello SRI presenta un grado di soggettività interpretativa notevole, in particolare nell'attribuzione di alcuni livelli funzionali e nella valutazione del grado di integrazione dei sistemi smart, soprattutto nei casi in cui le tecnologie disponibili sul mercato non trovino una corrispondenza univoca con i livelli previsti nel parco edilizio europeo. Di conseguenza, la valutazione integrata di APE ed SRI consente di contestualizzare e supportare la valutazione della predisposizione all'intelligenza stessa, considerando gli interventi di retrofit sia impiantistico che tecnologico.

Indipendentemente dai dati numerici e dalle oscillazioni dovute al riadattamento dei punteggi, esistono dei vantaggi notevoli nella ricalibrazione dei cataloghi dei servizi tecnici, che consentono una definizione di SRI più vicina allo scenario esistente del parco edilizio attuale. Ulteriori miglioramenti potrebbero essere apportati effettuando un'ulteriore analisi di mercato, estesa a più partecipanti esperti del settore ed effettuare un sistema di calcolo mediante algoritmi che consentano l'automazione degli scenari smart ready e smart possible, in base alla scelta

dell'asseveratore. Non solo, potrebbero essere effettuati dei cataloghi dei servizi unificati per ciascuna tipologia di edificio, considerando i livelli funzionali standard in base alle caratteristiche tecnico-operative, normative ed edilizie.

Capitolo VIII. Analisi dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback per gli edifici residenziali del parco edilizio nazionale

8.1 Introduzione

La presente attività ha avuto l'obiettivo di conferire una dettagliata analisi dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback sui consumi energetici degli edifici residenziali. In particolare, effettuando un'analisi delle criticità/utilità nell'attuazione delle soluzioni di ottimizzazione dei devices e degli impianti ad oggi esistenti negli edifici del parco edilizio italiano presi in esame come casi di studio, contestualizzando tali elementi all'interno del quadro normativo energetico. A tal proposito, l'attività di ricerca si configura nell'esigenza di rispettare la formalizzazione dell'obbligo per l'Italia di impiegare sistemi di contabilizzazione del calore individuali, in edifici in cui la generazione di energia (riscaldamento/ raffrescamento/acqua calda sanitaria) avvenga in un sistema di produzione centralizzato (Decreto Legislativo n.102/2014) [183]. Pertanto, al fine consapevolizzare e sensibilizzare l'utente nei confronti del dispendio energetico della propria utenza, l'attività prevede di effettuare un'analisi approfondita degli effetti dei sistemi di contabilizzazione telelettura e feedback confrontati con lo stato degli edifici attualmente presenti sul territorio nazionale. Inoltre, l'attività di ricerca ha contribuito ad ampliare la panoramica delle soluzioni attuabili per l'integrazione dei dispositivi di contabilizzazione dell'energia termica esistenti all'interno dei sistemi BACS (Building Automation Control System) per il monitoraggio e controllo della temperatura indoor degli edifici. Gli obiettivi dell'attività in oggetto sono stati:

- analisi della letteratura tecnico-scientifica relativa ai sistemi di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback e sui consumi energetici degli edifici, con particolare riferimento ai fattori di influenza più significativi rispetto alla riduzione dei consumi energetici e alla sensibilizzazione degli utenti finali;
- valutazione dei dati significativi da impiegare nella ricerca e determinazione della forma adeguata con cui presentare i consumi sulla base delle peculiarità proprie dell'utenza;
- sviluppo delle soluzioni di ottimizzazione sulla base dei criteri di pertinenza stabiliti nell'analisi della letteratura a seguito dell'individuazione degli edifici campione su cui effettuare una campagna sperimentale sul territorio italiano rispondenti ai criteri di pertinenza stabiliti nell'analisi della letteratura;

- implementazione sistema di telelettura dei consumi energetici negli edifici campione;
- monitoraggio e diagnosi dei consumi energetici (impiego di sensori e strumenti di monitoraggio, infrastruttura di rete e software per la raccolta e la gestione dei dati ottenuti);
- valutazione dei dati significativi da utilizzare nella ricerca; modalità di presentazione dei dati all'utente sulla base delle caratteristiche dell'edificio di appartenenza;
- analisi e risoluzione delle criticità.

Durante gli studi, sono stati attuati sistemi di informazione e facilitazione della lettura dei dati energetici da parte dell'utente con l'obiettivo di effettuare la sensibilizzazione dello stesso in merito ai consumi energetici periodici (giornalieri, mensili, annuali). Per tale ragione, sono stati messi in campo negli edifici oggetto di studio, sistemi di visualizzazione dei dati in tempo reale, come tablet oppure smartphone che consentissero la comunicazione visiva dei dati raccolti dal calcolatore comunicante con dispositivi interni all'edificio (es. sensori di temperatura, sonde di CO₂). In collaborazione con ENEA, sono state implementate attività nel portale informatico "Rienergy Smart", ancora in fase di sperimentazione in grado di individuare diverse sezioni relative al monitoraggio, misure e gestione delle caratteristiche degli edifici oggetto di studio. Esso, rappresenta uno strumento che consente il monitoraggio e la gestione di consumi, sensori di parametri ambientali, misuratori, smart meters e indici energetici. L'osservazione di tali dati è utile al fine di controllare lo stato attuale e storico delle misure rilevate nell'ottica di una maggiore efficienza energetica degli edifici, nonché la possibilità di sensibilizzare l'utente nei confronti dei consumi energetici della propria utenza. L'attività è stata orientata al calcolo degli indici energetici (consumo atteso e consumo misurato di appartamento, consumo medio di condominio e di appartamento, temperatura media misurata interna di appartamento) di appartamenti appartenenti a tre condomini del parco edilizio italiano.

8.1.1 Sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente

La contabilizzazione del calore è un sistema tecnico e gestionale utilizzato negli edifici dotati di impianto di riscaldamento centralizzato per la ripartizione delle spese energetiche delle singole unità immobiliari in funzione dei consumi effettivi o stimati. In ambito europeo, l'introduzione di questi sistemi è stata promossa dalle politiche di efficienza energetica definite dalla Commissione Europea nell'ambito della Direttiva sull'efficienza energetica, recepita in Italia attraverso il D.Lgs. 102/2014 [183] e successivamente aggiornato dal D.Lgs. 73/2020 [184], che ha introdotto anche l'obbligo di sistemi di lettura da remoto e di informazione periodica agli utenti sui consumi energetici. Dal punto di vista tecnico, la ripartizione delle spese deve essere effettuata secondo i criteri stabiliti dalla norma UNI 10200 [185], che prevede la suddivisione della spesa totale in una quota involontaria, legata alle dispersioni dell'impianto e al fabbisogno termico teorico delle unità

immobiliari, e una quota volontaria, direttamente correlata all'energia effettivamente utilizzata dagli utenti. La contabilizzazione del calore può essere effettuata con due principali modalità:

- diretta, tramite contatori di calore installati sui circuiti di ciascun appartamento che misurano l'energia termica in kWh sulla base della portata dell'acqua e della differenza di temperatura tra mandata e ritorno;
- indiretta, mediante ripartitori di calore installati sui radiatori che stimano il consumo relativo sulla base della differenza di temperatura tra radiatore e ambiente e del tempo di funzionamento (tale prescrizione è riportata nella norma tecnica EN 834 [186]).

Nei sistemi attualmente in uso caratterizzati da tecnologia avanzata, sono integrati dei dispositivi di telelettura che trasmettono i dati di consumo tramite protocolli radio (es. Wireless M-Bus o OMS) a concentratori e piattaforme software centralizzate, consentendo letture automatiche periodiche, analisi dei profili di consumo, diagnostica dell'impianto, accesso ai dati da parte degli utenti tramite portali o applicazioni e previsione dei guasti e anomalie nel sistema. La telelettura rappresenta uno strumento altamente efficiente tecnologicamente in quanto consente la raccolta automatica dei dati di consumo da remoto, senza necessità di recarsi fisicamente presso l'edificio per estrapolare i dati.

L'adozione della contabilizzazione del calore consente di:

- migliorare l'equità nella ripartizione delle spese condominiali;
- aumentare la consapevolezza energetica degli utenti e favorire una riduzione dei consumi di energia termica (soprattutto quando il sistema è integrato con tecnologie di regolazione avanzata e sistemi di automazione degli edifici);
- uniformare la conformità normativa attuabile negli edifici;
- migliorare le prestazioni impiantistiche;
- dati di misura più precisi.

Andando nel dettaglio del funzionamento, la contabilizzazione diretta avviene mediante installazione di contatori di calore (calorimetri) che misurano direttamente l'energia termica fornita a ciascuna unità immobiliare. Questo sistema è generalmente adottato negli edifici dotati di impianti di distribuzione a colonne orizzontali o con circuiti dedicati per ogni appartamento. Il contatore di calore è costituito da tre componenti principali: un misuratore di portata che rileva il volume di fluido termovettore che attraversa il circuito, due sensori di temperatura installati rispettivamente sulla tubazione di mandata e su quella di ritorno, e un controller centrale elettronico che misura l'energia termica scambiata valutando la differenza di temperatura tra i due flussi e la portata misurata (Q) in kWh, consentendo una misurazione precisa dell'energia

consumata dall'utente. I dispositivi e l'installazione devono essere conformi alle norme prima citate in modo da garantire un elevato livello di accuratezza e affidabilità in ambito metrologico.

La criticità principale riscontrata nell'applicazione della contabilizzazione diretta risiede nella struttura impiantistica dell'impianto di distribuzione, in quanto deve permettere di effettuare il calcolo separatamente per i circuiti delle singole unità immobiliari. Tale motivo, indica che l'applicabilità della contabilizzazione diretta sia più agevole negli edifici di nuova costruzione o negli impianti ristrutturati, invece che negli edifici di vecchia costruzione.

La contabilizzazione indiretta, quindi, è più indicata nel caso di edifici allo stato originario (es. costruiti tra il 1960-1990), che strutturalmente non consentono l'installazione di contatori individuali (basti pensare ai sistemi di distribuzione a colonne montanti verticali). In questo caso vengono installati sui singoli elementi i ripartitori di calore, che non misurano direttamente l'energia termica trasferita, ma stimano il consumo relativo di ciascun radiatore sulla base della temperatura del radiatore stesso e della temperatura dell'ambiente indoor. Il principio di funzionamento consiste nel registrare nel tempo la differenza di temperatura tra il radiatore e l'aria dell'ambiente, valutandolo in base al tempo di funzionamento del sistema di riscaldamento. Il risultato non è espresso in unità di energia fisica (cioè in kWh), ma in unità di consumo relative, che vengono poi impiegate per ripartire la quota variabile delle spese di riscaldamento tra gli utenti del condominio.

I ripartitori di calore vengono installati e programmati sulla base di coefficienti dipendenti dalla potenza nominale del singolo radiatore e alla posizione di installazione, in questo modo tenendo conto delle variabili tecnico-energetiche dell'elemento, il calcolo della ripartizione dei consumi risulta più accurato.

Pertanto, la contabilizzazione indiretta, seppur tenendo conto delle caratteristiche di installazione dei ripartitori, rappresenta una soluzione meno precisa rispetto alla misura diretta, ma molto più semplice da installare negli edifici esistenti, in quanto non è necessario apportare modifiche strutturali negli impianti di distribuzione esistenti (ciò rappresenta anche un vantaggio in termini di costi di ristrutturazione).

Per quanto riguarda la telelettura, essa nasce dall'esigenza di integrare i sistemi di contabilizzazione di ultima generazione al monitoraggio e raccolta dati di consumo da remoto, attraverso sistemi di comunicazione wireless. Infatti, i ripartitori di calore (contabilizzazione indiretta) e i contatori di calore (contabilizzazione diretta), integrano dei moduli radio attraverso cui riescono a comunicare con un concentratore elettronico o gateway presente nell'edificio, che immagazzinano tutte le informazioni provenienti dai dispositivi installati e le convogliano in una piattaforma di rete centralizzata, in modo da elaborare i dati di consumo automaticamente ed effettuarne la trasmissione. La telelettura offre numerosi vantaggi: elimina la necessità di accedere fisicamente agli appartamenti per effettuare le letture, riduce gli errori umani, permette di acquisire dati con frequenze molto più elevate (mensili, giornaliere, orarie) e consente di fornire

agli utenti un feedback immediato sui propri consumi energetici. Inoltre, la possibilità di immagazzinare e conservare dati, consente una reportistica non solo dei valori attuali, ma anche storici di consumo, che consentono di effettuare analisi avanzate dei profili di consumo, individuare anomalie di funzionamento dell'impianto e migliorare la gestione energetica complessiva dell'edificio.

I sistemi di feedback utente, invece, rappresentano uno strumento essenziale per migliorare la consapevolezza energetica degli occupanti e la sensibilizzazione nei confronti dei comportamenti di energetici e di consumo, in particolare per gli impianti centralizzati. L'introduzione di questi sistemi è stata incentivata dalle politiche europee di efficienza energetica promosse dalla Commissione Europea, con l'obiettivo di garantire agli utenti finali un accesso più frequente e trasparente alle informazioni relative ai propri consumi energetici. In Italia tali disposizioni sono state recepite dal D.Lgs. 73/2020 [184], che ha stabilito che, nel caso di dispositivi di contabilizzazione dotati di telelettura, gli utenti devono ricevere informazioni periodiche sui consumi durante la stagione di riscaldamento.

I sistemi di feedback si basano sull'elaborazione dei dati raccolti automaticamente dai dispositivi di misura installati negli appartamenti, come contatori di calore o ripartitori sui radiatori, che trasmettono le informazioni a piattaforme software centralizzate tramite reti di comunicazione radio e gateway. I dati raccolti da questi dispositivi, consentono di elaborare report e informazioni destinate agli utenti, consultabili attraverso portali informatici, applicazioni da smartphone o documentazione (es. comunicazioni periodiche inviate dagli amministratori di condominio o dai traders energetici).

Le informazioni fornite possono includere il consumo energetico attuale, il confronto con periodi precedenti, la stima della spesa in base ai consumi effettuati, il confronto con la media del condominio o con abitazioni simili, nonché indicazioni sull'andamento stagionale del fabbisogno di energia termica.

I sistemi più tecnologicamente avanzati, inoltre, sono dotati di funzionalità di benchmarking o forecasting, che restituiscono informazioni anche su eventuali anomalie nei consumi o comportamenti energetici deleteri, in modo da sensibilizzare gli utenti ad intervenire tempestivamente sulla regolazione del sistema di riscaldamento (es. verificando la posizione delle valvole termostatiche o modulando le temperature impostate). Dal punto di vista energetico, la letteratura tecnica e le esperienze applicative mostrano che un sistema di feedback efficiente e facilmente comprensibile sui consumi può contribuire a riduzioni significative della domanda energetica, grazie alla maggiore responsabilizzazione degli utenti finali. Inoltre, i sistemi di feedback rappresentano un elemento importante per l'integrazione della contabilizzazione del calore con le tecnologie di gestione intelligente degli edifici, poiché consentono di trasformare i dati di consumo raccolti tramite telelettura in informazioni utili sia per gli occupanti che per i

gestori dell'impianto ed i traders, promuovendo un approccio più efficace nella gestione dei sistemi presenti nell'edificio.

8.1.2 Impatto dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback utente sui consumi energetici degli edifici residenziali

L'introduzione dei sistemi di contabilizzazione del calore, della telelettura e feedback utente ha avuto un impatto significativo sulla riduzione dei consumi energetici negli edifici residenziali dotati di impianto di riscaldamento centralizzato, contribuendo sia a migliorare l'efficienza degli impianti sia a modificare i comportamenti degli occupanti. Le politiche europee di efficienza energetica promosse dalla Commissione Europea hanno, infatti, evidenziato come la disponibilità di sistemi di misura individuale e di informazioni frequenti sui consumi siano fondamentali per favorire un uso più razionale dell'energia negli edifici. Dal punto di vista normativo, tali principi sono stati recepiti in ambito nazionale attraverso il D.Lgs. 102/2014 e successivamente dal D.Lgs. 73/2020 [184], che ha introdotto l'obbligo di dispositivi che consentano la lettura dei dati di consumo e la comunicazione periodica da remoto agli utenti finali.

L'impatto energetico dei sistemi di contabilizzazione, telelettura e feedback dipende da una combinazione di fattori. In primis, la contabilizzazione individuale dei consumi rappresenta un'evoluzione del sistema tradizionale di ripartizione delle spese basato sui millesimi di appartamento, introducendo un meccanismo più equo che lega direttamente il costo sostenuto dall'utente all'energia utilizzata, incentivando comportamenti più responsabili, come la regolazione delle valvole termostatiche, la riduzione delle temperature indoor. Inoltre, i sistemi di telelettura permettono di raccogliere dati di consumo con maggiore frequenza e precisione rispetto alle letture manuali, rendendo possibile un monitoraggio continuo dell'andamento energetico dell'edificio e facilitando l'individuazione di anomalie o inefficienze, come ad esempio malfunzionamenti idraulici, temperature di mandata eccessive o consumi anomali. Infine, l'implementazione di sistemi di feedback utente, consentono agli occupanti di visualizzare i propri consumi e confrontarli con quelli di periodi precedenti o con la media del condominio, favorendo una maggiore consapevolezza energetica e stimolando comportamenti di risparmio. Numerosi studi e applicazioni pratiche mostrano che l'effetto combinato di questi strumenti può portare a una riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento generalmente compresa tra il 10% e il 20%, con variazioni legate alle caratteristiche dell'edificio, al grado di isolamento dell'involucro e al livello di coinvolgimento degli utenti. Oltre ai benefici energetici diretti, questi sistemi contribuiscono anche a migliorare la gestione complessiva degli impianti termici centralizzati, favorendo interventi di ottimizzazione nella gestione operativa degli stessi e

favorendo l'integrazione con sistemi avanzati di automazione e controllo negli edifici (BACS) e di gestione smart dell'energia.

In letteratura, sono presenti diversi studi scientifici a riguardo, che hanno analizzato negli ultimi anni l'impatto dei sistemi di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback all'utente sui consumi energetici negli edifici residenziali, evidenziando come la combinazione di misurazione individuale e informazione agli utenti possa produrre riduzioni significative della domanda di energia per il riscaldamento. Uno studio molto importante è rappresentato dall'articolo scientifico "A comprehensive review on heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU" [187], che analizza oltre 130 pubblicazioni sul tema della contabilizzazione individuale del calore in Europa e mostra come l'introduzione di sistemi di misura e ripartizione dei consumi sia generalmente associata a un miglioramento dell'efficienza energetica e a una maggiore trasparenza nella gestione dei costi energetici negli edifici residenziali. Un altro contributo rilevante è lo studio sperimentale di Choleva et al., nel quale due edifici residenziali simili sono stati monitorati per due stagioni di riscaldamento: i risultati mostrano che l'edificio dotato di ripartitori di calore ha registrato consumi termici medi inferiori del 24% rispetto a quello privo di contabilizzazione individuale, grazie soprattutto a una maggiore attenzione degli utenti nella regolazione delle valvole termostatiche e a una riduzione delle temperature di esercizio dell'impianto [188]. Inoltre, diversi studi si sono concentrati sul ruolo del feedback utente dei consumi energetici. Herrmann et.al evidenziano come strumenti di visualizzazione dei dati di consumo, accessibili tramite piattaforme digitali o interfacce interattive, aiutino gli utenti a comprendere meglio il proprio profilo energetico domestico e a sviluppare comportamenti più consapevoli [189]. In modo analogo, Canale et al. hanno evidenziato che l'interazione diretta con i dati aumenta l'engagement e facilita l'apprendimento energetico, in quanto i feedback consentono agli utenti di riconoscere sprechi o pattern anomali, rafforzando la capacità di auto-regolazione e di pianificazione del consumo, dunque, la disponibilità verso l'utente di informazioni personalizzate sui consumi può portare a riduzioni significative della domanda energetica, poiché il feedback permette agli utenti di adattare più efficacemente le proprie abitudini di utilizzo del riscaldamento. Infine, una sintesi della letteratura sul tema del feedback energetico è proposta nell'articolo "A review of residential energy feedback studies", che analizza numerosi studi sul campo e conclude che i sistemi di informazione sui consumi domestici producono in media risparmi energetici compresi tra il 5% e il 20%, a seconda della frequenza e della modalità di presentazione dei dati agli utenti [190]. Nel complesso, questi lavori scientifici dimostrano che l'integrazione tra contabilizzazione, tecnologie di telelettura e sistemi di feedback utente rappresenta uno strumento efficace per:

- migliorare la ripartizione delle spese energetiche;
- favorire una gestione più efficiente e consapevole dell'energia negli edifici residenziali;
- migliorare le performance di gestione degli impianti e delle reti di distribuzione;

- consapevolizzare l'utente nei confronti dei consumi energetici;
- migliorare l'interoperabilità tra i dispositivi e le logiche di monitoraggio e gestione dei dati;

8.2 Dispositivi smart ed infrastruttura di monitoraggio e raccolta dati

Il miglioramento tecnologico sviluppato nel corso degli ultimi anni in ambito di dispositivi smart per la contabilizzazione del calore, la telelettura e il feedback utente ha trasformato significativamente la gestione di consumi di energia termica negli edifici residenziali.

Il passo verso il futuro, è stato determinato dall'introduzione di sensori intelligenti, utilizzo di connessioni wireless, gateway e piattaforme informatiche che consentono di raccogliere informazioni in modo continuo e di metterle a disposizione sia dei gestori dell'impianto sia degli utenti finali. I principali dispositivi attualmente utilizzati includono:

- contatori di calore intelligenti;
- ripartitori di calore elettronici;
- valvole termostatiche smart;
- gateway di comunicazione radio;
- piattaforme software per l'analisi dei dati energetici.

Nei casi in cui l'impianto di distribuzione non consenta l'installazione di contatori diretti, vengono utilizzati ripartitori di calore elettronici di nuova generazione, dotati di sensori di temperatura digitali e memoria interna, che registrano nel tempo il funzionamento dei radiatori e trasmettono periodicamente i dati di consumo attraverso protocolli radio standardizzati come Wireless M-Bus o OMS (Open Metering System). Disponibili attualmente sul mercato nazionale, ci sono valvole termostatiche intelligenti, che permettono una regolazione più precisa della temperatura ambiente e possono essere controllate tramite applicazioni da smartphone o integrate in sistemi di automazione domestica, contribuendo a migliorare il comfort termico e a ridurre gli sprechi energetici.

In letteratura, sono presenti numerosi studi scientifici che hanno analizzato l'efficacia di queste tecnologie sulla gestione energetica degli edifici. Ad esempio, lo studio di Fischer [192] sulla fornitura di feedback energetico agli utenti domestici mostra che i sistemi di monitoraggio e visualizzazione dei consumi possono ridurre la domanda energetica grazie alla maggiore consapevolezza degli utenti. Analogamente, Darby evidenzia come la disponibilità di dati frequenti sui consumi, resa possibile dai sistemi di telelettura, rappresenti uno degli strumenti più

efficaci per modificare i comportamenti energetici degli utenti [193]. Un ulteriore contributo è fornito da Hargreaves et al., che analizzano l'interazione tra utenti domestici e tecnologie di monitoraggio energetico, evidenziando come i sistemi di feedback digitali possano favorire un utilizzo più responsabile dell'energia negli edifici residenziali [194]. Anche studi più recenti, come quello di Beillan et al. sui sistemi di contabilizzazione del calore negli edifici europei e la ricerca di Kontokosta et al. sui sistemi di monitoraggio energetico negli edifici intelligenti, evidenziano come l'integrazione tra sensori smart, raccolta dati e piattaforme di analisi e monitoraggio permetta di ottenere miglioramenti significativi nella gestione dei consumi e nell'efficienza complessiva degli impianti [195][196].

Dal punto di vista informatico-operativo, il funzionamento di questi sistemi si basa su un'architettura di monitoraggio e raccolta dati multilivello. Il primo livello è costituito dai dispositivi installati negli appartamenti o sui singoli elementi scaldanti, che misurano i parametri energetici (temperatura, tempo di funzionamento, portata o energia termica) e li memorizzano. Il secondo livello è rappresentato dai sistemi di telelettura, nei quali i dispositivi trasmettono i dati tramite comunicazione radio a concentratori o gateway installati nell'edificio. I dati immagazzinati sono provenienti da tutti i sensori presenti nell'impianto e sono inviati ad un server centrale attraverso reti di comunicazione (es. Ethernet, rete cellulare o protocolli Internet of Things). Il terzo livello è costituito dalle piattaforme software di gestione dei dati in cloud, che archiviano i dati di consumo in database specifici, consentendo di utilizzarli per effettuare analisi statistiche, validazione dei dati, individuazione di anomalie e generazione di report. Infine, le informazioni elaborate vengono rese disponibili agli utenti, ai traders e ai gestori dell'edificio, tramite interfacce di visualizzazione, come portali informatici, dashboard energetiche o applicazioni smartphone, in modo da consultare i consumi in tempo quasi reale, confrontare i dati attuali con dati dell'orizzonte storico e ricevere notifiche su malfunzionamenti di impianto e consumi anomali. L'insieme delle tecnologie, dei dispositivi e delle logiche integrate nei sistemi di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback favorisce lo sviluppo di edifici residenziali con un elevato grado di intelligenza e digitalizzazione, promuovendo la gestione consapevole dell'energia utilizzata e degli impianti presenti nell'edificio.

8.2.1 Impatto dei sistemi di contabilizzazione smart, telelettura e feedback utente sulla valutazione dello Smart Readiness Indicator

Come è stato evidenziato nei capitoli precedenti, l'indicatore di predisposizione all'intelligenza (SRI) risulta particolarmente sensibile alle tecnologie presenti negli edifici. In particolare, la presenza di sistemi di monitoraggio e controllo avanzati (es. interoperabilità tra i diversi impianti tecnici presenti controllati dal sistema centrale di BACS, reportistica avanzata sullo stato dell'accumulo, gestione del sequenziamento di diversi generatori, controllo automatico dell'involucro dinamico etc...) ha un impatto significativo sul calcolo, garantendo dei punteggi di impatto e di SRI totale elevati. Inoltre, l'utilizzo di sistemi di contabilizzazione del calore smart, uniti alle logiche di telelettura e feedback, potrebbe avere un contributo significativo nell'aumento dei punteggi di edificio relativi alle chiavi funzionali, rappresentative delle tre macroaree principali su cui si basa lo Smart Readiness Indicator. Per ciascuna di esse, è possibile descrivere i principali contributi di miglioramento, dovuti alla presenza di sistemi avanzati di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback digitali:

1. capacità di garantire efficienza energetica: la presenza di logiche informatiche che consentono di inviare all'utente segnalazioni sullo stato di funzionamento dell'impianto e sui consumi reali, aumentano l'efficienza energetica dell'intero edificio, favorendo il risparmio di energia utilizzata ed una migliore gestione complessiva dei sistemi di riscaldamento;
2. capacità di interagire con l'occupante: la telelettura avanzata, insieme alle modalità di feedback verso l'utente sviluppate con tecnologie all'avanguardia in grado di trasmettere ed immagazzinare dati in modo efficiente, consentono di garantire all'occupante una panoramica ampia delle proprie abitudini energetiche, rendendolo sensibile e attento non solo sui consumi, ma anche sui comportamenti da attuare affinché l'andamento delle spese energetiche risulti stabile nel tempo;
3. capacità di interagire con la rete: quest'ultima chiave funzionale, dai risultati ottenuti effettuando i calcoli per la valutazione dello Smart Readiness Indicator su molteplici casi di studio, in concomitanza con i risultati ottenuti dai diversi studi di letteratura analizzati, mostrano come sia difficile che raggiunga un punteggio elevato. La causa di ciò risiede nell'utilizzo delle tecnologie avanzate negli edifici (anche di nuova costruzione), che risulta ancora scarso per quanto concerne i sistemi di interazione con la rete elettrica. Alcuni casi attuali, sono rappresentati dalle comunità energetiche, oppure da edifici progettati al fine di attuare sistemi di Demand Side Management, Demand Response e interazione con la Smart Grid.

In letteratura, sono presenti numerosi studi che analizzano i sistemi smart di contabilizzazione, telelettura e feedback e l'impatto sui consumi energetici. Kontokosta et al. hanno applicato una metodologia di rilevamento dei dati di consumo di elettricità e gas mediante algoritmi di machine learning, ottenendo come risultato che i sistemi di monitoraggio avanzati, basati su grandi dataset, sono in grado di migliorare la consapevolezza del consumo energetico in intere città [195].

Parallelamente, anche altri studi hanno analizzato il rapporto tra i feedback utente sui consumi energetici e l'efficacia dei sistemi di presentazione del dato all'utente finale stesso, ottenendo come risultato che gli occupanti apprezzano maggiormente quando vengono loro mostrati i costi nel tempo della spesa energetica, la suddivisione di essi per dispositivo, un sistema di report che illustri anche il funzionamento e le caratteristiche dei dispositivi, il confronto con i dati storici. [197] [198]

Pertanto, i sistemi di contabilizzazione smart, telelettura e feedback utente rappresentano oggi uno degli elementi chiave per la trasformazione degli edifici residenziali in edifici intelligenti.

La disponibilità sul mercato di sensori smart, sistemi di comunicazione rapidi e strutturati, nonché sistemi di lettura facilitata dei consumi, consentono di effettuare un monitoraggio continuo e quindi un'azione diretta sui comportamenti energetici degli occupanti.

Il contributo di sistemi di contabilizzazione del calore intelligenti, di lettura dei dati da remoto e reportistica verso l'utente, non solo contribuiscono a migliorare l'efficienza energetica degli edifici, ma svolgono anche un ruolo fondamentale nella valutazione dello Smart Readiness Indicator, in quanto sono rappresentative della capacità degli edifici di interagire con gli occupanti, definire le condizioni di comfort e ottimizzare le prestazioni energetiche complessive.

Capitolo IX. Analisi energetica di edifici residenziali condominiali mediante rilevamento dati dal portale informatico “GEN”

9.1 Introduzione

L'esigenza di analizzare l'impatto dei sistemi di contabilizzazione e telelettura negli edifici residenziali, connessa alla necessità di comprendere e risolvere le criticità presenti nei sistemi di raccolta dati di consumo e presentazione all'utente finale, sono state le basi per condurre un'approfondita analisi energetica di due condomini del parco edilizio nazionale, costituiti da più unità immobiliari, mediante l'utilizzo di un portale web di raccolta e monitoraggio dei dati di consumo: Portale GEN - Rienergy Smart. L'attività di ricerca è stata condotta con ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile - e con la collaborazione di stakeholders esterni (amministratori di condominio, tecnici informatici, ingegneri, specialisti del settore energetico).

L'attività di ricerca è stata incentrata sui seguenti obiettivi:

- analisi del portale informatico rienergy smart;
- test di funzionamento degli algoritmi di calcolo di raccolta dati del portale;
- rilevamento e risoluzione delle criticità informatiche e tecniche riscontrate;
- confronto diretto con gli utenti dei condomini per la ricezione di feedback sull'utilizzo del portale interfaccia utente e varie;
- analisi dei dati di consumo e dei dati provenienti da sensori installati negli appartamenti;
- studio dei grafici e corrispondenza con i consumi realmente corrispondenti a ciascun appartamento;
- presentazione del dato all'utente;
- supporto e assistenza per l'utente;
- calcolo degli indici energetici di appartamento (consumo atteso e consumo misurato di appartamento, consumo medio di condominio e di appartamento, temperatura media misurata interna di appartamento).

In ciascun appartamento, a seguito della predisposizione di determinati dispositivi, misuratori e sensori (temperatura interna, esterna e CO₂), è stato possibile il monitoraggio dei dati ricavati dagli stessi (real time, orario, giornaliero, periodico) e, ad esempio, la visualizzazione dei consumi per riscaldamento (kWh) per ciascun periodo temporale selezionato. In base alle caratteristiche

termofisiche, edilizie, impiantistiche e climatiche degli stessi e ad una stima delle abitudini dei comportamenti degli utenti, sono stati predisposti differenti devices (misuratori, sensori di CO₂, dispositivi) e affrontato un monitoraggio dei parametri di interesse per il raggiungimento degli obiettivi di ricerca elencati nella descrizione dell'attività. Inoltre, sono stati apportati miglioramenti alla visualizzazione e al calcolo degli indici energetici, sulla base delle caratteristiche edilizie (superficie), impiantistiche che (tipologia di contabilizzatori per l'energia termica, dispositivi installati) e climatiche (gradi giorno) degli appartamenti.

