



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

**Implementazione delle funzionalità software per lo storage
termico nel Powerflex Solar di Ariston**

**Implementation of software functionalities for thermal storage
in Ariston's Powerflex Solar**

Relatore:

Prof. **Gambi Ennio**

Tesi di laurea di:

Cipriani Laura

Correlatori:

Ing. **Matteo Boaro**

Ing. **Michele Corinaldesi**

Sommario

1 L'azienda – Ariston Group	6
1.1 La storia	6
1.2 I prodotti	9
1.3 Comfort eco-sostenibile	13
2 Obiettivi e specifiche del progetto	15
3 Le energie rinnovabili	17
3.1 Il fotovoltaico per fare auto-consumo	18
3.1.1 L'effetto fotovoltaico.....	18
3.1.2 Possibili applicazioni: Comunità Energetica e Autoconsumo collettivo.....	20
4 Presentazione dello scaldabagno	23
4.1 L'attuale Powerflex	23
4.1.1 Aspetto e funzionamento dell'interfaccia utente	24
4.2 Struttura del nuovo Powerflex Solar	26
4.2.1 Scheda HMI	27
4.2.2 Gateway PLC.....	29
4.2.3 Termostato T-Flex	29
4.2.4 Modulo Wi-Fi (REM 4)	33
5 Determinazione dei possibili scenari applicativi	34
5.1 Caso Italiano	34
5.1.1 Introduzione ai contatori Open Meter	35
5.2 Caso estero	38
5.2.1 Chain2Gate Energy Meter	38
6 Studio e analisi delle funzionalità di Chain 2 e contatori 2G	40
6.1 Presentazione dei possibili profili utente.....	42
6.2 Determinazione dei dati necessari per il progetto.....	43
6.3 Sicurezza durante la trasmissione dei dati.....	46

6.4 Definizione dei dati utili	47
6.4.1 Calcolo delle informazioni Base	47
6.4.2 Calcolo delle informazioni Avanzate	48
7 Studio della logica di controllo Powerflex.....	49
7.1 Sleep State.....	50
7.2 Power supplied state.....	50
7.2.1 Lockout: gestione degli errori	53
7.2.2 Normal.....	56
8 Sviluppo software.....	61
8.1 Indirizzamento delle variabili: creazione dei nuovi DGTO	62
8.1.1 Modifica del codice per l'inserimento dei nuovi DGTO	66
8.2 Scrittura e modifica codice per attivazione modulo Wi-Fi.....	68
8.3 Scrittura e modifica codice HMI.....	71
8.4 Scrittura e modifica codice per ricezione dati tramite PowerLine.....	78
9 Log dei dati e conclusioni	86
Indice delle figure.....	90
Indice delle tabelle	91
Bibliografia	92

1 L'azienda – Ariston Group

Ariston Group (Figura 1) è una multinazionale italiana che detiene una posizione di leadership nel mercato globale del comfort termico hi-tech e sostenibile per spazi residenziali e commerciali.

Il Gruppo Ariston opera in tre diversi settori, offrendo una gamma completa di prodotti, sistemi e servizi, collaborando principalmente con i marchi globali Ariston ed ELCO, e operando con marchi nazionali leader come Chaffoteaux, ATAG, Racold, Calorex, NTI, HTP, nonché Ecoflam e Thermowatt in bruciatori e componenti.

L'azienda conta 68 società operative e 5 uffici di rappresentanza in 42 paesi, 23 siti produttivi e 25 centri di competenza e ricerca e sviluppo in 4 continenti.

L'ambizione di Ariston Group è di diventare il partner globale di riferimento nel comfort termico basato su tecnologie rinnovabili e ad alta efficienza. Il Gruppo, attualmente, gode di una forte e consolidata presenza in Europa e nei Paesi emergenti, nonché di una posizione sempre più solida in Nord America e nelle economie emergenti di Asia, Medio Oriente e Africa [1].



Figura 1 - Logo Ariston Group

1.1 La storia

Aristide Merloni fonda le Industrie Merloni nelle Marche, avviando la produzione di bilance. Negli anni Sessanta, con quasi 600 dipendenti e 5 stabilimenti, l'Azienda inizia la produzione di bombole a gas e scaldacqua elettrici. In un periodo di intensa crescita durante gli anni Settanta, viene creato il marchio Ariston e l'azienda diventa leader nel segmento degli scaldacqua italiani, espandendosi nei principali mercati dell'Europa occidentale.

Già leader di mercato nel riscaldamento dell'acqua, nel corso degli anni Ottanta l'Azienda entra nel settore del riscaldamento e inizia a produrre caldaie. Con la creazione di filiali in Europa orientale e Asia, la Società consolida la sua leadership globale nel riscaldamento e nel riscaldamento dell'acqua. Negli anni Novanta acquisisce Racold, la più grande azienda di riscaldamento dell'acqua in India, e apre la sua prima fabbrica interamente di proprietà in Cina. Il Gruppo acquisisce una serie di aziende e marchi storici nel settore del riscaldamento e dei bruciatori, come Chaffoteaux, ELCO, Cuenod ed

Ecoflam (Figura 2), e apre un nuovo stabilimento a San Pietroburgo, in Russia. A seguito di questa crescita, il Gruppo cambia nome in Ariston Thermo e diventa uno dei leader mondiali nel settore del riscaldamento dell'acqua e degli ambienti, con una gamma completa di prodotti, sistemi e servizi.



Figura 2 - Marchi acquisiti da Ariston

Ariston Thermo continua a crescere, sia attraverso acquisizioni che attraverso il raggiungimento di importanti traguardi in siti storici: NTI – brand leader in Canada e tra i leader negli USA nel segmento delle caldaie a condensazione – entra a far parte del Gruppo con prodotti e servizi famosi per la qualità e l'affidabilità, mentre in Italia gli stabilimenti di Arcevia e Osimo si aggiudicano l'ambita medaglia di bronzo del World Class Manufacturing. Laurent Jacquemin assume la carica di Amministratore Delegato del Gruppo e viene fondata ad Agrate, in Italia, Ariston Thermo Innovative Technologies, centro di ricerca per soluzioni all'avanguardia sul mercato globale del comfort termico.

Ariston Thermo raggiunge un accordo, nel 2018, con Whirlpool per la reindustrializzazione del sito di Albacina per la costituzione di un centro di competenza per la progettazione e la produzione di tecnologie avanzate di comfort termico alimentate da energie rinnovabili. Il Gruppo, quindi, lancia "The Ariston Comfort Challenge" (Figura 3), la prima campagna globale per il marchio Ariston che esprime al meglio i valori fondamentali del Gruppo: innovazione, comfort, sostenibilità energetica ed efficienza.

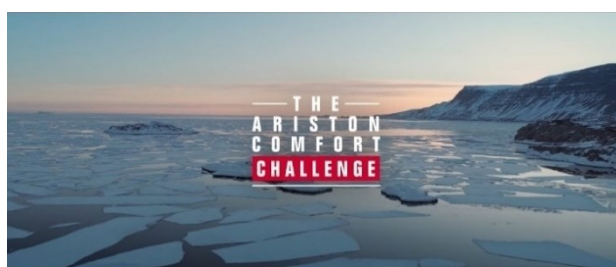


Figura 3 - The Ariston Comfort Challenge

Ariston Thermo acquisisce nel 2019 il 100% di Calorex, azienda leader in Messico che offre soluzioni di riscaldamento dell'acqua per i settori residenziale e commerciale e che è licenziataria autorizzata del marchio American Standard negli USA, consolidando così la propria presenza nel continente americano. Nello stesso anno, lo stabilimento Ariston Thermo di Cerreto D'Esi, specializzato nella produzione di scaldabagni elettrici, riceve la medaglia di bronzo World Class Manufacturing (WCM, Figura 4).



Figura 4 - premio World Class Manufacturing

Nel 2020 l'Azienda celebra il 90° anniversario dalla sua fondazione, un'occasione per sottolineare i valori della stessa. In un anno così significativo e difficile a causa della pandemia, ha avviato una serie di attività di CSR (Corporate Social Responsibility) a livello globale per supportare diversi stakeholder nella lotta al Covid-19. Ariston Thermo sigla, inoltre, un accordo con il Politecnico di Milano e la Fondazione Politecnico di Milano per ampliare e rendere più strategiche le aree di collaborazione già in atto nella ricerca e nell'innovazione tecnologica per lo sviluppo di soluzioni sostenibili nel settore del comfort termico.

Nell'ottobre del 2021 Ariston Thermo cambia nome per diventare Ariston Group: tale cambiamento sottolinea il ruolo centrale di tutti i marchi che il Gruppo ha acquisito nel corso della sua lunga storia, marchi e organizzazioni che hanno arricchito nel tempo l'offerta dell'Azienda e la sua presenza globale.

Il brand lancia poi la sua nuovissima campagna di comunicazione, "Un comfort sostenibile inizia da casa", per affermarsi come specialista in soluzioni di riscaldamento e acqua calda e per consolidare il proprio ruolo cruciale nella transizione verso la sostenibilità.

Nello stesso mese, Ariston Group firma un accordo per l'acquisizione di Chromagen, società israeliana leader nelle soluzioni di acqua calda rinnovabile che ha sede in Israele e due filiali in Australia e Spagna, oltre a una solida rete di distributori che aiutano a servire i clienti in circa 35 paesi in tutto il mondo. Con l'acquisizione, il Gruppo rafforza ulteriormente la propria posizione competitiva nel segmento delle energie rinnovabili.

In Figura 5 una mappa rappresentante la presenza di Ariston a livello globale:

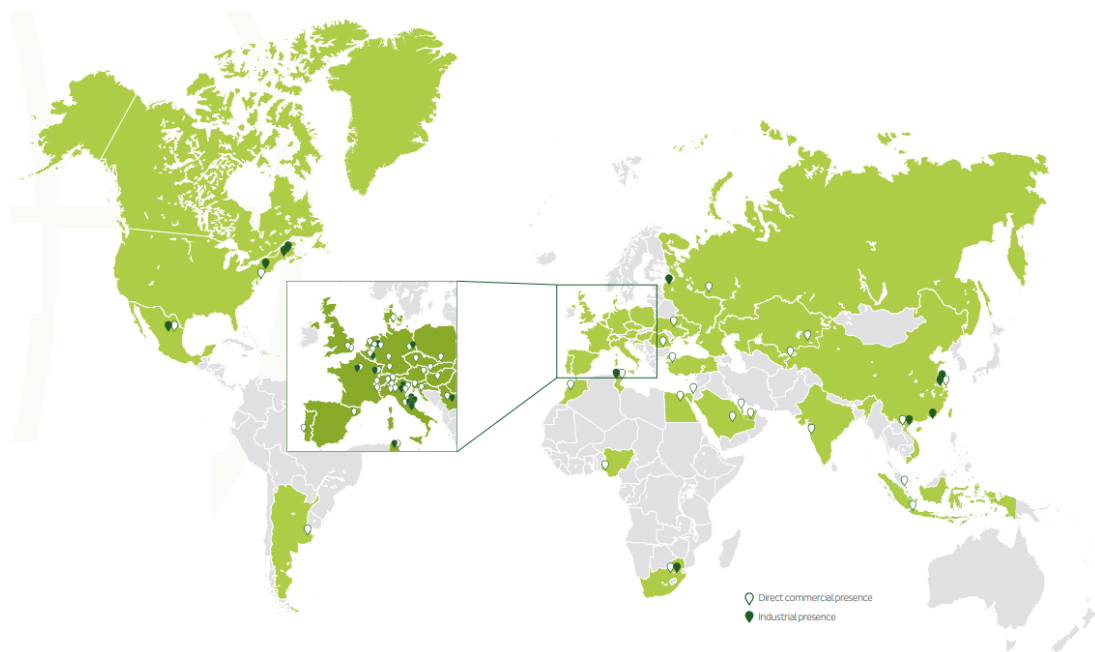


Figura 5 - Ariston nel mondo

1.2 I prodotti

Ariston Group opera in tre diversi settori: bruciatori, componenti e comfort termico, quest'ultimo rappresenta la macro-area di lavoro ed è proprio in quest'area che si colloca il prodotto oggetto di questa tesi (scaldabagno Powerflex Solar). Tuttavia, il numero di articoli presentati e attualmente venduti dall'azienda è molto ampio e si suddivide in diverse categorie.

Pompe di calore

Si tratta di pompe di calore elettriche che riducono i consumi energetici fino al 55% rispetto alle caldaie tradizionali. Di seguito vengono presentati alcuni esempi [2]:

- Nimbus NET (Figura 6) è la gamma Ariston delle pompe di calore 3 in 1 per il riscaldamento degli ambienti e dell'acqua e per il raffrescamento con elevate prestazioni energetiche fino a classe energetica A+++, sfruttando al 100% una fonte rinnovabile, l'aria.



Figura 6 - Nimbus Net

- Arianext LINK (Figura 7) è la linea di pompe di calore CHAFFOTEAUX che forniscono riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria per un comfort termico ottimale. Offre le migliori prestazioni della classe energetica (etichetta A+++) ed un eccellente comfort acustico, in tutte le condizioni ambientali.



Figura 7 - Arianext Link

Caldaie

Si parla di caldaie a condensazione che riducono i consumi energetici fino al 35% rispetto alle caldaie tradizionali. Tra queste, la serie ONE è la gamma di caldaie a condensazione di Ariston, studiata per garantire a lungo performance avanzate:

- Alteas One (Figura 8) è tra i vincitori del Good Design Award 2016 e si distingue per il design innovativo, la ricercatezza dei materiali, come il vetro nero, e l'attenzione per i dettagli, come il nuovo display full touch screen.



Figura 8 - Alteas One

- Come soluzioni di media e alta potenza (fino a 1890 kW), ELCO propone le caldaie a gas a condensazione all'avanguardia TRIGON XL e TRIGON XXL (Figura 9), garantendo alte prestazioni e bassi consumi in un pacchetto modulare intelligente, in grado di soddisfare anche le più elevate esigenze di riscaldamento.



Figura 9 - Trigon XL (sx) e Trigon XXL (dx)

Bruciatori

Elco, Cuenod, Ecoflam e BCE forniscono una gamma completa di bruciatori equipaggiati con le migliori tecnologie di combustione disponibili sul mercato. L'intera produzione resta sempre aggiornata sull'introduzione di nuove normative internazionali sulle emissioni inquinanti, e l'azienda si impegna a proporre prodotti che combinano alte prestazioni a basso consumo energetico, basse emissioni di NOx e ridotto livello di rumorosità [3].

Grazie a questa ampia offerta, la Divisione Bruciatori è in grado di soddisfare le richieste di qualsiasi tipo di applicazione: dal riscaldamento residenziale all'industria di processo, dalla generazione di energia all'industria chimica, dal mondo della raffinazione alla grande industria manifatturiera.

Scaldabagni

Si tratta di scaldabagni elettrici e a gas ad alta efficienza che riducono i consumi energetici fino al 20% rispetto agli scaldabagni tradizionali. Di seguito si riportano alcune proposte Ariston [4]:

- Velis (Figura 10) è uno scaldabagno elettrico che grazie alla tecnologia innovativa dei doppi serbatoi connessi tra di loro permette di raggiungere la temperatura ideale per la prima doccia in soli 50min. Inoltre, grazie alla presenza del modulo wi-fi è possibile controllare il prodotto ovunque (tramite app) ed abilitare funzioni aggiuntive per sfruttare al massimo le performance del prodotto riducendo i consumi fino al 25%.



Figura 10 - Velis

- Andris (Figura 11) è uno scaldabagno elettrico ad accumulo di piccole capacità (6, 10, 15 e 30 litri). Le dimensioni compatte di questa gamma ne facilitano l'installazione anche negli spazi più piccoli garantendo velocità di riscaldamento ed alta efficienza energetica.



Figura 11 - Andris

Ariston è inoltre molto attiva nel campo delle energie rinnovabili e per questo propone diverse soluzioni nel campo del solare termico che sono in grado di soddisfare fino al 70% del fabbisogno di acqua calda:

- Kairos Combi è un sistema che combina l'integrazione dell'energia solare con il riscaldamento istantaneo dell'acqua.
- Kairos Macc è il bollitore solare integrato, che usa energia solare per il riscaldamento dell'acqua e possiede un avanzato sistema di controllo che ottimizza l'uso dell'energia solare.

1.3 Comfort eco-sostenibile

Come appena evidenziato, quello della sostenibilità energetica è un punto fondamentale per la politica aziendale Ariston che si sta muovendo sempre più verso la realizzazione di prodotti che rispettino le nuove normative e che possano costituire una soluzione sostenibile e ad alta efficienza.

Il 18 giugno 2020 il Parlamento europeo ha adottato il regolamento UE 2020/852 che istituisce un quadro per gli investimenti sostenibili e che modifica il precedente regolamento UE 2019/2088. Il regolamento sulla tassonomia rappresenta una risposta europea alle attuali sfide climatiche e ambientali e contribuisce agli obiettivi del Green Deal europeo istituendo un primo sistema di classificazione per le attività economiche sostenibili, mirando così ad aumentare la trasparenza e la coerenza nella classificazione di tali attività e a limitare il rischio di frammentazione nei mercati rilevanti e di greenwashing (ossia, una strategia di comunicazione finalizzata a costruire un'immagine di sé ingannevolmente positiva sotto il profilo dell'impatto ambientale, allo scopo di distogliere l'attenzione dagli effetti negativi per l'ambiente dovuti alle proprie attività o ai propri prodotti).

Il regolamento stabilisce i criteri per determinare se un'attività economica può essere considerata ecosostenibile o meno. In conformità all'articolo 8 dell'Atto Delegato emanato il 4 giugno 2021, per il primo anno di applicazione, le imprese sono tenute ad analizzare il loro potenziale contributo ("ammissibilità") ai primi due obiettivi climatici: mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici.

Ariston Group, leader nel mercato globale del comfort termico per spazi domestici, commerciali e industriali, dispone di una vasta gamma di prodotti e servizi. Insieme ai propri prodotti, il Gruppo offre servizi specifici per l'installazione e la manutenzione degli impianti di riscaldamento [5]. Le sue attività possono essere suddivise in tre settori principali:

- Bruciatori;
- Componenti;
- Comfort termico: possono essere classificati in prodotti per il riscaldamento dell'acqua (pompe di calore, solare, scaldabagni elettrici istantanei e ad accumulo ecc.) e prodotti per il riscaldamento degli ambienti (caldaie, aria condizionata, termostati ecc.);

Solo le attività relative al settore del comfort termico sono state classificate come "Tassonomia ammissibile" o "ammissibile", mentre i bruciatori e i componenti sono stati considerati "Tassonomia non ammissibili", sulla base del fatto che non è stata identificata alcuna perfetta integrazione con gli allegati I e II dell'atto delegato sul clima.

Le attività ammissibili del Gruppo sono associate alla produzione di apparecchiature per l'efficienza energetica degli edifici, con l'installazione, la riparazione e la manutenzione di pompe di calore elettriche, apparecchiature per l'efficienza energetica, dispositivi per la misurazione, la regolazione e il controllo delle prestazioni energetiche degli edifici e tecnologie per le energie rinnovabili.

In termini di contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici, oltre all'installazione ed al funzionamento di pompe di calore elettriche, tutte le altre attività ammissibili sono classificate come possibili fattori abilitanti affinché altre attività diventino a basse emissioni di carbonio o portino a riduzioni dei gas a effetto serra a norma dell'articolo 10, paragrafo 1, lettera i, del regolamento (UE) 2020/852. L'installazione e il funzionamento di pompe di calore elettriche è considerata un'attività di transizione, il che significa che contribuisce direttamente alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

Le attuali definizioni disponibili incluse nella tassonomia dell'UE sono formulate in modo ampio, il che porta le imprese a dover interpretare il modo in cui ciò si applica alle proprie attività commerciali e il loro impatto sull'ammissibilità. Alla nostra conoscenza e comprensione, abbiamo applicato giudizi, interpretazioni e ipotesi basate sulle informazioni attualmente disponibili.

Il Gruppo ha già iniziato ad analizzare tutti gli altri requisiti e criteri (DNSH e Minimum Safeguards) necessari per definire l'allineamento con la Tassonomia UE. Una prima valutazione interna di tali criteri con i dipartimenti competenti è attualmente in corso per identificare le principali lacune e definire quali azioni immediate sono necessarie per garantire un migliore allineamento con i criteri per il prossimo anno di rendicontazione.

Nel 2021, Ariston Group ha inoltre collaborato con Acciaieria Arvedi [5], uno dei principali produttori di acciaio in Europa più impegnati nella decarbonizzazione con un tasso di riciclaggio dei sottoprodotti del 90%, superiore alla media dell'UE. Per ridurre le emissioni dirette di gas serra generate durante la produzione, Arvedi sta aumentando la circolarità dei suoi prodotti classificando e riciclando i sottoprodotti. Ariston Group vende i propri sottoprodotti in acciaio di scarto ad Arvedi, tra gli altri, e poi li riacquista come acciaio raffinato. Gli stabilimenti Ariston di Genga e Cerreto hanno venduto oltre 2.000 tonnellate di sottoprodotti nel 2021 e acquisteranno lamiera, parzialmente prodotta con i propri rottami di acciaio.

2 Obiettivi e specifiche del progetto

Il progetto presentato in questa tesi riguarda lo sviluppo del software di un nuovo scaldabagno per la linea Ariston: il Powerflex Solar. In particolare, inizialmente, mi sono concentrata sullo studio dell'architettura di uno scaldabagno attualmente prodotto dal gruppo, di nuovi dispositivi e tecnologie che verranno utilizzate al fine della realizzazione del nuovo prodotto e che saranno presentate nei capitoli successivi e infine sono passata allo sviluppo effettivo del software per la definizione e il controllo del comportamento dello scaldabagno.

Questo nuovo dispositivo si colloca nell'ottica della sostenibilità energetica cercando di portare ad un maggiore utilizzo di quella che è, attualmente, la maggiore fonte di energia rinnovabile: il fotovoltaico.

Esso riprende la struttura di uno scaldabagno già esistente (il Powerflex) al quale però abbiamo aggiunto nuove funzionalità lato software per far sì che esso sia in grado, non solo di comportarsi come un normale scaldabagno, ma anche di operare la funzione di batteria termica.

Le specifiche tecniche che abbiamo seguito, infatti, richiedono che il nuovo scaldabagno sia inserito nel contesto di un'utenza che possiede un impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica e che mantenga le funzionalità del prodotto da cui nasce prevedendo però anche una nuova modalità operativa, la modalità Eco Solar.

Per realizzare questa modalità è stato necessario sviluppare una nuova parte di software che permette allo scaldabagno di andare ad acquisire le informazioni inviate in quasi real-time dai contatori, tramite i quali esso è connesso, da un lato all'impianto fotovoltaico e dall'altro alla rete elettrica, e procedere poi ad analizzarle, così da determinare la presenza di un eventuale eccesso di potenza prodotta rispetto a quella consumata dall'utenza. Nel caso in cui questa condizione si verifichi, il dispositivo deve essere in grado di interrompere il suo normale funzionamento e procedere all'attivazione dell'elemento riscaldante per portare l'acqua nel serbatoio ad una temperatura da noi decisa e preimpostata durante la stesura del codice.

Tale operazione fa sì che l'acqua contenuta all'interno del serbatoio sia subito disponibile nel caso di una richiesta da parte dell'utente (riducendo così i tempi di attesa) e inoltre permette di avere una riserva di acqua già calda per quei momenti, come ad esempio la notte, in cui l'impianto fotovoltaico non è in grado di generare potenza.

Per poter soddisfare le specifiche tecniche, il Powerflex Solar deve essere in grado di comunicare con due contatori intelligenti di seconda generazione (contatori Open Meter). Tali contatori saranno due in ogni installazione poiché uno di questi serve per la comunicazione dei dati relativi alla potenza

prelevata e immessa, da e verso la rete elettrica nazionale (contatore M1) e l'altro serve invece per la ricezione dei dati provenienti dall'impianto fotovoltaico (contatore M2).

Questi nuovi contatori rappresentano un grande passo in avanti nel loro campo in quanto sono in grado di comunicare tramite Power Line (Power Line Communication) ossia di inviare all'utente le informazioni da loro raccolte, attraverso la rete elettrica in quasi real-time. I due contatori, quindi, forniranno allo scaldabagno tutti i dati relativi alla produzione (caso del contatore verso il fotovoltaico) ed al consumo o immissione (caso del contatore verso la rete elettrica nazionale) di energia elettrica del relativo impianto.

In Figura 12 è rappresentato lo schema generico di un'utenza con impianto fotovoltaico e scaldabagno Powerflex Solar, è possibile vedere la presenza dei due contatori che operano separatamente ma che permettono di ottenere tutte le informazioni che ci consentono di adattare il comportamento del prodotto al profilo di consumo dell'utente.

