

# 39°

Convegno Nazionale  
AiCARR

---

8 settembre 2023

---

Aula Magna, Centro  
Congressi Federico II  
Via Partenope, 36 | Napoli

# Riqualificazione energetica del patrimonio edilizio: soluzioni tecniche e finanziarie



**AiCARR**

Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente



60 anni di cultura

# CONSULTA INDUSTRIALE



## CON IL PATROCINIO DI



## MAIN PARTNER



## SPONSOR





AiCARR  
Via Melchiorre Gioia 168  
20125 Milano MI  
Tel. 02 67479270  
Fax. 02 37928719  
e-mail: [info@aicarr.org](mailto:info@aicarr.org)  
web site: [www.aicarr.org](http://www.aicarr.org)  
ISBN 978-88-95620-79-4

Copyright AiCARR 2023. Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte del volume può essere riprodotta o diffusa senza il permesso scritto dell'Editore.

AiCARR declina ogni responsabilità diretta e indiretta per il contenuto degli articoli pubblicati nel presente volume.

Copyright AiCARR 2023. All rights are reserved. No part of the present volume can be reproduced or diffused with any means without written authorization of the Editor.

AiCARR cannot be deemed directly or indirectly responsible for the contents of the articles published in the present volume.

## COMITATO SCIENTIFICO

**Presidente AiCARR:** Claudio Zilio

**Presidente Commissione Cultura:** Marco Noro

Fabrizio Ascione - Università degli Studi di Napoli Federico II

Umberto Berardi - Politecnico di Bari

Nicola Bianco - Università degli Studi di Napoli Federico II

Francesca R. d'Ambrosio - Università degli Studi di Salerno

Filippo De Rossi - Università degli Studi di Napoli Federico II

Gianpiero Evola - Università degli Studi di Catania

Enrico Fabrizio - Politecnico di Torino

Marco Manzan - Università degli studi di Trieste

Rita Maria Antonietta Mastrullo - Università degli Studi di Napoli Federico II

Alfonso William Mauro - Università degli Studi di Napoli Federico II

Francesco Minichiello - Università degli Studi di Napoli Federico II

Luca Molinaroli - Politecnico di Milano

Gian Luca Morini - Università degli Studi di Bologna

Alessandro Prada - Università degli Studi di Trento

Fabio Scurpi - Università degli Studi di Firenze

Fabio Serpilli - Università Politecnica delle Marche

## COMITATO ORGANIZZATORE

**Coordinatore:** Luca Alberto Piterà - *Segretario Generale AiCARR*

Pasquale Ranieri - *Delegato Territoriale Campania*

Gabriella Lichinchi - *Segreteria AiCARR*

Fabrizio Ascione - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

Nicola Bianco - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

Marcello Iasiello - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

Rita Maria Antonietta Mastrullo - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

Alfonso William Mauro - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

Luca Viscito - *Università degli Studi di Napoli Federico II*

## **INTRODUZIONE**

Il tema del convegno è di estrema attualità alla luce della approvazione della bozza di revisione della Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), all'interno del pacchetto di misure denominato "Fit for 55", per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030.

La bozza conferma e rinnova il crescente interesse per i nuovi edifici a "zero emissioni", ma è fortemente orientata alla riqualificazione del parco edilizio esistente, considerato che la grande maggioranza degli edifici è già costruita e, di questa, oltre l'80% è stato edificato prima delle leggi sul contenimento dei consumi energetici e non è mai stato oggetto di interventi di riqualificazione.

A partire dalla prima edizione dell'EPBD e dal recepimento della EED (Energy Efficiency Directive) il nostro Paese, dopo un avvio lento e poco incisivo, ha visto un'esplosione degli interventi di riqualificazione energetica grazie a una politica di incentivazioni (Superbonus, Ecobonus, Sismabonus, Bonus facciate, Bonus ristrutturazione edilizia 50% etc) che, nonostante modifiche, ripensamenti, difficoltà nelle riscossioni dei crediti, ha movimentato solo nel 2022 investimenti pari a 46,2 miliardi di euro contribuendo alla formazione dell'1,3% del Pil e alla piena occupazione nel settore delle costruzioni e nel suo indotto.

Esiste quindi un bagaglio di competenze, informazioni ed esperienze che è necessario valorizzare per continuare questo percorso di efficientamento del patrimonio pubblico e privato esistente, partendo dalla considerazione che lo spazio di miglioramento dell'efficienza energetica negli edifici è molto ampio e che oggi esiste un ventaglio di tecnologie economicamente convenienti e disponibili per creare le condizioni di un nuovo mercato e di un nuovo sviluppo.

Sulla base di queste riflessioni, il 39° Convegno Nazionale AiCARR presenterà contributi di interesse per il settore della riqualificazione del patrimonio edilizio esistente nei quali saranno tracciate le strategie di intervento per una maggiore resilienza dei sistemi edificio-impianto e nuove soluzioni finanziarie e di incentivazione a correzione delle attuali o in grado di razionalizzare le stesse in modo tale da assicurare agli operatori pubblici e privati tempi certi per la corretta pianificazione degli investimenti.

Tali argomenti saranno affrontati nelle relazioni a invito da esperti del settore, e in un ampio programma di relazioni libere.

## INDICE

### RELAZIONE A INVITO

**DALLA PRIMA EPBD ALLA DIRETTIVA CASE GREEN, ESITI E CRITICITÀ DI VENT'ANNI DI MISURE TECNICHE, LEGISLATIVE E PROCEDURALI PER LA DECARBONIZZAZIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO** 1

Fabrizio Ascione, *Università degli Studi Federico II Napoli*

### SESSIONE 1 – LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI STORICI E PUBBLICI

**LA RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL NUOVO CAMPUS DELLA FACOLTÀ DI MEDICINA DELL'UNIVERSITÀ DI PAVIA** 21

Nerino Valentini, *Liberio Professionista, Coprat, Mantova*

**LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI STORICI DEL PARCO ARCHEOLOGICO DELL'APPIA ANTICA: LINEE DI INDIRIZZO E PROPOSTE DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO** 36