9.2 Portale GEN - Rienergy Smart

Il portale GEN (Gestione ENergetica) è una piattaforma centralizzata progettata per il monitoraggio, la gestione e l'analisi integrata dei dati energetici e ambientali provenienti da diversi dispositivi e sistemi, la cui elaborazione è stata avviata da ENEA e presente nel Rapporto RdS/PTR2021/127 [199]. Attraverso un'unica interfaccia è possibile raccogliere e visualizzare informazioni provenienti da misuratori di consumo energetico, sensori per il monitoraggio dei parametri ambientali, sistemi di produzione fotovoltaica e smart meter, oltre a integrare dati relativi alle previsioni meteorologiche. L'insieme di queste informazioni consente di ottenere una panoramica dettagliata del comportamento energetico degli impianti o degli edifici oggetto di monitoraggio. Il vantaggio della piattaforma è l'immagazzinamento di dati di consumo, che possono essere analizzati per poi essere veicolati verso l'utente, consentire l'individuazione di anomalie degli impianti tecnici e dei comportamenti di consumo, in modo da intervenire tempestivamente con azioni di efficientamento.

Il portale è strutturato in diverse sezioni, che comprendono strumenti di visualizzazione flessibili per la consultazione delle informazioni sia in modalità grafica sia in formato tabellare, facilitando l'interpretazione dei dati e consentendo analisi storiche e comparative tra diversi periodi temporali o tra differenti dispositivi. Inoltre, i dati possono essere esportati in formato .CSV, rendendo possibile il loro utilizzo in ulteriori elaborazioni o analisi tramite software esterni. Un ulteriore elemento distintivo del sistema è la presenza di un'interfaccia a grafo che consente di interrogare i dispositivi collegati in tempo reale, offrendo una rappresentazione complessiva delle relazioni tra le diverse tecnologie nell'edificio.

Oltre alle funzionalità di monitoraggio e analisi, il portale GEN consente anche la gestione centralizzata dell'infrastruttura tecnologica, permettendo la configurazione dei dispositivi e il controllo delle impostazioni da un unico punto di accesso. Inoltre, il sistema supporta l'aggiornamento software da remoto (OTA, Over The Air) dei dispositivi iTherm+2.0 installati presso gli utenti, garantendo la possibilità di distribuire nuove funzionalità, miglioramenti e

aggiornamenti di sicurezza senza la necessità di interventi diretti in loco. In questo modo la piattaforma contribuisce non solo al monitoraggio dei consumi e delle condizioni ambientali, ma anche alla gestione efficiente e all'evoluzione continua dell'infrastruttura energetica connessa.

Per effettuare una descrizione più approfondita e di aiuto agli utilizzatori, durante la seconda annualità di ricerca ho provveduto all'elaborazione di una guida dettagliata descrittiva di tutte le sezioni del portale Rienergy Smart, che si riporta in Appendice C.

Per semplicità di esposizione, in questo paragrafo saranno solo riportate le principali sezioni del portale e le caratteristiche salienti:

- Modalità di visualizzazione dei dati: istogrammi, grafi real time, grafici bidimensionali, file di calcolo di estensione .csv per l'analisi dati;
- Interfaccia grafica: mappa per l'individuazione degli edifici oggetto del monitoraggio, opzioni di visualizzazione infrastruttura di monitoraggio e raccolta dati, monitoraggio dei consumi e delle misure;
- Descrizione della sezione monitoraggio:
 - Misuratori: visualizzazione grafica dei consumi dei diversi vettori energetici, effettuando la selezione del condominio di riferimento, il periodo di riferimento, il servizio da valutare (riscaldamento, contawatt riscaldamento centrale termica, riscaldamento in gradi giorno);
 - Smart meter: visualizzazione grafica dei valori di energia e di potenza per ciascun interno selezionato;
 - Sensori-sonde: visualizzazione grafica delle grandezze (temperatura, umidità) indoor ed outdoor e dei dati relativi ai sensori/attuatori;
 - i-Therm+: sistema avanzato per la gestione degli impianti BACS, per il monitoraggio, la regolazione, la contabilizzazione e la ripartizione dei consumi. Il dispositivo ha al suo interno un hardware dedicato alla firma e certificazione dei dati energetici per essere utilizzati in una logica blockchain;
 - Indici energetici: consumo atteso per appartamento, temperatura media appartamento, consumo utenti, consumo medio su condominio
- Descrizione della sezione misure:
 - Gestione misure: gestione dei valori mensili rilevati dai sensori;
 - Carica misure - log import;
- Descrizione della sezione amministrazione di sistema:
 - Gestione condomini;
 - Controllo accessi;
 - Calcolo indici.

Le diverse sezioni del portale, consentono quindi di gestire a 360° i dati di consumo, i valori registrati dalla sensoristica e persino il numero di accessi al portale effettuato da ciascun utente in un determinato arco temporale, convogliando un insieme di informazioni in un unico strumento.

9.3 Ottimizzazione della piattaforma informatica Rienergy Smart

9.3.1 Individuazione delle criticità e risoluzione

All'inizio della fase di ricerca, è stato affrontato dapprima uno studio approfondito del portale web, in modo da verificare che ciascuna sezione fosse implementata in maniera corretta e che i dati di consumo rilevati, fossero effettivamente quelli specifici degli utenti. Tale check è stato condotto con l'ausilio di tecnici esperti del settore e tecnici informatici a cui competeva la gestione del portale web. Di seguito, sono elencate tutte le criticità riscontrate e le relative risoluzioni:

1. Correzione dei grafici di consumo: inizialmente, i grafici relativi ai consumi esprimevano i valori in termini di cumulate, pertanto, l'indicazione non era pertinente con quanto volevasi rappresentare. Pertanto, la risoluzione del problema è stata effettuata associando correttamente alla sezione "Consumi" (percorso `wen Monitoraggio → Misuratori → Servizio → Riscaldamento → Monitoraggio → Misuratori → Servizio → Consumi`) unicamente i consumi ottenuti e non i valori cumulati.
2. Errata associazione dei dati nella sezione "Misure": il consumo mensile per anno di riferimento era rappresentato nella sezione "Misure", anziché nel grafico "Locali";
3. Errato riferimento dei consumi giornalieri: nella sezione "Consumi" era possibile visualizzare unicamente il consumo in un determinato periodo selezionato, anziché giornaliero. La problematica di carattere informatico, è stata risolta mediante la corretta associazione dei dati di consumo allo slot del singolo giorno considerato;
4. Incompletezza della sezione "Monitoraggio": tale sezione non era completa delle indicazioni relative alla tipologia di sensore utilizzato o misuratore (es. sensori di temperatura, umidità e CO₂) e mancava delle indicazioni delle unità di misura sugli assi coordinati. Queste informazioni sono altamente necessarie per la corretta identificazione del flusso di dati proveniente dai diversi dispositivi, in modo da poter effettuare una classificazione dei risultati precisa. La problematica, anche in questo caso di carattere informatico, è stata risolta mediante riscrittura delle sezioni.
5. Incompletezza dei dati di misura: nei files Excel (download disponibile dal portale, nella sezione "Gestione Misure") associati alle misure elaborate in ciascun mese di riferimento per ciascun appartamento, era indicato il valore giornaliero. Affinchè possa essere estratto un

profilo giornaliero, anziché un singolo dato irrilevante ai fini statistici, si rendeva necessario poter visualizzare in tali files un campionamento effettuato su base oraria;

6. Bug dati lato visualizzazione utente: in alcuni condomini casi di studio, la temperatura media misurata di appartamento risultava essere sempre pari a 0° C, mentre in un unico condominio la temperatura assumeva un valore fisso pari a 20°C, nonostante il rilevamento dati da parte dei misuratori era correttamente visualizzato. Le azioni di risoluzione della criticità sono state sia di tipo informatico sia di tipo tecnico: alcuni misuratori erano posizionati in modo non corretto;
7. Sezione “Smart Meters” incompleta: i valori orari dei dati rilevati dai misuratori erano invisibili agli utenti, pertanto si è resa necessaria un’azione di ripristino della sezione informatica in modo da fornire lato utente le informazioni necessarie al monitoraggio dei misuratori;
8. Pagina di lettura feedback non visibile lato utente: il portale è progettato per avere una sezione di feedback dedicata agli utenti, in cui possono inserire dei commenti. Tuttavia, essa non risultava visibile lato amministratori.
9. Indicazione errata della misurazione di CO₂: i sensori di CO₂ non sono stati installati in tutti i condomini casi di studio, ma ugualmente nella sezione “Misuratori” era presente anche nei casi in cui non ci fosse, la rappresentazione grafica dei dati rilevati dai sensori.
10. Valori di temperatura esterna insufficienti: al fine di garantire un monitoraggio preciso e di effettuare le analisi energetiche delle unità immobiliari in modo completo, si è ritenuto necessario correggere la presentazione dei valori da giornalieri ad orari;
11. Incompletezza sezione “Amministrazione sistema”: nella sottosezione “Controllo accessi”, all’atto di selezionare tutti gli appartamenti di un singolo condominio, avrebbero dovuto essere riportati i minuti trascorsi durante l’accesso giornaliero da parte dell’utente (invece, veniva riportato sempre “1 day”);
12. Bug “Timeline pagine”: in un unico caso, selezionando tutti gli appartamenti del condominio per la visualizzazione del tempo di accesso, era indicata una durata di 51 anni, poiché il sistema era erroneamente impostato considerando un periodo storico dal 1970 al momento della visualizzazione (errore informatico ripristinato riportando la durata corretta del timeline).

Vale la pena notare come, l’individuazione delle molteplici criticità rilevate, sia stata indice di un importante lavoro di approfondimento e analisi del portale, al fine di poter garantire uno strumento preciso e affidabile per il rilevamento dei dati complessivi degli edifici e di poterli impiegare in studi di settore senza significativi margini di errori che potrebbero compromettere i risultati ottenuti.

9.4 Analisi energetica mediante rilevamento dati dal portale Rienergy Smart

L'analisi energetica dei condomini oggetto di studio, è stata condotta al fine di verificare la corrispondenza dei risultati ottenuti dai calcoli effettuati utilizzando i dati immagazzinati nel portale e di effettuare l'analisi ed il confronto degli indici di qualità dei consumi, delle temperature e della CO₂ per alcuni giorni tipo rappresentativi, con l'obiettivo di valutare la stabilità dei valori ottenuti e i benefici in termini di consumi su un orizzonte temporale definito.

Tali obiettivi, sono stati perseguiti nell'ottica di far fronte in primis ad alcune lacune presenti nel portale (es. risultati anomali) e infine per ottenere un quadro completo dei valori di consumo effettivi registrati nelle unità immobiliari.

9.4.1 Edifici oggetto di analisi monitorati dal portale Rienergy Smart

Il portale Rienergy Smart è stato implementato per effettuare la gestione di tre condomini, di cui due situati nel Nord Italia ed uno in provincia di Frosinone, che per semplicità denomineremo nella trattazione come "Condominio 1", "Condominio 2" e "Condominio 3". Gli edifici, strutturalmente, sono stati considerati allo stato originario, ma con l'implementazione di sensori di temperatura, contabilizzatori di calore, sensori di CO₂ e di umidità relativa dell'aria.

Tali edifici, appartengono al cluster edilizio di fabbricazione compreso tra gli anni Settanta e Novanta, caratterizzati da impianti non ristrutturati. La scelta dei due condomini non è stata arbitraria: ciascun edificio, ha aderito alla campagna di sperimentazione, manifestando la volontà di partecipare al monitoraggio dei consumi, dei dati rilevati dai sensori installati e del sistema di controllo degli accessi al portale. Per condurre gli studi, sono stati solo successivamente installati i dispositivi di misurazione dell'energia termica ed i sensori all'interno delle unità abitative, pertanto i dati storici relativi all'andamento di tali fattori non sono disponibili, ma partono direttamente dall'anno di implementazione dei sistemi (2021).

In Tabella 49. sono mostrati i punti di misura per ciascun condominio. La classificazione è stata effettuata considerando il numero di appartamenti per ciascun edificio ed i dispositivi installati in ciascuno di essi.

Il Condominio 1 (provincia di Milano), ha in totale 16 sub abitativi, è caratterizzato da un impianto di riscaldamento a contabilizzazione diretta, dovuto alla presenza di impianti a colonne montanti orizzontali (Figura 50). In questo caso sono stati installati 16 calorimetri, corrispondenti a ciascun appartamento, sulla tubazione di mandata dell'impianto di riscaldamento asservito alla singola unità immobiliare, nel punto in cui l'acqua calda proveniente dalla rete di distribuzione

dell'edificio entra nel circuito interno dell'unità stessa. Inoltre, sono stati installati due datalogger di temperatura e umidità relativa costituiti da 2 sensori di temperatura e 2 di umidità relativa (UR), portando i punti totali di misura per edificio a 18 e quindi un totale delle grandezze misurate per edificio pari a 20.

Il Condominio 2 (provincia di Frosinone), ha in totale 9 appartamenti alimentati da un sistema di riscaldamento centralizzato (contabilizzazione indiretta). E' costituito da tre piani con un singolo appartamento per piano e con sottotetti e garage non riscaldati, anno di costruzione 1955. Sono stati installati 64 ripartitori di calore e valvole termostatiche e 18 T-logger (sensori di temperatura riportanti valori giornalieri minimi, medi e massimi). Per la determinazione dell'energia termica totale prodotta e distribuita a livello di edificio, è stato installato un contatore di calore centralizzato. I dati di temperatura vengono ricavati da una centralina climatica nelle vicinanze del condominio. Infine, sono stati installati due datalogger per il rilevamento dei valori di temperatura, umidità relativa e CO₂.

Il Condominio 3 è costituito da soli tre appartamenti (Figura 51), costituito da un impianto di riscaldamento centralizzato a contabilizzazione indiretta, alimentato da una caldaia a metano con rendimento pari a 0,96. Gli infissi del piano rialzato sono costituiti da telaio in PVC e alluminio, con triplo vetro, di trasmittanza termica pari a 1,567 W/m²K. Invece, per il primo e secondo piano, gli infissi sono realizzati con telaio in alluminio, con doppio vetro di trasmittanza pari a 1,653 W/m²K. In ciascun appartamento, sono stati installati 8 totalizzatori di calore per la misura dell'energia termica di ciascuna unità immobiliare e valvole termostatiche sui radiatori (Figura 52). I totalizzatori sono stati posizionati sui singoli circuiti del singolo impianto, per il monitoraggio dei sistemi di riscaldamento, dei sistemi per la produzione di acqua calda sanitaria, per gli scambiatori di calore e per il pavimento radiante. Durante l'attività di ricerca, è stato scelto di effettuare l'analisi energetica del Condominio 1 ed il Condominio 3, per i quali il confronto tra la contabilizzazione diretta e indiretta dell'energia termica è risultata ottimale per il calcolo degli indici energetici sulla base dei dati ricavati dal portale informatico Rienergy Smart.

Il presente studio è stato effettuato nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico ENEA PTR2021/127 anno 2021 [199].

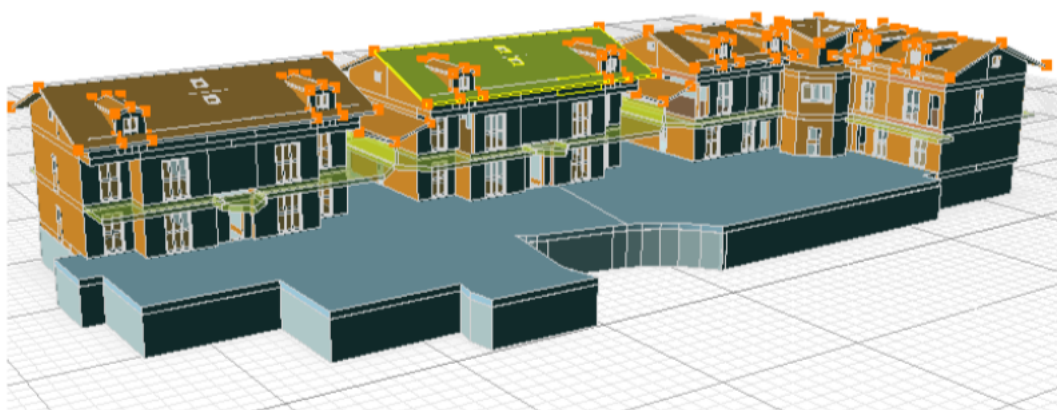


Figura 50. Rappresentazione del Condominio 1 mediante software di modellazione 3D [199]

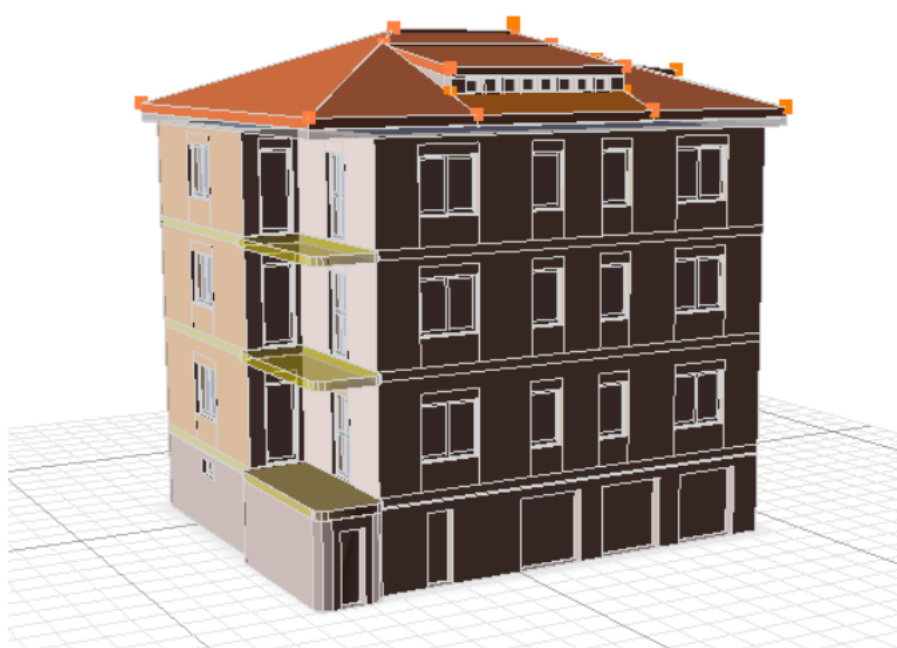


Figura 51. Rappresentazione del Condominio 3 mediante software di modellazione 3D [199]

CONTABILIZZAZIONE

Num appart1

NomePIANO TERRA

Millesimi318

,32

Tot. unità8

Unità servite8

Inerzia termica dei radiatori60

min

N°	Unità	m. add.	N°	Unità	m. add.
1	Radiatore 1	1,41 Kw ☒ Reset	11	Bloccato	☒ Reset
2	Radiatore 2	1,08 Kw ☒ Reset	12	Bloccato	☒ Reset
3	Radiatore 3	1,95 Kw ☒ Reset	13	Bloccato	☒ Reset
4	Radiatore 4	1,95 Kw ☒ Reset	14	Bloccato	☒ Reset
5	Radiatore 5	2,07 Kw ☒ Reset	15	Bloccato	☒ Reset
6	Radiatore 6	0,80 Kw ☒ Reset	16	Bloccato	☒ Reset
7	Radiatore 7	0,72 Kw ☒ Reset	17	Bloccato	☒ Reset
8	Radiatore 8	2,44 Kw ☒ Reset	18	Bloccato	☒ Reset
9	Telecomando	☒ Reset	19	Bloccato	☒ Reset
10	Bloccato	☒ Reset	20	Bloccato	☒ Reset

Potenza tot.12,42 Kw0,039 Kw / milles.Password utenteModifica

CONTABILIZZAZIONE

Num appart2

NomeINTERRATO

Millesimi45

,03

Tot. unità1

Unità servite1

Inerzia termica dei radiatori60

min

N°	Unità	m. add.	N°	Unità	m. add.
1	Radiatore 1	3,08 Kw ☒ Reset	11	Bloccato	☒ Reset
2	Telecomando	☒ Reset	12	Bloccato	☒ Reset
3	Bloccato	☒ Reset	13	Bloccato	☒ Reset
4	Bloccato	☒ Reset	14	Bloccato	☒ Reset
5	Bloccato	☒ Reset	15	Bloccato	☒ Reset
6	Bloccato	☒ Reset	16	Bloccato	☒ Reset
7	Bloccato	☒ Reset	17	Bloccato	☒ Reset
8	Bloccato	☒ Reset	18	Bloccato	☒ Reset
9	Bloccato	☒ Reset	19	Bloccato	☒ Reset
10	Bloccato	☒ Reset	20	Bloccato	☒ Reset

Potenza tot.3,08 Kw0,068 Kw / milles.Password utenteModifica

CONTABILIZZAZIONE

Num appart3

Nome1 PIANO

Millesimi318

,32

Tot. unità8

Unità servite8

Inerzia termica dei radiatori90

min

N°	Unità	m. add.	N°	Unità	m. add.
1	Radiatore 1	1,11 Kw ☒ Reset	11	Bloccato	☒ Reset
2	Radiatore 2	0,85 Kw ☒ Reset	12	Bloccato	☒ Reset
3	Radiatore 3	3,66 Kw ☒ Reset	13	Bloccato	☒ Reset
4	Radiatore 4	2,21 Kw ☒ Reset	14	Bloccato	☒ Reset
5	Radiatore 5	0,63 Kw ☒ Reset	15	Bloccato	☒ Reset
6	Radiatore 6	0,74 Kw ☒ Reset	16	Bloccato	☒ Reset
7	Radiatore 7	0,52 Kw ☒ Reset	17	Bloccato	☒ Reset
8	Radiatore 8	1,87 Kw ☒ Reset	18	Bloccato	☒ Reset
9	Telecomando	☒ Reset	19	Bloccato	☒ Reset
10	Bloccato	☒ Reset	20	Bloccato	☒ Reset

Potenza tot.11,59 Kw0,036 Kw / milles.Password utenteModifica

CONTABILIZZAZIONE

Num appart4

Nome2 PIANO

Millesimi318

,32

Tot. unità9

Unità servite9

Inerzia termica dei radiatori60

min

N°	Unità	m. add.	N°	Unità	m. add.
1	Radiatore 1	1,56 Kw ☒ Reset	11	Bloccato	☒ Reset
2	Radiatore 2	1,53 Kw ☒ Reset	12	Bloccato	☒ Reset
3	Radiatore 3	2,30 Kw ☒ Reset	13	Bloccato	☒ Reset
4	Radiatore 4	2,30 Kw ☒ Reset	14	Bloccato	☒ Reset
5	Radiatore 5	2,51 Kw ☒ Reset	15	Bloccato	☒ Reset
6	Radiatore 6	0,75 Kw ☒ Reset	16	Bloccato	☒ Reset
7	Radiatore 7	1,16 Kw ☒ Reset	17	Bloccato	☒ Reset
8	Radiatore 8	0,72 Kw ☒ Reset	18	Bloccato	☒ Reset
9	Radiatore 9	2,56 Kw ☒ Reset	19	Bloccato	☒ Reset
10	Telecomando	☒ Reset	20	Bloccato	☒ Reset

Potenza tot.15,39 Kw0,048 Kw / milles.Password utenteModifica

Figura 52. Radiatori e potenza per singolo appartamento [199]

		Condominio 1 (cont. diretta)	Condominio 2 (cont. indiretta)	Condominio 3 (cont. diretta)
Dispositivi di misura	Numero di appartamenti	16	9	3
	Totale ripartitori + valvole termostatiche	0	64	0
	T-logger	0	18	0
	Totalizzatori	0	0	24
	Contabilizzatori termici diretti	16	0	0
	Cronotermostato	0	0	0
	Contatore di calore principale a pié stabile	0	1	1
	Centralina termica	0	1	0
	Sonda di temperatura esterna	1	1	1
	Datalogger: CO ₂ , T (°C), UR	0	9	3
	Datalogger: T (°C), UR	2	0	0
Totale punti di misura		19	93	29

Tabella 49. Punti di misura per singolo condominio

9.5 Metodologia

La metodologia di calcolo utilizzata fa riferimento alle norme tecniche in materia di contabilizzazione del calore, ripartizione dei consumi energetici e obbligo di contabilizzazione e telelettura negli edifici [138][184][105].

Le grandezze che sono state ricavate nel corso dell'analisi, tramite implementazione di un foglio di calcolo dedicato, sono le seguenti:

- ⇒ Consumo misurato giornaliero di appartamento [kWh]: valore direttamente misurato dal contatore diretto per appartamento, il quale è stato ottenuto per ciascun giorno considerato nelle analisi come la differenza tra il valore ottenuto nel giorno successivo ed il valore del giorno precedente (in questo modo sono stati ottenuti i kWh effettivi per il singolo giorno e non la cumulata degli stessi);
- ⇒ Valore medio giornaliero della temperatura esterna [°C]: i dati sono stati ricavati da una centralina climatica situata in provincia di Lambrate, mediante portale web dedicato;
- ⇒ Gradi giorno effettivi giornalieri [gg]: i dati sono stati ricavati considerando la differenza tra la temperatura standard (20°C) e il valore fornito dalla centralina climatica nel giorno di riferimento. Nel caso in cui tale differenza fosse stata positiva, il valore da utilizzare per i gradi giorno effettivi sarebbe stato proprio il risultato ottenuto dalla differenza, nel caso in cui fosse stato negativo, il calcolo è stato implementato per ottenere 0°C;
- ⇒ Consumo specifico simulato [Q_h /gg]: i dati sono stati calcolati post-simulazione per ogni appartamento, come rapporto tra l'energia termica consumata dall'appartamento (kWh) e i gradi giorno della località nel periodo di riferimento;
- ⇒ Consumo atteso Q_{th} [kWh]: calcolato come prodotto tra il consumo specifico simulato e i gradi giorno effettivi giornalieri stimato nelle condizioni standard di riferimento definite dalla UNI TS 11300 (di Asset Rating) [200], come in formula (3):

$$Q_{th} = (Q_{h,nd}/gg)GG$$

$Q_{h,nd}$: fabbisogno termico annuo dell'appartamento stimato secondo UNI TS 13000-1 in condizioni di Asset Rating

gg: gradi giorno totali annui del sito, dalla procedura di calcolo della UNI TS 11300/1

GG: gradi giorno effettivi del sito valutati su base giornaliera tramite sensori smart di temperatura in grado di comunicare con il sistema di controllo centrale del condominio;

- ⇒ Indice energetico IG [%]: rapporto espresso in percentuale del rapporto tra la differenza tra il consumo misurato giornaliero di appartamento [kWh] e il consumo atteso ed il consumo atteso stesso;
- ⇒ Consumo specifico giornaliero per appartamento [kWh/m²]: calcolato come il rapporto tra il consumo misurato giornaliero di appartamento [kWh] e la superficie utile dell'appartamento [m²];
- ⇒ Superficie totale utile del condominio [m²]: somma delle superfici utili di tutti gli appartamenti del condominio;
- ⇒ Consumo termico totale del condominio [kWh]: rappresentato dalla somma dei consumi termici giornalieri misurati dei singoli appartamenti;
- ⇒ Consumo specifico totale di condominio [kWh/m²]: calcolato come il consumo termico totale del condominio [kWh] e la superficie totale utile di condominio [m²];
- ⇒ Indice di temperatura IT [°C]: ottenuto dalla differenza tra il valore della temperatura media misurata dai sensori interni di appartamento e il valore soglia scelto come riferimento per l'attivazione dei segnali di allarme (impostata a 20°±2 °C);
- ⇒ Indice di CO₂ [%]: calcolata come differenza tra il valore di concentrazione di CO₂ media giornaliera misurata da uno specifico sensore installato all'interno dell'abitazione (corridoio o salone) e il valore di soglia scelto come riferimento per l'attivazione di segnali d'allarme (pari a 1200 ppm);

9.5.1 Applicazioni

L'applicazione della metodologia proposta, è stata utilizzata per:

1. Valutare l'accuratezza dei valori dei consumi attesi Q_{th} stimati con la metodologia implementata nel portale web basata sull'uso destagionalizzato degli indici di consumo a grado giorno Q_h/gg come da equazione (3);
2. Valutare l'accuratezza dei valori dei consumi attesi Q_{th} e delle informazioni di dettaglio delle differenze tra consumi misurati ed attesi Q_{th} stimati per le condizioni tailored (UNI 11300) [198] dell'annualità considerata, con il foglio di calcolo implementato;
3. Valutazione della compatibilità dei dati ricavati dal calcolo con i dati di consumo e misura mostrati nel portale, al fine di individuare eventuali criticità e anomalie;
4. Analisi e confronto degli indici di qualità dei consumi, delle temperature e della CO₂ per alcuni giorni tipo rappresentativi, con l'obiettivo di valutare la stabilità dei valori ottenuti e i benefici in termini di consumi su un orizzonte temporale definito (una settimana).

Le prime due analisi sono state effettuate considerando come casi di studio i Condomini 1 e 3, per le singole unità abitative è stato calcolato il consumo termico annuale atteso, Q_{th} , valutato in condizione di asset rating e riferito ai valori medi mensili delle temperature esterne (Figura 53- Condominio 1). Per il Condominio 2, i valori di Q_{th} sono stati calcolati in riferimento alla temperatura interna degli appartamenti di 20°C ed ai valori statistici medi mensili della temperatura esterna e dell'irraggiamento solare (Figura 54). Per entrambe i casi di studio è stato considerato come periodo di riscaldamento 15 Ottobre-15 Aprile anno 2021.

Per quanto concerne la terza analisi, inizialmente i calcoli effettuati con lo strumento di calcolo implementato per la valutazione delle grandezze caratteristiche relative ai consumi, mostravano una forte incompatibilità con i dati restituiti dal portale. In particolare, gli indici energetici erano sottostimati rispetto ai risultati visibili nell'interfaccia web grafica. La risoluzione di tale problematica, è stata effettuata mediante un intervento combinato tecnico-informatico, al fine di rendere i dati provenienti dal portale compatibili con gli algoritmi implementati nel foglio di calcolo. Per l'analisi ed il confronto dei consumi e dei dati ricavati dai sensori, è stato effettuato uno studio specifico considerando i dati in un intervallo temporale di sette giorni (12/12/2021-18/12/2021) relativi al solo Condominio 3.

