Allegato 09

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE IMPATTO DELLE COMUNITÀ DI ENERGIA RINNOVABILI (COMINITÀ ENERGETICHE)

prof. ing. Paolo Baggio | DICAM UNITN

ing. Alessandro Prada | DICAM UNITN

dott. ing. Nicola Franzoi | DICAM UNITN

UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

UNIVERSITÀ
DI TRENTO
Dipartimento di
Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica

Valutazioni sul potenziale impatto delle comunità di energia rinnovabile (comunità energetiche)

prof. ing. Paolo Baggio, DICAM-UNITN
ing. Alessandro Prada, DICAM-UNITN
dott. ing. Nicola Franzoi, DICAM-UNITN

Gennaio 2021

Introduzione.....3
Potenzialità e limiti dell’autoconsumo in impianti a pompa di calore in Italia.....5
Analisi sulle potenzialità delle comunità energetiche.....9
Conclusioni.....16
Bibliografia.....17

Introduzione

La più recente Direttiva Europea sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (Direttiva (UE) 2018/2001 Del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018) prevede che "*le autorità competenti a livello nazionale, regionale e locale inseriscano disposizioni volte all'integrazione ed alla diffusione delle energie rinnovabili, anche per l'****autoconsumo di energia da fonti rinnovabili*** *(art.21) e le* ***comunità di energia rinnovabile (art 22)….".***
In altre parole, 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 di energie rinnovabili. A questo proposito va ricordato che molte risorse energetiche rinnovabili, ed in particolare quelle eolica e fotovoltaica, hanno carattere discontinuo e non è quindi pensabile che, sul lungo periodo, la rete elettrica nazionale sia sempre disponibile ad assorbire l'energia rinnovabile generata in eccesso rispetto ai fabbisogni dell'utenza e che, quindi, servizi come lo **Scambio sul Posto** (ovvero una particolare forma di autoconsumo in sito che consente di compensare l'energia elettrica prodotta e immessa in rete in un certo momento con quella prelevata e consumata in un momento differente da quello in cui avviene la produzione) possano essere estesi all'infinito. Va inoltre sottolineato come l'autoconsumo migliori l'efficienza complessiva del sistema riducendo le perdite connesse al trasporto.
Va, invece, promossa, una evoluzione dell'utenza da un lato verso una gestione dei consumi basata sulla disponibilità di energia della rete e dall'altro che ottimizzi l'autoconsumo di energia rinnovabile. In questa prospettiva assumeranno un ruolo di primaria importanza le **comunità di energia rinnovabile** che, avendo il diritto di "*scambiare, all'interno della stessa comunità, l'energia rinnovabile prodotta dalle unità di produzione detenute da tale comunità produttrice/consumatrice di energia rinnovabile* "possono ottimizzare l'autoconsumo evitando di gravare eccessivamente sulla rete nazionale ed, eventualmente, cooperare con la rete stessa per migliorarne la resilienza.

Uno dei settori dove è prevedibile la diffusione delle suddette comunità è quello degli edifici, che da solo è responsabile di circa il 40% dei consumi finali di energia e, in tale contesto, assume un ruolo essenziale l'utilizzo dell'energia rinnovabile negli impianti di riscaldamento, raffrescamento e preparazione dell'acqua calda sanitaria (impianti che utilizzano la maggior parte dell'energia consumata dal settore). Da questo punto di vista la possibilità di integrare più edifici in una comunità permette, grazie agli aspetti complementari condivisibili sia per quanto riguarda le risorse (es. spazi destinabili alla captazione di energia solare) sia per quanto riguarda gli utilizzi (orari di funzionamento degli impianti di riscaldamento, rinfrescamento, preparazione dell'acqua calda sanitaria ed anche altri) di ottimizzare su di una scala più estesa e quindi con maggiori potenzialità l'autoconsumo.

Nel contesto Trentino, la principale risorsa energetica rinnovabile per la quale si possa concretamente ipotizzare un incremento di diffusione grazie alle comunità ed agli autoconsumatori è quella fotovoltaica seguita, in misura minore dalla biomassa (anche a causa della necessità di utilizzare la biomassa con tecnologie adeguate a limitarne l'impatto ambientale): allo stato attuale non si ritiene invece che possano portare contributi apprezzabili gli impianti idroelettrici di piccola taglia e l'energia eolica.

Con riferimento alla disponibilità di energia solare in trentino la irradiazione solare media annuale sul piano orizzontale risulta nella maggior parte del territorio superiore a 1100 kWh m^{-2} (Fig. 1) - ed è anche maggiore per i moduli installati con inclinazione ottimale, inoltre i moduli fotovoltaici disponibili in commercio hanno ormai raggiunto efficienze di circa il 18% con costi in fornitura inferiori ad 1,00 €/W_{picco} . Si ritiene quindi opportuno indirizzare un'analisi preliminare sulle potenzialità nel territorio di comunità energetiche che si sviluppino nell'ambito degli edifici con particolare riguardo allo sfruttamento di impianti fotovoltaici combinati con pompe di calore per la climatizzazione.

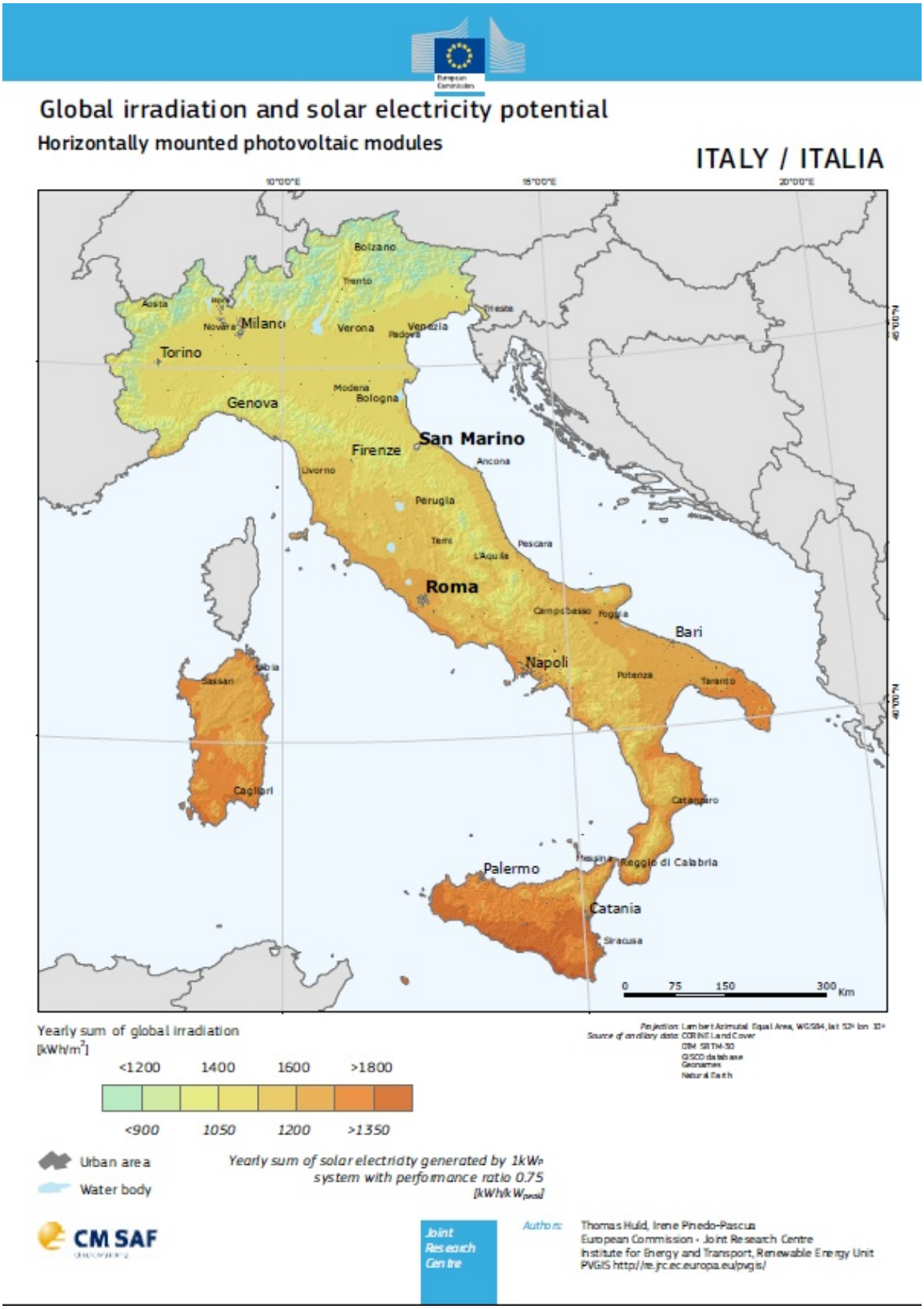

Figura 1- Irradiazione globale solare su di una superficie orizzontale (Fonte: ISPRA - European Joint Research Center)

Potenzialità e limiti dell’autoconsumo in impianti a pompa di calore in Italia.