Nicolandrea Calabrese, Francesca Caffari, *ENEA - Dipartimento Unità Efficienza Energetica, Laboratorio efficienza energetica negli Edifici e Sviluppo Urbano (DUEE-SPS-ESU), ENEA, Roma*

**LA MISURAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO NEGLI EDIFICI PUBBLICI SECONDO IL PROTOCOLLO IPMVP®: IL CASO ARPA UMBRIA** 51

Elisa Moretti, Maria G. Proietti, *Università di Perugia*

Filippo Busato, *Università Mercatorum, Roma*

Francesco Longhi, Luca Proietti, *Arpa UMBRIA, Terni*

**VALUTAZIONE ENERGETICA ED ECONOMICA DELLA RIQUALIFICAZIONE DI UN EDIFICIO STORICO NEL SUD ITALIA: IL CASO DEL PADIGLIONE DEI SERVIZI AMMINISTRATIVI DEL POLICLINICO DI BARI.** 67

Roberto Stasi, Francesco Ruggiero, *Politecnico di Bari*

Umberto Berardi, *Toronto Metropolitan University – Politecnico di Bari*

**RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA GALLERIA VASARI** 83

Francesco Scopelliti, Francesco Maragno, *Samsung Electronics Italia spa Milano*

**LE FUEL CELL COME RISORSA NEL SETTORE DELL'AMBIENTE COSTRUITO** 97

Andrea Tomasi, *SolydEra S.p.A., Pergine Valsugana, TN*

**SESSIONE 2 – LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI RESIDENZIALI**

**FACCIAE PREFABBRICATE MULTIFUNZIONALI IN LEGNO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEGLI EDIFICI** 110

Riccardo Pinotti, Stefano Avesani, Diego Tamburrini, *Eurac Research, Istituto per le Energie Rinnovabili Bolzano*

**RIGENERAZIONE ENERGETICA ED URBANA AD ALTO IMPATTO SOCIALE DI UN INTERO QUARTIERE RESIDENZIALE** 122

Enrico Casali, *Robur, Bergamo*  
Filippo Simonetti, *Libero Professionista, Bergamo*

**BILANCIAMENTO E CONTROLLO AUTOMATICO DELLA RETE DI RICIRCOLO** 137

Simone Pirovano, Valerio Di Stefano, *Georg Fischer spa, Agrate Brianza, MI*

**LA RIQUALIFICAZIONE IMPIANTISTICA DEGLI EDIFICI ESISTENTI CON IL SISTEMA WLHP (WATERLOOP HEAT PUMP)** 153

Oreste Bottaro, Ilario Zanetti, *Innova srl, Trento*  
Matteo Campidelli, *Innova Engineering srl, Trento*  
Roberto Fedrizzi, Diego Menegon, *EURAC Research Institut for Renewable Energy, Bolzano*

**RIQUALIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI CENTRALIZZATI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA A ZERO EMISSIONE** 168

Diego Cangiano, Lorenzo Citterio, Tiziano Mori, Leonardo Pacheco, Umberto Vacca, Jacopo Valente, *Termal Bologna*

**IMPIANTO SOLARE IN VETTORIAMENTO SU RETE DI TELERISCALDAMENTO** 183

Andrea Mantovani, *Libero professionista - Aosta*

**UNA TECNOLOGIA ITALIANA PER L'EFFICIENZA ENERGETICA E UNA OPPORTUNITA' PER LA DIRETTIVA EUROPEA CASE GREEN** 193

Roberto Salimbeni, *Black Box Green, Fiorano Modenese, MO*  
Raffaele Salerno, *Meteo Expert, Cinisello Balsamo, Milano*

## RELAZIONE A INVITO

### **GREENROAD - GROWING ENERGY EFFICIENCY THROUGH NATIONAL ROUNDTABLES ADDRESSES – UNA COMMUNITY AL LAVORO PER FAVORIRE IL FINANZIAMENTO ALL’EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI** 202

Francesca Rosati, *Coordinatrice Sustainable Banking Transition ABI Lab, Roma*

## **SESSIONE 3 – ANALISI FINANZIARIE ED ECONOMICHE DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE**

### **LA RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA SECONDO LA TASSONOMIA DELL’UE: UN APPROCCIO METODOLOGICO PER LA VERIFICA DEGLI OBIETTIVI DI SOSTENIBILITÀ** 211

Valeria Nesci, Ilaria Ballarini, *Politecnico di Torino*

Alice Gorrino, *Edilclima S.r.l., Engineering and Software Borgomanero NO*

### **GLI EDIFICI AD USO RESIDENZIALE - I PARAMETRI CHE CONSENTONO DI OTTIMIZZARE IL RAPPORTO COSTI BENEFICI DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE** 226

Massimo Bacci, *Liberio Professionista, Rocca Bacci Associati, Genova*

Annalisa Marchitto, *Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti, Scuola Politecnica, Genova*

### **ANALISI DELL’INCERTEZZA ECONOMICA NELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI NEL CONTESTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO** 241

Marco Manzan, Atlas Ramezani, *Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Trieste*

### **FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA E FINANZIARIA DI NUOVE TECNOLOGIE NELLA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI EDIFICI RESIDENZIALI** 255

Simona Paduos, Marco Chiappero, Alberto Iunco, *C2R Energy Consulting srl, Torino*

Vincenzo Corrado, *Dipartimento Energia “Galileo Ferraris”, Politecnico di Torino - C2R Energy Consulting srl, Torino*

### **SOSTENIBILITÀ ECONOMICA DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA: NORMATIVA TECNICA E CASI PRATICI** 270

Luca Berra, Andrea Chierotti, Paola Soma, *Edilclima S.r.l., Borgomanero, NO*

Manuela Rebaudengo, *Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, Politecnico di Torino*

**HYBRID REVOLUTION: SISTEMI IBRIDI COMPATTI PROGETTATI PER LE RIQUALIFICAZIONI NEL RESIDENZIALE TERMOAUTONOMO** 286

Massimo Ghisleni, *Fonderie Sime SpA, Legnago, VR*

**OTTIMIZZAZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI E DEFINIZIONE DI INTERVENTI MEDIANTE ANALISI DI SOSTENIBILITÀ ENERGETICO-AMBIENTALE: IL CASO DI STUDIO DI ARPA UMBRIA COME MODELLO DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO PER IL SETTORE DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE** 296

