



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO



RAPPORTO TECNICO

COMUNITA' DI
ENERGIA RINNOVABILE



03

CONFIGURAZIONI TECNICHE DI COMUNITÀ DI ENERGIA RINNOVABILE MODELLATE SUL TRENTINO (AGGIORNAMENTO)

GIUGNO 2024

redatto con il contributo di:



UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Department of
Civil, Environmental and Mechanical Engineering

AGENZIA PROVINCIALE PER LE RISORSE IDRICHE E L'ENERGIA
ufficio studi e pianificazione delle risorse energetiche

Sede: Piazza Fiera, 3 - 38122 a Trento
Telefono: 0461.497310 Fax: 0461.497301
www.energia.provincia.tn.it

Email: aprie@provincia.tn.it (PEC): aprie@pec.provincia.tn.it

VERSIONE 2 AGGIORNAMENTO 2024

Agenzia Provinciale per le Risorse Idriche e l'Energia

Dirigente generale

dott.ssa Laura Boschini

Coordinamento

ing. Sara Verones

Ufficio Studi e Pianificazione delle Risorse Energetiche

Autori

ing. Silvia Debiasi

Ufficio Studi e Pianificazione delle Risorse Energetiche

ing. Andrea Mariotti

Ufficio Studi e Pianificazione delle Risorse Energetiche

Con il contributo di:

ing. Paolo Baggio, ing. Alessandro Prada, ing. Margherita Povolato

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

Università di Trento

SINTESI NON TECNICA	4
PREMESSA	5
METODOLOGIA	6
Assunzioni	6
Dati di input	7
Profili di consumo	7
Profili di consumo domestici	7
Profili di consumo industriale	9
Profili di consumo terziario	10
Profili di produzione	11
Profili di produzione degli impianti fotovoltaici	11
Profili di produzione degli impianti idroelettrici	12
Dati di output	13
Definizioni	13
Casi analizzati	15
CASI CON IMPIANTO DI PRODUZIONE FOTOVOLTAICO	17
CASO 1: impianti fotovoltaici diffusi - prosumer residenziali	17
CASO 2: impianti fotovoltaici diffusi - prosumer residenziali e incidenza pompe di calore del 30%	19
CASO 3: impianto fotovoltaico industriale	21
CASO 4: impianto fotovoltaico per sola produzione elettrica e prosumer industriale	23
CASO 5: impianto fotovoltaico terziario	25
CASO 6: impianto fotovoltaico con due prosumer industriali e uno terziario	27
CASI CON IMPIANTO DI PRODUZIONE IDROELETTRICO	29
CASO 7: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da consumer residenziali	29
CASO 8: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da consumer residenziali ed industriali	32
CASO 9: nuova centralina “a bacino” e CER composta da consumer residenziali	35
CASO 10: nuova centralina “a bacino” e CER composta da consumer residenziali ed industriali	38
CASO 11: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da prosumer e consumer residenziali	41
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	43
Bibliografia	47
Sitografia	47
Allegato 1 - Riqualificazione Energetica del Patrimonio Edilizio della Provincia Autonoma di Trento e Potenziale Incremento di Efficienza Derivante dalla Integrazione con le Comunità Energetiche	48

[NDR] Questo documento è stato aggiornato a seguito della pubblicazione dei decreti ministeriali attuativi del D.Lgs.199/2021 e della pubblicazione delle Regole tecniche del GSE, pertanto riguardo alla metodologia di incentivazione si fa riferimento alla normativa, alle indicazioni e alle regole di incentivo vigenti a giugno 2024.

SINTESI NON TECNICA

Con l'introduzione nel panorama normativo in materia di energia delle Comunità Energetiche Rinnovabili (in breve, CER) è importante fornire un supporto ai portatori di interesse sul territorio provinciale tramite alcuni casi studio che possano veicolare la creazione di comunità mirate al raggiungimento di obiettivi di sostenibilità energetica ed economica.

Il presente rapporto analizza alcuni scenari tipo che potranno verificarsi, suddivisi principalmente in due macro-categorie: la prima considera comunità energetiche rinnovabili con produzione di energia elettrica derivante unicamente da impianti fotovoltaici mentre la seconda è relativa a CER con produzione da piccoli impianti idroelettrici. Questo secondo macro-argomento si riferisce a quelle casistiche ove sia già stata rilasciata la concessione a derivare per fini idroelettrici ma che non sono ancora state concretizzate con la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica.

In entrambi i casi si considerano, ai fini della condivisione dell'energia prodotta, solamente gli impianti di nuova installazione, che hanno pertanto diritto alla tariffa incentivante. Il medesimo decreto prevede infatti l'incentivazione della condivisione dell'energia all'interno della comunità tramite l'erogazione di una tariffa alla CER stessa; per ogni scenario è stato calcolato anche l'ammontare di tale importo.

Le simulazioni per l'analisi degli undici scenari sono state condotte variando il numero di utenze aderenti alla CER di volta in volta ipotizzata. Per ogni scenario si è voluto quindi identificare un intervallo di utenze ottimale che garantisca benefici energetici ed economici all'intera comunità. Il valore minimo è pari alla condizione in cui la produzione e il consumo annui all'interno della comunità si eguagliano, mentre il valore massimo, che è pari al 90% dell'autoconsumo, permette di individuare un limite oltre il quale la convenienza economica dell'incentivo previsto per la condivisione dell'energia viene meno.

Dai vari casi analizzati, si può affermare che ci sia una estrema variabilità dei valori ricercati.

Si può però dedurre come:

1. Laddove gli impianti siano calibrati sull'utenza che beneficia dell'autoconsumo, gli aderenti alla CER sono pochi, dell'ordine delle decine di aderenti per ogni 100 kW di impianto fotovoltaico;
2. Laddove gli impianti siano sovradimensionati o installati appositamente per produrre ed immettere in rete, ne risulta che debbano esserci dalle decine alle centinaia di utenze domestiche per ogni 100 kW installato per un adeguato funzionamento energetico-economico della comunità;
3. Le utenze industriali e terziarie riducono chiaramente il numero di aderenti in funzione della potenza massima utilizzata e del loro consumo giornaliero.

Si rimanda a successivi aggiornamenti la discussione di ulteriori casi e generalizzazioni che consentano sempre più di orientare le comunità di energia rinnovabile nascenti sul territorio.

PREMESSA

Il report si propone l'obiettivo di fornire elementi utili ad analisi di configurazioni di comunità di energia rinnovabile (CER), sulla base dei risultati di modellazioni atte ad indagare il rapporto tra potenza dell'impianto di produzione da fonte rinnovabile installata e messa a disposizione alla CER, ed utenze aderenti, siano esse meri consumatori o prosumer (consumatori e produttori).

Le casistiche modellate esplorano le differenti configurazioni sulla base di due fattori, il Load cover factor (LCF), che rappresenta l'autosufficienza, ed il Supply Cover Factor (SCF), che rappresenta l'autoconsumo. In particolare si è deciso, per ogni caso, di andare a ricercare l'andamento dei fattori LCF e SCF considerando gli impianti di produzione fissi e modificando invece il numero di consumatori aderenti alla comunità energetica. In particolare, nei grafici proposti di ogni singolo caso analizzato, vengono individuati due punti: il punto in cui l'SCF è uguale all'LCF e quello in cui l'SCF è pari al 90%. Il primo punto, che ha valenza puramente energetica per definizione stessa dei due fattori considerati, permette di individuare il numero di utenze per cui il consumo di energia annuale degli appartenenti alla comunità energetica eguaglia la produzione. Questo concetto, preso a prestito dalla disciplina relativa agli edifici, rappresenta infatti per questi ultimi il punto in cui si parla di edifici near Zero energy building (nZeb) e rappresenta quella che si può definire l'autosufficienza annuale. Il secondo punto invece viene stabilito in maniera arbitraria al fine di limitare l'espansione della comunità in assenza di un effettivo beneficio; infatti oltre un certo numero di aderenti il margine di condivisione dell'energia prodotta all'interno della comunità si riduce notevolmente, come di conseguenza il relativo beneficio economico in termini di incentivo cumulato.

In considerazione anche del carattere dinamico proprio di ogni nascente comunità energetica rinnovabile, il numero di utenti che andrà a garantire benefici energetici ed economici all'intera comunità è da ricercare all'interno di tali due valori.

La presente analisi riporta inoltre la quantificazione degli incentivi derivanti dai consumi legati al numero di utenze. Non è scopo di questo documento approfondire ragionamenti economici legati ai costi di investimento per la realizzazione dell'impianto e al loro ammortamento.

I casi analizzati considerano gli utenti della rete elettrica secondo la seguente suddivisione, a seconda della modalità di consumo e/o produzione di energia:

- utenti consumatori: utenti il cui collegamento alla rete elettrica è unicamente per prelevare energia
- utenti produttori: utenti il cui collegamento alla rete elettrica è unicamente per immettere l'energia prodotta
- utenti prosumer: utenti il cui collegamento alla rete elettrica è sia per prelevare energia che per immettere quella prodotta e non autoconsumata

e secondo la seguente suddivisione, a seconda della tipologia di utenza:

- utenze domestiche
- utenze industriali
- utenze terziarie

Il report è calibrato su due macro-argomenti, relativi alla tipologia di impianto di produzione da fonti rinnovabili.

Il primo riguarda le comunità energetiche rinnovabili i cui impianti sono esclusivamente fotovoltaici; le simulazioni energetiche sono state condotte in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento e il lavoro completo è riportato nell'Allegato 1.

Il secondo riguarda le comunità di energia rinnovabile che presentano un impianto di produzione idroelettrico e sono costituite da utenti consumatori ad eccezione di un ultimo caso dove sono stati inseriti utenti di tipo prosumer con nuovi impianti fotovoltaici. Questo secondo macro-argomento si riferisce a quelle casistiche ove sia già stata rilasciata la concessione a derivare per fini idroelettrici ma che non sono ancora state concretizzate con la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica.

Le simulazioni effettuate riguardano comunità relativamente piccole, con impianti che coprono da 60 kW ad una potenza totale installata di massimo 1,5 MW. Questa scelta si inserisce nell'ottica di simulare comunità energetiche nascenti, con dimensioni dunque relativamente piccole. Questa è infatti stata giudicata la fase più delicata di una comunità energetica, per l'estrema e non del tutto prevedibile variabilità del numero di aderenti e per i flussi finanziari non ancora ben consolidati.

METODOLOGIA

Assunzioni

Per i calcoli economici riportati nelle schede dei vari casi analizzati, si sono assunti i valori previsti dalla legislazione vigente.

Per il calcolo dell'incentivo si sono considerate le fasce come da allegato 1 del Decreto legge del Ministro dell'Ambiente e della Sicurezza energetica entrato in vigore il 24 gennaio 2024, considerando la maggiorazione dei 10 €/MWh nel caso di impianti ubicati nella Zona geografica delle Regioni del Nord. E' stata inoltre inserita la quota prevista di restituzione degli oneri di rete, quantificata in questo studio in 8 €/kWh.

In funzione del prezzo zonale orario dell'energia le fasce risultano:

- per impianti fino ai 200 kW di potenza: da un minimo di 98 €/MWh a un massimo di 138 €/MWh
- per impianti di potenza compresa tra i 200 kW e i 600 kW: da un minimo di 88 €/MWh ad un massimo di 128 €/MWh
- per impianti superiori ai 600 kW di potenza: da un minimo di 78 €/MWh ad un massimo di 118 €/MWh

Non sono state effettuate considerazioni in merito a eventuali guadagni dalla vendita in rete dell'energia prodotta, né stime sui costi d'investimento e di conseguenza su eventuali tempi di rientro.

Nelle simulazioni non è inoltre stato considerato l'utilizzo delle batterie di accumulo per immagazzinare energia e aumentare dunque l'autoconsumo.

Per quanto riguarda le casistiche con la produzione da un impianto fotovoltaico, il calcolo di tutti i fattori energetici ed economici è stato effettuato su base annuale.

Viste le variazioni possibili dell'incentivo in funzione del PUN si è scelto di considerare tre valori per la realizzazione dei grafici economici: il valore minimo, il valore massimo e il valore

medio dell'incentivo. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio.

Per quanto riguarda le casistiche con la produzione da una centralina idroelettrica, il calcolo di tutti i fattori energetici ed economici è stato effettuato considerando una giornata tipo. I valori così calcolati sono stati moltiplicati per i giorni dell'anno al fine della quantificazione degli incentivi annuali spettanti alla CER.

Dati di input

Come dati di input, oltre a quelli economici appena descritti, si hanno i profili di produzione e di consumo dell'energia elettrica, differenziati a seconda della fonte di produzione e del tipo di consumatore.

I dettagli legati alle simulazioni effettuate nei casi di comunità energetiche con la presenza di soli impianti fotovoltaici sono state effettuate su base oraria prendendo i profili di produzione e di consumo di un anno e sono riportate nel relativo documento allegato.

Si evidenzia nuovamente che per le CER alimentate da idroelettrico i calcoli sono stati effettuati considerando dati di input di una giornata tipo. Nei successivi paragrafi, per una facilità di lettura del documento, vengono presentati i profili giornalieri utilizzati in tali simulazioni.

Profili di consumo

Per quanto riguarda i profili di consumo, l'obiettivo è stato quello di individuare tipologie di profili di consumo diversi, in modo da simulare il più realisticamente possibile le comunità energetiche nascenti. Sono stati pertanto utilizzati sia profili di tipo residenziale che di tipo industriale e terziario. In particolare quello residenziale è caratterizzato da picchi durante la giornata, mentre quelli industriali e del terziario presentano un profilo più regolare, con i consumi concentrati nelle ore diurne e con consumi ridotti durante la notte.

Profili di consumo domestici

Il profilo di consumo domestico di riferimento è stato definito sulla base di alcuni cluster di utenze residenziali come dall'articolo RSE «Italian Household Load Profiles: A Monitoring Campaign» di G. Besagni, L. Premoli Villà e M. Borgarello, già utilizzati nel report di Hannüss S., A. Prada, P. Baggio "Scenari sul potenziale impatto delle comunità di energia rinnovabile".

Come già accennato, di seguito si riportano grafici identificativi di una giornata tipo per ogni cluster. I dati visualizzati derivano dalla media annuale del cluster in esame. Per le simulazioni con un impianto idroelettrico sono state utilizzate queste medie, mentre per il fotovoltaico sono stati utilizzati i dati completi, come riportato nell'Allegato 1.

In arancione è riportato il profilo di consumo tenendo conto dei soli elettrodomestici mentre in blu si evidenzia il profilo di consumo nel caso di presenza di una pompa di calore.

I cluster 1 e 2 rappresentano le famiglie con uno o più figli, o le coppie senza figli, di età compresa tra i 18 e i 34 anni. Il primo cluster si riferisce ad abitazioni con una superficie inferiore a 146 metri quadrati e il secondo ad abitazioni con una superficie superiore a 146 metri quadrati.

- cluster 1

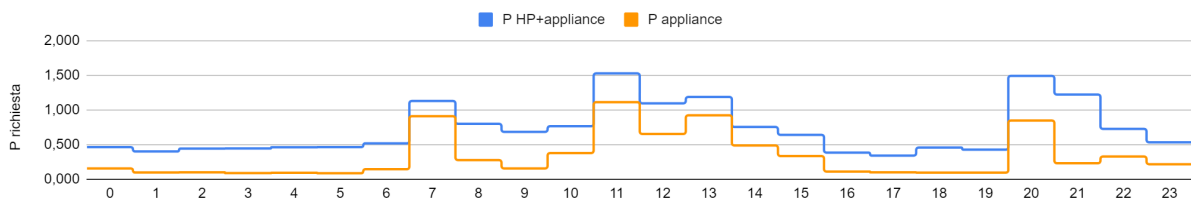


Immagine 1. profili di consumo relativi al cluster residenziale 1

L'energia consumata giornaliera è di 8,0 kWh che salgono a 17,4 kWh nel caso di pompa di calore.

- cluster 2

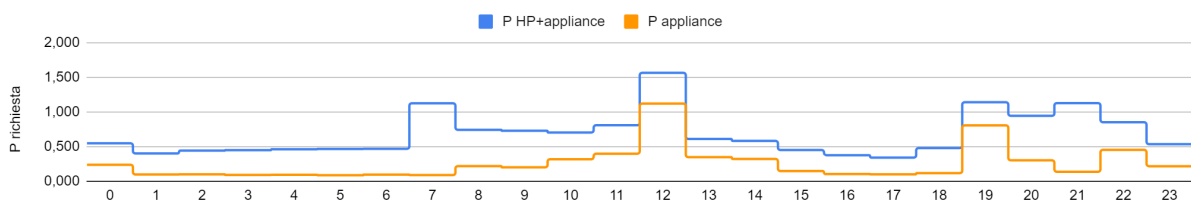


Immagine 2. profili di consumo relativi al cluster residenziale 2

L'energia consumata giornaliera è di 6,2 kWh che salgono a 16,3 kWh nel caso di pompa di calore.

Il cluster 3 e 6 rappresentano coppie senza figli o genitori single. Il cluster 3 rappresenta abitazioni di superficie inferiore a 152 metri quadrati, il cluster 6 abitazioni di superficie superiore a 152 metri quadrati.

- cluster 3

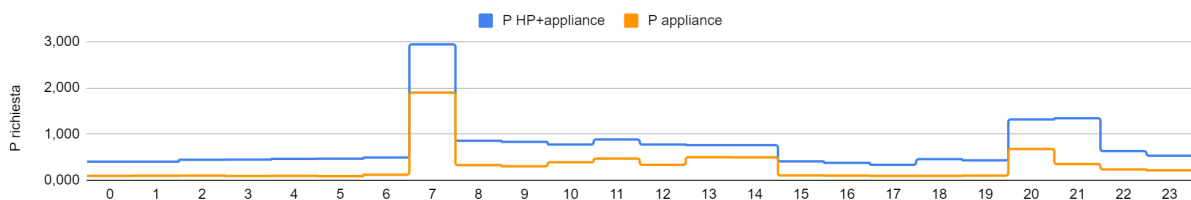


Immagine 3. profili di consumo relativi al cluster residenziale 3

L'energia consumata giornaliera è di 7,3 kWh che salgono a 17,5 kWh nel caso di pompa di calore.

- cluster 6

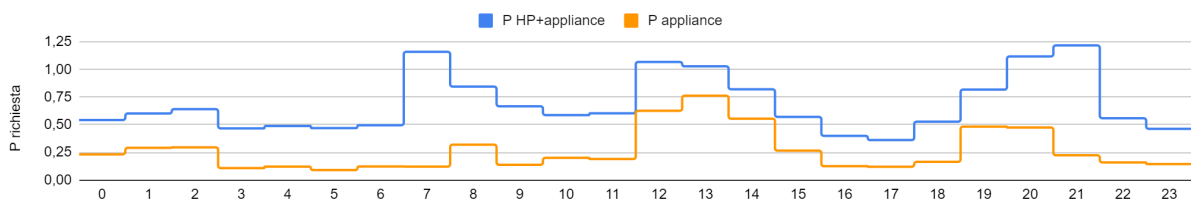


Immagine 4. profili di consumo relativi al cluster residenziale 6

Per il cluster 6 l'energia consumata giornaliera è di 6,3 kWh che salgono a 16,5 kWh nel caso di pompa di calore.

Il cluster 7 rappresenta le case abitate da una sola persona con una superficie inferiore a 124 metri quadrati.

- cluster 7

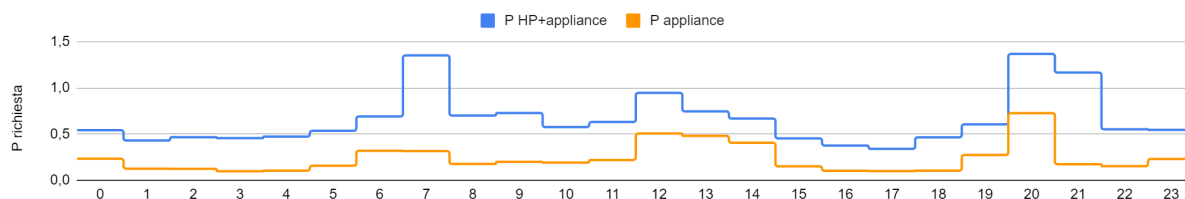


Immagine 5. profili di consumo relativi al cluster residenziale 7

L'energia consumata giornaliera è di 5,6 kWh che salgono a 15,8 kWh nel caso di pompa di calore.

- cluster di riferimento

I pesi percentuali dei cluster sopra richiamati sono stati anch'essi individuati sulla base dell'articolo RSE «Italian Household Load Profiles: A Monitoring Campaign» di G. Besagni, L. Premoli Villà e M. Borgarello:

cluster 1	30%
cluster 2	13%
cluster 3	17%
cluster 6	6%
cluster 7	34%

Inoltre, per i casi relativi a impianti idroelettrici, è stata definita l'incidenza delle pompe di calore con un valore pari al 3,67%, dato rappresentativo dell'attuale penetrazione di questa tecnologia nei sistemi di riscaldamento del territorio. Solamente per le CER con idroelettrico quindi, dalla composizione percentuale appena richiamata e dalla definita incidenza delle pompe di calore ne deriva il seguente profilo di consumo domestico di riferimento giornaliero.

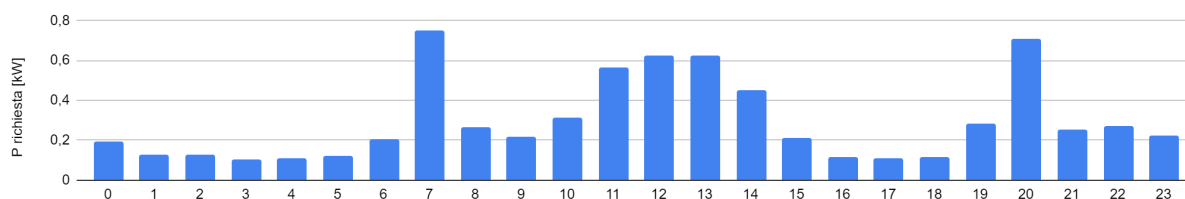


Immagine 6. profilo di consumo relativo al cluster residenziale di riferimento (utilizzato solo per le simulazioni con idroelettrico)

La potenza massima richiesta su base oraria è di 750 W, quella minima è di 104 W mentre l'energia consumata nell'intera giornata di riferimento è pari a 7,1 kWh.

Profili di consumo industriale

Per quanto riguarda i profili di consumo di utenze di tipo industriale, si è utilizzato il monitoraggio orario di un'impresa meccanica e quello di un'azienda lattiero-casearia, entrambe con sedi sul territorio provinciale, forniti da Confindustria.

La prima presenta un profilo piuttosto regolare e produzione concentrata nelle ore diurne dal lunedì al venerdì, e la seconda presenta consumi molto diversi in funzione delle giornate.

Di seguito si riportano i rispettivi profili indicativi del consumo durante un giorno di produzione. Il primo profilo, dell'impresa meccanica, è stato l'unico utilizzato negli scenari con l'impianto idroelettrico che prevedono la presenza di un'utenza industriale. Si è scelto questo profilo poiché, essendo più regolare nelle diverse giornate della settimana e nei diversi mesi dell'anno, è più appetibile per l'utilizzo in una giornata media. Il profilo preso ad esempio, utilizzato nelle simulazioni delle CER basate sulla centralina idroelettrica, è quello del mercoledì della 1a settimana di febbraio 2021.

Per le simulazioni dei casi del fotovoltaico si sono invece utilizzati i profili quartorari reali.

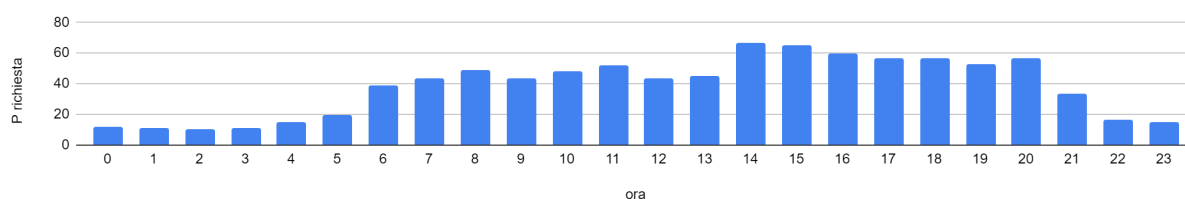


Immagine 7. profilo di consumo relativo all'impresa meccanica

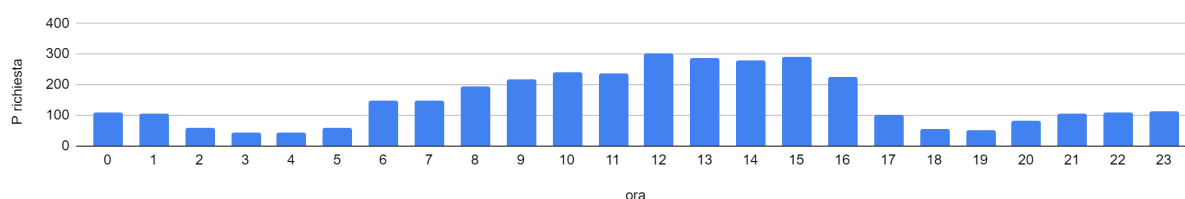


Immagine 8. profilo di consumo relativo all'impresa lattiero-casearia

Nel primo caso, che rappresenta il profilo di consumo dell'industria meccanica, la potenza massima richiesta su base oraria è di 67,0 kW, quella minima è di 10,5 kW mentre l'energia consumata nell'intera giornata di riferimento è pari a 920,8 kWh. Si nota un consumo elettrico abbastanza costante nell'arco della giornata dalle ore 6 alle ore 21, con un calo nelle ore notturne.

Nel secondo caso, che rappresenta una giornata dell'impresa lattiero-casearia, nello specifico il 22 giugno 2021, i consumi orari sono sensibilmente più elevati, con una potenza massima richiesta su base oraria di 304,1 kW, una minima di 42,5 kW mentre l'energia consumata nell'intera giornata di riferimento è pari a 3600,3 kWh. Si nota come, rispetto al primo caso, la produzione cali prima nelle ore serali, attorno alle ore 17.

Profili di consumo terziario

Per quanto riguarda i profili di consumo di utenze del settore terziario, si è considerato il caso di una biblioteca universitaria. Di seguito si riporta un grafico del profilo di consumo indicativo di tale struttura in un giorno di apertura (i dati sono la media oraria dei giorni feriali di una settimana, dal 15 al 19 novembre 2021). In arancione è riportato il profilo di consumo tenendo conto dei soli dispositivi elettrici ed elettronici mentre in blu si evidenzia il profilo di consumo con i consumi della pompa di calore.