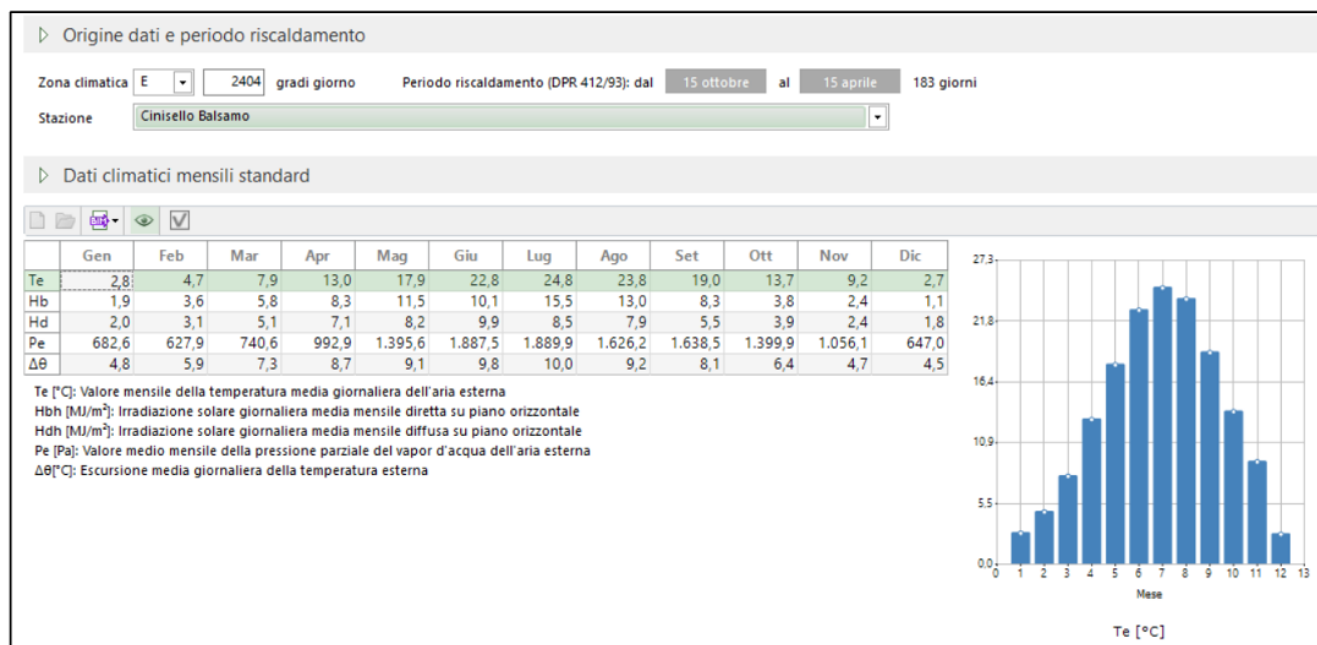


Figura 53. Valori medi mensili della temperatura esterna per il calcolo del fabbisogno termico in condizioni di asset rating secondo la UNI TS 11300/1 [199]

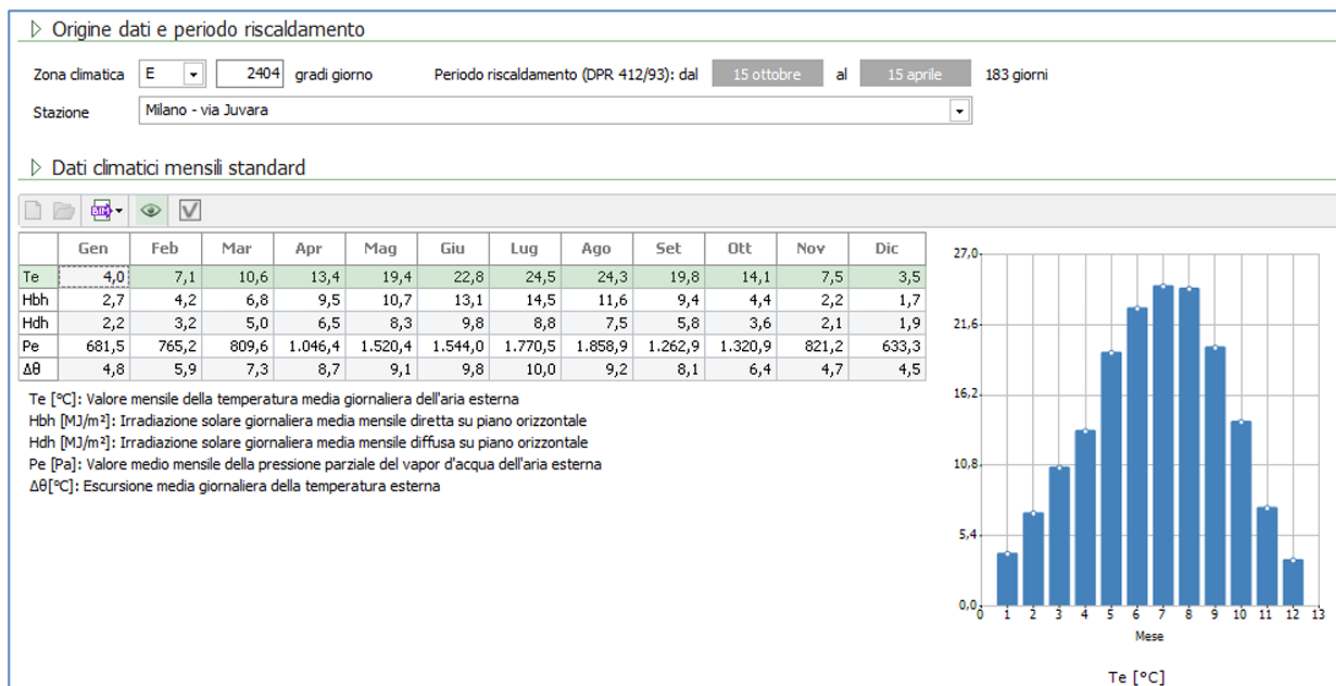


Figura 54. Valori medi mensili di temperatura esterna e irraggiamento solare su base statistica [199]

9.6 Risultati

9.6.1 Condominio 1

In Tabella 50, sono riportati i valori del consumo atteso per ogni appartamento, calcolato anche effettuando il rapporto con i gradi giorno della zona climatica (E- 2402,8 gg).

Il consumo atteso Q_{th}/gg e la rappresentazione grafica dell'indice energetico IG (%), sono riportati nella sezione del portale Rienergy Smart "Amministrazione sistema", come mostrato in Figura 55.

Unità immobiliare	Q_{th} (asset rating UNI 11300-1)	Q_{th}/gg	Superficie utile
A1	5383	2,24	81,60
A2	4381	1,82	60,20
A3	5383	2,24	78,30
A4	3213	1,34	69,23
A5	2337	0,97	68,95
A6	3986	1,66	100,56
A7	2337	0,97	69,80
A8	3213	1,34	69,45
B1	3948	1,64	65,40
B2	3948	1,64	65,40
B3	5852	2,43	130,10
B4	5852	2,43	130,10
C1	3948	1,64	65,40
C2	3948	1,64	65,40
C3	5852	2,43	130,10
C4	5852	2,43	152,10

Tabella 50. Consumo atteso e destagionalizzato per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG

Figura 55. Rappresentazione grafica dei dati caratteristici della singola unità immobiliare del Condominio 1: Q_{th}/gg (kWh/m^2) e superficie di appartamento (m^2)

9.6.2 Condominio 3

I valori ottenuti per il calcolo del $Q_{h,nd}/gg$, utilizzati per il calcolo dei consumi attesi Q_{th} , sono rappresentati in Tabella 51. Mentre i valori di Q_{th} calcolati in asset rating, per ciascun appartamento, sono mostrati in Tabella 52. Nel portale Rienergy Smart (Figura 56), sono state realizzate delle schede per ciascun appartamento, integrando i valori di Q_{th}/gg e di superficie utile di appartamento (m^2).

Unità immobiliare	Q_{th}/gg in Asset Rating (UNI 11300-1)
1	3,49
2	2,86
3	3,66

Tabella 51. Valori di $Q_{h,nd}/gg$ utilizzati per il calcolo dell'indice energetico giornaliero IG (%)

Unità immobiliare	Superficie utile di appartamento [m^2]	Q_{th} in Asset Rating (UNI 11300-1) [kWh]
1	126,70	8390,22
2	126,70	6878,00
3	126,70	8793,06
Totale di edificio	380	24061,28

Tabella 52. Valori di Q_{th} in asset rating per ciascun appartamento

The screenshot shows the 'rienergy smart' web application interface. On the left is a sidebar with navigation links: Home, Monitoraggio, Misure, Amministrazione sistema, Gestione condomini, Controllo accessi, and Calcolo indici. The main content area is titled 'Gestione condomini'. It features a table with columns for ID, Utente, and a checkbox. The table lists four entries: 6052 (-CT), 5993 (APP_3.1), 5992 (APP_2.1), and 5991 (APP_1.1). Below the table, it says 'Showing 1 to 4 of 4 entries'. To the right of the table is a form for editing the selected unit (APP_1.1). The form includes fields for Name, Surname, Username, Email, ID gestionale, Qth [kWh/GG] (4.32), Temperatura setpoint (20), Ruolo (Amministratore, Amministratore lite, Gestore, Utente), Condominio, Superficie (mq) (126), and various meter readings (Mili.m. Cli: 363.36, Mili.m. AFS: 0, Mili.m. ACS: 0, Mili.m. Raffr: 0, Mili.m. Proprietà: 0). It also has date range selection (Data inizio: 2019-01-01, Data Fine: 2100-01-01) and a file upload section for Planimetria. At the bottom are 'Salva' and 'Annulla' buttons.

Figura 56. Rappresentazione grafica dei dati caratteristici della singola unità immobiliare del Condominio 3: Q_{th}/gg (kWh/m^2) e superficie di appartamento (m^2)

9.6.3 Condominio 3: Analisi degli indici di qualità per alcuni giorni tipo rappresentativi confrontando appartamenti diversi

Al fine di analizzare l'andamento degli indici di qualità dei consumi, delle temperature e del monitoraggio della CO_2 , è stata effettuata l'elaborazione dei dati ottenuti durante l'intervallo di tempo 01/03/2022 – 05/03/2022 per il Condominio 3. L'obiettivo è stato valutare le differenze e le analogie tra i giorni di consumo ed effettuando un consuntivo dei possibili comportamenti degli utenti durante tale range di tempo. Nella Tabella 53 sono riportati i dati relativi agli indici di consumo, di temperatura e di CO_2 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);
- **Arancione:** temperatura pari o di poco superiore ai 22°C (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);

Appartamento 1.1 - Piano rialzato						
Data	Indice consumo atteso appartamento [kWh]	Indice che esprime la differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso appartamento [%]	Indice temperatura appartamento [°C]	Indice consumo CO ₂ [ppm]	Indice consumo medio appartamento [kWh/m ²]	Indice consumo medio condominio [kWh/m ²]
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 2.1 - Piano primo						
Data	Indice consumo atteso appartamento [kWh]	Indice consumo misurato rispetto al consumo atteso appartamento [%]	Indice temperatura appartamento [°C]	Indice consumo CO ₂ [ppm]	Indice consumo medio appartamento [kWh/m ²]	Indice consumo medio condominio [kWh/m ²]
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 3.1 - Piano secondo						
Data	Indice consumo atteso appartamento [kWh]	Indice consumo misurato rispetto al consumo atteso appartamento [%]	Indice temperatura appartamento [°C]	Indice consumo CO ₂ [ppm]	Indice consumo medio appartamento [kWh/m ²]	Indice consumo medio condominio [kWh/m ²]
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

Tabella 53. Indici di consumo, di temperatura e di CO₂ per ciascun appartamento nel periodo temporale di 7 giorni

Di seguito, sono rappresentati in forma grafica, i valori misurati per ciascun giorno del periodo campione e per ciascun appartamento del Condominio 3 (Figure da 57 a 61).

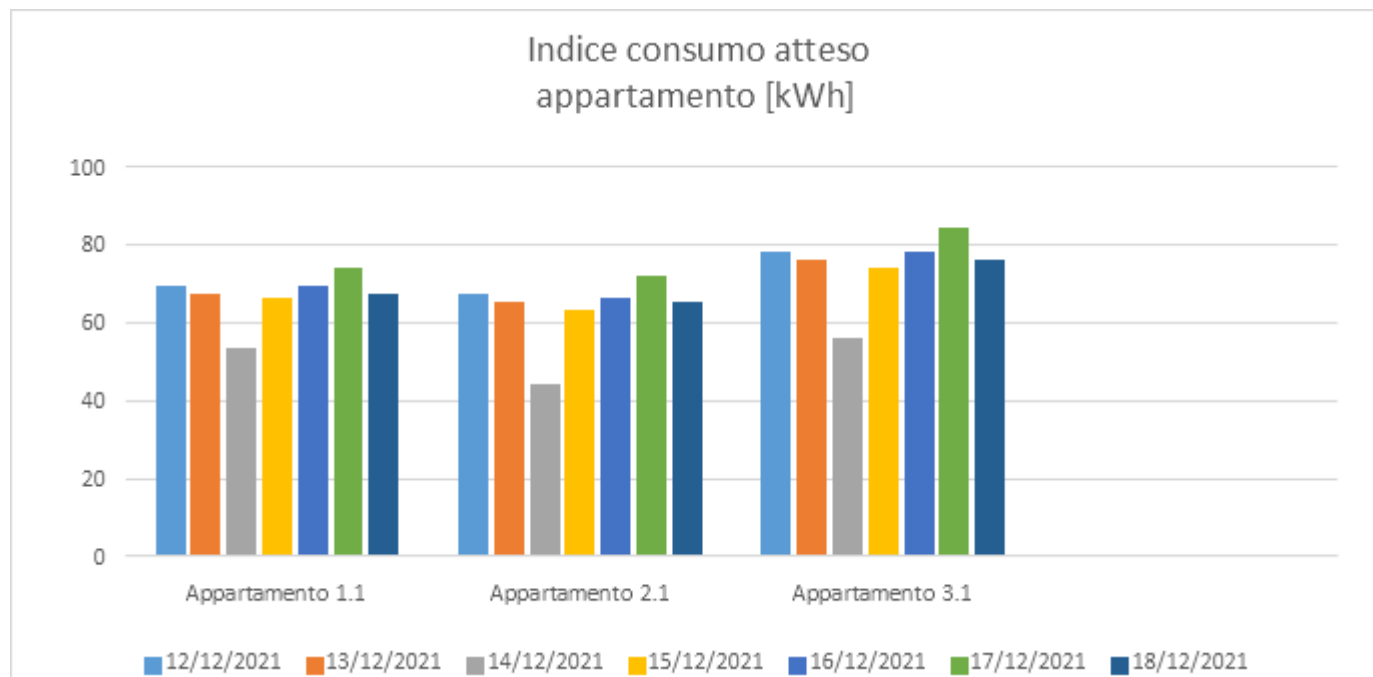


Figura 57. Consumo atteso di appartamento [kWh]

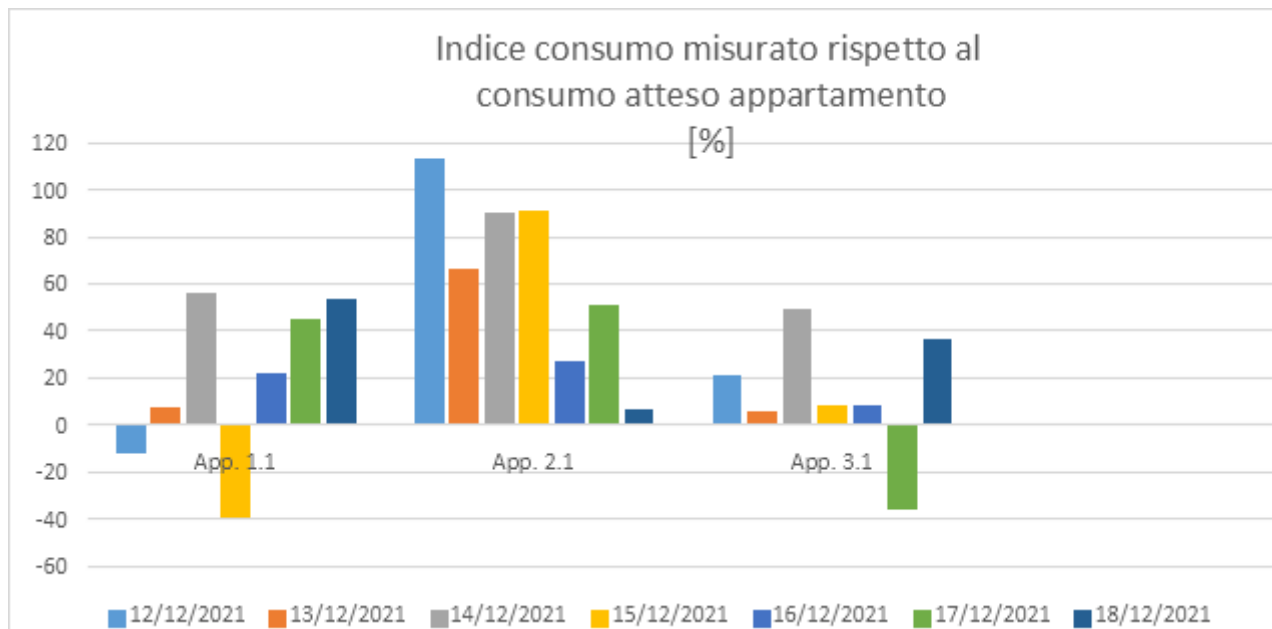


Figura 58. Consumo misurato rispetto al consumo atteso di appartamento [kWh]

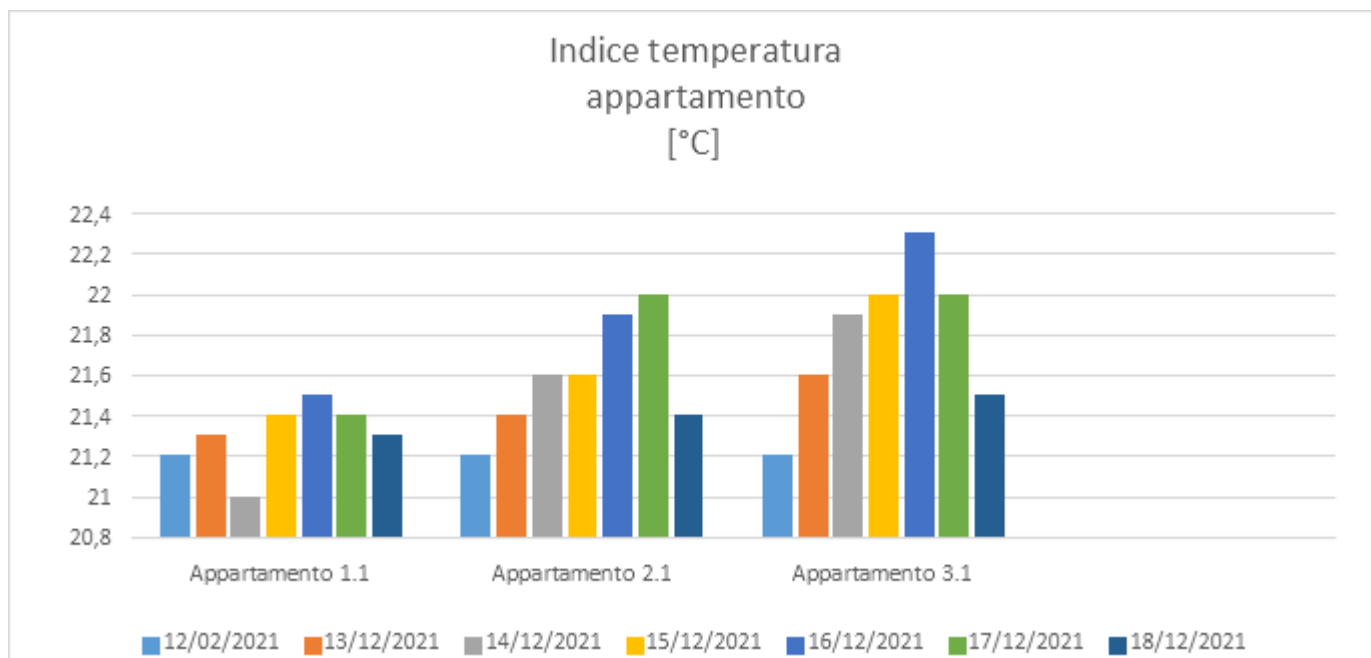


Figura 59. Indice di temperatura di appartamento [°C]

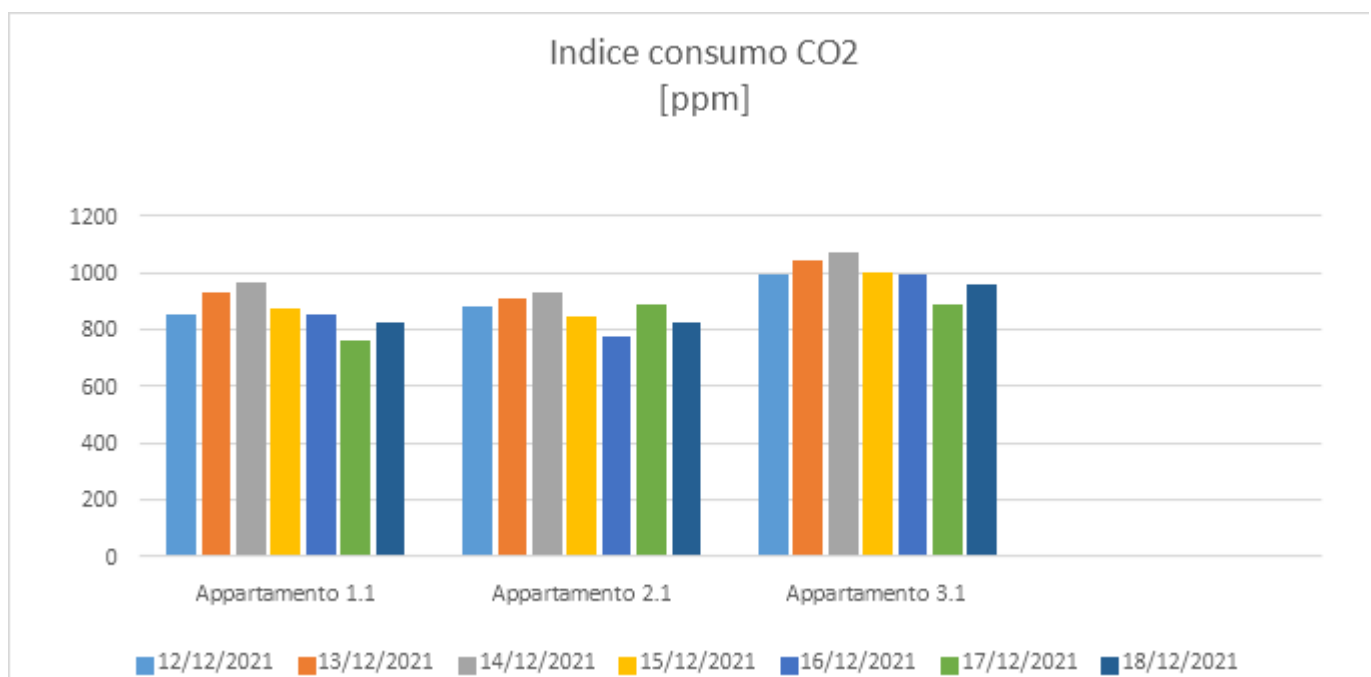


Figura 60. Indice di consumo di CO₂ di appartamento [ppm]

A titolo di esempio, sono riportati, per il giorno 12/12/2021 e per l'appartamento 1.1 - Piano rialzato, i risultati degli indici riportati in forma grafica nelle sezioni specifiche del portale RienergySmart. Nella sottosezione "Indici energetici", sono presenti più riquadri in cui vengono riassunte le informazioni principali per ciascun indice valutato.

Nel dettaglio:

- **Indice consumo appartamento:** sono indicati i valori del consumo atteso per l'appartamento selezionato e la differenza tra il consumo atteso ed il consumo misurato di appartamento, corredato da una tabella che esprime in quale range di consumo atteso ricade il valore elaborato per il giorno selezionato (Figura 61);

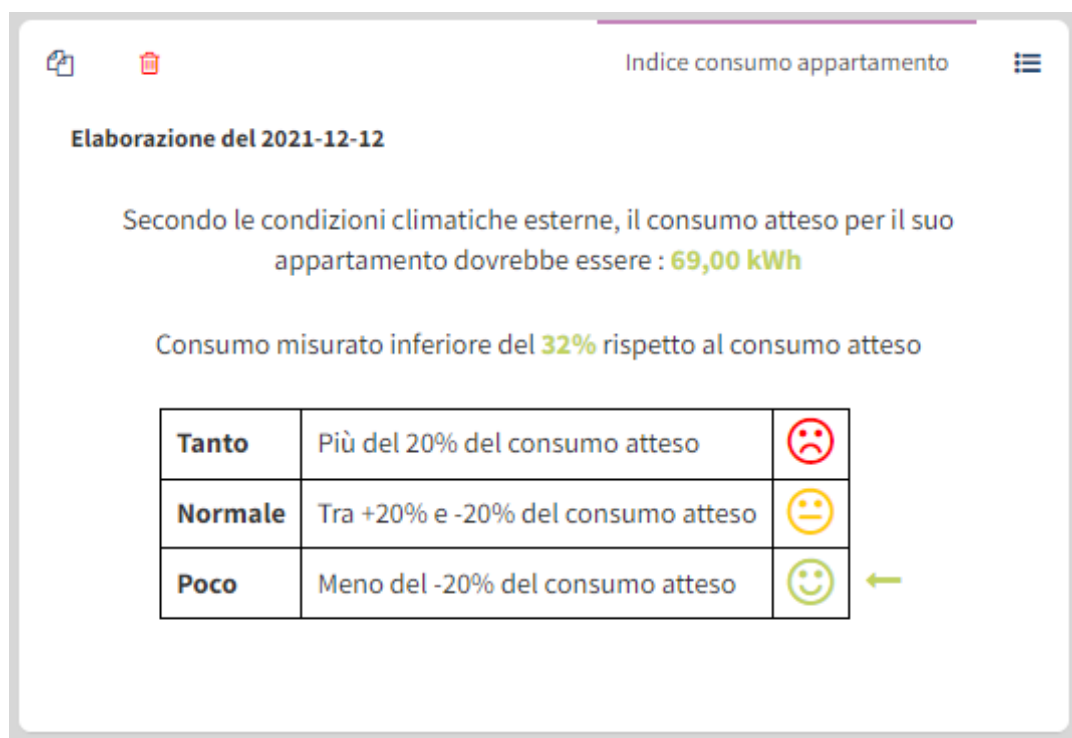


Figura 61. Indice di consumo di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Indice temperatura appartamento:** esprime la temperatura media misurata in alcuni ambienti dell'appartamento selezionato e la temperatura media misurata complessivamente nell'appartamento, corredata dall'indicazione della qualità (troppo alta, buona, troppo bassa), in base ai gradi rilevati. Inoltre, in tale sezione, è indicata anche la concentrazione media di CO₂ [ppm] nell'aria dell'appartamento, della quale può essere valutata la qualità sulla base del range in cui ricade il valore rilevato dal sensore di CO₂ (qualità buona inferiore a 800 ppm, media tra 800 e 1000, bassa superiore a 1000), come mostrato in Figura 62;

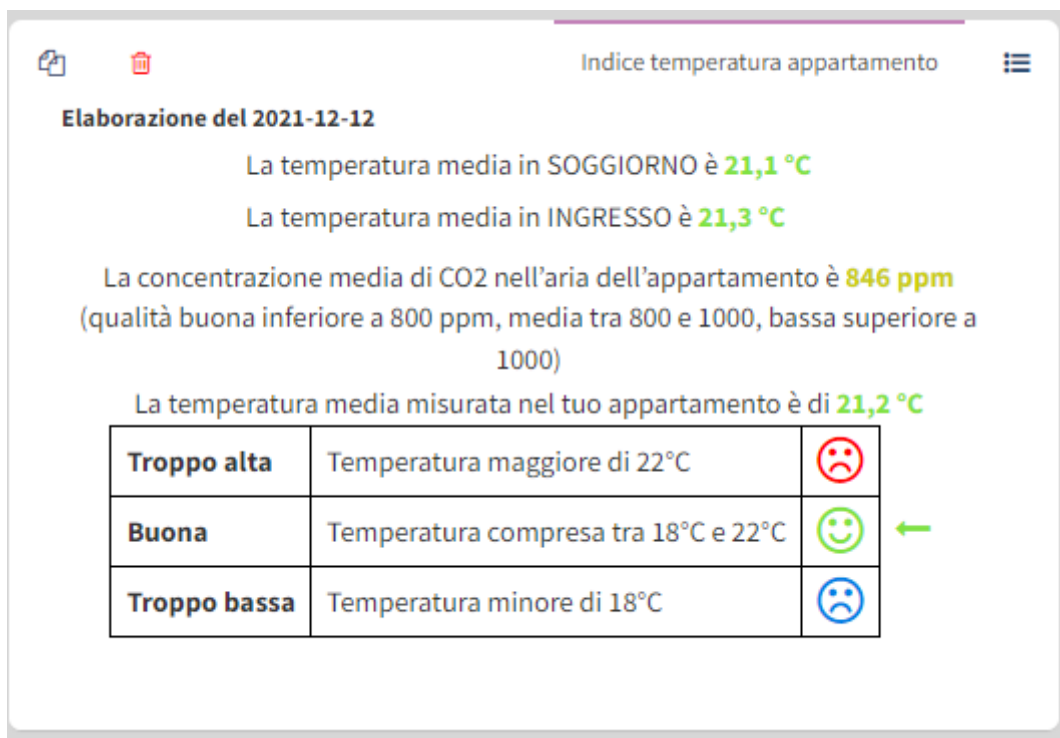


Figura 62. Indice di temperatura di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Indice consumo utenti:** esprime graficamente il confronto dell'indice di consumo misurato rispetto al consumo atteso di appartamento espresso in percentuale, tra gli appartamenti (anche la centrale termica "CT") presenti nel condominio (Figura 63);

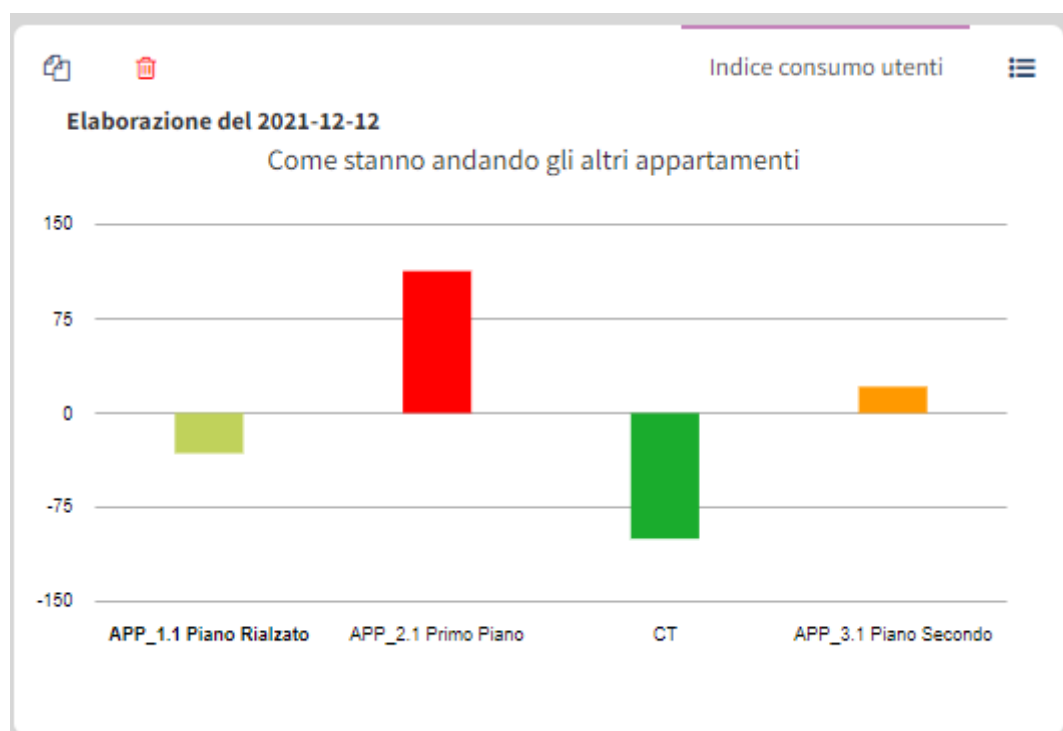


Figura 63. Indice consumo utenti di appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Indice consumo medio su condominio:** esprime graficamente e numericamente l'andamento medio del consumo del singolo appartamento, confrontandolo con il consumo medio complessivo del condominio (Figura 64);

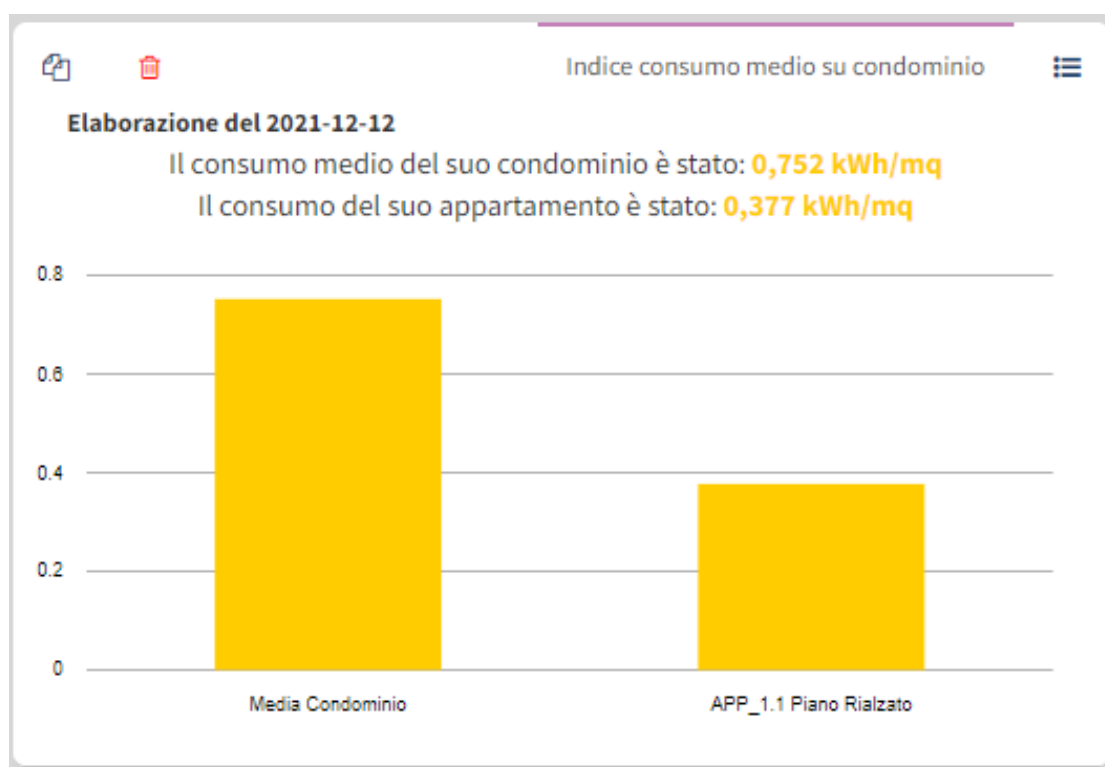


Figura 64. Indice consumo utenti medio di condominio dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Controllo accessi:** nella sezione "Controllo accessi", è possibile avere un monitoraggio completo relativo agli accessi effettuati dagli utenti del singolo appartamento selezionato, per un determinato periodo di tempo impostato. A titolo di esempio, si considera l'intervallo di tempo 12/12/2021 – 18/12/2021 in cui gli utenti dell'appartamento 1.1 hanno effettuato l'accesso al portale, in modo tale da descrivere le sezioni attive di cui è composta la pagina "Controllo accessi":
 - 1 **Accessi:** esprime in forma grafica i minuti complessivi nei quali è stato effettuato l'accesso al portale, per lo specifico appartamento selezionato (Figura 65);