Maria Giulia Proietti, Marco Elefante, Elisa Moretti, *CIRIAF (Centro Interuniversitario di Ricerca sull’Inquinamento e sull’Ambiente “Mauro Felli”), Università degli Studi di Perugia*

Luca Proietti, Francesco Longhi, *Arpa UMBRIA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) – Terni*

**INTERVENTO DI DECARBONIZZAZIONE CON POMPE DI CALORE AD ACQUA DI FALDA A NORD DI MILANO** 311

Giacomo Negri, Luca Silvestrin, *Carrier Distribution Italy Srl, Pero MI*

**SESSIONE 4 – L'UTILIZZO DI SOFTWARE DI SIMULAZIONE PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA**

**SVILUPPO DI UN METODO DI CALCOLO SEMPLIFICATO PER L'ANALISI ENERGETICA DI SISTEMI DI GENERAZIONE IBRIDI PER IL RISCALDAMENTO AMBIENTE IN EDIFICI CONDOMINIALI** 326  
Guglielmo Magri, Massimo Civati, *Engie Servizi SpA, Milano*

**ANALISI ENERGETICA ED ECONOMICA DI UNA SOLUZIONE IBRIDA CON GENERAZIONE DI CALORE A DIVERSE TEMPERATURE** 339  
Manuel Toniolo, *BAXI SpA, Bassano Del Grappa, VI*

**RISPARMIO ENERGETICO, EFFICIENZA ENERGETICA O ENERGIE RINNOVABILI: QUALE SCELTA PRIVILEGIARE PER LA DE-CARBONIZZAZIONE DEL SETTORE RESIDENZIALE IN ITALIA?** 354  
Marco Noro, *Dipartimento di Tecnica e Gestione dei sistemi industriali, Università degli Studi di Padova, VI*  
Filippo Busato, *Dipartimento di Economia, Università Mercatorum, Roma*

**ANALISI DI SENSIBILITÀ SUI REQUISITI DI LEGGE PER GLI EDIFICI SOGGETTI A RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE DI PRIMO LIVELLO: UN CASO DI STUDIO** 374  
Diana D'Agostino, Federico Minelli, Francesco Minichiello, *Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Ingegneria Industriale*  
Raffaele Emiro, *Liberio Professionista, Afragola, NA*

**SVILUPPO DI UN CONFIGURATORE SEMPLIFICATO PER PROMUOVERE L'UTILIZZO DELLA SIMULAZIONE DINAMICA NEL PROCESSO DI PROGETTAZIONE E RIQUALIFICAZIONE DELL'ESISTENTE** 388  
Federico Battini, Giovanni Pernigotto, *Libera Università di Bolzano*  
Andrea Gasparella, *Facoltà di Ingegneria, Libera Università di Bolzano*

**IMPATTO DELLE LOGICHE DI CONTROLLO DI VENTILAZIONE AI FINI DEL RISPARMIO ENERGETICO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E SUL RISCHIO DI CONTAGIO DA COVID-19 IN UN EDIFICIO PER UFFICI** 403  
Riccardo Albertin, Giovanni Pernigotto, Andrea Gasparella, *Facoltà di Ingegneria, Libera Università di Bolzano*

**LA ZONIFICAZIONE TERMICA TRADOTTA IN ALGORITMI APPLICABILI AI SOFTWARE PER CALCOLARE IL RISPARMIO ENERGETICO E MIGLIORARE LA CLASSE ENERGETICA CALCOLATA** 418

Davide Truffo, Desiree Quintero Marin, *Airzone Italia, Milano*

Francisco Fernandez Hernandez, *Grupo de Energía de la Universidad de Málaga, Spain*

Jose Miguel Peña Suarez, Juan Antonio Bandera Cantalejo, Mari Carmen González Muriano, *Corporación Empresarial Altra Malaga, Spain*

**PRESTAZIONI ENERGETICHE DI SISTEMI DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA CON ACCUMULI DECENTRALIZZATI ALIMENTATI DA POMPA DI CALORE** 432

Giovanni Semprini, Maurizio Goni, Minhossein Jahanbin, *Università di Bologna*

# **Prestazioni energetiche di sistemi di produzione di acqua calda sanitaria con accumuli decentralizzati alimentati da pompa di calore**

## **Energy performance of domestic hot water systems with decentralized storage powered by heat pump**

GIOVANNI SEMPRINI<sup>1,2</sup> – MAURIZIO GONTI<sup>1</sup> – AMINHOSSEIN JAHANBIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università di Bologna, BO

<sup>2</sup> Centro di Ricerca Edilizia e Costruzioni – Università di Bologna, BO

### **RIASSUNTO**

La produzione di acqua calda sanitaria rappresenta una voce molto importante nel computo del consumo di energia termica degli edifici, con una incidenza molto significativa nel caso di edifici a basso consumo energetico. Nel caso di edifici esistenti con impianto di produzione ACS centralizzato, le perdite di distribuzione possono superare anche il 50% dell'energia termica complessiva prodotta in centrale termica. Da qui la necessità di intervenire con soluzioni efficienti che possano sfruttare anche le fonti di energia rinnovabile. In questo articolo viene presentata una soluzione impiantistica innovativa, proposta nell'ambito del progetto e-SAFE finanziato nell'ambito del Programma H2020. L'architettura del sistema prevede un primo livello di accumulo centralizzato, alimentato da una pompa di calore gestita in modo da ottimizzare l'utilizzo di energia rinnovabile da PV, da cui parte una linea di distribuzione a servizio alternativo per il riscaldamento e per la carica di serbatoi decentralizzati di appartamento per la produzione di ACS. I risultati energetici, effettuati con codice di simulazione dinamica TRNSYS per una palazzina di 10 appartamenti con diversi profili di consumo di ACS, evidenziano i possibili vantaggi del sistema in termini di consumo di energia primaria e di temperature di comfort durante la giornata.