Allo scopo di evidenziare quali siano in linea di massima le possibilità di autoconsumo di un impianto di climatizzazione basato su pompa di calore ad alimentazione elettrica, viene presentata un’analisi, ottenuta grazie ad una simulazione energetica dinamica, riferita ad alcune città del centro-nord Italia, per chiarire da un lato la dipendenza dalle condizioni climatiche e dall’altra dal livello di sofisticazione del sistema di regolazione del sistema. Allo scopo è stato considerato un tipico edificio unifamiliare in muratura ben isolato dotato di un impianto fotovoltaico standard da 20 m^2 e di impianto con pompa di calore e serbatoi di accumulo per la preparazione dell’acqua calda sanitaria e la climatizzatone, il cui comportamento è stato verificato nelle città di Trento, Bolzano, Trieste Milano e Roma, tenendo presente che un edificio ben isolato ha spesso bisogno di un minimo di rinfrescamento estivo.

Oltre ad una regolazione tradizionale del sistema, basata sulla temperatura del set point in ambiente, sono state considerate anche le strategie di controllo (CS) più sofisticate che mirano ad ottimizzare la possibilità di accumulo di energia nei serbatoi dell’impianto di climatizzazione e dell’acqua calda sanitaria, come segue:

- **CS1**: quando si verifica una sovra-produzione di energia da fotovoltaico (FV), la temperatura di set-point dei serbatoi di accumulo d’acqua per il riscaldamento (SH) o il raffrescamento (SC) viene modificata per incrementare l’energia accumulata. Quando viene raggiunto il set-point massimo, la temperatura set-point del serbatoio d’accumulo per l’acqua calda sanitaria (ACS) viene innalzata.
- **CS1 +**: si modifica il setpoint dei due serbatoi nello stesso ordine di CS1, e contemporaneamente si modifica di ± 2 ° C il set-point ambiente delle quattro zone termiche.
- **CS2:** in caso si sovra-produzione d FV viene data precedenza all’innalzamento della temperatura di set-point del serbatoio d’accumulo per l’acqua calda sanitaria. Il set-point di temperatura 'SH/SC viene modificato al raggiungimento della massima temperatura prevista per ACS (60 °C).
- **CS2 +**: la strategia di controllo è la stessa di CS2, unitamente all'aumento del setpoint ambiente di ± 2 ° C.

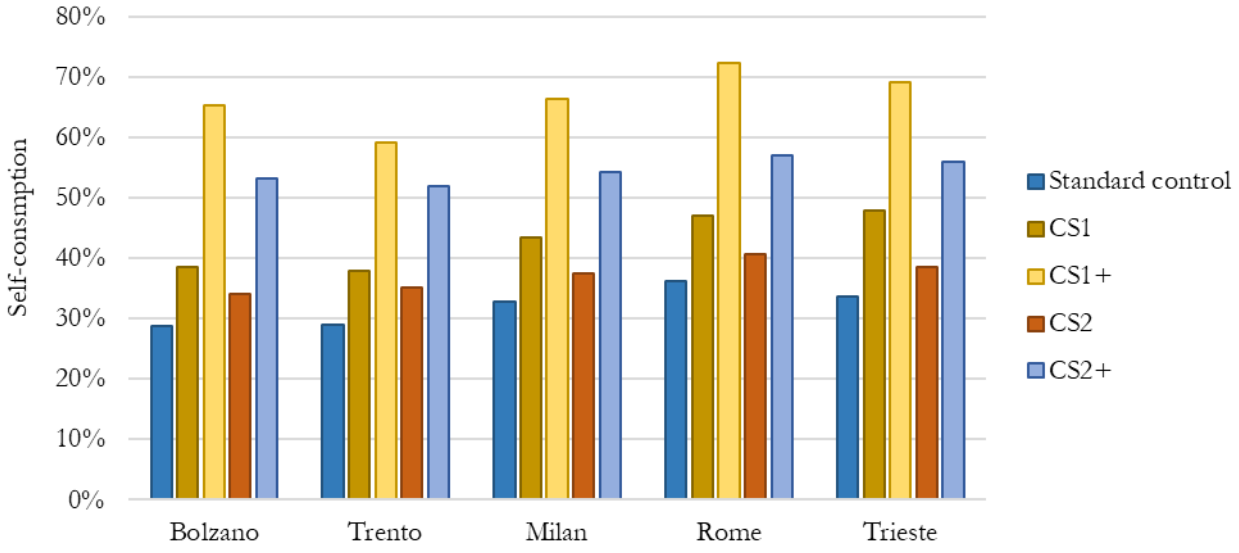

Figura 2- Percentuale annuale di autoconsumo nelle città considerate e con varie strategie di controllo

Come si vede dai risultati presentati in figura 2 la percentuale di energia rinnovabile auto-consumata dall'impianto di climatizzazione nelle città di Trento raggiunge circa il 29% nel caso di regolazioni standard dell'impianto come già evidenziato nell'analisi sullo "Scenario di penetrazione delle pompe di calore per il riscaldamento e la produzione acqua calda sanitaria". Adottando invece delle logiche di controllo *rule-based* ottimizzate, si possono raggiungere coperture maggiori dell'ordine del 50-60% diminuendo quindi il prelievo dalla rete. È bene però sottolineare che le logiche di regolazione sono strettamente connesse alle caratteristiche dell'edificio e pertanto richiedono un'attenta valutazione in fase di progettazione. Inoltre, non sono efficaci allo stesso modo durante tutto l'anno e, come si vede dai grafici in figura 3, portano generalmente ad un aumento della domanda dell'edificio seppur coperta dal maggior utilizzo delle fonti rinnovabili in-situ.

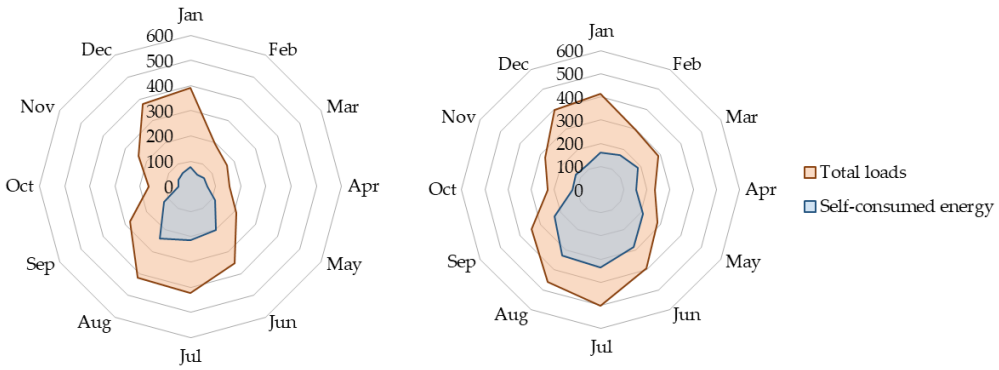

Figura 3- Andamento annuale del fabbisogno complessivo e della frazione auto- consumata da energia rinnovabile con la regolazione standard (sinistra) e la strategia di controllo CS2+(destra)

