



Ricerca di Sistema elettrico

## Smart Homes: dimostrativo sperimentale di una rete di Smart Homes in ottica energy community

S. Romano, M. Botticelli, M. Caldera, S. Fumagalli, F. Moretti,  
S. Pizzuti, C. Snels, P. Zangheri, A. Zanela,

Smart Homes: dimostrativo sperimentale di una rete di Smart Homes in ottica energy community

S. Romano, M. Caldera, S. Fumagalli, F. Moretti, S. Pizzuti, C. Snels, P. Zangheri, (TERIN-SEN-SCC), A. Zanela, (TERIN-SEN-RIA), M. Botticelli (TERIN-SEN-CROSS).

Dicembre 2021

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: Tecnologie

Progetto: Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Work package: Local Energy District

Linea di attività: LA 1.3 *“Smart Homes: dimostrativo sperimentale di una rete di Smart Homes in ottica energy community”*

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work package: Claudia Meloni, ENEA

Si ringrazia il dottorando Asad Hussain per la preziosa collaborazione

## Indice

	<i>Indice delle figure</i> .....	4
SOMMARIO.....		7
1	INTRODUZIONE.....	8
2	DIMOSTRATIVO SPERIMENTALE DI RETI DI SMART HOMES.....	9
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	9
2.2	DIMOSTRATIVO A ROMA E VITERBO.....	9
2.2.1	<i>Trattamento dei dati personali</i> .....	11
2.2.2	<i>Tipologia di utenza e dotazione impiantistica</i> .....	12
2.2.3	<i>Dotazione impiantistica</i> .....	17
2.2.4	<i>Strumentazione installata presso il dimostrativo</i> .....	19
2.2.5	<i>Architettura del sistema e protocolli di comunicazione</i> .....	23
2.2.6	<i>Verifica di funzionamento</i> .....	24
2.2.7	<i>Verifiche su dati energetici</i> .....	27
2.2.8	<i>Analisi elettrodomestici</i> .....	33
2.2.9	<i>Disaggregazione consumi</i> .....	35
2.3	DIMOSTRATIVO A PINEROLO.....	35
2.3.1	<i>Clusterizzazione delle utenze</i> .....	37
3	PORTALE DHOMUS.....	40
3.1	INTRODUZIONE.....	40
3.2	INTEGRAZIONE CON IDENTITY PROVIDER.....	42
3.3	IMPLEMENTAZIONI CASI D'USO E SVILUPPO INTERFACCE DHOMUS_SMART HOME.....	42
3.3.1	<i>Overview della piattaforma</i> .....	42
3.3.2	<i>Anagrafica utente</i> .....	45
DB Anagrafica.....		46
3.3.3	<i>Interfaccia Utente</i> .....	47
3.3.4	<i>Interfaccia Aggregatore</i> .....	51
3.3.5	<i>Demand Response</i> .....	52
3.4	GESTIONE BIG DATA.....	53
4	SMART SIM IMPLEMENTAZIONE E TEST DEL SERVIZIO WEB.....	55
4.1	IMPLEMENTAZIONE DEL SERVIZIO WEB DI SMART SIM.....	56
4.1.1	<i>Persistenza dati</i> .....	57
4.1.2	<i>Framework MVC</i> .....	58
4.1.1.3	GUI Frontend.....	58
4.1.3	<i>Progettazione e implementazione motore di calcolo</i> .....	59
4.1.4	<i>Implementazione del frontend</i> .....	60
Homepage.....		60
Le mie schede.....		61
Creazione/modifica scheda.....		63
Report dei risultati.....		69
4.1.5	<i>Implementazione del backend</i> .....	71
4.2	INTEGRAZIONE DB SMART SIM E DHOMUS.....	73
5	FLESSIBILITÀ IN AMBITO RESIDENZIALE.....	75
5.1	FLESSIBILITÀ TERMICA IN AMBITO RESIDENZIALE.....	75
5.1.1	<i>Introduzione</i> .....	75
5.1.2	<i>Caso studio</i> .....	79
5.1.3	<i>Risultati</i> .....	80

6	ASSISTED LIVING .....	84
6.1	INTRODUZIONE .....	84
6.2	DEPTH CAMERA NELLA SENSORISTICA DI BORDO DEL ROBOT NAO .....	85
6.2.1	<i>Depth camera</i> .....	85
6.2.2	<i>Ricostruzione 3D della scena</i> .....	90
6.3	RICARICA AUTOMATICA DEL ROBOT NAO.....	92
6.4	SERVIZIO PROTOTIPALE DI ASSISTED LIVING: TROVA UN OGGETTO .....	95
6.4.1	<i>Descrizione del servizio prototipale</i> .....	95
6.4.2	<i>Identificare una zona di interesse nell'immagine</i> .....	96
6.5	RETI NEURALI ARTIFICIALI PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE ROI.....	97
7	CONCLUSIONI.....	102
8	ALLEGATI.....	104
8.1	SPECIFICHE TECNICHE SENSORI DEL “KIT SMART HOME ENEA” .....	104
8.2	SPECIFICHE TECNICHE STORAGE.....	106
8.3	VERIFICHE DATI DIMOSTRATIVO ROMA VITERBO .....	108
9	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	112
10	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	115

**Indice delle figure**

Figura 1.	Città coinvolte nella sperimentazione di reti di Smart Homes.....	9
Figura 2.	Fasi della sperimentazione .....	10
Figura 3.	Estratto del Webinar del 2 marzo 2021.....	10
Figura 4.	Modulo per l’adesione volontaria al dimostrativo .....	11
Figura 5.	Inquadramento della rete di Smart Homes di Roma.....	13
Figura 6.	Ripartizione dei consumi annui di energia primaria suddivisi per tipologia di vettore energetico. ....	15
Figura 7.	Ripartizione consumi elettrici in accumulabili, differibili, non differibili.....	15
Figura 8.	Ripartizione dell’energia elettrica disponibile suddivisa in prelevata, auto consumata ed esportata .....	16
Figura 9.	Immagine del Kit Smart Home Enea .....	20
Figura 10.	Configurazione della sperimentazione congiunta .....	23
Figura 11.	Architettura del sistema adottata nel dimostrativo di Roma.....	24
Figura 12.	Generale $DU = f(\text{Meter Aeotec})$ .....	27
Figura 13.	Schema dei flussi energetici dell’abitazione.....	28
Figura 14.	Schema funzionamento EB12 .....	28
Figura 15.	Flussi energetici 2 giorni esempio EB12 .....	29
Figura 16.	EB12. Approfondimento su batteria.....	30
Figura 17.	Correlazione livello batteria = $f(\text{SOC})$ .....	30
Figura 18.	Esempio EB12. Andamento energia 2 giorni .....	31
Figura 19.	SOC misurato e calcolato.....	31
Figura 20.	Simulazione EB12 esempio 2 giorni.....	32
Figura 21.	Carpet plot dei consumi di energia elettrica giornalieri su base oraria per l’appartamento Tabona11 .....	37
Figura 22.	Carpet plot dei consumi di energia elettrica giornalieri su base oraria mediati per giorno della settimana per l’appartamento Tabona11 .....	38
Figura 23.	Profili di carico medio su base oraria e relativo range di variabilità per i cluster ottenuti per l’appartamento Tabona11.....	38
Figura 24.	Calendario dei consumi dell’aggregato di utenze e suoi profili caratteristici .....	39
Figura 25.	Schema di funzionamento della Smart Sim e dei feedback che fornisce.....	40
Figura 26.	Interoperabilità della piattaforma DHOMUS.....	41
Figura 27.	Architettura della piattaforma DHOMUS .....	41

Figura 28. Overview delle funzionalità della piattaforma DHOMUS dedicata alle Smart Homes.....	42
Figura 29. Interfaccia Datalogger e suo sottomenù .....	43
Figura 30. Interfaccia Edifici e suoi sottomenù .....	44
Figura 31. Interfaccia utenti e sottomenù di modifica .....	44
Figura 32. Interfaccia Ruoli .....	45
Figura 33. Anagrafica utente: scheda riepilogativa .....	46
Figura 34 Struttura DB di anagrafica “energybox” .....	46
Figura 35 Diagramma E-R del DB MySQL “energybox” .....	47
Figura 36. Interfaccia Utente Smart Home-sezione Dati.....	48
Figura 37. Sezione Home dell’interfaccia utente per il controllo e gestione dei dispositivi .....	49
Figura 38. Confronto e benchmark relativo al consumo elettrico generale .....	50
Figura 39. Confronto consumo elettrodomestici monitorati .....	50
Figura 40. Suddivisione dei consumi mensili nelle fasce F1, F2, F3.....	50
Figura 41. Interfaccia Aggregatore .....	52
Figura 42. Workflow della web application Smart Sim .....	56
Figura 43. Architettura e stack tecnologico Smart Sim .....	57
Figura 44. Template di dashboard “Metronic” .....	59
Figura 45. Processo di calcolo di una scheda .....	60
Figura 46. Homepage .....	61
Figura 47. Sezione “Le mie schede” .....	62
Figura 48. Esportazione lista schede .....	62
Figura 49. Filtraggio schede.....	63
Figura 50. Sezione 1 - Dati generali .....	64
Figura 51. Sezione 2 – Caratteristiche edificio .....	65
Figura 52. Sezione 3 - Impianti .....	66
Figura 53. Sezione 4 - Elettrodomestici .....	67
Figura 54. Sezione 5 – Costi e consumi .....	68
Figura 55. Sezione calcolo dei risultati .....	69
Figura 56. Report risultati.....	69
Figura 57. Sezione risultato della simulazione .....	70
Figura 58. Sezione ripartizione dei consumi e impatto ambientale.....	71
Figura 59. Sezione Come risparmiare.....	71
Figura 60. Diagramma ER del Database MySQL .....	72
Figura 61. Caratteristiche della Funzione di Flessibilità [22]. .....	76
Figura 62. Andamento giornaliero medio del PUN nel 2019 (GME). .....	77
Figura 63. Setpoint standard di temperatura per un edificio residenziale. ....	78
Figura 64. Variazione di temperatura rispetto al caso standard dovuta al controllo flessibile sopra descritto. ....	78
Figura 65. Modello dell’appartamento “EB6” .....	79
Figura 66. Consumi mensili di elettricità e gas naturale dell’appartamento “EB6” .....	80
Figura 67. Schedule dei carichi elettrici dell’appartamento EB6 nel giorno medio assoluto e in quelli feriale e festivo. ....	80
Figura 68. Confronto tra i profili di potenza termica richiesti dai controlli standard e flessibile nei giorni medi invernale ed estivo. ....	81
Figura 69. Shift dei carichi termici giornalieri dai momenti di picco a quelli di minimo del PUN, dovuto al controllo flessibile. ....	81
Figura 70. Taglio percentuale dei consumi in corrispondenza dei picchi giornalieri, dovuto al controllo flessibile.....	82
Figura 71. Andamento giornaliero dell’indice di Flessibilità e dei risparmi giornalieri, connessi all’adozione del controllo flessibile. ....	82
Figura 72. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna. ....	83
Figura 73. Geometria di una depth camera .....	85

Figura 74. Geometria delle telecamere di bordo del robot NAO (vista laterale).....	86
Figura 75. La depth camera Intel RealSense D455. ....	86
Figura 76.. NAO con il caschetto che ospita la dept camera .....	87
Figura 77.La coppia di immagini stereoscopiche acquisite nel Laboratorio “Tecnologie per la Qualità della Vita” del Centro Ricerche ENEA della Casaccia dove opera il robot NAO .....	87
Figura 78.La mappa di disparità per la coppia stereoscopica precedente .....	88
Figura 79.Ricostruzione 3D dell’ambiente e posizionamento su mappa del robot e dell’ostacolo frontale ..	89
Figura 80.NAO nell’ambiente per il test di ricostruzione 3D.....	90
Figura 81.La scena ripresa dalla camera del robot NAO e la mappa di disparità trovata .....	91
Figura 82.La ricostruzione 3D della scena ed il posizionamento su mappa .....	91
Figura 83. La stazione di ricarica automatica nell’ambiente di test e la sua posizione su mappa .....	92
Figura 84.Dettaglio della stazione di ricarica automatica del robot NAO .....	93
Figura 85.Diagramma di flusso per la ricarica automatica del robot NAO.....	93
Figura 86. Avvicinamento e collegamento alla stazione di ricarica del robot NAO. ....	94
Figura 87.Dettaglio della piastra posta sulla schiena del robot e della connessione che viene stabilita con la stazione di ricarica. ....	94
Figura 88. Diagramma di flusso del servizio prototipale “TROVA OGGETTO” ad attivazione vocale .....	95
Figura 89. La scena ripresa dalla videocamera del robot NAO.....	96
Figura 90. Le ROI dell’immagine ripresa dalla videocamera .....	97
Figura 91. Le 5 ROI finali dell’immagine .....	97
Figura 92. Una piccola porzione del database ImageNet.....	98
Figura 93. La prime due ROI: occhiali e telecomando .....	99
Figura 94. Le prime due ROI in ingresso alla rete neurale artificiale.....	99
Figura 95. La rete neurale artificiale implementata con in ingresso la prima e la seconda ROI .....	100
Figura 96. La terza ROI che è stata trovata: la marca del frigorifero.....	100

## Sommario

Nel Report è descritta la sperimentazione condotta su reti di Smart Homes che ha permesso di testare la piattaforma DHOMUS (<https://dhomus.smartenergycommunity.enea.it/>) con differenti tipologie di utenza: consumer e prosumer, con e senza storage. Inoltre sono state testate differenti modalità di acquisizione dei dati e strumentazione installata presso le singole abitazioni, in particolare è stata verificata l'integrazione tra i Meter di nuova generazione ed i dispositivi IoT, il fotovoltaico e lo storage elettrico.

Per quanto riguarda la piattaforma DHOMUS, sono stati implementati i casi d'uso progettati nella precedente annualità ed i relativi servizi dedicati agli utenti residenziali, sia per quelli dotati di sensoristica delle Smart Homes, che per quelli generici per i quali è stato implementato il tool web "Smart Sim", in grado di fornire feedback customizzati sulla base di una simulazione dinamica della singola abitazione.

I servizi implementati sono stati testati grazie al coinvolgimento degli utenti e delle Smart Homes oggetto dei dimostrativi sperimentali realizzati a Roma, Viterbo e Pinerolo dove è stato coinvolto un condominio, configurato come auto-consumatore collettivo.

L'obiettivo della piattaforma è incrementare la consapevolezza e flessibilità energetica dell'utente finale ed abilitarlo ad una partecipazione attiva alle nascenti comunità energetiche.

Relativamente all'Assisted Living, è stato progettato, implementato e testato un dimostrativo sperimentale in cui il robot NAO si auto-localizza, pianifica ed esegue il cammino che lo porta, in sicurezza e quando la batteria di bordo sta per scaricarsi, sulla stazione di docking (appositamente sviluppata) per effettuare la ricarica automatica della sua batteria di bordo. Inoltre sono stati sviluppati nuovi servizi e comportamenti dello stesso NAO per aiutare la persona a trovare il proprio ausilio o un altro oggetto di uso quotidiano che è stato smarrito o, più semplicemente, perso di vista. Il robot, compreso il comando vocale dell'utente, si localizza e pianifica una rotta di esplorazione della casa e la esegue in sicurezza. Una volta trovato l'oggetto chiesto dall'utente, lo localizzerà su mappa e ne comunicherà alla persona l'esatta posizione.

## 1 Introduzione

In questa annualità le attività si sono concentrate sull'implementazione dei servizi dedicati agli utenti residenziali del portale DHOMUS, acronimo di **Data HOMes** e **USers**, che hanno lo scopo di accrescere la consapevolezza e il ruolo attivo dei consumatori, sfruttando le tecnologie della domotica, della digitalizzazione delle reti e dello Smart Metering.

Direttamente dalla home page di DHOMUS, all'indirizzo <https://dhomus.smartenergycommunity.enea.it/> è possibile accedere ai due servizi implementati:

- **Smart Sim** <https://www.smarthome.enea.it/smartsim/>, dedicata al **comune consumatore**, che paga le bollette e vuole dei suggerimenti per risparmiare su energia e costi. Questo servizio consente di effettuare una simulazione dinamica della propria abitazione. A partire dalla compilazione di un questionario iniziale, si ottengono feedback e suggerimenti customizzati
- **Smart Home**, è il servizio di DHOMUS dedicato esclusivamente a **tutti gli utenti** che sono in grado di condividere con la piattaforma i dati relativi ai propri consumi in real time, ovvero a quelle abitazioni dotate di dispositivi o sensori smart per il monitoraggio dei consumi. Le modalità di connessione alla piattaforma sviluppate e testate in contesti reali possono essere differenti:
  - Tramite il "kit Smart Home " sviluppato da Enea, basato sull'impiego di sensori commerciali e un gateway denominato Energy Box (EB);
  - Tramite sensori di terze parti in grado di trasferire i dati acquisiti da un cloud proprietario al cloud di DHOMUS
  - Tramite il cosiddetto Dispositivo Utente (DU) connesso tramite PLC agli Smart Meter di nuova generazione in grado di trasferire informazioni al cloud del distributore o di altra parte.

In questa annualità è stato realizzato un dimostrativo di reti di Smart Homes che ha permesso di testare la piattaforma DHOMUS con differenti tipologie di utenza: consumer, prosumer, consumer con storage. La stessa piattaforma DHOMUS è stata impiegata per acquisire i dati di un'autoconsumatore collettivo presso un condominio a Pinerolo in provincia di Torino. Dal punto di vista tecnologico, sono state testate differenti modalità di acquisizione dei dati e strumentazione installata presso le singole abitazioni, in particolare è stata verificata l'integrazione tra i Meter di nuova generazione ed i dispositivi IoT, il fotovoltaico e la batteria presenti nelle abitazioni.

Per quanto riguarda la SMART SIM, è stata implementato l'applicativo come servizio web, disaccoppiando il processo di interazione con l'utente ovvero la fase di inserimento degli input e di consultazione dei risultati, da quello di calcolo. Tale disaccoppiamento ha facilitato l'integrazione del motore di calcolo nella sua implementazione originaria in Excel, sviluppata in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma, come descritto nel Report Rds/PTR2019/002.

Inoltre è stata avviato lo studio di una metodologia appositamente sviluppata per valutare la flessibilità energetica in ambito residenziale legata agli usi termici che una comunità energetica può mettere a disposizione del sistema elettrico e nel presente report se ne propone una prima applicazione ad un caso studio.

Infine per quanto riguarda le attività relative all'Assisted Living, in prosecuzione con quanto svolto nelle precedenti annualità, è stato avviato un percorso di ampliamento della sensoristica di bordo del robot NAO, un robot umanoide attraverso il quale sono stati veicolati alcuni innovativi servizi di Assisted Living. Le attività svolte hanno riguardato un ulteriore sviluppo della sensoristica, l'ampliamento dei tempi di funzionalità del robot grazie allo sviluppo di una stazione di ricarica automatica, che può essere raggiunta dal robot in modo autonomo, ed, infine, lo sviluppo di un ulteriore servizio di Assisted Living con il quale aiutare le persone a trovare un particolare oggetto all'interno della propria abitazione.

## 2 Dimostrativo sperimentale di reti di Smart Homes

### 2.1 Inquadramento generale

In questa annualità è stata condotta la sperimentazione su reti di Smart Homes che ha permesso di testare la piattaforma DHOMUS con differenti modalità di acquisizione dei dati e differente strumentazione installata presso le singole abitazioni.

La sperimentazione è stata condotta in tre città italiane in ognuna delle quali è stata condotta in una modalità differente: Pinerolo, Viterbo e Roma.

La soluzione tecnologica sviluppata da Enea, il “Kit Smart Home” è stata installata presso le abitazioni di Viterbo. A Roma tale Kit è stato integrato con gli smart Meter di nuova generazione e gli storage, mentre per un condominio a Pinerolo in provincia di Torino i dati sono stati acquisiti da strumentazione installata da terze parti e la condivisione dei dati è avvenuta cloud to cloud con la piattaforma DHOMUS.

Nella sperimentazione sono state coinvolte differenti tipologie di utenti, ovvero differenti tipologie di partecipazione ad una potenziale energy community: semplici consumer, prosumer e prosumer con storage, denominati prostormer, dalla fusione delle parole **pro**sumer e **storage**. In particolare a Pinerolo è stato coinvolto un intero condominio che si configura come auto consumatore collettivo.



Figura 1. Città coinvolte nella sperimentazione di reti di Smart Homes

### 2.2 Dimostrativo a Roma e Viterbo

Il dimostrativo sperimentale a Roma ha interessato alcuni utenti che avevano già partecipato alla precedente attività sperimentale nel quartiere di Centocelle, a tal riguardo si veda il Report RdS/PTR2019/001, a cui si sono aggiunti utenti del quartiere Tor di Valle e Villaggio Olimpico e altri 2 utenti a Viterbo.

A causa Covid, il coinvolgimento degli utenti residenziali è stata più difficile di quanto programmato, per questo motivo una parte del budget disponibile per la sensoristica è stato impegnato per la realizzazione di uno smart Building a Bari come descritto in dettaglio nel report della Linea di Attività 1.14, RdS/PTR(2021)/009.

Nella sperimentazione condotta a Roma, grazie ad un Accordo di collaborazione siglato tra Enea e Areti, è stato possibile collaborare in alcuni casi pilota ed integrare il kit Smart Home fornito da Enea con i contatori elettrici di nuova generazione, forniti dal Distributore (DSO) Areti.

L'accordo si è basato sull'individuazione, da parte di ENEA ed Areti, di una convergenza nello sviluppo della tecnologia Blockchain al fine di certificare scambi istantanei di energia tra le parti e di regolare eventuali premialità e penalità, rendendo attivo il cliente finale: l'ENEA, nell'ambito del presente Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico,

mentre Areti S.P.A, come gestore della rete elettrica del Comune di Roma e nell’ambito del progetto H2020 finanziato dalla Commissione Europea “Platone, PLATform for Operation of distribution Networks. L’obiettivo comune è stato quello di verificare metodologie di gestione energetica innovativa di edifici che gestiscano e certifichino, in modalità “Demand Response”, gli scambi energetici tra la rete e gli edifici stessi al fine della massimizzazione dell’efficienza degli usi dell’energia, della gestione ottimizzata della rete di distribuzione, l’abilitazione e l’inclusione delle utenze elettriche a servizio di detti edifici ai nascenti mercati della flessibilità locale e del dispacciamento.

Per illustrare gli obiettivi della sperimentazione e coinvolgere attivamente gli utenti sono stati realizzati due Workshop virtuali da remoto: il 2 ottobre 2021 e il 2 Marzo 2021, le installazioni del Kit Smart Home Enea presso le abitazioni è iniziato a Giugno, successivamente il Kit è stato integrato con i dispositivi messi a disposizione da Areti. Lo schema di seguito sintetizza le varie fasi e tempistiche della sperimentazione.



Figura 2. Fasi della sperimentazione

Nei workshop sono state illustrate le finalità del progetto, le modalità di partecipazione e le possibili configurazioni e kit di sensori da installare, soprattutto l’integrazione tra la strumentazione della Smart Home con i contatori di nuova generazione.

**Cosa comporta aderire alla sperimentazione?**

Per aderire alla sperimentazione ENEA relativa alla SMART HOME si richiede di installare a titolo gratuito un kit di sensori e compilare il format di adesione

KIT SMART HOME ENEA		
FUNZIONE	SENSORE	DESCRIZIONE REQUISITI
Monitoraggio elettrico	1 Meter elettrico*	Contatore da installare in corrispondenza del quadro generale della casa
	4 Smart plug	Presse intelligenti per il monitoraggio e controllo di elettrodomestici o altri dispositivi elettrici.
	2 Smart switch	Micromodulo per il monitoraggio dei condizionatori. Necessità di alimentazione elettrica.
Monitoraggio comfort indoor e presenza	2 Multisensore T,U, presenza	Da installare in 2 ambienti significativi
	1 Contatto apertura e chiusura	Da installare sulla porta d'ingresso, plug and play alimentato a batteria
Energy box	1 Gateway	Mini Pc che richiede alimentazione elettrica e connessione internet

**\* Meter elettrico** Dove disponibile sarà impiegato lo Smart Meter e dispositivo utente fornito da Areti.

Figura 3. Estratto del Webinar del 2 marzo 2021

A valle del workshop di marzo sono stati inviati ai partecipanti i moduli per l’adesione alla sperimentazione nell’ambito della RDS e l’informativa della privacy per la loro presa visione.



**Modulo di adesione volontaria alla sperimentazione**  
Smart Home 2.0 nell'ambito del PTR 2019-2021 della RDS

*1.1 Premessa*

L'ENEA – Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, ha avviato un'iniziativa sperimentale nell'ambito del Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale, per quanto attiene l'Obiettivo 1. Tecnologie, tema di ricerca "1.7 Tecnologie per la penetrazione del vettore elettrico negli usi finali"; nello specifico, si riferisce Work package "Local Energy District".

Il progetto finanziato dal Mise si propone lo sviluppo di un modello integrato di distretto urbano energetico che coniuga aspetti tecnologici ed aspetti sociali, finalizzati al miglioramento dei servizi erogabili ai cittadini in quanto più efficienti dal punto di vista energetico e funzionale. L'obiettivo è che tutti i servizi di quartiere siano gestiti in maniera ottimale, misurabile, trasparente, sinergica ed interoperabile ed il cittadino abbia un ruolo fondamentale nel processo di razionalizzazione e flessibilità del sistema elettrico. In particolare si propone di sviluppare servizi aggregati per Smart Homes, includendo la perfetta integrazione tra efficienza energetica, economia, sicurezza e servizi aggregati di assisted living, flessibilità ed elevata integrazione tra rete elettrica ed edificio.

Nel test saranno coinvolte un gruppo selezionato di residenti nel Comune di Roma che presteranno **adesione volontaria** alla sperimentazione, alcuni dei quali già hanno collaborato con ENEA sui temi dell'uso efficiente e consapevole dell'energia.

La partecipazione al progetto prevede la sperimentazione di un **prototipo di Smart Home** in cui è previsto il monitoraggio real time di una serie di parametri grazie all'installazione nelle abitazioni di sensori in grado di acquisire i dati ed inviarti ad una piattaforma DHOMUS disponibile al link: [www.smarthome.enea.it](http://www.smarthome.enea.it).

I dati acquisiti saranno relativi ai consumi elettrici generali e degli elettrodomestici, alla presenza degli occupanti e ai parametri ambientali, raccolti tramite i sistemi di gestione energetica installati a **titolo gratuito** dall'ENEA presso le abitazioni dei partecipanti. Inoltre il sistema potrà acquisire dati relativi ai consumi elettrici monitorati dai contatori elettrici di seconda generazione, dati relativi alla eventuale produzione e immagazzinamento dell'energia elettrica tramite Fotovoltaico e storage installato, ove questi presenti e connessi alla piattaforma DHOMUS.

Ai partecipanti alla sperimentazione sarà possibile, tramite accesso alla piattaforma DHOMUS, il monitoraggio dei dati acquisiti dalla sensoristica installata e la fruizione dei servizi messi a disposizione: certificazione della propria flessibilità elettrica tramite tecnologia Blockchain, feedback customizzati sui propri consumi, confronti con utenti simili. Inoltre, gli utenti sperimentatori dei sistemi di Smart Home testati nel progetto, avranno la possibilità di interagire con questi strumenti per rispondere alle richieste di flessibilità proveniente dalla rete.

*1.2 Coinvolgimento nella sperimentazione*

1) Nel corso del progetto selezioneremo delle famiglie per effettuare dei test nelle unità abitative per sperimentare sistemi per il monitoraggio e la gestione energetica flessibile. Sarebbe disponibile a partecipare alla sperimentazione, considerando che potrà ritirare la sua adesione in ogni momento e che tale attività non comporta alcun costo da parte sua?

Sì  
 No

1



2) La sua adesione volontaria alla sperimentazione in qualità di:

Singolo utente della rete elettrica  
 Amministratore di condominio (indicare il numero di abitazioni coinvolte..... in questo caso il presente modulo dovrà essere accompagnato dalle adesioni dei singoli condomini)

3) Durante la sperimentazione è interessato all'installazione dei seguenti componenti (indicare solo le componenti a cui si è potenzialmente interessati)

Sistema Smart Home 2.0 completo (Energy Box, meter, smart plug e switch per il monitoraggio di singoli elettrodomestici, sensori per il monitoraggio confort e presenza indoor).  
 Solo Energy Box e smart meter.

*1.3 Adesione Volontaria*

Il gruppo di ricerca tiene in alta considerazione la tua privacy e la tutela dei tuoi diritti. In ogni momento potrai revocare la tua **adesione volontaria**, nel seguito richiesta, alla partecipazione all'iniziativa. In allegato alla presente, per presa visione, ti forniamo la nostra informativa privacy dove troverai tutte le informazioni relative al trattamento dei tuoi dati personali ed all'esercizio dei diritti che li riguardano, tra cui quello di conoscere, aggiornare o cancellare i dati che ci hai fornito a scopo di ricerca.

Firma per adesione volontaria

.....

Si prega di inviare il modulo firmato al seguente indirizzo: [smarthome.project@enea.it](mailto:smarthome.project@enea.it)

Grazie per la collaborazione  
Team Smart Home

2

**Figura 4. Modulo per l'adesione volontaria al dimostrativo**

### 2.2.1 Trattamento dei dati personali

Per quanto riguarda la sperimentazione congiunta ENEA- Areti, è stato predisposto un accordo di contitolarità del trattamento dei dati personali secondo quanto definito nello stesso accordo di collaborazione

Mentre nell'informativa sul trattamento dei dati personali secondo quanto richiesto dalla normativa in vigore<sup>1</sup>, come disposto dal DPO dell'ENEA, sono state riportate e illustrate:

- Le finalità del trattamento e tipologia dei dati trattati;
- Possibili destinatari dei dati richiesti all'utente;
- Modalità di trattamento e conservazione dei dati;
- Informativa sui diritti degli utenti firmatari.

In particolare i dati personali trattati nella sperimentazione condotta sono i seguenti:

<sup>1</sup> In conformità alle previsioni contenute nel Regolamento UE 2016/679 del 27 aprile 2016 relativo alla protezione delle persone fisiche con riguardo al trattamento dei dati personali, nonché alla libera circolazione di tali dati (Regolamento generale sulla protezione dei dati, di seguito "Regolamento UE") e nel D.lgs. 196/2013 e successive modifiche e integrazioni.

- Dati anagrafici, dati di contatto e indirizzo di abitazione dei partecipanti alla sperimentazione, conferiti dagli stessi in sede di adesione volontaria;
- Dati relativi ai consumi elettrici degli elettrodomestici, alla presenza degli occupanti e ai parametri ambientali, raccolti tramite i sistemi di gestione energetica installati dall'ENEA presso le abitazioni dei partecipanti;
- Dati relativi ai consumi elettrici monitorati dai contatori elettrici di seconda generazione installati dal DSO, i dati relativi alla eventuale produzione e immagazzinamento dell'energia elettrica tramite fotovoltaico e storage installato e i dati necessari alla corretta valutazione della soluzione da implementare.

La finalità del trattamento è quella di ricerca scientifica. L'acquisizione del consenso è avvenuta tramite apposita informativa, con invio del modulo in fase di richiesta di adesione per sola presa visione. I dati potranno essere comunicati dai contitolari a soggetti incaricati dell'esecuzione di attività connesse e strumentali ai trattamenti, quali società di servizi alla comunità scientifica, ad Autorità, a Università e alla Società che gestisce la rete. L'eventuale diffusione dei dati avverrà solo in forma aggregata o completamente anonima per report di progetto o per pubblicazioni scientifiche. I dati personali raccolti potranno essere trasferiti all'estero.

I dati saranno conservati in database allocati in ambiente on premises, all'interno della intranet ENEA, non accessibile dall'esterno, nei 12 mesi successivi al termine del progetto per finalità di analisi dei risultati relativi alla sperimentazione e successivamente cancellati o anonimizzati.

I dati potranno essere conservati per una durata ulteriore, ai sensi dell'art. 99 Codice Privacy, e potranno essere condivisi con enti pubblici, privati e con la comunità scientifica in forma anonimizzata e aggregata o in forma statistica o come risultati di analisi. Tali risultati potranno essere utilizzati in modo anonimo per la divulgazione scientifica in varie forme e per le finalità del Progetto Platone nonché da ENEA per le finalità proprie e nell'ambito del Progetto di Ricerca di Sistema Elettrico. In particolare, i risultati della sperimentazione potranno essere successivamente divulgati in forma anonima, in occasione di congressi, riunioni scientifiche e pubblicazioni.

Inoltre, in collaborazione con Università degli Studi della Basilicata è stata approfondita la tematica legata al trattamento dei dati personali in ambito dell'energy community come descritto in dettaglio nel Report RdS/PTR(2021)/047, "Comunità energetiche e implicazioni in tema di dati personali. Riflessioni operative per possibili itinerari" a cui si rimanda per un approfondimento del tema.

### 2.2.2 Tipologia di utenza e dotazione impiantistica

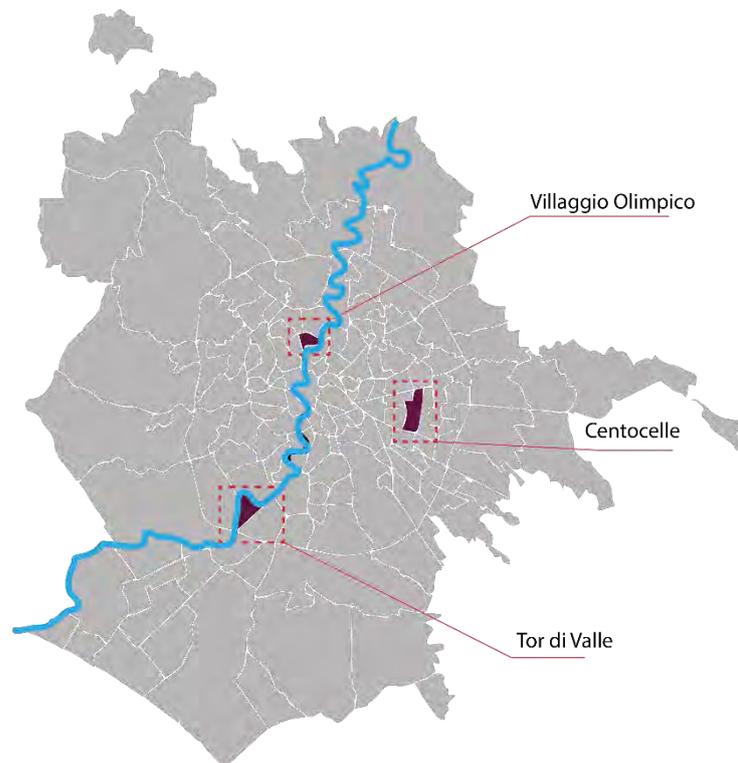
Al fine di ampliare il bacino e la tipologia di utenti coinvolti sono stati invitati sia gli utenti di Centocelle, già interessati alla precedente sperimentazione, sia nuovi utenti di altri due quartieri di Roma: Tor di Valle e Villaggio Olimpico. Gli utenti sono di differente tipologia sia semplici consumer che prosumer, infatti dove possibile, sono stati dotati di micro fotovoltaico e storage elettrico.

Nella figura seguente è riportato l'inquadramento urbanistico della rete di Smart homes realizzato a Roma, nei quartieri descritti di seguito:

- Centocelle, è un quartiere popolare situato nell'area Orientale della Capitale all'interno del Grande Raccordo Anulare, già interessato dalla precedente sperimentazione con una decina di utenti, semplici consumer con scarso impiego del vettore elettrico e gas per il riscaldamento invernale e l'acqua calda sanitaria, in questa nuova sperimentazione, dove possibile, sono stati dotati di micro fotovoltaico e storage.
- Il quartiere di Tor di Valle si trova nell'area sud di Roma, in un'ansa del fiume Tevere (riva sinistra), a ovest della via del Mare, dove è presente una centrale di cogenerazione, che fornisce energia elettrica in Alta Tensione alla rete di trasmissione nazionale e alimenta la rete di teleriscaldamento a cui sono collegati gli utenti che risiedono in quest'area, che pertanto non impiegano il gas per il

riscaldamento invernale. Le abitazioni qui monitorate sono di più recente costruzione e si può notare un maggiore impiego del vettore elettrico soprattutto per il condizionamento estivo.

- Il Villaggio Olimpico è un quartiere situato all'interno del quartiere Parioli in una zona centrale nell'area Nord della Capitale. Si tratta di un intero complesso costruito negli anni 1958-59 per ospitare gli atleti delle Olimpiadi del 1960. Dopo anni di degrado il complesso è stato riqualificato e le abitazioni coinvolte nella sperimentazione sono state ristrutturare. Si tratta di utenti che usano quasi esclusivamente il vettore elettrico.



**Figura 5. Inquadramento della rete di Smart Homes di Roma**

Agli utenti di Roma si sono uniti 2 utenti di Viterbo direttamente coinvolti dall'Università "La Sapienza" nell'ambito delle attività relative alla Linea di Attività LA 1.9, si veda a tal anche riguardo il Report RdS/PTR(2021)/006.

La sperimentazione condotta a partire dal giugno 2021 ha interessato una decina di utenti che afferiscono ai quartieri sopra descritti le cui caratteristiche sono riassunte nella tabella seguente, in cui sono riportate le caratteristiche dell'edificio (tipologia, superficie utile, anno di costruzione, eventuali interventi di efficientamento) e dell'utenza (numero di utenti e loro presenza nell'arco della giornata).

In generale si tratta di famiglie con figli, solo due famiglie sono composte da 2 persone: una coppia giovane, l'altra è una coppia di pensionati.

Di seguito le famiglie verranno identificate con il numero di EB a loro associato come riportato nella tabella di seguito.

**Tabella 1. Tipologia di utenza di Roma e Viterbo**

ID Nuovo EB	Località	Tipologia di edificio	Superficie abitazione (mq)	Anno di costruzione	Interventi di riqualificazione (Tipo-Anno-%)	Numero utenti	Presenze (8-12), (13-18), (18-0), (0-8)
1	Viterbo	Appartamento in edificio plurifamiliare	108	1962-71		4	1-2-4-4
2	Viterbo	Casa isolata	147	1991-2005		4	0-3-4-4
3	Centocelle	Appartamento in casa isolata bifamiliare	101	1919-45	Isolamento soffitto 1991-2005 100%	2	0-0-2-2
4	Tor Di Valle	Appartamento in edificio plurifamiliare	100	1982-91	Infissi (dopo 2015) 26%	2	2-2-2-2
5	Villaggio Olimpico	Appartamento in edificio plurifamiliare	120	1946_61	Infissi (dopo 2015) 100%	3	1-3-3-3
6	Centocelle	Appartamento in edificio plurifamiliare	49	1919-45	Infissi (2010-15) 100%	4	1-3-4-4
9	Villaggio Olimpico	Appartamento in edificio plurifamiliare	120	1946_61	Infissi (2010-15) 100%	3	1-2-3-3
10	Tor Di Valle	Appartamento in edificio plurifamiliare	-				
11	Tor Di Valle	Appartamento in edificio plurifamiliare	144	1982-91	- - -	3	1-2-3-3
12	Centocelle	Casa isolata	65	2010-15	- - -	4	1-3-4-4

Ai partecipanti alla sperimentazione è stato richiesto di compilare la Smart Sim, questo ha permesso di caratterizzare la tipologia di utenza, inoltre i dati acquisiti sono stati impiegati per fornire dei feedback customizzati in fase di sperimentazione.

Nella figura seguente, per ciascuna famiglia, sono riportati i consumi annui stimati in energia primaria suddivisi per vettore energetico, gas ed elettricità, mentre gli EB sono raggruppati in funzione del numero di utenti per consentire un confronto tra tipologie di famiglie simili.

A causa del Covid i dati relativi ai consumi indicati in bolletta relativi all'ultimo anno hanno risentito del lungo periodo di lockdown e pertanto potrebbero non essere rappresentativi della tipologia di utenza, per questo non viene riportato il confronto tra il dato stimato e quello reale ricavato dalle bollette energetiche dell'ultimo anno.

Dal grafico sottostante è possibile valutare il livello di elettrificazione delle abitazioni campione, ovvero la percentuale di copertura degli usi energetici ottenuta grazie all'impiego dell'energia elettrica, indice della tipologia di utente: solo tre degli utenti usano il vettore elettrico come vettore energetico prevalente: EB 5, EB9 e EB11.

In generale, gli utenti che usano sia l'elettricità che il gas hanno consumi annui più elevati, la percentuale di consumi legati al vettore gas arrivano, nelle abitazioni con uso del vettore misto, fino al 70 % dell'energia primaria.

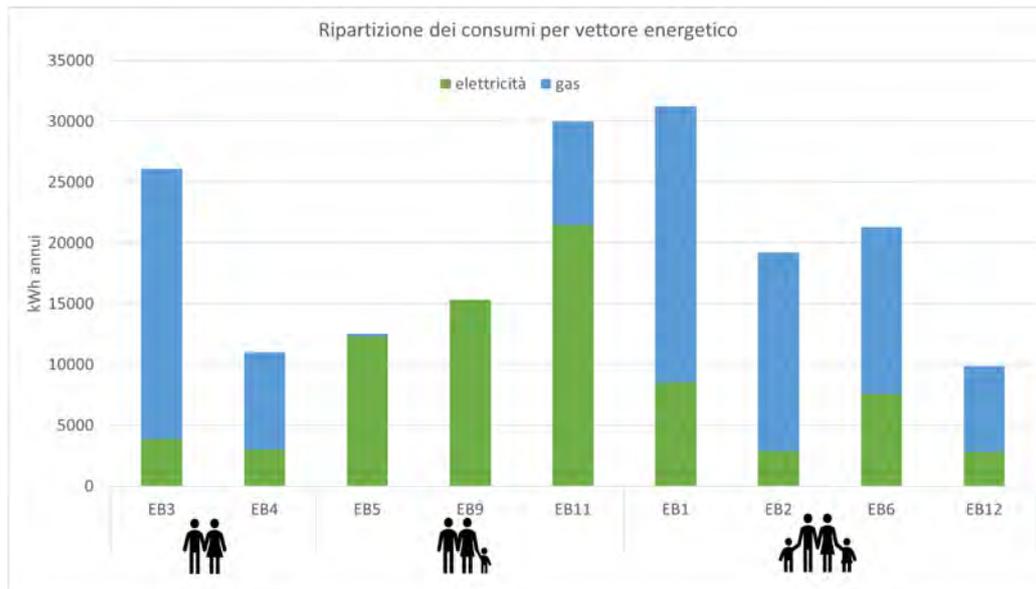


Figura 6. Ripartizione dei consumi annui di energia primaria suddivisi per tipologia di vettore energetico

Sempre grazie all'elaborazioni effettuate tramite la Smart Sim è stato possibile valutare i consumi elettrici potenzialmente accumulabili o differibili, ovvero i consumi che possono essere spostati in altra ora della giornata da parte delle stesse famiglie. Tali indicazioni servono a misurare il potenziale di aggregabilità dell'abitazione, in una eventuale attività di Demand Response e in ottica energy community. I suddetti valori sono riportati nella tabella seguente:

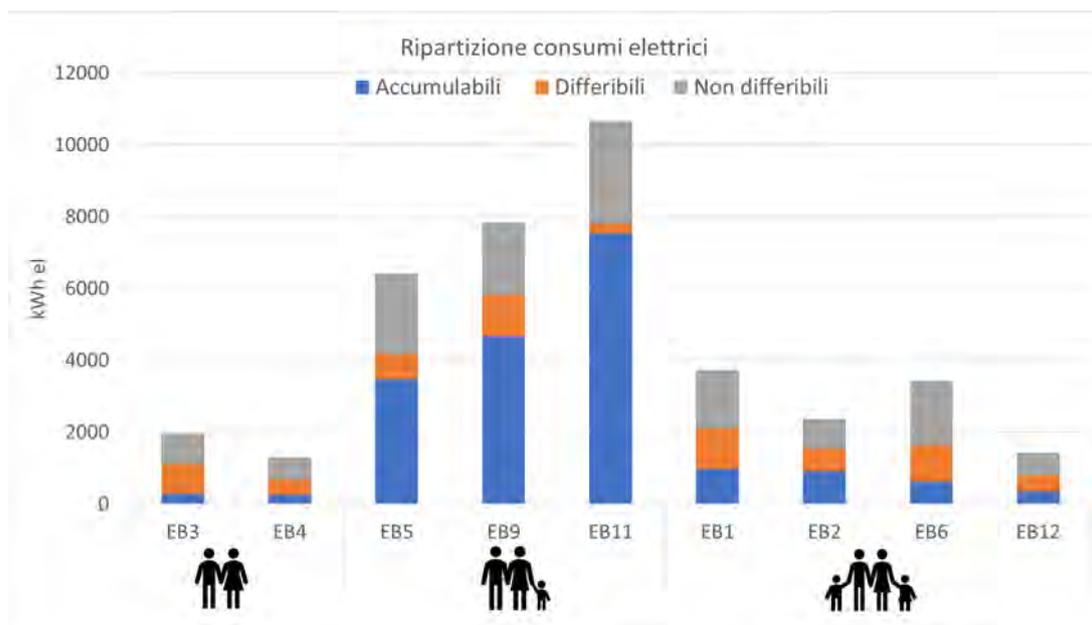


Figura 7. Ripartizione consumi elettrici in accumulabili, differibili, non differibili

Nella sperimentazione condotta in quest'annualità sono state coinvolte differenti tipologie di utente: semplici consumer e prosumer, alcuni di questi utenti sono stati dotati di micro fotovoltaico (MPV) e storage prima di avviare la sperimentazione (come descritto nel paragrafo 2.2.4 del presente report), grazie alla

simulazione effettuata con Smart Sim l'energia elettrica a disposizione di ogni utenza è stata suddivisa in energia prelevata dalla rete, auto consumata ed esportata.

