

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA ELETTRICA

CORSO DI LAUREA in

INGEGNERIA ENERGETICA MAGISTRALE

TESI DI LAUREA

in

TECNOLOGIE ELETTRICHE INNOVATIVE M

COMUNITÀ ENERGETICA: CARATTERISTICHE

E ANALISI DI UN CASO REALE

CANDIDATO

Davide Cornacchione

RELATORE

Prof. Ing. Davide Fabiani

CORRELATORI

Ing. Alessandro Scopelliti

Ing. Giacomo Selleri

Anno Accademico 2020/2021

Sessione II

Sommario

Capitolo 1: La comunità energetica.....	3
1.1: Evoluzione, attori e obiettivi di una comunità energetica	3
1.2: I vantaggi e i benefici di una comunità energetica.....	10
Capitolo 2: Inquadramento normativo in Italia e in Europa	13
2.1 La “Renewable Energy Directive 2018/2001”	15
2.2: La “Directive on common rules for for the internal market for electricity 2019/944”	18
2.3 Percorso normativo in Italia	21
Capitolo 3: Stesura dell’algoritmo di ripartizione dell’incentivo.....	33
3.1: Calcolo dell’energia condivisa	33
3.2 Gli algoritmi di ripartizione dell’incentivo: il Modello Virtuale	37
3.3: Introduzione del Modello Reale	44
3.4: Il Modello Alternativo	46
Capitolo 4: Confronto tra i diversi algoritmi.....	49
4.1: Caso studio 1	49
4.2: Caso studio 2a	53
4.3: Caso studio 2b	57
4.4: Caso studio 3a	61
4.5: Caso studio 3b	63
4.6: Caso studio 4	66
Capitolo 5: Simulazione di una comunità energetica.....	72
5.1: Scelta degli utenti.....	72
5.2 Energia condivisa dalla comunità	83
5.3: Applicazione del Modello Reale	91
5.4: Applicazione del Modello Alternativo	98
Conclusioni e sviluppi futuri	102
Bibliografia.....	104

Capitolo 1: La comunità energetica

1.1: Evoluzione, attori e obiettivi di una comunità energetica

L'umanità ha da tempo riconosciuto che azioni coordinate portano a benefici più elevati. Storicamente, dinanzi alle sfide più ostiche, l'uomo ha sempre trovato il modo di superare gli ostacoli agendo collettivamente. Al giorno d'oggi ci troviamo dinanzi alla sfida del cambiamento climatico, e l'unico modo per risolvere il problema prima di raggiungere un punto di non ritorno è con uno sforzo collettivo, inteso sia come spinta verso una produzione di energia sempre più green da parte delle singole nazioni, sia a livello individuale [\[1\]](#). La transizione energetica, intesa come costruzione di un nuovo modello di organizzazione sociale basato su produzione e soprattutto consumo di energia proveniente da impianti rinnovabili, è necessaria e quanto mai urgente. Perché sia effettiva, devono essere innescati cambiamenti culturali, materiali ed immateriali, basati sul risparmio energetico e l'efficienza dei consumi. In un tale scenario, l'attivazione di nuove forme di azione collettiva e di economie collaborative (in cui produzione e consumo danno vita a nuovi sistemi di scambio), unite alle opportunità offerte dalle nuove tecnologie digitali, costituiscono i punti cardine della transizione energetica, oltre a rappresentare un'opportunità per la creazione di nuovi modelli di *green economy*.



Fig. 1.1: Gli elementi chiave per uno sviluppo sostenibile, [\[5\]](#)

In questo contesto, il settore energetico sta vivendo una profonda trasformazione. Negli ultimi venti anni c'è stata un'importante spinta nella produzione di energia da fonti green, grazie anche alle diverse iniziative europee e nazionali volte ad incentivare la diffusione sempre più capillare di impianti di produzione di energia da fonti pulite. Basti pensare ad esempio ai meccanismi di incentivazione denominati "Conto Energia" promossi dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) dal 2011, che favorirono un vero e proprio boom degli impianti fotovoltaici in Italia, come si vede dalla figura 1.2:

Evoluzione della potenza e della numerosità degli impianti fotovoltaici in Italia

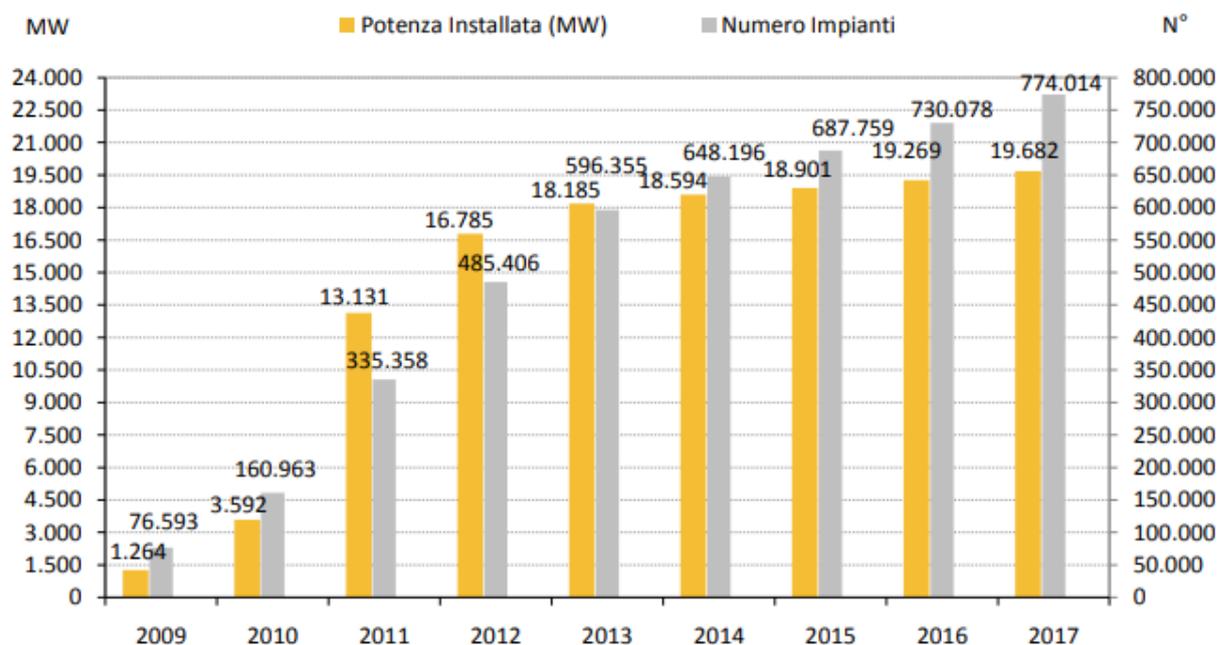


Fig. 1.2: Evoluzione della potenza e della numerosità degli impianti fotovoltaici [2]

Tramite il mezzo incentivante si accelerò quel processo di sensibilizzazione necessario affinché una fetta sempre maggiore di popolazione prestasse attenzione ai suoi consumi e al proprio impatto sull'ambiente. Si mise anche alla luce quelli che sono i vantaggi in termini economici dell'installazione di un impianto fotovoltaico per utenze sia domestiche che industriali. Proprio misure incentivanti come questa in tutto il mondo sono state il motore della trasformazione a cui è stato sottoposto, e il processo è ancora in atto, il settore energetico. Si sta progressivamente passando da un sistema rigido e centralizzato, a un sistema flessibile e decentralizzato, grazie alla sempre più crescente diffusione di piccoli

impianti di produzione diffusi sul territorio, in contrapposizione ai pochi grandi impianti che caratterizzano il vecchio sistema di produzione di energia elettrica. In questa transizione muta notevolmente il ruolo dell'utente finale, un tempo passivo, un semplice consumatore, ora sempre più incoraggiato ad avere un ruolo attivo, prestando sempre più attenzione ai propri consumi, riducendo la domanda energetica, ma anche generando, accumulando e consumando energia a livello locale [3]. Con l'introduzione del mercato libero è nata anche l'opportunità per piccole o medie aziende, o gruppi di consumatori, di trasformarsi in *energy prosumers* locali, producendo energia da fonti rinnovabili da vendere agli utenti. Questo ha favorito negli anni il consolidamento di nuovi rapporti tra i diversi attori sociali: singole persone, piccole o medie imprese, enti pubblici, scuole, ecc., come tutti membri appartenenti alla stessa comunità locale, ed è proprio in questo contesto che stanno prendendo piede le comunità energetiche, offrendo forme innovative di prosumption.

Cos'è, e a quale fine nasce una comunità energetica?

Una comunità energetica è un concetto ampio che identifica una varietà di esperienze comprendenti comunità di interessi e comunità di luogo che condividono lo sviluppo di un progetto per la produzione di energia rinnovabile e i benefici economici e sociali che ne derivano. Con le dovute distinzioni e differenze tra loro, le comunità energetiche sono tutte accomunate da uno stesso obiettivo: fornire energia rinnovabile a prezzi accessibili ai propri membri, piuttosto che dare la priorità al profitto economico come una società energetica tradizionale. [5]

Può essere intesa come un modo di gestire le scelte energetiche locali tramite un modello basato sulla partecipazione aperta e volontaria dei suoi membri, autonomo, controllato da utenti ed azionisti situati in prossimità dei servizi energetici della comunità. Tale modello cerca di inserirsi all'interno di un processo di transizione energetica, oltre che sociale. Gli azionisti, o i membri, di una comunità energetica possono essere singole persone, autorità locali, PA, PMI e lavoratori del terzo settore. Essendo realtà decentralizzate basate sulla produzione d'energia elettrica da fonti rinnovabili, possono svolgere anche un ruolo di sensibilizzazione per gli utenti che ne fanno parte, cercando di cambiarne e migliorarne le abitudini di consumo, mettendo a loro disposizione la possibilità di una gestione ottimizzata dei flussi energetici e aumentando l'accettazione delle fonti di energia rinnovabile tra la

popolazione [4]. Ogni attore di una comunità energetica può sviluppare modelli di mercato volti a promuovere l'innovazione tecnologica, cercando di attrarre nuovi membri a partecipare alla comunità, come ad esempio l'auto-consumo collettivo, condivisione dell'energia o la creazione di smart grid. Ciò che caratterizza le comunità e le differenzia da altre tipologie di configurazioni è sono fondate sull'obiettivo dichiarato di portare benefici ambientali e sociali, oltre che economici agli utenti e alla località in cui la comunità sorge. Il profitto personale viene messo in secondo piano, poiché la creazione di una comunità si basa su altri obiettivi.

Dal punto di vista normativo, secondo la direttiva RED (Renewable Energy Directive), una comunità energetica è un'entità giuridica che rispetta i principi di governance, proprietà, partecipazione, e scopo primario, aspetti che verranno ora approfonditi uno per volta. Ovviamente in ogni nazione la comunità dovrà rispettare le caratteristiche imposte dalla normativa nazionale.

Per quanto riguarda la partecipazione, deve essere libera ed aperta a tutti i membri locali, basata su criteri oggettivi, trasparenti e non discriminatori, non escludendo nessuno dei possibili partecipanti sul territorio. Ogni membro è inoltre libero di lasciare la comunità liberamente, senza comportare ripercussioni per sé stesso o la comunità, che da questo punto di vista deve essere autonoma.

Lo scopo primario di una comunità deve essere quello di portare benefici ambientali, sociali ed economici, ma non finanziari per i membri che ne fanno parte. Ovviamente ciò non significa che non ci debba essere un ritorno dell'investimento per gli azionisti e i membri coinvolti, che al contrario è di fondamentale importanza per incentivare ad investire in tale configurazione. Ciò che si intende dire è che la comunità energetica nasce per portare innovazione tecnologica, ambientale e sociale nella realtà all'interno della quale si sviluppa.

I principi di governance e proprietà sanciscono che una comunità debba essere autonoma e democratica, ovvero che le decisioni siano prese in maniera completamente libera ed equamente condivise da tutti i membri, assicurando l'autonomia della comunità, evitando che scelte prese da singoli utenti vadano contro la volontà della stessa. Allo stesso tempo, da parte dei membri e degli azionisti che si trovano in prossimità degli impianti di produzione, ci deve essere un controllo e una gestione efficace degli stessi. Questi aspetti appena elencati

presentano delle possibili criticità. In particolare, la partecipazione democratica alla comunità fa in modo che le decisioni non vengano prese esclusivamente da tecnici ed esperti del settore, introducendo il rischio che non sempre possa essere presa la decisione migliore dal punto di vista dei benefici energetici. Proprio per questa ragione, particolare beneficio può apportare la partecipazione di aziende (a patto che siano piccole o medie aziende) che operano nel settore energetico, contribuendo con investimenti ed esperienza nel settore, fungendo da consulente per la comunità di cui fanno parte. Fondamentale è infatti anche l'aspetto di gestione e monitoraggio della realtà descritta, affinché siano raggiunti e mantenuti gli obiettivi preposti. La gestione di una comunità è sicuramente l'aspetto più critico. Certamente affinché una comunità funzioni bene, è fondamentale che a monte ci sia uno studio approfondito sulle esigenze dei diversi utenti che andranno poi a comporre la comunità. Tuttavia, la gestione dinamica dei flussi energetici, una volta che la comunità è stata realizzata, resta la parte più importante, in quanto la massimizzazione dell'energia condivisa (e quindi dell'incentivo maturato) dipende principalmente da quanto si riesce a ripartire in maniera efficace i consumi dei singoli utenti. Questo apre ad opportunità commerciali per le PMI che operano nel settore energetico, in grado di offrire un servizio avanzato di monitoraggio e gestione dell'energia, assicurando che la comunità lavori costantemente ad alte prestazioni. Questa è una ulteriore dimostrazione di quanto debba essere nell'interesse della comunità coinvolgere aziende di questo tipo.

Come accennato in precedenza, ad una comunità possono accedere diverse categorie di utenti. Si esamina ora il loro ruolo all'interno della comunità.

Una prima importante distinzione da fare è tra consumatori e produttori di energia. I primi sono beneficiari di un servizio erogato da altri attori, ad esempio l'energia prodotta dagli utenti che possiedono un impianto di produzione. Di fatto non posseggono un sistema di generazione o di accumulo, non hanno investito nella comunità, ma possono comunque giovare dei benefici della comunità. Il contributo di questi utenti alla comunità sta proprio nel consumare energia elettrica pulita prodotta da altri utenti. Infatti, lo scopo di una comunità non è solo quello di produrre energia da fonti rinnovabili, ma quello di incentivarne il consumo a livello locale, quindi di coprire quanto più possibile i consumi della comunità da energia rinnovabile, in modo da renderla il più possibile autonoma. Viene riconosciuto quindi un merito non solo a chi produce, ma anche a chi consuma in maniera

efficace. Quanto e come questo contribuisca effettivamente alla comunità energetica è un aspetto che sarà trattato in maniera più approfondita più avanti.

Per quanto riguarda i produttori, questi sono proprietari di infrastrutture correlate ai servizi energetici, come un impianto di generazione, un sistema di stoccaggio o anche un sistema di monitoraggio e gestione. Sono quindi utenti che hanno investito e che solitamente producono energia al fine di auto-consumarla. Partecipare ad una comunità energetica dà loro la possibilità di condividere con gli altri membri della comunità l'energia in eccesso. In questo caso i produttori assumono anche un ruolo di *Energy providers* per gli altri utenti. Questo ruolo può essere ricoperto da diversi attori e non necessariamente da aziende che operano nel settore energetico.

Si può individuare una terza categoria di attori, che possono far parte o meno della comunità, ovvero gli iniziatori [\[1\]](#). Costoro sono gli attori che promuovono e favoriscono la nascita di una comunità energetica e il suo continuo sviluppo, ampliamento e progresso. Hanno un ruolo cruciale, in quanto in assenza di questi la diffusione e la realizzazione di questi progetti sarebbe di gran lunga rallentata. Possono essere associazioni o enti che operano nel settore energetico, aziende della zona che decidono di investire nella nascita di una comunità energetica, o anche produttori e consumatori che fanno parte della stessa, facendosi promotori di iniziative per massimizzare l'efficientamento energetico e la copertura del fabbisogno locale con una notevole percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili. Anche gli enti territoriali possono ricoprire un ruolo chiave in questo senso, informando i cittadini e le imprese sul proprio territorio, o ad esempio segnalando aree in disuso e tetti disponibili per l'installazione di impianti fotovoltaici.

La configurazione appena descritta è ben raffigurata in figura 1.3, in cui si evidenzia chiaramente come un attore possa avere più ruoli all'interno di una comunità.

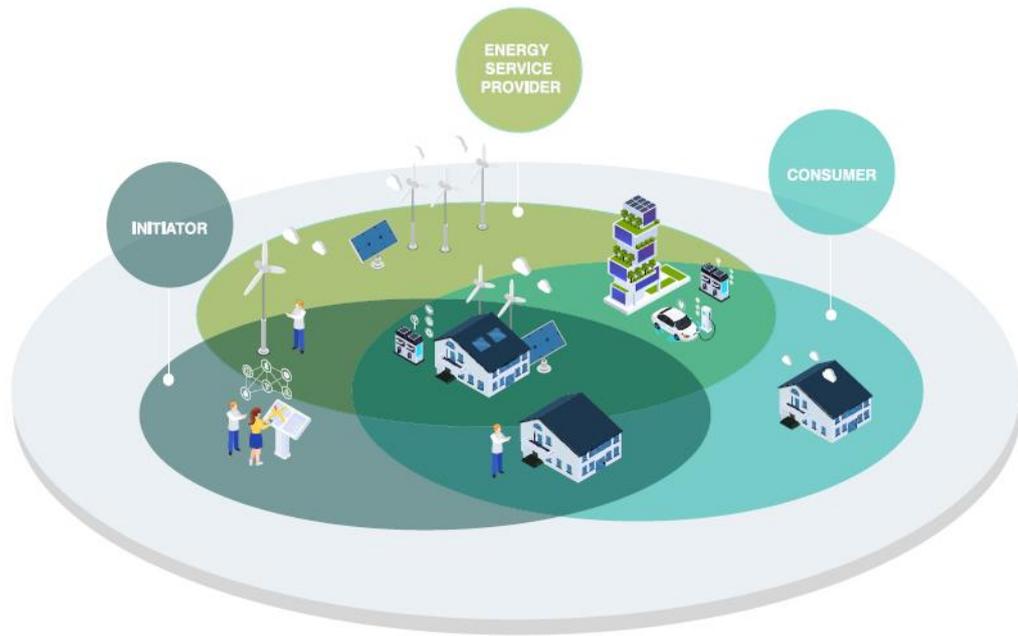


Fig. 1.3: Ruoli degli attori in una comunità energetica [\[1\]](#)

Per fare un esempio, in Italia il principale iniziatore ad oggi è il GSE che, in seguito al decreto Milleproroghe del febbraio 2020, ha predisposto un sistema di incentivazione che premia *“l’energia condivisa”* all’interno di una comunità energetica, ovvero energia prodotta da impianti di produzione da fonti rinnovabili immessa in rete, che poi viene riassorbita per soddisfare il fabbisogno della comunità. Questi aspetti verranno approfonditi nel dettaglio nei prossimi capitoli.

1.2: I vantaggi e i benefici di una comunità energetica

Si è accennato ai vantaggi e ai benefici di tipo economico, ambientale e sociale che una comunità si prefissa come obiettivo da raggiungere. Entriamo più nel merito, analizzando nel dettaglio ciò che una comunità energetica può offrire alla collettività locale dentro la quale si inserisce.

Partiamo dai vantaggi economici: per i prosumers della comunità si apre la possibilità di autoconsumare l'energia prodotta da un impianto fotovoltaico, accedendo così a diverse opportunità, come:

- Risparmio in bolletta (riducendosi i costi delle componenti variabili della bolletta: quota energia, oneri diretti, imposte e accise);
- Agevolazioni fiscali come il superammortamento per le imprese (pari al 130% dell'investimento) o detrazioni per i privati (per i privati la realizzazione di un impianto rientra negli interventi di ristrutturazione edilizia);
- Valorizzazione dell'energia prodotta. Produrre energia con un impianto fotovoltaico può costituire una fonte di guadagno grazie ai meccanismi incentivanti, come quello erogato da GSE per le comunità energetiche sull'energia condivisa. [\[4\]](#)

Ovviamente l'autoconsumo costituisce un vantaggio economico solo se l'impianto di produzione è dimensionato in maniera tale da coprire una buona fetta dei consumi dell'utente. Maggiore è questa percentuale, minore sarà il tempo di rientro dell'investimento. Vista la variabilità e la stagionalità della produzione fotovoltaica quasi mai è garantita la totale copertura dei consumi, di conseguenza si rende necessario prelevare energia dalla rete elettrica. Proprio per migliorare questi aspetti è stato introdotto il concetto dell'autoconsumo collettivo, che sostanzialmente è una modalità che consente alle comunità energetiche di mettere in comune i consumi e la produzione dei vari utenti, appiattendosi così le curve di carico della comunità, massimizzando i consumi di energia prodotta da fonte rinnovabile. Questo permette di minimizzare i costi di trasporto e gli oneri di sistema.

Per quanto riguarda i benefici sociali, la diffusione di comunità energetiche faciliterebbe la riduzione della povertà energetica, un problema che negli ultimi anni ha attirato l'attenzione

delle istituzioni in molti Paesi europei. Si tratta sostanzialmente di quella fetta di popolazione per la quale i servizi energetici costituiscono una distrazione importante del proprio reddito. Secondo i dati dell'Osservatorio della Commissione Europea, nel 2018 ben 80 milioni di persone in Europa non sono state in grado di avere accesso ai beni energetici minimi, di cui circa 4 milioni in Italia. La povertà energetica è indubbiamente legata alla spesa energetica, per questo motivo opere di efficientamento energetico, aumento della produzione rinnovabile possono avere un impatto importante sulla riduzione di questo fenomeno. In particolare, le comunità energetiche possono dare a molte persone la possibilità di accedere a servizi energetici che altrimenti non avrebbero mai la possibilità di possedere, come ad esempio un impianto di produzione fotovoltaica. Inoltre, una comunità deve obbligatoriamente essere dotata di un sistema di monitoraggio e ottimizzazione dei flussi energetici, coinvolgendo i consumatori, rendendoli consapevoli del peso delle loro abitudini quotidiane sulla spesa energetica. Tutto questo rientra in ciò che si definisce: "solidarietà energetica", di cui le comunità energetiche possono essere i principali promotori.

Il principale obiettivo di queste configurazioni resta comunque quello di ridurre l'impatto ambientale dei consumi. Con la diffusione di configurazioni di autoconsumo collettivo si riducono notevolmente le emissioni di CO₂ o di altri gas clima alteranti, in quanto aumenta la produzione fotovoltaica, ed inoltre con interventi di efficientamento si riducono i consumi dei singoli utenti. Il terzo step da compiere in questa direzione è quello di sensibilizzare l'utente sulla propria spesa energetica, incentivandolo a concentrare i propri consumi, per quanto possibile, nelle fasce orarie in cui c'è maggior disponibilità di energia prodotta dagli impianti fotovoltaici. Il sistema incentivante erogato dal GSE (che verrà approfondito nel seguito) ha proprio questo obiettivo, incentivando non l'energia prodotta, ma l'energia condivisa, ovvero quella prodotta da impianti fotovoltaici e consumata dagli utenti della comunità. In questo modo nella maturazione dell'incentivo acquisisce un ruolo attivo il consumatore, il quale vedrà aumentare l'incentivo riconosciuto più riuscirà a ottimizzare i suoi consumi.

Le comunità energetiche si inseriscono in un processo di transizione sempre più collaborativa, la così detta "*sharing economy*", fondata sulla collaborazione, condivisione,

scambio di prodotti e servizi, al fine di portare benefici maggiori a tutte le parti in gioco. Questo è esattamente ciò che avviene nelle comunità tra i prosumers e i consumatori. [5]

Attualmente in Europa vi sono più di 3500 iniziative di comunità energetiche rinnovabili, di diversa tipologia e con diverse caratteristiche, ad oggi per lo più concentrate nella regione nord-occidentale [4], come mostrato in figura 1.4:

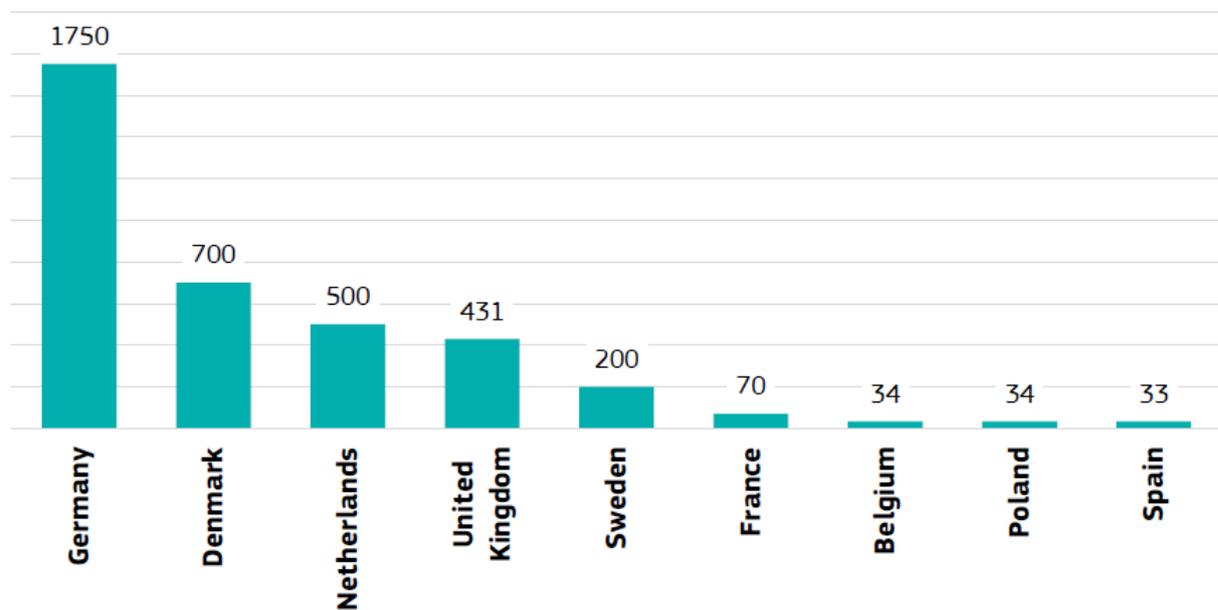


Fig. 1.4: Iniziative di comunità energetiche in Europa, 2019 [4]

Nel nord Europa, soprattutto in Germania, sono state introdotte norme specifiche già da qualche anno, mentre paesi come la Spagna sono intervenuti solo recentemente. Per quanto concerne l'Italia, a fine 2019 ha introdotto una norma specifica (seppur transitoria), entrata in vigore nel 2020. Al momento siamo in piena fase di sperimentazione, con le prime richieste di accesso agli incentivi che stanno arrivando al GSE, quindi si stanno per realizzare le prime comunità energetiche. Questa fase sarà di fondamentale importanza per reperire informazioni ed elementi utili al recepimento della direttiva europea, ancora in atto, che era previsto entro giugno 2021. C'è quindi un ritardo da questo punto di vista. Ritengo utile approfondire nel prossimo capitolo il quadro normativo italiano, sia per comprendere che margini di sviluppo e diffusione hanno le comunità energetiche nel nostro Paese, sia per capire a che punto siamo e tra quanto tempo potranno prendere piede.

