



Sinergia S.C.
Via dell'Economia, 131
36100 Vicenza

AUTOCONSUMO COLLETTIVO DI ENERGIA GENERATA DA FONTI RINNOVABILI IN AMBITO CONDOMINIALE

REPORT CONCLUSIVO

12/05/2022



**Autoconsumo
Collettivo di
energia generata
da Fonti
Rinnovabili in
ambito
condominiale**

Intervento
realizzato avvalendosi
del finanziamento:

**POR – Obiettivo
"Investimenti
in favore della crescita
e dell'occupazione"**
parte FESR Fondo Europeo
di Sviluppo Regionale
2014-2020

**UNA
REGIONE
+GRANDE**

**Asse 1 - RICERCA,
SVILUPPO
TECNOLOGICO E
INNOVAZIONE**

Azione 1.1.1 - Sostegno a
progetti di ricerca alle
imprese che prevedono
l'impiego di ricercatori
(dottori di ricerca e laureati
magistrali con profili
tecnico-scientifici) presso le
imprese stesse"

Tecnici Ricercatori:
Ing. Christian Bartolomeo
Ing. Chiara Cavegion
Ing. Marco Pietrangelo
Direzione Tecnica: ing. Andrea D'Ascanio

SINERGIA S.C. - ESCO Certificata UNI 11352 – PMI Innovativa
Via dell'Economia. 131 – 36100 Vicenza
www.sinergia-esco.it / info@sinergia-esco.it
P.IVA e C.F. 03180580247 – Numero R.E.A. VI – 305115
Albo Cooperative Mutualità Prevalente A141050

12/05/2022
Rev. 00

1 Indice

1	Indice.....	2
2	Premesse.....	4
	2.1 Contesto europeo e nazionale.....	4
	2.2 Complesso Social housing Qui Abito.....	5
	2.3 Condominio Betulle.....	7
3	Analisi del mercato elettrico e normativa	8
	3.1.1 Il modello di regolazione.....	9
	3.1.2 La valorizzazione dell'energia elettrica condivisa.....	10
4	Sistemi di misurazione ed accesso da remoto.....	13
	4.1 Programma di misura e verifica	13
	4.2 Smart meter	13
	4.2.1 Il sistema di misurazione.....	14
	4.3 Accesso da remoto.....	15
	4.3.1 Network VPN.....	15
	4.3.2 Piattaforme di acquisizione dati	15
	4.4 Analisi sistemi utilizzati	16
5	Rilevamento dati prestazionali	17
	5.1 Dati raccolti al condominio Betulle.....	17
	5.1.1 Preparazione dei dati.....	17
	5.1.2 Trasformazione dati POD	19
	5.1.3 Correzione errori di acquisizione.....	20
	5.1.4 Produzione impianto fotovoltaico.....	22
	5.1.5 Fabbisogno utenze condominiali	22
	5.1.1 Fabbisogno utenze private	23
	5.2 Dati raccolti nel complesso C Qui Abito a Padova.....	24
6	Analisi Dati	25
	6.1 Condominio Betulle.....	25
	6.1.1 Produzione FV media oraria (giornaliera mensile).....	25
	6.1.2 Profilo medio orario di consumo (giornaliera mensile).....	26
	6.1.3 Profilo medio orario di consumo (giornaliera feriale e festivo).....	28
	6.2 Complesso C Qui abito	29
7	Scenari e modelli di business	31
	7.1 Possibilità di sviluppo.....	31
	7.2 Ipotesi di realizzazione nuovo impianto fotovoltaico complesso C.....	31
	7.2.1 Introduzione	31
	7.2.2 Risultati simulazione.....	32

7.2.3	Considerazioni finali impianto fotovoltaico condominiale.....	33
7.3	Valorizzazione dell'energia condivisa.....	34
7.3.1	Matching Dati	34
7.3.2	Valorizzazione dell'energia virtuale	36
7.4	Simulazione installazione di batteria di accumulo	38
7.4.1	Simulazione batteria di accumulo elettrochimico	39
7.4.2	Calcolo stato batteria.....	42
7.4.3	Calcolo energia risparmiata grazie alla batteria	42
7.4.4	Calcolo energia autoconsumata	43
7.4.5	Calcolo energia immessa in rete con batteria.....	43
7.4.6	Risultati simulazione con batteria di accumulo	43
8	Conclusioni.....	45

2 Premesse

La transizione verso la produzione di energia da fonti 100% rinnovabili sta cambiando completamente l'assetto del sistema energetico europeo. In questo processo di trasformazione, il ruolo dei cittadini sta acquisendo sempre maggiore centralità. Già oggi, i cittadini europei – producendo o distribuendo energia in forma individuale o collettiva – hanno trasformato il mercato dell'energia elettrica in molti paesi membri, contribuendo in modo significativo a creare posti di lavoro e a rivitalizzare l'economia locale. Lo scarso risultato è dovuto, in parte, allo schema regolatorio, che prevedendo il meccanismo dello scambio sul posto, rende meno attraente la formula dell'autoconsumo in loco simultaneo alla produzione. La crescita dell'autoconsumo attesa è dell'ordine delle 4-5 volte rispetto alle dimensioni del mercato attuale. Tale traguardo deriverà dall'allargamento del perimetro di mercato grazie all'autoconsumo collettivo. Le comunità energetiche e i progetti di autoconsumo collettivo saranno un driver importante per un significativo incremento del consumo dell'energia laddove viene prodotta.

La sperimentazione è stata effettuata sui due complessi:

- Complesso C Social Housing QUI ABITO
- Condominio Betulle

La scelta di dei due complessi è stata ponderata con la consapevolezza di valutare l'impatto di un sistema di autoconsumo collettivo in un condominio “di qualità elevata”, di recente costruzione, avente un impianto centralizzato con elettrificazione spinta che produce energia termica e frigorifera ed un condominio che ben rappresenta il più cospicuo e probabile riscontro nella realtà italiana e veneta, di una struttura degli anni 70' con impianto centralizzato per la produzione di energia termica e acqua calda sanitaria.

2.1 Contesto europeo e nazionale

Le recenti Direttive europee 2001/2018 (Direttiva Rinnovabili o RED II) e 944/2019 (Direttiva mercato elettrico o IEM) hanno introdotto importanti novità per il sistema energetico, tra cui la definizione di “comunità energetiche rinnovabili” (REC) e degli “autoconsumatori collettivi”.

Le REC sono inquadrate come soggetti giuridici autonomi basati sulla partecipazione aperta e volontaria, ed effettivamente controllati da azionisti o membri situati nelle vicinanze degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili che appartengono e sono sviluppati dalla REC stessa. Posso partecipare ad una REC persone fisiche, PMI o enti locali accomunati dall'obiettivo di fornire benefici ambientali, economici o sociali ai membri o alle aree locali in cui operano, piuttosto che profitti finanziari. Gli autoconsumatori collettivi aggregano persone fisiche e attività (con il vincolo, per quest'ultime, che la condivisione dell'energia non costituisca l'attività commerciale o professionale principale dell'impresa), ubicate nello stesso edificio o condominio, a cui viene riconosciuto il diritto di produrre, immagazzinare e vendere l'eccedenza di energia non utilizzata in sito. Più dettagliatamente, in coerenza con la Direttiva 2018/2001, per autoconsumo collettivo si intende uno schema di autoconsumo in cui uno o più impianti rinnovabili installati nell'edificio o condominio in questione siano abilitati ad alimentare sia le utenze comuni (es. luci scale, ascensori, ecc), sia le utenze private. Gli impianti di generazione possono anche essere di proprietà o gestiti da terzi diversi dai titolari delle utenze alimentate, purché tali terzi si attengano alle istruzioni degli autoconsumatori stessi.

Gli emendamenti al Milleproroghe approvati il 13 febbraio 2020 dalle commissioni Affari costituzionali e Bilancio della Camera, anticipano parzialmente l'attuazione delle disposizioni di cui agli articoli 21 e 22 della Direttiva 2018/2001 consentendo la costituzione di comunità energetiche rinnovabili e di progetti di autoconsumo collettivo che rispettino determinati requisiti

2.2 Complesso Social housing Qui Abito



Il Progetto di Social Housing QUI ABITO, situato in via del Commissario 44, nel Quartiere sud di Padova, è promosso dal Fondo Veneto Casa e gestito dalla Cooperativa Sociale Nuovo Villaggio, con l'obiettivo di dare risposta al disagio abitativo di coloro che faticano ad accedere al libero mercato immobiliare. Gli alloggi fanno parte di un contesto abitativo che facilita la relazione di vicinato attraverso azioni integrate di gestione immobiliare, accompagnamento sociale all'abitare e animazione di comunità. QUI ABITO si inserisce nel più ampio progetto QUI PADOVA, un insieme di spazi, servizi e attività funzionali al benessere degli abitanti e della

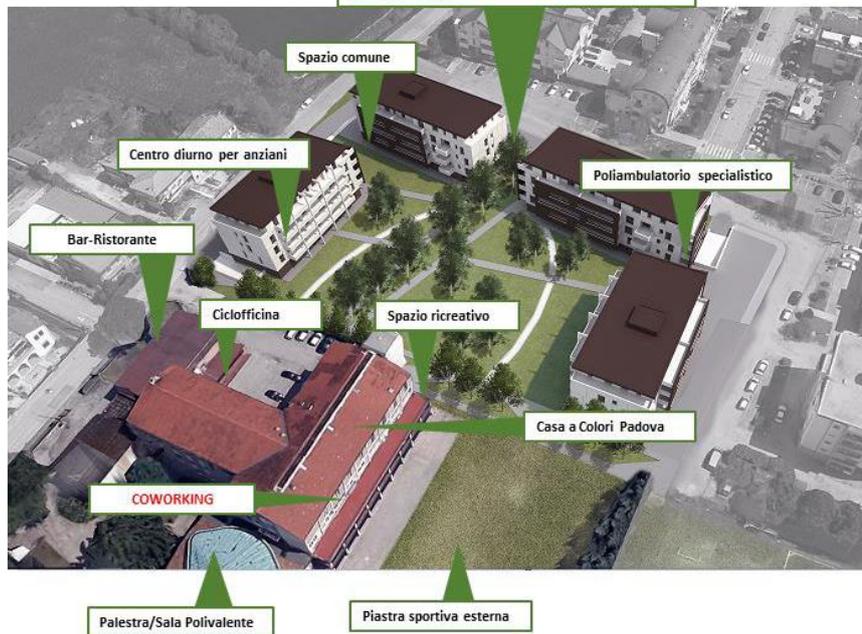
vita di comunità con l'obiettivo di:

- 1) Offrire opportunità abitative e strutture ricettive dedicate al turismo sociale e all'accoglienza di persone in emergenza abitativa
- 2) Contribuire allo sviluppo del quartiere, grazie alle attività e ai servizi proposti, creando un luogo dove le persone possono incontrarsi, stringere relazioni, dedicarsi allo sport e partecipare ad attività culturali.
- 3) Generare impatto sociale stimolando la creazione di una comunità vivace e aperta, in grado di vivere in maniera proattiva il quartiere in cui abita
- 4) Offrire opportunità lavorative nei servizi attivati all'interno del progetto.

La struttura consta di:

- 84 alloggi (29 bilocali, 52 trilocali, 3 quadrilocali) a canone concordato
- 8 alloggi (3 bilocali, 4 trilocali, 1 quadrilocale) riservati ai nuclei segnalati dai servizi sociali
- 1 Poliambulatorio medico specialistico
- 1 spazio riservato alle associazioni
- 1 centro diurno per anziani

4 edifici dedicati al Social Housing per complessivi 92 appartamenti. Si tratta di appartamenti offerti in locazione a canone concordato che vengono assegnati tramite avviso pubblico e una procedura di selezione delle domande.



Gli appartamenti sono caratterizzati da elevate prestazioni termiche e caratterizzati da una completa elettrificazione dei vettori energetici, è infatti assente il gas metano sia a livello di singoli appartamenti (sono presenti solo piani cottura a induzione) sia a livello condominiale (è presente un sistema centralizzato con pompa di calore per la climatizzazione e la produzione di ACS).



Il sistema di generazione è composto da pompe di calore reversibili polivalenti a 2 tubi aria/acqua ad alta efficienza. Le macchine sono dotate anche di uno scambiatore per la produzione di acqua calda sanitaria. La potenza termica/frigorifera nominale di ciascuna macchina è di circa 100 kW, con una potenza elettrica massima assorbita di circa 32 kW. Il rendimento medio stagionale (SCOP – Seasonal Coefficient Of Performance) è di 3,5.



Sono presenti **impianti fotovoltaici** in copertura di ciascun edificio al servizio degli usi condominiali. Le potenze sono di circa 10-12 kWp per edificio. La potenza totale fotovoltaica installata attualmente è di circa 45 kW. La producibilità complessiva è stimata in circa 47.250 kWh/anno

2.3 Condominio Betulle



Il condominio “Betulle” è un condominio situato a Padova via Jacopo Della Quercia 14a costruito nel 1968 composto da 9 unità abitative suddivise in 3 piani. Esso è servito da un impianto ibrido centralizzato adibito sia al servizio di riscaldamento che alla produzione di ACS.



Il sistema di generazione è composto da una pompa di calore Aria Acqua con potenza termica erogabile di 33,5 kW e un COP di 4,33 in abbinata ad una caldaia di backup con potenza nominale 55,0 kW e rendimento utile dichiarato pari a 97,2% e 107,4% a seconda del regime di funzionamento .



E' presente **un impianto fotovoltaico** da 30 moduli da 350 W di picco così da aver una potenza disponibile di 10,5 kW e una producibilità media annua di circa 12.500 kWh.

3 Analisi del mercato elettrico e normativa

La posizione sempre più centrale dei cittadini nel nuovo modello di produzione viene formalmente riconosciuta e promossa da due direttive del Parlamento Europeo nell'ambito del *Clean Energy for All Europeans Package*: la direttiva Rinnovabili (RED II) e la Direttiva del Mercato Elettrico (IEM). Queste direttive invitano gli stati membri a promuovere soluzioni già esistenti (autoconsumo singolo) e ad implementarne di nuove, come l'*Autoconsumo Collettivo* e le *Comunità di Energia Rinnovabile* (CER).

La direttiva RED II definisce *“l'autoconsumatore di energia rinnovabile”* come un *“cliente finale che, operando in propri siti situati entro confini definiti o, se consentito da uno Stato membro, in altri siti, produce energia elettrica rinnovabile per il proprio consumo e può immagazzinare o vendere energia elettrica rinnovabile autoprodotta purché, per un autoconsumatore di energia rinnovabile diverso dai nuclei familiari, tali attività non costituiscano l'attività commerciale o professionale principale”*.

La Direttiva procede poi a definire gli *“autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente”* come un *“gruppo di almeno due autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente e si trovano nello stesso edificio o condominio”*.

La partecipazione alla comunità di autoconsumo collettiva comporta numerosi vantaggi, quali il maggiore utilizzo dell'energia prodotta e la possibilità di favorire di una remunerazione per l'energia autoconsumata, mantenendo al contempo i diritti e obblighi in quanto consumatori finali. Il limite spaziale fin cui si può estendere la comunità di autoconsumo collettivo si identifica nel perimetro del condominio (o edificio) stesso. Le comunità energetiche si differenziano dalle precedenti in quanto sono un soggetto giuridico che *si basa sulla partecipazione aperta e volontaria, è autonomo ed è effettivamente controllato da azionisti o membri che sono situati nelle vicinanze degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili che appartengono e sono sviluppati dal soggetto giuridico in questione*.

L'estensione delle comunità energetiche risulta molto più ampia, che verrà definita dai singoli stati membri, e possono partecipare cittadini, autorità locali e imprese di piccole e medie dimensioni. L'obiettivo è quello di fornire benefici ambientali, economici o sociali a livello di comunità ai suoi azionisti o membri, trascendendo dal solo concetto di risparmio energetico.

Per anticipare il completo recepimento della direttiva RED II e per sperimentare gli effetti che avranno gli schemi di Autoconsumo Collettivo e le Comunità di Energia Rinnovabile, la Legge 8 del 28 febbraio 2020 converte in legge quanto anticipato nel Decreto Legge n. 162 del 30 dicembre 2019. Essendo ancora in fase di sperimentazione, la Legge 8/2020 limita considerevolmente il numero di impianti che possono partecipare in queste configurazioni imponendo dei limiti:

- Gli impianti di produzione (da fonti rinnovabili) devono essere entrati in esercizio dopo il 1° marzo 2020 e avere potenza complessiva non superiore a 200 kW;
- Gli impianti di produzione e i punti di prelievo facenti parte di una CER devono essere connessi alla rete elettrica di bassa tensione mediante la stessa cabina di trasformazione MT/BT, ovvero mediante la stessa cabina secondaria;
- I partecipanti a uno schema di Autoconsumo Collettivo devono trovarsi nello stesso condominio o edificio.