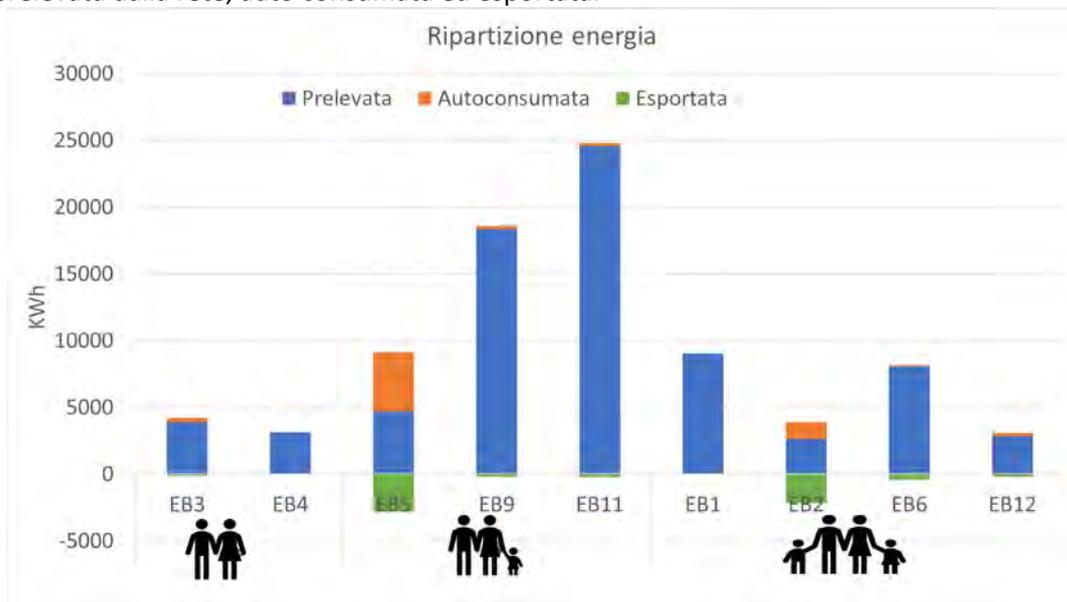


Figura 8. Ripartizione dell'energia elettrica disponibile suddivisa in prelevata, auto consumata ed esportata

Nella tabella seguente per ogni EB è riportata la tipologia di utenza prima della realizzazione del dimostrativo (ante) e dopo l'installazione di MMFV e storage (post). In effetti gli utenti erano e sono rimasti dei consumer dotati di storage ma con scarsissimi livelli di autosufficienza energetica a causa della esigua energia prodotta dal fotovoltaico. Solo due utenti, EB5 e EB9, erano prosumer e solo in un caso, l'EB5, nel dimostrativo è stato dotato di storage ed è in grado di raggiungere il 50 % di autosufficienza energetica.

Tabella 2. Livello di elettrificazione, autoconsumo e autosufficienza energetica stimata delle abitazioni del dimostrativo

n utenti	ID EB	Tipologia di utenza (Ante)	Tipologia di utenza nel dimostrativo (Post)	Livello di elettrificazione dell'abitazione	% Consumi accumulabili e differibili	% autoconsumo	% auto sufficienza energetica
2 persone	EB3	Consumer	Consumer con storage e MFV	14,9%	57,8%	75%	8%
	EB4	Consumer	Consumer con storage	27,0%	52,2%	0%	0%
3 persone	EB5	Prosumer	Prosumer con storage	98,5%	65,1%	61%	49%
	EB9	Consumer full electric	Consumer con storage e MFV	100,0%	74,2%	59%	1%
	EB11	Consumer	Consumer con storage e MFV	71,6%	73,3%	51%	1%
4 persone	EB1	Consumer	Consumer	27,4%	56,4%	0	0%
	EB2	Prosumer	Prosumer	15,0%	64,9%	37%	33%
	EB6	Consumer	Consumer con MFV	35,6%	47,7%	18%	1%
	EB12	Consumer	Consumer con storage e MFV	28,6%	55,9%	59%	9%

In generale solo le abitazioni che già erano dotate di un adeguato impianto fotovoltaico, presentano valori di energia auto consumata ed esportata apprezzabili, soprattutto quest'ultima potrebbe essere condivisa con le altre abitazioni se si configurassero come comunità energetica. Indubbiamente in caso di creazione di una comunità energetica sarebbe necessario dimensionare l'impianto fotovoltaico in modo da massimizzare l'energia auto-consumata, per questo si rimanda alla descrizione dello strumento RECON messo a punto

nell'ambito del presente Progetto di Ricerca e descritto nei Reports RdS/PTR(2021)/039 e RdS/PTR(2021)/043.

### 2.2.3 Dotazione impiantistica

Si riporta di seguito la tipologia di impianti presenti nelle abitazioni sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. Si nota una varietà di soluzioni per il riscaldamento, anche se nella maggior parte dei casi si tratta di abitazioni con caldaie tradizionali a gas, vi sono abitazioni che impiegano pompe di calore sia in estate che in inverno e vi sono anche abitazioni dotate di teleriscaldamento.

Per quanto riguarda i terminali, si tratta in generale di termosifoni per lo più privi di valvole termostatiche, mentre è presente quasi ovunque un termostato programmabile. Per l'acqua calda sanitaria (ACS) viene utilizzata sia la caldaia a gas istantanea che lo scaldabagno a pompa di calore.

Solo due abitazioni identificate, EB 2 e EB5, erano già dotate di un impianto fotovoltaico, rispettivamente di 3 e 6 kW di picco.

In generale in questa sperimentazione sono state coinvolte famiglie che usano maggiormente il vettore elettrico rispetto alla precedente condotta tra il 2017-2018 [3] , pertanto offrono maggiori margini di flessibilità, per una prima analisi della flessibilità energetica in ambito residenziale si rimanda al capitolo 4 del presente report.

**Tabella 3. Tipologia di impianto di riscaldamento, raffrescamento e ACS**

EB	Riscaldamento				Raffrescamento		ACS <i>Acqua Calda Sanitaria</i>
	Tipo di impianto	Tipo di generatore di calore	Terminali in ambiente	Modalità di regolazione	Condizionatori		
					n	Classe	
<b>1</b>	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato manuale	3	A+	Scaldabagno a pompa di calore
<b>2</b>	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato manuale	3	A+	Scaldabagno a pompa di calore
<b>3</b>	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A	Caldaia a gas istantanea
<b>4</b>	Centralizzato	Teleriscaldamento	Radiatori	Termostato programmabile	1	A+	Caldaia a gas istantanea
<b>5</b>	Autonomo	Pompa di calore	Radiatori	Termostato programmabile e valvole termostatiche	8	A+	Scaldabagno a pompa di calore
<b>6</b>	Autonomo	Caldaia a gas naturale tradizionale	Radiatori	Termostato programmabile	1	A+	Caldaia a gas istantanea
<b>9</b>	Autonomo	Pompa di calore	Radiatori	Termostato programmabile	10	A+	Scaldabagno a pompa di calore
<b>11</b>	Centralizzato	Teleriscaldamento	Radiatori	Termostato programmabile e valvole termostatiche	3	D	Caldaia a gas istantanea
<b>12</b>	Autonomo	Caldaia a gas naturale a condensazione	Radiatori	Termostato programmabile	3	A	Caldaia a gas istantanea

Di seguito la marca e modello degli elettrodomestici presenti nelle abitazioni, in questa tabella si anticipa il tipo di monitoraggio impiegato, ovvero le smart plug, il cui funzionamento è descritto nel paragrafo successivo.

**Tabella 4. Descrizione degli elettrodomestici monitorati con smart plug**

Nuovo EB	Lavatrice	Frigo	Lavastoviglie	Asciugatrice
1	Ariston AQ105F 29D	-	Ariston LFTA+ 2284A	Ariston AQC9 2F7 TM
2	Samsung WW90m7	-	BOSCH Mv46nx	Samsung DV9 N82
3	BEKO EV51007	-	Electrolux TT804R3	-
4	Electrolux RWT126451WTtyp 210C4430	AEG 70352-KG	AEG 6071-W	-
5	Indesit WILD 126 Exv	Ariston MBT 2012 IZS	-	-
6	Candy GC1071 D	SAMSUNG RB29FERNCWW	IKEA HYGIENISK	Candy GVS4 H74A1TCEX-01
9	AEG L61470FL		NEFF SD6P1F	ELECTROLUX EDH3985TDE
10	ARISTON Hotpoint AD7L U	BEKO G92605NE	ARISTON DWL DEA700-B	-
11	Samsung WW9*K5410WW	Ariston MBL 1923CV/HA	Bosch SMS58L18EU	-
12	Candy GS13102D3/1-S	INDESIT TAN 14NF PS	Electrolux GHE623DB4	-

Durante l'installazione alcuni utenti hanno espressamente richiesto di monitorare alcuni elettrodomestici e dispositivi elettrici, pertanto sono state installate alcune smart plug su Tv, pc e altre utenze elettriche come riportato nella tabella seguente.

**Tabella 5. Altre utenze elettriche monitorate tramite smart plug**

Nuovo EB	TV	PC	Altro
1	Samsung TV LED 50" UE50NU7090U Samsung TV LED 40" UE40K5102AK	PC e due monitor 27" e 23"+ MODEM WIFI+ ENERGY BOX(P) PC assemblato con due monitor 27" e 21"	Illuminazione tutta casa con lampade a LED
2	Samsung TV LED 40" UE40K5102AK		
3	OPTOMA 144X		
5	Samsung T24E310EX		Nespresso XN304 TK Pixie

Di seguito la marca e modello delle pompe di calore presenti e la tipologia di monitoraggio impiegata. In fase di installazione è stata individuata la modalità di monitoraggio idonea: nel caso di pompa di calore dotata di spina elettrica è stato possibile utilizzare delle smart plug altrimenti è stata impiegato energy Meter, ovvero la pinza amperometrica dell'Aeotec le cui specifiche tecniche sono riportate nel paragrafo seguente.

**Tabella 6. Tipologia di pompe di calore presenti e tipologia di monitoraggio**

Nuovo EB	CONDIZIONATORE	CONDIZIONATORE	CONDIZIONATORE	Pompa di calore per ACS	Pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento e ACS
1	Samsung AQV09PSBX (P)	Samsung AQV09PSBX (P)	Samsung AR09RXPFEWQX(P)	Ariston NUOS Evo 80 WH(P)	-
2	Mitsubishi MSZ DM25A (P)	SENDO IKAROS L(P)	-	Ariston NUOS Evo 80 WH(P)	-
3	MITZUBISHI MSZ-AP 50VG (M)	-	-	-	-
4	Fujitsu AOYG12LLCE (P)	-	-	-	-
5	--	-	-	-	Boyer Elbi Puffer Plus 100 (M)
6	Daikin 3MXM(P)	-	-	-	-

9	OLIMPIA S. 01600(P)	OLIMPIA S. 01601(P)	-	-	Daikin altherma ehsx08p30ba (M)
10	SAMSUNG AJ40FCJ2EH (M)	-	-	-	-
11	OLIMPIA S.3230M0260405(P)	Airwell 465480116(P)	-	-	-

Legenda:

(M) =monitoraggio con Meter Aeotec
(P)=monitoraggio con Plug

#### 2.2.4 Strumentazione installata presso il dimostrativo

Nelle precedenti annualità, l'Enea ha messo a punto un Kit strumentale da impiegare nelle Smart Homes per il monitoraggio e controllo delle utenze elettriche delle abitazioni coinvolte nella sperimentazione condotta tra il 2018 e il 2019, il kit è stato successivamente aggiornato e modificato per migliorarne le prestazioni come descritto nel report della LA 1.1, Report RdS/PTR2019/001 "Tecnologie per le Smart Homes".

Il *Kit Smart Home* Enea è costituito da sensori commerciali in grado di comunicare tramite protocollo wireless Z-Wave con l'Energy Box (EB), che rappresenta il gateway per la Smart Home, questo è costituito da un mini pc Asus - PN40 ed è dotato di dongle USB che funge da antenna per ricevere i segnali provenienti dai sensori in campo con cui comunica tramite protocollo Z-Wave.

Nella sperimentazione condotta a Roma e Viterbo il *Kit Smart Home* è stato fornito a titolo gratuito agli utenti coinvolti.

La tabella descrive i componenti e le caratteristiche del Kit Smart Home ENEA

**Tabella 7. Descrizione del Kit Smart Home Enea**

Sensore	Marca / modello	Descrizione	Parametri monitorati
<b>Meter elettrico</b>	Aeotec / Home Energy Meter Gen 5 Power Meter (1clamp 60a), V. G2	Pinza amperometrica per il monitoraggio elettrico del contatore generale o pompa di calore	Potenza istantanea (W), Energia cumulata (kWh)
<b>Smart plug</b>	Aeotec/Smart Switch 7	Presa intelligente per il monitoraggio e controllo di elettrodomestici o altri dispositivi elettrici.	Potenza istantanea (W), Energia cumulata (kWh),
<b>Smart switch</b>	Qubino/Micro Doppio Switch Module Z-Wave Plus Qubino With Metering	Micromodulo interruttore Z-Wave, per il monitoraggio e controllo di carichi elettrici.	Potenza istantanea (W), Energia cumulata (kWh)
<b>Multisensore</b>	Aeotec/ Multisensor 6 in 1 Z-Wave Plus	Motion sensor. Humidity sensor. ThermoMeter. Light sensor.	Temperatura ambiente(C°), Presenza (on/off), Luminosità (lux), Umidità (%)
<b>Contatto apertura e chiusura</b>	AEO TEC/ Door_ Window Sensor 7	Multisensore, include contatto magnetico, relè a contatto secco e sensore di inclinazione. Questo rileva se la finestra è aperta, chiusa o inclinata e richiede un angolo di inclinazione di almeno 5 °	Apertura e chiusura porte e finestre (open/closed)
<b>Multisensore outdoor</b>	SENSATIVE/ Multisensor strips confort	Multisensore per monitoraggio delle condizioni climatiche outdoor	Monitoraggio temperatura outdoor (C°) e luminosità (lux)

Nella sperimentazione condotta a partire da giugno 2021 sono stati adottati alcuni sensori non testati precedentemente, in particolare per il monitoraggio energetico del consumo degli elettrodomestici sono

state utilizzate le smart plugs e Meter prodotti dall’Aeotec (<https://aeotec.com/>). Nell’Allegato 8.1 sono riportate le specifiche tecniche dei sensori per il monitoraggio elettrico e del confort indoor ed outdoor e dei contatti che hanno sostituito quelli impiegati nella precedente sperimentazione [3] [7] .

SMART METER	ENERGY BOX 2.0	4 SMART PLUG	1 CONTATTO PORTA	2 SENSORI CONFORT
				
Pinza amperometrica per il monitoraggio elettrico	Mini PC Alimentazione elettrica e connessione internet	Collegate alle prese degli elettrodomestici: <ul style="list-style-type: none"> <li>+ lavatrice,</li> <li>+ lavastoviglie,</li> <li>+ frigo,</li> <li>+ tv</li> </ul>	Porta d’ingresso alimentato a batteria	Posizionare in 2 ambienti significativi della casa alimentati a batteria

Figura 9. Immagine del Kit Smart Home Enea

Nell’ambito dello stesso dimostrativo Areti ha installato i seguenti dispositivi presso le abitazioni descritti in dettaglio di seguito le cui caratteristiche sono sintetizzate di seguito:

- **Light-Node, (LN):** Dispositivo in grado di comunicare con il contatore elettrico 2g tramite interfaccia powerline (PLC-C anche detta Chain 2) per il monitoraggio dei parametri elettrici (potenza, energia). Inoltre consente di comunicare e condividere le informazioni acquisite con terze parti e memorizzare i dati in un database comune. Il dispositivo è in grado di ricevere la richiesta di attivazione della flessibilità da parte del DSO e condividere queste informazioni con l’Energy Management System (EMS) dell’utente finale. Di seguito la sintesi delle funzionalità del Light Node messo a disposizione da Areti:
  - Acquisizione in real time, tramite protocollo PLC le misure dello smart Meter 2G
  - Acquisizione in real time, tramite protocollo modbus degli altri parametri monitorati dalle altre unità di monitoraggio, un particolare dal sistema di gestione della batteria ATON
  - Acquisizione del set point e delle richieste di flessibilità che provengono dalla rete e in particolare dal DSO
  - Scambio dei dati e informazioni con l’EMS dell’utente per l’interazione con l’utente e i sistemi domotici.
- **Smart Meter 2G:** Contatore di nuova generazione in grado di acquisire le misure elettriche [2] in corrispondenza del PoD e renderli disponibili tramite tecnologia Chain 2 in near real time al Dispositivo Utente (DU), che nella sperimentazione condotta è denominato Light Node. Inoltre, ogni 15 minuti, il contatore 2G registra i dati di consumo per trasmetterli al Light Node attraverso la stessa linea elettrica. La trasmissione dei dati è sempre protetta con sistemi di crittografia. Nella sperimentazione condotta è stato adottato il caso “Chain 2 monitoraggio”<sup>2</sup> come definito in ambito CEI, pertanto i parametri acquisiti sono esclusivamente potenza attiva istantanea, energia e potenza ogni 15 minuti.
- **Micro fotovoltaico,** ovvero un sistema costituito da pannelli fotovoltaici ed inverter integrato in grado di assicurare che la corrente fluisca nella rete domestica alla tensione e alla frequenza utilizzata anche dagli elettrodomestici. Nel dimostrativo per assicurare delle procedure semplificate nelle fasi d’installazione, secondo quanto previsto dalla deliberazione 315/2020/r/eel di ARERA, sono stati installati impianti di potenza di 350 W completo e pronto alla connessione diretta tramite spina a una presa dedicata e visivamente identificabile rispetto alle altre prese all’interno dell’impianto

<sup>2</sup> <https://www.e-distribuzione.it/open-Meter/chain-2/faq---esercizio-chain-2.html>

elettrico dell'unità di consumo. Il sistema è altamente sicuro in quanto, nel caso di assenza di elettricità dalla rete convenzionale, si disabilita e si disconnette automaticamente. Nel dimostrativo i dati di produzione del fotovoltaico vengono acquisiti tramite lo storage.

- **Sistema di storage:** nel dimostrativo sono stati utilizzati differenti taglie di storage di dimensioni compatte per renderlo facilmente adattabile ad un ambiente domestico e dotato di differenti interfacce di comunicazione (GPRS, WiFi, LAN, EnOcean 8668).

La tecnologia delle celle è del tipo Litio-Ferro-Fosfato (Li-Fe-Po4). Le batterie sono dotate di un sistema di gestione che controlla le fasi di carica e scarica e che consente di scegliere differenti strategie di gestione, nella sperimentazione condotta le batterie venivano caricate di notte due volte a settimana e scaricate nei giorni successivi per alimentare di giorno le utenze domestiche o intervenire per fornire flessibilità in caso di evento di demand e response. Nell'Allegato 8.2 sono riportate le specifiche tecniche dei differenti modelli di storage impiegati nel dimostrativo

La centralina dello storage fornisce i dati sia relativi alla batteria che quelli relativi all'impianto fotovoltaico, infine tutti i dati vengono collezionati dal LN. Nella tabella seguente si riportano per ciascun dispositivo i parametri monitorati, il loro Id identificato nel database, la descrizione del parametro e l'unità di misura.

**Tabella 8. Tabella dei dispositivi installati da Areti**

Dispositivo	Marca / modello	Id Database	Parametro	Unità di misura
<b>Storage</b>	ATON/ modelli Z.STORE e Zon.E	energyacquired ATON	Energia cumulata prelevata dalla rete monitorata dalla centralina ATON	(Wh)
		energysold ATON	Energia cumulata immessa nella rete monitorata dalla centralina ATON	(Wh)
		storage_power_user ATON	Potenza totale prelevata dalla rete (somma delle utenze dell'abitazione) monitorata dalla centralina ATON	(W)
		storage_gridpower:	Potenza totale immessa nella rete monitorata dalla centralina ATON <sup>3</sup>	(W)
		storage_powerbattery ATON	Potenza fornita dalla batteria monitorata dalla centralina ATON <sup>4</sup>	(W)
<b>Micro-fotovoltaico</b>		storage_powersolar ATON	Potenza di produzione del fotovoltaico	(W)
		storage_energysolar ATON	Energia cumulata prodotta dal fotovoltaico	(Wh)
<b>Smart Meter 2G</b>	GEMIS - Contatore di energia elettrica attiva e reattiva monofase	energy_sum_quarter DU	Energia attiva prelevata al quarto d'ora	(Wh)
		power DU	Potenza attiva istantanea prelevata e generata dalla variazione di soglia di default pari al 10% della potenza contrattuale W) In questo caso è stato configurato per monitorare 100 W	(W)

<sup>3</sup> Potenze negative quando c'è prelievo dalla rete, potenze positive quando c'è immissione in rete.

<sup>4</sup> Potenze positive quando la batteria si carica, potenze negative quando la batteria si scarica.

		power_quarter DU	Potenza attiva prelevata media al quarto d'ora	(W)
--	--	---------------------	---	-----

Nella la sperimentazione condotta per le batterie è stato impiegato il protocollo di comunicazione basato su Modbus TCP che si appoggia alla connessione di rete disponibile (WiFi, GPRS o Ethernet). Attraverso la comunicazione è possibile richiedere le variabili che descrivono lo stato del sistema, le grandezze campionate in ingresso e uscita, comandare la macchina al fine di abilitare/disabilitare le varie funzionalità del sistema.

Di seguito gli impianti fotovoltaici presenti nelle abitazioni monitorate e le batterie, di cui sono riportate le caratteristiche e il tipo di monitoraggio.

**Tabella 9. Fotovoltaico e Storage installato presso il dimostrativo di Roma e dispositivi per il monitoraggio**

Nuovo EB	FV (kW)	Batteria
<b>1</b>	-	-
<b>2</b>	6- non monitorato	-
<b>3</b>	0,35 (P)	ZN5K5L (4600VA @4,8kWh)-(U)
<b>4</b>	-	Z.STORE3K2,5FL (3000VA@2,4kWh)- (U)
<b>5</b>	6 (M)	Z.STORE5K5L (4600VA @4,8kWh)- (U)
<b>6</b>	0,35 (U)	
<b>9</b>	0,35(U)	Z.STORE3K2,5FL (3000VA @2,4kWh)- (U)
<b>10</b>	0,35(U)	Z.STORE3K2,5FL (3000VA @2,4kWh)- (U)
<b>11</b>	0,35(U)	ZN3K2,5L (3000VA @2,4kWh)- (U)
<b>12</b>	0,35(U)	Z.STORE3K2,5FL (3000VA @2,4kWh)- (U)

Legenda:

(M)= Meter Aeotec

(U)= Dispositivo Utente

Infine la rappresentazione schematica dell'installazione relativa alla sperimentazione congiunta.

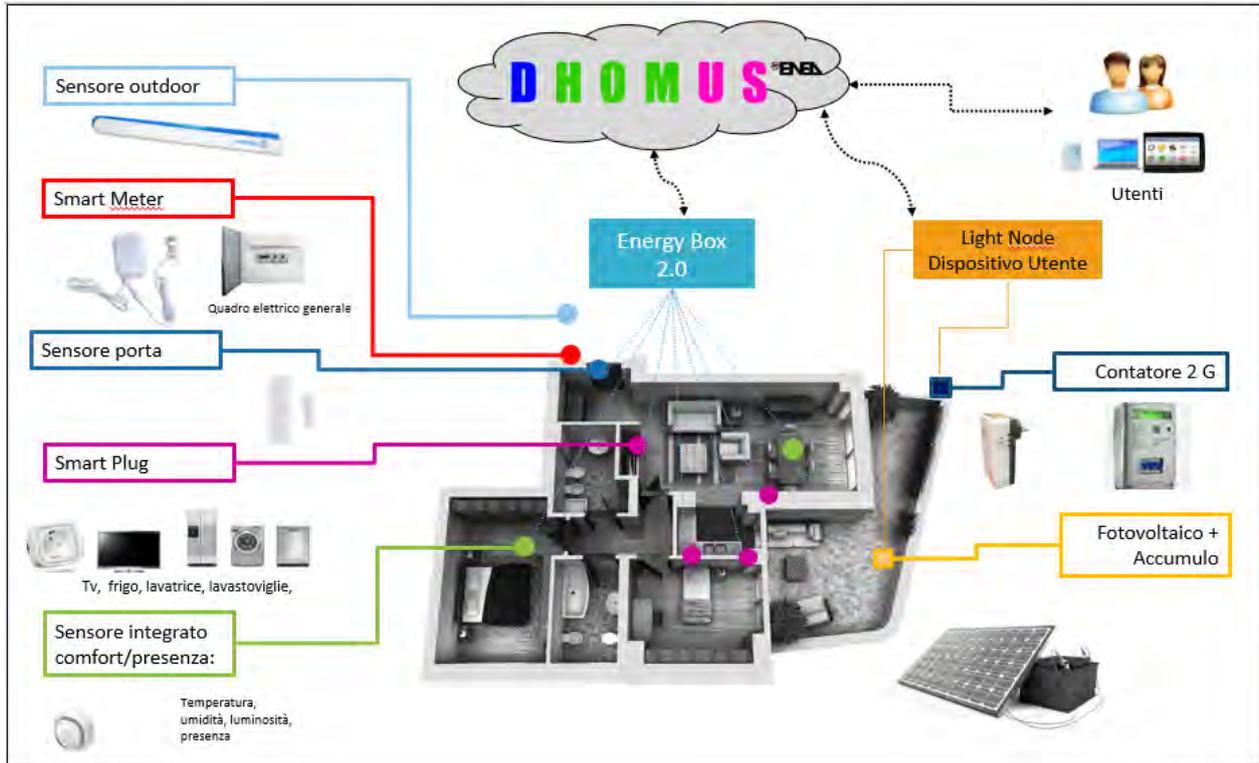


Figura 10. Configurazione della sperimentazione congiunta

Nella tabella successiva sono riassunti tutti i dispositivi installati nelle abitazioni e la data di avvio della sperimentazione

Tabella 10. Tabella dispositivi installati

ID Nuovo EB	Light Node	FV	Storage	EB	ENERGY METER	Plug aeote c	Multisensor e confort	Contatto porta finestra	senso outdoor	avvio sperimentazione
1				1	1	8	4	4	1	20-mag
2				1	1	6	4	4		20-set
3	1	1	1	1	2	4	2	1	1	03-giu
4	1		1	1	1	4	2	1		08-giu
5	1	1		1	3	4	5	4	1	10-giu
6	1	1	1	1	1	5	2	1		13-lug
9	1	1	1	1	3	4	3	5		23-giu
10	1	1	1	1	1	3	2	1		11-giu
11	1	1	1	1	1	4	2	1	1	09-giu
12	1	1	1	1	1	3	2	1		09-giu

### 2.2.5 Architettura del sistema e protocolli di comunicazione

Nella sperimentazione condotta, grazie all'impiego coordinato di più protocolli di comunicazione, è stata realizzata la completa integrazione tra il sistema messo a disposizione dal fornitore di energia Areti, ovvero l'Energy Supplier System (ESS) e il sistema di gestione della Smart Home, ovvero il Customer Energy Management System (CEMS), come è stata progettata e descritta in dettaglio nel Report LA1.2, RdS/PTR(2021)/001

In particolare l'EB funge da CEMS della Smart Home, mentre il LN è il dispositivo utente che consente la comunicazione con lo Smart Meter 2G dell'utente e funge da ESS, grazie ad una CPU interna è inoltre in grado di comunicare e acquisire informazioni dal sistema di controllo della batteria e dal Fotovoltaico.

Nel dimostrativo sperimentale la comunicazione tra il LN e l'EB è stata realizzata a livello di cloud dove le informazioni sono scambiate indipendentemente dal protocollo utilizzato per acquisire le informazioni in campo come rappresentato nella figura successiva:

- I sensori per il monitoraggio ambientale ed energetico degli usi finali comunicano tramite protocollo wireless Z-Wave con il CEMS, ovvero l'Energy Box,
- Lo Smart Meter 2.0 fornito dal DSO comunica con il dispositivo utente, il Light Node, tramite protocollo PLC chain2, questo è in grado di trasferire le informazioni acquisite all'esterno del dominio della home tramite collegamento ethernet o Sim, come è stato impiegato in caso di connessione internet scadente.
- Fotovoltaico e batteria possono essere connessi al LN tramite collegamento Modbus seriale cablato

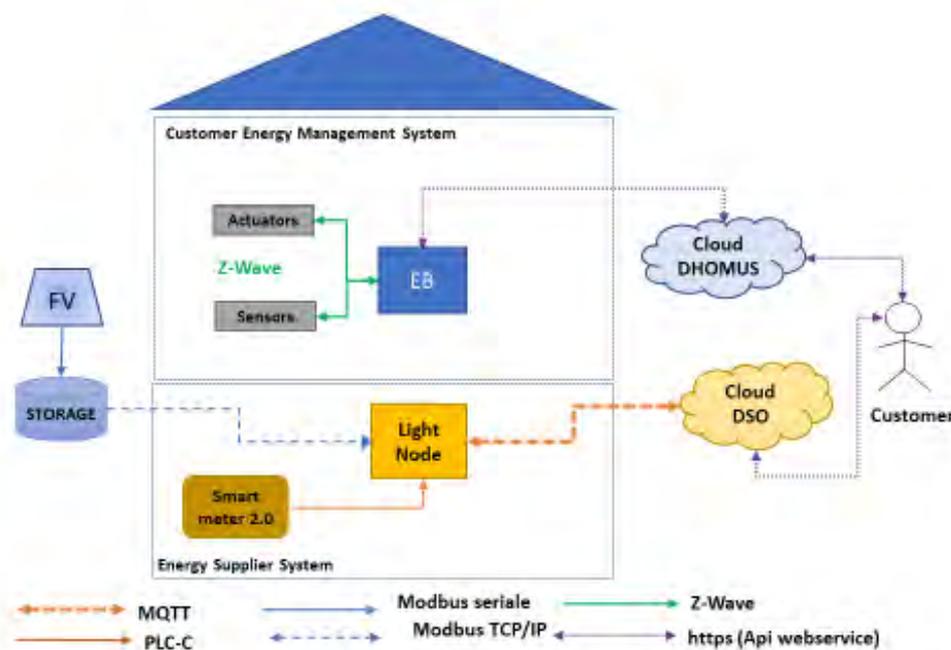


Figura 11. Architettura del sistema adottata nel dimostrativo di Roma

A livello superiore l'integrazione avviene tramite web service, tramite protocollo HTTP sia in modalità PUSH (avviando la comunicazione) che in modalità PULL (richiedendo informazioni per iniziare una serie di scambi di messaggi).

Nel caso delle abitazioni di Viterbo, invece si è optato per una configurazione più semplice in quanto è stato impiegato solo il Kit Enea, ovvero il CEMS.

### 2.2.6 Verifica di funzionamento

I dati acquisiti dai sensori installati sono stati analizzati per verificarne consistenza e correttezza. Ogni sensore utilizzato nella sperimentazione condotta presso le abitazioni pilota ha un proprio funzionamento e intervallo di acquisizione, i dati acquisiti vengono inviati real time alla piattaforma DHOMUS dove vengono sincronizzati e aggregati.

Per la verifica di funzionamento e acquisizione dei dati da parte dei sensori installati nelle abitazioni pilota si è proceduto controllando il numero di record ricevuti e immagazzinati considerando le modalità di funzionamento di ciascun sensore, come riassunto nella tabella seguente dove per ogni sensore viene indicata la grandezza misurata, l'intervallo di acquisizione e l'intervallo di tempo entro cui deve essere considerato valido il dato puntuale.

**Tabella 11- Sensoristica: grandezze misurate e intervallo di acquisizione**

<b>Sensore</b>	<b>Marca / Modello</b>	<b>Grandezza misurata</b>	<b>Intervallo di acquisizione dati</b>	<b>Durata della validità del dato acquisito</b>
<b>Home Energy Meter</b>	Aeotec/ ZW095-C	Potenza Istantanea (W)	Di default, il sensore invia un report automatico ogni 30 -300 secondi e quando viene rilevata una variazione del 10% della potenza corrente e quando è superiore a 50W. Nel dimostrativo, sono stati configurati i parametri del sensore, pertanto il sensore invia un report al minuto	Dato valido se inviato entro 5 minuti (300 s). Se il dato viene inviato oltre 5 minuti è da considerarsi "dato mancante".
		Energia accumulata (kWh)	Di default il sensore invia un report quando rileva una variazione in Watt del 10%	
<b>Smart plug</b>	Aeotec/ switch	Potenza Istantanea (W)	Di default, non ci sono soglie di W per l'invio di un report da parte del sensore. Nella sperimentazione condotta sono stati configurati i parametri del sensore che invia un report al minuto	Dato valido se inviato entro 1 ora (3600 s). Se il dato viene inviato oltre 1 ora è da considerarsi "dato mancante".
		Energia accumulata (kWh)	Di default, non ci sono soglie di energia accumulata per l'invio di un report da parte del sensore. Nella sperimentazione condotta sono stati configurati i parametri del sensore che invia un report al minuto	
		Corrente (A)	Di default, non ci sono soglie di A per l'invio di un report da parte del sensore. Nella sperimentazione condotta sono stati configurati i parametri del sensore che invia un report al minuto	Dato valido se inviato entro 1 ora (3600 s). Se il dato viene inviato oltre 1 ora è da considerarsi "dato mancante".
		Voltaggio (V)	Di default, non ci sono soglie di Voltaggio per l'invio di un report da parte del sensore. Viene inviato sempre un report ogni 600 secondi. Nella sperimentazione condotta sono stati configurati i parametri del sensore che invia un report al minuto	Dato valido se inviato entro 1 ora (3600 s). Se il dato viene inviato oltre 1 ora è da considerarsi "dato mancante".
<b>Smart switch</b>	Qubino / ES-22- QUB_Z MNHBD 1	Potenza Istantanea (W)	Di default il sensore invia un report quando vi è una variazione del 10% della potenza impegnata e con un intervallo di tempo di 300 secondi	Dato valido se inviato entro 1 ora (3600 s). Se il dato viene inviato oltre 1 ora è da considerarsi "dato mancante".
<b>Sensore integrato di comfort-presenza</b>	Aeotec/ Multisensor 6	Temperatura (C°)	Di default, viene inviato un report quando vi è una variazione di (2 °C) e comunque viene inviato un report ogni (3600s). L'intervallo di Wake up è stato disabilitato	Dato valido se inviato entro 1 ora (3600 s). Se il dato viene inviato oltre 1 ora è da considerarsi "dato mancante".
		Illuminamento (lux)	Di default, viene inviato un report se vi è una variazione nel livello di intensità della luce pari a 100 lux e comunque una volta ogni ora.	
		Umidità (%)	Di default, viene inviato un report se vi è una variazione del 10 % e comunque una volta ogni ora.	
		Movimento (on/off)	Il Pir viene attivato ogni 4 minuti, mentre l'invio del report avviene comunque una volta ogni ora.	
		Battery	I valori predefiniti di batteria scarica sono compresi tra il 10 e il 50%.	
		Ultravioletti	Tali parlamentari non vengono acquisiti nella sperimentazione condotta	Tale valore non viene acquisito dalla piattaforma cloud

		<i>Accelerometro</i>	Se viene rilevata una manomissione/accelerazione della forza di 0,4 g viene inviato un allarme, questo viene annullato dopo 30 secondi, qualsiasi manomissione rilevata durante questo periodo non prolunga il ritardo.	Tale valore non viene acquisito dalla piattaforma cloud
<b>Contatto porta/ finestra</b>		<i>Apertura/ chiusura</i>	In caso di apertura o chiusura il sensore invia un report con un delay di 0 secondi, il segnale viene annullato dopo 5 secondi.	

I dati disponibili sono stati analizzati per individuare la percentuale di presenza di dati validi a partire dal mese di giugno quando sono iniziate le installazioni presso le abitazioni del dimostrativo.

I dati relativi al Meter elettrico hanno permesso di valutare il funzionamento dell'intero sistema Smart Home installato nelle abitazioni pilota, in quanto essendo alimentato elettricamente direttamente nel quadro elettrico dell'abitazione, non risente dello stato di carica delle batterie come altri sensori utilizzati, pertanto la mancanza del dato del Meter può essere imputato alle seguenti cause:

- EB off-line, per mancanza di connessione internet.
- EB rotto.

In questo modo sono stati individuati sia i periodi di non funzionamento del sistema, sia i giorni in cui le acquisizioni sono scarse o errate, come sintetizzato nella tabella seguente dove sono rappresentate, con diversi colori, le percentuali di presenza dei dati:

- Rosso dati < al 50%;
- Arancione dati compresi tra il 50% e 70%;
- Giallo dati compresi tra il 70% e 90%;
- Verde > 90%.

La tabella è una sintesi delle analisi con cadenza giornaliera effettuate e riportate nell'Allegato n.1

**Tabella 12. Verifica di funzionamento degli Energy Box**

Mese	EB1	EB2	EB3	EB4	EB5	EB6	EB9	EB10	EB11	EB12
Giugno	94%	-	90%	73%	67%	-	24%	9%	71%	70%
Luglio	98%	-	100%	100%	100%	56%	100%	26%	73%	56%
Agosto	96%	-	96%	96%	96%	97%	97%	25%	35%	97%
Settembre	91%	29%	98%	91%	73%	97%	98%	98%	98%	98%
Ottobre	84%	37%	84%	84%	84%	84%	22%	84%	35%	83%
Novembre	89%	76%	89%	81%	85%	88%	0%	14%	21%	14%

Il mese con un numero più consistente di dati è stato il mese di settembre che è stato preso come periodo di riferimento.

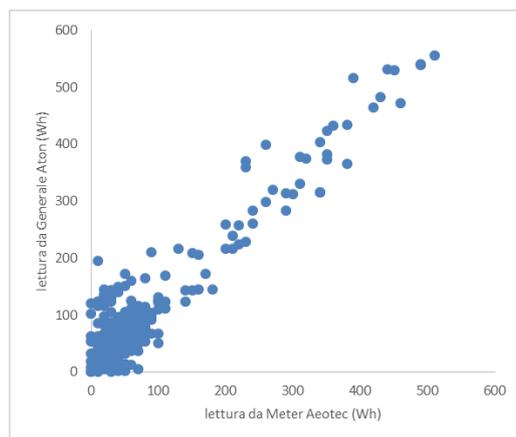
Sono stati analizzati anche i dati forniti dalle plugs che monitorano i principali elettrodomestici presenti nelle abitazioni, sulla base dei quali i consumi elettrici generali sono stati successivamente disaggregati, come riportato nell'Allegato 2.

Il coinvolgimento degli utenti nella sperimentazione condotta a partire da 1 giugno 2021 è stata influenzata dalla situazione di emergenza sanitaria, causa Covid, che ha ritardato l'installazione dei sensori e in molte abitazioni sono stati riscontrati problemi di connessione dati che hanno causato la perdita di informazioni per alcuni periodi, soprattutto quando alla sensoristica Enea si sono aggiunti i dispositivi forniti da Areti, in alcuni casi è stato necessario fornire le abitazioni di SIM per il trasferimento dei dati alle piattaforme cloud.

## 2.2.7 Verifiche su dati energetici

Sono state effettuate le verifiche dei dati energetici disponibili acquisiti tramite il Light Node (consumo generale, batteria e fotovoltaico) e tramite il Meter Aeotec. Il caso studio descritto si riferisce l'abitazione EB12, Consumer con storage e MFV.

Considerando 7 giorni di monitoraggio, si è visto come le letture del Meter Aeotec sono in accordo con quelle di "ATON generale". C'è un buon accordo, tranne che per i periodi in cui c'è intervento di batteria e fotovoltaico, che Aeotec non legge. In Figura 12 la rappresentazione grafica.



**Figura 12. Generale DU = f(Meter Aeotec)**

E' stato definito un modello che permette di attribuire in dettaglio i contributi al bilancio energetico ai vari elementi del sistema (fotovoltaico, batteria, rete), a partire dai dati aggregati monitorati e presentati sulla dashboard della piattaforma.

Per questa analisi, è stato necessario tener conto che, mentre il fotovoltaico, la rete e il carico hanno un bilancio "istantaneo" (cioè quello che accade in un time step non influenza ciò che accade nei time step successivi o è accaduto in quelli precedenti), la batteria per sua natura è un "accumulo" e quindi si deve correttamente analizzarla nel tempo, in quanto ciò che accade in un time step è determinato anche dal suo stato che deriva da time step precedenti.

È stata definita una ipotesi di funzionamento del sistema, sulla base delle informazioni disponibili sul caso studio:

- il carico viene coperto preferibilmente da fotovoltaico, poi da batteria e infine da rete
- la batteria viene caricata periodicamente dalla rete (2 volte alla settimana, di notte)
- le eccedenze del fotovoltaico possono andare a caricare la batteria e, se c'è ancora energia disponibile, questa può essere esportata alla rete.

Dai dati acquisiti e dalle caratteristiche dei dispositivi installati e monitorati sono stati definiti altri elementi e imposti alcuni vincoli:

- Durante la fase di carica (da rete, essenzialmente), la batteria non può essere usata per soddisfare il carico
- La batteria può operare tra un livello minimo e la capacità massima (non va mai a zero)
- La batteria ha diverse "velocità": in carico da rete, in carico da fotovoltaico, in scarico in presenza di fotovoltaico e in scarica senza la presenza di fotovoltaico. E una "velocità di scambio", cioè indica la massima energia che si può dare/prendere alla/dalla batteria nel tempo considerato
- La velocità di carica da rete diminuisce molto in prossimità della capacità massima, tuttavia qui questo effetto viene trascurato, per semplicità. E' possibile che anche le altre velocità di scambio si comportino allo stesso modo ma anche questo viene trascurato, per semplicità.

- il fotovoltaico e la rete non hanno una "velocità di scambio" che limiti le operazioni: tutto quello che serve o è a disposizione può essere scambiato istantaneamente.
- Nel grafico seguente sono schematizzati i flussi energetici dell'abitazione

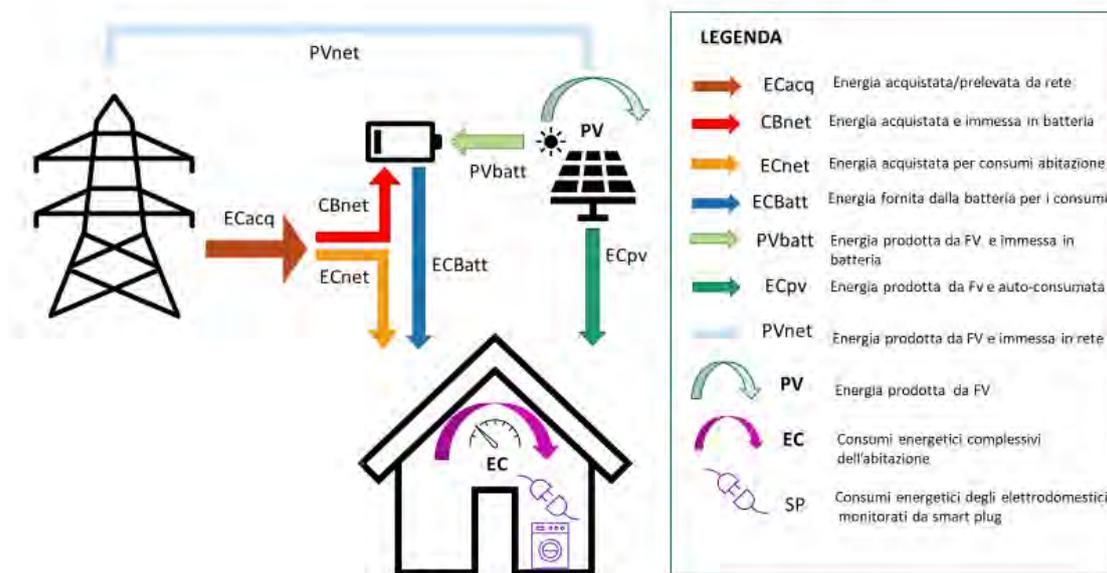


Figura 13. Schema dei flussi energetici dell'abitazione

Considerando un periodo di tempo tra due cariche successive della batteria da rete, il tutto si può schematizzare così:

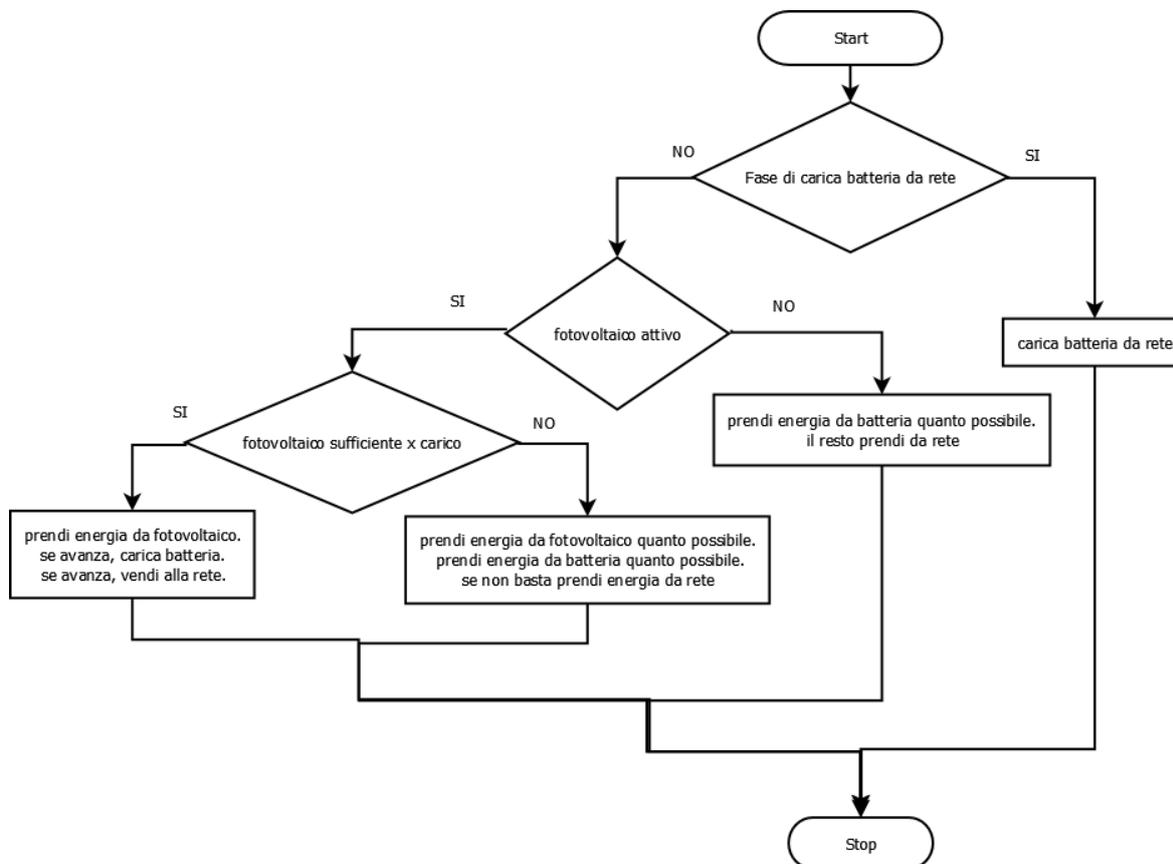
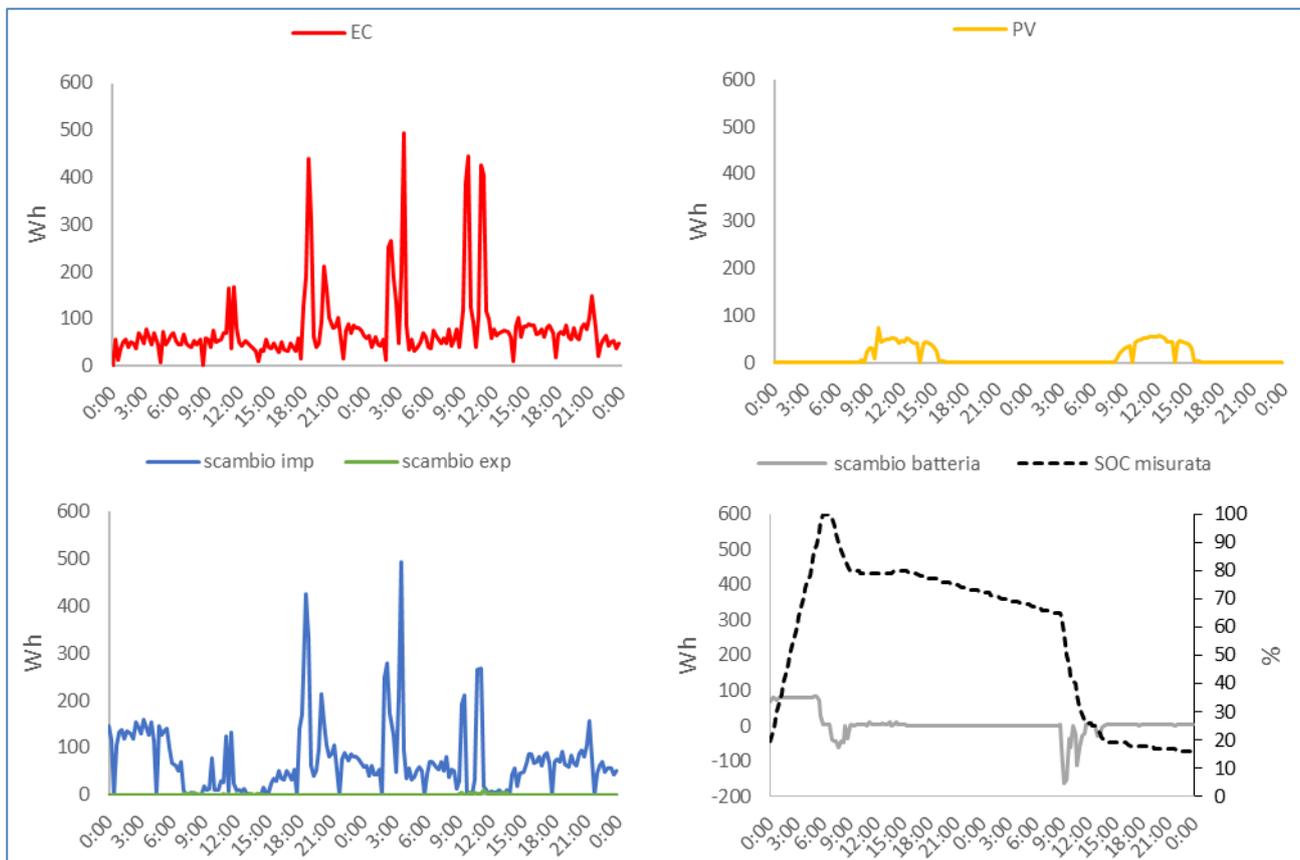


Figura 14. Schema funzionamento EB12

Per una verifica con il monitoraggio, è stato selezionato un periodo di 2 giorni, di cui il primo inizia con la carica della batteria da rete. In Figura 15, le seguenti informazioni, aggregate al quarto d'ora (time step = 15 minuti):

- scambio con rete (importazione ed esportazione, entrambi rappresentati con segno positivo)
- scambio energia batteria (positiva in carica, negativa in utilizzo)
- stato di carica batteria (SOC)
- consumo generale (EC)
- energia da fotovoltaico (PV)



**Figura 15. Flussi energetici 2 giorni esempio EB12**

Dal monitoraggio si possono ricavare, per la batteria:

- velocità di scambio della batteria
- livello "assoluto" di energia della batteria, cioè l'energia contenuta nella stessa. Noto per ogni time step della fase di carica l'apporto di energia dalla rete e la variazione dello stato di carica, si ricava il livello iniziale della batteria, da cui tutto il resto del calcolo: questo livello somma i valori di "scambio batteria" (ciascuno dei quali rappresenta ciò che è successo nel quarto d'ora considerato) al livello iniziale
- capacità massima della batteria, che corrisponde a SOC=100%

In Figura 16 sono rappresentati:

- andamento temporale del livello della batteria
- scambio di energia della batteria
- SOC

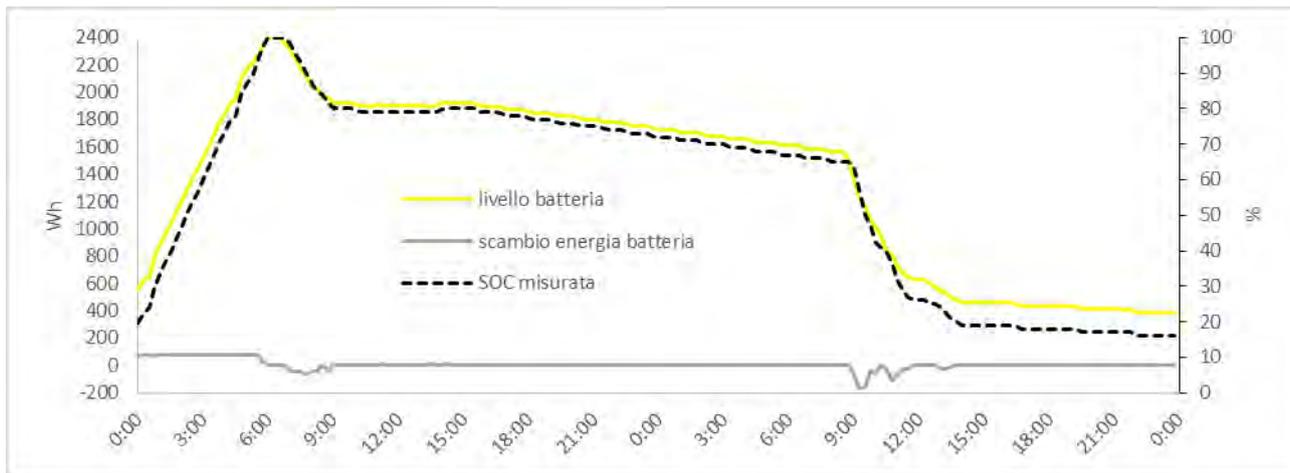


Figura 16. EB12. Approfondimento su batteria

La velocità di scambio quando la batteria viene utilizzata in assenza di fotovoltaico è molto inferiore alle altre velocità di scambio.