Capitolo 2: Inquadramento normativo in Italia e in Europa

Analizziamo l'evoluzione normativa in Italia e in Europa:

La timeline dell'evoluzione normativa

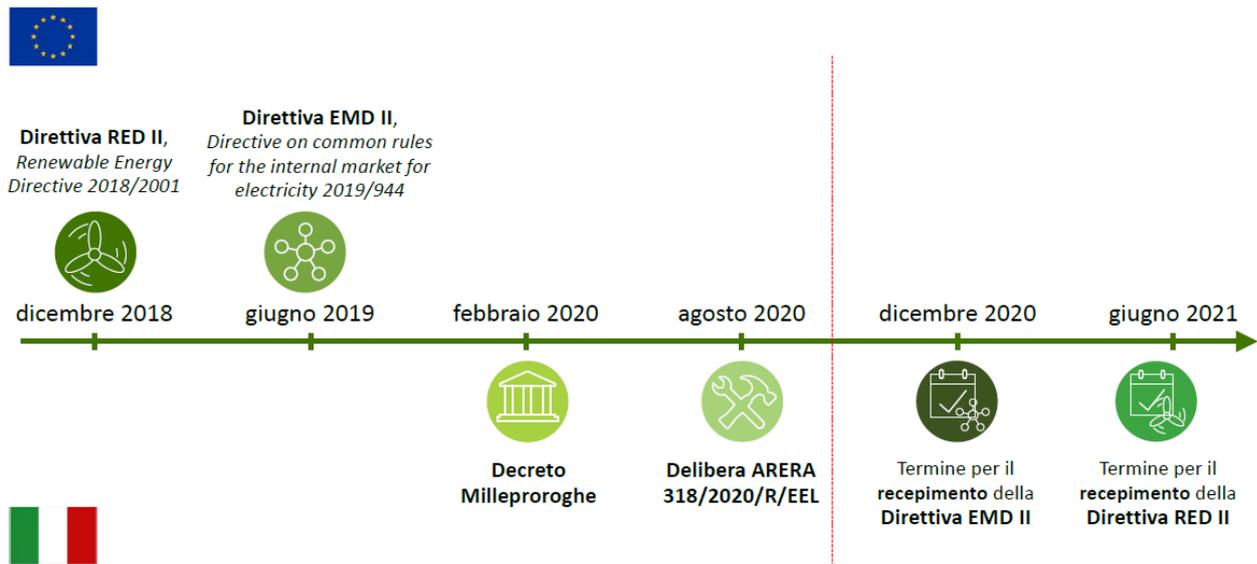


Fig. 2.1: La timeline dell'evoluzione normativa [7]

Già nel novembre 2016 venne pubblicato il CEP (*Clean Energy for all Europeans Package*) con l'obiettivo di porre le basi per la promozione del ruolo attivo dei consumatori nell'ambito della transizione energetica. Le misure introdotte dalla Commissione Europea mirano alla creazione di un'Unione dell'Energia che possa rendere disponibile ai consumatori dell'UE energia sicura, sostenibile e competitiva a prezzi accessibili. Per raggiungere quest'obiettivo la Commissione ritiene necessario operare una drastica trasformazione del sistema energetico europeo. L'Unione dell'Energia dovrà basarsi, in sintesi, su un sistema energetico integrato a livello continentale che consenta ai flussi di energia di transitare liberamente attraverso le frontiere, che si fondi sulla concorrenza e sull'uso ottimale delle risorse e si concretizzi in un'economia sostenibile, a basse emissioni di carbonio e rispettosa del clima, concepita per durare nel tempo. [8]

Nella visione del CEP, le imprese e gli stessi cittadini dovranno avere un ruolo determinante, dovranno essere forti, innovative e competitive, dovranno prendere le distanze da combustibili fossili, tecnologie obsolete e modelli economici superati.

I cittadini dovranno avere un ruolo di primo piano nella transizione energetica, traendo vantaggio dalle nuove tecnologie per pagare di meno, partecipando attivamente ad un mercato che tuteli i consumatori vulnerabili.

Fra gli strumenti abilitanti, uno dei più rilevanti fa riferimento alla creazione delle comunità energetiche, introdotte per la prima volta nel quadro normativo europeo attraverso le due direttive successive:

- La *“Renewable Energy Directive 2018/2001”* (RED II) del 2018, che definisce le *“Renewable Energy Community”* e i *“jointly-acting renewable self-consumers”*, ovvero gli autoconsumatori che agiscono collettivamente;
- La *“Directive on common rules for for the internal market for electricity 2019/944”* (EMD II), pubblicata a giugno 2019, in cui viene fornita la definizione di *“Citizen Energy Community”* e di *“jointly-acting active customers”*, ovvero i clienti attivi consorziati.

2.1 La “Renewable Energy Directive 2018/2001”

La direttiva RED II aveva come obiettivo quello di alzare l’asticella degli obiettivi climatici europei, fissando come obiettivo per il 2030 che almeno il 32% dei consumi elettrici europei siano coperti dalle energie rinnovabili. Nel 2019 la copertura rinnovabile è stata del 19,7%, quindi è necessario aumentare notevolmente e nel minor tempo possibile il contributo di eolico, solare e altre FER rispetto ai livelli attuali.

Le principali modifiche introdotte riguardano il settore dell’edilizia. Infatti, gli edifici consumano il 40% dell’energia utilizzata in UE e generano circa il 36% delle emissioni legate all’energia. La direttiva evidenzia come la maggior parte dell’energia consumata negli edifici proviene ancora da combustibili fossili, il che rende gli edifici domestici la principale fonte di inquinamento insieme ai trasporti. In ottica di migliorare la qualità dell’aria, quindi della vita, nelle nostre città, non si può più ignorare questo dato. In particolare, l’80% del consumo energetico negli edifici è legato al riscaldamento e al raffrescamento, mentre il restante 20% è ripartito tra illuminazione ed apparecchi elettrici. Di questo 80%, ben il 76% è coperto da combustibili fossili. Nel dettaglio, la RED II in questo campo:

- imposta un obiettivo per raggiungere almeno una quota rinnovabile del 49% nell'energia utilizzata negli edifici entro il 2030. Questo obiettivo può essere soddisfatto mediante elettrificazione diretta (come l'utilizzo di elettricità rinnovabile eolico e solare o dalla fornitura di riscaldamento e raffreddamento tramite pompe di calore), calore rinnovabile diretto (ad es. energia geotermica e ambientale, termica solare, ecc.) o riscaldamento distrettuale e raffreddamento, che possono utilizzare fonti energetiche rinnovabili e calore residuo e freddo dai processi del settore industriale e di servizio;
- rende obbligatorio l’obiettivo di un aumento minimo del riscaldamento e raffreddamento rinnovabile di almeno 1,1 punti percentuali;
- introduce misure più mirate per accelerare la transizione dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento degli edifici all’energia rinnovabile come parte del retrofit di edifici.

L'elettrificazione dei consumi è la chiave per ridurre l'impatto ambientale degli edifici, prediligendo sistemi di riscaldamento e raffrescamento a pompa di calore, alimentata ad esempio da un impianto fotovoltaico.

Strumenti che possono favorire questa transizione, mettendo a disposizione dei cittadini servizi energetici a zero impatto ambientale, sono le comunità energetiche rinnovabili (REC) e gli autoconsumatori che agiscono collettivamente, definiti nella RED II.

“Per autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente si intende un gruppo di almeno due autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente e si trovano nello stesso edificio o condominio. Un autoconsumatore di energia rinnovabile è 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”.

Questa configurazione ha quindi dimensioni ridotte, volta a creare un mercato energetico interno e per quanto possibile autonomo in condomini ed edifici all'interno dei quali uno o più utenti diventano prosumers di energia elettrica rinnovabile. L'obiettivo è proprio quello di rendere autonomi dal punto di vista energetico i complessi edilizi residenziali, che come abbiamo detto, costituiscono una delle principali fonti di inquinamento oggi. La direttiva europea non inserisce limiti sulla taglia degli impianti aderenti tale configurazione, che possono anche essere di proprietà e gestione di un soggetto terzo, non considerato autoconsumatore di energia rinnovabile.

Allo stesso scopo, con una visione più ampia, sono state introdotte le comunità energetiche rinnovabili, definite come:

“Soggetto giuridico che si basa sulla partecipazione aperta e volontaria dei cittadini, è autonomo ed è effettivamente controllato da azionisti o membri che sono situati nelle vicinanze degli impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili. Gli azionisti o membri sono persone fisiche, PMI o autorità locali, comprese le amministrazioni comunali.

L'obiettivo principale è fornire benefici ambientali, economici o sociali a livello di comunità ai suoi azionisti o membri o alle aree locali in cui opera, piuttosto che profitti finanziari.” [\[9\]](#)

Come evidenziato, le comunità non sono limitate a un condominio o edificio, hanno una visione più ampia, quella di coprire con energia prodotta da impianti rinnovabili i consumi di un'intera comunità locale, apportando benefici ambientali, sociali, oltre che economici. Possono avere impianti di generazione di energia elettrica e termica, purchè generata da fonti rinnovabili. Anche in questo caso, la direttiva europea non pone alcun limite di taglia per gli impianti di produzione. Possono partecipare a Comunità Energetiche rinnovabili persone fisiche, autorità locali, piccole e medie imprese, con particolare attenzione al coinvolgimento dei consumatori vulnerabili. Questo rientra in quei benefici sociali di cui si parlava in precedenza, nell'ottica di coinvolgere ed offrire la possibilità a più persone possibili di accedere a servizi energetici ai quali non avrebbero avuto accesso. Gli aspetti tecnici e le configurazioni ammissibili saranno trattati nello specifico più in avanti, concentrandosi sul recepimento della direttiva in Italia.

2.2: La “Directive on common rules for for the internal market for electricity 2019/944”

Circa un anno dopo la pubblicazione della RED II, fu pubblicata un'altra direttiva, la “*Directive on common rules for the internal market for electricity*” del 2019 (comunemente chiamata EMD II), in cui viene introdotta una nuova forma di comunità energetica, le “*Citizen Energy Community*” (CEC), definita come:

“Soggetto giuridico che:

- è fondato sulla partecipazione volontaria e aperta ed è effettivamente controllato da membri o soci che sono persone fisiche, autorità locali, comprese le amministrazioni comunali, o piccole imprese;
- ha lo scopo principale di offrire ai suoi membri o soci o al territorio in cui opera benefici ambientali, economici o sociali a livello di comunità, anziché generare profitti finanziari;
- può partecipare alla generazione, anche da fonti rinnovabili, alla distribuzione, alla fornitura, al consumo, all'aggregazione, allo stoccaggio dell'energia, ai servizi di efficienza energetica, o a servizi di ricarica per veicoli elettrici o fornire altri servizi energetici ai suoi membri o soci.” [\[10\]](#)

Le due configurazioni di comunità hanno in comune gli obiettivi finali e i benefici da apportare alla comunità, mentre si differenziano per alcuni aspetti strutturali, come evidenziato in figura 2.2:

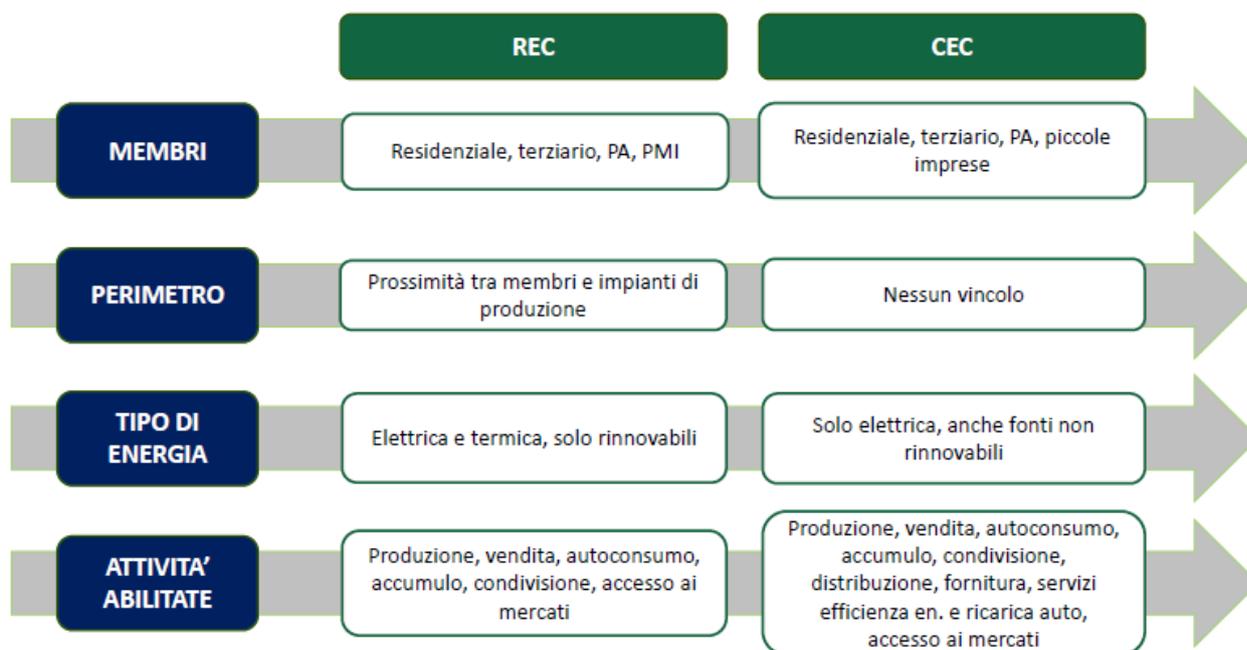


Figura 2.2: Principali differenze tra REC e CEC

La prima importante differenza è sul perimetro geografico. Infatti, mentre le REC sono limitate a una prossimità tra impianti e membri della comunità (distanza che può essere definita in maniera differente dalle varie norme nazionali), le CEC non hanno nessun vincolo in tal senso. Questo si traduce anche in una importante differenza di gestione: le REC devono essere gestite da membri che si trovano in prossimità degli impianti di produzione e devono essere indipendenti dal punto di vista decisionale, mentre nulla di tutto ciò è menzionato per le CEC. Inoltre, questa tipologia di comunità opera su una più ampia scala in tutto il settore elettrico, ammettendo anche impianti di produzione non rinnovabili (pure con un tetto limite sulla produzione totale). Al contrario, le REC operano solo ed esclusivamente con impianti di produzione rinnovabili, non solo nel campo elettrico, ma anche nel termico (si pensi ad esempio al teleriscaldamento o teleraffrescamento). Si possono quindi considerare le REC come una specifica configurazione delle CEC, condividendo i medesimi obiettivi.

General relationship between Renewable Energy Communities & Citizen Energy Communities



Figura 2.3: Relazione tra REC e CEC, [6]

2.3 Percorso normativo in Italia

In seguito alla pubblicazione delle due direttive, è iniziato il processo di recepimento delle stesse nei Paesi europei. Diversi di questi hanno già completato il recepimento, come Portogallo, Belgio e Francia, come visibile in figura 2.4, in cui è presentata anche l'evoluzione delle norme sull'autoconsumo collettivo. In particolare, per questa configurazione la direttiva europea è stata recepita da un numero ampiamente maggiore di nazione rispetto alle comunità energetiche. Tra questi, solo la Francia ha recepito la EMD II, inerente quindi le CEC.

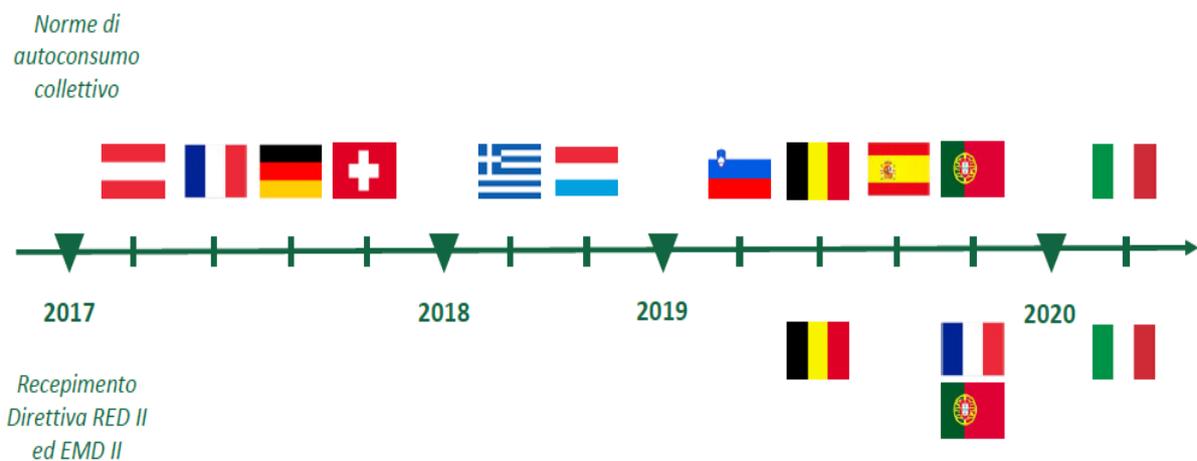


Figura 2.4: Processo di recepimento della RED II e della EMD II nei vari Paesi europei

In Italia è stato avviato il processo di recepimento della norma RED II, che prevede quindi l'inserimento nel contesto italiano delle REC e degli autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente. Il termine per il recepimento era fissato per giugno 2021, quindi da questo punto di vista c'è un leggero ritardo. Tuttavia, nel febbraio 2020 fu approvato il "Decreto Milleproroghe", che anticipa il recepimento della direttiva europea, attivando nell'articolo 42-bis le comunità energetiche rinnovabili e l'autoconsumo collettivo, entrando così in una fase pilota. Tali disposizioni si applicano a tutti gli impianti entrati in servizio tra il 28 febbraio 2020 e i sessanta giorni successivi al recepimento della RED II. Si tratta quindi di una disposizione provvisoria, che ha l'obiettivo di raccogliere informazioni sul funzionamento delle prime comunità e gruppi di autoconsumatori, che portino a un recepimento più puntuale ed efficace della direttiva europea.

Il decreto milleproroghe aggiunge inoltre disposizioni più severe sui requisiti che una comunità energetica e i gruppi di autoconsumo devono rispettare, in termini di confini, connessione alla rete elettrica, taglia e struttura degli impianti. Da qui in avanti ci concentreremo solo sulle comunità energetiche, oggetto della tesi.

In particolare, le disposizioni del decreto si rivolgono a soggetti che producono energia elettrica destinata al proprio consumo (individuale o collettivo) con impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza complessiva non superiore a 200 kW. Viene quindi inserito un limite di potenza, non presente nella direttiva europea. Ovviamente questo limita l'accesso a questa configurazione solo ad impianti di taglia medio-piccola, tagliando fuori i grandi utenti. Proprio per eliminare questo vincolo, probabilmente nel recepimento della direttiva europea questo limite di taglia verrà rimosso.

L'articolo 42bis prevede altresì che i soggetti partecipanti condividano l'energia elettrica prodotta utilizzando la rete di distribuzione esistente e che l'energia elettrica condivisa per l'autoconsumo istantaneo (anche tramite sistemi di accumulo) sia pari al minimo, in ciascun periodo orario, tra l'energia elettrica prodotta e immessa in rete dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili e l'energia elettrica prelevata dall'insieme dei clienti finali associati. Siamo giunti quindi al cuore della comunità energetica: l'energia condivisa. Per come è stata definita, non è altro che quella parte di energia prodotta dagli impianti di comunità che viene assorbita dai consumi degli utenti membri oppure, nel caso la comunità abbia un'esigenza di energia e non un'eccedenza, la quota parte dei consumi coperti da energia prodotta dagli impianti di comunità. Lo scopo della comunità deve essere quello di massimizzare il più possibile l'energia condivisa, in modo tale da coprire la maggior percentuale possibile di consumi di comunità con energia prodotta da fonti rinnovabili, apportando benefici alla comunità, ai suoi membri, oltre che all'ambiente. Il modello di autoconsumo proposto è un modello virtuale, ovvero l'energia condivisa è conteggiata sul contatore di scambio della comunità. Al contrario dell'autoconsumo fisico, non c'è nessuna connessione diretta privata tra l'impianto (o gli impianti) di generazione e le altre utenze. Non si ha quindi un unico POD (Point Of Delivery) alla rete pubblica, ma ogni utente è normalmente connesso alla rete pubblica tramite un proprio POD e pertanto è mantenuta la libertà da parte di ciascuno di poter scegliere il proprio fornitore di energia. La differenza tra le due configurazioni è visibile in figura 2.5 e 2.6. [\[11\]](#)

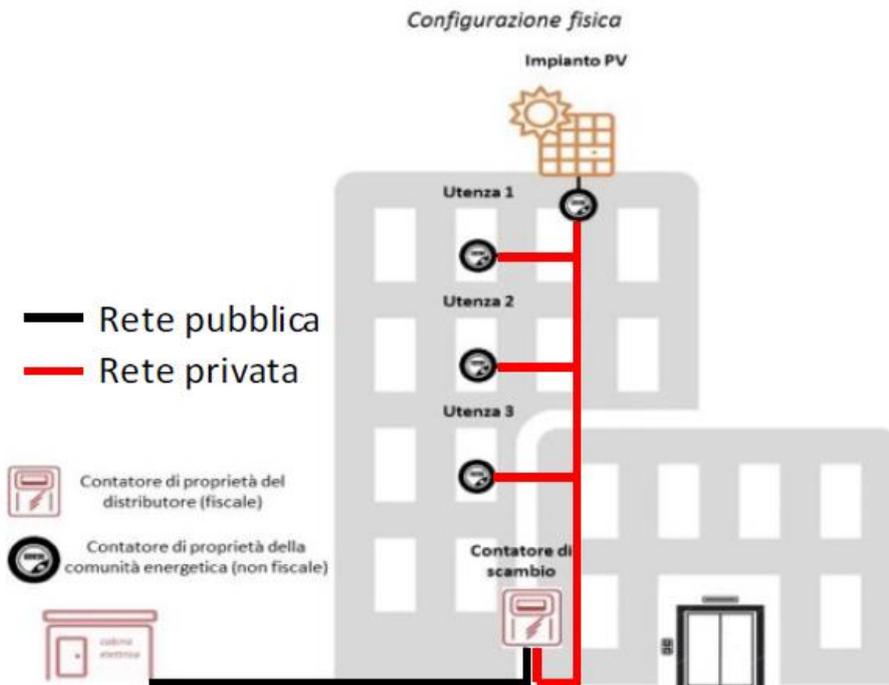


Figura 2.5: Schema di autoconsumo fisico con connessione privata delle utenze all'impianto di produzione

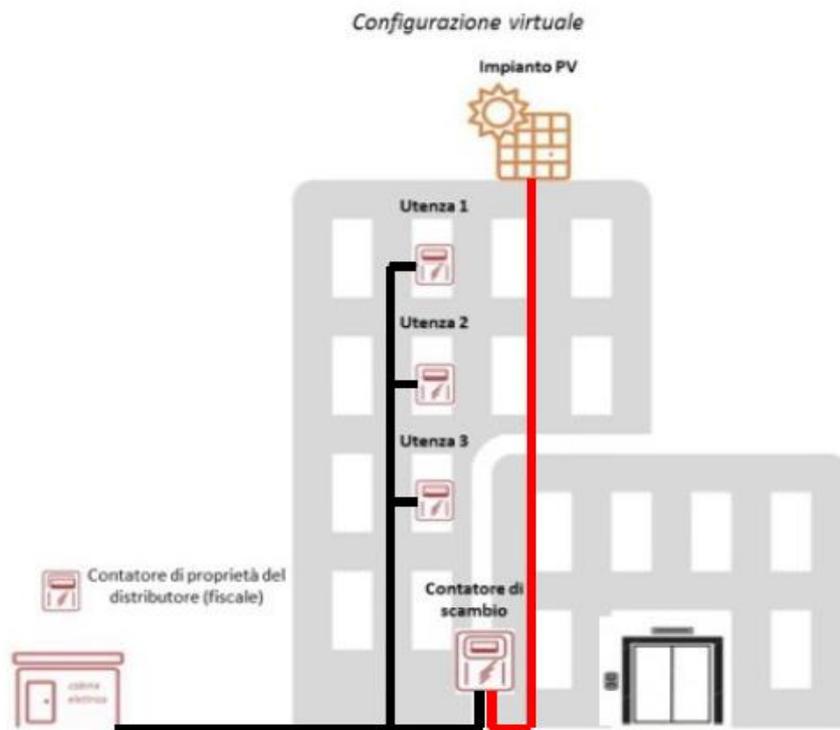


Figura 2.6: Schema di autoconsumo virtuale con connessione su rete pubblica tra utenze e impianto di produzione

L'energia prodotta viene quindi immessa in rete e successivamente prelevata per soddisfare il fabbisogno di comunità. Dalla misura dell'energia immessa e prelevata si ha il calcolo dell'energia condivisa. Tale approccio si basa sulla contemporaneità, in ciascun periodo orario, tra energia immessa e prelevata. L'energia condivisa è quindi calcolata ora per ora, e il conteggio di una determinata fascia oraria non influenza in nessun modo quello della fascia oraria successiva, che semplicemente vanno cumulandosi.

Il medesimo articolo introduce anche un limite di tipo geografico, un perimetro, ovvero che tutti i punti di prelievo dei consumatori e i punti di immissione degli impianti siano ubicati su reti elettriche di bassa tensione sottese, alla data di creazione dell'associazione, alla medesima cabina di trasformazione media/bassa tensione. Anche questo è un vincolo abbastanza stringente, che limita molto i possibili utenti di una comunità. Nel recepimento della direttiva europea anche questo vincolo potrebbe cadere, in favore di un limite prettamente geografico. [\[12\]](#)

Mancano a questo punto da definire solo i corrispettivi economici riconosciuti ai membri che aderiscono ad una comunità energetica, definiti dalla Delibera ARERA 318/2020/R/eel pubblicata nell'agosto del 2020.

Con la delibera 318/2020/R/eel, l'Autorità di regolazione per energia reti e ambiente (ARERA) disciplina le modalità e la regolazione economica relative all'energia elettrica oggetto di condivisione in edifici o condomini nell'ambito di comunità di energia rinnovabile.

Il provvedimento dà attuazione all'articolo 42bis del decreto-legge 30 dicembre 2019, n. 162 (coordinato con la legge di conversione 28 febbraio 2020, n. 8), tenendo conto anche delle disposizioni della Direttiva (UE) 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

In particolare, la delibera 318/2020/R/eel conferma un modello regolatorio virtuale che consente di riconoscere sul piano economico i benefici, ove presenti, derivanti dal consumo in sito dell'energia elettrica localmente prodotta:

- evitando che per ottenere tali benefici debbano essere implementate soluzioni tecniche (quali reti elettriche diverse dalle reti con obbligo di connessione di terzi) o

societarie (quali quelle necessarie per poter essere classificati tra i Sistemi Semplici di Produzione e Consumo - SSPC);

- mantenendo separata evidenza dei benefici associati all'autoconsumo (che non dipendono da fonti, tipologia di reti e/o assetti societari) e degli incentivi espliciti (che, in quanto tali, possono essere opportunamente calibrati in funzione delle fonti e/o delle tecnologie);

Tale modello regolatorio virtuale prevede che il Gestore dei Servizi Energetici (GSE), erogando il "servizio di valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa per l'autoconsumo", restituisca alcuni importi unitari forfetari con riferimento alla quantità di energia elettrica condivisa relativa alla "comunità di energia rinnovabile", al fine di valorizzare l'energia elettrica condivisa tenendo conto di una stima della riduzione dei costi imputabile all'autoconsumo.

La delibera 318/2020/R/eel pone anche le basi per l'erogazione (tramite una procedura unificata, come previsto dal decreto-legge 162/2019) degli incentivi per il servizio di energia condivisa che verranno definiti dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE). Ai fini dell'accesso alla valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa, nel caso di comunità di energia rinnovabile devono essere verificate tutte le seguenti condizioni:

- la comunità di energia rinnovabile è un soggetto giuridico, quale a titolo d'esempio associazione, ente del terzo settore, cooperativa, cooperativa benefit, consorzio, partenariato, organizzazione senza scopo di lucro;
- i membri ovvero azionisti della configurazione sono titolari di punti di connessione su reti elettriche di bassa tensione sottese alla medesima cabina di trasformazione media/bassa tensione;
- i membri ovvero azionisti della configurazione hanno dato mandato al medesimo referente, coincidente con la comunità di energia rinnovabile, per la richiesta di accesso alla valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa;
- ciascun impianto di produzione la cui energia elettrica immessa rileva ai fini della determinazione dell'energia elettrica condivisa deve essere entrato in esercizio a seguito di nuova realizzazione dall'1 marzo 2020 ed entro i sessanta giorni solari successivi alla data di entrata in vigore del provvedimento di recepimento della

direttiva 2018/2001, deve avere una potenza non superiore a 200 kW e deve essere connesso su reti elettriche di bassa tensione sottese alla medesima cabina secondaria a cui la configurazione si riferisce;

- I requisiti per l'accesso alle diverse configurazioni possibili devono essere rispettati non solo al momento dell'accesso, ma anche durante l'intero periodo di validità della configurazione medesima;
- Il perimetro inizialmente definito sulla base della medesima cabina secondaria deve rimanere inalterato al fine di tutelare i diversi utenti (clienti finali e/o produttori) facenti parte della medesima comunità di energia rinnovabile, nel caso in cui l'impresa distributrice, per esigenze tecniche, debba cambiare successivamente la cabina secondaria alla quale sono connesse le unità di consumo e/o gli impianti di produzione dei medesimi utenti;

Il servizio di valorizzazione e incentivazione dell'energia elettrica condivisa è erogato dal GSE per il tramite dei referenti delle configurazioni.