	AUTOCONSUMO COLLETTIVO DI ENERGIA GENERATA DA FONTI RINNOVABILI IN AMBITO CONDOMINIALE
	<small>REV. 00 - 12/05/2022</small>

La legge 08/2020 incarica ARERA e il Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE) i seguenti compiti:

- ARERA: definire il modello di regolazione da applicare alle Comunità di Autoconsumo collettivo e Comunità di Energia Rinnovabile;
- MiSE: definire gli schemi di incentivazione dell'energia condivisa.

3.1.1 Il modello di regolazione

Fino ad ora era possibile autoconsumare l'energia prodotta solo secondo uno schema "uno ad uno": una unità di produzione connessa ad una unità di consumo. Con l'inserimento di questi nuovi schemi si apre la possibilità di applicare modelli "uno a molti": un unico impianto di produzione può essere utilizzato da più utenze distinte. Si presenta quindi la necessità di esplorare le differenze tra i possibili modelli di autoconsumo "uno a molti": autoconsumo *fisico* e autoconsumo *virtuale*.

Il modello di autoconsumo *fisico* prevede una connessione diretta e privata tra l'unità di produzione e le utenze domestiche e comuni. Essa ha un unico punto di interfaccia con la rete pubblica (POD – Point Of Delivery). Avendo un unico POD l'energia autoconsumata rimane sempre all'interno della rete privata dell'edificio, risultando non soggetta alla parte variabile degli oneri di rete e di sistema. Ogni utenza avrà poi un contatore non fiscale per poter contabilizzare e ripartire i consumi delle singole utenze.

Le caratteristiche di questo modello sono in contrasto con altri obblighi da seguire

:

- Tutte le unità immobiliari devono essere dotate di un proprio contatore fiscale, altrimenti verrebbero classificate come "utenti nascosti" della rete di distribuzione pubblica;
- Devono essere rispettati i diritti di ogni utente finale di poter scegliere il proprio fornitore di energia e di poter decidere in qualsiasi momento di non fare più parte dello schema di autoconsumo.

Si rende quindi necessaria una configurazione in cui ogni utente finale abbia il proprio POD.

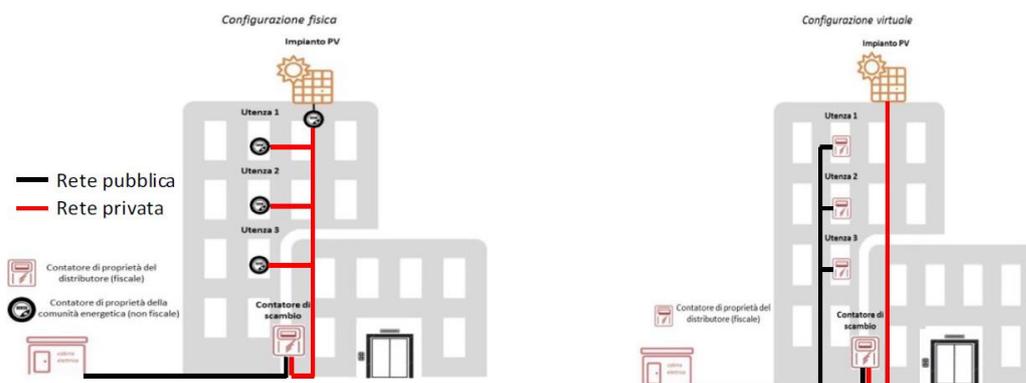
Lo schema di autoconsumo *virtuale* soddisfa questa esigenza: ogni utente è connesso alla rete di distribuzione pubblica tramite il proprio POD, mantenendo invariata la configurazione di rete. Inoltre, non è più necessario avere dei contatori non fiscali privato per ogni utenza perché il distributore elettrico esercisce il servizio di misura. Gli scambi fisici di energia avvengono in questo caso sulla rete pubblica di BT e non su una rete privata. La ripartizione dei benefici legati all'autoconsumo collettivo è frutto di accordi tra condòmini, che possono per esempio basarsi su:

- Un criterio energetico, ad esempio in proporzione ai prelievi delle utenze private nel determinato intervallo di tempo;
- Un criterio fisso, per esempio i millesimi di proprietà. Questa soluzione risulta più semplice da applicare in quanto è un importo costante nel tempo ma non tiene conto della situazione reale e non incentiva a consumare nelle ore di maggior produzione dell'impianto.

3.1.2 La valorizzazione dell'energia elettrica condivisa

Per le configurazioni di Autoconsumo Collettivo ARERA ha individuato in contributo da applicare all'energia condivisa nel seguente modo:

$$C_{AC} = CU_{Af,m} * E_{AC} + \sum_{i,h} (E_{AC,i} * c_{PR,i} * P_z)_h, \quad \text{dove:} \quad (2.1)$$



Schema di autoconsumo fisico con connessione privata delle utenze all'impianto di produzione (sinistra) e schema di autoconsumo virtuale con connessione su rete pubblica tra utenze e impianto di produzione (destra).

- C_{AC} è il contributo per la valorizzazione dell'energia elettrica condivisa;
- $CU_{Af,m}$ è un corrispettivo unitario di autoconsumo mensile dato dalla somma delle componenti variabili della tariffa di trasmissione per le utenze in bassa tensione (TRASE) e del valore più elevato della componente variabile di distribuzione definita per le utenze per altri usi in bassa tensione (BTAU), entrambe espresse in c€/kWh;
- E_{AC} è l'energia elettrica condivisa;
- $c_{PR,i}$ è il coefficiente che rappresenta le perdite evitate e vale:
 - 1,2% nel caso di energia elettrica condivisa dalla produzione di impianti connessi alla rete di distribuzione di media tensione;
 - 2,6% nel caso di energia elettrica condivisa dalla produzione di impianti connessi alla rete di distribuzione di bassa tensione;
- P_z è il prezzo zonale orario;
- i e h indicano rispettivamente il livello di tensione e l'ora di riferimento.

L'energia elettrica condivisa viene calcolata in intervalli temporali di un'ora come il minimo tra la somma dell'energia elettrica effettivamente immessa e la somma dell'energia elettrica prelevata dall'insieme delle singole utenze:

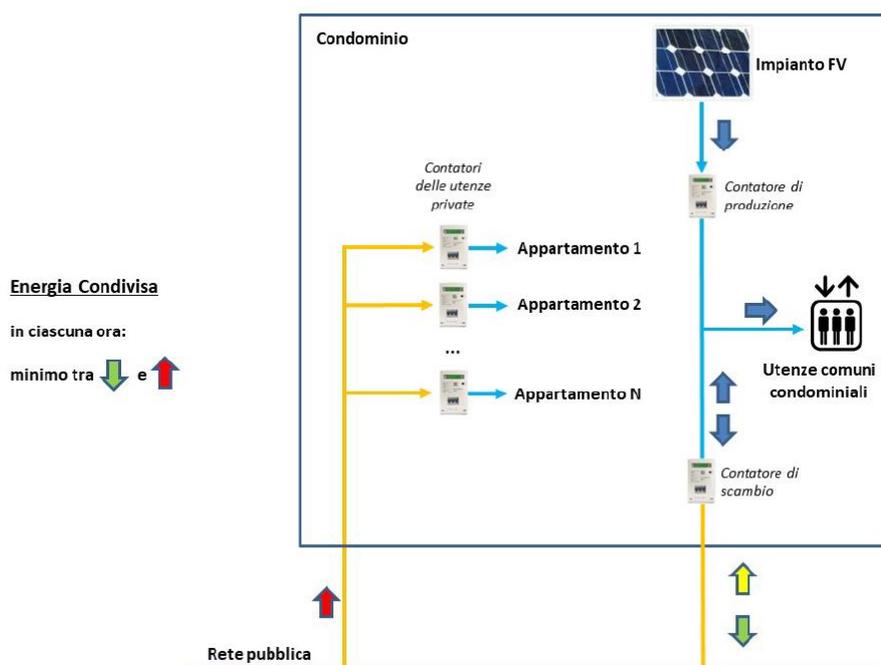
$$E_{AC} = \min\{\sum_{j,h} E_{imm,e}, \sum_{j,h} E_{prel}\}. \quad (2.2)$$

In particolare,

- $E_{imm,e}$ è l'energia elettrica effettivamente immessa in rete, cioè l'energia elettrica immessa in rete al netto dei convenzionali coefficienti di perdita;

- E_{prel} è l'energia elettrica prelevata dalla rete da ciascuna utenza che partecipa allo schema.

Nel caso di Comunità di Energia Rinnovabile il contributo per la valorizzazione dell'energia elettrica condivisa non tiene conto delle perdite evitate: viene considerato solo il corrispettivo unitario CU moltiplicato per l'energia condivisa E_{AC} .



Schema dei flussi di energia elettrica tra il condominio e la rete e modalità di calcolo dell'energia condivisa.

In totale, il contributo C_{AC} per la valorizzazione dell'energia elettrica condivisa vale circa:

- 10 €/MWh per l'energia condivisa negli schemi di autoconsumo collettivo;
- 8 €/MWh per l'energia condivisa negli schemi di comunità di energia rinnovabile.

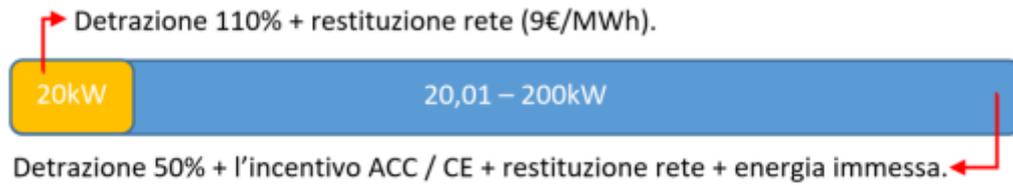
In aggiunta al contributo definito ARERA, il MiSE stabilisce nel Decreto del 16 settembre 2020 le tariffe incentivanti per l'energia elettrica condivisa da comunità di autoconsumo collettivo e comunità energetiche pari a:

- 100 €/MWh per gli schemi di autoconsumo collettivo;
- 110 €/MWh per gli schemi di comunità energetiche.

L'incentivo è cumulabile con altre forme di incentivazione attualmente presenti in diverse misure:

- Se si realizza l'impianto fotovoltaico usufruendo della detrazione fiscale del 110% (Superbonus) l'energia prodotta e autoconsumata riconducibile ai primi 20 kW di picco dell'impianto non può favorire della tariffa incentivante definita dal MiSE, ma risulta comunque possibile accedere al contributo per la valorizzazione dell'energia elettrica condivisa previsto da ARERA. Questa scelta è riconducibile al fatto che, nella realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico, solo i primi 20 kW di potenza possono beneficiare della detrazione al 110%.

- Nel caso di detrazioni al 50% i due incentivi sono cumulabili.



Detrazioni fiscali cumulabili con le comunità di autoconsumo collettivo e comunità energetiche per potenza installata.

Per garantire una adeguata remuneratività degli investimenti sostenuti, la durata dell'incentivo è stata fissata pari a 20 anni.

Oltre alle tariffe incentivanti sopra descritte, le comunità energetiche e i partecipanti agli schemi di autoconsumo collettivo vedranno remunerata l'energia immessa in rete secondo il Prezzo Zonale Orario, che ultimamente è sempre stato sopra i 100 €/MWh.

Grazie alla collaborazione con la cooperativa Ènostra e l'associazione "Italia Solare" è stato elaborato un quadro di sintesi dei principali aspetti normativi.

4 Sistemi di misurazione ed accesso da remoto

4.1 Programma di misura e verifica

Per un quadro completo ed esaustivo dei processi che determinano il bilancio energetico degli edifici ed i relativi margini di ottimizzazione, è necessario determinare tutti flussi energetici in ingresso ed in uscita dagli edifici analizzati, il che, impone di misurare l'energia con una sensibilità ed un intervallo di campionamento conforme alla norma analizzata.

Per far ciò, ci si è orientati su dei smart meter che consentono l'integrazione diretta dalle variabili rilevate (tensione, corrente, fattore di potenza etc) verso grandezze con di veloce analisi (Energia, Potenza etc) e permettere all'unisono la telegestione e telelettura.

4.2 Smart meter

Per poter misurare più accuratamente i consumi elettrici della pompa di calore, condominiali e delle utenze private, nonché la produzione elettrica dell'impianto fotovoltaico, sono stati installati 12 nuovi contatori all'inizio del mese di agosto:

- 1 contatore elettrico trifase per PDC
- 2 contatori elettrici trifase per utenza condominiale
- 2 contatori elettrici trifase per impianto FV
- 12 contatori elettrici monofase per le utenze private.

È stato possibile recuperare i dati quattorari di prelievo di energia elettrica del POD condominiale, comprendente quindi pompa di calore, pompe di servizio e illuminazione al netto dell'energia autoconsumata.

4.2.1 Il sistema di misurazione



Contatori Trifase:

I meter scelti, oltre a poter visualizzare le grandezze elettriche (tensione, corrente, frequenza di rete etc.) sfruttano il protocollo di comunicazione dati Modbus RTU così da consentire la lettura, l'esportazione e l'archiviazione dei dati rilevati.

Si è preferito utilizzare contatori di contatori con trasformatori amperometrici esterni così da garantire la possibilità di misurare ingenti correnti e nel caso di guasto, permettere una continuità d'esercizio.



Contatori monofase

Come per i meter trifase si è pensato di utilizzare contatori che sfruttano il protocollo di comunicazione dati Modbus RTU tale da permettere il trasferimento dei dati scelti, ma si è anche voluta valutare due sistemi di rilevamento complementari:

- Misura diretta

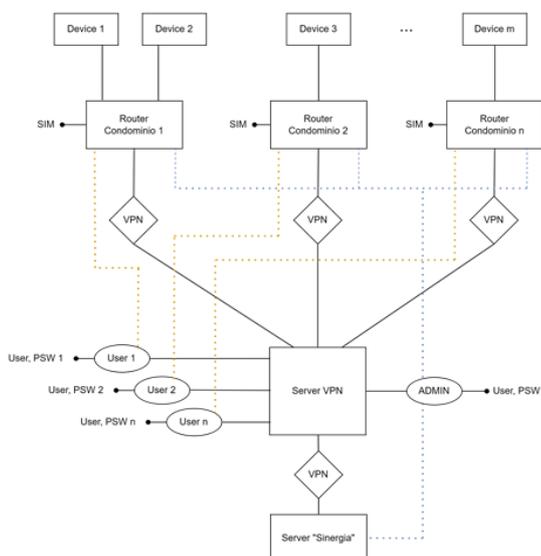
Il collegamento diretto alla linea di alimentazione definisce una misura diretta della grandezza poiché lo strumento viene collegato nel punto di misura senza interposizione di adattatori.

- Misura indiretta

Il collegamento indiretto interpone un trasformatore che misura il campo magnetico generato dalle correnti concatenate e fornisce così un valore che poi verrà convertito tramite un fattore di scala definito dal costruttore.



4.3 Accesso da remoto



4.3.1 Network VPN

Data l'elevata mole di dati da esportare e la disposizione geografica differente tra meter ed il centro di calcolo, si è deciso di creare una network ad hoc crittografata (VPN) su cui convogliare il traffico e triangolarlo verso il server di stoccaggio dati SINERGIA.

Questa configurazione ha creato un tunnel virtuale criptato rendendolo più sicuro verso eventuali attacchi informatici e offrendo, le informazioni fruibili a qualsiasi dispositivo ne voglia far accesso.

4.3.2 Piattaforme di acquisizione dati

Sulla base dei dati inviati dai contabilizzatori, si è pensato di testare due piattaforme di acquisizione:

- **Piattaforma Regalgrid**
Attraverso l'accesso diretto alla piattaforma Regalgrid si ha la possibilità del monitoraggio in tempo reale dei consumi, della produzione impianto fotovoltaico (o del tuo sistema di accumulo se presente) attraverso grafici o report tabellari.



- **Sistema Honeywell**
Attraverso l'accesso diretto al controllore, e sfruttando il software Niagara consente non solo di monitorare i flussi energetici agli utenti, ma di creare sequenze logiche che influenzano lo stoccaggio termico ed elettrolitico in ottemperanza al carico richiesto.