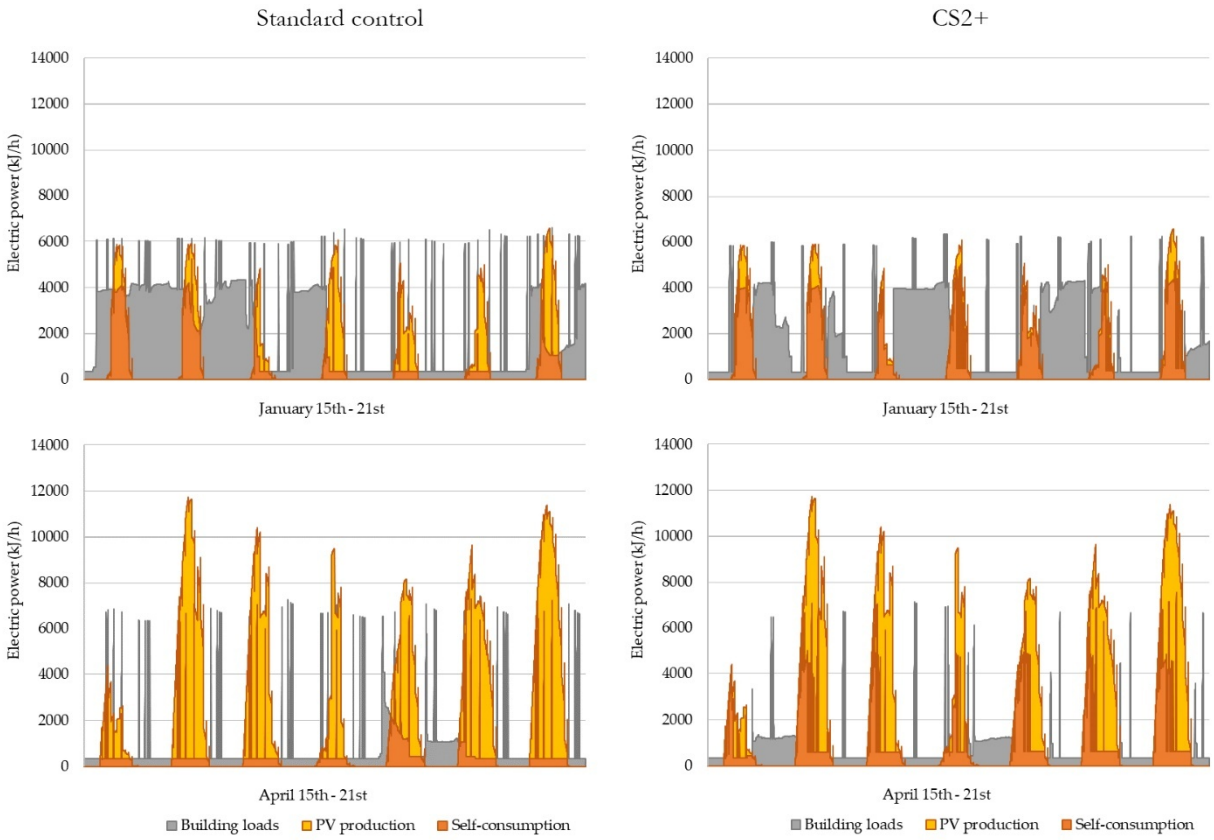

Figura 4- *Andamento temporale del fabbisogno di energia degli impianti di climatizzazione e produzione di ACS, della generazione di energia PV e dell'autoconsumo con la regolazione standard (sinistra) e la strategia di controllo CS2+(destra) in due diversi periodi dell'anno.*

Pur tenendo presenti i limiti di questa simulazione, si può già trarre la conclusione che, a livello di utenza singola, non è possibile sfruttare completamente la produzione fotovoltaica per la climatizzazione con pompa di calore, pur ipotizzando l'impiego di tecniche di controllo relativamente sofisticate, peraltro ancora poco diffuse. Il motivo risulta evidente dall'analisi dei profili temporali ottenuti dalla simulazione (Fig. 4), nei quali emerge chiaramente lo sfasamento fra domanda del sistema edificio-impianto e disponibilità fotovoltaica.

Questo aspetto è confermato anche da alcune indagini sperimentali condotte. Ad esempio, andamenti molto simili sono stati osservati un edificio sperimentale ad altissime prestazioni climatizzato con pompa di calore presso l'ex Manifattura Tabacchi a Rovereto. L'andamento temporale della generazione fotovoltaica e dei fabbisogni è riportato in figura 5 rispettivamente per un periodo invernale, primaverile ed estivo. Si nota chiaramente come i fabbisogni di riscaldamento siano concentrati nelle ore del mattino ed in quelle serali mentre la produzione fotovoltaica è concentrata nelle ore centrali, la situazione (ovviamente) migliora un po' d'estate ma comunque nei tre grafici l'autoconsumo misurato è rispettivamente pari al 26%, 52% e 42%.

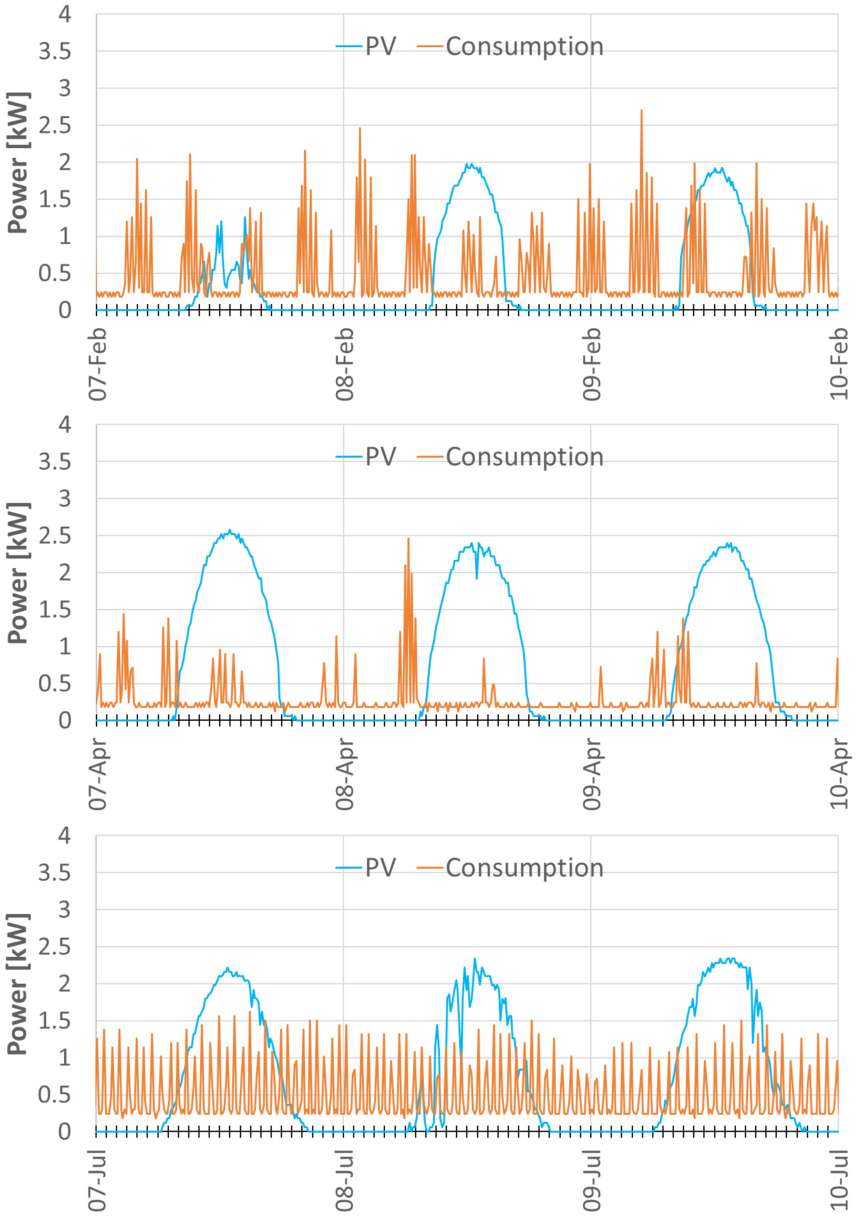

Figura 5- *Andamento temporale della generazione da FV (in azzurro) e del fabbisogno di energia della pompa di calore (in arancio) nell'edificio sperimentale di Rovereto.*

Questo sfasamento temporale fra domanda energetica dell'edificio e produzione fotovoltaica viene inoltre accentuato se vengono prese in considerazione anche i consumi per elettrodomestici. In Figura 6 ad esempio viene mostrato l'andamento dei consumi elettrici rilevati in un'utenza domestica. Anche in questo caso si nota come i picchi nella domanda sia principalmente nelle ore serali, dovuti all'utilizzo del piano cottura ad induzione e degli altri elettrodomestici più energivori, mentre ovviamente il grosso della disponibilità fotovoltaica sia durante le ore del giorno.