Il contratto, siglato tra referente e GSE, ha durata pari al periodo di incentivazione definito dal Ministro dello Sviluppo Economico (in attuazione dell'articolo 42bis, comma 9, del decreto-legge 162/19). Esso è alternativo allo scambio sul posto e agli strumenti di incentivazione di cui al decreto interministeriale 4 luglio 2019. Al termine del periodo di incentivazione, il contratto può essere oggetto di proroga su base annuale, tacitamente rinnovabile in relazione alle sole parti afferenti alla valorizzazione dell'energia elettrica condivisa.

Nell'ambito del contratto, il GSE eroga il contributo per la valorizzazione del *servizio di energia condivisa* (C_{AC}) espresso in € e l'incentivo, definito dal MiSE. Il contributo C_{AC} per le comunità di energia rinnovabile è riferito alla quantità di energia elettrica condivisa oraria e mensile (E_{AC}). In particolare, i benefici derivanti dall'autoconsumo sono essenzialmente riconducibili a:

- perdite di rete: l'energia elettrica prodotta e consumata in aree limitrofe, riducendo i transiti sulle reti, comporta una riduzione delle perdite di rete rispetto al caso in cui l'energia proviene dalla rete di trasmissione a livelli di tensione più elevati. Nella regolazione vigente, la riduzione delle perdite di rete imputabile all'autoconsumo è

già riconosciuta tramite la maggiorazione forfetaria della quantità di energia elettrica immessa nelle reti di bassa e media tensione;

- connessione alla rete: l'energia elettrica prodotta e consumata in sito, in alcune situazioni, potrebbe permettere (solo ipoteticamente allo stato attuale) di ottimizzare l'utilizzo delle cabine di consegna e degli stalli per la connessione, riducendo i costi di connessione;
- potenziamento o sviluppo di nuove reti: l'energia elettrica prodotta e consumata in sito potrebbe consentire (solo ipoteticamente allo stato attuale), in prospettiva, la riduzione della necessità di potenziamento delle reti esistenti o di realizzazione di nuove reti, nella misura in cui contribuisse a ridurre la potenza massima richiesta sui punti di connessione piuttosto che nella misura in cui contribuisse a ridurre i transiti;
- dispacciamento: l'autoconsumo potrebbe in teoria ridurre i costi di dispacciamento, ma non necessariamente. Infatti, Terna S.p.A., per esercire il sistema elettrico in condizioni di sicurezza, deve comunque tener conto della necessità di approvvigionarsi di capacità di riserva, al fine di soddisfare il fabbisogno di potenza del carico interno al sistema di autoconsumo nelle ore in cui la produzione interna al predetto sistema è nulla, anche per effetto di avarie degli impianti di produzione. Peraltro, al crescere della "volatilità della fonte" i costi di dispacciamento tendono ad aumentare.

In definitiva, nel caso di comunità di energia rinnovabile, le componenti oggetto di restituzione da parte del GSE al produttore referente sono pari alla somma delle parti che possono essere assunte "cost reflective" delle componenti variabili (esprese in c€/kWh) delle tariffe di trasmissione e di distribuzione versate dai clienti finali per una quantità di energia elettrica pari, per ogni ora, all'energia condivisa. Più nel dettaglio, il GSE calcola, per ciascuna configurazione, la quantità di energia elettrica condivisa oraria e mensile (E_{AC}), quest'ultima pari alla somma delle quantità di energia elettrica condivise orarie nelle ore del mese. L'energia condivisa mensile è utilizzata dal GSE per la valorizzazione dell'energia elettrica condivisa (C_{AC}), espresso in €, pari al prodotto tra l'energia elettrica condivisa e il corrispettivo unitario di autoconsumo forfetario mensile ($CU_{Af,m}$):

$$C_{AC} = CU_{Af,m} * E_{AC}$$

dove il corrispettivo unitario di autoconsumo forfetario mensile, espresso in c€/kWh, è pari alla somma algebrica, arrotondata alla terza cifra decimale, della tariffa di trasmissione ($TRAS_E$), definita per le utenze in bassa tensione, e del valore più elevato della componente tariffaria variabile di distribuzione definita per le utenze di bassa tensione (BTAU, pari circa a 8€/MWh):

$$CU_{Af,m} = TRAS_E + BTAU$$

Inoltre, nel caso delle comunità energetiche rinnovabili, non sono riconosciute le ulteriori perdite di rete evitate non già riconosciute dalla regolazione vigente (ovvero quelle dell'ultimo tratto di rete), in quanto comunque l'energia elettrica condivisa utilizza le reti elettriche di distribuzione.

Oltre alla valorizzazione dell'energia condivisa, il GSE riconosce al referente (in questo caso alla comunità energetica):

- il prodotto tra la tariffa incentivante definita dal Ministro dello Sviluppo Economico ai sensi dell'articolo 42bis, comma 9, del decreto-legge 162/19 e la quantità di energia elettrica a cui essa è riferita. Ove necessario, il GSE utilizza i dati afferenti all'energia elettrica effettivamente immessa dagli impianti di produzione aventi diritto all'incentivo e/o l'energia elettrica condivisa e/o l'energia elettrica condivisa per impianto di produzione;
- eventuali corrispettivi a copertura dei costi amministrativi del GSE qualora previsti dal Ministro dello Sviluppo Economico con il medesimo decreto di cui all'articolo 42bis, comma 9, del decreto-legge 162/19.

Nel caso in cui vi sia anche immissione in rete di energia elettrica, alla comunità è riconosciuta anche la remunerazione dell'energia immessa, definita dal Prezzo Zonale Orario.

Le imprese distributrici competenti trasmettono al GSE, tramite il portale informatico appositamente predisposto, e secondo modalità definite dal medesimo GSE, i seguenti dati e informazioni relativi a ciascun referente:

- tipologia dei punti di connessione ai sensi del TIS (Autorità per l'energia);
- tipologia di punto di prelievo come definita dall'articolo 2, comma 2.2, del TIT (Testo Integrato di Trasmissione);

- nel caso delle comunità di energia rinnovabile, la cabina secondaria a cui sono connessi i punti di connessione presenti nella configurazione, qualora tale informazione non sia già nella disponibilità del GSE.

Viste le modalità di erogazione dei rimborsi e degli incentivi, gli impianti devono essere dotati di punti di connessione trattati orari (in particolare sono necessarie le misure dell'energia elettrica immessa oraria e prelevata oraria). Nel caso di punti di connessione non trattati orari, nelle more dell'attivazione del trattamento orario, il gestore di rete configura i misuratori elettronici per la rilevazione dei dati di misura orari e li trasmette, pur senza validazione, al GSE, per quanto possibile con le medesime tempistiche previste dall'articolo 24 del TIME (Testo Integrato Misura Elettrica). Qualora il gestore di rete non sia tecnicamente in grado di raccogliere i dati di misura orari, ne dà comunicazione motivata al referente e al GSE, indicando i tempi previsti per la soluzione del problema. I dati di misura orari non validati sono utilizzati dal GSE ai fini della profilazione dei dati monorari o per fasce validati. Nel caso di punti di connessione non trattati orari, nelle more dell'attivazione del trattamento orario e a fronte dell'oggettiva e motivata impossibilità di estrazione dei dati di misura orari comunicata da parte del gestore di rete, i dati monorari o per fasce sono profilati dal GSE secondo modalità definite dal medesimo a partire dai dati disponibili per tipologia di utenza presso il Sistema Informativo Integrato. [\[13\]](#)

Manca a questo punto solo da descrivere il meccanismo di incentivazione istituito dal Ministero dello Sviluppo Economico per le comunità energetiche. Il 16 settembre 2020 il MISE ha firmato il decreto attuativo attraverso il quale vengono stabilite le tariffe incentivanti e le relative modalità di accesso, in particolare per le comunità energetiche viene incentivata l'energia condivisa, valorizzata con un incentivo, che si somma al valore di mercato dell'energia, pari a 110 €/MWh. L'incentivo viene introdotto con l'obiettivo di sostituire progressivamente l'istituto dello scambio sul posto e, come indicato nel Decreto, "tenendo conto dell'equilibrio complessivo degli oneri in bolletta e della necessità di non incrementare i costi tendenziali rispetto a quelli dei meccanismi vigenti". L'incentivo viene erogato per un periodo di 20 anni, al fine di consentire una adeguata remuneratività degli investimenti. [\[14\]](#)

In conclusione, riepilogo la valorizzazione dell'energia condivisa per una comunità energetica:

Ai sensi della Legge 8/2020, al modello di regolazione identificato da ARERA, al sistema di incentivazione definito dal Decreto MiSE e al sistema di detrazioni fiscali in vigore, è possibile affermare che i partecipanti agli schemi di CER si vedranno riconosciuti:

- la restituzione di alcune componenti definite da ARERA secondo una logica di utilizzo della rete "*cost reflective*", che ammontano a circa 8 €/MWh per le CER sull'energia condivisa;
- un incentivo sull'energia condivisa pari a 110 €/MWh per le CER;
- la remunerazione dell'energia immessa in rete a Prezzo Zonale Orario, che si potrebbe assumere pari a circa 50 €/MWh (a causa del lockdown la media nei primi mesi del 2020 si è abbassata a 35 €/MWh, riallineandosi ai valori del 2019 nei mesi successivi);
- l'accesso a un sistema di detrazioni fiscali per i partecipanti agli schemi.

Da questi importi occorre detrarre i corrispettivi a copertura dei costi amministrativi del GSE, come disposto dal MiSE.

Concentrandosi sull'erogazione dell'incentivo, questo è calcolato sull'energia condivisa dalla comunità, ora per ora. L'incentivo accumulato in una fascia oraria è completamente indipendente dalle fasce orarie successive e precedenti. Inoltre, l'incentivo è riconosciuto alla comunità come soggetto giuridico e il GSE non entra nel merito della suddivisione dell'importo tra i diversi utenti della comunità. La comunità stessa ha la facoltà di decidere la suddivisione che ritiene più opportuna, che non necessariamente deve essere paritaria tra i diversi utenti. Ad esempio, si potrebbe suddividere l'importo esclusivamente tra i produttori di energia, in base alle quote percentuali di impianti di comunità posseduti.

Questa sicuramente è una valida scelta, in quanto premia gli attori che hanno investito nella comunità, che ovviamente si aspettano un ritorno nell'investimento. Tuttavia, visto il meccanismo di maturazione dell'incentivo, non è propriamente equo. Infatti, come già accennato in precedenza, anche i consumatori passivi hanno un ruolo importante nella maturazione dell'incentivo. Ad essere incentivata è infatti l'energia condivisa, non l'energia

prodotta. Al fine di massimizzare l'energia condivisa, bisogna si aumentare la produzione di energia pulita, ma anche concentrare i consumi nelle fasce orarie in cui questa è maggiormente disponibile. Consumare quando la comunità ha un'eccedenza di energia rinnovabile comporta non solo benefici al singolo utente, ma all'intera comunità, per questo motivo riconoscere una parte di incentivo anche ai consumatori può fungere da meccanismo incentivante per consumare in maniera intelligente.

In questo modo la comunità può esercitare quel ruolo che abbiamo descritto in precedenza di divulgatore sociale e sensibilizzatore dei cittadini sul peso dei loro consumi sull'ambiente. Abbiamo e stiamo infatti parlando in termini di massimizzazione dell'incentivo, ma ovviamente dietro di esso si celano benefici ambientali non indifferenti. La diffusione a macchia d'olio di comunità energetiche sul territorio energetico nazionale ha come scopo quello di rendere le comunità locali energeticamente autosufficienti, coprendo i fabbisogni con energia pulita.

Alla realizzazione delle comunità deve seguire la fase di gestione e ottimizzazione. L'obiettivo sopra citato può essere raggiunto solo con un'attenta gestione della comunità, affinché siano sempre energeticamente ottimizzate. Non a caso infatti, nella delibera ARERA 318/2020/R/eel, è previsto che ogni comunità debba essere dotata di un sistema di monitoraggio e gestione dei flussi energetici, che può essere a carico di un'azienda membra della comunità, o essere delegata a un'azienda esterna. Con la diffusione di queste configurazioni, si apre un mercato importante per le aziende che operano nel settore energetico, che avranno un ruolo determinante nella gestione delle comunità e quindi nel raggiungimento degli obiettivi preposti.

Questo lavoro di Tesi si inserisce proprio in questo contesto, essendo stato svolto in collaborazione con Energy Intelligence Srl, azienda che da anni lavora nel campo dell'efficientamento energetico e della digitalizzazione, specializzata nella progettazione, realizzazione e gestione di impianti fotovoltaici. Vista l'esperienza maturata negli anni, Energy intelligence è una di quelle aziende che può fornire quei servizi di cui si è discusso negli scorsi capitoli, mirando al raggiungimento di un obiettivo comune. In particolare, la gestione e il monitoraggio di tutti gli impianti di produzione di comunità, garantendone il continuo funzionamento ad elevate performance. A questo si aggiunge un modello di

gestione che prevede anche la ripartizione dell'incentivo tra i membri, basato su un algoritmo che ha come obiettivo quello di premiare in maniera equa tutto ciò che contribuisce all'energia condivisa, oltre che realizzare un sistema che sia incentivante verso gli utenti nel consumare in maniera sostenibile. In questo studio si inserisce il mio lavoro di tesi, contribuendo alla realizzazione dell'algoritmo, testato poi in una simulazione reale di comunità, realizzata con 4 impianti in gestione da parte di Energy Intelligence, sull'intero 2020. Questo lavoro sarà illustrato nel dettaglio nei prossimi capitoli.

Capitolo 3: Stesura dell'algoritmo di ripartizione dell'incentivo

Innanzitutto, sono state effettuate prove partendo dalla definizione di Energia Condivisa fornita dal GSE, al fine di comprendere a fondo gli elementi che maggiormente contribuiscono al suo accrescimento. In particolare, si sono simulate diverse configurazioni di comunità diverse, in fasce orarie differenti della giornata, simulazioni che saranno qui di seguito riportate.

3.1: Calcolo dell'energia condivisa

L'energia condivisa è definita, ora per ora, come il minimo tra l'energia immessa e prelevata dalla comunità, valori di energia letti quindi dal contatore di scambio di comunità, come si vede in tabella 3.1. In questo esempio è stata considerata una comunità costituita da soli due utenti, ognuno dotato di un impianto di produzione:

ENERGIA [kWh]	Utente 1	Utente 2	Comunità
Prodotta	127	142	269
Prelevata	95	180	275
Immessa	80	26	106
AutoC	47	116	163
Fabbisogno	142	296	438
Condivisa	80	26	106

Tab. 3.1

Oltre l'energia immessa e prelevata, figurano anche l'energia prodotta, il fabbisogno e l'energia autoconsumata dai due utenti in autoconsumo diretto. Questa tabella può essere vista come una fotografia in una fascia oraria, in cui la comunità è stata caratterizzata dai flussi energetici su riportati. L'energia non consumata direttamente viene messa a disposizione della comunità, in termini di energia immessa, mentre la restante parte del fabbisogno è coperto prelevando energia dalla rete elettrica. Entrambi gli utenti hanno un

fabbisogno maggiore rispetto la loro produzione, il che si traduce in un'energia prelevata superiore all'immessa, che quindi in questo caso coincide con la condivisa. Osservando la tabella, è facilmente intuibile come in un'ottica di massimizzazione dell'energia condivisa, in questo caso sarebbe utile aumentare la produzione, aumentando magari la taglia degli impianti, in modo da avere valori di energia immessa e prelevata più vicini tra loro. Infatti, questo esempio di comunità è abbastanza sbilanciato, in quanto il fabbisogno della comunità è circa il doppio dell'energia prodotta. Questo evidenzia un aspetto di fondamentale importanza, ovvero che per massimizzare l'energia condivisa, la comunità deve essere il più possibile bilanciata, con una produzione che riesce a massimizzare la copertura della curva di carico degli utenti. Questo rientra nella così detta "ottimizzazione a monte" della configurazione, studiando i consumi delle utenze locali al fine di realizzare la miglior comunità possibile. Bisogna tuttavia tenere bene a mente che l'energia condivisa è calcolata ora per ora, di conseguenza è estremamente difficile ottenere una configurazione bilanciata in tutta la giornata, vista anche la variabilità della produzione energetica da fonti rinnovabili. Ciò è facilitato se si aumenta il numero di membri di una comunità. Avere molti consumatori, ognuno con un fabbisogno diverso, sicuramente aiuta ad appiattire la curva di carico di comunità, che diventerebbe quindi meno variabile nel tempo. A questo si potrebbe abbinare una produzione da diverse fonti di energia rinnovabile, in modo da rendere più piatta anche la curva di produzione, magari anche con l'ausilio di accumulatori, utili nelle ore di minor produzione.

Tornando al nostro esempio, gli effetti di avere una comunità bilanciata sono visibili in tabella 3.2, in cui è descritta la stessa comunità del caso precedente, aumentando la produzione degli impianti:

ENERGIA [kWh]	Utente 1	Utente 2	Comunità
Prodotta	177	192	369
Prelevata	95	180	275
Immessa	130	76	206
AutoC	47	116	163
Fabbisogno	142	296	438
Condivisa	95	76	206

Tab. 3.2

Ad essere aumentata notevolmente è soprattutto la condivisa dell'utente 2, in quanto nel caso precedente aveva una prodotta più bassa. L'utente 1 in questo ha un eccesso di energia prodotta, infatti la sua condivisa coincide ora con la prelevata. Questo evidenzia come idealmente ogni utente dovrebbe cercare di soddisfare le esigenze della comunità in quella fascia oraria per massimizzarne i benefici. Questo esempio mette in mostra un ulteriore aspetto, al contrario di quanto descritto in tabella 3.1. Infatti, in questo caso la somma delle energie condivise dei due utenti non coincide con la condivisa della comunità, che ricordiamo è quella incentivata. In particolare, la somma delle due condivise è inferiore alla condivisa di comunità, perché considerando i due impianti singolarmente non si tiene conto dei flussi energetici scambiati reciprocamente tra gli utenti, ovvero dell'eccedenza di energia di un utente che viene assorbita dall'altro utente, coprendo una sua esigenza. Per mettere in evidenza questo concetto, può essere utile mostrare un caso limite.

Nella tabella 3.3 è descritto un esempio di comunità in cui uno degli utenti consuma direttamente tutta l'energia prodotta in quella fascia oraria, quindi con un'energia immessa nulla.

ENERGIA [kWh]	Utente 1	Utente 2	Comunità
Prodotta	177	192	369
Prelevata	95	180	275
Immessa	130	0	130
AutoC	47	192	239
Fabbisogno	142	296	438
Condivisa	95	0	130

Tab. 3.3

Considerando la condivisa individuale l'utente 2 ha una condivisa nulla, come se non desse un contributo utile. In realtà non è così, infatti ha un importante fabbisogno, di conseguenza un'energia prelevata rilevante, che copre completamente tutta l'energia pulita immessa dall'utente 1, nella logica dell'autoconsumo indiretto che si vuole massimizzare con questa configurazione.

Oltre ad evidenziare i fattori che compongono l'energia condivisa, questi esempi fanno capire come la condivisa individuale non può essere utilizzata per valutare il contributo utile

di un utente alla comunità, o almeno non completamente. Da qui la necessità di trovare un modo di riconoscere l'effettivo contributo di ogni membro all'accrescimento dell'energia condivisa, e quindi dell'incentivo riconosciuto alla comunità. Energy Intelligence ha dedicato diverse ore di studio in tal senso, portando alla stesura di tre algoritmi diversi, che prendono il nome di: "Modello Virtuale", "Modello Reale" e "Modello Alternativo". Il lavoro da me svolto in azienda è stato quello di testare i vari modelli, individuandone pregi, difetti ed in generale le differenze, lavoro che verrà presentato nel dettaglio nelle prossime sezioni.

3.2 Gli algoritmi di ripartizione dell'incentivo: il Modello Virtuale

Una volta determinata l'energia condivisa della comunità, è immediato il calcolo dell'incentivo maturato, pari al prodotto tra l'energia condivisa ottenuta e i rispettivi coefficienti incentivanti, valido per tutte le configurazioni presenti all'interno della comunità.

Erogato l'incentivo, sta poi alla comunità decidere come ripartirlo tra i suoi utenti. L'obiettivo del lavoro svolto è stato quello di delineare un calcolo valido in tutte le situazioni, in tutte le configurazioni ammissibili, che quantifichi in maniera equa il contributo di ogni impianto alla condivisione di energia, un algoritmo che deve fungere anche da meccanismo incentivante per gli utenti a distribuire i propri consumi nella maniera più sostenibile possibile.

La prima versione di algoritmo testato prende il nome di "Modello Virtuale", nome dovuto al fatto che si riconduce ad una situazione virtualizzata, in cui tutti gli impianti sono connessi in modo da non avere autoconsumo diretto. Questa virtualizzazione ha lo scopo di porre tutti gli utenti sullo stesso piano, valutando tutti i flussi energetici come se passassero attraverso la rete. Si procede ora a descrivere l'algoritmo con l'ausilio di un esempio.

Si consideri un'ipotetica comunità, costituita da un campo fotovoltaico, tre utenti che fungono da prosumers di energia (di cui due dotati di autoconsumo diretto) e un'utenza industriale non dotata di impianto. La configurazione è descritta in tabella 3.4:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	40	180	80	142	442
Immessa	104	80	26	106	0	316
AutoC	0	47	116	0	0	163
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	40	26	80	0	316

Tab. 3.4: Configurazione reale

Applicando la virtualizzazione, la configurazione muta in quella descritta in tabella 3.5:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	87	296	80	142	605
Immessa	104	127	142	106	0	479
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	87	142	80	0	479

Tab. 3.5: Applicazione del Modello Virtuale

Il calcolo è stato fatto tenendo in considerazione le seguenti relazioni tra energia autoconsumata, prelevata ed immessa:

- $Prelevata^* = Prelevata + Autoconsumata$;
- $Immessa^* = Prodotta$;
- $AutoC^* = 0$ (zero).

Dove “*” sta ad indicare le grandezze nel Modello Virtuale.

Siamo giunti quindi al calcolo dell’energia condivisa per ogni impianto che, come visto nella sezione precedente, tuttavia non costituisce un parametro significativo per la determinazione del contributo alla comunità, che in questo algoritmo è chiamato “Merito Individuale”. Prima di illustrare il calcolo, si definiscono quattro grandezze:

- Energia in Eccedenza: energia prodotta in eccesso dall’utente i-esimo (ovvero in eccesso rispetto all’energia prelevata, necessaria per il suo fabbisogno) che quindi viene messa a disposizione della comunità;
- Esigenza Energetica: esigenza energetica dell’utente i-esimo, al netto di quella prodotta ed immessa dallo stesso, che può essere coperta dalle eccedenze degli altri utenti;
- Eccedenza in Comunità: parte dell’Energia in Eccedenza dell’utente i-esimo che è stata assorbita dalla comunità, ovvero da esigenze di altri utenti;
- Condivisa in Comunità: parte dell’Esigenza Energetica dell’utente i-esimo che è stata coperta da energia prodotta dalla comunità, quindi da eccedenze di altri impianti.

Queste definizioni possono essere tradotte nelle seguenti relazioni:

1. $Energia\ in\ Eccedenza_i = MAX((Prodotta_i - Prelevata_i^*); 0)$

$$2. \text{ Esigenza Energetica}_i = \text{MAX}((\text{Prelevata}_i^* - \text{Prodotta}_i); 0)$$

$$3. \text{ Eccedenza in comunità}_i = \text{MIN}(ECC_i; ECC_{nec} * \frac{ECC_i}{ECC_{tot}})$$

Dove:

- ECC_i è l'energia in eccedenza dell'impianto i-esimo;
- $ECC_{tot} = \sum_i ECC_i$;
- $ECC_{nec} = ECC_{tot} - ECC_{com}$;
- ECC_{com} è l'energia in eccedenza della comunità (pari quindi alla differenza tra l'energia prodotta in totale dalla comunità e l'energia prelevata dalla comunità, se maggiore di zero).

ECC_{nec} è sostanzialmente quella parte di energia in eccesso necessaria alla comunità. L'introduzione di questi parametri consente ora di avere gli strumenti per distribuire in maniera equa il contributo all'energia condivisa tra i vari utenti. Prima di vedere come, calcoliamo questi parametri per l'esempio analizzato:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	87	296	80	142	605
Immessa	104	127	142	106	0	479
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	87	142	80	0	479
Eccedenza	104	40	0	26	0	170
Esigenza	0	0	154	0	142	296
Ecc. in comunità	104,00	40,00	0,00	26,00	0,00	-
Condivisa in comunità	0,00	0,00	88,45	0,00	81,55	-

Tab. 3.6

Tenendo in considerazione solo la Condivisa da ogni impianto, verrebbe da pensare che il Campo FV e l'utenza industriale non contribuiscano all'energia condivisa. Introducendo questi parametri è invece evidente come il Campo FV dia un apporto importante alla comunità, grazie ad un Eccesso in comunità di 104 kWh, ovvero l'energia che nella fascia

oraria considerata è stata assorbita dalle esigenze degli altri impianti. Analogamente, l'utenza industriale ha una Condivisa in comunità di 81,55 kWh, ovvero i suoi consumi che sono stati coperti da energia prodotta dalla comunità. Questi due parametri possono quindi essere usati, insieme all'energia condivisa, per determinare il Merito Individuale di ciascun utente. Il calcolo si basa sull'assunzione che sia i produttori che i consumatori contribuiscano in maniera equa all'energia condivisa, quindi il beneficio viene distribuito equamente a metà tra chi produce e chi consuma. A seguito di queste considerazioni, definisco:

$$4. \text{ Merito Virtuale}_i = \text{Condivisa}_i + p_e * \text{Ecc. in Com}_i + p_c * \text{Cond. in Com}_i;$$

dove p_e e p_c sono due coefficienti-peso relativi alle eccedenze e alle esigenze. Nel nostro caso, dando pari peso all'energia prodotta e a quella consumata, vale $p_e = p_c = 0,5$.

Ciò non toglie che la facoltà di scelta spetta sempre alla comunità, che potrebbe variare i pesi, dando ad esempio un peso maggiore ai produttori.

$$5. \text{ Condivisa Individuale } \%_i = \frac{\text{Merito Virtuale}_i}{\sum_i \text{Merito Virtuale}_i}$$

Dal Merito Virtuale è possibile calcolare la Condivisa %, ovvero la percentuale dell'energia condivisa dalla comunità riconosciuta all'utente i-esimo. Si giunge quindi infine alla Condivisa Individuale:

$$6. \text{ Condivisa Individuale}_i = \text{Condivisa Individuale } \%_i * \text{Cond. di Comunità}$$

Questa è l'energia incentivata riconosciuta a ciascun utente, dalla quale quindi si ricava la parte di incentivo spettante a ciascun membro della comunità. Bisogna prestare attenzione a un aspetto: la Condivisa in Comunità è la condivisa della comunità reale, non virtualizzata, ovvero quella visibile in tabella 3.4. Infatti, ad essere incentivata è l'energia realmente condivisa, ovvero la somma delle energie condivise ora per ora lette da contatore. La virtualizzazione serve solo per porre sullo stesso piano tutti gli utenti e valutarne i flussi energetici nella maniera più equa possibile. Una volta calcolato il merito, questo è applicato alla configurazione reale, non virtuale.

In tabella 3.7 si possono analizzare i risultati ottenuti per la comunità in esame:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	87	296	80	142	605
Immessa	104	127	142	106	0	479
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	87	142	80	0	479
Eccedenza	104	40	0	26	0	170
Esigenza	0	0	154	0	142	296
Ecc. in comunità	104,00	40,00	0,00	26,00	0,00	-
Condivisa in comunità	0,00	0,00	88,45	0,00	81,55	-
Merito virtuale	52,00	107,00	186,22	93,00	40,78	479,00
Condivisa %	10,86%	22,34%	38,88%	19,42%	8,51%	100,00%
Condivisa individuale	34,30	70,59	122,85	61,35	26,91	316

Tab. 3.7

Come mostrato in tabella, dal calcolo risulta che al Prosumer 2 spetterebbe circa il 40% dell'incentivo, essendo l'impianto con il merito più elevato, grazie all'elevata energia condivisa e all'elevata esigenza, seppur dimezzata nel calcolo della Condivisa in Comunità. Infatti, la configurazione descritta è sbilanciata dal lato dei consumi, quindi non tutte le esigenze degli impianti possono essere coperte da energia rinnovabile, ad esempio per il Prosumer 2 solo la metà della sua esigenza è soddisfatta da energia prodotta dagli impianti di comunità, mentre la restante parte è prelevata dalla rete. Ovviamente, questo comporta invece che gli impianti con eccedenza riescano a far sfruttare a pieno l'energia da loro prodotta, infatti si vede che per il Campo FV, il Prosumer 1 e il Prosumer 3 le eccedenze in comunità coincidono con le eccedenze energetiche. Da questo esempio si vede come questo algoritmo contenga al suo interno un filtro intrinseco che valuta solo i flussi energetici effettivamente utili alla comunità in termini di condivisione energetica e non quindi solo l'entità dei flussi. Le simulazioni svolte, che saranno illustrate nella prossima sezione, metteranno maggiormente in risalto questo aspetto.