4.4 Analisi sistemi utilizzati

Nell'analisi complessiva del sistema di misura ed acquisizione dati, si può considerare che l'affidabilità e precisione dei meter di misura diretta è equiparabile a quella a misura indiretta.

Per quanto riguarda il sistema di acquisizione dati, al momento, è preferibile utilizzare il sistema con accesso diretto al controllore (quando possibile) così da implementare direttamente logiche avanzate che possano massimizzare dell'autoconsumo fisico e minimizzare la vendita in rete dell'energia non autoconsumata tramite il controllo dinamico dell'impianto termico ed elettrico.

Di contro, l'accesso di un utente non tecnico alla pagina web del controllore potrebbe essere molto pericolosa per l'equilibrio delle logiche interne, quindi sarebbe preferibile (soprattutto per sensibilizzare l'utente sull'utilizzo dell'energia) utilizzare la Piattaforma Regalgrid.

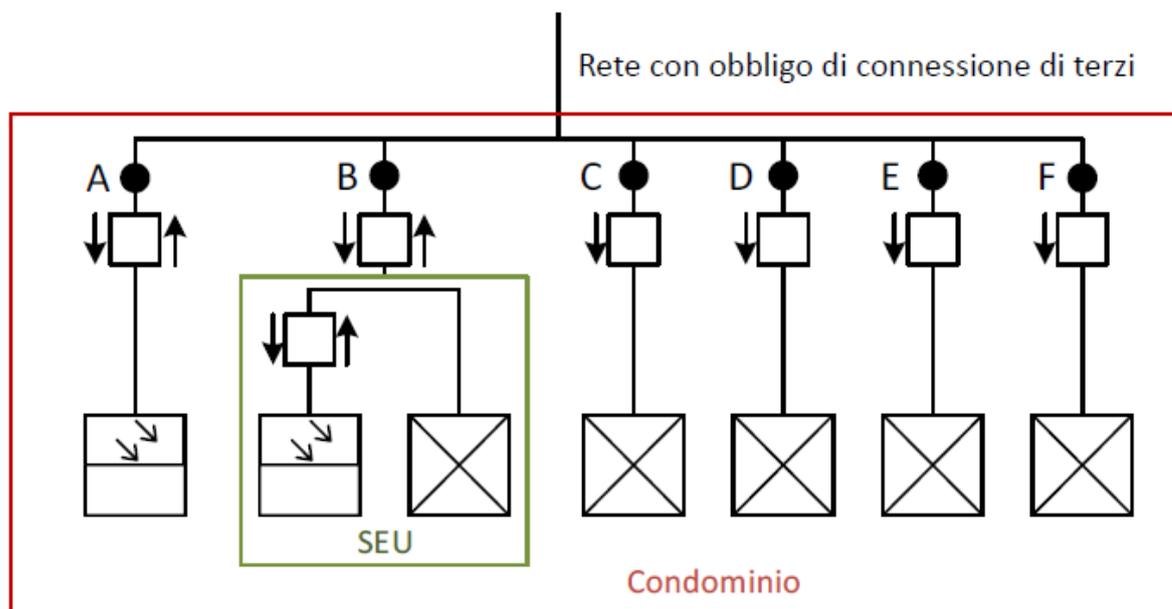
Rimane indispensabile nei condomini futuri, che vogliano accedere al autoconsumo collettivo, l'accesso in tempo reale dei flussi energetici e contemporaneamente ad algoritmi ottimizzati per generare una risposta rapida e efficace nell'utilizzo delle risorse disponibili.

5 Rilevamento dati prestazionali

5.1 Dati raccolti al condominio Betulle

La raccolta dati è la fase più importante per poter effettuare un'analisi completa e allo stesso tempo corretta. I dati disponibili al momento dell'analisi (e successivamente integrati con i dati più recenti) sono:

- Potenza ed energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico in tutto il 2021;
- Potenza ed energia elettrica assorbita dalla pompa di calore in tutto il 2021;
- Energia elettrica assorbita dalle utenze condominiali in tutto il 2021¹;
- Potenza ed energia elettrica assorbita dalle utenze private da novembre 2021 fino a marzo 2022.



Rappresentazione configurazione di autoconsumo collettivo

5.1.1 Preparazione dei dati

I dati di energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico e di energia elettrica assorbita dalla pompa di calore presentano la stessa struttura, entrambi disponibili in formato *.csv* (*Comma Separated Value*): *data;ora;lettura*. La frequenza di campionamento è impostata pari a 1 ora, in linea quindi con il metodo di calcolo utilizzato per determinare l'energia elettrica condivisa definito da ARERA. Un aspetto critico dell'analisi è che, non disponendo di dati di consumo istantanei o ad intervalli temporali più brevi, l'autoconsumo calcolato per il sistema pompa di calore – impianto fotovoltaico sarà maggiore rispetto all'autoconsumo fisico reale. I picchi di potenza richiesta dalla pompa di calore infatti possono non essere in concomitanza ai picchi di produzione dell'impianto fotovoltaico, rendendo quindi necessario prelevare parte dell'energia dalla rete. Più grande è l'intervallo temporale

¹ In riferimento alle utenze comuni si è proceduto definendo il profilo totale della domanda come sovrapposizione di due profili differenti, uno relativo alla domanda della centrale termica e l'altro ai rimanenti carichi associati principalmente all'utilizzo di sorgenti di luce e all'utilizzo dell'ascensore nelle aree comuni, data l'esigua energia richiesta energetica relativa di quest'ultimi la domanda della centrale termica, che rappresenta il prelievo più significativo.

a cui si riferisce la misura più influente sarà l'effetto di appiattimento di questi picchi e quindi il calcolo meno accurato.

Il dato disponibile rappresenta la misura cumulata dell'energia elettrica prodotta o consumata all'istante di acquisizione: per trovare il dato dell'energia oraria E_h è quindi sufficiente eseguire una semplice differenza tra il dato all'istante t e quello all'istante $t-1$:

$$E_h(t) = E_{tot}(t) - E_{tot}(t-1) . \quad (3.3)$$

I dati orari sono stati organizzati in tabelle suddivisi per mese ed è stato assegnato un indice che permette più facilmente di identificare le singole misure all'interno del mese, con range [1;numero_ore_mensili].

I dati di potenza prodotta e richiesta da impianto fotovoltaico e pompa di calore rappresentano invece la potenza media nell'intervallo temporale di campionamento, posto anch'esso pari a 1 ora.

Una anomalia nel contatore di energia elettrica della pompa di calore verificatasi in data 3 Luglio 2021 ha reso impossibile la misura e acquisizione di ulteriori dati dal contatore. Come risoluzione al problema sono stati considerati i dati di potenza media assorbita nella mezz'ora dalla pompa di calore e, sulla base di quest'ultimi, è stato calcolato il consumo orario. Il guasto nel contatore non è stato riscontrato immediatamente, creando quindi una finestra temporale con assenza di dati che si estende dal 3 luglio 2021 fino al 5 agosto 2021 compreso. Per questo periodo si è considerato un profilo medio basato sul mese di giugno, come verrà descritto in seguito.

Una leggera difficoltà dell'integrazione di questi nuovi dati con i dati precedentemente acquisiti è data dal fatto che le potenze medie si riferiscono a intervalli leggermente sfalsati nel tempo rispetto alle misure orarie. In particolare, le misure orarie vengono effettuate agli istanti xx:00:00 (*ore:minuti:secondi*), mentre quelle della potenza media vengono acquisite agli istanti xx:25:00 e xx:55:00. Per poter eseguire un confronto, questi ultimi dati sono stati considerati come acquisiti rispettivamente negli istanti xx:30:00 e (xx+1):00:00, senza alterare il valore misurato. È stata quindi effettuata una traslazione temporale delle misure di 5 minuti in avanti.

Per passare dai dati medi di potenza disponibili (ogni 30 minuti) in kW al valore di energia nella mezz'ora in kWh è sufficiente moltiplicare il dato di potenza media P_{30min} per il numero di secondo nell'intervallo di riferimento del dato (1800 s) e dividere per il numero di secondi in un'ora (3600 s), ottenendo quindi quello di energia nei 30 minuti E_{30min} :

$$E_{30min} = P_{30min} * \frac{1800}{3600}, \left[kWh = kW * \frac{s}{h} \right] . \quad (3.4)$$

Per poter passare dall'energia nella mezz'ora all'energia oraria si rende necessario costruire una formula nel foglio Excel data la grande quantità di dati da elaborare. Dopo aver valutato varie alternative, si è optato per la seguente soluzione data la maggiore semplicità di utilizzo e compattezza, la cui sintassi può essere così descritta:

=SOMMA (SCARTO (\$Rif_dato;2*(RIF.RIGA(Cella_corrente_somma)-RIF.RIGA(\$Rif_dato));0;Altezza_intervallo_somma; Larghezza_intervallo_somma)).

(3.5)

La funzione "scarto" permette di considerare diversi intervalli per la funzione "somma" a seconda dell'indice della riga in cui viene calcolata la funzione "somma". La sintassi della funzione scarto è: SCARTO(rif; righe; colonne; [altezza]; [largh]), dove:

- *rif* è la cella di riferimento dalla quale si desidera iniziare lo spostamento;
- *righe* è il numero di righe di cui si desidera spostarsi rispetto la cella di riferimento. Nel caso specifico preso in esame posso considerare i dati di energia elettrica assorbita nella mezz'ora e nell'ora posti in due vettori verticali, rispettivamente a sinistra e a destra nella figura 3.2. I valori del vettore orario devono essere pari alla somma a due a due dei valori dell'altro vettore. È necessario quindi spostarsi di due celle verso il basso nel vettore di sinistra ogni volta che ci si sposta di una cella verso il basso nel vettore di destra: si prende dunque in considerazione

lo spostamento nel vettore di destra RIF.RIGA(*Cella_corrente_dx*)-RIF.RIGA(*\$Rif_dx*) moltiplicato per 2, ovvero la lunghezza dell'intervallo della somma da prendere in considerazione, per trovare lo spostamento nel vettore di sinistra.

- *colonne* è il numero di colonne di cui si desidera spostarsi rispetto la cella di riferimento, qui posto pari a zero perché i valori di interesse si trovano tutti nello stesso vettore verticale.
- *altezza* rappresenta l'altezza in celle del range da prendere in considerazione per la somma, in questo caso posto pari a 2 (a un dato orario corrisponde due dati nella mezz'ora);
- *largh* rappresenta la larghezza in celle del range da prendere in considerazione per la somma, in questo caso posto pari a 1 perché tutti i valori di interesse sono inseriti in un vettore verticale.



Rappresentazione grafica del passaggio da dati mezz'orari a dati orari. Processo logicamente identico viene utilizzato nella trasformazione da dati quattorari a dati orari.

Anche per i dati dell'energia elettrica consumata dalle singole utenze è stato necessario seguire un processo simile a quello sopra descritto. La frequenza di campionamento per i contatori delle singole utenze è di 15 minuti e già in fase con le precedenti misure: i dati fanno infatti riferimento agli istanti xx:00:00, xx:15:00, xx:30:00, xx:45:00 per ogni ora. L'unica differenza rispetto al caso precedente è nella funzione scarto: per raggruppare i dati lo spostamento nel vettore di destra viene moltiplicato per 4 (e non per 2 come nel caso precedente) e l'altezza del range di dati da sommare è anch'essa pari a 4.

Sono stati quindi ricondotti tutti i dati di maggior interesse per l'analisi a una struttura omogenea che permetta di eseguire calcoli e valutazioni con maggiore semplicità e chiarezza.

5.1.2 Trasformazione dati POD

Diverso è il formato attraverso il quale sono stati resi disponibili i dati quattorari dal POD condominiale. Questi dati rappresentano l'energia elettrica prelevata dalla rete al netto dell'energia elettrica autoconsumata. Essi possono rivelarsi utili come mezzo di confronto tra i risultati della simulazione e il reale funzionamento del sistema composto da impianto fotovoltaico e utenze condominiali.

I dati si presentano in forma matriciale suddivisi per mese, suddivisi in 96 colonne che rappresentano gli estremi degli intervalli di misura (ogni 15 minuti) e tante righe quanti i giorni del mese, ad eccezione di alcuni casi in cui i dati erano mancanti. Essendo più comodo in questa fase lavorare con dati in forma vettoriale, è stata applicata la funzione “scarto” di Excel per trasformare i dati da matrice a vettore verticale.

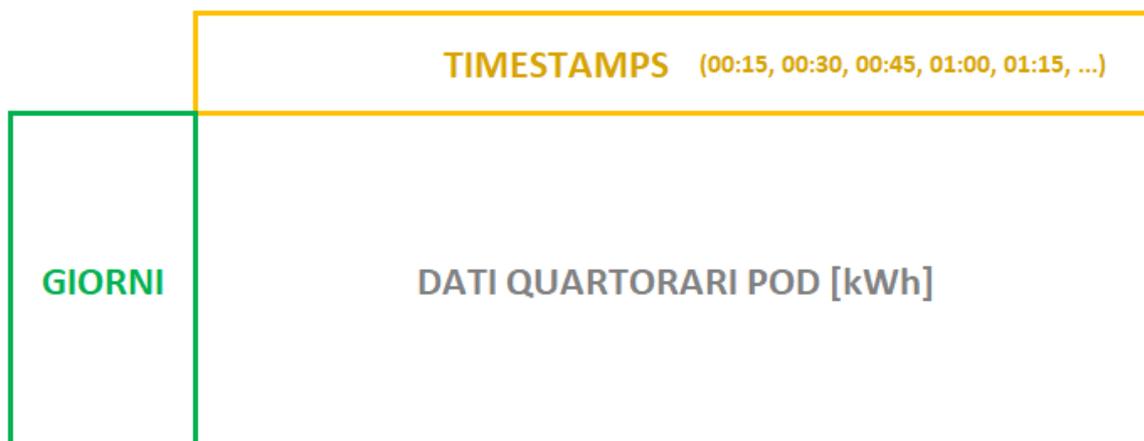


Figura 3.3. Schema del formato in cui i dati del POD condominiale sono stati resi disponibili. I dati rappresentano l’energia elettrica quartoraria in kWh prelevata dalla rete al netto dell’energia autoconsumata.

5.1.3 Correzione errori di acquisizione

Durante il processo di acquisizione dati sono state riscontrate alcune anomalie, con variabile estensione temporale, di cui in seguito si riportano le più importanti:

- Limitati intervalli temporali (non superiori alle 24 ore) di mancata trasmissione dati dai sistemi di misura;
- Mancanza di dati di assorbimento di energia elettrica della pompa di calore nell’intervallo temporale dal 3 luglio 2021 al 5 agosto 2021 a causa di guasto nello strumento di misura;
- Assenza dei dati di misura del POD condominiale per il giorno 8 giugno 2021.

Partendo dal più semplice e meno influente, la mancanza di dati dal POD condominiale per il giorno 8 giugno 2021 è stata risolta ipotizzando un profilo medio per il giorno, basato sulla richiesta media in ciascun quarto d’ora negli altri giorni del mese di giugno. Essendo stato il 6 giugno 2021 un martedì non festivo, è plausibile assumere che l’energia prelevata dalla rete non differisca troppo dall’energia media prelevata dalla rete nel mese di giugno e, essendo solo un giorno di misure su un mese di 30 giorni, questa ipotesi non andrà ad inficiare in maniera evidente i risultati finali.