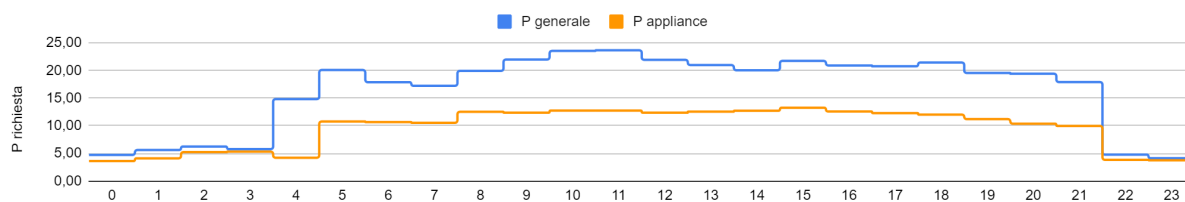


Immagine 9. profilo di consumo relativo alla biblioteca universitaria

Per il caso preso ad esempio, la potenza massima richiesta su base oraria di è di 23,7 kW, quella minima di 3,6 kW mentre l'energia consumata nell'intera giornata di riferimento è pari a 231,8 kWh per i soli elettrodomestici e di 395,2 kWh se si considera il consumo della pompa di calore.

Profili di produzione

Profili di produzione degli impianti fotovoltaici

Gli impianti fotovoltaici utilizzati nelle simulazioni sono caratterizzati da pannelli di 420 Wp l'uno, situati a Trento, con 20° di inclinazione, esposizione a sud e irradiazione solare giornaliera media mensile da normativa UNI 10349-1:2016.

I profili di produzione degli impianti fotovoltaici hanno una grande variabilità sia giornaliera che mensile. Si riporta pertanto il grafico del profilo di produzione medio giornaliero e della produzione media mensile per un pannello di 420 Wp.

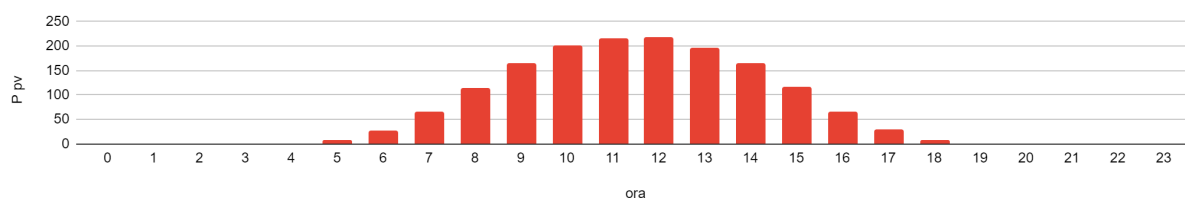


Immagine 10. profilo di produzione medio giornaliero di un pannello fv da 420 Wp in Trentino

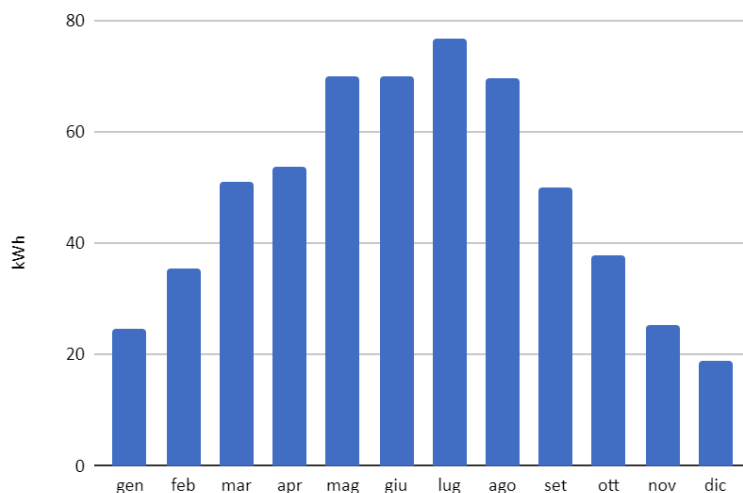


Immagine 11. profilo dell'energia media mensile prodotta da un pannello fv da 420 Wp in Trentino

Profili di produzione degli impianti idroelettrici

Come già menzionato nelle assunzioni, a differenza di quanto fatto per la parte fotovoltaica, la stima della produzione e dei consumi è stata fatta su una giornata tipo, estendendo poi ad un'intera annualità il calcolo degli incentivi.

Per la definizione della CER la prima assunzione da effettuare riguarda la modalità di generazione dell'energia da parte dell'impianto idroelettrico, che dipende principalmente dalle caratteristiche della concessione idrica e dalle caratteristiche del flusso idrico turbinabile. Si è scelto di simulare due comportamenti, che chiameremo "ad acqua fluente" laddove la portata sia considerata costante durante tutto l'arco della giornata e "a bacino" nel caso la portata turbinabile sia presente in maniera discontinua durante l'arco della giornata ed in particolare secondo un profilo di on/off. Nelle simulazioni si è ipotizzato il funzionamento della centralina nelle ore mattutine (dalle 5 alle 9 comprese) e serali (dalle 18 alle 22 comprese).

Nel grafico sottostante si riporta il funzionamento ad acqua fluente.

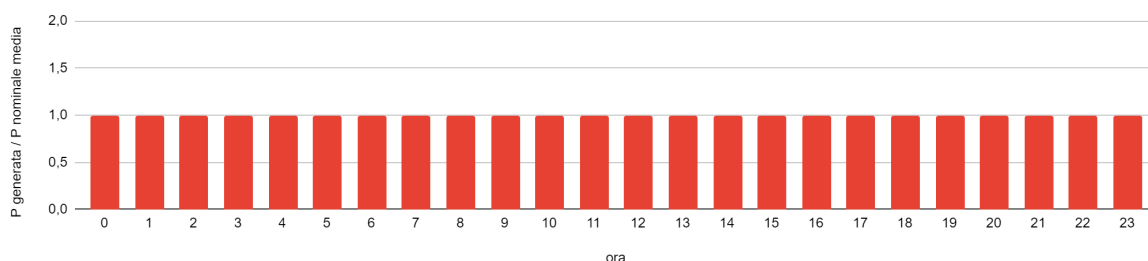


Immagine 12. profilo di produzione della centralina ad acqua fluente usato nelle simulazioni

Nel grafico sottostante si riporta il funzionamento a bacino.

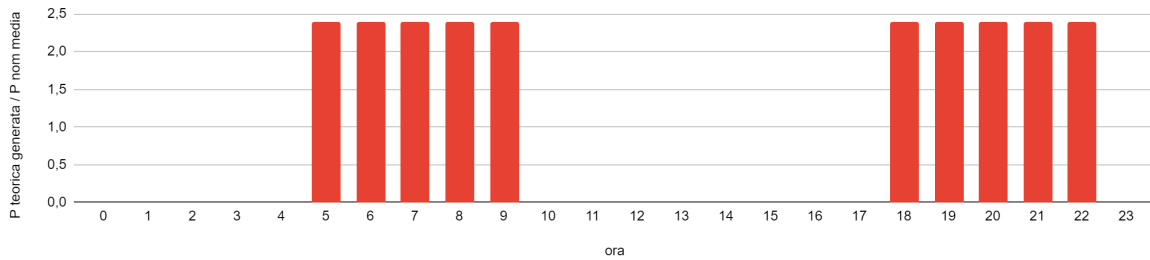


Immagine 13. profilo di produzione della centralina a bacino usato nelle simulazioni

Per quanto riguarda il calcolo della potenza elettrica resa disponibile dal generatore alla rete elettrica, si è tenuto conto di un rendimento del 75% rispetto al valore di potenza nominale media, valore che tipicamente viene utilizzato (assieme alla portata nominale) per descrivere le caratteristiche di una centrale idroelettrica e della propria concessione.

Nelle simulazioni che verranno di seguito presentate la potenza nominale media della centralina idroelettrica è stata assunta pari a 100kW.

La totalità dell'energia prodotta è venduta in rete e non partecipa all'autoconsumo fisico di alcuna utenza.

Dati di output

I dati di output sono di tipo energetico ed economico. Per i dati energetici si sono riportati i valori di SCF e LCF al variare del numero di aderenti alla comunità energetica e per le simulazioni con impianto idroelettrico sono riportate anche le quantità di energia prodotta, autoconsumata, venduta, acquistata e condivisa nella CER, che per i casi con impianto fotovoltaico sono riportati nella relazione allegata. Per i dati di tipo economico sono riportate le previsioni degli incentivi previsti per la condivisione dell'energia. I valori utilizzati sono stati riportati nel paragrafo "Assunzioni".

Si è deciso, per ogni caso, di andare a ricercare l'andamento dei fattori LCF e SCF considerando gli impianti di produzione come dato di input fisso e modificando invece il numero di consumatori aderenti alla comunità energetica.

Definizioni

Si riportano le definizioni utilizzate, con l'ausilio dell'immagine per chiarezza espositiva.

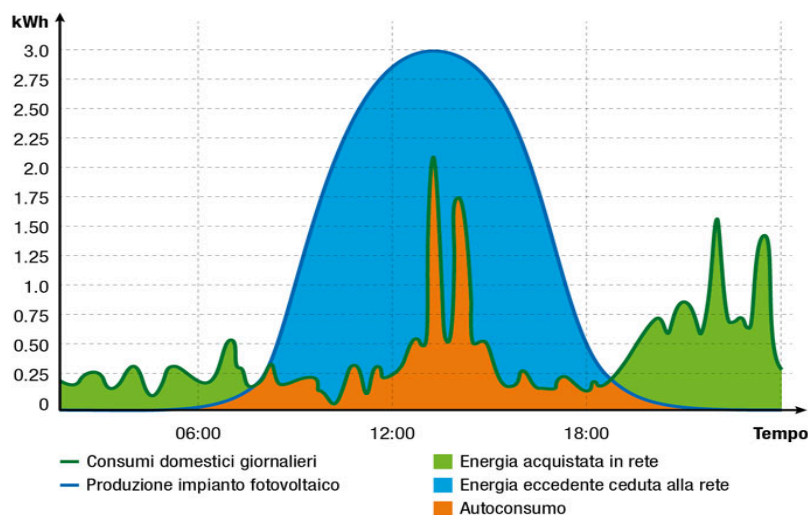


Immagine 14. Esempio di profilo di produzione di un impianto fotovoltaico e profilo di consumo domestico. [https://www.4-noks.com/autoconsumo/...](https://www.4-noks.com/autoconsumo/)

LCF (load cover factor): rappresenta l'autosufficienza, ovvero il rapporto tra l'energia autoconsumata e i consumi totali dell'edificio. Nell'immagine, l'LCF rappresenta dunque il rapporto tra l'area arancione e la somma dell'area arancione e di quella verde

SCF (supply cover factor): rappresenta l'autoconsumo, ovvero il rapporto tra l'energia autoconsumata e la produzione da impianto fotovoltaico. Nell'immagine, l'SCF rappresenta dunque il rapporto tra l'area arancione e la somma dell'area arancione e di quella blu.

Energia condivisa: come da definizione riportata nel decreto legislativo 199/2021, *in una comunità di energia rinnovabile o in un gruppo di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente, è pari al minimo, in ciascun periodo orario, tra l'energia elettrica prodotta e immessa in rete dagli impianti a fonti rinnovabili e l'energia elettrica prelevata dall'insieme dei clienti finali associati situati nella stessa zona di mercato;*

Autoconsumo (fisico): autoconsumo istantaneo di un'utenza direttamente collegata ad un impianto di produzione di energia elettrica.

Casi analizzati

Si riporta in tabella l'elenco e i principali dettagli dei casi analizzati.

Caso	tipologia impianto	potenza (di picco o nominale)	Tipologia produttore	Tipologia consumatore aderente alla CER
1	fotovoltaico	60 kW	prosumer residenziali	utenze residenziali
2	fotovoltaico	60 kW	prosumer residenziali	utenze residenziali con 30% di incidenza delle pompe di calore
3	fotovoltaico	750 kW	prosumer industriale	prosumer industriale e utenze residenziali
4	fotovoltaico	750 kW	produttore fotovoltaico e prosumer industriale	prosumer industriale e utenze residenziali
5	fotovoltaico	450 kW	prosumer terziario	prosumer terziario e utenze residenziali
6	fotovoltaico	1500 kW	due prosumer industriali e un prosumer terziario	due prosumer industriali, un prosumer terziario, utenze residenziali
7	idroelettrico ad acqua fluente	100 kW	produttore idroelettrico	utenze residenziali con 3,67% di incidenza delle pompe di calore
8	idroelettrico ad acqua fluente	100 kW	produttore idroelettrico	utenze residenziali con 3,67% di incidenza delle pompe di calore e un'utenza industriale
9	idroelettrico a bacino	100 kW	produttore idroelettrico	utenze residenziali con 3,67% di incidenza delle pompe di calore
10	idroelettrico a bacino	100 kW	produttore idroelettrico	utenze residenziali con 3,67% di incidenza delle pompe di calore e un'utenza industriale
11	idroelettrico ad acqua fluente e	100 kW idroelettrico	produttore idroelettrico e prosumer	utenze residenziali con 3,67% di

Caso	tipologia impianto	potenza (di picco o nominale)	Tipologia produttore	Tipologia consumatore aderente alla CER
	fotovoltaico	e 3 kW di fotovoltaico ad utenza residenziale	residenziale con un peso parti al 10% del totale	incidenza delle pompe di calore

CASI CON IMPIANTO DI PRODUZIONE FOTOVOLTAICO

CASO 1: impianti fotovoltaici diffusi - prosumer residenziali

In questa scheda si riporta il caso di impianti fotovoltaici diffusi, nello specifico caratterizzati da 10 utenze prosumer, ognuna con un impianto fotovoltaico di circa 6 kW.

Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da una presenza delle pompe di calore per il riscaldamento pari a quelle ad oggi registrata nel catasto degli impianti termici, ovvero pari al 3,67% degli impianti totali.

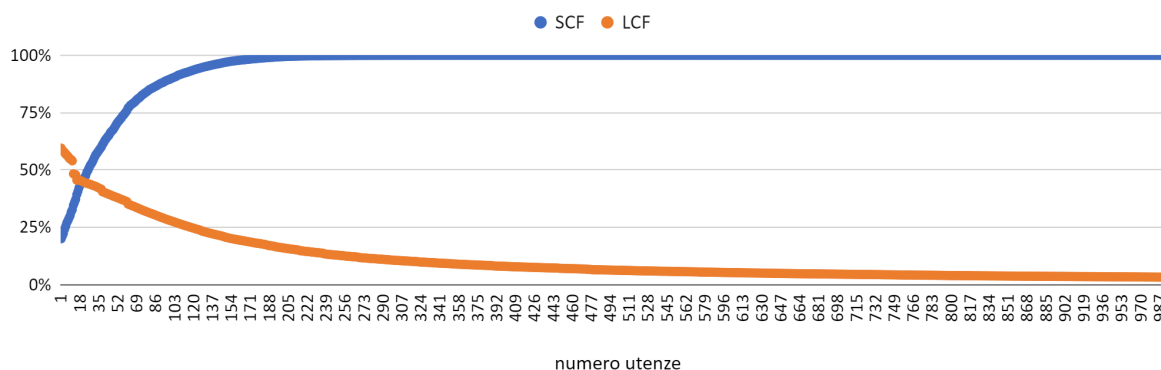


Immagine 15. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza.

Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

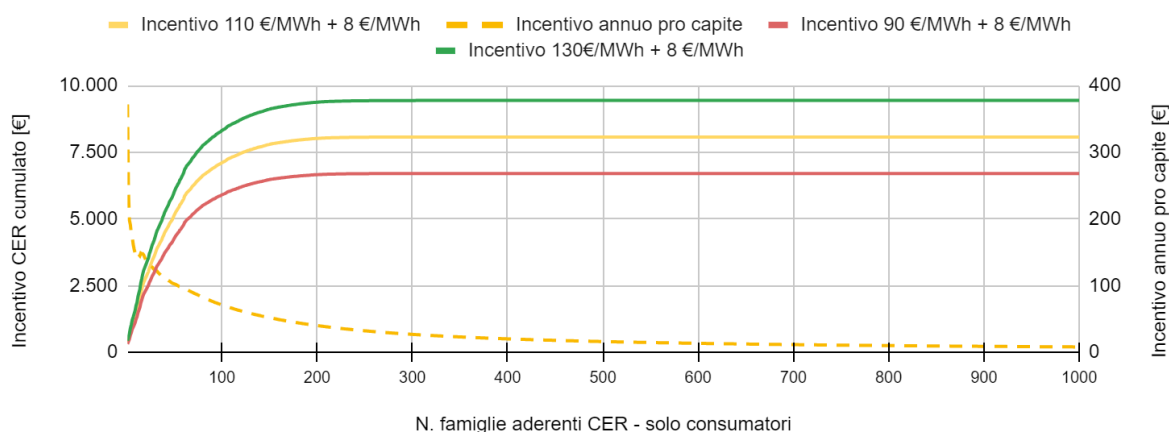


Immagine 16. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 45%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 20 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo, calcolato su base annua nel caso di 20 utenti è pari a € 2.788.

Per raggiungere invece il 90% dell'autoconsumo è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 100 utenti. L'ammontare totale dell'incentivo su base annua risulta in questo caso è pari a € 7.109. Il calcolo dell'ammontare dell'incentivo a famiglia, visibile nel grafico con la linea gialla tratteggiata, è calcolato considerando i soli consumatori, e non includendo nel calcolo anche i prosumer.

CASO 2: impianti fotovoltaici diffusi - prosumer residenziali e incidenza pompe di calore del 30%

In questa scheda si riporta il caso di impianti fotovoltaici diffusi, nello specifico caratterizzati da 10 utenze prosumer, ognuna con un impianto fotovoltaico di circa 6 kW.

Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da una presenza delle pompe di calore per il riscaldamento pari al 30%, che corrisponde all'ipotesi in cui tutti gli edifici in classe di vetustà V5, V6 e V7, ovvero costruiti dopo il 1981, abbiano questo tipo di tecnologia per il riscaldamento.

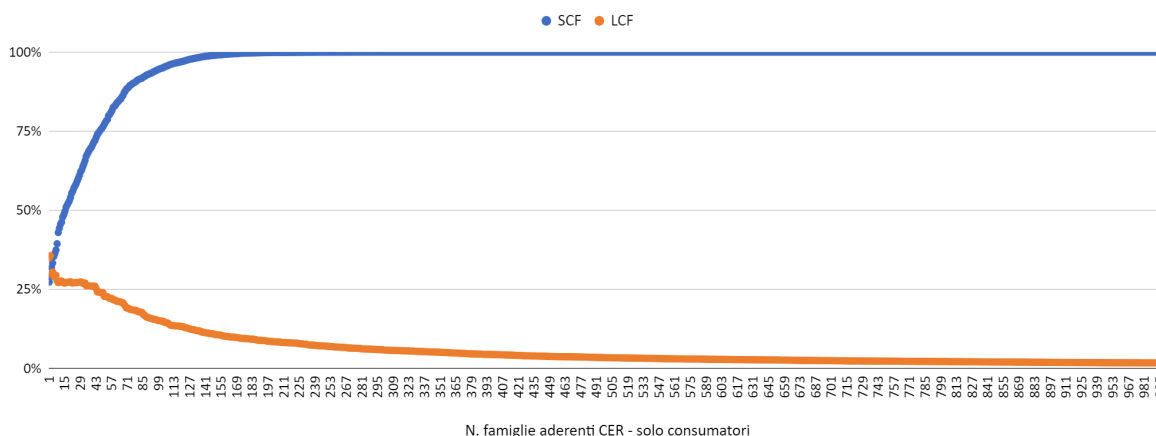


Immagine 17. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza.

Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

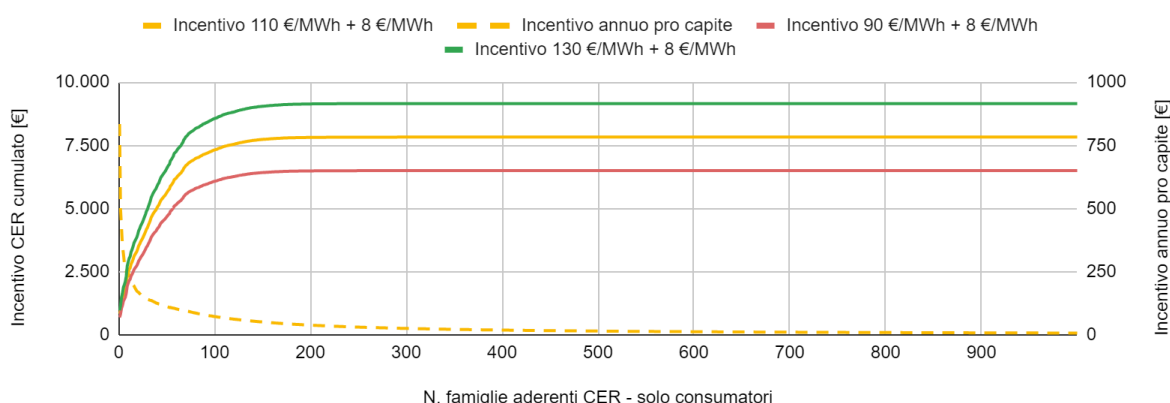


Immagine 18. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 30%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 3 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 3 utenti è pari a € 1.272.

Per raggiungere invece il 90% dell'autoconsumo è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 75 utenti. L'ammontare totale dell'incentivo su base annua risulta in questo caso è pari a € 6.856. Il calcolo dell'ammontare dell'incentivo a famiglia, visibile nel grafico con la linea gialla tratteggiata, è calcolato considerando i soli consumatori, e non includendo nel calcolo anche i prosumer.

CASO 3: impianto fotovoltaico industriale

In questa scheda si riporta il caso di un impianto fotovoltaico installato su un'impresa, che risulta sovradimensionato rispetto al classico dimensionamento basato sui consumi della sola azienda. Si è infatti ipotizzato un impianto di 750 kW, mentre un dimensionamento sui soli fabbisogni aziendali indicherebbe l'installazione di un impianto di circa 450 kW.

Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da consumi legati solo agli elettrodomestici.

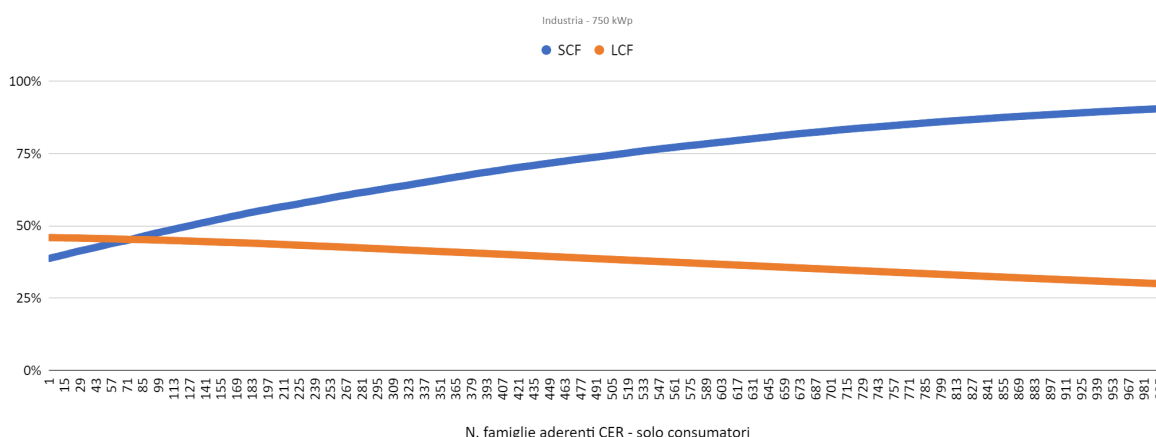


Immagine 19. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza.

Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

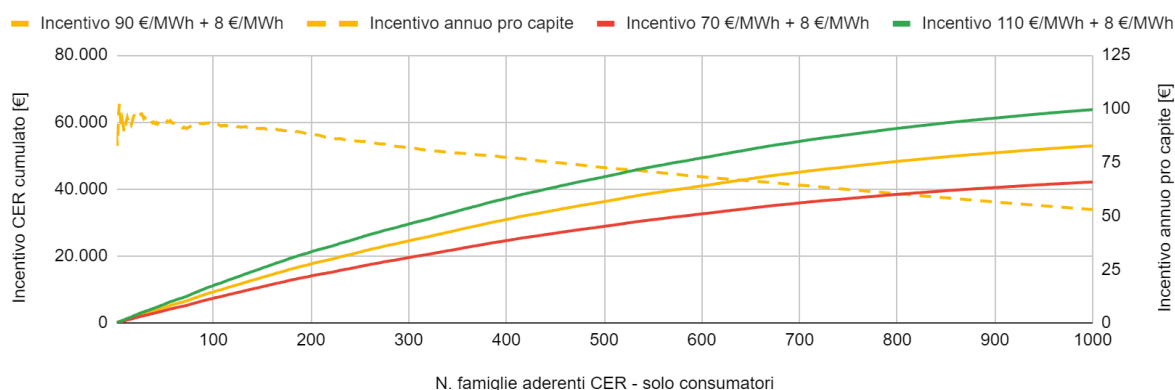


Immagine 20. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 45%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 76 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 76 utenti è pari a € 6.958.

Per raggiungere invece il 90% dell'autoconsumo è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 950 utenti. L'ammontare totale dell'incentivo su base annua risulta in

questo caso è pari a € 51.938. Il calcolo dell'ammontare dell'incentivo a famiglia, visibile nel grafico con la linea gialla tratteggiata, è calcolato considerando i soli consumatori, e non includendo nel calcolo anche il prosumer industriale.

CASO 4: impianto fotovoltaico per sola produzione elettrica e prosumer industriale

In questa scheda si riporta la combinazione di un impianto fotovoltaico di 305 kWp slegato da utenze che possano utilizzare parte della produzione in autoconsumo e un impianto industriale di 445 kW che funge da prosumer, dimensionato sulle reali esigenze dei consumi dell'utenza. Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da consumi legati solo agli elettrodomestici.



Immagine 21. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza. Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

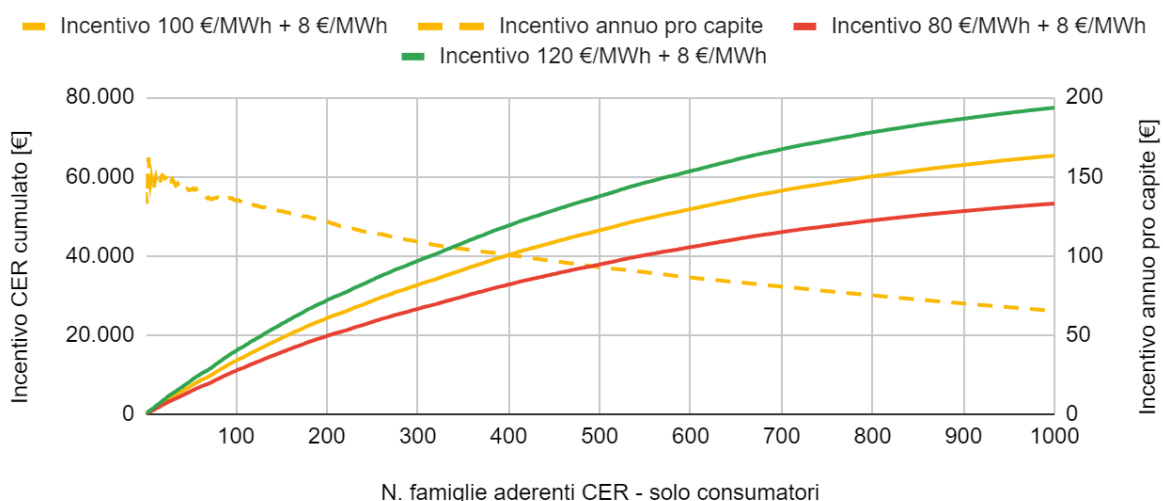


Immagine 22. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 41%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 71 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 71 utenti è pari a € 9.671.