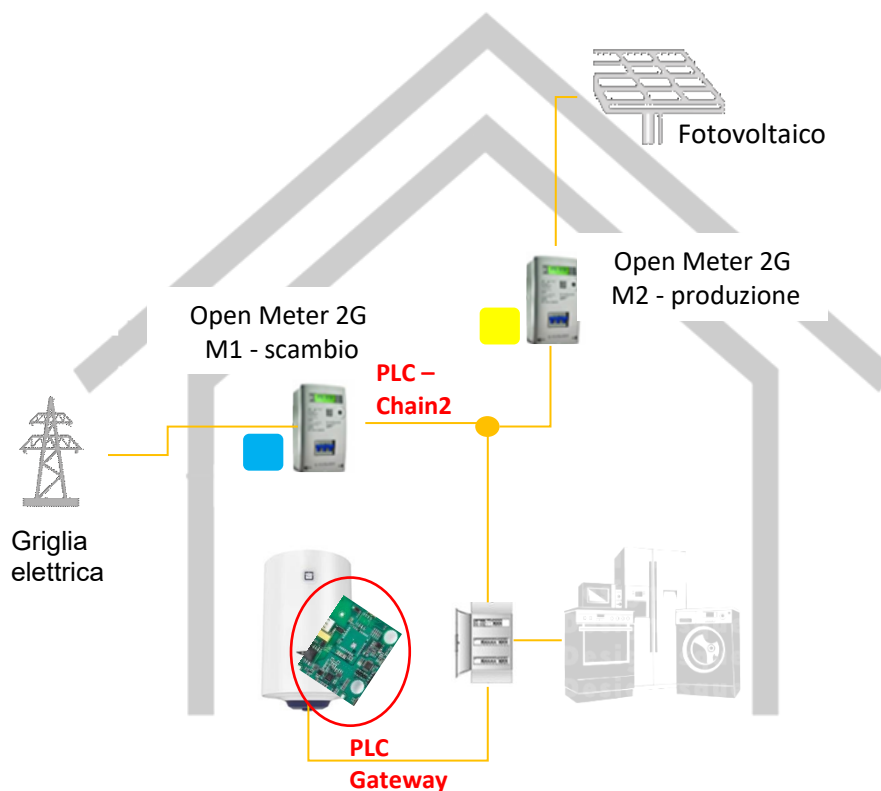


Figura 12 - Esempio di Applicazione domestica

3 Le energie rinnovabili

Le fonti di energia rinnovabile (Figura 13) sono fonti energetiche non soggette ad esaurimento in quanto naturalmente reintegrate in una scala temporale umana tramite processi fisici, come ad esempio avviene per la luce solare, il vento, le onde e il calore geotermico, o chimici, come avviene per la biomassa. Le energie rinnovabili trovano applicazione nella produzione di energia elettrica, nel riscaldamento e raffreddamento degli ambienti ecc.

Le fonti di energia considerate "inesauribili", sono quelle che si rigenerano allo stesso ritmo, o superiore, a quello con cui vengono consumate oppure che non sono esauribili nella scala dei tempi "geologici" [6]. Fanno eccezione quelle risorse che pur essendo rinnovabili possono risultare esauribili, come le foreste, i cui alberi ricrescono ma possono esaurirsi a causa di un eccessivo ritmo di deforestazione. Queste risorse energetiche sono alla base della cosiddetta "*politica verde*" che prevede un loro sfruttamento, senza pregiudicare le medesime possibilità da parte delle generazioni future.



Figura 13 - Energie rinnovabili

Le energie rinnovabili, assieme all'energia nucleare, sono dunque fonti di energia alternative alle tradizionali fonti fossili e molte di esse hanno la peculiarità di non immettere nell'atmosfera sostanze inquinanti e/o ad effetto serra (come la CO₂).

Poiché la maggior parte delle fonti rinnovabili è sfruttabile per produrre energia elettrica, l'impiego di queste energie viene spesso applicato in concomitanza con un'ulteriore elettrificazione, che presenta diverse peculiarità: l'elettricità può essere convertita in calore (come nel caso presentato in questa tesi), o in energia meccanica ad alta efficienza.

Ai fini del progetto presentato è bene concentrarsi maggiormente su quella che è la più abbondante fonte di energia rinnovabile: l'energia solare.

La quantità di energia solare che arriva sul suolo terrestre è molto elevata, circa diecimila volte superiore a tutta l'energia usata dall'umanità nel suo complesso, ma poco concentrata, ossia è necessario raccogliere energia da aree molto vaste per averne quantità significative, e piuttosto difficile da convertire in energia facilmente sfruttabile con efficienze accettabili.

L'energia solare, tuttavia, negli ultimi anni viene impiegata sempre di più sia per medi (MW) che per piccoli (pochi kW) impianti di produzione. Ciò è dovuto al fatto che tale soluzione presenta molti vantaggi, come ad esempio il fatto che tutti i luoghi della terra ricevono una radiazione solare prevedibile e che gli impianti solari sono dimensionabili a piacimento, non hanno parti in movimento e richiedono una manutenzione quasi nulla.

3.1 Il fotovoltaico per fare auto-consumo

La necessità di presentare quello che è un generico impianto fotovoltaico nasce dal fatto che lo scaldabagno progettato per questa tesi può essere sfruttato anche come una batteria termica per immagazzinare l'energia in surplus prodotta, appunto, dal fotovoltaico.

Il prodotto sviluppato, come già anticipato, quando rileva che c'è un eccesso di potenza prodotta rispetto a quella richiesta dall'utenza, va a scaldare l'acqua contenuta nel serbatoio. Ciò permette, in particolare, di andare a compensare una delle maggiori debolezze del fotovoltaico, ossia che quest'ultimo è in grado di produrre corrente solo quando c'è energia solare incidente. Con l'utilizzo di questa funzionalità dello scaldabagno è invece possibile immagazzinare acqua calda e conservarla per quei momenti in cui non è possibile auto produrre.

3.1.1 L'effetto fotovoltaico

Un impianto fotovoltaico è un impianto elettrico costituito dall'assemblaggio di più moduli fotovoltaici che sfruttano l'energia solare per produrre energia elettrica mediante effetto fotovoltaico [7]. Esistono diversi tipi di pannelli fotovoltaici ma tutti hanno in comune un obiettivo finale che è quello di incentivare l'autoconsumo sia per piccole che per medie e grandi utenze ed arrivare ad un consumo di energia sempre più sostenibile.

La conversione della radiazione solare in energia elettrica avviene sfruttando l'effetto prodotto da un flusso luminoso che incide su un materiale semiconduttore (quattro elettroni di valenza), quando

quest'ultimo incorpora, in un lato, atomi di drogante di tipo p (tre elettroni di valenza) e nell'altro, atomi di tipo n (cinque elettroni di valenza).

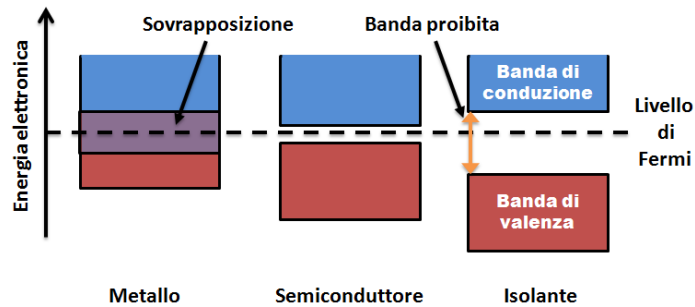


Figura 14 - Bande di valenza e conduzione

Nel caso di semiconduttori, il gap energetico che c'è fra banda di valenza e banda di conduzione (Figura 14) è basso e pertanto la conduzione può avvenire una volta fornito un certo potenziale che, nel caso del fotovoltaico, viene generato dalla radiazione solare incidente sul pannello.

Quando, infatti, un flusso luminoso investe il reticolo cristallino di un semiconduttore, si verifica la transizione in banda di conduzione di un certo numero di elettroni al quale corrisponde un egual numero di lacune che passa in banda di valenza. Si rendono pertanto disponibili portatori di carica, che possono essere sfruttati per generare una corrente.

Per realizzare ciò è necessario creare un campo elettrico interno alla cella, stabilendo, come detto precedentemente, un eccesso di atomi caricati negativamente in una parte del semiconduttore (drogaggio di tipo n) ed un eccesso di atomi caricati positivamente (drogaggio di tipo p) nell'altro. Questo meccanismo generalmente viene realizzato inserendo atomi del terzo gruppo, come ad esempio il boro, e del quinto gruppo per ottenere rispettivamente una struttura di tipo p ed una di tipo n.

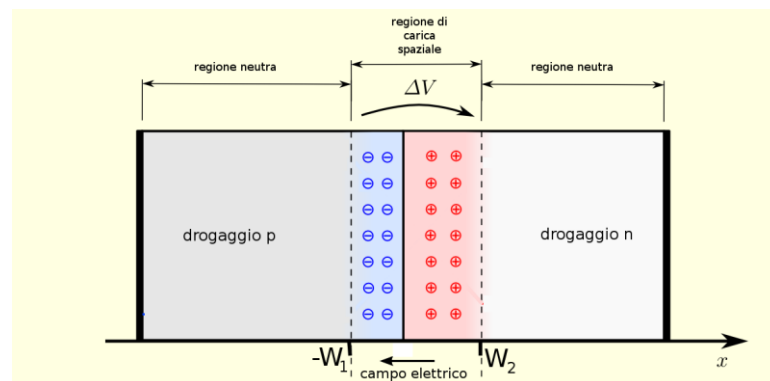


Figura 15 - Giunzione p-n

Lo strato drogato n presenta una carica negativa debolmente legata, costituita da un elettrone in eccesso per ogni atomo drogante, quello drogato p presenta invece un eccesso di carica positiva, data dalle lacune degli atomi droganti. La zona di separazione tra i due strati viene chiamata giunzione p-n (Figura 15).

Mettendo a contatto i due materiali così ottenuti, si viene a verificare un flusso di diffusione di elettroni dalla zona n alla zona p e di lacune in direzione opposta, fino al raggiungimento dell'equilibrio elettrostatico, che determina un eccesso di carica positiva nella zona n, un eccesso di elettroni nella zona p e una regione intermedia detta regione di svuotamento. Il risultato è un campo elettrico interno al dispositivo (tensione di *built-in*) che si estende a cavallo della regione di svuotamento, generalmente spessa pochi micrometri.

Se viene illuminata con fotoni la giunzione dalla parte n, si creano delle coppie elettrone-lacuna sia nella zona n che nella zona p. Il campo elettrico di built-in permette di dividere gli elettroni in eccesso (ottenuti dall'assorbimento dei fotoni da parte del materiale) dalle lacune, e li spinge in direzioni opposte gli uni rispetto agli altri. Gli elettroni, una volta oltrepassata la zona di svuotamento non possono quindi più tornare indietro, perché il campo impedisce loro di invertire il verso di propagazione. Connettendo la giunzione con un conduttore esterno, si otterrà un circuito chiuso nel quale il flusso di elettroni parte dallo strato n, a potenziale maggiore, verso lo strato p, a potenziale minore, fino a quando la cella resterà esposta alla luce solare.

3.1.2 Possibili applicazioni: Comunità Energetica e Autoconsumo collettivo

L'unione Europea, nell'ambito del pacchetto di misure "Energia pulita per i cittadini europei", ha diffuso una direttiva per la promozione dell'utilizzo di fonti rinnovabili, riconoscendo in particolare i modelli di autoconsumo collettivo e comunità energetica. Questi due tipi di aggregazioni di autoconsumatori di energia elettrica stanno pian piano iniziando a prendere piede e sono una perfetta applicazione nella quale inserire lo scaldabagno sviluppato in questo progetto.

La Comunità Energetica

La comunità energetica (Figura 16) è un'associazione tra cittadini, attività commerciali, pubbliche amministrazioni locali o piccole e medie imprese che decidono di unire le proprie forze per dotarsi di uno o più impianti condivisi per la produzione e l'autoconsumo di energia da fonti rinnovabili [8].

Il primo passo da compiere è la costituzione di un'entità legale tra i futuri soci della comunità e dal momento che, per legge, lo scopo di una comunità energetica non può essere il profitto, generalmente le forme più utilizzate sono quelle dell'associazione non riconosciuta o della cooperativa.



Figura 16 - Comunità Energetica

Una volta formata questa entità, è necessario individuare l'area dove installare l'impianto (o gli impianti) di produzione, che dev'essere in prossimità dei consumatori. Questo significa, per esempio, che un condominio può installare un impianto fotovoltaico sul tetto e condividere l'energia prodotta tra tutti gli appartamenti che hanno scelto di far parte della comunità. L'impianto non deve necessariamente essere di proprietà della comunità: può essere messo a disposizione da uno solo o più dei membri partecipanti o addirittura da un soggetto terzo.

Non appena viene messo in esercizio l'impianto, la comunità può fare istanza al Gestore dei Servizi Energetici (GSE) per ottenere gli incentivi previsti dalla legge per l'energia condivisa. Tuttavia, tali incentivi non sono riconosciuti a tutta l'energia prodotta, ma solo a quella condivisa all'interno della comunità, cioè a quella consumata dai membri nella stessa fascia oraria di produzione, quindi, se la produzione dovesse essere superiore al consumo, per l'energia eccedente verrebbe riconosciuto alla comunità il solo valore economico dell'energia, senza ulteriori benefici.

In queste situazioni, quindi, si rivela utile il possesso di un dispositivo come quello presentato in questo progetto, il quale permette l'accumulo di energia elettrica per poterla sfruttare nei momenti di necessità senza dover prelevare corrente dalla rete elettrica nazionale.

L'Autoconsumo Collettivo

È definito autoconsumo collettivo (Figura 17) il consumo di un gruppo di almeno due auto-consumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente e si trovano nello stesso edificio o condominio [9]. In altri termini è definito auto-consumatore collettivo un cliente finale che, operando in propri siti, entro confini definiti, produce energia elettrica rinnovabile da impianti di potenza non superiore a 200 MW (dal 15 dicembre 2021 tale valore è sceso ad 1 MW), ubicati nel medesimo edificio o condominio, per il proprio consumo e che può immagazzinare e vendere energia elettrica rinnovabile auto prodotta purché, per un auto-consumatore diverso dai nuclei familiari, tali attività non costituiscano l'attività commerciale o professionale principale.

Ogni utente che partecipa all'autoconsumo collettivo dispone di un proprio contatore, impiegato per conoscere il valore di energia consumata e sarà quindi necessario un secondo contatore, utilizzato per ottenere informazioni sulla potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico e su quella immessa verso la rete e che sarà comune fra tutti gli auto-consumatori.

L'energia condivisa per l'autoconsumo è definita, in ogni ora, come "il minimo tra la somma dell'energia elettrica immessa e quella prelevata dalla rete". Tutta l'energia prodotta viene quindi riversata nella rete pubblica prima di poter essere prelevata dagli utenti.

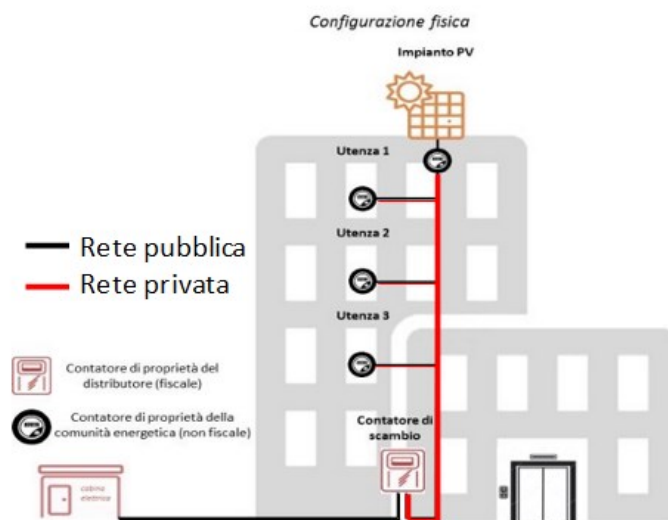


Figura 17 - Autoconsumo Collettivo

4 Presentazione dello scaldabagno

Il Powerflex Solar rappresenta per il gruppo Ariston uno scaldabagno del tutto innovativo dal punto di vista delle modalità operative, andando a collocarsi in un'ottica di sostenibilità e risparmio energetico. Tuttavia, esso, riprende la struttura e alcune funzionalità di uno scaldabagno già esistente e prodotto da Ariston Group, il Powerflex, al quale sono state apportate modifiche sia lato software, sia lato hardware per l'interfaccia utente, in modo tale da soddisfare le nuove specifiche. Prima di entrare, dunque, nella descrizione dettagliata del nuovo Powerflex Solar, è bene presentare la versione attualmente in commercio da cui esso nasce.

4.1 L'attuale Powerflex

Il Powerflex (Figura 18) è uno scaldabagno elettrico che è già inserito in un'ottica di risparmio energetico grazie alla modalità operativa Eco (la logica di funzionamento verrà presentata nel [capitolo 7.2.2.1](#)); esso, inoltre, integra il termostato T-Flex 2.0 attraverso il quale è in grado di dialogare con il contatore elettrico modulando autonomamente la potenza in base al carico della rete domestica per massimizzare le performance e minimizzare il rischio di blackout.



Figura 18 - Scaldabagno Powerflex

Lo scaldabagno, ad esempio, quando rileva che la potenza totale assorbita sta per superare il limite previsto dal contratto dell'utente, avvisa quest'ultimo tramite un segnale acustico e luminoso e va a diminuire, in autonomia, il suo assorbimento per evitare un sovraccarico.

La struttura interna del prodotto è simile fra questo e il nuovo Powerflex Solar e verrà, per questo motivo, presentata in seguito nel [capitolo 4.2](#). Nel capitolo successivo, invece, viene descritta l'interfaccia utente, che è la parte strutturale che ha subito maggiori variazioni ed essendo ad essa

strettamente legata, viene presentata anche la logica di visualizzazione degli errori che resta, però, invariata fra i due scaldabagni.

4.1.1 Aspetto e funzionamento dell'interfaccia utente

L'interfaccia utente nel caso del Powerflex (Figura 19) prevede la possibilità di:

- accendere e spegnere il dispositivo;
- impostare la temperatura desiderata utilizzando il bottone touch "set": una volta selezionata la temperatura desiderata, i led lampeggeranno in successione dalla temperatura più bassa a quella impostata dall'utente, fino a che l'acqua nel serbatoio non avrà raggiunto tale temperatura e, solo a quel punto, le luci diventeranno fisse;
- selezionare la modalità eco, in cui inizialmente lo scaldabagno setta la temperatura a quella di default e poi, con il passare del tempo, apprende informazioni dal comportamento dell'utente e modifica le impostazioni in modo da garantire un consumo ottimale e ridurre quindi gli sprechi; ad esempio, abbassa la temperatura nei momenti in cui ha registrato un basso utilizzo del prodotto, come durante la notte o nelle ore lavorative (tale logica verrà utilizzata anche nel nuovo prodotto e sarà presentata nel dettaglio in seguito, nel [capitolo 7.2.2.1](#));
- entrare in modalità diagnostica per la visualizzazione degli eventuali errori;



Figura 19 - Interfaccia Powerflex

Nel caso in cui si verificasse un errore, lo scaldabagno comunicherà il problema all'utente tramite un lampeggio di tutti i led simultaneamente. Per verificare quale sia il problema è necessario entrare in modalità diagnostica (pressione contemporanea dei tasti "set" e "on/off"): a questo punto i led smetteranno di lampeggiare e solo alcuni si accenderanno per indicare all'utente il tipo di errore che si è verificato (Tabella 1).

DGTO	Error	BITMAP	Error Code	Leds
WHE_NonVolatile_Errors	RELAY_STUCK	0x0001	E22	
	DRY_HEATING	0x0002	E25	
	NTC_LOW_OVERHEATING	0x0004	E21	
	NTC_HIGH_OVERHEATING	0x0008	E21	
	BAD_DATA_FLASH	0x0010	E01	
	CANT_UNLOCK	0x0020	E09	not displayed
WHE_Volatile_Errors	NTC_HIGH_SHORTED	0x0001	E20	
	NTC_HIGH_OPEN	0x0002	E20	
	NTC_LOW_SHORTED	0x0004	E20	
	NTC_LOW_OPEN	0x0008	E20	
	NFC_DATA	0x4000	E62	
WHE_Volatile_Warnings	HE_FAULT	0x0001	E24	
	TOUCH_COMM	0x0002	E63	not displayed
	ANODE_FAULT	0x0004	E04	
	WIFI_COMM	0x0008	E60	
	NFC_COMM	0x0010	E61	
	PL_COMM	0x0020	E64	

Tabella 1 - Errori

I problemi che possono verificarsi si dividono in tre macrocategorie: warning volatili, errori volatili ed errori non volatili. Nei primi due casi, quando si verifica un errore, lo scaldabagno, come detto precedentemente, provvede a segnalarlo tramite lampeggio di tutti i led contemporaneamente e non appena la condizione di errore non è più verificata, riprende il suo normale funzionamento uscendo dallo stato di errore.

Ciò non accade, invece, nel caso degli errori non volatili, che segnalano problemi di maggiore entità e richiedono l'intervento dell'utente per essere risolti e per permettere allo scaldabagno di riprendere il suo normale funzionamento (resta la segnalazione tramite lampeggio simultaneo di tutti i led).

Tornando alla descrizione dell'interfaccia lato utente, è possibile notare che non è presente un tasto per la connessione ad Internet, il Powerflex infatti (come anche il Powerflex Solar) non possiede un

modulo wi-fi e non è dunque possibile controllarlo da remoto né registrare il suo comportamento per eseguire un monitoraggio del prodotto. Questa funzionalità, tuttavia, è di grande interesse sia per l'utente sia per l'azienda e verrà implementata in futuro con l'obiettivo di garantire una sempre maggiore usabilità.

4.2 Struttura del nuovo Powerflex Solar

Come ogni scaldabagno, anche il nuovo Powerflex Solar, è composto da una parte meccanica e un controllo elettronico.

La prima (Figura 20) è costituita da un serbatoio metallico isolato termicamente dall'ambiente attraverso un rivestimento in poliuretano, così che possano essere ridotte le perdite, due tubi, uno di ingresso e uno di uscita (*inlet* ed *outlet tubes*) che permettono all'acqua di fluire dentro e fuori dal serbatoio; in particolare il tubo di ingresso è inserito nella parte inferiore del serbatoio e il tubo di uscita nella parte superiore.

Questa disposizione dei tubi consente di massimizzare l'accumulo di calore: infatti, man mano che si verifica un prelievo di acqua da parte dell'utente finale, l'acqua calda, che ha una densità inferiore rispetto a quella a temperatura più bassa, sale ed è disponibile subito per un'ulteriore richiesta, mentre l'acqua fredda scende dove si trovano gli elementi riscaldanti (resistenze).

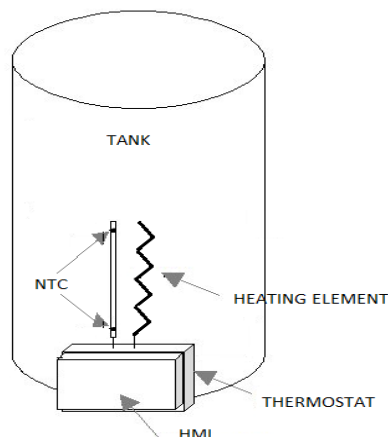
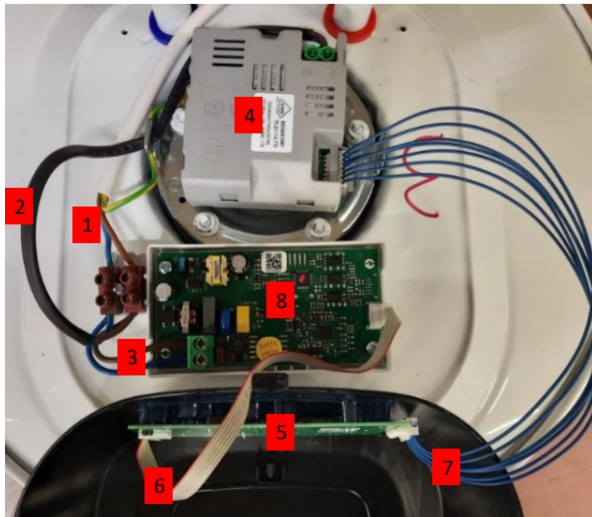


Figura 20 - Schema della struttura del serbatoio

Il secondo invece (il controllo elettronico) è formato da un insieme di sensori, attuatori, scheda controller e interfaccia utente, il tutto impostato nella parte inferiore dello scaldabagno per i vincoli di produzione.

Il controllo elettronico (Figura 21) del nuovo scaldabagno è molto simile a quello del suo predecessore ma implementa alcune nuove funzionalità a livello software che comportano una serie di modifiche anche all'interfaccia utente. Come si può vedere dall'immagine sottostante, esso è composto da tre parti principali: la scheda HMI, un Gateway PLC (Power Line Communication) e un termostato T-Flex.