In corrispondenza dei buchi temporali di limitata ampiezza non erano disponibili i dati orari ma è stato possibile recuperare il consumo totale nel buco dalla differenza tra le letture prima e dopo gli intervalli in questione. Per la pompa di calore è stato quindi creato un profilo di consumo distribuendo in maniera uniforme sull’intervallo il consumo totale mediante la seguente:

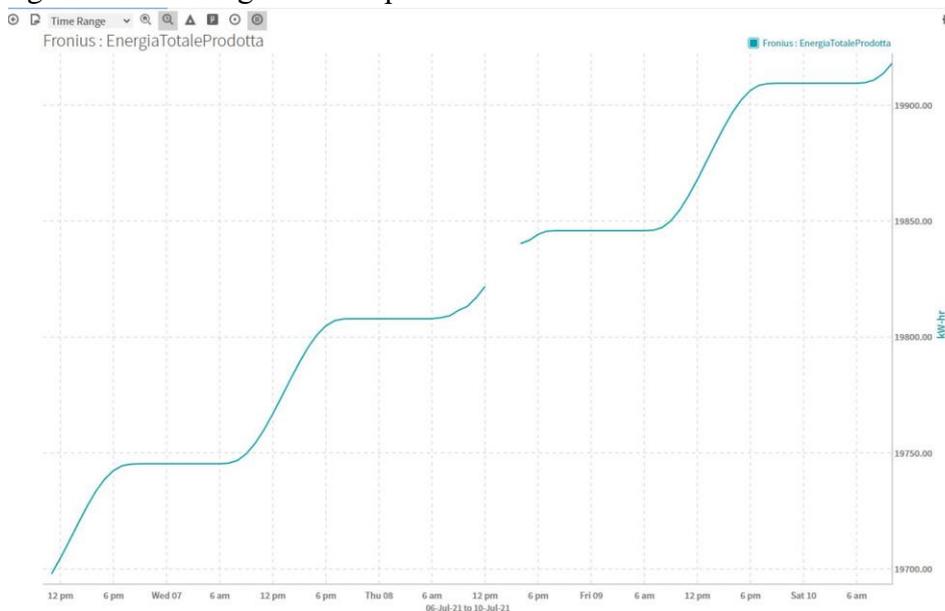
$$E_{h,i} = E_0 + \frac{\Delta E_{gap}}{i_{TOT}+1} * i, \quad \text{con:} \quad (3.6)$$

- $E_{h,i}$: energia cumulativa alla i -esima ora dall’inizio del buco di acquisizione;
- E_0 : ultima misura dell’energia prima del buco di acquisizione;
- ΔE_{gap} : energia totale del buco di acquisizione;

- i : numero di ora dall'inizio del buco;
- i_{TOT} : ore totali di mancanza acquisizione dati.

Nei casi in cui il gap di acquisizione dati fosse nell'impianto fotovoltaico, la procedura utilizzata è simile alla precedente con una lieve differenza. Con riferimento ai giorni adiacenti si identifica il possibile orario di inizio e fine produzione fotovoltaica e si confronta questo intervallo con l'intervallo di assenza dati: è stata ipotizzata la produzione pari a zero nelle ore al di fuori dell'intervallo di possibile produzione fotovoltaica, riducendo quindi l'intervallo temporale su cui suddividere la produzione fotovoltaica. La suddivisione è stata ipotizzata come nel caso dei consumi della pompa di calore, quindi distribuita uniformemente sul gap ridimensionato.

Mentre le precedenti correzioni sulla misura e acquisizione dei dati non introducono errori sostanziali nell'analisi, la mancanza dei dati di consumo di energia elettrica della pompa di calore nel periodo dal 3 luglio 2021 al 15 agosto 2021 può influire nei risultati finali dell'analisi. Un guasto del contatore



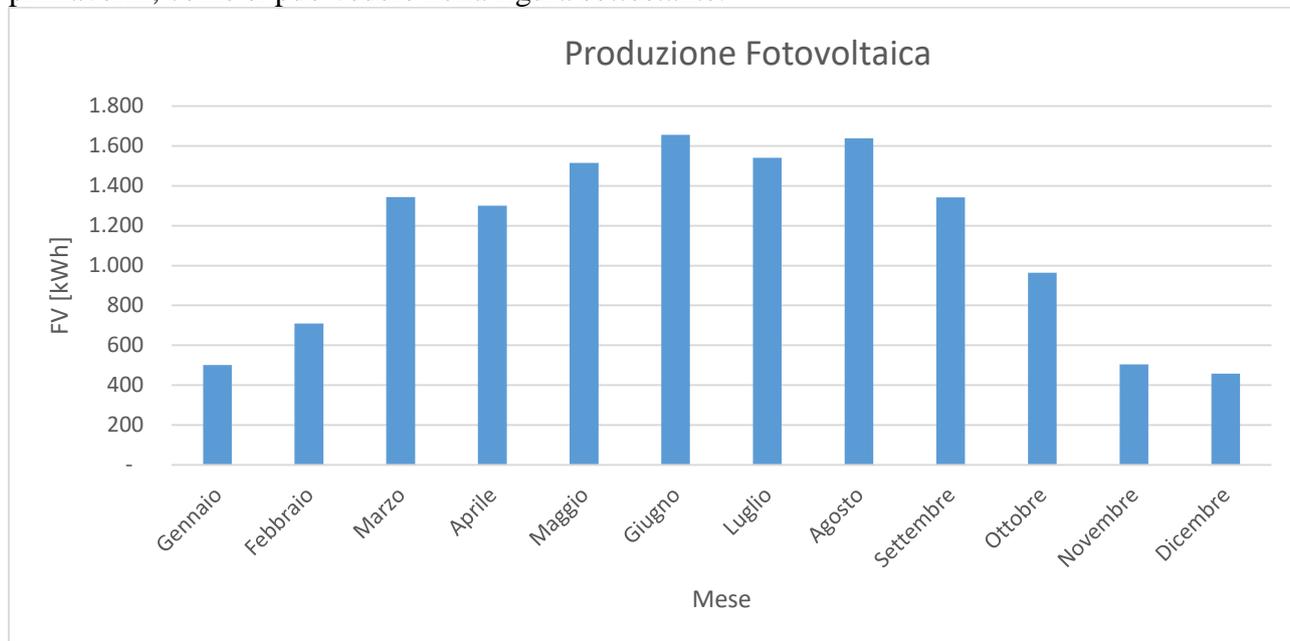
Esempio di intervallo di dati mancante nella produzione dell'impianto fotovoltaico. Nel suddetto intervallo è stata ipotizzata una produzione costante, che graficamente si tradurrebbe col connettere mediante una retta le estremità dell'intervallo.

adibito al monitoraggio dell'energia elettrica assorbita dalla pompa di calore ha reso impossibile il recupero dei dati in forma diretta. Una possibilità sarebbe stata ricavare i dati in modo indiretto partendo dalla potenza media assorbita nell'intervallo di tempo, ma le letture della potenza media erano riferite a intervalli non omogenei e talvolta di importante ampiezza, rendendo così inutilizzabili i dati. Nel giorno 5 agosto 2021 è stata impostata una nuova modalità di acquisizione dei dati medi di potenza elettrica assorbita impostando l'intervallo a 30 minuti. Utilizzando un intervallo di acquisizione minore si avrebbe potuto avere maggiore precisione per quanto riguarda l'autoconsumo fisico, ma il server può contenere solo un limitato numero di misure, quindi è stato scelto 30 minuti come compromesso tra le due esigenze.

5.1.4 Produzione impianto fotovoltaico

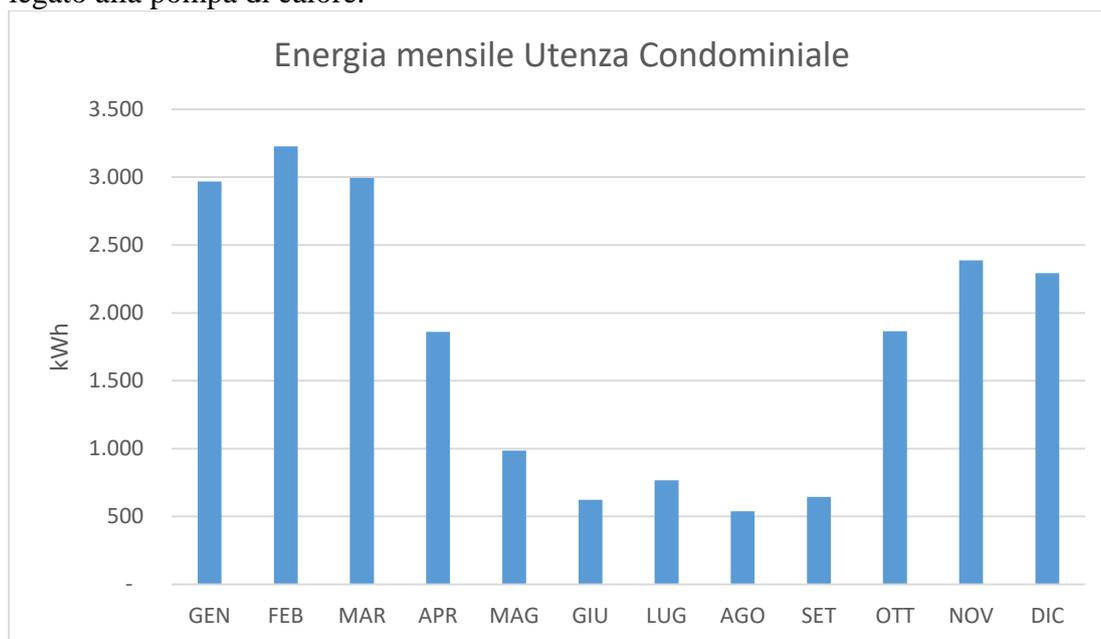
Come si poteva prevedere i valori di produzione dall'impianto FV sono variabile cambiano considerevolmente a seconda del mese di riferimento.

La marcata differenza tra estivi e invernali viene a mancare quando si considerano mesi estivi e primaverili, come si può vedere nella figura sottostante.



5.1.5 Fabbisogno utenze condominiali

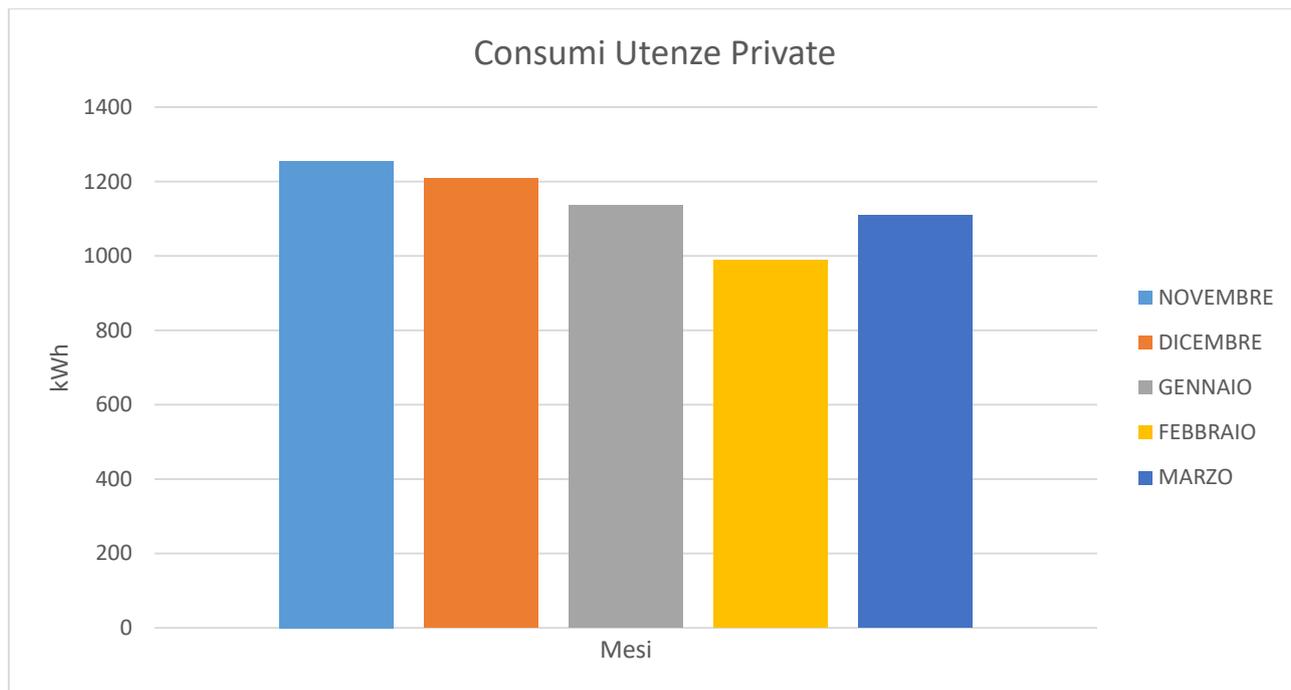
Il fabbisogno di energia elettrica per le utenze condominiali varia ampiamente durante l'anno, con un picco nei mesi invernali e una richiesta minima in quelli estivi, tutto questo dovuto al consumo legato alla pompa di calore.



5.1.1 Fabbisogno utenze private

A causa di un'anomalia nel sistema di acquisizione dati, non è stato possibile elaborare i dati prima del 1 novembre 2021, ma come è possibile notare dalla figura sottostante, i consumi delle utenze private differiscono in maniera trascurabile tra i diversi mesi.

Nelle simulazioni successive si è quindi considerato un profilo invernale leggermente superiore al consumo estivo nei diversi mesi.



5.2 Dati raccolti nel complesso C Qui Abito a Padova

Di seguito, si riporta un estratto dell'analisi quattoraria dei carichi effettuata durante il periodo compreso fra il 15/06/2021 e il 13/08/2021. Essa ha interessato n. 3 utenze residenziali (su 20 presenti) del complesso C, 1 utenza condominiale e la produzione dell'impianto fotovoltaico. L'intervallo di tempo studiato è ottimale poiché, come evidenziato nelle curve mensili, si sovrappongono contemporaneamente i picchi di produzione fotovoltaica e i minimi prelievi del POD condominiale (massima probabilità di energia immessa in rete). Si evince che, seppure durante il periodo estivo una quota parte dell'energia prodotta viene immessa in rete (circa il 20%), tale valore rimane esiguo e tenderà a diminuire considerevolmente con l'approssimarsi della stagione autunnale e fino alla primavera successiva.



6 Analisi Dati

L'elaborazione dei dati necessaria per poter fornire un'analisi tecnica ed economica ha richiesto il recupero dei dati di produzione e di consumi orari per poter implementare una soluzione che rispecchiasse in modo più aderente possibile la realtà.

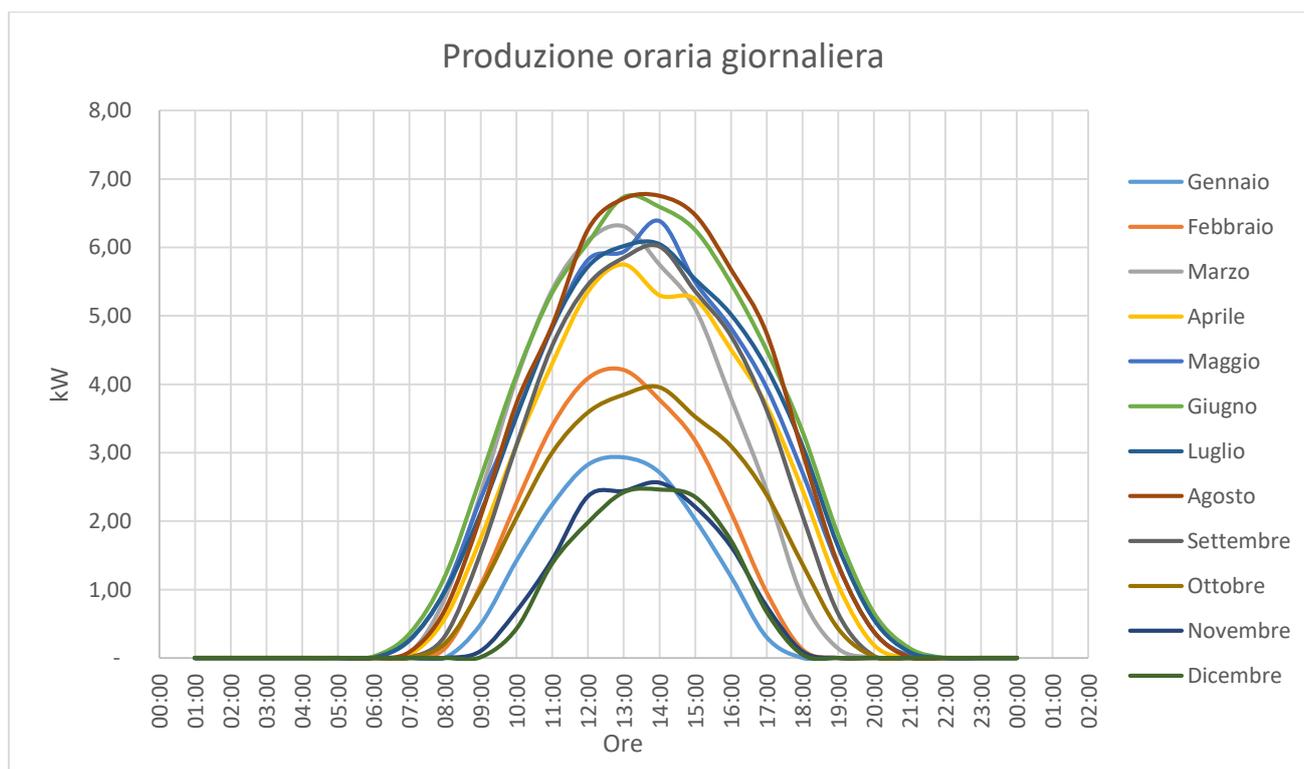
Inoltre il periodo temporale orario è coerente con quanto indicato da ARERA: l'energia condivisa è quindi stimata su base oraria come l'intervallo temporale di riferimento.