La massima energia della batteria è di circa 2400 Wh, corrispondente alla capacità dichiarata. Il SOC minimo è di circa il 16%, anche questo in linea con i parametri di funzionamento dichiarati o imposti al sistema. Il livello della batteria (da dati di scambio misurati) risulta proporzionale allo stato di carica misurato, come si vede da Figura 17.

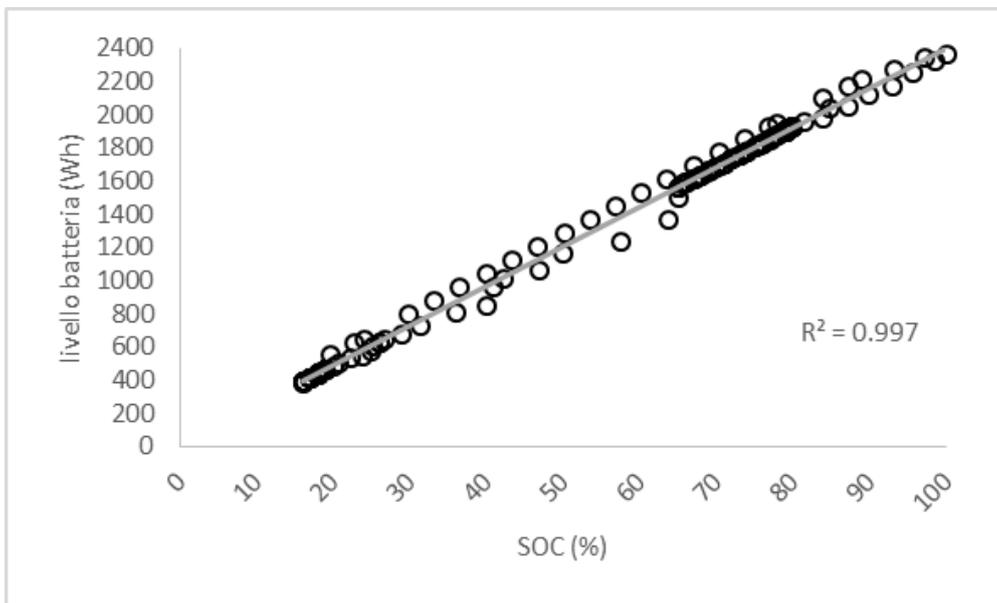


Figura 17. Correlazione livello batteria = f(SOC)

Infine, in Figura 18, il bilancio energetico complessivo (sono riportati anche alcuni dati già in Figura 15).

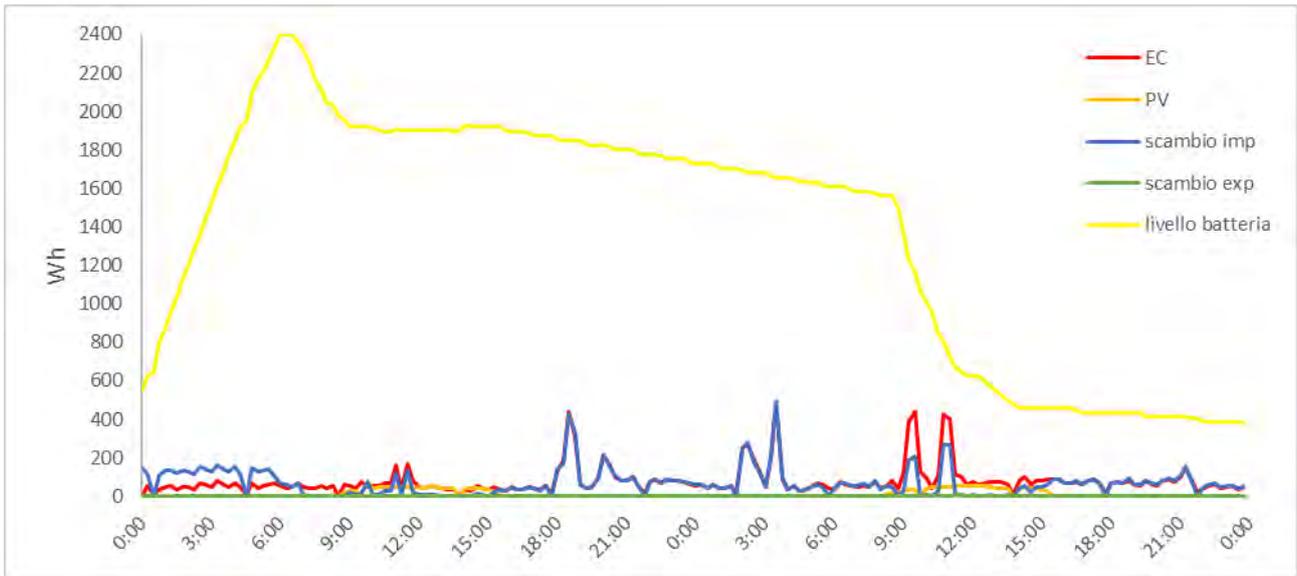


Figura 18. Esempio EB12. Andamento energia 2 giorni

È stato quindi utilizzato il modello sopra definito per il funzionamento del sistema, utilizzando come dati di input (variabili indipendenti), per i 2 giorni in esame, il consumo (EC) e il contributo da fotovoltaico (PV) in ogni time step (15 minuti).

Nota lo stato iniziale della batteria (SOC e contenuto energetico), e sulla base delle velocità di scambio sopra definite, si sono ottenute, per ogni time step, le seguenti quantità (energie):

- energia disponibile da batteria (Bact)
- consumo energetico coperto da batteria (ECbatt)
- consumo energetico coperto direttamente da fotovoltaico (ECpv)
- consumo energetico da rete (ECnet)
- energia fornita alla batteria (carica) da fotovoltaico (eccedenza di energia da fotovoltaico, dopo aver soddisfatto i consumi) (Pvbatt)
- energia messa in rete da fotovoltaico (eccedenza da fotovoltaico dopo aver coperto i consumi e fornito carica alla batteria) (PVnet)
- energia fornita alla batteria (carica) da rete (CBnet)

Di conseguenza, in ogni time step è stato calcolato il SOC. In Figura 19 la rappresentazione grafica della simulazione del SOC. Si nota un buon accordo tra il misurato e il calcolato.

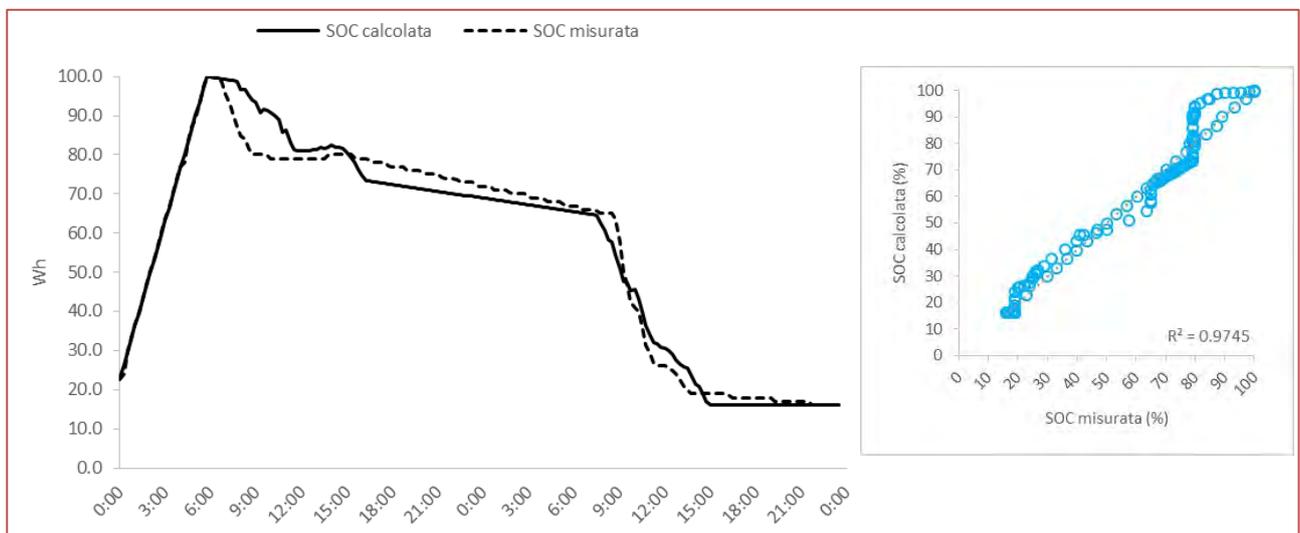


Figura 19. SOC misurato e calcolato

In Figura 20 la rappresentazione grafica della simulazione.

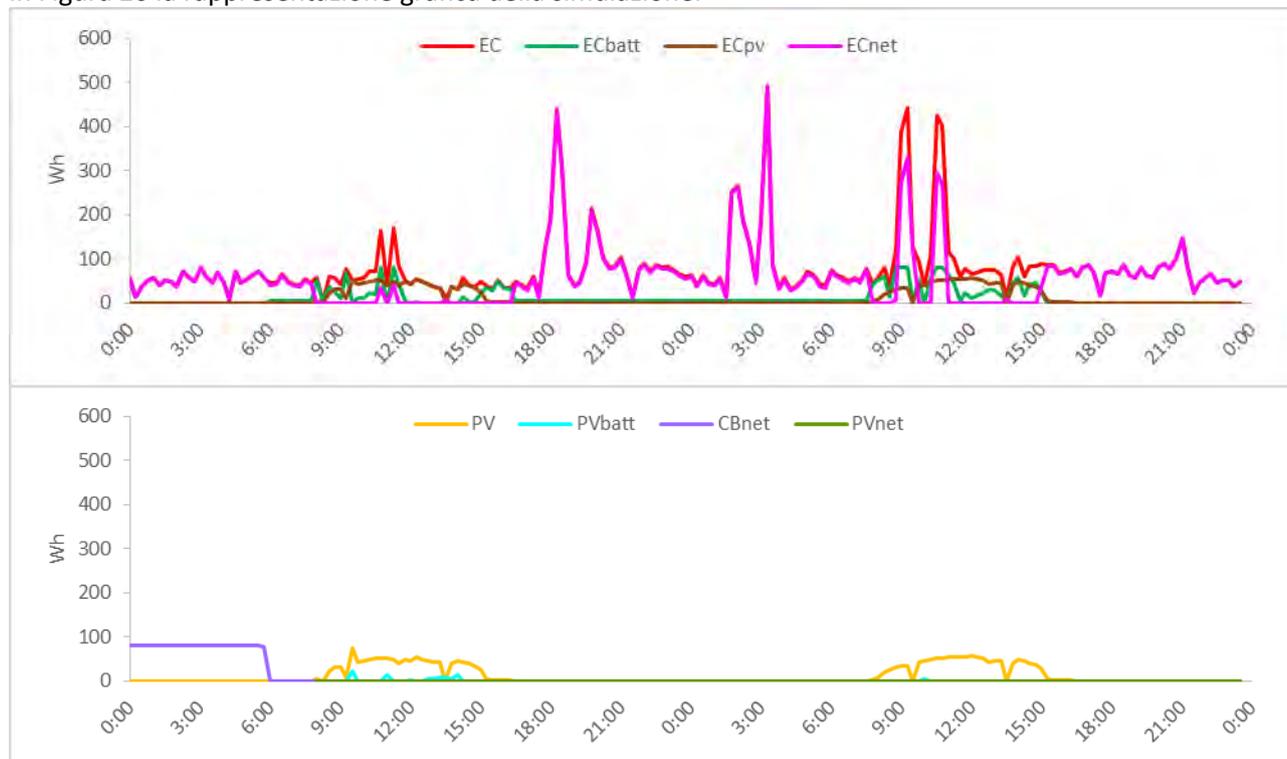


Figura 20. Simulazione EB12 esempio 2 giorni

La carica della batteria da rete è limitata alle prime ore del periodo. In seguito, si vedono gli apporti del fotovoltaico a soddisfare il carico, caricare la batteria ed esportare energia alla rete. Il carico viene soddisfatto di notte prevalentemente da rete, in quanto la velocità di scambio della batteria in assenza di fotovoltaico è molto bassa.

E' stato confrontato il bilancio energetico simulato su tutto il periodo con quello monitorato (dati dalla dashboard piattaforma), Il risultato è mostrato in Tabella 13.

Tabella 13. EB12: confronto simulazione - monitoraggio

Variabile	Simbolo	Simulato (KWh)	Misurato (KWh)
Consumo energetico	Ec	15.20	15.53
Energia da fotovoltaico	Pv	2.26	2.43
Consumo energetico coperto da batteria	Ecbatt	2.10	
Consumo energetico coperto direttamente da fotovoltaico	Ecpv	2.18	1.95
Consumo energetico da rete	Ecnet	10.93	
Energia fornita alla batteria da fotovoltaico (eccedenza di energia da fotovoltaico, dopo aver soddisfatto i consumi)	Pvbatt	0.09	0.42
Energia messa in rete da fotovoltaico (eccedenza da fotovoltaico dopo aver coperto i consumi e fornito carica alla batteria)	Pvnet	0.00	0.06
Energia fornita alla batteria da rete	Cbnet	1.93	Na
Energia da rete per soddisfare il carico e caricare la batteria	Ecnet+Ecbatt	13.02	
Energia acquistata	Ecacq		13.53

Il consumo è un po' inferiore nella simulazione rispetto al monitorato (-2.1%), probabilmente per alcuni vincoli temporali che sono stati messi alla simulazione (per esempio la situazione al tempo 0 che è servita per definire le condizioni di partenza per la simulazione).

Gli apporti del fotovoltaico evidenziano uno scarto maggiore: c'è una differenza del 7% circa, ma questo può essere giustificato dal fatto che il modello è approssimato, le integrazioni temporali della piattaforma e gli arrotondamenti possono essere diversi, su quantità molto piccole: questo può a sua volta spiegare le altre differenze (carica della batteria da fotovoltaico ed energia messa in rete da fotovoltaico).

L'energia acquistata dalla rete serve per caricare la batteria e soddisfare il carico. Dal monitoraggio questa energia è semplicemente considerata nel suo insieme, mentre il modello la splitta nei 2 componenti (carica batteria e consumo utenze). Dal confronto risulta una differenza tra la simulazione e il monitoraggio di -3.75%, del tutto accettabile.

### 2.2.8 Analisi elettrodomestici

Nel corso della presente annualità sono state effettuati piccoli perfezionamenti al codice di calcolo implementato in Matlab, per l'analisi energetica del funzionamento degli elettrodomestici delle abitazioni. Il codice di calcolo prende in input i consumi quartorari monitorati dalle smart plugs delle abitazioni ed effettua un'analisi a livello di singolo elettrodomestico finalizzata al calcolo dei consumi energetici complessivi e per fasce orarie, determinando altresì il numero e le caratteristiche dei cicli di funzionamento per gli elettrodomestici a funzionamento ciclico. Il codice di calcolo restituisce statistiche a livello mensile per fornire feedback agli utenti nella piattaforma DHOMUS, in particolare nel report mensile. Per maggiori dettagli si rimanda al report della LA1.2 [9].

I perfezionamenti hanno riguardato la messa a punto del valore dei seguenti parametri:

- Percentile di riferimento utilizzato per il calcolo del consumo in condizioni di stand-by dell'elettrodomestico ( $prc_{st-by}$ );
- Durata minima dei cicli: consumi rilevati ma con una durata inferiore sono trascurati, in quanto potrebbero essere collegati a situazioni di consumo non riferibili a un vero e proprio ciclo ( $L_{min}$ ). Questo parametro è usato solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico;
- Energia minima consumata in un ciclo ( $K_{E,min}$ ) espressa in Wh, consumi inferiori non sono associati a veri e propri cicli. Questo parametro è usato solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico;
- Valore dell'energia (in Wh) utilizzata per distinguere i cicli con medio-basso consumo da quelli con elevato consumo ( $Tr_E$ ). Questo parametro è usato solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico;
- Durata (in minuti) che distingue tra cicli brevi e cicli medi ( $Tr_{L1}$ ). Questo parametro è usato solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico;
- Durata (in minuti) che distingue tra cicli medi e cicli lunghi ( $Tr_{L2}$ ). Questo parametro è usato solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico.

I valori dei suddetti parametri sono riportati in Tabella 14. Essi sono stati calibrati sul dataset delle abitazioni monitorate a Roma. Il parametro  $prc_{st-by}$  è usato per tutti gli elettrodomestici ed è necessario per determinare il tipo di funzionamento (stand-by, in funzione), mentre gli altri parametri sono utilizzati solo per gli elettrodomestici con funzionamento ciclico (es. lavatrice, asciugatrice, lavastoviglie).  $L_{min}$  e  $K_{E,min}$  filtrano quei consumi che per durata o consumo di energia non sembrano associati a veri e propri cicli di funzionamento (e quindi sono scartati e inseriti nella categoria "cicli spuri"), mentre  $Tr_E$ ,  $Tr_{L1}$  e  $Tr_{L2}$  servono per esigenze statistiche di suddivisione dei cicli in base ai consumi e alla durata di funzionamento.

**Tabella 14. Valori dei parametri calibrati utilizzati nel codice di analisi dei consumi degli elettrodomestici**

Parametro	u.d.m.	Lavatrice	Lavastoviglie	TV	Condizionatore	Altri elettrodomestici
$prc_{st-by}$	-	98	98	95	95	98
$L_{min}$	minuti	15	15	n.a.	n.a.	n.a.
$K_{E,min}$	Wh	100	200	n.a.	n.a.	n.a.

<b>Tr<sub>E</sub></b>	Wh	800	800	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Tr<sub>L1</sub></b>	minuti	45	45	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Tr<sub>L2</sub></b>	minuti	120	120	n.a.	n.a.	n.a.

A partire dai dati monitorati, gli algoritmi implementati sono stati testati, nella tabella seguente si riportano i risultati relativi al mese di settembre

**Tabella 15. Risultati dell'algoritmo di analisi degli elettrodomestici per il mese di Settembre 2021**

Elettrodomestico	Dato (unità di misura)		EB1	EB3	EB4	EB5	EB6	EB9	EB 10	EB11	EB 12
LAVASTOVIGLIE	N totale di cicli (n)	Cicli registrati	33	10	3		18	18	9	3	36
		Cicli estrapolati	36	10	3		19	19	13	3	36
	% di Consumo in fascia F1 (% sul n totale)		46	71			68	73	28	60	14
	% di cicli "brevi" (ovvero ciclo tipo di durata minore) % sul n totale	Cicli registrati	48	90			88	88	100	100	88
		Cicli estrapolati	50	90			89	89	100	100	91
	Consumo medio dei cicli "brevi" Wh		599.06	655.66	0		669.5	669.5	781.77	882.33	550.78
	% di cicli "lunghi" (ovvero ciclo tipo di durata maggiore) % sul n totale	Cicli registrati	0	0	0		0	0	0	0	0
		Cicli estrapolati	0		0		0	0	0	0	
	Consumo medio dei cicli "lunghi" Wh		0	0	0		0	0	0	0	0
	LAVATRICE	N totale di cicli n	Cicli registrati	12	8	6	8	10	10	22	
Cicli estrapolati			13	8	7	11	10	10	22		
% di Consumo in fascia F1 % sul n totale		60	56	45	35	8	87	30			
% di cicli "brevi" (ovvero ciclo tipo di durata minore) % sul n totale		Cicli registrati	58	100	66	45	70	90	86		
		Cicli estrapolati	61	100	57	63	70	90	86		
Consumo medio dei cicli "brevi" Cicli registrati Wh		628.85	593	307.75	635.2	297.28	605.77	571.26			
% di cicli "lunghi" (ovvero ciclo tipo di durata maggiore) % sul n totale		Cicli registrati	0	0	0	0	10	0	0		
		Cicli estrapolati	0	0	0	0	10	0	0		
Consumo medio dei cicli "lunghi" Cicli registrati Wh		0	0	0	0	600	0	0			
ASCIUGATRICE	% di Consumo in fascia F1 % sul n totale		100				0	46			
CONDIZIONATORE	% di Consumo in fascia F1 % sul n totale		0				0	0		0	

### 2.2.9 Disaggregazione consumi

Come descritto nel report della precedente annualità, Report RdS/PTR(2021)/001, è stato sviluppato e implementato un algoritmo in grado di scomporre, con cadenza mensile, il consumo elettrico totale delle abitazioni monitorate nel consumo delle singole componenti finali.

L'obiettivo è consentire all'utente di individuare i differenti usi finali di cui è composto il consumo elettrico della propria abitazione.

A partire dai dati forniti dai sensori di monitoraggio, smart Meter e smart plugs associate agli elettrodomestici principali, ogni mese, l'individuazione del consumo degli elettrodomestici presenti nelle abitazioni in due differenti modalità:

- Per gli elettrodomestici collegati alle smart plug direttamente dalla misura del consumo del singolo elettrodomestico,
- Per tutti gli altri elettrodomestici si ottiene una stima del consumo mensile sulla base delle indicazioni sulla tipologia di elettrodomestico e sulle modalità d'uso dell'utente fornite in fase di compilazione della Smart Sim.

L'algoritmo è stato sviluppato in Python come descritto nel report RdS/PTR(2021)/010, tale funzionalità è stata quindi integrata nelle funzioni disponibili sulla piattaforma DHOMUS la cui interfaccia è descritta nel capitolo successivo del presente report.

Parallelamente, al fine di ottenere delle stime delle quote di consumo imputabili ai grandi elettrodomestici anche in case in cui l'unico dato disponibile è quello relativo al consumo generale, ovvero in assenza di smart plugs, è stato condotto uno studio da parte del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Torino Vergata, descritto in dettaglio nel Report RdS/PTR(2021)/004

In questo caso sono state analizzate tecniche per la disaggregazione dei consumi elettrici e di previsione dei consumi totali residenziali. L'analisi è basata sull'utilizzo di tecniche avanzate di Machine Learning su dati storici di consumo elettrico forniti dalle case monitorate a Roma e Viterbo. I dati storici sono stati integrati con dati ambientali per ottenere previsioni robuste dei consumi elettrici. La disaggregazione del consumo tra gli elettrodomestici monitorati tiene conto del "sommerso", ovvero il consumo derivante da tutti gli elettrodomestici non monitorati. Per la disaggregazione invece, sono state utilizzate due tecniche: una rete deep proposta di recente specificatamente per il problema di disaggregazione e un metodo basato sulla programmazione matematica. L'approccio basato su reti deep ha un costo computazionale elevato ma ottiene prestazioni ottime. Per questo è difficilmente integrabile in piattaforme come DHOMUS, ma può rivestire comunque un ruolo interessante per comprendere quali features e quali informazioni contenute nella SMART SIM siano rilevanti al fine di disaggregare il consumo sulle singole abitazioni. Se la serie storica dei dati non è molto lunga e il sommerso non è troppo elevato, il metodo basato sull'ottimizzazione è l'ideale. In questo caso, sono sufficienti tre settimane di dati storici per stimare i parametri del modello, e se si ha una granularità di dati all'ordine di minuti, il tempo di soluzione del problema di ottimizzazione tramite software standard è dell'ordine di pochi minuti. I risultati ottenuti sono ottimi in termini di accuratezza della previsione e di riconoscimento delle attivazioni dei diversi elettrodomestici. Questo secondo metodo, dati i tempi di soluzione molto più brevi su infrastrutture informatiche standard, ha le potenzialità per essere integrato nella piattaforma DHOMUS e di fornire predizioni sulle attivazioni degli elettrodomestici che possono essere indicative ed interessanti in ottica di flessibilità energetica.

## 2.3 Dimostrativo a Pinerolo

Il condominio di Pinerolo si sviluppa su due piani ed è composto da 13 appartamenti (mono, bi e trilocali), con una superficie variabile tra 35 e 60 mq. Ciascun alloggio è dotato di propria caldaia per produzione acqua sanitaria e per il riscaldamento tramite radiatori. L'edificio è stato interessato negli anni precedenti da interventi di efficientamento energetico: sostituzione dei serramenti esterni degli appartamenti, installazione di caldaie a condensazione individuali e l'installazione di un impianto fotovoltaico in copertura, di 8 kW di picco.

Il sistema di riscaldamento/raffrescamento presente nell'edificio è ibrido: il riscaldamento è centralizzato con pompa di calore e fan coil come terminali, la pompa di calore produce anche acqua calda sanitaria, è presente la caldaia a gas a condensazione, che interviene come back-up sul riscaldamento, con i radiatori, e nella produzione di acqua sanitaria d'estate. In estate, il raffrescamento è effettuato dalla stessa pompa di calore centralizzata mentre in questa stagione la caldaia a gas è l'unica fonte di produzione della sanitaria.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le caratteristiche della tipologia di abitazione e utenza presenti nel condominio.

**Tabella 16. Tipologia di abitazione e utenza del dimostrativo di Pinerolo**

ID Tabona	Superficie abitazione mq	Numero utenti	Presenze (8-12)	Presenze (13-18)	Presenze (18-0)	Presenze (0-8)
2	40	1	-	-	1	1
4	40	1	-	-	1	1
6	30	1	-	-	1	1
7	32	1	-	1	1	1
9	65	2	-	1	2	2
10	55	2	2	2	2	2
11	35	1	-	-	1	1

L'amministratore delle abitazioni ha fornito le indicazioni relative alle utenze, in particolare la tipologia di illuminazione, marca e modello degli elettrodomestici presenti, tali usi finali non vengono monitorati nella sperimentazione condotta a Pinerolo.

**Tabella 17.**

ID Tabona	Illuminazione	Frigo	Lavatrice	Forno	Micro onde	ACS	Altro
2	led	ZEROWATT-ZEBD152	SIEMENS - ECOGENIUS	ZEROWATT		pompa di calore	tv
4	5 faretti led e 3 fluorescenti	IGNIS ___ ARL 782	IGNIS L TE 7155	Ignis 2500 W			tv, decodeer , console dideogiochi
6	5 faretti led e 3 fluorescenti	IGNIS ___ ARL 782	CANDY C407 JOLLY				tv, pc , console videogiochi
7	3 fluorescenti	HOTPOINT - MTAA24W		R - INDESIT	M - BLUESKY		tv
9	5 led, 4 fluorescenti	ATLANTIC- ATBGN.2610AP	INDESIT- IWC61052C ECO	R - ATLANTIC 2300W			tv e pc
10	6 led, 3 fluorescenti	ATLANTIC- ATBGN.261 0AP	LAVASCIUGA INDESIT	R - ATLANTIC 2300W			tv e pc
11	4 fluorescente	SIEMENS - KD 25W10	NDESIT - IWC71252 ECO	R - ATLANTIC 2300W			tv

Per la descrizione della strumentazione e le modalità di connessione alla piattaforma DHOMUS si rimanda al report relativo alla linea di attività LA1.2, mentre la tabella seguente riassume le misure acquisite e disponibili a partire dall'ottobre del 2020.

**Tabella 18. Misure acquisite e parametro monitorato presso il condominio di Pinerolo**

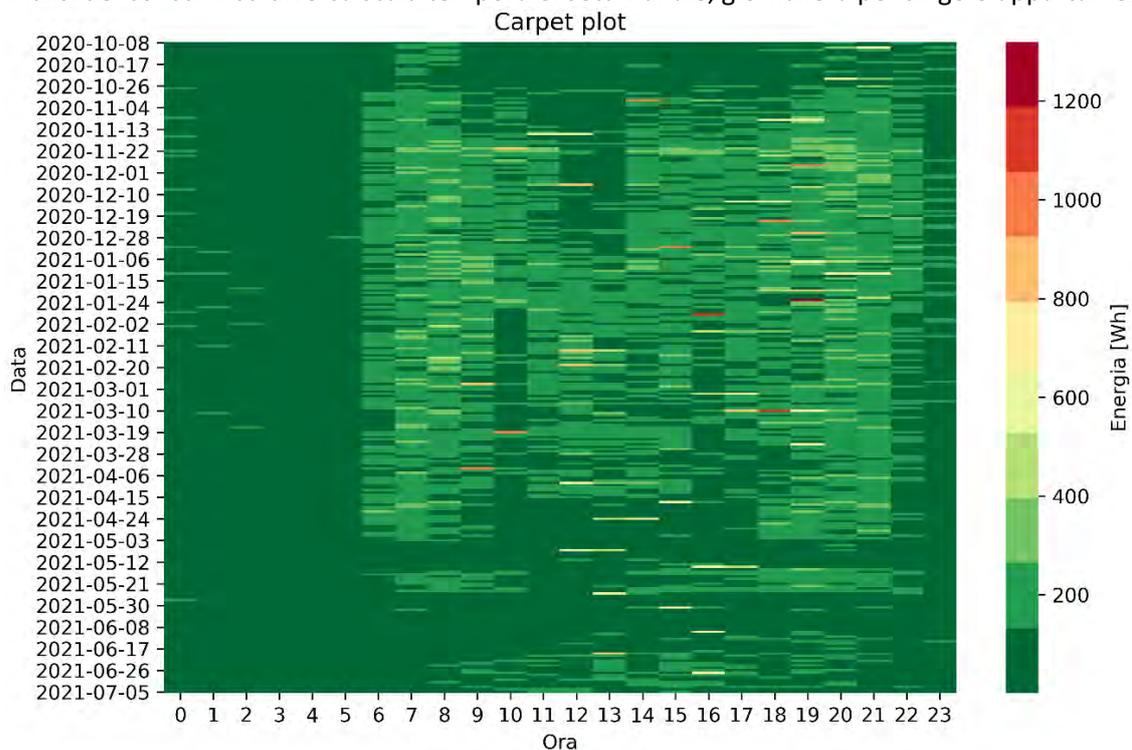
Punto di misura- Uso finale	Tipologia di monitoraggio	Parametro misurato
1 o 2 ambienti per appartamento	Ambientale	Temperatura (C°), Umidità (%)
Generale di appartamento	Energia elettrica	Corrente (A), Energia (kWh), Potenza (kW)
Sistema HVAC di appartamento	Energia elettrica	Corrente (A), Energia (kWh), Potenza (kW)
Sistema di ventilazione, intero condominio	Energia elettrica	Corrente (A), Energia (kWh), Potenza (kW)
Parti comuni, intero condominio	Energia elettrica	Corrente (A), Energia (kWh), Potenza (kW)
Pompa di calore (PdC) centralizzata, intero condominio	Energia elettrica trifase	Energia (KWh), Potenza totale (kW), Corrente fase 1,2,3 (A), Potenza attiva fase 1,2,3(kW)
Produzione da fotovoltaico, intero condominio	Energia elettrica trifase produzione FV	Energia (KWh), Potenza totale (kW), Corrente fase 1,2,3 (A), Potenza attiva fase 1,2,3(kW)
Misura scambio rete, intero condominio	Energia elettrica trifase	Energia (KWh), Potenza totale (kW), Corrente fase 1,2,3 (A), Potenza attiva fase 1,2,3(kW)

### 2.3.1 Clusterizzazione delle utenze

In collaborazione con il Politecnico di Torino, è stato realizzato un tool in grado di effettuare in maniera automatica un preprocessing dei dati al fine di individuare eventuali buchi di acquisizione e procedere con una ricostruzione dei dati mancanti tramite algoritmi statistici, identificazione di profili di carico tipologici all'interno del cluster di utenze monitorate e analisi dei fattori influenzanti il profilo di domanda per la definizione e quantificazione della flessibilità energetica dei singoli edifici e del cluster di utenze, per una descrizione dettagliata degli algoritmi e delle metodologie si rimanda al Report RdS/PTR(2021)/049 relativo alle attività della LA 1.57.

La visualizzazione delle elaborazioni fornite dal suddetto tool sono rese disponibili per la visualizzazione da parte dell'Aggregatore che consente:

- Analisi dei consumi su diversa scala temporale: settimanale, giornaliera per singolo appartamento



**Figura 21. Carpet plot dei consumi di energia elettrica giornalieri su base oraria per l'appartamento Tabona11**

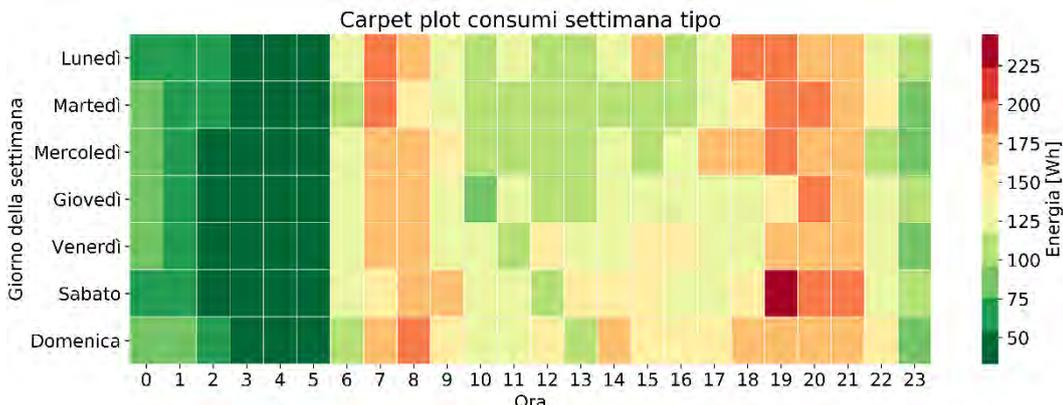


Figura 22. Carpet plot dei consumi di energia elettrica giornalieri su base oraria mediati per giorno della settimana per l'appartamento Tabona11

- Identificazione di profili caratteristici tramite processo non supervisionato, come riportato nella figura seguente.

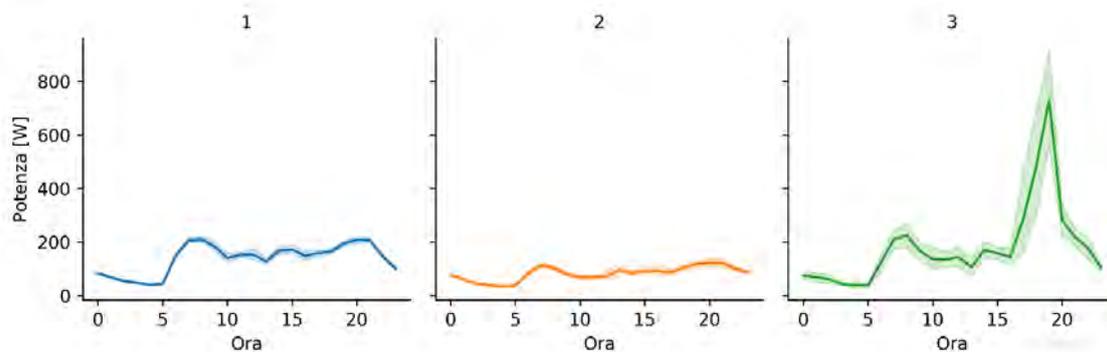
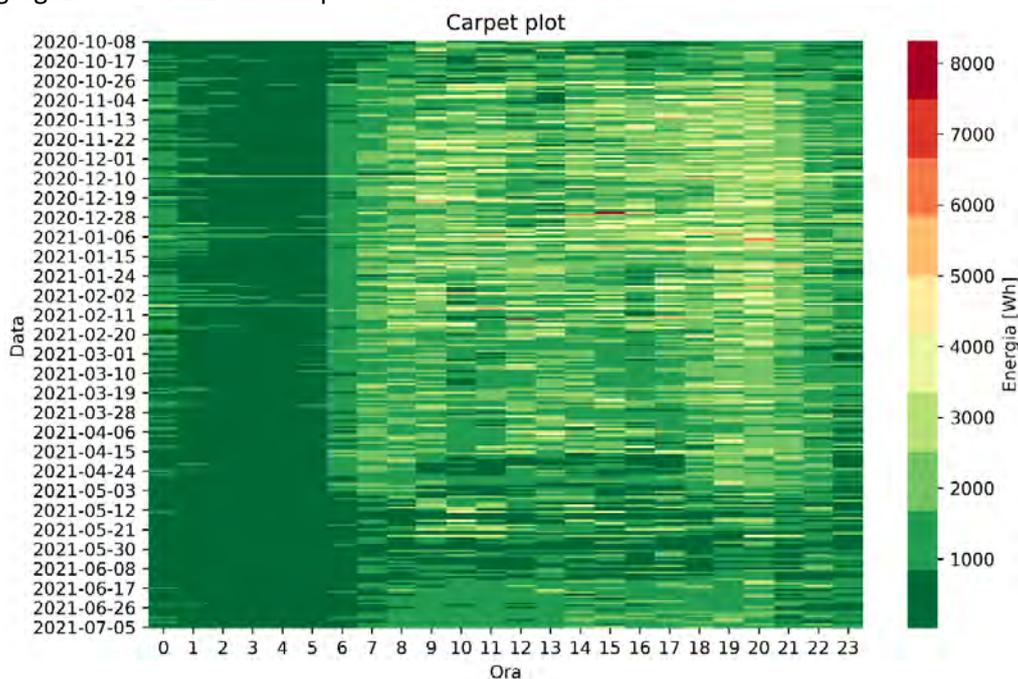
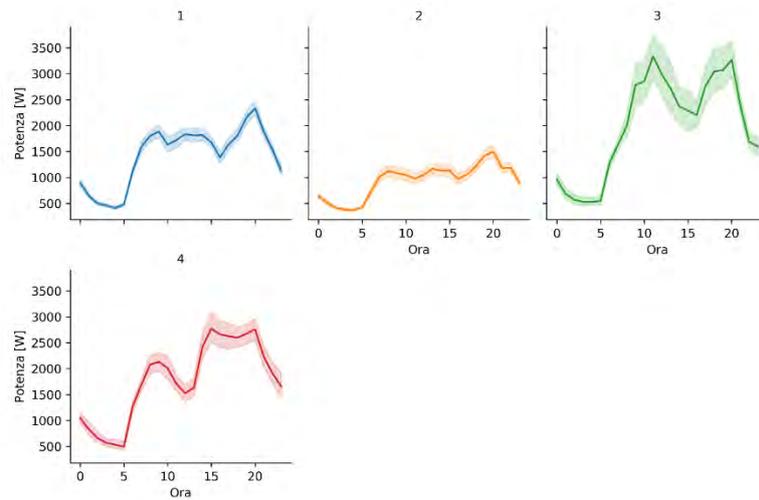


Figura 23. Profili di carico medio su base oraria e relativo range di variabilità per i cluster ottenuti per l'appartamento Tabona11

- Aggregazione e creazione del profilo dell'intero cluster.





**Figura 24. Calendario dei consumi dell'aggregato di utenze e suoi profili caratteristici**

Tutti gli algoritmi sono stati sviluppati in Python, pertanto questi costituiscono un applicativo perfettamente **integrabile** con la piattaforma DHOMUS da cui acquisisce i dati di monitoraggio e li mette a disposizione del modulo sviluppato in Python.

### 3 Portale DHOMUS

#### 3.1 Introduzione

In questa annualità le attività si sono concentrate sull'implementazione dei servizi dedicati agli utenti residenziali che sono illustrati nell'interfaccia web del portale DHOMUS, acronimo di **Data HOMEs** e **USers**, che ha principalmente uno scopo divulgativo delle attività condotte nell'ambito del Piano Triennale 2019-21 della Ricerca di Sistema Elettrico, con l'obiettivo di accrescere la consapevolezza e il ruolo attivo dei consumatori, sfruttando le tecnologie della domotica, della digitalizzazione delle reti e dello smart Metering. Direttamente dalla home page di DHOMUS, all'indirizzo <https://dhomus.smartenergycommunity.enea.it/> è possibile accedere ai due servizi implementati:

2. **Smart Sim** <https://www.smarthome.enea.it/smartsim/>, dedicata al **comune consumatore**, che paga le bollette e vuole dei suggerimenti per risparmiare su energia e costi. Questo servizio consente di effettuare una simulazione dinamica della propria abitazione. A partire dalla compilazione di un questionario iniziale, si ottengono feedback e suggerimenti customizzati [12] come brevemente riassunto nella figura seguente:



Figura 25. Schema di funzionamento della Smart Sim e dei feedback che fornisce

Nei paragrafi successivi sono descritte in dettaglio le attività di sviluppo e implementazione del servizio web e l'integrazione tra il Database della Smart Sim e quello dedicato alle Smart Homes.

3. **Smart Home**, è il servizio di DHOMUS dedicato esclusivamente agli utenti che sono in grado di condividere con la piattaforma i dati relativi ai propri consumi in real time, ovvero a quelle abitazioni dotate di dispositivi o sensori smart per il monitoraggio dei consumi. Le modalità di connessione alla piattaforma sviluppate e testate in contesti reali possono essere differenti, così come descritto nel capitolo precedente:
  - Tramite il "kit Smart Home", sviluppato in Enea basato sull'impiego di sensori commerciali e un gateway denominato Energy Box (EB) costituito da un mini pc. I sensori comunicano tra di loro tramite un protocollo open denominato Z-Wave e inviano le informazioni alla piattaforma DHOMUS.
  - Tramite qualsiasi sensore di terze parti in grado di trasferire tramite un apposito Hub o gateway le informazioni ad un cloud proprietario.
  - Tramite il cosiddetto Dispositivo Utente (DU) connesso tramite PLC agli Smart Meter di nuova generazione in grado di trasferire informazioni al cloud del distributore o di altra parte.