### **SUMMARY**

The production of domestic hot water plays a very important role in the energy consumption of buildings, with a very significant incidence for buildings with low energy consumption. In the case of existing buildings with a centralized DHW production plant, distribution losses can even exceed 50% of the total thermal energy produced in the thermal plant. Hence the need to find new efficient solutions that can also exploit renewable energy sources.

This article presents an innovative system, proposed as part of the e-SAFE project funded under the H2020 Programme. The architecture of the system provides a first level of centralized storage, powered by a heat pump managed in such a way as to optimize the use of renewable energy from PV, from which an alternative service distribution line departs for heating and charging of decentralized apartment tanks for DHW production. The energy results, carried out with dynamic simulation code TRNSYS for a building of 10 apartments with different DHW consumption profiles, highlight the possible advantages of the system in terms of primary energy consumption and comfort temperatures during the day.

Parole chiave: Acqua calda sanitaria, accumulo termico, pompa di calore elettrica, integrazione fotovoltaica.

Key words: Domestic hot water, thermal storage, electric heat pump, photovoltaic integration.

## **1. INTRODUZIONE**

L'energia per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) nel settore residenziale rappresenta circa il 15-40% del fabbisogno energetico totale delle abitazioni. Tale percentuale oltre a dipendere dal consumo effettivo di acqua calda, è correlata ai consumi di climatizzazione con conseguentemente aumento percentuale per gli edifici ad elevate prestazioni energetiche realizzate nell'ultimo decennio (Pomianowski et al., 2020). L'efficienza energetica dei sistemi tradizionali di produzione e distribuzione di ACS è abbastanza bassa a causa delle elevate perdite di calore dal generatore ai punti di prelievo, oltre a dipendere dai profili di consumo e set point di temperatura (Valdiserri, 2018).

Nei tradizionali sistemi centralizzati di produzione e distribuzione di ACS, l'acqua calda viene immagazzinata in un serbatoio centrale di grande volume e distribuiti ai singoli alloggi, garantendo la disponibilità ai singoli alloggi tramite una rete di ricircolo normalmente attiva 24 ore su 24. Negli edifici esistenti realizzati antecedentemente agli anni '90, la scarsa coibentazione delle reti di distribuzione e di ricircolo, determina rendimenti di distribuzione anche inferiori all'80%. Nel caso di generatori tradizionali e temperature di accumulo superiori a 60 °C necessarie per ridurre il rischio di legionella, i rendimenti globali possono scendere fino al 55-60% con conseguente ripercussione sulle bollette energetiche dove gli utenti con basso prelievo di ACS si trovano ad avere spese indirette elevatissime.

Al fine di migliorare l'efficienza complessiva dei sistemi di produzioni ACS, negli ultimi anni si è sempre più diffuso l'impiego di pompe di calore alimentate anche da fonti rinnovabili, collettori solari termici e di sistemi di accumulo termico di maggiori dimensioni o integrati con materiali ad alta capacità termica come i PCM.

In tale contesto il progetto europeo e-SAFE (Energy and seismic affordable renovation solutions), affronta il problema della efficienza energetica degli edifici proponendo un sistema integrato denominato "e-THERM", a servizio degli impianti di climatizzazione e produzione di ACS tramite utilizzo di pompa di calore alimentata da fotovoltaico, accumulo termico principale centralizzato e sistemi di accumulo termico decentralizzati per ACS per ogni appartamento. Il sistema, pensato per essere flessibile per adattarsi

a diverse configurazioni di impianto in edifici esistenti, è gestito da un sistema di controllo intelligente che consente di ottimizzare l'utilizzo di energia rinnovabile nei servizi di riscaldamento/raffrescamento e ACS garantendo adeguate condizioni di confort.

Nel presente articolo vengono presentati alcuni risultati elaborati con simulazioni numeriche dinamiche relativi ad un caso studio di una palazzina di 10 appartamenti sita a Catania in cui, parallelamente ad interventi di retrofit di involucro per il miglioramento sismico ed energetico, viene proposto un sistema impiantistico denominato e-THERM, in cui particolare innovazione risiede nell'inserimento di serbatoi di accumuli decentralizzati per la produzione di ACS, alimentati da acqua calda prodotta da pompa di calore abbinata a fotovoltaico.

## 2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA E-THERM

Il sistema proposto, come schematizzato nella configurazione riportata in Figura 1, prevede la produzione di acqua calda "tecnica" tramite una pompa di calore aria-acqua di potenza 26 kW e COP nominale pari a 3.2 (A7/W45), con massima temperatura di esercizio a 65 °C per temperature esterne tra 5 °C e 19 °C, con relativo serbatoio inerziale/accumulo da 1000 litri posizionato in centrale termica; l'acqua calda viene quindi inviata nei singoli appartamenti tramite apposito circuito idronico.

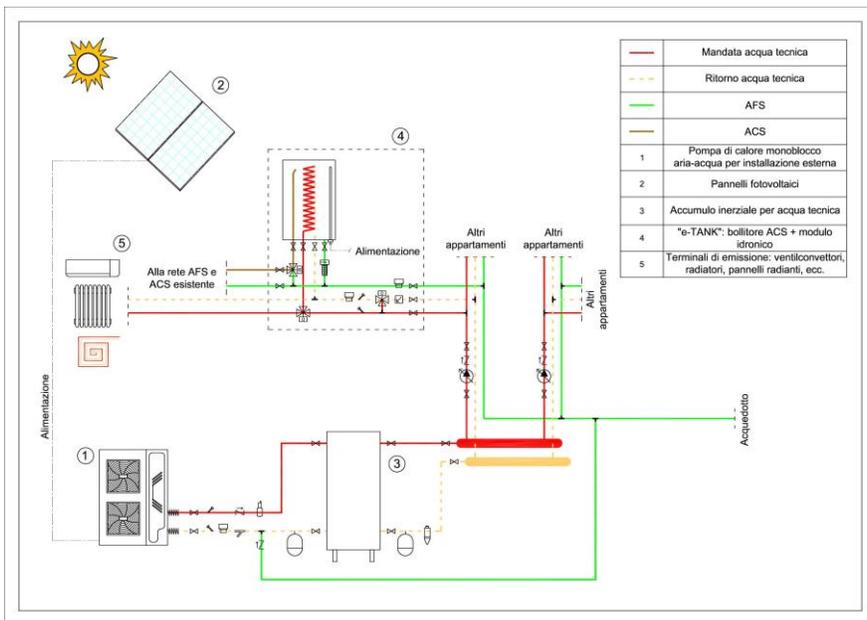


Figura 1 – Schema generale dell'impianto e-Therm: l'acqua calda prodotta dalla pompa di calore con accumulo centralizzato, viene inviata ai moduli e-Tank presenti in ciascun appartamento dove valvole motorizzate inviano l'acqua verso l'impianto di riscaldamento o verso lo scambiatore del serbatoio decentralizzato per produzione di ACS

Nel caso studio presentato, l'edificio a pianta rettangolare è costituito da 5 piani con 2 alloggi per piano separati da un vano scala centrale, per un totale di 10 alloggi.