Per questo motivo si è voluto creare un profilo medio giornaliero che tenesse così da poter incrociare le curve di carico e produzione.

6.1 Condominio Betulle

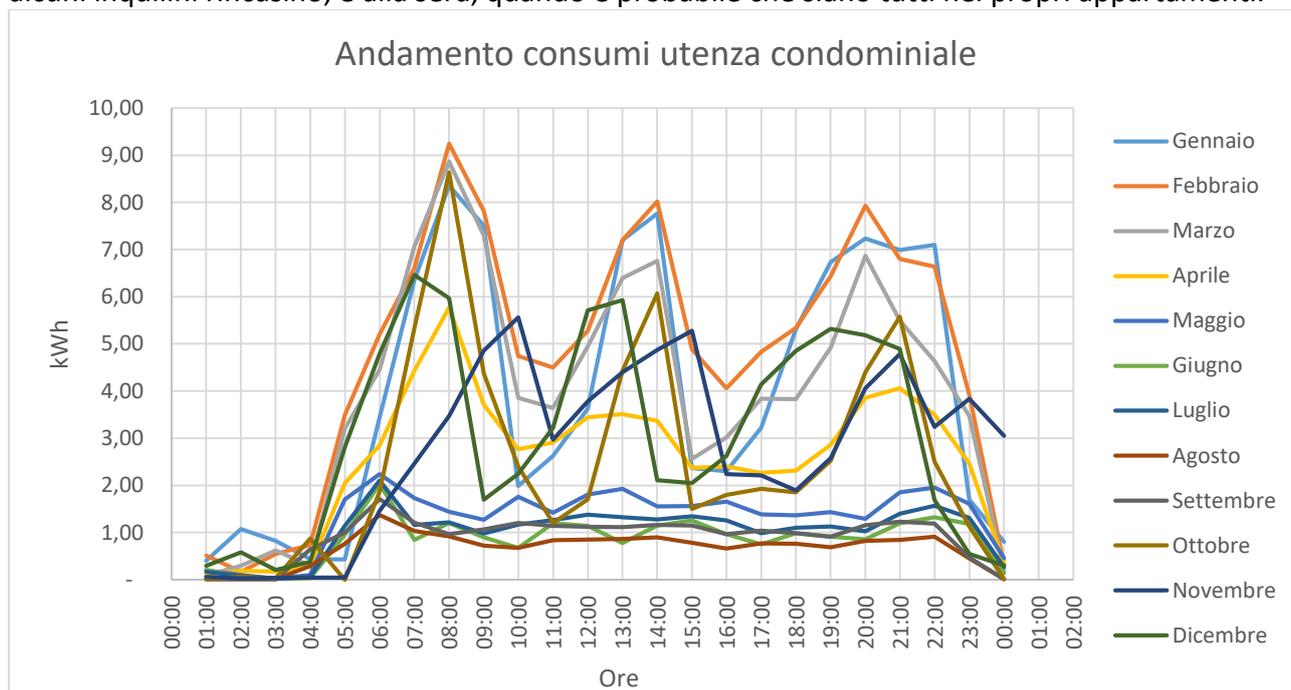
6.1.1 Produzione FV media oraria (giornaliera mensile)

Il profilo di produzione giornaliero medio mensile dell'impianto fotovoltaico segue la caratteristica curva a campana per tutti i mesi analizzati, toccando il picco nelle ore centrali della giornata (13:00 – 14:00).



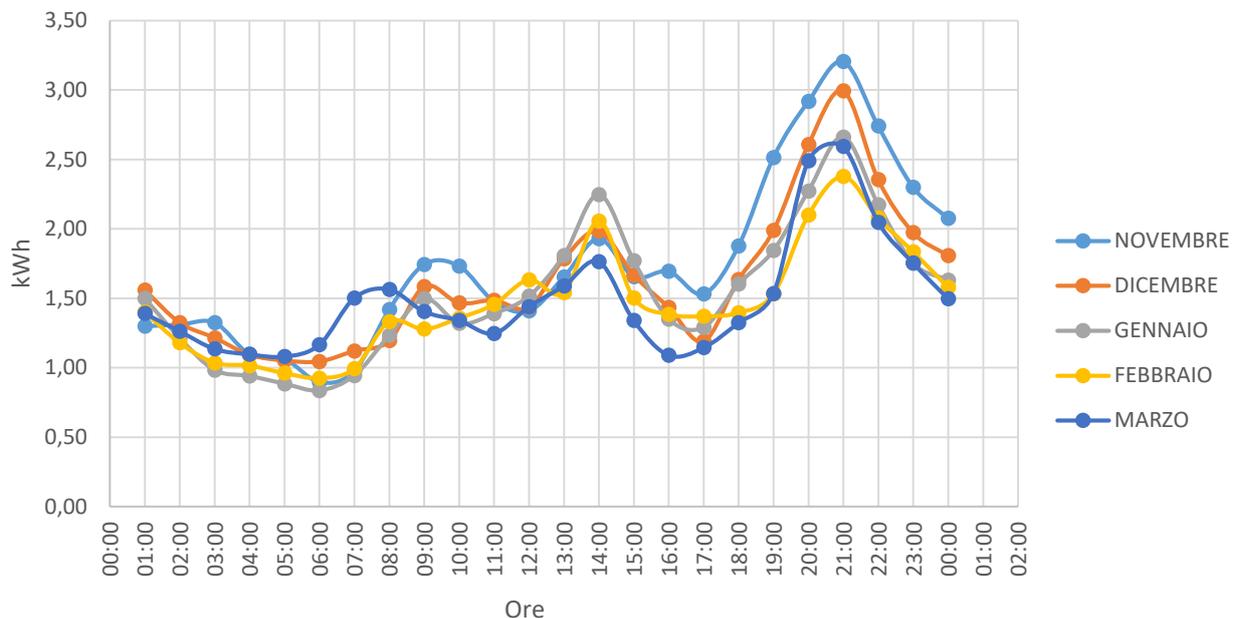
6.1.2 Profilo medio orario di consumo (giornaliera mensile)

I profili medi di energia elettrica consumata utenza condominiale nei vari mesi sono meno omogenei di quelli di produzione fotovoltaica, ma anche in questo caso si possono identificare delle caratteristiche comuni. In particolare, si nota che per i mesi invernali l'andamento presenta tre "gobbe": una al mattino, una verso l'ora di pranzo e una più ampia alla sera. Questo andamento riflette l'andamento di produzione di calore della pompa di calore, che a sua volta si basa sugli orari di maggiore attività delle persone nell'edificio. Si può ipotizzare che l'elevato carico mattutino corrisponda a quando gli inquilini si svegliano e, successivamente, escono di casa, diminuendo il fabbisogno di riscaldamento. Comportamenti simili si hanno a ora di pranzo, quando può essere che alcuni inquilini rincasino, e alla sera, quando è probabile che siano tutti nei propri appartamenti.



A causa di un guasto nel sistema di acquisizione dati, è stato possibile registrare solo i dati delle nove utenze private dal 01/10/2021 al 31/03/2022 (ed è tuttora in funzione), un intervallo temporale comunque sufficientemente lungo per poter creare dei profili medi di carico mensili ed elaborare delle curve rappresentative per la stagione invernale/autunnale ed primaverile/estiva.

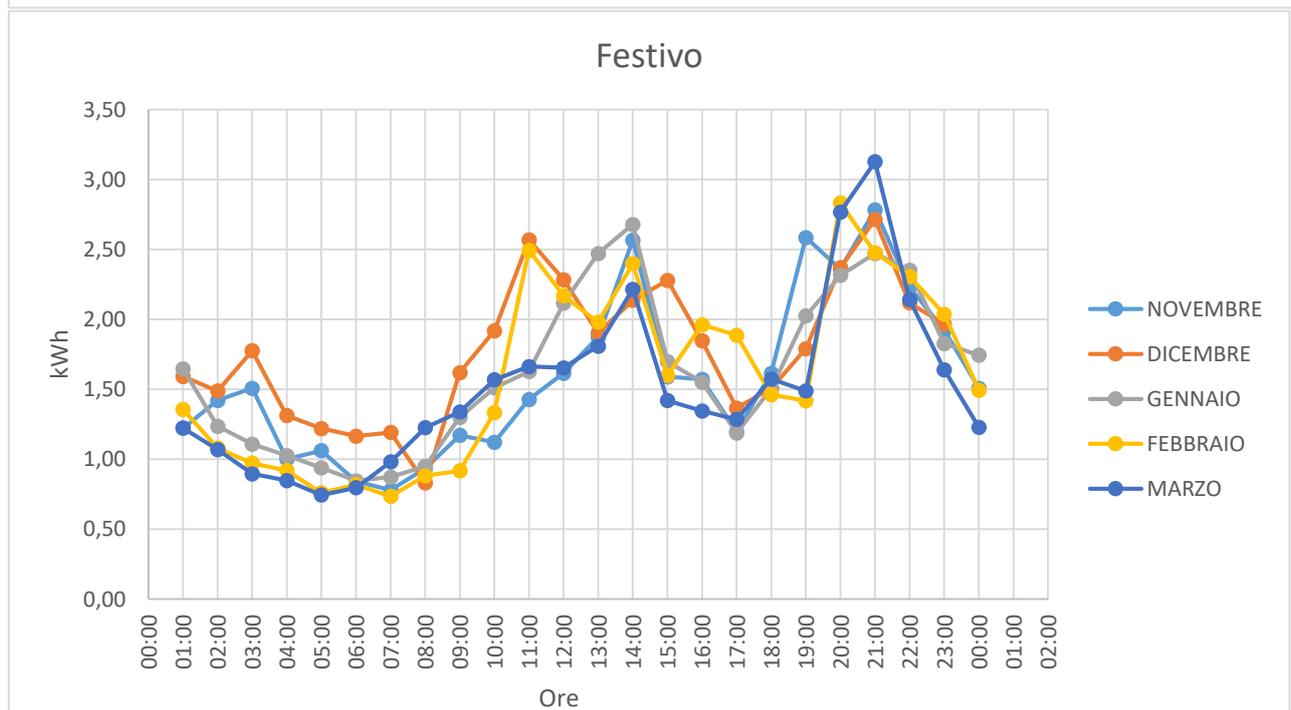
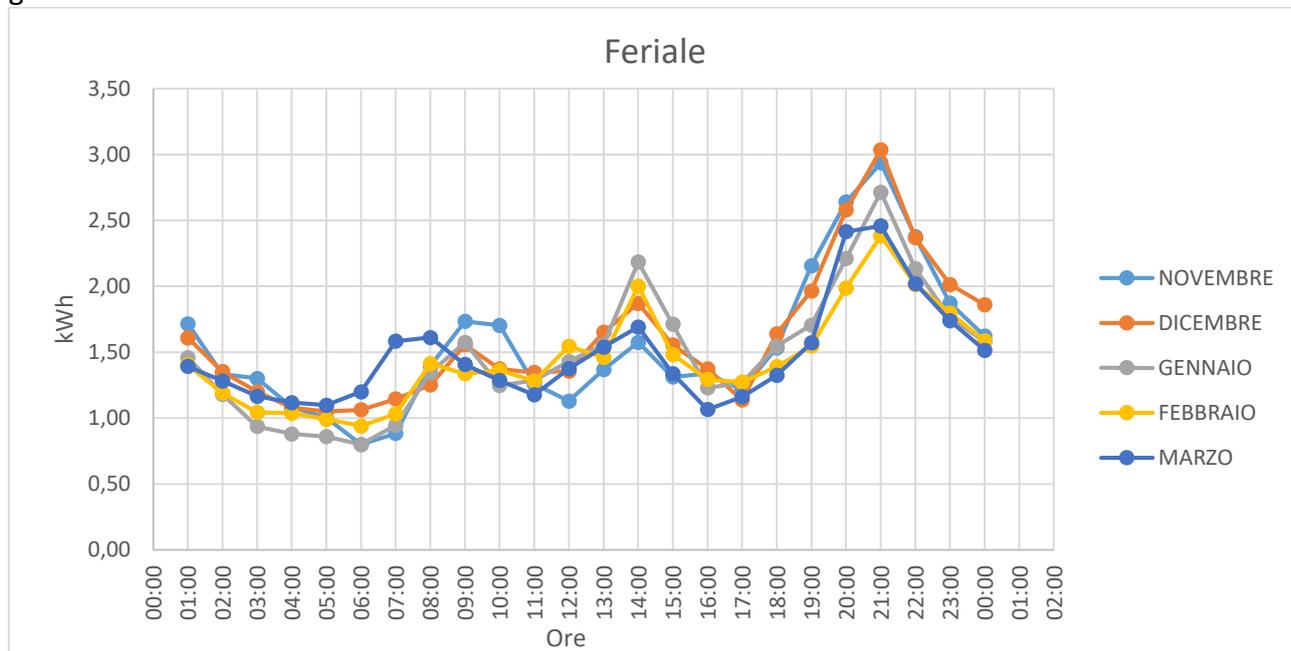
Andamento consumi utenze private



Conoscere i valori dei consumi orari delle utenze è utile per ottimizzare utilizzare l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico, soprattutto nei mesi estivi, mediante lo schema di autoconsumo collettivo virtuale.

6.1.3 Profilo medio orario di consumo (giornaliera feriale e festivo)

Un approfondimento utile è quello di confrontare il profilo di consumi delle utenze private tra i giorni feriali e festivi.



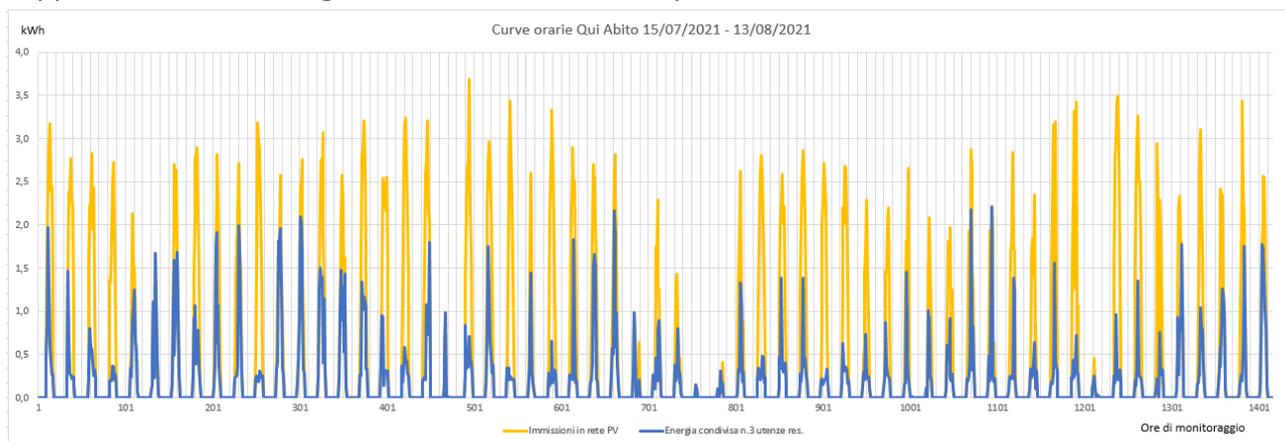
Come si può notare dal grafico le utenze private presentavano un andamento molto simile in ogni mese (tre picchi di consumi al mattino, ad ora di pranzo ed infine il picco più elevato a cena) sia come distribuzione che come picchi di energia assorbita. Questo è dovuto ad una condizione ripetitività delle abitudini di ogni utente.

In più vediamo che non è presente una marcata differenza tra profili di carico feriali che festivi, anche se quest'ultimi hanno un andamento più casuale e meno ripetitivo dei primi.