Per raggiungere invece il 90% dell'autoconsumo è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 962 utenti. L'ammontare totale dell'incentivo su base annua risulta in questo caso è pari a € 64.472. Il calcolo dell'ammontare dell'incentivo a famiglia, visibile nel grafico con la linea gialla tratteggiata, è calcolato considerando i soli consumatori, e non includendo nel calcolo anche il prosumer industriale.

CASO 5: impianto fotovoltaico terziario

In questa scheda si riporta il caso di un impianto fotovoltaico di 450 kW installato su un'utenza terziaria, che risulta sovradimensionato rispetto ai soli consumi dell'utenza, caratterizzata dalla presenza di apparecchi elettronici. Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da consumi legati solo agli elettrodomestici.

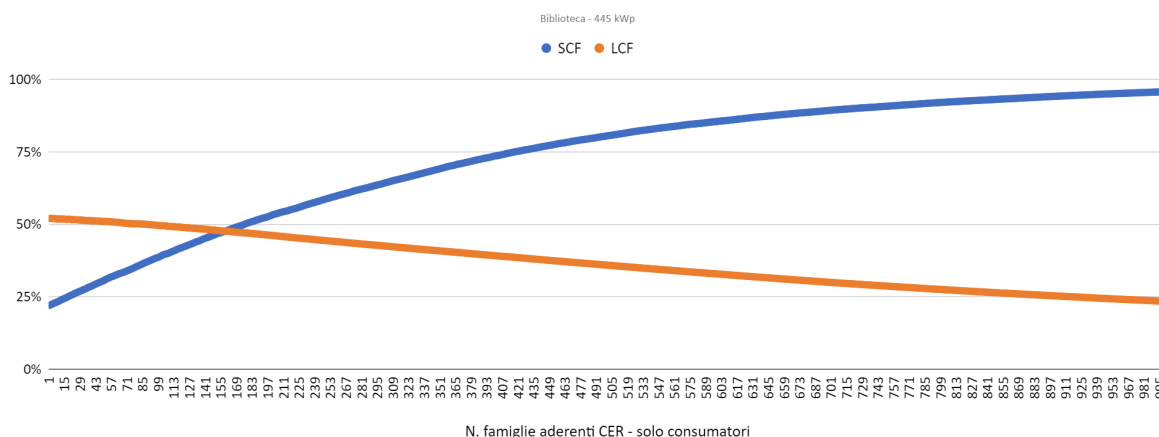


Immagine 23. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza. Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

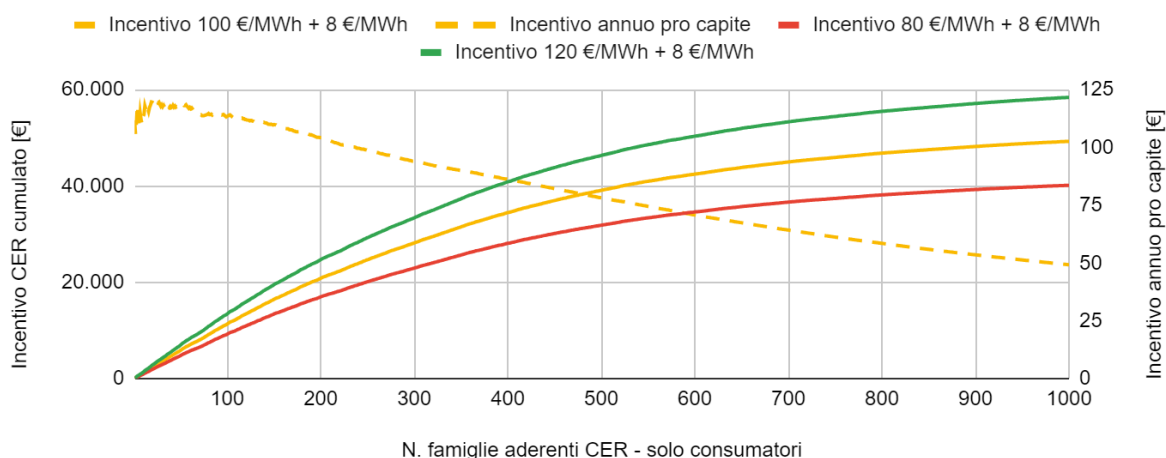


Immagine 24. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 48%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 160 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 160 utenti è pari a € 17.332.

Per raggiungere invece il 90% dell'autoconsumo è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 700 utenti. L'ammontare totale dell'incentivo su base annua risulta in

questo caso è pari a € 44.993. Il calcolo dell'ammontare dell'incentivo a famiglia, visibile nel grafico con la linea gialla tratteggiata, è calcolato considerando i soli consumatori, e non includendo nel calcolo anche il prosumer terziario.

CASO 6: impianto fotovoltaico con due prosumer industriali e uno terziario

In questa scheda si riporta la combinazione di tre utenze prosumer: due industriali, ognuna con profili di consumo diversi, e una terziaria. Ogni utenza è collegata ad un impianto di 750 kWp ciascuno, sovradimensionato rispetto ai soli consumi dell'utenza. Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali. Le utenze residenziali sono caratterizzate da consumi legati solo agli elettrodomestici.

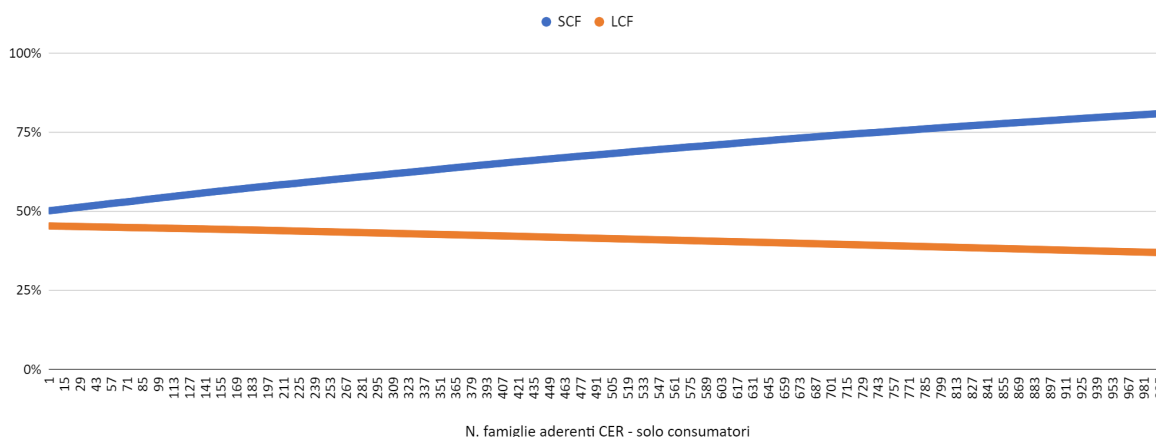


Immagine 25. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Si riporta inoltre il grafico con l'ammontare dell'incentivo all'autoconsumo derivante dalle varie configurazioni CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per utenza. Come riportato nel paragrafo "Assunzioni" per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

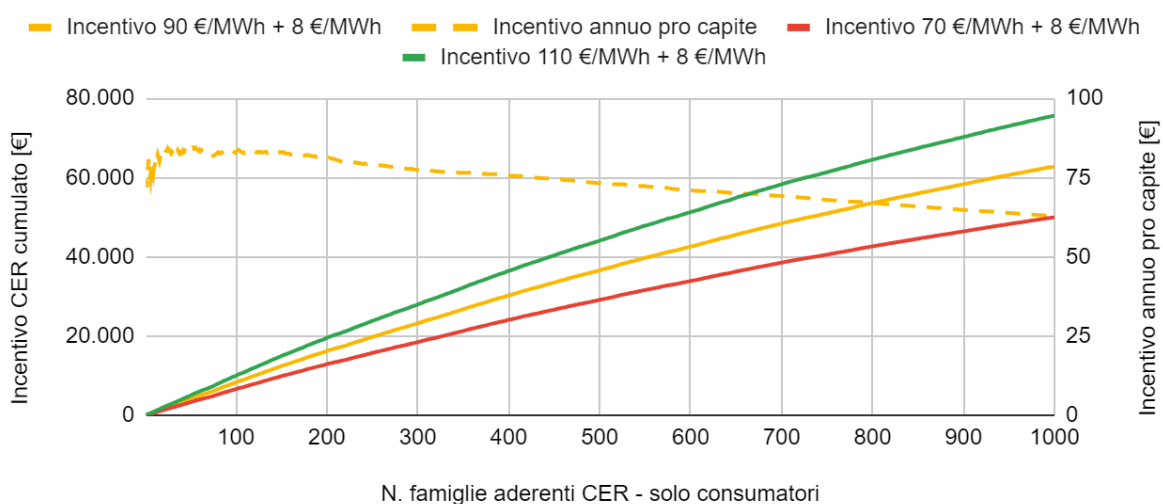


Immagine 26. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF, pari al 48%, viene raggiunta con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 372 utenti.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 372 utenti è pari a € 28.339.
Il numero di utenze necessario a raggiungere il 90% dell'autoconsumo non è stato quantificato con esattezza, uscendo dai numeri gestibili dal modello applicato. Il valore supera comunque le 1000 utenze.

CASI CON IMPIANTO DI PRODUZIONE IDROELETTRICO

CASO 7: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da consumer residenziali

In questa scheda si riporta il caso di una centralina da 100 kW nominali (75 kW immessi in rete) ad acqua fluente con una CER composta da soli consumatori residenziali.

Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali.

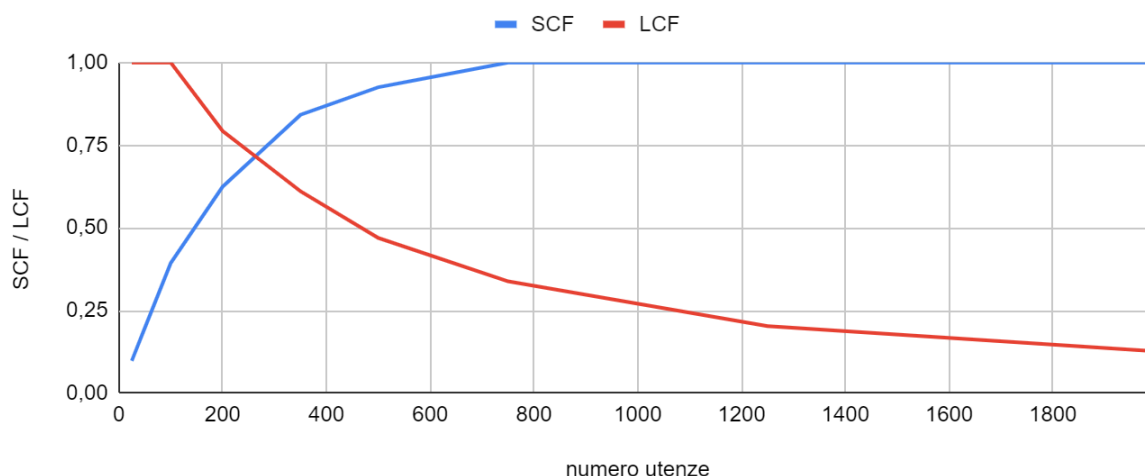


Immagine 27. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Viene presentato inoltre il grafico riportante l'ammontare dell'incentivo derivante dall'energia condivisa dalla CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per numero di utenti residenziali.

Come riportato nel paragrafo “Assunzioni” per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

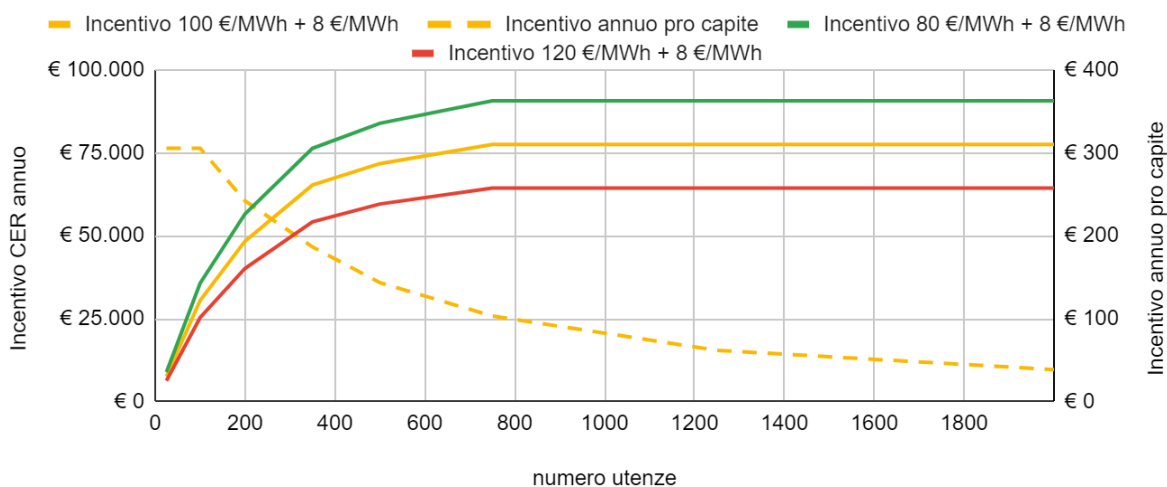


Immagine 28. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF viene individuato con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 255 utenti ed i valori di SCF e LCF sono pari a circa il 72%.

Di seguito si riporta un grafico dove sono visualizzati i profili di produzione e consumo della CER così composta. Assumendo che tutta l'energia idroelettrica venga venduta in rete, il secondo grafico mostra, su base oraria, l'energia acquistata e venduta dalla CER.

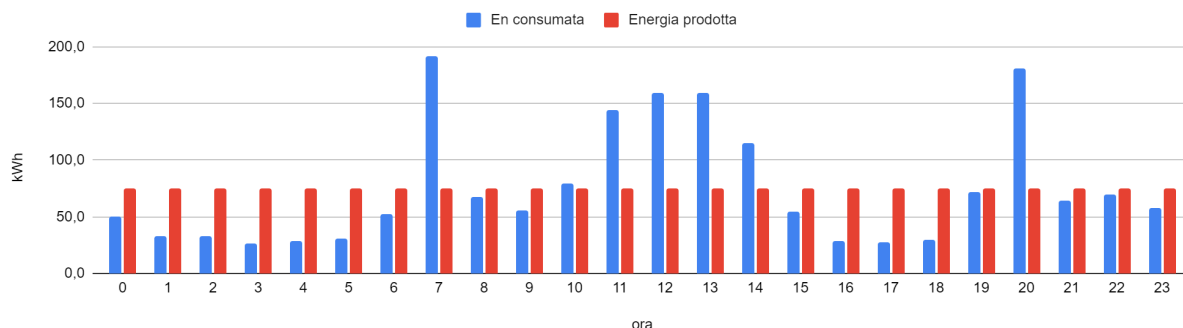


Immagine 29. energia prodotta e consumata dalla CER

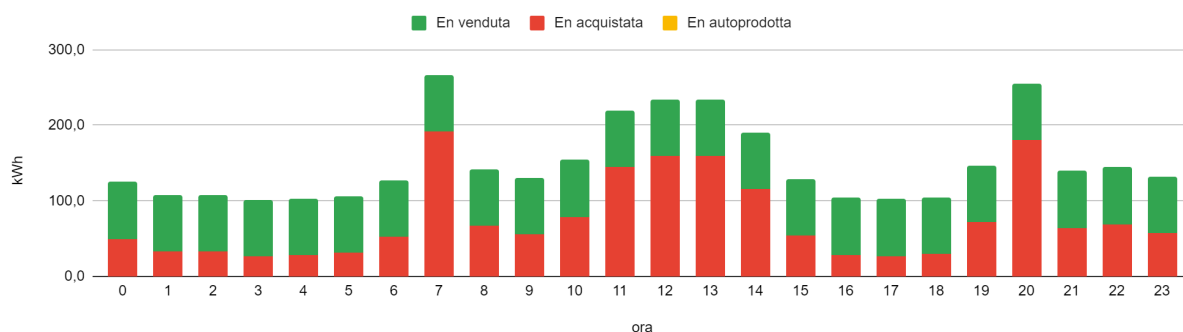


Immagine 30. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 255 utenti è pari a € 56.207. Per raggiungere invece un valore di SCF pari al 90% è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 445 utenti. Si riportano quindi i medesimi grafici.

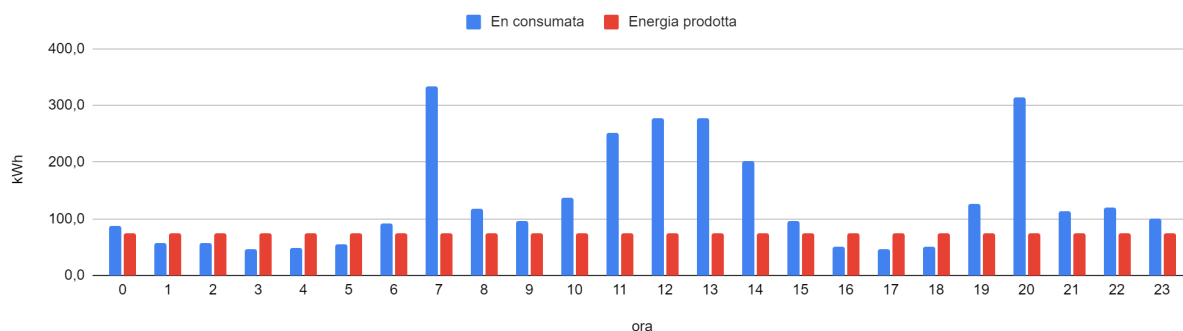


Immagine 31. energia prodotta e consumata dalla CER

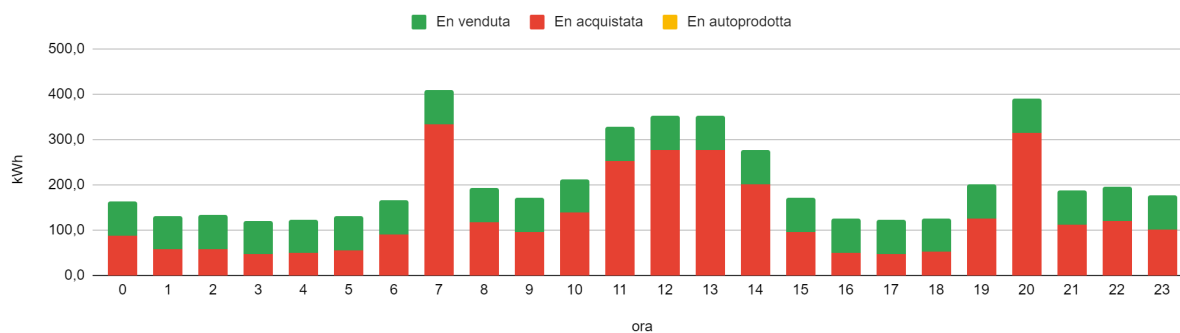


Immagine 32. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua con 445 utenti è pari a € 69.528.

CASO 8: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da consumer residenziali ed industriali

In questa scheda si riporta il caso di una centralina da 100 kW nominali (75 kW immessi in rete) ad acqua fluente con una CER composta da consumer residenziali e industriali.

La simulazione in particolare considera una impresa consumer ed un variabile numero di consumer residenziali, di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali.

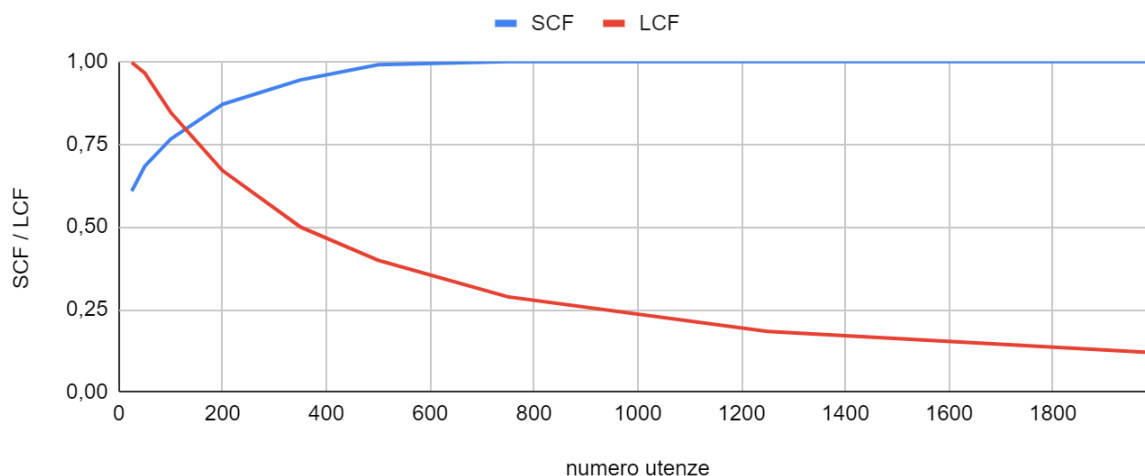


Immagine 33. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Viene presentato inoltre il grafico riportante l'ammontare dell'incentivo derivante dall'energia condivisa dalla CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per numero di utenti residenziali.

Come riportato nel paragrafo “Assunzioni” per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

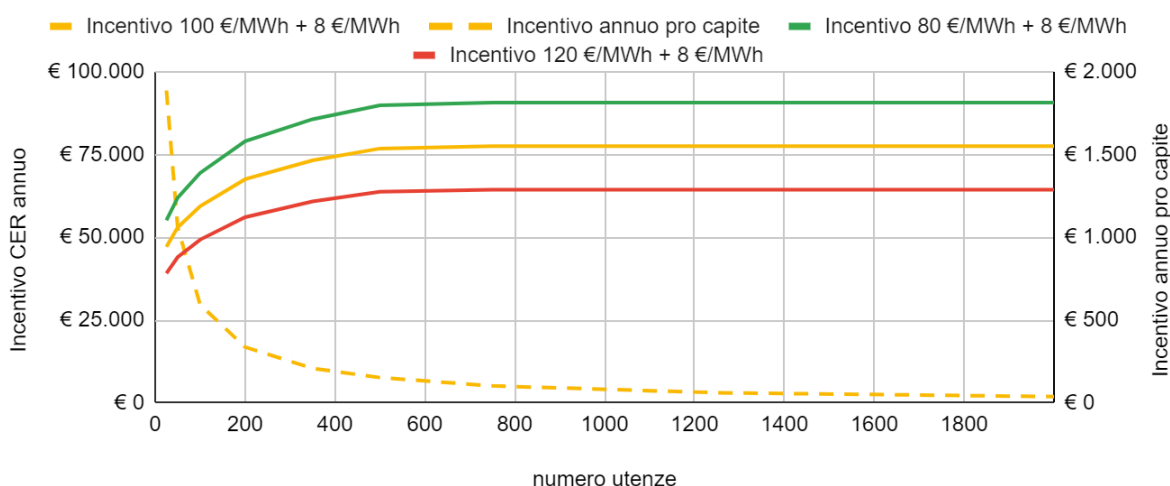


Immagine 34. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

In questo caso, vista la presenza dell'impresa nella CER, è da valutare con attenzione lo scorporo dell'incentivo rispetto alle utenze residenziali. Nel grafico proposto infatti la linea tratteggiata gialla non tiene conto dell'utenza industriale.

L'incrocio delle curve SCF e LCF viene individuato con un numero di utenze di tipo residenziale pari a 123 utenti ed i valori di SCF e LCF sono pari all'80%.

Di seguito si riporta un grafico dove sono visualizzati i profili di produzione e consumo della CER così composta. Assumendo che tutta l'energia idroelettrica venga venduta in rete, il secondo grafico mostra, su base oraria, l'energia acquistata e venduta dalla CER.

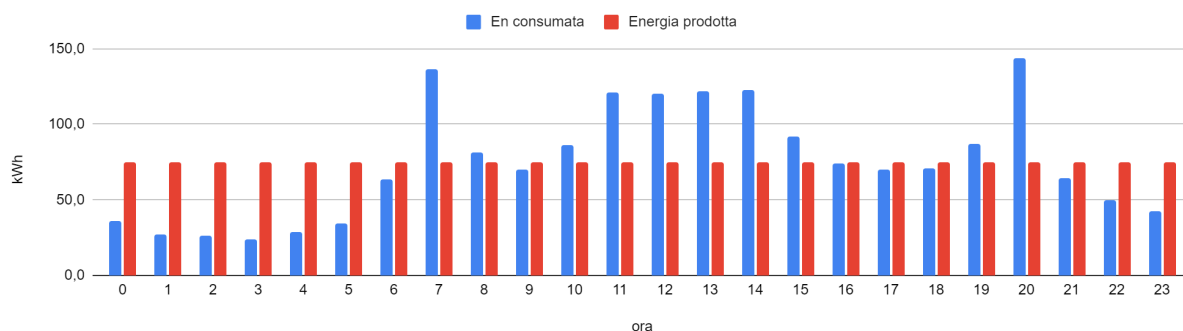


Immagine 35. energia prodotta e consumata dalla CER

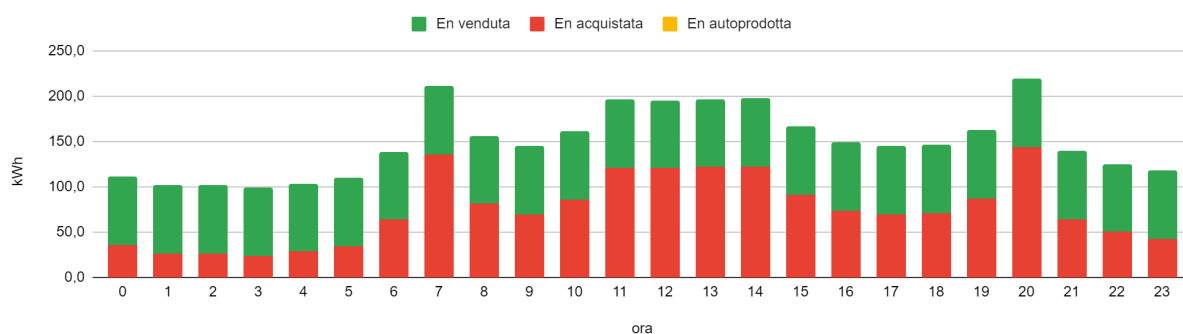


Immagine 36. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 123 utenti è pari a € 61.635. Come già accennato non trova particolare interesse il calcolo dello scorporo di tale quota rispetto ai soli utenti residenziali.

Per raggiungere invece un valore di SCF pari al 90% è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 240 utenti. Si riportano quindi i medesimi grafici.