In ogni alloggio è previsto un apposito sistema denominato e-TANK, prodotto dal partner di progetto PINK GmbH, come riportato in Figura 2. Il sistema e-TANK è costituito da un serbatoio di accumulo piatto con serpentina per la produzione di ACS e da un “modulo idronico” in cui sono alloggiati sia le componentistiche idroniche per i collegamenti con l’impianto di climatizzazione e ACS interni all’appartamento sia le alimentazioni elettriche che il sistema di gestione e controllo. Il sistema può essere installato a parete all’interno di ogni singolo alloggio come mostrato nella Figura 2 o all’esterno su un terrazzo, riducendo di fatto anche le opere murarie.



*Figura 2 – Modulo e-TANK comprensivo di accumulo a corpo piatto e modulo idronico alla base per collegamento agli impianti esistenti (fonte: PINK GmbH, Austria)*

Il serbatoio di accumulo per ACS ha un volume di 140 litri, realizzato in acciaio inox al cui interno è presente uno scambiatore di calore a serpentina elicoidale alimentato dall’acqua di centrale termica. Per quanto riguarda l’isolamento termico del serbatoio, oltre al rivestimento in schiuma PU, è stato applicato un ulteriore strato di pannelli isolanti sottovuoto (VIP) sulle due superfici più grandi del serbatoio. All’interno dell’accumulo è inoltre presente una resistenza elettrica attivabile sia per consentire maggiore “comfort” all’utente in termini di temperatura e disponibilità di acqua nel caso di elevati prelievi, sia per consentire periodici trattamenti antilegionella.

Il modulo idronico è gestito da una centralina di controllo che, tramite opportune valvole deviatrici, consente di inviare l’acqua tecnica proveniente alla centrale termica sia all’impianto di riscaldamento che allo scambiatore presente nell’accumulo di ACS. Tale centralina è impostata per attivare la carica dell’accumulo decentralizzato nelle fasce orarie della giornata in cui non è attivo il riscaldamento e comunque quando è disponibile l’energia elettrica rinnovabile prodotta dal sistema fotovoltaico. In tal modo viene migliorata l’efficienza dell’intero sistema, le perdite termiche di distribuzione sono ridotte in quanto viene eliminata la rete di ricircolo, mentre le perdite della rete principale di acqua tecnica di fatto corrispondono a quelle delle colonne montanti del riscaldamento.

Punto nodale per l’adozione di questo sistema decentralizzato è quello di garantire durante la giornata il livello adeguato di temperatura per il servizio ACS ai singoli allog-

gi, mantenendo invariata la fornitura di calore necessaria all'impianto di riscaldamento. Per rendere sostenibile questo sistema dal punto di vista dei consumi energetici occorre che la logica con cui gestire la carica degli accumuli tenga in considerazione i fabbisogni termici per riscaldamento e la produzione di energia elettrica rinnovabile per alimentare le pompe di calore.

Per quanto riguarda la produzione di energia rinnovabile, nel presente caso studio sono stati considerati 36 moduli fotovoltaici monocristallini posti in copertura per una potenza di picco complessiva di 13.5 kW, abbinati ad una batteria di accumulo di capacità pari a 20 kWh.

### 3. ANALISI ENERGETICHE

Nel presente articolo viene analizzato il consumo energetico per la produzione di ACS del sistema e-THERM, come riportato in Figura 1, a servizio di un edificio di 5 piani con due alloggi per piano, localizzato a Catania (Figura 3). Nel caso specifico sono state previste due nuove colonne montanti di adduzione acqua tecnica installate all'esterno dell'edificio, opportunamente coibentate, a servizio dei moduli e-TANK previsti sui balconi di ogni singolo appartamento. In Figura 3 viene riportato lo schema della distribuzione impiantistica in cui sono evidenziate le colonne montanti sulle parti esterne dell'edificio. La lunghezza complessiva della rete idronica in polipropilene multistrato è di circa 200 m, con diametri variabili da 40/32.6 mm per le colonne principali a 20/16.2 mm per le diramazioni ai moduli, mentre gli isolamenti sono conformi al DPR 412/93.

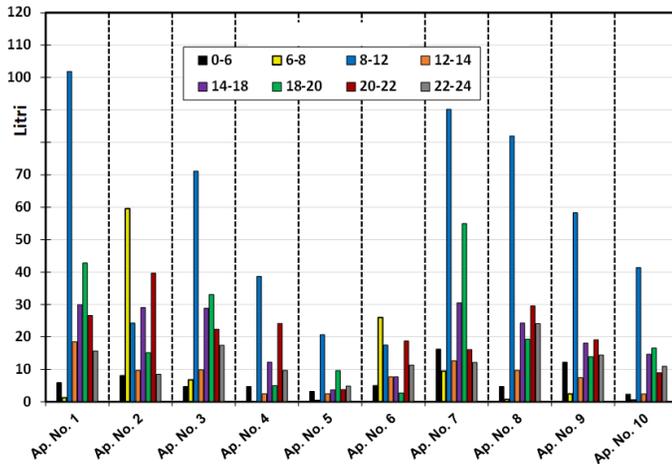


Figura 3 – Facciata principale dell'edificio, prima del rinnovo, e schema della distribuzione idronica

Il modello energetico delle due configurazioni impiantistiche è stato effettuato con software TRNSYS in cui sono stati modellati i vari componenti dell'impianto. Data la particolare configurazione del bollitore e-TANK, il modello numerico di questo componente è stato preliminarmente calibrato con misure sperimentali fornite dal produttore (Jahanbin et al. 2023).