L'integrazione delle informazioni avviene a livello di cloud come descritto nella figura seguente potrebbe avvenire anche direttamente nell'abitazione, ad esempio tra EB e DU se questi sono stati configurati nella stessa rete locale.

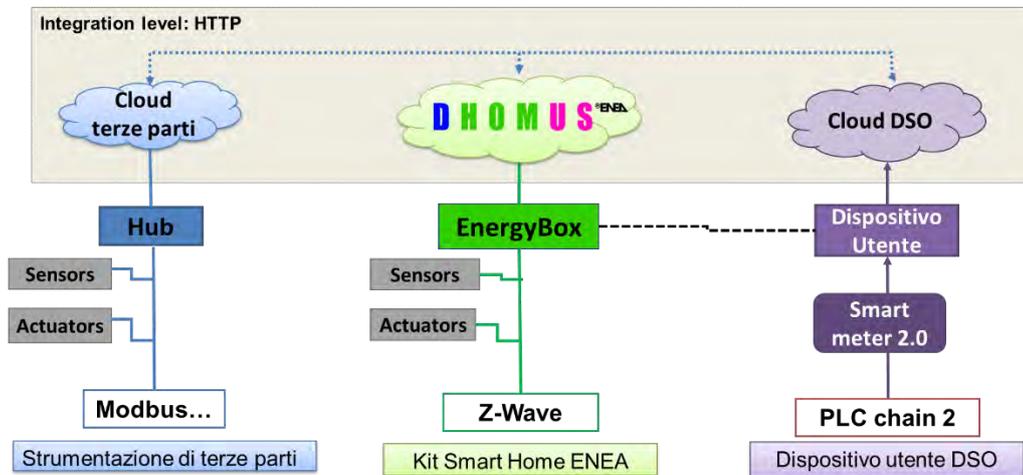


Figura 26. Interoperabilità della piattaforma DHOMUS

La piattaforma grazie all'impiego di protocolli e formati dati aperti e standard è in grado di assicurare la completa interoperabilità e pertanto scambiare informazioni e dati anche con applicazioni esterne consentendo la gestione delle energy communities.

La piattaforma raccoglie, sincronizza, aggrega e analizza i dati provenienti dagli utenti residenziali, per fornire feedback educativi all'utente ed incentivare un uso consapevole, virtuoso e flessibile dell'energia, ma anche per abilitare servizi di gestione della flessibilità e Demand Response, la figura seguente sintetizza l'architettura e i servizi della piattaforma.

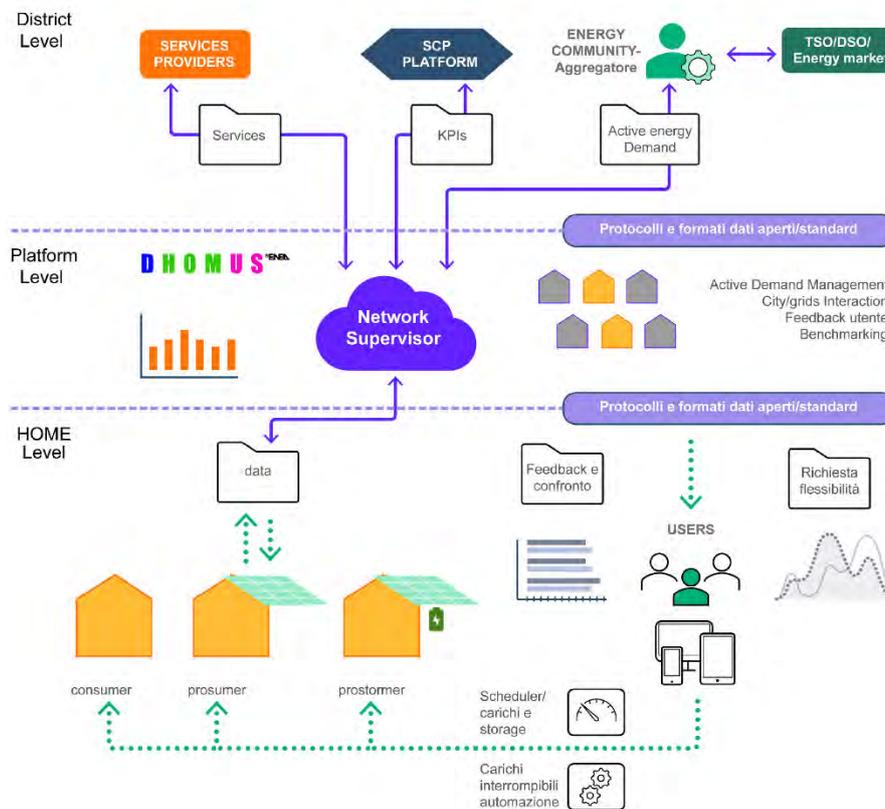


Figura 27. Architettura della piattaforma DHOMUS

### 3.2 Integrazione con Identity Provider

Al fine di evitare all’utente il problema dell’autenticazione utente tra le diverse piattaforme realizzate nell’ambito del presente progetto è stata REALIZZATA da ENEA un Identity Provider, cioè un prodotto software pensato per la gestione di utenze e il rilascio di autenticazioni come descritto nel report RdS/PTR(2021)/036.

Una delle caratteristiche principali del software utilizzato è quella di poter registrare nuove utenze attraverso un’unica username e password e fornire, attraverso queste credenziali, un token di autenticazione. Il token ha una validità temporale e permette all’utente di accedere agli altri servizi offerti dalla piattaforma.

Il sistema di autenticazione della piattaforma DHOMUS è stata integrato con l’Identity Provider utilizzando le API messe a disposizione dal servizio, come descritto nel Report RdS/PTR(2021)/002 “Aggiornamento Piattaforma IOT DHOMUS e Smart Building” a cui si rimanda per una descrizione più dettagliata.

### 3.3 Implementazioni casi d’uso e sviluppo interfacce DHOMUS\_Smart Home

I casi d’uso progettati nella precedente annualità e descritti nel report della LA1.2 [9] sono stati implementati nella nuova piattaforma di DHOMUS le cui interfacce sono state completamente aggiornate e arricchite con nuovi contenuti e funzionalità.

Per quanto riguarda il servizio di DHOMUS dedicato alle Smart Homes sono state realizzate le nuove interfacce sia per l’utente che per il l’aggregatore o supervisore del cluster.

#### 3.3.1 Overview della piattaforma

La dashboard della piattaforma permette di accedere alle diverse funzioni disponibili tramite accesso ai pulsanti presenti sulla barra laterale.

Le funzionalità disponibili si possono distinguere tra quelle dedicate alla visualizzazione dei dati, disponibili per il singolo utente o per l’aggregatore, e quelle per la configurazione destinate solo agli utenti abilitati, in particolare pensate per l’aggregatore o gestore della singola comunità energetica, fino ad arrivare all’amministratore di sistema che ha accesso a tutti gli aggregatori.

All’aggregatore-super visore la piattaforma consente una navigazione tra le differenti abitazioni che fanno parte del cluster, mentre il singolo utente può visualizzare solo ed esclusivamente le informazioni relative solo alla propria abitazione.

Nella figura seguente è visualizzata la prima schermata disponibile, in cui sono evidenziate con dei numeri le funzioni disponibili che sono descritte di seguito:

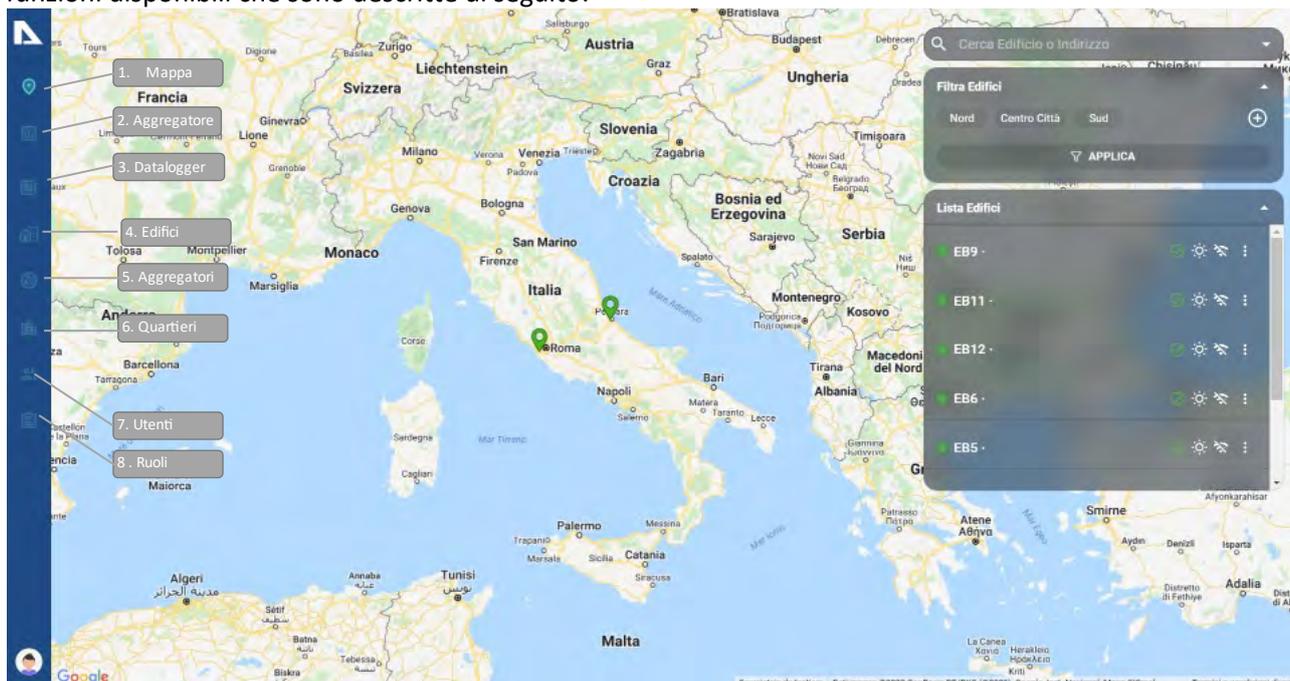


Figura 28. Overview delle funzionalità della piattaforma DHOMUS dedicata alle Smart Homes

1. **Mappa** consente di visualizzare la posizione degli edifici che sono geo referenziati all'interno della piattaforma, è possibile fare una selezione tra gli edifici monitorati per area geografica o direttamente ricercando l'indirizzo. Da questa schermata è possibile accedere e visualizzare il singolo edificio così come viene visualizzato dal singolo utente, la cui interfaccia è descritta in dettaglio nel paragrafo 3.3.3.
2. **Aggregatore**. In questa interfaccia, è possibile avere una visualizzazione per singolo aggregatore o visualizzare i dati cumulati di tutti gli aggregatori, come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.3.3. Inoltre, scegliendo la visualizzazione di uno specifico aggregatore, si può scegliere anche di vederne un solo quartiere, o tutti quelli monitorati dall'aggregatore stesso.
3. **Datalogger** che permette di selezionare per ciascun edificio le informazioni generali e visualizzarne i dispositivi associati. Per ogni dispositivo è possibile visualizzare i dati acquisiti, verificarne il corretto funzionamento e degli stessi dati è possibile effettuare il download su file xls scegliendo periodo di riferimento, la grandezza e granularità desiderata (puntuali, quart'orari, orari, giornalieri).

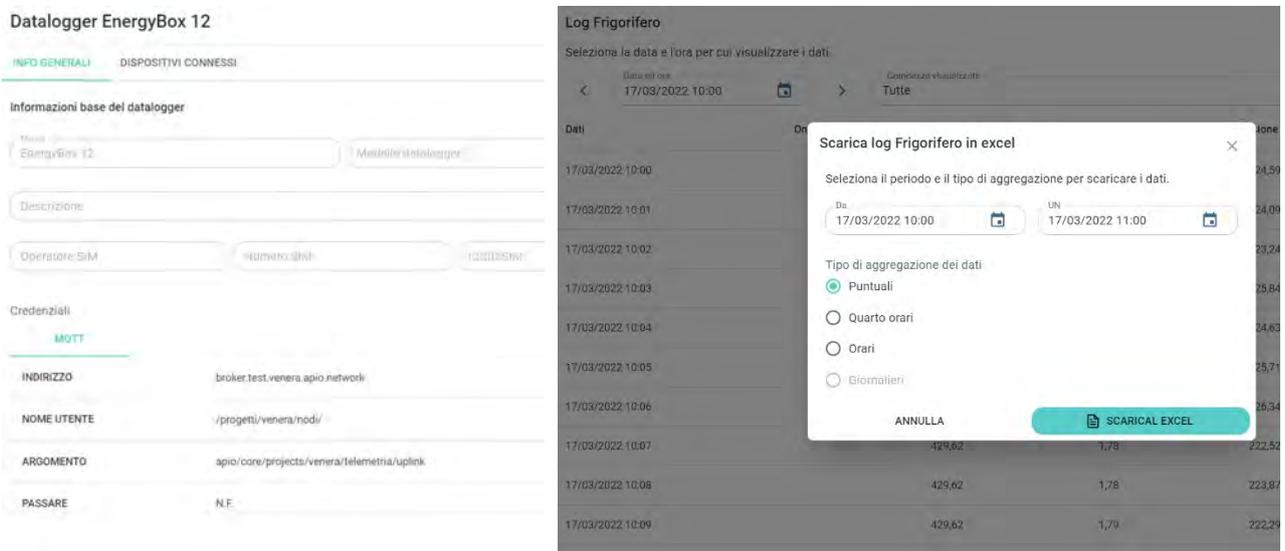


Figura 29. Interfaccia Datalogger e suo sottomenù

Esistono inoltre le seguenti funzioni di configurazione:

4. **Edifici**, questa sezione permette di gestire e visualizzare le informazioni del singolo edificio/utente, come rappresentato nella figura seguente dove vengono mostrate le differenti opzioni possibili, oltre quella di aggiungerne di nuovi:
  - **Accedi all'edificio**, questa funzione consente di accedere all'interfaccia dedicata all'utente finale, come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.3.3 e a tutte le funzionalità predisposte per un feedback customizzato;
  - **Modifica l'edificio**, questa funzione consente di creare o modificare l'anagrafica del singolo utente, ovvero le informazioni generali necessarie per identificare la tipologia di utente, gli elettrodomestici, come descritto in dettaglio nel paragrafo 3.3.2;
  - **Assegna l'edificio**, consente di associare l'edificio ad un determinato gruppo (Quartiere o Aggregatore). C'è da sottolineare che utente e/o gruppi rimossi dall'assegnazione non potranno più visualizzare i dati della risorsa. Una risorsa senza assegnazione può essere visualizzata solo dall'amministratore dell'organizzazione.
  - **Elimina l'edificio**, consente la rimozione l'edificio dall'elenco di edifici monitorati.

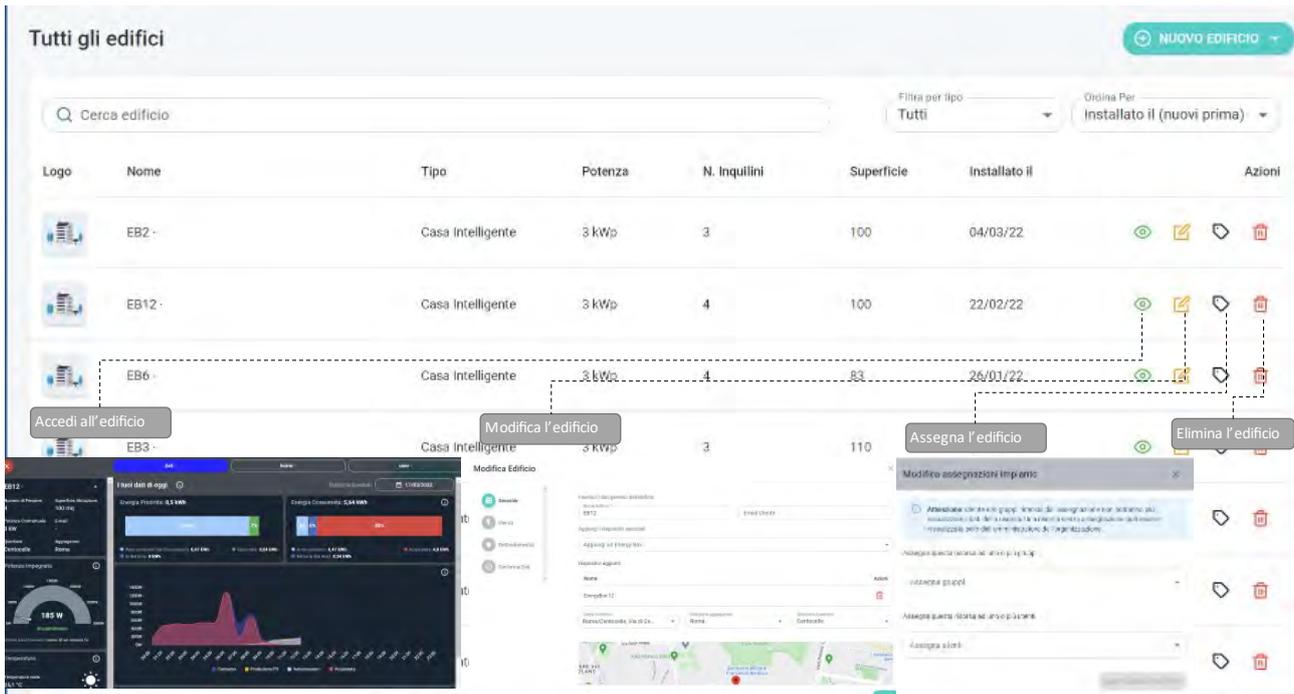


Figura 30. Interfaccia Edifici e suoi sottomenù

5. **Aggregatori**, questa sezione consente di creare e configurare gli aggregatori associando al singolo aggregatore uno specifico gruppo di Smart Homes monitorate. Questa selezione consente anche di abilitare i servizi a tutti gli utenti che appartengono allo stesso aggregatore e di caricare i documenti relativi alla GDPR comuni al gruppo di utenze gestite.
6. **Quartieri**, permette di creare o modificare all'interno di uno stesso aggregatore un sottoinsieme che individua il quartiere di appartenenza.
7. **Utenti**, permette di visualizzare e modificare l'elenco di tutti gli utenti registrati sulla piattaforma dove è presente il ruolo ad essi attribuito: Amministratore, Cittadino, Ospite.

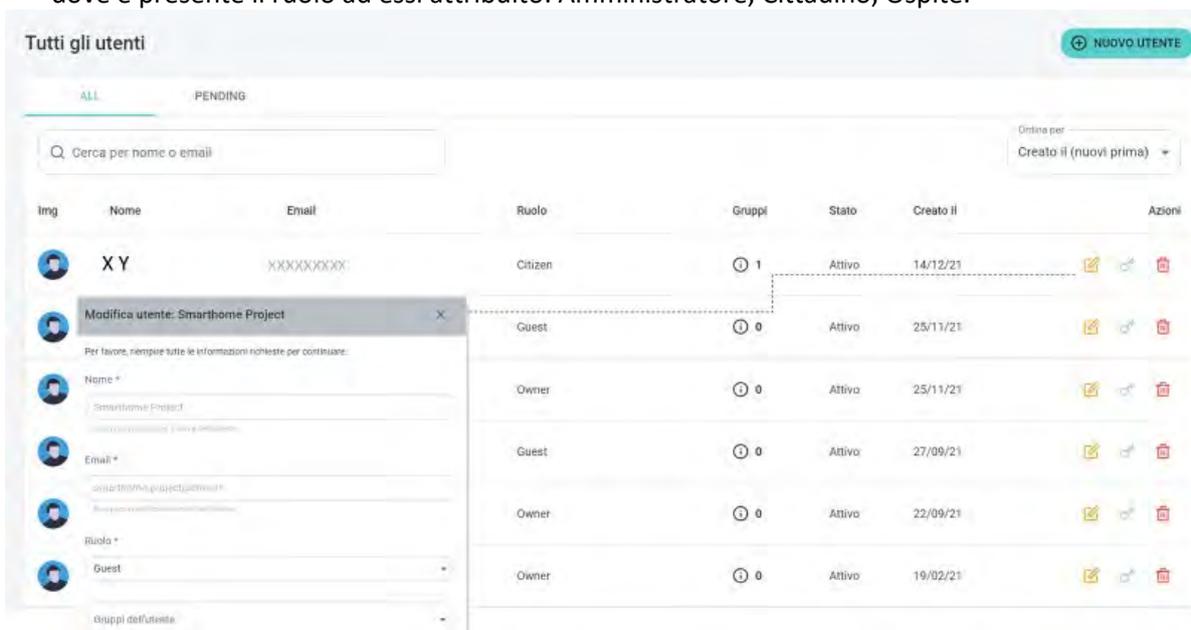


Figura 31. Interfaccia utenti e sottomenù di modifica

Un utente che non appartiene ad un gruppo è automaticamente un amministratore. Il gruppo delinea le risorse che l'utente potrà visualizzare.

8. **Ruoli.** Questa funzionalità consente di utilizzare un ruolo predefinito già esistente (amministratore, cittadino, ospite) o crearne di nuovi customizzati.



Nome	Descrizione	Permessi	Modificato il	Azioni
Administrator		11	24/09/2021	[Edit] [Delete]
Citizen		1	17/12/2021	[Edit] [Delete]
Guest		11	24/09/2021	[Edit] [Delete]
Owner		11	24/09/2021	[Edit] [Delete]

Figura 32. Interfaccia Ruoli

Tramite i ruoli, è possibile definire i permessi di ciascun utente, ossia cosa uno specifico utente può visualizzare o modificare. Ogni ruolo definito, può avere uno o più permessi selezionati dalla lista seguente:

- Gestione Aggregatori
- Visualizzazione Aggregatori
- Gestione Quartieri
- Visualizzazione Quartieri
- Gestione Datalogger
- Gestione Impianti
- Visualizzazione Impianti
- Gestione Report degli Impianti
- Gestione Utenti
- Gestione Ruoli
- Notifica Allarmi dei Componenti
- Notifica Allarmi della Performance
- Notifica Allarmi di Comunicazione

### 3.3.2 Anagrafica utente

L'interfaccia DHOMUS presenta una sezione di anagrafica delle abitazioni monitorate, che può essere aggiunta al momento di creazione dell'edificio e modificata in seguito. Quest'ultima è composta da quattro sotto tab:

4. "Generale": contiene i dati generali dell'edificio, come ad esempio informazioni sulla localizzazione e contatto dell'utente.
5. "Utenza": contiene i dati relativi all'utenza, come il numero delle persone e la superficie utile dell'abitazione (m<sup>2</sup>); informazioni sul contratto di fornitura elettrica, come la tipologia di contratto, il tipo di mercato, la potenza contrattuale (KW) e la tipologia di prezzo applicata; se si tratta o meno di energia verde; le presenze giornaliere degli occupanti nelle 4 fasce orarie (mattina, pomeriggio, sera, notte).
6. "Elettrodomestici": permette di aggiungere gli elettrodomestici presenti nell'abitazione, specificandone la tipologia ed il sensore associato, nonché informazioni sul modello, anno di acquisto, BTU, tipo di schermo e classe energetica.
7. "Conferma Dati": è una sezione riepilogativa dei dati inseriti nelle sezioni precedenti e consente di salvarli.

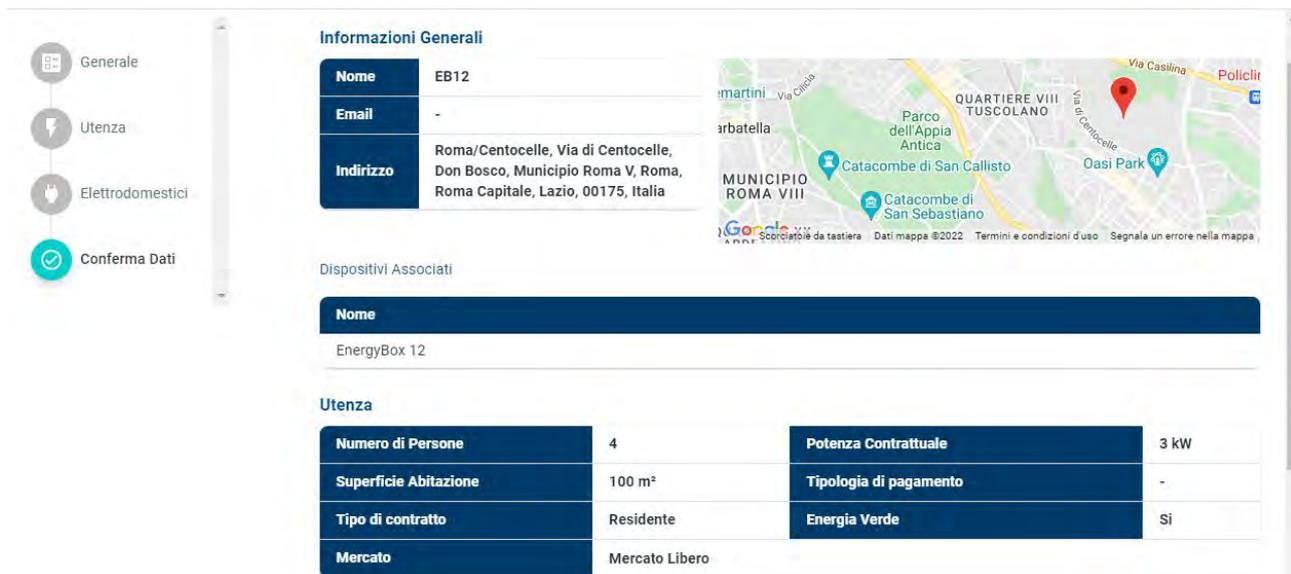


Figura 33. Anagrafica utente: scheda riepilogativa

**DB Anagrafica**

Per tenere traccia delle informazioni relative ai singoli sensori installati, al tipo di appliance monitorato e l’edificio al quale si riferiscono, è stata definita l’architettura di un nuovo database chiamato “energybox” di anagrafica. Queste tabelle permettono di associare in maniera chiara e univoca ciascun dato alla fonte che lo ha generato. Nella figura sottostante è possibile vedere il nuovo DB di anagrafica “energybox” appena descritto con tutte le tabelle introdotte.



Figura 34 Struttura DB di anagrafica “energybox”

Di seguito mettiamo il diagramma E-R (entità-relazione) del DB MySQL “energybox”, dove è possibile vedere la progettazione del DB rappresentando l’interconnessione tra entità, relazioni e i loro attributi.





Figura 36. Interfaccia Utente Smart Home-sezione Dati

1. Informazioni generali dedotte dall'anagrafica dell'utente:
  - a. Numero utenti che compongono il nucleo familiare,
  - b. Superficie abitazione,
  - c. Potenza contrattuale
  - d. Aggregatore e distretto/quartiere di riferimento, c'è da notare che l'aggregatore di riferimento è importante per definire i servizi che sono abilitati al singolo utente e in prospettiva potrebbe riferirsi alla comunità energetica di appartenenza.
2. Potenza elettrica istantanea impegnata per i carichi attivi nell'abitazione. Questa viene rappresentata tramite un tachimetro che permette di rapportarla alla potenza contrattuale disponibile. Inoltre viene segnalato se, nello stesso istante, l'utente sta prelevando energia dalla rete o se sta auto-consumando l'energia prodotta dal proprio impianto. Infine viene segnalato da quanto tempo è stato ricevuto il dato visualizzato.
3. Temperatura media interna, dato fornito dai sensori di comfort indoor presenti nell'abitazione.
4. Contatore del mese corrente, si tratta di un servizio che contabilizza i seguenti parametri e che viene aggiornato mensilmente:
  - a. L'energia Prodotta da Fotovoltaico e le conseguenti emissioni di CO<sub>2</sub> evitate.
  - b. L'energia consumata, prelevata da rete ed immessa.

- c. L'energia auto-consumata e la percentuale di autosufficienza energetica, questi valori al momento tengono conto esclusivamente dell'energia prodotta dalla singola abitazione, in caso di energy community sarà necessario inserire anche un contatore per l'energia condivisa.
5. Energia prodotta, tramite un grafico a barre viene visualizzato in quale percentuale viene impiegata l'energia prodotta: auto-consumata, esportata o immagazzinata in batteria.
  6. Energia consumata, tramite un grafico a barre, viene ripartita l'energia che è stata consumata in acquistata da rete, auto-consumata o prelevata dalla batteria, qualora l'abitazione si dotata di fotovoltaico e batteria.
  7. Grafico della potenza elettrica media assorbita per i consumi, prodotta e auto-consumata, infine quella acquistata e prelevata dalla rete. Questo grafico consente di visualizzare quando ci sono picchi di consumo e di produzione, inoltre rende facilmente comprensibile, soprattutto nella visualizzazione real time, quanta parte dell'energia prodotta viene auto-consumata.
  8. Grafico con la percentuale di carica (%), lo stato di carica della batteria, dove presente (kW)
  9. Consumi disaggregati, il consumo elettrico viene suddiviso tra i consumi dei singoli elettrodomestici monitorati con le smart plug. La granularità del dato visualizzato cambia a seconda dell'intervallo temporale scelto dall'utente, orario se si visualizza il giorno corrente, giornaliero per la settimana o il mese. In questo modo l'utente può visualizzare per quale elettrodomestico consuma maggiormente inoltre può valutare se spostare alcuni consumi in altri orari, ad esempio quando ha disponibilità di energia da fonte rinnovabile per massimizzare l'autoconsumo o altro orario su richiesta del Distributore, in caso di evento di Demand Response.

## HOME

La sezione Home consente la visualizzazione e interazione con tutti i sensori installati presso l'abitazione. In particolare per ogni singolo sensore è possibile visualizzare le grandezze monitorate in real time, mentre per gli elettrodomestici collegati alle plug permette l'accensione e spegnimento da remoto.



Figura 37. Sezione Home dell'interfaccia utente per il controllo e gestione dei dispositivi

## USer

La sezione User consente di visualizzare il confronto con gli altri che partecipano alla sperimentazione e ricevere dei feedback personalizzati. In particolare sono disponibili i seguenti feedback su scala mensile:

10. Consumo elettrico generale, questo viene confrontato con quello di utenti simili che partecipano al dimostrativo. L'aggregazione, dato il numero esiguo dei partecipanti, viene condotta considerando il numero di componenti della famiglia. L'informazione viene restituita nella dashboard attraverso un grafico a barre, che include anche il riferimento al consumo statistico per la stessa tipologia di utenza. Per determinare questo valore si fa riferimento al benchmark individuato dall'Università "La Sapienza" e descritto in dettaglio nel Report RdS/PTR(2021)/006:

$$CE = 2075,8 + 1,7503 \cdot S + 384,15 \cdot N - 0,41364 \cdot GG$$

Dove:

- CE sono i consumi medi di energia elettrica espressi in kWh/anno;

- S è la superficie utile dell’abitazione espressa in m<sup>2</sup>;
- N è il numero massimo di occupanti dell’abitazione;
- GG sono i gradi giorno della località.



Figura 38. Confronto e benchmark relativo al consumo elettrico generale

Questa elaborazione grafica è accompagnata da una descrizione e un consiglio, come descritto nel report della LA 1.2. Si ritiene che questo approccio possa aumentare il coinvolgimento degli utenti, innescando un processo di confronto competitivo tra i partecipanti alla sperimentazione.

11. Consumo degli elettrodomestici, viene proposto il confronto tra il consumo elettrico per il singolo elettrodomestico e quello medio del cluster di riferimento per lo stesso elettrodomestico. Gli elettrodomestici considerati e che sono dotati di smart plug nelle abitazioni sono: lavastoviglie, lavatrice, asciugabiancheria, frigorifero e condizionatore. Al grafico è sempre associato un commento sintetico.



Figura 39. Confronto consumo elettrodomestici monitorati

12. Consumi suddivisi per fasce orarie, il consumo mensile viene ripartito e visualizzato per le tre fasce F1, F2, F3 in un grafico a barre. A questa visualizzazione si associano dei suggerimenti a seconda della fascia di consumo prevalente, che invitano a verificare il proprio contratto di fornitura elettrica in base alle tariffe vigenti come riportate nel sito <https://www.ilportaleofferte.it/portaleOfferte/>.



Figura 40. Suddivisione dei consumi mensili nelle fasce F1, F2, F3

13. Report Mensile, mensilmente viene elaborato un report per l'utente che riporta tutte le informazioni relative alla propria Smart Home come riportato nelle 3 sezioni D, HOM, US. In particolare nel report vengono fornite le seguenti informazioni aggiuntive calcolate sulla base di appositi algoritmi sviluppati da Enea e integrati nella piattaforma per la cui descrizione si rimanda al Report RdS/PTR(2021)/001:
- a. Un feedback sul funzionamento del sistema installato: verrà segnalato un allarme nel caso di mancato funzionamento di un dispositivo (nel caso in cui la % di dati mancanti supera il 25%).
  - b. Consumo disaggregato, sulla base dei consumi monitorati dalle plugs funzionanti, mentre la componente residua verrà ripartita sulla base di tabelle specifiche per l'utenza in esame dedotte dalla scheda Smart Sim: tabella "Ripartizione del consumo generale mensile". Per la disaggregazione mensile dei carichi è stata sviluppato un apposito modulo di calcolo[9], di cui è stata anche implementato il codice Python come descritto nel Report RdS/PTR2021/010 "Piattaforme IoT Smart Home e Building 2.0 e relative interfacce con il portale dell'Energy Community"
  - c. Dettagli sul regime di utilizzo degli elettrodomestici monitorati riportati in forma tabellare e confrontati con gli stessi dati di famiglie similari. I dati di utilizzo sono ottenuti da un algoritmo di analisi appositamente sviluppato descritto nella precedente annualità, di seguito l'elenco delle informazioni visualizzate:
    - % di consumo in fascia F1;
    - % di cicli "brevi" (ovvero ciclo tipo di durata minore);
    - % di cicli "lungi" (ovvero ciclo tipo di durata maggiore);
    - Consumo elettrico del ciclo "breve" medio (in kWh);
    - Consumo elettrico del ciclo "lungo" medio (in kWh).

### 3.3.4 Interfaccia Aggregatore

L'interfaccia Aggregatore è dedicata al potenziale Aggregatore o Supervisore del cluster di utenze ed, in prospettiva, al Gestore della Comunità Energetica.

Questa interfaccia è simile a quella dedicata al singolo utente descritta nel precedente paragrafo, ma in questo caso consente la visualizzazione di tutte le abitazioni che appartengono allo stesso aggregatore o quartiere, pertanto anche la tipologia di aggregazione delle abitazioni da visualizzare è configurabile.

Per quanto riguarda i dati, si possono visualizzare in tempo reale, o scegliere quelli storici secondo differenti aggregazioni, settimanale e mensile, di conseguenza anche la visualizzazione del dato viene aggiornata con differente granularità.

Nella figura seguente è visualizzata l'interfaccia Aggregatore, in cui sono evidenziate con dei numeri le funzioni disponibili:

1. Energia Prodotta, indica l'energia complessiva prodotta dal cluster di utenze considerato e in un grafico a barre ne specifica l'impiego indicandone le %: auto-consumata, immessa in rete o immagazzinata in batteria.
2. Energia Consumata, indica l'energia complessiva consumata dal cluster di utenze considerato e in un grafico a barre ne specifica l'impiego in %: auto-consumo, acquisto, da batteria.
3. Grafico della Potenza elettrica media assorbita dall'intero cluster di utenze per i consumi, prodotta e auto-consumata, infine quella acquistata e prelevata dalla rete. Questo grafico consente di visualizzare quando ci sono picchi di consumo e di produzione, inoltre rende facilmente comprensibile quanta parte dell'energia prodotta viene auto-consumata.
4. Disaggregazione dei consumi per abitazione, in questo grafico per ciascuna ora viene riportato il consumo orario per le singole abitazioni del cluster.
5. Disaggregazione dei consumi per singolo elettrodomestico, in questo grafico per ciascuna ora viene riportato il consumo orario per tipologia di elettrodomestico, in questo modo sono facilmente riconoscibili e individuabili i carichi accumulabili (pompe di calore) e quelli differibili (lavatrici,

lavastoviglie, asciugatrici), ovvero quei carichi che possono essere spostati nell’arco della giornata, per incrementare l’autoconsumo o in caso di eventi di Demand Response.

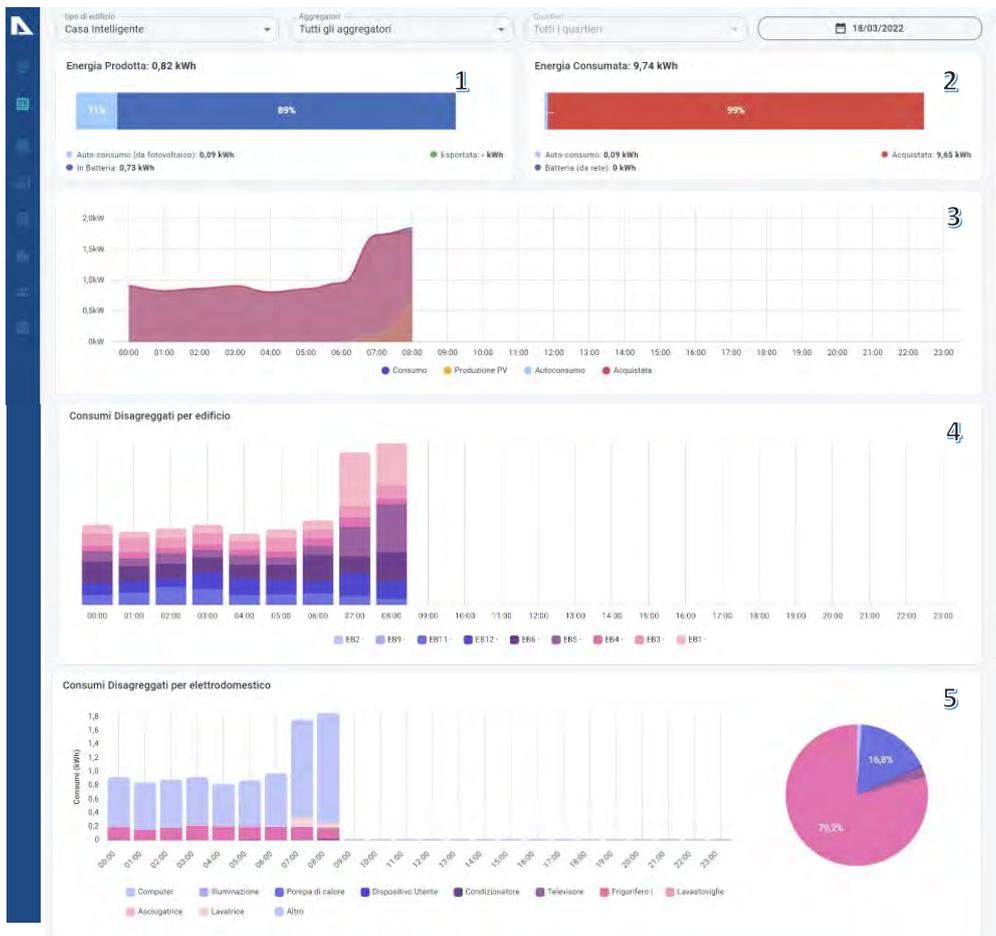


Figura 41. Interfaccia Aggregatore

In prospettiva energy communities, a livello di Aggregatore, a partire dalle informazioni disponibili si potranno vengono conservate ed è possibile la visualizzazione delle graduatorie di ogni aggregato per individuare gli utenti più virtuosi, raggruppati in cluster di utenti simili in funzione del numero di componenti il nucleo familiare e la tipologia di dotazione impiantistica, sulla base dei seguenti indicatori:

- Consumo complessivo di energia elettrica, a partire dal valore più basso per ogni gruppo omogeneo;
- Consumo mensile per singolo elettrodomestico, a partire dal valore più basso per ogni gruppo omogeneo;
- % di autoconsumo, a partire dal valore più alto;
- % di autosufficienza energetica, a partire dal valore più alto.

### 3.3.5 Demand Response

Nella sperimentazione condotta presso le abitazioni dislocate a Roma, il DSO Areti capofila del progetto europeo Platone, ha organizzato e condotto un test di Demand Response. Il test è stato effettuato il 25 novembre.

L’evento ha previsto, per ciascun utente coinvolto, il rispetto di un set point prestabilito ovvero di un determinato valore di potenza impegnata a livello di PoD dalle 9,30 alle 11 del giorno prestabilito.

Il rispetto del set point è stato assicurato dallo storage presente nelle abitazioni gestito dal Light Node, in questo modo nel caso di carichi che richiedevano un impegno di energia superiore al set point stabilito, questo incremento di potenza è stato erogato direttamente dalla batteria e l'esito del test è stato positivo. Tuttavia c'è da sottolineare che in questo primo test non vi è stata alcuna interazione con l'utente, né con l'EB.

In prospettiva si prevede di coinvolgere più attivamente l'utente, consentendogli di impostare delle preferenze, ad esempio impedendo l'accensione di alcuni elettrodomestici controllati da smart plug, in modo da modulare in maniera coordinata i consumi elettrici.

A tal fine è stata predisposta un'applicazione che consente all'utente di definire o modificare le priorità e le strategie di distacco del carico in caso di superamento della soglia di picco impostata, tale strategia può essere applicata ad apparecchi elettrici controllati tramite smart plug o smart appliances, in grado di comunicare direttamente con l'EB, modalità che potrà assicurare una partecipazione più attiva e consapevole dell'utente finale.

In prospettiva si prevede di studiare e testare delle modalità di interazione con l'utente in grado di incentivare il consumo elettrico degli utenti negli orari fuori picco, spostando ad esempio il consumo di alcuni elettrodomestici in fasce orarie in cui sia maggiormente disponibile energia da fonti rinnovabili o semplicemente per ridurre la congestione della rete negli orari di picco. Questi due modalità si riferiscono a differenti modelli di business, il primo basato sull'incremento dell'autoconsumo fisico promosso principalmente dal gestore della comunità energetica, mentre il secondo modello mira a stabilizzare la rete elettrica obiettivo principale del DSO.

### 3.4 Gestione BiG DATA

La gestione dei dati è basata sul Data Lake Hadoop. La piattaforma Hadoop consente di prescindere dal tipo di formato e di sistema di immagazzinamento dati, consentendo di avere dati sia strutturati che non strutturati, e garantisce flessibilità e scalabilità. Per ulteriori informazioni si rimanda al report RdS/PTR(2019)/008.

Al fine di consentire la scrittura dei dati Dhomus verso Hadoop, sono state messe a disposizione i servizi REST disponibili di default su Hadoop: WebHDFS. WebHDFS consente infatti di effettuare operazioni CRUD (Create, Read, Update, Delete) su HDFS (Hadoop File System) senza installare librerie aggiuntive.

Di seguito vengono riportate le operazioni più comuni consentite:

- HTTP GET
  - OPEN
  - GETFILESTATUS
  - LISTSTATUS
  - GETCONTENTSUMMARY
  - GETFILECHECKSUM
  - GETHOMEDIRECTORY
  - GETDELEGATIONTOKEN
  - GETDELEGATIONTOKENS
  - GETXATTRS
  - LISTXATTRS
  - CHECKACCESS
- HTTP PUT
  - CREATE
  - MKDIRS
  - CREATESYMLINK
  - RENAME
  - SETREPLICATION
  - SETOWNER
  - SETPERMISSION
  - SETTIMES

- RENEWDELEGATIONTOKEN
- CANCELDELEGATIONTOKEN
- CREATSNAPSHOT
- RENAMESNAPSHOT
- SETXATTR
- REMOVEXATTR
- HTTP POST
  - APPEND
  - CONCAT
  - TRUNCATE
- HTTP DELETE
  - DELETE
  - DELETESNAPSHOT

È stato successivamente identificato un path dedicato in HDFS per l'invio dei dati relativi a Dhomus ed abilitato l'invio attraverso la rete VPN protetta.

I dati attualmente immagazzinati sono mostrati nella lista sottostante, in cui è listato:

8. Grandezza del file
9. Data ultima modifica
10. Path al file

```
70.8 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/F40.json
1.6 G 2021-07-30 11:15 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/F40_termica.json
6.7 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-1.json
2.0 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-10.json
2.4 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-11.json
2.5 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-12.json
2.1 G 2022-03-16 16:13 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-2.json
2.8 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-3.json
1.9 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-4.json
4.2 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-5.json
1.1 G 2022-03-28 16:38 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-6.json
191.1 M 2021-10-07 22:00 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Nuovo EB-9.json
30.1 M 2020-10-07 17:15 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Pinerolo.json
30.1 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 1.json
38.3 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 10.json
29.4 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 11.json
29.2 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 12.json
38.1 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 13.json
29.4 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 2.json
29.7 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 3.json
29.5 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 4.json
29.6 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 5.json
29.8 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 6.json
29.4 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 7.json
29.5 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 8.json
46.8 M 2022-03-28 16:28 hdfs://192.168.34.109:54310/user/hdp/Data/smart_homes/apio/test/Tabona app. 9.json
```

Il formato con cui i dati sono immagazzinati è il json, il contenuto è dipendente dalla tipologia di sensore da cui proviene la lettura, per cui è variabile e necessita di un preprocessing prima di essere elaborato successivamente.

## 4 Smart Sim implementazione e test del servizio web

La Smart Sim è stata sviluppata in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma, come descritto nel Report RdS/PTR2019/002, questo paragrafo descrive l'implementazione dell'applicativo come servizio web. La Smart Sim prevede la compilazione di un questionario, tramite il quale l'utente fornisce i dati relativi alla propria abitazione e ai relativi consumi energetici come riportato nelle bollette.