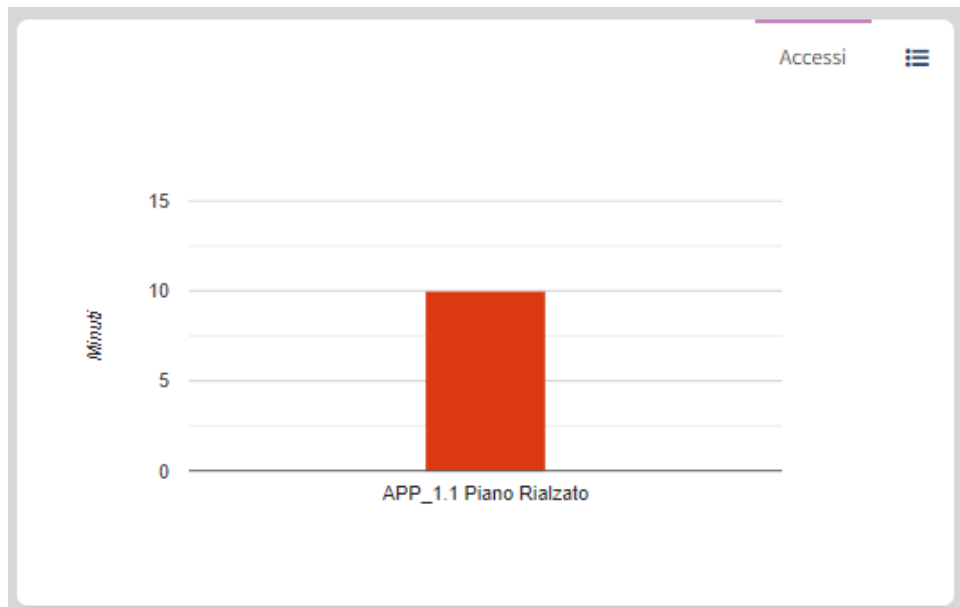


Figura 65. Tempo di accesso [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Timeline accessi:** indica l'ora ed il tempo di permanenza dell'utente che ha fatto accesso al portale (Figura 66);

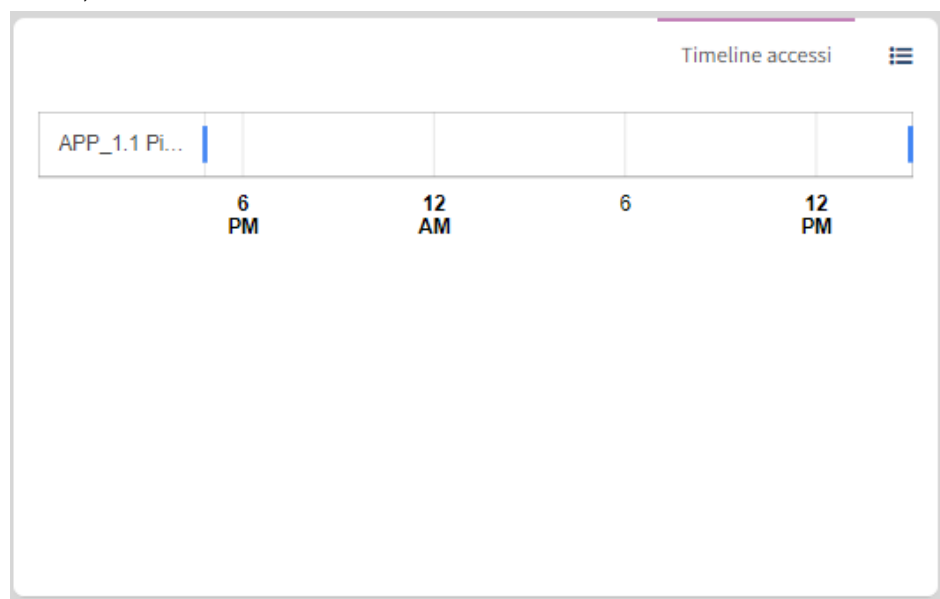


Figura 66. Timeline accessi di appartamento

- **Tempo visualizzazione pagine:** indica quali pagine sono state visualizzate dall'utente e per quanto tempo è stato attivo sulle stesse (figura 67);

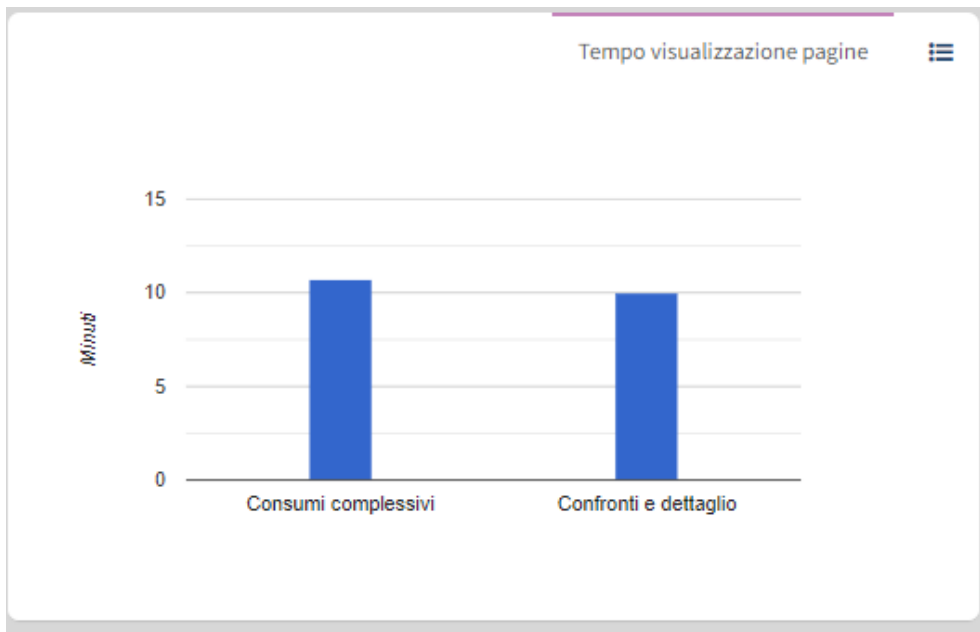


Figura 67. Tempo di visualizzazione delle pagine [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

- **Pagine visualizzate:** riassume graficamente le pagine visualizzate ed i minuti di accesso (Figura 68);

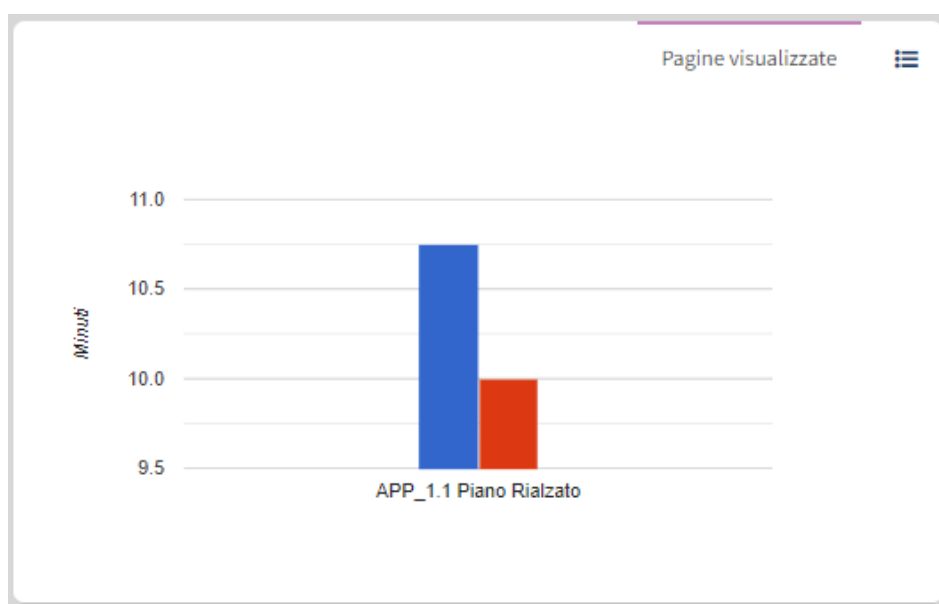


Figura 68. Tempo di visualizzazione delle pagine e numero di accessi [min] da parte degli utenti per appartamento dall'interfaccia grafica del portale Rienergy Smart

9.7 Conclusioni

Per l'analisi energetica del Condominio 1 (contabilizzazione diretta) il fabbisogno di ogni appartamento è espresso attraverso il parametro Q_{th}/gg , consumo atteso destagionalizzato rispetto ai gradi giorno. Questo indicatore normalizza il fabbisogno energetico rispetto alle condizioni climatiche e consente quindi di confrontare tra loro le unità immobiliari in modo indipendente dall'andamento stagionale. In Tabella 49, si osserva che i valori di Q_{th}/gg risultano differenti tra gli appartamenti (valori che oscillano tra 0,97–2,43 kWh/gg), evidenziando una diversa richiesta energetica dovuta a differenti fattori, come superficie utile di appartamento, esposizione, posizione nell'edificio, comportamenti energetici degli utenti.

Nel caso del Condominio 3 (valutazione Q_{th}/gg effettuata tramite asset rating secondo UNI 11300-1) per i tre appartamenti, caratterizzati dalla stessa superficie utile (126,7 m²) si registrano fabbisogni energetici diversi (6878–8793 kWh/anno), il motivo risiede nel fatto che il modello di calcolo tiene conto anche delle condizioni di involucro e delle dispersioni termiche specifiche delle singole unità, nonché dei comportamenti attuati dagli occupanti. Il fabbisogno complessivo dell'edificio risulta pari a 24061 kWh/anno.

In conclusione, il metodo consente di confrontare i consumi specifici delle singole unità tramite un indicatore normalizzato (destagionalizzato) sui gradi giorno (Q_{th}/gg) e quindi più adatto all'analisi dei consumi reali in regime di contabilizzazione. Tale metodologia, permette una valutazione teorica del fabbisogno energetico nel periodo di riferimento basata sul modello energetico dell'edificio (asset rating). Il confronto tra i due appartamenti, permette quindi di verificare la coerenza tra fabbisogni teorici e consumi attesi normalizzati, individuando eventuali differenze dovute alla posizione degli appartamenti, alle loro caratteristiche termo-fisiche e alle azioni di carattere energetico compiute dagli occupanti. Per quanto concerne l'analisi degli indici di qualità per alcuni giorni tipo rappresentativi del Condominio 3, confrontando appartamenti diversi (paragrafo 9.6.3), da una prima valutazione dei valori giornalieri misurati, è possibile notare come il valore della concentrazione della CO₂ sia inferiore rispetto ai valori misurati negli altri giorni, quando l'indice di consumo medio di appartamento [kWh/m²] è pari a zero. La ragione può essere attribuita alle abitudini che l'utente ha manifestato durante tali periodi, come, ad esempio, aver tenuto chiusi gli infissi nel proprio appartamento per un periodo lungo durante la giornata. Infatti, se considerassimo come esempio l'appartamento 2.1 (Tabella 52), potremmo notare come, in corrispondenza di un indice di consumo medio di appartamento pari a zero, la temperatura media misurata di appartamento è stata più alta rispetto ai giorni in cui l'indice consumo misurato rispetto al consumo atteso appartamento è stato inferiore al 100%. Nel complesso, l'analisi degli indici di qualità energetici per i tre appartamenti, ha mostrato una forte eterogeneità dei risultati, permettendo di differenziare in modo preciso gli andamenti dei valori ottenuti. Dall'analisi dei

grafici riportati nelle Figure da 55 a 58, è possibile confrontare il comportamento energetico e ambientale dei tre appartamenti (1.1, 2.1 e 3.1) considerando l'indice di consumo atteso, l'indice di temperatura interna, differenza tra consumo misurato e atteso e indice di concentrazione di CO₂. L'appartamento 1.1 è caratterizzato da consumi attesi più bassi rispetto agli altri due appartamenti, generalmente compresi tra 60 e 70 kWh, ma in linea con l'indice di temperatura indoor (circa 21–21,5 °C) che resta più bassa dal confronto con l'appartamento 2.1 e 3.1. La concentrazione di CO₂ risulta moderata, con valori compresi tra 800 e 950 ppm circa, indice che probabilmente il numero di occupanti e il loro tempo di permanenza nell'appartamento siano inferiori oppure che la ventilazione degli ambienti risulta più spinta. Infine, la differenza tra consumo misurato e atteso risulta generalmente moderata o addirittura negativa in alcuni giorni (12/12/2021-17/12/2021), ossia che il consumo energetico effettivo è stato inferiore al consumo atteso.

L'appartamento 2.1 presenta consumi intermedi tra i tre appartamenti (65-75 kWh). E' caratterizzato, inoltre, da una discreta stabilità dell'indice di temperatura indoor (21,6-22 °C), indicando un buon livello di comfort termico. Tuttavia, nel grafico di Figura 55, dove è espresso l'indice di consumo misurato rispetto al consumo atteso, si osservano in alcuni giorni valori molto elevati, che superano il 100%. Il motivo può essere spiegato probabilmente considerando che in quelle giornate il consumo energetico sia stato maggiore rispetto al consumo atteso nominale.

L'appartamento 3.1 presenta i consumi attesi più elevati, con valori medi compresi tra circa 75 e 85 kWh, superiori rispetto agli altri due appartamenti. Tale andamento, risulta in linea con le temperature interne, mediamente più alte rispetto agli altri appartamenti, raggiungendo valori intorno ai 22–22,3 °C. La causa, potrebbe essere spiegata ipotizzando la necessità da parte degli occupanti di un livello di comfort maggiore e probabilmente una maggiore richiesta di energia per il riscaldamento. Anche le concentrazioni di CO₂ risultano le più elevate in confronto agli altri appartamenti, con valori che oscillano spesso intorno ai 1000–1100 ppm, determinata probabilmente da una presenza più costante di occupanti o da un numero maggiore di essi nei giorni di superamento o una minore ventilazione degli ambienti.

Per concludere, l'appartamento 1.1 ha una minore richiesta di energia da soddisfare, con temperature di poco inferiori e condizioni di qualità dell'aria migliori. L'appartamento 2.1 ha un comportamento intermedio rispetto agli altri due, ma presenta in alcuni giorni delle notevoli variazioni tra consumo reale e atteso, con temperature e concentrazione di CO₂ nella media. Infine, l'appartamento 3.1 ha temperature interne più elevate ed è il più energivoro tra tutti, con una concentrazione di CO₂ più elevata. Il confronto tra le analisi degli indici di qualità dei tre appartamenti, evidenzia, quindi, che le differenze riscontrate dall'analisi, potrebbero derivare dal posizionamento degli appartamenti nell'edificio, dai comportamenti energetici degli occupanti e dal numero di occupanti stesso.

Sintesi e conclusioni

Gli obiettivi principali del presente lavoro, sono stati duplici: valutare lo Smart Readiness Indicator (SRI) per diverse tipologie edilizie presenti in Italia e approfondire l'impatto dei sistemi di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback utente nel contesto nazionale.

Relativamente al primo argomento in esame, è stata affrontata a riguardo un'approfondita analisi della letteratura tecnico-scientifica e dello stato dell'arte dei sistemi intelligenti implementabili negli edifici. L'indicatore di predisposizione all'intelligenza degli edifici (SRI) è stato analizzato contestualizzandolo in un ampio quadro normativo in ambito energetico che prevede degli obiettivi Europei mirati alla riqualificazione dell'intero parco edilizio nazionale. Al fine di comprendere la collocazione degli edifici italiani nella scala della smart readiness, sono stati approfonditi i sistemi di automazione e controllo (BACS - Building Automation Control Systems), l'applicazione dell'ICT ed IoT e come possono essere definiti intelligenti gli edifici (smart buildings), che possono contribuire alla costruzione delle cosiddette Smart Cities (città intelligenti). E' stata, inoltre, approfondita la metodologia di calcolo dello Smart Readiness Indicator, introducendo il primo strumento di calcolo per la valutazione da parte degli studi tecnici europei. Nel lavoro di tesi, sono stati descritti differenti scenari applicativi del metodo di calcolo, dapprima valutando l'indicatore sull'efficienza del dominio tecnico acqua calda sanitaria, per tre casi di studio. Da questa analisi, sono emerse differenti criticità, come l'impatto significativo del giudizio dell'asseveratore per alcune funzionalità non associate a nessuna normativa di riferimento, livelli di funzionalità che non rispecchiano sempre le tecnologie presenti sul mercato e livelli di funzionalità, talvolta, di difficile interpretazione. Pertanto, a valle di tali problematiche, lo studio è stato ampliato per effettuare la valutazione dello Smart Readiness Indicator su edifici oggetto di retrofit energetico, comparando i risultati ottenuti con gli stessi edifici allo stato originario. Per far fronte alla difficoltà di individuazione dell'effettiva applicabilità dei livelli funzionali ai servizi tecnici, è stata avviata un'azione di prima ottimizzazione della metodologia di calcolo, sulla base di un'attenta analisi di mercato in cui alcuni stakeholders hanno fornito riscontro ad un questionario elaborato sulla panoramica delle funzionalità intelligenti presenti nel catalogo completo dei servizi. La prima versione del foglio di calcolo europeo è stata calibrata mediante l'implementazione di specifici algoritmi di calcolo ed è stata applicata ad alcuni edifici casi di studio divisi per tipologie (residenziale, non residenziale, scolastico, struttura ospedaliera). I risultati ottenuti da tale applicazione, hanno mostrato dei punteggi di SRI totali, di domini e di impatto maggiormente rappresentativi dell'attuale condizione del parco edilizio nazionale. A seguito di un ulteriore aggiornamento dello strumento

di calcolo europeo (versione v4.2), è stato valutato con esso lo Smart Readiness Indicator, confrontando i risultati ottenuti con quelli derivanti dall'applicazione della prima calibrazione della precedente versione. Infine, anche quest'ultimo strumento, è stato ottimizzato in funzione dei risultati ottenuti dalla prima analisi di mercato, mediante implementazione di algoritmi di calcolo per la determinazione dei punteggi da utilizzare nel calcolo dell'indicatore. In questa fase, è stato considerato per motivi di compatibilità con la metodologia applicata negli studi precedenti, l'approccio "Smart Possible", che a differenza dello "Smart Ready", tiene conto di un servizio tecnico che non è presente nell'edificio, ma potenzialmente potrebbe essere presente.

In generale, la valutazione dello Smart Readiness Indicator, è stata applicata in un contesto ampio di casi di studio, analizzandone nel dettaglio le caratteristiche tecniche, impiantistiche ed edilizie ed agendo sulle potenziali azioni di miglioramento sia per gli edifici di nuova costruzione, che quelli esistenti. Lo scenario legato alla smart readiness del parco edilizio italiano è caratterizzato da un forte potenziale di sviluppo, grazie anche alle nuove normative in materia di riqualificazione energetica, tuttavia gli studi di settore mostrano che il massimo livello di predisposizione all'intelligenza è ancora lontano da raggiungere. Pertanto, azioni di miglioramento successive potrebbero essere: i) riproporre un'analisi di mercato aggiornata a più stakeholders esperti del settore elettrico, civile, informatico; ii) effettuare una ricalibrazione ulteriore dello strumento di calcolo unificando il catalogo dei servizi per ciascuna tipologia edilizia esistente; iii) approfondire lo studio della valutazione dello SRI su edifici storici, che hanno limitazioni sui sistemi e le tecnologie applicabili; iv) realizzare una scheda di valutazione che contestualmente riesca a mostrare sia l'efficienza energetica (APE), sia la predisposizione all'intelligenza, dando in questo modo all'occupante di avere un quadro completo della situazione energetica e tecnologica del proprio edificio o unità immobiliare.

Il secondo argomento di ricerca, è stato sviluppato effettuando una prima analisi di letteratura e stato dell'arte dei sistemi di contabilizzazione del calore, telelettura e feedback utente, valutando il loro impatto sia sui consumi energetici degli edifici residenziali, che sulla valutazione dello Smart Readiness Indicator. Infatti, i dispositivi attualmente in commercio (ad esempio sensori smart, valvole termostatiche connesse ai sistemi BACS di edifici) possono interagire direttamente con infrastrutture di rete avanzate, dando valore aggiunto alla smart readiness degli edifici. Infine, è stata effettuata l'analisi energetica di alcuni casi di studio (edifici condominiali), valutandone i consumi reali e stimati, i dati provenienti dai sensori di ambiente indoor e i dati relativi alla frequenza di consultazione tramite il portale energetico Rienergy Smart, implementato da ENEA per il monitoraggio e la gestione dei dati di consumo e degli indici di qualità indoor. I risultati ottenuti dagli studi e dai casi applicativi, hanno evidenziato un'eterogeneità dei valori rilevati e calcolati, indice che le analisi energetiche sono state notevolmente influenzate dalla posizione degli appartamenti, dalla presenza e dal comportamento degli occupanti negli ambienti. Infine, un

contributo significativo è rappresentato dalle condizioni di comfort desiderate e dunque dal fabbisogno di energia termica richiesto.

In tale contesto, potenziali azioni di miglioramento, potrebbero essere orientate ad effettuare degli studi combinati tra i comportamenti energetici ed il contesto socio-demografico degli occupanti. Inoltre, potrebbero essere implementate nuove funzionalità sul portale, come alert e avvisi agli utenti quando si registrano variazioni anomale degli indici di qualità.

Nel complesso, il lavoro di tesi si configura come uno strumento utile per porre solide basi dedicate agli studi futuri, che potranno essere sviluppati dai risultati e dalle osservazioni maturate durante gli anni del corso di Dottorato di Ricerca in metodi, modelli e tecnologie per l'ingegneria.

Bibliografia

- [1] UNEP, Energy Efficiency for Buildings; United Nations Environment Programme, New York, NY, USA, 2009.
- [2] R. Apanaviciene, A. Vanagas e Fokaides, P.A. Smart Building Integration into a Smart City (SBISC): Development of a New Evaluation Framework, *Energies* 2020, 13, 2190.
- [3] «Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 sull'efficienza energetica e che modifica il regolamento (UE) 2023/955 (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE),» 2023.
- [4] E. Commission. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en.
- [5] A. Shukla, K. Sudhakar, P. Baredar e R.Mamat, «BIPV based sustainable building in South Asian countries,» *Solar Energy*, vol. 170, pp. 1162-1170, 2018.
- [6] T. Ramachandra, «Renewable energy transition: Perspective and Challenges,» *Energy India 2020- A Shape of Things to come in Indian Energy Sector*, Saket Projects Ltd., Ahmedabad, pp. 175-183, 2020.
- [7] «Direttiva (UE) 2023/2413 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 18 ottobre 2023 che modifica la direttiva (UE) 2018/2001, il regolamento (UE) 2018/1999 e la direttiva n. 98/70/CE,» 2023.
- [8] «Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili,» 2018.
- [9] «Regolamento (UE) 2018/1999 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima che modifica le direttive (CE) n. 663/2009 e (CE) n. 715/2009 del Parlamento europeo e del Consi,» 2018.
- [10] E. Commission, 2022. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en#saving_energy.
- [11] United Nations Climate Change, «The Paris Agreement,» [Online]. Available: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.
- [12] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; Ministero dello Sviluppo Economico; Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti; Ministero delle Politiche agricole, Alimentari e Forestali, *Strategia Italiana Di Lungo Termine Sulla Riduzione Delle Emissioni Dei Gas A Effetto Serra*, 2021.
- [13] V., J. Reddy, N. Hariram, M. Ghazali e S. Kumarasamy, «Pathway to Sustainability: An Overview of Renewable Energy Integration in Building Systems,» *Sustainability*, 2024,16,638.
- [14] X. Xu, S. Yu, H. Sheng, Q. Li e S. Ni, «Feasibility Analysis of Nearly Zero-Energy Building Design Oriented to the Optimization of Thermal Performance Parameters,» *Buildings*, 2023,13,2478.

<https://doi.org/10.3390/buildings13102478>.

- [15] U. A. e. al., «From awareness to energy saving: using user engagement to change occupants' behaviour,» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 609 062008, 2019.
- [16] A. G. Prafitasiwi, M. Rohman e C. Ongkowijoyo, «The occupant's awareness to achieve energy efficiency in campus building,» Results in Engineering, vol. 14. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100397>, 2022.
- [17] C. Vogiatzi, G. Gemenetzi, L. Massou, S. Pouloupoulos, S. Papaefthimiou e E. Zervas, «Energy use and saving in residential sector and occupant behavior: A case study in Athens,» Energy and Buildings, vol. 181, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.039>, 2018.
- [18] S. Potrč, L. Čuček, M. Martin e Z. Kravanja, «Sustainable renewable energy supply networks optimization – The gradual transition to a renewable energy system within the Renewable and Sustainable Energy Reviews,» Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 146. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111186>, 2021.
- [19] S. A. Qadir; H. Al-Motairi; F. Tahir; L. Al-Fagih, «Incentives and strategies for financing the renewable energy transition: A review,» Energy Reports, vol. 7. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.06.041>, pp. 3590-3606, 2021.
- [20] R. York; S. E. Bell, «Energy transitions or additions?: Why a transition from fossil fuels requires more than the growth of renewable energy,» Energy Research & Social Science, vol. 51. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.008>, pp. 40-43, 2019.
- [21] H. Wang; G. Di Pietro; X. Wu; R. Lahdelma; V. Verda, «Renewable and Sustainable Energy Transitions for Countries with Different Climates and Renewable Energy Sources Potentials,» Energies, vol. 11. [doi:10.3390/en11123523](https://doi.org/10.3390/en11123523), 2018.
- [22] M. J. B. Kabeyi; O.A. Olanrewaju, «Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply,» Front. Energy Res. 9:743114., 2022. [doi: 10.3389/fenrg.2021.743114](https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.743114).
- [23] N. Mohammad; W.W.M. Ishak; S. I. Mustapa; B.V. Ayodele, «Natural Gas as a Key Alternative Energy Source in Sustainable Renewable Energy Transition: A Mini Review,» Front. Energy Res. 9:625023, 2021. [doi: 10.3389/fenrg.2021.625023](https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.625023).
- [24] I.C. Gil-García; M.S. García-Cascales; H. Dagher; A. Molina-García, «Electric Vehicle and Renewable Energy Sources: Motor Fusion in the Energy Transition from a Multi-Indicator Perspective,» Sustainability 2021, 13, 3430. <https://doi.org/10.3390/su13063430>.
- [25] A. Dall-Orsoletta; P. Ferreira; G. G. Dranka,, «Low-carbon technologies and just energy transition: Prospects for electric vehicles,» Energy Conversion and Management: X, 16, 2022, 100271. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100271>.
- [26] M. Ishaq; G. Ghouse; R. Fernández-González; F. Puime-Guillén; N. Tandir; H.M. Santos de Oliveira, «From Fossil Energy to Renewable Energy: Why is Circular Economy Needed in the Energy Transition?,» Front. Environ. Sci. 10:941791. [doi: 10.3389/fenvs.2022.941791](https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.941791).

- [27] O. Kraan; E. Chappin; G.J. Kramer; I. Nikolic, «The influence of the energy transition on the significance of key energy metrics,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 111. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.032>, pp. 215-223, 2019.
- [28] S: Hu; D. Yan; E. Azar; F.Guo, «A systematic review of occupant behavior in building energy policy,» *Building and Environment*, vol. 175, 2020, 106807. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106807>.
- [29] «Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 sull'efficienza energetica e che modifica il regolamento (UE) 2023/955,» 2023.
- [30] Ahmad, M. W., Mourshed, M., Yuce, B., & Rezgui, Y. (2016, August). Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review. In *Building Simulation* (Vol. 9, No. 4, pp. 359-398). Beijing: Tsinghua University Press.
- [31] Wei, T., Wang, Y., & Zhu, Q. (2017, June). Deep reinforcement learning for building HVAC control. In *Proceedings of the 54th annual design automation conference 2017* (pp. 1-6).
- [32] Oh, W., Acquisti, A., & Sia, C. L. (2018). ICT challenges and opportunities in building a “bright society”. *Journal of the Association for Information Systems*, 19(2), 4.
- [33] Pozas, B. M., Gamero, I. A., Domínguez, A. S., & De Castro, P. B. G. (2020). A methodology to improve energy efficiency and comfort conditions with low-cost ICTs in rural public buildings. *Sustainable cities and society*, 60, 102156.
- [34] David, M., Aubry, A., & Derigent, W. (2018). Towards energy efficient buildings: how ICTs can convert advances?. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 758-763.
- [35] Molnár, M., Andersson, R., & Ekholm, A. (2007). Benefits of ICT in the construction industry—characterization of the present situation in house-building processes. In *Proceedings of CIB W78 conference* (pp. 423-8).
- [36] Fracastoro, G. V., Virgone, J., Aghemo, C., Pellegrino, A., Blaso, L., Savoyat, J., & Johannes, K. (2012, May). Energy efficiency in public buildings through ICT based control and monitoring systems. In *IBPC Conference* (pp. 8-pages).
- [37] GhaffarianHoseini, A., Dahlan, N. D., Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & Makaremi, N. (2013). The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 593-607.
- [38] Aghemo, C., Virgone, J., Fracastoro, G. V., Pellegrino, A., Blaso, L., Savoyat, J., & Johannes, K. (2013). Management and monitoring of public buildings through ICT based systems: Control rules for energy saving with lighting and HVAC services. *Frontiers of Architectural Research*, 2(2), 147-161.
- [39] Karlessi, T., Kampelis, N., Kolokotsa, D., Santamouris, M., Standardi, L., Isidori, D., & Cristalli, C. (2017). The concept of smart and NZEB buildings and the integrated design approach. *Procedia engineering*, 180, 1316-1325.
- [40] Jacob, A., & Glory, J. (2025). Integration of Renewable Energy Systems into Smart Building Design: A Case Study of Net-Zero Energy Building (NZEB).