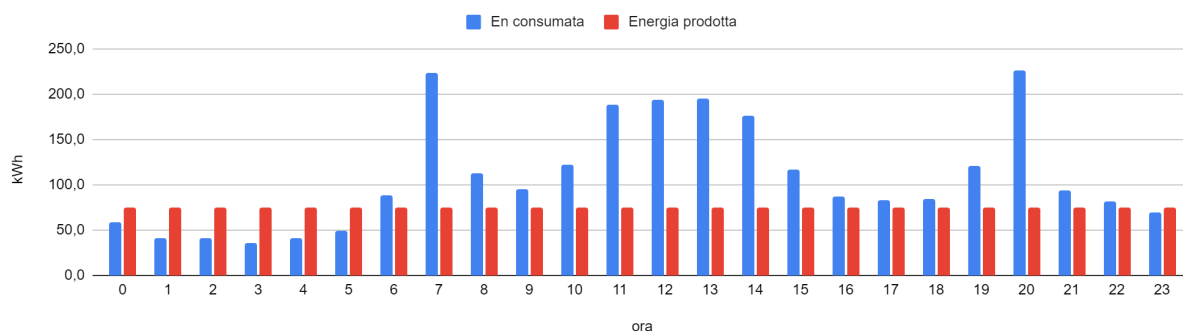


Immagine 37. energia prodotta e consumata dalla CER

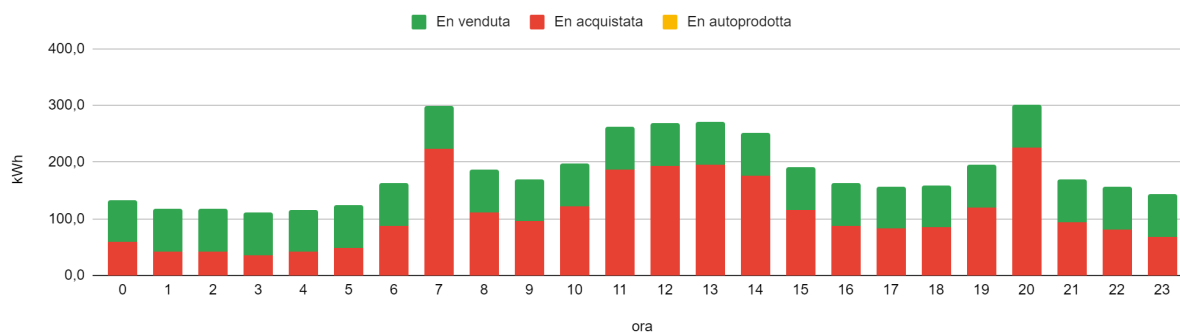


Immagine 38. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 240 utenti è pari a € 69.439.

CASO 9: nuova centralina “a bacino” e CER composta da consumer residenziali

In questa scheda si riporta il caso di una centralina da 100 kW nominali (75 kW immessi in rete) a bacino con una CER composta da soli consumer residenziali.

Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali.

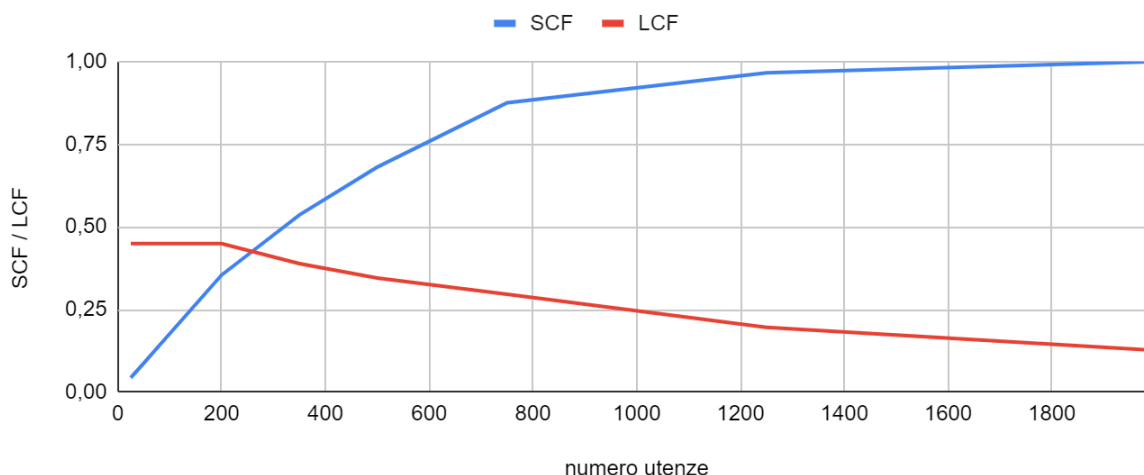


Immagine 39. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Viene presentato inoltre il grafico riportante l'ammontare dell'incentivo derivante dall'energia condivisa dalla CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per numero di utenti residenziali.

Come riportato nel paragrafo “Assunzioni” per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

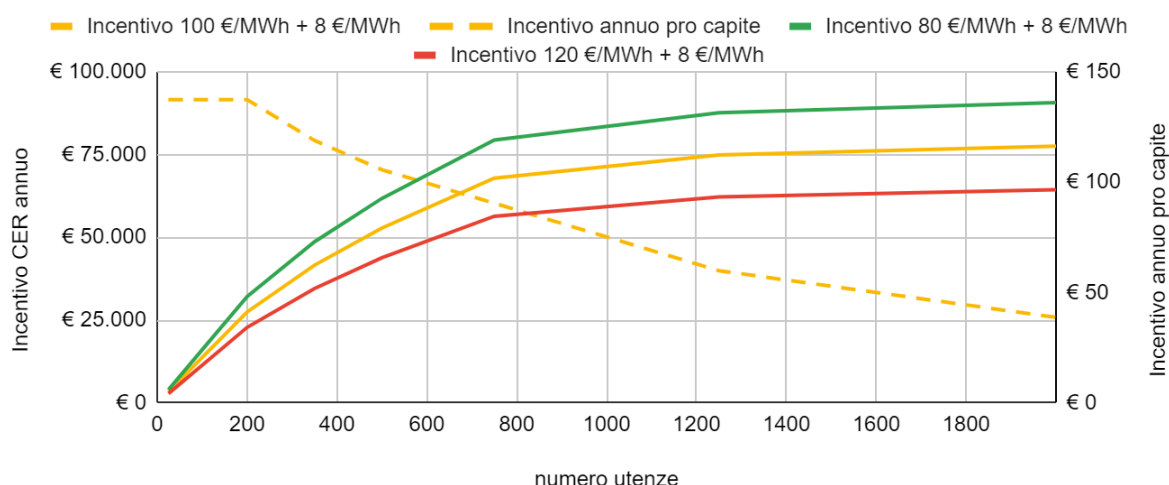


Immagine 40. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF viene individuato con un numero di utenze di tipo residenziale pari a 251 utenti ed i valori di SCF e LCF sono pari a circa il 44%.

Di seguito si riporta un grafico dove sono visualizzati i profili di produzione e consumo della CER così composta. Assumendo che tutta l'energia idroelettrica venga venduta in rete, il secondo grafico mostra, su base oraria, l'energia acquistata e venduta dalla CER.

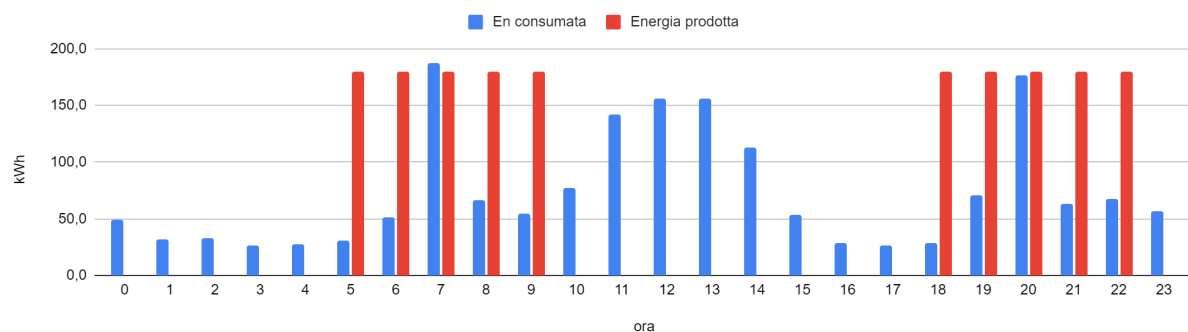


Immagine 41. energia prodotta e consumata dalla CER

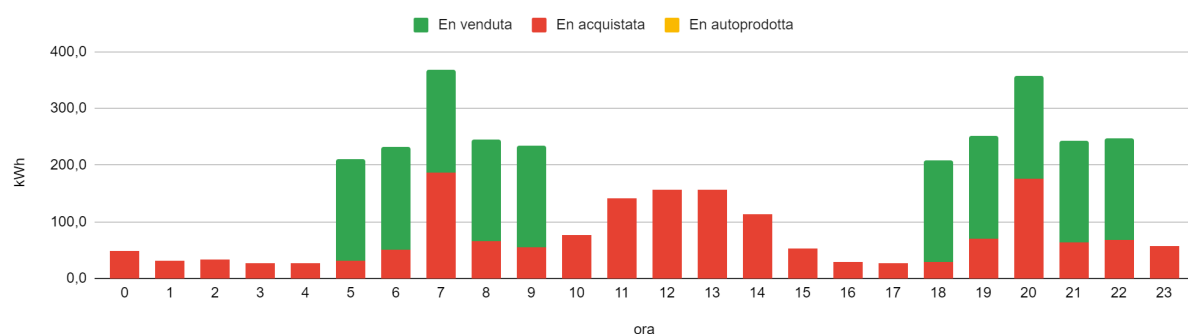


Immagine 42. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 251 utenti è pari a € 34.110. Per raggiungere invece un valore di SCF pari al 90% è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 805 utenti. Si riportano quindi i medesimi grafici.

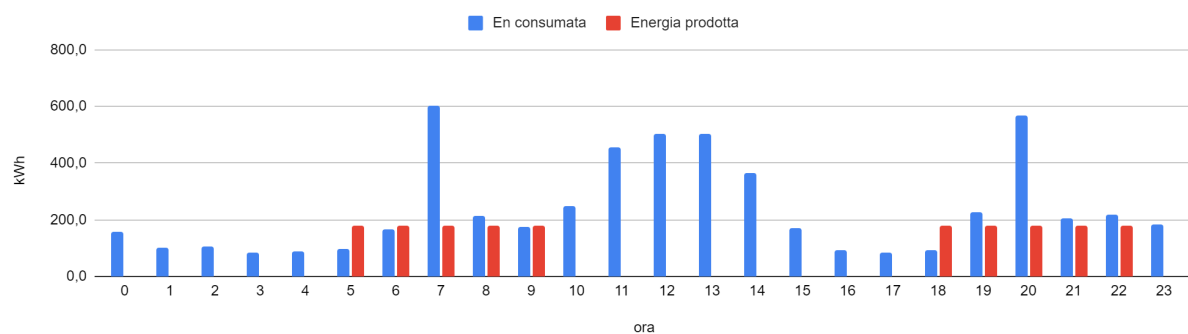


Immagine 43. energia prodotta e consumata dalla CER

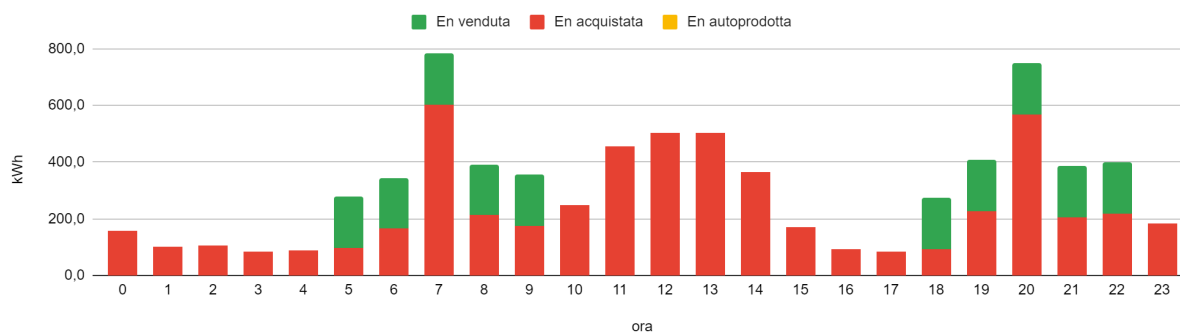


Immagine 44. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 805 utenti è pari a € 69.401.

CASO 10: nuova centralina “a bacino” e CER composta da consumer residenziali ed industriali

In questa scheda si riporta il caso di una centralina da 100 kW nominali (75 kW immessi in rete) a bacino con una CER composta da consumer residenziali ed industriali. La simulazione in particolare considera una impresa consumer ed un variabile numero di consumer residenziali, di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali.

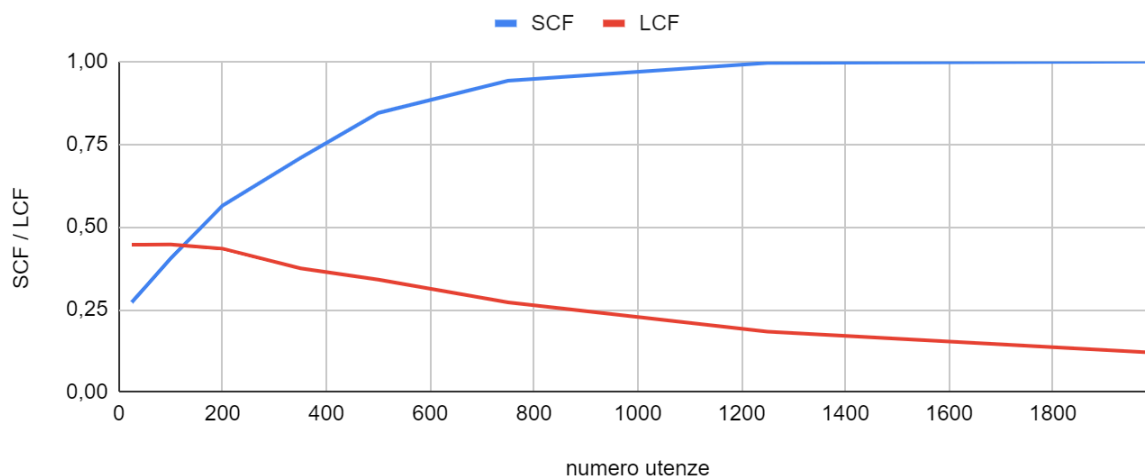


Immagine 45. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Viene presentato inoltre il grafico riportante l'ammontare dell'incentivo derivante dall'energia condivisa dalla CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per numero di utenti residenziali.

Come riportato nel paragrafo “Assunzioni” per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

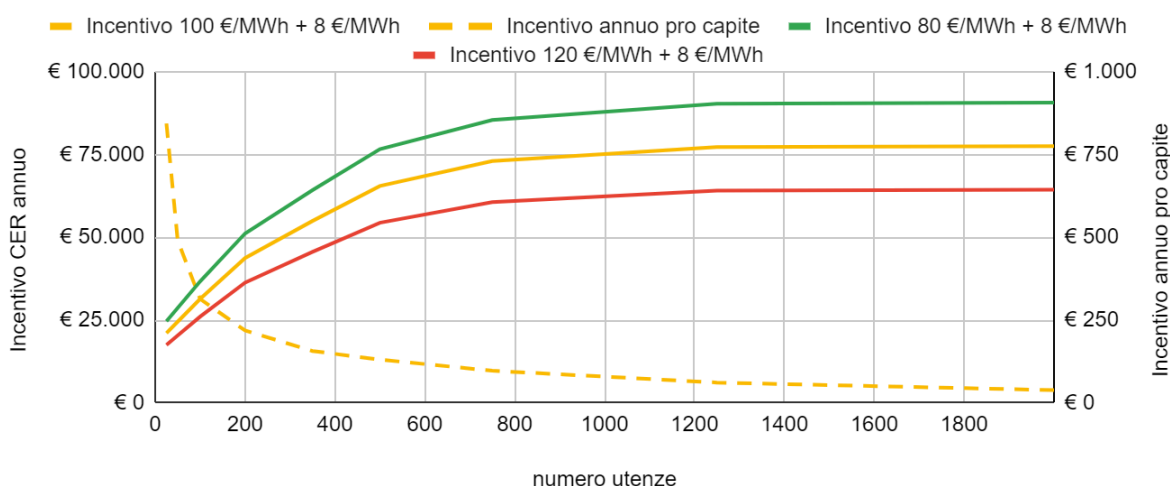


Immagine 46. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

In questo caso, vista la presenza dell'impresa nella CER, è da valutare con attenzione lo scorporo dell'incentivo rispetto alle utenze residenziali. Nel grafico proposto infatti la linea tratteggiata gialla non tiene conto dell'utenza industriale.

L'incrocio delle curve SCF e LCF viene individuato con un numero di utenze di tipo residenziale pari a 123 utenti ed i valori di SCF e LCF sono pari al 45%.

Di seguito si riporta un grafico dove sono visualizzati i profili di produzione e consumo della CER così composta. Assumendo che tutta l'energia idroelettrica venga venduta in rete, il secondo grafico mostra, su base oraria, l'energia acquistata e venduta dalla CER.

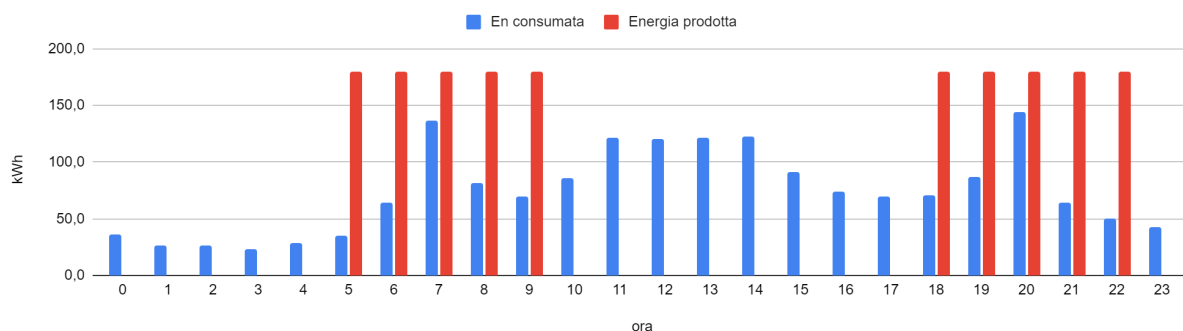


Immagine 47. energia prodotta e consumata dalla CER

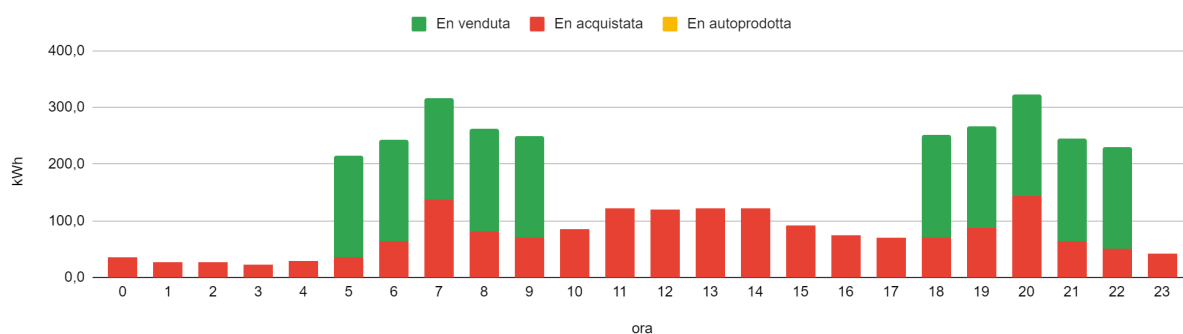


Immagine 48. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 123 utenti è pari a € 34.550. Come già accennato non trova particolare interesse il calcolo dello scorporo di tale quota rispetto ai soli utenti residenziali.

Per raggiungere invece un valore di SCF pari al 90% è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a 580 utenti. Si riportano quindi i medesimi grafici.

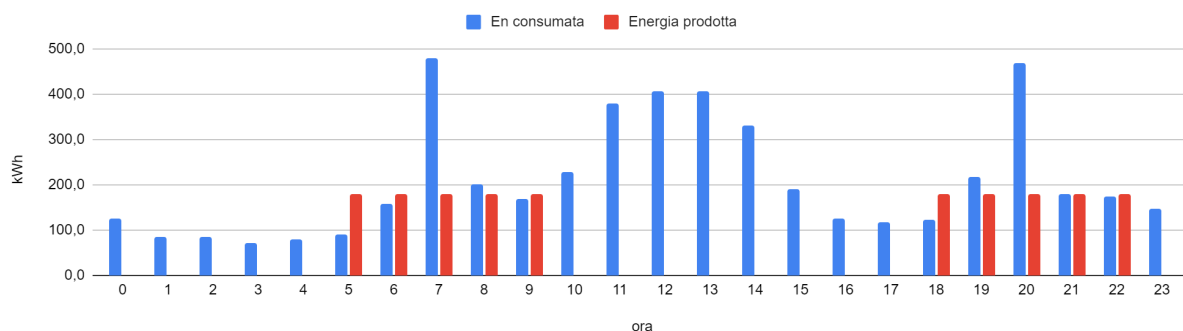


Immagine 49. energia prodotta e consumata dalla CER

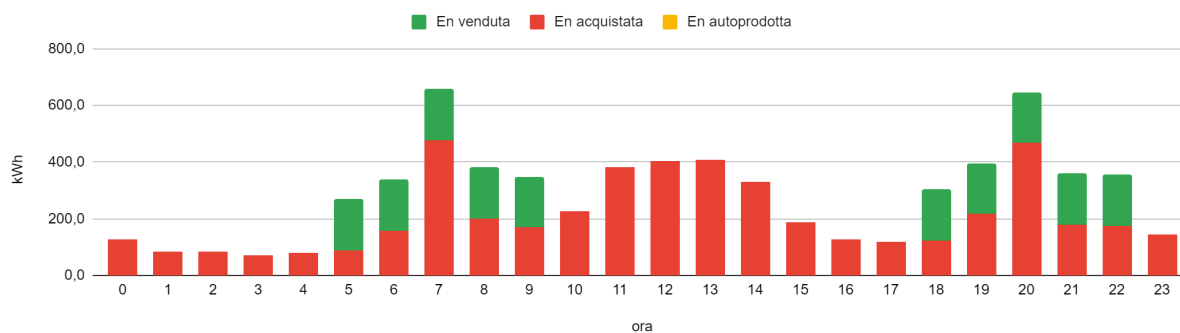


Immagine 50. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 580 utenti è pari a € 69.554.

CASO 11: nuova centralina “ad acqua fluente” e CER composta da prosumer e consumer residenziali

Si vuole ora simulare un'ulteriore casistica di configurazione CER, ovvero quella che vede il bacino di utenze residenziali dotarsi per una quota parte di nuovi impianti fotovoltaici. Si ipotizza che tale percentuale sia pari al 10% del totale degli utenti domestici. La potenza di picco del fotovoltaico è ipotizzata in circa 3 kW (7 pannelli da 420 W di potenza di picco) per ogni installazione. La quota parte di energia fotovoltaica non consumata direttamente dall'utenza prosumer viene immessa in rete e resa disponibile all'autoconsumo nella CER. La simulazione viene proposta per una centralina ad acqua fluente. Di seguito si propongono gli andamenti dei fattori SCF e LCF all'aumentare del numero di utenze residenziali.

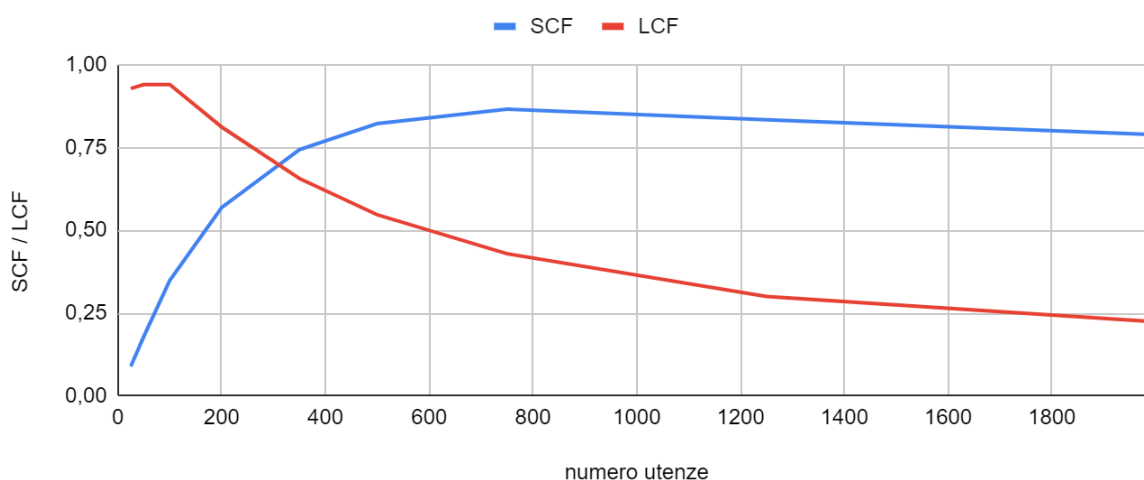


Immagine 51. profilo di SCF e LCF al variare del numero di utenze

Viene presentato inoltre il grafico riportante l'ammontare dell'incentivo derivante dall'energia condivisa dalla CER, sia come totale spettante alla CER sia diviso per numero di utenti residenziali.

Come riportato nel paragrafo “Assunzioni” per ogni fascia di potenza sono stati considerati un valore minimo, uno massimo e uno medio dell'incentivo, vista la dipendenza di quest'ultimo dal Prezzo zonale orario. Per il calcolo del corrispettivo a famiglia è stato considerato il valore medio dell'incentivo.

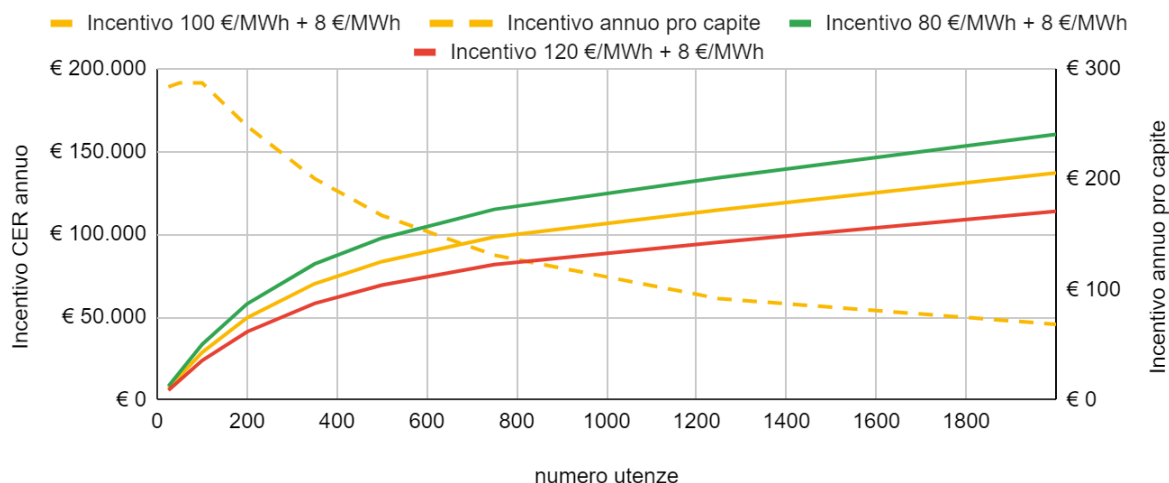


Immagine 52. andamento del valore dell'incentivo CER al variare del numero di utenze

L'incrocio delle curve SCF e LCF viene individuato con un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 300 utenti ed i valori di SCF e LCF sono pari al 70%.