Di seguito la tipologia di dati richiesti in dettaglio:

- **Informazioni generali**, relative al compilatore ed alla collocazione dell'edificio, inoltre è richiesto in quali fasce orarie (8-13; 13-19; 19-0; 0-8) gli utenti sono presenti a casa.
- **Caratteristiche architettoniche**: sono richiesti i dati generali (la tipologia edilizia, anno di costruzione, etc.) le dimensioni e orientamento in pianta e se sono stati effettuati lavori di riqualificazione energetica.
- **Impianti di riscaldamento e condizionamento**. Relativamente all'impianto di riscaldamento è prevista la scelta tra impianti centralizzati e autonomi, con generatori di calore di tipo diverso (caldaia tradizionale, caldaia a condensazione; pompa di calore elettrica); per le pompe di calore elettriche è possibile indicare la classe energetica in riscaldamento. Devono anche essere indicati i terminali di impianto (radiatori, ventilconvettori, pavimenti radianti) e la modalità di regolazione dell'impianto stesso (solo climatica in caldaia; termostato manuale; termostato programmabile; termostato e valvole termostatiche su ogni radiatore; termostato e valvole termostatiche su programmabili su ogni radiatore). Sono state assimilate a "impianto di raffrescamento" tutte le apparecchiature impiegate ai fini del comfort termo-igrometrico nella stagione estiva. Per i condizionatori elettrici è necessario indicare la classe energetica in raffrescamento e il numero di stanze climatizzate; per gli altri apparecchi ad uso marginale è richiesto di indicare la quantità e le ore di uso giornaliero.
- Relativamente agli impianti per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, è possibile scegliere tra diverse tipologie (caldaia tradizionale, caldaia a condensazione, scaldabagno a pompa di calore, scaldabagno elettrico a resistenza) e indicare la eventuale presenza di un impianto solare termico (a circolazione naturale o forzata, con pannelli piani o sottovuoto) con le relative caratteristiche dimensionali (numero di pannelli) e di collocazione (inclinazione e orientamento). Inoltre sono richieste le informazioni necessarie a calcolare l'autoproduzione di energia elettrica effettuata con impianti fotovoltaici.
- **Elettrodomestici e altre apparecchiature elettriche**, sono suddivise in funzione del tipo d'uso: cucina, refrigerazione, lavaggio, pulizia e asciugatura. In generale viene richiesta la classe energetica dell'elettrodomestico, dove possibile, ed i tempi medi di impiego. Le apparecchiature utilizzate per la refrigerazione e per la congelazione è necessario indicare il volume utile e la classe energetica. Per i grandi elettrodomestici (lavatrice, asciugatrice, lavastoviglie, lavasciuga) è necessario indicare la capacità di carico, il numero di cicli settimanali e la classe energetica. È presente un pulsante laterale che consente di immettere rapidamente il numero medio di cicli settimanali. Per le altre apparecchiature è unicamente necessario indicare i minuti di uso giornaliero.
- **Illuminazione degli ambienti**, si prevede una semplice numerazione delle lampade, con suddivisione tra le diverse tipologie (a incandescenza; alogene; fluorescenti, a led). Sono presenti dei pulsanti laterali per un'immissione rapida, attraverso i quali è possibile inserire dei valori precalcolati per illuminazione poco efficiente, media o molto efficiente.
- **Le informazioni relative alle postazioni PC**, alle postazioni audio-video e ad altri elettrodomestici di uso marginale sono quelle riportate nella figura seguente. Si tratta in generale di apparecchiature per le quali la caratterizzazione energetica viene effettuata con riferimento a valori medi di potenza

A partire dai dati di input forniti dagli utenti viene effettuata una simulazione in regime dinamico semplificato che consente di stimare i consumi annui della singola utenza domestica, sia dal punto di vista elettrico che termico. Tali valori sono confrontati con i consumi rilevati dalle bollette dei rispettivi fornitori, per un confronto e un feedback con l'utente. Sono presentati grafici utili al confronto tra i dati reali e i dati stimati, in maniera tale da poter procedere a dei cicli di aggiustamento e controllo, in caso di discordanza troppo alta.

I feedback che l'utente ottiene sono i seguenti:

- **Ripartizione consumi di energia primaria per tipologia di uso finale** (Riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, cucina, refrigerazione, lavaggio, pulizia e stiratura, illuminazione, computer e Internet, cura della persona, altro).
- **Confronti con benchmark** di riferimento.
- **Possibili migliori tariffe di fornitura elettricità e gas** presenti sul mercato, tramite accesso al sito ARERA.
- **Potenziale di elettrificazione dell'abitazione**, al fine di valutare istantaneamente opzioni volte all'incremento del potenziale di flessibilità delle abitazioni grazie all'incremento dell'impiego del vettore elettrico (spazi tecnici di pertinenza utilizzabili, configurazione esistente degli impianti Vs configurazione proposta).
- **Potenziale di risparmio energetico dell'abitazione** grazie ad interventi di efficientamento dell'abitazione di cui si valutano la riduzione dell'impatto energetico e ambientale, i costi e i tempi di ammortamento (sostituzione singole apparecchiature, interventi di riqualificazione energetica dell'abitazione, incremento elettrificazione di alcune utenze, l'introduzione di un sistema di automazione).
- **Elettrificazione dell'abitazione**, nella situazione attuale e con differenti configurazioni fino al full electric.
- **Tipologia dei carichi elettrici** (accumulabili, differibili, non differibili), in questo modo viene definito il potenziale teorico di flessibilità su base annua dell'utente e indicazioni sull'impatto ambientale.

#### 4.1 Implementazione del servizio web di Smart Sim

La web application Smart Sim è stata progettata in modo tale da disaccoppiare il processo di interazione con l'utente ovvero la fase di inserimento degli input e di consultazione dei risultati, da quello di calcolo. Tale disaccoppiamento ha facilitato l'integrazione del motore di calcolo nella sua implementazione originaria in Excel, evitando una nuova implementazione in un linguaggio compatibile con l'ecosistema dello stack tecnologico con cui è stata progettata ed implementata la web application. Per i dettagli sul motore di calcolo, consultare il paragrafo 4.1.2.

Il flusso di processo dell'interazione dell'utente con il servizio può essere quindi schematizzato secondo la Figura 42.

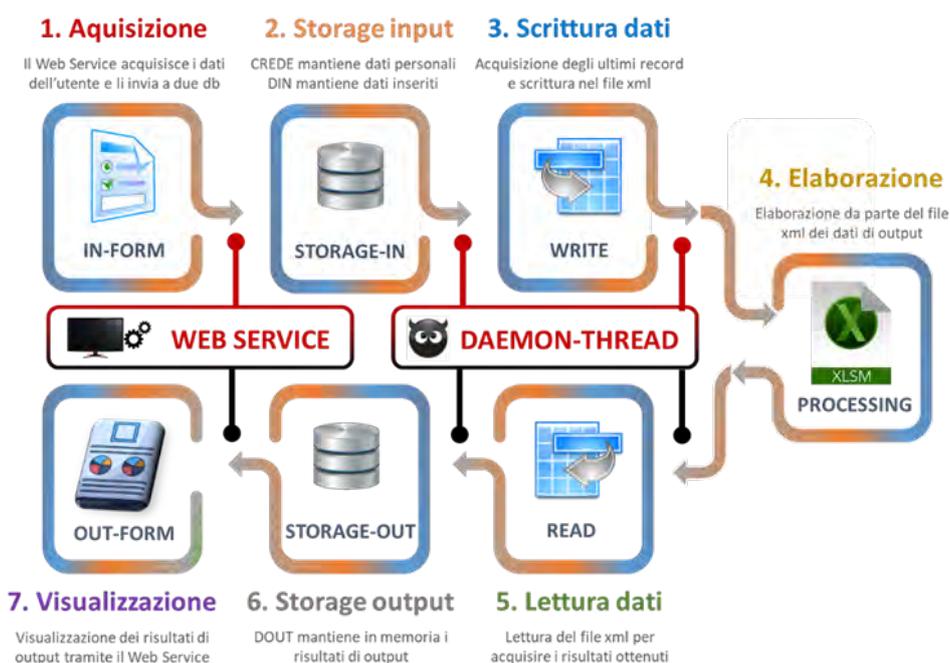


Figura 42. Workflow della web application Smart Sim

In particolare, il processo è suddiviso in sette fasi:

1. L'utente si collega a Smart Sim ed inserisce le informazioni negli appositi form online.
2. I dati vengono immagazzinati nel database.
3. L'utente richiede un calcolo della *scheda* compilata, quindi un demone in background si occupa di recuperare i dati inseriti dal DB ed inviarli all'Excel.
4. Elaborazione dei dati tramite il motore di calcolo Excel.
5. Il demone raccoglie i dati prodotti.
6. I dati vengono scritti nel database.
7. Gli output vengono visualizzati nella sezione risultati di Smart Sim.

Dal punto di vista della scelta architeturale dell'intero ecosistema Smart Sim, sono state istanziate due macchine virtuali, una dedicata alla web application (frontend e backend) ed una al motore di calcolo.

A livello di stack tecnologico, la web application è suddivisa in tre strati, come mostrato in Figura 43:

- **persistenza dati:** lo strato più basso, strutturato su due sistemi di immagazzinamento distinti;
- **middleware:** strato che interfaccia e orchestra la logica di controllo tra il frontend GUI ed il sistema di immagazzinamento dati;
- **GUI frontend:** lo strato di presentazione all'utente.



Figura 43. Architettura e stack tecnologico Smart Sim

#### 4.1.1 Persistenza dati

Lo strato di persistenza dati si suddivide in due sistemi di persistenza differenti. Il database relazionale MySQL è utilizzato per la gestione dell'anagrafica utente e per la gestione del framework MVC Laravel. Tale framework necessita di creare delle tabelle ausiliarie necessarie per la gestione dell'interfacciamento con frontend e backend. Di default, queste tabelle sono installate in un sistema relazionale, in particolare MySQL o derivati.

Il database MongoDB è, al contrario di MySQL, un database non relazionale, in particolare è un DB "document oriented" ovvero non si basa sulla creazione di una serie di tabelle, messe in relazione tramite delle chiavi esterne, ma si basa su un documento, nel caso specifico un JSON. In fase di progettazione è stato scelto questo sistema di persistenza in quanto i dati hanno una struttura che rispecchia quella ad albero tipica dei JSON e MongoDB è uno dei migliori database nel caso in cui si interagisca con dei documenti JSON oriented. Inoltre, il disaccoppiamento dei due sistemi di persistenza consente di isolare le informazioni relative agli utenti da quelle relative alle schede.

#### 4.1.2 Framework MVC

Lo strato intermedio è il livello che interfaccia la persistenza dati con il frontend. Nell'architettura di Smart Sim è utilizzato un middleware basato sul design pattern MVC. Il pattern è basato sulla separazione dei compiti fra i componenti software che interpretano tre ruoli principali:

- il model fornisce i metodi per accedere ai dati utili all'applicazione;
- la view visualizza i dati contenuti nel model e si occupa dell'interazione con utenti e agenti;
- il controller riceve i comandi dell'utente (in genere attraverso la view) e li attua modificando lo stato degli altri due componenti.

Questo schema, fra l'altro, implica anche la tradizionale separazione fra la logica applicativa (in questo contesto spesso chiamata "logica di business"), a carico del controller e del model, e l'interfaccia utente a carico della view.

Laravel<sup>5</sup> è un framework open source basato su PHP che implementa il design pattern MVC. È molto diffuso in quanto presenta diverse funzionalità integrate che facilitano lo sviluppo di applicazioni web evitando la scrittura di codice superfluo.

Nel caso specifico sono state utilizzate le più rilevanti funzionalità offerte:

- **Eloquent ORM (Object-Relational Mapping):** un'implementazione PHP avanzata del pattern di record attivo, che fornisce allo stesso tempo metodi interni per imporre vincoli alle relazioni tra gli oggetti del database. Seguendo il modello di record attivo, Eloquent ORM presenta le tabelle di database come classi, con le loro istanze di oggetti legate a singole righe di tabella.
- **Reverse routing.** Il reverse routing definisce una relazione tra i collegamenti e le rotte, rendendo possibile la propagazione automatica delle modifiche successive alle rotte nei collegamenti pertinenti. Quando vengono creati i link utilizzando i nomi di percorsi esistenti, Laravel crea automaticamente gli URI (Uniform Resource Identifier) appropriati. In questo modo qualsiasi aggiornamento, aggiunta o rimozione di link utilizzati in diversi punti della web application necessita di controllo, minimizzando quindi il rischio di "broken link"
- **I controller Restful** consentono di separare la logica alla base della gestione delle richieste HTTP GET e POST.
- **Blade Templating.** Il motore di creazione di modelli Blade combina uno o più template in formato blade con un data model per produrre le view (pagine web) risultanti. Blade fornisce anche una serie di strutture di controllo come istruzioni condizionali e loop, che sono mappate internamente alle loro controparti PHP. Inoltre, i servizi Laravel possono essere chiamati dai modelli Blade e lo stesso motore di creazione dei modelli può essere esteso con direttive personalizzate.
- **Database migration.** Le migrazioni forniscono un sistema di controllo della versione per gli schemi di database, rendendo possibile associare le modifiche nel codice dell'applicazione e le modifiche richieste nel layout del database. Di conseguenza, questa funzione semplifica la distribuzione e l'aggiornamento delle applicazioni basate su Laravel.

##### 4.1.1.3 GUI Frontend

Per la progettazione della GUI frontend è stato scelto di utilizzare il template di dashboard Metronic **Specificata fonte non valida.** fornito da Keenthemes<sup>6</sup>.

Come mostrato in Figura 44, il template fornisce molteplici widget pronti all'uso in grado di garantire all'utente una user experience soddisfacente. Nella web application sono state utilizzate in particolare i toolbar ed il wizard template in grado di guidare l'utente nella compilazione di diversi form in step consecutivi.

---

<sup>5</sup> <https://laravel.com/>

<sup>6</sup> <https://keenthemes.com/>

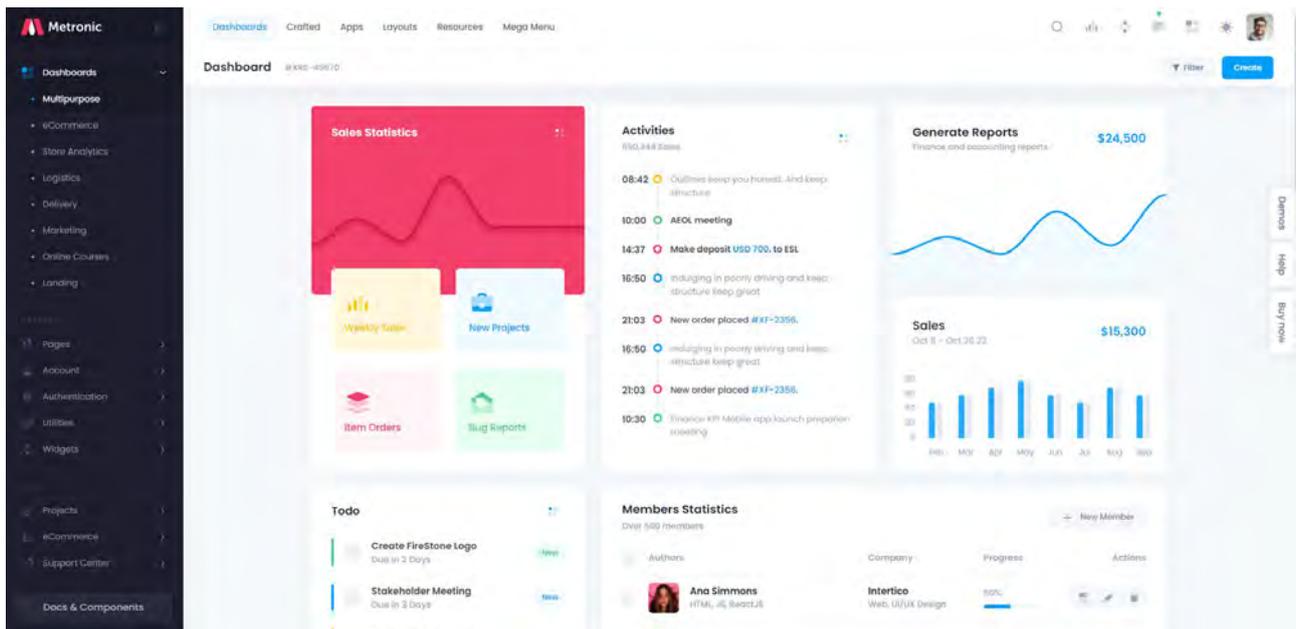


Figura 44. Template di dashboard “Metronic”

#### 4.1.3 Progettazione e implementazione motore di calcolo

Il motore di calcolo è basato sul simulatore Excel descritto nel paragrafo precedente, e prevede una serie di input necessari che saranno richiesti all’utente tramite la GUI. Tali input sono processati dall’Excel attraverso opportune formule e macro Visual Basic. Al fine di automatizzare il processo di inserimento e lettura dati da e verso Excel, è stato sviluppato un wrapper che si interfaccia con Excel. Come mostrato in Figura 43, il motore di calcolo è disaccoppiato dalla web application, sia in termini logici che fisici, in quanto è ospitato su una differente macchina virtuale ed è costituito dal simulatore Excel e da un wrapper.

Il wrapper è stato sviluppato in Python, in quanto le librerie di interfacciamento con Excel messe a disposizione dal repository pubblico hanno consentito la manipolazione senza particolari problemi, a differenza delle librerie precedentemente testate in altri linguaggi (es. Java e NodeJS).

Le librerie PyWin32 sono disponibili nel repository pubblico di Python, PiP, e consentono di gestire programmaticamente i file Excel: apertura, chiusura, inserimento e lettura dati dalle celle ed esecuzione di macro. La fruizione del calcolo tramite il wrapper da parte della web application è garantita da un servizio RES messo a disposizione dal wrapper tramite il web server Flask.

La Figura 45 mostra il dettaglio della comunicazione tra le entità durante il processo di richiesta di calcolo di una scheda da parte dell’utente.

1. l’utente richiede il calcolo di una scheda;
2. Laravel gestisce la richiesta recuperando i metadati della scheda dal DB MySQL, in particolare lo sheet\_uuid, identificativo univoco della scheda in MongoDB;
3. Il controller di Laravel invia una chiamata HTTP Post al servizio REST del computation engine Python, passando come parametro lo sheet\_uuid;
4. il computation engine recupera da MongoDB la i dati della scheda;
5. il computation engine inserisce i dati di input del simulatore in maniera automatica all’interno di Excel ed avvia le macro per il calcolo;
6. il computation engine recupera i dati di output dall’Excel e li scrive su MongoDB;
7. la chiamata REST restituisce un valore di ritorno positivo nel caso in cui il calcolo sia andato a buon fine, altrimenti negativo

8. i dati sono disponibili per essere mostrati a frontend tramite Laravel.

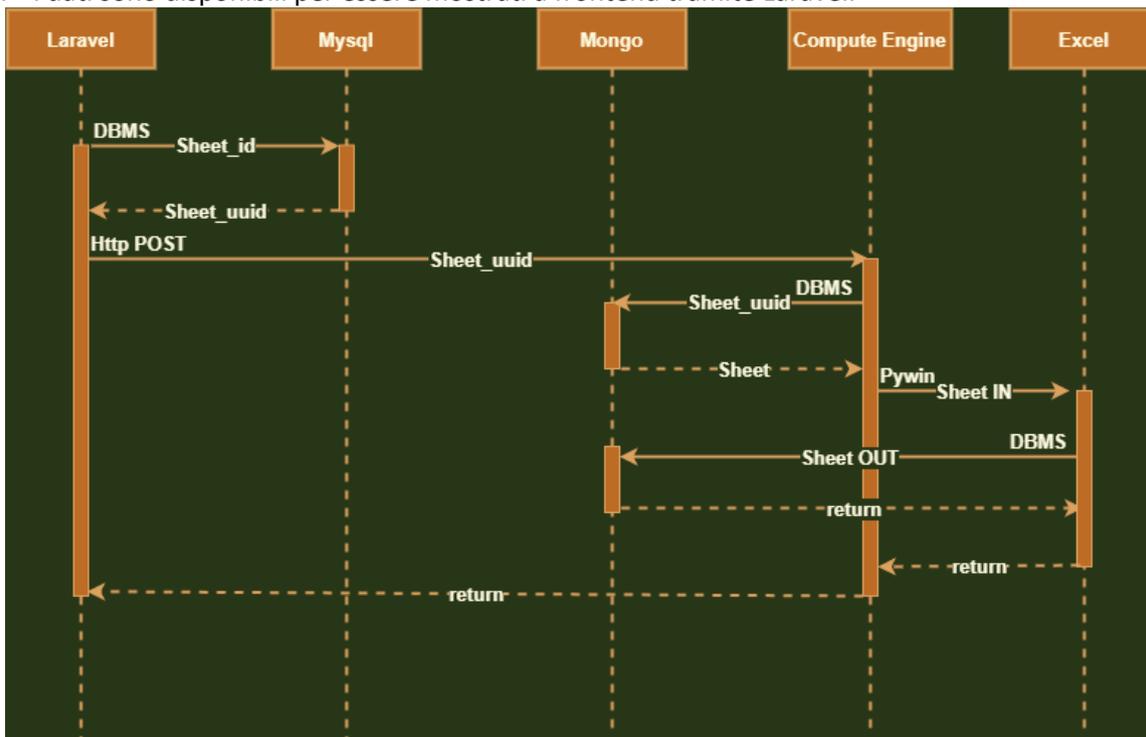


Figura 45. Processo di calcolo di una scheda

Specificata fonte non valida. Specificata fonte non valida. Specificata fonte non valida. Specificata fonte non valida.

#### 4.1.4 Implementazione del frontend

L’implementazione del frontend è stata eseguita sulla base della progettazione precedentemente descritta e possiamo suddividerla in diverse sezioni dell’applicazione web. Ogni sezione ha una tipologia di accesso dipendente dalla modalità utilizzata dall’utente: accesso libero, registrato o amministratore.

Tabella 19. Sezioni più rilevanti del frontend

Pagina	Accesso
Homepage	Libero
Le mie schede	Utente registrato
Nuova scheda	Utente registrato
Tabella utenti	Amministratore
Registrazione	Libero
Report risultati	Utente registrato

#### Homepage

Nella homepage è possibile fruire del video informativo e della descrizione dello strumento: cosa è possibile ottenere, quali informazioni sono richieste ed una procedura step-by-step su cosa è necessario fare per finalizzare la simulazione (Figura 46).

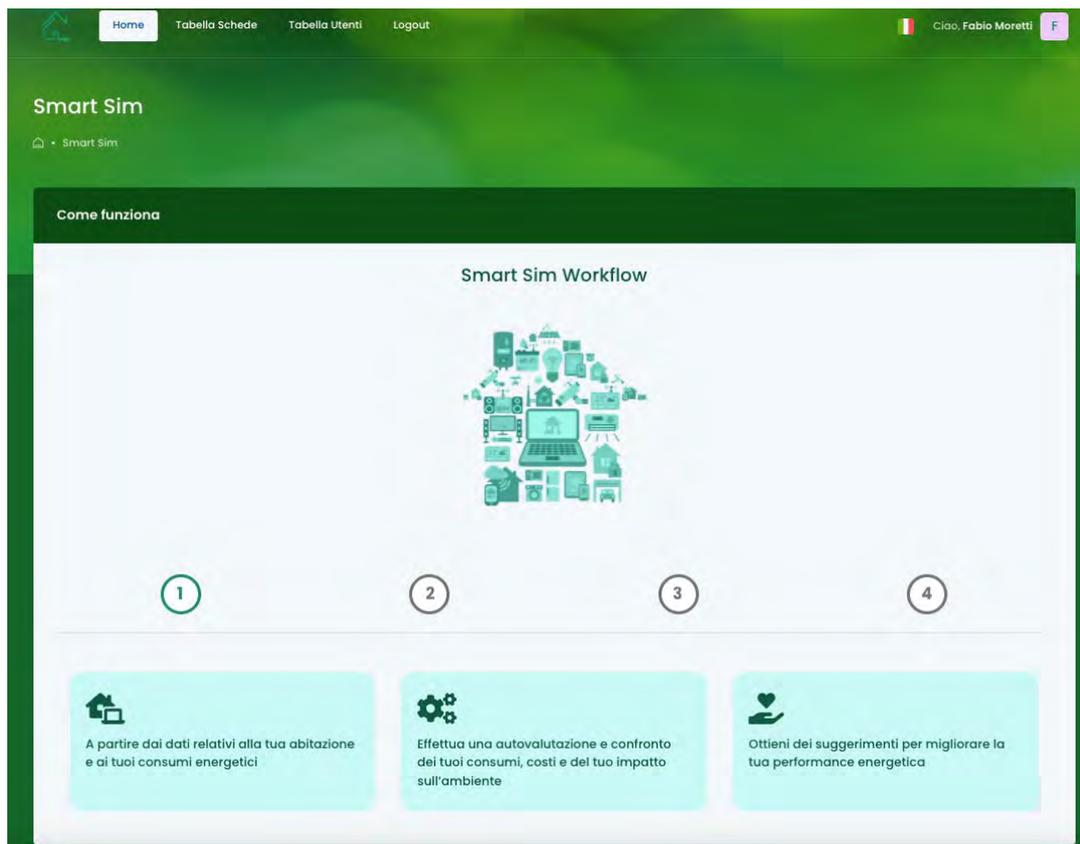


Figura 46. Homepage

### Le mie schede

Nella sezione “Le mie schede” è possibile gestire le schede inserite dall’utente e crearne di nuove (Figura 47). La pagina mostra tutte le schede comprensive di Id, nome scheda, data creazione, data ultima modifica, stato (completato/non completato)

- ID. Identificativo univoco della scheda autogenerato dal sistema.
- Nome. Nominativo della scheda definito dall’utente.
- Provincia. Provincia di riferimento della scheda.
- Comune. Comune di riferimento della scheda.
- Data creazione/modifica.
- Stato. Stato della scheda (completato/non completato)
- Avanzamento. Indica lo stato di avanzamento della compilazione della scheda: il numero indicato indica l’ultimo step completamente compilato e salvato.
- Azioni. Azioni possibili sulla scheda:
  1.  Eliminazione di una scheda.
  2.  Clonazione di una scheda.
  3.  Editing scheda.
  4.  Visualizzazione report. Questa funzione è abilitata solo se la scheda è nello stato “Completato”, e il calcolo della simulazione su tale scheda è stato correttamente eseguito

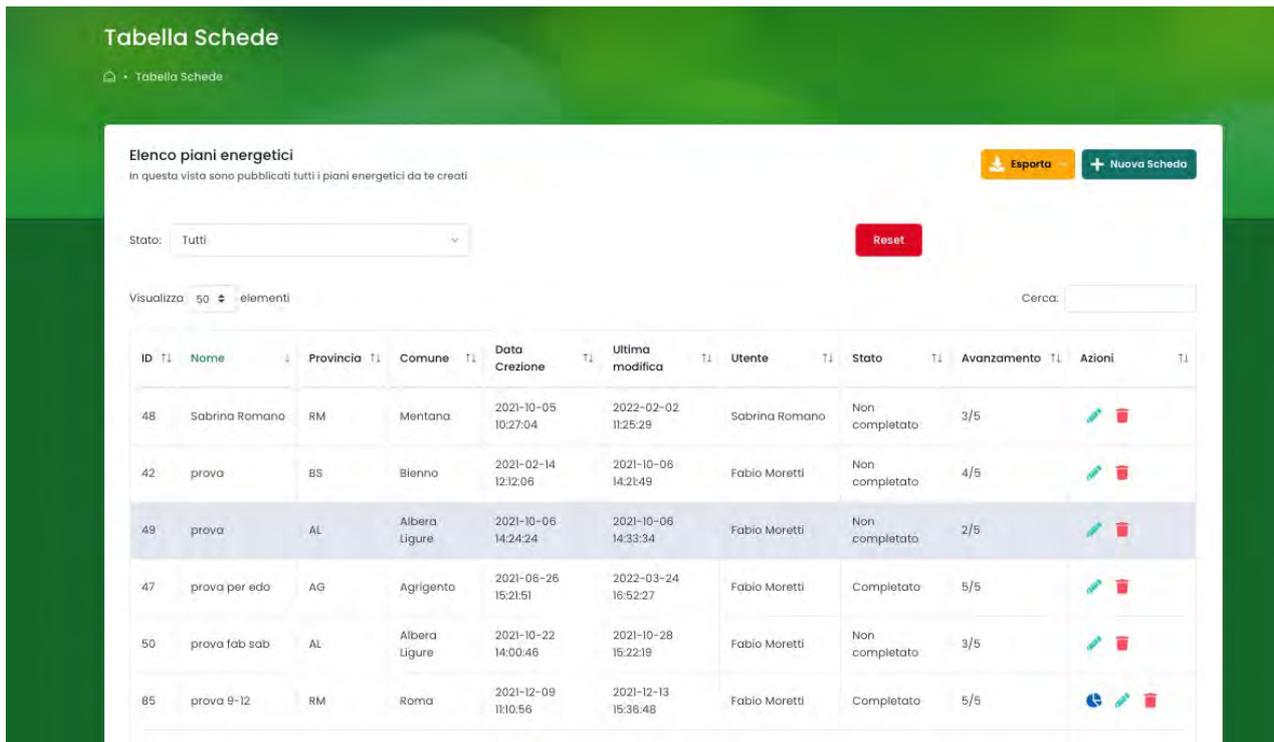


Figura 47. Sezione "Le mie schede"

È inoltre possibile esportare la lista in formato CSV o PDF tramite l'apposita funzione di esportazione.

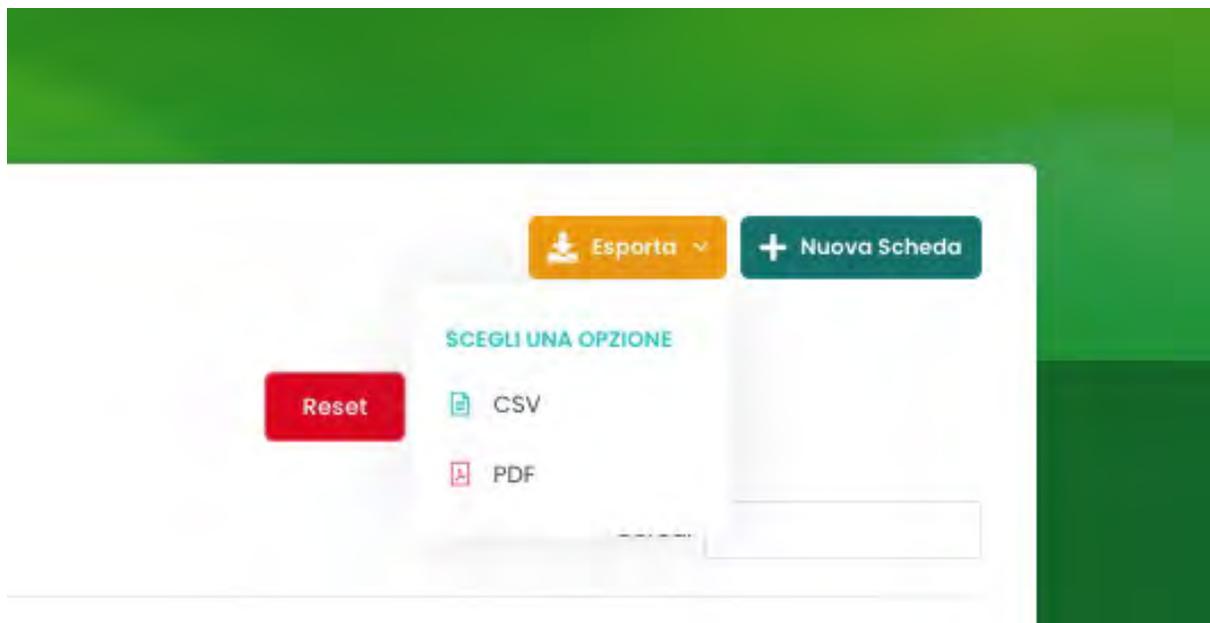


Figura 48. Esportazione lista schede

Nella casella di ricerca è possibile filtrare una scheda specifica per testo. Tale ricerca è di tipo full-text su tutte le stringhe del record.

**Elenco piani energetici**  
In questa vista sono pubblicati tutti i piani energetici da te creati

Esporta + Nuova Scheda

Stato: Tutti Reset

Visualizza 50 elementi Cerca: prova 9- x

ID	Nome	Provincia	Comune	Data Creazione	Ultima modifica	Utente	Stato	Avanzamento	Azioni
85	prova 9-12	RM	Roma	2021-12-09 11:10:56	2021-12-13 15:36:48	Fabio Moretti	Completato	5/5	 

Vista da 1 a 1 di 1 elementi (filtrati da 21 elementi totali)

Figura 49. Filtraggio schede

### Creazione/modifica scheda

La sezione della creazione o modifica di una scheda prevede l'immissione dei dati suddivisi in quattro sezioni distinte, come descritto precedentemente nella sezione dei dati richiesti.

1. Dati generali (Figura 50)
2. Unità di consumo (Figura 51)
3. Impianto di produzione (Figura 52)
4. Parametri economici e finanziari (Figura 53)

Ogni campo è rappresentato in diverse modalità:

- testo libero;
- numerico;
- lista predefinita;
- scelta multipla;
- booleano (on-off).

Per facilitare l'inserimento dei dati minimizzando le possibilità di errore è stato introdotto un controllo interattivo dei campi, oscurando le scelte precluse dalle impostazioni date dall'utente. I campi impostati correttamente sono etichettati con colore verde ed una spunta, mentre quelli errati con un colore rosso ed una x.

**1. Dati Generali**

Nome Scheda

Nome Scheda

prova 9-12

**Ubicazione**

Provincia: Roma

Comune: Roma

Ombreggiamento: Alcune ore

**Utilizzo della casa**

Famiglia di 2 persone | Famiglia di 3 persone | Famiglia di 4 persone | Reset

appare

**Numero di occupanti**

Mattina: 1

Pomeriggio: 2

Sera: 3

Notte: 3

SUCCESSIVO

Figura 50. Sezione 1 - Dati generali

1. Dati  
Generali

2. Caratteristiche  
Edificio

3. Impianti

4. Elettrodomestici

5. Costi e  
Consumi

6. Risultato

### Dati Generali

Periodo di costruzione  
1982-1991

Numero di piani intero edificio: 5  
Numero di piani abitazione: 2  
Altezza media di ogni piano: 4 m

Numero di stanze: 5  
Numero di finestre: 13

Colore muri esterni: Chiaro  
Colore della copertura: Chiaro

### Pianta e confini

Forma della pianta dell'abitazione

Pianta rettangolare o quadrata  


Pianta ad angolo  


Pianta a doppio angolo  


Pianta rettangolare o quadrata

Figura 51. Sezione 2 – Caratteristiche edificio

1. Dati  
Generali

2. Caratteristiche  
Edificio

3. Impianti

4. Elettrodomestici

5. Costi e  
Consumi

6. Risultato

### Riscaldamento 🔥

Impianto autonomo a gas con radiatori e termostato

Impianto centralizzato a gas con radiatori e termostato

Reset

Tipo di impianto ?

Tipo di generatore

Classe energetica media ?

Modalità di regolazione ?

Terminali in ambiente ?

---

### Raffrescamento 🌬️

Condizionatori presenti in tutte le stanze

Nessun condizionatore presente nelle stanze

Reset

Tipo di impianto ?

Classe energetica media ?

Num stanze climatizzate ?

Utilizzo del condizionatore per il riscaldamento ?

 no

---

Altri apparecchi ➕

Figura 52. Sezione 3 - Impianti

1. Dati  
Generali

2. Caratteristiche  
Edificio

3. Impianti

4. Elettrodomestici

5. Costi e  
Consumi

6. Risultato

---

### Cucina +

Uso giornaliera Alto

Uso giornaliera Medio

Uso giornaliera Basso

Reset

Piano cottura ?

A gas v

Uso giornaliera Piano cottura

60
min

Forno

A gas v

Uso giornaliera Forno

60
min

Forno microonde ?

Elettrico v

Uso giornaliera Forno microonde

10
min

---

### Refrigerazione +

Refrigerazione 1

si

Tipo refrigeratore

Frigo con congelatore v

Anno di acquisto

Entro il 2020 v

Classe energetica

A++ v

Stelle

\*\*\* (-12°) v

Larghezza

60
cm

Altezza

193
cm

Profondità

60
cm

Altezza Freezer ?

40
cm

---

Refrigerazione 2

no

Tipo refrigeratore

Anno di acquisto

Classe energetica

Stelle

Figura 53. Sezione 4 - Elettrodomestici

The screenshot displays the 'Costi e Consumi' (Costs and Consumption) section of the software. At the top, a navigation bar shows six steps: 1. Dati Generali, 2. Caratteristiche Edificio, 3. Impianti, 4. Elettrodomestici, 5. Costi e Consumi (highlighted), and 6. Risultato.

**Energia elettrica ⚡**

Tipo di utente: Residente  
 Spesa annuale elettricità (dati bolletta mensili): 555 €  
 Mese di partenza: Gennaio

Mese	Consumo (kWh)	Costo (€)
Gennaio	5	5
Febbraio	5	5
Marzo	5	5
Aprile	5	5
Maggio	5	5
Giugno	5	5
Luglio	5	5
Agosto	5	5
Settembre	5	5
Ottobre	5	5
Novembre	5	5
Dicembre	5	5

**Gas naturale 🔥**

Spesa annuale gas (dati bolletta mensili): 55 €  
 Mese di partenza: Gennaio

Mese	Consumo (Smc)	Costo (€)
Gennaio	5	5
Febbraio	5	5
Marzo	5	5
Aprile	5	5
Maggio	5	5
Giugno	5	5
Luglio	5	5
Agosto	5	5

Figura 54. Sezione 5 – Costi e consumi

La sezione finale dei risultati (Figura 55), consente il calcolo della scheda e l’abilitazione della pagina degli output, previo esito positivo della simulazione. È possibile effettuare anche altre azioni ausiliarie quali l’esportazione dei dati di input in formato JSON o tornare alla lista delle schede inserite.

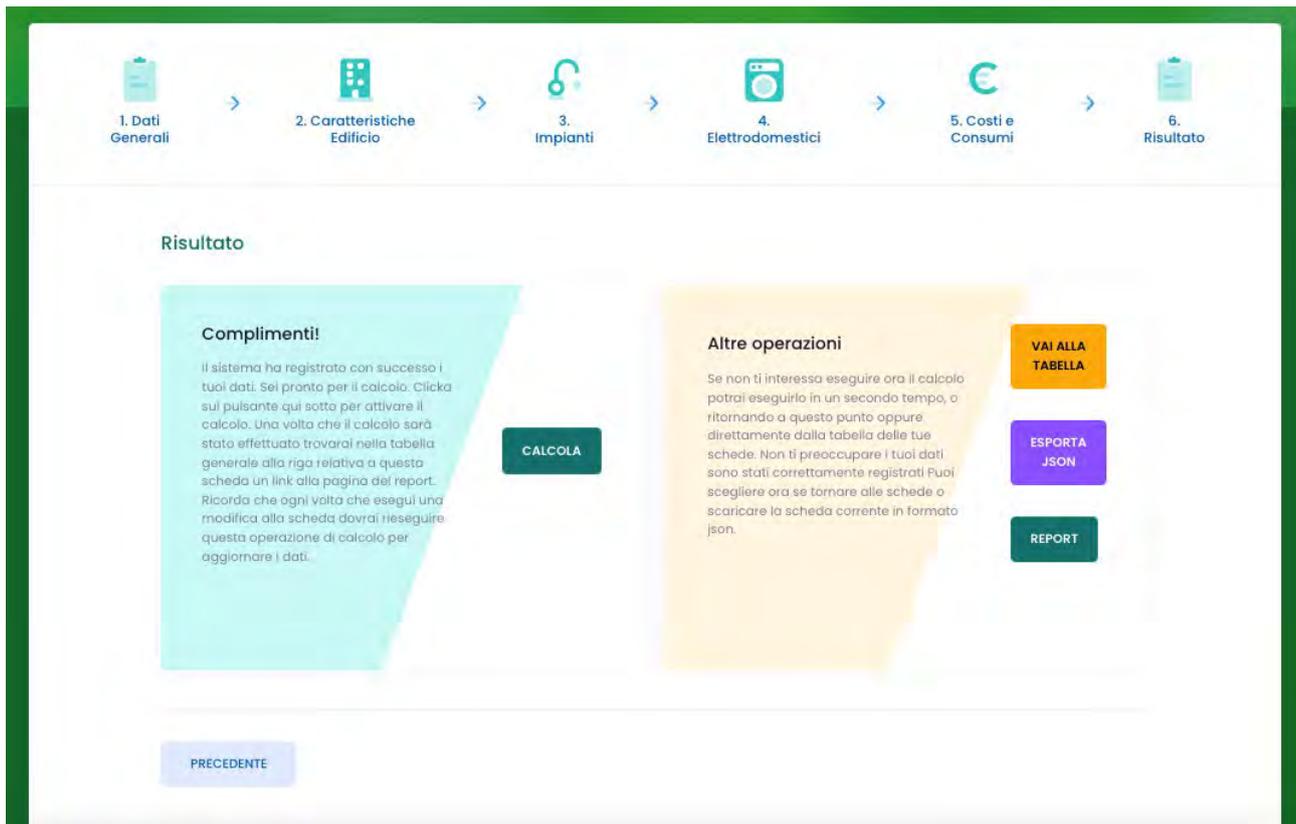


Figura 55. Sezione calcolo dei risultati

### Report dei risultati

Il report dei risultati (Figura 56) mostra gli output già descritti nel paragrafo precedente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e consente:

- la visualizzazione online dei dati;
- l'esportazione in formato JSON;

Per facilitare la consultazione dell'utente, la visualizzazione dei risultati è suddivisa in tre sezioni:

1. Risultato della simulazione
2. Ripartizione dei consumi e impatto ambientale
3. Come risparmiare

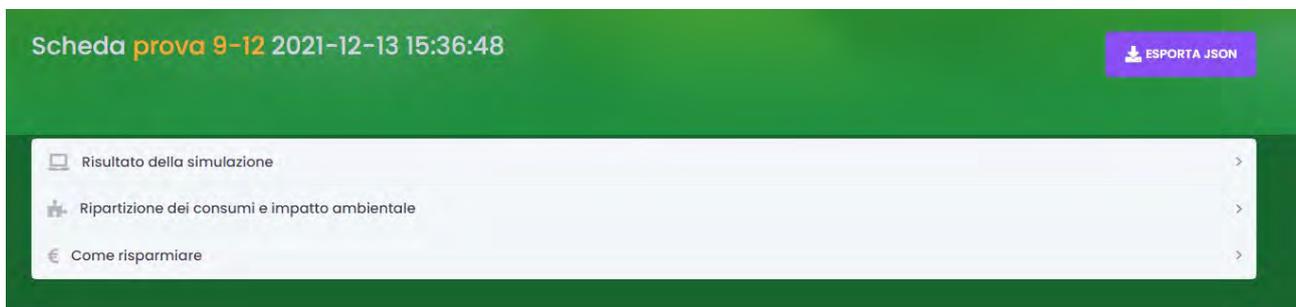


Figura 56. Report risultati

La sezione 1 mostra la comparazione della simulazione suddivisa per elettricità e gas, evidenziando eventuali discostamenti tra i valori misurati e quelli simulati in termini di consumi.



Figura 57. Sezione risultato della simulazione

La sezione 2 mostra la ripartizione per usi finali dei consumi elettrici, la ripartizione per vettore energetico di consumi, spesa e impatti ambientale, e infine un confronto con le abitazioni con caratteristiche simili

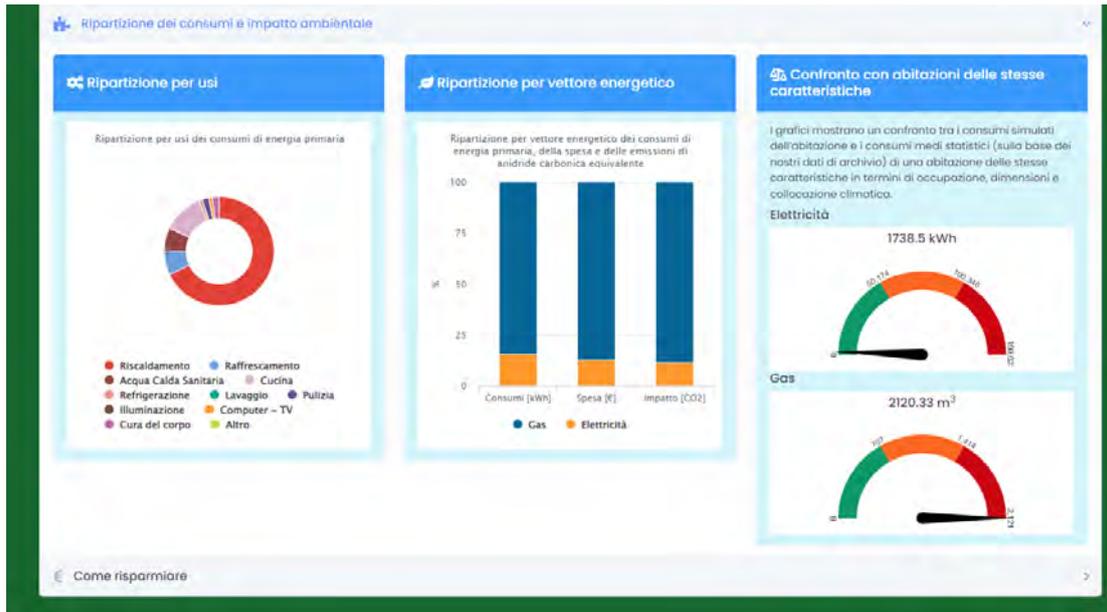


Figura 58. Sezione ripartizione dei consumi e impatto ambientale

Sezione 3 mostra dei potenziali suggerimenti su come risparmiare, tramite cambio del fornitore o con interventi di riqualificazione energetica



Figura 59. Sezione Come risparmiare

#### 4.1.5 Implementazione del backend

Il backend è stato implementato utilizzando due sistemi di persistenza complementari: MySQL e MongoDB.

Il DB MySQL è utilizzato per l’immagazzinamento delle tabelle ausiliari di Laravel, per le informazioni sull’utente e per i metadati delle schede.

La Figura 60 mostra il diagramma ER (Entity-Relationship) del Database MySQL utilizzato, attraverso cui è possibile visualizzare il dettaglio del contenuto informativo delle tabelle.

Le tabelle ausiliari di Laravel sono:

- migrations;
- model\_has\_permissions;
- model\_has\_roles;
- failed\_jobs;
- permissions;
- roles;
- role\_has\_permissions;
- personal\_access\_tokens.

Le tabelle **users** e **sheets** sono invece tabelle create per la persistenza delle informazioni sugli utenti e delle informazioni riguardanti i metadati delle schede. I dati delle schede sono conservati nel database MongoDB.

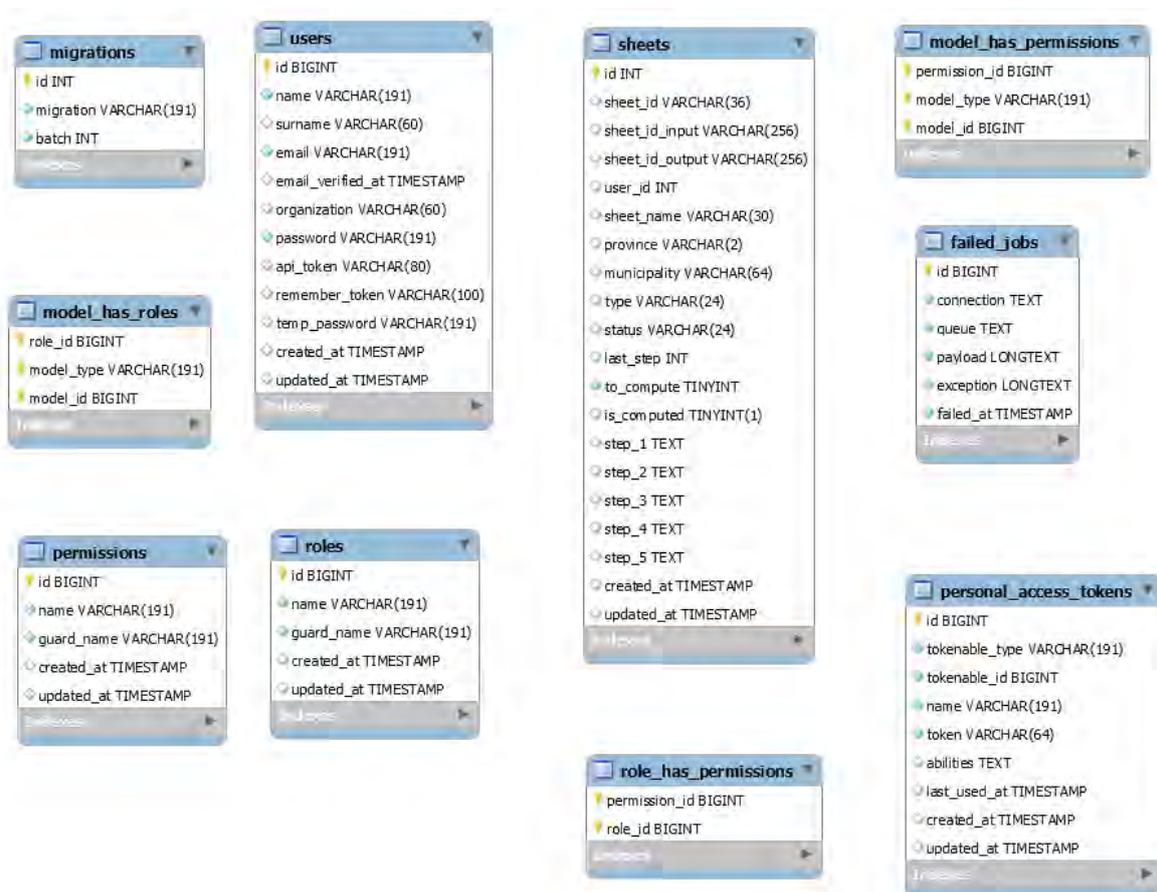


Figura 60. Diagramma ER del Database MySQL

Il database MongoDB contiene le informazioni delle schede in due “collection” distinte: **sheets\_in**, contenente i dati di input, e **sheets\_out**, contenente i dati di output.