- [41] Siddique, M. T., Koukaras, P., Ioannidis, D., & Tjortjis, C. (2023). Smartbuild recsys: A recommendation system based on the smart readiness indicator for energy efficiency in buildings. *Algorithms*, 16(10), 482.
- [42] «Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sulla prestazione energetica nell'edilizia, (rifusione), (Testo rilevante ai fini del SEE)» 2024
- [43] European Commission: Directorate-General for the Information Society and Media, Vision and challenges for realising the Internet of things, Friess, P.(editor), Guillemin, P.(editor) and Sundmaeker, H.(editor), Publications Office, 2010, <https://data.europa.eu/doi/10.2759/26127>
- [44] Garzia, F.; Verbeke, S.; Pozza, C.; Audenaert, A. Meeting User Needs through Building Automation and Control Systems: A Review of Impacts and Benefits in Office Environments. *Buildings* 2023, 13, 2530. <https://doi.org/10.3390/buildings13102530>
- [45] Kyle A. Barber, Moncef Krarti, A review of optimization based tools for design and control of building energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 160, 2022, 112359, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112359>.
- [46] Kehinde Lawal, Hamed Nabizadeh Rafsanjani, Trends, benefits, risks, and challenges of IoT implementation in residential and commercial buildings, *Energy and Built Environment*, Volume 3, Issue 3, 2022, Pages 251-266, ISSN 2666-1233, <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.009>.
- [47] Zaied Shouran, Ahmad Ashari, Tri Kuntoro Priyaambodo, Internet of Things (IoT) of Smart Home: Privacy and Security, *International Journal of Computer Applications* (0975 - 8887), Volume 182 - No. 39, February 2019.
- [48] Kyle A. Barber, Moncef Krarti, A review of optimization based tools for design and control of building energy systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 160, 2022, 112359, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112359>.
- [49] W. Kastner, G. Neugschwandtner, S. Soucek and H. M. Newman, "Communication systems for building automation and control," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 93, no. 6, pp. 1178-1203, June 2005, doi: 10.1109/JPROC.2005.849726.
- [50] Pedro Domingues, Paulo Carreira, Renato Vieira, Wolfgang Kastner, Building automation systems: Concepts and technology review, *Computer Standards & Interfaces*, Volume 45, 2016, Pages 1-12, ISSN 0920-5489, <https://doi.org/10.1016/j.csi.2015.11.005>.
- [51] D. Snoonian, "Smart buildings," in *IEEE Spectrum*, vol. 40, no. 8, pp. 18-23, Aug. 2003, doi: 10.1109/MSPEC.2003.1222043.
- [52] Aliero, M. S., Asif, M., Ghani, I., Pasha, M. F., & Jeong, S. R. (2022). Systematic review analysis on smart building: challenges and opportunities. *Sustainability*, 14(5), Article 3009. <https://doi.org/10.3390/su14053009>.
- [53] Joaquim J.M. Galo, Maria N.Q. Macedo, Luiz A.L. Almeida, Antonio C.C. Lima, Criteria for smart grid

- deployment in Brazil by applying the Delphi method, *Energy*, Volume 70, 2014, Pages 605-611, ISSN 0360-5442,
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.033>.
- [54] Jennifer King, Christopher Perry, Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings, *Am. Counc. an Energy-Efficient Econ.* (2017).
 - [55] V. Fabi, G. Spigiantini, S.P. Corgnati, Insights on Smart Home Concept and Occupants' Interaction with Building Controls, in: *Energy Procedia*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.238>.
 - [56] L. Hernandez, C. Baladron, J.M. Aguiar, B. Carro, A.J. Sanchez-Esguevillas, J. Lloret, J. Massana, A survey on electric power demand forecasting: Future trends in smart grids, microgrids and smart buildings, *IEEE Commun. Surv. Tutorials.* (2014). <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.032014.00094>.
 - [57] Y. Liu, N. Yu, W. Wang, X. Guan, Z. Xu, B. Dong, T. Liu, Coordinating the operations of smart buildings in smart grids, *Appl. Energy.* (2018). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.089>.
 - [58] P. Ciholas, A. Lennie, P. Sadigova, J.M. Such, The security of smart buildings: A systematic literature review, *ArXiv.* (2019).
 - [59] J.L. Hernández-Ramos, M.V. Moreno, J.B. Bernabé, D.G. Carrillo, A.F. Skarmeta, SAFIR: Secure access framework for IoT-enabled services on smart buildings, in: *J. Comput. Syst. Sci.*, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2014.12.021>.
 - [60] C. Marche, M. Nitti, V. Pilloni, Energy efficiency in smart building: A comfort aware approach based on Social Internet of Things, in: *GIoTTS 2017 - Glob. Internet Things Summit, Proc.*, 2017. <https://doi.org/10.1109/GIOTS.2017.8016267>.
 - [61] E. Taveres-Cachat, S. Grynning, J. Thomsen, S. Selkowitz, Responsive building envelope concepts in zero emission neighborhoods and smart cities - A roadmap to implementation, *Build. Environ.* (2019). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.045>.
 - [62] I., A. Nurillaili, H. Amani, S.K.B. Pillai, Measuring Smart Building Readiness Index: A Study case of Bandung City, *J. Manaj. Indones.* (2020). <https://doi.org/10.25124/jmi.v20i2.3201>.
 - [63] Jie Shi, Nanpeng Yu, Weixin Yao, Energy Efficient Building HVAC Control Algorithm with Real-time Occpancy Prediction, *Energy Procedia*, Volume 111, 2017, Pages 267-276, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.028>.
 - [64] Maryam Gholamzadehmir, Claudio Del Pero, Simone Buffa, Roberto Fedrizzi, Niccolo' Aste, Adaptive-predictive control strategy for HVAC systems in smart buildings – A review, *Sustainable Cities and Society*, Volume 63, 2020, 102480, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102480>.
 - [65] T. Zakula, P.R. Armstrong, L. Norford, Modeling environment for model predictive control of buildings, *Energy and Buildings*, Volume 85, 2014, Pages 549-559, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.039>.

- [66] Boris Delač, Branimir Pavković, Kristian Lenić, Damir Mađerić, Integrated optimization of the building envelope and the HVAC system in nZEB refurbishment, *Applied Thermal Engineering*, Volume 211, 2022, 118442, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118442>.
- [67] Palaić, D.; Štajduhar, I.; Ljubic, S.; Wolf, I. Development, Calibration, and Validation of a Simulation Model for Indoor Temperature Prediction and HVAC System Fault Detection. *Buildings* 2023, 13, 1388. <https://doi.org/10.3390/buildings13061388>.
- [68] Mesut Avci, Murat Erkoç, Amir Rahmani, Shihab Asfour, Model predictive HVAC load control in buildings using real-time electricity pricing, *Energy and Buildings*, Volume 60, 2013, Pages 199-209, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.008>.
- [69] Ashish Pandharipande, David Caicedo, Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 4, 2011, Pages 944-950, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.018>.
- [70] B. Roisin, M. Bodart, A. Deneyer, P. D'Herdt, Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption, *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 4, 2008, Pages 514-523, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.006>.
- [71] M. Castro, A. J. Jara and A. F. G. Skarmeta, "Smart Lighting Solutions for Smart Cities," 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Barcelona, Spain, 2013, pp. 1374-1379, doi: 10.1109/WAINA.2013.254.
- [72] Thomas van de Werff, Harm van Essen, Berry Eggen, The impact of the internet of lighting on the office lighting value network, *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 11, 2018, Pages 29-40, ISSN 2452-414X, <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.03.002>.
- [73] Soheilian, M.; Fischl, G.; Aries, M. Smart Lighting Application for Energy Saving and User Well-Being in the Residential Environment. *Sustainability* 2021, 13, 6198. <https://doi.org/10.3390/su13116198>.
- [74] Elgizawy, E.M. The Effect of Green Facades in Landscape Ecology. *Procedia Environ. Sci.* 2016, 34, 119–130.
- [75] Zhou, J.; Chen, Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 1321–1328.
- [76] Gallo, P.; Romano, R. Adaptive Facades, Developed with Innovative Nanomaterials, for a Sustainable Architecture in the Mediterranean Area. *Procedia Eng.* 2017, 180, 1274–1283.
- [77] Mohtashami, N.; Fuchs, N.; Fotopoulou, M.; Drosatos, P.; Streblow, R.; Osterhage, T.; Müller, D. State of the Art of Technologies in Adaptive Dynamic Building Envelopes (ADBEs). *Energies* 2022, 15, 829. <https://doi.org/10.3390/en15030829>
- [78] Seyed Morteza Hosseini, Masi Mohammadi, Torsten Schröder, Olivia Guerra-Santin, Integrating interactive kinetic façade design with colored glass to improve daylight performance based on occupants' position, *Journal of Building Engineering*, Volume 31, 2020, 101404, ISSN 2352-7102,

<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101404>.

- [79] Amir Tabadkani, Astrid Roetzel, Hong Xian Li, Aris Tsangrassoulis, Design approaches and typologies of adaptive facades: A review, *Automation in Construction*, Volume 121, 2021, 103450, ISSN 0926-5805, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103450>.
- [80] J. Včelák, A. Vodička, M. Maška and J. Mrňa, "Smart building monitoring from structure to indoor environment," 2017 Smart City Symposium Prague (SCSP), Prague, Czech Republic, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/SCSP.2017.7973859.
- [81] Hnin Nu Thaung, Zaw Myo Tun, Hla Myo Tun, Automatic Energy Control And Monitoring System For Building, *International Journal Of Scientific & Technology Research* Volume 5, Issue 06, June 2016, ISSN 2277-8616 125 IJSTR©2016 www.ijstr.org
- [82] M.Z. Pomianowski, H. Johra, A. Marszal-Pomianowska, C. Zhang, Sustainable and energy-efficient domestic hot water systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 128, 2020, 109900, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109900>.
- [83] Simon Furbo, Elsa Andersen, Søren Knudsen, Niels Kristian Vejen, Louise Jivan Shah, Smart solar tanks for small solar domestic hot water systems, *Solar Energy*, Volume 78, Issue 2, 2005, Pages 269-279, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.022>.
- [84] P. Armstrong, D. Ager, I. Thompson, M. McCulloch, Domestic hot water storage: Balancing thermal and sanitary performance, *Energy Policy*, Volume 68, 2014, Pages 334-339, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.012>.
- [85] Canale, L.; De Monaco, M.; Di Pietra, B.; Puglisi, G.; Ficco, G.; Bertini, I.; Dell'Isola, M. Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian Residential Building Stock in Different Scenarios. *Energies* 2021, 14, 6442. <https://doi.org/10.3390/en14206442>
- [86] Jradi, M., Design and Smartness Evaluation of Building Automation and Management Systems in Danish Case Studies. In: Caetano, N.S., Felgueiras, M.C. (eds), 2023, The 9th International Conference on Energy and Environment Research. ICEER 2022. Environmental Science and Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-43559-1_5
- [87] Jae Yong Lee, Taesu Yim, Energy and flow demand analysis of domestic hot water in an apartment complex using a smart meter, *Energy*, Volume 229, 2021, 120678, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120678>.
- [88] Msamadya, S.; Joo, J.C.; Lee, J.M.; Lee, S.; Kim, S.; Go, H.W.; Lee, S.G. Estimated Impacts of Smart Water Meter Implementation on Domestic Hot Water Consumption and Related Greenhouse Gas Emissions from Case Studies. *Water* 2023, 15, 3045. <https://doi.org/10.3390/w15173045>
- [89] Joseph L Bongungu, Paul W Francisco, Stacy L Gloss and Ashlynn S Stillwell, Estimating residential hot water consumption from smart electricity meter data, 2022. Published by IOP Publishing Ltd Environmental

Research: Infrastructure and Sustainability, Volume 2, Number 4, Resource Consumption and Sustainability in the Built Environment. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac8ba2>

- [90] Gokul Chandrasekaran, Neelam Sanjeev Kumar, Chokkalingam A, Gowrishankar V, Neeraj Priyadarshi, Baseem Khan, IoT enabled smart solar water heater system using real time ThingSpeak IoT platform , First published: 11 June 2023. <https://doi.org/10.1049/rpg2.12760>.
- [91] T. Sonnekalb and S. Lucia, "Smart Hot Water Control with Learned Human Behavior for Minimal Energy Consumption," 2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Limerick, Ireland, 2019, pp. 572-577, doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767171.
- [92] M. Roux and M. J. Booysen, "Use of smart grid technology to compare regions and days of the week in household water heating," 2017 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), Cape Town, South Africa, 2017, pp. 276-283, doi: 10.23919/DUE.2017.7931855.
- [93] Chr. Lamnatou, D. Chemisana, C. Cristofari, Smart grids and smart technologies in relation to photovoltaics, storage systems, buildings and the environment, Renewable Energy, Volume 185, 2022, Pages 1376-1391, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.019>.
- [94] Jamshid Aghaei, Mohammad-Iman Alizadeh, Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 18, 2013, Pages 64-72, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.09.019>.
- [95] Michael Emmanuel, Ramesh Rayudu, Evolution of dispatchable photovoltaic system integration with the electric power network for smart grid applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 67, 2017, Pages 207-224, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.010>.
- [96] C. P. Guzmán, N. B. Arias, J. F. Franco, J. Soares, Z. Vale and R. Romero, "Boosting the Usage of Green Energy for EV Charging in Smart Buildings Managed by an Aggregator Through a Novel Renewable Usage Index," in IEEE Access, vol. 9, pp. 105357-105368, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3099426.
- [97] C. Marmaras, M. Corsaro, E. Xydias, L. M. Cipcigan and M. A. Pastorelli, "Vehicle-to-building control approach for EV charging," 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Cluj-Napoca, Romania, 2014, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPEC.2014.6934639.
- [98] E. Koivuniemi, J. Lepistö, P. Heine, S. Takala and S. Repo, "Smart EV charging in office buildings," CIRED 2020 Berlin Workshop (CIRED 2020), Online Conference, 2020, pp. 403-406, doi: 10.1049/oap-cired.2021.0073.
- [99] Dasheng Lee, Chin-Chi Cheng, Energy savings by energy management systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 56, 2016, Pages 760-777, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.067>.
- [100] Kudzin, A., Takayama, S. and Ishigame, A. (2025), Energy Management Systems (EMS) for a Decentralized Grid: A Review and Analysis of the Generation and Control Methods Impact on EMS Type and Topology. IET Renew. Power Gener., 19: e70008. <https://doi.org/10.1049/rpg2.70008>.

- [101] Basantes, J.A.; Paredes, D.E.; Llanos, J.R.; Ortiz, D.E.; Burgos, C.D. Energy Management System (EMS) Based on Model Predictive Control (MPC) for an Isolated DC Microgrid. *Energies* 2023, 16, 2912. <https://doi.org/10.3390/en16062912>.
- [102] Y. M. Wi, J. U. Lee and S. K. Joo, "Electric vehicle charging method for smart homes/buildings with a photovoltaic system," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 59, no. 2, pp. 323-328, May 2013, <https://doi.org/10.1109/TCE.2013.6531113>.
- [103] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, Feb. 2014, doi: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [104] E. Ferro, B. Caroleo, M. Leo, M. Osella, E. Pautasso, The Role of ICT in Smart Cities Governance, Business Model & Policy Innovation Unit, Istituto Superiore Mario Boella, Turin, Italy, CeDEM13, Conference for E-Democracy & Open Government, 2nd Edition, 22-24 May 2013, Danube University Krems, Austria.
- [105] «Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la Direttiva 2010/31/UE sulle prestazioni energetiche degli edifici e la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (Testo con rilevanza SEE)»
- [106] «Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n. 48. Attuazione della direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. (20G00066)»
- [107] «Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023 sull'efficienza energetica e che modifica il regolamento (UE) 2023/955 (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE)»
- [108] European Commission: Directorate-General for Energy and Vito, Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings – Final report, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/41100>.
- [109] LIFE21-CET-SMARTREADY-SRI-ENACT/101077201, Co-creating Tools and Services for Smart Readiness Indicator Uptake, © 2025 EUROPEAN COMMISSION - CINEA - D2
- [110] März Marzinger, T.; Österreicher, D. Supporting the Smart Readiness Indicator—A Methodology to Integrate A Quantitative Assessment of the Load Shifting Potential of Smart Buildings. *Energies* 2019, 12, 1955.
- [111] Janunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A., Junnila, S., Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries. *Buildings* 2019, 9(4), 102; <https://doi.org/10.3390/buildings9040102>.
- [112] Vigna, I.; Perneti, R.; Pernigotto, G.; Gasparella, A. Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation: A Comparative Case-Study with Two Panels of Experts. *Energies* 2020, 13, 2796.
- [113] Plienaitis, G.; Daukšys, M.; Demetriou, E.; Ioannou, B.; Fokaides, P.A.; Seduikyte, L. Evaluation of the Smart Readiness Indicator for Educational Buildings. *Buildings* 2023, 13, 888. <https://doi.org/10.3390/buildings13040888>
- [114] Vasilis Apostolopoulos, Paraskevi Giourka, Georgios Martinopoulos, Komninos Angelakoglou, Konstantinos

- Kourtzanidis, Nikolaos Nikolopoulos, Smart readiness indicator evaluation and cost estimation of smart retrofitting scenarios - A comparative case-study in European residential buildings, *Sustainable Cities and Society*, Volume 82, 2022, 103921, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103921>.
- [115] Federico Garzia, Giovanni Pernigotto, Diego Menegon, Luca Finozzi, Ulrich Klammersteiner, Andrea Gasparella, Assessment of the potential correlation between Smart Readiness Indicator and energy performance in a dataset of buildings in South Tyrol, *Energy and Buildings*, Volume 321, 2024, 114623, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114623>
- [116] UNI EN ij-1:2017, Prestazione energetica degli edifici - Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici - Moduli M10-4,5,6,7,8,9,10.
- [117] International Energy Agency, Energy Efficiency: Buildings. The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis. Available at: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/> (last accessed: August 2019), (2019).
- [118] E. Fuentes, L. Arce, J. Salom, A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis, *Renew. Sustain. Energy Rev.* (2018). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>.
- [119] Sborz, J.; Kalbusch, A.; Henning, E. A Review on Domestic Hot Water Consumption in Social Housing. *Water* 2022, 14, 2699. <https://doi.org/10.3390/w14172699>
- [120] John C. Evarts, Lukas G. Swan, Domestic hot water consumption estimates for solar thermal system sizing, *Energy and Buildings*, Volume 58, 2013, Pages 58-65, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.020>.
- [121] Silvia Minetto, Theoretical and experimental analysis of a CO2 heat pump for domestic hot water, *International Journal of Refrigeration*, Volume 34, Issue 3, 2011, Pages 742-751, ISSN 0140-7007, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2010.12.018>.
- [122] Hong, B. and Howarth, R.W. (2016), Greenhouse gas emissions from domestic hot water: heat pumps compared to most commonly used systems. *Energy Sci Eng*, 4: 123-133. <https://doi.org/10.1002/ese3.112>
- [123] Shixiang Lu, Jili Zhang, Ruobing Liang, Experimental research on the vapor injected photovoltaic-thermal heat pump for heating, power generation and refrigeration, *Energy Conversion and Management*, Volume 257, 2022, 115452, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115452>.
- [124] José Fernández-Seara, Francisco J. Uhía, Ángel Á. Pardiñas, Santiago Bastos, Experimental analysis of an on demand external domestic hot water production system using four control strategies, *Applied Energy*, Volume 103, 2013, Pages 85-96, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.030>.
- [125] Barbu, M.; Darie, G.; Siroux, M. A Parametric Study of a Hybrid Photovoltaic Thermal (PVT) System Coupled with a Domestic Hot Water (DHW) Storage Tank. *Energies* 2020, 13, 6481. <https://doi.org/10.3390/en13246481>.

- [126] P. Armstrong, D. Ager, I. Thompson, M. McCulloch, Domestic hot water storage: Balancing thermal and sanitary performance, *Energy Policy*, Volume 68, 2014, Pages 334-339, ISSN 0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.012>.
- [127] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI 9182:2014
Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo.
- [128] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI EN 806: progettazione e installazione di impianti idrici domestici.
- [129] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI 9182:2018.- Impianti di alimentazione e distribuzione d'acqua fredda e calda - Progettazione, installazione e collaudo.
- [130] Ente Italiano di Normazione (UNI), UNI EN 806-1:2008. Specifiche relative agli impianti all'interno di edifici per il convogliamento di acque destinate al consumo umano - Parte 1: Generalità.
- [131] José Fernández-Seara, Francisco J. Uhía, Ángel Á. Pardiñas, Santiago Bastos,
Experimental analysis of an on demand external domestic hot water production system using four control strategies, *Applied Energy*, Volume 103, 2013, Pages 85-96, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.030>.
- [132] Hendron, R. and Burch, J. (2008) Development of Standardized Domestic Hot Water Event Schedules for Residential Buildings. ASME 2007 Energy Sustainability Conference, Long Beach, 27-30 July 2007, 253-272.
- [133] Matteo Dongellini, Stefania Falcioni, Gian Luca Morini, Dynamic Simulation of Solar Thermal Collectors for Domestic Hot Water Production, *Energy Procedia*, Volume 82, 2015, Pages 630-636, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.012>.
- [134] Skai Edwards, Ian Beausoleil-Morrison, André Laperrière,
Representative hot water draw profiles at high temporal resolution for simulating the performance of solar thermal systems, *Solar Energy*, Volume 111, 2015, Pages 43-52, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.10.026>.
- [135] Juliana Benoni Arruda Lima, Racine T.A. Prado, Vanessa Montoro Taborianski,
Optimization of tank and flat-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program, *Renewable Energy*, Volume 31, Issue 10, 2006, Pages 1581-1595, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.09.006>.
- [136] Napoleon Enteria, Hiroshi Yoshino, Rie Takaki, Akashi Mochida, Akira Satake, Seizo Baba, Hideki Ishihara, Ryuichiro Yoshie, Case analysis of utilizing alternative energy sources and technologies for the single family detached house, *Solar Energy*, Volume 105, 2014, Pages 243-263, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.03.005>.
- [137] Z. Pang, Z. O'Neill, Uncertainty quantification and sensitivity analysis of the domestic hot water usage in hotels, *Appl. Energy*. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.221>.
- [138] EN 1434-3:2025

- [139] CEI UNI EN 13757-2 Classificazione CEI: 57-80 -Sistemi di comunicazione per contatori e di lettura a distanza dei contatori
- [140] J. Terés-Zubiaga, E. Pérez-Iribarren, I. González-Pino, J.M. Sala, Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates, *Energy Conversion and Management*, Volume 171, 2018, Pages 491-506, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.013>.
- [141] Tomasz Cholewa, Alicja Siuta-Olcha, Long term experimental evaluation of the influence of heat cost allocators on energy consumption in a multifamily building, *Energy and Buildings*, Volume 104, 2015, Pages 122-130, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.083>.
- [142] Paweł Michnikowski, Allocation of heating costs with consideration to energy transfer from adjacent apartments, *Energy and Buildings*, Volume 139, 2017, Pages 224-231, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.020>.
- [143] Simon Siggelsten, Reallocation of heating costs due to heat transfer between adjacent apartments, *Energy and Buildings*, Volume 75, 2014, Pages 256-263, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.022>.
- [144] Hedegaard, Rasmus & Kristensen, Martin & Petersen, Steffen. (2020). Experimental validation of a model-based method for separating the space heating and domestic hot water components from smart-meter consumption data. *E3S Web of Conferences*. 172. 12001. 10.1051/e3sconf/202017212001.
- [145] Anders Nilsson, Misse Wester, David Lazarevic, Nils Brandt, Smart homes, home energy management systems and real-time feedback: Lessons for influencing household energy consumption from a Swedish field study, *Energy and Buildings*, Volume 179, 2018, Pages 15-25, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.026>.
- [146] L. O. AlAbdulkarim and Z. Lukszo, "Smart metering for the future energy systems in the Netherlands," 2009 Fourth International Conference on Critical Infrastructures, Linköping, Sweden, 2009, pp. 1-7, doi: 10.1109/CRIS.2009.5071484.
- [147] Decisione [2002/358/CE](#) del Consiglio, del 25 aprile 2002, relativa all'approvazione, in nome della Comunità europea, del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici e l'esecuzione congiunta degli impegni che ne derivano.
- [148] F. Benzi, N. Anglani, E. Bassi and L. Frosini, "Electricity Smart Meters Interfacing the Households," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 10, pp. 4487-4494, Oct. 2011, doi: 10.1109/TIE.2011.2107713.
- [149] Simula, Laurent & Trannoy, Alain. (2007). Optimal Non-linear Income Tax When Highly Skilled Individuals Vote with Their Feet.
- [150] K. Christakou, J. -Y. LeBoudec, M. Paolone and D. -C. Tomozei, "Efficient Computation of Sensitivity

- Coefficients of Node Voltages and Line Currents in Unbalanced Radial Electrical Distribution Networks," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 2, pp. 741-750, June 2013, doi: 10.1109/TSG.2012.2221751.
- [151] Simon Furbo, Elsa Andersen, Søren Knudsen, Niels Kristian Vejen, Louise Jivan Shah, Smart solar tanks for small solar domestic hot water systems, *Solar Energy*, Volume 78, Issue 2, 2005, Pages 269-279, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.08.022>.
- [152] Abdelkarim Tahiri, Kevin Michael Smith, Jan Eric Thorsen, Christian Anker Hviid, Svend Svendsen, Staged control of domestic hot water storage tanks to support district heating efficiency, *Energy*, Volume 263, Part B, 2023, 125493, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125493>.
- [153] M.W. Jack, K. Suomalainen, J.J.W. Dew, D. Eyers, A minimal simulation of the electricity demand of a domestic hot water cylinder for smart control, *Applied Energy*, Volume 211, 2018, Pages 104-112, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.044>.
- [154] Bernardo, Luis R. "Retrofitting conventional electric domestic hot water heaters to solar water heating systems in single-family houses—Model validation and optimization." *Energies* 6.2 (2013): 953-972.
- [155] Shehadeh, Shadi H., et al. "An intelligent load management application for solar boiler system." *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 38 (2020): 100644.
- [156] Aminat Razaq, Michael W. Jack, An inverse-problem approach to simulating smart control of domestic electric hot water cylinders using electricity demand time-series data., *Energy and Buildings*, Volume 278, 2023, 112644, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112644>.
- [157] Youssef E. Tohamy, Youssef E. Nehad, Raed T. Kayali, Tadrour M. Melad, Ashraf A. Zaher, "Eco-friendly Water-Based Air Conditioning System", 2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), pp.519-524, 2022.
- [158] Slimene, M.B., Khlifi, M.A. A hybrid renewable energy system with advanced control strategies for improved grid stability and power quality. *Sci Rep* 15, 23445 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06091-w>
- [159] Ministero dello Sviluppo Economico, Decreto del 26 giugno 2015 "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici," (2015)
- [160] ISTAT, Censimento Popolazione Abitazioni. 2011. Disponibile online: <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?lang=it> (consultato il 16 giugno 2021)
- [161] Gellings, Clark W., and Kelly E. Parmenter. "Demand-side management." *Energy management and conservation Handbook*. CRC Press, 2016. 399-420.
- [162] Guelpa, Elisa, and Vittorio Verda. "Demand response and other demand side management techniques for district heating: A review." *Energy* 219 (2021): 119440.
- [163] Palensky, Peter, and Dietmar Dietrich. "Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads." *IEEE transactions on industrial informatics* 7.3 (2011): 381-388.

- [164] Petropoulos, Fotios, et al. "Forecasting: theory and practice." *International Journal of forecasting* 38.3 (2022): 705-871.
- [165] Islam, M. A., et al. "Energy demand forecasting." *Energy for sustainable development*. Academic Press, 2020. 105-123.
- [166] European Commission. Commission Delegated Regulation of 14.10.2020 Supplementing Directive (EU) 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council by Establishing an Optional Common European Union Scheme for Rating the Smart Readiness of Buildings; 6930 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.
- [167] European Commission. Commission Implementing Regulation (UE) of 14.10.2020 Detailing the Technical Modalities for the Effective Implementation of an Optional Common Union Scheme for Rating the Smart Readiness of Buildings; 6929 Final; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.
- [168] ENEA - Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, L'energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile. Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2020. 2020. Disponibile online: <https://www.energiaenergetica.enea.it/pubblicazioni/raee-rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica/rapporto-annuale-sull-efficienza-energetica-2021.html>
- [169] Ramezani, B.; da Silva, M.G.; Simõesac, N. Application of smart readiness indicator for Mediterranean buildings in retrofitting actions. *Energy Build.* 2021, 249, 111173.
- [170] Becchio, C.; Corgnati, S.P.; Crespi, G.; Pinto, M.C.; Viazzo, S. Exploitation of dynamic simulation to investigate the effectiveness of the Smart Readiness Indicator: Application to the Energy Center building of Turin. *Sci. Technol. Built Environ.* 2021, 27, 1127–1143.
- [171] LEGGE 30 marzo 1976, n. 373 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici". *Gazzetta Ufficiale Serie Generale* n.148 del 07-06-1976.
- [172] DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 26 agosto 1993, n. 412 Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10. *Gazzetta Ufficiale, Serie Generale* n.242 del 14-10-1993—Suppl. Ordinario n. 96.
- [173] DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 2 aprile 2009, n. 59 Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia. (09G0068) *Gazzetta Ufficiale, Serie Generale* n.132 del 10-06-2009.
- [174] Italian Republic, Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n. 102 Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE; 2014.
- [175] Canale, L.; Dell'Isola, M.; Ficco, G.; Di Pietra, B.; Frattolillo, A. Estimating the impact of heat accounting on

Italian residential energy consumption in different scenarios. *Energy Build.* 2018, 168, 385–398.

- [176] ENEA - Caratterizzazione del parco edilizio nazionale - Determinazione dell'edificio tipo per uso ufficio]
- [177] Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010 , sulla prestazione energetica nell'edilizia.
- [178] Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012 , sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE Testo rilevante ai fini del SEE
- [179] Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- [180] Aste, N., Manfren, M., & Marenzi, G. (2017). Building Automation and Control Systems and performance optimization: A framework for analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 313–330. doi:10.1016/j.rser.2016.10.072
- [181] L.C. Felius, M. Hamdy, B.D. Hrynyszyn and F. Dessen, The impact of building automation control systems as retrofitting measures on the energy efficiency of a typical Norwegian single-family house, Published under licence by IOP Publishing Ltd, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 410, Sustainability in the built environment for climate change mitigation: SBE19 Thessaloniki 23–25 October 2019, Thessaloniki, Greece, DOI 10.1088/1755-1315/410/1/012054
- [182] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia - GU L 1 del 4.1.2003, pp. 65–71
- [183] DECRETO LEGISLATIVO 4 luglio 2014, n. 102
Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE
- [184] DECRETO LEGISLATIVO 14 luglio 2020, n. 73
Attuazione della direttiva (UE) 2018/2002 che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica
- [185] UNI 10200:2018
Impianti termici centralizzati di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria - Criteri di ripartizione delle spese di climatizzazione invernale, estiva e produzione di acqua calda sanitaria
- [186] EN 834:2013
Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators - Appliances with electrical energy supply
- [187] L. Canale, M. Dell'Isola, G. Ficco, T. Cholewa, S. Siggelsten, I. Balen,
A comprehensive review on heat accounting and cost allocation in residential buildings in EU, *Energy and Buildings*,
Volume 202, 2019, 109398, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109398>.

- [188] T. Cholewa, M. Dell'Isola, L. Canale, G. Ficco, P. Michnikowski, A. Siuta-Oлча, A. Olszewska, G. Sadowska, M. R. Dudzińska, On the influence of heat cost allocation on operation of heating system in buildings and possible, additional decrease of supply temperature, *Energy and Buildings*, Volume 254, 2022, 111599, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111599>.
- [189] Herrmann, M.R., Costanza, E., Brumby, D.P. et al. Exploring domestic energy consumption feedback through interactive annotation. *Energy Efficiency* 14, 90 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12053-021-09999-0>
- [190] L.Canale, G.Ficco, I. Bertini, M. Dell'Isola, About the effect of tailored energy feedback on space heating consumption and indoor air temperature in social housing buildings: An experimental investigation, *Energy and Buildings*, Volume 292, 2023, 113149, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113149>.
- [191] R. Agarwal, M. Garg, D. Tejaswini, V. Garg, P. Srivastava, J. Mathur, R. Gupta, A review of residential energy feedback studies, *Energy and Buildings*, Volume 290, 2023, 113071, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113071>.
- [192] C.Fischer, Feedback on household electricity consumption: a tool for saving energy? *Energy Efficiency*, 1(1), 79–104. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7>
- [193] S. Darby, The effectiveness of feedback on energy consumption: A review for DEFRA of the literature on metering, billing and direct displays. Environmental Change Institute, University of Oxford.
- [194] Hargreaves, T., Nye, M., & Burgess, J., Keeping energy visible? Exploring how householders interact with feedback from smart energy monitors in the longer term. *Energy Policy*, 52, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.027>
- [195] Kontokosta, C. E., & Tull, C. A data-driven predictive model of city-scale energy use in buildings. *Applied Energy*, 197, 303–317. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.04.005>
- [196] Beillan, V., Battaglini, A., Heat cost allocation in buildings connected to district heating networks: Overview and perspectives. *Energy and Buildings*, 199, 65–77.
- [197] S. Karjalainen, Consumer preferences for feedback on household electricity consumption, *Energy and Buildings*, Volume 43, Issues 2–3, 2011, Pages 458-467, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.10.010>.
- [198] UNI 11300-1 Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- [199] B. Di Pietra, L. La Notte, G. Landi, A.L. Palma, A. Ciappa, E. Monno M. De Monaco, Progettazione di nuove architetture dell'impianto ibrido sperimentale e di una nuova piattaforma per migliorare la consapevolezza dei consumi nei condomini dotati di sistemi di contabilizzazione individuale smart, Report RdS/PTR2021/127 (Dicembre 2021)

Appendice

Appendice A. Indicazione tabellare dei domini tecnici riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione meccanica.