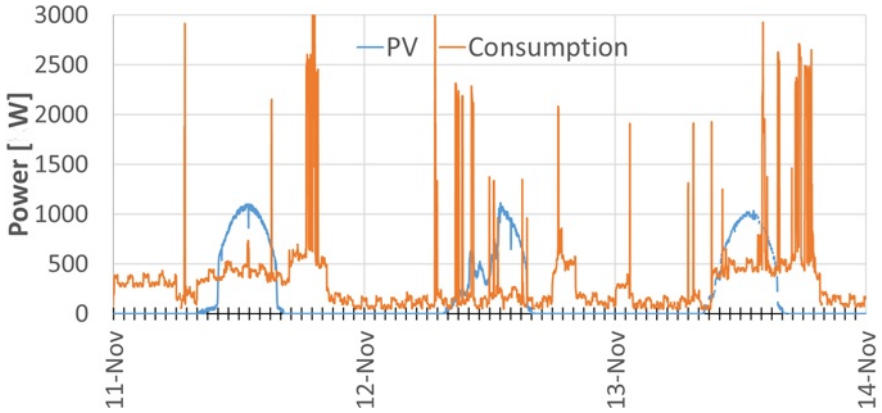

Figura 6- *Andamento temporale della generazione da FV (in azzurro) e del fabbisogno di energia per apparecchiature domestiche in un edifico a Trento.*

Per aumentare la copertura con fonti rinnovabili e ridurre i prelievi dalla rete per le singole abitazioni è possibile ricorrere a degli accumuli termici stagionali, adottando uno schema di impianto come quello presentato nella Figura 7. Tuttavia, come dimostrano il grafico in figura 7, per raggiungere una copertura prossima al 100% e una completa indipendenza della rete bisogna ricorrere ad accumuli e superfici captanti molto grandi, ad esempio nel caso in esame 60 m^3 di accumulo e 10 pannelli solari termici (STC) corrispondenti ad una superficie captante complessiva di 41.5 m^2. Questo aspetto, a cui si associano i problemi dell'elevato costo d'installazione, limita fortemente l'applicabilità della soluzione salvo particolari casi.

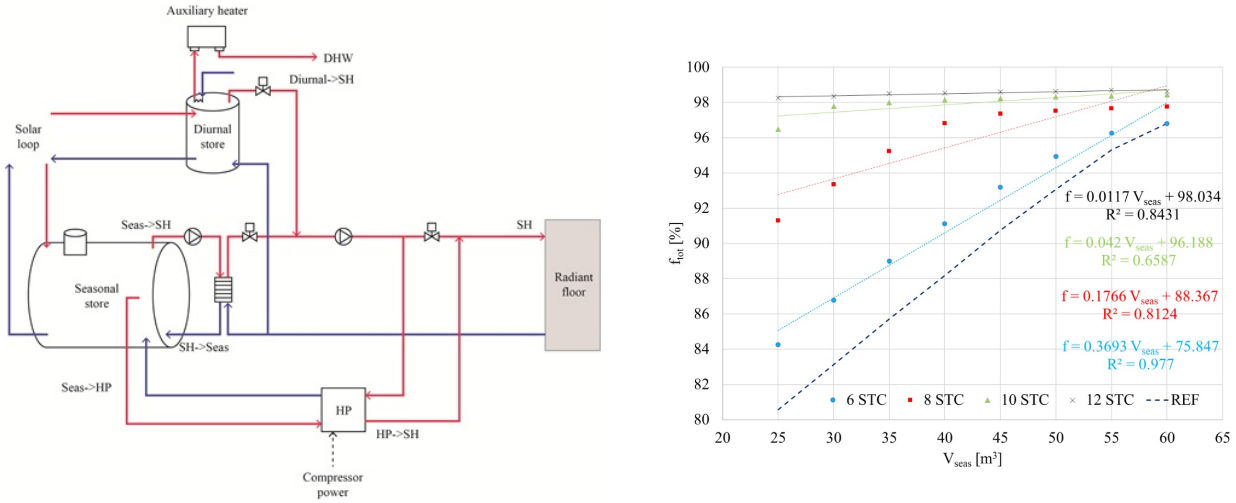

Figura 7- *Schema di impianto con pompa di calore ed accumulo stagionale accoppiato a pannelli solari termici e andamento della percentuale di copertura del fabbisogno di riscaldamento in funzione delle dimensioni del serbatoio di accumulo (V_{seas}) e del numero di pannelli solari termici (STC).*

Questi risultati mostrano quindi l'importanza di poter scambiare l'eccedenza di energia fotovoltaica fra diversi edifici o unità abitative appartenenti ad una stessa comunità energetica. Per questi motivi, i vantaggi potenziali delle comunità energetiche sono stati valutati attraverso diverse simulazioni dinamiche impiegando gli edifici caratteristici già introdotti negli scenari sulla riqualificazione energetica degli edifici trentini e sulla potenziale penetrazione delle pompe di calore.

Analisi sulle potenzialità delle comunità energetiche

Per valutare le potenzialità delle comunità energetiche nell'aumento dell'autoconsumo di energia rinnovabile prodotta in situ sono state condotte una serie di simulazioni dinamiche le quali hanno il vantaggio di evidenziare le diverse domande di energia degli appartamenti con esposizioni e caratteristiche costruttive diverse. Nell'analisi sono stati valutati sia i consumi elettrici legati al riscaldamento degli ambienti e alla produzione di acqua calda per usi sanitari in analogia a quanto fatto per le valutazioni sullo scenario di penetrazione delle pompe di calore in Trentino. In aggiunta, sono stati considerati i fabbisogni energetici legati alle apparecchiature elettriche e all'illuminazione artificiale. Nella prima fase dello studio, è stato analizzato il caso base in cui ogni appartamento è dotato di un impianto autonomo di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria e di un impianto fotovoltaico dedicato. In questo scenario è stato quindi analizzato l'autoconsumo mediamente ottenibile dai singoli appartamenti considerando un funzionamento standard per gli elettrodomestici. Successivamente, sono stati considerati due scenari in cui, mantenendo il funzionamento autonomo degli impianti di riscaldamento, vengono ipotizzati dei profili temporali ottimizzati di funzionamento degli elettrodomestici rispettivamente nel 50% e nel 100% degli appartamenti considerati. Quest'analisi vuole analizzare il beneficio potenziale legato all'accensione dei grandi elettrodomestici durante le parti centrali della giornata, quando la disponibilità di energia fotovoltaica è maggiore. In questi due scenari quindi si vuole quantificare l'aumento dell'autoconsumo dell'energia rinnovabile sfruttando la partenza ritardata degli elettrodomestici e i controlli ottimizzati che in futuro saranno disponibili grazie alla maggior diffusione di elettrodomestici smart basati su tecniche IoT (*Internet of Things*).
Nella seconda parte dell'analisi viene invece quantificata la copertura della domanda con fonti rinnovabili (LCF) e l'autoconsumo (SCF) ottenibile qualora venga attivata una comunità energetica a scala di condominio. In questo scenario, la potenza fotovoltaica eccedente prodotta da un singolo appartamento potrà essere scambiata con le altre unità immobiliari prima di essere eventualmente immessa in rete. Infine, lo scenario delle comunità energetiche condominiali verrà esteso alle comunità di più edifici considerando quindi diverse combinazioni di edifici con dimensioni e caratteristiche costruttive diverse. L'eterogeneità della comunità energetica garantisce una maggior differenza dei profili di domanda e quindi un potenziale aumento dello scambio e dunque dell'autoconsumo di energia rinnovabile.

Metodo di calcolo

L'analisi è stata condotta sull'insieme di edifici tipo definiti nel report RSE del febbraio 2014 e già utilizzati nello "Scenario di riqualificazione energetica degli edifici residenziali in Trentino" e nello "Scenario di penetrazione delle pompe di calore per il riscaldamento e la produzione acqua calda sanitaria". La simulazione dinamica del sistema edificio-impianto è stata effettuata tramite il software TRNSYS, il quale integra 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.
In particolare, in aggiunta ai nuovi modelli sui singoli appartamenti, lo studio si è focalizzato principalmente sugli edifici multipiano, in particolare sulle tipologie edilizie di medio (MC) e grande condominio (GC) perché, avendo diverse unità immobiliari, possono trarre maggior benefici da una comunità energetica a scala condominiale. Data la particolarità degli edifici quindi e la loro maggior diffusione in contesti cittadini, lo studio è stato condotto nel clima di riferimento di Trento.

Tabella 1 – Caratteristiche degli edifici di riferimento.