Il prelievo di ACS è stato assunto in funzione degli effettivi utenti presenti nei singoli appartamenti considerando un consumo medio giornaliero di acqua calda sanitaria per ogni persona pari a 45 l e con un profilo orario variabile durante il giorno ipotizzando che i picchi di consumo si verificano al mattino tra le 06 e le 10 (45% del consumo giornaliero totale) e alla sera tra le 18 e le 22 (25% del consumo giornaliero totale). In

figura 4 sono riportate le distribuzioni per fasce orarie assunte per i 10 appartamenti considerati.



*Figura 4 – Profilo del consumo di acqua calda sanitaria per appartamento nelle diverse fasce orarie*

Per quanto concerne le logiche di controllo per la carica dei bollitori, sono state poste a confronto diverse ipotesi per analizzare sia i consumi energetici ma anche per valutare la disponibilità di ACS per i diversi alloggi. Sono state considerate le seguenti fasce di carica: a) continua 06-22; b) due volte al giorno: 06-10, 18-21; c) tre volte al giorno: 06-09, 12-14, 18-20. All'interno di queste fasce la carica effettiva di ciascun bollitore avviene in funzione degli effettivi carichi di prelievo di ACS tramite il controllo della temperatura nel bollitore. Il set point di temperatura dei bollitori e-TANK in condizioni invernali è stato fissato a 50 °C ( $\pm 2,5$  °C), mentre l'accumulo di centrale termica è fissato a 58 °C.

## 4. RISULTATI

Di seguito sono riportati alcuni risultati delle simulazioni energetiche impiantistiche poste ad evidenziare la funzionalità del sistema di produzione ACS e i consumi energetici rapportati alle quote di energia rinnovabile e non rinnovabile.

### 4.1. Temperature di prelievo ACS

Le Figure 5, 6 e 7 mostrano le variazioni di temperatura negli e-TANK e nell'accumulo principale in diversi scenari di ricarica: continua, due e tre volte al giorno, per tre diversi appartamenti (con 1, 3 e 5 residenti) in una tipica giornata invernale.

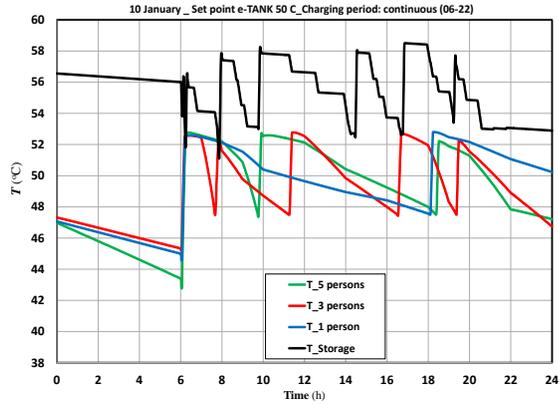


Figura 5 – Variazione di temperatura negli accumuli e-TANK in un tipico giorno invernale. Periodo di carica continuo (06-22)

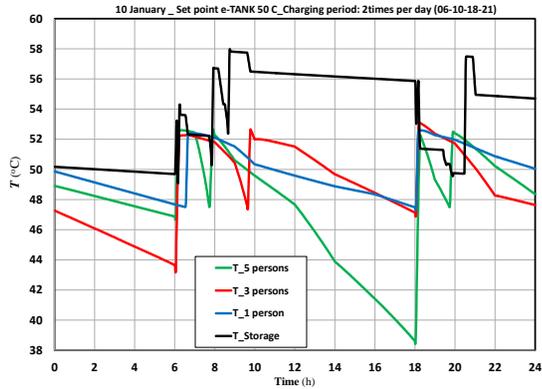


Figura 6 – Variazione di temperatura negli accumuli e-TANK in un tipico giorno invernale. Periodo di carica 2 volte al giorno (06-10, 18-21)

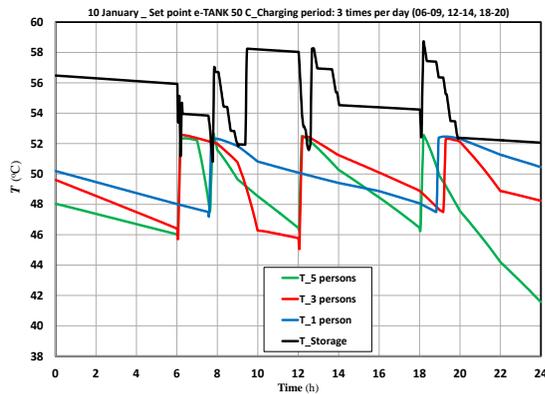


Figura 7 – Variazione di temperatura negli accumuli e-TANK in un tipico giorno invernale. Periodo di carica 3 volte al giorno (06-09, 12-14, 18-20)

La possibilità di caricare i serbatoi durante il giorno in modo continuativo porta a garantire sempre la temperatura degli e-TANK all'interno del range del set point (Figura 5). Questa modalità di carica può essere realizzata nel periodo estivo (quando non è presente il riscaldamento) oppure in inverno, nel caso in cui il sistema di riscaldamento abbia alta inerzia termica (i.e. pannelli radianti), per cui l'interruzione del servizio di riscaldamento per 15-20' non modifica sostanzialmente la temperatura ambiente.

Nel caso invece di sistemi tradizionali di riscaldamento a radiatori o fan coil occorre individuare alcune fasce giornaliere in cui il sistema di controllo interrompe l'invio di acqua calda al riscaldamento privilegiando la carica degli e-TANK. Nelle figure 6 e 7 sono riportati i casi con 2 e 3 periodi di ricarica giornalieri. Nel caso di 2 cariche giornaliere può presentarsi il caso limite in cui negli alloggi che presentano una forte richiesta di ACS (curva verde in Figura 5 corrispondente ad un alloggio con 5 persone) la temperatura scende fino a valori di 38 °C, quindi troppo fredda per essere utilizzata; in questo caso risulterebbe opportuno avere almeno 3 periodi di ricarica a disposizione. Tuttavia, come già detto, il sistema e-TANK è provvisto anche di una resistenza elettrica che può essere gestita dall'utente per aumentare la temperatura nei casi di eccessivo prelievo, ma anche per attivare periodiche misure antilegionella.