1. Alimentazione
2. Collegamento di alimentazione al termostato
3. Collegamento di alimentazione al Gateway
4. termostato T-Flex
5. HMI
6. Connessione tra HMI e Gateway
7. Connessione tra HMI e termostato
8. Gateway

Figura 21 - componenti Powerflex

4.2.1 Scheda HMI

La Human Machine Interface (Figura 22) ha a bordo un microprocessore per l'elaborazione dei dati e la gestione dei comandi forniti dall'utente. Quest'ultimo tramite il touch screen può impostare la temperatura o la modalità operativa desiderata e i led a bordo della scheda andranno a segnalare lo stato dello scaldabagno in quel momento. In caso di errore, diverse combinazioni di led accessi staranno ad indicare errori diversi e lo schema di segnalazione è lo stesso visto precedentemente per lo scaldabagno Powerflex ([capitolo 4.1.1](#)).



Figura 22 - Scheda HMI

Di seguito sono riportate le connessioni stabilite da tale modulo:

- comunicazione UART con il Gateway PLC (HMI = slave, gateway PLC = master, baudrate = 9600 bps);
- Controllo per attivare/disattivare l'elemento riscaldante;
- Display management e interazione con l'utente;
- comunicazione NFC con dispositivi esterni;

Essa possiede inoltre un supercap ossia una piccola batteria che è in grado, nel caso di mancanza di alimentazione, di tenere in memoria alcuni dati e lo stato dello scaldabagno per un certo intervallo temporale così da poter ripartire (con le informazioni cruciali) dal punto in cui la sessione è stata interrotta.

Le modifiche che abbiamo apportato però non comportano solo un cambiamento del comportamento dello scaldabagno ma anche una variazione dell'aspetto esterno dell'interfaccia grafica del prodotto (Figura 23):

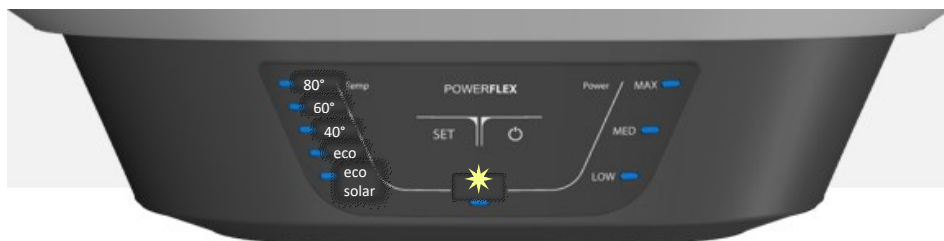


Figura 23 - Prototipo interfaccia utente Powerflex Solar

La logica di funzionamento (selezione della modalità o della temperatura, ingresso in diagnostica ecc) resta però la stessa del Powerflex (presentata nel [capitolo 4.1.1](#)) così come anche la rappresentazione degli errori tramite led e la loro divisione in tre macrocategorie.

4.2.2 Gateway PLC

Questo dispositivo (Figura 24) è una scheda dotata di microprocessore ed è stata pensata per essere in grado di comunicare tramite PLC (Power Line Communication) con i due contatori Open Meter di seconda generazione ([capitolo 5.1.1](#)).

La Power Line Communication è una tecnologia per la trasmissione di voce o dati che utilizza la rete di alimentazione elettrica come mezzo trasmissivo. Questo tipo di comunicazione si realizza sovrapponendo al trasporto di corrente elettrica, continua o alternata a bassa frequenza (50 Hz in Europa), un segnale a frequenza più elevata che è modulato dall'informazione da trasmettere.

La separazione dei due tipi di corrente si effettua grazie al filtraggio e alla separazione degli intervalli di frequenza utilizzate [10]. I contatori Open Meter sfruttano proprio questa tecnologia e procedono, quindi, all'invio tramite Power Line, dei messaggi contenenti tutti i dati relativi al consumo/produzione.

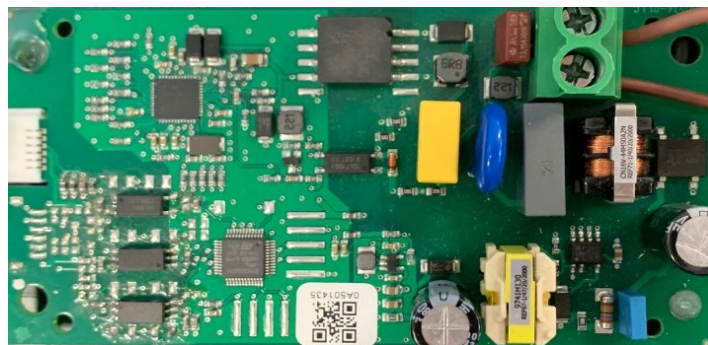


Figura 24 – Gateway

Il Powerflex Solar però non è in grado, da solo, di decifrare tali messaggi ed è quindi necessario collegarlo al Gateway PLC per la corretta ricezione dei dati.

I pacchetti inviati tramite rete elettrica dai due Open Meter e ricevuti quindi dal gateway vengono immediatamente trasferiti alla scheda HMI che è in grado di utilizzarli per l'analisi dei consumi dell'utente e della produzione di corrente elettrica da parte dell'impianto fotovoltaico.

4.2.3 Termostato T-Flex

Questo dispositivo (Figura 25) non possiede nessun tipo di intelligenza a bordo e non è quindi in grado di controllare l'elemento riscaldante (fisicamente connesso al termostato), che viene attivato o

disattivato dalla scheda HMI a seconda delle necessità, né di elaborare i dati provenienti dai sensori. Tuttavia, è il termostato a fornire alimentazione alle altre due schede.



Figura 25 - Termostato T-Flex

Inoltre, il Tflex permette allo scaldabagno di lavorare a potenze diverse ed essere quindi molto flessibile sotto questo punto di vista, andando a modificare il *duty cycle* nel periodo di modulazione (Figura 26).

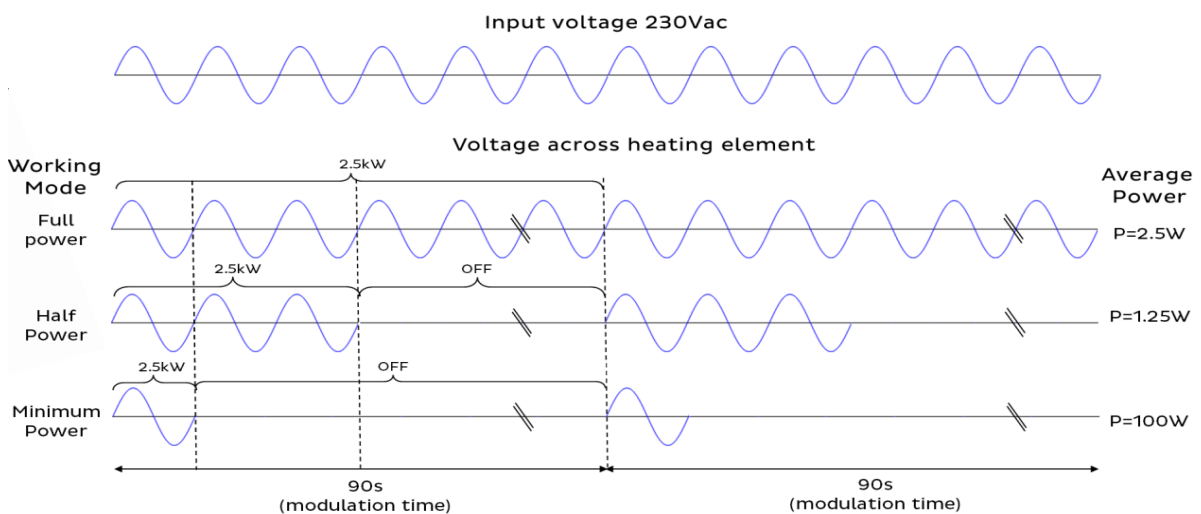


Figura 26 - Modalità di lavoro

Per quanto riguarda invece i sensori utilizzati per la misurazione della temperatura, sono presenti due NTC (NTC_High e NTC_Low) immersi in acqua e protetti da una guaina metallica. Tali sensori, vicini fra loro, aumentano l'affidabilità e la sicurezza della misurazione della temperatura dell'acqua, tuttavia, la loro posizione nel lato inferiore del prodotto, impedisce una valutazione precisa della temperatura media dell'acqua o dell'uscita, pertanto, sono necessari alcuni algoritmi per stimare il contenuto energetico.

4.2.3.1 Termistori NTC

Un termistore NTC (Figura 27) è un resistore termosensibile e la sigla NTC sta per "Coefficiente di temperatura negativo", il che significa che, possedendo un coefficiente di temperatura negativo, la resistenza mostra una diminuzione ampia, precisa e prevedibile del suo valore all'aumentare della temperatura interna del resistore nell'intervallo di temperatura di esercizio [11].

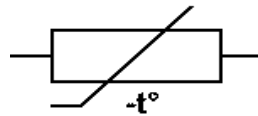


Figura 27 - Termistore NTC simbolo

Risposta termica

I termistori NTC vengono tipicamente utilizzati come sensori di temperatura (applicazione attuale nello scaldabagno) e sono generalmente adatti per l'uso in un intervallo di temperatura compreso tra -55 e 200 °C, dove forniscono letture più precise. Esistono, però, famiglie speciali di termistori NTC che possono essere utilizzati a temperature prossime allo zero assoluto (-273,15 °C) e quelli specificatamente progettati per l'uso al di sopra di 150 °C.

La sensibilità alla temperatura di un sensore NTC è espressa come "variazione percentuale per grado C" o "variazione percentuale per grado K". A seconda dei materiali utilizzati e delle specifiche del processo produttivo, i valori tipici delle sensibilità alla temperatura vanno da -3% a -6%/°C.

Come si può vedere in Figura 28, i termistori NTC hanno una pendenza resistenza-temperatura molto più ripida rispetto agli RTD in lega di platino, il che si traduce in una migliore sensibilità alla temperatura.

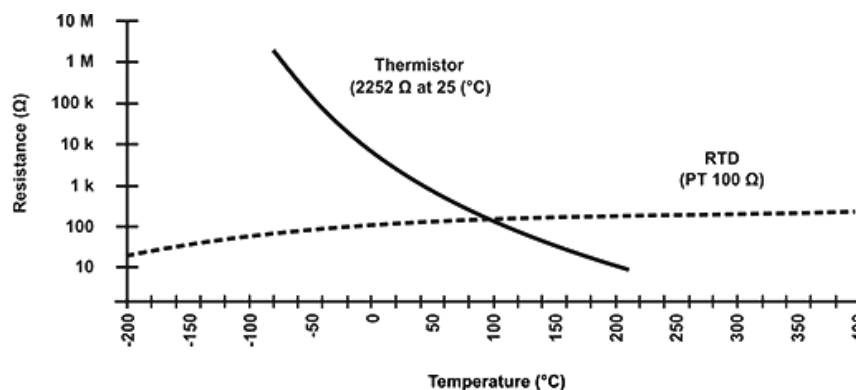


Figura 28 - Curva NTC

Ciononostante, gli RTD rimangono i sensori più accurati con una precisione pari a $\pm 0,5\%$ della temperatura misurata e sono utili nell'intervallo di temperatura compreso tra -200 e 800 °C, un intervallo molto più ampio di quello dei sensori di temperatura NTC.

La Tabella 2 indica la conversione resistenza/temperatura delle sonde NTC impiegate nel progetto (kOhm/°C)

°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm	°C	kohm
-40	188.5	-19	64.9	2	25.17	23	10.78	44	5.09	65	2.59	86	1.41	107	0.82
-39	179.62	-18	62.03	3	24.12	24	10.38	45	4.92	66	2.51	87	1.37	108	0.80
-38	170.74	-17	59.15	4	23.07	25	10.00	46	4.75	67	2.44	88	1.34	109	0.78
-37	161.86	-16	56.28	5	22.02	26	9.63	47	4.60	68	2.36	89	1.30	110	0.76
-36	152.98	-15	53.41	6	21.12	27	9.28	48	4.45	69	2.29	90	1.27	111	0.74
-35	144.1	-14	51.22	7	20.27	28	8.95	49	4.30	70	2.23	91	1.23	112	0.72
-34	137.54	-13	49.03	8	19.45	29	8.62	50	4.16	71	2.16	92	1.20	113	0.70
-33	130.98	-12	46.85	9	18.67	30	8.31	51	4.03	72	2.10	93	1.17	114	0.69
-32	124.42	-11	44.66	10	17.93	31	8.02	52	3.90	73	2.04	94	1.14	115	0.67
-31	117.86	-10	42.47	11	17.21	32	7.73	53	3.77	74	1.98	95	1.11	116	0.66
-30	111.3	-9	40.76	12	16.53	33	7.46	54	3.65	75	1.92	96	1.08	117	0.64
-29	106.33	-8	39.04	13	15.89	34	7.20	55	3.54	76	1.87	97	1.05	118	0.63
-28	101.35	-7	37.33	14	15.27	35	6.95	56	3.42	77	1.82	98	1.03	119	0.61
-27	96.38	-6	35.61	15	14.67	36	6.71	57	3.32	78	1.77	99	1.00	120	0.60
-26	91.4	-5	33.9	16	14.11	37	6.48	58	3.21	79	1.72	100	0.97	121	0.58
-25	86.43	-4	32.57	17	13.57	38	6.25	59	3.11	80	1.67	101	0.95	122	0.57
-24	82.7	-3	31.24	18	13.05	39	6.04	60	3.01	81	1.62	102	0.93	123	0.56
-23	78.97	-2	29.92	19	12.55	40	5.83	61	2.92	82	1.58	103	0.90	124	0.54
-22	75.23	-1	28.6	20	12.08	41	5.64	62	2.83	83	1.53	104	0.88	125	0.53
-21	71.5	0	27.28	21	11.63	42	5.45	63	2.75	84	1.49	105	0.86		
20	67.77	1	26.23	22	11.19	43	5.26	64	2.67	85	1.45	106	0.84		

Tabella 2 - Relazione resistenza/temperatura

4.2.4 Modulo Wi-Fi (REM 4)

Nel Powerflex Solar, come detto precedentemente, non è attualmente prevista l'implementazione di un modulo per la connessione Wi-Fi. Tuttavia, per questioni pratiche di sviluppo ed analisi dei comportamenti del prodotto, è stata temporaneamente inserita una di queste schede (REM 4) in uno scaldabagno di test e per completezza viene qui presentato tale modulo (Figura 29).

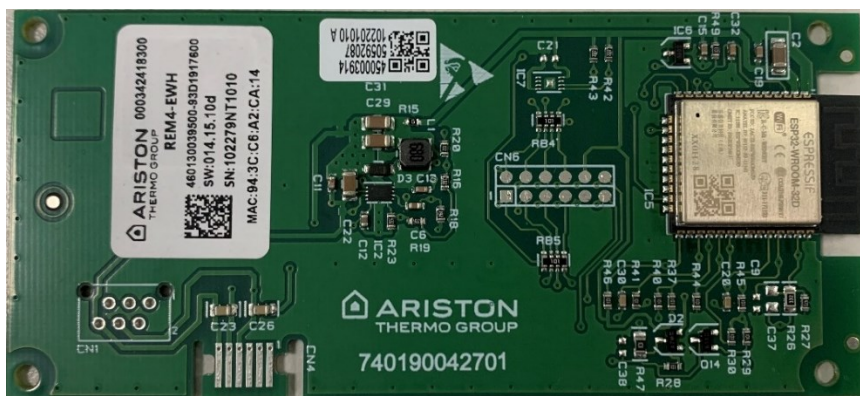


Figura 29 - REM 4

La scheda monta il modulo ESP32 WROOM 32d per stabilire la connessione WiFi con il server (sul quale verranno pubblicati i dati). Di seguito (Tabella 3) è riportata una parte della scheda tecnica del dispositivo:

Frequenza	2.4 GHz to 2.5 GHz
Potenza di uscita	20 dBm
Tipo di interfaccia	Seriale
Tensione di alimentazione (min-max)	3 V – 3.6 V
Temperatura di lavoro (min-max)	-40 °C – 85 °C
Velocità dati	150 Mb/s
Sicurezza	WPA, WPA2, WPA2-Enterprise, WPS

Tabella 3 – Scheda tecnica modulo ESP32 WROOM 32d

5 Determinazione dei possibili scenari applicativi

Per quanto riguarda l'applicazione pratica dello scaldabagno Powerflex Solar è stato necessario, a seguito di un'analisi sulla diffusione dei contatori 2G, fare una distinzione fra caso italiano e caso estero. In Italia, infatti, sono già parecchio comuni i contatori di nuova generazione Open Meter, i quali sono in grado di comunicare tramite PLC. All'estero invece tali dispositivi non sono ancora molto utilizzati, il che significa che è necessario prevedere l'utilizzo di accessori appositi (Chain to gate Energy Meter) per rendere "intelligenti" i normali contatori.

5.1 Caso Italiano

Come appena detto, in Italia sono attualmente parecchio diffusi i contatori 2G e quindi, a meno di casi particolari, è possibile installare direttamente lo scaldabagno (provvisto di apposito Gateway in grado di comunicare con il contatore intelligente) senza andare ad aggiungere ulteriori accessori lato Open Meter (Figura 30). Il piano di sostituzione dei contatori è attivo già da anni e prevede di concludersi entro il 2024 con l'installazione di più di 32 milioni di nuovi dispositivi.

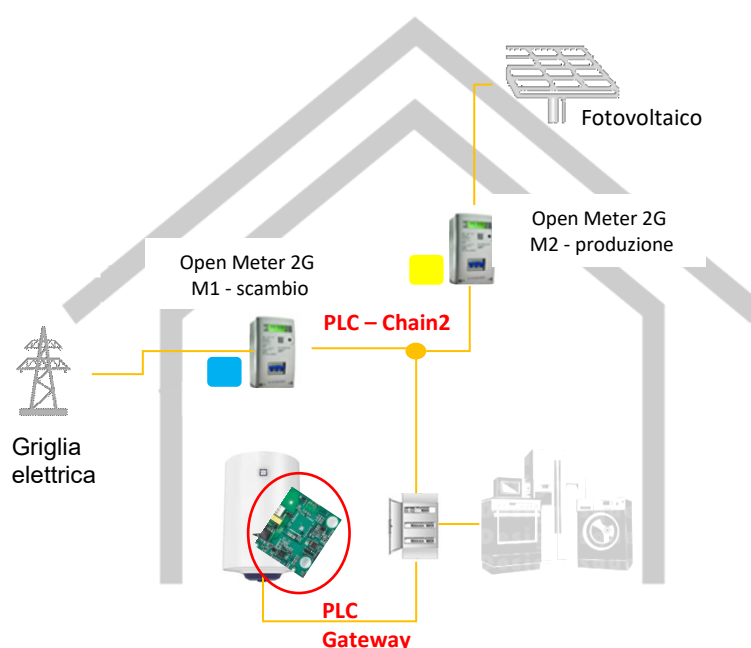


Figura 30 - Caso Italia

Lo scaldabagno è collegato ai due contatori e raccoglie i dati che gli vengono da loro forniti per andare ad elaborarli e, di conseguenza, adattare il suo comportamento a seconda delle necessità e delle possibilità del caso in considerazione.

Ci sono due contatori Open Meter in quanto uno fa da collegamento fra lo scaldabagno e la rete elettrica, l'altro invece fra lo scaldabagno e il fotovoltaico. Il primo, dunque, fornisce informazioni sui consumi dell'utente mentre il secondo sulla produzione di corrente elettrica.

L'idea alla base, valida sia per il caso italiano che per quello estero, è quella di immagazzinare l'energia in surplus prodotta dall'impianto fotovoltaico usandola per scaldare l'acqua nello scaldabagno in modo tale che quest'ultima sia già pronta per l'utilizzo in caso di richiesta dell'utente.

Per quanto riguarda l'accoppiamento tra lo scaldabagno e il sistema di contatori intelligenti, sarà presente un QR CODE sul Powerflex Solar stesso che porterà ad una pagina di configurazione sviluppata e controllata da MAC (azienda che si occupa di gestire la comunicazione tra contatore e dispositivo utente grazie ai dispositivi Chain2Gate, Figura 31) dalla quale sarà possibile effettuare l'associazione.

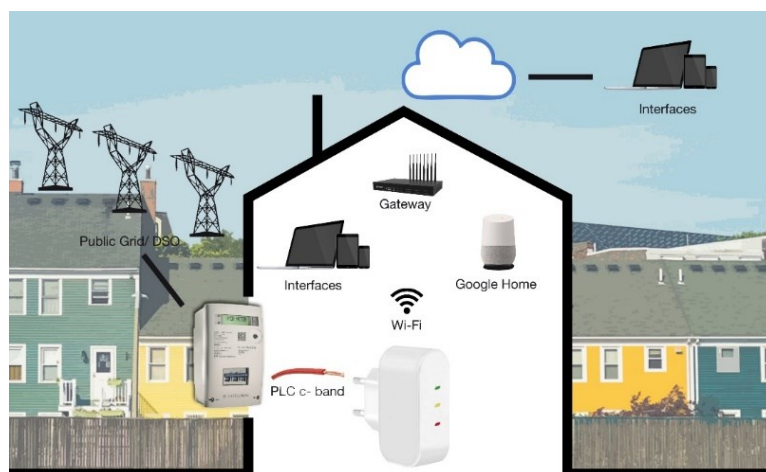


Figura 31 – Chain2Gate Wi-Fi

5.1.1 Introduzione ai contatori Open Meter

Open Meter è il nuovo contatore pensato e prodotto da e-distribuzione la cui caratteristica principale è che esso è in grado di fornire all'utente informazioni sui consumi di energia elettrica in *near real time*, cosa che, con i normali contatori, avviene solo verso il fornitore dell'energia, il quale si occuperà di validare i dati e dopo circa 24 ore di inviarli all'utente. La possibilità invece di avere i dati quasi in tempo reale permette di analizzare il comportamento dell'utente e programmare il prelievo di energia elettrica in un'ottica di risparmio e convenienza.

Il contatore Open Meter (Figura 33) fornisce dati di misura istantanei, quattorari, giornalieri e su evento (informazioni inviate solo a seguito di un determinato avvenimento come, ad esempio, una

variazione del contratto con il fornitore), i dati di misura istantanei e quartorari, in particolare, permettono al cliente di avvalersi di informazioni sull'energia consumata o prodotta sempre più puntuali, così da poter comprendere meglio le proprie abitudini di consumo.

Tutti questi dati però non possono essere inviati sul canale di comunicazione normalmente instaurato fra contatore e fornitore del servizio, in quanto, in tal caso si perderebbe la condizione di real time. Una delle grandi novità degli Open Meter è quindi l'adozione di un canale di comunicazione dedicato alla trasmissione di dati tra contatore e cliente denominato "Chain 2", il cui utilizzo consente lo sviluppo e la diffusione di dispositivi di mercato dedicati ai servizi di energy management e home automation (Figura 32).

La comunicazione tra questi due attori è basata su un protocollo di comunicazione standardizzato denominato "Power Line Communication" che consente l'invio dei dati sopra presentati direttamente sulla linea elettrica ma richiede che entrambe le parti siano in grado di utilizzare tale protocollo ed è per questo motivo che vengono spesso inseriti, lato utente, degli accessori che fanno da intermediari.

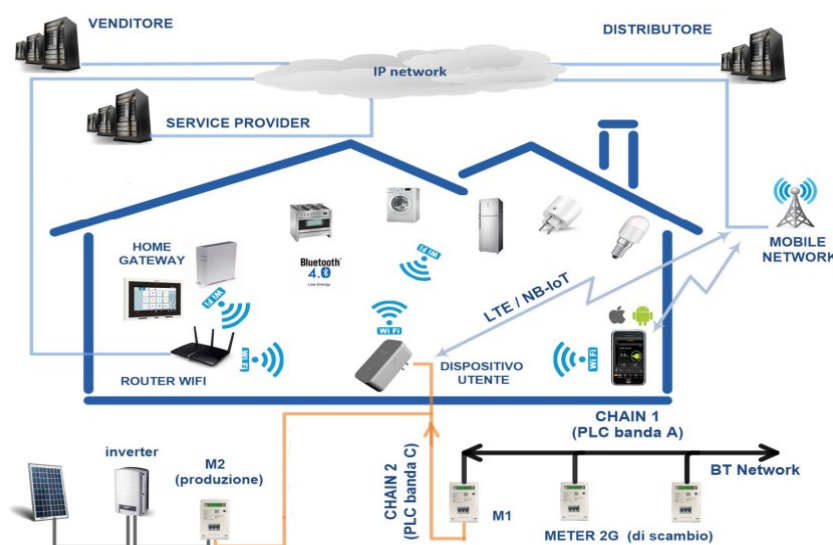


Figura 32 – Esempio di Smart Home con contatori Open Meter

Le opportunità derivanti dall'utilizzo di un contatore intelligente e della Chain 2 sono numerose grazie al fatto che ogni utente può raggiungere completa consapevolezza dei propri consumi domestici e della produzione dell'impianto fotovoltaico.