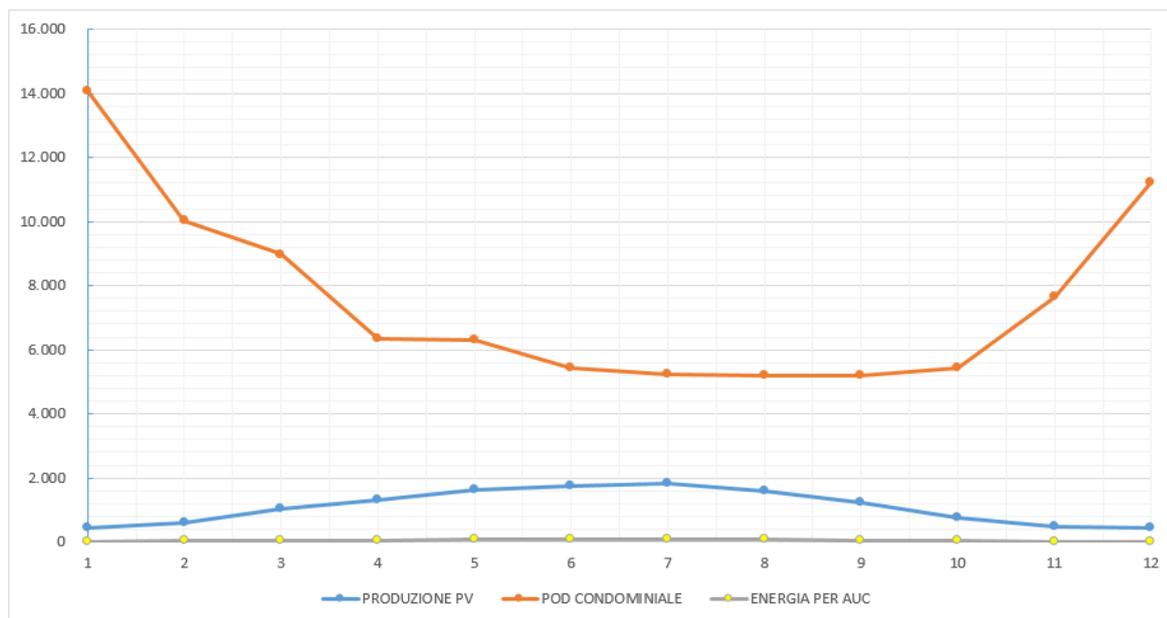
Per le analisi successive si è quindi deciso utilizzare il profilo medio giornaliero totale, non distinguendo tra i due casi.

6.2 Complesso C Qui abito

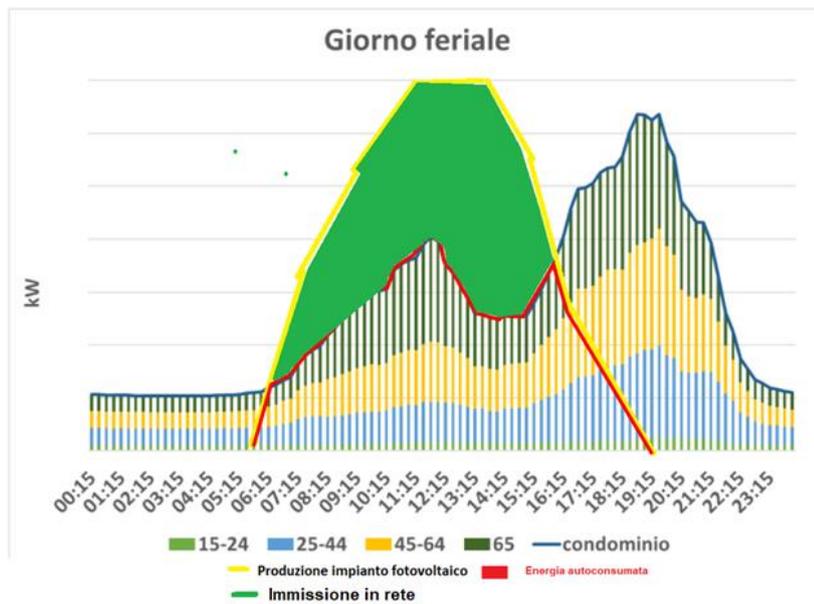
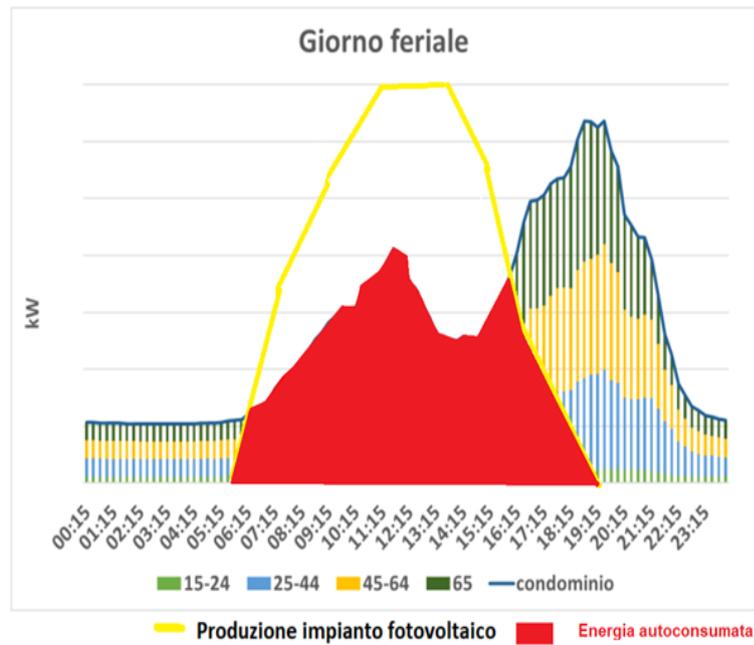
Dal grafico elaborato tra il matching tra la produzione fotovoltaica e le tre utenze private si evince che, seppure durante il periodo estivo una quota parte dell'energia prodotta viene immessa in rete (circa il 20%), tale valore rimane esiguo e tenderà a diminuire considerevolmente con l'approssimarsi della stagione autunnale e fino alla primavera successiva.



Come è possibile vedere dal grafico sottostante se si prende in considerazione il consumi condominiale (in cui il gruppo frigo è il maggior carico) di un giorno estivo di riferimento, la quota di energia condivisa è nulla questo prospetta un sottodimensionamento dell'impianto fotovoltaico per una qualsiasi forma di autoconsumo collettivo.



A valle di una prima elaborazione dati sono stati presentati da gli inquilini scelti dei grafici per sensibilizzare e rendere consapevoli del ruolo e dei vantaggi lati all'energia condivisa.(Allegato 2)



7 Scenari e modelli di business

7.1 Possibilità di sviluppo

I dati fin ora analizzati possono dare una panoramica della situazione attuale in termini di consumi e produzione, ma non possono da soli predire come si comporterà il sistema in casi diversi da quello reale. Con quest'obiettivo in mente, analizzare il sistema in situazioni diverse da quella reale, si procede alla realizzazione di un modello che abbia la possibilità di aggiungere altri carichi (simulando il comportamento di una batteria di accumulo e stazione di ricarica elettrica), la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico, e prospettare una valorizzazione dell'energia condivisa a seguito della delibera 318/2020/R/eel.

7.2 Ipotesi di realizzazione nuovo impianto fotovoltaico complesso C

7.2.1 Introduzione

Considerato che la sperimentazione, con il solo impianto in SEU², non avrebbe potuto rispondere pienamente alle aspettative legate a un AUC in quanto il beneficio per i condomini (escluso il SEU di cui godrebbero) sarebbe stato oggettivamente trascurabile, è stata analizzata anche una proposta di variante.

Tale ipotesi prevedeva la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza prossima a 20 kWp, interamente finanziato e gestito da noi, senza gravare né sui condomini né sulla proprietà, al fine di sperimentare operativamente gli elementi caratteristici di un sistema di produzione in AUC e in particolare:

- verificare gli effettivi consumi virtuali del condominio del complesso C (20 utenze) a prevalente uso abitativo e i benefici in termini economici;
- verificare il modello di business per la realizzazione di impianti di produzione in AUC e relative tariffe incentivanti;
- poter contribuire all'evoluzione normativa in questo ambito in stretta collaborazione con RSE.



Il progetto prevedeva un nuovo impianto connesso a un contatore usi comuni del complesso C (prelievo trifase da 16,5 kW) poco energivoro (meno di 3 MWh/anno) in grado di immettere in rete circa 16 MWh/anno di energia utile per la condivisione della configurazione, da realizzare con le stesse modalità di posa dell'impianto già esistente.

Si è ipotizzato di installare il nuovo impianto da circa 20 kWp nello spazio in copertura libero evidenziato

² Nella configurazione Sistemi Semplici di Produzione e Consumo (SSPC), è possibile avere come configurazione sistemi semplici di produzione e consumo (SEU)

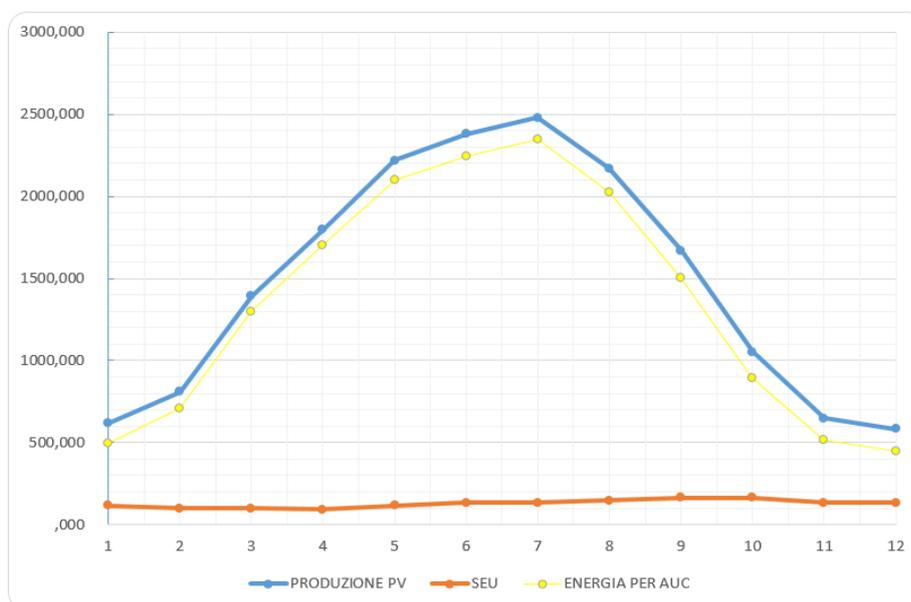
7.2.2 Risultati simulazione

Come dimostra il grafico sotto riportato, con la variante in esame si avrebbe avuta una concreta possibilità di sviluppo del nuovo progetto pilota di autoconsumo collettivo:

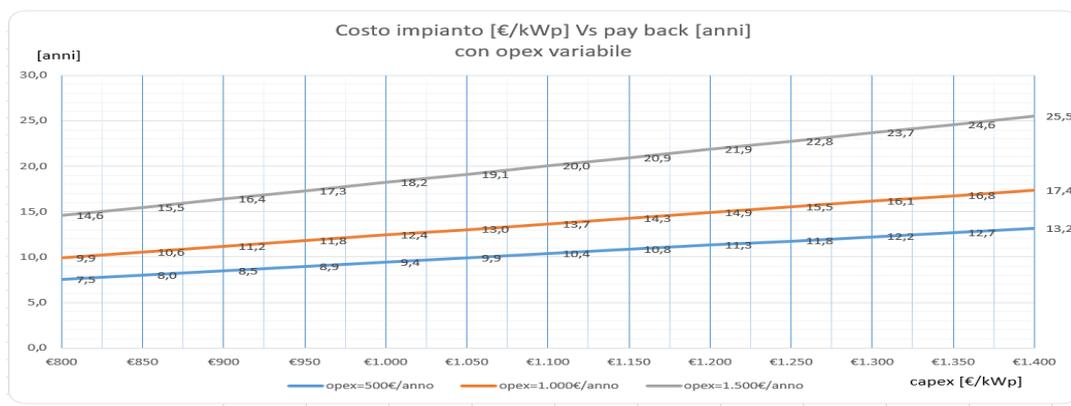
L'impianto era stato immaginato come un **PPA (Power Purchase Agreement)** tramite (**DDS – Diritto di Superficie gratuito**) in cui l'energia autoconsumata sarebbe stata venduta da ènostra al soggetto titolare del POD (**InvestiRE SGR spa**) con uno sconto in bolletta, generandone un vantaggio economico reciproco.

Seppure l'analisi economica, riportata sinteticamente nel grafico n.6, dimostrava una bassa redditività del progetto con **TIR inferiore al 4% e tempi di ritorno superiori ai 12 anni** per OPEX di circa 1.000 €/anno e CAPEX 1.000 €/kWp.

I valori di redditività sono particolarmente bassi perché, per la qualifica giuridica del soggetto proprietario



dell'immobile, non per possibile allo stato attuale per ènostra beneficiare di benefici sull'investimento (detrazioni fiscali 50%). Ènostra e Sinergia hanno comunque presentato la proposta alla proprietà del Social Housing, la quale ha comunicato che non avrebbe concesso il DDS per installare l'impianto, se non per un periodo molto più breve (al massimo fino al 2028, anno a partire dal quale si apre la possibilità di acquisto da parte dei locatari). Tale durata non è quindi compatibile con la sostenibilità dell'iniziativa.



Andamento del pay back al variare di CAPEX e OPEX

7.2.3 Considerazioni finali impianto fotovoltaico condominiale

Oltre alla mancanza di alcuni dati di misura (con le letture dei contatori di calore degli appartamenti, non sono stati forniti, ad esempio, le date di rilievo e i valori assoluti riscontrati), successivi approfondimenti in merito all'utilizzo dell'energia elettrica per gli usi condominiali, hanno evidenziato ulteriori difficoltà. Non è infatti attualmente possibile effettuare un corretto bilancio energetico del condominio, valutare le efficienze di produzione dell'energia termica, frigorifera e ACS condominiale e ripartire correttamente i consumi tra i vari condòmini a causa di un carente e parziale sistema di contabilizzazione del calore. È difficile quindi ipotizzare una suddivisione dei benefici di un eventuale impianto in AUC se non viene prima rivisto il sistema attuale di contabilizzazione, oltre che ottimizzato il sistema di produzione di energia, attualmente molto oneroso per i condòmini.

7.3 Valorizzazione dell'energia condivisa

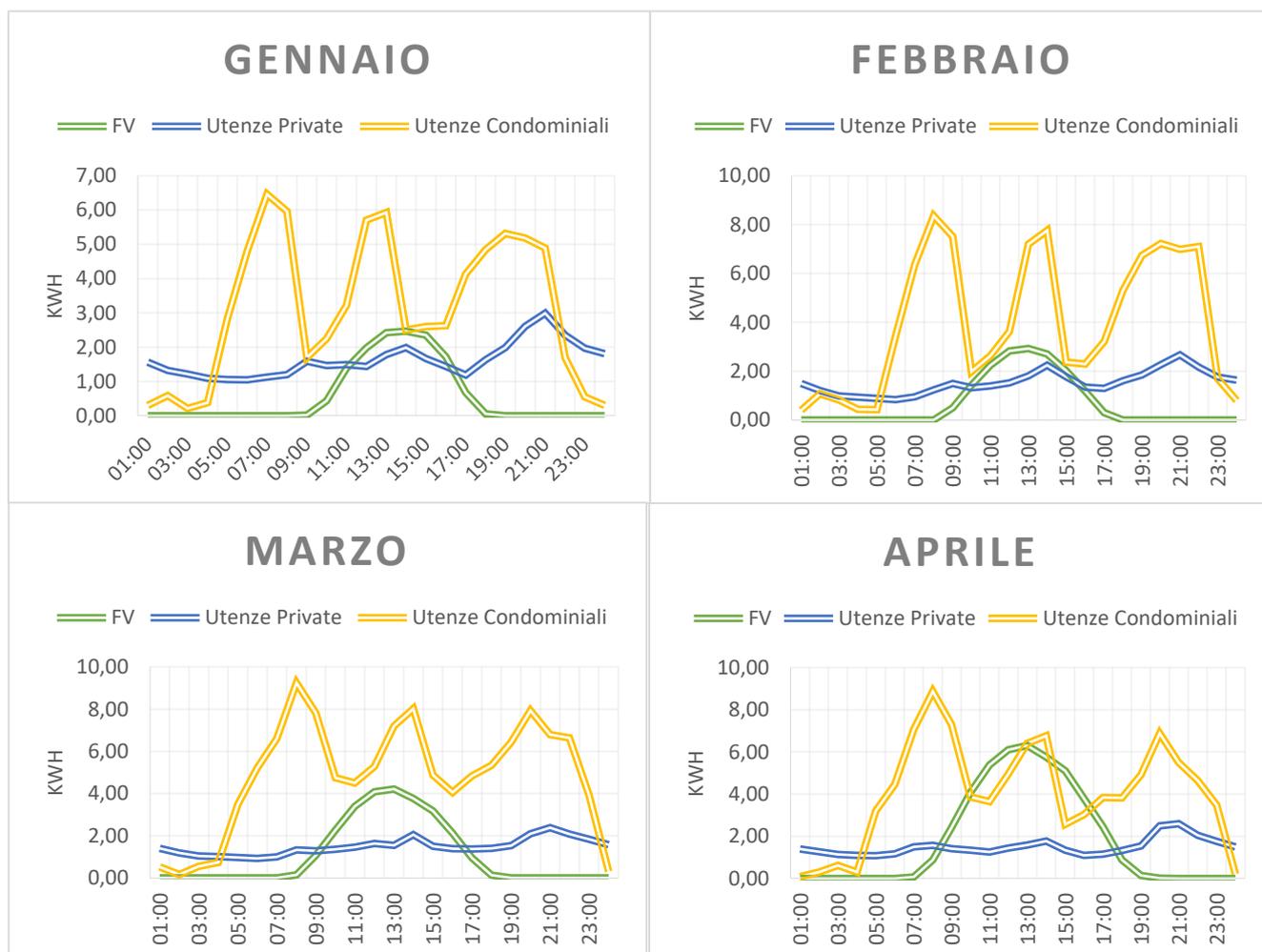
Seguendo la procedura di calcolo presentata nel capitolo 3 è possibile determinare il corrispettivo che dovrebbe essere erogato dal GSE all'utente finale prendendo in considerazione i dati archiviati, elaborati e così da incrociare le curve di carico degli utenti privati³, produzione fotovoltaica ed utenze condominiali ipotizzando una situazione simile a quella del caso studio "Condominio Betulle".