Come evidente in tutte le simulazioni, la maggiore richiesta di ACS avviene nelle ore mattutine per cui è fondamentale avere gli accumuli alla temperatura di set point prima dell'inizio di tali prelievi. In tal senso la circolazione di acqua calda dalla centrale termiche deve essere anticipata rispetto all'inizio del riscaldamento, indicativamente di circa 30' per consentire la carica completa degli accumuli che durante la notte possono essere parzialmente scaricati.

#### **4.2. Consumi energetici per ACS**

La Figura 8 riporta i valori dell'energia elettrica annua consumata e di quella termica prodotta dalla pompa di calore, l'energia elettrica consumata dalle pompe di circolazione, nonché la perdita termica annua dei diversi componenti del sistema di acqua calda sanitaria.

I risultati si riferiscono allo scenario migliore in termini di consumo energetico della pompa di calore che è quello in cui la carica degli e-TANK avviene due volte al giorno, consumando annualmente 5938 kWh, ossia 213 kWh in meno rispetto al funzionamento continuo. Le perdite termiche totali annue dei componenti idronici (tubazioni, e-TANK, accumulo principale) corrispondono a circa il 32% dell'energia termica prodotta nel funzionamento continuo della pompa di calore di cui il 18% è rappresentato dalle perdite delle reti idroniche dell'acqua tecnica, dall'accumulo di centrale termica fino agli e-TANK. Nel caso in cui tale rete idronica sia univoca anche per il riscaldamento è chiaro che tali dispersioni devono essere considerate solo una volta (nel periodo invernale) con evidente risparmio energetico del sistema rispetto ad un equivalente impianto centralizzato di tipo tradizionale.

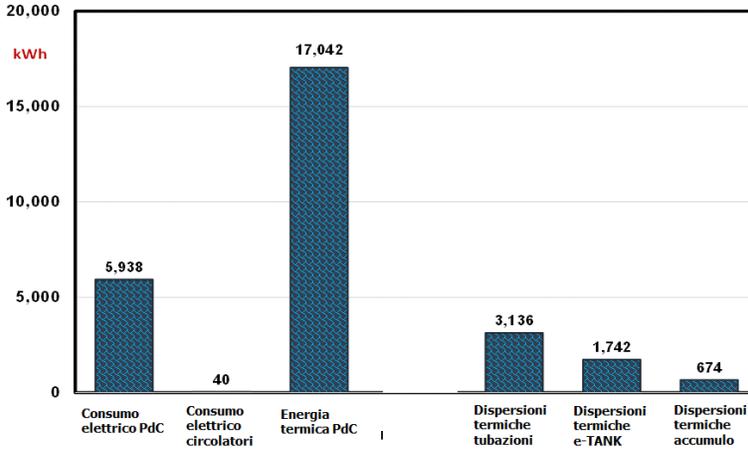


Figura 8 – Consumi energetici e dispersioni termiche per il caso studio con 2 periodi di carica E-tank (06-10, 18-21)

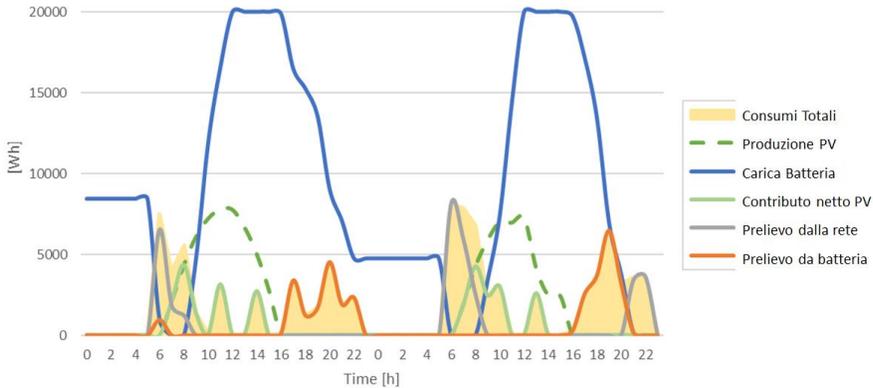
#### 4.3. Rapporto con i consumi per riscaldamento e con la produzione di energia rinnovabile

Nel sistema impiantistico oggetto di studio, l'acqua calda prodotta dalla pompa di calore è a servizio per la produzione di ACS ma anche per il riscaldamento. Nel periodo invernale i due fabbisogni si sommano con profili orari diversi, ma che tipicamente prevedono un massimo di richiesta termica nelle prime ore del mattino. La produzione di energia elettrica da rinnovabile segue invece il profilo giornaliero della radiazione solare. Al fine di ottimizzare il matching tra consumi e produzione rinnovabile in sito occorre effettuare una analisi oraria.

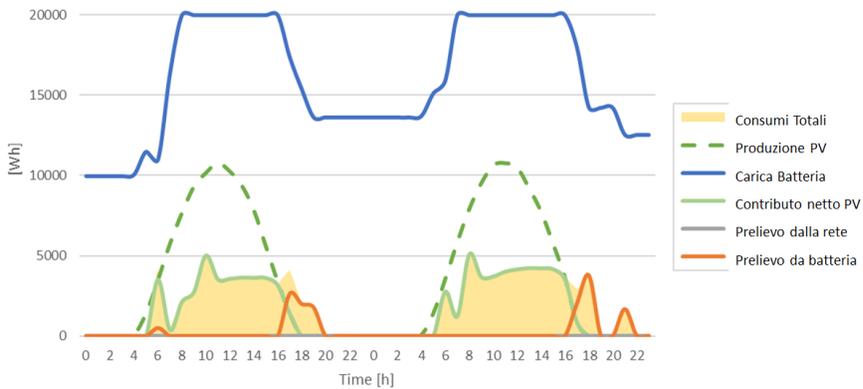
In Figura 9, sono riportati, per due giorni tipici invernali, i consumi totali di energia elettrica della pompa di calore a confronto con la produzione da fotovoltaico, del prelievo da batteria e da rete esterna. Nelle prime ore del mattino, a partire dalle 6.00, il carico termico presenta i picchi relativi alla carica degli e-TANK per la produzione ACS e all'accensione del riscaldamento, mentre ancora è assente la produzione da fotovoltaico e la batteria si presenta parzialmente carica ma insufficiente a fornire la totalità di energia richiesta. In queste ore è necessario quindi un prelievo dalla rete elettrica esterna. Durante le ore con irraggiamento solare, la produzione da fotovoltaico viene in parte utilizzata direttamente per soddisfare i vari carichi termici, che si presentano ridotti e maggiormente distribuiti nelle diverse fasce orarie, in parte va a caricare la batteria di accumulo che viene poi sfruttata nelle ore serali.