Questo canale di comunicazione, infatti, può supportare la diffusione di diversi servizi a valore aggiunto[12], come:

- gestione di tariffe personalizzate
- peak shaving: possibilità di rimuovere i picchi nei consumi energetici
- demand response: possibilità di modificare il livello di potenza attiva prelevata dalla rete elettrica in base all'andamento, in quel momento, della domanda e dell'offerta di energia

Tale prodotto inoltre consente anche ai produttori di avere una maggiore consapevolezza dell'efficienza di funzionamento del proprio impianto, favorendo così un'integrazione "intelligente" degli impianti di microgenerazione. Open Meter, inoltre, agendo come un vero e proprio sensore di rete avanzato, consente un monitoraggio dei parametri elettrici per ogni singolo cliente garantendo un servizio di qualità. Il tutto in un'ottica di funzionamento sempre più efficiente della rete di distribuzione con l'obiettivo di migliorare l'esercibilità dell'intero sistema.

La sostenibilità è parte integrante del contatore stesso e delle scelte green, come l'imballaggio composto per oltre il 99,5% di cartone, il riciclo di oltre il 93% dei materiali provenienti dai contatori sostituiti e il nuovo progetto per la realizzazione di contatori con plastiche rigenerate.

La telegestione permette, inoltre, che la gran parte delle operazioni tecniche e commerciali siano eseguite da remoto consentendo ai clienti di ricevere i servizi richiesti in tempi brevi, riducendo al minimo la movimentazione delle squadre e abbattendo i valori di emissioni prodotte.



Figura 33 - Contatore Open Meter

5.2 Caso estero

Per quanto riguarda il caso estero invece, l'installazione diretta del prodotto non è possibile a causa dell'ancora scarsa diffusione dei contatori smart Open Meter al di fuori del territorio italiano. Per ovviare a questo problema, quindi, devono essere installati a valle dei normali contatori dei dispositivi (Chain2Gate Energy Meter), prodotti dall'azienda italiana MAC, in grado di comunicare tramite PLC e che rendono possibile l'interazione tra scaldabagno e contatori.

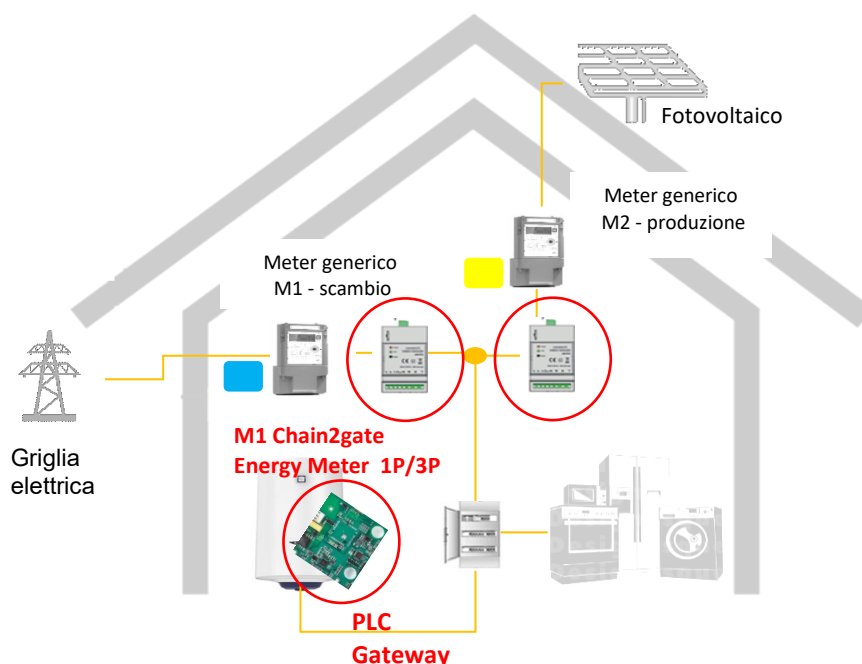


Figura 34 - Caso estero

In Figura 34 è possibile vedere che lo schema generale di installazione è lo stesso del caso italiano (a meno degli accessori necessari per la comunicazione PLC). Sono previsti quindi due contatori intelligenti, uno verso la rete elettrica e uno verso l'impianto fotovoltaico, entrambi collegati all'edificio e dunque allo scaldabagno che sfrutterà le informazioni da loro provenienti per regolare il suo comportamento secondo una logica di controllo ben precisa e che verrà presentata in seguito.

5.2.1 Chain2Gate Energy Meter

I dispositivi Chain2Gate sono stati creati dalla MAC srl, azienda che progetta, sviluppa e produce prodotti e sistemi ad alta tecnologia concentrandosi su temi come il risparmio energetico, l'ottimizzazione dei servizi e la tutela dell'ambiente.

Questo è il dispositivo “barra DIN” (Figura 35) che permette di rendere smart dei contatori standard (non in grado di comunicare con il dispositivo utente tramite chain2) e può essere di due tipi a seconda dello stabile nel quale viene installato: il progetto sviluppato in questa tesi, infatti, può essere applicato sia nel caso di utenze monofase che trifase.

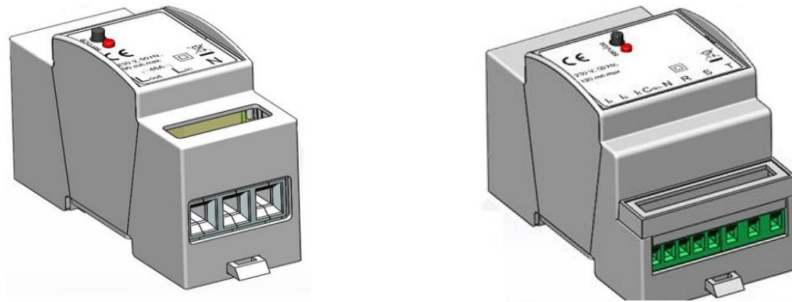


Figura 35 - Chain2Gate monofase (sx) e trifase (dx)

L’interfaccia utente presenta un led (rosso e verde) per la segnalazione di stato, un pulsante per il ripristino del dispositivo e un buzzer per fornire una segnalazione acustica di distacco ed esubero (Tabella 4, Tabella 5).

STATUS	LED
AP	2 blink fast + pause
PLC CONNECTED	on
PLC NOT CONNECTED (not available for M1)	Blinking slow
PAIRING MODE PLC (5 minutes timeout)	Blinking fast
OFF	Off

Tabella 4 – Gestione led

BUTTON	Press	
RESET (SERVICE)	single	Switch on-off
	5 sec	PAIRING MODE PLC
	20 sec	RESET TO DEFAULT
	5 press in 5 sec	AP (for config and firmware update)

Tabella 5 – Gestione pulsante

6 Studio e analisi delle funzionalità di Chain 2 e contatori 2G

Gli Smart Meter 2G e la Chain 2

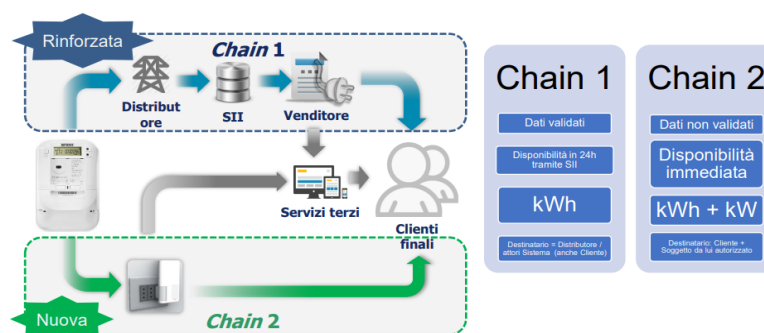


Figura 36 – Power Line Communication

Nella Power Line Communication (PLC, Figura 36) un canale viene riservato alla comunicazione tra utente e contatore per l'invio di misure e registri, non validati, in near real-time (la validazione viene eseguita dal distributore e dura circa 24 ore). Il protocollo Chain 2 è uno standard ed è disponibile, compatibilmente con il piano di sostituzione dei contatori 2G, su tutte le forniture elettriche in Bassa Tensione (BT) – Monofase e Trifase.

I dati sono trasmessi dai contatori 2G di tipo M1 (Prelievo/Scambio) e M2 (Produzione) attraverso il canale Chain 2 e sono raccolti all'interno dell'edificio da Dispositivi Utente (DU) e/o da altri apparati alimentati attraverso la rete elettrica [13], [14].

Device lato utente e contatore devono quindi essere in grado di comunicare fra loro, per questo motivo sono disponibili in commercio dispositivi che fungono da gateway tra i due attori principali.

Quest'ultimi possono essere di tre tipi [15]:

- **ENGINE**: non possiede nessuna interfaccia utente in quanto è integrato nel prodotto per il quale funge da "intermediario" (Figura 37);



Figura 37 – Chain2Gate Engine

- PLUG: l'interfaccia utente presenta diversi led per la segnalazione dei consumi (di colore rosso, giallo e verde) per la connessione tramite Wi-Fi (di colore bianco) e per la segnalazione delle tariffe (di colore blu), implementa poi un pulsante che consente di associare il dispositivo alla rete domestica e un buzzer per la segnalazione acustica di esubero e distacco (Figura 38);



Figura 38 - Chain2Gate Smart Plug

- BARRA DIN: (presentato nel [capitolo 5.2.1](#));

Affinché la connessione possa essere instaurata in modo sicuro, si deve stabilire una comunicazione cifrata tramite l'utilizzo di due chiavi. La prima chiave è la chiave di inizializzazione che viene utilizzata per eseguire l'accoppiamento tra misuratore intelligente 2g e dispositivo utente. Essa è unica ed è imm modificabile tramite chain 2, viene fornita assieme al rilascio del dispositivo e deve essere comunicata al distributore attraverso canali sicuri. Il distributore poi si occuperà di registrare tale chiave nel misuratore intelligente tramite la chain 1.

Una volta che la chiave di inizializzazione è stata scambiata in modo corretto, il dispositivo Open Meter deve procedere alla condivisione della chiave di esercizio con il dispositivo utente e la invia tramite chain 2 cifrandola con la chiave di inizializzazione. La chiave di esercizio, a differenza di quella di inizializzazione che deve essere utilizzata il meno possibile, è impiegata durante tutta la comunicazione tra contatore e dispositivo utente per cifrare le informazioni scambiate.

Questa chiave non viene generata da nessuno dei due attori presenti sulla chain 2 bensì dal cliente o da una terza parte delegata e va poi comunicata al distributore. Dal momento che viene scambiata una mole molto elevata di dati tra Open Meter e dispositivo lato utente, la chiave di esercizio deve essere cambiata con una frequenza sufficientemente alta da garantire un adeguato livello di sicurezza.

6.1 Presentazione dei possibili profili utente

Come detto precedentemente, questi contatori vengono utilizzati per diversi tipi di contratto, ognuno di questi va a definire un profilo utente (Tabella 6) e, a seconda del tipo di profilo che si possiede, i pacchetti inviati dai contatori saranno differenti. Un'ulteriore distinzione da fare è tra i due contatori, infatti il contatore M1 (prelievo/scambio) invierà una serie di pacchetti (sempre a seconda del profilo utente) che sarà diversa da quella inviata dal contatore M2 (produzione).

Una prima distinzione da fare quando si parla profili utente è tra *Prosumer* e *Consumer*, il primo possiede un impianto fotovoltaico ed è dunque in grado di produrre energia elettrica (verranno installati nel suo caso entrambi i contatori), il secondo invece non dispone di un sistema per la generazione della corrente e quindi non fa autoconsumo ma preleva solo corrente dalla rete elettrica nazionale (verrà installato nel suo caso solo il contatore M1).

Una seconda distinzione riguarda invece il tipo di contratto di fornitura dell'energia elettrica stabilita con il venditore del servizio: *trifase* o *monofase*.

L'ultima distinzione riguarda il grado di servizio che il cliente ha scelto di ricevere: *minimo* (riceve le informazioni base necessarie per l'attivazione di casi d'uso essenziali), *avanzato* (riceve tutte le informazioni necessari per l'attivazione di casi d'uso di complessità elevata), *addizionale* (riceve i pacchetti del servizio avanzato e in più dati addizionali).

	Consumer Monofase	Prosumer Monofase	Consumer Trifase	Prosumer Trifase
Minimo	P1	-	-	-
Avanzato	P2	P3	P4	P5
Addizionale	-	P6	-	P7

Tabella 6 - Profili Utente

I profili utente che interessano questa nuova applicazione dello scaldabagno sono quindi quelli Prosumer con profilo addizionale (P6 e P7), in quanto sono gli unici che dispongono di un impianto fotovoltaico e quindi della possibilità di fare autoconsumo e di tutti i dati necessari alla realizzazione del caso d'uso da noi sviluppato per questo progetto.

6.2 Determinazione dei dati necessari per il progetto

Dopo aver definito i vari tipi di profili utente è bene presentare alcuni dei pacchetti che vengono inviati dai contatori e che sono di particolare interesse per il progetto presentato. Tali pacchetti, insieme ai dati in loro contenuti, vengono presentati nella norma CEI 13-83 ma per questioni di riservatezza non possono essere riportati. Essi sono definiti “*trame compatte*” (saranno qui indicate con la sigla TC ma non c’è corrispondenza tra il loro nome e quello effettivo) e possono essere di quattro tipi diversi [16]:

- Quartorarie: vengono inviate ogni 15 minuti;
- Giornaliere: vengono inviate ogni 24 ore;
- Settimanali: vengono inviate ogni 7 giorni;
- Ad Evento: vengono inviate ogni volta che si verifica un evento particolare;

Le trame che abbiamo scelto di prendere in considerazione per questo progetto sono solo quelle quartorarie e quelle ad evento, infatti, la realizzazione del caso d’uso sviluppato richiede di concentrarsi esclusivamente sui valori di potenza istantanei poiché lo scaldabagno deve essere reattivo alle variazioni di assorbimento/immissione di corrente e quindi un’informazione mediata sulla giornata o ancor più sulla settimana risultano inutili allo scopo.

Ognuno dei pacchetti ricevuti contiene una serie di dati (non tutti utili per il caso d’uso attuale) ai quali sono legati diversi campi che vanno a fornire una loro descrizione. Tra questi, due sono particolarmente importanti per il riconoscimento del dato che occorre prelevare e salvare: il campo “tipo”, che fornisce informazioni sul tipo della variabile (con segno, senza segno ecc.) e il campo “dimensione” ossia il numero di byte riservati a quel dato all’interno di tutto il pacchetto.

Come detto, per motivi di privacy non è possibile riportare un pacchetto di esempio, tuttavia, è bene evidenziare come sommando tutti i byte del campo “dimensione” sia possibile ottenere il valore di dimensione totale (in byte) del pacchetto, questa informazione sarà una delle tre, utilizzate nello script presentato nel [capitolo 8.4](#) per distinguere un pacchetto dall’altro.

A seguito di un’analisi di tutti i possibili dati contenuti nei vari pacchetti, abbiamo stilato una lista delle informazioni che andranno prelevate ed utilizzate nel codice:

- Pot. Att. Prel. Istant: rappresenta la potenza che l’utente preleva istantaneamente dalla rete, è campionata ad 1s ma inviata secondo una logica a soglie per evitare di avere troppo traffico

in contemporanea sul canale. Le soglie possono essere definite sulla base dei servizi a cui il cliente è interessato, così da garantire un adeguato livello di qualità del servizio, oppure può essere lasciato il valore di default che prevede una distanza di 300W tra una soglia e la successiva. Solo quando il campione appena prelevato dal contatore risulta appartenere ad una fascia diversa da quella del campione precedente allora esso viene inviato all'utente;

- Pot. Att. Prel. Quart. Media: identifica il valore medio di potenza attiva prelevata dalla rete elettrica nei 15 minuti di riferimento;
- Pot. Att. Imm. Istant: stessa logica di campionamento e di invio secondo soglie di "Pot. Att. Prel. Istant". Nel caso in cui tale dato venga inviato dal contatore M1 allora esso rappresenta la potenza immessa verso la rete elettrica nazionale (potenza generata in eccesso rispetto alle richieste dell'utenza) mentre nel caso in cui sia inviata dal misuratore intelligente M2 allora rappresenta la potenza istantaneamente prodotta dall'impianto fotovoltaico;
- Pot. Att. Imm. Quart. Media: come il campo precedente, anche questo valore assume due significati diversi a seconda dal contatore che lo invia e rappresenta il valore medio calcolato nei 15 minuti di riferimento;
- Tempo Residuo Distacco: tempo rimanente prima del distacco del limitatore, calcolato nel momento in cui la potenza prelevata supera la soglia di potenza disponibile;
- Potenza Disponibile: potenza massima a disposizione dell'utente che varia a seconda del tipo di contratto stipulato con il fornitore del servizio;

Dai primi due dati elencati, è possibile capire se l'utente finale sta facendo autoconsumo (entrambi i valori dovrebbero essere nulli) o no. Il terzo e il quarto valore, se inviati da M1, riguardano la potenza immessa verso la rete elettrica ed è da questi parametri che è possibile capire se l'impianto fotovoltaico sta generando più corrente di quella richiesta dall'utente. Nel caso in cui ciò dovesse verificarsi, allora lo scaldabagno dovrebbe iniziare il suo lavoro come batteria termica e utilizzare l'energia in eccesso per scaldare l'acqua in modo da averla disponibile non appena sarà richiesta.

Sempre questi due valori, se inviati da M2, forniscono, invece, informazioni sulla potenza prodotta istantaneamente dall'impianto fotovoltaico. Questi dati unitamente a quelli presentati sopra, permettono di ottimizzare il comportamento dello scaldabagno come batteria termica.

Il software sviluppato è sensibile a molti pacchetti che inviano gli stessi dati, ciò potrebbe sembrare ripetitivo ma in realtà non tutte le trame vengono inviate secondo la stessa logica e quindi con la stessa frequenza e in più non tutti i profili possono ricevere ogni pacchetto, quindi, risulta necessario prenderne il più possibile.

Di seguito due tabelle riassuntive del legame fra profilo utente e trame ricevute (anche in questo caso i nomi dei pacchetti sono puramente rappresentativi per questioni di riservatezza e vengono riportati per dare un'idea della quantità di trame ricevute dai vari profili):

	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7	TC8	TC9	TC10	TC11	TC12	TC13	TC14	TC15	TC16
P1	X															
P2	X				X				X		X					
P3		X				X			X			X				
P4			X				X			X			X			
P5				X				X		X				X		
P6		X				X			X			X			X	
P7				X				X		X		X		X		X
P8																

Tabella 7 - Trame ad invio periodico

	TC17	TC18	TC19	TC20	TC21	TC22	TC23	TC24	TC25	TC26	TC27	TC28	TC29	TC30	TC31	TC32	TC33
P1	X	X	X			X										X	X
P2	X	X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
P3	X	X		X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
P4	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P5	X	X		X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P6	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
P7	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P8	X	X		X												X	X

Tabella 8 - Trame ad invio su evento

6.3 Sicurezza durante la trasmissione dei dati

La Delibera 87/2016/R/EEL prevede che la comunicazione tra misuratore intelligente 2G e dispositivo utente debba garantire la confidenzialità, l'integrità e l'autenticità dei dati scambiati. Le informazioni relative ai consumi, infatti, hanno un valore anche per soggetti diversi dal cliente finale, e viaggiando sulla rete elettrica sono esposti a diversi rischi e possibili attacchi, per tale motivo devono essere adeguatamente protetti [14].

La confidenzialità riguarda quei dati sensibili che non possono essere in alcun modo letti da utenti che non sono stati autorizzati, essa viene messa a rischio anche dalla particolare configurazione dei sistemi domestici, che potrebbero rendere possibili fenomeni di diafonia tra le diverse reti, tale da portare anche ad una diffusione involontaria dei dati. La diafonia, infatti, è un disturbo causato dal campo elettromagnetico che si genera attorno ad un filo percorso da corrente non costante e che produce quindi uno scambio di energia tra la linea in questione e quelle ad essa vicine.

È bene, quindi, utilizzare sistemi di cifratura che rendano possibile l'accesso alle informazioni da parte dei soli soggetti autorizzati, per questo motivo viene scambiata una chiave di esercizio (nota solo ai due attori della Chain2, [capitolo 6](#)) che sarà utilizzata per cifrare ogni messaggio inviato sulla rete.

L'integrità riguarda invece quei dati che non devono poter essere modificati da terzi, il che non impedisce però una loro eventuale lettura da parte di altri (non verrebbe rispettata la confidenzialità). Anche in questo caso esistono diverse tecniche che permettono di controllare che il messaggio ricevuto non sia stato in alcun modo modificato durante la trasmissione (senza verificare però l'autenticità del mittente).

L'autenticazione, infine, serve a garantire che una certa informazione o un certo dato siano effettivamente stati scritti (o inviati, come in questo caso) da chi afferma di averlo fatto e che lo stesso sia riconosciuto dal sistema come utente valido. Ciò permette di impedire che l'alterazione volontaria e non dei dati, o l'uso di informazioni da parti di terzi che, pur non essendolo, tentano di farsi riconoscere come validi, portino il cliente, o i sistemi di gestione, a prendere decisioni sbagliate o incoerenti con lo stato del sistema.

Gli aspetti di sicurezza non si limitano tuttavia alla protezione o all'autenticazione del dato, ma riguardano anche aspetti costruttivi dei dispositivi e della definizione dei protocolli al fine di garantire, tra le altre cose, la disponibilità del sistema contro eventuali attacchi che mirino a renderlo non più disponibile per un certo periodo di tempo o comunque ad alterarne le prestazioni (es. attacchi di tipo DoS – Denial Of Service).

6.4 Definizione dei dati utili

A partire dai pacchetti inviati dai due contatori è stato quindi necessario valutare quali informazioni potessero essere utili al fine del progetto e quali dati potessero essere ricavati a partire da queste. A seguito di un'analisi sono stati definiti alcuni dati che risultano importanti sia per l'implementazione del caso d'uso in questione, sia per l'esecuzione di eventuali controlli sul comportamento del sistema.

In particolare, alcuni, sono dati necessari allo sviluppo del progetto attuale e devono essere obbligatoriamente aggiornati non appena viene ricevuto un nuovo messaggio, in modo da poter adattare in quasi real-time il comportamento dello scaldabagno a seconda delle variazioni del profilo di consumo dell'utente.

6.4.1 Calcolo delle informazioni Base

Il servizio di base comprende le informazioni minime che riguardano il consumo dello scaldabagno e altri dati relativi all'impatto ambientale e al risparmio dell'utente:

- SC by ESWH (kWh): potenza auto consumata dallo scaldabagno;
- ESWH - RENEWABLE PORTION: rapporto tra la potenza auto consumata dallo scaldabagno e il consumo effettivo dello scaldabagno stesso, evidenzia quindi tutta quella parte di energia che è stata accumulata e può essere riutilizzata dall'utenza;
- CONVERSION IN CO2:
- SAVINGS (€): risparmio in termini di Euro derivante dall'utilizzo della potenza auto prodotta (tramite l'impianto fotovoltaico) e dello scaldabagno come batteria termica;

SC by ESWH (kWh)	ESWH Consumption - Grid Withdrawn
ESWH - RENEWABLE PORTION	SC by ESWH/ ESWH Consumption
CONVERSION IN CO2	Self Consumed by ESWH * CO2 factor
SAVINGS €	Self Consumed by ESWH * Energy cost

6.4.2 Calcolo delle informazioni Avanzate

Altri dati invece permettono di ricavare più informazioni e sono fondamentali per eseguire un'accurata analisi degli assorbimenti e della produzione di corrente elettrica per poter garantire il servizio richiesto:

- TOTAL HOUSE CONSUMPTION (kWh): consumo totale della casa (sia proveniente dalla rete sia dal fotovoltaico, non è conteggiata la potenza immessa verso la rete);
- OTHER HOUSE CONSUMPTION (kWh): consumo della casa senza considerare lo scaldabagno;
- SELF CONSUMED (kWh): potenza prodotta dal fotovoltaico e consumata dall'utenza;
- SC by ESWH (kWh): potenza utilizzata dallo scaldabagno e prodotta dal fotovoltaico;
- SELF SUFFICIENCY (%): rapporto tra la potenza auto consumata e la potenza totale consumata dall'utenza, indica il grado di autonomia dell'abitazione;
- SELF CONSUMPTION (%): rapporto tra la potenza auto consumata e quella prodotta;
- SELF CONSUMPTION BY ESWH (%): rapporto tra la potenza auto consumata dallo scaldabagno e quella prodotta dall'impianto;

TOTAL HOUSE CONSUMPTION (kWh)	Grid Withdrawn + PV Prod - Grid Fed in
OTHER HOUSE CONSUMPTION (kWh)	Total House Consumption – ESWH Consumption
SELF CONSUMED (kWh)	PV Prod - Grid Fed in
SC by ESWH (kWh)	ESWH Consumption - Grid Withdrawn
SELF SUFFICIENCY (%)	Self Consumed /Total House Consumption
SELF CONSUMPTION (%)	Self Consumed / PV Prod
SELF CONSUMPTION BY ESWH (%)	Self Consumed by ESWH / PV Prod
CONVERSION IN CO2	Self Consumed by ESWH * CO2 factor
SAVINGS €	Self Consumed by ESWH * Energy cost

7 Studio della logica di controllo Powerflex

Per poter apportare le modifiche necessarie al software e aggiungere nuove parti di codice è fondamentale prima studiare nel dettaglio la logica di controllo che governa il comportamento dello scaldabagno Powerflex e che verrà riproposta anche nel nuovo Powerflex Solar (unitamente alle nuove funzionalità).