7.3.1 Matching Dati

Nei mesi invernali la presenza della pompa di calore (consumo principale per l'utenza condominiale) per il servizio di riscaldamento e produzione di ACS, unito alla bassa produzione dell'impianto fotovoltaico, non permette l'immissione di energia elettrica in rete: non contribuisce all'energia condivisa ma solo al risparmio dato dall'autoconsumo diretto.

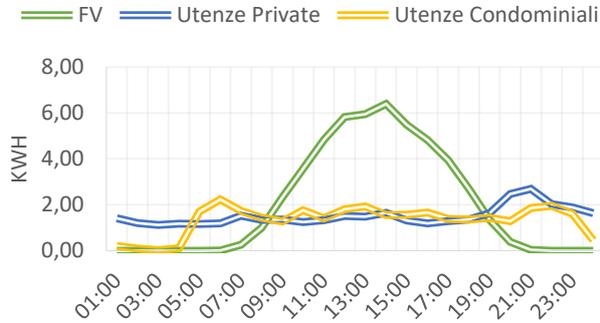
Viceversa nel caso estivo/primaverile(principalmente da Aprile a Settembre) abbiamo una inversione tra prodotta, che incrementa notevolmente, ed il consumo, che decrementa con la fine della stagione di riscaldamento.

In questo caso l'introduzione di un carico virtuale, rappresentato dalle utenze prelevate incrementa il valore economico dell'energia immessa, grazie all'accesso al contributo GSE.

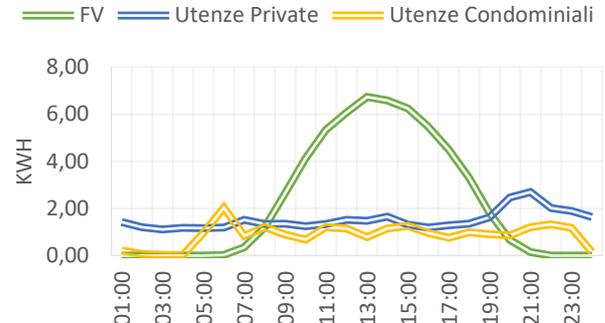


³ Come già illustrato nel paragrafo 6.1 tramite l'analisi dati che va dal periodo 01/10/2021 al 31/03/2021 si sono determinate due curve di carico che rappresentano i consumi nei periodi invernali/autunnali e primaverili/estivi

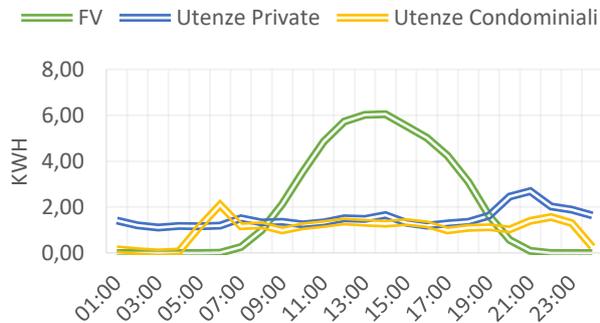
MAGGIO



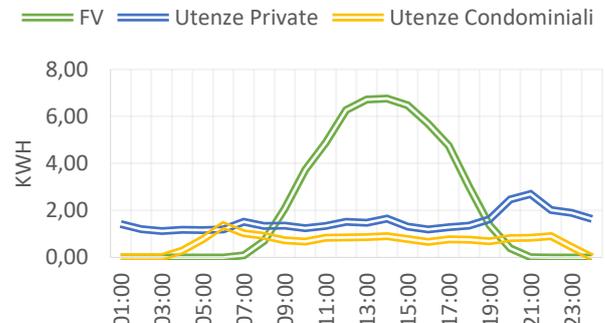
GIUGNO



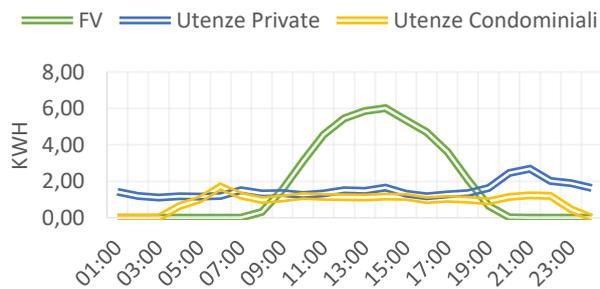
LUGLIO



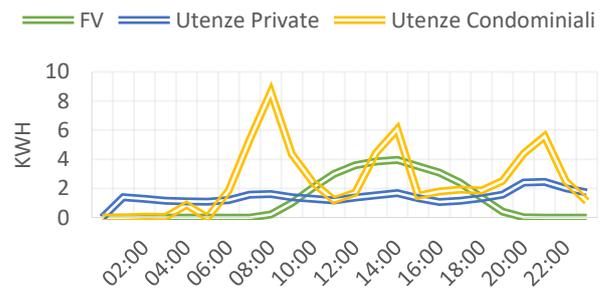
AGOSTO



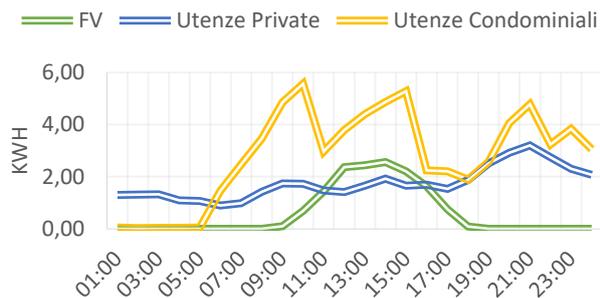
SETTEMBRE



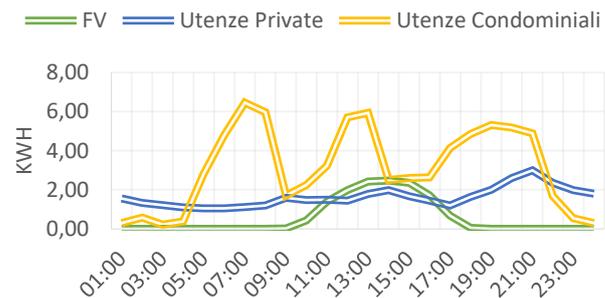
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



	AUTOCONSUMO COLLETTIVO DI ENERGIA GENERATA DA FONTI RINNOVABILI IN AMBITO CONDOMINIALE
	<small>REV. 00 - 12/05/2022</small>

Con la seguente tabella è possibile vedere il bilanciamento tra energia prelevata ed immessa dalla comunità.

	Energia Prelevata	Energia Immessa
Mese	[kWh]	[kWh]
Gennaio	3.605	0
Febbraio	3.505	0
Marzo	2.961	199
Aprile	1.479	905
Maggio	1.528	935
Giugno	1.316	1.264
Luglio	1.420	1.073
Agosto	1.316	1.338
Settembre	1.371	941
Ottobre	2.315	232
Novembre	2.843	0
Dicembre	0	0
TOT	23.658	6.887

7.3.2 Valorizzazione dell'energia virtuale

Come è possibile notare dalla tabella sottostante, il maggior “guadagno” (in realtà è risparmio di energia non comprata dalla rete) è imputabile all’autoconsumo diretto, dovuto alla copertura dei consumi condominiali, in secondo luogo alla vendita dell’energia immessa in rete ed infine al contributo spettante dal GSE. Quest’ultimo che se decisamente inferiore alle altre forme valorizzazione, risulta comunque interessante alla luce della conclusione del contributo in conto scambio (Delibera 570/2012/R/ef) che si prospetta avvenire entro fine 2022

	CAC+IAC ⁴	RID ⁵	Risparmio AU diretto
Gennaio	0 €	0 €	118 €
Febbraio	0 €	0 €	164 €
Marzo	16 €	10 €	281 €
Aprile	46 €	53 €	200 €
Maggio	46 €	54 €	145 €
Giugno	50 €	93 €	118 €
Luglio	48 €	93 €	137 €
Agosto	50 €	123 €	141 €
Settembre	44 €	132 €	175 €
Ottobre	19 €	43 €	261 €
Novembre	0 €	0 €	169 €
Dicembre	0 €	0 €	207 €
Totale	319 €	601 €	2.119 €

⁴ I contributi economici spettanti alle configurazioni autoconsumo collettivo è formato da due componenti CAC (Restituzione componenti tariffarie) + IAC (incentivazione dell’energia condivisa)

⁵ L’energia immessa in rete è valorizzata attraverso il ritiro dedicato (RID)

In ultima analisi, è bene evidenziare come, il maggior valore dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico è imputabile all'autoconsumo diretto il che porta a rendere sempre più interessante ed economicamente convenienti sistemi di stoccaggio elettrochimico e soprattutto impianti che hanno un forte componente di building automation così da sfruttare al massimo la produzione di energia elettrica con la produzione di energia termica.

	Energia prodotta FV	CAC+IAC⁶	RID⁷	AU diretto
	kWh	[€/kWh]	[€/kWh]	[€/kWh]
Gennaio	1285	0,00 €	0,00 €	0,09 €
Febbraio	2276	0,00 €	0,00 €	0,07 €
Marzo	2587	0,01 €	0,00 €	0,11 €
Aprile	1429	0,03 €	0,04 €	0,14 €
Maggio	640	0,07 €	0,08 €	0,23 €
Giugno	424	0,12 €	0,22 €	0,28 €
Luglio	478	0,10 €	0,20 €	0,29 €
Agosto	330	0,15 €	0,37 €	0,43 €
Settembre	412	0,11 €	0,32 €	0,43 €
Ottobre	1115	0,02 €	0,04 €	0,23 €
Novembre	756	0,00 €	0,00 €	0,22 €
Dicembre	828	0,00 €	0,00 €	0,25 €

⁶ I contributi economici spettanti alle configurazioni autoconsumo collettivo è formato da due componenti CAC (Restituzione componenti tariffarie) + IAC (incentivazione dell'energia condivisa)

⁷ L'energia immessa in rete è valorizzata attraverso il ritiro dedicato (RID)

7.4 *Simulazione installazione di batteria di accumulo*

Dopo aver analizzato il vantaggio dell'autoconsumo fisico diretto, si è pensato ad un simulazione delle condizioni operative con la presenza di accumulo elettrolitico e creato un modello che permette di combinare più casi diversi, permettendo così lo studio di diverse soluzioni modificando solo pochi parametri. Esso può anche essere utilizzato per fare delle analisi di massima su condomini con caratteristiche simili a quello preso qui in considerazione, il condominio "Betulle".

BATTERIA	Capacità	5	kWh
	Prezzo	400	€/kWh
	limite SUP	90%	-
	limite INF	20%	-
<input checked="" type="checkbox"/> RISC			
<input checked="" type="checkbox"/> ACS			

La cartella di lavoro Excel è strutturata nel seguente modo:

- Fogli con funzione database per i dati di consumo della pompa di calore, produzione fotovoltaico, profili produzione ACS, consumi delle utenze private;
- Fogli per il calcolo dei profili di illuminazione e ricarica auto elettriche;
- Una tabella dedicata ad ogni mese utilizzata per i calcoli contenente i principali campi indicati in figura 3.20;
- Un foglio con funzione di pannello di controllo e dashboard per poter meglio visualizzare i risultati.

GIORNO - ORA	PRODUZIONE FV	CARICHI TOTALI	CARICHI SINGOLI		

BILANCIO	AU senza batteria	ENERGIA ALLA BATTERIA	CARICA BATTERIA	S.O.C	STATO BATTERIA	ENERGIA ALLA RETE	CICLI

Rappresentazione schematica della struttura delle tabelle utilizzate per i calcoli successivamente descritti. I campi vengono qui rappresentati in due livelli diversi per ragioni di chiarezza di visualizzazione, nei fogli Excel ogni tabella contiene tutti i campi in un unico livello.

•

7.4.1 Simulazione batteria di accumulo elettrochimico

La batteria simulata nel modello è un dispositivo elementare che permette l'accumulo e fruibilità di energia elettrica considerando un rendimento di carica-scarica. Non conoscendo né le caratteristiche della batteria che andrà installata né le caratteristiche dei carichi, i processi di carica e scarica vengono considerati come lineari, senza considerare la reale curva di carica-scarica di una batteria.

Il rendimento impostato serve a tenere conto sia delle perdite della batteria sia dello scostamento tra il funzionamento simulato della batteria e quello reale teorico. È inoltre possibile definire la massima profondità di scarica e la carica massima della batteria in termini percentuali.

Il calcolo inizia dalla determinazione del bilancio energetico Bil_h con una semplice sottrazione nell'unità di tempo tra l'energia fotovoltaica prodotta $E_{FV,h}$ e i carichi considerati $E_{Carichi,TOT,h}$: $Bil_h = E_{FV,h} - E_{Carichi,TOT,h}$. Un bilancio negativo indica che c'è una richiesta residua da soddisfare, mentre un bilancio positivo indica che c'è un eccesso di energia fotovoltaica prodotta.

Una volta calcolato il bilancio energetico una logica di controllo determina quanta energia verrà prelevata o immessa nella batteria in base al bilancio, carica della batteria e limiti superiori e inferiori di carica. Vengono innanzitutto divisi due casi, bilancio positivo o negativo, e per ogni caso si verifica che la carica della batteria dopo l'assorbimento o emissione di energia rimanga entro i limiti definiti:

- $Bil > 0$: se la somma tra la carica della batteria all'istante $t-1$ e il bilancio Bil al netto delle perdite all'istante t è minore del limite massimo di carica, dato da $Capacità * Lim_{sup}$, la batteria assorbe energia elettrica pari al bilancio al netto delle perdite. Il rendimento definito nel pannello di

controllo tiene conto delle perdite totali per un ciclo, o parte, di carica-scarica. Se si utilizzasse il rendimento così definito sia nel processo di carica che il quello di scarica le perdite sarebbero contate due volte, rendendo il rendimento effettivo per il ciclo completo minore del voluto. Nei singoli processi di carica o scarica viene quindi utilizzato un rendimento parziale $\eta_p = \eta_{cs} + \frac{1-\eta_{cs}}{2}$, dove η_{cs} è il rendimento totale del ciclo di carica e scarica. L'energia rappresentata dal bilancio al netto delle perdite è quindi $Bil_{netto,c} = Bil * \eta_p$.

Nel caso in cui la prima condizione risultasse non verificata, il modello procede a controllare l'ipotesi in cui la carica della batteria all'istante $t-1$ è minore del limite superiore di carica ma con l'aggiunta del bilancio al netto delle perdite $Bil_{netto,c}$ sfiorerebbe tale limite. In questo caso la batteria assorbe solo l'energia per arrivare al limite superiore di carica, per mandare alla rete la restante. Se entrambe le ipotesi analizzate risultano false, ovvero la batteria si trova già al massimo della carica, l'energia assorbita dalla batteria è posta uguale a zero.

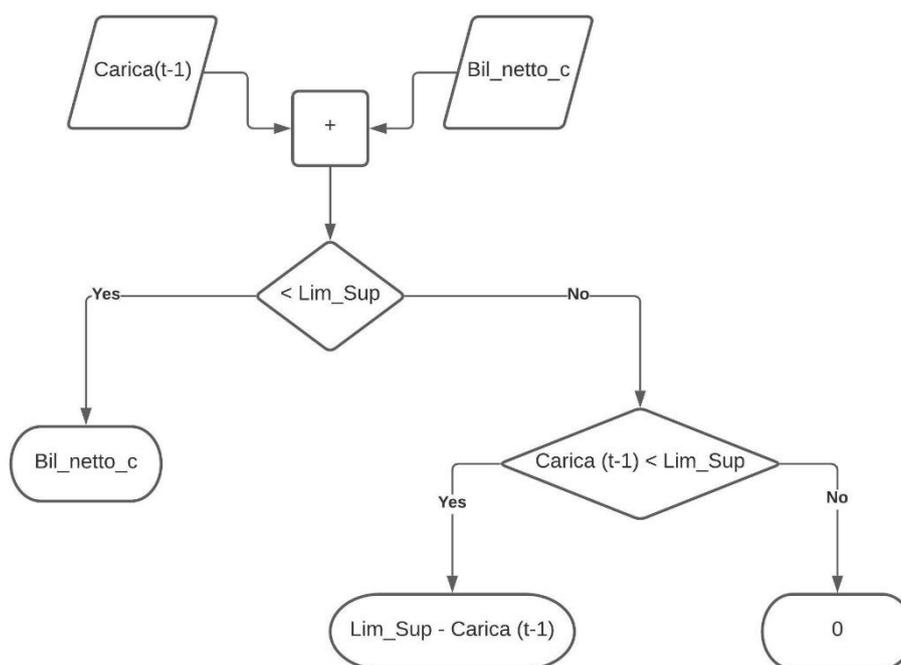


Diagramma rappresentante la logica che regola il processo di carica della batteria.

- $Bil < 0$: la logica segue lo stesso principio di funzionamento del caso precedente, con alcune piccole modifiche. Il bilancio netto nel caso di scarica è calcolato come $Bil_{netto,s} = Bil/\eta_p$ perché il bilancio calcolato è la variabile imposta e la batteria deve utilizzare più energia per soddisfare il carico e vincere le perdite per il processo di scarica. Calcolato il bilancio netto si verifica se la somma algebrica $Carica(t-1) + Bil_{netto,s}$ è maggiore o minore del limite inferiore di carica. Nel caso fosse superiore viene prelevata dalla batteria energia pari a $Bil_{netto,s}$. In caso contrario si verifica se la carica all'istante $t-1$ sia maggiore del limite inferiore. In caso positivo la batteria viene scaricata fino ad arrivare al limite inferiore, mentre se la batteria è già scarica l'energia richiesta verrà prelevata dalla rete.

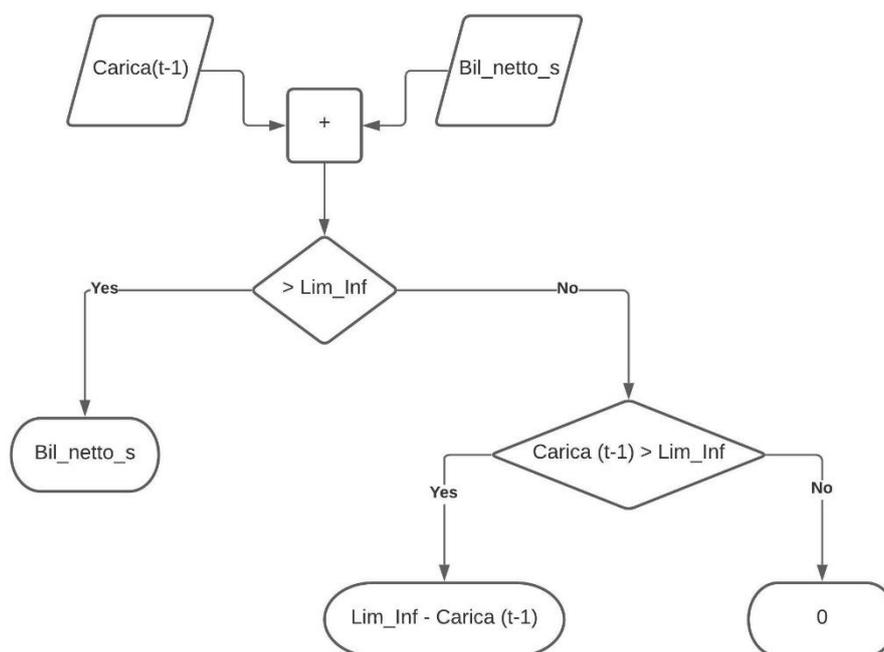


Figura 3.24. Diagramma rappresentante la logica che regola il processo di scarica della batteria.

7.4.2 Calcolo stato batteria

La colonna dello stato della batteria rappresenta uno strumento visivo per vedere il comportamento della batteria in modo immediato ma mantenendo un buon grado di dettaglio. Ci sono 5 diversi stati possibili, a ciascuno del quale corrisponde uno stile di formattazione della cella: “Full”, “Empty”, “Charge”, “Discharge”, “Static”. Gli stati di *Full* e *Empty* vengono determinati in base alla percentuale di carica della batteria: se essa è pari al limite superiore o al limite inferiore viene assegnato il relativo stato. Se invece la percentuale di carica si trova compresa nell’intervallo di funzionamento, il segno del bilancio energetico determina lo stato, che assumerà il valore di *Charge* se il bilancio è positivo, *Discharge* se negativo. Lo stato di *Static* viene assunto quando si presentano casi diversi dai precedenti, ovvero quando il bilancio è pari a zero ma la percentuale di carica non corrisponde ai limiti superiore e inferiore.

Calcolo numero di cicli mensili

L’informazione del numero di cicli completi di carica-scarica può fornire un’idea del corretto funzionamento della batteria senza dover fare riferimento ai grafici. Nel modello sono dedicate due colonne per questo calcolo: la prima colonna può assumere solo due valori, 0 e 1, in base all’andamento della colonna dello stato della batteria. Se lo stato diventa *Full* assume il valore 1, se lo stato diventa *Empty* assume il valore 0 e per tutti gli altri stati assume il valore dell’istante precedente. Nella seconda colonna viene controllato quando i valori della prima colonna cambiano da 1 a 0 e viceversa, assumendo valore 1 nel caso di cambio e 0 negli altri casi. Il numero di cicli completi mensili è dato dalla metà della somma dei valori dell’ultima colonna.

7.4.3 Calcolo energia risparmiata grazie alla batteria

STATO	UP(0)/DOWN(1)	CICLO
-	-	-
DISCHARGE	1	0
EMPTY	0	1
EMPTY	0	0
CHARGE	0	0
FULL	1	1
FULL	1	0
DISCHARGE	1	0
DISCHARGE	1	0
DISCHARGE	1	0

Esempio di calcolo di raffigurazione dello stato della batteria e di calcolo di cicli completi mensili effettuati.

Il vantaggio portato dalla batteria è quantificabile in base alla quantità di energia assorbita dalla batteria invece che dalla rete per la copertura dei carichi. Il totale di quest’energia è dato dalla somma dei valori negativi di energia in ingresso alla batteria, ovvero l’energia in uscita dalla batteria, moltiplicata per il rendimento parziale di ciclo η_p : $E_{saved} = E_{batteria,uscita} * \eta_p$.

7.4.4 Calcolo energia autoconsumata

L'energia autoconsumata è pari al minimo tra l'energia prodotta nell'i-esimo intervallo temporale e l'energia consumata nel medesimo intervallo:

$E_{AU} = \min\{E_{FV,i}, E_{carico,TOT,i}\}$. L'energia autoconsumata tenendo in considerazione anche la batteria è data dalla somma di E_{AU} e E_{saved} .

7.4.5 Calcolo energia immessa in rete con batteria

L'energia immessa in rete è l'energia prodotta che non è stata né autoconsumata né assorbita dalla batteria: $E_{rete,i} = E_{FV,i} - E_{AU,i} - E_{batteria,i}$. Per determinare $E_{batteria,i}$ bisogna considerare solo l'energia entrante alla batteria divisa per il rendimento di ciclo parziale η_p perché le perdite della batteria non devono far parte dell'energia immessa in rete: $E_{batteria,i} = \frac{E_{batteria,in,i}}{\eta_p}$. Nel caso in cui non voglia considerare la presenza della batteria, l'energia immessa in rete è data da: $E_{rete,i} = E_{FV,i} - E_{AU,i}$

7.4.6 Risultati simulazione con batteria di accumulo

Gli obiettivi principali dell'analisi sono di determinare la convenienza economica di installare una batteria di accumulo rispetto ad accedere al contributo per AUC.

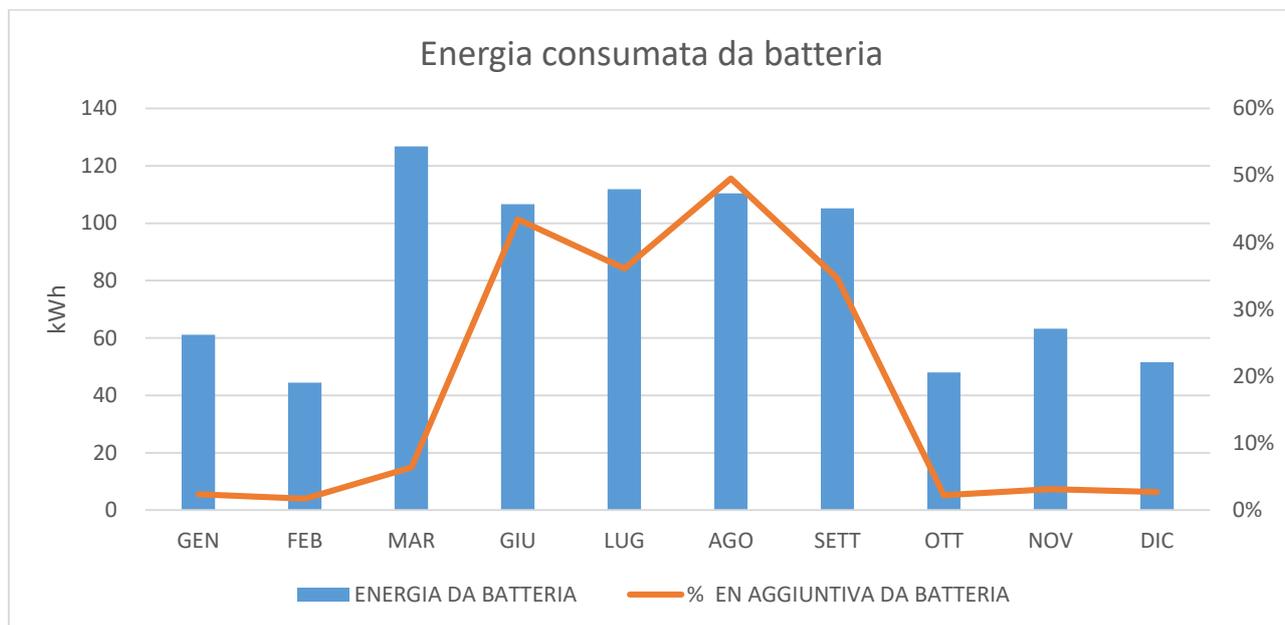
Per effettuare la simulazione si sono effettuate due ipotesi:

- Costo unitario energia elettrica utente domestico: 0.25 €/kWh
- Costo d'investimento considerando l'accesso al Bonus Casa: 400 €/kWh

Procedendo attraverso un metodo iterativo si è giunti alla capacità di 5kWh che ottimizzava il ritorno dell'investimento e la valorizzazione dell'energia.

MESE	ENERGIA PRODOTTA	FABBISOGNO FISICO	PRELEVATA DALLA RETE	IMMESSA IN RETE	ENERGIA INCAMERATA DALLA BATTERIA
-	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
GEN	471	4105	2512	14	61
FEB	709	4214	2558	41	44
MAR	1343	4105	1853	201	127
GIU	1656	1708	139	1172	107
LUG	1541	1851	198	974	112
AGO	1638	1624	112	1213	110
SETT	1299	1729	199	855	105
OTT	883	4080	2120	10	48
NOV	504	3642	1935	52	63
DIC	458	3502	1848	14	52
TOT	13317	35577	14809	5850	1037

Energia stoccata	Valore unitario Energia	Valorizzazione	Costo d'Investimento	Simple Pay Back
[kWh]	[€/kWh]	[€]	[€]	[-]
1037	0,25	259	2000	8



Come è possibile notare dall'ultima tabella, con l'attuale costo delle batterie di accumulo e il valore dell'energia elettrica, per un condominio con utenze e carichi simili a quelle del betulle potrebbe maggior benefici:

	AUC	AU BATTERIA
	€	€
Valorizzazione energia	319	259

8 Conclusioni

Il progetto pilota sviluppato nel corso di questi anni ha avuto l'obiettivo di valutare nuovi modelli di business derivanti dalla possibilità di autoconsumare virtualmente, oltre che fisicamente, l'energia prodotta da un impianto fotovoltaico. Questo elemento, reso possibile sia dall'evoluzione tecnologica che dalla normativa vigente, può fornire risultati interessanti sia per quanto riguarda l'accettabilità economica che sociale nel caso analizzato di condomini dotati di impianti di climatizzazione centralizzati.

Il progetto sviluppato ha conseguito i seguenti risultati:

- **MAGGIOR VALORIZZAZIONE DELL'ENERGIA RINNOVABILE PRODOTTA LOCALMENTE:** L'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico assume un maggior valore quando autoconsumata direttamente, in particolare modo dalla pompa di calore centralizzata essendo quest'ultima il maggior carico elettrico presente. Di contro l'energia termica varia sensibilmente durante l'anno. Nella stagione di riscaldamento le curve di consumo orario medio seguono un profilo che presenta 3 picchi concentrati in 3 fasce orarie (mattina presto, ora di pranzo, ore serali) molto distanti dalla curva tipica di produzione dell'impianto fotovoltaico. In estate invece si ha un profilo di carico basso e uniforme in quanto la pompa di calore è adibita solo alla produzione di acqua calda sanitaria. In questo contesto l'introduzione delle utenze private con la modalità di consumo collettivo riesce, soprattutto nei mesi estivi, raddoppiare il valore economico della quantità di energia immessa in rete grazie all'accesso al servizio valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa nell'ambito di configurazioni di gruppi di autoconsumatori di energia rinnovabile contributi economici riconosciuti dal GSE (Delib.318/2020/R/eel).
- **RACCOLTA INFORMAZIONI DETTAGLIATE SUI CONSUMI DEGLI UTENTI FINALI (CONDOMINIALI E SINGOLI).** I profili di carico delle utenze private ci possono fornire importanti informazioni sugli usi delle persone. Difatti, le utenze presentano, un andamento molto simile presentando dei leggeri picchi nelle ore centrali della giornata ed un maggior consumo in quelle serali, mantenendo un consumo non trascurabile anche nelle ore notturne. La quantità di energia consumata differisce sensibilmente in base alla stagione, al tipo di utenza e al numero di occupanti. E' possibile quindi modellizzare l'andamento delle utenze in tre profili (estivi, invernali e mezze stagioni) su cui impostare un modello su cui basare successive analisi.
- **POSSIBILITÀ DI VERIFICA DEL MATCHING PRODUZIONE E CONSUMO IN SITUAZIONI REALI E MEDIANTE SIMULAZIONI.** Grazie alla verifica di situazioni reali, è stato possibile tarare modelli di simulazione per poter estendere e replicare in altre situazioni la verifica del matching tra produzione e consumo. Inoltre è stata studiata e verificata l'impatto di una gestione di accumuli energetici (termici, elettrochimici, ecc.) o di utilizzi innovativi dell'energia elettrica in eccesso (es. colonnine di ricarica condominiali per auto) al fine di massimizzare dell'autoconsumo fisico e minimizzare la vendita in rete dell'energia prodotta.