Di seguito si riporta un grafico dove sono visualizzati i profili di produzione e consumo della CER così composta. Assumendo che tutta l'energia idroelettrica venga venduta in rete, il secondo grafico mostra, su base oraria, l'energia acquistata, venduta e autoconsumata dalla CER.

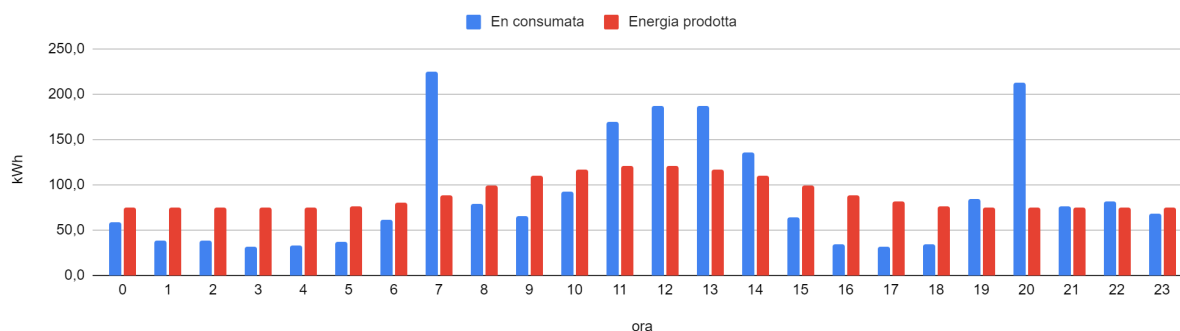


Immagine 53. energia prodotta e consumata dalla CER

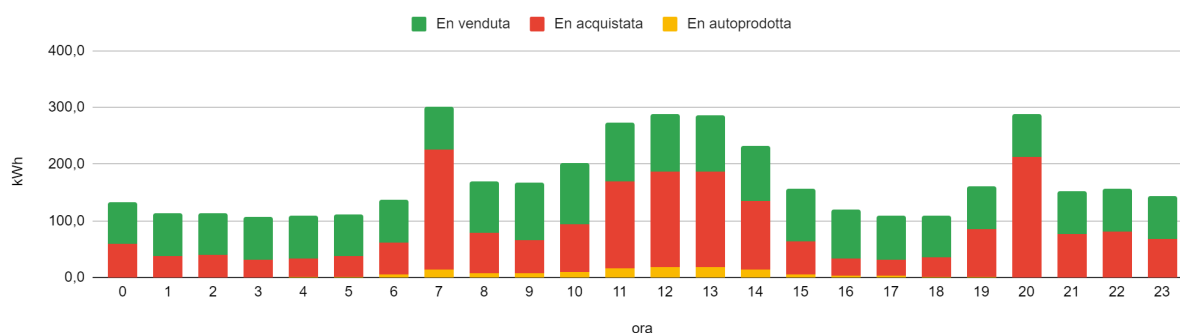


Immagine 54. energia venduta, acquistata e autoconsumata dalla CER

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 300 aderenti è pari a € 64.458. Per raggiungere invece un valore massimo di SCF, pari a circa l'87%, è necessario un numero di utenze di tipo residenziale pari a circa 720 utenti. Si riportano quindi i medesimi grafici.

L'ammontare totale dell'incentivo su base annua nel caso di 720 aderenti è pari a € 97.206.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il report si propone l'obiettivo di fornire elementi utili ad analisi di configurazioni di comunità di energia rinnovabile (CER), sulla base di modellazioni atte ad indagare il rapporto tra potenza installata dell'impianto di produzione da fonte rinnovabile e messa a disposizione alla CER, ed utenze aderenti, siano esse consumatori o prosumer.

La presente analisi ha approfondito la quantificazione degli incentivi derivanti dai consumi legati al numero di utenze. Dai grafici riportati nei vari casi, si nota come la curva relativa gli incentivi spettanti alla CER cresca inizialmente in maniera piuttosto marcata all'aumentare del numero di aderenti, per poi mostrare un appiattimento della stessa, fino al raggiungimento del massimo valore degli incentivi.

Allo scopo di individuare un range di valori di utenze aderenti alla CER che permetta un adeguato equilibrio energetico ed economico della comunità, per ogni casistica analizzata si sono individuati due punti: il punto in cui l'SFC è uguale all'LCF e quello in cui l'SFC è pari al 90% del suo totale massimo. Il primo punto, che ha valenza puramente energetica per definizione stessa dei due fattori considerati, permette di individuare il numero di utenze che fa sì che la produzione e il consumo annuali degli appartenenti alla comunità energetica si eguagliano, individuando quella che si può definire l'autosufficienza annuale. Il secondo punto ha invece una valenza puramente economica e indica dove la comunità energetica ha quasi raggiunto il massimo dell'incentivo cumulato.

In considerazione anche del carattere dinamico proprio di ogni nascente comunità energetica rinnovabile, il numero di utenti che andrà a garantire benefici energetici ed economici all'intera comunità è da ricercare all'interno di tali valori massimi e minimi.

Si riassumono i risultati salienti dei casi esposti. La voce "Entrata CER" riporta le cifre generate considerando il valore medio dell'incentivo a seconda della fascia di potenza dell'impianto fotovoltaico, come riportato nel paragrafo "Assunzioni".

FOTOVOLTAICO	SCF=LCF			90% SCF	
CASO	N. aderenti residenziali	SCF LCF e	Entrata CER [€]	N. aderenti residenziali	Entrata CER [€]
1. prosumer residenziali - 60 kW totali installati	20	45%	€ 2.788	100	€ 7.109
2. prosumer residenziali - 60 kW totali installati. Utenze con incidenza pompe di calore del 30%	3	30%	€ 1.272	75	€ 6.856
3. impianto fotovoltaico industriale 750 kW installati	76	45%	€ 6.958	950	€ 51.938

FOTOVOLTAICO	SCF=LCF			90% SCF	
CASO	N. aderenti residenziali	SCF LCF e	Entrata CER [€]	N. aderenti residenziali	Entrata CER [€]
4. impianto fotovoltaico di produzione e impianto fotovoltaico industriale 750 kW installati	71	41%	€ 9.671	962	€ 64.472
5. impianto fotovoltaico terziario 450 kW installati	160	48%	€ 17.332	700	€ 44.993
6. Due prosumer industriali e uno terziario 1.500 kW installati	372	48%	€ 28.339	oltre 1000	n.q

IDROELETTRICO	SFC=LCF			90% SCF (solo per il caso 10: SCF massimo)	
CASO	N. aderenti residenziali	SCF LCF e	Entrata CER [€]	N. aderenti residenziali	Entrata CER [€]
7. centrale da 100 kW ad acqua fluente e utenze residenziali	255	72%	€ 56.207	445	€ 69.528.
8. centrale da 100 kW ad acqua fluente e utenze residenziali e industriale	123	80%	€ 61.635	240	€ 69.439
9. centrale da 100 kW a bacino e utenze residenziali	251	44%	€ 34.110	805	€ 69.401
10. centrale da 100 kW a bacino e utenze residenziali e industriale	123	45%	€ 34.550	580	€ 69.554
11. centrale da 100 kW ad acqua fluente e utenze residenziali	300 di cui il 10% di	70%	€ 64.458	720 di cui il 10% di	€ 97.206

IDROELETTRICO	SFC=LCF			90% SCF (solo per il caso 10: SCF massimo)	
CASO	N. aderenti residenziali	SCF LCF	e Entrata CER [€]	N. aderenti residenziali	Entrata CER [€]
consumatori e prosumer fotovoltaico	prosumer			prosumer	

Per quanto riguarda le casistiche proposte in presenza di un impianto fotovoltaico si nota subito l'estrema variabilità dei valori riportati. Laddove gli impianti fotovoltaici sono dimensionati sull'utenza prosumer (casi 1 e 2), la parità dei fattori LCF e SCF viene raggiunta con poche unità di aderenti e il raggiungimento del 90% dell'autosufficienza con un centinaio di aderenti. La presenza delle pompe di calore riduce il numero ideale di aderenti ma non lo altera in maniera significativa.

Interessante risulta il confronto tra i casi 3 e 4, che presentano la stessa quantità di potenza installata e la stessa tipologia di consumatori (prosumer industriale abbinato a utenze domestiche), ma in un caso l'impianto è solo dell'utenza dell'impresa, mentre nel secondo la potenza è suddivisa tra utenza industriale e impianto di sola produzione. I punti di incrocio delle curve SCF e LCF e del 90% dell'autoconsumo sono pressoché uguali. Si nota un valore più alto degli incentivi per la CER nel caso in cui l'impianto sia suddiviso tra utenza industriale e sola produzione. Questo è dovuto al fatto che nel secondo caso l'utenza industriale non va solo in autoconsumo ma utilizza anche l'energia messa a disposizione dalla CER.

Il caso 5 riporta, come il caso 3, un caso di sovradimensionamento dell'impianto, in questo caso collegato ad un'utenza terziaria, e si ritrovano numeri dello stesso ordine di grandezza dei casi 3 e 4.

Il caso 6, che vuole contemplare una situazione un po' più articolata in cui ci sono due utenze industriali e una terziaria, evidenzia come le comunità energetiche debbano avere un certo numero di aderenti (dell'ordine almeno delle centinaia di persone) per poter consentire un'adeguata gestione energetico-economica della comunità.

Per quanto riguarda le casistiche proposte in presenza di un impianto idroelettrico di cui è già stata rilasciata la concessione ma che non è ancora stato realizzato, una prima osservazione si può fare con riferimento alla tipologia di funzionamento della centrale idroelettrica. Il raggiungimento della condizione di incrocio delle curve SCF e LCF si ottiene con circa il medesimo numero di utenti residenziali, sia nel caso di CER solo residenziale sia in presenza di un'industria; ciò che varia in maniera significativa è il relativo valore di SCF nonché il valore dell'incentivo CER spettante. Tale risultato è facilmente spiegabile nel fatto che nel caso di una centralina idroelettrica con un comportamento a bacino, parte dei consumi della comunità energetica non sarà mai coperta da produzione di energia elettrica in determinate fasce orarie, ovvero quelle di mancato funzionamento dell'impianto. Per lo stesso motivo anche il raggiungimento di un valore di SCF pari al 90% nei casi di centralina a bacino necessita di un numero di aderenti residenziali circa doppio rispetto ai casi di centralina ad acqua fluente, a dispetto però di valori dell'incentivo CER comparabili. Si

evidenzia quindi che nei casi di presenza di una centralina idroelettrica è necessario porre particolare attenzione alle caratteristiche dei profili orari sia di produzione che di consumo. Altra interessante considerazione che deriva dai risultati ottenuti è relativa all'inserimento di una utenza industriale all'interno della CER. Il comportamento derivante da ciò si può notare in particolare nel caso 8 rispetto al caso 7, entrambi caratterizzati dalla presenza di una centralina con comportamento ad acqua fluente. Nel caso 8 la condizione di incrocio delle curve SCF e LCF si raggiunge sì con un numero inferiore di aderenti residenziali, ma soprattutto con un valore di SCF maggiore di circa il 10%, che oltre ai relativi benefici in termini energetici porta ad un comparabile aumento dell'incentivo riconosciuto alla CER. Se si considerano solo utenze residenziali, per ogni 100 kW installati servono alcune centinaia di utenze. Nel caso di presenza di altro genere di utenza, chiaramente questo valore si riduce.

Bibliografia

G. Besagni, L. Premoli Villà e M. Borgarello, «Italian Household Load Profiles: A Monitoring Campaign» Buildings, vol. 10, n. 12, pp. 1-20, 2020.

Sitografia

[https://www.4-noks.com/autoconsumo/#iLightbox\[63a58fe40f183\]/0](https://www.4-noks.com/autoconsumo/#iLightbox[63a58fe40f183]/0)

Allegato 1 - Riqualificazione Energetica del Patrimonio Edilizio della Provincia Autonoma di Trento e Potenziale Incremento di Efficienza Derivante dalla Integrazione con le Comunità Energetiche



**UNIVERSITÀ
DI TRENTO**

Dipartimento di
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

**SUSTAINABLE
ENERGY
LABORATORY**



RELAZIONE PRELIMINARE (attività svolte nel 2022)

Riqualificazione Energetica del Patrimonio Edilizio della Provincia Autonoma di Trento e Potenziale Incremento di Efficienza Derivante dalla Integrazione con le Comunità Energetiche

ing. Margherita Povolato, DICAM-UNITN
prof. ing. Alessandro Prada, DICAM-UNITN
prof. ing. Paolo Baggio, DICAM-UNITN

Dicembre 2022

Introduzione	1
Finalità dello studio	1
Metodo di calcolo	2
Analisi sulla quota rinnovabile della singola utenza	3
Impianto a pompa di calore con fotovoltaico	3
Caldaia a biomassa con accumulo inerziale	5
Caldaia a biomassa con pompa di calore per ACS	6
Impatto delle modalità di gestione della climatizzazione degli edifici	6
Impatto su quota rinnovabile valutata su energia primaria (RER)	8
Impatto sull'autosufficienza (LCF) e autoconsumo (SCF)	9
Potenzialità delle comunità energetiche	11
Scenario autoconsumo collettivo	11
Scenario CER con utenze puramente residenziali	15
Scenario CER con prosumer industriale e utenze residenziali	16
Scenario CER con più prosumer industriale e utenze residenziali	21
Conclusioni	22
Nomenclatura	23
Bibliografia	24

Introduzione

L'Agenzia Internazionale dell'Energia [1] afferma che il ciclo di vita degli edifici è responsabile, direttamente e indirettamente, di circa il 37% delle emissioni globali di CO₂ legate all'energia e ai processi. Inoltre, la dipendenza energetica dell'UE è aumentata dal 50% del 1990 al 60% del 2019, raggiungendo il 96,8% di petrolio e gas naturale liquido e l'89,7% di gas naturale [2]. In Europa la penetrazione delle fonti rinnovabili e del nucleare nella produzione di energia elettrica (61,2%) è superiore a quella del calore (30,2%) [2], e questo motiva la progressiva elettrificazione dei sistemi di climatizzazione degli edifici. Uno studio di D'Agostino e Parker [3] ha dimostrato il ruolo chiave delle fonti rinnovabili nel raggiungimento dell'obiettivo nZEB in 12 capitali europee, e questo motiva la previsione graduale di obbligo di installazione di impianti fotovoltaici nell'ambito del piano REPowerEU [4]. Secondo la Direttiva Europea 2018/2001 [5], il Piano REPowerEU [4] e il Decreto Legislativo italiano n.199/2021 [6], gli impianti a pompa di calore e fotovoltaici sembrano essere la soluzione più efficiente ed economica per ridurre le emissioni di CO₂ degli edifici. Tuttavia, in assenza di batterie elettriche, il disallineamento temporale tra la disponibilità di energia solare e la domanda di energia degli edifici è una delle principali sfide da affrontare per raggiungere un'elevata quota di energie rinnovabili. A questo proposito, per far fronte all'aumento dei flussi energetici nelle reti di distribuzione dell'energia, nel 2019 l'Unione Europea ha varato il pacchetto "Energia pulita per tutti gli Europei", costituito da otto direttive che regolano temi energetici. In particolare, i temi considerati sono le prestazioni energetiche negli edifici, l'efficienza energetica, le energie rinnovabili e il mercato elettrico. Tra queste, una delle direttive di maggiore interesse è quella sulle energie rinnovabili (Direttiva UE 2018/2001 Del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018), in cui vengono riportate le definizioni di autoconsumo collettivo e di Comunità di Energia rinnovabile (CER). Essa individua, tra le azioni da attuare per incrementare l'impiego delle energie rinnovabili, l'introduzione di misure che favoriscano gli auto-consumatori e la formazione di comunità energetiche. Inoltre viene sottolineato che, sebbene l'eccesso di energia prodotta possa essere venduto dai membri, lo scopo primario delle comunità energetiche deve essere limitato alla fornitura di benefici economici, ambientali o sociali della comunità, piuttosto che profitti finanziari.

Finalità dello studio

La Provincia Autonoma di Trento dispone di un patrimonio edilizio di notevole entità che nel complesso incide in maniera rilevante sui consumi energetici complessivi del Trentino. Al fine di ottimizzare e ridurre l'impatto questo studio ha la finalità di valutare lo sfruttamento e la penetrazione delle energie rinnovabili, sia a livello di singola utenza, sia in relazione alla formazione di comunità energetiche, anche in vista delle misure attuative previste dal nuovo Piano Energetico Ambientale Provinciale (PEAP) [7].

La ricerca finora svolta è quindi articolata in 3 sezioni:

- 1) l'analisi approfondita delle potenzialità delle soluzioni tecnologiche attualmente disponibili (e di quelle che prevedibilmente si renderanno disponibili a breve termine) che consentano non solo di incrementare l'efficienza energetica degli edifici e degli impianti di climatizzazione, ma anche di migliorare lo sfruttamento delle energie rinnovabili e l'autoconsumo da parte dell'utenza, in particolare mediante l'integrazione con pompe di calore e sistemi di accumulo, tenendo conto anche delle condizioni climatiche locali e delle dimensioni, destinazioni d'uso, e vetustà degli edifici;
- 2) la valutazione dell'impatto delle modalità di gestione della climatizzazione degli edifici, sia per quanto riguarda i sistemi di regolazione evoluti (cosiddetti smart o intelligenti), sia per quanto riguarda il

comportamento degli utenti (gestione della domanda), al fine, in particolare, di ottimizzare l'autoconsumo, anche attraverso l'analisi di alcuni casi studio;

3) la valutazione delle potenzialità derivanti da una progressiva integrazione di più edifici in comunità energetiche (per condividere l'energia generata da fonti rinnovabili, le reti di distribuzione di energia elettrica e termica e i sistemi di accumulo).

Metodo di calcolo

Le analisi sono state condotte sull'insieme di edifici tipo definiti nel report RSE del febbraio 2014 [8] e già utilizzati nello "Scenario di riqualificazione energetica degli edifici residenziali in Trentino" [9], nello "Scenario di penetrazione delle pompe di calore per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria" [10] e in "Scenari sul potenziale impatto delle comunità di energia rinnovabile" [11]. La simulazione dinamica del sistema edificio-impianto è stata effettuata mediante il software TRNSYS, il quale consente l'integrazione di un modello dinamico di bilancio dei flussi energetici dell'edificio, con la flessibilità nella modellazione della parte impiantistica, sia per quanto riguarda la sua configurazione, sia per ciò che concerne il modello del singolo componente. Le simulazioni sono state integrate con un'ulteriore analisi che mira a sviluppare dei profili realistici di consumi elettrici derivanti dagli elettrodomestici negli edifici residenziali. A questo proposito, a partire dai dati provenienti da studi precedenti [15] e dal monitoraggio sperimentale dei profili di consumo dei maggiori elettrodomestici, è stato sviluppato un codice in grado di creare dei profili di consumo stocastici utilizzando le distribuzioni di probabilità di attivazione dei diversi carichi ma considerando allo stesso tempo i vincoli reali sulla potenza impegnata secondo le statistiche delle tipologie di contratto fornite da ARERA.

Lo studio mira inizialmente a valutare la quota rinnovabile raggiungibile utilizzando lo standard costruttivo attuale dei nuovi edifici nel caso in cui siano presenti impianti a pompa di calore con fotovoltaico o caldaie a biomassa accoppiate con solare termico. La quota rinnovabile ottenuta viene quindi messa in relazione con gli indici di autoconsumo dell'energia fotovoltaica e autosufficienza mediante energia rinnovabile. Nell'analisi vengono inoltre valutati gli effetti sugli indici comunemente utilizzati nella normativa della presenza di controlli avanzati di tipo rule based e della presenza dei carichi elettrici degli elettrodomestici.

Nella parte successiva dell'analisi vengono invece valutati gli scenari di comunità energetica. In questo caso, i valori di autoconsumo, di energia condivisa ed immessa in rete sono stati calcolati mediante un codice Matlab che, partendo dai risultati delle simulazioni dinamiche e dai profili di consumo artificiali o realmente misurati nel caso di utenze industriali, valuta le prestazioni al variare del numero di utenze aderenti alla comunità.

Analisi sulla quota rinnovabile della singola utenza

L'analisi sulla singola utenza viene effettuata prendendo in considerazione l'edificio monofamiliare (MF), come definito nel report RSE [8]. Tale edificio è composto da due piani, ognuno con un'area di circa 88 m². Le caratteristiche termiche sono prossime ai limiti di trasmittanza richiesti dai requisiti minimi locali (DPP 11-13 leg e successive modifiche) [12]. Per ottenere alti livelli di prestazione, il MF è stato modellato con 15 cm di isolante esterno lungo le chiusure verticali, 12 cm lungo le chiusure orizzontali di copertura e con finestre ad alto isolamento.

Inoltre l'edificio viene suddiviso in 4 zone termiche, da 44 m² ciascuna, identificate dividendo l'edificio lungo l'asse est-ovest al fine di avere guadagni solari uniformi tra le diverse zone. L'area netta complessiva è pari a 175.97 m², mentre l'impronta a terra dell'edificio è pari a 104.86 m².

L'edificio è stato analizzato nei cinque località rappresentative dei diversi contesti climatici Trentini [Ceccolini et al., 2020] [10] vale a dire: Trento, Pergine, Cles, Baselga e Moena. Trento si trova nella zona climatica "E", gradi giorno 2101-3000 Kd; mentre gli altri comuni in zona "F", gradi giorno superiori a 3001 Kd (DPR 412/93) [13]. La normativa (UNI 10349-1) [14] prevede che i valori di irradiazione solare vengano presi dal capoluogo di provincia più vicino. Questo significa che per Trento, Pergine e Baselga si utilizzino i dati di Trento, mentre per Cles e Moena quelli di Bolzano.

L'obiettivo dell'analisi è individuare la quota di energia rinnovabile per i diversi comuni oggetto di studio e confrontarla con i valori di autoconsumo e autosufficienza utilizzati invece dalla letteratura scientifica. Il calcolo viene effettuato chiudendo il bilancio su base mensile, in accordo alle procedure di calcolo descritte nella normativa tecnica e richiamate dalla legislazione italiana e provinciale. Il bilancio mensile presuppone lo scambio di energia con la rete elettrica, che viene utilizzata come una batteria virtuale. La normativa prevede inoltre che i fabbisogni totali di un edificio vengano soddisfatti con minimo il 60% di energie rinnovabili: l'obiettivo della ricerca è verificare se l'innalzamento di tale soglia al 70% sia tecnicamente realizzabile. Per questo sono state investigate tre diverse soluzioni tecnologiche perseguibili dai progettisti per raggiungere tale soglia.

Impianto a pompa di calore con fotovoltaico

Nel primo caso l'edificio prevede un impianto a pompa di calore, abbinato ad un impianto fotovoltaico, predisposto sulla copertura del tetto. La pompa di calore, con una potenza di 7.1 kW nel punto 7/35, soddisfa il fabbisogno di riscaldamento e di acqua calda sanitaria. La pompa di calore (PdC) viene accoppiata ad un impianto a bassa temperatura, ovvero a pannelli radianti a pavimento.

L'impianto fotovoltaico (FV) viene predisposto sulla falda sud del tetto, inclinata di 20°C, ed è composto da 7 moduli collegati in serie, con una potenza di picco pari a 2.94 kW. Rispetto alla superficie disponibile del tetto, il FV copre solo il 12,5%.

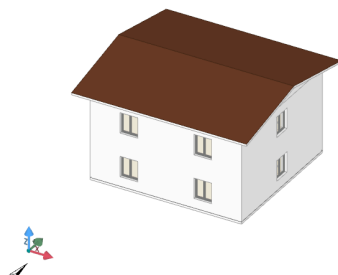


Figura 1: Schematizzazione dell'edificio mono-familiare.

In figura 2 sono riportati i valori dei consumi mensili di elettricità per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria nelle 5 località prese ad esame. Dal grafico si può apprezzare lo sfasamento fra la domanda di energia elettrica dell'edificio e la produzione dall'impianto fotovoltaico. Altro aspetto interessante è la differenza di produzione dello stesso impianto fotovoltaico quando vengono impiegati i dati di radiazione solare di Bolzano rispetto a quelli di Trento. Come si nota dal grafico, infatti, la produzione a Cles e Moena è di circa 100 kWh/mese maggiore rispetto a quella di Trento, Pergine e Baselga. Questo risultato sottolinea come i dati di radiazione solare di Bolzano non sembrano rappresentativi delle condizioni presenti in Trentino introducendo uno scostamento che si propaga nella valutazione della produzione fotovoltaica e che raggiunge dei valori poco realistici anche in relazione alla latitudine e agli altri capoluoghi di provincia limitrofi.

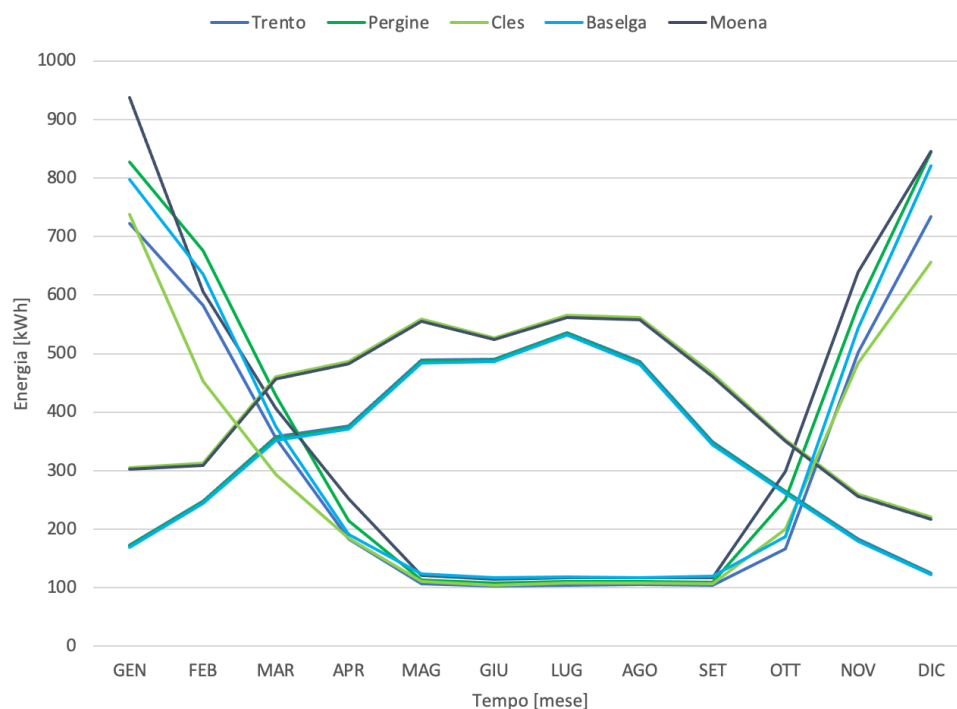


Figura 2: Profili di consumo dell'edificio monofamiliare e profili di produzione da fotovoltaico, annuale, nei cinque comuni.