Heating - 1a	Heat emission control	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico centrale	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo individuale per camera	++	0	++	++	0	0	0
Livello 3	Controllo individuale per camera con comunicazione tra il controllore e il sistema BACS	++	0	++	+++	0	+	0
Livello 4	Controllo individuale per stanza con comunicazione BACS e controllo presenza	+++	0	++	+++	0	+	0

Tabella a. Controllo dell'emissione - Heating -1a

Heating - 1b	Controllo emissione per i TABS	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico centrale	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico avanzato	+	0	+	++	0	0	0

Livello 3	Controllo centrale automatico avanzato intermittente e/o controllo mediante feedback	++	0	++	+++	0	+	+
-----------	--	----	---	----	-----	---	---	---

Tabella a1. Controllo dell'emissione per sistemi TABS (Thermal Activated Building Systems) - Heating-1b

Heating - 1c	Controllo della temperatura del fluido di distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo compensazione con temperatura esterna	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo Demand Based	++	0	+	++	0	+	0

Tabella a2. Controllo della temperatura del fluido di distribuzione (mandata e ritorno di aria o acqua) - funzioni simili sono applicabili al controllo delle reti di riscaldamento elettrico diretto - Heating 1-c

Heating - 1d	Controllo delle pompe di distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo on/off	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Controllo multistadio	++	0	++	0	0	0	0
Livello 3	Controllo a velocità variabile mediante segnali interni	+++	0	+++	0	0	0	0
Livello 4	Controllo a velocità variabile mediante segnali esterni dalla rete	+++	0	+++	0	0	0	0

Tabella a3. Controllo delle pompe di distribuzione - Heating - 1d

Heating - 1e	Controllo intermittente di emissione e/o distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti

Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico con programma fisso	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico con start/stop	++	0	++	++	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico con valutazione della domanda	+++	0	+++	+++	0	0	0

Tabella a4. Controllo intermittente di emissione e/o distribuzione - Heating - 1e

Heating - 1f	Thermal Energy Storage	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo continuo dell'accumulo	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo schedulato dell'accumulo	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Gestione dell'accumulo predittivo in base ai carichi	++	0	+	0	0	0	0

Tabella a5. Thermal Energy Storage - Heating-1f

Heating - 1g	Controllo del preriscaldamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Programmazione avanzata	+	0	+	0	0	0	+
Livello 2	Termostato con autoapprendimento in base ai comportamenti utente (presenza, setpoint)	++	0	++	0	0	0	+

Tabella a6. Controllo del preriscaldamento - Heating - 1g

Heating - 2a	Controllo delle pompe di distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti

Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo on/off	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Controllo multistadio	++	0	++	0	0	0	0
Livello 3	Controllo a velocità variabile mediante segnali interni	+++	0	+++	0	0	0	0
Livello 4	Controllo a velocità variabile mediante segnali esterni dalla rete	+++	0	+++	0	0	0	0

Tabella a7. Controllo della temperatura del generatore (tutti eccetto pompe di calore) - Heating - 2a

Heating - 2b		Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo on/off	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Controllo multistadio	++	0	++	0	0	0	0
Livello 3	Controllo a velocità variabile mediante segnali interni	+++	0	+++	0	0	0	0

Tabella a8. Controllo della temperatura del generatore (per pompe di calore) - Heating - 2b

Heating - 2c		Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico basato sui segnali esterni dalla rete	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo in base ai segnali esterni della rete (tariffa, disponibilità delle rinnovabili, etc...)	+	++	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo in base ai segnali esterni della rete e ai segnali interni (temperatura, previsione della	++	++	+	+	0	0	0

	domanda etc.)							
--	---------------	--	--	--	--	--	--	--

Tabella a9. Controllo dei sistemi di riscaldamento in base ai segnali esterni della rete - Heating - 2c

Heating - 2d	Sequenza di generatori multipli	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Priorità basata unicamente sul tempo di esecuzione	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo basato su priorità stabilite (es. pompa di calore prioritaria per acqua calda)	+	0	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo basato su una lista di priorità dinamica (in base all'efficienza corrente e alla capacità del generatore, es. ssolare, geotermica, cogenerazione, fonti fossili)	++	0	0	0	0	0	0
Livello 3	Controllo basato su una lista di priorità dinamica ((basata su carichi, efficienza, capacità di generazione attuali e previsti)	+++	0	0	0	0	0	0
Livello 4	Controllo basato su una lista di priorità dinamica (basata su carichi , efficienza, capacità di generazione e segnali esterni dalla rete attuali e previsti)	+++	++	0	0	0	0	0

Tabella a10. Sequenza di generatori multipli -Heating - 2d

Heating - 2e	Controllo in sito dell'energia termica recuperata nel sistema di riscaldamento (es. eccesso di calore dai data centers)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti

Livello 0	Nessun recupero di energia termica	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Recupero di energia termica basato su controllo on/off	+	0	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo variabile dell'energia termica recuperata (potenza di modulazione basata sulle necessità e sul residuo disponibile)	++	0	0	0	0	0	0
Livello 3	Controllo variabile dell'energia termica recuperata con possibilità di immagazzinare l'eccesso di energia termica)	+++	++	0	0	0	0	0

Tabella a11. Controllo in sito dell'energia termica recuperata nel sistema di riscaldamento (es. eccesso di calore dai data centers) -Heating - 2e

Heating - 3	Reporting sulle performance del sistema di riscaldamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Report dei valori attuali (es. temperature)	+	0	0	0	0	+	+
Livello 2	Report dei valori attuali e storici	+	0	0	0	0	+	++
Livello 3	Valutazione delle performance mediante forecasting e/o benchmarking	+	0	0	0	0	+	+++
Livello 4	Valutazione delle performance mediante forecasting e/o benchmarking; includendo anche gestione predittiva e individuazione dei guasti	+	0	0	+	0	++	+++

Tabella a12. Reporting sulle performance del sistema di riscaldamento - Heating - 3

Heating - 4	Controllo del Demand Side Management	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Non presente	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Demand Side Management del sistema di riscaldamento	0	++	0	0	0	0	0

Tabella a13. Controllo del Demand Side Management - Heating - 4

Acqua calda sanitaria (DHW)

Il dominio è costituito da 7 servizi smart ready::

DHW - 1a	Controllo della ricarica di accumulo dell'acqua calda sanitaria (con riscaldamento diretto elettrico o pompa di calore elettrica integrata)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo automatico on/off	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico on/off e ricarica programmata	+	+	0	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico on/off e ricarica programmata e gestione mediante sensori	++	+	0	++	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico basato su disponibilità locale di rinnovabili o informazioni dalla rete elettrica (DR,DSM)	++	++	0	++	0	0	0

Tabella b. Controllo della ricarica di accumulo dell'acqua calda sanitaria (con riscaldamento diretto elettrico o pompa di calore elettrica integrata) -DHW-1a

DHW - 1b	Controllo della ricarica di accumulo dell'acqua calda sanitaria (sistemi non elettrici)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo automatico on/off	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico on/off e ricarica programmata	+	0	0	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico on/off e ricarica programmata e gestione mediante sensori	++	+	0	++	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico basato su disponibilità locale di rinnovabili o informazioni dalla rete elettrica (DR,DSM)	++	++	0	++	0	0	0

Tabella b1. Controllo della ricarica di accumulo dell'acqua calda sanitaria (sistemi non elettrici) -DHW-1b

DHW - 1c	Controllo della temperatura di accumulo dell'acqua calda sanitaria (sistemi non elettrici o elettrici)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo manuale con ricarica della pompa on/off	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico con ricarica della pompa on/off o riscaldamento elettrico temporizzato)	+	+	0	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico con ricarica della pompa on/off o riscaldamento elettrico temporizzato) e	++	++	0	++	0	0	0

	gestione mediante sensori multipli							
Livello 3	Controllo automatico con ricarica della pompa on/off o riscaldamento elettrico temporizzato) e gestione mediante sensori multipli e demand-oriented	+++	+++	0	++	0	0	0

Tabella b2. Controllo della temperatura di accumulo dell'acqua calda sanitaria (sistemi non elettrici o elettrici) -DHW-

1c

DHW - 1d	Controllo della ricarica di accumulo dell'acqua calda sanitaria (con collettori solari o generazione supplementare)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo manuale	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico dell'accumulo solare (priorità 1) e ricarica dell'accumulo supplementare	+	0	0	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico dell'accumulo solare (priorità 1) e ricarica dell'accumulo supplementare e ricarica demand-oriented o a gestione con sensori multipli	++	0	0	++	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico dell'accumulo solare (priorità 1) e ricarica dell'accumulo supplementare e ricarica demand-oriented o a gestione con sensori multipli e controllo della temperatura di ritorno	+++	0	0	++	0	0	0

Tabella b3. Controllo della temperatura di accumulo dell'acqua calda sanitaria (collettori solari o generazione supplementare) -DHW-1d

DHW - 2	Controllo della pompa di circolazione dell'acqua calda sanitaria	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo con programma di switch	+	0	0	+	0	0	0
Livello 2	Controllo basato sulla domanda	++	0	0	++	0	0	0

Tabella b4. Controllo della pompa di circolazione dell'acqua calda sanitaria -DHW-2

DHW - 3	Reporting sulle performance del sistema di acqua calda sanitaria	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Indicazione dei valori attuali	+	0	0	0	0	+	+
Livello 2	Valori attuali e storici	+	0	0	0	0	+	++
Livello 3	Forecasting o benchmarking	+	0	0	0	0	+	+++
Livello 4	Forecasting o benchmarking, inclusa gestione predittiva e identificazione dei guasti	+	0	0	0	0	++	+++

Tabella b5. Reporting sulle performance del sistema di acqua calda sanitaria -DHW-3

DHW - 4	Controllo del DSM	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Demand Side Management per la gestione dell'acqua calda sanitaria	0	++	0	0	0	0	0

Tabella b6. Controllo del Demand Side Management (DSM) -DHW-4

Raffrescamento

Il dominio Raffrescamento ("cooling") è costituito da 11 servizi smart ready di seguito elaborati nelle Tabelle 37-47:

Cooling - 1a	Controllo emissione del raffrescamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico centrale	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo individuale per stanza	+	0	+	+	0	0	0
Livello 3	Controllo individuale per stanza con comunicazione tra i controllori di impianto e il BACS	++	0	++	+++	0	+	0
Livello 4	Controllo individuale della stanza con comunicazione BACS e controllo presenza	+++	0	++	+++	0	++	0

Tabella 37. Controllo emissione del raffrescamento - Cooling - 1a

Cooling - 1b	Controllo emissione del raffrescamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico centrale	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico avanzato centralizzato	+	0	+	+	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico avanzato centralizzato con funzionamento intermittente e /o controllo di temperatura della stanza mediante feedback	++	0	++	++	0	+	+

Tabella 38. Controllo emissione raffrescamento per i TABS - Cooling - 1b

Cooling - 1c	Controllo della temperatura di mandata e ritorno nel sistema di distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo a temperatura costante	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo basato sulla compensazione con la temperatura esterna	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo basato sulla domanda	+	0	+	+	0	0	0

Tabella 39. Controllo della temperatura di mandata e ritorno nel sistema di distribuzione - Cooling - 1c

Cooling - 1d	Controllo delle pompe di	Criteri di impatto						
--------------	--------------------------	--------------------	--	--	--	--	--	--

	distribuzione nella rete							
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo on/off	+	0	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo multistadio	++	0	0	0	0	0	0
Livello 3	Controllo variabile della velocità di rotazione (da segnali interni alla pompa)	+++	0	0	0	0	0	0
Livello 4	Controllo variabile della velocità di rotazione (da segnali di domanda esterni alla pompa)	+++	0	0	0	0	0	0

Tabella 40. Controllo delle pompe di distribuzione nella rete - Cooling - 1d

Cooling - 1e	Controllo intermittente dell'emissione e/o della distribuzione	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo automatico con programma impostato	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Controllo automatico con optimum start and stop	++	0	+	+	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico dipendente dalla valutazione della domanda	+++	0	+	+	0	0	0

Tabella 41. Controllo intermittente dell'emissione e/o della distribuzione - Cooling- 1e

Cooling - 1f	Interblocco tra riscaldamento e raffreddamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0

Livello 1	Interblocco parziale	+	0	+	+	0	0	0
Livello 2	Interblocco totale	++	0	+	+	0	0	0

Tabella 42. Interblocco tra riscaldamento e raffrescamento - Cooling- 1f

Cooling - 1g	TES (Thermal Energy Storage)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Funzionamento continuo	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Fuzionamento di ricarica dello storage con programmazione oraria	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Fuzionamento di ricarica dello storage in base alla previsione del carico	++	0	+	0	0	0	0

Tabella 43. TES (Thermal Energy Storage) - Cooling - 1g

Cooling - 2a	Controllo del generatore per il raffrescamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo a temperatura costante	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo a temperatura variabile in base alla temperatura esterna	+	0	+	0	0	0	0
Livello 2	Controllo a temperatura variabile in base al carico	++	0	++	0	0	0	0

Tabella 44. Controllo del generatore per il raffrescamento - Cooling 2a

Cooling - 2b	Sequenza di generatori multipli per il raffrescamento	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti

Livello 0	Priorità basata unicamente sul tempo di esecuzione	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo basato su priorità stabilite	+	+	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo basato su priorità stabilite basate sull'efficienza del generatore o dalle caratteristiche	+	+	0	0	0	0	0
Livello 3	Controllo basato sulla previsione di carico	+	+	0	0	0	0	0

Tabella 44. Controllo del generatore per il raffrescamento - Cooling 2a

Cooling - 3		Sistema di reporting per il raffrescamento						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Valori attuali	+	0	0	0	0	+	+
Livello 2	Valori attuali e storici	+	0	0	0	0	+	++
Livello 3	Forecasting-Benchmarking	+	0	0	0	0	+	+++
Livello 4	Forecasting-Benchmarking includendo individuazione dei guasti e gestione predittiva	+	0	0	+	0	++	+++

Tabella 45. Sistema di reporting per il raffrescamento - Cooling -3

Cooling - 3		Controllo del DMS per il raffrescamento						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessuno	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Demand Side Management	0	++	0	0	0	0	0

Tabella 46. Controllo del DSM per il raffrescamento

17. Ventilazione meccanica

Il dominio ventilazione meccanica comprende 11 servizi tecnici (Tabelle 47-57) tra cui il controllo dell'umidità indoor, la prevenzione del gelo ed i sistemi di freecooling integrati.

Ventilation - 1a	Controllo della ventilazione a livello ambiente	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo manuale	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo orario	+	0	+	+	+	0	0
Livello 2	Controllo basato sull'individuazione della presenza degli occupanti	+	0	++	++	++	0	0
Livello 3	Controllo centrale della ventilazione meccanica basata su sensori di qualità dell'aria (anidride carbonica, VOC, umidità...)	++	0	+++	+++	+++	0	0
Livello 4	Controllo locale della ventilazione meccanica basata su sensori di qualità dell'aria (CO ₂ , VOC,...) con regolazione locale della portata in aspirazione e in immissione	+++	0	+++	+++	+++	0	0

Tabella 47. Controllo della ventilazione a livello ambientale - Ventilation - 1a

Ventilation - 1b	Controllo del flusso di aria esausta verso l'esterno	Criteri di impatto
------------------	--	--------------------

Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Funzionamento fisso	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Programmazione oraria	+	0	+	+	+	0	0
Livello 2	Programmazione in base alla presenza	+	0	++	++	++	0	0
Livello 3	Controllo variabile	++	0	+++	++	++	0	0

Tabella 48. Controllo del flusso di aria esausta verso l'esterno - Ventilation - 1b

Ventilation - 1c	Controllo dei parametri di flusso per le unità di trattamento aria	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Nessun controllo automatico	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo orario on/off della ventilazione: erogazione della massima portata in corrispondenza dell'orario nominale di occupazione di tutti gli ambienti	+	0	0	0	0	0	0
Livello 2	Controllo multi-stadio per la riduzione dei consumi elettrici ausiliari (es. ventole)	++	0	0	0	0	0	0
Livello 3	Controllo automatico della portata o della pressione senza ripristino del livello di pressione: portata erogata dipendente dal fabbisogno di tutte le stanze connesse	+++	0	0	0	0	0	0
Livello 4	Controllo automatico della portata o della pressione con ripristino del	+++	0	0	0	0	0	0

	livello di pressione: portata erogata dipendente dal fabbisogno di tutte le stanze connesse (mediante sistema VFD - Variable Frequency Drive)							
--	---	--	--	--	--	--	--	--

Tabella 49. Controllo dei parametri di flusso per le unità di trattamento aria - Ventilazion - 1c

Ventilation - 2a	Controllo della temperatura interna (sistemi all-air)	Criteri di impatto						
Livelli funzionali		Risparmio energetico in loco	Flessibilità per la rete e accumulo	Comfort	Facilitazione utente	Salute e benessere	Manutenzione e individuazione dei guasti	Informazioni agli occupanti
Livello 0	Controllo on/off	0	0	0	0	0	0	0
Livello 1	Controllo variabile	+	0	+	+	+	0	0
Livello 2	Controllo basato sulla domanda	+	0	++	++	++	0	0

Tabella 50. Controllo della temperatura interna (sistemi all-air) - Ventilation 2a

Appendice B. Risultati del questionario sull'analisi di mercato

Dominio: Monitoraggio e controllo (MC)

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-3	Gestione in esercizio degli impianti HVAC	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Impostazione di esecuzione programmata oraria degli impianti di riscaldamento e raffrescamento	S	S	Omission e del livello funzionale 3
2	Controllo on/off dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento dipendente dai carichi dell'edificio	S	S	
3	Controllo on/off dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento dipendente dal controllo predittivo o dai segnali della rete	N	N*	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-4	Individuazione e diagnosi dei guasti relativi agli impianti tecnici dell'edificio	Dispositivo/sistema/logica applicato?		

Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti con segnale d'allarme per almeno due TBS rilevanti	S	S	
2	Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti con segnale d'allarme per tutti i TBS	S	S	
3	Sistema centralizzato per l'individuazione dei guasti con segnale d'allarme per tutti i TBS, includendo le funzioni di diagnosi	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-9	Rilevamento presenza: servizi connessi	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Rilevamento presenza per la gestione singola di servizi tecnici, es. illuminazione	S	S	
2	Rilevamento presenza centralizzato per la gestione contemporanea di più servizi tecnici, come illuminazione e riscaldamento	S**	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-13	Reporting della performance dei servizi tecnici e dei profili di consumo	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting centralizzato o da remoto dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico	S	S	
2	Reporting centralizzato o da remoto dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di almeno 2 domini	S	S	
3	Reporting centralizzato o da remoto dei profili di consumo in tempo reale per tipologia di vettore energetico, combinando in un'unica interfaccia i servizi tecnici di tutti i domini	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-25	Integrazione con la Smart Grid	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
livello 1	Demand Side Managment applicato ad alcuni servizi tecnici, in assenza	S	S	

	di interazione tra i vari domini o servizi			
livello 2	Demand Side Managment applicato a più servizi tecnici	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-28	Reporting sulle performance e sulla gestione del carico (Demand Side Managment)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting sullo stato attuale della gestione del carico (con logiche DSM), includendo la gestione dei flussi di potenza	S	S	Omission e del livello 2
2	Reporting sullo stato attuale e storico della gestione del carico (con logiche DSM), includendo la gestione dei flussi di potenza	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-29	Disattivazione del DSM	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	DSM senza la possibilità di disattivare il controllo da parte dell'utente	S	S	Omission e dei livelli 3 e 4
2	Disattivazione manuale e riattivazione del DSM da parte dell'utente	S	S	
3	Disattivazione e riattivazione schedata del DSM da parte dell'utente	S	?	
4	Disattivazione schedata del DSM e riattivazione con controllo ottimizzato	S	?	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
MC-30	Piattaforma informatica che consente il controllo automatizzato e il coordinamento tra i servizi tecnici + ottimizzazione del flusso di potenza in base ai segnali di presenza, climatici e dalla rete			

Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Piattaforma che consente il controllo manuale di più servizi tecnici	S	S	Omission e del livello 3
2	Piattaforma che consente il controllo automatico e il coordinamento tra i servizi tecnici	S	S	
3	Piattaforma che consente il controllo automatico e il coordinamento tra i servizi tecnici + ottimizzazione del flusso di potenza a in base ai segnali di presenza, climatici e dalla rete	N	N	

NOTE

*Si consiglia una suddivisione del livello 3 in:

1. Controllo on/off dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento dipendente dal controllo predittivo;
2. Controllo on/off dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento dipendente dai segnali della rete;

** Livello funzionale corrispondente all'utilizzo di sistemi BACS combinati;

Dominio: Acqua calda sanitaria

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DHW-1a	Controllo del livello termico e della gestione oraria programmata dall'utente (con riscaldamento elettrico diretto o pompa di calore elettrica integrata)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico di on/off e del livello termico dell'accumulo programmato	S	S	
2	Controllo automatico di on/off , del livello termico, dell'accumulo programmato e gestione dell'accumulo mediante sensori	S	S	
3	Controllo del livello termico automatico, basato sulla disponibilità locale di fonti rinnovabili oppure in base alle informazioni dalla rete elettrica (Demand Response, Demand Side Managment)	N*	S**	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DHW-1b	Controllo del livello termico e della gestione oraria programmata dall'utente (utilizzando la generazione di acqua calda)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		

Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico di accensione/spegnimento e del livello termico dell'accumulo programmato	S	S	Omissione del livello 3
2	Controllo automatico di accensione/spegnimento, del livello termico dell'accumulo programmato e gestione dell'accumulo mediante sensori	S	S	
3	Controllo automatico dell'accumulo termico di ACS, basato su segnali esterni (es. dalla rete di teleriscaldamento)	N	N***	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DHW-1d	Controllo del livello termico e della gestione oraria programmata dall'utente (con collettore solare o generazione di energia termica supplementare)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico del livello termico dell'accumulo solare (Priorità 1) e della generazione supplementare di energia termica fornita all'accumulo	S	S	
2	Controllo automatico del livello termico dell'accumulo solare (Priorità 1) e della generazione supplementare di energia termica fornita all'accumulo; fornitura in base alla domanda oppure al segnale proveniente da sensori multipli di temperatura	S	S	
3	Controllo automatico del livello termico dell'accumulo solare termico (Priorità 1) e della generazione supplementare di energia termica fornita all'accumulo; fornitura in base alla domanda, al segnale proveniente da sensori multipli	S	N	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DHW-2b	Sequenza in caso di diversi generatori di ACS	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo secondo una lista di priorità fissa, esempio basata sull'efficienza nominale del generatore	S	S	Omissione del livello 4: possibile attualmente

2	Controllo secondo una lista di priorità dinamica (basata sulla reale efficienza e capacità dei generatori e sulle emissioni di CO2, es. solare termico, geotermia, cogenerazione, fonti fossili)	S	S	solo il controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico, sulla capacità dei generatori
3	Controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico, sulla capacità dei generatori e sulle emissioni di CO2)	S	S	
4	Controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico, sulla capacità dei generatori e in funzione del segnale esterno proveniente dal gestore della rete elettrica	N	S****	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DHW-3	Reporting sulla performance dell'impianto di ACS	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting basato sull'indicazione dei valori attuali (es. temperatura, submetering energy usage)	S	S	
2	Reporting basato su valori attuali e dati storici	S	S	
3	Reporting relativa all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento	S	S	
4	Reporting relativo all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso: previsione futura e confronto con impianti di riferimento, individuazione predittiva dei quasti	S	S	

NOTE

*Dispositivo ancora non commerciale;

** L'azienda B suggerisce una suddivisione del livello funzionale 3 nel seguente modo:

-Livello 3: Controllo del livello termico automatico, basato sulla disponibilità locale di fonti rinnovabili;

-Livello 4: Controllo del livello termico automatico, in base alle informazioni dalla rete elettrica (Demand Response, Demand Side Managment).

*** Il livello si riferisce alla Smart Grid termica: ancora sperimentale;

**** L'azienda B suggerisce una suddivisione del livello funzionale 4 nel seguente modo:

-Livello 3: Controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico, sulla capacità dei generatori

-Livello 4: Controllo secondo una lista di priorità dinamica in funzione del segnale esterno proveniente dal gestore della rete elettrica.

Dominio: Raffrescamento

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1a	Controllo di emissione	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico centrale	S	S	
2	Controllo automatico individuale per ogni ambiente (es. con valvole termostatiche o regolatore elettronico)	S	S	
3	Controllo automatico individuale per ogni ambiente con comunicazione tra i regolatori e verso il BACS	S*	S	
4	Controllo individuale per ogni ambiente con comunicazione con i regolatori e segnale di presenza	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1b	Controllo di emissione per impianto TABS (modalità raffrescamento)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico centrale	S	S	
2	Controllo automatico centrale avanzato	S	S	
3	Controllo automatico centralizzato con funzionamento intermittente e/o presenza di sistema di feedback per l'utente della temperatura ambiente (sensore temperatura aria esterna, sensore temperatura acqua di mandata, sensore temperatura singola stanza - passaggio automatico riscaldamento raffrescamento)	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1c	Controllo della temperatura dell'acqua nella rete di distribuzione (mandata e ritorno)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		

Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Compensazione della temperatura interna basata sulla temperatura esterna	S	S	
2	Temperatura variabile in dipendenza dal carico	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1d	Controllo delle pompe di distribuzione	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo on/off	S	S	
2	Controllo multistadio	S	S	
3	Controllo pompa a velocità variabile a pressione costante	S	S	
4	Controllo pompa a velocità variabile in relazione ad una richiesta esterna	S**	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1f	Interblocco per evitare il simultaneo riscaldamento e raffrescamento nella stessa stanza	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Interblocco parziale (minimizza il rischio legato alla simultaneità tra riscaldamento e raffrescamento)	S	S	
2	Interblocco totale (sistema di controllo che assicura la non simultaneità tra riscaldamento e raffrescamento)	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-1g	Controllo del sistema di accumulo termico	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Funzionamento orario programmato	S	S	Omissione del livello 3
2	Funzionamento basato sul carico	S	S	
3	Controllo del sistema di accumulo in funzione del segnale proveniente dalla rete elettrica (es. controllo del	N	N	

	tipo DSM)			
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-2a	Controllo del generatore per il raffrescamento	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo multistadio della capacità di raffrescamento dipendente dal carico o dalla domanda	S	S	Omissione del livello 3
2	Controllo variabile della capacità di raffrescamento dipendente dal carico o dalla domanda (es. bypass gas caldo, controllo della frequenza con inverter)	S	S	
3	Controllo variabile della capacità di raffrescamento dipendente dal carico e dai segnali esterni dalla rete	N	N	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-2b	Controllo sequenziale di diversi generatori	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Sequenziamento fisso basato solo su carichi: ad esempio a seconda delle caratteristiche dei generatori come il refrigeratore ad assorbimento e il refrigeratore centrifugo	S	S	Omissione dei livelli 3 e 4
2	Priorità variabili basate sull'efficienza e sulle caratteristiche del generatore (ad esempio disponibilità di raffreddamento gratuito)	S	S	
3	Sequenziamento basato sulla previsione del carico: la sequenza si basa, ad esempio, sul COP e sulla potenza disponibile di un dispositivo e sulla potenza richiesta prevista	?	?	
4	Sequenziamento basato su un elenco di priorità variabili, incluso i segnali esterni dalla rete	N	N	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-3	Reporting relativo alle performance del sistema di raffrescamento	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting su dispositivo individuale, su cloud o remoto degli indicatori delle performance attuali (KPI) per	S	S	

	diverse grandezze (ad esempio temperature, profili di carico termico)			
2	Reporting da dispositivo individuale, su cloud o remoto degli indicatori delle performance attuali (KPI) e dei dati storici	S	S	
3	Reporting relativa all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso la loro previsione futura e confronto con impianti di riferimento	S	S	
4	Reporting relativa all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso la loro previsione futura, confronto con impianti di riferimento e individuazione predittiva dei guasti	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Cooling-4	Interazione e flessibilità con la rete	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Funzionamento programmato del sistema di raffrescamento	S	S	Omissione dei livelli 2,3,4
2	Controllo ottimale del sistema di raffrescamento mediante autoapprendimento	S***	N	
3	Controllo flessibile del sistema di raffrescamento attraverso i segnali inviati dal gestore della rete elettrica (es. DSM)	N	N	
4	Controllo ottimizzato del sistema di raffrescamento basato su previsioni del carico termico e segnali dalla rete (es. attraverso controllo predittivo)	N	N	

NOTE

*L'azienda A suggerisce di sostituire il livello 3 con il livello 4;

** Sistema BACS con salto termico;

*** Sistema non ancora applicato negli edifici;

Dominio: Ventilazione meccanica

Codice	Servizio tecnico	Answer	
--------	------------------	--------	--

Ventilation-1a	Controllo della ventilazione a livello ambiente	Dispositivo/sistema/logica applicato?		Revisioni al catalogo
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo orario	S	S	
2	Controllo basato sull'individuazione della presenza degli occupanti	S	S	
3	Controllo centrale della ventilazione meccanica basata su sensori di qualità dell'aria (anidride carbonica, VOC, umidità...)	S	S	
4	Controllo locale della ventilazione meccanica basata su sensori di qualità dell'aria (CO2, VOC,...) con regolazione locale della portata in aspirazione e in immissione	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Ventilation-1c	Controllo dei parametri di flusso per le unità di trattamento aria	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo orario on/off della ventilazione: erogazione della massima portata in corrispondenza dell'orario nominale di occupazione di tutti gli ambienti	S	S	
2	Controllo multi-stadio per la riduzione dei consumi elettrici ausiliari (es. ventole)	S	S	
3	Controllo automatico della portata o della pressione senza ripristino del livello di pressione: portata erogata dipendente dal fabbisogno di tutte le stanze connesse	S	S	
4	Controllo automatico della portata o della pressione con ripristino del livello di pressione: portata erogata dipendente dal fabbisogno di tutte le stanze connesse (mediante sistema VFD - Variable Frequency Drive)	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Ventilation-2c	Controllo del recupero termico: prevenzione del surriscaldamento	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Recupero termico modulato o effettuato mediante bypass basato sull'impiego di un sensore di temperatura installato nella condotta dell'aria esausta	S	S	

2	Recupero termico modulato o effettuato mediante bypass basato sull'impiego di sensori di temperatura installati nella condotta di ripresa di più stanze oppure sul controllo predittivo	S	S*	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Ventilation-2d	Controllo della temperatura di mandata	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Setpoint costante: un circuito di controllo consente di controllare la temperatura dell'aria di mandata, il setpoint è costante e può essere modificato solo da un'impostazione manuale	S	S	
2	Set point variabile con compensazione della temperatura esterna	S	S	
3	Set point variabile con compensazione dipendente dal carico : un circuito di controllo consente di controllare la temperatura dell'aria di mandata. Il setpoint è definito come funzione dei carichi degli ambienti	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Ventilation-3	Tecnologia Free Cooling con sistema di ventilazione meccanica	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Raffrescamento notturno	S	S	
2	Free-cooling: portata continuamente modulata per minimizzare il raffrescamento tramite ventilazione meccanica	S	S	
3	Controllo diretto H,x: la quantità di aria esterna e di aria di ricircolo viene modulata continuamente per ridurre al minimo il raffrescamento da ventilazione meccanica. Il calcolo viene eseguito in base alle temperature e all'umidità (entalpia)."	S	S	
4	Controllo automatico della portata o della pressione con ripristino del livello di pressione: portata erogata dipendente dal fabbisogno di tutte	S	S	

	le stanze connesse (mediante sistema VFD - Variable Frequency Drive)			
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Ventilation-6	Reporting relativo all'IAQ (qualità dell'aria indoor)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting mediante sensori di qualità dell'aria (es. CO2) e monitoraggio autonomo in tempo reale	S	S	
2	Reporting mediante monitoraggio in tempo reale e informazioni storiche sulla qualità dell'aria indoor disponibili agli occupanti	S	S	
3	Reporting mediante monitoraggio in tempo reale e informazioni storiche sulla qualità dell'aria indoor disponibili agli occupanti e segnalazione sulla necessità di manutenzione oppure sulle azioni degli occupanti (es. apertura della finestra)	S	S	

NOTE

* L'azienda B suggerisce una suddivisione del livello funzionale 2 nel seguente modo:

- Livello 2: Recupero termico modulato o effettuato mediante bypass basato sull'impiego di sensori di temperatura installati nella condotta di ripresa di più stanze;
- Livello 3: Recupero termico modulato o effettuato mediante bypass basato sul controllo predittivo;

Dominio: Illuminazione

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Lighting-1a	Controllo presenza	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Interruttore manuale on/off + segnale estinzione graduale automatica	S	S	
2	Rilevamento automatico (accensione automatica/ dimmer o spegnimento automatico)	S	S	
3	Rilevamento automatico (manuale automatica/ dimmer o spegnimento automatico)	S*	S	

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Lighting-2	Controllo del livello di illuminazione artificiale in base ai livelli di luce diurna	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Manuale (per stanza/zona)	S	S	
2	On/off automatico	S	S	
3	Dimmeraggio automatico	S	S	
4	Dimmeraggio automatico, incluso il controllo degli scenari differenziati in base a differenti intervalli di tempo (es. in termini di livello di illuminazione, temperatura colore correlata (CCT) distribuzione della luce all'interno degli ambienti, in base ai bisogni degli occupanti)	S	S	

NOTE

*L'azienda A suggerisce di spostare il livello 4 al posto del livello 3;

Dominio: Involucro dinamico (DE)

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
DE-1	Controllo presenza	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo degli schermi	S	S	
2	Descrizione del livello funzionale	S	S	
3	Funzionamento motorizzato a controllo manuale	S	S	
4	Funzionamento motorizzato a controllo automatico	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		

DE-2	Controllo dell'apertura/chiusura delle finestre, combinato con sistema HVAC	Dispositivo/sistema/logica applicato?		Revisioni al catalogo
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Rilevamento apertura/chiusura per arrestare i sistemi di riscaldamento o raffrescamento	S	S	
2	Livello 1 + apertura automatizzata della finestra basata sui dati rilevati dai sensori	S*	S	
3	Livello 2 + Coordinamento centralizzato delle finestre utilizzabili, ad esempio per controllare il raffrescamento notturno naturale	S**	S	Revisioni al catalogo
Codice	Servizio tecnico	Answer		
DE-4	Reporting sulle prestazioni dell'involucro dinamico	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Posizione di ogni componente dinamico d'involucro associata al rilevamento guasti	S	S	
2	Posizione di ogni componente dinamico d'involucro associata al rilevamento guasti e manutenzione predittiva	S	S	
3	Posizione di ogni componente dinamico d'involucro associata al rilevamento guasti, manutenzione predittiva, misura in tempo reale fornita dai sensori (ventilazione, luce, temperatura...)	S	S	
4	Posizione di ogni componente dinamico d'involucro associata al rilevamento guasti, manutenzione predittiva, misura in tempo reale e dati storici forniti dai sensori (ventilazione, luce, temperatura...)	S	S	

NOTE

* Impianto KNX;

** Impianto BMS (Building Managment System).

Dominio: Elettricità (fonti rinnovabili elettriche)

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Electricity-2	Reporting relativo alla generazione di elettricità a livello locale	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	

1	Dati disponibili per la generazione attuale	S	S	
2	Reporting sulla base di valori attuali e dati storici	S	S	
3	Reporting relativo all'attuale performance sulla generazione di elettricità a livello locale utilizzando indicatori specifici incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento	S	S	
4	Reporting relativa all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso: previsione futura e confronto con impianti di riferimento, individuazione predittiva dei guasti	S*	S*	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Electricity-3	Accumulo elettrico di energia prodotta in loco	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Accumulo elettrico in loco (es. batteria elettrica)	S	S	
2	Accumulo elettrico on site (es. batteria elettrica o accumulo termico) con controllo basata sui segnali dalla rete elettrica	N**	N	
3	Accumulo elettrico on site (es. batteria elettrica o accumulo termico) con controllo per ottimizzare l'utilizzo dell'energia elettrica generata in loco	S	S	
4	Accumulo elettrico on site (es. batteria elettrica o accumulo termico) con controllo per ottimizzare l'utilizzo dell'energia elettrica generata in loco e la possibilità di gestire l'immissione in rete	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Electricity-4	Ottimizzazione dell'autoconsumo dell'elettricità generata localmente	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Consumo di elettricità programmato	S	S	Omissione del livello 3
2	Gestione automatica del consumo di energia elettrica locale basato sull'attuale disponibilità di energia	S	S	VERIFICARE

	rinnovabile			
3	Gestione automatica del consumo di energia elettrica locale basato sull'attuale disponibilità di energia rinnovabile e sulla previsione del carico	S***	?	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Electricity-5	Controllo della centrale combinata (CHP)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo CHP in base alla disponibilità istantanea delle fonti rinnovabili con eccedenza immessa nella rete	S	S	
2	Controllo CHP basato sulla disponibilità istantanea delle fonti rinnovabili e dai segnali dalla rete; controllo in base alla variabilità delle fonti rinnovabili per ottimizzarne l'auto-consumo	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		
Electricity-8	Supporto delle modalità di funzionamento (micro)grid	Dispositivo/sistema/logica applicato?		Revisioni al catalogo
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Gestione automatica del consumo di energia elettrica, basata su segnali dalla rete elettrica	N	?	Omissione dei livelli 1 e 2
2	Gestione automatica del consumo di energia elettrica e della sua fornitura agli edifici vicini (microgrid) o alla rete	N	?	
3	Gestione automatica del consumo e della fornitura di energia elettrica, con possibilità di continuare ad operare in modalità off-grid	S****	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Electricity-11	Reporting riguardante l'energia	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting sulla base dei dati disponibili sullo stato attuale della carica (SOC)	S	S	
2	Reporting sulla base di valori attuali e dati storici	S	S	
3	Reporting relativo all'attuale performance a livello locale utilizzando indicatori specifici	S	S	

	incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento			
4	Reporting relativa all'attuale performance dell'impianto utilizzando indicatori specifici incluso: previsione futura, confronto con impianti di riferimento e individuazione predittiva dei guasti	S	S	

NOTE

* Applicato solo all'infrastruttura;

** L'azienda A suggerisce di spostare il livello 2 al livello 4;

*** Tecnologia esistente, ma non attualmente applicata;

**** L'azienda A suggerisce di spostare il livello 3 al livello 1;

Domino: Ricarica di veicoli elettrici (EV)

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
EV-15	Capacità di ricarica per i veicoli elettrici	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Lo 0-9% dei parcheggi ha punti di ricarica	S	S	
2	Il 10-50% dei parcheggi ha punti di ricarica	S	S	
3	>50% dei parcheggi ha punti di ricarica	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
EV-16	Bilanciamento della rete	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Ricarica controllata dalla rete verso il veicolo (inclusendo ad esempio, l'ottimizzazione della ricarica attraverso l'impostazione dell'orario di partenza desiderato o altri segnali dalla rete)	S*	S	Omissione del livello 2
2	Ricarica controllata dalla rete verso il veicolo e viceversa (inclusendo ad esempio, l'ottimizzazione della ricarica attraverso l'impostazione dell'orario di partenza desiderato o altri segnali dalla rete)	N	N	
Codice	Servizio tecnico	Answer		

EV-17	Informazioni e connettività	Dispositivo/sistema/logica applicato?		Revisioni al catalogo
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting di informazioni sullo stato della ricarica dei veicoli elettrici per l'occupante	?	S	Omissione del livello 2
2	Reporting di informazioni sullo stato della ricarica dei veicoli elettrici per l'occupante e identificazione e autorizzazione automatica del conducente per l'utilizzo della stazione di ricarica (conforme alla ISO 15118)	?	N	

NOTE

*Tecnologia applicabile solo a livello locale;

Dominio: Riscaldamento

Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-1a	Controllo del sistema di emissione	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico centralizzato della temperatura ambiente	S	S	
2	Controllo automatico della temperatura ambiente (singola stanza o zona)	S	S	
3	Controllo automatico della temperatura ambiente (singola stanza o zona) dotato di collegamento con sistema BACS presente nell'edificio	S	S	
4	Controllo automatico della temperatura ambiente (singola stanza o zona) e sensore di presenza	S*	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-1b	Sistemi radianti TABS: attivazione termica della massa	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo automatico centralizzato con sensore temperatura aria esterna e sensore temperatura acqua di mandata	S	S	

2	Controllo automatico centralizzato con sensore temperatura aria esterna, sensore temperatura acqua di mandata, sensore temperatura singola stanza - passaggio automatico riscaldamento raffrescamento	S	S	Revisioni al catalogo
3	Controllo automatico centralizzato con funzionamento intermittente e/o presenza di sistema di feedback per l'utente della temperatura ambiente (sensore temperatura aria esterna, sensore temperatura acqua di mandata, sensore temperatura singola stanza - passaggio automatico riscaldamento raffrescamento)	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		
Heating-1c	Sistema di controllo e regolazione della temperatura del fluido temovettore nella rete di distribuzione (impianti idronici o aeraulici)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo compensato con la temperatura esterna	S	S	
2	Controllo basato sul carico termico effettivo dell'edificio	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		
Heating-1d	Controllo delle pompe della rete di distribuzione	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo con pompa accesa-spenta	S	S	
2	Controllo con pompa multi stadio	S	S	
3	Controllo della pompa a velocità variabile con segnale interno	S	S	
4	Controllo della pompa a velocità variabile con segnale esterno (segnale proveniente da un dispositivo remoto)	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		
Heating-1f	Accumuli termici	Dispositivo/sistema/logica applicato?		Revisioni al catalogo

Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo schedulato (programmazione oraria) dell'accumulo di energia termica	S**	S	Omissione del livello 3
2	Accumulo di energia termica in funzione della previsione del carico	S***	S	
3	Capacità di accumulare l'energia termica (es, con pompa di calore) in funzione di un segnale che arriva dal gestore della rete elettrica (o dal sistema di gestione energetica in loco)	N	N****	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-2a	Controllo del generatore termico (escluso pompe di calore)	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo della temperatura di mandata in funzione della temperatura esterna	S	S	
2	Controllo della temperatura di mandata in funzione del carico termico dell'edificio	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-2b	Controllo della pompa di calore	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Controllo multi stadio della pompa di calore in funzione del carico termico	S	S	Omissione del livello 3
2	Controllo variabile della pompa di calore in funzione del carico termico (es. con inverter, bypass o altro)	S	S	
3	Controllo variabile della pompa di calore in funzione del carico termico e del segnale esterno dal gestore della rete elettrica (es. con inverter o altro)	N	S*****	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-2d	Controllo sequenziale di diversi generatori	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	

1	Controllo secondo una lista di priorità fissa, esempio basata sull'efficienza nominale del generatore	S	S	Omissione dei livelli 3 e 4
2	Controllo secondo una lista di priorità dinamica (esempio basata sulla reale efficienza e capacità dei generatori)	S	S	
3	Controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale e sulla previsione del carico e sulla capacità dei generatori	S*****	S*****	
4	Controllo secondo una lista di priorità dinamica basata sul carico attuale, sulla previsione del carico, sulla capacità dei generatori e in funzione del segnale esterno proveniente dal gestore della rete elettrica	N	N	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-3	Reporting relativo alle performance del sistema di riscaldamento	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Reporting centralizzato o remoto sull'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici	S	S	
2	Reporting centralizzato o remoto sull'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici e dati storici	S	S	
3	Reporting centralizzato o remoto sull'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici incluso previsione futura e confronto con impianti di riferimento	S	S	
4	Reporting centralizzato o remoto sull'attuale performance dell'impianto termico utilizzando indicatori specifici incluso: previsione futura e confronto con impianti di riferimento, individuazione predittiva dei guasti	S	S	
Codice	Servizio tecnico	Answer		Revisioni al catalogo
Heating-4	Interazione e flessibilità con la rete	Dispositivo/sistema/logica applicato?		
Livello	Descrizione del livello funzionale	Azienda A	Azienda B	
1	Funzionamento programmato del impianto di riscaldamento	S	S	Omissione dei livelli

				2,3,4
2	Autoapprendimento per il controllo ottimale dell'impianto termico	S*****	N	
3	Controllo flessibile del sistema di riscaldamento attraverso i segnali esterni inviati dal gestore della rete elettrica	N	N	
4	Controllo ottimizzato dell'impianto termico basato su modelli predittivi e segnali esterni dalla rete elettrica	N	N	

NOTE

*L'azienda A suggerisce di invertire i livelli 3 e 4;

** Sistemi BMS;

***Sistemi BMS;

****Attuale mancanza predisposizione edificio/dispositivi. Possibilità di aggiungere un livello 4 inerente alla capacità di accumulo in funzione del segnale dalla rete;

***** Logica attualmente non implementata;

***** Possibile, ma ad oggi tecnologia ancora applicata;

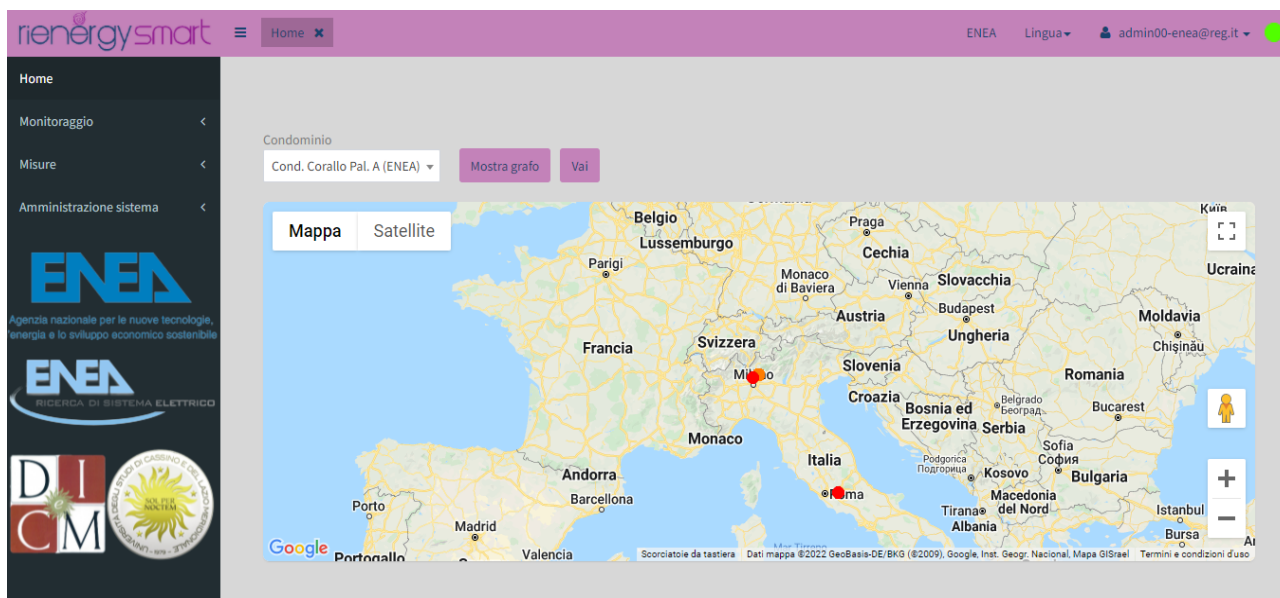
***** Possibile, ma ad oggi tecnologia ancora applicata;

***** Sistemi che potrebbero essere realizzati, ma ancora non implementati;

Appendice C. Guida al portale informatico Rienergy Smart



Guida introduttiva all'utilizzo del portale



Introduzione

Il portale Rienergy Smart è uno strumento che consente il monitoraggio e la gestione di consumi, sensori di parametri ambientali, misuratori, smart meter e indici energetici. L'osservazione di tali dati è utile al fine di controllare lo stato attuale e storico delle misure rilevate nell'ottica di una maggiore efficienza energetica degli edifici.

Modalità di visualizzazione dei dati

I dati rilevati da misuratori e sensori applicati agli edifici oggetto di monitoraggio, sono visualizzabili graficamente (istogrammi, grafi per l'interrogazione dei devices in tempo reale, grafici bidimensionali) oppure esportati in formato .csv consentendone l'utilizzo e l'analisi in maniera dettagliata.

Interfaccia grafica

Il portale è strutturato mediante un menù a tendina, che consente di esplorare le molteplici sezioni di cui è composto in modo semplice ed immediato. E' presente una pagina principale "Home", nella cui Mappa è possibile individuare i condomini presenti sul territorio nazionale oggetto del monitoraggio (Figura 1).

Individuando un condominio nella sezione "Condominio" in alto a sinistra, ricorrono due opzioni di visualizzazione, cliccandole rispettivamente si accede alle seguenti sezioni:

Mostra Grafo: consente la visualizzazione dell'interfaccia a grafo dell'infrastruttura di monitoraggio e raccolta dati (Figura 2);

Vai: consente di accedere alla sezione "Monitoraggio" (Figura 3).

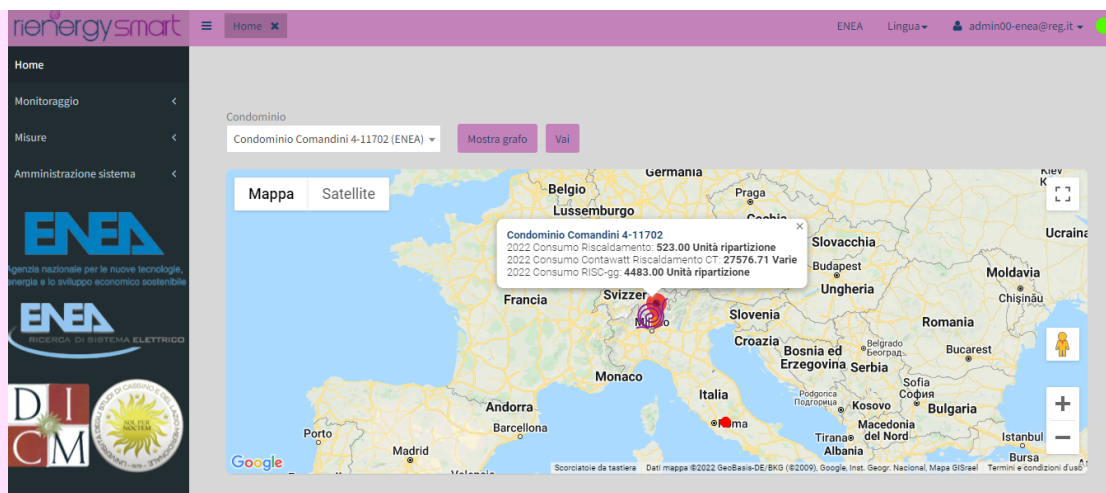


Figura 1. Mappa/Satellite

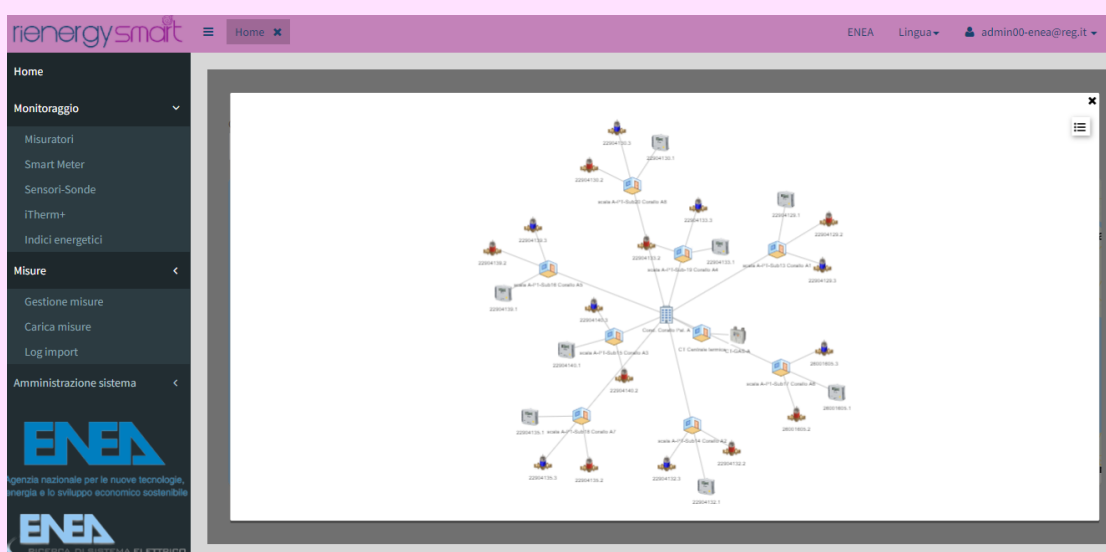


Figura 2. Interfaccia a grafo dell'infrastruttura per il monitoraggio e la raccolta dati

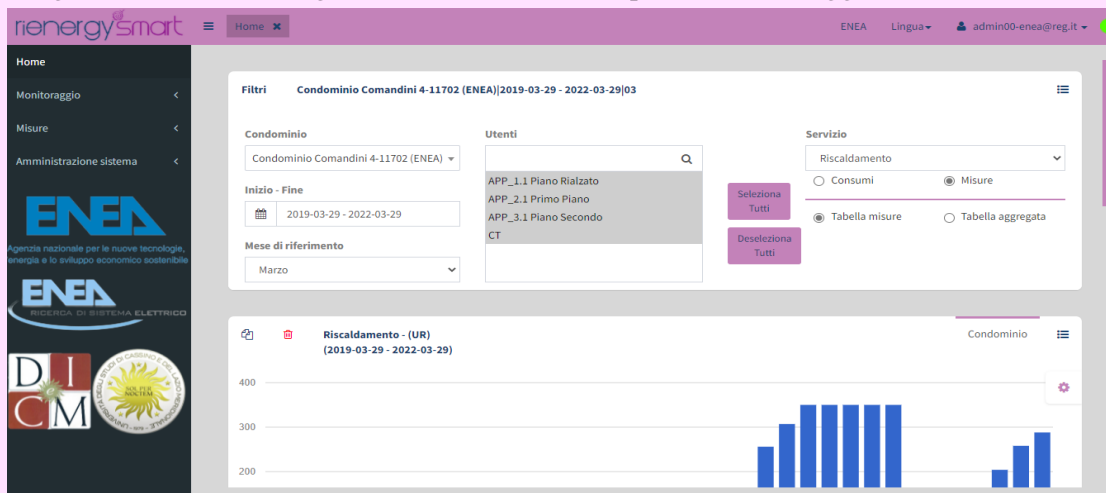


Figura 3. Monitoraggio dei consumi e delle misure

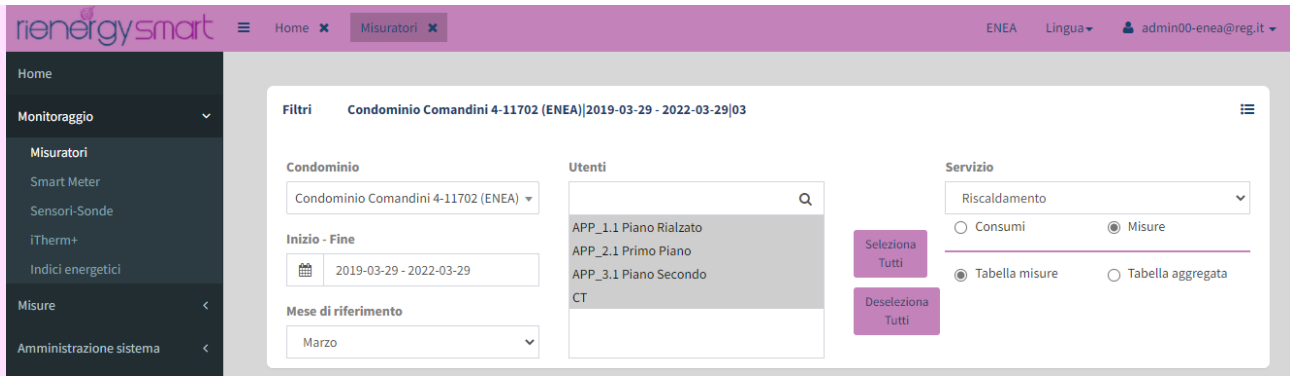


Figura 4. Monitoraggio, sezione “Misuratori”

Monitoraggio

Come mostrato in Figura 4., dalla sezione principale “Monitoraggio” si accede a cinque sottosezioni:

- **Misuratori:** consente la visualizzazione grafica dei consumi dei diversi vettori energetici, effettuando la selezione del condominio di riferimento, il periodo di riferimento, il servizio da valutare (riscaldamento, contawatt riscaldamento centrale termica, riscaldamento in gradi giorno). E' possibile selezionare più utenze oppure singolarmente e scegliere la modalità di visualizzazione del servizio scelto come “Consumi” oppure “Misure”.

L'esempio riportato nelle Figure 5,6,7,8, mostra la scelta di un'utenza del condominio Comandini (appartamento 2.1 primo piano) in visualizzazione “Consumi” per il servizio “Riscaldamento” per il mese di riferimento Marzo 2022.



Figura 5. Esempio di impostazione dei filtri per la visualizzazione dei dati relativi al condominio “Comandini”

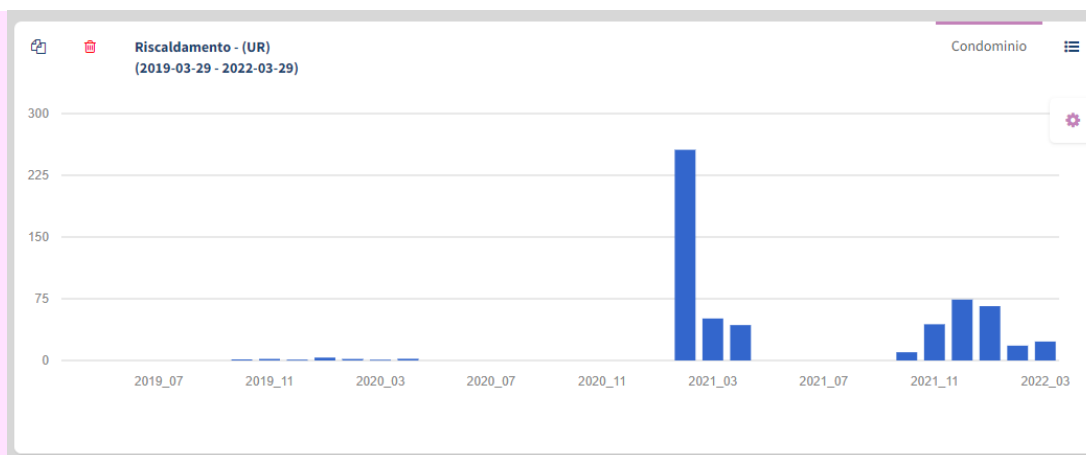


Figura 6. Valori del servizio “Riscaldamento” in unità ripartizione (UR)

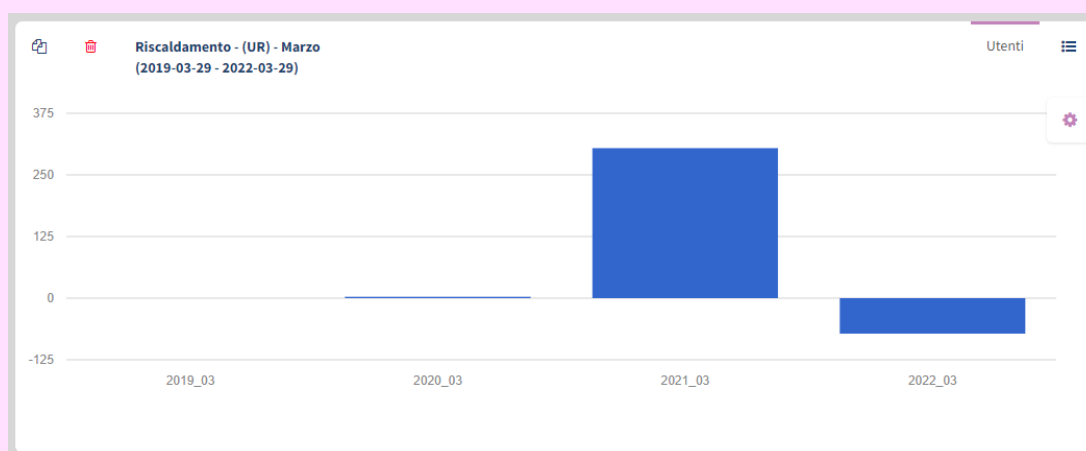


Figura 7. Cumulata dei valori del servizio “Riscaldamento” in unità ripartizione (UR) relativa al mese selezionato per ciascun anno di attività

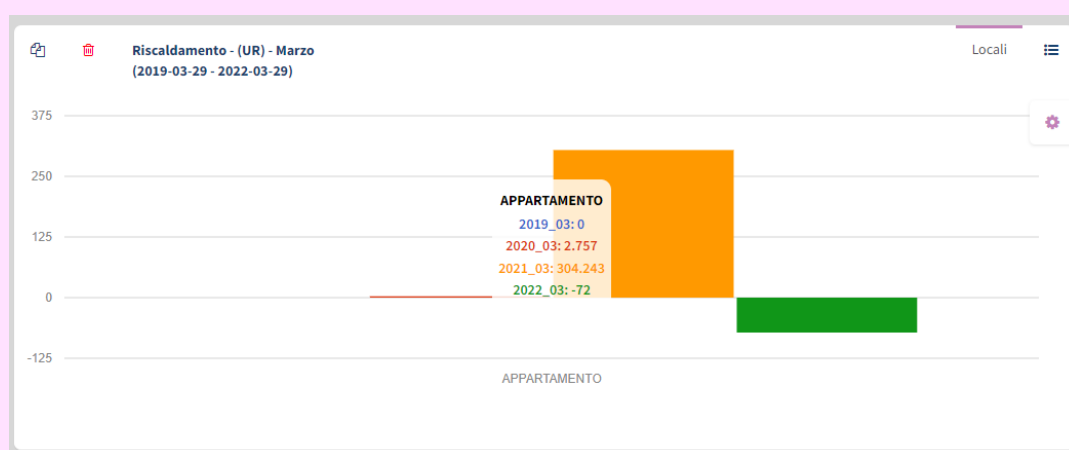


Figura 8. Cumulata dei valori del servizio “Riscaldamento” in unità ripartizione (UR) per singolo appartamento

- **Smart Meter:** consente la visualizzazione grafica dei valori di energia e di potenza per ciascun interno selezionato. Tale applicazione è possibile attualmente solo per il condominio “ATER”.

Nell'esempio che segue, è mostrata la selezione di tutti gli interni e la scelta di visualizzazione dell'aggregazione dei dati impostata per un giorno (1 day). Tuttavia, è possibile impostare molteplici tipologie di aggregazione dati (real time, 15', 30', 1h, 3h, 6h, 12h, 1 giorno, 1 settimana, 2 settimane, 1 mese, 2 mesi, 3 mesi).