Tale logica è sviluppata sottoforma di macchina a stati (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), in cui gli stati principali in cui può trovarsi lo scaldabagno sono due:

- Sleep state;
- Power supplied state: a sua volta contiene un certo numero di possibili stati (presentati di seguito);

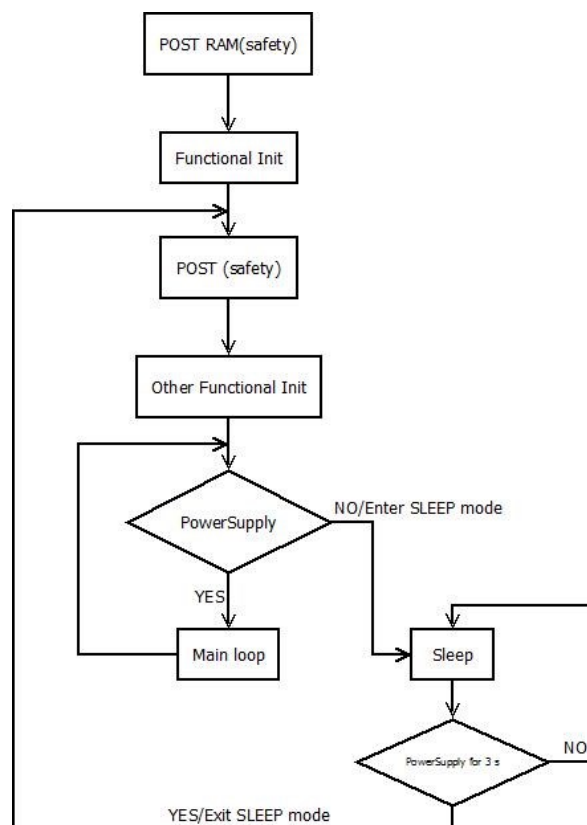


Figura 39 - Diagramma di flusso dello scaldabagno

Ogni stato si compone di tre fasi: *Entry* (come si entra in quel determinato stato e cosa ciò comporta), *During* (cosa accade quando lo scaldabagno è entrato nello stato in questione) ed *Exit* (condizioni necessarie affinché il prodotto possa uscire dallo stato attuale e cosa succede in seguito all'uscita).

7.1 Sleep State

ENTRY

Quando questo stato viene raggiunto (per mancanza di alimentazione), la resistenza di riscaldamento deve essere disattivata.

DURING

Questo è lo stato di non alimentazione dello scaldabagno, in cui il dispositivo deve essere disattivato finché non sarà alimentato tramite linea elettrica. In questo stato le resistenze di riscaldamento devono essere disattivate. Inoltre, deve essere calcolato il tempo in cui il prodotto si trova in stato di Sleep (SleepingTime).

EXIT

Se è presente l'alimentazione, la scheda di controllo deve entrare nel "Power supplied state":

- Tutte le periferiche che sono state spente devono essere nuovamente inizializzate.
- Alcune funzioni devono essere inizializzate.

7.2 Power supplied state

ENTRY

Init: Tutte le funzioni devono essere inizializzate.

Heating Resistances Test: quando questo stato viene raggiunto, il controller deve attivare il timer relativo ed eseguire il test iniziale delle resistenze di riscaldamento (EOL).

Supplied Sub-State: l'HMI deve selezionare il sottostato in cui entrare, a seconda dello stato della macchina: se $(UsrErrors) \neq 0$ vuol dire che si è verificato qualche errore e che quindi il dispositivo deve entrare nel sottostato *Lockout*, se $(UsrErrors) = 0$, invece, deve entrare nel sottostato *Normal*: in questo caso un ulteriore sottostato di *Normal State* deve essere attivato

in base alle impostazioni iniziali (nel caso in cui si tratti della prima accensione) o alle informazioni flash dati memorizzate (dalla seconda accensione in poi).

NOTA: quando lo stato *Normal* viene raggiunto dallo stato di *Sleep*, le azioni di *Entry* del sottostato *Normal* non devono essere eseguite, verranno processate solo durante le altre azioni possibili.

DURING

Inputs mngmt: I valori delle sonde NTC devono essere presi dal file relativo alla Safety e deve anche essere settato il Timer ticks (100 ms, 1s, 1m).

Errors: i *Safety Errors* devono essere presi dal file di Safety e gli *User Errors* devono essere controllati.

Drive sts: la logica di controllo varia a seconda del sottostato in cui il dispositivo si trova.

Burning: lo stato di riscaldamento o meno degli elementi riscaldanti deve essere settato a seconda di *DriveSts*.

Active anode: viene eseguito un controllo per verificare di non essere in condizione di circuito aperto o cortocircuito, nel caso in cui una di queste due condizioni sia verificata, viene generato un errore volatile (rimosso quando la condizione di errore non è più verificata).

Hmi mngmt: si esegue un controllo su tutte le variabili legate alla scheda HMI e si processano eventuali eventi generati da una determinata azione dell'utente.

EXIT

Se l'alimentazione non viene rilevata ma il supercap non si è ancora del tutto scaricato, la scheda di controllo deve entrare nello stato di sospensione: tutti i carichi devono essere spenti e tutte le periferiche impostate in stato di bassa potenza.

Nel *Power supplied state*, vengono eseguiti tutti gli stati principali, la logica di controllo, come detto, è sviluppata come una macchina a stati: le transizioni tra gli stati dipendono sia dalle condizioni di lavoro che dalle impostazioni dell'utente.

La logica di controllo è implementata nella funzione "*drive sts*" e fondamentalmente ci sono 2 stati principali che sono a loro volta divisi in altri sottostati. Una volta che la funzione *drive sts* ha calcolato i diversi valori per le variabili caratteristiche, la funzione "*burning*" controlla l'alimentazione degli elementi riscaldanti a seconda del termostato.

Inoltre, devono essere trattate alcune funzioni aggiuntive. Pertanto, gli stati hanno la seguente struttura ad albero:

- INPUTS MNGMT
- ERRORS
- DRIVE STS
 - LOCKOUT
 - NORMAL:
 - ON:
 - ✓ MANUAL
 - ✓ ECO
 - ✓ PROGRAM
 - ✓ WEEKLY PROGRAM TAP
 - ✓ HOLIDAY
 - ✓ NIGHT
 - ✓ TIMER
 - ✓ EXT_CONTROL
 - OFF
 - ADDITIONAL FUNCTIONS
 - ✓ SMART
 - ✓ ANTIBACTERIAL
 - ✓ ANTIFREEZE
 - ✓ SHOWER READY
 - ✓ HEATING RESISTANCES TEST
- BURNING
- ANODE
- HMI MNGMT

7.2.1 Lockout: gestione degli errori

Diverse condizioni disfunzionali possono verificarsi durante il normale funzionamento della macchina, se queste vengono rilevate dal dispositivo, esso deve essere bloccato e si attivano le procedure di sicurezza.

Il sistema, dunque, entra nello stato di Lockout, nel quale, a seconda del motivo che ha portato al verificarsi di questa condizione, vengono eseguiti diversi comandi e si resta in attesa della risoluzione del problema, a seguito della quale lo scaldabagno riprenderà a lavorare normalmente.

Tre sono i tipi di errore che possono verificarsi (Warnings Volatili, Errori Volatili ed Errori Non Volatili), di seguito sono riportati alcuni esempi per ogni tipologia.

Warnings Volatili

Il verificarsi di una situazione che porta alla generazione di warnings volatili non comporta per forza il blocco del sistema ma anche solo la generazione di un semplice avviso che verrà mantenuto fin quando la condizione di errore non sarà più valida.

Touch comm

Se la scheda di controllo non è in grado di garantire la comunicazione con il modulo touch, deve essere impostato l'errore *Touch Comm*.

Questo avviso deve essere mostrato all'utente, ma il sistema non deve essere bloccato e la condizione deve essere mantenuta fino al recupero della comunicazione.

Anode Fault

Questo avviso deve essere controllato solo se il bit `ACTIVE_ANODE_ENABLE` è settato a 1 sullo script "*WaterHeaterSettings.Options*". L'errore di circuito aperto deve essere impostato quando la resistenza all'acqua è superiore a 5 MOhm per 10 secondi.

Questo avviso deve essere mostrato all'utente, ma il sistema non deve essere bloccato e la condizione deve essere mantenuta fino a quando la resistenza all'acqua è inferiore a 500 kohm per almeno 10 secondi.

NOTE:

Tale condizione di errore potrebbe verificarsi a causa della mancanza di acqua all'interno del serbatoio interno. La macchina deve essere quindi inibita poiché potrebbe essere pericoloso erogare calore

quando non c'è abbastanza acqua nel serbatoio interno. Questo controllo deve essere temporaneamente inibito all'accensione per 3 s.

Errori Volatili

Gli errori volatili vengono rimossi non appena le condizioni di errore non sono più soddisfatte, quindi, a differenza degli errori non volatili, non necessitano di alcuna operazione manuale da parte dell'utente.

NTC1, 2

Si tratta di un errore di sicurezza (diagnostica tramite led in Figura 40). Quando viene rilevata una situazione di circuito aperto o cortocircuito su una delle due sonde, si verifica l'errore *NTC1* o *NTC 2*. Il sistema deve essere bloccato fino a quando non vengono più rilevate tali condizioni di errore.



Figura 40 - Diagnostica errore NTC1

Errori non volatili

Gli errori non volatili del dispositivo devono essere salvati in memoria non volatile e devono essere mantenuti anche dopo una condizione di spegnimento (anche se il supercap si è scaricato). Tali errori devono essere rimossi manualmente con una condizione di ripristino impostata dall'utente e solo se sono soddisfatte le condizioni di sicurezza ($T_NTC_High, T_NTC_Low < 75\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Error Relay Stuck

Si tratta di un errore di sicurezza. Quando il riscaldamento viene interrotto, se T_Avg aumenta più di $StuckRelayTh$ entro T_WINDOW_SAFETY (240), viene impostato l'errore. Questo significa che si sta verificando un riscaldamento anomalo e inaspettato dell'acqua, nonostante esso sia stato interrotto.

Error Dry Heating

Anche questo è un errore di sicurezza (diagnostica tramite led in Figura 41). Se la sonda NTC1 funziona bene (non è stata rilevata alcuna condizione di errore, ossia NTC1 in corto o circuito aperto), è possibile eseguire la prova di errore di riscaldamento a secco: se $T_{NTC1} > 115 \text{ °C}$ (T_{NTC1} è la temperatura rilevata dalla sonda 1) per almeno 3 s, deve essere impostato l'errore di riscaldamento a secco e la stessa logica viene applicata su NTC2.



Figura 41 - Diagnostica errore Dry Heating

NTC High/Low Overheating

Si tratta nuovamente di un errore di sicurezza. Se la sonda NTC1 funziona bene (non viene rilevata alcuna condizione di errore NTC1 in corto o circuito aperto), è possibile eseguire il test di errore di surriscaldamento: se $T_{NTC1} > 105 \text{ °C}$ * per almeno 3 s, deve essere impostato l'errore di surriscaldamento NTC1 e la stessa logica viene applicata su NTC2.

Error Can't Unlock

È un altro errore di sicurezza. La scheda di controllo non deve consentire più di 5 tentativi di ripristino per errori non volatili in 15 minuti. Ogni volta che si verificano questi tentativi di ripristino, un timer inizialmente impostato a 15 minuti diminuisce, ci devono essere 5 timer (ciascuno a partire da 15) e un ulteriore reset è accettato se almeno uno di essi è zero. Se nessuno di questi è arrivato a zero, deve essere abilitato un sesto timer: questo timer aumenta il suo valore di 5 minuti (fino a 255 minuti al massimo) ogni volta che viene tentato un ulteriore reset logico: quando questo timer non è nullo, gli altri cinque non devono essere controllati e si verifica la condizione *can't unlock*. Il reset sarà consentito di nuovo solo quando la condizione *can't unlock* viene rimossa: ciò avviene quando il timer 6 e quindi almeno uno dei primi 5 timer diventano zero.

7.2.2 Normal

Durante il normale funzionamento dello scaldabagno, esso può operare in diverse modalità, a seconda della funzionalità impostata dall'utente. In modalità *manuale*, ad esempio, la temperatura desiderata viene impostata dall'utilizzatore e il dispositivo andrà ad accendere o spegnere gli elementi riscaldanti a seconda della richiesta ricevuta (rispettivamente una temperatura più alta o una più bassa di quella attuale).

Sempre restando in questa modalità, è possibile selezionare anche la funzione eco in cui però la temperatura non può essere direttamente impostata dall'utente ma viene scelta in autonomia dal prodotto. Infatti, viene inizialmente impostata una temperatura di default e dopodiché lo scaldabagno studierà il comportamento dell'utente apprendendo così informazioni sui momenti di maggiore o minore utilizzo, sugli sprechi eventuali ecc. ed analizzando questi dati sarà in grado di stabilire un profilo di utilizzo e andare ad aumentare o diminuire la temperatura dell'acqua e di conseguenza l'assorbimento di corrente del dispositivo, a seconda dell'orario e delle necessità così da evitare eventuali sprechi.

Viene adesso presentato più nel dettaglio il principio di funzionamento di tale modalità.

7.2.2.1 Studio dello Smart Algorithm per applicazione in Eco/Eco Solar Mode

L'idea dello Smart Algorithm nasce perchè al giorno d'oggi la riduzione degli sprechi energetici dei dispositivi di riscaldamento dell'acqua (WH – Water Heater) è molto importante e sempre più utenti lo richiedono. Inoltre, uno studio ha dimostrato che gli scaldacqua ad accumulo sono molto spesso sovradimensionati dall'installatore sia per dimensioni (capacità di stoccaggio) che per impostazione della temperatura dell'acqua (cioè non inferiore a 65 ° C). Di conseguenza, producono un eccesso di acqua calda e successivamente relative perdite di calore che hanno entrambe un forte effetto negativo sull'efficienza del prodotto.

Al fine di migliorare l'efficienza dei dispositivi WH e ridurre le perdite di calore senza penalizzazione del comfort, lo scaldabagno deve riscaldare solo la quantità di acqua calda necessaria all'utente finale, questo obiettivo può essere ottenuto sviluppando una politica di controllo adeguata che apprenda dalle abitudini di consumo degli utenti finali.

Lo Smart Algorithm è stato introdotto per rispondere a questa esigenza e prevede una gestione dinamica delle impostazioni della temperatura dell'acqua e della fasatura della curva di riscaldamento. Il principio di base di questo controllo intelligente consiste nel rilevare automaticamente (tramite

monitoraggio di temperatura e temporizzazione) qual è il reale utilizzo di acqua calda della specifica utenza in cui è installato il dispositivo. In questo modo è in grado di individuare, soprattutto per gli elettrodomestici di grandi dimensioni, i periodi in cui l'acqua deve essere riscaldata.

La caratteristica fondamentale dell'approccio Smart Control è quella di essere dinamico e auto adattivo a tutte le situazioni della vita reale, offrendo in questo modo importanti risparmi senza penalizzazione del comfort per i consumatori.

Per raggiungere questo tipo di risultati, lo Smart control lavora con un approccio di apprendimento automatico continuo, consentendo una reale ottimizzazione dei consumi. Tale algoritmo parte da un periodo di apprendimento di 7 giorni a partire dal suo tempo di attivazione: ogni settimana riconosce e memorizza (considerando anche il passato) le intercettazioni avvenute tra l'utente e lo scaldabagno, quindi, con questa raccolta dati disegna un profilo di riscaldamento da seguire per il periodo successivo, esso è inoltre in grado di stimare la temperatura media dell'acqua spillata associata ad ogni tapping (prelevazioni di acqua calda). Ogni volta che Smart viene modificato o si verifica un errore o un ripristino del microcontrollore, l'algoritmo Smart viene riavviato dall'inizio.

Pertanto, il nuovo algoritmo Smart ha i seguenti vantaggi:

- è robusto sia per i consumi abituali che non abituali dell'utente finale;
- può stimare la temperatura media sfruttata dal WH;
- il profilo di riscaldamento futuro è solo quello necessario (questo significa ottimizzazione energetica).

Idea e Funzionamento

Lo Smart Algorithm prevede che venga riscaldata solo la quantità di acqua necessaria all'utente finale utilizzando un approccio di apprendimento continuo. Inoltre, può adattarsi automaticamente seguendo il comportamento dell'utente nel tempo (compensazione dell'effetto delle stagioni). Come detto prima, Smart ha un approccio di apprendimento continuo basato su periodi di osservazione di 1 settimana. In particolare, il tempo è diviso in ore:

$$1 \text{ settimana} = 24 * 7 \text{ ore}$$

Per ogni ora della settimana l'Algoritmo associa una certa temperatura del set point. Durante la prima settimana, dopo l'attivazione della funzione Smart, la temperatura viene fissata a quella impostata

dall'utente a causa della mancanza di dati appresi; ma dalla seconda in poi, la temperatura è autonomamente impostata dall'algorithm Smart (se la funzione Eco o Eco Solar è stata attivata).

Lo Smart Algorithm è composto da due parti principali che funzionano in parallelo:

- Logica di riscaldamento;
- Logica di apprendimento;

La *logica di riscaldamento*, leggendo i dati appresi, decide quando e per quanto tempo l'elemento riscaldante deve essere acceso. La *logica di apprendimento* rileva e misura i tapping che avvengono in ogni ora, quindi, associa alla rispettiva ora una certa temperatura del set point considerando la sua storia passata.

La misurazione delle prelevazioni di acqua calda dipende dalla temperatura media dell'acqua spillata dal serbatoio. Questo valore non può essere ottenuto facilmente, infatti sono presenti solo due sonde (NTC) per la misurazione della temperatura all'interno del serbatoio, che, essendo posizionate nella parte bassa del serbatoio, non forniscono, a causa dell'effetto di stratificazione, informazioni precise sulla temperatura media.

Quindi è molto importante notare che la temperatura media nel serbatoio (T_{Mean}) è diversa dalla temperatura media degli NTC ($DgtoT_{Avg}$), anche se a volte sono le stesse. Per ottenere la misura corretta si devono utilizzare i seguenti parametri:

- Perdite statiche (T_{pr}): questo valore rivela come la temperatura media all'interno del serbatoio diminuisca rispetto al tempo in cui l'elemento riscaldante si spegne.
- Velocità di riscaldamento dell'utente (T_{Rise}): questo valore è la velocità letta dagli NTC quando l'elemento riscaldante è acceso e le temperature aumentano.
- Velocità di riscaldamento reale ($T_{RiseReal}$): questo valore è la velocità letta dagli NTC quando l'elemento riscaldante è acceso e tutte le temperature nel serbatoio aumentano con la stessa velocità (nessun effetto di stratificazione). Quindi questo è il tasso con cui aumenta la temperatura media.

Velocità di riscaldamento dell'utente e velocità di riscaldamento reale

Quando l'elemento riscaldante viene acceso e l'acqua non viene prelevata dal serbatoio, possiamo calcolare due tipi di velocità di riscaldamento:

- Velocità di riscaldamento reale
- Velocità di riscaldamento dell'utente

La velocità di riscaldamento reale è quella con cui tutte le temperature nel serbatoio aumentano allo stesso modo e quindi non è presente nessun effetto di stratificazione. La velocità di riscaldamento dell'utente, invece, è semplicemente quella con cui le temperature aumentano nel serbatoio a prescindere dal fatto che ci sia effetto di stratificazione o meno.

Sia la velocità di riscaldamento reale che quella dell'utente vengono calcolate leggendo i valori delle due sonde NTC. Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** viene riportato il primo riscaldamento dello scaldabagno: quando la temperatura (linea blu) aumenta sempre con la stessa pendenza possiamo supporre che tutte le temperature all'interno del serbatoio siano le stesse.

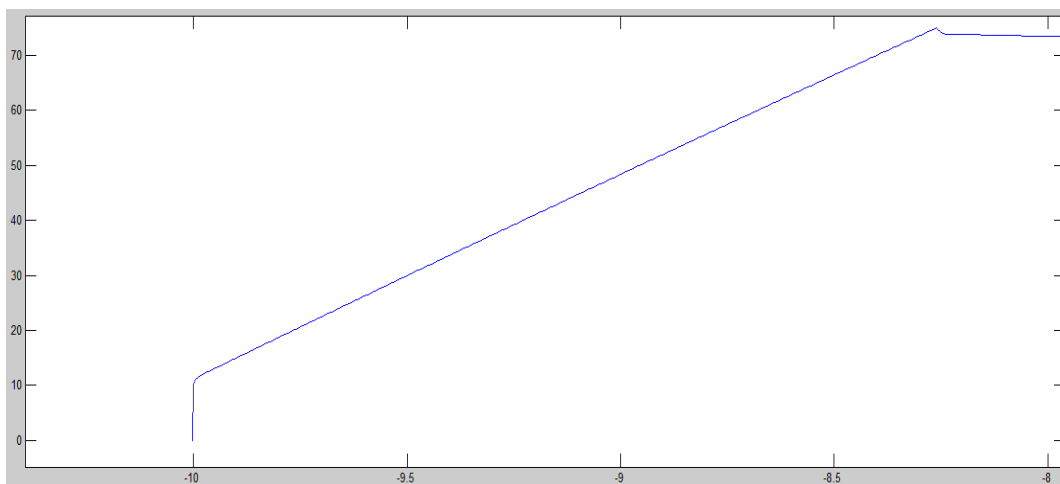


Figura 42 - Grafico Temperatura / Tempo

Il grafico in figura evidenzia, appunto, che la temperatura aumenta sempre con la stessa velocità poiché non vi è alcun effetto di stratificazione e risulta, quindi, che la velocità di riscaldamento reale e quella dell'utente sono le stesse.

Nella Figura 43 viene riportata un'altra possibile situazione: tutte le velocità di riscaldamento (date dalla pendenza della curva blu) cambiano nel tempo, ad eccezione dell'ultima parte di riscaldamento (cerchiata in rosso) quando la temperatura aumenta sempre con la stessa pendenza e non è, dunque, presente alcun effetto di stratificazione. Pertanto, mentre la velocità dell'utente viene sempre calcolata durante tutto il processo di riscaldamento, quella reale deve essere calcolata solo durante l'ultima parte di riscaldamento.

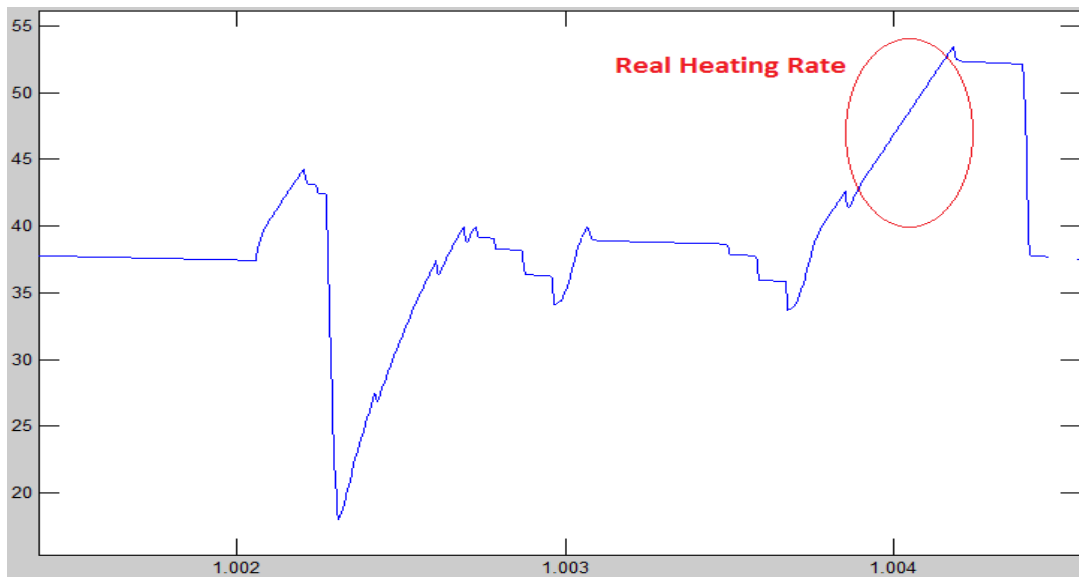


Figura 43 - Grafico Temperatura / Tempo

8 Sviluppo software

Il software è scritto in linguaggio C e il programma utilizzato per lo sviluppo è “e2Studio”: un ambiente di sviluppo integrato (IDE) basato su Eclipse, il quale oltre a permettere l’edit del codice attraverso il potente editor Eclipse, offre anche una ricca gamma di funzioni estese [17].

Esso, infatti, copre tutti i processi di sviluppo, dal download del codice di esempio al debug. Quest’ultima funzionalità, in particolare, è molto importante per un corretto sviluppo del codice, in quanto essa permette di valutare passo per passo le righe di codice ed eventualmente di operare sui valori delle variabili, modificandoli (se il tipo di variabile lo consente) anche durante la normale esecuzione del software sul prodotto, così da poter controllare il suo comportamento a seguito di determinate variazioni.