## 4.2 Integrazione db Smart Sim e Dhomus

L'integrazione db Smart Sim e Dhomus prevede la condivisione delle informazioni utili ad entrambi gli applicativi. In particolare Smart Sim consente di fare una simulazione preliminare del comportamento energetico dell'abitazione senza richiedere installazione di sensori, per cui è verosimile ipotizzare che Smart Sim sia propedeutica all'eventuale successivo allaccio a Dhomus.

In quest'ottica si ritiene utile fornire a Dhomus i dati già precedentemente immagazzinati su Smart Sim, in modo da arricchire le funzionalità ed i servizi erogati da Dhomus. Quindi è stato effettuato un mapping tra le informazioni contenute in Smart Sim ed il rispettivo labelling in Dhomus. La tabella seguente mostra il dettaglio del mapping eseguito. Per ulteriori dettagli sulla struttura del database Smart Sim si rimanda al paragrafo 4.1

**Tabella 20. Mapping campi Smart Sim - Dhomus**

INFORMAZIONI GENERALI				
Dato	Descrizione	Smart Sim	Fonte del dato	
			JSON	Utente
Numero persone		X	Max(Input.utilizzo_casa.numero_occupanti)	
Superficie utile abitazione		X	Output.dati_geometrici.superficie_calpestabile_tot	
Contratto di fornitura elettrica	tipologia di contratto (residente; non residente)	X	Input.consumi_costi.tipo_utenza	
	mercato libero/tutelato	X	-	
	potenza contrattuale			X
	tipologia di prezzo applicata (monoraria/fasce)			X
	energia verde			X
Consumi elettrici anno precedente	Mese /consumo in kWh	X	Input.consumi_costi.consumi_elettricit_reati	
	Suddivisione consumo annuo in fasce F1/F2/F3			X
	Upload file SPID			X
Info su elettrodomestici				
Tipo di elettrodomestico	caratteristiche	Smart Sim		Associata alla plug/fornita da utente
Lavatrice	Marca			X
	Modello			X
	Max carico (kg)	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavatrice.capacita	
	Cicli settimanali	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavatrice.cicli_settimanali	
	Anno d'acquisto	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavatrice.anno_acquisto	
	Classe energetica	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavatrice.classe_energetica	
Asciugatrice	Marca			X
	Modello			X
	Max carico (kg)	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.asciugatrice.capacita	
	Cicli settimanali	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.asciugatrice.cicli_settimanali	
	Anno d'acquisto	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.asciugatrice.anno_acquisto	X
	Classe energetica	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.asciugatrice.classe_energetica	

Lavasciuga	Marca			X
	Modello			X
	Max carico (kg)	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavasciuga.capacita	
	Cicli settimanali	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavasciuga.cicli_settimanali	
	Anno d'acquisto	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavasciuga.anno_acquisto	X
	Classe energetica	X	Input.elettrodomestici.lavaggio.lavasciuga.classe_energetica	
Refrigerazione	Marca			X
	Modello			X
	Tipo	X	Input.elettrodomestici.refrigerazione.tipo	
	Capacità totale (litri)	X	output.refrigerazione.volume_totale_frigo	
	Anno d'acquisto	X	Input.elettrodomestici.refrigerazione.anno_acquisto	
	Classe energetica	X	Input.elettrodomestici.refrigerazione.classe_energetica	
Televisore o monitor 1	Quantità			X
	Marca			X
	Modello			X
Condizionatore	Quantità	X	Input.impianti.impianto_raffrescamento_refrigerazione.num_stanze_climatizzate	
	Marca			X
	Modello			X
	Classe			X
	Potenza			X
	Ambiente in cui è installato			X
	Tipo di monitoraggio (plug/switch)			X
Fotovoltaico	Potenza	X	Input.impianti.impianto_solare_fotovoltaico.potenza	
	inclinazione	X	Input.impianti.impianto_solare_fotovoltaico.inclinazione	
	orientamento rispetto al sud	X	Input.impianti.impianto_solare_fotovoltaico.orientamento	
Batteria	capacità	X	Input.impianti.impianto_solare_fotovoltaico.capacita_batteria	
	Marca,			X
	Modello			X
<b>Dati per la disaggregazione</b>				
<b>Ripartizione del consumo generale mensile</b>		X	Output.consumi_elettrici.dettaglio	

## 5 Flessibilità in ambito residenziale

### 5.1 Flessibilità termica in ambito residenziale

#### 5.1.1 Introduzione

La transizione sostenibile verso un sistema energetico a zero emissioni climalteranti dipende dalla penetrazione di tecnologie basate su fonti energetiche rinnovabili fluttuanti, come l'eolico e il solare[14] [15]. Ciò richiede un cambio di paradigma nei sistemi di alimentazione energetica, che tradizionalmente si basano sulla generazione centralizzata. Con le nuove logiche di generazione distribuita bidirezionale, la domanda energetica dovrebbe essere il più possibile adattata alla potenza disponibile [17] [18]. Questo cambio di prospettiva implica un ampio utilizzo di sistemi di controllo avanzati per consentire una domanda flessibile, attraverso tecnologie di demand-response e una corretta integrazione dei sistemi[18]. In questo contesto gli edifici flessibili possono fornire servizi di rete e quindi accelerare la transizione. Il potenziale per l'utilizzo di un edificio per la gestione della domanda è definito come la sua flessibilità energetica[19], che è influenzata da diversi fattori [20]:

- Le caratteristiche termo-fisiche dell'edificio come massa termica, grado di isolamento e rapporto di forma;
- I sistemi impiantistici (di riscaldamento, condizionamento e ventilazione), di generazione locale e di stoccaggio;
- I sistemi di controllo in grado di consentire interazioni con l'occupante, nonché la possibilità di rispondere e reagire a segnali esterni (come il clima esterno o il prezzo dell'elettricità);
- La destinazione d'uso, il comportamento degli occupanti e i requisiti di comfort.

In funzione delle caratteristiche dell'edificio, esiste un potenziale di flessibilità già sfruttabile (attraverso, ad esempio, l'accumulo termico nelle strutture edilizie [8]), che può essere ulteriormente incrementato attraverso l'impiego di impianti di condizionamento elettrici, interfacciati a sistemi locali di generazione rinnovabile e a batterie di accumulo [22].

L'uso dei controlli predittivi basato sulla modellazione dell'edificio è oggi considerato come un'interessante opportunità per ottimizzare il funzionamento del sistema edificio-impianto, atto a garantire i requisiti di comfort [23]. Le strategie utilizzate per definire il controllo ottimale possono prendere in considerazione diversi parametri. Per gli edifici normalmente si valuta il consumo energetico, le emissioni climalteranti o il costo globale[24].

Come per il calcolo del consumo energetico di un edificio, la caratterizzazione della flessibilità energetica richiede una modellazione dinamica e dettagliata del sistema edificio-impianto, in grado di includere i vincoli tecnici, il comportamento degli occupanti e tutte le principali condizioni di contorno [25] [26].

Caratterizzare la flessibilità energetica in modo strutturale è impegnativo in quanto coinvolge molti aspetti [28]. Gli autori di [28] hanno introdotto una caratterizzazione semplificata che tiene però conto delle dinamiche del sistema (a differenza di altri approcci [30] [31]). In riferimento alla raffigurazione di Figura 61, La 'Funzione Flessibilità' (FF) così ottenuta ha le seguenti caratteristiche:

- $\tau$  (Tempo): il ritardo tra la regolazione del prezzo dell'energia e l'effetto sulla domanda di energia.
- $\Delta$  (Potenza): la variazione massima della domanda in seguito alla modifica della penalità.
- $\alpha$  (Tempo): il tempo necessario dall'inizio della variazione della domanda fino a quando non raggiunge il livello più basso.
- $\beta$  (Tempo): il tempo totale di diminuzione della domanda di energia.
- A (Energia): la quantità totale di riduzione della domanda di energia.
- B (Energia): la quantità totale di maggiore richiesta di energia.

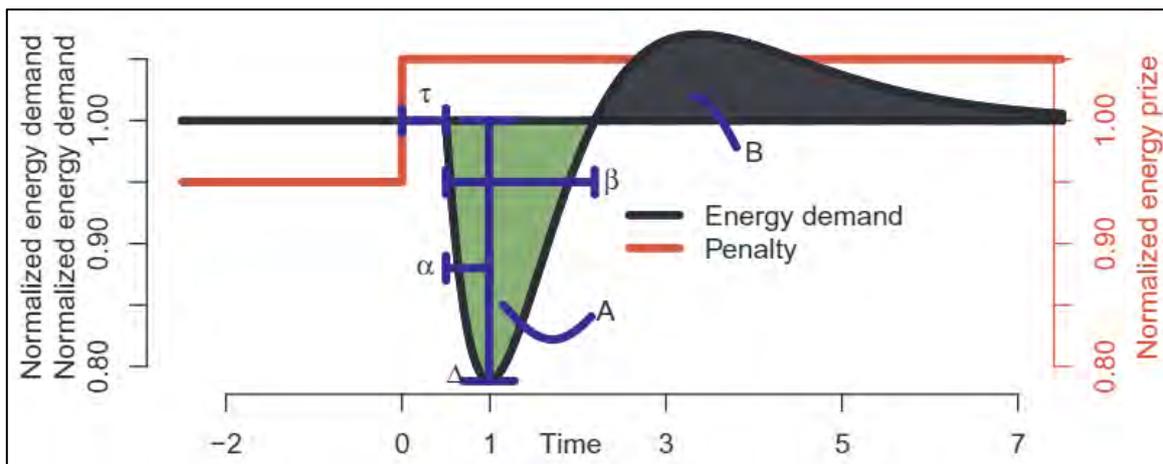


Figura 61. Caratteristiche della Funzione di Flessibilità [22].

A partire da questa funzione è possibile calcolare un Indice di Flessibilità (IF), che misura la reazione di un edificio (o di un gruppo di edifici) al segnale di penalità applicato. Ad esempio, un IF pari a zero indica che l'edificio non reagisce affatto al segnale, mentre un IF pari a 0.2 denota che il 20% del costo relativo alla penalità può essere risparmiato grazie alla flessibilità dell'edificio. Ciò presuppone ovviamente che il sistema in esame sia dotato di un controller [18] [24] [32] o che intervenga una risposta manuale alle variazioni del segnale [33]. L'indice di flessibilità contiene le informazioni essenziali per applicazioni particolari e può essere compreso e comunicato senza rilevanti approfondimenti tecnici.

Il calcolo dell'indice viene condotto attraverso i seguenti passi:

- Sia  $p_t$  la penalità sul consumo di energia al tempo  $t$ .
- Simulare il controllo dell'edificio in oggetto senza considerare la penalità e sia  $e_t^{st}$  il consumo standard di energia al tempo  $t$ .
- Simulare il controllo dell'edificio considerando la penalità e sia  $e_t^{flex}$  il consumo di energia corrispondente.
- Il costo operativo totale del controllo senza penalità è dato da  $C_{standard} = \sum_{t=0}^N p_i \cdot e_i^{st}$
- Il costo operativo del controllo consapevole della penalità è dato da:  $C_{flex} = \sum_{t=0}^N p_i \cdot e_i^{flex}$
- L'indice di Flessibilità si ottiene come:  $IF = 1 - \frac{C_{flex}}{C_{standard}}$
- Il risparmio economico è dato da:  $S = C_{standard} - C_{flex}$

Si noti che questo calcolo può essere condotto per diversi intervalli temporali e quindi ricavare gli indicatori giornalieri, mensili e annuali.

L'idea di controllare il bilancio termo-energetico di un edificio utilizzando segnali di prezzo risale ai primi anni '80 del secolo scorso [34] e nel tempo ha trovato sempre più applicazioni. In [35], gli autori hanno suggerito l'uso di strumenti di analisi delle serie temporali per quantificare la flessibilità degli edifici come risposta al prezzo dell'elettricità e hanno dimostrato come questo segnale di penalità possa essere utilizzato per spostare la domanda energetica dalle ore di picco ad altri momenti della giornata. In [36], un metodo basato sull'ottimizzazione inversa è stato utilizzato per stimare la flessibilità utilizzando dati reali e una sperimentazione pilota con riscaldamento elettrico [37] ha dimostrato che un sistema di comunicazione basato sul segnale di prezzo può produrre una risposta alla domanda prevedibile e affidabile.

Nello scenario delineato dal presente rapporto, il calcolo può essere condotto utilizzando come segnale di penalità il Prezzo Unico Nazionale (PUN) dell'energia elettrica. I dati relativi al Mercato del Giorno Prima (MGP) sono pubblicati regolarmente sul sito<sup>7</sup> del Gestore del Mercato Elettrico (GME).

Come mostrato in Figura 62, il PUN presenta tipicamente due picchi, in corrispondenza dell'inizio della giornata lavorativa e dell'ora di cena. Nel caso di edifici residenziali, la domanda di flessibilità si

<sup>7</sup> <https://www.mercatoelettrico.org/it/>

concentrerebbe su entrambi i picchi, con la possibilità di anticipare parte o la totalità del carico alle prime ore della mattina (tra le 4 e le 7 circa) e nel primo pomeriggio (tra le 12 e le 16 circa).

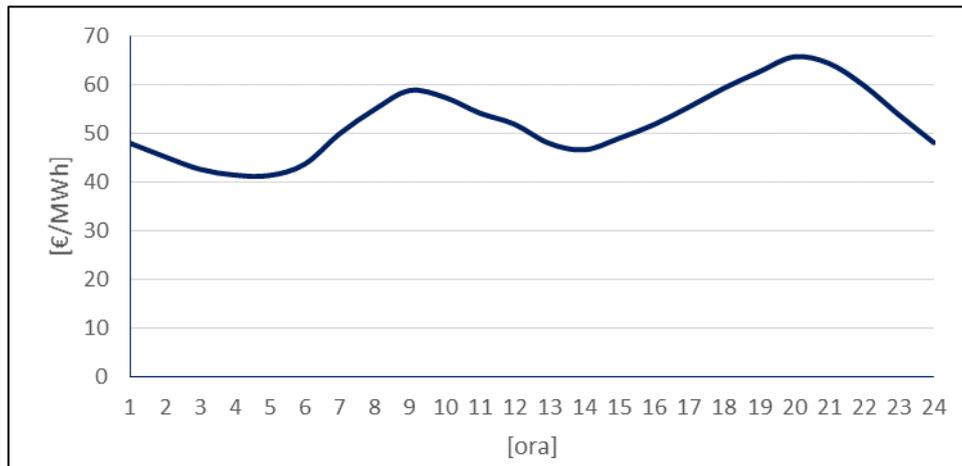


Figura 62. Andamento giornaliero medio del PUN nel 2019 (GME).

Volendo immaginare un controllo predittivo dei carichi termici basato sulla valutazione della flessibilità di un edificio (o unità immobiliare), risulta necessario definire una funzione che esprima la temperatura di setpoint indoor in funzione del segnale di costo dato dal PUN (MGP) e di fattori contestuali (ad esempio delle previsioni meteorologiche). La temperatura di setpoint deve essere modificata per spostare il carico termico in corrispondenza dei valori minimi giornalieri del PUN. La temperatura di setpoint  $T_{setpoint}$  all'ora  $i$ -esima viene modificata (aumentata in inverno e ridotta in estate) rispetto al valore standard  $T_{standard}$  (ad esempio 21°C in inverno e 26°C in estate) se:

- il PUN all'ora  $i$ -esima è minore del primo quartile giornaliero del PUN;
- si prevede che l'edificio sia occupato 3 ore dopo.

Come:

$$(T_{setpoint})_i = T_{standard} + f(T_{out, RM}) \frac{PUN_{min)d}}{PUN_i} \Delta T_{max}$$

Con:

- $f(T_{out, RM})$ : funzione lineare della media mobile della temperatura esterna con valore compreso tra 0 e 1. In particolare:
  - in inverno vale 1 con  $T_{out, RM}$  minima e 0 per valori uguali o superiori a 14°C.
  - in estate vale 1 con  $T_{out, RM}$  massima e 0 per valori uguali o minori a 22°C.
- $PUN_{min)d}$ , valore minimo giornaliero del PUN.
- $\Delta T_{max}$  variazione massima rispetto al valore standard di riferimento (3°C in inverno e -2°C in estate).

Per evitare che il setpoint risulti superiore o inferiore a valori di comfort, dei valori limite vengono applicati (24°C in inverno e 23°C in estate).

La modifica non viene applicata se le condizioni ambientali esterne non sono critiche. In particolare se la media mobile della temperatura esterna è compresa tra 14°C e 22°C.

L'applicazione di questo controllo flessibile in funzione del PUN comporta una variazione rilevante della temperatura di setpoint rispetto a quella di un controllo standard (Figura 63), che in ambito residenziale si assume:

- In inverno, 21°C di giorno e 18°C di notte;
- In estate, 26°C dall'ora pranzo e l'ora di coricarsi, e 30°C altrimenti.

Come mostrato in Figura 64, la variazione può anche superare i 6°C. Tipicamente ciò si verifica di prima mattina, in corrispondenza del minimo giornaliero del PUN, e comporta un carico/scarico termico delle

strutture edilizie, che si ripercuote sulla richiesta di potenza termica nelle ore successive (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

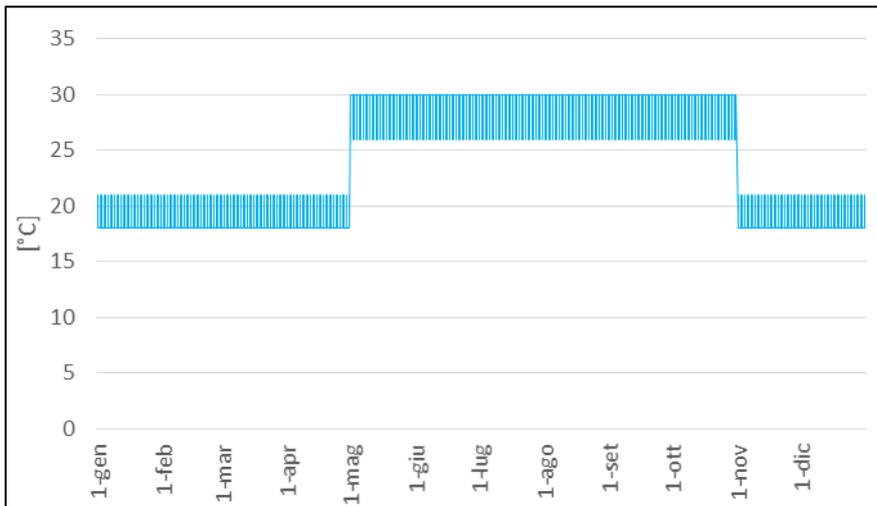


Figura 63. Setpoint standard di temperatura per un edificio residenziale.

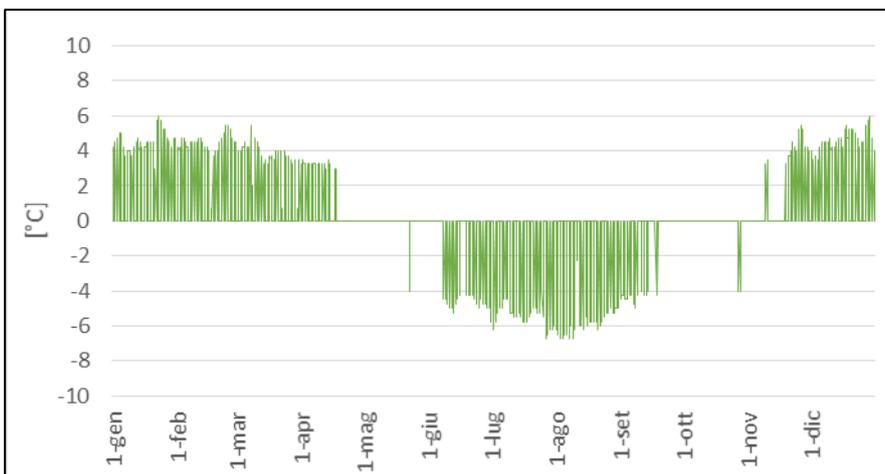


Figura 64. Variazione di temperatura rispetto al caso standard dovuta al controllo flessibile sopra descritto.

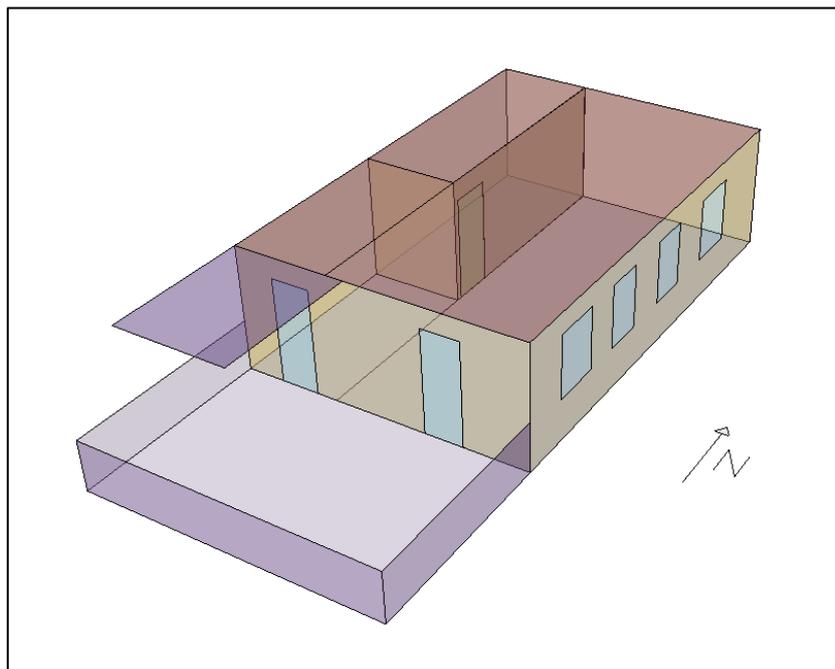
Prima di procedere, è utile richiamare vantaggi e svantaggi connessi a logiche di controllo flessibile in edifici residenziali. Essi sono elencati in Tabella 21.

Tabella 21. Vantaggi e svantaggi dell'applicazione di logiche di controllo flessibile in edifici residenziali.

Svantaggi	Vantaggi
<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Italia, una piccola parte degli edifici residenziali sono condizionati da impianti elettrici.</li> <li>• Pochi edifici residenziali sono equipaggiati di sistemi di controllo con cui implementare logiche di flessibilità.</li> <li>• Raramente sono impiegate tecnologie impiantistiche come quelle di recupero del calore.</li> <li>• L'occupazione notturna non permette di estremizzare l'anticipo del carico termico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'occupazione quasi continua permette di offrire flessibilità su entrambi i picchi giornalieri di potenza.</li> <li>• Gli edifici residenziali sono generalmente caratterizzati da involucri non molto vetrati e quindi meno disperdenti.</li> <li>• L'inerzia termica disponibile è generalmente maggiore.</li> <li>• In ambito domestico la necessità di ricambio d'aria è minore che in altre destinazioni d'uso.</li> </ul>

### 5.1.2 Caso studio

La metodologia di valutazione della flessibilità energetica sopra esposta viene applicata a una unità residenziale d'esempio, che è stata definita a partire da una residenza del dimostrativo di Roma. L'appartamento in questione (identificato come "EB6") è un piccolo trilocale di circa 50 m<sup>2</sup> calpestabili, sito a nel quartiere Centocelle di Roma e realizzato tra il 1920 e il 1945. Il modello termo-energetico (Figura 65) è stato realizzato in ambiente EnergyPlus<sup>8</sup>.



**Figura 65. Modello dell'appartamento "EB6".**

Il monitoraggio effettuato negli ultimi anni ha permesso di:

- acquisire i consumi mensili di elettricità e gas naturale (Figura 66);
- derivare il profilo medio giornaliero dei carichi elettrici, e la relativa schedule, che viene riportata in Figura 67 per il giorno medio assoluto e per quelli feriale e festivo.

<sup>8</sup> <https://energyplus.net/>

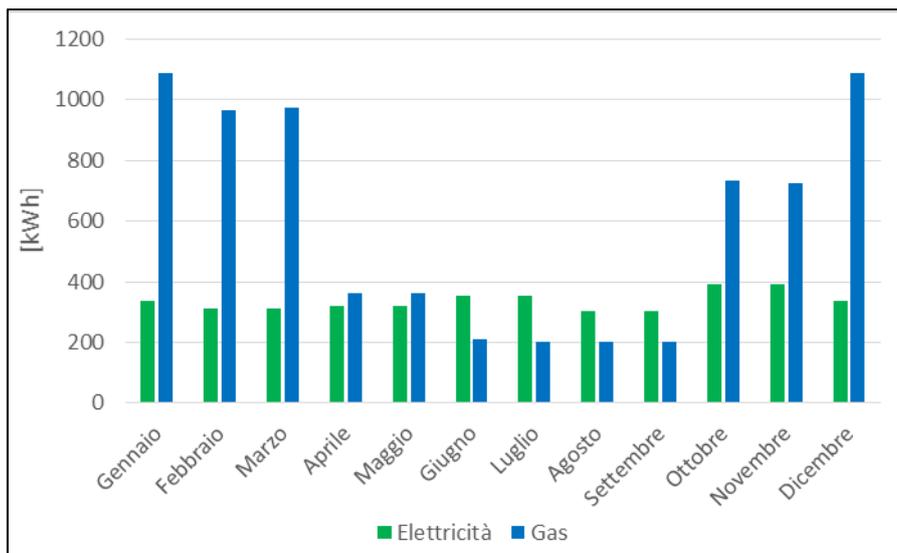


Figura 66. Consumi mensili di elettricità e gas naturale dell'appartamento "EB6".

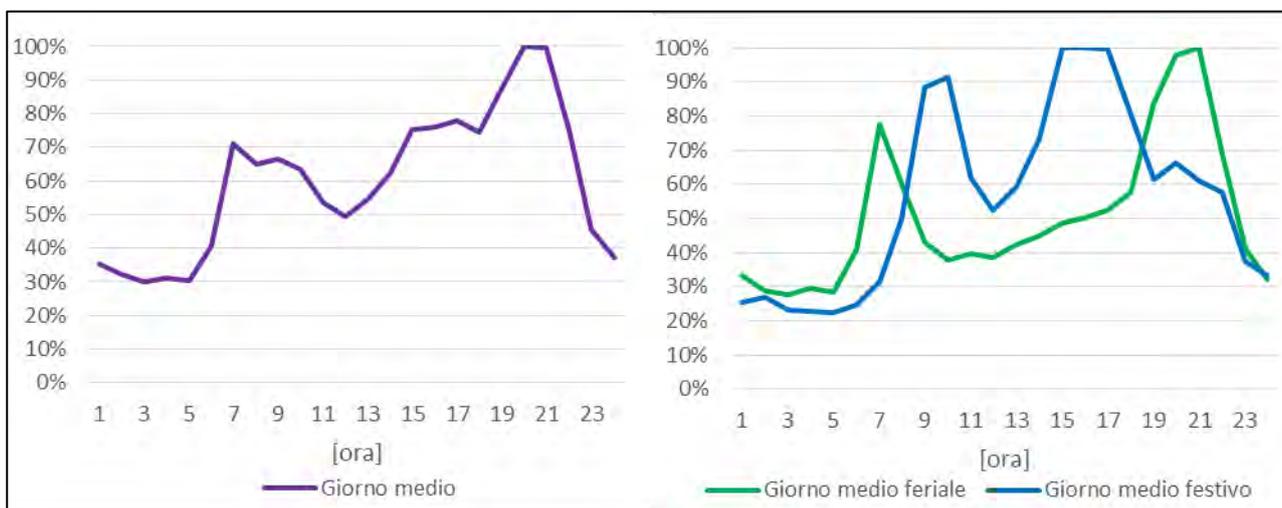


Figura 67. Schede dei carichi elettrici dell'appartamento EB6 nel giorno medio assoluto e in quelli feriale e festivo.

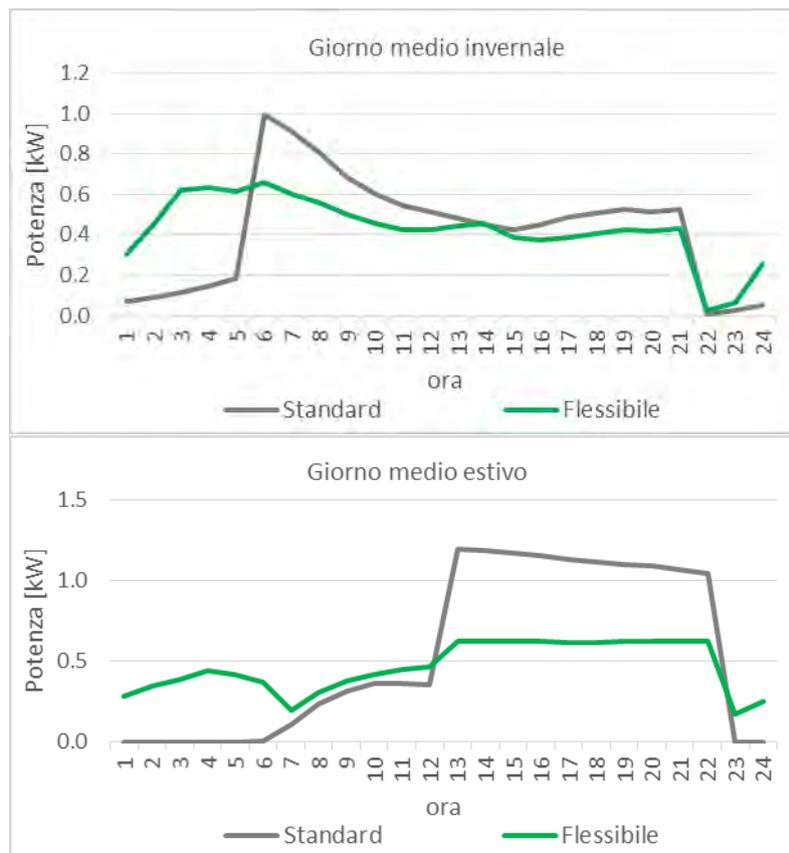
Nella realtà l'appartamento è dotato di una caldaia a gas naturale tradizionale e di condizionatori elettrici. Tuttavia, per valutare la flessibilità energetica potenziale anche in fase di riscaldamento, il modello è stato simulato con una pompa di calore come generatore termico. È stato comunque possibile condurre una calibrazione semplificata, a partire dai dati di consumo opportunamente convertiti attraverso rendimenti nominali standard<sup>9</sup>.

### 5.1.3 Risultati

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per il modello d'appartamento preso in esame.

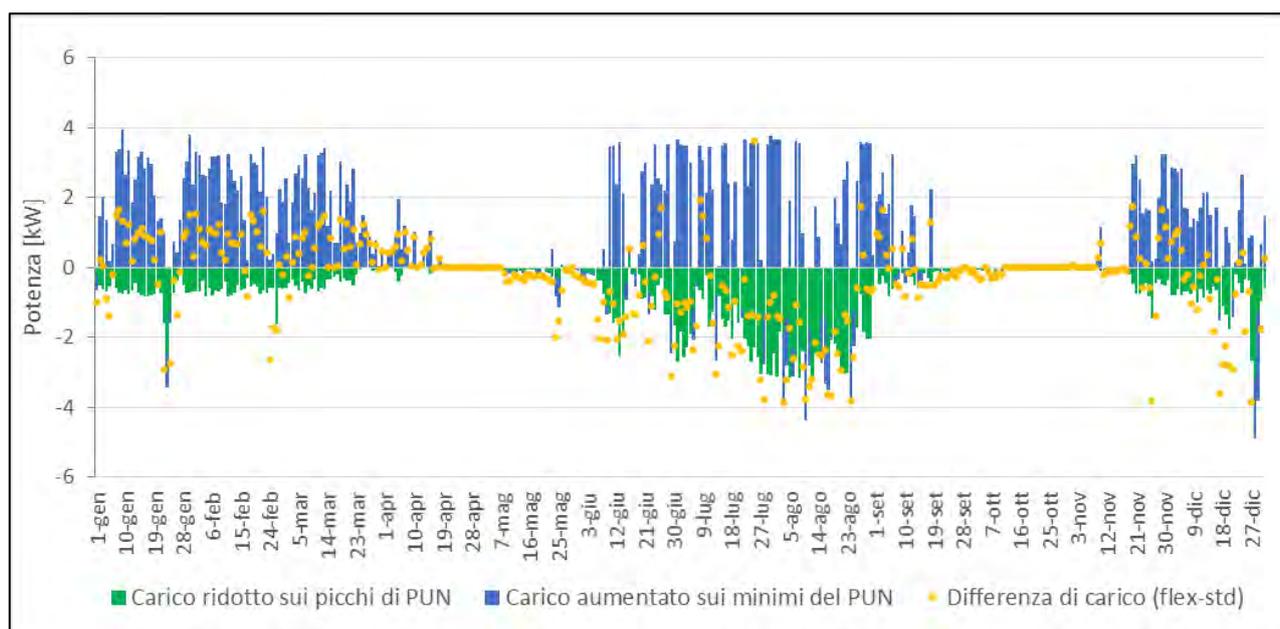
In Figura 68 si riportano i confronti tra i profilo di potenza termica che caratterizzano il controllo flessibile e quello standard, nel giorno medio invernale e in quello estivo. Da qui si può notare come l'anticipo del riscaldamento e raffreddamento alle ore notturne e mattutine permetta di ridurre la domanda energetica successiva. In questo caso l'effetto risulta più significativo in fase di raffreddamento.

<sup>9</sup> In particolare:  $\eta = 0.75$  per la caldaia tradizionale e  $SCOP = 2$  per la pompa di calore.



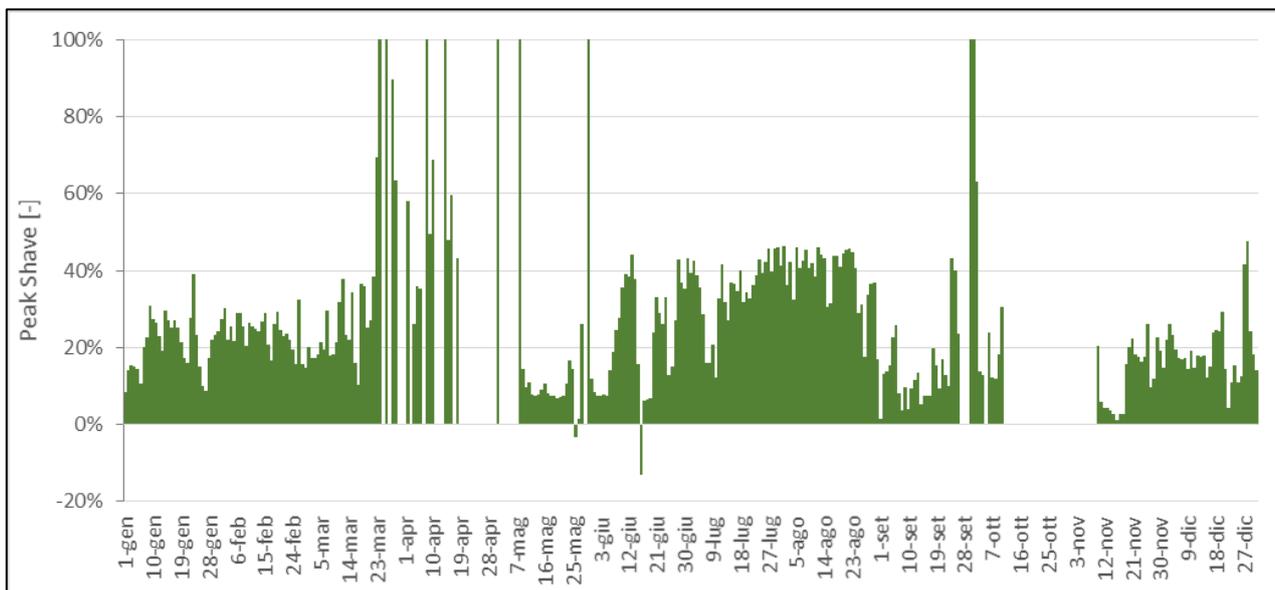
**Figura 68. Confronto tra i profili di potenza termica richiesti dai controlli standard e flessibile nei giorni medi invernale ed estivo.**

Il grafico di Figura 69 fornisce un'indicazione quantitativa di come i carichi termici giornalieri si spostino dai momenti di picco del PUN a quelli di minimo, introducendo il controllo flessibile. Se la differenza di carico (punti gialli) risulta positiva significa che in quello specifico giorno la rimodulazione ha comportato una maggiore spesa energetica. Se negativa, la spesa energetica è minore. Per il caso in oggetto, questo secondo caso si verifica abbastanza spesso in estate e più raramente in inverno.



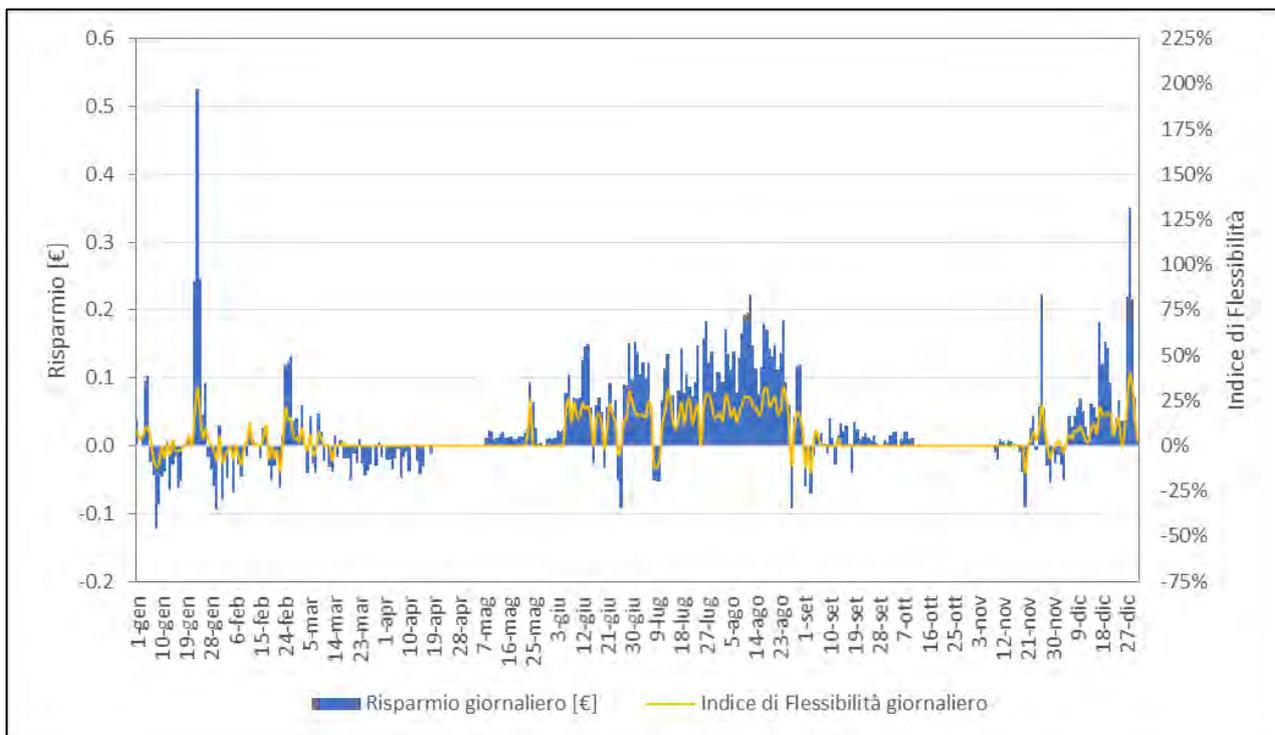
**Figura 69. Shift dei carichi termici giornalieri dai momenti di picco a quelli di minimo del PUN, dovuto al controllo flessibile.**

La Figura 70 riporta il taglio percentuale giornaliero della potenza dei momenti di picco del PUN. Tale indicatore è normalmente compreso tra 10% e 40%. Anche in questo caso, i migliori risultati si registrano durante la fase estiva.



**Figura 70. Taglio percentuale dei consumi in corrispondenza dei picchi giornalieri, dovuto al controllo flessibile.**

La Figura 71 mostra gli andamenti giornalieri dei risparmi economici connessi all’approccio flessibile e dell’indice di flessibilità (che, come definito in precedenza, non è altro che il risparmio economico percentuale). Come si evince dalla Tabella 22, che riporta i anche i valori mensili di questi indicatori, l’indice di flessibilità annuale risulta pari a 9.7%.

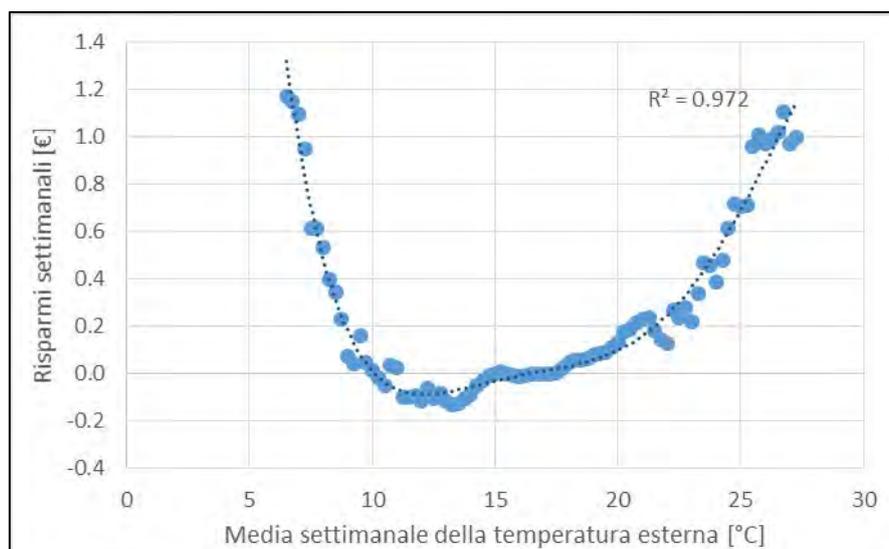


**Figura 71. Andamento giornaliero dell’indice di Flessibilità e dei risparmi giornalieri, connessi all’adozione del controllo flessibile.**

**Tabella 22. Valori mensili e annuale dell'Indice di Flessibilità e dei risparmi economici.**

Mese	Indice di Flessibilità [%]	Risparmi [€]
gen	5%	1.20 €
feb	2%	0.24 €
mar	-2%	- 0.16 €
apr	-60%	- 0.29 €
mag	13%	0.46 €
giu	15%	1.92 €
lug	16%	2.88 €
ago	20%	4.16 €
set	4%	0.26 €
ott	17%	0.13 €
nov	4%	0.32 €
dic	12%	2.38 €
<b>TOT</b>	<b>9.7%</b>	<b>13.5 €</b>

In Figura 72 si mostra la correlazione tra risparmi economici e temperatura esterna. Per l'appartamento studiato, i maggiori risparmi (e conseguentemente i più alti valori dell'indice di Flessibilità) si osservano in corrispondenza di condizioni esterne limite. Nel clima romano, quelle calde (temperatura media maggiore di 25°C) sono più ricorrenti di quelle fredde ( $T_m < 7^\circ\text{C}$ ).



**Figura 72. Correlazione tra risparmi e temperatura esterna.**

Concludendo, questi risultati rappresentano una prima applicazione all'ambito residenziale di una metodologia appositamente sviluppata per valutare la flessibilità energetica legata agli usi termici che una comunità energetica o un ente aggregatore può mettere a disposizione del sistema elettrico.

Nonostante l'appartamento preso in esame non eccella in termini di efficienza energetica e anzi sia esemplare di costruzioni della prima metà del secolo scorso, la flessibilità risultante non risulta essere trascurabile. Ovviamente ci si aspetta di osservare livelli ancora più interessanti in edifici maggiormente performanti.

Si intende sviluppare ulteriori studi per indagare più a fondo il potenziale legato alla flessibilità degli usi termici, variando le tipologie edilizie e i contesti climatici di riferimento. Questa attività potrà permettere di definire dei benchmark e riconoscere criticità e incoerenze con l'attuale assetto normativo, che al momento non considera in alcun modo questi aspetti.

## 6 Assisted Living

### 6.1 Introduzione

Nelle precedenti attività di ricerca è stato avviato un percorso di ampliamento della sensoristica di bordo del robot NAO, un robot umanoide attraverso il quale sono stati veicolati alcuni innovativi servizi di Assisted Living. Le attività svolte in questo anno di attività hanno riguardato un ulteriore sviluppo della sensoristica, l'ampliamento dei tempi di funzionalità del robot grazie allo sviluppo di una stazione di ricarica automatica, che può essere raggiunta dal robot in modo autonomo, ed, infine, lo sviluppo di un ulteriore servizio di Assisted Living con il quale aiutare le persone a trovare un particolare oggetto all'interno della propria abitazione.

La dotazione di fabbrica del robot NAO comprende due telecamere di bordo che vengono utilizzate principalmente per identificare gli oggetti e per questo, sono montate in modo che i loro campi visivi non si sovrappongano, ampliando al massimo la porzione di spazio ispezionabile [38]. Queste posizioni se, da un lato, ampliano il campo di vista del robot, dall'altro non gli permettono di implementare la visione stereoscopica, il sistema più diffuso in natura per percepire la tridimensionalità dell'ambiente circostante e l'intervallo di profondità relativa tra due o più punti nello spazio e che ha un ruolo cruciale nel processo di riconoscimento degli elementi della scena che viene osservata.