In Figura 10 sono riportati gli andamenti energetici per due giorni tipici estivi. In questo caso la maggiore produzione di energia da fotovoltaico e la migliore corrispondenza con i carichi elettrici che si spostano verso le ore pomeridiane consentono di sfruttare appieno l'energia rinnovabile, anche grazie al contributo della batteria nelle ore serali.

*Prestazioni energetiche di sistemi di produzione di acqua calda sanitaria con accumuli decentralizzati alimentati da pompa di calore*



*Figura 9 – Profili orari invernali dei consumi elettrici della pompa di calore a confronto con la fornitura di energia elettrica da fotovoltaico e rete e contributo della batteria di accumulo*



*Figura 10 – Profili orari estivi dei consumi elettrici della pompa di calore a confronto con la fornitura di energia elettrica da fotovoltaico e rete e contributo della batteria di accumulo*

Considerando i consumi energetici complessivi per produzione ACS e per climatizzazione, è stato valutato il contributo della quota rinnovabile e non rinnovabile dell'energia primaria utilizzata (per l'energia prelevata da rete sono stati considerati i fattori di conversione per l'energia primaria non rinnovabile e rinnovabile pari a  $f_{nren} = 1.95$  e  $f_{ren} = 0.47$  rispettivamente).

E' interessante analizzare come si modifica il consumo di energia primaria passando da energia prelevata completamente da rete o utilizzando il fotovoltaico prodotto in loco. Nel caso di solo prelievo da rete l'energia primaria risulta pari a circa 66 MWh di cui il 57% è rinnovabile. L'uso del fotovoltaico, senza batterie di accumulo, riduce la quantità di energia elettrica prelevata dalla rete, e quindi l'energia primaria totale scende a circa 55 MWh, di cui il 76% da fonti rinnovabili. La possibilità di utilizzare la batteria

per immagazzinare l'elettricità fotovoltaica riduce ulteriormente l'energia primaria totale, portandola a circa 49 MWh, con una quota rinnovabile del 89%.

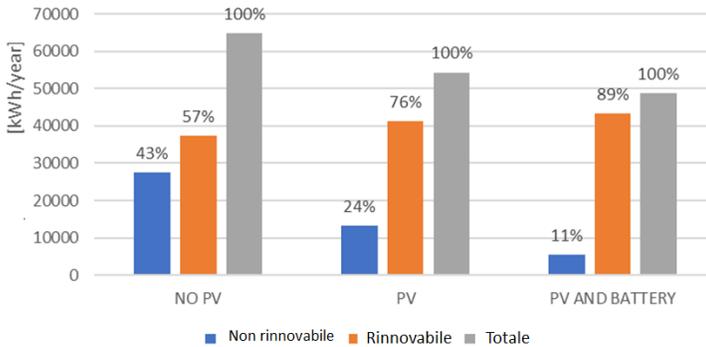


Figura 10 – Profili orari dei consumi elettrici della pompa di calore a confronto con la fornitura di energia elettrica da fotovoltaico e rete e contributo della batteria di accumulo, per tipici giorni invernali

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro viene presentata una soluzione innovativa per ridurre il consumo energetico per la produzione di acqua calda sanitaria combinata con sistemi di riscaldamento idronici. La soluzione proposta con accumuli per ACS decentralizzati per ogni appartamento, abbinata a un'opportuna logica di controllo, consente di ottimizzare l'abbinamento tra la domanda globale di energia e la produzione di energia rinnovabile da fotovoltaico abbinato a batterie elettriche. La progettazione in generale dell'intero sistema e-THERM deve essere "personalizzata" a seconda del caso studio ed è funzione della tipologia di impianto esistente, dei carichi termici, nonché della necessità di avere contemporaneamente, in estate, sia il raffrescamento che l'acqua calda sanitaria dove, in questo caso, è necessario prevedere una doppia rete di alimentazione di acqua tecnica.

Le prestazioni energetiche del sistema proposto hanno mostrato le potenzialità del sistema soprattutto nel caso di intervento su impianti esistenti grazie alla forte riduzione delle perdite energetiche di distribuzione. Dal punto di vista dei consumi di energia primaria, l'utilizzo di PV e batterie consente di ridurre fortemente la quota non rinnovabile fino all'ordine del 10%.

Successivi studi dovranno valutare la convenienza energetica ed economica per diverse configurazioni impiantistiche esistenti e diversi contesti climatici.

## BIBLIOGRAFIA

- Pomianowski M.Z., Johra H., Marszal-Pomianowska A., Zhang C. 2020. Sustainable and energy-efficient domestic hot water systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128.109900, 1-18
- Valdiserri P. 2018. Evaluation and control of thermal losses and solar fraction in a hot water solar system. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 13(3), 260–265

*Prestazioni energetiche di sistemi di produzione di acqua calda sanitaria con accumuli decentralizzati alimentati da pompa di calore*

Jahanbin A., Valdiserri P., Semprini G. 2023. Multi-objective study on an innovative system for domestic hot water production: A pilot building in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 293.113181, 1-18

## **RICONOSCIMENTI**

Questo articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto "Energy and seismic affordable renovation solutions" (e-SAFE), che ha ricevuto un finanziamento dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea con l'accordo di sovvenzione n. 893135.