Come già detto in precedenza, il Modello Virtuale si basa sulla non considerazione dell'energia direttamente consumata dai vari prosumers, con l'obiettivo di modellare la comunità come se tutti gli utenti fossero effettivamente collegati tra loro. Questa

configurazione però avvantaggia evidentemente i grandi consumatori, ovvero gli utenti che autoconsumano sul posto gran parte dell'energia prodotta, che quindi non solo godrebbero dello sconto in bolletta, ma si vedrebbero anche incentivata quella quantità d'energia. Si consideri ad esempio la situazione descritta in tabella 3.8:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	0	475
Prelevata	0	0	5	310	150	465
Immessa	300	0	10	5	0	315
AutoC	0	100	20	40	0	160
Fabbisogno	0	100	25	350	150	625
Condivisa	0	0	5	5	0	315

Tab. 3.8

Come si vede, si tratta di un esempio simile a quello trattato in precedenza, in cui il Prosumer 1, nella fascia oraria descritta, autoconsuma tutta l'energia prodotta, coprendo il 100% del fabbisogno. Di fatto quindi è come se non facesse parte della comunità, non condividendo nessun flusso energetico con la stessa. Tuttavia, se si applica il Modello Virtuale, in realtà gli viene riconosciuto un merito, come visibile in tabella 3.9:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	0	475
Prelevata	0	100	25	350	150	625
Immessa	300	100	30	45	0	475
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	100	25	350	150	625
Condivisa	0	100	25	45	0	475
Eccedenza	300	0	5	0	0	305
Esigenza	0	0	0	305	150	455
Ecc. in comunità	300,00	0,00	5,00	0,00	0,00	-
Condivisa in comunità	0,00	0,00	0,00	204,45	100,55	-
Merito virtuale	150,00	100,00	27,50	147,23	50,27	475,00
Condivisa %	31,58%	21,05%	5,79%	30,99%	10,58%	100,00%
Condivisa individuale	99,47	66,32	18,24	97,63	33,34	315

Tab. 3.9

Gli sarebbe riconosciuto circa il 21% dell'energia condivisa di comunità, ovvero sarebbe il terzo impianto maggiormente premiato, il che ha senso, in quanto non considerando l'autoconsumo sarebbe il terzo utente per energia prodotta ed immessa in rete. Ovviamente questo è un caso limite, che in configurazioni reali è molto raro incontrare, ma che facilita la comprensione dell'analisi, inducendo ad una domanda: è davvero equo trascurare l'autoconsumo, nei confronti dei piccoli consumatori? Per rispondere a questa domanda sono state effettuate altre prove, in condizioni differenti, di cui illustrerò i risultati, comparandoli con quelli ottenuti con una variante del modello, che chiameremo "Modello Reale", che al contrario del precedente tiene in considerazione l'autoconsumo, valutando quindi solo i flussi energetici effettivamente messi a disposizione della comunità.

3.3: Introduzione del Modello Reale

Il Modello Reale è stato introdotto e testato per valutare quanto effettivamente fosse corretto non considerare l'autoconsumo diretto nel calcolo del merito. Il Modello Reale è di fatto identico al Modello Virtuale, al quale viene eliminata la virtualizzazione, quindi nei calcoli sono utilizzate le energie immessa e prelevata reali (quelle lette dal contatore di scambio dell'utenza i-esima) al netto dell'autoconsumo. Per evidenziare le differenze tra i due algoritmi si applica il nuovo algoritmo alla stessa comunità descritta in tabella 3.4, ottenendo i seguenti risultati:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	40	180	80	142	442
Immessa	104	80	26	106	0	316
AutoC	0	47	116	0	0	163
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	40	26	80	0	316
Eccedenza	104	40	0	26	0	170
Esigenza	0	0	154	0	142	296
Ecc. in comunità	104,00	40,00	0,00	26,00	0,00	-
Condivisa in comunità	0,00	0,00	88,45	0,00	81,55	-
Merito virtuale	52,00	60,00	70,22	93,00	40,78	316,00
Condivisa %	16,46%	18,99%	22,22%	29,43%	12,90%	100,00%
Condivisa individuale	52	60	70,22	93	40,78	316

Tab. 3.10

Come prevedibile, diminuisce il merito del Prosumer 1 e del Prosumer 2, che sono i due impianti con autoconsumo diretto, mentre aumenta il merito degli altri tre utenti. In tabella 3.11 è visibile il confronto tra i due modelli:

RIEPILOGO	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale
MODELLO VIRTUALE	10,86%	22,34%	38,88%	19,42%	8,51%
MODELLO REALE	16,46%	18,99%	22,22%	29,43%	12,90%

Tab. 3.11

Viene completamente ridimensionata l'energia condivisa, che nel caso precedente aveva un peso determinante. L'impianto più premiato diventa il Prosumer 3, che ha la condivisa maggiore, non avendo autoconsumo. Il Prosumer 2 consuma molta energia in maniera diretta, infatti nel Modello Reale è premiato circa alla stessa maniera del Prosumer 1, il che ha senso, in quanto condividono circa la stessa quantità di energia, con l'unica differenza data dal fatto che il merito del primo prosumer è dato per metà dall'energia da egli stesso condivisa e per l'altra metà dalla sua eccedenza messa a disposizione della comunità, mentre il secondo prosumer matura il merito grazie ai suoi importanti consumi, premiati per la contemporaneità con la produzione rinnovabile, consumando quindi energia pulita.

Si inizia a capire come questa versione valorizzi maggiormente i produttori e i piccoli consumatori di energia, appiando il gap con i grandi consumatori. Questo esempio ha avuto lo scopo di introdurre il Modello Reale, essendo di fatto molto simile al virtuale. Le altre prove di confronto, mirate a individuare i punti deboli di ogni versione, saranno presentate successivamente, confrontando le due versioni anche con il terzo algoritmo, il "Modello Alternativo", che sarà prima descritto a livello teorico nella prossima sezione.

3.4: Il Modello Alternativo

Il Modello Alternativo fu elaborato parallelamente al Modello Virtuale, percorrendo una strada completamente diversa, in un'ottica anche di semplificazione del calcolo.

Anche in questo caso, si parte dai dati fiscali registrati dai contatori di scambio relativi all'energia immessa e prelevata da ciascun utente, in modo da calcolare l'energia condivisa per ogni utente, analogamente al calcolo visto in precedenza.

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	40	180	80	142	442
Immessa	104	80	26	106	0	316
AutoC	0	47	116	0	0	163
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	40	26	80	0	316

Tab. 3.12

Si introduce a questo punto il fattore S_x , pari alla somma delle due componenti che determinano l'energia condivisa: l'energia prelevata e l'energia immessa dall'impianto i -esimo.

$$1. S_{X,i} = Prelevata_i + Immessa_i$$

Si determina successivamente la somma degli S_x di tutti gli utenti, che costituisce il parametro S_T :

$$2. S_T = \sum_i S_{X,i}$$

Questo parametò servirà a dare una stima del contributo di ogni singolo impianto al raggiungimento del valore di Energia Condivisa riconosciuto.

A questo punto si determina il rapporto R tra l'energia condivisa riconosciuta alla comunità e il parametro S_T :

$$3. R = \frac{\text{Condivisa di comunità}}{S_T}$$

Una volta determinato R, si calcola il prodotto $R \cdot S_{X,i}$ per ogni utente, utile al calcolo del merito percentuale:

$$4. \text{ Merito } \% = \frac{R \cdot S_{X,i}}{\sum_i R \cdot S_{X,i}}$$

Merito che, analogamente al caso precedente, determina la percentuale di energia condivisa riconosciuta all'utente i-esimo. In tabella 3.13 è visibile il calcolo completo applicato al caso precedente:

ENERGIA [kWh]	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale	Comunità
Prodotta	104	127	142	106	0	479
Prelevata	0	40	180	80	142	442
Immessa	104	80	26	106	0	316
AutoC	0	47	116	0	0	163
Fabbisogno	0	87	296	80	142	605
Condivisa	0	40	26	80	0	316
Sx	104	120	206	186	142	758
R*Sx	43,36	50,03	85,88	77,54	59,20	316
Merito %	13,72%	15,83%	27,18%	24,54%	18,73%	100,00%

Tab. 3.13

Con $R = 0.4169$. Confrontando con gli altri modelli:

RIEPILOGO	Campo FV	Prosumer 1	Prosumer 2	Prosumer 3	Utenza industriale
MODELLO VIRTUALE	10,86%	22,34%	38,88%	19,42%	8,51%
MODELLO REALE	16,46%	18,99%	22,22%	29,43%	12,90%
MODELLO ALTERNATIVO	13,72%	15,83%	27,18%	24,54%	18,73%

Tab. 3.14

Si vede da questi risultati come il Modello Alternativo segua proporzionalmente l'entità dei flussi energetici, determinati dal parametro S_x , mentre gli altri due modelli fanno valutazioni aggiuntive sulla natura dei flussi energetici, come verrà approfondito nella prossima sezione.

I tre modelli descritti sono stati sottoposti a diversi casi studio, mirati a capire come si comportano e si adattano a situazioni differenti e a diverse tipologie di comunità. L'obiettivo infatti, non è quello di scegliere un solo algoritmo, ma di offrire al cliente (ovvero alla comunità energetica) la possibilità di scelta tra gli stessi, se tutti dovessero risultare congrui alla configurazione.

Capitolo 4: Confronto tra i diversi algoritmi

Al fine di individuare i pro e i contro dei diversi algoritmi proposti, sono stati confrontati in configurazioni diverse, anche in casi limite, in modo da capire quale algoritmo si adatta meglio a ciascuna configurazione. Le prove effettuate hanno permesso di capire a fondo la natura dei tre algoritmi e in quali condizioni presentano delle criticità. Saranno inoltre presentate delle variazioni ai modelli discussi, adottate in seguito all'analisi dei risultati ottenuti nei casi studio allo scopo di correggere alcuni difetti venuti a galla in questa fase.

4.1: Caso studio 1

La prima comunità analizzata è costituita da cinque impianti differenti: un campo FV e quattro utenze industriali, due con un'eccedenza di energia e due con un'esigenza. Come si vede dalla tabella 4.1, la comunità è quasi perfettamente bilanciata, in quanto l'energia prelevata dalla comunità è molto simile all'energia immessa.

Energia [kWh]	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	200	80	90	120	80	570
Prelevata	0	90	235	20	10	355
Immessa	200	20	5	55	40	320
AutoC	0	60	85	65	40	250
Fabbisogno	0	150	320	85	50	605
Condivisa	0	20	5	20	10	320

Tab. 4.1

Il Modello Virtuale dà i seguenti risultati:

VIRTUALE	Impianto 1	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	200	80	90	120	80	570
Prelevata	0	150	320	85	50	605
Immessa	200	80	90	120	80	570
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	150	320	85	50	605
Condivisa	0	80	90	85	50	570
Eccedenza	200	0	0	35	30	265
Esigenza	0	70	230	0	0	300
Ecc. in	200,00	0,00	0,00	35,00	30,00	-

comunità						
Condivisa in comunità	0,00	61,83	203,17	0,00	0,00	-
Merito virtuale	100,00	110,92	191,58	102,50	65,00	570,00
Condivisa %	17,54%	19,46%	33,61%	17,98%	11,40%	100,00%
Condivisa individuale	56,14	62,27	107,56	57,54	36,49	320

Tab. 4.2

Mentre il Modello Reale:

MODELLO REALE	Impianto 1	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	200	80	90	120	80	570
Prelevata	0	90	235	20	10	355
Immessa	200	20	5	55	40	320
AutoC	0	60	85	65	40	250
Fabbisogno	0	150	320	85	50	605
Condivisa	0	20	5	20	10	320
Eccedenza	200	0	0	35	30	265
Esigenza	0	70	230	0	0	300
Ecc. in comunità	200,00	0,00	0,00	35,00	30,00	-
Condivisa in comunità	0,00	61,83	203,17	0,00	0,00	-
Merito virtuale	100,00	50,92	106,58	37,50	25,00	320,00
Condivisa %	31,25%	15,91%	33,31%	11,72%	7,81%	100,00%
Condivisa individuale	100,00	50,92	106,58	37,50	25,00	320

Tab. 4.3

L'unica differenza col modello virtuale è che non si considera l'autoconsumo nullo, ma si considera l'autoconsumo reale degli impianti, sulla logica del fatto che l'energia autoconsumata da chi possiede un impianto fotovoltaico non viene di fatto condivisa con la comunità, poiché non dà contributo all'energia condivisa.

Infine, con il calcolo alternativo si ottengono i seguenti risultati:

MODELLO ALTERNATIVO	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	200	80	90	120	80	570
Prelevata	0	90	235	20	10	355

Immessa	200	20	5	55	40	320
AutoC	0	60	85	65	40	250
Fabbisogno	0	150	320	85	50	605
Condivisa	0	20	5	20	10	320
Sx	200	110	240	75	50	675
R*Sx	94,81	52,15	113,78	35,56	23,70	320
Merito %	29,63%	16,30%	35,56%	11,11%	7,41%	100,00%

Tab. 4.4

Riepilogando:

RIEPILOGO	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5
MODELLO VIRTUALE	17,54%	19,46%	33,61%	17,98%	11,40%
MODELLO REALE	31,25%	15,91%	33,31%	11,72%	7,81%
MODELLO ALTERNATIVO	29,63%	16,30%	35,56%	11,11%	7,41%

Tab. 4.5

Si nota subito come il Modello Virtuale penalizzi il Campo FV, non avendo autoconsumo, mentre premia il grande consumatore. Come sarà evidenziato anche più avanti, il Modello Virtuale tende a premiare sempre maggiormente il consumatore, in particolare chi riesce ad autoconsumare maggiormente l'energia prodotta, che viene considerata come se fosse immessa in rete e quindi messa a disposizione della comunità, anche se in realtà non lo è.

Con il Modello Reale l'unica grande differenza si ha nei confronti del Campo FV, che vede raddoppiata la percentuale di energia condivisa ad esso riconosciuta, arrivando allo stesso livello dell'utente 3, che è il maggior consumatore, il che ha senso se si considerano i flussi energetici messi a disposizione degli altri utenti (Eccedenza in comunità per il Campo FV e la Condivisa in comunità per l'impianto 3), molto simili tra loro.

Il Modello Reale e il Calcolo Alternativo danno risultati simili. Dal mio punto di vista questa tipologia di comunità è l'unica in cui questi due algoritmi generano risultati simili, in quanto sono applicati a una comunità bilanciata, ovvero con una produzione che segue quasi alla perfezione il fabbisogno, quindi con valori di immessa e prelevata molto vicini tra loro. Questo comporta che tutti i flussi energetici siano assorbiti dalla comunità, ovvero tutte le

eccedenze di energia sono coperte da altri utenti che hanno esigenze e viceversa (visibile dalla tabella del Modello Virtuale, in cui tutte le eccedenze coincidono con Ecc. in comunità e tutte le esigenze con Cond. In comunità). Al contrario, come approfondiremo nei prossimi casi studio, quando si ha a che fare con comunità sbilanciate, i due algoritmi prendono strade completamente diverse.

Nel caso studio 2 verrà approfondito il comportamento degli algoritmi proprio in questa situazione. In questo modo sarà apprezzabile la differenza tra i due modelli quando non tutti i flussi sono assorbiti e sarà anche evidente perché il modello virtuale premia maggiormente i grandi consumatori dei grandi produttori.

4.2: Caso studio 2a

Si considera ora una comunità formata da: un campo FV, un'utenza industriale e tre utenze domestiche:

Energia [kWh]	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	160	5	5	5	175
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	250	25	20	30	325
Condivisa	0	10	5	5	5	175

Tab. 4.6

Come si vede dalla tabella 4.6, in questo caso la comunità è nettamente sbilanciata, con una produzione che supera nettamente il fabbisogno della comunità. Si può prevedere quindi che non tutti i flussi energetici sono assorbiti dalla comunità.

Il Modello Virtuale presenta i seguenti risultati:

VIRTUALE	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	250	25	20	30	325
Immessa	300	100	30	45	35	510
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	250	25	20	30	325
Condivisa	0	100	25	20	30	325
Eccedenza	300	0	5	25	5	335
Esigenza	0	150	0	0	0	150
Ecc. in comunità	134,33	0,00	2,24	11,19	2,24	-
Condivisa in comunità	0,00	150,00	0,00	0,00	0,00	-
Merito virtuale	67,16	175,00	26,12	25,60	31,12	325,00
Condivisa %	20,67%	53,85%	8,04%	7,88%	9,58%	100,00%
Condivisa individuale	36,17	94,23	14,06	13,78	16,76	175

Tab. 4.7

Mentre il Modello Reale:

MODELLO REALE	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	160	5	5	5	175
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	250	25	20	30	325
Condivisa	0	10	5	5	5	175
Eccedenza	300	0	5	25	5	335
Esigenza	0	150	0	0	0	150
Ecc. in comunità	134,33	0,00	2,24	11,19	2,24	-
Condivisa in comunità	0,00	150,00	0,00	0,00	0,00	-
Merito virtuale	67,16	85,00	6,12	10,60	6,12	175,00
Condivisa %	38,38%	48,57%	3,50%	6,06%	3,50%	100,00%
Condivisa individuale	67,16	85,00	6,12	10,60	6,12	175

Tab. 4.8

Infine, il Calcolo Alternativo:

CALCOLO ALTERNATIVO	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	160	5	5	5	175
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	250	25	20	30	325
Condivisa	0	10	5	5	5	175
Sx	300	170	15	35	15	535
R*Sx	98,13	55,61	4,91	11,45	4,91	175
Merito %	56,07%	31,78%	2,80%	6,54%	2,80%	100,00%

Tab. 4.9

In questo caso è evidente la differenza tra gli algoritmi: il Calcolo Alternativo premia maggiormente i grandi consumatori e i grandi produttori a discapito delle utenze domestiche.

RIEPILOGO	Campo FV	Impianto 2	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5
MODELLO VIRTUALE	20,67%	53,85%	8,04%	7,88%	9,58%
MODELLO REALE	38,38%	48,57%	3,50%	6,06%	3,50%
CALCOLO ALTERNATIVO	56,07%	31,78%	2,80%	6,54%	2,80%

Tab. 4.10

Proprio in quest'ultimo aspetto è nascosta la chiave di lettura degli algoritmi. Infatti, il Calcolo Alternativo premia maggiormente chi consuma o produce la maggior quantità di energia, indipendentemente dalle esigenze della comunità. Quindi nel nostro caso, premia maggiormente il campo fotovoltaico in quanto ha il maggior S_x (S_x è la somma dell'energia immessa e prelevata dell'utente considerato), dovuto all'elevata quantità di energia prodotta, nonostante la comunità abbia un'eccedenza importante, quindi non tutta l'energia prodotta ha un contributo utile in termini di energia condivisa.

Al contrario, il Modello Virtuale e il Modello Reale utilizzano un calcolo del merito individuale che tiene proprio conto di questo aspetto. Come si può osservare dalla tabella 4.8, il campo FV ha un'eccedenza di 300 kWh, ma l'eccedenza in comunità è pari solo a 134.33 kWh, ovvero la quota parte dell'eccedenza del campo che è assorbita dalle esigenze degli altri impianti, e che quindi fa aumentare l'energia condivisa della comunità.

L'utenza industriale riesce invece a soddisfare tutta la sua esigenza con energia prodotta dalla comunità, quindi tutta l'energia da lui consumata dà un contributo utile all'energia condivisa, per questo motivo utilizzando questi modelli, è lui il più premiato e non il campo fotovoltaico, nonostante produca più energia. Infatti, il Modello Virtuale e il Modello Reale hanno un comportamento opposto nei confronti del Campo FV e del consumatore (utenza industriale). Qui si inizia a vedere come, in caso di flussi energetici non bilanciati, le due tipologie di algoritmi prendono strade diverse: uno premia la quantità di energia, gli altri due la qualità dei flussi energetici.

Resta da approfondire la differenza tra il Modello Reale e il Modello Virtuale, in particolare resta da chiarire se sia giusto o meno trascurare l'autoconsumo, come se tutti gli impianti non autoconsumassero energia. Infatti, il comun denominatore dei due casi studio è proprio

che nel modello virtuale sono sempre premiati molto i grandi consumatori, a differenza dei grandi produttori, a cui viene incentivata solo l'energia effettivamente utile alla comunità. Il Modello Reale tratta nella stessa maniera sia i grandi produttori che i grandi consumatori, diminuisce quindi il beneficio del grande consumatore, che in questo modello è valutato al pari di tutti gli altri utenti: solo in base al contributo utile fornito alla comunità. Aumenta quindi la percentuale riconosciuta al campo fotovoltaico, non autoconsumando ovviamente nulla. In ogni modo il grande consumatore resta l'utente con la percentuale maggiore di incentivo percepito, in quanto resta comunque riconosciuto il merito di condividere il 100% dei consumi, incrementando notevolmente l'energia condivisa della comunità.

Nel prossimo caso di studio verrà introdotta un'interessante correzione, ovvero un tetto massimo all'energia prelevata da applicare nel caso in cui vi siano grandi consumatori, ovvero grandi utenze industriali, insieme ad utenze domestiche. L'idea iniziale di questo tetto era quella di diminuire l'eccessivo gap tra tipologie di utenti così diversi tra loro, favorendo in parte gli utenti medio-piccoli. Per avere un metro di confronto, il tetto sarà introdotto sullo stesso esempio di comunità trattato in questa sezione.

4.3: Caso studio 2b

In questo caso di studio ho applicato a tutti e tre i modelli la correzione sui grandi consumatori, pensata per dare un tetto massimo all'energia prelevata dai grandi utenti, nel caso di comunità miste, con utenze sia industriali che civili. In particolare, nel Modello Virtuale e nel Modello Reale è stato posto come limite massimo per le esigenze dei vari impianti l'energia totale prodotta dalla comunità. Mentre nel Modello Alternativo questo tetto è stato posto sull'energia prelevata coinvolta nel calcolo di S_x . Si pone così un limite sull'energia che può essere incentivata, ovvero considerata utile al fine della maturazione dell'energia condivisa di comunità. Applico la correzione alla stessa comunità esaminata nel caso di studio 2a, in cui è stata aumentata la taglia dell'utenza industriale.

La comunità quindi considerata è la seguente:

Energia [kWh]	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	910	5	5	5	925
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	1000	25	20	30	1075
Condivisa	0	10	5	5	5	360

Tab. 4.11

Il Modello Virtuale corretto produce i seguenti risultati:

VIRTUALE CORRETTO	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	1000	25	20	30	1075
Immessa	300	100	30	45	35	510
AutoC	0	0	0	0	0	0
Fabbisogno	0	1000	25	20	30	1075
Condivisa	0	100	25	20	30	510
Eccedenza	300	0	5	25	5	335

Esigenza	0	510	0	0	0	510
Ecc. in comunità	300,00	0,00	5,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	335,00	0,00	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	267,50	27,50	32,50	32,50	510,00
Condivisa %	150,00	177,50	7,50	17,50	7,50	360,00
Condivisa individuale	41,67%	49,31%	2,08%	4,86%	2,08%	100,00%

Tab. 4.12

In giallo è evidenziato il termine che è stato oggetto di correzione, ovvero l'esigenza dell'utenza industriale, che è stata ridotta.

Il Modello Reale corretto dà i seguenti risultati:

REALE CORRETTO	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	910	5	5	5	925
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	1000	25	20	30	1075
Condivisa	0	10	5	5	5	360
Eccedenza	300	0	5	25	5	335
Esigenza	0	510	0	0	0	510
Ecc. in comunità	300,00	0,00	5,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	335,00	0,00	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	177,50	7,50	17,50	7,50	360,00
Condivisa %	41,67%	49,31%	2,08%	4,86%	2,08%	100,00%
Condivisa individuale	150	177,5	7,5	17,5	7,5	360

Tab. 4.13

Come si vede, anche in questo caso l'esigenza dell'utenza industriale è stata ridotta, e risulta quindi pari al totale dell'energia prodotta dalla comunità.

Infine, il Modello Alternativo Corretto:

ALTERNATIVO CORRETTO	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
-----------------------------	-----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-----------------

Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	910	5	5	5	925
Immessa	300	10	10	30	10	360
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	1000	25	20	30	1075
Condivisa	0	10	5	5	5	360
Sx	300	520	15	35	15	885
R*Sx	122,03	211,53	6,10	14,24	6,10	360
Merito %	33,90%	58,76%	1,69%	3,95%	1,69%	100,00%

Tab. 4.14

In questo caso c'è stata un'importante riduzione, inerente sempre all'utenza industriale, che vede scendere il parametro S_x di ben 400kWh.

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella 4.15:

RIEPILOGO	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5
MODELLO VIRTUALE	29,41%	52,45%	5,39%	6,37%	6,37%
MODELLO VIRTUALE CON CORREZIONE	29,41%	52,45%	5,39%	6,37%	6,37%
MODELLO REALE	41,67%	49,31%	2,08%	4,86%	2,08%
MODELLO REALE CON CORREZIONE	41,67%	49,31%	2,08%	4,86%	2,08%
MODELLO ALTERNATIVO	23,35%	71,60%	1,17%	2,72%	1,17%
MODELLO ALTERNATIVO CON CORREZIONE	33,90%	58,76%	1,69%	3,95%	1,69%

Tab. 4.15

Innanzitutto, già in questa variante del caso precedente è evidente come sbilanciando i flussi energetici degli utenti, il modello alternativo si allontani nettamente dagli altri, infatti in questo caso riconosce il 72% dell'incentivo al grande consumatore, mentre nel Modello Virtuale e nel Modello Reale percepirebbe circa il 50%, considerandone solo la percentuale utile alla comunità.

Come si vede, nel Modello Virtuale e nel Modello Reale l'aggiunta del tetto non ha nessun effetto. Questo accade sempre quando nella comunità c'è solo un utente con un'esigenza importante. Nel caso in cui ci sono più consumatori la situazione cambia, come verrà approfondito in seguito.

Sul Calcolo Alternativo la correzione alza il premio per il campo FV di dieci punti percentuali, mentre abbassa il premio per il consumatore, anche se resta uno sbilanciamento importante tra il premio riconosciuto al Campo FV e al consumatore.

Per mettere maggiormente in risalto questo aspetto, consideriamo dei casi limite, uno con un produttore esageratamente grande, e uno con un consumatore esageratamente grande, prendendo come base la stessa comunità energetica del caso studio 2.

Inoltre, in seguito ai risultati ottenuti in queste prove, si è deciso di scartare l'algoritmo virtuale che non considera l'autoconsumo, ritenendo il Modello Reale più equo nei confronti degli utenti. D'ora in avanti saranno valutati quindi solo gli altri algoritmi.

4.4: Caso studio 3a

Si consideri la seguente comunità, costituita da un enorme campo fotovoltaico, un'utenza industriale che consuma molta energia e tre utenze domestiche:

Energia [kWh]	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	10000	100	30	45	35	10210
Prelevata	0	160	5	5	5	175
Immessa	10000	10	10	30	10	10060
AutoC	0	90	20	15	25	150
Fabbisogno	0	250	25	20	30	325
Condivisa	0	10	5	5	5	175

Tab. 4.16

I risultati ottenuti con i vari algoritmi sono:

RIEPILOGO	Campo FV	Utenza industriale	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5
MODELLO REALE	42,71%	48,57%	2,88%	2,96%	2,88%
MODELLO ALTERNATIVO	97,70%	1,66%	0,15%	0,34%	0,15%

Tab. 4.17

Questo caso limite mette in risalto il problema del Calcolo Alternativo, che è quello di basarsi esclusivamente sui consumi. Infatti, in questo caso al Campo FV spetterebbe il 98% dell'incentivo, come visibile in tabella 4.17. Al contrario, il Modello Reale considera solo la parte utile dell'eccedenza, ovvero quella che è assorbita dalle esigenze degli altri utenti della comunità. Infatti, in questo caso a ricevere la quota maggiore di incentivo è l'utenza industriale, che ha una discreta esigenza, che riesce a condividere interamente con la comunità, vista l'enorme quantità di energia rinnovabile messa a disposizione dal Campo FV. Il Campo FV invece si vedrà riconosciuta solo la quota parte dell'energia prodotta assorbita dai consumi della comunità, avendo in ogni caso garantita una buona parte di incentivo.