Per questo motivo, una delle attività di questa annualità è stata l'ampliamento della sensoristica di bordo del robot NAO con una depth camera, una fotocamera che è in grado di trovare, in tempo reale, l'informazione di distanza di quanto viene ripreso. Una depth camera è composta da due videocamere calibrate attraverso le quali viene implementata la visione stereoscopica visto che le due immagini acquisite dalle due videocamere hanno punti di vista leggermente diversi della scena ripresa. Questa prospettiva differenziale viene utilizzata, proprio come accade nel nostro cervello, per percepire la tridimensionalità dello spazio.

Il nuovo sensore ha migliorato ulteriormente le performance del robot NAO, potendo ottenere una ricostruzione tridimensionale dell'intera scena ripresa dalla videocamera e non soltanto di un piano orizzontale come nel caso di un sensore LIDAR [39]

Queste migliorate capacità, tanto di localizzazione e navigazione, quanto di riconoscimento, hanno permesso di sviluppare notevolmente le capacità del robot. Ad esempio, è stato possibile dare al robot l'abilità di trovare autonomamente e raggiungere la stazione di docking per la ricarica automatica che è stata realizzata in collaborazione con l'Università di Tor Vergata. Un dispositivo di questo tipo non è presente nella dotazione del robot NAO, forse a causa della notevole complessità della sua geometria; tuttavia, stazioni di docking per la ricarica automatica sono normalmente disponibili per altre tecnologie robotiche di uso quotidiano. Averla sviluppata anche per il robot NAO ha permesso di superare l'oggettiva limitazione, dovuta alla bassa durata della batteria di bordo, che ha limitato fortemente un uso realistico di questi robot all'interno di una casa. È stato quindi sviluppato un apposito comportamento per il quale il robot, una volta che trova il suo livello di carica al di sotto di una soglia prefissata, si reca autonomamente a ricaricarsi.

Infine è stato introdotto un servizio di Assisted Living per il quale il robot aiuta la persona che abita una Smart Home a ritrovare oggetti che ha perso di vista oppure che ha smarrito. Oggetti come un dispositivo di ausilio, un bastone deambulatore o gli occhiali, ad esempio, oppure, più semplicemente, le chiavi di casa, l'orologio o il telecomando della televisione. Si tratta di un servizio che, nella versione implementata, ha una attivazione vocale, ma può essere facilmente ampliato utilizzando una delle altre modalità di comunicazione di cui dispone il robot NAO. Un robot che, grazie alla multi modalità delle sue interfacce utente, può assicurare a tutti la massima usabilità e comfort, indipendentemente dalle condizioni psico-fisiche di ciascuno, privilegiandone il canale sensoriale maggiormente significativo.

Una versione prototipale del servizio è stata implementata nel Laboratorio "Tecnologie per la Qualità della Vita" del Centro Ricerche ENEA Casaccia che è stato accessoriato con molte delle più avanzate tecnologie che possono essere utilizzate all'interno di una moderna Smart Home.

## 6.2 Depth camera nella sensoristica di bordo del robot NAO

### 6.2.1 Depth camera

Il Laboratorio di Robotica ed Intelligenza Artificiale dell'ENEA ha progettato nella precedente annualità, insieme al Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Roma "Tor Vergata", un caschetto da far indossare al robot NAO. Questo caschetto ospitava al suo interno un sensore LIDAR - Laser Image Detection And Ranging; nel caschetto è stata alloggiata anche una scheda elettronica di alimentazione a batteria con un circuito di ricarica ed un collegamento dati USB verso il robot. L'aggiunta di questo nuovo sensore ha notevolmente migliorato le performance del robot in termini di navigazione all'interno degli ambienti.

Nel corso di questa annualità il caschetto è stato leggermente modificato per poter ospitare, al posto del sensore LIDAR, una depth camera.

Si tratta di una fotocamera che è in grado di acquisire l'informazione di distanza della scena che viene ripresa analizzandola in tempo reale con due videocamere calibrate che implementano una visione stereoscopica [40] [41] [42] [43] Questo sensore migliorerà ulteriormente le performance del robot potendo ottenere una ricostruzione tridimensionale dell'intera scena ripresa e non soltanto di un piano come nel caso del sensore LIDAR.

Una depth camera simula il comportamento dell'apparato visivo degli esseri umani in cui i due occhi ricevono immagini leggermente di ciò che guardano.

Questa prospettiva differenziale, detta parallasse binoculare, è dovuta al fatto che gli occhi sono separati orizzontalmente da una distanza di circa 6 cm. Si genera quindi una disparità retinica orizzontale che viene utilizzata dal cervello per percepire la tridimensionalità dello spazio: oggetti vicini possiedono una grande disparità, quelli lontani una piccola. Il nostro cervello usa l'informazione di disparità per:

- Determinare quanto distante è un oggetto da un punto di riferimento;
- Determinare la profondità, ossia valutare la vicinanza relativa di due oggetti o l'intervallo di profondità relativa tra due o più punti nello spazio;
- Contribuire al processo di riconoscimento degli elementi della scena che viene osservata.

Una depth camera ripropone questa geometria per ottenere informazioni sulla scena ripresa.

Le sue due telecamere, con lunghezza focale  $f$ , vengono posizionate come mostrato nella Figura seguente: i loro assi ottici sono paralleli e separati da una distanza  $d$ .

Se consideriamo un punto nello spazio, esso verrà proiettato sui due piani immagine (sinistro e destro) in due posizioni diverse dette punti coniugati cioè  $y_{P_R}$  e  $y_{P_L}$

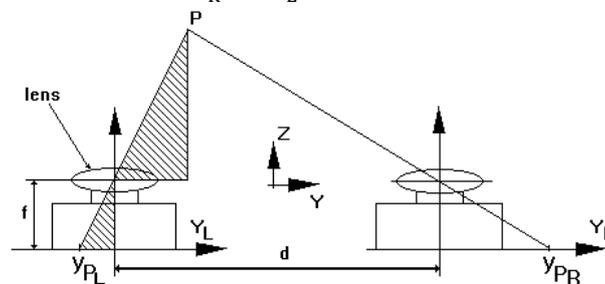


Figura 73. Geometria di una depth camera

Poiché i due triangoli tratteggiati sono simili, se indichiamo con  $D_{X,Y}$  il valore di disparità nella direzione  $y$  in cui le due camere sono allineate, cioè  $D_{X,Y} = y_{P_R} - y_{P_L}$ , possiamo conoscere la distanza dal punto  $P$  attraverso la relazione

$$Z_P = -\frac{f \cdot d}{D_{X,Y}}$$

Quindi per conoscere la distanza che separa un punto da una coppia di telecamere stereoscopiche, come

quelle presenti in una depth camera, è sufficiente determinare la disparità tra le sue proiezioni sulle due immagini acquisite.

La dotazione di fabbrica del robot antropomorfo NAO prevede già la presenza di due telecamere montate sulla sua testa (anche se in posizione diversa da quella solita, cioè con allineamento verticale e non orizzontale). Le due videocamere sono identiche e forniscono una risoluzione fino a [1280 x 960] pixel a 30 fotogrammi al secondo. Vengono utilizzate principalmente non per fini di navigazione negli ambienti, ma per identificare gli oggetti.

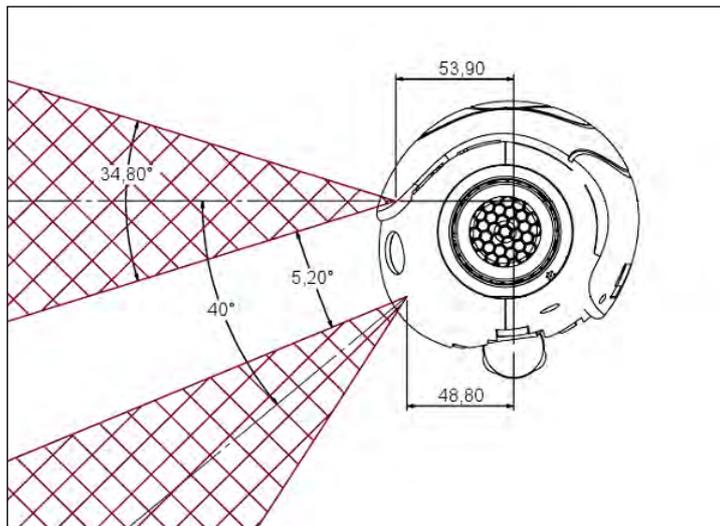


Figura 74. Geometria delle telecamere di bordo del robot NAO (vista laterale)

Per questo motivo, i produttori del robot hanno deciso di montare le due videocamere in modo che i due campi visivi (di circa 35°) in modo che essi non si sovrappongano: la videocamera inferiore punta verso il basso, quella superiore verso avanti. Queste posizioni se, da un lato, ampliano il campo di vista del robot, dall'altro non gli permettono di implementare una visione stereoscopica, con la quale sarebbe possibile invece ottenere una stima della distanza che separa il robot dalla scena ripresa.

La depth camera che è stata scelta per far sì che il robot potesse implementare anche la visione stereoscopica è la Intel RealSense D455 [44]

Si tratta di una fotocamera compatta di dimensioni contenute, [124mm x 26mm x 29mm], ma molto performante, in grado di acquisire una coppia di immagini stereoscopica RGB di dimensioni [1280 x 720] pixel con un frame rate fino a 90 fps. Il suo range operativo va dai 60 cm ai 6 m.

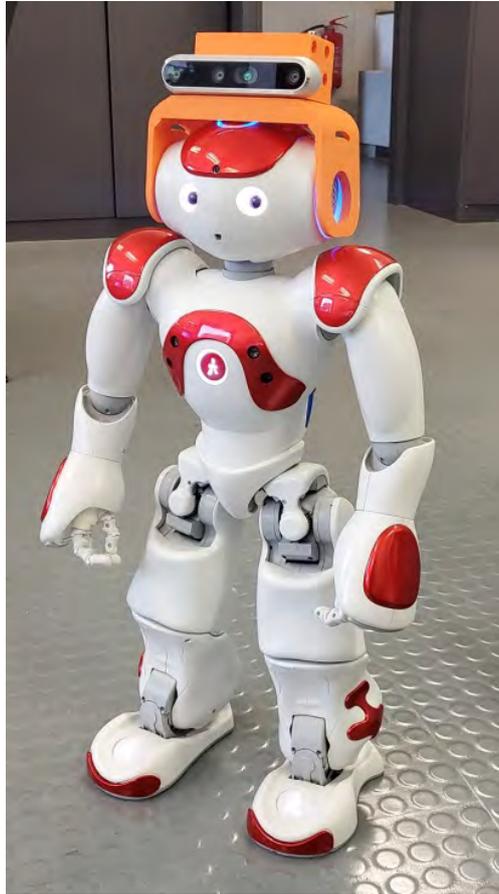


Figura 75. La depth camera Intel RealSense D455.

Questa fotocamera può essere utilizzata sia in ambienti indoor che outdoor; per migliorare l'immagine RGB e la corrispondenza tra la mappa di profondità e le immagini riprese, il sensore RGB ha una tecnologia global-shutter. Questa fotocamera integra anche un sensore IMU - inertial measurement unit.

Le dimensioni ed il peso contenuti di questa fotocamera, insieme al tipo di connessione USB-C 3.1, ne hanno permesso un efficace alloggiamento nel caschetto da far indossare al robot NAO (molto simile a quello già

realizzato per ospitare il sensore LIDAR), riuscendo così ad ampliare ulteriormente la sensoristica di bordo del robot antropomorfo.



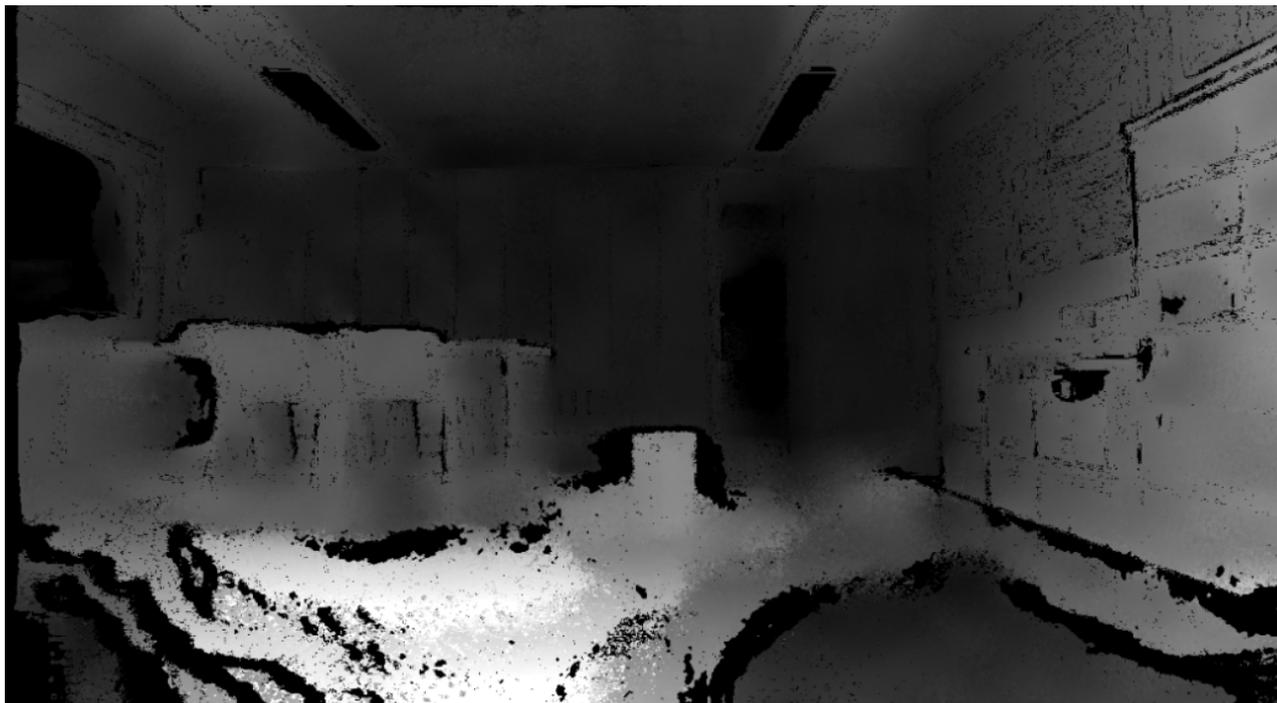
**Figura 76.. NAO con il caschetto che ospita la dept camera**

La funzionalità e l'efficienza della depth camera è stata provata ponendo il robot NAO con il suo caschetto all'interno di un ambiente indoor e rilevando le distanze di alcuni punti caratteristici (ostacoli frontali, pareti etc.) direttamente dall'applicativo software.



**Figura 77. La coppia di immagini stereoscopiche acquisite nel Laboratorio "Tecnologie per la Qualità della Vita" del Centro Ricerche ENEA della Casaccia dove opera il robot NAO**

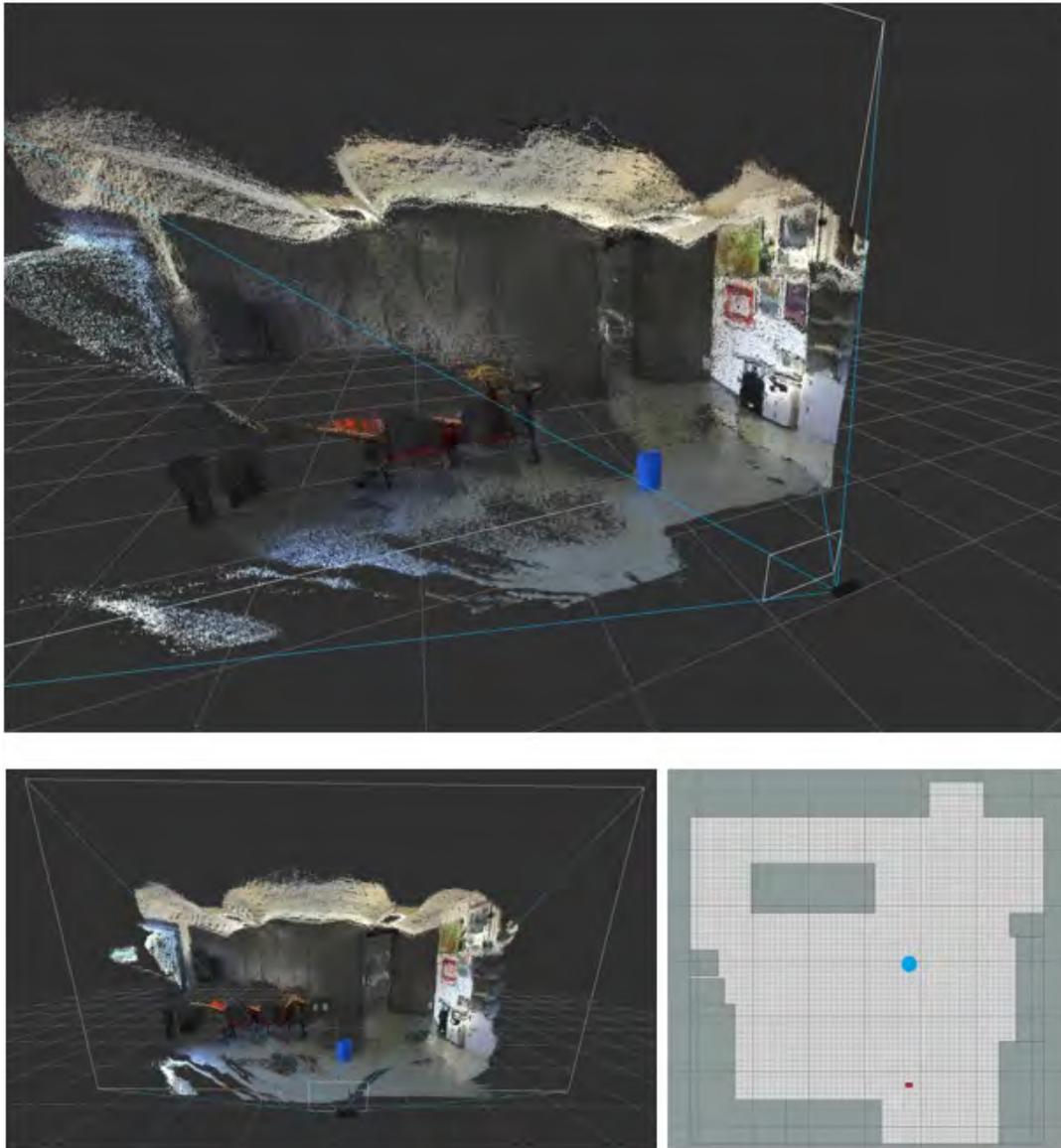
La mappa di disparità per la scena mostrata nelle due immagini della figura precedente è:



**Figura 78.**La mappa di disparità per la coppia stereoscopica precedente

I valori di distanza sono codificati in livelli di grigio: punti vicini hanno livelli più alti, punti lontani più bassi. Le zone che hanno distanza dalla telecamera minore della distanza operativa minima sono poste a livello di grigio minimo (zero), così come le zone per le quali non viene trovata una corrispondenza valida, ad esempio a causa di oclusioni.

Da questa informazione di distanza può essere ottenuta la ricostruzione tridimensionale della scena rappresentata nella coppia stereoscopica acquisita:



**Figura 79. Ricostruzione 3D dell'ambiente e posizionamento su mappa del robot e dell'ostacolo frontale**

Per validare questo nuovo sensore troviamo le misure relative ad alcuni elementi caratteristici della scena che ripreso confrontandole con i valori ottenuti con una misurazione diretta di quegli stessi punti. I valori sono riportati nella tabella seguente.

**Tabella 230. Misure di distanza del robot da due elementi caratteristici della scena**

ELEMENTI CARATTERISTICI SCENA	MISURA DEPTH CAMERA	MISURA DIRETTA
Ostacolo frontale	$2.00 \pm 0.01$ m	$2.000 \pm 0.005$ m
Parete di fondo dietro l'ostacolo	$4.78 \pm 0.02$ m	$4.800 \pm 0.005$ m

Come si può vedere c'è un totale accordo tra i valori trovati nel limite degli errori di misura. Questi ultimi sono maggiori con l'aumentare della distanza a causa del rapporto funzionale che lega disparità e distanza.

### 6.2.2 Ricostruzione 3D della scena

L'aver ampliato la dotazione di bordo del robot NAO con una depth camera, ci permette di ricostruire con maggiore precisione l'ambiente nella sua tridimensionalità all'interno di un angolo solido che è dato dal campo di vista della videocamera e non più soltanto su un piano orizzontale come nel caso del sensore LIDAR. Questo aumenta la precisione e l'efficacia della localizzazione, tanto del robot quanto degli altri elementi caratteristici della scena. Questa fase viene totalmente svincolata sia dalla necessità di strutturazione dell'ambiente (come quella che si introduce affiggendo dei marker artificiali) che dalla limitazione di considerare soltanto il piano sul quale opera il LIDAR.

Potremo perciò provare ad introdurre dei servizi di Assisted Living ancora più sofisticati, con i quali aiutare una persona a gestire al meglio alcune situazioni che possono verificarsi all'interno della propria abitazione e che possono riguardare sia il sostegno nell'ottimizzazione dei propri consumi sia la gestione, in sicurezza, degli apparati tecnologici e degli impianti; ma anche offrire un aiuto per difficoltà meno gravi ma certamente più frequenti, come il non riuscire a trovare il proprio ausilio, come ad esempio un bastone deambulatore o gli occhiali, oppure più semplicemente le chiavi di casa o il telecomando della televisione. Attraverso una depth camera, infatti è possibile utilizzare l'informazione, anche di tipo metrico, che è possibile estrarre nell'intero campo visivo del robot.



**Figura 80. NAO nell'ambiente per il test di ricostruzione 3D**

Per estrarre questo tipo di informazione dal contesto è necessario utilizzare delle sofisticate tecniche di visione artificiale.

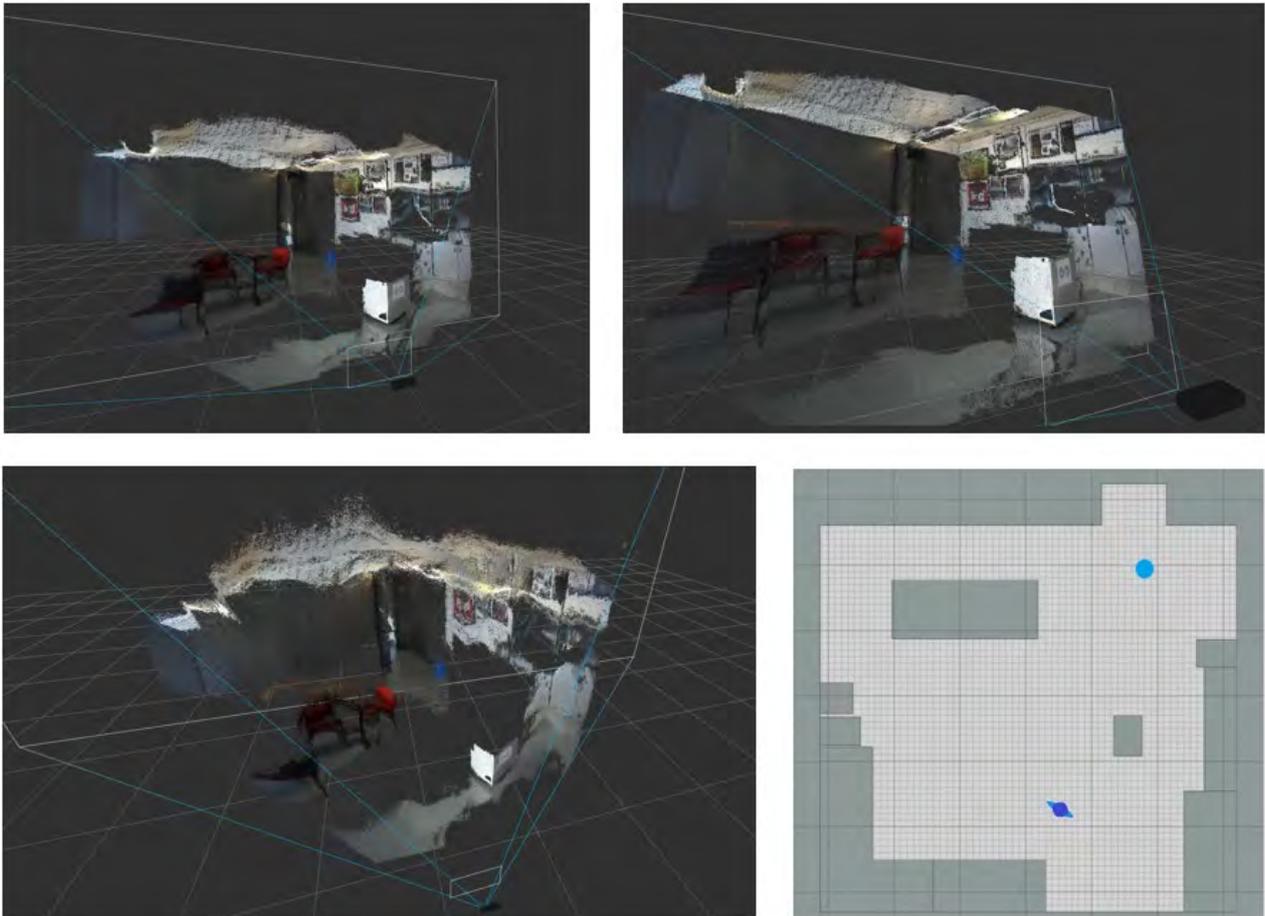
Prima di procedere con l'introduzione di questi servizi innovativi è necessario verificare che il robot NAO, corredato con la depth camera, riesca a mappare efficacemente l'ambiente nel quale si sta muovendo, posizionandosi al suo interno e posizionando anche tutti gli altri elementi caratteristici che vengono ripresi dalla videocamera.

A tale scopo posizioniamo il robot all'interno di una scena complessa preparata nel Laboratorio di "Tecnologie per la Qualità della Vita" del Centro Ricerche ENEA della Casaccia (Figura 8). Una delle immagini che viene ripresa dal robot e la mappa di disparità che codifica l'informazione di distanza viene riportata in seguito:



**Figura 81.**La scena ripresa dalla camera del robot NAO e la mappa di disparità trovata

La scena tridimensionale ricostruita, in diverse rappresentazioni, è riportata nella figura successiva.



**Figura 82.**La ricostruzione 3D della scena ed il posizionamento su mappa

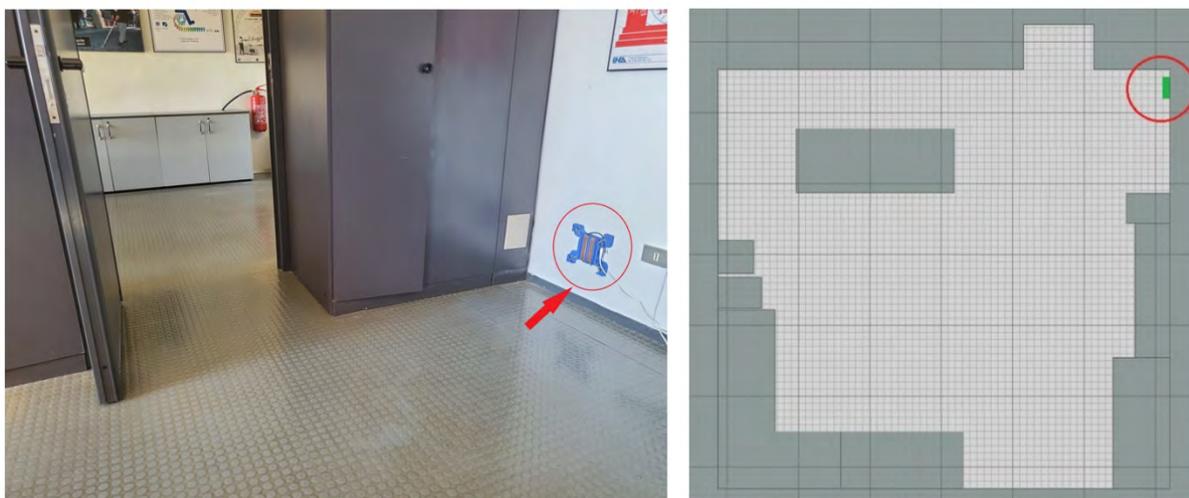
Come si può vedere, il robot riesce a localizzarsi efficacemente all'interno di un ambiente e a posizionare su mappa se stesso oltre ad oggetti ed ostacoli che non sono presenti nella sua mappa iniziale, che ha in memoria.

### 6.3 Ricarica automatica del robot NAO

La normale durata della batteria del robot NAO va, a seconda dell'uso, dai 45 minuti alle 2 ore; il tempo di ricarica è di circa 2 ore e mezza [38]. Questi tempi non sono compatibili con un uso potenzialmente continuo del robot all'interno di una casa. Altra limitazione decisiva è che il robot NAO non dispone di una stazione di ricarica automatica, forse a causa della notevole complessità della sua geometria. Queste stazioni sono invece normalmente disponibili per altre tecnologie robotiche, ormai presenti nelle nostre case, come i robot aspirapolvere, i robot tosaerba etc. Allo stato attuale, quindi, il robot deve essere ricaricato collegandolo ad una presa elettrica ad intervalli regolari.

Queste limitazioni rappresentano una forte barriera di ingresso all'utilizzo di questo tipo di tecnologie che sono indispensabili per poter introdurre servizi avanzati con cui aiutare le persone all'interno di un ambiente domestico.

Si è deciso, quindi, di sviluppare una innovativa sistema per la ricarica autonoma per il robot NAO; il prototipo della stazione di docking è stato realizzato in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Tor Vergata ed installato nel Laboratorio "Tecnologie per la Qualità della Vita" del Centro Ricerche ENEA della Casaccia.



**Figura 83. La stazione di ricarica automatica nell'ambiente di test e la sua posizione su mappa**

La stazione di docking per la ricarica automatica che è stata realizzata si compone di due elementi distinti: la stazione di ricarica propriamente detta e una piastra che verrà posizionata sul dorso del robot e che sostituisce la sua placca posteriore.

Questi due elementi sono stati realizzati utilizzando superfici conduttive, dette pad, formate da strisce di tessuto conduttivo adesivo per realizzare i due poli positivo e negativo del circuito ricarica.

La stazione di ricarica ha una struttura cruciforme con quattro appoggi montati su molle che permettono di realizzare un accoppiamento cedevole tra i due elementi del sistema di ricarica compensando piccoli errori di orientamento della placca sulla schiena del robot rispetto alla parete.

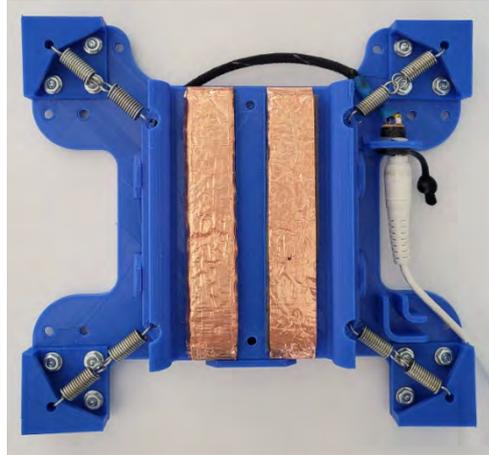


Figura 84. Dettaglio della stazione di ricarica automatica del robot NAO

È stato quindi sviluppato un comportamento per il quale il robot, una volta che trova il suo livello di carica al di sotto di una soglia prefissata, si reca autonomamente presso questa stazione per ricaricare la sua batteria. Questo comportamento prevede che siano fissati due parametri, l'intervallo di tempo  $T_1$  passato il quale il robot esegue una misura del livello di carica della sua batteria ed il livello minimo di carica della batteria  $L_1$  al di sotto del quale il robot si recherà autonomamente alla stazione di ricarica (la cui posizione è nota). Il diagramma di flusso di questo comportamento è riportato nella figura seguente.

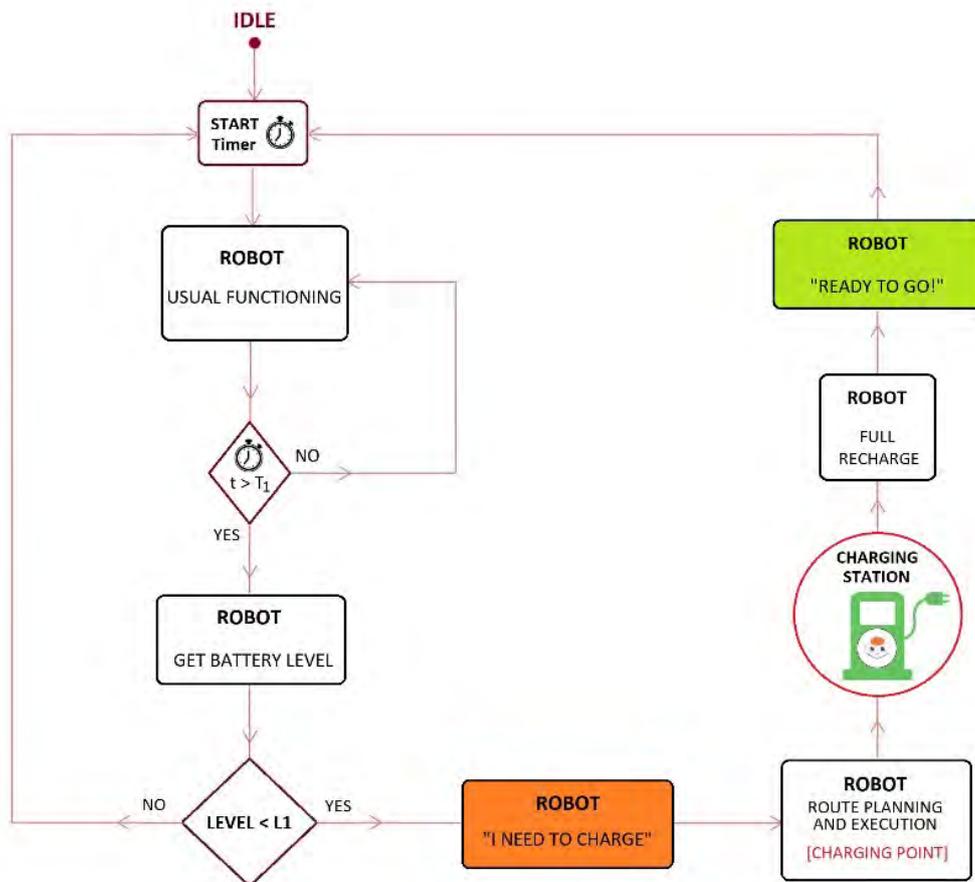


Figura 85. Diagramma di flusso per la ricarica automatica del robot NAO

In sede di avviamento del robot i due parametri descritti precedentemente vengono impostati con dei valori di default (che possono essere modificati avviando come di consuete lo script di autoconfigurazione del robot) e viene avviato il timer per la verifica dello stato di carica. Il robot NAO esegue quindi la normale attività per il quale è stato programmato. Ad intervalli regolari il robot esegue un controllo del livello di carica della propria batteria; se questo livello è al di sotto di quello minimo, il robot notifica all'utente la necessità di andare a ricaricarsi. A questo punto il robot esegue una rilevazione della propria posizione e pianifica una rotta per raggiungere la stazione di ricarica (posta in posizione nota) utilizzando la sensoristica di bordo per acquisire i dettagli dell'ambiente e procedere in sicurezza evitando ostacoli fissi o in movimento così come abbiamo visto nelle sezioni precedenti.

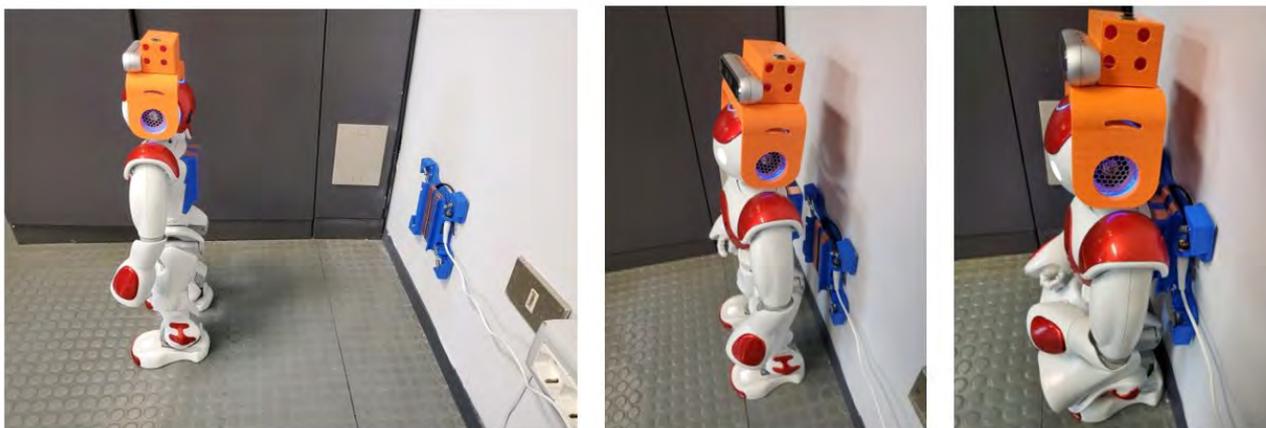


Figura 86. Avvicinamento e collegamento alla stazione di ricarica del robot NAO.

Sono stati fatti numerosi test per verificare l'efficacia del comportamento sviluppato per la ricarica automatica del robot NAO. Quello con la migliore percentuale di successo è quello per il quale il robot raggiunge un punto posto frontalmente alla stazione di ricarica ad una distanza di 100 cm, compie una rotazione che lo porta a darle le spalle, esegue l'ultimo tratto a marcia indietro diminuendo l'ampiezza del passo e diminuendo del 50% la velocità accostandosi alla stazione.

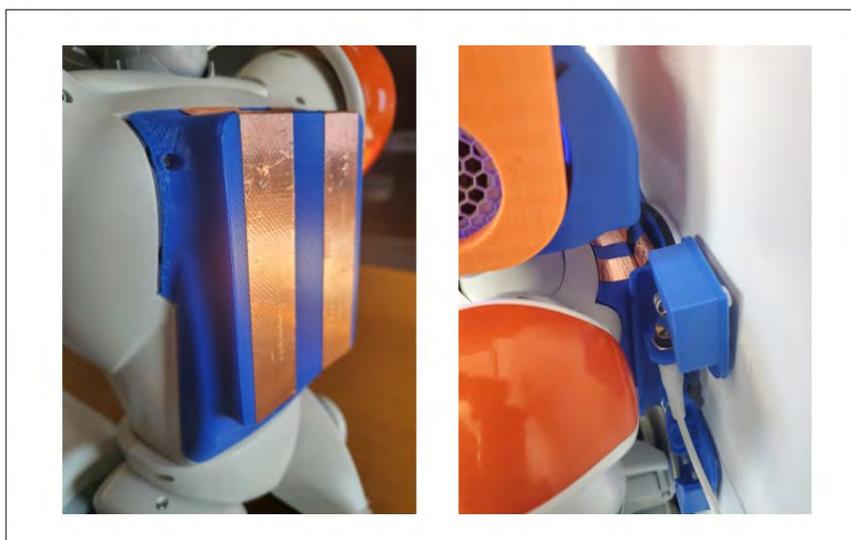


Figura 87. Dettaglio della piastra posta sulla schiena del robot e della connessione che viene stabilita con la stazione di ricarica.

Quindi il robot viene comandato ad eseguire il comando **REST**, in cui il robot raggiunge una posizione di riposo in accosciata con tutti i suoi giunti liberi. Scendendo in accosciata, i conduttori della placca sulla schiena del robot raggiungono le barre conduttive della stazione fissa, completando l'accoppiamento delle due sezioni e

dando inizio alla ricarica della batteria di bordo. Terminata la ricarica, il robot notifica all'utente il completamento del ciclo e torna al suo normale funzionamento.

## 6.4 Servizio prototipale di Assisted Living: trova un oggetto

In questa sezione viene presentato un servizio prototipale di Assisted Living sviluppato e implementato presso il Laboratorio di "Tecnologie per la Qualità della Vita" del Centro Ricerche ENEA della Casaccia. Questo Laboratorio, oltre che alle consuete connessione wifi ed ethernet, è stato accessorizzato con una serie di sensori commerciali che possono essere utilizzati all'interno di una moderna Smart Home e con alcuni altri dispositivi elettronici, una Smart TV ed un sistema di diffusione sonora, oltre che da alcuni elettrodomestici, un frigorifero e dei fornelli elettrici. A completare la dotazione, alcuni elementi di arredo tipici di una living room. Questo setup sperimentale viene utilizzato per testare l'utilizzo in sicurezza di robot antropomorfi all'interno dei normali ambienti in cui le persone vivono e lavorano.

### 6.4.1 Descrizione del servizio prototipale

Lo scenario che vogliamo simulare è quello nel quale la persona che abita la Smart Home perde di vista o non ricorda dove ha messo un dispositivo di ausilio come ad esempio un bastone deambulatore o gli occhiali, oppure più semplicemente, le chiavi di casa, l'orologio o il telecomando della televisione.

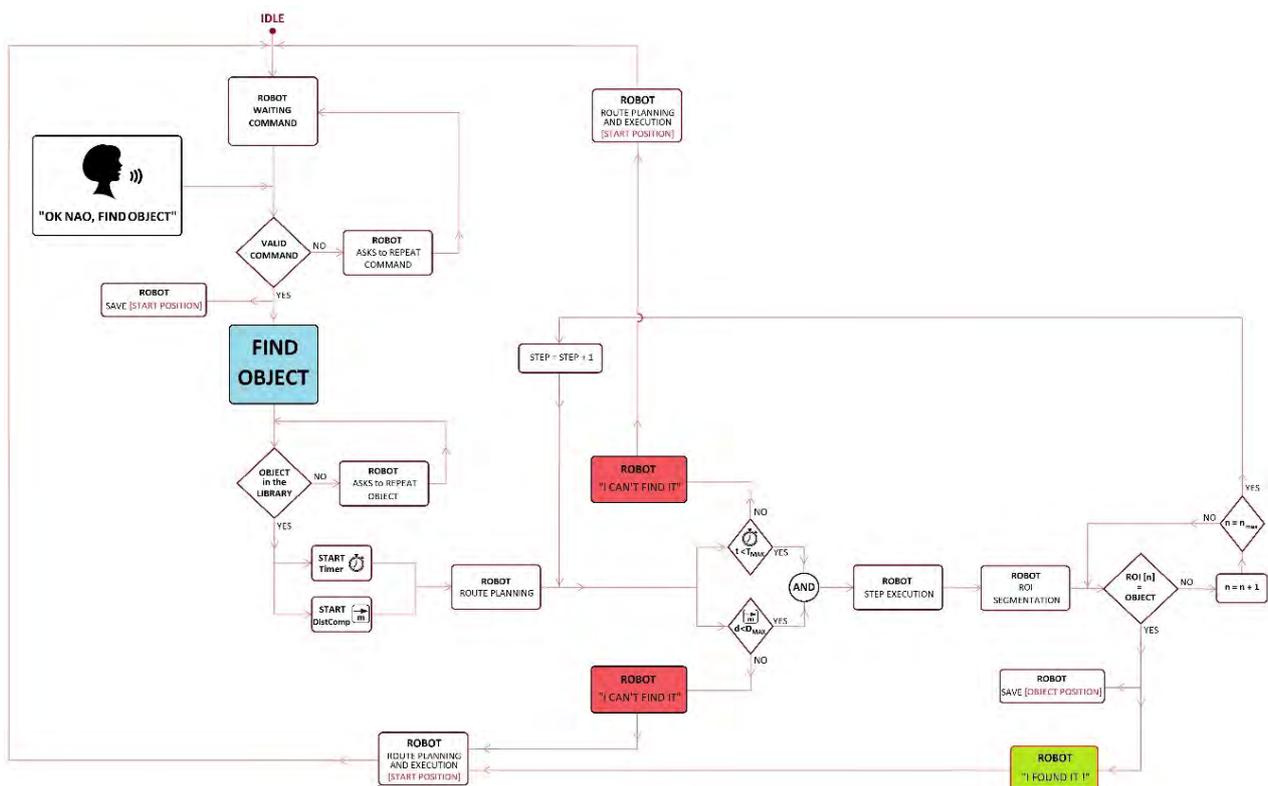


Figura 88. Diagramma di flusso del servizio prototipale "TROVA OGGETTO" ad attivazione vocale

Posizioniamo nel nostro ambiente di test il robot NAO ed un oggetto che simuliamo la persona non riesca a trovare.

Il servizio si attiva attraverso il comando vocale "OK NAO, TROVA OGGETTO". Il robot, attraverso il sistema di riconoscimento vocale identifica il comando cercando, all'interno della sua libreria di elementi conosciuti, l'OGGETTO richiesto (indicizzato per nome).

In caso di esito positivo, NAO avvia il comportamento "TROVA OGGETTO" che consiste nel rilevare il punto robot iniziale e pianificare una rotta di esplorazione dell'ambiente.

Alcuni parametri aggiuntivi come il tempo massimo dell'esplorazione o la distanza massima percorsa dal robot, possono essere pre-impostati in sede di configurazione del servizio; anche la libreria di oggetti conosciuti può essere ampliata e personalizzata in base alle esigenze di ciascun utente.

Come si vede questo servizio richiede l'attivazione di una serie di moduli piuttosto complessi, come il riconoscimento vocale, la pianificazione di una traiettoria con la sua esecuzione in condizioni di sicurezza per le persone e per il robot (utilizzando la sensoristica di bordo), il rilevamento di regioni di interesse ed il riconoscimento di oggetti.

I primi moduli sono già stati sviluppati nel corso delle precedenti attività di ricerca. In questo documento viene descritto l'ultimo modulo.

Si tratta di un modulo che implementa un sistema di visione artificiale basato su reti neurali profonde e multistrato per il rilevamento ed il riconoscimento di oggetti, di cui non è nota a priori la posizione, posti all'interno dell'ambiente di test. Il sistema utilizza l'informazione proveniente dalle telecamere del robot e restituisce la posizione tridimensionale di un oggetto. Gli oggetti che è possibile trovare sono all'interno di una libreria di 1000 classi con cui è stata addestrata la rete neurale.