Edificio		Piani	S_{pav} (m^2)	V (m^3)	S_{fin} (m^2)
Medio Condominio	Intero Edificio	3	1217	3649	132.8
	Appartamento Medio	1	101	304	22.1
Grande Condomino	Intero Edificio	6	3136	9407	376.3
	Appartamento Medio	1	87	261	54.3

Per ogni edificio sono state considerate tre diverse classi di vetustà, rappresentative degli edifici successivi all'entrata in vigore della legge n. 373/'76 che per prima introdusse dei vincoli sull'isolamento termico degli edifici. Le classi di vetustà analizzate sono quindi la V5, edifici costruiti dal 1976 al 1990, V6 (dal 1991 al 2005) e V7 (dopo il 2005) per ciascuna delle quali corrisponde una tipologia di serramento (Tabella 2) e una stratigrafia delle pareti verticali (Tabella 3), della copertura (Tabella 4) e del solaio contro terra (Tabella 5) compatibili con i diversi livelli di isolamento minimo definiti dalle leggi in vigore.

Tabella 2 – Tipologia degli infissi.

Tipologia	U ($W/(m^2K)$)	g_{gl} (-)
Singolo Vetro (V5)	5,70	0,81
Doppio Vetro (V6)	3,44	0,76
Doppio vetro con gas (V7)	1,12	0,61

Tabella 3 – Stratigrafia delle pareti perimetrali per ogni classe di vetustà.

s = spessore, ρ = densità, c = capacità termica, λ = conducibilità termica, R = resistenza.

Vetustà	Materiale	s (m)	ρ (kg/m^3)	c (J/(kgK))	λ (W/(m K))	R (m^2K/W)
V5	Mattoni forati	0,08	800	1000	0,36	0,22
	Intercapedine d'aria	-	-	-	-	0,18
	Mattoni forati	0,25	800	1000	0,36	0,70
V6	Fibra di vetro	0,03	30	670	0,04	0,63
	Mattoni semipieni	0,30	1000	1000	0,37	0,81
V7	Fibra di vetro	0,02	30	670	0,04	0,50
	Mattoni semipieni	0,30	1000	1000	0,37	0,81
	Lana di roccia	0,11	60	1030	0,04	3,14

Tabella 4 – Stratigrafia della copertura per ogni classe di vetustà.

s = spessore, ρ = densità, c = capacità termica, λ = conducibilità termica, R = resistenza.

Vetustà	Materiale	s (m)	ρ (kg/m^3)	c (J/(kgK))	λ (W/(m K))	R (m^2K/W)
V5	Soletta laterocemento	0,24	1800	1000	0,65	0,37
	EPS	0,02	35	1000	0,05	0,44
V6	Soletta in laterocemento	0,24	1800	1000	0,65	0,37
	Pannello isolante	0,04	35	1000	0,05	0,89
V7	Soletta in laterocemento	0,24	1800	1000	0,65	0,37
	EPS	0,04	35	1000	0,05	0,89
	Lana di roccia	0,06	60	1030	0,04	1,71

Tabella 5 – Stratigrafia del solaio contro terra per ogni classe di vetustà.

s = spessore, ρ = densità, c = capacità termica, λ = conducibilità termica, R = resistenza.

Vetustà	Materiale	s (m)	ρ (kg/m^3)	c (J/(kgK))	λ (W/(m K))	R (m^{2}K/W)
V5	CLS alleggerito	0,10	1200	1000	0,33	0,30
	Ghiaione	0,40	1700	1000	1,20	0,42
V6	XPS	0,02	50	800	0,03	0,45
	CLS alleggerito	0,10	1200	1000	0,33	0,30
	Ghiaione	0,40	1700	1000	1,20	0,42
V7	XPS	0,07	50	800	0,03	0,30
	CLS alleggerito	0,40	1700	1000	1,20	0,42
	Ghiaione	0,40	1700	1000	1,20	0,42

Nelle simulazioni è stata modellata inoltre la risposta dinamica dell'impianto e, di conseguenza, la variabilità nel tempo dell'energia elettrica richiesta per il suo funzionamento. È stato considerato un unico sistema di generazione, per il funzionamento combinato di riscaldamento ambiente e produzione di acqua calda sanitaria, composto da una pompa di calore aria-acqua controllata da un inverter. La pompa di calore è collegata a due accumuli termici, dotati di resistenza elettrica di backup, a loro volta connessi rispettivamente all'impianto di riscaldamento e all'impianto di distribuzione dell'acqua calda sanitaria (ACS). I terminali d'emissione sono modellati come radiatori nelle classi di vetustà V5 e V6 o come pannelli radiante nella V7 (Figura 8).
Nei due edifici sono stati inoltre modellati gli impianti fotovoltaici considerando una superficie installata pari alla superficie totale della copertura. Questo porta ad una potenza nominale di 75 kW nel medio condominio e 95 kW nel grande condominio, equamente ripartita fra le unità immobiliari nel caso di impianti autonomi.

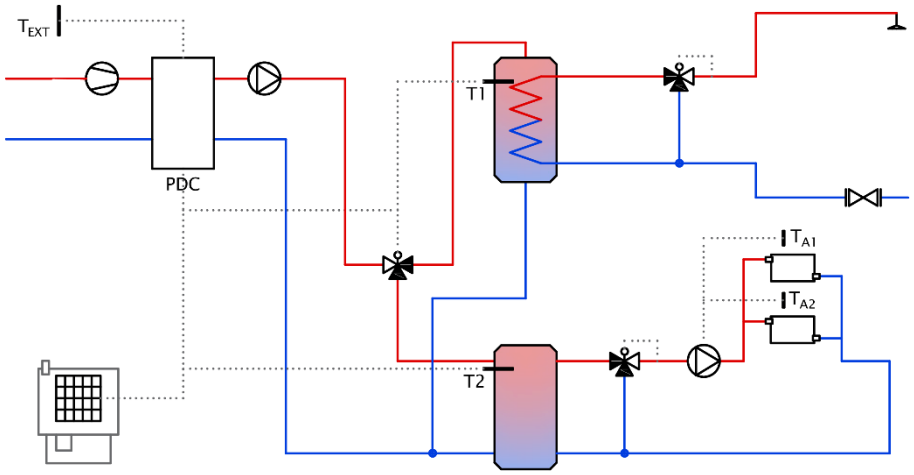

Figura 8 – Schema semplificato dell'impianto autonomo.

In aggiunta alla domanda di energia elettrica per il funzionamento della pompa di calore, delle resistenze elettriche di backup e delle pompe di circolazione, sono stati considerati nel calcolo anche i profili di domanda per le apparecchiature elettriche e l'illuminazione artificiale. Questi carichi sono modellati attraverso un profilo medio ricavato dallo studio di Tjaden et al. Su alcuni edifici tedeschi. Il profilo tiene conto della variabilità all'interno della giornata della domanda (Figura 9) secondo le abitudini degli occupanti ed è stato scalato in modo da essere rappresentativo del tipico consumo annuale delle famiglie italiane. Inoltre, il profilo utilizzato impiegato nella

simulazione tiene conto della variabilità stagionale sia per quanto riguarda l'orario in cui si presentano i picchi di consumo sia per l'energia giornaliera complessivamente consumata.

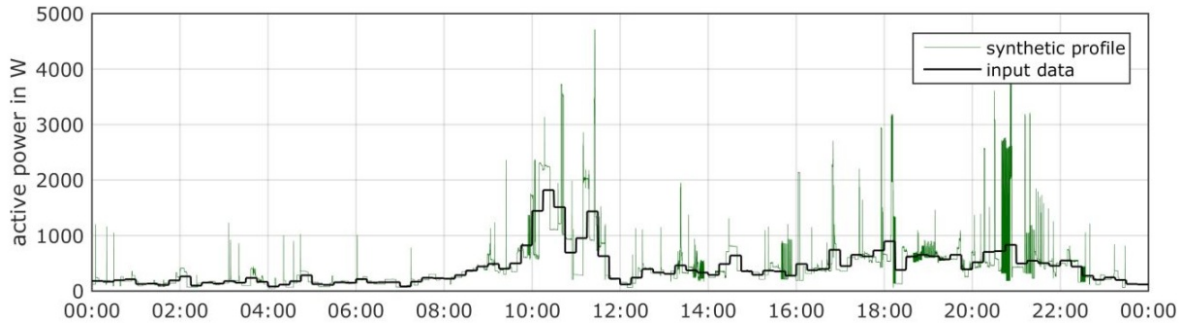

Figura 9- *Andamento qualitativo del profilo standard di consumo delle apparecchiature elettriche. (fonte*: Tjaden et al.)

In aggiunta al profilo standard appena descritto, la simulazione è stata condotta anche con un profilo di consumo degli elettrodomestici ottimizzato al fine di modellare i comportamenti virtuosi degli occupanti che, attraverso l'utilizzo di elettrodomestici smart, spostano la loro accensione in modo da concentrare il consumo nelle ore in cui vi è una maggior disponibilità di energia proveniente dall'impianto fotovoltaico. Per questo motivo, partendo dal profilo di consumo standard è stato definito il profilo ottimizzato assicurando che il consumo totale giornaliero fosse lo stesso, ma concentrando i tipici picchi di consumo serali e mattutini, durante la fascia oraria 10 -15 (Figura 10).

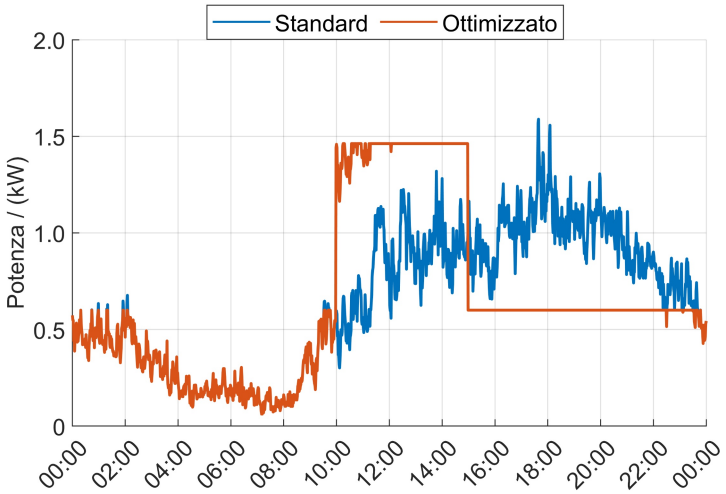

Figura 10- *Andamento dei consumi degli apparecchi elettrici in un giorno tipico (in blu) e profilo ottimizzato sulla base della disponibilità fotovoltaica (rosso)*

I sistemi edificio-impianto appena descritti sono stati inizialmente simulati al fine di rappresentare una condizione rappresentativa di uno scenario attuale. Per questo motivo, ogni appartamento è dotato di un impianto autonomo per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, così come di un impianto fotovoltaico dedicato. Sulla base di questo, è stato valutato il potenziale di autoconsumo e di copertura del fabbisogno con fonti energetiche rinnovabili medio dell'insieme di appartamenti. In particolare, queste due grandezze sono state quantificate attraverso gli indici "*supply cover factor*" (SCF) e "*load cover factor*" (LCF) annuali. Il primo è definito come il rapporto fra l'energia fotovoltaica auto-consumata e la produzione di energia in loco. Il secondo fattore rappresenta la frazione del fabbisogno totale coperto dall'autoconsumo, ossia è il rapporto fra l'energia auto-consumata e il fabbisogno elettrico totale.

Partendo da questo scenario, sono state poi definite le comunità energetiche in accordo al contesto legislativo nazionale. Quest'ultimo infatti prevede che associazioni di utenti possano dotarsi di un impianto condiviso, con una potenza complessiva inferiore a 200 kW, e condividere l'energia

prodotta o per il consumo immediato oppure per stoccarla in sistemi di accumulo. L’impianto deve essere connesso alla rete elettrica a bassa tensione, attraverso la stessa cabina di trasformazione da cui la comunità energetica preleva anche l’energia di rete.

La prima comunità energetica analizzata è stata definita a livello condominiale. In questo caso si ipotizza che tutti gli appartamenti di un singolo condominio facciano parte della stessa comunità energetica e, pertanto, scambino l’energia elettrica prodotta dai singoli impianti fotovoltaici. Successivamente sono state considerate due diverse comunità energetiche a scala di distretto, mettendo assieme quindi le unità immobiliari di due o più condomini limitrofi. In questa analisi sono stati combinati edifici (MC) e (GC) con diverse caratteristiche costruttive e diverse classi di vetustà in modo da ottenere comunità energetiche con taglie di potenza fotovoltaica da 170kW o 200 kW.

Scenari in assenza di comunità energetica

Per valutare le potenzialità delle comunità energetiche sono stati inizialmente valutati gli indici load cover factor e supply cover factor nel caso di impianti autonomi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria. Ogni appartamento è quindi dotato del suo impianto fotovoltaico ed è connesso autonomamente alla rete elettrica attraverso un contatore di scambio bidirezionale. In figura 9 le barre evidenziano gli indici prestazionali medi per gli appartamenti di medi condomini (MC) e dei grandi condomini (GC) nel caso di profilo standard di consumo degli elettrodomestici. Analizzando l'indice LCF, che rappresenta la quota del fabbisogno elettrico annuale coperto dall'energia fotovoltaica auto-consumata, si notano percentuali comprese fra il 17% e il 31% in funzione dell'edificio considerato e soprattutto della classe di vetustà. Ovviamente edifici più recenti in classe V7 hanno consumi di riscaldamento minore grazie al maggior isolamento dell'involucro oltre ad avere sistemi di emissione a bassa temperatura che aumentano le prestazioni della pompa di calore. L'indice SCF, il quale indica la percentuale di energia fotovoltaica auto-consumata rispetto all'energia annuale prodotta dall'impianto fotovoltaico stesso, mostra un andamento opposto. Infatti, minore è il consumo energetico dell'edificio, maggiore sarà lo sfasamento fra il consumo (durante le ore serali e notturne) e la produzione.

Sull'asse secondario sono invece rappresentate le curve rosse che indicano rispettivamente l'incremento degli indici LCF e SCF ottenibili se nel 50% (linea continua) o nel 100% (linea tratteggiata) degli appartamenti venga adottato un profilo ottimizzato di funzionamento dei grandi elettrodomestici. I risultati mostrano degli incrementi maggiori dell'indice LCF negli edifici V7 poiché in questo caso l'incidenza dei carichi delle apparecchiature elettriche sul consumo totale è maggiore. Quello che si nota è come un comportamento virtuoso di tutti gli occupanti possa portare mediamente un aumento della quota di copertura rinnovabile compresa fra il 3% e il 7% con conseguente riduzione dell'energia elettrica prelevata dalla rete. Allo stesso tempo l'autoconsumo viene aumentato dal 2% al 4% se questi comportamenti avvengono nel 50% degli appartamenti o del 4%-6% se avviene nella totalità delle unità immobiliari.

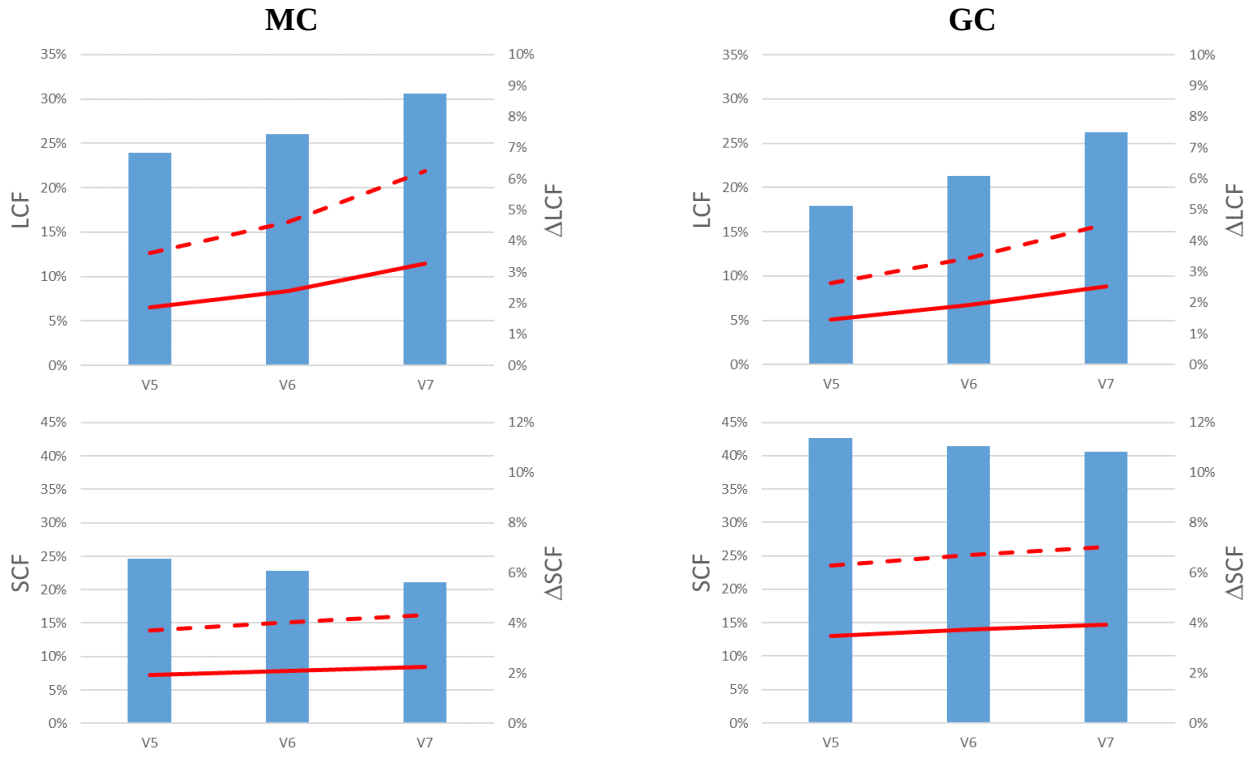

Figura 9- *Andamento degli indici LCF e SCF per l'insieme di appartamenti autonomi nel caso di profili standard di consumo (asse primario) e incrementi degli indici (asse secondario) nel caso di profilo di consumo degli elettrodomestici ottimizzato nel 50% (continua) e nel 100% (tratteggiata) degli appartamenti.*