Si vede bene come il divario tra i due algoritmi aumenti esponenzialmente con comunità sempre più sbilanciate.

Non sono stati illustrati i casi con la correzione, non avendo ovviamente effetto in questo caso, non essendoci un grande consumatore. Da questi risultati, si potrebbe pensare di

inserire un tetto anche sul grande produttore. Tuttavia, la direttiva europea prevede ancora un tetto massimo di potenza per gli impianti FV di comunità pari a 200 kW, il che impedisce il verificarsi di situazioni del genere. Bisogna inoltre tenere a mente che l'incentivo viene calcolato ora per ora, quindi è molto difficile incorrere in disparità simili tra i vari utenti e che questo è solo un caso limite di studio per evidenziare il funzionamento dei diversi algoritmi.

4.5: Caso studio 3b

Considero ora invece il caso del grande consumatore, ovvero una comunità con un utente che ha un fabbisogno esageratamente grande, come visibile in tabella 4.18:

Energia [kWh]	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350

Tab. 4.18

Al contrario del caso precedente, il campo FV riesce a condividere tutta l'energia prodotta, visto l'enorme fabbisogno dell'impianto 2, quindi non subirà nessuna limitazione nel premio nel Modello Reale: tutta l'energia prodotta dà un contributo utile alla comunità. Al contrario, il Grande Consumatore subirà una limitazione, in quanto solo la piccola parte dei suoi consumi che è coperta da energia prodotta dalla comunità fa aumentare l'energia condivisa, e quindi l'incentivo erogato. Per questo motivo, nonostante l'enorme divario tra il Campo FV e il grande consumatore, il Modello Reale riconosce loro una percentuale simile di incentivo, come visibile in tabella 4.19:

RIEPILOGO	Campo FV	Grande Consumatore	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5
MODELLO REALE	42,86%	48,54%	1,46%	5,00%	2,14%
MODELLO REALE CON CORREZIONE	42,86%	47,22%	2,78%	5,00%	2,14%
CALCOLO ALTERNATIVO	1,48%	98,15%	0,12%	0,17%	0,07%
CALCOLO ALTERNATIVO CON CORREZIONE	33,71%	57,87%	2,81%	3,93%	1,69%

Tab. 4.19

Anche in questo caso, ovviamente, si vede la notevole differenza tra il Modello Reale e il Calcolo Alternativo. Utilizzando il Calcolo Alternativo la quasi totalità dell'incentivo spetta al

grande consumatore, come prevedibile. Con la correzione le percentuali si bilanciano parzialmente, ma resta comunque una differenza importante tra il Campo FV e il grande consumatore, con quest'ultimo che continua a percepire la fetta maggiore di incentivo. Si potrebbe pensare che questo sia giusto, visto l'entità dei suoi consumi. In realtà, se si considerano solo le energie condivise in comunità, il Campo FV e il Grande Consumatore danno lo stesso contributo alla comunità, come si può vedere dalla tabella 4.20:

Modello Reale	Campo FV	Grande Consumatore	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Eccedenza	300	0	0	25	5	330
Esigenza	0	19900	15	0	0	19915
Ecc. in comunità	300,00	0,00	0,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	329,75	0,25	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	169,88	5,12	17,50	7,50	350,00
Condivisa %	42,86%	48,54%	1,46%	5,00%	2,14%	100,00%
Condivisa individuale	150	169,88	5,12	17,50	7,50	350

Tab. 4.20

Si vede come il Campo FV condivide tutta l'energia prodotta (300 kWh) con la comunità, contribuendo al 100% all'innalzamento dell'incentivo di comunità. Il grande consumatore ovviamente non riesce a coprire tutti i suoi consumi da energia prodotta dalla comunità, ma solo una piccola parte. Infatti, la sua condivisa in comunità (ovvero la parte delle sue esigenze coperte da energia prodotta dalla comunità) è di 329.75 kWh, a fronte di un'esigenza di 19900 kWh. La Condivisa in comunità del grande consumatore è circa uguale all'eccedenza in comunità del Campo FV, il che giustifica perché nel Modello Reale i due utenti percepiscono una percentuale simile di incentivo.

Per la prima volta la correzione ha un effetto anche sul Modello Reale, anche se tuttavia in maniera modesta. Questo perché oltre al grande consumatore abbiamo tre utenze domestiche, con valori di flussi energetici nettamente inferiori. In questo caso incide sul

grande consumatore, ponendo come tetto all'esigenza l'energia prodotta di comunità. In termini numerici è un'enorme riduzione, come visibile in tabella 4.21, ma che ha un effetto modesto essendo l'unica grande utenza, quindi nonostante la riduzione resta comunque la maggiormente premiata. L'effetto del tetto incide in maniera nettamente maggiore se ci sono più utenze industriali con esigenze importanti, a maggior ragione se di taglia differente, caso che verrà esaminato nel caso studio 4.

Modello Reale corretto	Campo FV	Grande Consumatore	Impianto 3	Impianto 4	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Eccedenza	300	0	0	25	5	330
Esigenza	0	510	15	0	0	525
Ecc. in comunità	300,00	0,00	0,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	320,57	9,43	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	165,29	9,71	17,50	7,50	350,00
Condivisa %	42,86%	47,22%	2,78%	5,00%	2,14%	100,00%
Condivisa individuale	150,00	165,29	9,71	17,50	7,50	350

Tab. 4.21

4.6: Caso studio 4

Si considera infine il caso di una comunità in cui ci sono due consumatori di tipo industriale: un “medio” e un “grande” consumatore. Il grande consumatore ha un fabbisogno esageratamente grande, un caso limite. Il medio consumatore è invece un consumatore industriale.

La comunità considerata è quindi:

Energia [kWh]	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Medio consumatore	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	9905	5	310	5	10225
Immessa	300	5	10	5	10	330
AutoC	0	95	20	40	25	180
Fabbisogno	0	10000	25	350	30	10405
Condivisa	0	5	5	5	5	330

Tab. 4.22

I risultati ottenuti col Modello Reale sono i seguenti:

MODELLO REALE	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Medio consumatore	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Eccedenza	300	0	0	25	5	330
Esigenza	0	19900	15	0	0	19915
Ecc. in comunità	300,00	0,00	0,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	329,75	0,25	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	169,88	5,12	17,50	7,50	350,00
Condivisa %	42,86%	48,54%	1,46%	5,00%	2,14%	100,00%
Condivisa individuale	150,00	169,88	5,12	17,50	7,50	350

Tab. 4.23

Mentre col Modello Alternativo:

MODELLO ALTERNATIVO	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Medio consumatore	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Sx	300	19910	25	35	15	20285
R*Sx	5,18	343,53	0,43	0,60	0,26	350
%	1,48%	98,15%	0,12%	0,17%	0,07%	100,00%

Tab. 4.24

Nel Modello Reale il Campo FV e il grande consumatore hanno lo stesso peso. Il campo FV capitalizza tutta la sua produzione, essendo una comunità sbilanciata dal lato dei consumi. Il grande consumatore invece, subisce una netta limitazione nell'esigenza (da 9900kWh a 300,73kWh), che gli garantisce in ogni caso una buona fetta di incentivo. Il medio consumatore invece percepisce una piccolissima parte di incentivo, nonostante abbia un'esigenza importante (305 kWh) circa uguale alla condivisa in comunità del grande consumatore.

Applicando la correzione i risultati diventano:

MODELLO REALE CORRETTO	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Medio consumatore	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Immessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Eccedenza	300	0	0	25	5	330
Esigenza	0	510	15	0	0	525
Ecc. in comunità	300,00	0,00	0,00	25,00	5,00	-
Condivisa in comunità	0,00	320,57	9,43	0,00	0,00	-
Merito virtuale	150,00	165,29	9,71	17,50	7,50	350,00
Condivisa %	42,86%	47,22%	2,78%	5,00%	2,14%	100,00%
Condivisa individuale	150,00	165,29	9,71	17,50	7,50	350

Tab. 4.25

Con l'applicazione della correzione al Modello Reale diminuisce la quota di incentivo per il grande consumatore, mentre aumenta enormemente la quota del piccolo consumatore. Questo perché inserendo la correzione viene posto un tetto all'esigenza del grande consumatore, che diventa dello stesso ordine di grandezza dell'esigenza del medio, per questo motivo con il tetto le quote di incentivo percepite dai due consumatori si avvicinano molto, nonostante il grande consumatore abbia un consumo enormemente superiore.

Nel caso senza tetto questo non avviene. Infatti, è vero che nel Modello Reale si tiene in considerazione solo della quota parte dell'esigenza utile alla comunità, tuttavia la condivisa in comunità è calcolata sull'esigenza totale, quindi se esiste un grande consumatore con fabbisogni enormemente superiori, la condivisa in comunità è riconosciuta per la maggior parte ad esso, nonostante ci sia un medio consumatore con un'esigenza che potrebbe essere soddisfatta dai produttori della comunità, e quindi potrebbe dare un contributo importante all'energia condivisa.

In queste circostanze l'applicazione della correzione è utile distribuire in maniera equa l'incentivo tra chi consuma. Inserendo il tetto sulle esigenze prima del calcolo del merito si pongono tutti gli utenti sullo stesso livello, eliminando l'effetto taglia, considerando effettivamente solo il contributo utile all'energia condivisa, indipendentemente dalla taglia dell'utente.

Infatti, esaminando i numeri, nella comunità analizzata la somma delle eccedenze degli utenti della comunità è di 310 kWh, che è l'energia disponibile per coprire le esigenze dei consumatori, aumentando l'energia condivisa. Abbiamo due consumatori: il grande con un'esigenza di 9900 kWh e il medio con 305 kWh. In che modo è più giusto suddividere i 310 kWh?

- 301 kWh al grande e 9 kWh al medio (senza correzione);
- 194 kWh al grande e 116 kWh al medio (con correzione).

Nel primo caso l'entità del fabbisogno dell'utente ha un forte peso nella ripartizione, mentre nel secondo caso le due esigenze sono poste sullo stesso livello. Si può concludere quindi che in questa tipologia di comunità la correzione ha un effetto determinante, permettendo una valutazione equa del contributo di ogni utente alla comunità.

Analizziamo infine il Modello Alternativo, che anche in questo caso assegna quasi la totalità del premio al grande consumatore, come visibile in tabella 4.26. La correzione equilibra parzialmente i risultati, che restano tuttavia sbilanciati. Infatti, resta penalizzato il Campo FV, che riceve comunque una minor percentuale di incentivo del medio consumatore, nonostante contribuisca maggiormente all'innalzamento dell'energia condivisa.

MODELLO ALTERNATIVO CORRETTO	Campo FV	Grande consumatore	Impianto 3	Medio consumatore	Impianto 5	Comunità
Prodotta	300	100	30	45	35	510
Prelevata	0	19905	20	5	5	19935
Imnessa	300	5	5	30	10	350
AutoC	0	95	25	15	25	160
Fabbisogno	0	20000	45	20	30	20095
Condivisa	0	5	5	5	5	350
Sx	300	515	25	35	15	890
R*Sx	117,98	202,53	9,83	13,76	5,90	350
%	33,71%	57,87%	2,81%	3,93%	1,69%	100,00%

Tab. 4.26

RIEPILOGO	Campo FV	Grande Consumatore	Impianto 3	Medio Consumatore	Impianto 5
MODELLO REALE	45,45%	47,08%	2,27%	2,92%	2,27%
MODELLO REALE CON CORREZIONE	45,45%	30,91%	2,27%	19,09%	2,27%
MODELLO ALTERNATIVO	2,84%	93,89%	0,14%	2,98%	0,14%
MODELLO ALTERNATIVO CON CORREZIONE	25,86%	44,40%	1,29%	27,16%	1,29%

Tab. 4.27

In conclusione, dalle prove effettuate emerge che:

- Il Modello Alternativo fa una valutazione quantitativa, basandosi esclusivamente sulla quantità di energia prodotta o consumata da un singolo utente, non tenendo in considerazione se questi flussi energetici contribuiscano o meno ad aumentare l'energia condivisa, andando a riconoscere un premio a flussi energetici che in realtà non danno contributo utile alla comunità. Questo effetto è proporzionale a quanto è sbilanciata la comunità. Più i flussi sono sbilanciati, più si ottengono risultati non veritieri;
- Il Modello Reale al contrario fa una analisi di tipo qualitativo, valutando quanto i flussi energetici contribuiscano effettivamente ad aumentare l'energia condivisa di comunità. Questo nelle comunità sbilanciate è di fondamentale importanza. Inoltre, può fungere da incentivo verso l'utente ad ottimizzare i suoi consumi, concentrandoli per quanto possibile nelle ore di maggior produzione;
- Più sbilanciate sono le comunità, più il Calcolo Alternativo e il Modello Reale divergono, prendendo strade completamente diverse;
- L'aggiunta del tetto sull'energia prelevata non ha nessun effetto sul Modello Reale applicato a comunità bilanciate o leggermente sbilanciate. In comunità con un solo grande consumatore e piccoli consumatori ha un effetto modesto, che aumenta all'aumentare della taglia del grande consumatore. Applicato a comunità con grandi e medi consumatori ha un effetto determinante, bilanciando la distribuzione dell'incentivo, ponendo tutti gli utenti sullo stesso livello, valutando effettivamente solo l'energia utile alla comunità, indipendentemente dalla taglia dell'utente.

Si è giunti quindi alla conclusione che l'algoritmo più affidabile è il Modello Reale, con eventuale correzione per i grandi consumatori che può essere applicata quando necessario. In realtà, si potrebbe anche usare a prescindere, in quanto dalle prove effettuate si è visto come in caso di comunità abbastanza bilanciate non arreca alcuna modifica al Modello Reale. Anche questa potrebbe essere un'alternativa proposta ad eventuali clienti interessati ad una configurazione del genere.

Le due varianti del modello sono state testate su una simulazione di comunità, per valutarne il comportamento su un esempio reale di comunità, svolto scegliendo quattro utenze, tra i

clienti di Energy Intelligence, dei quali sono stati esportati tutti i dati di produzione orari e i dati fiscali dei contatori ora per ora sull'intero 2020 (ovvero energia prelevata ed immessa ora per ora). In seguito a una fase di valutazione e scelta dei clienti da mettere insieme nella configurazione, si è simulata una comunità energetica, calcolando tramite gli algoritmi descritti nelle sezioni precedenti l'energia condivisa associata ad ogni impianto per ogni fascia oraria. Successivamente, con i dati raccolti, sono state svolte valutazioni dei benefici economici ed ambientali apportati dalla comunità.

La simulazione è stata svolta anche con il Modello Alternativo, per valutare in termini economici la differenza tra i due algoritmi su un caso reale. Le due simulazioni sono state svolte su due fogli Excel distinti, con dodici fogli di lavoro ciascuno (uno per ogni mese) in cui sono raccolti i dati orari per ogni mese dei vari impianti e sono stati svolti i calcoli per la determinazione dell'energia condivisa e dell'incentivo maturato. Vista la mole di dati, risulta complicato mostrare i risultati ottenuti con dettaglio giornaliero, riporterò quindi i risultati svolgendo un'analisi sull'intero anno, considerando l'evoluzione dei dati mensili.

Capitolo 5: Simulazione di una comunità energetica

Si entra ora nella parte finale del lavoro di tesi, in cui è stata simulata una comunità energetica sull'anno 2020 scegliendo tra gli impianti fotovoltaici gestiti da Energy Intelligence Srl quattro utenti con le caratteristiche adatte per aderire alla configurazione. Il primo step è stato quindi quello di scegliere degli utenti con esigenze tra loro compatibili, in modo da realizzare una comunità ben fatta e per quanto possibile bilanciata.

5.1: Scelta degli utenti

Come è stato già evidenziato dalle prove svolte sui diversi modelli, al fine di massimizzare la condivisione energetica una comunità dovrebbe essere caratterizzata da una produzione da fonti rinnovabili che segua il più possibile la curva dei consumi. Ovviamente, se si parla di produzione fotovoltaica (come sarà per il caso in esame) nei mesi più freddi dell'anno ciò risulterà complicato.

Per la simulazione sono stati scelti utenti diversi tra loro, in modo da poter ritrovare nel corso dei mesi le varie situazioni descritte nelle sezioni precedenti, in modo da valutare quanto le differenze tra i diversi algoritmi pesino in una simulazione reale. In particolare, sono state scelte tre utenze industriali e un condominio. Ogni utente è dotato di un proprio impianto fotovoltaico, autoconsumando in maniera diretta parte dell'energia, mettendo a disposizione della comunità i flussi energetici rimanenti. Delle tre utenze industriali, due hanno eccedenza di energia per gran parte dell'anno, mentre la terza è un grande consumatore. Procedo a descrivere nel dettaglio i quattro utenti, con i relativi impianti di produzione:

	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3
Potenza [kW]	37,00	70,56	50,59	120,00
kWh/kW _P	1150	1200	1400	1200

Tab. 5.1: Potenza e produzione degli impianti di comunità

Il condominio ha l'impianto di taglia inferiore, con una discreta produzione media annuale, mentre l'impianto più grande è quello dell'utenza industriale tre, che sarà il principale produttore della comunità. L'utenza industriale due è costituita da un impianto di media taglia, come l'utenza industriale uno, ma con una produzione nettamente migliore, producendo circa 200 kWh in più rispetto agli altri utenti per ogni kW di potenza installata.

Analizziamo ora la produzione e le curve di carico degli utenti, partendo dai dati presi da contatore inerenti il 2020, in modo da capire quale sarà l'andamento dei flussi energetici della comunità durante l'anno.

Partiamo dal condominio:

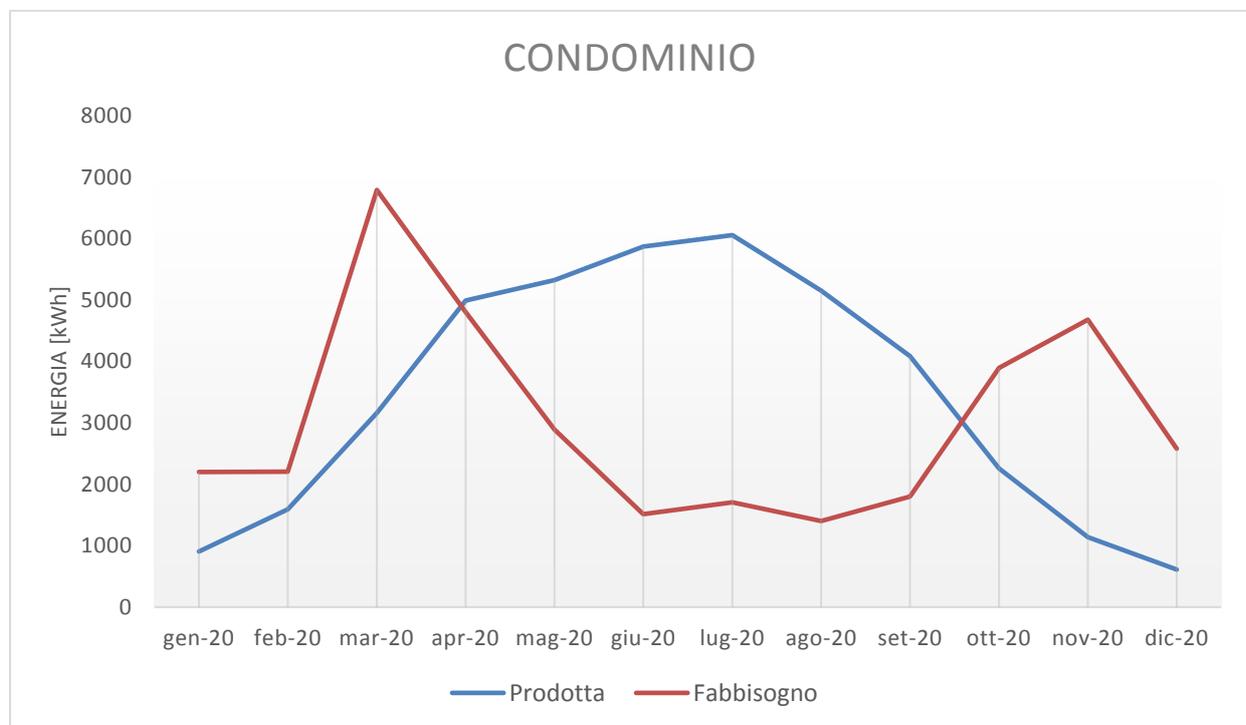


Fig. 5.2: Curva di produzione e di carico per il complesso condominiale

In figura 5.2 è riportato l'andamento mensile del fabbisogno e dell'energia prodotta dall'impianto condominiale, espressi in kWh. Nei mesi più caldi, in particolare da aprile a metà settembre, l'impianto ha un'eccedenza considerevole, mentre nei restanti mesi le curve si invertono, calando ovviamente la produzione fotovoltaica. In figura 5.3 è invece riportata la quota parte dell'energia prodotta dall'impianto che viene autonsumata in maniera diretta dal condominio:

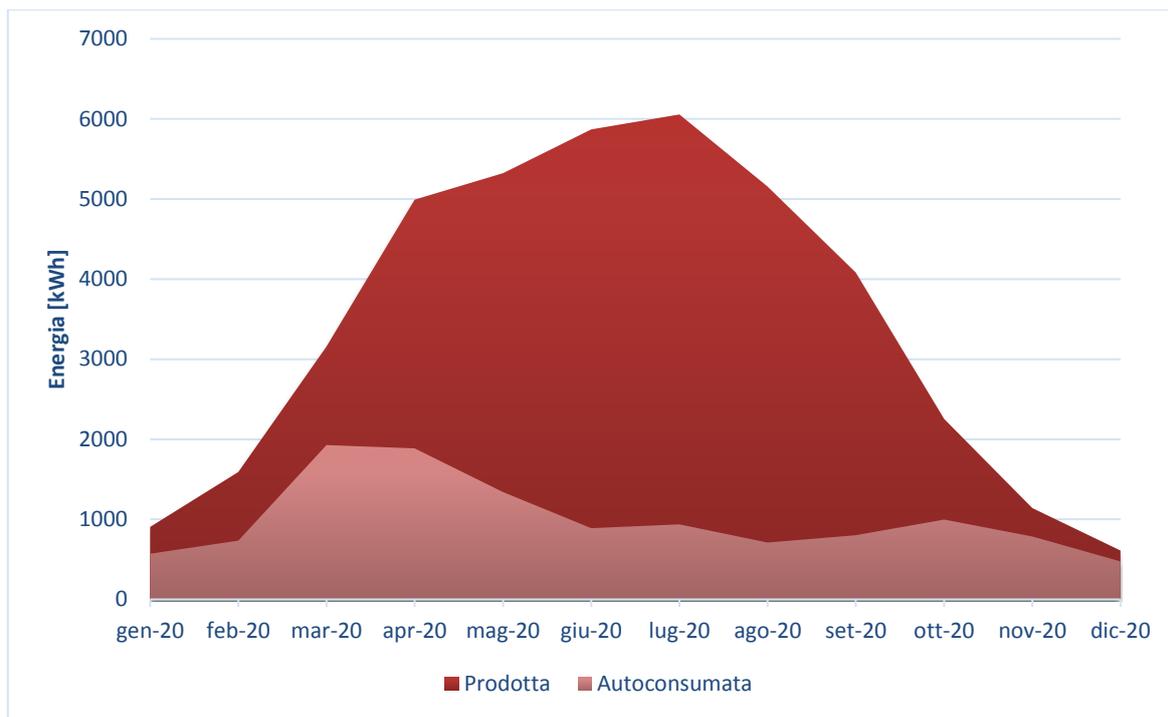


Fig. 5.2: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dal condominio

Si vede come solo una piccola parte dell'energia è autoconsumata in maniera diretta, resta invece una fetta importante di energia che ora per ora viene messa a disposizione della comunità e che darà quindi un contributo importante.

Passiamo ora alle utenze industriali, partendo dalla prima:

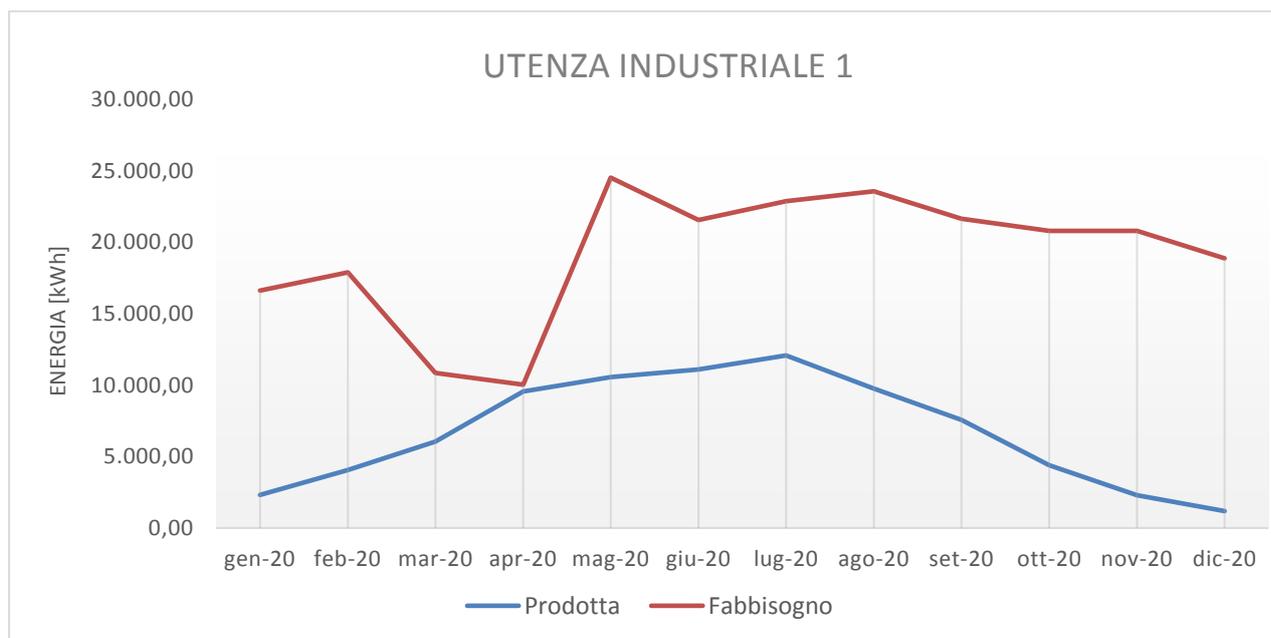


Fig. 5.3: Curva di produzione e di carico per l'utenza industriale 1

L'utenza industriale 1 è di fatto il grande consumatore della comunità, con un'importante esigenza energetica in tutti i mesi dell'anno, solo parzialmente coperti dalla produzione fotovoltaica. Ci aspettiamo quindi che quasi tutta l'energia prodotta sia consumata in maniera diretta, ipotesi confermata dalla figura 5.4. Tuttavia, vista la taglia dell'utente, nei mesi estivi la parte di energia non consumata direttamente non sarà irrilevante, ma darà il suo contributo. In particolare, nei mesi estivi sono messi a disposizione della comunità circa 6000 kWh.

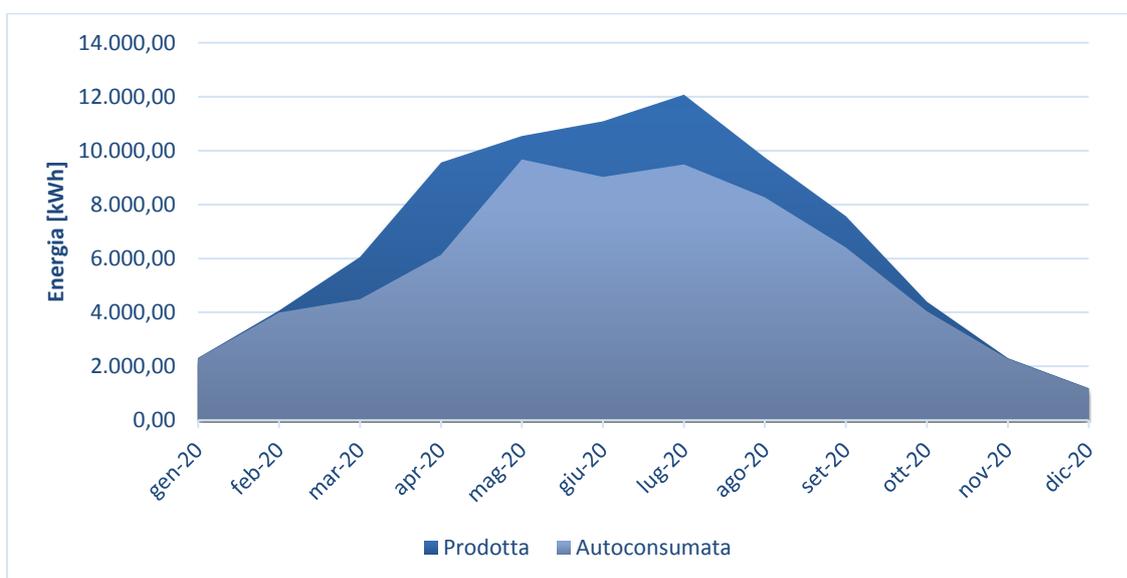


Fig. 5.4: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dall'utenza industriale 1

L'utenza industriale 2 invece segue maggiormente l'andamento del condominio, con eccedenza energetica nei mesi più caldi dell'anno, come visibile in figura 5.5. Ovviamente l'analogia è da fare in proporzione alla taglia, in quanto questo utente è di taglia superiore al condominio, di conseguenza i flussi energetici in gioco sono di un'altra entità.

Dalla figura 5.6 si vede come questo impianto consumi una buona fetta dell'energia prodotta direttamente, essendo un'importante utenza industriale. Tuttavia, soprattutto nei mesi estivi, il gap si allarga notevolmente e l'impianto si comporterà prevalentemente come produttore.

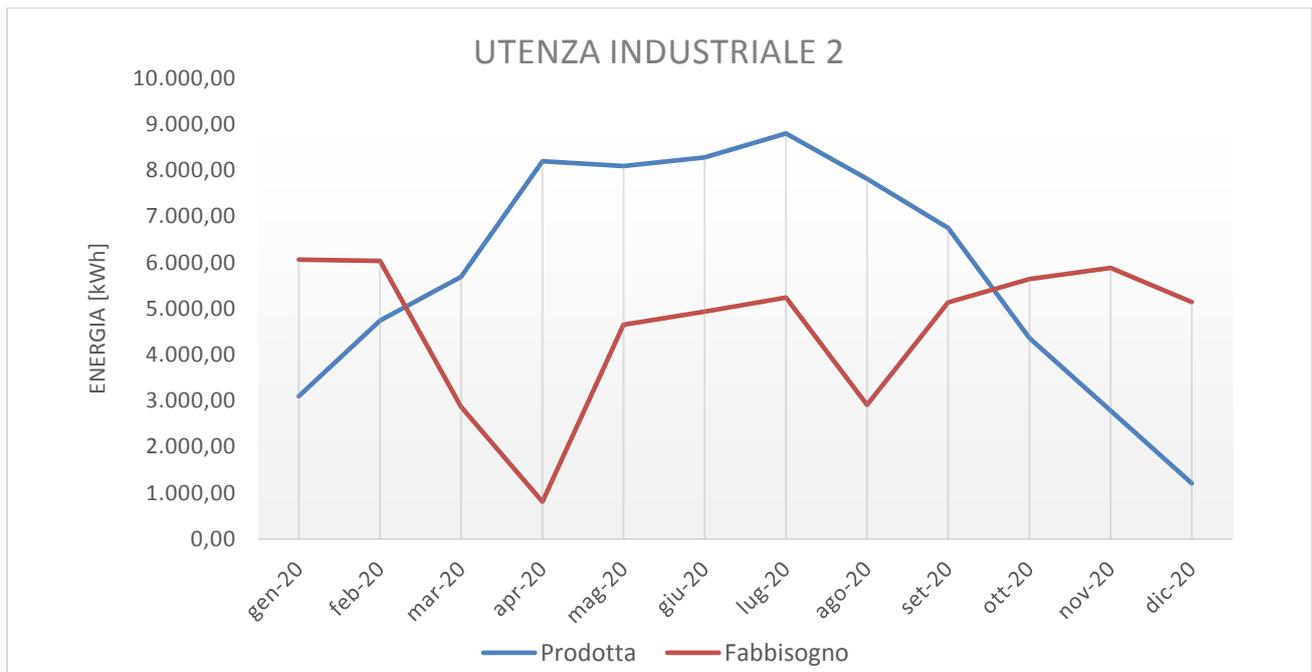


Fig. 5.5: Curva di produzione e di carico per l'utenza industriale 2

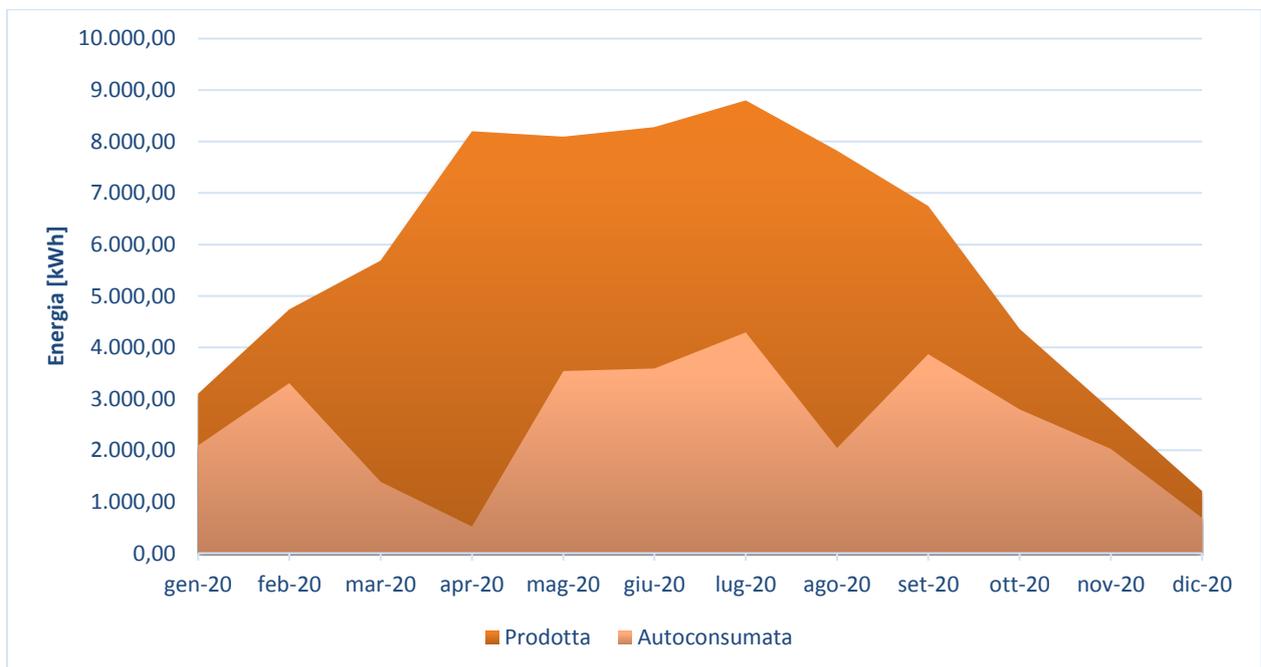


Fig. 5.6: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dall'utenza industriale 2

Infine, introduciamo l'utenza industriale 3, dotata dell'impianto di produzione più grande della comunità.

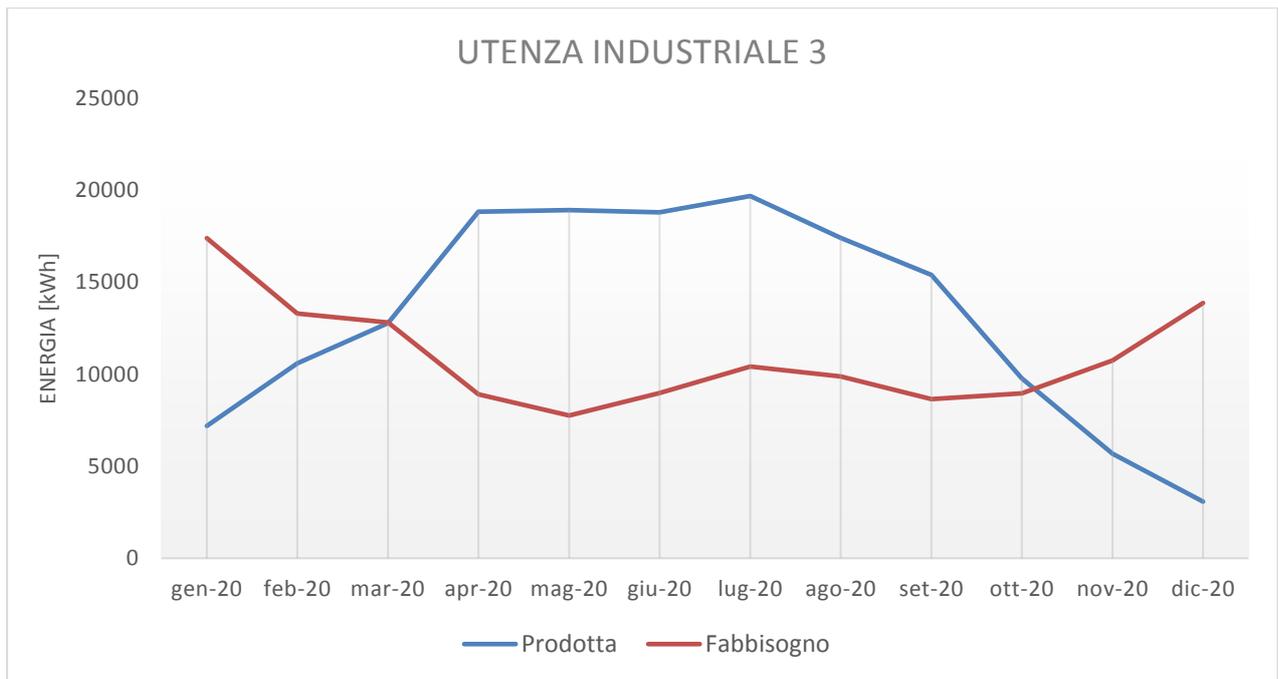


Fig. 5.7: Curva di produzione e di carico per l'utenza industriale 3

Come mostra la figura 5.7, questo utente oltre ad essere il più grande produttore è anche un importante consumatore, comunque non quanto l'utenza industriale 1. Soprattutto nei mesi più freddi dell'anno questi due utenti hanno un'esigenza notevole.

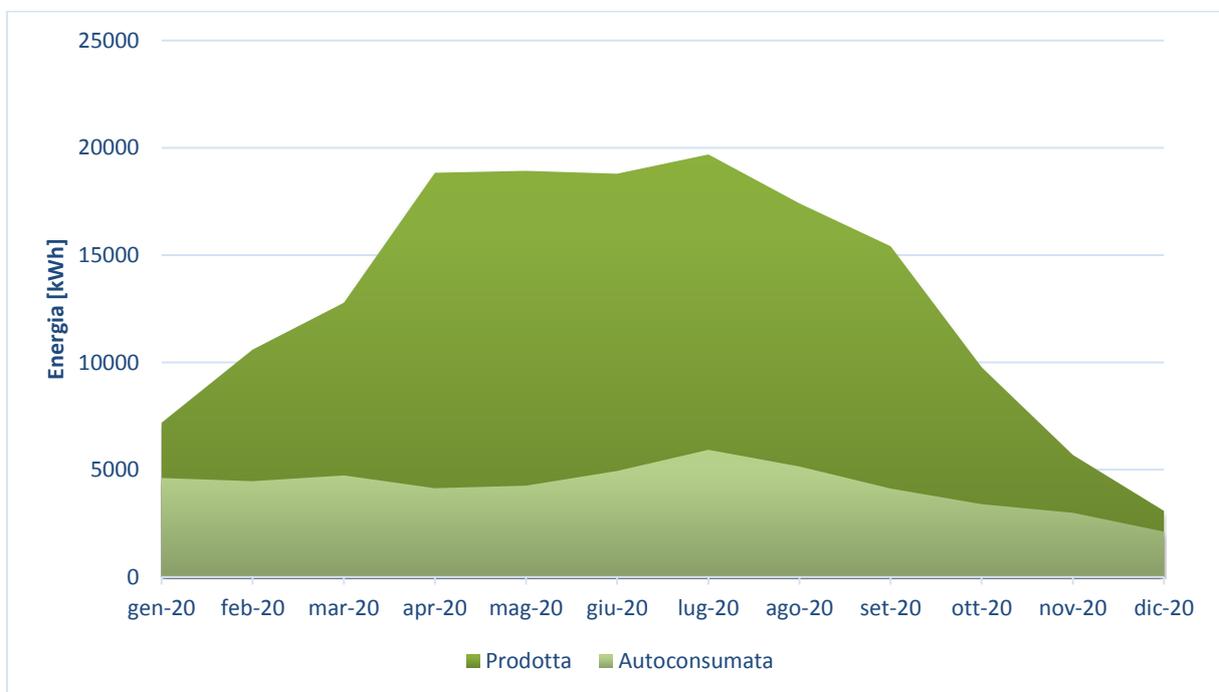


Fig. 5.8: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dall'utenza industriale 3

La figura 5.8 mostra come questo impianto autoconsumi solo una piccola parte dell'energia prodotta, che anche nei mesi invernali resta parzialmente scoperta, nonostante abbiamo visto che in inverno l'impianto abbia un'esigenza notevole. Una situazione simile la ritroviamo anche per l'utenza industriale 2. Questo ci consente di approfondire il concetto di contemporaneità dei flussi energetici. Infatti, l'autoconsumo può esserci solo in caso di contemporaneità tra fabbisogno ed energia prodotta. Non è quindi detto che se nell'arco di una giornata ho un fabbisogno maggiore dell'energia prodotta, io riesca ad autoconsumarla interamente. Le due utenze industriali che stiamo descrivendo, hanno infatti anche dei consumi notturni, che sono scoperti da produzione fotovoltaica. Stesso discorso vale nei mesi invernali, dove è vero che ho consumi elevati, ma anche bassa produzione, quindi buona parte dei consumi saranno scoperti. Questa può sembrare un'assunzione banale, ma è bene tenere a mente questo concetto, in quanto stiamo esaminando dati mensili di una simulazione eseguita con dati orari, di conseguenza c'è il rischio di perdere qualche informazione, soprattutto in seguito, quando andremo ad esaminare l'energia condivisa maturata da questa comunità. Non è possibile riportare qui i risultati completi della simulazione, ma per mettere in evidenza il concetto potrebbe essere utile fare degli esempi giornalieri a cadenza oraria. Prima di ciò, farei un riepilogo dei dati presentati finora, mostrando l'andamento del fabbisogno e della produzione durante l'anno per l'intera comunità:

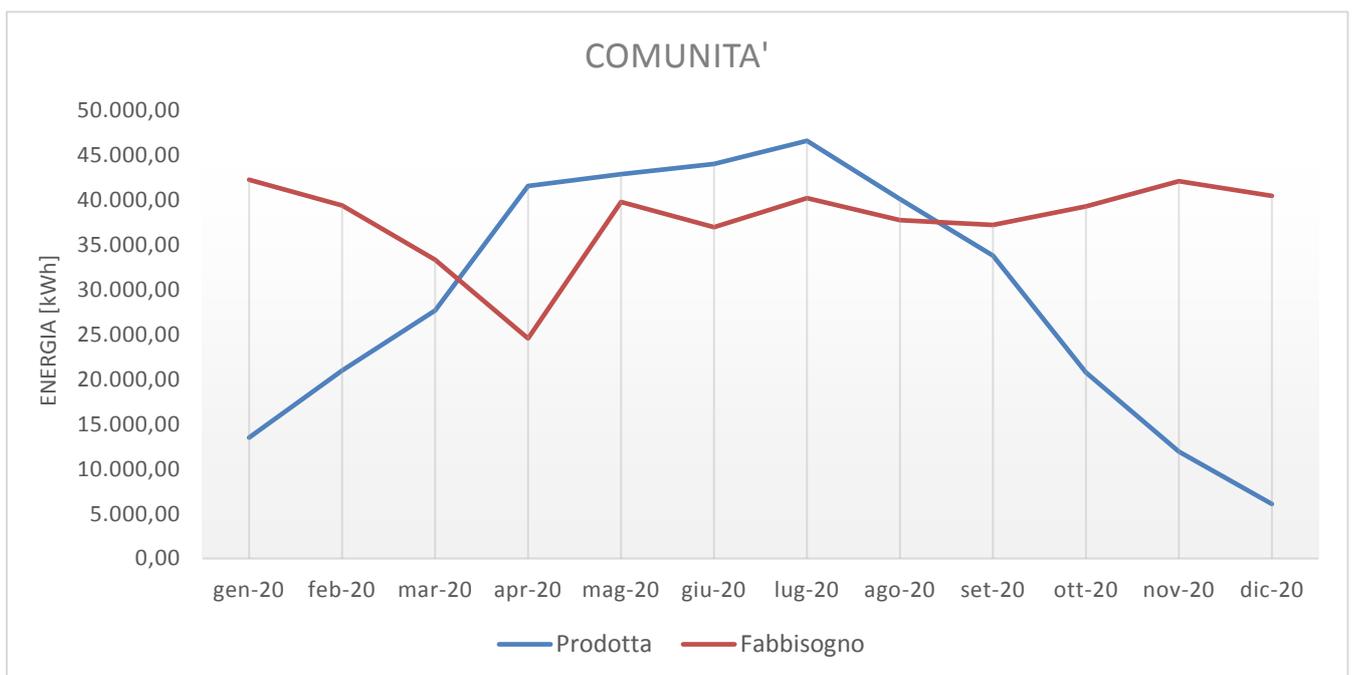


Fig. 5.9: Curva di produzione e di carico per la comunità

Come mostra la figura 5.9, mettendo insieme il fabbisogno dei quattro utenti la curva di carico si appiattisce molto, e segue la curva di produzione per gran parte dell'anno, in particolare da marzo a settembre. Ovviamente, essendo tutti gli impianti di produzione di tipo fotovoltaico, nei mesi più freddi non si riesce a coprire le esigenze della comunità. In ogni modo la comunità si può considerare abbastanza bilanciata, il che è già un buon punto di partenza in un'ottica di massimizzazione dell'energia condivisa.

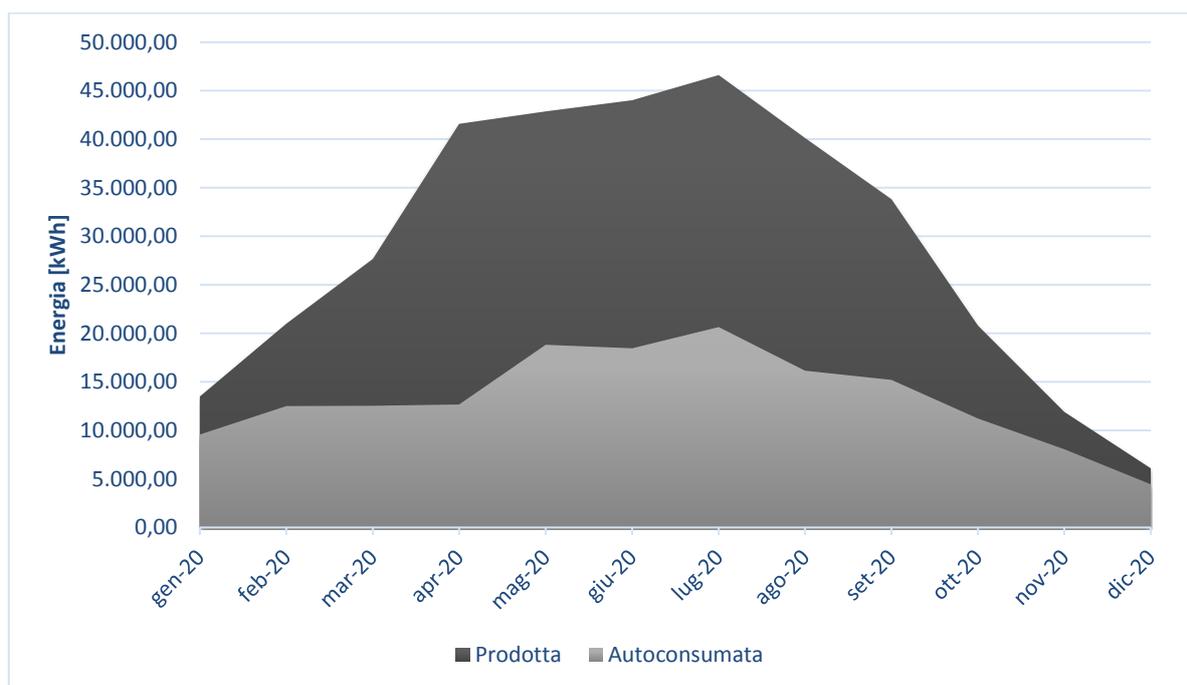


Fig. 5.10: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dalla comunità

In figura 5.10 è invece mostrata la parte di energia prodotta di comunità autoconsumata in maniera diretta. Come si vede, globalmente l'autoconsumo assorbe circa il 45% dell'energia prodotta, con relativo sconto in bolletta per gli utenti che ne beneficiano. Il 55% dell'energia prodotta invece è sottoposta al meccanismo di incentivazione illustrato nelle sezioni precedenti.

Per completezza si mostrano ora i grafici di produzione e fabbisogno di due giornate, in particolare il 15 gennaio e il 15 luglio, con cadenza oraria, in modo da capire maggiormente da quali dati provengo i risultati sopra illustrati. In figura 5.11 e 5.12 sono mostrate le curve inerenti la giornata del 15 gennaio:



Tab. 5.11: Curva di produzione e di carico per la comunità in data 15/01/2020

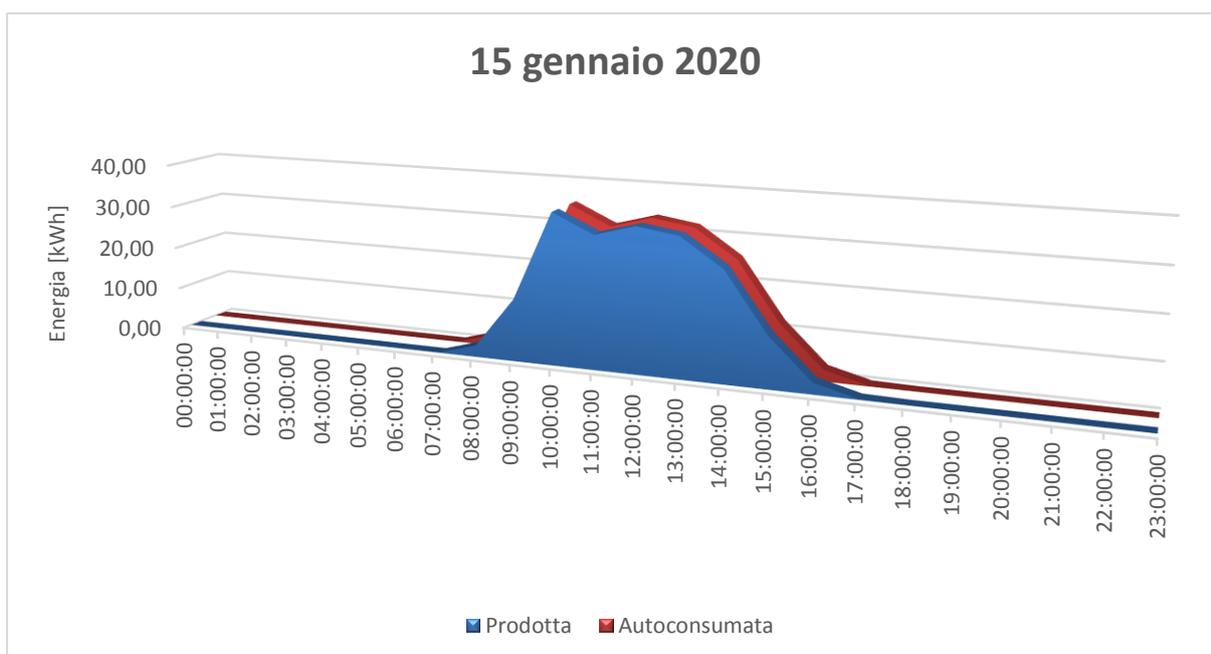


Fig. 5.12: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dalla comunità in data 15/01/2020

Ovviamente, essendo in pieno inverno il fabbisogno di comunità supera largamente la produzione e questo comporta che quasi tutta l'energia prodotta sia autoconsumata dalla comunità. In questo caso quindi solo una piccola parte dell'energia entra nel circuito di condivisione, ed è il motivo per cui una comunità di questo non è efficiente nei mesi invernali. Per risolvere questo problema, una soluzione potrebbe essere quella di realizzare

anche impianti di generazione con fonte diversa di quella solare, con annessa installazione di sistemi di accumulo, in modo da garantire una discreta disponibilità di energia anche nei mesi più freddi. Ritroviamo inoltre quanto detto in precedenza riguardo il fabbisogno notturno, che resta scoperto dalla produzione fotovoltaica. Completamente diversa è la situazione nei mesi estivi, come mostrano le figure 5.13 e 5.14, inerenti i flussi energetici del 15 luglio 2020:



Tab. 5.13: Curva di produzione e di carico per la comunità in data 15/07/2020

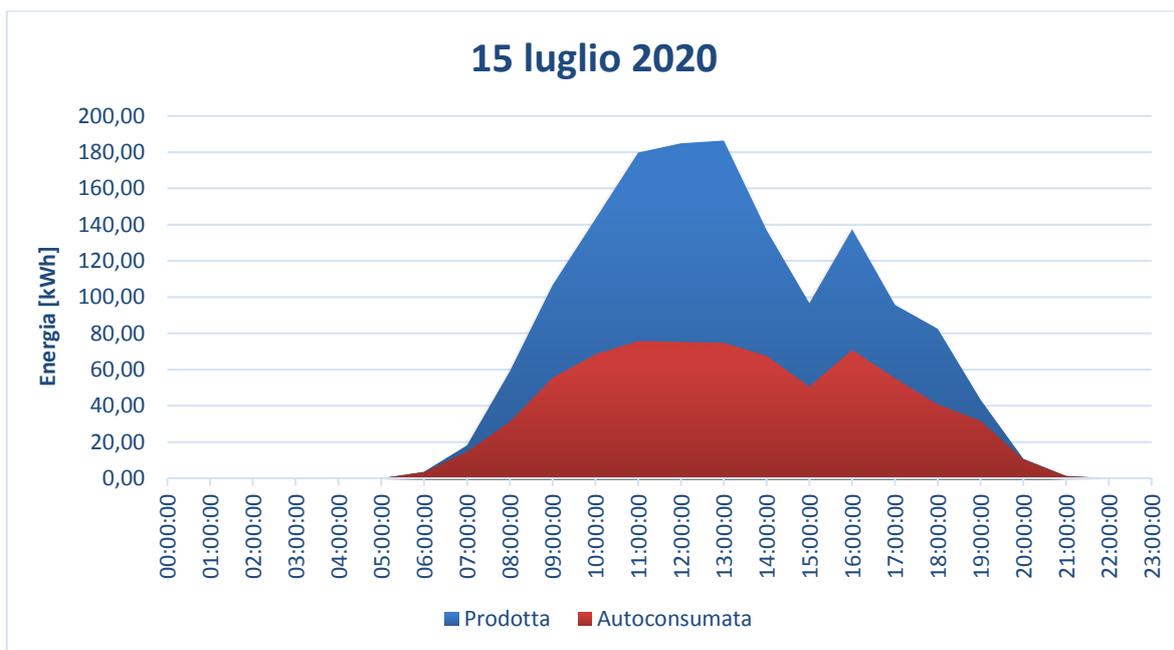


Fig. 5.14: Parte dell'energia prodotta autoconsumata dalla comunità in data 15/07/2020

In questo caso è la produzione ad essere superiore al fabbisogno di comunità in tutto l'arco della giornata e di conseguenza solo una parte dell'energia è autoconsumata. Siamo in quel periodo dell'anno in cui come abbiamo visto la comunità è bilanciata nei suoi flussi energetici e c'è un'importante quantità di energia disponibile alla condivisione.

Presentata la comunità, descrivendone gli utenti e illustrandone i flussi energetici, si procede ora ad analizzare i frutti che questa configurazione avrebbe prodotto nel 2020, valutando l'energia condivisa accumulata, l'apporto di ogni utente, con relativi benefici economici, applicando i diversi algoritmi. Dalle prove effettuate nel capitolo 4 è venuto fuori come il modello più affidabile sia il Modello Reale. La simulazione è stata effettuata oltre con quest'ultimo anche col Modello Alternativo, in modo da compararli su un caso reale, evidenziandone le differenze. E' stato valutato inoltre l'effetto della correzione introdotta nel caso dei grandi consumatori per valutarne l'effettivo impatto. Sarà poi infine analizzato il contributo effettivo che questa configurazione avrebbe apportato in termini di riduzione dell'impatto ambientale dei consumi energetici, in modo da avere un'idea di quanto le comunità energetiche, se diffuse capillarmente sul territorio, possano essere determinanti per il raggiungimento degli obiettivi ambientali preposti.

5.2 Energia condivisa dalla comunità

Per calcolare l'energia condivisa oraria di comunità bisogna partire dai dati fiscali orari dei contatori di scambio degli utenti. Per la visualizzazione dei risultati compatterò i dati mostrando il totale mensili dei vari flussi energetici, il che non altera i risultati. Infatti, l'energia condivisa mensile di comunità non è altro che la somma dell'energia condivisa accumulata nelle varie fasce orarie. Mostro quindi il riepilogo dell'energia immessa e prelevata mensile dei quattro utenti:

Energia Immessa [kWh]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	121,60	25,40	995,04	2559,00	3701,04
FEBBRAIO	858,20	68,80	1290,30	6117,00	8334,30
MARZO	1235,60	1556,40	4149,89	8043,00	14984,89
APRILE	3101,40	3457,49	7303,32	14687,00	28549,21
MAGGIO	3914,60	873,40	3586,90	14682,30	23057,20
GIUGNO	4877,35	2054,80	4461,66	13874,60	25268,41
LUGLIO	4919,49	2580,60	4189,25	13773,60	25462,94
AGOSTO	4273,46	1475,00	5485,42	12314,32	23548,20
SETTEMBRE	3201,48	1160,40	2722,03	11313,10	18397,01
OTTOBRE	1272,60	350,40	1504,72	6389,00	9516,72
NOVEMBRE	352,30	26,40	747,60	2691,00	3817,30
DICEMBRE	138,55	10,20	479,18	971,60	1599,53
TOTALE	28266,63	13639,29	36915,31	107415,52	186236,75

Tab. 5.15: Energia immessa mensile [kWh]

Nelle figure 5.15 e 5.16 vediamo confermato ciò che abbiamo visto nella precedente sezione, ovvero che l'utenza industriale 3 è il più grande produttore della comunità. Al netto dell'energia autoconsumata, resta anche l'utenza con la più alta energia immessa in rete. Al

contrario, l'utenza industriale 1 immette una piccola quantità energia, in quanto consuma in maniera diretta gran parte dell'energia prodotta, come mostra la figura 5.4.

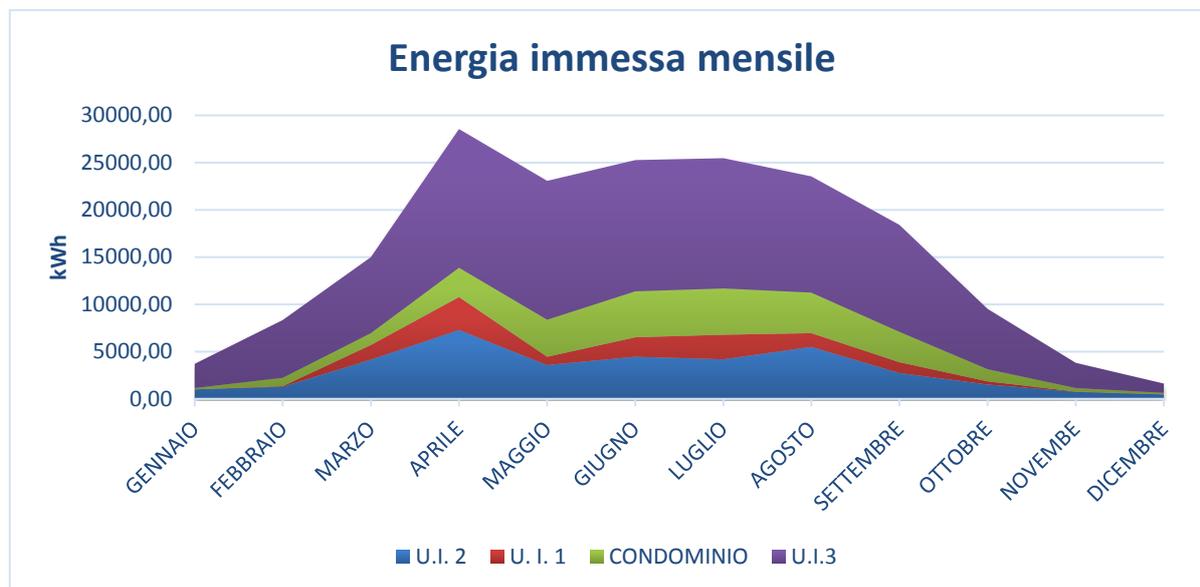


Fig. 5.16: Energia immessa mensile

Energia Prelevata [kWh]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	1825,20	13778,60	3912,22	12732,56	32248,58
FEBBRAIO	1473,30	13701,60	2736,01	8827,40	26738,31
MARZO	4860,60	6194,40	1436,54	8108,28	20599,82
APRILE	2921,29	3709,97	290,84	4844,61	11766,71
MAGGIO	1559,10	14639,20	1357,52	3538,40	21094,22
GIUGNO	624,29	12227,70	1327,92	4058,60	18238,51
LUGLIO	770,64	13033,90	988,23	4505,80	19298,57
AGOSTO	691,60	14943,10	868,14	4732,20	21235,04
SETTEMBRE	998,75	14947,85	1259,16	4560,00	21765,76
OTTOBRE	2892,10	16476,00	2845,86	5561,10	27775,06
NOVEMBRE	3899,80	18317,80	3855,64	7746,80	33820,04

DICEMBRE	2107,46	17484,40	4461,55	11760,70	35814,11
TOTALE	24624,13	159454,52	25339,63	80976,45	290394,73

Tab. 5.17: Energia prelevata mensile [kWh]

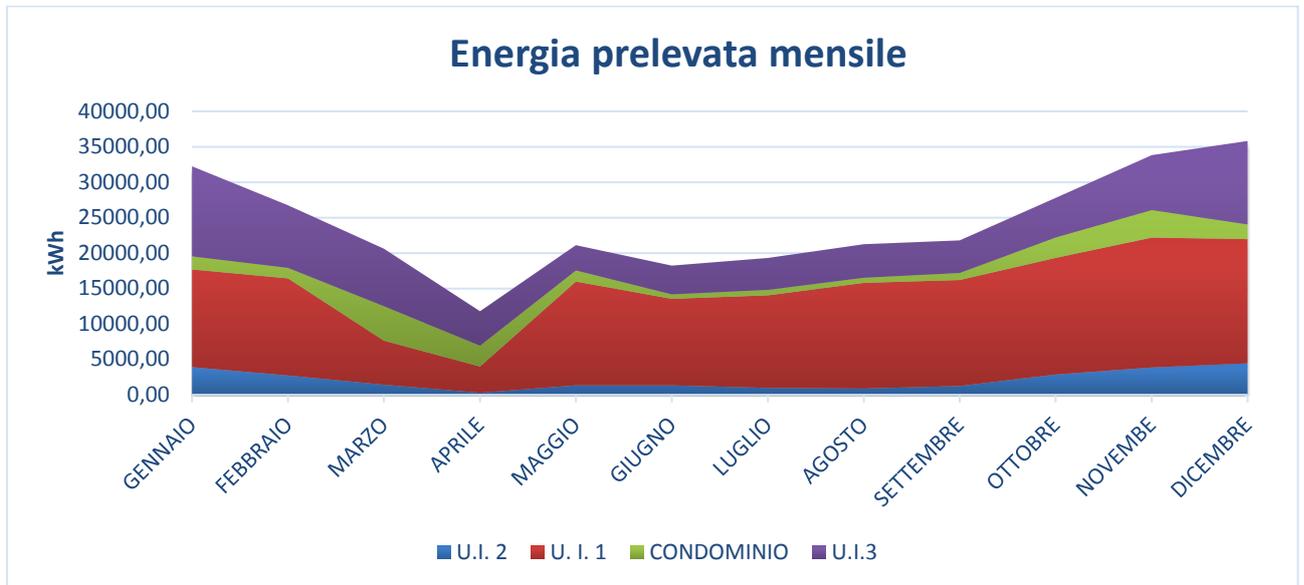


Fig. 5.18: Energia prelevata mensile

Per quanto riguarda i prelievi invece, l'utenza industriale 1 si conferma il più grande consumatore della comunità, con la maggior energia prelevata durante l'intero anno, anche al netto dell'energia autoconsumata. L'utenza industriale 3 preleva relativamente poco nei mesi estivi, mentre nei mesi invernale diventa anch'essa un consumatore importante.

Con questi dati, l'energia condivisa maturata dalla comunità è la seguente:

ENERGIA CONDIVISA	[kWh]
GENNAIO	3156,97
FEBBRAIO	4632,79
MARZO	2258,82
APRILE	1055,64
MAGGIO	7999,16
GIUGNO	5485,96
LUGLIO	4720,50
AGOSTO	6006,65
SETTEMBRE	5531,13

OTTOBRE	4911,74
NOVEMBRE	3456,44
DICEMBRE	1155,71
TOTALE	50371,51

Tab. 5.19: Energia condivisa dalla comunità

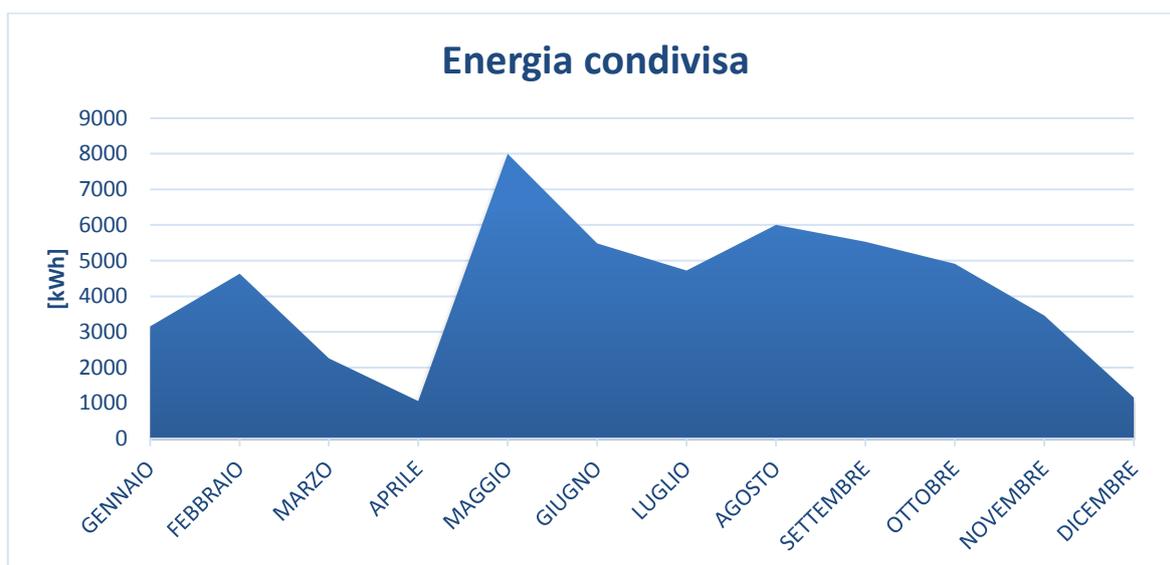


Fig. 5.20: Energia condivisa di comunità

In un anno la comunità energetica ha condiviso circa 50 MWh di energia elettrica, ovvero circa il 17% dell'energia prelevata dalla comunità in tutto il 2020 e il 27% dell'energia immessa in rete. Sono numeri importanti, e migliorabili, considerando che nei mesi di marzo e aprile le utenze industriali 1 e 2 hanno avuto un netto calo del fabbisogno che ha inficiato la comunità in quei mesi. Ciò vuol dire che all'energia già autoconsumata direttamente degli impianti aggiungiamo un'altra fetta importante di energia rinnovabile.

COMUNITA'	[MWh]	%
Fabbisogno	452,01	-
Autoconsumata	161,61	35,75%
Condivisa	50,37	11,14%
Auto C. + Condivisa	212,0	46,90%

Tab. 5.21: Percentuale del fabbisogno coperto da energia rinnovabile

Come mostra la figura 5.21, si passa da una copertura del fabbisogno con energia rinnovabile del 35,75% al 46,90%. Questo comporta una non indifferente riduzione dell'impatto ambientale dei consumi energetici dei quattro utenti aderenti alla comunità. Infatti, al giorno d'oggi il fattore di emissione di CO₂ è di 433,2 grammi di anidride carbonica per ogni kWh di energia prodotta con l'attuale sistema di generazione, prevalentemente di natura termoelettrica, come mostra la figura 5.22. [16]

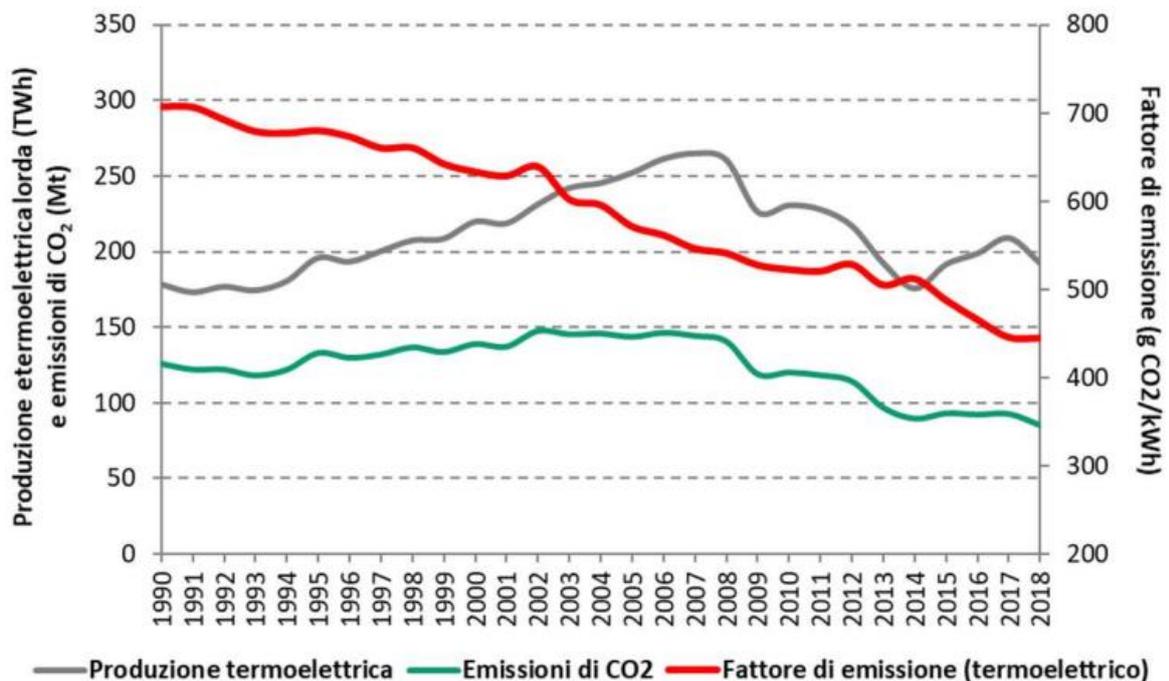


Fig. 5.22: Andamento della produzione termoelettrica, delle emissioni di CO₂ e del fattore di emissione, [16]

Come si vede, il fattore di emissione è diminuito molto negli ultimi 30 anni, ma ciò non è ancora sufficiente. Le emissioni di anidride carbonica sono infatti ancora a livelli elevatissimi, nonostante il leggero trend calante, e una svolta in tal senso può essere data solo coprendo il più possibile la generazione di energia con fonti rinnovabili, con l'obiettivo di sostituirla a quella tradizionale. L'efficientamento delle tecnologie tradizionali non può ormai essere sufficiente.

Applicando il fattore di emissione alla nostra comunità, è possibile determinare la quantità di anidride carbonica evitata nell'arco del 2020, come riportato nella tabella 5.23. In un anno l'adesione alla comunità energetica ha permesso ai quattro utenti di evitare l'emissione di

circa 22 tonnellate di anidride carbonica. Si tratta di un impatto enorme, se si pensa che stiamo parlando solo di quattro utenti e che la differenza è stata causata dal solo fatto di agire collettivamente, di condividere i propri flussi energetici. Sono risultati molto promettenti, che evidenziano come ci sia la necessità di diffondere queste realtà sul territorio nazionale, in modo da rendere le comunità locali quanto più autosufficienti a livello energetico, alimentate da un sistema prevalentemente basato su fonti rinnovabili, in cui la sensibilizzazione del cittadino sul peso dei propri consumi ha una grande importanza.

	ENERGIA CONDIVISA [kWh]	KG CO ₂ EVITATE
GENNAIO	3156,97	1367,60
FEBBRAIO	4632,79	2006,92
MARZO	2258,82	978,52
APRILE	1055,64	457,30
MAGGIO	7999,16	3465,24
GIUGNO	5485,96	2376,52
LUGLIO	4720,50	2044,92
AGOSTO	6006,65	2602,08
SETTEMBRE	5531,13	2396,09
OTTOBRE	4911,74	2127,77
NOVEMBRE	3456,44	1497,33
DICEMBRE	1155,71	500,66
TOTALE	50371,51	21820,94

Tab. 5.23: Emissioni di CO2 evitate

Abbiamo analizzato i benefici ambientali apportati dall'energia condivisa in comunità. A livello economico invece, cosa cambia per gli utenti?

Per rispondere a questa domanda bisogna innanzitutto calcolare, nota l'energia condivisa, la quantità di incentivo accumulato mese per mese dalla comunità. Come abbiamo già detto, la tariffa incentivante sull'energia condivisa è pari a 0,11€/kWh. Di conseguenza si ottiene:

	Energia Incentivata [kWh]	Incentivo maturato [€]
GENNAIO	3156,97	347,27
FEBBRAIO	4632,79	509,61
MARZO	2258,82	248,47
APRILE	1055,64	116,12
MAGGIO	7999,16	879,91
GIUGNO	5485,96	603,46

LUGLIO	4720,50	519,26
AGOSTO	6006,65	660,73
SETTEMBRE	5531,13	608,42
OTTOBRE	4911,74	540,29
NOVEMBRE	3456,44	380,21
DICEMBRE	1155,71	127,13
TOTALE	50371,51	5540,87

Tab. 5.24: Incentivo maturato dalla comunità

L'incentivo maturato in un anno è di circa 5540€, che dovrà essere poi ripartito tra i quattro utenti della comunità, in base al sistema di ripartizione scelto dagli utenti stessi. Alla tariffa incentivante bisogna aggiungere anche la componente BTAU, la componente dei costi di distribuzione che viene restituita dal GSE per l'energia condivisa, pari a 0,0082 €/kWh. Quindi l'importo complessivo erogato dal GSE alla comunità è pari a:

	Energia Incentivata [kWh]	Incentivo maturato [€]	Importo erogato dal GSE
GENNAIO	3156,97	347,27	373,15
FEBBRAIO	4632,79	509,61	547,60
MARZO	2258,82	248,47	266,99
APRILE	1055,64	116,12	124,78
MAGGIO	7999,16	879,91	945,50
GIUGNO	5485,96	603,46	648,44
LUGLIO	4720,50	519,26	557,96
AGOSTO	6006,65	660,73	709,99
SETTEMBRE	5531,13	608,42	653,78
OTTOBRE	4911,74	540,29	580,57
NOVEMBRE	3456,44	380,21	408,55
DICEMBRE	1155,71	127,13	136,61
TOTALE	50371,51	5540,87	5953,91

Tab.5.25: Importo complessivo erogato dal GSE

L'importo sale quindi a circa seimila euro ricevuto dalla comunità. Naturalmente i benefici economici derivanti dall'adesione avranno un ruolo determinante nello sviluppo di queste configurazioni, nonostante il fatto che gli obiettivi delle comunità energetiche sono altri. Infatti, è ovvio che chi investe in queste configurazioni debba avere un ritorno economico, da questo nasce il meccanismo incentivante, tentando di spingere gli imprenditori del settore a muoversi in tal senso.

Come già detto, una volta ricevuto l'importo, sta alla comunità ripartirlo tra i suoi membri. Si entra quindi nella seconda parte della simulazione, in cui sono stati applicati alla comunità sotto esame il Modello Reale e il Modello Alternativo di ripartizione. Si procede quindi ad analizzare i risultati ottenuti.

5.3: Applicazione del Modello Reale

Partendo dai dati fiscali orari dei contatori di scambio degli utenti, si calcola la ripartizione dell'energia condivisa (e quindi dell'incentivo) calcolata nella sezione precedente applicando il Modello Reale precedentemente illustrato. I risultati mensili ottenuti sono riepilogati in tabella 5.26:

ENERGIA CONDIVISA [kWh]	Condominio	Utenza industriale 1	Utenza industriale 2	Utenza industriale 3	COMUNITA
GENNAIO	133,24	1175,99	591,64	1256,10	3156,97
FEBBRAIO	233,79	1933,81	704,05	1761,15	4632,79
MARZO	514,73	533,33	486,84	723,91	2258,82
APRILE	310,56	263,66	147,62	333,80	1055,64
MAGGIO	765,80	3548,02	1132,79	2552,55	7999,16
GIUGNO	462,50	2704,99	828,45	1490,03	5485,96
LUGLIO	395,82	2359,38	625,80	1339,51	4720,50
AGOSTO	526,48	2993,30	820,58	1666,29	6006,65
SETTEMBRE	459,90	2578,45	774,98	1717,80	5531,13
OTTOBRE	472,18	2041,50	703,95	1694,11	4911,74
NOVEMBRE	342,43	1333,81	489,81	1290,39	3456,44
DICEMBRE	82,22	453,92	203,37	416,20	1155,71
TOTALE	4699,64	21920,16	7509,88	16241,83	50371,51

Tab. 5.26: Ripartizione dell'energia condivisa applicando il Modello Reale

Si vede come l'utenza industriale 1 sia per gran parte dell'anno l'utente maggiormente premiato, vedendosi riconosciuta sull'intero anno circa il 44% dell'energia condivisa totale. In particolare, il premio maggiore lo percepisce nei mesi più caldi, da aprile ad ottobre, che sono i mesi in cui l'energia prodotta dalla comunità supera il fabbisogno. Infatti, ricordiamo che l'utenza industriale 1 è il grande consumatore della comunità, di conseguenza nei mesi in cui la comunità ha eccedenza di energia riesce a coprire gran parte dei suoi consumi con energia prodotta dalla comunità, contribuendo notevolmente all'energia condivisa. Il secondo utente maggiormente premiato è l'utenza industriale 3, che invece è il più grande produttore della comunità, vedendosi riconosciuta circa il 32% dell'energia condivisa totale. In termini quantitativi, i flussi energetici messi a disposizione da questa utenza sono superiori rispetto a quelli dell'utenza industriale 1, tuttavia nei mesi più caldi, come abbiamo detto, la comunità ha eccedenza di energia prodotta, di conseguenza compiendo un'analisi qualitativa dei flussi, questo utente non riuscirà a condividere tutta l'energia prodotta, ma

solo una parte, ovvero la parte coperta dai consumi della comunità. Per questo motivo è meno premiato del grande consumatore. Al contrario, nei mesi invernali l'utenza industriale 3 raggiunge i livelli del grande consumatore, spesso superandolo. Questo perché, seguendo lo stesso ragionamento, in inverno la comunità ha esigenza di energia, di conseguenza i produttori riusciranno a condividere gran parte dell'energia prodotta.

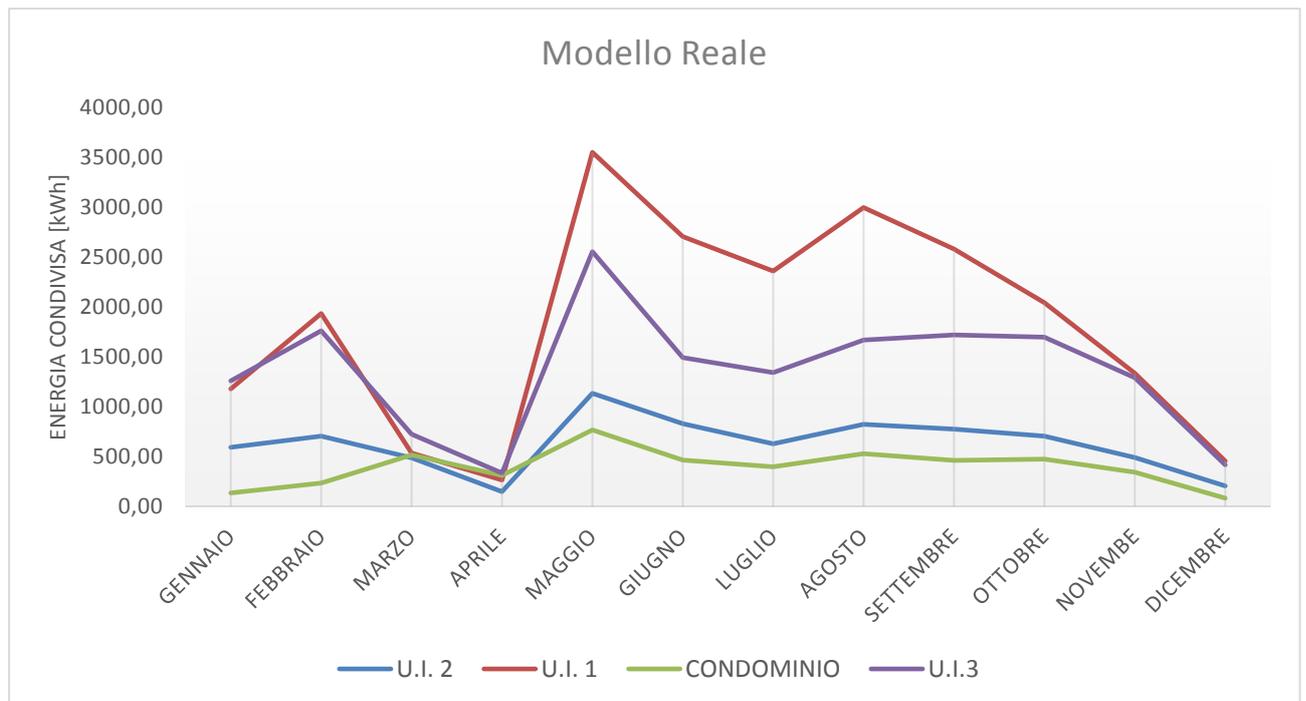


Fig. 5.26: Andamento dell'energia condivisa applicando il Modello Reale

La restante parte dell'energia condivisa (ovvero circa il 34% del totale) è ripartita tra il condominio (che è l'utenza più piccola della comunità) e l'utenza industriale 2 (che è l'utenza con la maggior percentuale di energia autoconsumata in maniera diretta, di conseguenza è meno premiata, mettendo a disposizione della comunità solo una piccola parte dei suoi flussi energetici). Dai risultati ottenuti, sono stati confermati i punti di forza di questo algoritmo, trattati nei capitoli 3 e 4, in particolare il saper premiare ogni utente in base all'effettivo contributo dato alla comunità, distinguendo qualitativamente i flussi energetici. Un ulteriore riepilogo della ripartizione dell'energia condivisa è raffigurato in figura 5.27.