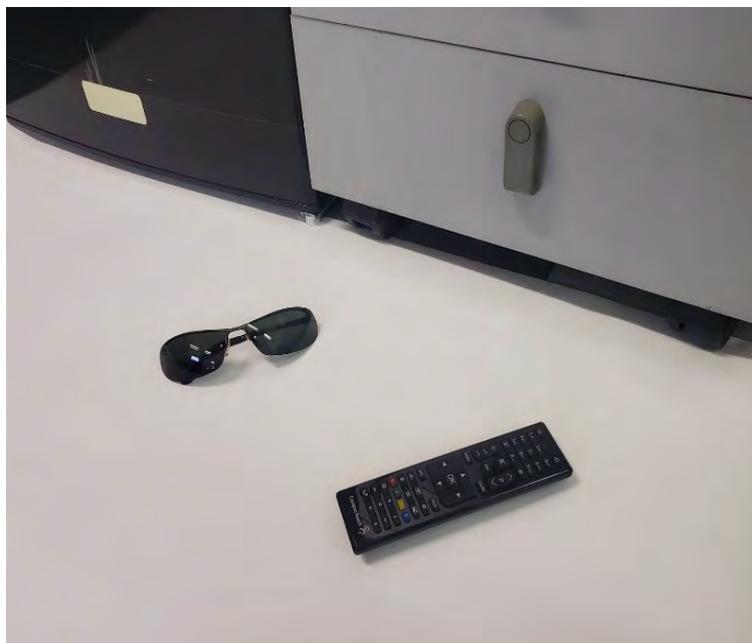


Figura 89. La scena ripresa dalla videocamera del robot NAO

Quando viene eseguito il comportamento "NAO trova OGGETTO" il robot pianifica e mette in esecuzione una rotta per esplorare l'ambiente così come è stato descritto precedentemente, evitando gli ostacoli fissi o in movimento che dovessero presentarsi sul suo cammino.

Dopo ogni movimento, il robot si ferma ed acquisisce le immagini della scena con una delle sue videocamere.

#### 6.4.2 Identificare una zona di interesse nell'immagine

Il sistema di visione artificiale sviluppato dal Laboratorio di Robotica ed Intelligenza Artificiale dell'ENEA identifica le ROI (Region Of Interest) della scena che sono presenti nelle immagini acquisite [40]

Il numero ed il dettaglio delle ROI dipende da alcuni parametri che possono essere impostati e che fissano il livello di particolari, e conseguentemente le dimensioni di ciò che le ROI rappresentano, che è possibile individuare. Questi parametri agiscono sui livelli dei pixel dell'immagine, sulla loro numerosità all'interno di una ROI, etc.

Elaborando l'immagine della figura precedente senza nessun vincolo si ottengono un numero elevatissimo di ROI che descrivono in modo estremamente dettagliato gli elementi presenti nell'immagine di ingresso che è stata acquisita.

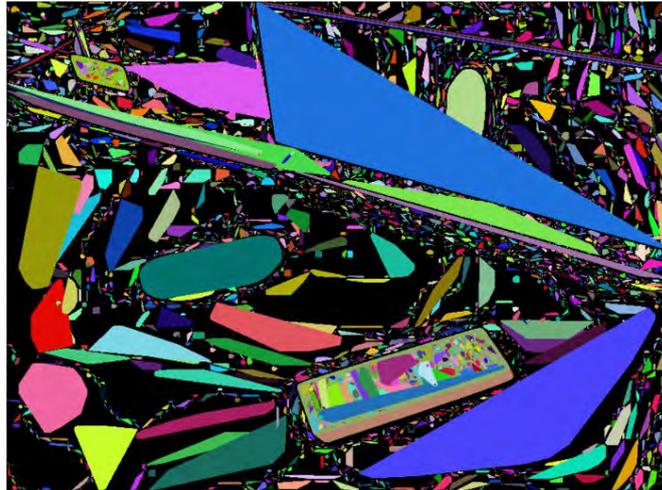


Figura 90. Le ROI dell'immagine ripresa dalla videocamera

Questa moltitudine di regioni (dovuta principalmente alle condizioni di illuminazione e a come esse agiscono sulle superfici) non è funzionale per raggiungere il nostro scopo, abbiamo quindi sui parametri abbassando il livello di dettaglio rilevabile dal sistema di visione artificiale.

Otteniamo in questo modo cinque ROI, alcune delle quali rappresentano, in realtà, porzioni di oggetti più estesi (un cassetto) o addirittura dei non-oggetti (ombra del frigorifero).

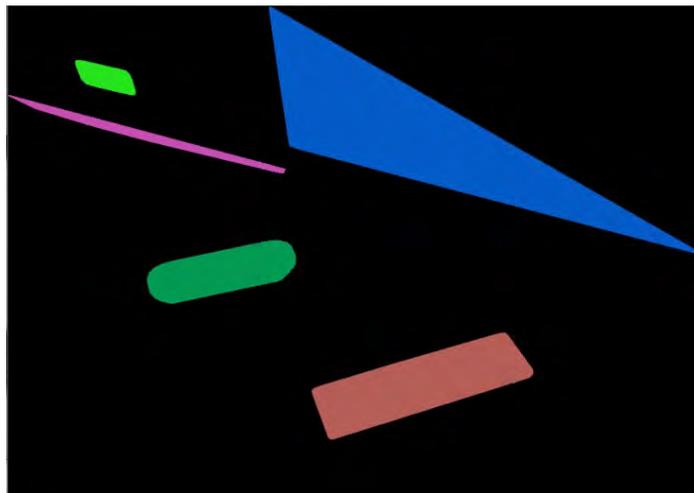


Figura 91. Le 5 ROI finali dell'immagine

## 6.5 Reti neurali artificiali per la classificazione delle ROI

Le porzioni di immagini che rappresentano le cinque ROI rilevate nell'immagine, dopo un ridimensionamento, vengono date in ingresso ad una rete neurale artificiale profonda e multistrato che implementa un classificatore.

La rete neurale artificiale che abbiamo utilizzato è una VGG19, una variante del più noto modello VGG, acronimo di Visual Geometry Group di Oxford che l'ha introdotto [45]. La rete VGG19 è una rete neurale artificiale a 19 strati, 16 strati di convoluzione, 3 strati completamente connessi, 5 strati MaxPool e 1 strato SoftMax. Questa rete ha 19,6 miliardi di FLOPS (Floating point Operations Per Second).

La rete VGG19 è stata addestrata sul database ImageNet [46], un database di immagini composto da più di 14 milioni di immagini organizzate secondo la gerarchia di WordNet [47], un'iniziativa per aiutare scienziati e altri interessati al campo della ricerca sulla visione artificiale.

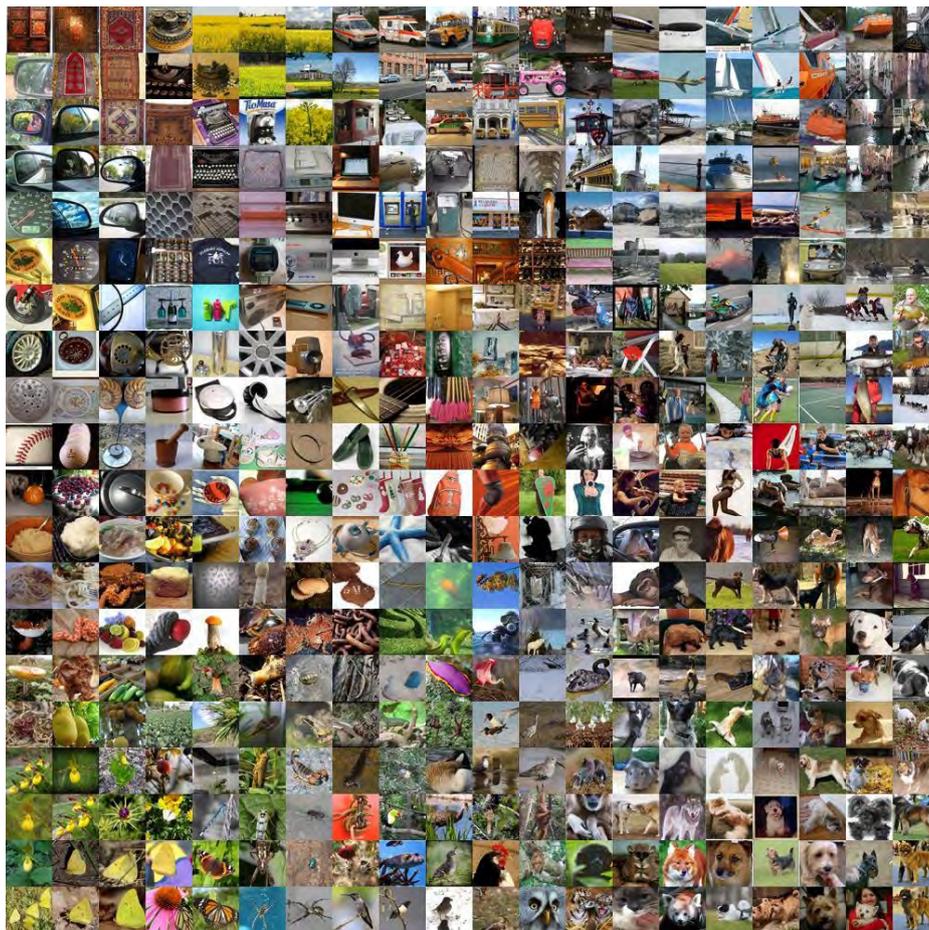


Figura 92. Una piccola porzione del database ImageNet

ImageNet ospita anche concorsi che sfidano i ricercatori di tutto il mondo a trovare soluzioni che producano i tassi di errore più bassi di classificazione di una immagine. Il dataset offre un *training set* di 1.000 classi con 1,2 milioni di immagini, un *validation set* di 50.000 immagini ed un *test set* di 150.000 immagini.

Lo scopo principale per cui è stata progettata la rete VGG era vincere uno di questi concorsi, ma è stata poi utilizzata in molti altri modi, visto che gli autori hanno reso i modelli disponibili al pubblico. La rete può essere utilizzata così come è o, introducendo alcune modifiche, anche per altri compiti simili, utilizzando quello che si chiama il *transfer learning*, in cui si usano i valori dei pesi delle connessioni sinaptiche ottenuti con l'addestramento della rete originaria, per compiti di classificazione simile come ad esempio il riconoscimento facciale. In questo modo questi parametri, che per una VGG19 sono circa 138 milioni, vengono messi direttamente (sono disponibili in rete) nella nuova rete che è stata implementata.

Nelle 1000 classi cui appartengono le immagini su cui è stata addestrata la rete VGG19, esiste una grande varietà: ci sono molti tipi di animali e piante, mezzi di locomozione, elementi di arredo, oggetti di uso quotidiano etc. [46]

Come noto, una rete neurale, a maggior ragione una di questa complessità, richiede grandi tempi di addestramento ma bassissimi tempi di esecuzione. Per la nostra rete neurale artificiale, la prima fase è stata superata grazie all'uso dei pesi sinaptici che sono già stati trovati quando è stata addestrata la rete originaria. La nostra rete sarà quindi estremamente veloce restituendoci, per quanto rappresentato nell'immagine di ingresso, a quale delle classi appartiene e con quale percentuale.

Le cinque ROI rilevate vengono date in cascata in ingresso alla nostra rete neurale artificiale.

L'immagine RGB della prima ROI estratta dalla scena ripresa dalla videocamera del robot rappresenta un paio di occhiali, quella della seconda ROI un telecomando.



**Figura 93. Le prime due ROI: occhiali e telecomando**

Sia gli occhiali che il telecomando sono due oggetti presenti all'interno delle classi con cui è stata addestrata la rete neurale artificiale, che può quindi classificare questo tipo di oggetti.

La rete neurale artificiale accetta in ingresso immagini RGB di dimensioni fisse composte da 224 x 224 pixel, il che significa che la matrice di input ha [224,224,3] elementi.



**Figura 94. Le prime due ROI in ingresso alla rete neurale artificiale**

Per questo motivo, le immagini che rappresentano le ROI devono essere ridimensionate prima di poter essere date, in sequenza, in ingresso alla rete neurale artificiale e procedere con la loro classificazione.

La rete neurale artificiale, convergendo, fornisce in uscita per ciascuno dei due input quanto riportato nella tabella seguente:

**Tabella 24. Classe di appartenenza rilevata e probabilità delle prime 2 ROI**

	<b>ROI</b>	<b>LABEL CLASSE RILEVATA</b>	<b>% appartenenza</b>
n°1	(OCCHIALI)	OCCHIALI	95,61
n°2	(TELECOMANDO)	TELECOMANDO	90,18

Come si vede il nostro classificatore neurale riconosce correttamente i due oggetti e lo fa con un elevatissimo livello di probabilità di appartenenza.

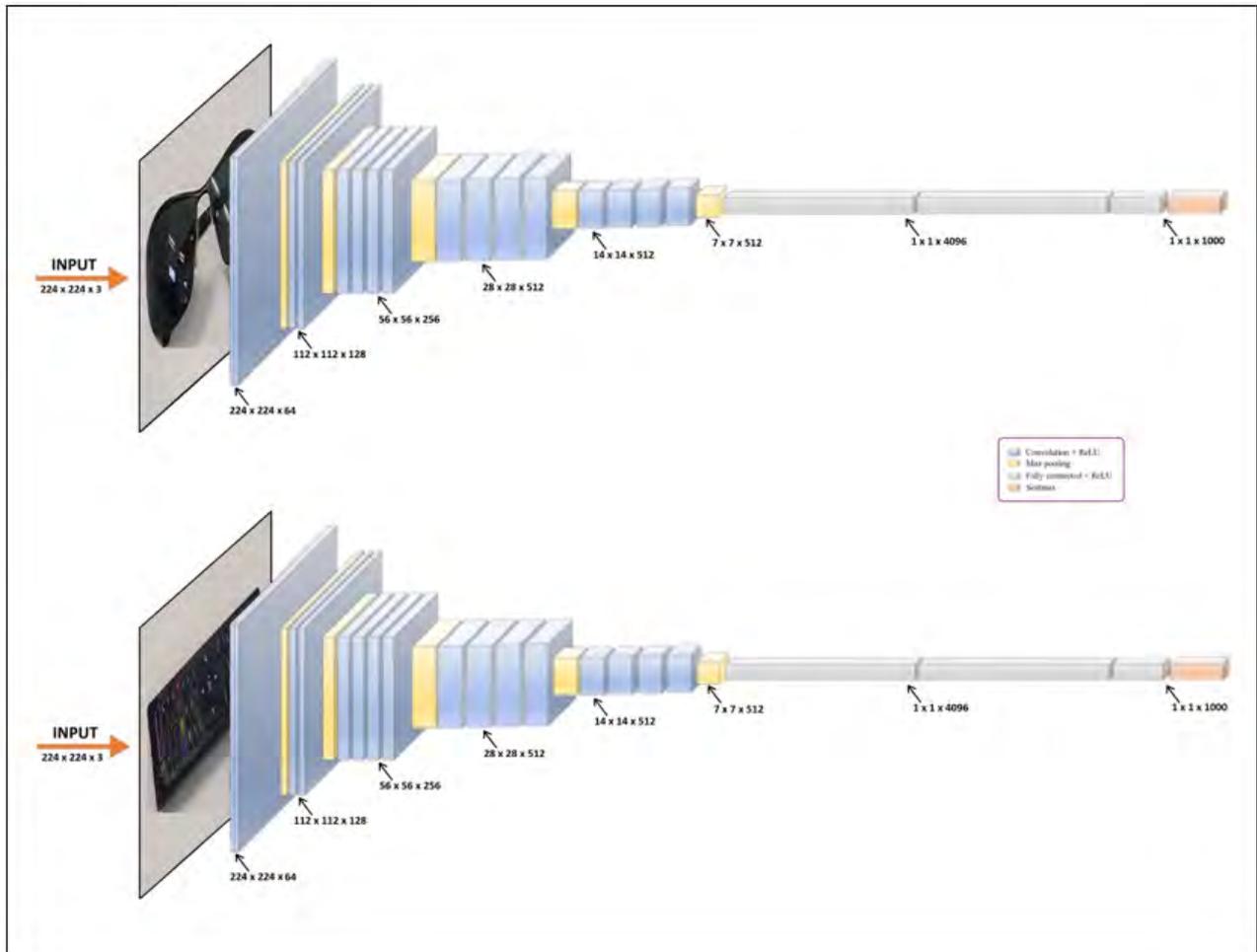


Figura 95. La rete neurale artificiale implementata con in ingresso la prima e la seconda ROI

La terza ROI è la marca del frigorifero. Questo tipo di oggetto [marca, etichetta, etc.] non è presente all'interno della libreria di 1000 classi di oggetti rilevabili con i quali è stata addestrata la rete neurale artificiale; il nostro classificatore non dovrebbe, quindi, offrire un valore soddisfacente di appartenenza ad una classe.

Effettivamente, la rete fornisce in uscita due Label con valori di classificazione piuttosto bassi, seppur validi: "SPECCHIETTO D'AUTO" al 8.87% e "INSEGNA STRADALE" al 14.22%.

Come si vede il nostro classificatore non riesce a trovare una assegnazione valida soddisfacente, dando risposte (errate) con una bassa probabilità di appartenenza.



Figura 96. La terza ROI che è stata trovata: la marca del frigorifero

Infine, le ultime due ROI presenti non raggiungono valori di classificazioni superiori all'1% e possono essere scartate.

Una volta analizzate le ROI valide, il sistema confronta la *LABEL* dell'oggetto trovato in ciascuna di esse con quella dell'oggetto che l'utente ha chiesto di cercare. In caso di esito positivo il robot salva in memoria la posizione dell'oggetto trovato e notifica all'utente di aver svolto con successo il compito assegnatogli. Viceversa, in caso negativo, continua l'esplorazione dell'ambiente per acquisire altri particolari ed identificare altre ROI.

Come sempre, il robot a seconda della profilazione della persona che abita la casa può indirizzare una diversa notifica su uno o più dispositivi di interfaccia. Ad esempio se si vuole privilegiare il canale di comunicazione di tipo visuale, può inviare l'immagine della zona dove si trova l'oggetto sulla Smart TV o direttamente sullo smartphone dell'utente attendendo eventuali sue indicazioni. Oppure, il robot può tornare alla posizione di partenza e colloquiare direttamente con la persona.

## 7 Conclusioni

In questa annualità sono state completate le attività relative all'implementazione della piattaforma Dhomus a servizio degli utenti residenziali, funzionale ad accrescerne la consapevolezza energetica, primo passo per abilitare l'utente alla partecipazione alle nascenti comunità energetiche con un ruolo attivo e collaborativo.

La piattaforma offre servizi a tutti gli utenti residenziali, sia quelli dotati di dispositivi intelligenti, ovvero le Smart Homes, che i semplici consumatori. Per questi ultimi è disponibile il servizio web denominato, Smart Sim: si tratta di un questionario da compilare on line, in cui inserire informazioni sui propri consumi, come registrati nelle bollette energetiche a disposizione, e sulla propria abitazione (dimensioni e caratteristiche architettoniche, esposizione, interventi di riqualificazione, dotazione impiantistica, tipologie di elettrodomestici e relative abitudini d'uso). A partire dai dati acquisiti, viene effettuata una simulazione in regime dinamico semplificato che restituisce all'utente una serie di feedback customizzati per aiutarlo a contenere consumi, costi e impatto ambientale. La Smart Sim costituisce inoltre un valido strumento per agevolare l'ingaggio dei potenziali componenti di una comunità energetica consentendone una prima valutazione dal punto di vista energetico.

Per l'accesso alla piattaforma di utenti dotati di dispositivi di monitoraggio, sono state testate differenti modalità, a partire dal "kit Smart Home" messo a punto da Enea, questo è stato integrato con i contatori elettrici di nuova generazione, tramite l'impiego di dispositivi utente che comunicano con i Meter con protocollo PLC chain2, e con lo storage.

Anche i servizi offerti dalla piattaforma sono stati di conseguenza ampliati per consentire la visualizzazione e integrazione dei dati provenienti dai differenti dispositivi testati presso i dimostrativi sperimentali realizzati a Roma, Viterbo e Pinerolo. In questo caso i dati vengono acquisiti da un intero condominio configurato come un'auto consumatore collettivo, mentre la strumentazione installata da terze parti condivide i dati acquisiti, con Dhomus, tramite cloud.

Nei dimostrativi sono state coinvolte differenti tipologie di utenza: consumer e prosumer, con e senza storage. Tutti i servizi implementati mirano ad accrescere la partecipazione attiva e consapevole dei consumatori, in attuazione delle normative UE, al fine di facilitare e regolare lo sviluppo di iniziative di cittadini e stakeholder attraverso la costituzione di comunità energetiche basate sulla condivisione delle sorgenti energetiche che richiede necessariamente la contabilizzazione, registrazione e ripartizione dei flussi energetici dei partecipanti alla stessa comunità, servizi già predisposti nella piattaforma DHOMUS.

Inoltre è stata effettuata una prima applicazione all'ambito residenziale di una metodologia appositamente sviluppata per valutare la flessibilità energetica legata agli usi termici che una comunità energetica può mettere a disposizione del sistema elettrico.

Nonostante l'appartamento preso in esame non eccella in termini di efficienza energetica e anzi sia esemplare di costruzioni della prima metà del secolo scorso, la flessibilità risultante non risulta essere trascurabile. Ovviamente ci si aspetta di osservare livelli ancora più interessanti in edifici maggiormente performanti. In futuro si intende sviluppare ulteriori studi per indagare più a fondo il potenziale legato alla flessibilità degli usi termici, variando le tipologie edilizie e i contesti climatici di riferimento. Questa attività potrà permettere di definire dei benchmark e riconoscere criticità e incoerenze con l'attuale assetto normativo, che al momento non considera in alcun modo questi aspetti.

Infine per quanto riguarda l'Assisted living, l'attività di ricerca svolta in questo anno ha permesso di ampliare la sensoristica di bordo del robot umanoide NAO aprendo alla possibilità di sviluppare dei servizi innovativi di Assisted Living estremamente avanzati che utilizzano robot antropomorfi per svolgere compiti complessi e riportarne i risultati all'utente utilizzando una interfaccia intelligente e multimodale.

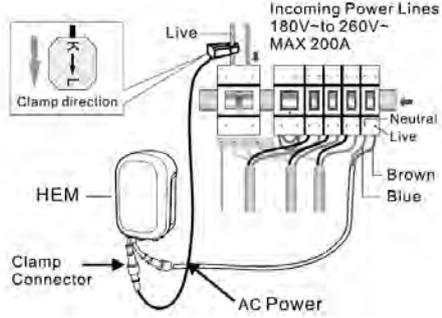
È stata aggiunta una depth camera grazie alla quale il robot è in grado di ottenere in tempo reale l'informazione di distanza e, conseguentemente, una ricostruzione tridimensionale dell'intera scena ripresa da questo dispositivo. Queste migliorate capacità di localizzazione e navigazione, ma anche di riconoscimento degli elementi della scena, hanno permesso di sviluppare le capacità del robot, come, ad esempio, quella di trovare autonomamente una stazione di docking per la ricarica automatica. La stazione di ricarica che è stata

realizzata ha permesso di superare le limitazioni dovute al rapido abbassamento del livello di carica della batteria di bordo che costringevano, dopo circa due ore, a collegare manualmente il robot ad una presa elettrica. Questo aspetto ha limitato fortemente il concreto uso all'interno di una Smart Home di questo tipo di robot. Infine, è stato sviluppato un servizio prototipale di Assisted Living in cui il robot NAO aiuta la persona a trovare il proprio ausilio o un altro oggetto di uso quotidiano che è stato smarrito o, più semplicemente, perso di vista.

## 8 Allegati

### 8.1 Specifiche tecniche sensori del “kit Smart Home Enea”

**Tabella 25. Specifiche tecniche sensori per il monitoraggio energetico**

Tipologia	Meter elettrico	Smart plug
Nome	Contatore di energia domestico Gen5	Smart Switch 7 (spina F)
Codice prodotto:	ZW095	ZW175-C
Peso del prodotto:	574 g	56 g
Dimensioni del prodotto:	99 x 66 x 34 mm	43,4 x 43,4 x 68 mm
Ripetizione di segnale:	Sì	Sì
Sicurezza	AES128: Sì	S0, S2 non è autenticato
Metodo di alimentazione:	Cablato	
Ingresso (tensione, frequenza, consumo massimo di corrente):	230V~, 50Hz, 10mA (versione UE, 1P/3P4)	90 - 250 VAC 50/60Hz
Consumo in standby:	< 1,8 W.	0.8W
Intervallo di misura	Tensione: Da 180 V~ a 260 V~ (versione UE, 1P/3P4) Corrente: da 0A a 200A.	Letture minima del sensore di energia: 2W
Precisione di misurazione:	Oltre il 99% (se la corrente è maggiore di 0,05A)	Percentuale di errore nella lettura dell'energia: Meno di 300W: +-3W Grande o uguale a 300W: +-1%
Umidità di funzionamento:	Da 8% a 80%.	Da 8% a 80%.
Temperatura di funzionamento:	Da 0°C a 40°C	Da 0°C a 40°C
Distanza di funzionamento:	Fino a 130 metri all'aperto	35m interno, 150m all'aperto
IP Rating	IP43	IP20
Z-Wave Alliance Product Link	<a href="http://products.z-wavealliance.org/products/1596">http://products.z-wavealliance.org/products/1596</a>	<a href="http://products.z-wavealliance.org/products/1812">http://products.z-wavealliance.org/products/1812</a>
Immagine	 <p>The diagram illustrates the connection of the smart plug to the meter. It shows the 'Incoming Power Lines' (180V~ to 260V~, MAX 200A) connected to the meter's terminals. The meter's terminals are labeled 'Live', 'Neutral', and 'Live'. The smart plug is connected to the 'Live' terminal (Brown) and the 'Neutral' terminal (Blue). The smart plug is labeled 'HEM' and 'Clamp Connector'. The diagram also shows the 'Clamp direction' and 'AC Power'.</p>	

### 26. Specifiche tecniche dei sensori confort e contatti

Tipologia	Multisensore	Multisensore outdoor	Contatto apertura e chiusura
Nome	Multisensore 6	SENSATIVE/ Multisensor strips confort	AEOTEC/ Door_ Window Sensor 7
Codice prodotto:	ZW100	ES-11-AEO-ZW100	ZWA011-C / ZWA041-C
Peso del prodotto:	65 g	74 g	25 g
Dimensioni del prodotto:	47 x 47 x 38 mm	19.4 x 1.5 x 0.3 cm	19 x 71 x 18 mm
Ripetizione di segnale:		no	no
Sicurezza		si	si
Metodo di alimentazione:	Batteria (2 x CR123A) o USB	Batteria fissa con durata di 10 anni (3.0V LiMnO <sub>2</sub> )	Batteria 1 * 1/2 AA ER14250 3.6V nominale, durata 5 anni considerando 5 aperture e 5 chiusure al giorno
Ingresso (tensione, frequenza):	Alimentazione USB Tensione min/max= 4.5VDC/5.5VDC Alimentazione batteria Tensione min/max= 2.6VDC/3.2VDC		
Consumo massimo:	Durante un rapporto: 200mA		5mW
Intervallo di misura	Temperatura: -10°C -50°C Umidità: 20% - 90% RH. Illuminazione:0-30000 LUX. Intervallo UV: 0-10 indice UV Sensibilità massima al movimento: 5 metri.	Temperatura -20 +60	
Precisione di misurazione:	Temperatura: ±1°C Umidità: ±3%RH (a 25°C)	0,5 °C	
Umidità di funzionamento:	8% - 80%.		10- 95%
Temperatura di funzionamento:	Da 0°C a 40°C	-20°C +60°C	Da -20°C a 45°C
IP Rating	IP20	IP44	IP20
Z-Wave Alliance Product Link	<a href="http://products.z-wavealliance.org/products/1812">http://products.z-wavealliance.org/products/1812</a>	<a href="https://products.z-wavealliance.org/products/2942">https://products.z-wavealliance.org/products/2942</a>	
Immagine			

## 8.2 Specifiche tecniche Storage

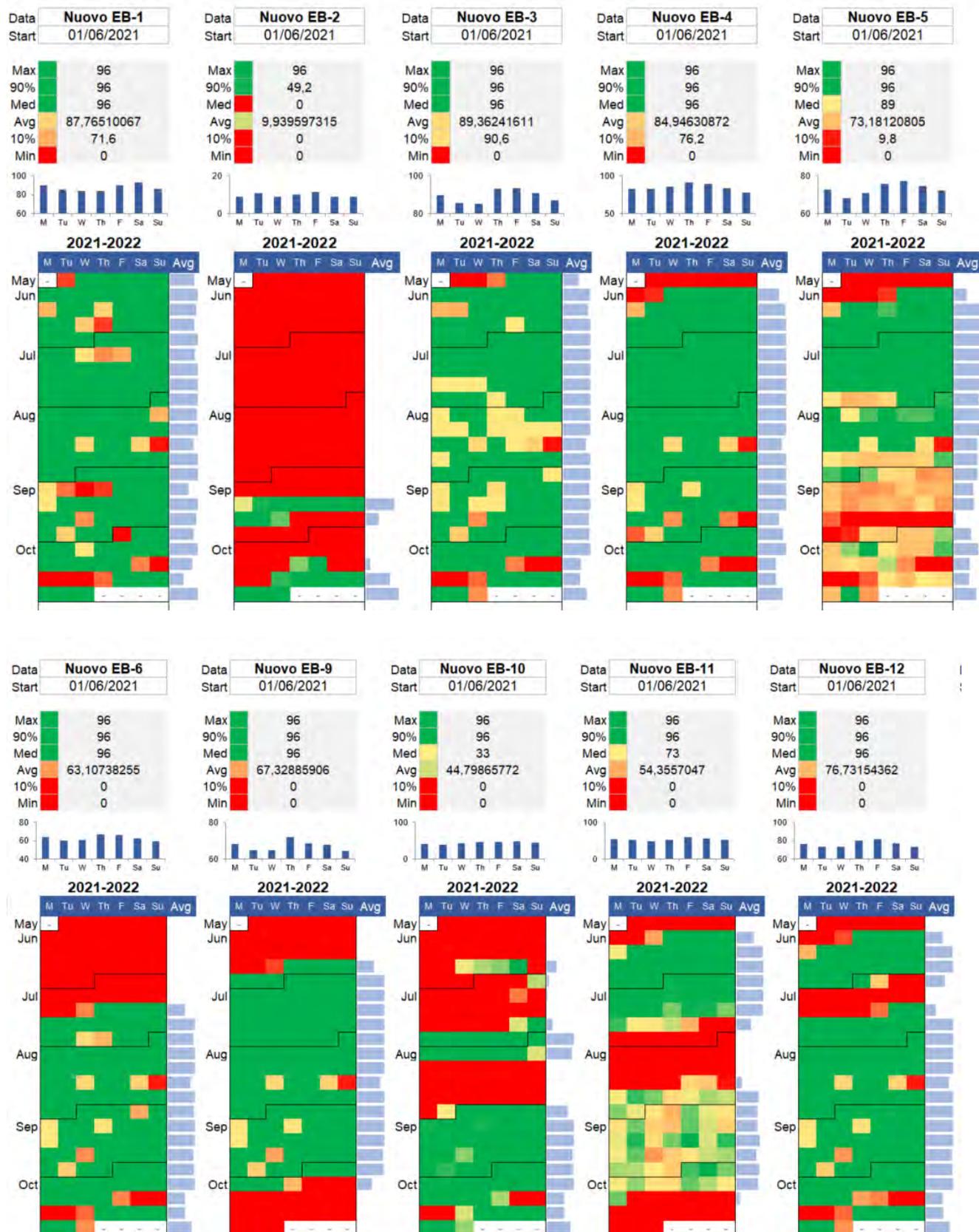
**Tabella 27. Specifiche tecniche Storage Aton**

Tipo	Z.STORE.	Z.STORE.	Zon.E	Zon.E
Marca e Modello	Aton - 3K	Aton- 5K	Aton- ZN3K2.5L	Aton- ZN5K5
DATI USCITA AC (ON-GRID) Tensione nominale	230 V			
Frequenza nominale	50/60 Hz			
Potenza nominale uscita (*)	3000 W	4600 W	3000 W	4600 W
DATI USCITA AC (EPS-BACK UP) Potenza nominale apparente in scarica (*)	3000 VA	4600 VA	3000 VA	4600 VA
Max. potenza apparente di picco di scarica (10 sec)	3600 VA	5500 VA	3600 VA	5500VA
Tipo Batteria	LiFePO4	LiFePO 4	LiFePO4	LiFePO4
Numero moduli batteria (configurazione standard)	1	2	1	2
Massima energia accumulabile alla massima capienza	9,6 kWh	9,6 kWh	9,6 kWh	9,6 kWh
Energia accumulabile alla massima capienza con espansione	19,2kWh	19,2kWh	19,2 kWh	19,2 kWh
Protezione Anti-islanding	si	si	si	si
Protezione per sovraccarico	si	si	si	si
Protezione per cortocircuito in uscita	si	si	si	si
Protezione per sovratemperatura	si	si	si	si
Protezione batteria: Interruttore automatico magnetotermico	si	si	si	si
Temperatura di esercizio	-5°C+45°C			
Umidità relativa	0% : 95%	0% : 95%	0% : 95%	0% : 95%
Raffreddamento	Convezione naturale (Fanless)			
Rumorosità	< 25dB	< 25dB	< 25dB	< 25dB
Peso (senza espansioni batterie)	81kg-150kg	23,5kg- 115,5kg	81kg-150kg	104kg-150kg
Dimensione con carter di copertura LxHxP (mm)	600x181 0x245	600x18 10x245	590x965x485	590x965x485
Grado di protezione	IP20			
Certificazioni	CE:CEI0-21/2017; CEI0-21/2019;VDE-AR-N4105;ERDF-NOI- RES_13E			
Normative di sicurezza	IEC62477 & IEC62040			
Compatibilità EMC	EN61000-6-1; EN61000-6-2; EN61000-6-3; EN61000-6-4;			
Peso (senza espansioni batterie)	81kg-150kg	23,5kg 115,5kg	81kg-150kg	104kg-150kg

Montaggio	A pavimento			
<b>Dimensione con carter di copertura LxHxP (mm)</b>	600x1810x245	600x1810x245	590x965x485	590x965x485
<b>Immagine</b>				

### 8.3 Verifiche dati dimostrativo Roma Viterbo

#### Report Quartorari Acquisiti



NewEB-1

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Asciugatrice	96%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Computer ragazzi	0%	0%	0%	72%	84%	89%
plug Computer studio	0%	0%	0%	72%	84%	89%
plug Condizionatore camera matrimoniale	96%	98%	96%	64%	0%	2%
plug Condizionatore camera ragazzi	5%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Condizionatore soggiorno	96%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Illuminazione tutta casa	0%	0%	0%	66%	84%	89%
plug Lavastoviglie	96%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Lavatrice	96%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Scaldabagno e pompa di calore	96%	98%	96%	91%	84%	89%
plug Tv camera matrimoniale	0%	0%	0%	72%	43%	0%
plug Tv soggiorno	0%	0%	0%	72%	84%	89%

#### NewEB-2

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Asciugatrice	-	-	-	29%	0%	0%
plug Condizionatore zona notte	-	-	-	0%	38%	25%
plug Condizionatore soggiorno	-	-	-	0%	0%	0%
plug Lavastoviglie	-	-	-	29%	0%	0%
plug Lavatrice	-	-	-	56%	35%	0%
plug Scaldabagno e pompa di calore	-	-	-	29%	0%	0%

#### NewEB-3

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Lavastoviglie	90%	100%	97%	98%	84%	89%
plug Lavatrice	90%	100%	97%	98%	84%	89%
plug Tv	90%	100%	97%	98%	84%	89%

#### NewEB-4

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Condizionatore camera letto	1%	5%	14%	0%	0%	89%
plug Frigorifero	73%	100%	96%	92%	84%	89%
plug Lavastoviglie	73%	100%	97%	92%	84%	89%
plug Lavatrice	73%	100%	94%	91%	84%	89%

#### NewEB-5

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Frigorifero	66%	100%	97%	73%	84%	85%
plug Lavatrice	66%	100%	97%	73%	84%	85%
plug Macchina caffè	66%	100%	97%	69%	84%	85%
plug Tv	66%	100%	97%	73%	84%	85%

**NewEB-6**

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Asciugatrice	.-	56%	96%	96%	84%	87%
plug Condizionatore letto	.-	56%	96%	96%	84%	36%
plug Frigorifero	.-	56%	96%	96%	84%	88%
plug Lavastoviglie	.-	56%	96%	96%	84%	88%
plug Lavatrice	.-	56%	96%	96%	84%	87%

**NewEB-9**

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Asciugatrice	24%	100%	96%	97%	22%	.-
plug Condizionatore camera letto	24%	100%	96%	97%	22%	.-
plug Condizionatore camera letto 2	24%	100%	96%	97%	22%	.-
plug Lavastoviglie	24%	100%	96%	97%	22%	.-
plug Lavatrice	24%	100%	96%	97%	22%	.-

**NewEB-10**

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Frigorifero	25%	100%	96%	98%	84%	14%
plug Lavastoviglie	25%	100%	96%	72%	0%	0%
plug Lavatrice	25%	100%	96%	98%	84%	14%

**NewEB-11**

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Condizionatore letto	71%	73%	35%	90%	1%	3%
plug Condizionatore sala hobby	15%	.-	.-	.-	.-	.-
plug Frigo	71%	73%	35%	98%	35%	21%
plug Lavastoviglie	71%	73%	35%	98%	35%	21%
plug Lavatrice	16%	.-	.-	.-	.-	.-

**NewEB-12**

Plug e relativo uso finale monitorato	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
plug Frigo	70%	56%	97%	98%	83%	14%

plug Lavastoviglie	70%	56%	97%	98%	83%	14%
plug Lavatrice	70%	54%	97%	98%	83%	11%

## 9 Riferimenti bibliografici

- [1] <https://aeotec.com/>
- [2] <https://www.aret.it/gestione-rete/contatore-2g-smart-Meter/come-si-usa/gemis-contatore-monofase>
- [3] Romano, S. Pizzuti, S. Fumagalli; C. Snels, O. Gregori – “Smart Home Network: realizzazione di un dimostrativo pilota e implementazione dei servizi di aggregazione”, Report RdS/PAR2017/047.
- [4] Mancini, F.; Romano, S.; Lo Basso, G.; Cimaglia, J.; De Santoli, L. How the Italian Residential Sector Could Contribute to Load Flexibility in Demand Response Activities: A Methodology for Residential Clustering and Developing a Flexibility Strategy. *Energies* 2020, Vol. 13 (13), 3359. <https://doi.org/10.3390/en13133359>
- [5] Mancini, F.; Cimaglia, J.; Lo Basso, G.; Romano, S. Implementation and Simulation of Real Load Shifting Scenarios Based on a Flexibility Price Market Strategy—The Italian Residential Sector as a Case Study. *Energies* 2021, Vol. 14 (11), 3080. <https://doi.org/10.3390/en14113080>
- [6] Cimaglia, J.; Romano, S.; Mancini, F. Methodology and Simulation of Electrical Grid Peak Shaving Strategy based on Photovoltaic and Storage Optimization: an Italian Residential Sector Case Study. *E3S Web of Conferences* 312, 01005 (2021). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131201005>
- [7] S. Romano, F. Romanello, F. De Lia, S. Pizzuti, C. Snels, A. Zanela, R. Schioppo, R. Lo Presti – “Sistemi e servizi smart per edifici”, Report RdS/PAR2018/022.
- [8] S. Romano, S. Pizzuti, S. Fumagalli, A. Zanela, F. Romanello- “Tecnologie per le Smart Homes”, Report RdS/PTR2019/001.
- [9] S. Romano, A. Zanela, M. Caldera, S. Fumagalli, F. Moretti, S. Pizzuti, C. Snels, P. Zangheri, P. Zini- “Smart Homes: servizi di supporto per l'utente finale per la consapevolezza energetica, la flessibilità e l'assisted living, RdS/PTR(2021)/001.
- [10] Specifica Tecnica CEI TS 13-82 “Sistemi di misura dell'energia elettrica – Comunicazione con i dispositivi utente – Parte 1: Casi d'uso”
- [11] Specifica Tecnica CEI TS 13-83 “Sistemi di misura dell'energia elettrica – Comunicazione con i dispositivi utente – Parte 2: Modello dati e livello applicativo”
- [12] F. Mancini, M. Cecconi, L. de Santoli (Citera); “Aggiornamento modulo per la consapevolezza energetica di utenti residenziali”, Report RdS/PTR2019/001
- [13] C. Foglietta, D. Masucci, F. Pascucci, S. Panziera; “Progettazione piattaforma di raccolta di dati energetici residenziali”; Report RdS/PTR2019/002
- [14] Denholm Paul, Hand Maureen. Grid flexibility and storage required to achieve very high penetration of variable renewable electricity. *Energy Policy* 2011; 39(3):1817–30.
- [15] Morales JM, Conejo AJ, Madsen H, Pinson P, Zugno Marco. Integrating renewables in electricity markets. Springer; 2014.
- [16] Lund Henrik, Münster Ebbe. Integrated energy systems and local energy markets. *Energy Policy* 2006;34(10):1152–60.
- [17] O'Malley Mark, Kroposki Benjamin, Hannegan Bryan, Madsen Henrik, Andersson Mattias, D'haeseleer William, et al. Energy systems integration: defining and describing the value proposition. *Contract* 2016;303:275–300.
- [18] Halvgaard Rasmus, Poulsen Niels Kjølstad, Madsen Henrik, John Bagterp Jø. Economic model predictive control for building climate control in a smart grid. *Innov Smart Grid Technol (ISGT)* 2012;30:270–8.

- [19] Jensen Søren Østergaard, Marszal-Pomianowska Anna, Lollini Roberto, Pasut Wilmer, Knotzer Armin, Engelmann Peter, et al. IEA EBC Annex 67 energy flexible buildings. *Energy Build* 2017;155:25–34.
- [20] Reynders Glenn. Quantifying the impact of building design on the potential of structural storage for active demand response in residential buildings; 2015.
- [21] Le Dréau J, Heiselberg P. Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass. *Energy* 2016;111:991–1002.
- [22] Hu Xiaosong, Zou Changfu, Zhang Caiping, Li Yang. Technological developments in batteries. *IEEE Power Energy Mag* 2017;15(5):20–31.
- [23] Afram Abdul, Janabi-Sharifi Farrokh. Theory and applications of HVAC control systems – a review of model predictive control (MPC). *Build Environ* 2014;72:343–55.
- [24] Wu Xiaohua, Hu Xiaosong, Moura Scott, Yin Xiaofeng, Pickert Volker. Stochastic control of smart home energy management with plug-in electric vehicle battery energy storage and photovoltaic array. *J Power Sources* 2016;333:203–12.
- [25] Stinner Sebastian, Huchtemann Kristian, Müller Dirk. Quantifying the operational flexibility of building energy systems with thermal energy storages. *Appl Energy* 2016;181:140–54.
- [26] Oldewurtel Frauke, Sturzenegger David, Andersson Goran, Morari Manfred, Smith Roy S. Towards a standardized building assessment for demand response. In: *Decision and control (CDC), 2013 IEEE 52nd annual conference on. IEEE; 2013. p.7083–8.*
- [27] De Coninck Roel, Helsen Lieve. Quantification of flexibility in buildings by cost curves – methodology and application. *Appl Energy* 2016;162:653–65.
- [28] Reynders Glenn, Lopes Rui Amaral, Marszal-Pomianowska Anna, Aelenei Daniel, Martins João, Saelens Dirk. Energy flexible buildings: an evaluation of definitions and quantification methodologies applied to thermal storage. *Energy Build* 2018;166:372–90.
- [29] Rune Grønberg Junker, Armin Ghasem Azar, Rui Amaral Lopes, Karen Byskov Lindberg, Glenn Reynders, Rishi Relan, Henrik Madsen. Characterizing the energy flexibility of buildings and districts. *Applied Energy* Volume 225, 1 September 2018, Pages 175-182.
- [30] Liu Tian, Sun Bo, Tan Xiaoqi, Tsang Danny HK. Market for multi-dimensional flexibility with parametric demand response bidding. *North American power symposium; 2017.*
- [31] Iria JP, Soares FJ, Matos MA. Trading small prosumers flexibility in the day-ahead energy market. In: *2017 IEEE power and energy society general meeting; 2017. p. 5.*
- [32] Zemtsov Nikita, Hlava Jaroslav, Frantsuzova Galina, Madsen Henrik, Junker Rune Grønberg, Jørgensen John Bagterp. Economic MPC based on an LPV model for thermostatically controlled loads. In: *International Siberian conference on control and communications (SIBCON); 2017.*
- [33] Rasmussen Majken Kirkegård, Rasmussen Mia Kruse, Verdezoto Nervo, Brewer Robert, Nielsen Laura L, Bouvin Niels Olof. Exploring the flexibility of everyday practices for shifting energy consumption through clockcast. In: *Australian conference on human-computer interaction (OzCHI) 29; 2017.*
- [34] Schweppe Fred C, Tabors Richard D, Kirtley James L, Outhred Hugh R, Pickel Frederick H, Cox Alan J. Homeostatic utility control. *IEEE Trans Power Apparatus Syst* 1980;99:1151–63.
- [35] Corradi O, Ochsenfeld H, Madsen H, Pinson P. Controlling electricity consumption by forecasting its response to varying prices. *IEEE Trans Power Syst* 2013;28(1):421–9.
- [36] Dorini Gianluca Fabio, Pinson Pierre, Madsen Henrik. Chance-constrained optimization of demand response to price signals. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4(4):2072–80.

- [37] Flexpower project; 2009. <[www.ea-energianalyse.dk/en/cases/1027-flexpower-testing-a-market-design/](http://www.ea-energianalyse.dk/en/cases/1027-flexpower-testing-a-market-design/)>
- [38] <https://www.softbankrobotics.com/emea/it/nao>
- [39] [https://hokuyo-usa.com/application/files/5115/8947/8197/URG-04LX-UG01\\_Specifications\\_Catalog.pdf](https://hokuyo-usa.com/application/files/5115/8947/8197/URG-04LX-UG01_Specifications_Catalog.pdf)<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/en024903>
- [40] Marr D, "Vision", Freeman and Co., New York (1982).
- [41] Poggio T, Torre V, Koch C. "Computational vision and regularization theory", Nature, 317: 314-319 (1985).
- [42] Zanelo A, Taraglio S. A practical use of cellular neural networks: the stereo-vision problem as an optimisation. Machine Vision and Applications, 11: 242-251 (2000).
- [43] Zanelo A, Taraglio S. A cellular neural network based optical range finder. International journal of circuit theory and applications, 30: 271-285 (2002).
- [44] <https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d455/>
- [45] Simonyan A, Zisserman K. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. International Conference on Learning Representations (2015)
- [46] Deng J., Dong W., Socher R., Li L.-J., Li K. and Fei-Fei L. Imagenet: A large-scale hierarchical image database. IEEE Conference on computer vision and pattern recognition: 248–255 (2009).
- [47] Princeton University "About WordNet." WordNet. Princeton University (2010).

## 10 Abbreviazioni ed acronimi

EB Energy Box

MPV Micro-fotovoltaico

ARERA *Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente*

AP *Asset Provider*

CAP *Codice di Avviamento Postale*

CEI *Comitato Elettrotecnico Italiano*

CENELEC *Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique – European Committee for Electrotechnical Standardization*

CF *Compact Frame*

DU *Dispositivo Utente*

ESCO *Energy Service Company*

FV *Fotovoltaico*

MAC *Media Access Control*

MQTT *Message Queue Telemetry Transport*

NS *Non specificato*

PLC *Power Line Communication*

PLC-C *Power Line Communication in Banda C (125 kHz - 140 kHz) – CENELEC*

POD *Point of Delivery*

RSE *Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA*