

Ricerca di Sistema elettrico



Comunità di energia rinnovabile e gruppi di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente: analisi tecnico- economica di scenari sotto diverse configurazioni di proprietà degli asset e di profili di produzione e consumo (LA4.8)

M. Ricci, S. Ferrari, F. Gianaroli, B. Di Pietra, P. Sdringola

TITOLO (LA4.8 COMUNITÀ DI ENERGIA RINNOVABILE E GRUPPI DI AUTOCONSUMATORI DI ENERGIA RINNOVABILE CHE AGISCONO COLLETTIVAMENTE: ANALISI TECNICO-ECONOMICA DI SCENARI SOTTO DIVERSE CONFIGURAZIONI DI PROPRIETÀ DEGLI ASSET E DI PROFILI DI PRODUZIONE E CONSUMO)

Autori: Mattia Ricci, Silvia Ferrari, Biagio Di Pietra, Paolo Sdringola, ENEA

Federico Gianaroli, Dottorando ENEA – Università di Bologna

Con il contributo di: Ilaria Bertini e Giovanni Puglisi, ENEA

Giugno 2023

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA
Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione

Progetto: 1.5 - Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica

Linea di attività: 4.8

Responsabile del Progetto: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Biagio, Di Pietra, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: 01/2022

Mese inizio effettivo: 06/2023

Mese fine previsto: 01/2022

Mese fine effettivo: 06/2023

Indice

1	RISULTATI ATTESI	3
2	RISULTATI OTTENUTI.....	3
3	PRODOTTI ATTESI.....	6
4	PRODOTTI SVILUPPATI	6
5	ANALISI DEGLI SCOSTAMENTI SU ATTIVITÀ E RISULTATI.....	7
6	SINTESI DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	8
7	DETTAGLIO DELLE ATTIVITÀ SVOLTE.....	9
8	CONTRIBUTO DELLE EVENTUALI CONSULENZE ALLE ATTIVITÀ SOPRA DESCRITTE	16
9	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE	16
10	EVENTI DI DISSEMINAZIONE.....	16

1 Risultati attesi

- Analisi dei regolamenti adottati da alcune comunità energetiche già avviate per identificare le caratteristiche che consentono una gestione efficace dei rapporti tra prosumer e consumatori (best practices) e valutare i possibili punti di debolezza che potrebbero rendere meno interessante la partecipazione degli utenti al nuovo modello energetico-sociale.
- Analisi di alcuni software commerciali attualmente disponibili per l'analisi tecnico economica e la gestione delle comunità energetiche.
- Elaborazione dei profili di carico elettrico reali (almeno orario) ottenuti dal monitoraggio di alcuni edifici caratterizzati da diverse destinazioni d'uso e/o dalle misure storiche rese disponibili dai distributori per le utenze dotati di contatori di seconda generazione.
- Sviluppo di un foglio di calcolo o apposito script per implementare uno o più algoritmi utilizzabili per simulare diversi scenari di ripartizione dell'investimento iniziale e dei ricavi complessivi tra gli investitori, produttori e consumatori che partecipano alla comunità energetica.
- Applicazione del foglio di calcolo a varie configurazioni di comunità, a partire dai profili di consumo e di produzione di impianti FER, ottenuti da monitoraggio diretto e/o forniti dagli utenti o da modelli sviluppati in ambiente di simulazione.
- Elaborazione di strumenti di divulgazione rivolti agli utenti finali per spiegare quali vantaggi possa portare la creazione di una comunità energetica in generale e specificatamente per ciascun membro, sia esso consumatore, produttore o prosumer.

2 Risultati ottenuti

- È stata effettuata una analisi degli statuti adottati da tre comunità energetiche già avviate:
 1. Comunità Energetica Rinnovabile Magliano d'Alpi costituita da: i) Comune di Magliano d'Alpi (prosumer) proprietario di un impianto fotovoltaico da 20 kW_p, ii) Biblioteca, palestra e scuole e 4 residenti in qualità di consumatori;
 2. Comunità Energetica Rinnovabile di Tito costituita da: i) prosumer sono la scuola secondaria di I grado di Tito (impianto fotovoltaico da 20 kW_p esistente) e la biblioteca (nuovo impianto fotovoltaico da 45 kW_p), ii) consumatori costituiti da 34 preadesioni: 13 utenze comunali; 21 utenze tra residenziali e commerciali
 3. Comunità Energetica Rinnovabile di "Via dei Partigiani" nel comune di Marsciano (PG), composta da: 4 soci fondatori (1 prosumer e 3 consumatori) e ha previsto la realizzazione di un nuovo impianto FV da circa 10 kW_p sulla copertura di un edificio residenziale, con un investimento iniziale a carico del soggetto privato prosumer.
- Analizzando gli statuti è stato possibile identificare i modelli economici e operativi adottati dalle CER sopra riportate per regolare in modo ottimale i rapporti tra i membri e le modalità di suddivisione dei ricavi. Dalla stessa analisi sono stati valutati i punti di debolezza che potrebbe caratterizzare in generale il modello energetico-sociale su cui si basa la CER, tra questi: i) una quota fissa da pagare (quota annuale associativa, eventuale quota d'uscita, ecc), indipendentemente da quali siano i ricavi, può fortemente disincentivare

l'utente, ii) la difficoltà nella scelta della forma giuridica con cui istituire la comunità energetica, soprattutto in funzione della tipologia di soggetti partecipanti (si pensi ai vincoli per comuni ed enti pubblici nel partecipare a forme societarie) e dei diversi costi e della diversa fiscalità che ciascuna forma poi prevede.

- È stata condotta un'approfondita analisi dei principali software attualmente presenti sul mercato, finalizzata all'esplorazione delle loro funzionalità e prestazioni oltre alla gestione ottimizzata delle dinamiche interne alle configurazioni di Autoconsumo Collettivo (AUC) e Comunità Energetiche Rinnovabili (CER). In particolare, dall'analisi si evince che gli strumenti software sono stati sviluppati specificamente per facilitare il ruolo dell'amministratore supportando il controllo e l'ottimizzazione delle risorse energetiche all'interno delle comunità. I principali moduli che caratterizzano i software commerciali sono: Design, Gestione, Monitoraggio, Integrazione con app mobile

- Sono stati elaborati i profili di carico elettrico orari di utenze reali utilizzati come profili tipo degli utenti del caso studio CER analizzato con il foglio di calcolo e con i modelli in Python implementati nella presente linea di attività. In particolare, attraverso l'applicativo che i Distributori elettrici rendono disponibili nei propri siti web, sono stati recuperati i profili di carico reali con definizione quarto d'ora riferiti a 2 tipologie di edifici residenziali: i) appartamento, ii) abitazioni monofamiliari; per ciascuna delle due tipologie abitative sono stati ricavati i profili reali di due diversi nuclei familiari. Il periodo analizzato del carico per ciascuna famiglia è pari a dodici mesi. Oltre ai profili reali ottenuti dal sito del Distributore elettrico sono stati elaborati i profili di carico medi orari mensili (diversificati tra giorno ferialo, sabato e domenica) pubblicati da ARERA, specifici per i residenti della provincia di Cremona (sito del caso studio elaborato in questa linea di attività)

- Per consentire una valutazione con differenti livelli di approfondimento e di complessità, nella presente linea di attività sono stati implementati due strumenti software: i) foglio di calcolo con il quale è possibile valutare in funzione dei profili di carico orari dei consumatori e dei prosumers l'entità dei ricavi da incentivo dell'energia condivisa (definito dalla normativa vigente) e la ripartizione degli stessi tra gli utenti della CER secondo diverse ipotesi di suddivisione. Inoltre, con il foglio di calcolo è possibile valutare quale sia la dimensione ottimale della comunità energetica, ovvero il numero di utenti consumatori in grado di massimizzare la condivisione dell'energia prodotta.

ii) Il secondo strumento implementato consiste in uno script di Python che implementa alcuni algoritmi più complessi per la suddivisione dei ricavi ottenuti dalla valorizzazione dell'energia condivisa. Grazie alla facilitazione della programmazione in Python sono stati implementati nuovi modelli per simulare in condizioni dinamiche gli scenari di gestione di una comunità energetica basata su profili orari annuali del carico elettrico e di produzione degli utenti e dei prosumer della comunità energetica, consentendo di individuare quale metodo di ripartizione dei ricavi sia quella più ottimale per la Comunità Energetica simulata.

- Il foglio di calcolo e i modelli sviluppati in Python nella presente linea di attività sono stati applicati ad una Comunità Energetica del nord Italia in fase di progettazione costituita da due prosumer (due aziende con impianti fotovoltaici in progettazione di potenza complessiva pari a Circa 240kWp) e da utenti residenziali con proprio POD all'interno dell'aria sottesa alla stessa cabina primaria del prosumer. Parte degli utenti della CER sono gli stessi dipendenti della azienda. Con il foglio di calcolo è stata individuata la configurazione ottimale del caso studio in termini di numero di prosumer e consumatori corrispondente al più elevato indice di energia condivisa. Lo stesso caso studio è stato simulato in ambiente Python applicando cinque nuove

metodologie di ripartizione dei ricavi ai singoli utenti della CER valutando le differenze in termini di benefici per i prosumer e per i consumatori.

- Durante la linea di attività è stata prodotta una documentazione (slide) per attività di divulgazione sui primi risultati dello studio e sui vantaggi ottenibili dalla partecipazione alla Comunità Energetica Rinnovabile, L'attività di divulgazione è stata condotta attraverso la partecipazioni a: i) diversi seminari e workshop sul tema CER organizzati da: ENEA, pubbliche amministrazioni territoriali,, associazioni di categoria (Confcommercio, Federconsumatori), Master, ii) incontri con operatori (aziende, imprese) e comitati di cittadini interessati ad avviare una CER.

3 Prodotti attesi

- Report con descrizione dettagliata delle attività svolte e dei risultati raggiunti.
- Foglio di calcolo e script per simulare i diversi metodi di ripartizione tra i membri di una comunità energetica.

4 Prodotti sviluppati

- Report tecnico di dettaglio, contenente la descrizione delle attività condotte e dei risultati ottenuti, in aderenza agli obiettivi dichiarati, allegato al presente documento. (nome file: "ENEA22_24-PR 1.5_LA4.8_086 _ALLEGATO" *inserito come allegato aggiuntivo*)..
- Foglio di calcolo e script per simulare i diversi metodi di ripartizione tra i membri di una comunità energetica*.

**Nota: nella "TABELLA RIASSUNTIVA PRODOTTI DELLA RICERCA ED ELEMENTI DI VERIFICA DEL PROGETTO" il foglio di calcolo è associato erroneamente come deliverable alla LA 4.9*

Il foglio di calcolo e lo script saranno resi liberamente disponibili a tutti gli utenti che ne faranno richiesta ai contatti indicati nel presente rapporto tecnico e nel rapporto tecnico di dettaglio allegato.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Nella linea di attività 4.8 non sono presenti scostamenti tecnici.

Scostamenti costi di esercizio: 4.685,73 €

I costi di esercizio presentano uno scostamento rispetto al preventivo in quanto è stato sostenuto un costo inferiore per le spese di viaggio per missione e non sono stati sostenuti i costi di iscrizione a convegni scientifici rispetto alla previsione. Inoltre, per condurre l'analisi del caso studio di Comunità Energetica Rinnovabile (CER), non è stato necessario sostenere i costi per l'installazione degli strumenti di monitoraggio elettrico presso gli utenti in quanto è stato possibile ottenere i profili di carico orari delle utenze tipo che costituiscono la CER analizzata tramite l'applicativo web del distributore elettrico.

Anche se nella presente LA non sono stati sostenuti i costi previsti per la partecipazione a convegni scientifici, è stata comunque avviata la preparazione di una memoria sulle attività della 4.8 che verrà inviata nelle successive settimane ad una rivista con processo di peer review (Development of dynamic shering keys: algorithm supporting management of Renewable Energy Community and Collective Self Consumption, si prevede di sottometterlo alla rivista Energy and Buildings).

6 Sintesi delle attività svolte

Nell'ambito della LA 4.8 sono stati analizzati diversi scenari per la gestione di Comunità Energetiche Rinnovabili al fine di fornire modelli standardizzati per la suddivisione ottimale tra i membri dei ricavi ottenuti dall'energia condivisa, autoconsumata o immessa in rete. Nella prima dello studio è stata effettuata una analisi dei regolamenti di comunità energetiche esistenti al fine di identificare i punti di forza e di debolezza dei che ne caratterizzano la gestione. Nella seconda fase sono stati sviluppati gli algoritmi per la ripartizione ottimale dell'energia condivisa (e quindi dei ricavi), utilizzando sia un foglio di calcolo dedicato sia diversi script di Python sviluppati ad-hoc. I suddetti strumenti sono stati applicati a un caso studio di comunità energetica in fase di progettazione; per l'analisi energetica ed economica sono stati utilizzati profili di carico reale di utenti tipo ottenuti dal portale del distributore elettrico locale.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 Introduzione

Il lavoro di ricerca condotto nell'ambito della LA 4.8 si è focalizzato nella prima fase su un'analisi di alcune CER già avviate e del loro regolamento, con lo scopo di individuare punti di forza e di potenziale debolezza degli statuti che le definiscono.

Nella seconda fase del lavoro di ricerca è stato sviluppato un foglio di calcolo in grado di simulare diversi scenari di ripartizione dell'investimento iniziale e dei ricavi complessivi tra i membri della CER. Tale foglio di calcolo è stato quindi utilizzato per analizzare un caso studio costituito da una CER reale in fase di progettazione. Per questa comunità è stata individuata la metodologia ottimale di ripartizione degli incentivi al fine di ottenere i massimi benefici per i prosumer e per gli utenti della configurazione.

Oltre al foglio di calcolo è stato sviluppato anche uno script in linguaggio Python per uno studio più approfondito delle singole metodologie di suddivisione degli incentivi. Anche tale script è stato applicato al caso studio precedente al fine di analizzare le prestazioni di diverse logiche di ripartizione dell'incentivo sull'energia condivisa.

7.2 Analisi dei regolamenti adottati da alcune comunità energetiche già avviate.

È stata condotta un'analisi delle comunità energetiche già costituite di cui si è riuscito a reperire lo statuto o il regolamento online o che si è riusciti a contattare direttamente. In particolare ci si è concentrati su alcuni aspetti ritenuti significativi: forma giuridica, numero e tipologia dei soci fondatori o dei soci iniziali, eventuale quota associativa di ingresso, penale di uscita e vincoli di permanenza temporali, eventuale quota destinata al sociale e relativi obiettivi; criteri scelti per la suddivisione delle entrate.

Tra le principale criticità emerse dall'analisi si evidenzia la difficoltà di scelta della forma giuridica con cui istituire la comunità, soprattutto in funzione della tipologia di soggetti partecipanti (es. vincoli per comuni ed enti pubblici nel partecipare a forme societarie) e della diversa fiscalità che ciascuna forma prevede.

Inoltre, in tutte le comunità energetiche di cui è stato possibile analizzare gli statuti è prevista una quota annuale associativa, rivalutabile ogni anno da parte del Consiglio direttivo.

A valle dei calcoli di ripartizione dei benefici fatti nell'ambito di questa linea di attività, risulta evidente che al singolo membro consumatore residenziale, qualunque sia la modalità di ripartizione degli incentivi, viene corrisposta una quota molto modesta della tariffa premio. Una somma fissa da pagare come quota associativa annua, indipendentemente da quali siano poi i ricavi, può fortemente disincentivare l'utente, non sempre disposto a far parte di nuove forme di associazioni o simili; potrebbe essere più opportuno trattenere tale quota di iscrizione direttamente dalla tariffa premio e suddividere la restante parte dei ricavi secondo i criteri stabiliti.

7.3 Analisi software commerciali disponibili per l'analisi tecnico economica delle comunità energetiche

L'utilizzo di apposite piattaforme software è di fondamentale importanza per la progettazione, la gestione e il monitoraggio delle nuove comunità energetiche. Un'analisi dei principali software sul mercato ha rivelato che, la maggior parte di queste piattaforme offre funzionalità specifiche per l'amministrazione e l'ottimizzazione delle risorse energetiche interne al fine di offrire un'efficiente gestione della comunità. In particolare, questi strumenti consentono di creare, configurare e monitorare comunità energetiche reali oppure di effettuare studi preliminari delle loro caratteristiche e dei costi. I moduli integrati a queste piattaforme consentono agli amministratori di visualizzare e gestire le comunità, tenere traccia dei risultati

energetici ed economici, apportare modifiche o aggiornamenti e monitorare i flussi energetici della comunità in tempo reale.

7.4 Elaborazione dei profili di carico elettrico reali di edifici caratterizzati da diverse destinazioni d'uso per caso studio

Sono stati reperiti i profili orari reali di consumo residenziale quartorario per 2 diverse tipologie di abitazioni (appartamento e case singole) e per ciascuna tipologia due diversi nuclei familiari (con e senza figli). Il periodo analizzato è pari a dodici mesi. I dati di consumo reali sono stati integrati con i profili di carico medi orari mensili (diversificati tra giorno ferialo, sabato e domenica) relativi al 2021 pubblicati da ARERA, specifici per ciascuna provincia italiana, suddivisi per fasce di potenza impegnata, per tipologia di contratto (mercato libero o tutelato) e tra residenti e non residenti.

7.5 Sviluppo di un foglio di calcolo per analisi tecnico economica comunità energetiche

Tramite lo sviluppo di uno specifico foglio di calcolo è stata impostata una possibile metodologia di suddivisione degli introiti della CER ipotizzando che:

-il ricavo del RID dalla produzione immessa in rete di ciascun impianto venga ripartito in proporzione alla quota di proprietà dell'impianto stesso.

-dalla tariffa premio e rimborso ARERA, venga lasciata una quota annuale per le spese fisse di gestione della CER, una quota fissa destinata a progetti di sostenibilità o sociali e una quota ai membri con due possibili modalità, eventualmente combinate tra loro: i) suddivisione tra consumatori e produttori in proporzione alla propria quota di consumo/produzione che ha generato l'energia condivisa incentivata ii) suddivisione in parti uguali tra i membri, siano essi consumatori, produttori o prosumer indipendentemente dalla quota di produzione o consumo. Una vista schematica di quanto descritto è riportata nella figura sottostante.



Figura 1 Schematizzazione dei criteri di ripartizione della tariffa premio e del RID

In un specifico file excel vengono caricati i profili di consumi e di produzione orari di ciascun mese per ogni consumatore e produttore della CER; dai dati del singolo utente si otengono il consumo totale orario e la produzione totale oraria con i quali viene calcolata per ciascuna ora dell'anno l'energia condivisa come minimo tra consumo totale e produzione totale.

Per poter procedere alla ripartizione della tariffa premio (Figura 2) per ciascun produttore e per ciascun consumatore è stato creato un foglio dedicato in cui, ora per ora, viene valutato il contributo del consumo e/o della produzione che ha partecipato a generare energia condivisa rispetto al consumo e alla produzione totali nella stessa ora.

	Ricavo Tariffa premio €	Quota fissa CER €	quota consumatori %	Quota produttori %	Quota CER %
4		consumatore €	produttore €	Membro CER €	Ricavo totale €
5	Membro1				
5	Membro2				
7	Membro3				
8	Membro4				
9	Membro5				
0	Membro6				
1	Membro7				
2	Membro8				
3	Membro9				

Figura 2: Foglio di calcolo dedicato alla suddivisione della tariffa premio mensile

Inoltre in un ulteriore foglio viene calcolato, per ciascuna ora in cui l'energia prodotta viene condivisa dagli utenti, la somma del surplus di carico rispetto alla potenza generata e la somma del surplus di energia prodotta rispetto al consumo degli utenti; il rapporto tra sovrapproduzione e sovraconsumo annuale è un indicatore per il corretto dimensionamento della CER aggiuntivo rispetto al semplice rapporto energia condivisa/produzione.

Nel foglio "dati economici", riportato in Figura 3, si imposta il valore della tariffa premio, i prezzi medi zonal mensili per il RID, e il costo medio annuale €/kWh in bolletta; Nello stesso foglio si riportano per ciascun membro della CER i dati complessivi di produzione in kWh, consumo in kWh e importo del RID in € per avere un quadro sintetico complessivo.

	A	B	C	D	E
1	Tariffa premio €/MWh	119			
3	Prezzo medio zonale	€/kWh	Produzione tot kWh	RID €	consumo tot kWh
4	gen				
5	feb				
6	mar				
7	apr				
8	mag				
9	giu				
10	lug				
11	ago				
12	set				
13	ott				
14	nov				
15	dic				
16	tot				
17	Costo €/kWh in bolletta				

Figura 3 Foglio "dati economici" nel riepilogo annuale.

Nel foglio "riepilogo annuale" riportato in Figura 4 è possibile impostare:

- La percentuale della tariffa premio che si vuole destinare agli interventi sociali o di sostenibilità;
- La quota necessaria per la gestione della CER; in funzione dei singoli casi può comprendere la sola gestione piuttosto che la manutenzione degli impianti di proprietà della CER;
- La quota da destinare ad interventi sociali (questa viene esclusa dalla ripartizione della tariffa premio tra i membri della CER);
- Le percentuali della tariffa incentivante da suddividere ai consumatori (in funzione dei consumi), ai produttori (in funzione dell'energia prodotta) o equamente tra tutti i membri della CER indipendentemente dal contributo all'energia condivisa;
- Il numero di partecipanti alla CER per tipologia; questo dato permettere un rapido dimensionamento della CER nel caso in cui si possa utilizzare profili di carico orari standard per tipologie di utente.

	A	B	C	D	E			
1	Energia condivisa incentivata kWh			Ripartizione variabile tariffa incentivante				
2	Produzione immessa tot kWh			Quota consumatori %				
3	condivisione/produzione			Quota produttori %				
4	Tariffa premio+Arera €			Quota CER %				
5	% tariffa premio per interventi sociali							
6	Quota tariffa premio per interventi sociali €							
7	Quota gestione CER €		Somma quote fisse €	-				
8	Quota fissa annuale €							
9								
10	Membri CER	Numero partecipanti	Quota consumatori €	Quota produttori €	Quota CER €	Ricavo RID €	Risparmio da autoconsumo €	Totale Ricavo/Risparmio €
11	Membro1							
12	Membro2							
13	Membro3							
14	Membro4							
15	Membro5							
16	Membro6							
17	Membro7							
18	Membro8							
19	Membro9							
20	Totale							
21								

Figura 4: Foglio "riepilogo annuale"

7.6 Implementazione di algoritmi in Python per valutare le metodologie ottimali per la ripartizione dei ricavi tra gli utenti di una comunità energetica

Lo scopo di questa parte dello studio è quello di individuare alcune metodologie di ripartizione che siano in grado di assegnare differenti quote di energia condivisa su base oraria nel momento in cui la somma dei prelievi è maggiore della quantità di energia immessa in rete attraverso differenti logiche di controllo. Nel presente lavoro di ricerca sono state sviluppate 5 metodologie di ripartizione dell'energia condivisa fra i membri di una CER. Ciascuna metodologia è stata implementata su base oraria mediante script di Python sviluppati *ad-hoc*. Le metodologie proposte sono state sinteticamente denominate M1, M2, M3, M4 e M5. La metodologia M1 è la più semplice ed immediata e propone di attribuire a ciascun membro della CER una quota di energia condivisa proporzionale ai suoi consumi. La metodologia M2 è stata implementata sulla base del lavoro di Minuto et al¹ e garantisce che ad ogni utente venga assegnata una quota di energia condivisa pari almeno al consumo orario dell'utente con la minor richiesta energetica. A differenza delle precedenti metodologie, la metodologia M3 si propone di tenere in considerazione la correlazione esistente fra l'energia consumata dal membro *i-esimo* e l'energia immessa in rete dagli impianti di produzione attraverso il coefficiente di correlazione di Pearson. La logica di funzionamento della metodologia M4 invece è nuovamente basata sui consumi e penalizza quegli utenti che in una determinata ora consumano di più rispetto all'energia condivisa virtualmente disponibile. Infine, il metodo M5 è una combinazione pesata dei metodi M3 e M4.

I metodi precedentemente descritti sono stati applicati ad un caso studio costituito da una comunità energetica reale in fase di progettazione. L'analisi è stata condotta analizzando i flussi energetici ogni ora per la durata complessiva di 1 anno. La produzione di energia e quindi l'energia immessa è stata, al momento, simulata, poiché non erano disponibili misurazioni da impianti esistenti.

7.7 Applicazione del foglio di calcolo ad un caso studio

Il foglio di calcolo implementato è stato utilizzato per analizzare un caso studio costituito da una comunità energetica in fase di progettazione nel nord Italia, costituita da due prosumer (aziende che intendono dotarsi di impianti fotovoltaici di potenza complessiva pari a circa 240kWp e consumi di circa 425.000kWh) e da utenti con proprio POD all'interno dell'aria sottesa alla stessa cabina primaria del prosumer. Parte degli utenti della CER sono gli stessi dipendenti della azienda.

¹ Minuto, F.D.; Lanzini, A. Energy-Sharing Mechanisms for Energy Community Members under Different Asset Ownership Schemes and User Demand Profiles. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2022**, *168*, doi:10.1016/j.rser.2022.112859.

In particolare, con il foglio di calcolo è stata individuata la configurazione ottimale della CER (Figura 5), corrispondente ad un valore dell'indicatore di energia condivisa pari all'89% dell'energia prodotta dagli impianti e un indice di sovrapproduzione/sovraconsumo pari al 2%. La configurazione ottimale individuata corrisponde a un numero di prosumer pari a 2 e ad un numero di utenti pari a 140, considerando 20 utenti per ciascuna delle 7 tipologie di consumo residenziale considerate nel caso studio (4 reali, con consumi annui rispettivamente di 1.575kWh, 2246 kWh, 3087kWh e 3548 kWh, e 3 consumi medi orari della provincia di Cremona pubblicati da ARERA).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Energia condivisa incentivata kWh	79.925,10						
2	Produzione immessa tot kWh	89.882,23						
3	condivisione/produzione	88,9%						
4	Tariffa premio ARERA €	9.511,09						
5	% tariffa premio per interventi sociali	10%						
6	Quota tariffa premio per interventi sociali €	951,11						
7	Quota gestione CER €	400,00	Somma quote fisse €	1.351,11			rapporto nelle ore condivisione/somma sovrapproduzione/somma sovrconsumo	0,022404517
8	Quota fissa annuale €	1.400,00						

Membri CER	Numero partecipanti	Consumo annuale in bolletta	Costo bolletta €
PMI1	1	4.560,11	1.368,03
PMI2	1	419.893,76	125.968,13
RES1	20	1.574,54	472,36
RES2	20	3.547,50	1.064,25
RES3	20	3.087,17	926,15
RES4	20	2.245,84	673,75
RES5	20	9.663,80	2.899,14
RES6	20	4.356,21	1.306,86
RES7	20	3.325,41	997,62
Totale	142		

Figura 5: Caso studio reale: dati del foglio di riepilogo e consumo annuale e costo in bolletta per ciascuna tipologia di utente.

Dalla simulazione dello scenario ottimale, ipotizzando un costo annuale di gestione CER di 400€ e ipotizzando di voler dedicare il 10% della tariffa premio ad interventi sociali, si evince un ricavo annuo, dato dalla somma del ritiro dedicato e incentivo energia condivisa, tra i 14.158€ e 15.770€ per il primo prosumer e un ricavo tra 7.591€ e 9.633€ per il secondo prosumer; il valore effettivo del ricavo dipende dal criterio di suddivisione della tariffa premio scelto. Per quanto riguarda l'utente residenziale, è stato invece ottenuto un ricavo annuo che varia tra i 16€ e i 57€ per l'utente con consumi minori e tra i 51€ e i 94€ per l'utente con i consumi maggiori. Tale variabilità dipende dai criteri di suddivisione della tariffa premio adottati come indicato nelle tre ipotesi riportate nelle schede di sintesi del foglio di calcolo di Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Ripartizione variabile tariffa incentivante	
Quota consumatori %	1
Quota produttori %	0
Quota CER %	0

Membri CER	Quota consumatori €	Quota produttori €	Quota CER €	Totale Ricavo €	% ricavo tariffa premio/costo bolletta
PMI1	5,80	0	0	5,80	0,4%
PMI2	2.099,44	0	0	2.099,44	1,7%
RES1	16,13	0	0	16,13	3,4%
RES2	47,23	0	0	47,23	4,4%
RES3	32,79	0	0	32,79	3,5%
RES4	26,02	0	0	26,02	3,9%
RES5	93,64	0	0	93,64	3,2%
RES6	46,18	0	0	46,18	3,5%
RES7	38,30	0	0	38,30	3,8%

Figura 6: Ripartizione della tariffa premio esclusivamente in proporzione ai consumi di ciascun membro.

Ripartizione variabile tariffa incentivante					
Quota consumatori %	0				
Quota produttori %	0				
Quota CER %	1				

Membri CER	Quota consumatori €	Quota produttori €	Quota CER €	Totale Ricavo €	% ricavo tariffa premio/costo bolletta
PMI1	0	0	57,12033393	57,12	4,2%
PMI2	0	0	57,12033393	57,12	0,0%
RES1	0	0	57,12033393	57,12	12,1%
RES2	0	0	57,12033393	57,12	5,4%
RES3	0	0	57,12033393	57,12	6,2%
RES4	0	0	57,12033393	57,12	8,5%
RES5	0	0	57,12033393	57,12	2,0%
RES6	0	0	57,12033393	57,12	4,4%
RES7	0	0	57,12033393	57,12	5,7%

Figura 7: Ripartizione della tariffa premio in quote uguali tra tutti i membri della CER.

Ripartizione variabile tariffa incentivante					
Quota consumatori %	0,3				
Quota produttori %	0,3				
Quota CER %	0,4				

Membri CER	Quota consumatori €	Quota produttori €	Quota CER €	Totale ricavo €	% ricavo tariffa premio/costo bolletta
PMI1	1,74	1.593,08	22,85	1.617,67	118,2%
PMI2	629,89	840,24	22,85	1.492,98	1,2%
RES1	4,84	-	22,85	27,69	5,9%
RES2	14,18	-	22,85	37,02	3,5%
RES3	9,85	-	22,85	32,69	3,5%
RES4	7,82	-	22,85	30,66	4,6%
RES5	28,12	-	22,85	50,97	1,8%
RES6	13,78	-	22,85	36,63	2,8%
RES7	11,50	-	22,85	34,35	3,4%

Figura 8: Ripartizione tra i membri assegnando il 30% ai consumatori, il 30% ai produttori e il restante 40% tra i membri

7.8 Applicazione ad un caso studio di CER degli algoritmi di suddivisione dei ricavi implementati in Python

I 5 metodi precedentemente descritti sono stati applicati al caso studio oggetto del presente lavoro di ricerca. In particolare, nella figura riportata di seguito viene mostrata la quota di energia condivisa assegnata da ognuno dei metodi di ripartizione, unitamente con un'altra quantità denominata "Cond_max". Tale quantità costituisce, per ciascun membro, la massima quota di energia condivisa che quel membro sarebbe stato in grado di condividere con la CER in assenza degli altri membri. In particolare, la Figura 9 mostra che i metodi M2, M3, M4 e M5 tendono a distribuire l'energia in maniera approssimativamente uniforme tra la maggior parte dei membri, ad eccezione di u2, u6 e u7, che presentano una distribuzione maggiormente differenziata tra le varie metodologie. In particolare, si nota come u7 risulta essere maggiormente penalizzato da M3 rispetto agli altri metodi. La ragione di questo risiede nel fatto che tale utente è maggiormente scorrelato (in termini di consumi rispetto all'immissione di energia) rispetto agli altri.

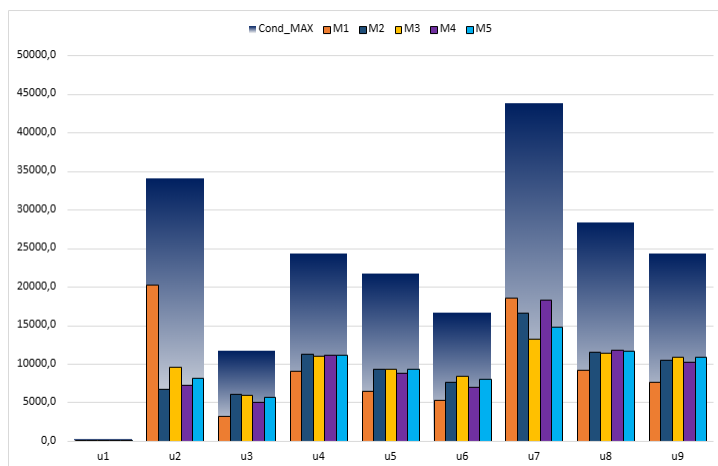


Figura 9: Analisi comparativa delle metodologie utilizzate per la ripartizione dell'energia condivisa rispetto alla massima energia condivisa

Analogamente, è interessante osservare come M1 assegni la quota di energia condivisa maggiore a u2, il membro con i maggiori consumi, ma, il suo effettivo contributo, ovvero la massima energia che condividerebbe è inferiore a quella di u7, che però si vede attribuita una quota di energia inferiore da M1. Quest'ultima considerazione suggerisce che nonostante i consumi elevati, u2 talvolta non consuma quando l'energia viene immessa nella rete o, se lo fa, supera spesso la quota di energia messa a disposizione della comunità, portando M1 a sovrastimare la sua quota di energia condivisa.

Al contrario, u3 e u6 risultano essere i membri maggiormente penalizzati dal metodo M1, in quanto presentano i consumi più bassi tra tutti i partecipanti e fornirebbero, secondo M1, il minor contributo effettivo alla CER. Nel caso di u3, ad eccezione di M1, tutti i metodi gli attribuiscono valori di energia condivisa simili tra loro, con M4 che presenta leggere differenze probabilmente dovute ai consumi bassi e spesso molto inferiori all'energia immessa nell'ora generica.

In sintesi, è importante sottolineare che, in una logica di efficientamento energetico e di riduzione dei consumi, appare corretto premiare con quote di energia condivisa maggiori gli utenti più virtuosi, ovvero coloro che consumano nei momenti in cui c'è maggiore disponibilità di energia immessa. Allo stesso tempo, risulta importante disincentivare un aumento eccessivo dei consumi dei membri. Al fine di raggiungere tali obiettivi, appare evidente come al metodo M1 possano essere preferiti invece metodi che tengono conto degli aspetti sopra citati, in particolare M3, M4 e M5. Il metodo M3 infatti tiene conto della correlazione temporale fra immissione di energia in rete e consumo, ovvero prelievo, dalla stessa. Tale metodo quindi mira a quantificare quanto ogni utente per la generica ora dell'anno ha consumato "in fase" con l'immissione. Il metodo M4 invece mira proprio a disincentivare consumi di energia eccessivi, ovvero superiori (per la generica ora) all'energia condivisa virtualmente a disposizione della comunità. La combinazione di M3 ed M4 costituisce il metodo M5, il quale si propone quindi di tenere conto sia degli aspetti di correlazione temporale, sia dei consumi. L'utilizzo di questo metodo risulta essere promettente al fine non solo di premiare gli utenti virtuosi ma anche di incentivare quelli meno virtuosi a modificare, se possibile, i loro comportamenti. Sarà comunque in ogni caso la nascente comunità energetica che deciderà quale logica di ripartizione adottare al momento della sua costituzione.

Accesso al foglio di calcolo e allo script: Il foglio di calcolo e gli script sviluppati in Python saranno resi disponibili inviando una richiesta ai seguenti indirizzi email: biagio.dipietra@enea.it, mattia.ricci@enea.it.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Per la LA 4.8 non sono state utilizzate consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

E' stata avviata la preparazione di un paper con la descrizione delle attività svolte nella LA 4.8 dal titolo: Development of dynamic sharing keys: algorithms supporting management of Renewable Energy Community and Collective Self Consumption; si prevede di sottomettere nelle prossime settimane il paper in preparazione ad una rivista con processo di peer review (Energy and Buildings)

10 Eventi di disseminazione

Lista degli eventi di disseminazione eventualmente scaturiti dall'attività svolta

- 6 marzo 2023 workshop Assosistema Confindustria Milano “EFFICIENZA ENERGETICA E COMUNITA' ENERGETICHE RINNOVABILI. Come creare valore cavalcando la Transizione energetica”, intervento dal titolo “La Comunità Energetiche”
- 22 marzo 2023 Key Energy di Rimini convegno “Le nuove forme di Autoconsumo Diffuso e le Comunità Energetiche. Il ruolo guida delle ESCo nella diffusione della generazione distribuita”. Partecipazione al dibattito in tavola rotonda.
- 28 marzo 2023 webinar confartigianato veneto “Dall'autoconsumo alle CER: configurazioni da costruire”, intervento dal titolo “Comunità Energetiche Rinnovabili”
- 30 maggio 2023: incontro on line con imprenditori della provincia di cremona per valutare, con il foglio di calcolo sviluppato nella LA 4.8, i potenziali benefici di una comunità energetica costituita da piccole e medie aziende e i dipendenti delle stesse
- 8 giugno 2023 Pordenone, intervento al Seminario “L'EDILIZIA EFFICIENTE E SOSTENIBILE” dal titolo “Comunità energetiche rinnovabili: normativa e modelli applicativi” – organizzato da Federarchitetti con il patrocinio di ENEA
- - 17 Marzo 2023, Workshop Provincia di Belluno; Intervento ENEA: Soluzioni ottimali per le configurazioni di AUC, presentazione di un caso studio sperimentale
- 19 Maggio 2023, Milano - Presentazione Energy Communities in Italy principle and case studies nell'ambito del Workshop Energy System for Built Environment - Polo Territoriale di Lecco del Politecnico di Milano

- 16 novembre 2022, Genova, partecipazione a Workshop: Efficienza energetica nella PA patrocinato dal Comune di Genova - Titolo intervento: Tecnologie per l'efficienza energetica sugli impianti comunità energetiche e autoconsumo collettivo. Genova - organizzato da ENEA in collaborazione con Federarchitetti
- 7 Ottobre 2022, Rocca Priora, Partecipazione a incontro organizzato dal Comitato di quartiere "Piani Di Caiano" (Comune di Rocca Priora -Roma). Finalizzato alla costituzione dell'Associazione "CER Caiano Solare – APS", Titolo presentazione ENEA: La creazione delle comunità energetiche e l'autoconsumo collettivo - *Sala del Consiglio Comunale di Rocca Priora - (intervento da remoto)*
- 22 Febbraio 2022, On line. Partecipazione come relatore a Master Safe, titolo intervento: Direttiva RED II -Piano "Fitfor 55" Comunità energetiche rinnovabili,
- 23 marzo 2023, Verona. Partecipazione come relatore all'evento organizzato dalla regione Veneto sulle Comunità Energetiche Rinnovabili e Gruppi di Autoconsumatori Collettivi presso il Palazzo della Gran Guardia di Verona. Titolo presentazione: "Soluzioni ottimali per le configurazioni di Autoconsumo Collettivo",
- 19 Aprile 2022, Partecipazione come relatore a Webinar organizzato da Viessmann, Titolo intervento: Comunità energetiche rinnovabili, Attività ENEA.
- 27 Aprile 2023, Partecipazione come relatore a Webinar organizzato da Confcommercio, Titolo intervento: Soluzioni ottimali per le configurazioni di autoconsumo collettivo Presentazione di un caso studio sperimentale
- 21 Aprile 2023, Genova, Partecipazione come relatore al Convegno sul tema CER organizzato da Federarchitetti di Genova, Titolo intervento: Soluzioni ottimali per le configurazioni di autoconsumo collettivo. Presentazione di un caso studio sperimentale.
- 22 Aprile 2023, Palermo. Partecipazione alla Tavola Rotonda "Comunità Energetiche Rinnovabili in Sicilia" nell'ambito del VII Congresso Regionale di Federconsumatori Sicilia, titolo intervento: Soluzioni ottimali per le configurazioni di autoconsumo collettivo - Presentazione di un caso studio sperimentale,
- 16 maggio 2023, Diretta streaming. Partecipazione come relatore al Seminario organizzato dalla Provincia di Macerata, Titolo intervento: Primi elementi di natura tecnica per la gestione delle Comunità Energetiche e delle Configurazioni di Autoconsumo Collettivo Presentazione di un caso studio sperimentale -
- 31 Marzo 2023, Vicenza. Partecipazione come relatore al Seminario sulle CER organizzato dalla Provincia di Vicenza, titolo intervento: Soluzioni ottimali per le configurazioni di autoconsumo collettivo, Presentazione di un caso studio sperimentale
- 14 Giugno 2023. Cosenza. Partecipazione come relatore al *Forum dell'Abitare* organizzato da ENEA, titolo intervento: Comunità Energetiche e Configurazioni di Autoconsumo Collettivo - Presentazione di un caso studio sperimentale,

- 29 giugno 2023, On line. Partecipazione come relatore al Webinar Isnova: OBIETTIVO EMISSIONI ZERO: LE COMUNITÀ ENERGETICHE IN PRATICA, Comunità Energetiche e Configurazioni di Autoconsumo Collettivo - Presentazione di un caso studio sperimentale
- 11 novembre 2022, Rimini. Partecipazione come relatore a Convegno Assoesco, “Energy Service Companies e Transizione Ecologica, Il ruolo guida delle ESCo per il successo della generazione distribuita e delle comunità energetiche”