Come visibile dalla figura sottostante (Figura 3) la percentuale di quota rinnovabile (RER - *Renewable Energy Ratio*) diminuisce all'aumentare dell'altitudine dei comuni analizzati e di conseguenza al diminuire delle temperature esterne. Tuttavia, si riscontrano due comportamenti anomali per Cles e Moena, a causa della maggiore radiazione solare [14]. Per valutare i cinque comuni con lo stesso comune di riferimento, sono stati associati i valori di irradiazione solare di Trento anche ai comuni di Cles e Moena. Così facendo la quota rinnovabile cala del 5% per Cles (dall'83% al 78%), e del 4% per Moena (dall'80% al 76%).

Come si nota però per tutte e cinque le località prese ad esame, con questa soluzione tecnologica si supera agevolmente la soglia del 70%.

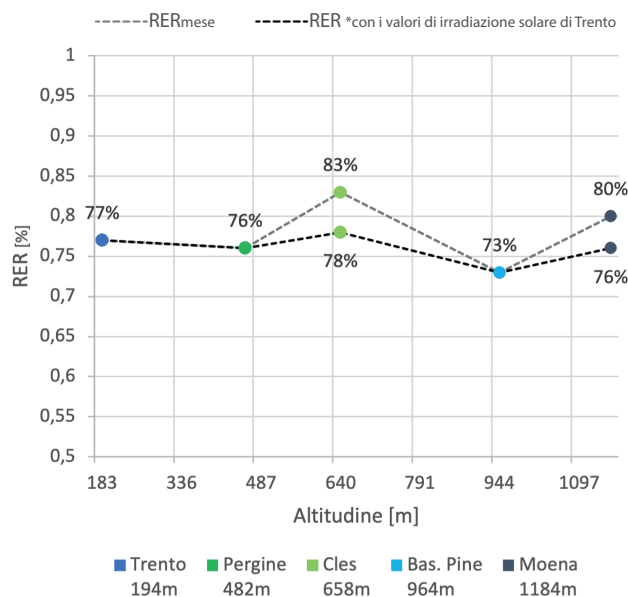


Figura 3: Valutazione della quota rinnovabile nei cinque comuni del Trentino.

Caldaia a biomassa con accumulo inerziale

Nel secondo caso analizzato, l'edificio monofamiliare viene simulato con il riscaldamento basato su di una caldaia a biomassa da 9.7 kW, per soddisfare il fabbisogno di riscaldamento e di acqua calda sanitaria, limitatamente al periodo di riscaldamento. L'edificio prevede infatti che il fabbisogno di acqua calda sanitaria venga coperto mediante l'impianto solare termico nei mesi in cui non vi è domanda di riscaldamento. L'impianto solare termico è predisposto sulla superficie inclinata del tetto (20°C) e composto da una superficie totale dei collettori di 7m².

Nel grafico (Figura 4) emerge come la percentuale del fabbisogno coperta da fonti rinnovabili raggiunga oltre l'80%. Su base annua, quindi, viene ampiamente rispettato il valore soglia del 70%. Nonostante ciò, dai calcoli effettuati si è riscontrato che il fabbisogno termico per acqua calda sanitaria non viene soddisfatto nel mese di ottobre, nel periodo antecedente l'accensione dell'impianto di riscaldamento.

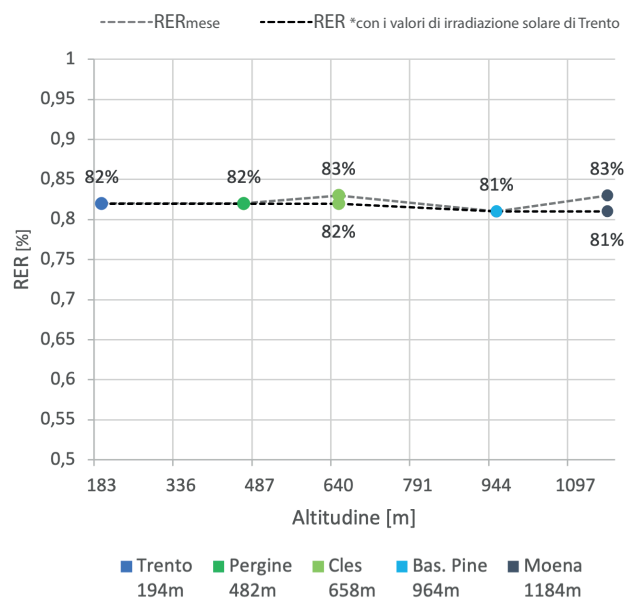


Figura 4: Valutazione della quota rinnovabile nei cinque comuni del Trentino

Caldaia a biomassa con pompa di calore per ACS

Anche nell'ultimo caso analizzato viene installata una caldaia a biomassa da 9.7 kW ma solo per soddisfare il fabbisogno di riscaldamento. L'acqua calda sanitaria viene invece garantita mediante uno scaldabagno a pompa di calore da 1.8 kW, con un accumulo integrato da 80 litri.

Come visibile dalla figura sottostante (Figura 5) i valori di quota rinnovabile (RER) sono notevolmente inferiori al caso precedente, del 10% circa anche se sempre superiori alla soglia del 70%. Questa riduzione è dovuta ad un ridotto COP dello scaldabagno elettrico a causa dell'elevata temperatura di condensazione che porta ad un'inevitabile riduzione del RER. Nonostante ciò, il fabbisogno di acqua calda sanitaria viene sempre soddisfatto in tutti i mesi dell'anno.

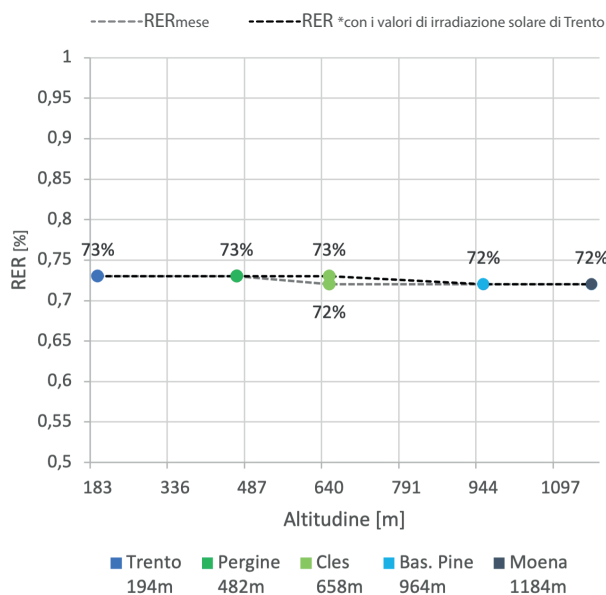


Figura 5: Valutazione della quota rinnovabile nei cinque comuni del Trentino

Impatto delle modalità di gestione della climatizzazione degli edifici

L'Europa promuove la progettazione di edifici ad alte prestazioni che massimizzino l'uso di fonti rinnovabili. La direttiva europea RED II (UE, 2018) [5] e il decreto italiano (DL 8/11/2021) [6] innalzano la quota minima di rinnovabili nelle nuove costruzioni e nelle ristrutturazioni di primo livello. In questo contesto, la pompa di calore aria-acqua accoppiata con un impianto fotovoltaico rappresenta una delle soluzioni più facilmente adottabili. L'efficienza di questo sistema viene ridotta nei contesti alpini, come il Trentino, a causa delle temperature rigide e dei ridotti guadagni solari.

Per calcolare la percentuale di fabbisogno coperta da rinnovabili, la normativa italiana attualmente prevede la chiusura del bilancio energetico su base mensile: di fatto ciò implica l'uso della rete nazionale come batteria virtuale attraverso il meccanismo dello scambio sul posto. Senza considerare lo scambio sul posto, in assenza di batterie di accumulo e/o senza strategie di controllo che massimizzino la produzione da FV, la quota rinnovabile effettiva sarà necessariamente inferiore.

Per massimizzare l'autoconsumo e di conseguenza l'utilizzo delle energie rinnovabili, riducendo gli scambi con la rete, possono essere adottate strategie di controllo delle temperature di accumulo dell'acqua mantenute dalla pompa di calore. Per valutare l'incidenza di questi controlli sono state condotte delle

simulazioni con timestep di un minuto con e senza controllo avanzato. Nel primo scenario (*bas*) si utilizza un controllo standard che prevede l'accensione delle PdC per riscaldare gli accumuli termici quando la loro temperatura è inferiore a una soglia minima di setpoint. Nel secondo scenario (*enh*) viene adottata una strategia di controllo avanzata per massimizzare l'autoconsumo della generazione fotovoltaica. Gli accumuli termici (BS e TES) vengono surriscaldati in caso di surplus di energia fotovoltaica, aumentando le loro temperature di accumulo.

In questa sezione non vengono più presi in considerazione tutti e cinque comuni di riferimento del Trentino, ma solamente il comune di Trento, il più popoloso e capoluogo di Provincia. L'edificio di riferimento prevede un'unica utenza, monofamiliare con impianto a pompa di calore abbinato al fotovoltaico. La potenza massima di picco totale è sempre pari a 2.94kW_p . Vedasi lo schema di impianto sotto riportato.

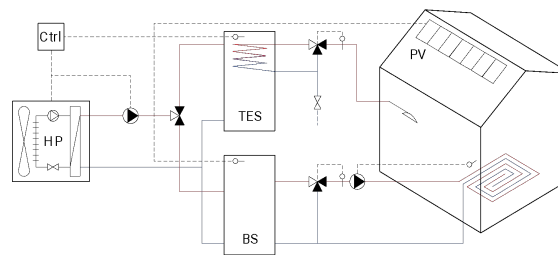


Figura 6: Schema dell'impianto di riscaldamento e acqua calda sanitaria dell'edificio mono familiare.

Oltre al fabbisogno per riscaldamento e acqua calda sanitaria, vengono aggiunti anche i consumi degli elettrodomestici. Questi ultimi sono stati valutati a partire dalla ricerca di Besagni [15], e, in seguito, tramite un'analisi statistica che ha permesso di ricreare i profili di consumo tipici degli elettrodomestici. Le valutazioni sono state condotte su 5 differenti cluster, individuati da Besagni [15] in funzione del monitoraggio dei contatori di energia installati in 67 famiglie italiane con caratteristiche socio demografiche differenti tra loro. Il codice sviluppato prende in considerazione i profili di consumo monitorati (Figura 7) e li unisce in funzione della probabilità di accensione dell'elettrodomestico e dell'orario più probabile di attivazione. Viene successivamente svolto un controllo sulla potenza massima prelevata in funzione della potenza impegnata al contatore. Partendo dalle potenze impegnate nominali (tipicamente 6kW in presenza della pompa di calore) è stata inizialmente considerata la prima soglia di tolleranza del 10%, senza alcun vincolo di tempo, e successivamente la seconda soglia del 27% per un tempo non superiore a 2 minuti. Qualora la potenza totale degli elettrodomestici e della pompa di calore superasse la seconda soglia, l'accensione di uno degli elettrodomestici viene differita nel tempo. Per maggiori dettagli sul calcolo dei profili di consumo degli elettrodomestici si rimanda all'articolo in fase di pubblicazione [16], nella sezione 2.1.

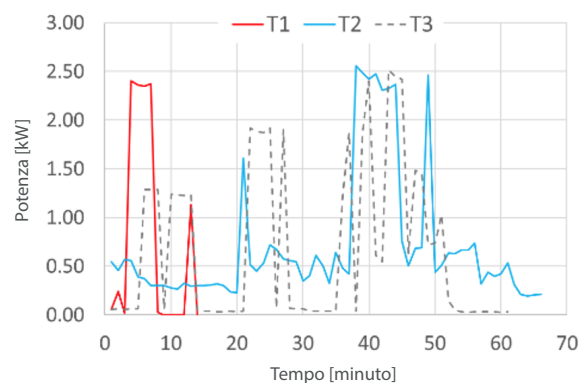


Figura 7: Profili di consumo di un piano ad induzione durante colazione (T1), pranzo (T2) e cena (T3).

Impatto su quota rinnovabile valutata su energia primaria (RER)

I risultati di seguito riportati evidenziano in che misura la base temporale utilizzata nella chiusura del bilancio influisca sul calcolo della quota rinnovabile (RER). La RER è stata calcolata utilizzando una base temporale di un minuto, di un'ora e di un mese, a partire da simulazioni con controllo base o avanzato della pompa di calore. Questo mira ad analizzare quale sia la reale quota rinnovabile nel caso in cui venga non venga considerato l'impiego della rete elettrica come batteria virtuale a servizio dell'edificio. Sia nel caso di controllo base sia in quello avanzato, le quote RER sono state valutate sia considerando che ignorando il consumo energetico degli elettrodomestici. Tutte queste analisi hanno quindi lo scopo di capire la correlazione fra gli indici calcolati in modalità convenzionale, come previsto da legislazione e normativa, con le quote rinnovabili effettivamente raggiungibili nella realtà.

L'indice RER aumenta del 13% e del 10%, rispettivamente cambiando l'intervallo temporale di chiusura del bilancio da un minuto o un'ora a un mese (Figura 8). Con la strategia di controllo avanzato della PdC, RERminuto e RERora aumentano del 2% e dell'1%, mentre al contrario RERmese diminuisce del 4%. Il controllo avanzato è vantaggioso per il funzionamento dell'impianto poiché incrementa l'autoconsumo e l'autosufficienza, ma questo aspetto non viene evidenziato dal quadro normativo vigente che al contrario valutando il bilancio energetico su base mensile penalizza il controllo avanzato a causa dei maggiori consumi, ancorché coperti interamente da energia rinnovabile. In ogni caso, come visibile dai risultati ottenuti, il limite del 60% è ampiamente superato da PdC + FV anche nel contesto montano di Trento chiudendo il bilancio energetico sul minuto.

Vi è una notevole differenza tra il bilancio chiuso su base mensile e oraria, mentre tra ora e minuto la variazione è meno rilevante, sia con il controllo base che con il controllo avanzato. Inoltre, la presenza degli elettrodomestici comporta una riduzione significativa della RER. Questo perché il consumo totale di energia primaria aumenta ma la produzione da FV rimane invariata. RERminuto ha un calo maggiore rispetto al RERmensile e al RERorario, poiché gli elettrodomestici vengono spesso utilizzati durante le ore con scarsa produzione fotovoltaica. Lo scambio sul posto con la rete è infatti vantaggioso, mentre in sua assenza si deve massimizzare la produzione istantanea di energia fotovoltaica. La RER tra i diversi cluster analizzati differisce solamente dell'1-2%, quindi i profili di carico differenti hanno una scarsa influenza sull'indice.

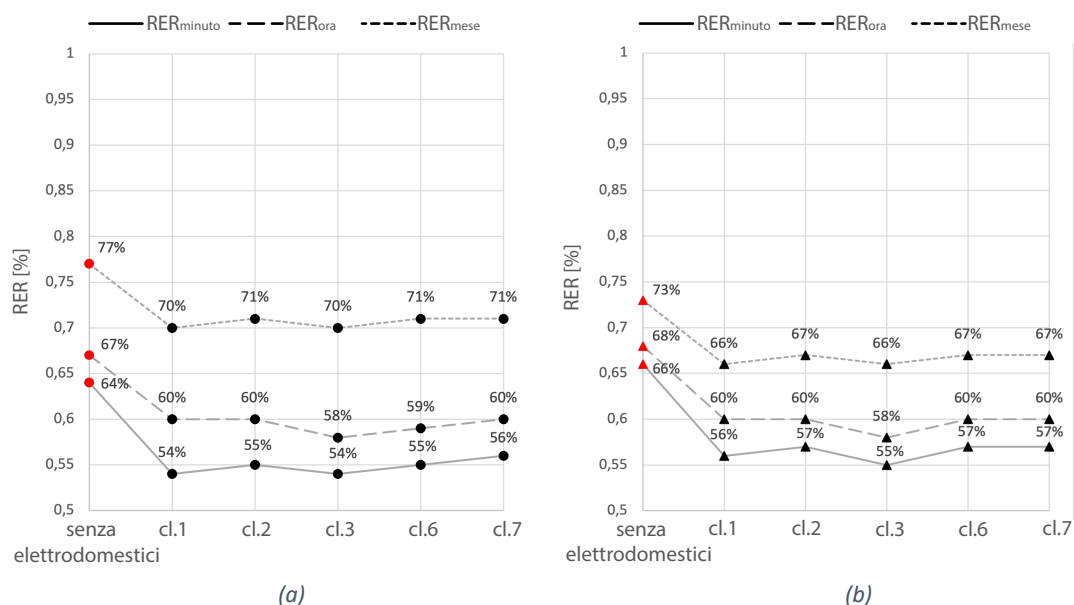


Figura 8: Valori annuali di RERminuto, RERora e RERmese: Risultati TRNSYS per l'edificio MF di Trento, senza (rosso) e con elettrodomestici (nero) e controlli bas (a) o enh (b).

Impatto sull'autosufficienza (LCF) e autoconsumo (SCF)

L'analisi sopra riportata viene eseguita anche sul fattore di autoconsumo (SCF) e sul fattore di autosufficienza (LCF). SCF "supply cover factor" rappresenta il rapporto tra l'energia autoconsumata e la produzione da impianto fotovoltaico; mentre LCF "load cover factor" rappresenta il rapporto tra l'energia autoconsumata e i consumi totali dell'edificio.

Confrontando tra loro i grafici sotto riportati, è notevole il vantaggio della strategia di controllo avanzata rispetto a quella base. È infatti visibile un aumento dell'autoconsumo (barra gialla) che, nei mesi invernali, tende ad eguagliare la produzione fotovoltaica (barra arancione). Mentre l'assenza del raffrescamento limita fortemente l'autoconsumo nei mesi estivi. Tuttavia, nonostante l'aumento dei carichi nell'intento di aumentare l'autoconsumo, su base annua SCF aumenta dal 15% al 37% e LCF dal 16% al 33%.

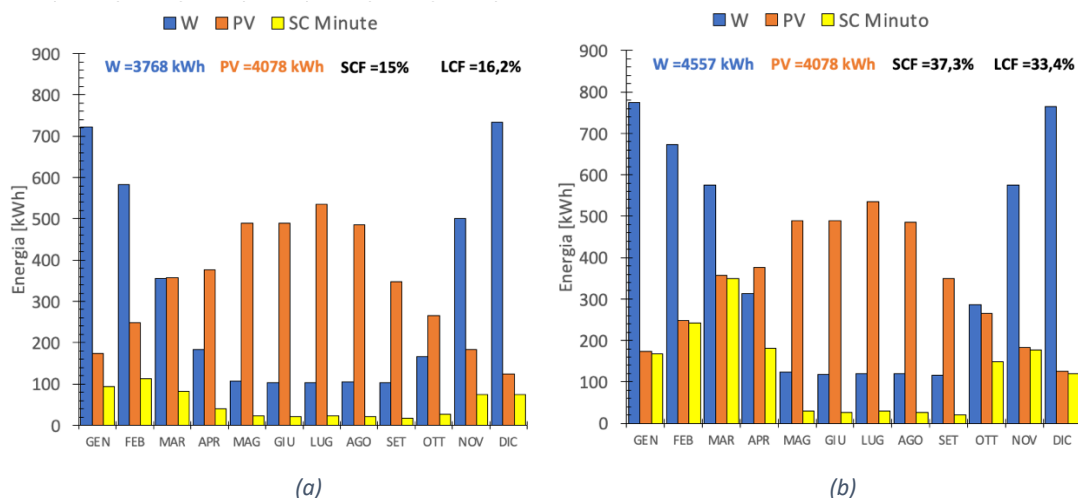
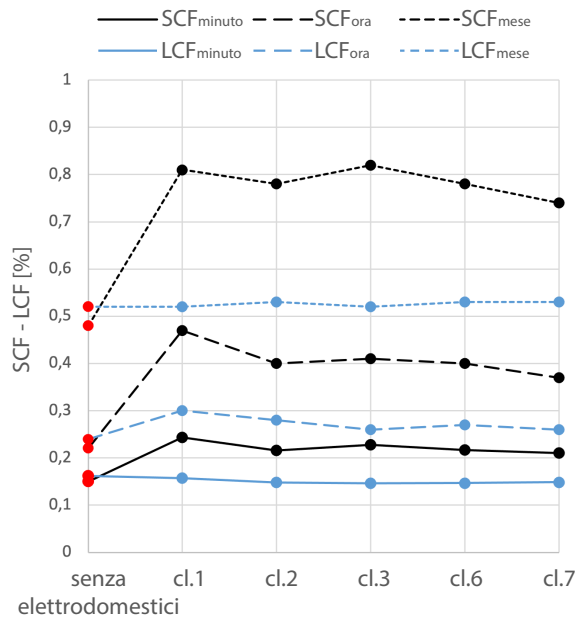


Figura 9: Andamento mensile dei consumi, della produzione da FV e dell'autoconsumo, senza elettrodomestici, con strategia di controllo base (a) e avanzata (b).

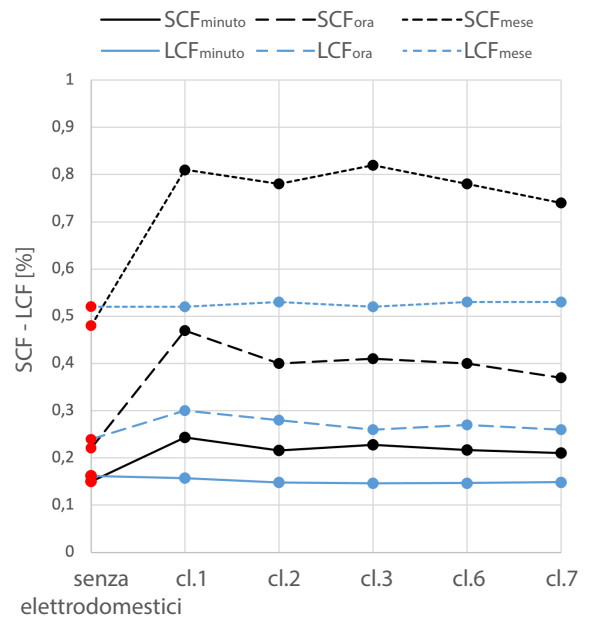
Confrontando i grafici in figura 10 è ancora più evidente la massimizzazione dell'autoconsumo dell'energia da fotovoltaico grazie alla strategia di controllo avanzato. Non considerando gli elettrodomestici, SCF aumenta del 7%, del 21% e del 22% rispettivamente per la scala temporale mensile, oraria e al minuto. Invece LCF aumenta del 14% e del 17% con il bilancio orario e istantaneo, ma diminuisce del 2% con il bilancio mensile. Questo è dovuto ai vincoli sul funzionamento della pompa di calore, per cui dopo ogni avvio è previsto un tempo minimo di funzionamento, per evitare cicli continui di accensione e spegnimento.

Considerando anche i consumi degli elettrodomestici, si nota un notevole aumento dell'autoconsumo (Figura 10a). L'incremento maggiore di SCF avviene nel bilancio mensile, tra il 26% e il 33% a seconda del cluster analizzato. D'altra parte, l'indice LCF non aumenta ma sembra sostanzialmente simile al caso senza elettrodomestici con controllo standard e scala temporale al minuto e mensile. LCF migliora tra il 2% e il 6% solo con il bilancio orario. Tra i diversi cluster non si notano differenze notevoli, la variabilità è inferiore al 7%. Di conseguenza le diverse abitudini nell'utilizzo degli elettrodomestici non hanno un'influenza significativa sull'autoconsumo e l'autosufficienza.

Con la strategia di controllo avanzato (Figura 10b) SCF aumenta mentre LCF peggiora soprattutto con un bilancio sul minuto. Questo perché l'aumento dei consumi compromette il sistema di controllo, che agisce sull'impianto a pompa di calore. In ogni caso gli indici LCF con il controllo avanzato sono superiori a quelli ottenuti con il controllo base, tranne che per i valori mensili.



(a)



(b)

Figura 10: Fattore SCF e LCF, senza (rosso) e con elettrodomestici (nero) e controlli bas (a) o enh (b),

Potenzialità delle comunità energetiche

L'Italia, in attuazione della direttiva europea RED II [5] sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili, ha emanato il Decreto Legislativo 199/2021 [6]: i gruppi di autoconsumo collettivo e le comunità energetiche di cittadini sono riconosciute e regolamentate come entità legali. L'autoconsumo di energia prodotta localmente e la condivisione di energia rinnovabile possono ridurre i consumi energetici degli edifici e di conseguenza ridurre la loro impronta sull'ambiente e la dipendenza energetica.

In questa sezione, l'obiettivo è valutare e confrontare diversi scenari di condivisione dell'energia. Vengono valutate diverse possibili configurazioni sia a scala di edificio condominiale (autoconsumo collettivo) sia di quartiere (comunità energetica), integrando inoltre profili di consumo legati a tipologie di utenze diverse da quelle residenziali.

Nel primo scenario si considera il caso dell'autoconsumo collettivo a scala di edificio: il condominio è dotato di un impianto di energie rinnovabili, come il fotovoltaico e l'energia prodotta viene condivisa con tutte le unità immobiliari appartamenti dell'edificio. Il secondo scenario ipotizza una comunità energetica composta da un numero ottimale di "prosumer" residenziali che consumano l'energia da loro prodotta e che condividono l'energia in surplus con un numero ottimale di "consumer" anch'essi utenze residenziali. Il terzo scenario combina il profilo industriale con quello di utenze residenziali. Una sola industria produce e consuma, mentre un numero ottimale di appartamenti residenziali agisce solo come consumatore dell'energia in surplus dell'azienda. L'ultimo scenario invece prevede tre diversi prosumer, con profili di consumo industriali, e un numero ottimale di consumer residenziali.

Gli scenari sopra riportati vengono analizzati all'interno del contesto climatico alpino del nord Italia, in Trentino, come nelle analisi già condotte negli altri paragrafi. In particolare, si considera il comune di Trento.

I risultati della ricerca forniscono preziose indicazioni sulle possibili configurazioni più vantaggiose nella costituzione di comunità di energie rinnovabili. Si valuta come i diversi profili di consumo analizzati possano essere tra loro accoppiati massimizzando l'autoconsumo e riducendo quindi l'energia prelevata dalla rete.

Scenario autoconsumo collettivo

Nel caso dell'autoconsumo collettivo vengono analizzati due condomini tipo, il medio e il grande condominio, già approfonditi in altre ricerche e richiamati nel Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030 [7]. Il primo (Figura 11a) è caratterizzato da 12 appartamenti, con un'area di circa 90m² ciascuno. L'impronta a terra dell'edificio è pari a circa 406 m². Il grande condominio presenta le stesse caratteristiche del medio condominio ma ha un numero superiore di appartamenti pari a 36 e un'impronta a terra pari a 603 m². Le caratteristiche geometriche e le proprietà termiche sono state approfondite nell'allegato tecnico 6 del PEAP 2021-2030 [7]. Entrambi gli edifici sono stati valutati in funzione di tre differenti classi di vetustà, dalla V5 (costruiti fra il 1981-1990) alla V6 (1991-2005) alla più recente V7 (dopo il 2005). Queste tipologie di edificio e classe di vetustà sono rappresentative del 12.8% dello stock edilizio Trentino al 2016.

In questo scenario la condivisione dell'energia avviene tra gli appartamenti dello stesso condominio. L'energia rinnovabile viene prodotta da un impianto fotovoltaico comune, installato sul tetto del condominio, dimensionato con una potenza pari a 2.94kW_p per ciascun appartamento. Nel MC la potenza di picco totale è pari a 35 kW_p e nel GC di circa 106 kW_p. Questo scenario è a sua volta suddiviso in due sotto scenari: con impianto di riscaldamento centralizzato e autonomo (un impianto per ogni appartamento). L'impianto soddisfa i fabbisogni di riscaldamento e acqua calda sanitaria.

I consumi dei condomini sono stati ottenuti tramite una simulazione dinamica con timestep di 1 minuto. Nel caso di impianto centralizzato il MC ha un consumo totale annuo che varia da 167 738 kWh (V5) a 66 098 kWh (V7), mentre il GC varia da 392 715 kWh (V5) a 153 860 kWh (V7), a seconda della classe di vetust . Nel caso di impianto autonomo i consumi complessivi del MC sono pari a 194 707 kWh (V5) – 94 414 kWh (V7) annuali, del GC pari a 527 419 kWh (V5) – 225 931 kWh (V7) annuali. La Figura 12 mostra come ovviamente il consumo diminuisca all’aumentare delle caratteristiche prestazionali dell’edificio. Oltre ai consumi della pompa di calore sono stati sommati anche quelli degli elettrodomestici, ottenuti attraverso la generazione dei profili stocastici partendo dalle distribuzioni di probabilit  proposte in [15] e dai consumi elettrici sperimentalmente raccolti sui principali elettrodomestici (Figura 7). Attraverso un codice Matlab sono stati generati dei profili valutando la probabilit  di accensione dei singoli elettrodomestici e l’orario pi  probabile di attivazione. I consumi dei diversi elettrodomestici sono stati quindi sommati per valutare la potenza complessivamente prelevata. Tuttavia,   stato posto un controllo per verificare la compatibilit  dei consumi con la potenza impegnata al contatore. In accordo con le statistiche di ARERA 2020 il 90% delle utenze domestiche ha una potenza nominale di fornitura di 3 kW, il 6% di 4.5 kW e il 4% di 6kW. La potenza effettivamente prelevata pu  raggiungere una prima soglia senza limiti di tempo pari alla potenza nominale maggiorata del 10%. Un’ulteriore soglia pari alla potenza nominale maggiorata del 27% pu  essere raggiunta ma con un limite temporale di disponibilit . Qualora la potenza degli elettrodomestici ecceda la seconda soglia, l’accensione di uno degli elettrodomestici viene differita nel tempo. Un esempio dell’andamento mensile dei consumi per i diversi edifici e per gli elettrodomestici   riportato in Figura 11. Il consumo annuale medio degli elettrodomestici   di circa 2315 kWh per appartamento, con un profilo giornaliero medio come da Figura 14.

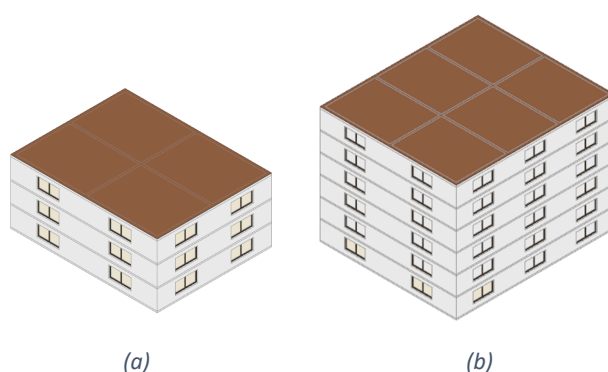


Figura 11: MC (12 appartamenti) e GC (36 appartamenti).

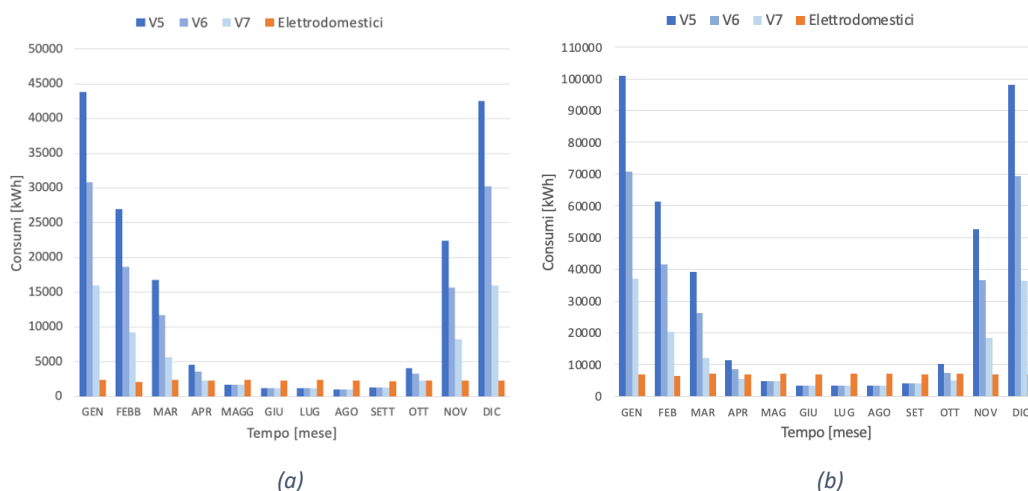


Figura 12: Profili di consumo comprensivi di tutti gli appartamenti del MC (a) e del GC (b), per le tre classi di vetustà, con impianto centralizzato.

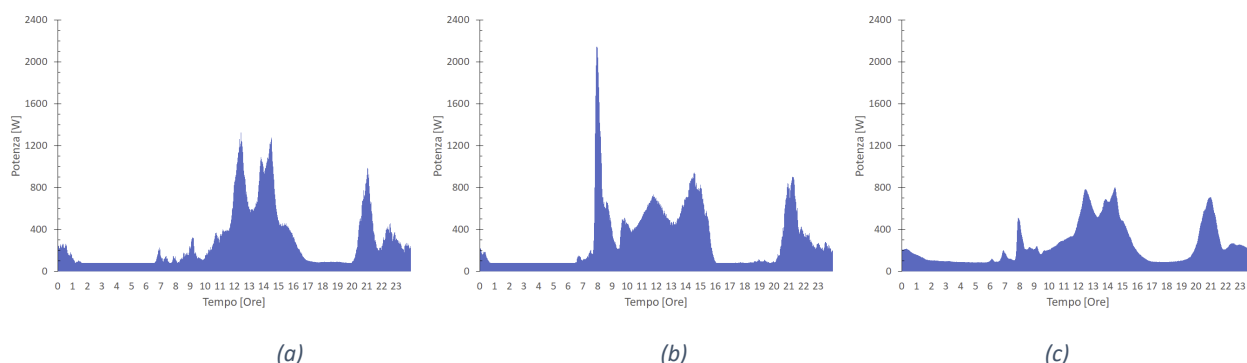


Figura 13: Profilo di consumo medio di un'utenza con potenza impegnata da 3kW (a) 6 kW (b) e mediata su 100 unità immobiliari (c)

Nello scenario di autoconsumo collettivo con impianto centralizzato, come visibile dalle figure sottostanti, a parità di consumi, più aumenta la produzione da fotovoltaico e più diminuisce l'autoconsumo (SCF) e aumenta l'autosufficienza (LCF). Mentre al crescere dei consumi (dalla classe di vetustà V7 alla vetustà V5) SCF aumenta e LCF diminuisce. Infatti, guardando la Figura 14a, per avere l'autoconsumo pari all'autosufficienza ogni appartamento del medio condominio in classe V7 necessita di 5.6 kW_p di fotovoltaico, mentre in classe V5, a causa dei consumi notevolmente più elevati, sono necessari 11.7 kW_p per ogni consumer, il doppio. Il punto di incontro tra la curva SCF e la curva LCF è pari al 30% in classe V7 e diminuisce con il 24% in classe V6, e con il 22% in classe V5.

Anche nel grande condominio SCF è pari a LCF con circa gli stessi valori percentuali del medio condominio: 30%, 25% e 23%. In questo caso però i kW_p necessari per ogni consumer sono inferiori: 4.7 kW_p/consumer, 7.2 kW_p/consumer e 9.5 kW_p/consumer. Quindi a parità di autoconsumo e autosufficienza, il grande condominio gode di maggiori benefici rispetto al medio condominio, che invece richiede più kW_p per soddisfare i fabbisogni di ciascun consumatore.

In Tabella 1 e 2 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

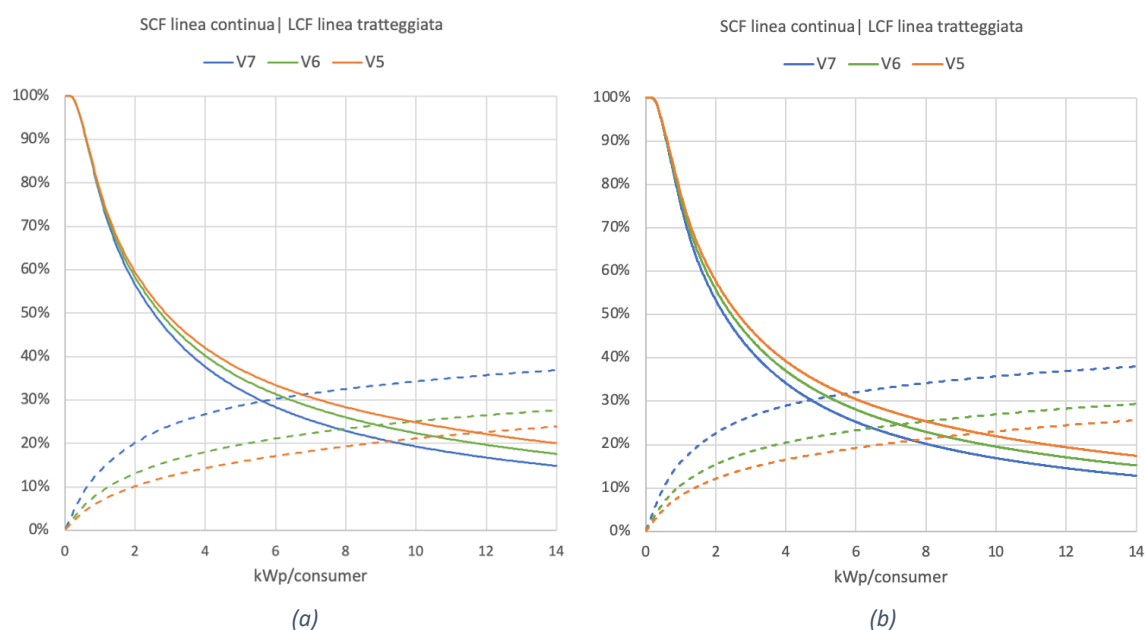


Figura 14: Impianto centralizzato, MC a sinistra (a) e GC a destra (b).

MC - impianto centralizzato									
Vetustà	SCF=LCF	kWp/consumer	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	SCF	kWp/consumer	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]
V7	30%	5,6	65907,5	55636	90%	0,6	947,7	84720	8954,3
V6	24%	9,9	112516	71748				159289	
V5	24%	11,7	151501,5	87702				186542	

Tabella 1: Schema riassuntivo annuo di autoconsumo collettivo nel medio condominio, con impianto centralizzato.

GC - impianto centralizzato									
Vetustà	SCF=LCF	kWp/consumer	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	SCF	kWp/consumer	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]
V7	30%	4,7	164391	71431	90%	0,6	2707,3	209426	26417,7
V6	25%	7,2	272254,5	89031				334996	
V5	23%	9,5	367483	107706				448505	

Tabella 2: Schema riassuntivo annuo di autoconsumo collettivo nel grande condominio, con impianto centralizzato.

Nel medio condominio non ci sono notevoli differenze tra l'installazione di un impianto centralizzato e di uno autonomo; infatti, le curve di SCF e LCF hanno un andamento simile. Maggiori differenze si notano nel grande condominio che in classe V7 con impianto autonomo ha un SCF=LCF pari al 33% con soli 4.5 kW_p per ogni consumer. Mentre nell'impianto centralizzato viene premiata la classe V5 con soli 9.5 kW_p per consumer invece che i 10.6 kW_p/consumer dell'edificio con impianto autonomo. Quindi la configurazione migliore per condividere energia si ottiene nel grande condominio in classe V7 con impianto autonomo, o in classe V5 con impianto centralizzato.

Per raggiungere invece il 90% di autoconsumo si può notare che sono necessari circa 1 kW_p per ciascun consumer, sia nel caso di impianto centralizzato che autonomo.

In Tabella 3 e 4 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

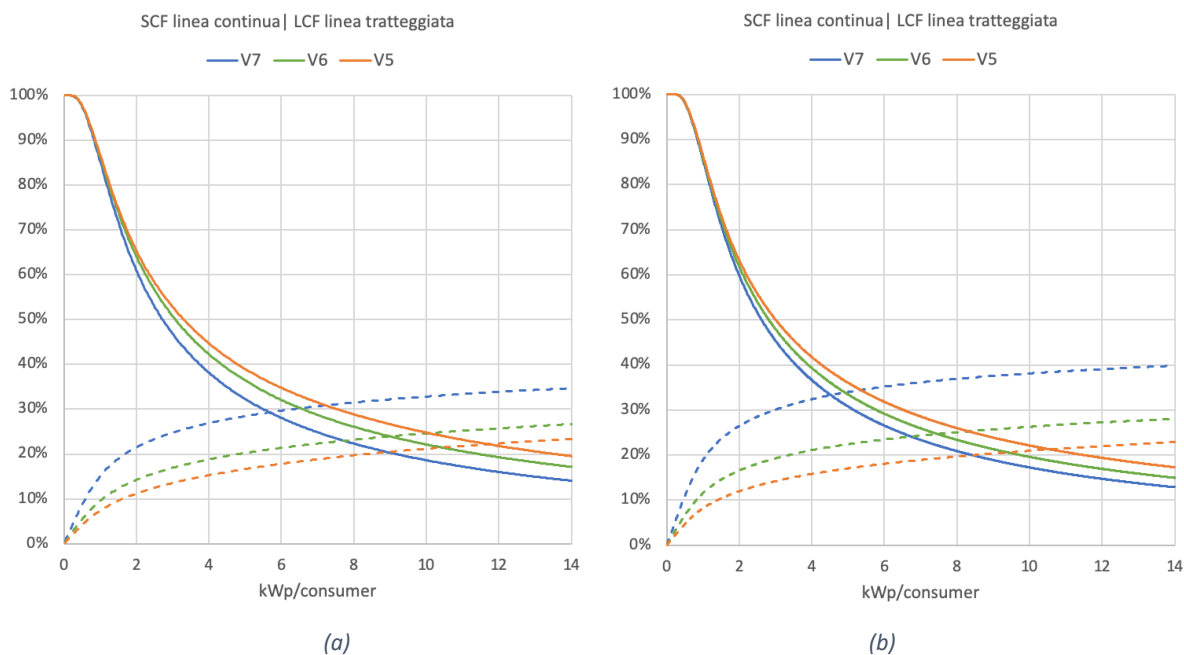


Figura 15: Impianto autonomo, MC a sinistra (a) e GC a destra (b).

MC - impianto autonomo									
Vetustà	SCF=LCF	kWp/consumer	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	SCF	kWp/consumer	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]
V7	29%	5,7	66455,5	27663	90%	0,8	1349,0	81858	12631,0
V6	24%	8,9	113885,5	35850				137108	
V5	22%	11,7	151418	43216				182026	

Tabella 3: Schema riassuntivo annuo di autoconsumo collettivo nel medio condominio, con impianto autonomo.

GC - impianto autonomo									
Vetustà	SCF=LCF	kWp/consumer	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	SCF	kWp/consumer	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]
V7	33%	4,5	150733,5	75240	90%	0,8	4308,0	187304	38797,7
V6	25%	7,5	280713	91967				333726	
V5	21%	10,6	415388	112202				488474	

Tabella 4: Schema riassuntivo annuo di autoconsumo collettivo nel grande condominio, con impianto autonomo.

Scenario CER con utenze puramente residenziali

In questo scenario la comunità energetica non viene costituita tra gli appartamenti di uno stesso condominio, ma tra utenze appartenenti a edifici differenti. Questa configurazione tiene conto del fatto che non è detto che tutti gli appartamenti di uno stesso condominio aderiscano ad una stessa comunità energetica (CER): una CER, infatti, può essere costituita da appartamenti localizzati in edifici con caratteristiche e proprietà differenti. In questo scenario la CER è costituita da n.10 prosumer e da un numero ottimale di consumer. L'energia viene prodotta dall'impianto fotovoltaico dei 10 prosumer, che figurano sia come produttori che come consumatori, e l'energia in surplus viene condivisa con un numero ottimale di consumatori.

Come visibile nei grafici in Figura 16 sono rappresentate tre casistiche: nel primo caso sono considerati i soli consumi degli elettrodomestici (circa 2150 kWh annuali per ogni appartamento). Nel secondo e nel terzo caso invece si considera che una certa percentuale di edifici connessi alla CER è dotato di impianti di climatizzazione a pompa di calore (PdC). In particolare, secondo i dati SIRE [17] del Trentino è stata valutata la percentuale reale di edifici appartenenti alle classi V5, V6 e V7 che utilizzano la PdC per soddisfare i consumi di riscaldamento e acqua calda sanitaria. Tale percentuale è pari al 3,67% e rappresenta il secondo scenario in Figura 16; infine il terzo caso valuta la CER nel caso in cui tutti gli appartamenti in V5, V6, V7 del Trentino abbiano una pompa di calore. Tale quota rappresenta quindi il 30% dello stock edilizio Trentino nel 2016. Per eseguire queste simulazioni è stata creata una funzione di probabilità tale per cui la CER è costituita casualmente tra appartamenti di edifici in classe V5, V6 o V7. Nel primo caso il consumo medio annuale per ciascun appartamento è di circa 2.182 kWh, nel secondo caso con il 3.67% degli appartamenti con l'impianto a pompa di calore è pari a 2472 kWh, mentre nell'ultimo caso, con il 30%, è pari a 5405 kWh ad appartamento.

L'impianto fotovoltaico è installato solo su 10 unità familiari (10 prosumer) con una potenza totale di 29.4 kW_p. L'energia auto consumata dai soli prosumer comporta un autoconsumo fisico del 32% e un'autosufficienza del 53%. Se invece l'energia in surplus viene condivisa con un numero ottimale di soli consumer si massimizza l'utilizzo dell'energia rinnovabile prodotta. Come visibile dalla Figura 16a, considerando solo i consumi degli elettrodomestici, il punto di convergenza delle due curve corrisponde al 49%, con circa 8 consumer. Mentre se oltre agli elettrodomestici si prevede che il 3.67% degli appartamenti abbia anche i consumi elettrici derivanti da pompa di calore, la convergenza delle curve la ottengo pari al 48%, con circa 6 utenze aderenti alla CER. Non ottengo invece la convergenza aggiungendo il 30% degli appartamenti con consumi da pompa di calore (PdC).

Se viene aumentata la potenza dell'impianto fotovoltaico, da 2.94 kW a 5.88 kW per ogni prosumer, aumenta la quota di energia in surplus non direttamente autoconsumata. Infatti, così facendo con un ugual

percentuale di SCF e LCF (49%) il numero di consumer aumenta da 8 a 27. Aggiungendo anche il 3.67% dei consumi da PdC, SCF=LCF con il 45% e 20 utenze aderenti; mentre con il 30,25% dei consumi da PdC, SCF=LCF con il 30% e 3 consumer.

Se non si considera il punto di convergenza ma piuttosto il punto in cui l'autoconsumo è pari al 90%, nel primo caso (Figura 16a) si hanno 45 potenziali consumer; nel secondo caso (Figura 16b) il punto viene raggiunto con 101 consumer aderenti alla CER. Con l'aggiunta del 3.67% dei consumi da PdC si hanno 40 utenze con l'impianto da 29.4 kW_p e 101 con l'impianto di potenza superiore. Nell'ultimo sotto scenario si hanno 34 utenze in un caso (29.4 kW_p) e 76 nell'altro (58.8 kW_p).

In Tabella 5 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, condivisa, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

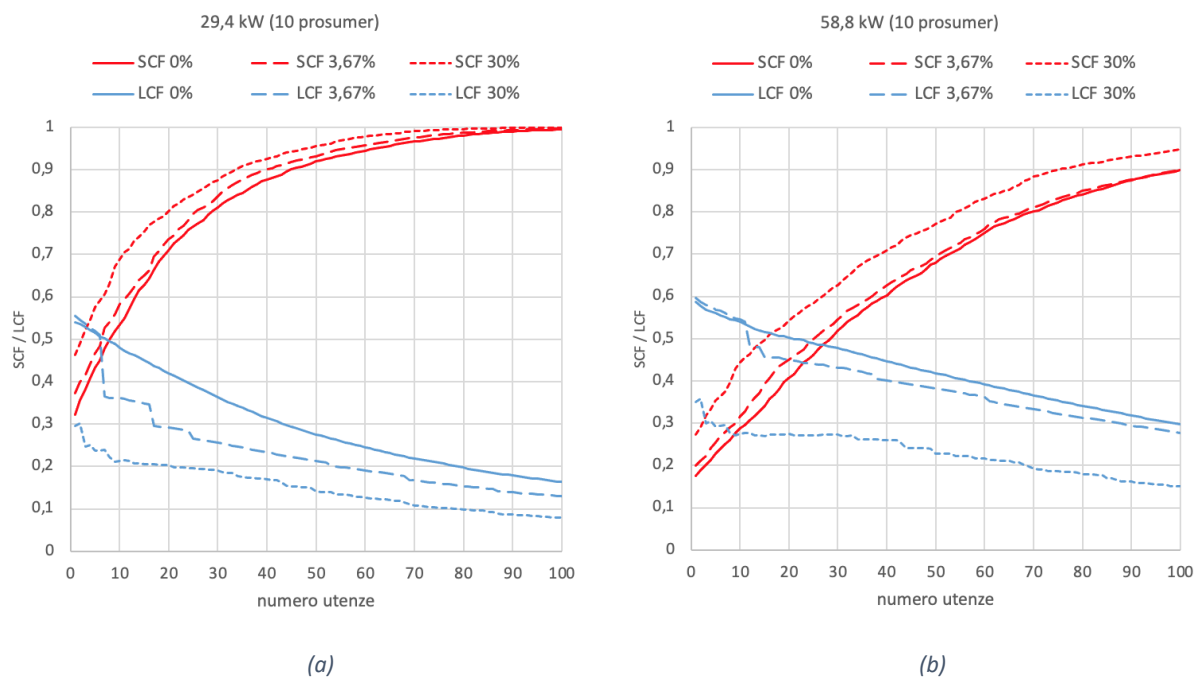


Figura 16: Profili SCF e LCF, 2,94 kWp per ogni consumatore a sinistra (a) e 5,88 kWp per ogni consumatore a destra (b).

utenze residenziali - 29,4 kWp											
% di consumi da PdC	SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
0%	50%	8	20609	9884	10442	90%	45	4062	88556	9884	26830
3,67%	50%	6	19982	11597	8100	90%	40	4069	120801	11597	25110
30,25%	/	/	/	/	/	90%	34	3944	172141	12200	24632
utenze residenziali - 58,8 kWp											
% di consumi da PdC	SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
0%	49%	27	42033	11448	28226	90%	101	8112	175490	11448	61993
3,67%	45%	20	44879	13124	23624	90%	101	8034	193293	13124	60395
30,25%	30%	3	58094	15217	10783	90%	76	8007	324159	15217	58329

Tabella 5: Schema riassuntivo annuo della CER con utenze residenziali: 10 prosumer e n° consumer.

Scenario CER con prosumer industriale e utenze residenziali

Lo scenario sotto riportato prevede un solo grande produttore, il prosumer, che svolge la funzione anche di consumatore e un numero ottimale di soli consumer residenziali aderenti alla CER. In particolare, le simulazioni vengono condotte con tre profili di consumo differenti tra loro vale a dire un'industria meccanica, un'industria alimentare ed infine un'utenza del terziario (nello specifico una biblioteca). I profili di consumo

dei prosumer sono stati ottenuti tramite il monitoraggio diretto durante l'anno 2021. Mentre i consumer residenziali aderiscono alla CER solo con i consumi degli elettrodomestici e non con quelli per riscaldamento e acqua calda sanitaria. I profili di consumo degli elettrodomestici sono gli stessi illustrati nel paragrafo precedente.

I consumi annui dell'industria meccanica sono pari a 875 000 kWh, con un profilo settimanale omogeneo come riportato in Figura 17. L'impianto industriale è attivo cinque giorni su sette, eccetto durante le festività natalizie e Ferragosto. L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato dapprima in funzione della superficie disponibile del tetto, con una potenza di picco di circa 445 kW_p, e successivamente con 750 kW_p.

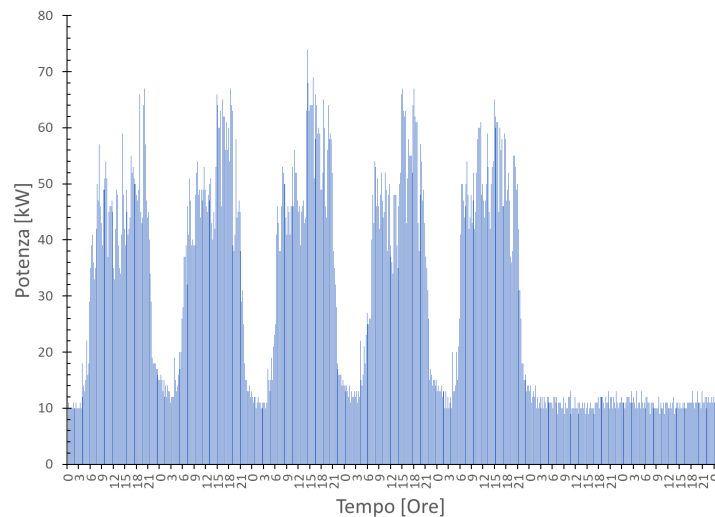


Figura 17: Profilo di consumo settimanale dell'industria meccanica.

Con 445kW_p il punto di convergenza tra la curva dell'autoconsumo e quella dell'autosufficienza non si raggiunge, mentre con 750kW_p lo si ottiene pari a circa il 45%, con 74 utenze residenziali aderenti alla comunità energetica. Considerando invece un valore di autoconsumo pari al 90%, nel primo caso (Figura 18a) si hanno circa 456 utenze con l'impianto fotovoltaico più piccolo, e circa 967 nel secondo caso.

In Tabella 6 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

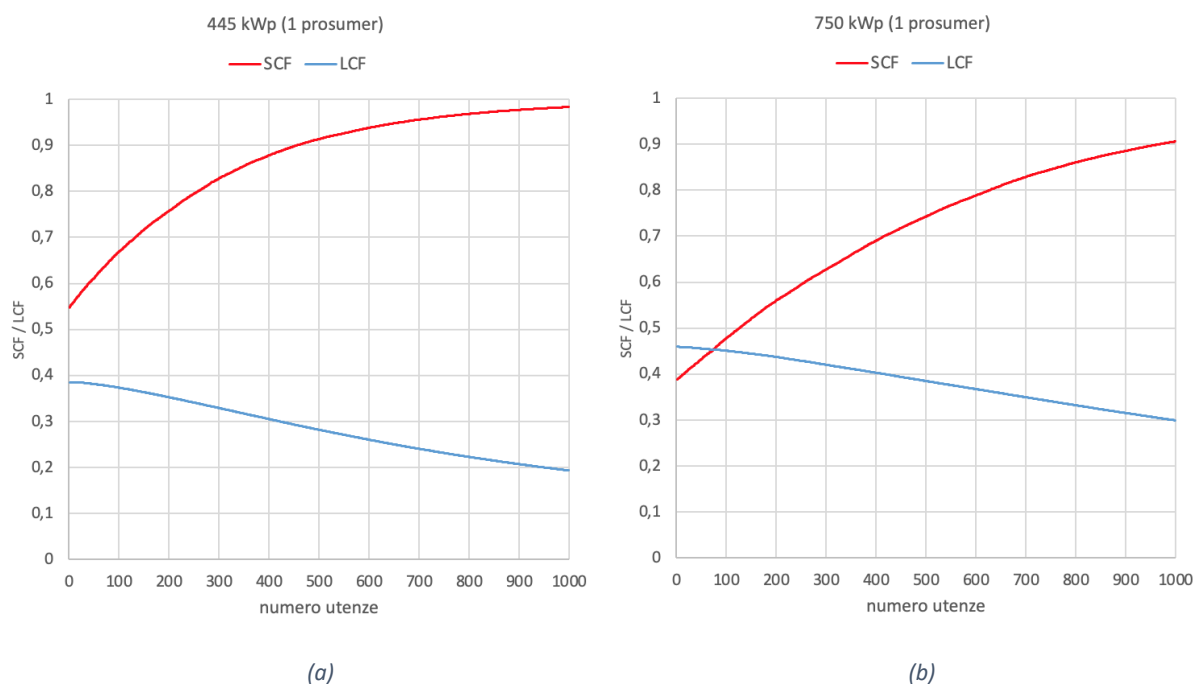


Figura 18: Profili SCF e LCF: industria meccanica, 445 kWp a sinistra (a), 750 kWp a destra (b).

industria meccanica - 445 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
/	/	/	/	/	90%	456	61587,0	134782,1	337462,0	218420
industria meccanica - 750 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
45%	74	568859	402189	68844	90%	967	104418,0	2132694,0	402189,0	533579

Tabella 6: Schema riassuntivo annuo della CER con industria meccanica (prosumer) e n° consumer.

Con l'industria alimentare si ha un consumo annuo pari a 802 000 kWh, quasi pari a quello dell'industria meccanica ma con profili settimanali di consumo molto differenti. Vedasi a confronto la Figura 17 con la Figura 19. Tra gennaio e maggio la produzione industriale è attiva 3 giorni su 7, durante il periodo estivo 5 giorni su 7 e infine, da ottobre a dicembre pari a 4 giorni su 7 (Figura 19). Il profilo di consumo è quindi variabile e non omogeneo lungo tutta la durata dell'anno. Avendo consumi simili all'industria meccanica, le potenze dell'impianto fotovoltaico considerate sono le stesse, 445 e 750 kW_p.

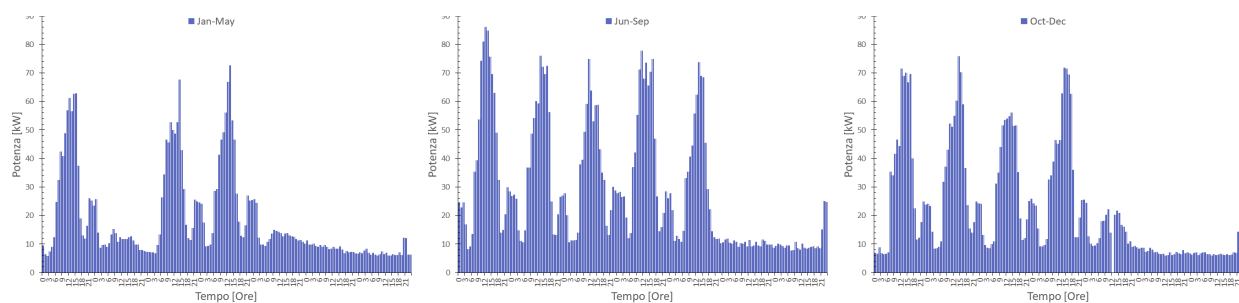


Figura 19: Profilo di consumo settimanale dell'industria alimentare.

Con 445kW_p l'autoconsumo risulta sempre superiore all'autosufficienza, mentre con 750kW_p li due valori diventano simili con una percentuale pari al 50% e circa 105 consumer residenziali. Per ottenere invece un autoconsumo pari al 90%, nel primo caso ho circa 448 appartamenti aderenti alla CER, nel secondo caso 946 appartamenti. Si notano quindi risultati molto simili se non pressoché identici a quelli ottenuti nell'industria meccanica nonostante i diversi profili temporali del consumo. Tuttavia, le curve dei fattori SCF e LCF differiscono tra loro: nel caso dell'industria meccanica la curva dell'autoconsumo è leggermente più ripida.

In Tabella 7 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

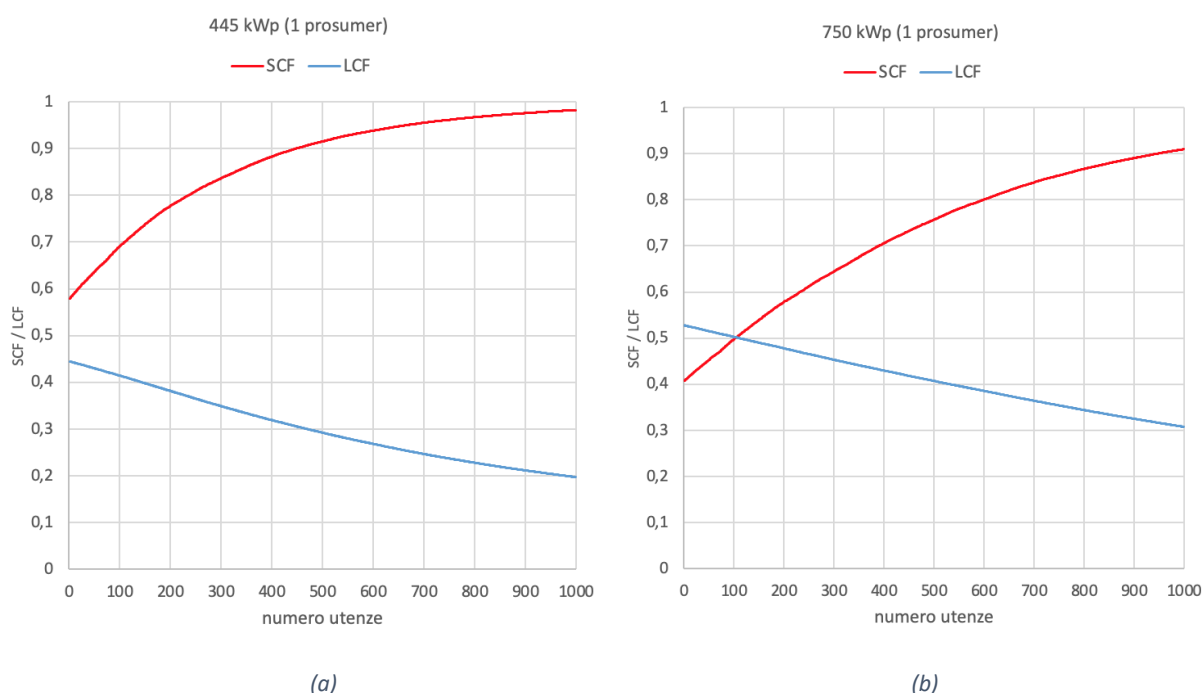


Figura 20: Profili SCF e LCF: industria alimentare, 445 kW_p a sinistra (a), 750 kW_p a destra (b).

industria alimentare - 445 kWp											
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	
/	/	/	/	/	90%	448	61630,0	1261057	356810,0	199029	
industria alimentare - 750 kWp											
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	
50%	105	518170,5	423457	98425	90%	946	103939,0	2015656,0	423457,0	512400	

Tabella 7: Schema riassuntivo annuo della CER con industria alimentare (prosumer) e n° consumer.

L'ultimo profilo considerato appartiene a una biblioteca dotata di un impianto di riscaldamento a pompa di calore, monitorata nel periodo tra novembre 2021 e ottobre 2022, con consumi annui totali pari a 621 560 kWh. Mentre considerando i soli consumi dei carichi elettrici, escludendo quelli dell'impianto di climatizzazione, si registra un consumo annuo di 259 480 kWh annuali. Guardando il profilo in Figura 21, i picchi massimi sono pari a 40 kW e si nota che, nonostante i consumi durante la settimana siano maggiori, anche nel weekend l'impianto rimane attivo. Anche in questo scenario le utenze "consumer" partecipano alla CER con i soli consumi degli elettrodomestici. L'impianto fotovoltaico del prosumer è stato dimensionato in funzione dei consumi e per tanto varia se viene considerato o meno il consumo dell'impianto di climatizzazione.

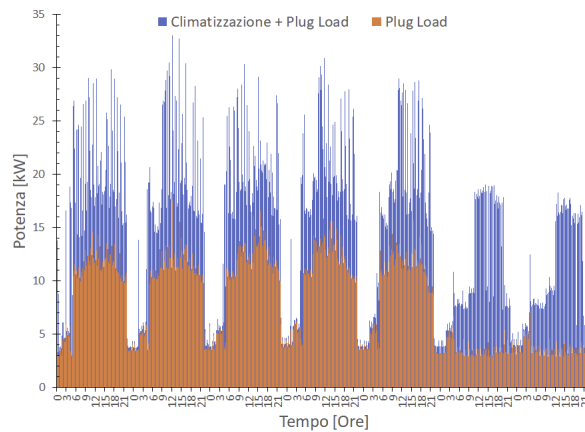


Figura 21: Profilo di consumo settimanale della biblioteca.

Come visibile in Figura 22a, nel primo caso l'impianto è da 222kW_p e il numero ottimale di consumer è pari a 22 con un autoconsumo/autosufficienza pari al 45%; mentre con una potenza doppia di PV da 445kW_p si hanno 158 consumer e il 48%. Prevedendo un autoconsumo pari al 90%, con 222 kW_p si hanno 294 consumer aderenti alla CER, con 445 kW_p le utenze aderenti devono essere più del doppio pari infatti a 721.

Considerando invece sia i consumi dei carichi base sia quelli della pompa di calore, la potenza dell'impianto fotovoltaico viene dapprima assunta pari a 445kW_p e poi a 750kW_p. Nel primo caso (Figura 23a) la curva dell'autoconsumo e dell'autosufficienza si intersecano al 43% con solo 1 utenza, nel secondo caso invece (Figura 23b) ottengo la convergenza al 46% con 185 consumer. Il 90% di autoconsumo prevede 530 utenze residenziali aderenti alla CER con 445 kW_p mentre se la potenza rinnovabile sale a 750 kW_p le utenze aderenti devono contestualmente aumentare a 1000.

In Tabella 8 e 9 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, condivisa, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

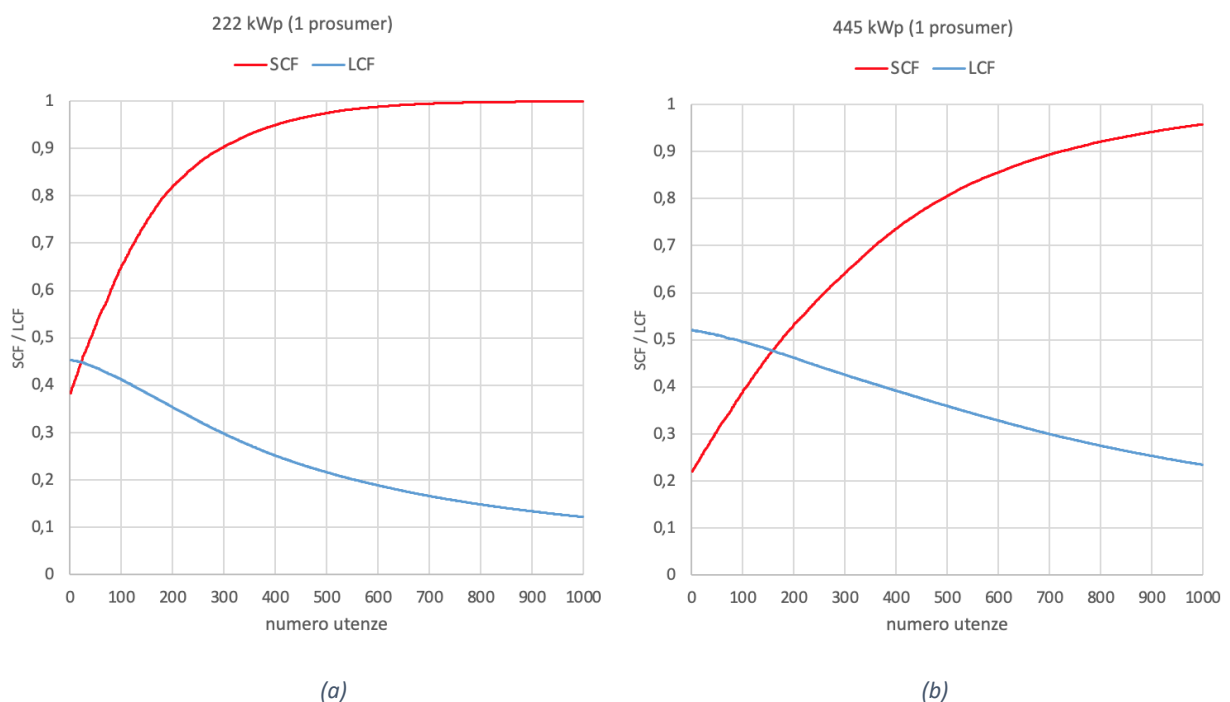


Figura 22: Profili SCF e LCF: biblioteca con carichi di base, 222 kWp a sinistra (a), 445 kWp a destra (b).

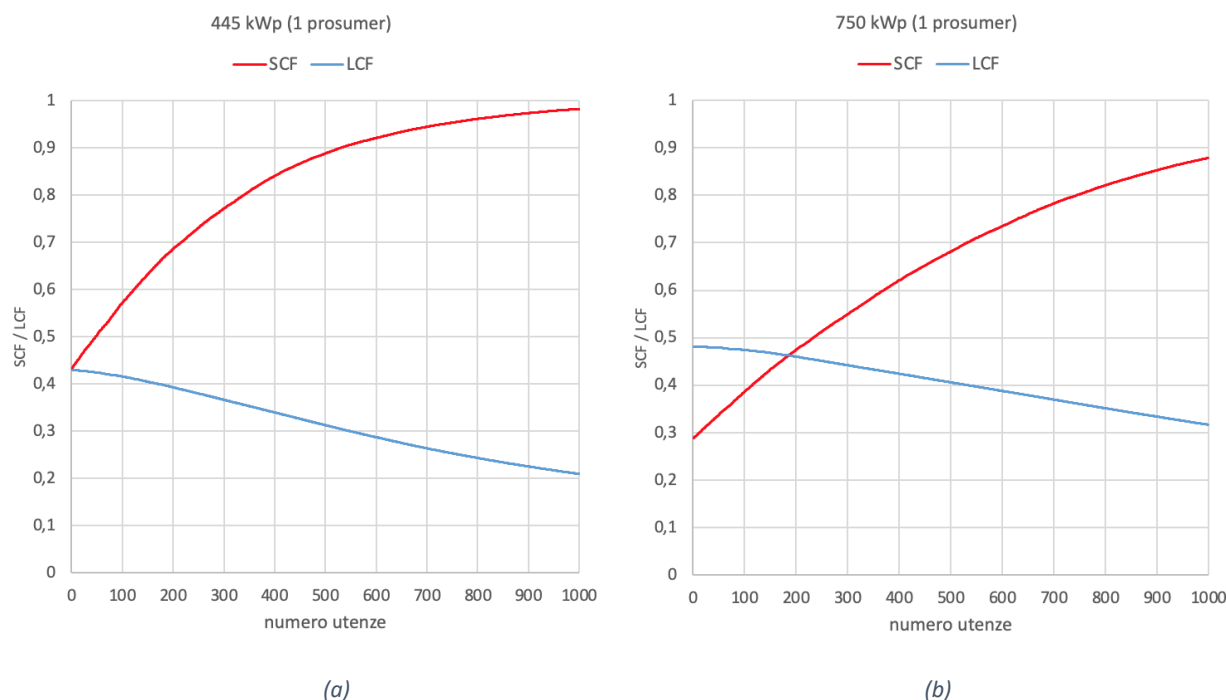


Figura 22: Profili SCF e LCF: biblioteca con carichi di base e HP, 445 kWp a sinistra (a), 750 kWp a destra (b).

biblioteca (carichi di base) - 222 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
45%	22	170303,5	117519	20988	90%	294	30838,0	645698	117519,0	160377
biblioteca (carichi di base) - 445 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
48%	158	322910	135157	159050	90%	721	61740,0	1331662,0	135157,0	420573

Tabella 8: Schema riassuntivo annuo della CER con i soli consumi di base della biblioteca (prosumer) e n° consumer.

biblioteca (carichi di base + HP) - 445 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
43%	1	352614	267007	843	90%	530	61647	1266830	267007	288817
biblioteca (carichi di base + HP) - 750 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
46%	185	558434	299323	181597	88%	1000	126305	1969847	299323	614169

Tabella 9: Schema riassuntivo annuo della CER con la biblioteca (prosumer) e n° consumer.

Scenario CER con più prosumer industriale e utenze residenziali

In quest'ultimo scenario la comunità energetica è costituita da tre prosumer e da un numero ottimale di consumatori. I tre prosumer sono l'industria meccanica, quella alimentare e la biblioteca. L'obiettivo è infatti quello di combinare tra loro diversi profili di consumo tra loro. I consumi totali, sommando quelli delle industrie e della biblioteca, ammontano a circa 2 MWh annui. Nel primo caso (Figura 23a) l'impianto fotovoltaico è pari a 500 kW_p per ciascun prosumer, ovvero 1.5 MW_p totali; mentre nel secondo caso (Figura 23b) pari a 750 kW_p e quindi 2.3 MW_p totali.

In Figura 23a la curva dell'autoconsumo è sempre superiore a quella dell'autosufficienza, mentre i valori su eguagliano in Figura 23b al 48%, con circa 364 utenze residenziali aderenti alla CER. Il 90% di autoconsumo si

raggiunge con oltre 1000 consumer aderenti alla comunità energetica; con 1000 unità immobiliari residenziali aderenti si ha un autoconsumo del 64%.

In Tabella 10 viene visualizzata la quota annuale di energia autoconsumata, condivisa, immessa e prelevata dalla rete, sia nel caso in cui SCF=LCF, sia nel caso in cui SCF è pari al 90%.

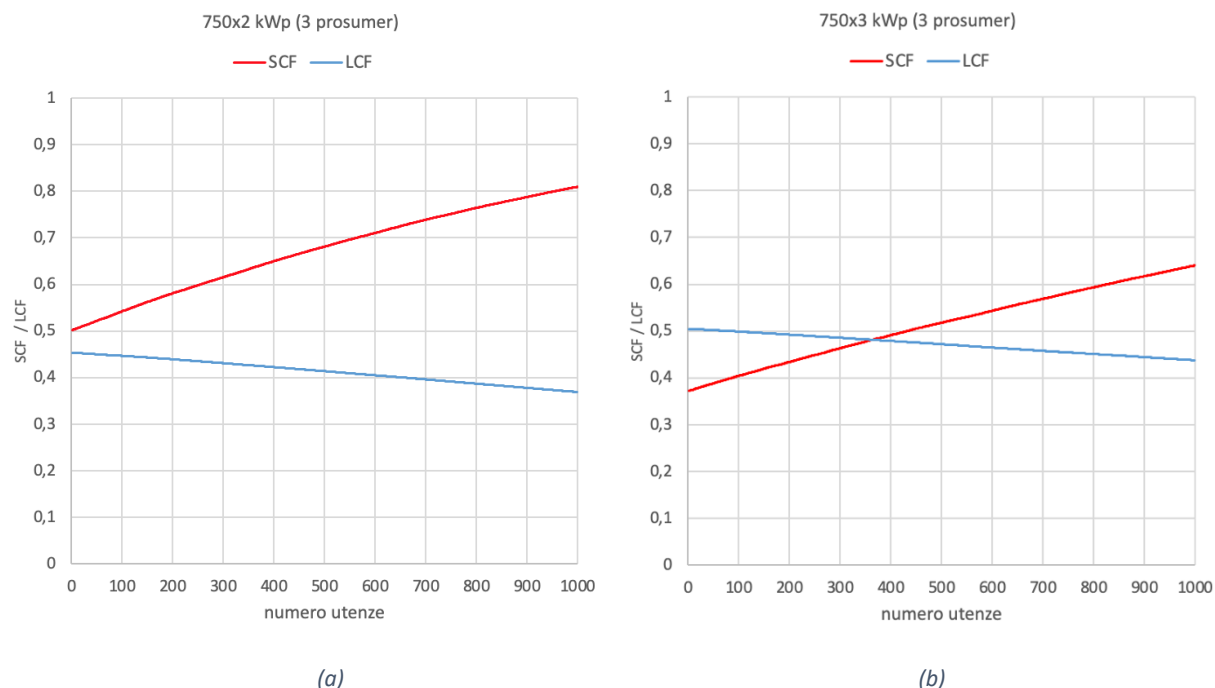


Figura 23: Profili SCF e LCF: 750x2 kWp a sinistra (a), 750x3 kWp a destra (b).

industria meccanica, alimentare e biblioteca - 1500 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
/	/	/	/	/	81%	1000	396081	2876768	1042809	640707
industria meccanica, alimentare e biblioteca - 2250 kWp										
SCF=LCF	utenze	immessa=prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]	SCF	utenze	immessa [kWh]	prelevata [kWh]	autoconsumo [kWh]	condivisa [kWh]
48%	364	1617256	1159668	342607	64%	1000	1122643	2564854	1159668	837083

Tabella 10: Schema riassuntivo annuo della CER con 3 prosumer (industria meccanica, alimentare e biblioteca) e n° consumer.

Considerazioni finali e sviluppi futuri

L'analisi sulla quota rinnovabile mostra la possibilità di raggiungere, anche nel contesto trentino, quote di energia rinnovabile pari al 70% mediante le configurazioni di impianto disponibili sul mercato. Questa quota, valutata sull'energia primaria, corrisponde a dei livelli di autosufficienza minore, generalmente del 10%. Il livello di autosufficienza può però essere incrementato mediante sistemi di regolazione avanzata basati sul monitoraggio della produzione fotovoltaica e all'ottimizzazione degli accumuli termici.

Dall'analisi svolta sulle comunità energetiche emergono i vantaggi tecnici legati alla condivisione di energia rinnovabile e soprattutto vengono definiti dei parametri utili per la progettazione e la previsione dei vantaggi legati alla costituzione di comunità energetiche. Nel presente lavoro sono state valutate diverse tipologie di comunità energetica partendo da profili di consumo misurati su utenze industriali e da profili stocastici per le utenze residenziali. L'analisi dovrebbe essere ulteriormente ampliata e migliorata includendo nei calcoli anche profili di consumo misurati su edifici del settore terziario e, nello specifico: uffici, scuole, negozi, impianti sportivi ed utenze pubbliche.

Nomenclatura

ACS	Acqua calda sanitaria
ARERA	Autorità di regolazione per energia reti e ambiente
BAS	Strategia di controllo base (base)
BS	Accumulo termico per riscaldamento (buffer storage)
CER	Comunità di energie rinnovabili
COP	Rendimento (coefficient of power)
ENH	Strategia di controllo avanzata (enhanced)
FV	Fotovoltaico
GC	Grande condominio
PdC	Pompa di calore
LCF	Autosufficienza (load cover factor)
MC	Medio condominio
MF	Mono familiare
nZEB	Edificio a energia zero (nearly zero energy building)
PEAP	Piano energetico ambientale provinciale
RER	Quota rinnovabile (renewable energy ratio)
RSE	Responsabile servizi energetici
SCF	Autoconsumo (supply cover factor)
TES	Accumulo termico per acqua calda sanitaria (thermal energy storage)

Bibliografia

- [1] International Energy Agency (IEA). Tracking Buildings 2021. Tracking Report; IEA, Paris, France, 2021. Available online: <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021> (accessed on 30 March 2022).
- [2] European Commission (EU). EU energy in figures - statistical pocketbook 2021. European Commission, Luxembourg, 2021.
- [3] D'Agostino, D.; Parker, D. Data on cost-optimal Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) across Europe. Data in Brief 2018, 17, 1168-1174. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.02.038>.
- [4] REPowerEU Plan. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the Regions: REPowerEU Plan. European Commission, Luxembourg, 2022.
- [5] European Parliament (EU). Renewable Energy Directive (RED II), Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. European Parliament, Luxembourg, 2018.
- [6] Decreto legislativo 8 novembre 2021, n. 199. Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili; Presidente della Repubblica: Roma, Italy, 2021.
- [7] Deliberazione n. 952 11/06/2021. "Piano Energetico Ambientale Provinciale 2021-2030." Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per le Risorse idriche e l'Energia.
- [8] A. Capozza, F. Carrara, M. E. Gobbi, F. Madonna e F. Ravasio, Analisi tecnico-economica di interventi di riqualificazione, Milano, 2014.
- [9] Bello A., P. Baggio, R. Brunelli. 2019. "Scenario di riqualificazione energetica degli edifici residenziali in Trentino." Trento.
- [10] Ceccolini C., N. Franzoi, A. Prada and P. Baggio. 2020. "Scenario di penetrazione delle pompe di calore per il riscaldamento e la produzione acqua calda sanitaria." Trento.
- [11] Hannüss S., A. Prada, P. Baggio. 2021. "Scenari sul potenziale impatto delle comunità di energia rinnovabile". Trento
- [12] DPP 13 13/07/2009. Decreto del presidente della provincia 13 luglio 2009, n. 11-13/Leg - Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della legge provinciale 4 marzo 2008, n.1 (Pianificazione urbanistica e governo del territorio).
- [13] DPR 412/93. Decreto del presidente della Repubblica 412/93 – Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
- [14] UNI (Ente italiano di unificazione). 2016a. UNI 10349-1 – Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata.

- [15] G. Besagni, L. Premoli Villà e M. Borgarello, «Italian Household Load Profiles: A Monitoring Campaign» Buildings, vol. 10, n. 12, pp. 1-20, 2020.
- [16] Povolato M., A. Prada, S. Verones, P. Baggio. 2022. "On the Effect of the Time Interval Base and home appliance on the Renewable Quota of a Building in an Alpine location". Articolo in revisione per pubblicazione su Energies.
- [17] d.G.P. n.1008 13/06/2016. "SIRE – Sistema informativo risorse energetiche." Provincia Autonoma di Trento.
- [18] Povolato M., A. Prada, S. Verones, S. Debiasi and P. Baggio. 2023. "Collective Self-Consumption and Different Energy Community Scenarios". Articolo in preparazione per Energies.