Inoltre, per analizzare ancora più nel dettaglio il comportamento dello scaldabagno e simulare una condizione di reale applicazione all’interno di un’utenza, è stato creato un “banchetto” (Figura 44) il quale è collegato al controllo elettronico dello scaldabagno (privato del suo serbatoio) ed è in grado di riprodurre il comportamento della parte meccanica del prodotto e dell’utenza, andando, ad esempio, a simulare un prelievo di acqua calda o ad aumentare la temperatura dell’elemento riscaldante e quindi dell’acqua nel serbatoio se questo fosse presente ecc.



Figura 44 - Banchetto per simulare lo scaldabagno

Tale dispositivo può essere collegato al computer sul quale è installato *e2Studio* e quest’ultimo permette di controllare, ad esempio, come cambiano i valori dei parametri a seguito di determinati eventi (pressione dei pulsanti sull’interfaccia grafica, selezione di una modalità piuttosto che di un’altra, variazione del valore di resistenza per simulare una variazione di temperatura o uno dei possibili errori ecc.).

Ciò permette di capire se il software è corretto in ogni sua parte, se lo scaldabagno risponde bene agli stimoli esterni ed eventualmente, se dovesse verificarsi un errore o un malfunzionamento, quale sia la causa scatenante. Di seguito è rappresentato uno schematico delle connessioni instaurate tra pc e banchetto di simulazione (Figura 45):

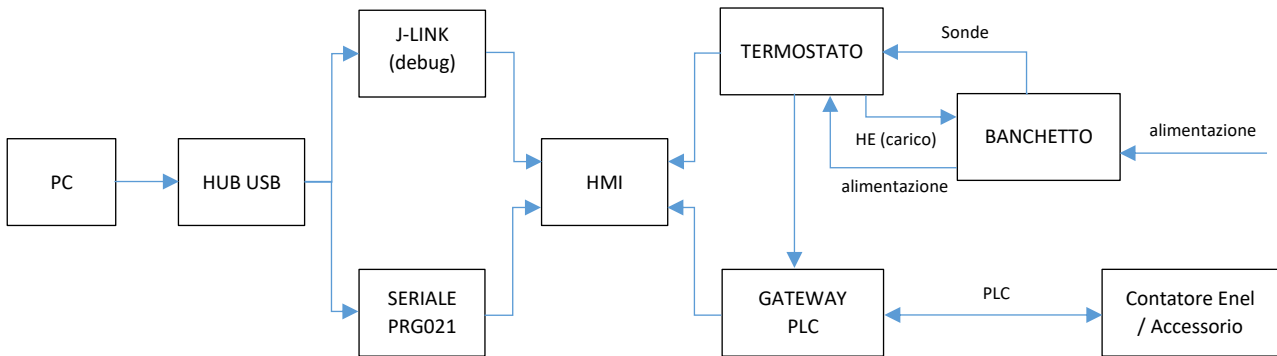


Figura 45 - Schematico connessioni

Nello schema sono presenti due dispositivi fondamentali per il corretto sviluppo del software: il *J-LINK*, che è un dispositivo utilizzato per il debug (hardware legato ad e2studio che permette di eseguire lo sviluppo e il debug del codice sul prodotto) ed è appunto collegato fra pc e scheda HMI e la *SERIALE PRG021*, che è invece l'hardware relativo al programma EvoChatter, che verrà presentato più nel dettaglio nel [capitolo 8.1.1](#) e che serve per la visualizzazione dei valori di alcune delle variabili più importanti ai fini del controllo del comportamento del nuovo software installato sul dispositivo (anch'esso è di conseguenza inserito fra pc e scheda HMI).

8.1 Indirizzamento delle variabili: creazione dei nuovi DGTO

Prima di passare alla descrizione delle nuove parti di software sviluppate e delle modifiche fatte a quelle già esistenti, è bene presentare il modo in cui vengono indirizzate alcune delle variabili del codice.

I DGTO sono dei particolari indirizzi, creati sulla base di criteri precisi ed assegnati ad alcune delle variabili utilizzate nel codice. Questi indirizzi vengono associati al nome della variabile a cui devono fare riferimento (non sono quindi legati ai loro indirizzi di memoria) e questo fa sì che il DGTO legato a una certa variabile resti invariato anche a seguito di un'eventuale modifica del codice.

Ciò non accade invece con gli indirizzi di memoria delle stesse, infatti, quando un codice viene compilato, ad ogni variabile è assegnato un indirizzo univoco che identifica la sua posizione in memoria, tuttavia, se

dovessero essere apportate modifiche allo script, questo implicherebbe una nuova compilazione e una possibile modifica dell'indirizzo assegnato precedentemente.

Senza l'utilizzo dei DGTO, non sarebbe quindi possibile fare riferimento sempre allo stesso indirizzo per ottenere informazioni su una determinata variabile.

Esistono tre diversi tipi di DGTO:

- Publici: sono univoci fra tutti i prodotti Ariston e una volta che uno di questi è stato assegnato non può essere utilizzato da altri, permettono, quindi, di accedere alla variabile ad esso corrispondente anche dall'esterno;
- Privati: vengono assegnati a variabili locali e sono quindi validi solo per quello specifico prodotto;
- Phantom: a differenza dei pubblici e dei privati, la cui associazione indirizzo-variabile viene salvata in memoria, questi indirizzi esistono solo all'interno di uno specifico tool e ciò permette di sfruttare le caratteristiche dei DGTO senza occupare spazio in memoria che nel caso degli scaldabagni è limitata;

L'acronimo DGTO sta per "Dominio, Genere, Tipo, Ordine" e ad ognuno di questi parametri viene assegnato uno specifico valore a seconda delle caratteristiche della variabile a cui esso deve essere associato.

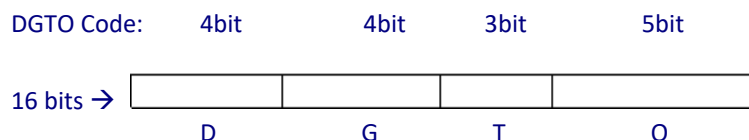


Figura 46 - Divisione in bit di un DGTO

In Figura 46 è rappresentata la suddivisione in bit di un generico DGTO, tuttavia, quando questo viene inserito nel codice, deve essere ripartito in quattro blocchi da quattro bit ognuno e poi riportato in forma esadecimale.

La riorganizzazione dei campi implica che il primo bit a sinistra del campo *ordine* passi al campo *tipo*. Ciò comporta che, lavorando in decimale, se il valore associato all'*ordine* è minore o uguale a 15, questo rimane invariato e quello assegnato al tipo (compreso fra 0 e 8) viene moltiplicato per due; se l'*ordine* vale, invece, 16 o più allora ad esso viene sottratto 16 e il *tipo* viene moltiplicato per due e sommato ad uno (nel primo caso, infatti, il bit che viene riassegnato è 0 e quindi la sua presenza non influisce sul valore dell'*ordine*).

Di seguito un esempio esplicativo:

T = 6, O = 8 T | O -> 110 | 01000
 Diventa: T | O -> 1100 | 1000 quindi T = 12, O = 8
 T = 3, O = 25 T | O -> 011 | 11001
 Diventa: T | O -> 0111 | 1001 quindi T = 7, O = 9

Per il nuovo scaldabagno abbiamo dovuto creare alcuni nuovi DGTO che ci permettessero di analizzare facilmente una parte delle nuove variabili inserite. Per la creazione di un nuovo DGTO, il primo punto da determinare è il *dominio* la cui scelta viene fatta sulla base di una tabella di 16 possibili valori che vanno da 0 a 15, a seconda del tipo di variabile alla quale si vuole associare l'indirizzo (ad esempio se si tratta di input, contatori, variabili locali ecc.).

In

Tabella 9 uno schematico della tabella utilizzata in cui i campi sono stati nascosti per questioni di privacy.

		GENERE -->															
DOMINIO		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	15 Possibili Valori del Dominio	15 Possibili Valori del Genere Per Ognuna delle 15 Righe															
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	

Tabella 9 - Schematico creazione DGTO Dominio/Genere

Il secondo parametro da scegliere è invece il *tipo* perché sarà questo a restringere il campo sui possibili valori assegnabili al genere. Esso, come suggerisce il nome stesso del campo, fornisce informazioni sul tipo di variabile che si sta trattando (byte con segno S8 o senza segno U8, flag, parola con segno S16 o senza segno U16 ecc.). Anche questo viene determinato tramite una tabella di 8 possibili valori che vanno da 0 a 7, ad ognuno dei quali è associato anche un colore che identifica quali tra i valori di genere possono essere associati al tipo scelto (le caselle della tabella del genere sono colorate di conseguenza).

Consultando la stessa tabella utilizzata per la scelta del *dominio*, è ora possibile determinare anche il *genere* (limitandosi ai valori nelle celle del colore corrispondente al tipo selezionato precedentemente). Questo parametro può assumere un valore compreso tra 0 e 15 e le possibili scelte associate variano di molto a seconda del dominio selezionato, deve essere quindi scelto di volta in volta a seconda di ciò che meglio si adatta alla variabile da rappresentare: se stessimo, ad esempio, trattando un timer espresso in secondi il dominio sarebbe “*contatore*” e tra i possibili valori di genere ad esso associati non potremmo sceglierne uno che identifica una variabile espressa in minuti.

L’ultimo campo è l’*ordine*, esso semplicemente è un parametro incrementale che può andare da 0 a 31 e che viene incrementato di uno rispetto all’ultima variabile creata che ha gli stessi campi dominio, genere e tipo se questa esiste, altrimenti si parte da 0. Se ad esempio esiste già il DGTO 7 4 4 2 e ne sto creando un altro che ha i primi tre campi uguali a quelli di quest’ultimo, allora sceglierò come *ordine* il valore 3 ottenendo così il DGTO 7 4 4 3.

Per la creazione di questi indirizzi, si utilizzano degli appositi tool che sono diversi a seconda di quale tipo di DGTO si voglia creare (pubblico, privato o phantom). Una volta che sono stati aggiunti tutti i DGTO desiderati si passa alla creazione del file che contiene questi indirizzi, anche questo sarà diverso a seconda del tool utilizzato e del tipo di DGTO che contiene e avrà quindi un’estensione diversa a seconda di queste caratteristiche (Tabella 10).

TOOL	File di output	Descrizione
ENV Editor	.xml	Crea un file contenente tutti i DGTO pubblici attualmente in utilizzo nei vari prodotti Ariston Group
UTL063 FWORJ Generator	.fwprj	Crea un file contenente tutti i DGTO pubblici e privati supportati da una singola scheda
AXF to FWPRJ Import Tool	.fwprj	Aggiunge ad un file di tipo .fwprj già esistente e riferito ad una certa scheda tutti i DGTO phantom della scheda in questione

Tabella 10 - Tool per la creazione dei DGTO

Una volta che il file con tutti i DGTO è stato creato, questi possono essere inseriti anche all’interno del codice: prima vanno definiti e va loro associato l’indirizzo appena creato in formato esadecimale e poi gli viene associato l’indirizzo della variabile a cui essi fanno riferimento (questo può cambiare senza creare alcun

problema in quanto il valore dell'indirizzo di memoria viene, ogni volta, preso dal nome della variabile associata, il quale resta sempre invariato).

Tuttavia, non tutti i DGTO vengono trattati allo stesso modo, infatti, esiste un particolare dominio chiamato "*adjustable*" che rappresenta variabili che generalmente non vengono modificate o che cambiano di rado e il cui valore deve essere mantenuto in memoria anche a seguito di eventi particolari, come, ad esempio, un buco di rete. Questi indirizzi, quindi, devono essere inseriti in diversi script e viene loro assegnato un valore di default e un range di valori che possono assumere (dal minimo al massimo).

8.1.1 Modifica del codice per l'inserimento dei nuovi DGTO

Di seguito sono riportate le righe del nuovo codice in cui vengono definiti i DGTO pubblici relativi alle variabili più utili allo scopo del progetto (per questioni di riservatezza gli indirizzi in notazione esadecimale sono stati oscurati):

```
#if ( EBUS_DEV_INTERFACE_VER >= 5 )  
  
#define DGTO_WHE_MAX_METER_POWER           (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_METER_POWER_CUT_OFF_TIMER (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_POWER_PV_PRODUCTION       (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_POWER_GRID_WITHDRAWN     (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_POWER_GRID_FED_IN        (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_PV_TSETPOINT              (0XXXXX)  
#define DGTO_WHE_PV_MODE                   (0XXXXX)  
#endif
```

Per poterli inserire e di conseguenza utilizzare, quindi, vanno definiti ed essendo degli indirizzi va loro associato il valore dell'indirizzo (in notazione esadecimale) che è stato trovato durante la loro creazione.

Nella sezione seguente invece è presentata la parte di script in cui è stata eseguita l'associazione fra DGTO e variabile ad esso relativa (solo per i DGTO pubblici e non di tipo *adjustable*):

```
SECTION_USED(".DgtoVarsLabel")  
const ATG_DGTO_LABEL_STORAGE_t powerline_dgto_label_array[] __attribute__((used)) =  
{  
    DGTO_GWT_PL_BITMAP_STS,  
    DGTO_GWT_PL_FW_VER,  
    DGTO_WHE_METER_POWER_CUT_OFF_TIMER,  
    DGTO_WHE_POWER_PV_PRODUCTION,  
    DGTO_WHE_POWER_GRID_WITHDRAWN,  
    DGTO_WHE_POWER_GRID_FED_IN,  
};
```

```
SECTION_USED(".DgtoVarsAddress")
u08 * const powerline_dgto_address_array[] __attribute__((used)) =
{
    (u08*)&PowerLineGatewaySts,           // DGTO_GWT_PL_BITMAP_STS
    (u08*)&PowerLineGatewayFwVer,        // DGTO_GWT_PL_FW_VER
    (u08*)&TimeToCutOff,                 // DGTO_WHE_METERPOWERCUTOFFTIMER
    (u08*)&PowerInstTotPvProd,           // DGTO_WHE_POWERPVPRODUCTION
    (u08*)&PowerAvgInstTotUsed,          // DGTO_WHE_POWERGRIDWITHDRAWN
    (u08*)&PowerInstTotGridFedIn,       // DGTO_WHE_POWERGRIDFEDIN
};
```

In associazioni di questo tipo è importante mantenere lo stesso ordine delle variabili negli elenchi delle due strutture in quanto la seconda associa l'indirizzo della prima variabile in essa scritta al primo DGTO elencato nell'altra, il secondo indirizzo al secondo DGTO e così via.

Una volta che tutti i DGTO necessari sono stati inseriti, è possibile usufruire di un tool molto utile il quale ci permette di analizzare i valori delle variabili a loro associate (eventualmente anche di sovrascriverle).

Nella figura sottostante (Figura 47) viene riportato un esempio di visualizzazione degli indirizzi e delle variabili ad essi associate, con i corrispettivi valori (anche qui i DGTO sono oscurati per questioni di riservatezza):

Test	! Src	Label	D	G	T	O	Write Val	Current Val	T-	T+
	ENV	WHE_T_Avg	x	x	x	x	0	98	0	0
	ENV	WHE_T_Low_Inlet	x	x	x	x	0	98	0	0
	ENV	WHE_T_High_Inlet	x	x	x	x	0	98	0	0
	ENV	WHE_On_Off	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	WHE_ECO_Activation	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	REM_On_Off	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	WHE_Antibact_Activation	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	WHE_Buzzer_Enable	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	WHE_HE1Power	x	x	x	x	0	2500	0	0
	ENV	WHE_HE2Power	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_MaxMeterPower	x	x	x	x	0	6000	0	0
	ENV	WHE_OpMode	x	x	x	x	0	1	0	0
	ENV	WHE_T_UserSetPointMax	x	x	x	x	0	800	0	0
	ENV	WHE_T_Comfort	x	x	x	x	0	400	0	0
	ENV	WHE_T_UserSetPoint	x	x	x	x	0	700	0	0
	ENV	WHE_T_Hyst	x	x	x	x	0	10	0	0
	ENV	WHE_PV_TsetPoint	x	x	x	x	0	800	0	0
	ENV	WHE_PV_Mode	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_MeterPowerCutOffTimer	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_Volatile_Warnings	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_NonVolatile_Errors	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_Volatile_Errors	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_T_Display	x	x	x	x	0	98	0	0
	ENV	WHE_Actual_SetP	x	x	x	x	0	700	0	0
	ENV	WHE_PowerPvProduction	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_PowerGridWithDrawn	x	x	x	x	0	0	0	0
	ENV	WHE_PowerGridFedIn	x	x	x	x	0	0	0	0

Figura 47 - Esempio EvoChatter

Il programma in questione si chiama EvoChatter (Figura 47) e consente di vedere tutti i tipi di DGTO creati (pubblici, privati e phantom), questi possono essere caricati direttamente dalla scheda (al tool è associato un prodotto fisico che va collegato tra il computer e lo scaldabagno sotto esame) oppure dal file, presentato precedentemente, contenente l'elenco di tutti i DGTO creati (file di tipo .fwprj).

8.2 Scrittura e modifica codice per attivazione modulo Wi-Fi

Le prime modifiche che abbiamo eseguito sul codice sono state dettate dalla necessità di eseguire dei test e delle valutazioni sul prodotto. Esso, infatti, come detto in precedenza, di norma non prevede la presenza di una scheda Wi-Fi per la connessione ad Internet, tuttavia, per poter leggere ed analizzare i dati relativi al prodotto, a seguito della sua installazione in ambiente domestico di test, è necessario che questi vengano caricati su un server così da risultare sempre disponibili e consultabili.

Il primo passo, quindi, è stato quello di collegare alla scheda HMI una scheda per la connessione Wi-Fi (REM 4), tale modulo è in grado di collegarsi ad un router e fungere da Access Point e una volta che il prodotto sarà completo ed installato invierà al server tutti i dati richiesti.

Le modifiche da noi apportate, rispetto al codice del Powerflex, riguardano sia lo script per l'effettiva connessione al modulo Wi-Fi, sia quello relativo all'interfaccia utente per far sì che sia possibile, attraverso di essa, avere un feedback visivo sullo stato della scheda Wi-Fi e attivare o disattivare manualmente la connessione a seconda della necessità (gli script relativi alla connessione Wi-Fi erano già presenti in vista di possibili applicazioni future).

Quando il modulo non è ancora connesso, infatti, il led che è stato ad esso riservato lampeggia lentamente, nel momento in cui tenta la connessione, lampeggia a una frequenza maggiore e poi quando è riuscito a stabilirla, il led resta acceso con luce fissa.

Di seguito è riportata una parte del codice relativo al modulo Wi-Fi, in cui è possibile vedere il processo di accensione e spegnimento:

```
// WIFI ON-OFF
if( ( Button[BUTTON_R2].ShortPressRelease | Button[BUTTON_R2].MidPressRelease ) )
{
    UserIfBuzzerStartShort();

    if( pUserIfWHESettings->NVState & NVSTATUS_WIFI_MASK )
    {
        // disable wifi
        M_BSET( UserIfCmd, CMD_WIFI_OFF_BIT );
    }
    else
    {
```

```

    // enable wifi
    M_BSET( UserIfCmd, CMD_WIFI_ON_BIT );
}

Timer_500ms      = 50;
DuringBlink_500ms = 0;
}

```

La variabile “*BUTTON_R2*” indica il pulsante che è stato dedicato al modulo in questione, ossia il secondo sul lato destro dell’interfaccia. Quando questo tasto è sottoposto a una pressione breve o media seguita da un rilascio (*ShortPressRelease* o *MidPressRelease*), si esegue un controllo sullo stato della scheda. Se il Wi-Fi è acceso, il risultato dell’operazione logica di AND fra il puntatore all’elemento “*NVState*” della struttura “*pUserIfWHESettings*” e la maschera “*NVSTATUS_WIFI_MASK*” è 1 e quindi il Wi-Fi deve essere spento. Per fare ciò si utilizza la funzione “*M_BSET*” la quale prende in ingresso due valori: il primo è il valore da modificare e il secondo è la maschera che viene utilizzata per impostarlo al valore desiderato.

Se il risultato dell’AND invece è diverso da 1 allora il Wi-Fi deve essere acceso, le operazioni che seguono sono le stesse descritte per il caso precedente, l’unica differenza sta nella maschera che viene passata alla funzione “*M_BSET*”.

Per quanto riguarda il controllo del led, la funzione a cui si fa riferimento è la seguente:

```

1. static void WifiLedDriving( void )
2. {
    2.1. u08 WifiSts;

    2.2. WifiSts = WIFI_Get_Status();

    2.3. if( UserIfVolatileWarnings & V_WARNING_WIFI_COMM_MASK )
    2.4. {
    2.5. LEDS_SwitchOff( LED_R2_MASK ); // Wifi com error
    2.6. }
    2.7. else if( !( pUserIfWHESettings->NVState & NVSTATUS_WIFI_MASK ) )
    2.8. {
    2.9. LEDS_SwitchOff( LED_R2_MASK ); // Wifi off
    2.10. }
    2.11. else
    2.12. {
    2.13. // Wifi on
    2.14. if( 0 != WifiSoftResetTimeout )
    2.15. {
        2.15.1. if( 0 == DuringBlink_100ms )

```

```

2.15.2. {
2.15.3. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // ultra fast blinking
2.15.4. }
2.16. }
2.17. else if( 0 != WifiSpTimeout )
2.18. {
2.18.1. // 2 fast blinking + pause
2.18.2. if( 0 == WifiTimeout )
2.18.3. {
2.18.4. WifiTimeout = 120;
2.18.5. }

2.18.6. if( ( ( WifiTimeout > 100 ) && ( WifiTimeout <= 120 ) ) || ( ( WifiTimeout > 60 ) && ( WifiTimeout <= 80 ) ) )
2.18.7. )
2.18.8. {
2.18.9. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // On steady
2.18.10. }
2.18.11. else
2.18.12. {
2.18.13. LEDS_SwitchOff( LED_R2_MASK ); // off steady
2.18.14. }
2.19. }
2.20. else if( ( 0 != WifiApTimeout ) || ( AP_INIT == WifiSts ) || ( AP_ON == WifiSts ) )
2.21. {
2.21.1. if( 0 == DuringBlink_200ms )
2.21.2. {
2.21.3. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // fast blinking
2.21.4. }
2.22. }
2.23. else if( SERVER_CONNECTED == WifiSts )
2.24. {
2.24.1. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // On steady
2.25. }
2.26. else if( ( CONNECTED == WifiSts ) || ( PROVISIONING == WifiSts ) )
2.27. {
2.27.1. // 2 fast blinking + pause
2.27.2. if( 0 == WifiTimeout )
2.27.3. {
2.27.4. WifiTimeout = 120;
2.27.5. }

2.27.6. if( ( ( WifiTimeout > 100 ) && ( WifiTimeout <= 120 ) ) || ( ( WifiTimeout > 60 ) && ( WifiTimeout <= 80 ) ) )
2.27.7. )
2.27.8. {
2.27.9. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // On steady
2.27.10. }
2.27.11. else
2.27.12. {
2.27.13. LEDS_SwitchOff( LED_R2_MASK ); // off steady
2.27.14. }

```

```

2.28. }
2.29. else
2.30. {
    2.30.1. if( 0 == DuringBlink_500ms )
    2.30.2. {
    2.30.3. LEDS_SwitchOn( LED_R2_MASK ); // slow blinking
    2.30.4. }
    2.31. }
    2.32. }
3. }

```

Come prima cosa si richiede lo stato attuale del modulo e si procede sulla base delle informazioni appena ricevute. Dopodiché viene eseguito un controllo per determinare l'eventuale presenza di errori, nel qual caso il led del Wi-Fi viene immediatamente spento, se invece non è presente nessun errore si prosegue nell'esecuzione dello script. A questo punto diverse condizioni "if" determinano l'ingresso o meno in una sezione del codice e quindi lo svolgimento di determinate operazioni.

Ad esempio, se la scheda è in modalità AP ossia *Access Point*, il led lampeggia velocemente con un intervallo temporale di 200ms fra un'accensione e la successiva.

Se invece il modulo è riuscito a connettersi alla rete allora viene acceso il led con luce fissa che resterà tale a prescindere dalla modalità operativa o dall'accensione/spegnimento del prodotto.

Questi controlli si trovano all'interno della funzione "*WifiLedDriving*" la quale viene chiamata da "HMI_Mngmt" che a sua volta è chiamata in continuazione nel loop principale del codice, questo permette di controllare continuamente il valore dello stato di connessione del modulo e accendere o spegnere o far lampeggiare il led nel momento adatto (es. accensione a seguito di pressione tasto Wi-Fi se il modulo è spento), rispecchiando anche gli effettivi tempi di connessione della scheda.

8.3 Scrittura e modifica codice HMI

Anche l'interfaccia utente (HMI) dello scaldabagno ha subito diverse variazioni, infatti, prima i led sulla sinistra indicavano le cinque possibili temperature che potevano essere impostate con lo scaldabagno in modalità manuale (o più in generale la temperatura dell'acqua in quell'istante), in basso era posizionato il led che indicava l'attivazione o meno della modalità eco e a destra il livello di potenza (Figura 48).