Comunità energetiche a scala condominiale

In figura 10 sono riportati i tre diversi scenari condotti sulle comunità energetiche a scala di edificio, dove le diverse unità immobiliari mettono in comune le diverse quote di impianto fotovoltaico installato in copertura e scambiano l'energia prodotta fra di loro. Le barre indicano ancora i valori di LCF e SCF del caso base, inteso come il valore che mediamente si ottiene nei singoli appartamenti con profilo di consumo standard, impianto di riscaldamento autonomo e impianto fotovoltaico dedicato. I risultati permettono di quantificare l'effetto della comunità energetica come incremento di LCF e di SCF rappresentati con la curva rossa tratto-punto. Ad esempio, solamente con la condivisione dell'energia prodotta vi è un aumento della quota di copertura con fonte rinnovabile auto-consumata del 3% nei medi condomini e variabile fra 1% e 4% nei grandi condomini. In particolare, la quota minima viene raggiunta nei GC, a causa del minor rapporto fra potenza fotovoltaica installata e superficie climatizzata, e per la classe di vetustà V7. Allo stesso modo lo scambio dell'energia fotovoltaica prodotta permette di aumentare di quota variabile fra il 2% e il 5% l'indice SCF, con una conseguente riduzione dell'energia elettrica immessa in rete.

In figura 10 sono inoltre riportati i miglioramenti ottenibili se, oltre alla condivisione dell'energia rinnovabile prodotta all'interno della comunità energetica, ci siano anche i comportamenti virtuosi con lo spostamento dei carichi elettrici degli elettrodomestici smart durante le ore di maggior produzione fotovoltaica. In questo caso, ad esempio, si nota come ci siano incrementi medi del 5% del LCF nel caso di profili ottimizzati nel 50% degli appartamenti o del 6.5% se gli elettrodomestici smart sono utilizzati nella totalità degli appartamenti. Parallelamente si riscontrano miglioramenti anche dell'indice SCF con incrementi che possono arrivare fino al 10%, nel caso di profili ottimali nella totalità degli appartamenti, e livelli di autoconsumo massimi del 53% nel caso dell'edificio GC con classe di vetustà V5. Va sottolineato come gli incrementi ottenuti rappresentino dei valori conservativi dato che il vantaggio potenziale delle comunità è tanto maggiore quanto più diversi sono i profili di domanda degli edifici. Nelle analisi condotte infatti è stato considerato un profilo medio di funzionamento degli elettrodomestici, così come un profilo medio di consumo di acqua calda sanitaria.

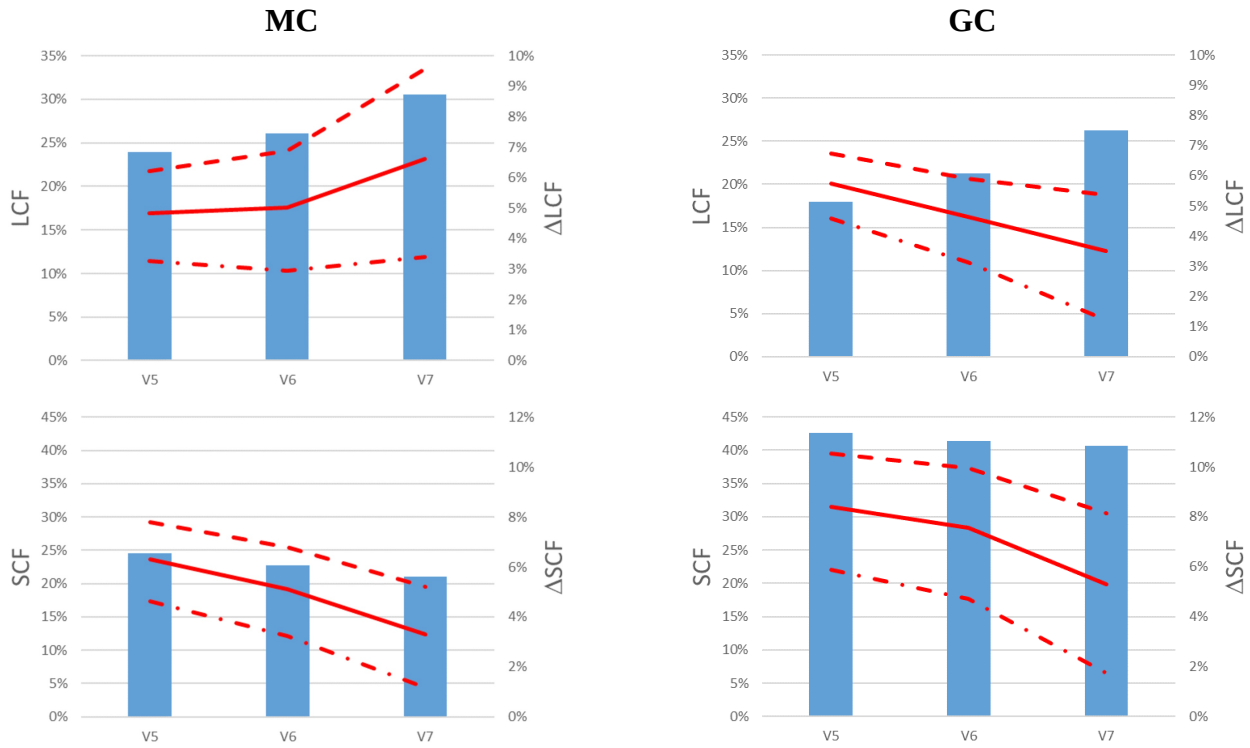

Figura 10- *Andamento degli indici LCF e SCF per l'insieme di appartamenti autonomi nel caso di profili standard di consumo (asse primario) e incrementi degli indici (asse secondario) nel caso di comunità energetica a scala di singolo condominio nel caso di profilo di consumo standard (tratto-punto), del consumo ottimizzato nel 50% (continua) e nel 100% (tratteggiata) degli appartamenti.*

Comunità energetiche a livello di distretto

Come già anticipato, i vantaggi delle comunità energetiche aumentano quanto più diversi sono i profili di domanda. Per questo motivo, dopo la comunità energetica condominiale, si analizzano ora delle comunità composte da condomini diversi. In figura 11 sono riportati i risultati ottenuti nel caso di comunità con potenza rinnovabile di picco da 170 kW. In questo caso la comunità è composta da un grande e da un medio condominio. Le barre in figura 11 riportano i valori di LCF e SCF medi degli appartamenti dei due condomini con impianti di riscaldamento autonomi e impianti fotovoltaici dedicati. In ascissa sono riportate le sigle che indicano le diverse classi di vetustà dei due condomini. Ad esempio, l'etichetta V5_V7 indica la comunità energetica composta da un medio condominio con classe di vetustà V5 e un grande condominio V7. I risultati evidenziano nuovamente come la condivisione dell'energia elettrica prodotta porti ad un miglioramento del LCF variabile fra il 3% e il 6%, con incrementi maggiori quando le caratteristiche degli edifici sono molto variabili fra di loro. Allo stesso modo la comunità energetica aumenta la quota auto-consumata di una quota variabile fra il 3% e il 6% nel caso di profilo di consumo standard.

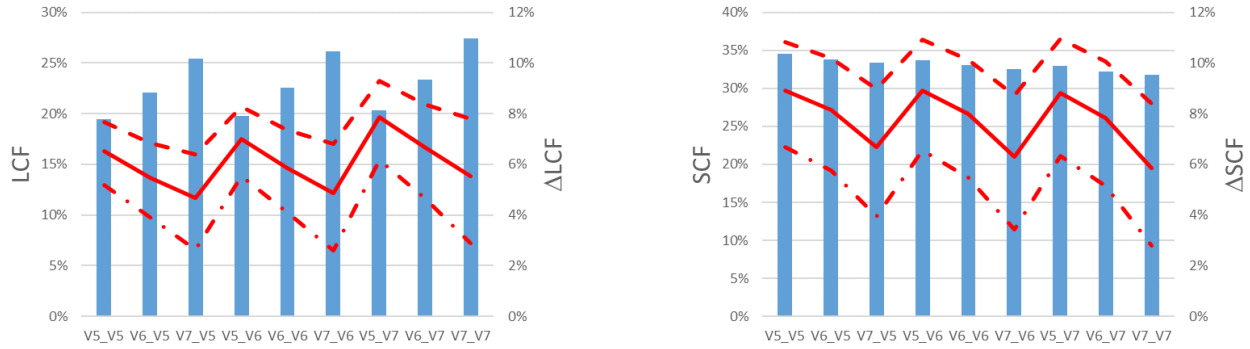

Figura 11- *Andamento degli indici LCF e SCF per l'insieme di appartamenti autonomi e per la comunità energetica da 170 kW di picco di FV installato composta da un medio e da un grande condominio. Le barre (asse primario) indicano il caso base dell'insieme di appartamenti autonomi, mentre sull'asse secondario sono riportati gli incrementi percentuali nel caso di comunità di edifici con profilo di consumo standard (tratto-punto), consumo ottimizzato nel 50% (continua) e nel 100% (tratteggiata) degli appartamenti.*

Infine, la stessa valutazione è stata condotta estendendo la dimensione della comunità energetica pur rispettando i vincoli legislativi. Le comunità vengono così costituite fra un medio e grande condominio, con l'aggiunta inoltre di due edifici mono-familiari le cui caratteristiche sono descritte nel report "Scenario di penetrazione delle pompe di calore per il riscaldamento e la produzione acqua calda sanitaria". Combinando le 3 diverse classi di vetustà per i 4 diversi edifici si ottengono 81 possibili combinazioni di comunità energetiche per ciascuna delle quali sono stati valutati gli incrementi degli indici LCF e SCF rispetto al caso base di impianti autonomi per ogni unità immobiliare.

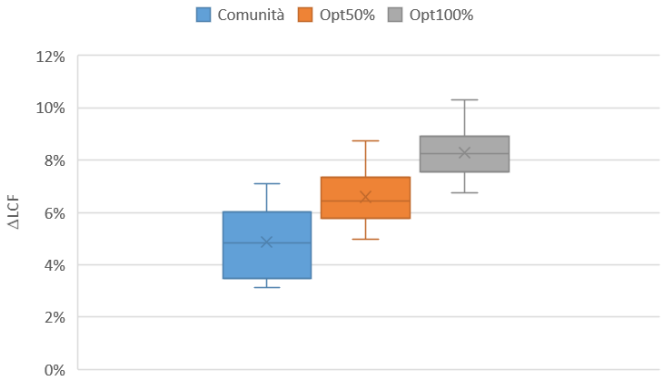

Figura 12- *Distribuzione degli incrementi dell'indice LCF rispetto al caso di appartamenti autonomi considerando una comunità energetica da 200 kW di picco.*

In figura 12 sono rappresentati i box plot degli incrementi del LCF ottenuti. Per ogni serie viene evidenziato il valore mediano, il range interquartile e i valori minimi e massimi. I risultati mostrano quindi come la comunità energetica permetta mediamente di ottenere un incremento del 5% di LCF con valori che variano fra circa il 4% e il 7%. La figura 12 mostra inoltre come l'ottimizzazione dei profili di consumo degli elettrodomestici porti ad un aumento dei benefici e, inoltre, ad una riduzione del range interquartile.

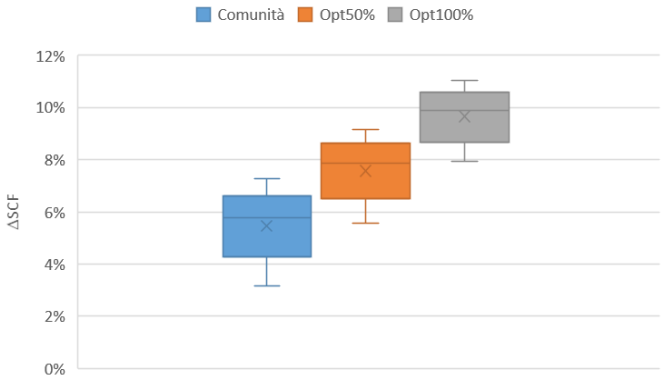

Figura 13- *Distribuzione degli incrementi dell'indice SCF rispetto al caso di appartamenti autonomi considerando una comunità energetica da 200 kW di picco.*

In figura 13 sono invece rappresentati gli incrementi di autoconsumo ottenibili dalla comunità energetica che mediamente sono dell'ordine del 6% con un valore medio complessivo di SCF pari a 36%.

Conclusioni

Dall'analisi preliminare svolta emerge chiaramente che, per una singola utenza, diventa problematico l'autoconsumo di una frazione superiore al 50% dell'energia autoprodotta da fonte fotovoltaica utilizzata per alimentare gli impianti di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria, impianti che più facilmente si prestano, mediante l'impiego di serbatoi di accumulo, a gestire lo sfasamento tra disponibilità ed utilizzo. La quota risulta inoltre sensibilmente maggiore se vengono considerati anche i consumi per gli elettrodomestici che, come dimostrato in Figura 6 sono tipicamente concentrati nelle prime ore del mattino e nel tardo pomeriggio.
L'analisi preliminare condotta ha mostrato i benefici ottenibili qualora la quota residua di energia elettrica venga scambiata con altre utenze domestiche. I risultati mostrano come l'autoconsumo possa essere aumentato mediamente del 3% se lo scambio avviene a livello condominiale o del 6% se lo scambio avviene a livello di distretto e coinvolge edifici con caratteristiche costruttive diverse. Questi benefici possono essere ulteriormente incrementati qualora vengano ottimizzati i funzionamenti dei grandi elettrodomestici.
Va infine rimarcato come in assenza di accumulo elettrico diretto (ovvero batterie) può assumere un notevole impatto la ricarica dei veicoli elettrici. Ipotizzando ad esempio un consumo giornaliero per i veicoli elettrici di 0.1714 kWh/km e un percorso medio di 40 km al giorno, si ha una riduzione della carica della batteria di 6.856 kWh al giorno per ogni veicolo. Tale energia è presumibilmente ripristinata in un tempo di carica della batteria di circa due ore.
I risultati mostrano dei potenziali vantaggi, anche nel contesto della Provincia Autonoma di Trento, dalla formazione di Comunità di Energia Rinnovabile, in particolare nel contesto degli edifici: queste, infatti, consentirebbero di condividere localmente l'energia elettrica e/o termica offrendo maggiori possibilità da un lato di adattare i carichi dovuti all'utenza alla disponibilità di energia da rinnovabili e dall'altro di realizzare sistemi di stoccaggio che sfruttino serbatoi di accumulo, la capacità termica degli edifici ed eventualmente batterie.

Bibliografia

Bee, E., Prada, A., Baggio, P., Demand-side management of air-source heat pump and photovoltaic systems for heating applications in the Italian context Environments - MDPI, 2018, 5(12), pp. 1–12, 132

Bee, E., Prada, A., Baggio, P., Psimopoulos, E, .Air-source heat pump and photovoltaic systems for residential heating and cooling: Potential of self-consumption in different European climates Building Simulation, 2019, 12(3), pp. 453–463

Pinamonti, M., Baggio, P., Energy and economic optimization of solar-assisted heat pump systems with storage technologies for heating and cooling in residential buildings Renewable Energy, 2020, 157, pp. 90–99

Pinamonti, M.,Prada, A., Baggio, P., Control strategies to increase the photovoltaic self-consumption for air-source heat pump systems Building Simulation Applications, 2020, 2020-June, pp. 259–266

Pinamonti, M., Beausoleil-Morrison, I., Prada, A., Baggio, P. -Water-to-water heat pump integration in a solar seasonal storage system for space heating and domestic hot water production of a single-family house in a cold climate Solar Energy, 2021, 213, pp. 300–311

Tjaden T., Bergner J., Weniger J., Quaschning V. - Representative electrical load profiles of residential buildings in Germany with a temporal resolution of one second - Dataset, HTW Berlin – University of AppliedSciences