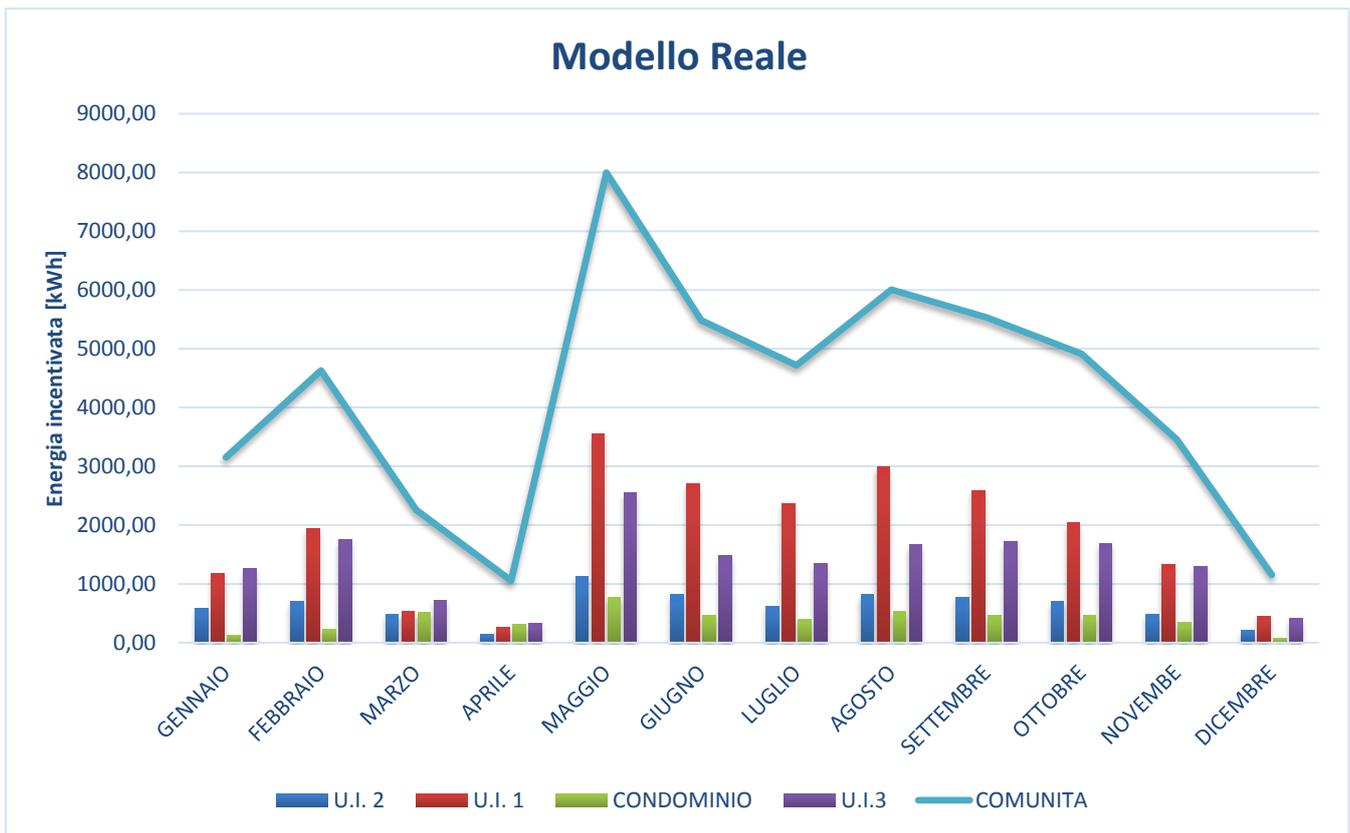


Fig. 5.27: Ripartizione dell'energia condivisa applicando il Modello Reale

Si può notare come nei mesi invernali si viene a creare una situazione particolare, analizzata nel capitolo 4, ovvero quella in cui la comunità è costituita da due consumatori industriali, di taglia differente. In particolare, l'utenza industriale 1 è il grande consumatore della comunità, mentre l'utenza industriale 2 ha il ruolo di un "medio consumatore", per utilizzare le stesse definizioni utilizzate in precedenza. Infatti, in inverno questo utente diventa di fatto un consumatore, vista la bassa produzione fotovoltaica. Avevamo visto come quando si crea questa configurazione, la correzione del modello sui grandi consumatori ha un grande effetto, in particolare verso i piccoli utenti. Per valutare il peso di questa variante è stata eseguita una simulazione con l'aggiunta di questa correzione, i cui risultati sono riportati in tabella 5.28:

MODELLO REALE CON CORREZIONE	Condominio	Utenza industriale 1	Utenza industriale 2	Utenza industriale 3	COMUNITA
GENNAIO	133,87	1174,47	591,64	1256,99	3156,97
FEBBRAIO	234,35	1932,31	704,05	1762,08	4632,79
MARZO	515,20	533,59	486,80	723,23	2258,82
APRILE	310,58	263,80	147,62	333,64	1055,64
MAGGIO	767,52	3545,86	1132,80	2552,99	7999,16
GIUGNO	462,63	2703,69	828,46	1491,18	5485,96
LUGLIO	395,88	2358,79	625,52	1340,30	4720,50
AGOSTO	526,65	2990,74	820,64	1668,61	6006,65
SETTEMBRE	460,34	2576,70	774,99	1719,10	5531,13
OTTOBRE	473,86	2038,73	703,87	1695,28	4911,74
NOVEMBRE	345,03	1329,43	489,78	1292,20	3456,44
DICEMBRE	83,46	449,17	204,07	419,02	1155,71
TOTALE	4709,38	21897,29	7510,24	16254,61	50371,51
TOTALE SENZA CORR.	4699,64	21920,16	7509,88	16241,83	50371,51
$\Delta\%$	0,2%	0,1%	0,005%	0,08%	-

Tab. 5.28: Ripartizione dell'energia condivisa utilizzando il Modello Reale con correzione per i grandi consumatori

Come si vede, l'aggiunta del tetto comporta delle leggerissime modifiche, aumentando di una piccola percentuale l'energia riconosciuta ai due utenti di taglia più piccola. Come ribadito anche in precedenza, la presenza del tetto sui prelievi non altera i risultati, bilanciandoli solo quando dovesse essere necessario, di conseguenza la sua permanenza non inficerebbe sui risultati. Tuttavia, le correzioni apportate sono minime, in quanto a differenza dei casi limite esaminati in precedenza, in casi reali difficilmente si verificano divari così netti tra i flussi energetici orari dei membri di una comunità energetica. Di conseguenza, le osservazioni che seguiranno saranno svolte non tenendo in considerazione la correzione.

La suddivisione dell'energia condivisa tra gli utenti comporta di conseguenza una proporzionale ripartizione dell'incentivo, ottenuta banalmente effettuando il prodotto tra la tariffa incentivante e i kWh condivisi riconosciuti ad ogni membro.

Si ottengono i seguenti risultati:

Incentivo maturato [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	14,66	129,36	65,08	138,17	347,27
FEBBRAIO	25,72	212,72	77,45	193,73	509,61
MARZO	56,62	58,67	53,55	79,63	248,47
APRILE	34,16	29,00	16,24	36,72	116,12
MAGGIO	84,24	390,28	124,61	280,78	879,91
GIUGNO	50,87	297,55	91,13	163,90	603,46
LUGLIO	43,54	259,53	68,84	147,35	519,26
AGOSTO	57,91	329,26	90,26	183,29	660,73
SETTEMBRE	50,59	283,63	85,25	188,96	608,42
OTTOBRE	51,94	224,57	77,43	186,35	540,29
NOVEMBE	37,67	146,72	53,88	141,94	380,21
DICEMBRE	9,04	49,93	22,37	45,78	127,13
TOTALE	516,96	2411,22	826,09	1786,60	5540,87

Tab.5.29: Incentivo maturato da ogni utente tramite il Modello Reale

Considerando anche la restituzione dell'onere di distribuzione, si ottiene la ripartizione tra gli utenti dell'importo erogato dal GSE:

Importo erogato dal GSE [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	15,75	139,00	69,93	148,47	373,15
FEBBRAIO	27,63	228,58	83,22	208,17	547,60
MARZO	60,84	63,04	57,54	85,57	266,99
APRILE	36,71	31,16	17,45	39,45	124,78
MAGGIO	90,52	419,38	133,90	301,71	945,50
GIUGNO	54,67	319,73	97,92	176,12	648,44
LUGLIO	46,79	278,88	73,97	158,33	557,96
AGOSTO	62,23	353,81	96,99	196,96	709,99
SETTEMBRE	54,36	304,77	91,60	203,04	653,78
OTTOBRE	55,81	241,31	83,21	200,24	580,57
NOVEMBE	40,48	157,66	57,90	152,52	408,55
DICEMBRE	9,72	53,65	24,04	49,20	136,61
TOTALE	555,50	2590,96	887,67	1919,78	5953,91

Tab.5.30: Ripartizione dell'importo erogato dal GSE tra gli utenti tramite il Modello Reale

Gli importi raffigurati nella tabella 5.30 costituiscono il guadagno netto dei quattro utenti derivato dalla partecipazione alla comunità energetica, rispetto al caso reale in cui si sono trovati nel 2020, pagando interamente e singolarmente l'energia prelevata dalla rete a un prezzo lordo di circa 0,17 €/kWh, non ricevendo l'incentivo e pagando la tariffa di distribuzione. Come si vede, sono cifre interessanti, che possono indurre piccole o medie

aziende, utenze domestiche, sedi amministrative ad entrare all'interno di una configurazione del genere. Considerando tutti i flussi di cassa, gli importi erogati dal GSE si aggiungono alle entrate dovute all'immissione dell'energia in rete (considerando una tariffa di energia immessa pari a 0,05 €/kWh) e al corrispettivo unitario di autoconsumo forfetario mensile (ovvero la restituzione della componente BTAU per l'energia autoconsumata).

RICAVI IMMESSA [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	6,08	1,27	49,75	127,95	185,05
FEBBRAIO	42,91	3,44	64,52	305,85	416,72
MARZO	61,78	77,82	207,49	402,15	749,24
APRILE	155,07	172,87	365,17	734,35	1427,46
MAGGIO	195,73	43,67	179,35	734,12	1152,86
GIUGNO	243,87	102,74	223,08	693,73	1263,42
LUGLIO	245,97	129,03	209,46	688,68	1273,15
AGOSTO	213,67	73,75	274,27	615,72	1177,41
SETTEMBRE	160,07	58,02	136,10	565,66	919,85
OTTOBRE	63,63	17,52	75,24	319,45	475,84
NOVEMBRE	17,62	1,32	37,38	134,55	190,87
DICEMBRE	6,93	0,51	23,96	48,58	79,98
TOTALE	1413,33	681,96	1845,77	5370,78	9311,84

Tab.5.31: Ricavi dovuti all'immissione di energia in rete

CORRISPETTIVI AUTOCONSUMO [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	1,35	18,74	17,18	37,40	74,66
FEBBRAIO	6,02	32,79	27,10	36,68	102,60
MARZO	15,84	36,86	12,42	38,89	104,02
APRILE	15,51	50,36	6,57	34,13	106,56
MAGGIO	11,47	79,33	29,26	34,78	154,84
GIUGNO	8,13	74,06	30,54	40,40	153,13
LUGLIO	9,36	77,85	36,64	48,55	172,40
AGOSTO	7,20	67,51	18,85	42,13	135,68
SETTEMBRE	7,29	52,56	32,72	33,60	126,18
OTTOBRE	8,13	33,16	23,20	27,81	92,30
NOVEMBRE	6,51	18,62	16,71	24,29	66,13
DICEMBRE	3,88	9,64	5,88	17,32	36,72
TOTALE	100,68	551,50	257,06	415,98	1325,22

Tab.5.32: Corrispettivi sull'energia autoconsumata

Questi introiti vanno a sottrarsi in bolletta alla spesa per l'energia elettrica dei quattro utenti, dovuta all'energia prelevata dalla rete elettrica. Considerando un prezzo lordo di acquisto pari a 0,17 €/kWh, si ottengono i seguenti costi energetici:

COSTI ENERGIA PRELEVATA [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	310,28	2342,36	665,08	2164,54	5482,26
FEBBRAIO	250,46	2329,27	465,12	1500,66	4545,51
MARZO	826,30	1053,05	244,21	1378,41	3501,97
APRILE	496,62	630,69	49,44	823,58	2000,34
MAGGIO	265,05	2488,66	230,78	601,53	3586,02
GIUGNO	106,13	2078,71	225,75	689,96	3100,55
LUGLIO	131,01	2215,76	168,00	765,99	3280,76
AGOSTO	117,57	2540,33	147,58	804,47	3609,96
SETTEMBRE	169,79	2541,13	214,06	775,20	3700,18
OTTOBRE	491,66	2800,92	483,80	945,39	4721,76
NOVEMBE	662,97	3114,03	655,46	1316,96	5749,41
DICEMBRE	358,27	2972,35	758,46	1999,32	6088,40
TOTALE	4186,10	27107,27	4307,74	13766,00	49367,10

Tab.5.33: Costi energia prelevata

Con questo abbiamo esaminato anche i vantaggi a livello economico per i membri della comunità, nel caso avessero scelto il Modello Reale come sistema di ripartizione dell'incentivo. Ripeto ora questi calcoli, ripartendo dall'energia condivisa di comunità (che resta ovviamente invariata, indipendente dal sistema di ripartizione) con il Modello Alternativo, comparando i risultati con quanto ottenuto in questa sezione.

5.4: Applicazione del Modello Alternativo

Analogamente al caso precedente, si parte dai dati fiscali dei contatori di scambio degli utenti al fine di determinare l'energia condivisa per fasce orarie. Successivamente si applica il Modello Alternativo di ripartizione, ottenendo i seguenti risultati:

ENERGIA CONDIVISA [kWh]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	122,96	1286,27	653,41	1094,33	3156,97
FEBBRAIO	276,38	1634,45	705,26	2016,69	4632,79
MARZO	353,33	471,61	538,65	895,22	2258,82
APRILE	188,72	193,07	234,40	439,45	1055,64
MAGGIO	939,81	2632,92	1104,69	3321,74	7999,16
GIUGNO	748,96	1625,19	869,78	2242,03	5485,96
LUGLIO	641,86	1425,33	699,03	1954,28	4720,50
AGOSTO	759,44	1896,08	1040,39	2310,74	6006,65
SETTEMBRE	622,01	1881,01	774,33	2253,78	5531,13
OTTOBRE	441,72	1820,33	777,58	1872,12	4911,74
NOVEMBRE	287,16	1502,07	501,55	1165,66	3456,44
DICEMBRE	44,93	517,73	239,63	353,42	1155,71
TOTALE	5427,29	16886,07	8138,70	19919,46	50371,51

Tab.5.34: Ripartizione dell'energia condivisa applicando il Modello Alternativo

Come visibile dalla tabella 5.34 e dalla figura 5.35, applicando questo algoritmo otteniamo risultati inversi rispetto a quelli ottenuti nella sezione precedente. Infatti, ora l'utente più premiato non è più l'utenza industriale 1 (ovvero il grande consumatore), ma l'utenza industriale 3 (ovvero il più grande produttore), nonostante per quasi tutto l'anno la comunità abbia un'eccedenza di energia. Avendo presente i risultati delle prove svolte nel capitolo 4, questo è un risultato atteso, in quanto abbiamo visto che questo algoritmo non compie un'analisi qualitativa dei flussi, ma si basa esclusivamente sull'entità dei flussi energetici. Per questo motivo viene premiato maggiormente l'impianto di taglia maggiore.

Per quanto riguarda gli altri due utenti, si registra un leggero incremento del premio, non così significativo come per l'utenza industriale 3. Anche perchè la comunità analizzata è abbastanza bilanciata, di conseguenza il divario tra i due modelli non è enorme ed è visibile soprattutto negli impianti di maggior taglia. Questo comporta che anche in questo caso l'aggiunta del tetto massimo sull'energia prelevata dai grandi consumatori non abbia un

impatto significativo. Questo risultato sorprende maggiormente, in quanto nel capitolo 4 avevamo visto come per questo algoritmo l'aggiunta della correzione fosse in realtà spesso determinante. Anche qui, la ragione sta nel fatto che i casi trattati in quella sezione erano casi limite, volutamente estremizzati, mentre quando si ha a che fare con dati reali, difficilmente si incorre in sbilanciamenti del genere.

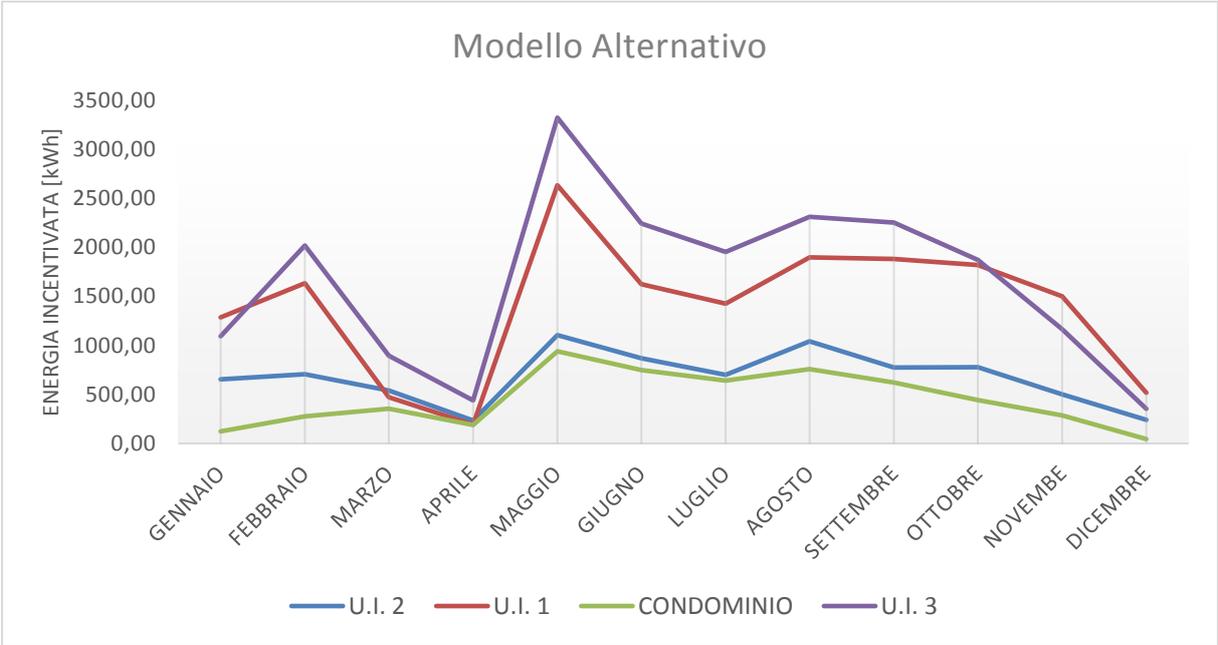


Fig.5.35: Andamento dell'energia condivisa applicando il Modello Alternativo

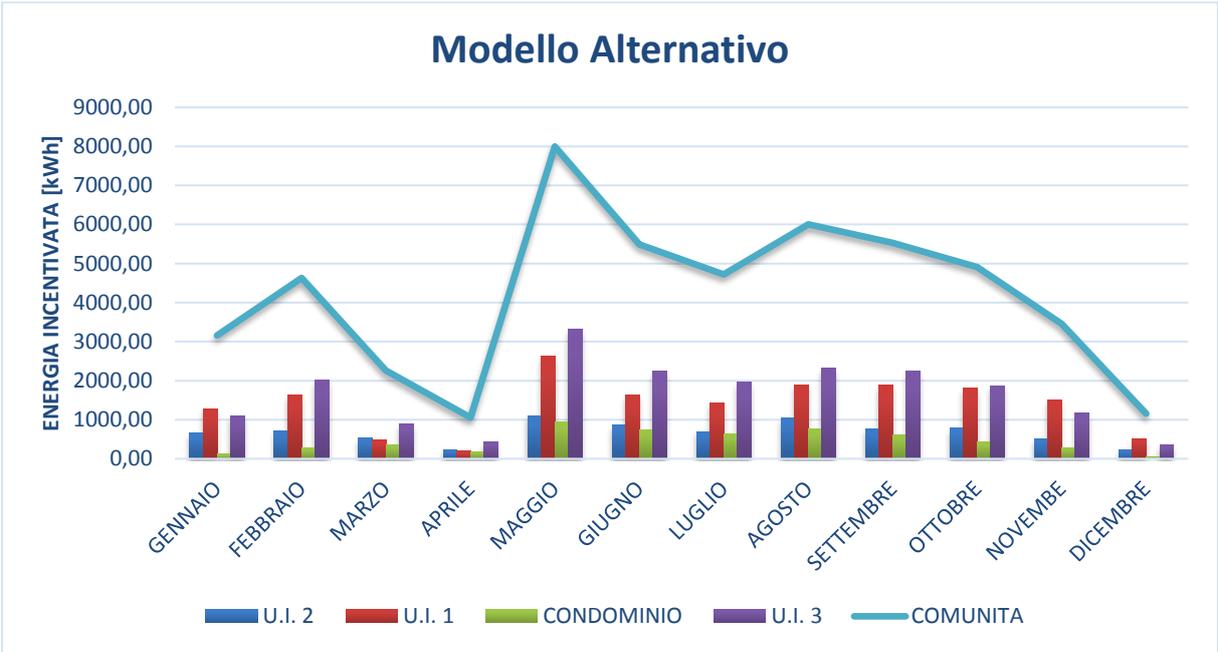


Fig.5.36: Ripartizione dell'energia condivisa applicando il Modello Alternativo

Vediamo ora come la ripartizione dell'energia si traduce in ripartizione dell'importo erogato dal GSE, costituito dall'incentivo e dalla restituzione della componente BTAU:

IMPORTO EROGATO DAL GSE [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3	COMUNITA
GENNAIO	14,53	152,04	77,23	129,35	373,15
FEBBRAIO	32,67	193,19	83,36	238,37	547,60
MARZO	41,76	55,74	63,67	105,82	266,99
APRILE	22,31	22,82	27,71	51,94	124,78
MAGGIO	111,09	311,21	130,57	392,63	945,50
GIUGNO	88,53	192,10	102,81	265,01	648,44
LUGLIO	75,87	168,47	82,63	231,00	557,96
AGOSTO	89,77	224,12	122,97	273,13	709,99
SETTEMBRE	73,52	222,34	91,53	266,40	653,78
OTTOBRE	52,21	215,16	91,91	221,28	580,57
NOVEMBRE	33,94	177,54	59,28	137,78	408,55
DICEMBRE	5,31	61,20	28,32	41,77	136,61
TOTALE	641,51	1995,93	961,99	2354,48	5953,91

Tab.5.37: Ripartizione dell'importo erogato dal GSE con il Modello Alternativo

Analogamente al caso precedente, questi corrispondono ai ricavi ottenuti dagli utenti dalla comunità, che costituiscono il vantaggio in termini economici dell'accesso a tale configurazione. Come evidente, ci sono delle differenze rispetto al Modello Reale, che riepilogo nella tabella 5.38:

IMPORTO RICONOSCIUTO [€]	CONDOMINIO	UTENZA INDUSTRIALE 1	UTENZA INDUSTRIALE 2	UTENZA INDUSTRIALE 3
MODELLO REALE	555,50	2590,96	887,67	1919,78
MODELLO ALTERNATIVO	641,51	1995,93	961,99	2354,48
$\Delta\%$	13,41%	22,97%	7,73%	18,46%

Tab.5.38: Confronto tra i due modelli di ripartizione

Aumenta significativamente il premio riconosciuto all'utente di maggior taglia (utenza industriale 3). Anche per il condominio e l'utenza industriale 2 c'è stato un importante aumento del premio, a discapito dell'utenza industriale 1, che ha subito un netto calo. Questa simulazione ha messo ancor più in evidenza le differenze tra i due modelli, sottolineando come l'assenza di una valutazione qualitativa dei flussi energetici

stravolgerebbe completamente la ripartizione dell'energia condivisa, non premiando appropriatamente gli utenti che riescono a condividere maggiormente i propri flussi energetici con la comunità. Si perde così la funzione incentivante che anche un algoritmo di ripartizione potrebbe avere, portando i membri di una comunità ad ottimizzare i propri consumi anche per un proprio tornaconto personale. Infatti, adottando il Modello Reale, concentrare i consumi nelle ore di maggior produzione fotovoltaica permetterebbe non solo di aumentare l'energia condivisa di comunità, con gli annessi benefici per l'ambiente, ma anche di aumentare la percentuale di incentivo riconosciuta.

Conclusioni e sviluppi futuri

Le simulazioni svolte hanno messo in evidenza come le comunità energetiche abbiano ampio margine di sviluppo sia in Italia che in Europa, soprattutto se a sorreggerle nella fase di lancio c'è un iniziatore, come ad esempio il GSE in Italia, che ne incentiva la diffusione. Sono configurazioni con accertati benefici sociali ed ambientali, la cui diffusione capillare sul territorio nazionale può creare una rete di infrastrutture e servizi energetici messi a disposizione dei cittadini a basso impatto ambientale, basati prevalentemente su impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, che permetterebbero di abbattere notevolmente le emissioni legate ai consumi energetici di utenze residenziali, industriali e pubbliche. Grazie alle comunità energetiche, come abbiamo visto, ogni quartiere, zona industriale, area commerciale, amministrativa potrà ottimizzare i propri consumi, evitando l'emissione di tonnellate di anidride carbonica ogni anno. Inoltre, permetterebbe a molti utenti di accedere a servizi energetici all'avanguardia a cui non avrebbero la possibilità di accedere normalmente, contrastando così la povertà energetica. Per questa ragione sarà importante investire in questa configurazione, per cercare di raggiungere come nazione gli obiettivi ambientali che ci siamo preposti. Un altro aspetto cardine è la sensibilizzazione dell'utente, ovvero del cittadino, che prenderà coscienza del peso dei consumi di tutti noi sull'ambiente, soprattutto se a collaborare, gestire o a far parte della comunità c'è anche un'azienda che opera nel settore energetico. Questo è uno degli obiettivi di Energy Intelligence, che ha investito molto in questo settore con un lavoro di studio, in cui si è inserito questo elaborato di tesi, volto ad offrire al cliente una piattaforma semplice, intuitiva ed efficace di gestione dei flussi energetici, rendendo consapevole ed istruendo l'utente medio sui propri consumi. Il modello di ripartizione si inserisce proprio in questo contesto, cercando di incentivare i membri della comunità ad ottimizzare il più possibile la condivisione energetica. In questo studio il modello è stato applicato ad una simulazione di comunità. Nei prossimi mesi verrà lanciato su una comunità energetica reale, che ha stipulato un contratto con Energy Intelligence e che quindi avrà a disposizione la piattaforma di monitoraggio dei flussi energetici e dell'energia condivisa. Nei prossimi mesi saranno inoltre testati degli algoritmi di intelligenza artificiale, che saranno applicati ai modelli descritti, offrendo alla comunità una predizione ora per ora di quelli che saranno i flussi energetici nelle ore successive a quella

attuale, analizzando i dati storici e l'evoluzione dei dati in acquisizione. Grazie a ciò, sarà possibile predire quando e quanti kWh saranno disponibili per essere condivisi, in modo che ogni utente per quanto possibile avrà l'opportunità di concentrare i consumi in modo da massimizzare l'energia condivisa. Saranno inoltre svolti studi per ottimizzare la comunità a monte, ovvero in fase di progettazione, andando ad analizzare come far funzionare al meglio una comunità, ad esempio nei mesi invernali, dove abbiamo visto che è più complicato condividere energia. In questo senso, i sistemi di accumulo potranno dare un contributo importante, innalzando l'energia da fonti rinnovabili a disposizione della comunità. Sarà un lavoro volto ad offrire alle comunità locali tutta l'esperienza accumulata in anni di lavoro nel settore energetico, cercando di facilitare la diffusione delle comunità energetiche sul territorio nazionale, ottimizzandone il funzionamento.

Bibliografia

- [1]: Vladimir Z. Gjorgievski, Snezana Cundeva, George E. Georghiou (2019), *“Social arrangements, technical designs and impacts of energy communities: A review”*;
- [2]: GSE: Gestore dei Servizi Energetici (2019), *“Rapporto statistico solare fotovoltaico 2018”*;
- [3]: Tineke van der Schoor, Bert Scholtens, *“Power to the people: Local community initiatives and the transition to sustainable energy”*;
- [4]: Aura Caramizaru, Andreas Uihlein, *“Energy communities: an overview of energy and social innovation”*;
- [5]: F. Barrocco, A. Borghetti, F. Cappellaro, C. Carani, R. Chiarini, G. D’Agosta, P. De Sabbata, F. Napolitano, G. Nigliaccio, C. A. Nucci, *“Le comunità energetiche in Italia: una guida per orientare i cittadini nel nuovo mercato dell’energia”*;
- [6]: Rescoop.eu, *“Q&A: What are ‘citizen’ and ‘renewable’ energy communities?”*;
- [7]: Intervento Energy & Strategy, (2020);
- [8]: Asso Rinnovabili, *“Clean energy for all Europeans package, sintesi dei contenuti”*
- [9]: Direttiva UE 2018/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell’11 dicembre 2018 sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili;
- [10]: Direttiva UE 2019/944 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019 sulle regole comuni del mercato libero dell’energia;
- [11]: GSE: Gestore dei Servizi Energetici, *“Schemi di autoconsumo collettivo e comunità dell’energia”*;
- [12]: Art. 42 bis del D.L. 162/2019, *“Autoconsumo da fonti rinnovabili”*;
- [13]: Delibera ARERA 318/2020/R/eel;
- [14]: D.L. del 16/09/2020, Ministero dello Sviluppo Economico;

[15]: Energy Intelligence, *“Documento di presentazione Interfaccia Comunità Energetiche”*;

[16]: Istituto Superiore per Protezione e la Ricerca Ambientale (2020), *“Fattori di emissione atmosferica di gas a effetto serra nel settore elettrico nazionale e nei principali Paesi Europei”*.