Figura 48 - Vecchia interfaccia

Nel nuovo Powerflex Solar, invece, come si può vedere dalla Figura 49 ci sono alcune modifiche: i led sulla sinistra non sono più tutti dedicati alle temperature bensì solo i tre in alto sono utilizzati a questo scopo e indicano le tre temperature che è possibile impostare e visualizzare, spaziate fra loro di un intervallo maggiore rispetto a quello precedente (40 °C, 60 °C e 80 °C anziché 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70°C e 80 °C), scendendo di un led ancora si trova l'indicazione della modalità *eco* (invariata rispetto al prodotto precedente) l'ultimo sulla sinistra, è riservato alla modalità *eco-solar* e infine quello situato al centro in basso indica (quando è acceso) che si sta facendo autoconsumo.

Di seguito una rappresentazione di come sarà l'interfaccia una volta realizzata (non è presente il tasto per il Wi-Fi in quanto è un'aggiunta fatta solo per i programmatori così da poter registrare i dati ed analizzarli e non è, per ora, presente sul prodotto finale):

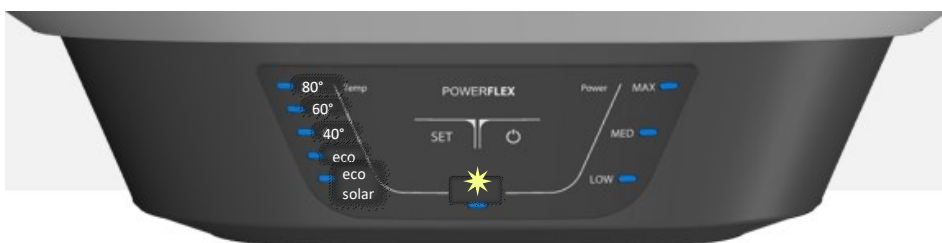


Figura 49 - Nuova interfaccia Powerflex Solar

Le modifiche all'interfaccia non riguardano solo l'aspetto visivo ma vanno ad interessare anche modalità interne di funzionamento dello scaldabagno. Come detto precedentemente la funzione *eco* resta invariata nella sua logica di funzionamento ma ad essa si aggiunge una nuova funzione che è, appunto, la *eco-solar*.

Questa modalità prevede innanzitutto l'attivazione della normale modalità *eco*, quindi, finché non si creerà una condizione particolare, essa si baserà sullo Smart Algorithm e non presenterà differenze, dal punto di vista della logica di funzionamento, dalla normale funzione *eco*.

La differenza, tuttavia, sta nel fatto che la modalità eco-solar può essere attivata, ovviamente, solo in caso di presenza di impianto fotovoltaico e che quando la potenza da esso prodotta supera, di una certa quantità prefissata, quella consumata dall'utente, allora lo Smart Algorithm viene disattivato e lo scaldabagno andrà a cercare di riscaldare l'acqua nel serbatoio fino ad una temperatura massima preimpostata (80°C).

Nel caso in cui la richiesta da parte dell'utente poi aumentasse al punto da portare la potenza prodotta in eccesso al di sotto della soglia prefissata per l'attivazione della procedura appena presentata, allora il riscaldamento "forzato" dell'acqua verrebbe interrotto e lo scaldabagno tornerebbe a lavorare secondo la logica imposta dallo Smart Algorithm.

```
1. static void UserIfNormalDuring( void )
2. {
3. ....
4. switch ( UserIfNormalSts )
5. {
6.     5.1. case USERIF_WORKING:
7.         5.2. if (( Button[BUTTON_CL].ShortPressRelease | Button[BUTTON_CL].MidPressEvent ))
8.             5.3. {
9.                 5.3.1. UserIfBuzzerStartShort();
10.
11.                 5.3.2. // Find current index
12.                 5.3.3. {
13.                     5.3.4. u08 TsetMSB;
14.
15.                     5.3.5. if ( (pUserIfWHESettings->NVState & NVSTATUS_ECO_MASK) && (pUserIfWHESettings->PVmode) )
16.                         5.3.6. {
17.                             5.3.6.1. SettingIdx = 6; // eco solar
18.                         5.3.7. }
19.                     5.3.8. else if ( pUserIfWHESettings->NVState & NVSTATUS_ECO_MASK )
20.                         5.3.9. {
21.                             5.3.9.1. SettingIdx = 8; // eco
22.                         5.3.10. }
23.                     5.3.11. else
24.                         5.3.12. {
25.                             5.3.12.1. TsetMSB = (u08)( pUserIfWHESettings->T_SetPoint/TEMP_H2O_RES );
26.                             5.3.12.2. SettingIdx = MAX_LEDS_TEMP-1;
27.                             5.3.12.3. do
28.                                 5.3.12.4. {
29.                                     5.3.12.5. //if ( TsetMSB >= TSetPointLedTbl[(u08)TempSetPointIdx] )
30.                                     5.3.12.6. if ( TsetMSB >= NFC_LEDSETPOINT((u08)SettingIdx) )
31.                                         5.3.12.6.1. break;
32.                                 }
33.                             5.3.12.7. SettingIdx--;
34.                             5.3.12.8. SettingIdx--;
35.                             5.3.12.9. }
36.                             5.3.12.10. while ( SettingIdx > 0 );

```

```

5.3.13. }
5.3.14. }

5.3.15. USERIF_Timeout = 50;
5.3.16. SetTimer      = 0;

5.3.17. UserIfNormalSts = USERIF_TEMP_SETTING;
5.4.   }
5.5.   .....

```

In questa parte di script è presentata la selezione della modalità di funzionamento, infatti, quando l'utente tocca il tasto "set", eseguendo una pressione di breve o media durata seguita dal rilascio del tasto (riga 5.2), va a cambiare l'impostazione predefinita per la modalità di lavoro dello scaldabagno.

Ad ognuna delle tre possibilità (eco, eco-solar e manuale) è associato un indice che sarà salvato nella variabile "SettingIdx" (variabile locale, con segno, di 8 bit) ed utilizzato in seguito per capire qual è la funzione selezionata, accendere i led ad essa relativi e cambiare le impostazioni secondo quanto richiesto dalla modalità scelta.

Nel primo caso (riga 5.3.5) si sta scegliendo la modalità eco-solar e si scrive il valore del suo indice, ossia il "6", nella variabile predisposta, nel secondo caso (riga 5.3.8) si sta scegliendo invece la modalità eco e si procede nello stesso modo di prima ma con l'indice 8, altrimenti (riga 5.3.11) si seleziona la modalità manuale e viene scelta una delle tre possibili temperature, qui l'indice è incrementato di due per ogni tocco dell'utente in quanto in memoria sono ancora salvate le cinque temperature utilizzate nella precedente versione dello scaldabagno (40, 50, 60, 70, 80) mentre ora solo tre di queste possono essere selezionate (40, 60, 80) ed esse si distanziano l'un l'altra di due decine, quindi due indici.

Alla riga 4, della parte di codice riportata sopra, inizia una funzione di switch-case, il primo caso è quello di USERIF_WORKING appena visto, proseguendo poi nel codice si trova una seconda condizione in cui vengono settate le impostazioni relative alla temperatura nelle diverse modalità: USERIF_TEMP_SETTING.

Di seguito è riportata e spiegata tale parte:

```

1.   .....
2.   case USERIF_TEMP_SETTING:
3.   .....
4.   if( 1 == USERIF_Timeout )
    4.1. {
    4.2. USERIF_Timeout = 0;

```

```

4.3. if( 8 == SettingIdx ) // Eco
4.4. {
4.4.1. M_BSET( UserIfCmd, CMD_ECO_ON_BIT ); // ENABLE ECO

4.4.2. pUserIfWHESettings->PVMODE = 0; // DISABLE ECO SOLAR

4.4.3. WaterHeaterSettings_SetMode( MODE_MANUAL ); // Enter Manual mode

4.4.4. pUserIfWHESettings->T_SetPoint = NFC_T_SETPOINT_DEFAULT;
4.5. }
4.6. else if( 6 == SettingIdx ) // Eco Solar
4.7. {
4.7.1. M_BSET( UserIfCmd, CMD_ECO_ON_BIT ); // ENABLE ECO

4.7.2. pUserIfWHESettings->PVMODE = 1; // ENABLE ECO SOLAR

4.7.3. WaterHeaterSettings_SetMode( MODE_MANUAL ); // Enter Manual mode

4.7.4. pUserIfWHESettings->T_SetPoint = NFC_T_SETPOINT_DEFAULT;
4.8. }
4.9. else if( SettingIdx < MAX_LEDS_TEMP )
4.10. {
4.10.1. M_BSET( UserIfCmd, CMD_ECO_OFF_BIT ); // DISABLE ECO

4.10.2. pUserIfWHESettings->PVMODE = 0; // DISABLE ECO SOLAR

4.10.3. WaterHeaterSettings_SetMode( MODE_MANUAL ); // Enter Manual mode

4.10.4. pUserIfWHESettings->T_SetPoint = (s16)( (u16)NFC_LEDSETPOINT((u08)SettingIdx) * TEMP_H2O_RES);
// Set new temperature set point
4.11. }
4.12. WaterHeaterSettingsUpdate();
4.13. }

```

Si entra nel primo caso (riga 4.3) se è stata selezionata la modalità Eco (in tal caso SettingIdx vale 8): come prima cosa viene, dunque, abilitato il bit relativo all'attivazione di tale modalità (CMD_ECO_ON_BIT), è poi disattivata la modalità Eco Solar (nel caso in cui essa fosse precedentemente attiva), si entra in modalità manuale (valida non solo quando la temperatura è scelta manualmente dall'utente ma anche in Eco ed Eco Solar) e infine viene impostata la temperatura di riferimento.

Per fare quest'ultima operazione si utilizza un puntatore (*pUserIfWHESettings*) che punta ad una struttura esterna (*WaterHeaterSettings_t*) composta da tutti quei valori che controllano le principali impostazioni relative alla temperatura dello scaldabagno. Nel caso in esame si vuole impostare la temperatura da raggiungere e quindi il puntatore punta alla variabile "T_SetPoint" che sta ad indicare la temperatura

desiderata e in essa viene salvato il valore di default associato alla modalità Eco, indicato dalla variabile NFC_T_SETPOINT_DEFAULT.

Se è stata invece scelta la modalità Eco Solar, si entra nel secondo if (riga 4.6) e SettingIdx vale 6, come prima cosa, in questo caso, viene settato ad 1 il bit relativo alla modalità Eco (la Eco Solar infatti se non è presente eccesso di potenza prodotta dall'impianto fotovoltaico si comporta come la Eco), si abilita poi la funzione Eco solar andando a settare ad 1 la variabile PVmode (Photovoltaic Mode) puntata dallo stesso puntatore presentato prima (pUserIfWHESettings->PVmode), si entra in modalità manuale e infine si setta la temperatura desiderata nello stesso modo e allo stesso valore della modalità Eco.

Nel caso in cui nessuna delle due modalità appena viste sia stata scelta significa che la temperatura è stata impostata manualmente dall'utente e si entra, quindi, nell'ultima condizione di if (riga 4.9), in questo caso le due modalità (Eco ed Eco Solar) vengono subito disattivate, la modalità manuale viene, come nei due casi visti in precedenza, attivata e si setta la temperatura desiderata a seconda del valore di SettingIdx, che sarà diverso per ognuna delle tre possibili temperature, sempre utilizzando il puntatore visto in precedenza e scrivendo nella variabile *T_SetPoint* il valore corrispondente all'indice selezionato dall'utente.

Di seguito è invece riportata la parte dello script in cui vengono accesi i led corrispondenti alla selezione effettuata dall'utente (solo per caso Eco o Eco Solar):

```
1. void HMI_Mngmt(
    1.1.1. INPUTS_Events_t Inputs,
    1.1.2. Errors_t UsrErrors,
    1.1.3. u32 SleepingTime
2. )
3. {
4. ....
5. if ( USERIF_INIT == UserIfSts )
6. ....
7. else //if ( USERIF_WORKING == UserIfNormalSts )
8. {
9. DisplayTemperature( pTANK_CtrlVars->Tdsrd, (Bool)( pHeatingSts[INLET_TANK].InProgress ) );
10. {
11. // ECO LED
12. if ( ECO_ON == UserIfEcoSts )
13. {
13.1. if ( pUserIfWHESettings->PVmode)
13.2. {
13.3. LEDS_SwitchOn( LED_TH1_MASK );
13.4. if ( PowerLineGetSelfconsumption() )
```

```

13.5. {
    13.5.1. LEDS_SwitchOn( LED_CENTRAL_MASK );
13.6. }
13.7. }
13.8. else
13.9. LEDS_SwitchOn( LED_TH2_MASK );
14. }
15. else
16. {
17. LEDS_SwitchOff( LED_TH2_MASK );
18. }

19. .....
20. }
21. }

```

Come primo passaggio si controlla che effettivamente la modalità Eco sia attivata (in entrambi i casi, infatti, sia in Eco che in Eco Solar, la modalità di base è quella Eco, Eco Solar poi si comporterà in modo diverso quando saranno soddisfatte determinate condizioni). Se l'if è soddisfatto allora si va a fare un ulteriore controllo: se la modalità Eco Solar è attiva e quindi il valore del puntatore che punta alla struttura *WaterHeaterSettings_t* contenente PVmode è 1, allora viene acceso il led corrispondente, ossia, il primo sulla sinistra a partire dal basso.

Un ulteriore controllo da fare è se si sta facendo autoconsumo o meno e per far ciò ci si appoggia alla funzione *PowerLineGetSelfconsumption()* che verrà presentata e spiegata in seguito, la quale restituisce un valore: se questo è 1 allora l'utenza sta auto consumando, se è 0 no. Se quindi ci si trova in una situazione di auto consumo, viene acceso anche il led centrale (indicato con un sole) e i led delle temperature a seconda delle impostazioni (anche questa parte verrà spiegata più approfonditamente in seguito).

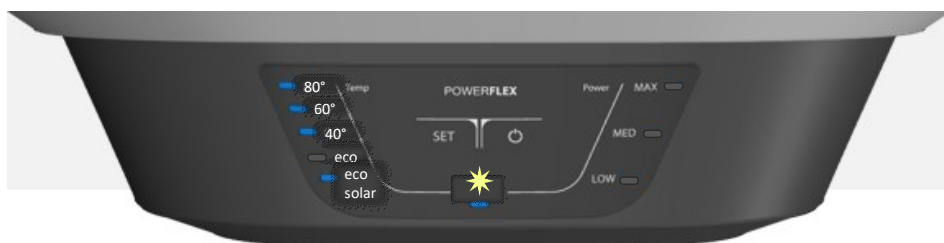


Figura 50 – Interfaccia con Eco Solar e auto consumo attivi

8.4 Scrittura e modifica codice per ricezione dati tramite PowerLine

Per poter presentare il comportamento dello scaldabagno in modalità Eco Solar quando c'è eccesso di potenza prodotta dall'impianto è necessario prima evidenziare come si ottiene l'informazione di potenza in eccesso, essa si può ricavare andando ad analizzare i dati dei pacchetti inviati dai due contatori intelligenti.

Nel vecchio scaldabagno, era presente un solo contatore che può essere comparato con il contatore M1 del caso attuale e non era inoltre prevista la possibilità di fare autoconsumo. Proprio per questo motivo il software era sensibile ad un numero minore di pacchetti e di questi utilizzava solamente i campi relativi al consumo di energia elettrica fatta dall'utente.

Il software del nuovo scaldabagno invece prende in considerazione un numero maggiore di dati in quanto sono necessari anche i parametri che forniscono informazione sulla corrente immessa verso la rete elettrica e anche dei pacchetti ulteriori che sono inviati solo dal contatore M2 e che sono invece relativi alla produzione di energia elettrica da parte dell'impianto fotovoltaico.

Il nuovo codice dunque è il seguente:

```
1. void Set_Protocol(u08 id_subobj, u08 size, u08 *buffer)
2. {
    2.1. s16 PowerMeterMax = 0;

    2.2. if(0 == id_subobj) // Chain 2 Full
    2.3. {
    2.4. if( (1 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (24 == buffer[0]) ) // CF1 M1 periodic Chain 2 Full
    2.5. {
        2.5.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
        2.5.2. PowerAvg15TotUsed = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);
    2.6. }
    2.7. else if( (2 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (37 == buffer[0]) ) // CF2 M1 event Chain 2 Full
    2.8. {
        2.8.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
        2.8.2. PowerAvg15TotUsed = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);
        2.8.3. PowerInstTotGridFedIn = ((s16)(buffer[26])<<8) + (s16)(buffer[27]);
        2.8.4. PowerAvg15TotGridFedIn = ((s16)(buffer[28])<<8) + (s16)(buffer[29]);
    2.9. }
    2.10. else if( (3 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (38 == buffer[0]) ) // CF3 M1 event Chain 2 Full
    2.11. {
        2.11.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
        2.11.2. PowerAvg15TotUsed = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);
    2.12. }
    2.13. else if( (4 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (53 == buffer[0]) ) // CF4 M1 event Chain 2 Full
    2.14. {
        2.14.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
        2.14.2. PowerAvg15TotUsed = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);
```

```

2.14.3. PowerInstTotGridFedIn = ((s16)(buffer[26])<<8) + (s16)(buffer[27]);
2.14.4. PowerAvg15TotGridFedIn = ((s16)(buffer[28])<<8) + (s16)(buffer[29]);
2.15. }

2.16. else if( (20 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (buffer[0] <= 109) && (buffer[0] >= 50) ) // CF20 M1 event
Chain 2 Full
2.17. {
2.17.1. u08 L1 = buffer[14];
2.17.2. u08 L2 = buffer[15+L1];
2.17.3. u08 L3 = buffer[17+L1+L2];
2.17.4. u08 L4 = buffer[18+L1+L2+L3];
2.17.5. //u08 L5 = buffer[35+L1+L2+L3+L4];

2.17.6. PowerMeterMax = ((s16)(buffer[26+L1+L2+L3+L4])<<8) + (s16)(buffer[27+L1+L2+L3+L4]);
2.18. }
2.19. else if( (21 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (17 == buffer[0]) ) // CF21 M1 event Chain 2 Full
2.20. {
2.20.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[14])<<8) + (s16)(buffer[15]);
2.21. }
2.22. else if( (22 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (19 == buffer[0]) ) // CF22 M1 event Chain 2 Full
2.23. {
2.23.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[14])<<8) + (s16)(buffer[15]);
2.23.2. PowerMeterMax = ((s16)(buffer[16])<<8) + (s16)(buffer[17]);
2.23.3. TimeToCutOff = ((u16)(buffer[18])<<8) + (u16)(buffer[19]);
2.24. }
2.25. else if( (27 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (89 == buffer[0]) ) // CF27 M1 event Chain 2 Full
2.26. {
2.26.1. PowerMeterMax = ((s16)(buffer[83])<<8) + (s16)(buffer[84]);
2.27. }
2.28. else if( (28 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (17 == buffer[0]) ) // CF28 M1 event Chain 2 Full
2.29. {
2.29.1. PowerMeterMax = ((s16)(buffer[16])<<8) + (s16)(buffer[17]);
2.30. }
2.31. else if( (41 == buffer[2]) && (2 == buffer[1]) && (17 == buffer[0]) ) // CF41 M2 event Chain 2 Full
2.32. {
2.32.1. PowerInstTotPvProd = ((s16)(buffer[14])<<8) + (s16)(buffer[15]);
2.33. }
2.34. else if( (51 == buffer[2]) && (1 == buffer[1]) && (19 == buffer[0]) ) // CF51 M1 event Chain 2 Full
2.35. {
2.35.1. PowerInstTotUsed = ((s16)(buffer[14])<<8) + (s16)(buffer[15]);
2.35.2. PowerInstTotGridFedIn = ((s16)(buffer[16])<<8) + (s16)(buffer[17]);
2.36. }
2.37. else if( (101 == buffer[2]) && (2 == buffer[1]) && (24 == buffer[0]) ) // CF101 M2 event Chain 2 Full
2.38. {
2.38.1. PowerInstTotPvProd = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
2.38.2. PowerAvg15TotPvProd = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);
2.39. }
2.40. else if( (103 == buffer[2]) && (2 == buffer[1]) && (38 == buffer[0]) ) // CF103 M2 event Chain 2 Full
2.41. {
2.41.1. PowerInstTotPvProd = ((s16)(buffer[17])<<8) + (s16)(buffer[18]);
2.41.2. PowerAvg15TotPvProd = ((s16)(buffer[19])<<8) + (s16)(buffer[20]);

```

```

2.42. }

2.43. PLComTimeout = PL_COM_TIMEOUT;
2.44. }

2.45. if(0 != PowerMeterMax)
2.46. {
2.47. p_PL_WHESettings->MeterMaxPower = PowerMeterMax;

2.48. WaterHeaterSettingsUpdate();
2.49. }

```

Nella prima parte dello script (non riportata) vengono elencate ed inizializzate a 0 tutte le variabili necessarie alla memorizzazione dei dati inviati dai contatori, ogni volta poi che lo scaldabagno riceve uno dei pacchetti a cui esso è sensibile, vengono presi tutti i dati di interesse e aggiornate le variabili ad essi associate. Per ricavare uno specifico dato da un pacchetto è necessario conoscere la struttura di quest'ultimo e sapere quali sono i byte riservati alla trasmissione del dato in questione e quali quelli che trasportano altre informazioni.

Quando si vuole analizzare uno specifico pacchetto, lo si deve prima individuare fra i tanti ricevuti, ognuno di essi, infatti, ha alcune caratteristiche proprie che lo distinguono dagli altri e che sono qui utilizzate per separarli: l'id la lunghezza e il fatto di essere inviati da M1 (verso la rete) o M2 (verso il fotovoltaico).

Nelle prime righe del codice qui riportato, si rende lo scaldabagno sensibile alla ricezione del pacchetto CF1 inviato periodicamente da M1:

- la prima caratteristica cercata è "1 == buffer[2]" ossia che il terzo elemento (il conteggio delle posizioni di un array in linguaggio c parte da 0) di *buffer* sia pari ad 1, questo valore indica l'id del pacchetto (per CF1 dunque l'id è 1, per CF2 è 2 e così via);
- la seconda è "1 == buffer[1]" ossia che il secondo elemento di *buffer* sia 1, questo indica quale contatore ha inviato il pacchetto quindi in questo caso si vuole che tale campo sia 1 (M1);
- la terza è "24 == buffer[0]" ossia che il terzo elemento di *buffer* sia 24, questo valore corrisponde alla lunghezza totale in byte del pacchetto inviato ed è un ulteriore controllo sulla validità del messaggio ricevuto e sull'effettiva corrispondenza con il pacchetto cercato in quanto è specificato nella norma CEI 13-83 (documento di riferimento per i contatori Open Meter);

Una volta confermato il pacchetto si passa al salvataggio del valore cercato nella corrispondente variabile per farlo lo si deve estrarre dal campo giusto dell'array, anche questo valore si può determinare grazie alla norma CEI 18-83 infatti essa, come presentato nel [capitolo 6.2](#), contiene tutti i campi del pacchetto e anche

la loro lunghezza espressa in byte, in questo caso si vogliono determinare i valori di “*PowerInstTotUsed*” ossia la potenza istantanea totale utilizzata dall’utente e di “*PowerAvg15TotUsed*” ossia la potenza media su 15 min utilizzata dall’utente.

Analizzando il pacchetto in questione (interamente rappresentato nella norma) è possibile vedere che i due valori occupano entrambi 2 byte e che si trovano nei campi 17 e 18 il primo e 19 e 20 il secondo; tuttavia è possibile notare che il primo campo, in entrambi i casi, viene shiftato di 8 bit a sinistra, questo avviene perché il valore di potenza cercato potrebbe essere molto grande ed esso viene quindi espresso tramite 16 bit, tuttavia, ogni campo di *buffer* ha una lunghezza massima di 8 bit. Per poter ricostruire il valore effettivo della potenza è quindi necessario prendere la prima parte e shiftarla nelle 8 posizioni più alte e aggiungere poi a questa gli 8 bit restanti, ottenendo in questo modo la variabile di 16 bit cercata.

Questa procedura viene ripetuta per tutti i pacchetti e dati cercati, alla ricezione di ogni nuovo messaggio e le variabili desiderate quindi vengono continuamente aggiornate.

Un caso particolare è quello della variabile “*MeterMaxPower*” che è un campo della struttura “*WaterHeaterSettings_t*”, essa infatti è legata ad un DGTO adjustable e possiede dunque un valore di default e viene modificata molto raramente.

A livello locale questo campo, che rappresenta la potenza massima a disposizione dell’utente a seconda del suo contratto, è rappresentato dalla variabile “*PowerMeterMax*” che viene inizializzata a zero e cambia solo quando si riceve un pacchetto contenente l’informazione di “Potenza Disponibile”. Tale pacchetto viene inviato su evento (es. cambio fornitore) e solo quando questa variabile, alla fine dell’analisi di tutto il messaggio ricevuto, risulta essere diversa da zero, allora, il campo *MeterMaxPower* della struttura viene modificato con il nuovo valore ricevuto.

A seguito della ricezione di un messaggio e del salvataggio delle variabili, viene infine settato un timer, il “*PLComTimeout*” ad un valore predefinito e finché questo timer è diverso da zero, vengono eseguiti una serie di calcoli che sono di seguito riportati e spiegati.

1. **if**(*PLComTimeout*)
2. {
 - 2.1. *PowerAvgInstAcc* = *PowerAvgInstAcc* + *PowerInstTotUsed*;
 - 2.2. *PowerAvgFedInAcc* = *PowerAvgFedInAcc* + *PowerInstTotGridFedIn*;
 - 2.3. *PowerAvgPvProdAcc* = *PowerAvgPvProdAcc* + *PowerInstTotPvProd*;
 - 2.4. *PowerAvgCnt* = *PowerAvgCnt* + 1;}

```

2.5. if( PowerAvgCnt >= HEATING_PRERIOD_TICK-1 )
2.6. {
2.7. if( PowerAvgCnt > 0)
2.8. {
2.8.1. PowerAvgInstTotUsed = (s16)(PowerAvgInstAcc/PowerAvgCnt);
2.8.2. PowerAvgInstTotFedIn = (s16)(PowerAvgFedInAcc/PowerAvgCnt);
2.8.3. PowerAvgInstTotPvProd = (s16)(PowerAvgPvProdAcc/PowerAvgCnt);

2.8.4. PowerAvgTotUsed = PowerAvgInstTotUsed;
2.8.5. PowerAvgTotFedIn = PowerAvgInstTotFedIn;
2.8.6. PowerAvgTotPvProd = PowerAvgInstTotPvProd;

2.8.7. if( 0 == pHeatingSts[INLET_TANK].InProgress )
2.8.8. {
2.8.9. PowerAvailable = PowerTotMax - POWER_TOT_TOLL - PowerAvgTotUsed;
2.8.10. }
2.8.11. else
2.8.12. {
2.8.13. PowerAvailable = PowerSet + PowerTotMax - POWER_TOT_TOLL - PowerAvgTotUsed;
2.8.14. }
2.9. }

2.10. PowerAvgInstAcc = 0;
2.11. PowerAvgFedInAcc = 0;
2.12. PowerAvgPvProdAcc = 0;
2.13. PowerAvgCnt = 0;
2.14. }
2.15. else if( HEATING_PRERIOD_TICK == Get_HeatingOnTickCnt() ) // synchro point
2.16. {
2.17. PowerAvgInstAcc = 0;
2.18. PowerAvgFedInAcc = 0;
2.19. PowerAvgPvProdAcc = 0;
2.20. PowerAvgCnt = 0;
2.21. }
3. }
4. else
5. {
5.1. PowerAvgInstAcc = 0;
5.2. PowerAvgFedInAcc = 0;
5.3. PowerAvgPvProdAcc = 0;
5.4. PowerAvgCnt = 0;

5.5. PowerInstTotUsed = 0;
5.6. PowerAvgInstTotUsed = 0;
5.7. PowerAvg15TotUsed = 0;

5.8. PowerInstTotPvProd = 0;
5.9. PowerAvgInstTotPvProd = 0;
5.10. PowerAvg15TotPvProd = 0;

5.11. PowerInstTotGridFedIn = 0;

```

```

5.12. PowerAvgInstTotFedIn = 0;
5.13. PowerAvg15TotGridFedIn = 0;

5.14. PowerAvgTotUsed    = 0;
5.15. PowerAvgTotFedIn   = 0;
5.16. PowerAvgTotPvProd  = 0;

5.17. PowerLineSts      = 0;
6.   }
7.   }

8.   PowerTotRemain = PowerTotMax - PowerAvgTotUsed;

```

Per poter avere un valore più accurato o comunque mediato nel tempo, sono stati creati delle variabili da utilizzare come accumulatori (una per ogni dato salvato): *PowerAvgInstAcc* per la potenza istantanea usata dall'utente, *PowerAvgFedInAcc* per la potenza istantanea immessa verso la rete e *PowerAvgPvProdAcc* per la potenza generata dall'impianto fotovoltaico. Tali accumulatori vengono inizializzati a zero.

Ogni variabile trovata quindi, finché il timer "PLComTimeout" è diverso da zero, viene sommata all'accumulatore e il risultato è salvato nell'accumulatore stesso (es. riga 2.1). Questa operazione viene ripetuta per un certo numero di volte, ossia finché il contatore "PowerAvgCnt", che viene incrementato ad ogni ciclo di somma, non supera un valore prestabilito (riga 2.5).

Una volta entrati in questa condizione, vengono calcolati i valori medi totali relativi alle variabili inizialmente ricavate dai pacchetti inviati dai contatori; tale operazione viene fatta semplicemente dividendo l'accumulatore per il numero di cicli di somma (es. riga 2.8.1).

Da questi dati è possibile poi ottenere diverse informazioni, ad esempio alla riga 2.8.9 viene calcolato il valore di potenza ancora disponibile, andando a sottrarre alla potenza disponibile totale, la potenza totale media utilizzata dall'utente (in questa operazione è presente anche un'altra variabile, la "POWER_TOT_TOLL" che è semplicemente un range, deciso a priori, inserito per questioni di sicurezza così da essere certi di rimanere sempre al di sotto del valore di potenza massima disponibile).

Eseguite tutte le operazioni, gli accumulatori vengono riportati al valore zero mentre le altre variabili calcolate possono essere utilizzati in ulteriori funzioni che non sono qui riportate. Quando il contatore *PLComTimeout* si azzerà, tutte le variabili, gli accumulatori e il contatore *PowerAvgCnt* vengono posti nuovamente a zero.

Come appena detto, le variabili medie calcolate nel modulo precedente, vengono utilizzate anche esternamente, in particolare, una funzione estremamente importante per l'applicazione attuale è la seguente:

```
1. {
  1.1. if (PowerAvgTotFedIn > (s16)( (s32)(p_PL_WHESettings->HE1_pwr)*80/100 ))
  1.2. {
  1.3. SelfconsumptionEnable = 1;
  1.4. }
  1.5. else if (PowerAvgTotFedIn < (s16)( (s32)(p_PL_WHESettings->HE1_pwr)*60/100 ))
  1.6. {
  1.7. SelfconsumptionEnable = 0;
  1.8. }
2. }
```

In queste poche righe di codice si va a valutare se l'utenza sta effettivamente facendo autoconsumo e se la potenza prodotta dall'impianto supera le richieste dell'utente: si controlla infatti se la *PowerAvgTotFedIn*, ossia la potenza immessa verso la rete, supera l'80% del valore di potenza associato all'elemento riscaldante, in tal caso viene settata ad 1 la variabile "SelfconsumptionEnable" che indica appunto che si sta facendo autoconsumo. Nel caso in cui, invece, la *PowerAvgTotFedIn* sia inferiore al 60% della potenza dell'elemento riscaldante, allora la variabile *SelfconsumptionEnable* viene messa a 0.

È stata inoltre creata un'ulteriore funzione che permette di prendere il valore di *SelfconsumptionEnable* anche da un altro script:

```
u08 PowerLineGetSelfconsumption( void )
{
  return SelfconsumptionEnable;
}
```

Basterà quindi importare il file, in cui è definita tale funzione, nello script nel quale si desidera recuperare il valore della variabile in questione e poi chiamare la funzione appena presentata.

A seguire è invece riportata una funzione che sfrutta proprio l'informazione fornita da *SelfconsumptionEnable* e che va ad impostare la temperatura di riscaldamento dell'acqua nello scaldabagno ad un determinato valore se tale variabile è pari ad 1 e quindi se si sta auto consumando.

```

1. static void PVFunction ( TANK_CtrlVars_t *pTANK_CtrlVars, WaterHeaterSettings_t *pWHESettings )
2. {
3. if( (pWHESettings->PVmode) && (PowerLineGetSelfconsumption()) )
4. {
5. pTANK_CtrlVars[INLET_TANK].Tdsrd = M_MAX( pTANK_CtrlVars[INLET_TANK].Tdsrd,
    pWHESettings->T_PV_SetPoint);

6. pTANK_CtrlVars[INLET_TANK].Thyst = M_MIN( pTANK_CtrlVars[INLET_TANK].Thyst, TEMP_H2O_DEGREES(3) );

7. if( (Old_T_PV != pWHESettings->T_PV_SetPoint) || (Old_PVmode != pWHESettings->PVmode) )
8. {
9. pTANK_CtrlVars[INLET_TANK].Thyst = 0;
10. }
11. }
12. }

```

Se la modalità Eco Solar è attiva e se *SelfconsumptionEnable* vale 1 allora significa che ci sono tutte le condizioni per l'autoconsumo e lo scaldabagno va a riscaldare l'acqua anche se questa non è stata direttamente richiesta dall'utente. L'impostazione della temperatura desiderata viene fatta a riga 5 e questa è definita come il massimo valore tra la temperatura precedentemente impostata dall'utente o dalla funzione Eco e la temperatura di default del caso di utenza con fotovoltaico (*T_PV_SetPoint*).

A seguito di una modifica del modo di funzionamento dello scaldabagno viene sempre impostato anche un valore di isteresi. L'isteresi rappresenta l'intervallo di temperatura (in gradi) che si aspetta, a seguito di un prelievo da parte dell'utente, prima di accendere di nuovo l'elemento riscaldante. Tenzionalmente l'obiettivo è quello di mantenerla il più basso possibile, in modo che lo scaldabagno sia abbastanza reattivo a diminuzioni di temperatura e per questo motivo viene qui impostato il valore minimo tra l'isteresi precedentemente salvata e un valore scelto, che in questo caso è pari a 3 °C

Per poter andare a modificare questi dati, la funzione chiede in ingresso due puntatori, uno che punta alla struttura *TANK_CtrlVars_t* che contiene le variabili di controllo della temperatura dell'elemento riscaldante e un altro che punta invece alla struttura *WaterHeaterSettings_t* già presentata in precedenza e che contiene tutte le variabili relative alle impostazioni principali dello scaldabagno.

9 Log dei dati e conclusioni

A seguito dello sviluppo del software dedicato, un prototipo dello scaldabagno è stato programmato e collegato ad un'utenza per eseguire un test del prodotto e simulare, quindi, il suo comportamento una volta che sarà disponibile sul mercato ed installato in un'abitazione. Come detto in precedenza è stato aggiunto un modulo Wi-Fi solo per il periodo di test così da permetterci di raccogliere i dati per la valutazione.

Le acquisizioni devono essere portate avanti, almeno, per un tempo sufficientemente lungo affinché lo scaldabagno possa eseguire un'analisi del comportamento dell'utente e adattare il suo funzionamento di conseguenza. Inoltre, per fornire una valutazione accurata del prodotto e determinare quindi la sua affidabilità e la bontà del software sviluppato, il periodo di test dello scaldabagno deve essere ulteriormente aumentato. Per questo motivo l'acquisizione dei dati è ancora in corso e non possono essere riportati i risultati finali delle valutazioni.

In Figura 51, Figura 52, e Figura 53 sono riportati gli andamenti delle tre potenze che rappresentano il comportamento di un normale scaldabagno inserito in un'utenza in grado di auto produrre grazie alla presenza di un impianto fotovoltaico. Da tali immagini è possibile notare che nelle situazioni in cui la corrente non viene consumata dall'utente, essa viene quasi del tutto immessa verso la rete elettrica nazionale (a meno di quella destinata al consumo in stand-by dei prodotti sempre connessi); ciò non è conveniente per l'utente in quanto, come già detto in precedenza, il costo di vendita dell'energia è molto più basso di quello a cui essa viene acquistata dai consumatori. Di seguito viene eseguita un'analisi sulla base di tali dati e un breve riepilogo delle migliorie introdotte dal nuovo scaldabagno Powerflex Solar.

La Figura 51 rappresenta l'andamento su 13 giorni della potenza prodotta, essa si riferisce alla produzione di energia elettrica da parte dell'impianto fotovoltaico e, come era prevedibile, il picco di generazione di energia elettrica si trova nel mezzo della giornata mentre nelle ore notturne esso è nullo. Questa situazione mostra perfettamente l'utilità del Powerflex Solar il quale permette di non sprecare l'energia prodotta andando a venderla a poco prezzo sin da subito ma di utilizzarla per garantire un'immediata disponibilità di acqua calda in caso di richiesta dell'utente, anche nelle ore in cui il fotovoltaico non è in grado di produrne.

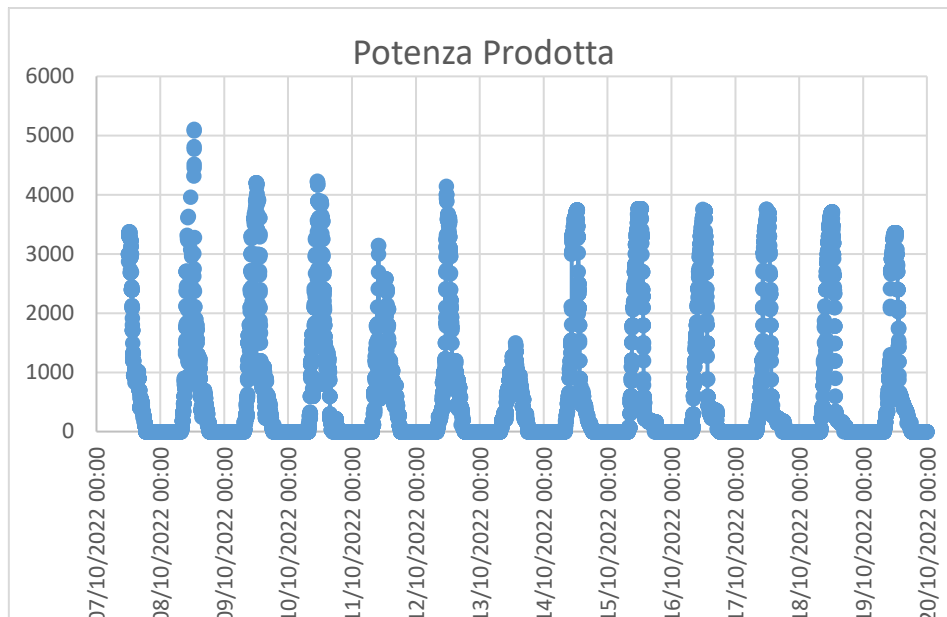


Figura 51 - Potenza Prodotta in 13 giorni

La Figura 52, invece, rappresenta la potenza importata dalla rete elettrica nazionale. Tale potenza diventa consistente quando l'impianto fotovoltaico non è in grado di soddisfare le richieste dell'utente perché quest'ultime superano il valore di energia prodotta oppure quando l'impianto non è assolutamente in grado di generare corrente. L'obiettivo del progetto è cercare di minimizzare, per quanto possibile attraverso l'uso dello scaldabagno anche come batteria termica, questo valore di potenza generando, quindi, un risparmio per l'utente.

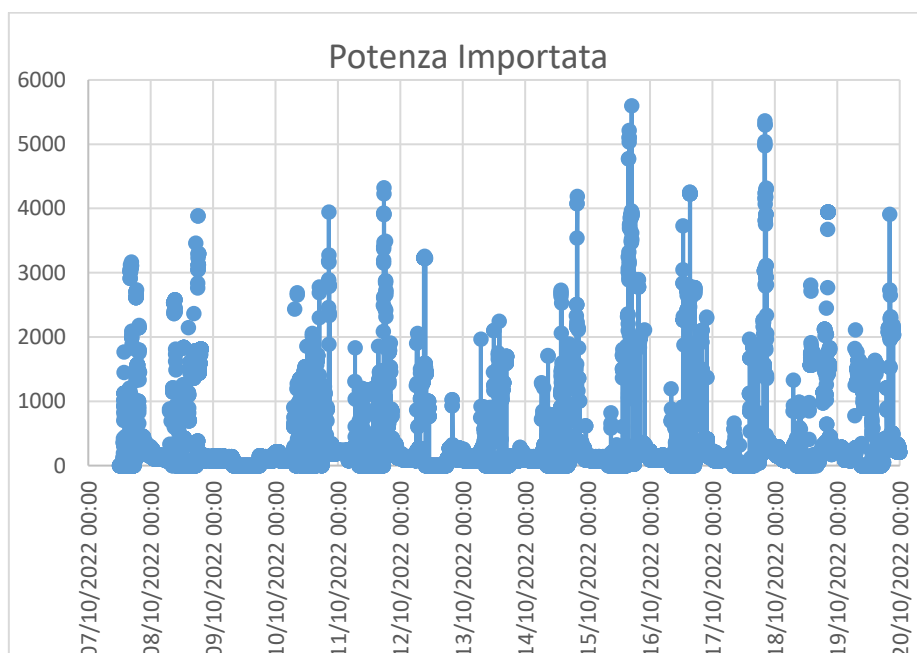


Figura 52 - Potenza Importata in 13 giorni

L'ultima immagine (Figura 53) rappresenta, infine, la potenza immessa verso la rete elettrica nazionale; il suo valore varia in base ai consumi dell'utenza, maggiore è la quantità di energia auto consumata e minore sarà quella immessa verso la rete (ovviamente nei momenti in cui non c'è produzione o in cui l'energia richiesta dall'utente è maggiore di quella prodotta dal fotovoltaico, questo valore è nullo).

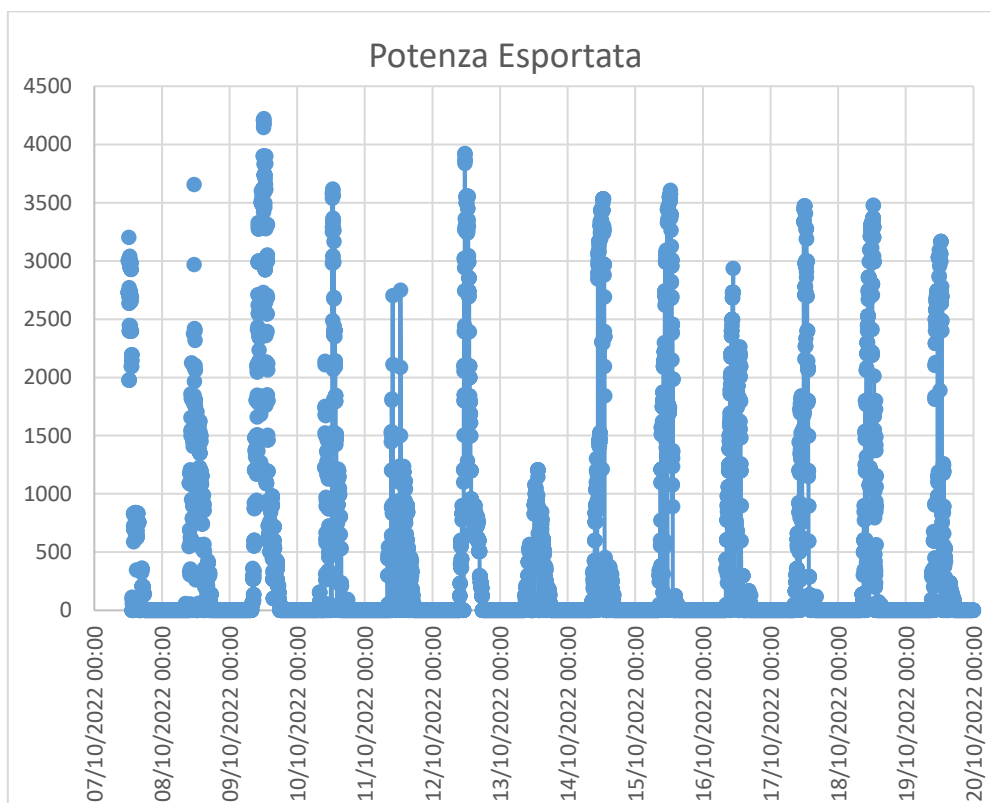


Figura 53 - Potenza Esportata in 13 giorni

Con l'utilizzo del Powerflex Solar, anche questo valore di potenza verrà, per quanto possibile, minimizzato andando a sfruttare al meglio l'eccesso di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e ciò permetterà non solo di diminuire i costi e gli sprechi sostenuti dall'utente, ma anche di migliorare la sua esperienza, riducendo, quando possibile, i tempi di attesa per la produzione di acqua calda.

L'obiettivo che Ariston Group si pone (e che sta in parte realizzando con questo nuovo prodotto) è, quindi, quello di muoversi sempre più verso la realizzazione di dispositivi eco sostenibili che non vadano a penalizzare, ma bensì ad aumentare, il comfort lato utente.

Indice delle figure

Figura 1 - Logo Ariston Group.....	6
Figura 2 - Marchi acquisiti da Ariston.....	7
Figura 3 - The Ariston Comfort Challenge	7
Figura 4 - premio World Class Manufacturing.....	8
Figura 5 - Ariston nel mondo.....	9
Figura 6 - Nimbus Net.....	10
Figura 7 - Arianext Link.....	10
Figura 8 - Alteas One	10
Figura 9 - Trigon XL (sx) e Trigon XXL (dx).....	11
Figura 10 - Velis	12
Figura 11 - Andris.....	12
Figura 12 - Esempio di Applicazione domestica	16
Figura 13 - Energie rinnovabili.....	17
Figura 14 - Bande di valenza e conduzione	19
Figura 15 - Giunzione p-n	19
Figura 16 - Comunità Energetica	21
Figura 17 - Autoconsumo Collettivo	22
Figura 18 - Scaldabagno Powerflex	23
Figura 19 - Interfaccia Powerflex.....	24
Figura 20 - Schema della struttura del serbatoio	26
Figura 21 - componenti Powerflex	27
Figura 22 - Scheda HMI.....	27
Figura 23 - Prototipo interfaccia utente Powerflex Solar.....	28
Figura 24 – Gateway.....	29
Figura 25 - Termostato T-Flex.....	30
Figura 26 - Modalità di lavoro	30
Figura 27 - Termistore NTC simbolo	31
Figura 28 - Curva NTC	31
Figura 29 - REM 4.....	33
Figura 30 - Caso Italia	34
Figura 31 – Chain2Gate Wi-Fi	35
Figura 32 – Esempio di Smart Home con contatori Open Meter	36
Figura 33 - Contatore Open Meter	37

Figura 34 - Caso estero	38
Figura 35 - Chain2Gate monofase (sx) e trifase (dx)	39
Figura 36 – Power Line Communication.....	40
Figura 37 – Chain2Gate Engine.....	40
Figura 38 - Chain2Gate Smart Plug.....	41
Figura 39 - Diagramma di flusso dello scaldabagno	49
Figura 40 - Diagnostica errore NTC1.....	54
Figura 41 - Diagnostica errore Dry Heating	55
Figura 42 - Grafico Temperatura / Tempo.....	59
Figura 43 - Grafico Temperatura / Tempo.....	60
Figura 44 - Banchetto per simulare lo scaldabagno	61
Figura 45 - Schematico connessioni	62
Figura 46 - Divisione in bit di un DGTO.....	63
Figura 47 - Esempio EvoChatter	67
Figura 48 - Vecchia interfaccia.....	72
Figura 49 - Nuova interfaccia Powerflex Solar	72
Figura 50 – Interfaccia con Eco Solar e auto consumo attivi.....	77
Figura 51 - Potenza Prodotta in 13 giorni.....	87
Figura 52 - Potenza Importata in 13 giorni.....	87
Figura 53 - Potenza Esportata in 13 giorni	88

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Errori	25
Tabella 2 - Relazione resistenza/temperatura	32
Tabella 3 – Scheda tecnica modulo ESP32 WROOM 32d	33
Tabella 4 – Gestione led	39
Tabella 5 – Gestione pulsante	39
Tabella 6 - Profili Utente.....	42
Tabella 7 - Trame ad invio periodico	45
Tabella 8 - Trame ad invio su evento.....	45
Tabella 9 - Schematico creazione DGTO Dominio/Genere	64
Tabella 10 - Tool per la creazione dei DGTO	65

Bibliografia

1. <https://www.aristongroup.com/it/Il-Gruppo/chi-siamo-e-cosa-facciamo>
2. https://www.aristongroup.com/it/Brand/riscaldamento_ambienti_e_acqua
3. <https://www.aristongroup.com/it/Brand/bruciatori>
4. <https://www.aristongroup.com/it/Brand/riscaldamento-dellacqua>
5. Ariston_SUSTAINABILITY REPORT.pdf
6. https://it.wikipedia.org/wiki/Fonti_di_energia_rinnovabile
7. https://it.wikipedia.org/wiki/Impianto_fotovoltaico
8. <https://www.enelx.com/it/it/storie/2020/05/comunita-energetiche-cosa-sono>
9. <https://www.lumi4innovation.it/autoconsumo-collettivo-cose-e-come-funziona/#:~:text=Cos'%C3%A8%20l'autoconsumo%20collettivo,o%20gruppo%20di%20entit%C3%A0%20differenti.>
10. <https://it.wikipedia.org/wiki/Powerline>
11. <https://it.omega.com/prodinfo/termistori.html>
12. Webinar “Smart Meeting & Chain2”
13. <https://www.e-distribuzione.it/open-meter/chain-2.html>
14. Norma CEI 13-82
15. <https://www.chain2gate.it/>
16. Norma CEI 13-83
17. <https://www.renesas.com/us/en/software-tool/e-studio>