Figura 9. Esempio di impostazione per la visualizzazione dei dati nella sezione “Smart Meter”

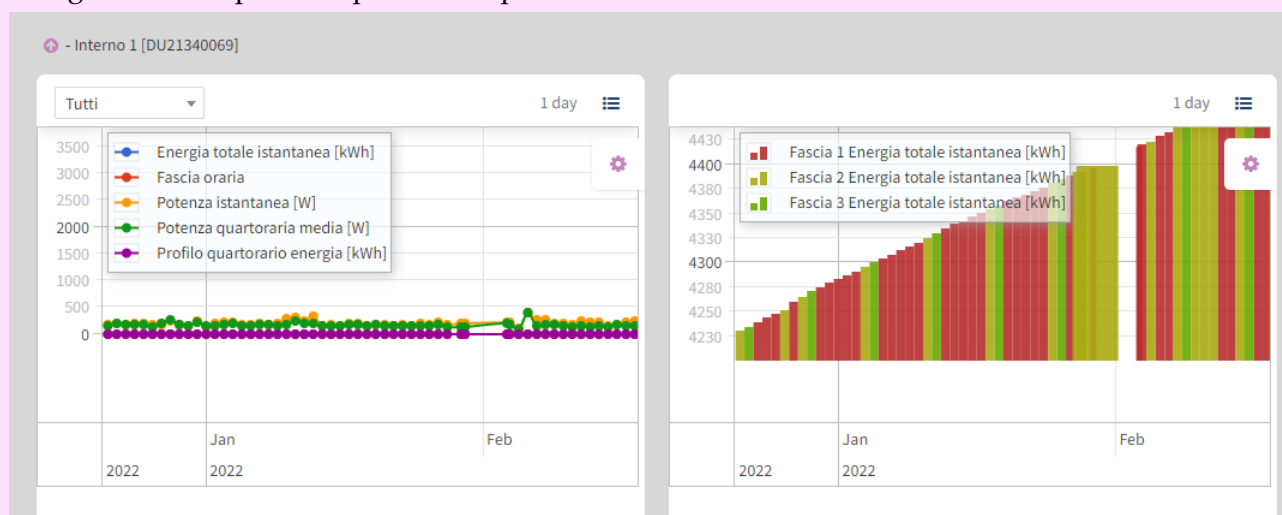


Figura 10. Esempio di visualizzazione dei dati di energia totale istantanea [kWh], potenza istantanea [W], potenza quattoraria media [W], profilo quattorario energia [kWh], energia totale istantanea [kWh] nella sezione “Smart Meter” per l’Interno 1 del condominio “ATER”

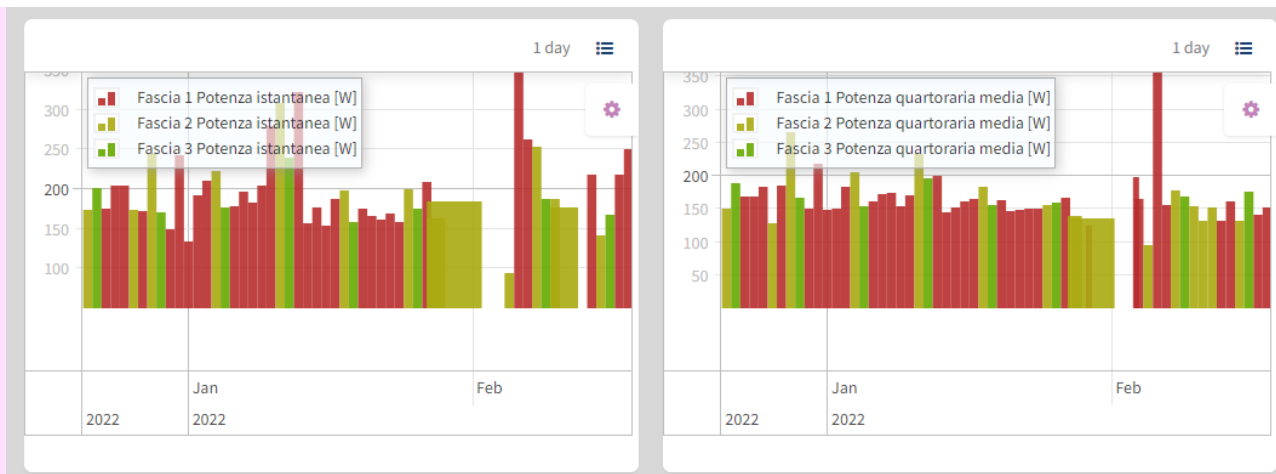


Figura 11. Esempio di visualizzazione dei dati di potenza istantanea [W] e di potenza quattoraria media [W] nella sezione “Smart Meter” per l’Interno 1 del condominio “ATER”

- **Sensori – Sonde:** consente la visualizzazione grafica delle diverse grandezze (temperatura, umidità) indoor ed outdoor e dei dati relativi ai sensori/attuatori:

Figura 12. Esempio di impostazione per la visualizzazione dei dati nella sezione “Sensori - Sonde”

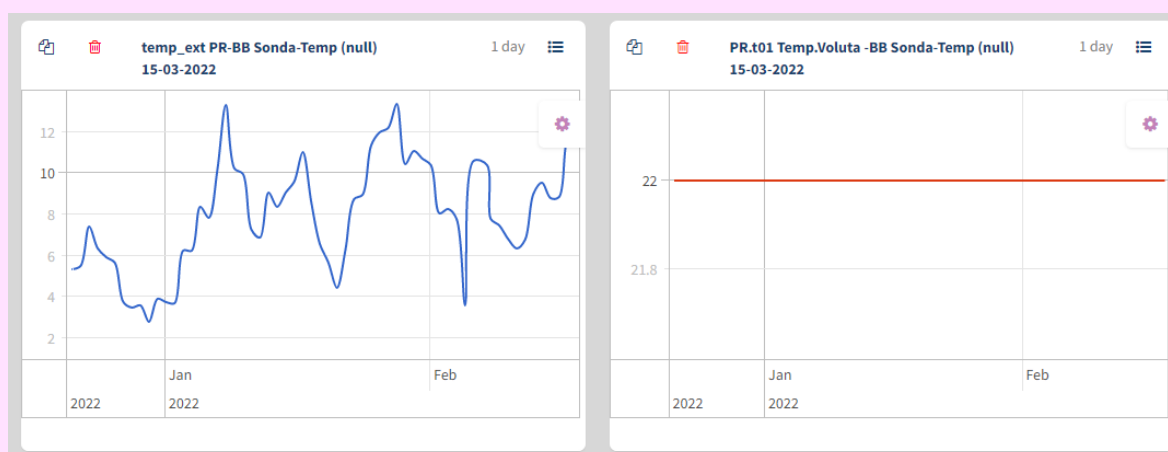


Figura 13. Visualizzazione grafica delle grandezze temperatura esterna e temperatura voluta PR.t01

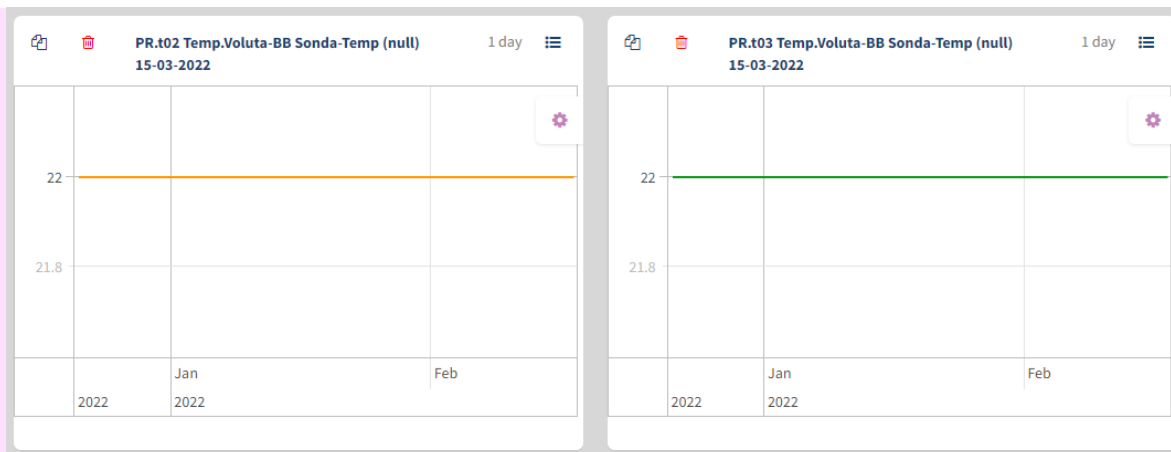


Figura 14. Visualizzazione grafica delle grandezze temperatura voluta PR.t02 e PR.t03

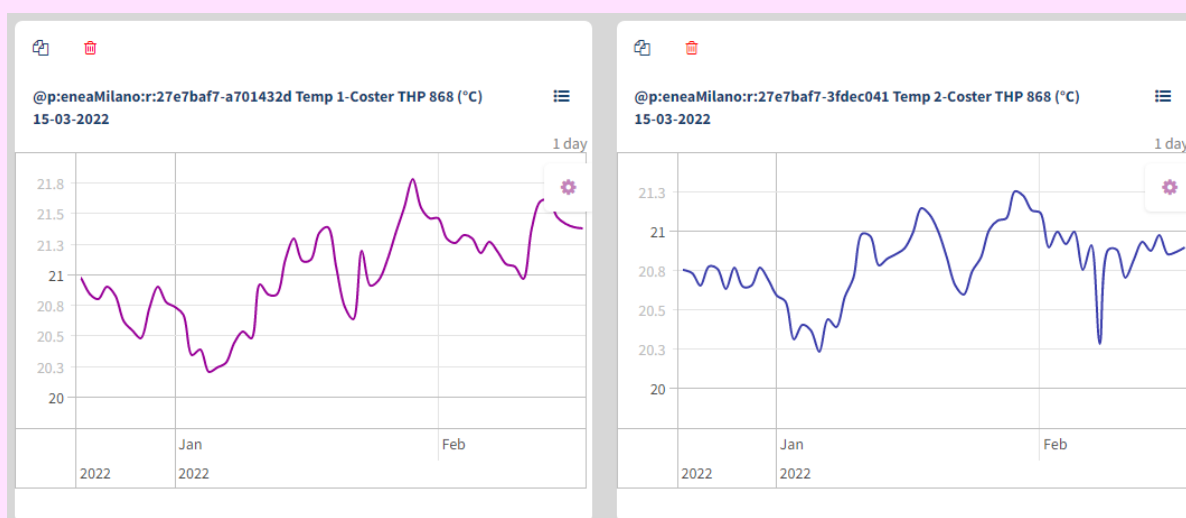


Figura 15. Visualizzazione grafica delle grandezze temperatura esterna e temperatura voluta

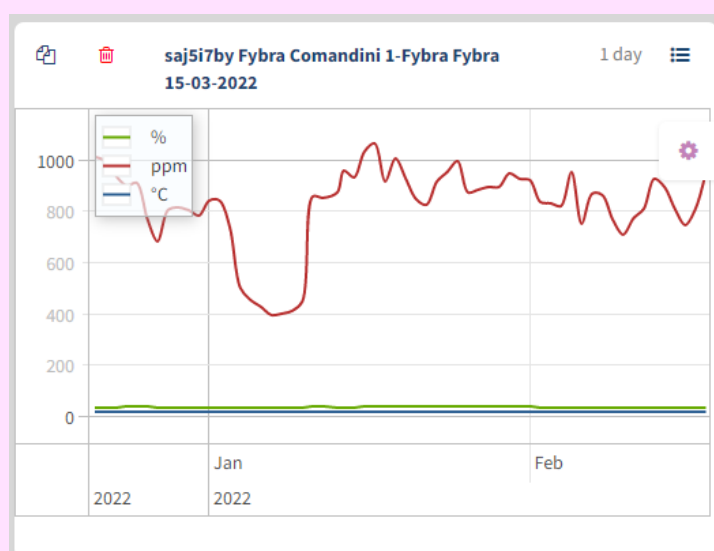


Figura 16. Visualizzazione grafica delle grandezze

Indici energetici: in questa sezione è possibile impostare per ciascun condominio il periodo di riferimento per la valutazione degli indici energetici e il numero di utenze, come mostrato in Fig.17.

Filtri Condominio Comandini 4-11702 (ENEA)|2022-03-15

Condominio: Condominio Comandini 4-11702 (ENEA)

Data: 2022-03-15

Utenti:

- APP_1.1 Piano Rialzato
- APP_2.1 Primo Piano
- APP_3.1 Piano Secondo
- CT

Seleziona Tutti

Deseleziona Tutti

Figura 17. Esempio di impostazione per la visualizzazione dei dati nella sezione “Indici energetici”

Indice consumo appartamento: esprime il consumo atteso per appartamento selezionato e differenza tra consumo misurato rispetto al consumo atteso espresso in percentuale;

Indice temperatura appartamento: indica la temperatura media negli ambienti in cui sono stati posizionati i sensori di temperatura e la concentrazione di CO₂ nell’aria dell’appartamento;

Indice consumo utenti: esprime l’andamento in percentuale relativo al consumo dei singoli appartamenti;

Indice consumo medio su condominio: esprime il consumo medio dell’appartamento [kWh/mq] rispetto al consumo medio del condominio e il consumo del singolo appartamento [kWh/mq].

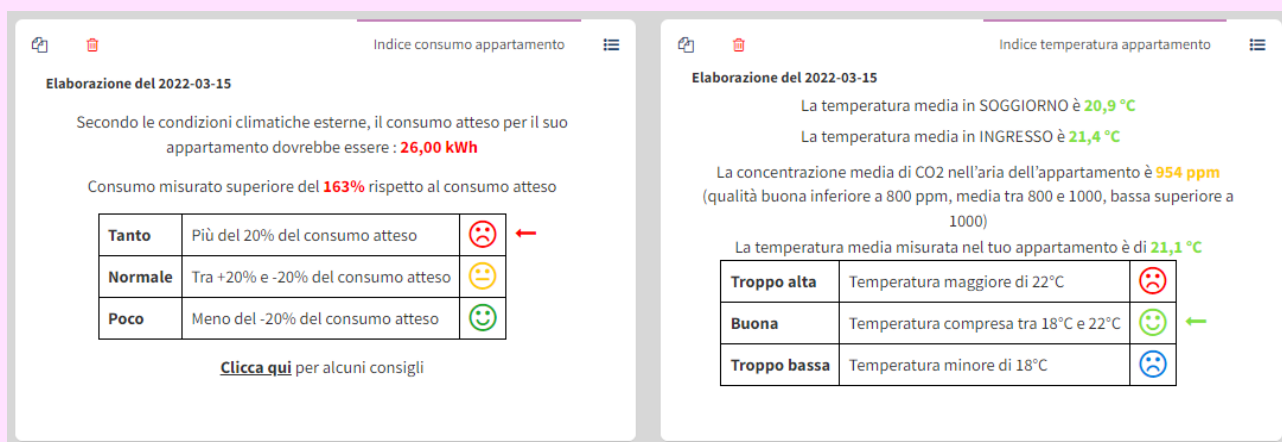


Figura 18. Elaborazioni dell’indice di consumo appartamento, indice di temperatura e di CO₂ appartamento

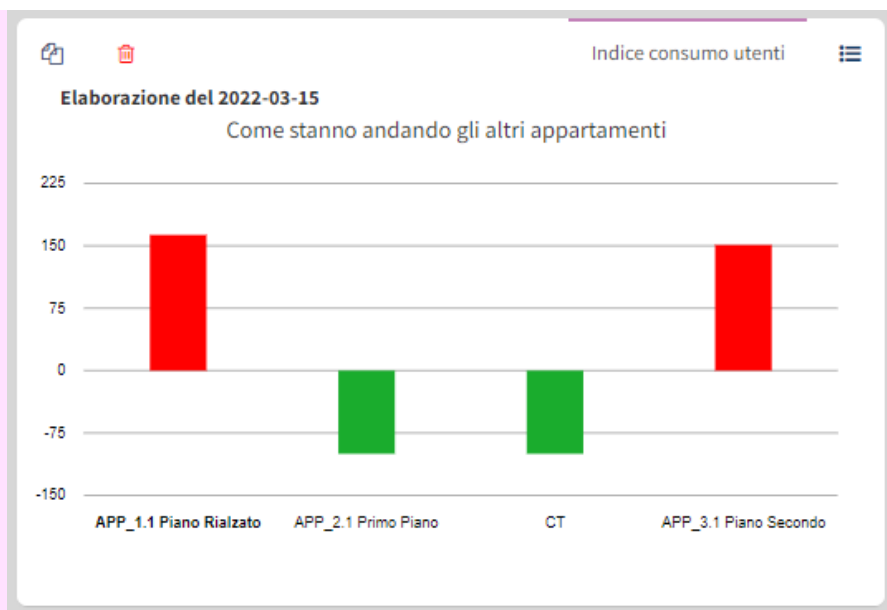


Figura 19. Andamento dei consumi utenti per singolo appartamento

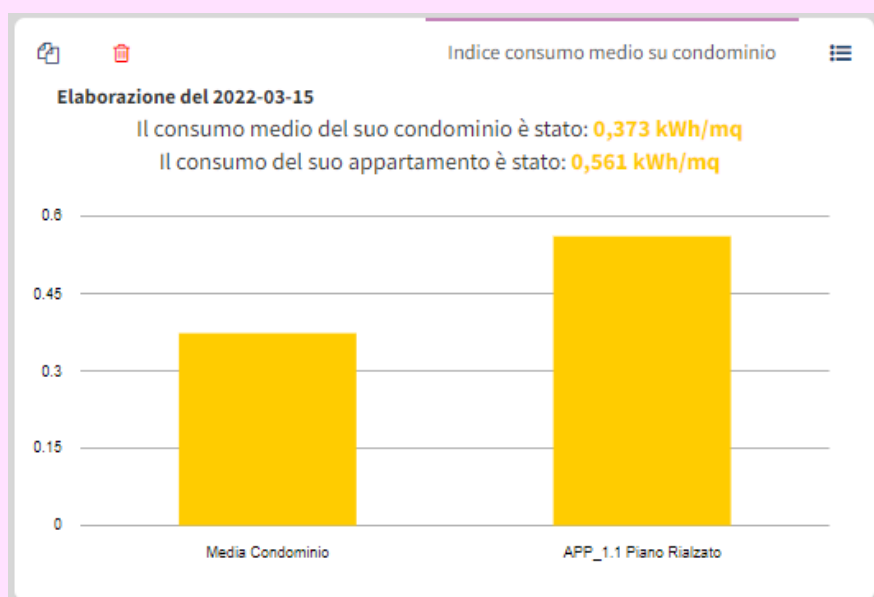


Figura 20. Indice consumo medio su condominio e per singolo appartamento

Misure

Dalla sezione principale “Misure” si accede a due sottosezioni:

- **Gestione misure:** consente la gestione dei valori mensili rilevati dai sensori applicati nelle utenze. I filtri consentono di selezionare il condominio e l’utenza di cui conoscere i dettagli nel periodo di riferimento di interesse.

Filtri Condominio Comandini 4-11702 (ENEA)

Condominio
 Condominio Comandini 4-11702 (ENEA)

Anno
 2022

Utenti

- APP_1.1 -Piano Rialzato
- APP_2.1 -Primo Piano
- APP_3.1 -Piano Secondo
- CT

Seleziona Tutti

Deseleziona Tutti

Figura 21. Esempio di selezione dei filtri nella sezione “Gestione Misure”

Misure - SENSOR (Valore medio nel periodo)
 2022

25 records per page

Scarica CSV Anno 2022 Search:

CSV XLSX PDF JSON

[4] Utente- Locale-Servizio (Unità di misura)	Servizio	Matricola	K _{ges}	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Piano Rialzato- APP_1.1 - SOGGIORNO-°C	Sensore	Temp 2 @p:eneaMilano:r:27e7baf7- 3fdec041	1,00	20,552	20,901	20,596	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Piano Rialzato- APP_1.1 - SOGGIORNO- %RH	Sensore	Hum 2 @p:eneaMilano:r:27e7baf7- 6f8e8894	1,00	43,628	45,369	42,259	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Piano Rialzato- APP_1.1 - INGRESSO-°C	Sensore	Temp 1 @p:eneaMilano:r:27e7baf7- a701432d	1,00	20,575	21,075	21,174	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Piano Rialzato- APP_1.1 -	Sensore	Hum 1 @p:eneaMilano:r:27e7baf7-	1,00	43,535	44,943	41,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 22. Pannello di gestione delle misure rilevate dai sensori

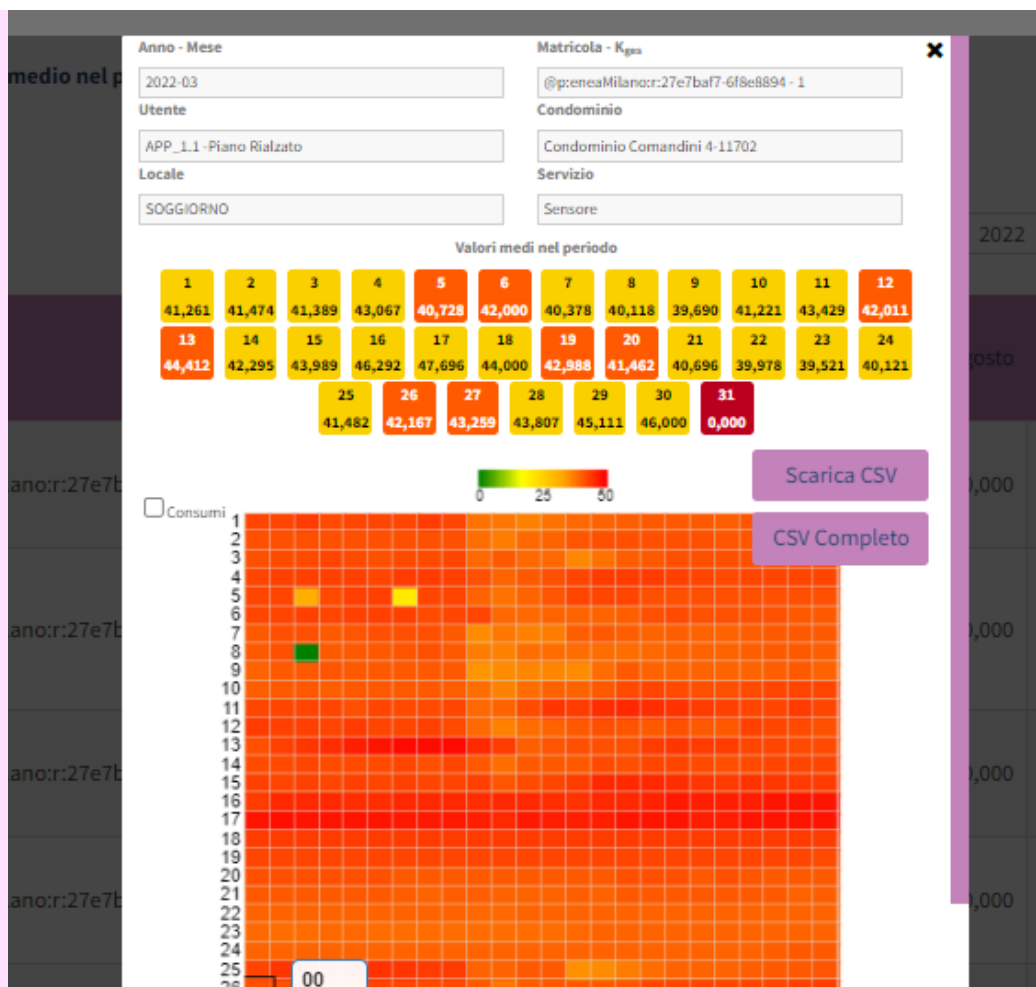


Figura 23. Esempio di consultazione dei valori medi nel periodo per l'appartamento 1.1 del condominio Comandini, relativi alla misura di umidità [%] nell'area "soggiorno"

Misure - MIS (Valore massimo nel periodo)
2022

25 records per page

Scarica CSV Anno 2022 Search:

[v] Utente-Locale-Servizio (Unità di misura)	Servizio	Matricola	K _{ges}	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Piano Rialzato-APP_1.1 - APPARTAMENTO-RISC-gg (Unità ripartizione - UR)	RISC-gg	PR PA_max	1,00	976,000	1.174,000	1.341,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Piano Rialzato-APP_1.1 - APPARTAMENTO-RISC-gg (Unità ripartizione - UR)	RISC-gg	PR PA_uso	1,00	137,000	159,000	174,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Piano Rialzato-APP_1.1 - APPARTAMENTO-RISC-gg (Unità ripartizione - UR)	RISC-gg	PR CUI	1,00	15,000	14,000	14,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Showing 1 to 3 of 3 entries

← Previous 1 Next →

Figura 24. Pannello di gestione delle misure relative ai PA max, PA uso e PR

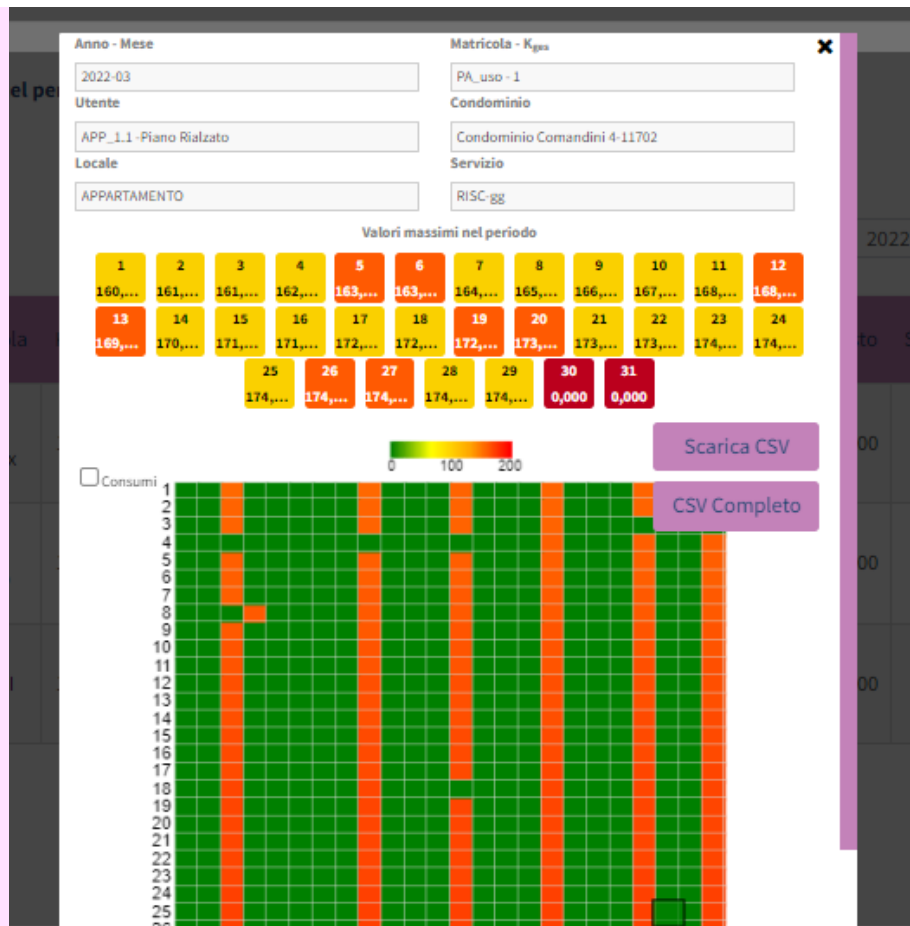


Figura 25. Esempio di consultazione dei valori medi nel periodo per l'appartamento 1.1 del condominio Comandini, relativi ai PA uso

- **Carica misure:** consente di effettuare operazioni di caricamento/importazione dei dati da tecnologie;

Amministrazione sistema

Nella sezione "Amministrazione sistema" si estendono tre sottosezioni:

- **Gestione condomini:** consente di effettuare la selezione per l'accesso all'interfaccia a grafo per il monitoraggio e raccolta dati, nonché la configurazione e mappatura del sistema di monitoraggio stesso.

Selezionando il condominio di interesse e selezionando "Mostra grafo" è possibile visualizzare tutti i dispositivi ed i sensori installati nelle utenze del condominio. Inoltre, accedendo al menù in alto a destra, si può modificare l'impostazione di visualizzazione del dispositivo, il servizio, il tipo di dispositivo e gli utenti (Fig. 28).

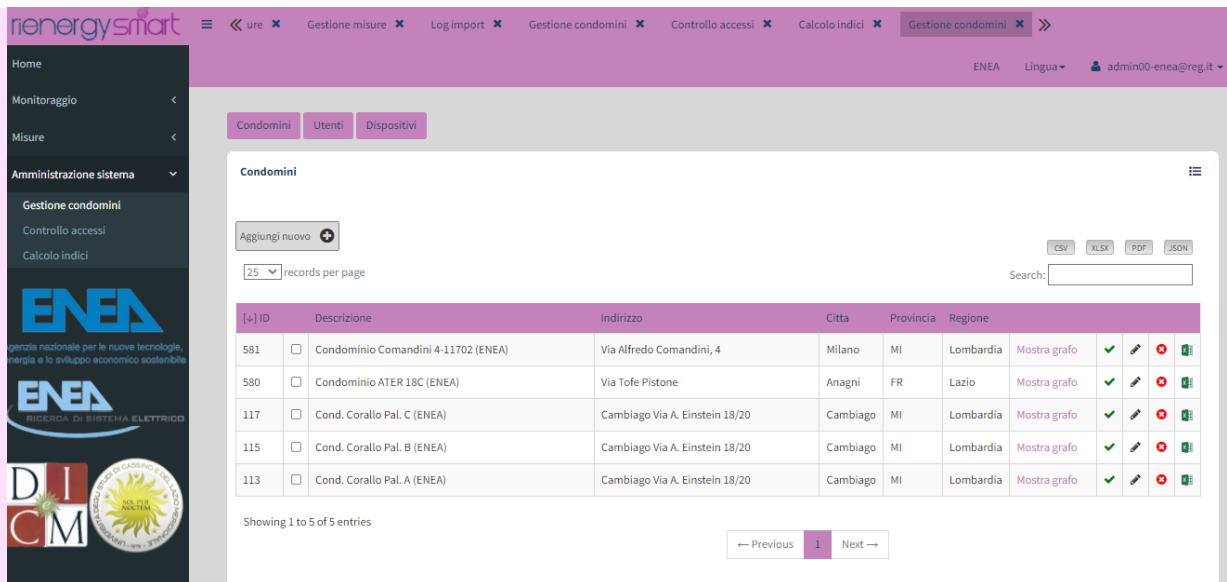


Figura 26. Interfaccia della sezione “Gestione condomini”

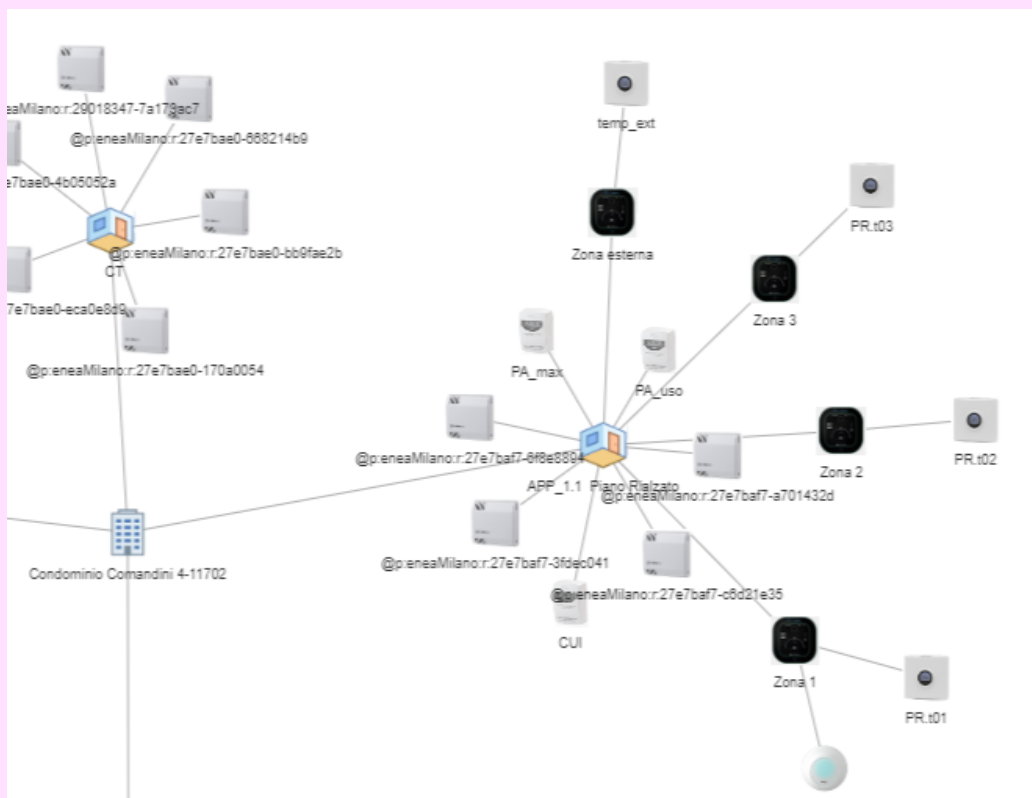


Figura 27. Sezione dell'interfaccia a grafo per l'appartamento 1.1 del condominio Comandini

Dispositivo

Matricola ☒

Descrizione ☐

Locale ☐

Servizio

Contawatt Riscaldamento CT

iTherm+

RISC-gg

Riscaldamento

Seleziona Tutti Deseleziona Tutti

Tipo dispositivo

BB - Sonda-Temp

Coster - THP 868

Coster - THP 868

Fybra - Fybra

Seleziona Tutti Deseleziona Tutti

Utenti

APP_1.1 Piano Rialzato

APP_2.1 Primo Piano

Figura 28. Menù di modifica delle impostazioni di visualizzazione all'interno del grafo

Controllo accessi: consente di visualizzare gli accessi, il timeline degli accessi, il tempo di visualizzazione delle pagine, il timeline pagine e le pagine visualizzate (minuti in funzione dei consumi complessivi).

Lavori scientifici

[1] De Monaco M, Canale L, Ficco G, Frattolillo A, Dell'Isola M, Di Pietra B, Puglisi G, Bertini I. Valutazione dello Smart Readiness Indicator nel settore residenziale: primi risultati su edifici rappresentativi del parco edilizio italiano. XX Congresso Nazionale CIRIAF Sviluppo sostenibile, tutela dell'ambiente e della salute umana

[2] De Monaco M, Canale L, Di Pietra B, Puglisi G, Ficco G, Bertini I, Dell'Isola M. Estimating the Smart Readiness Indicator in the Italian Residential Building Stock in Different Scenarios. *Energies*. 2021; 14(20):6442. <http://doi.org/10.3390/en14206442>

[3] De Monaco M.; Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale - ENEA RAPPORTO ANNUALE EFFICIENZA ENERGETICA 2021 – ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – 5.6. Smart Readiness Indicator for Buildings: i più recenti sviluppi in Europa e in Italia

[4] Marco Dell'Isola, Giorgio Ficco, Laura Canale, Marianna De Monaco - Analisi ed applicazione delle tecnologie IoT per la consapevolezza dei consumi negli edifici intelligenti– Ricerca di Sistema Elettrico (Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale ENEA)

[5] B. Di Pietra, M. De Monaco L. La Notte, G. Landi, A.L. Palma, A. Ciappa, E. Monno, Report Ricerca di Sistema Elettrico S.A.P.I.E.N.T.E. 3.3 ENEA- Prove sperimentali con impianto ibrido per l'autoconsumo collettivo e analisi della nuova piattaforma utente applicata a condomini con sistemi di contabilizzazione individuale smart

[6] B. Di Pietra, M. De Monaco L. La Notte, G. Landi, A.L. Palma, A. Ciappa, Report Ricerca di Sistema Elettrico, Progettazione di nuove architetture dell'impianto ibrido sperimentale e di una nuova piattaforma per migliorare la consapevolezza dei consumi nei condomini dotati di sistemi di contabilizzazione individuale smart

Grazie per il tempo dedicato alla lettura di questo lavoro.