

La Gestione delle CER: Strategie di coinvolgimento, abitudini di consumo e benefici di rete

Prof. Simone Paoletti

**Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e Scienze Matematiche
Università di Siena**

16/07/2026



**UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240**



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA

isi innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Le Comunità energetiche rinnovabili (CER)



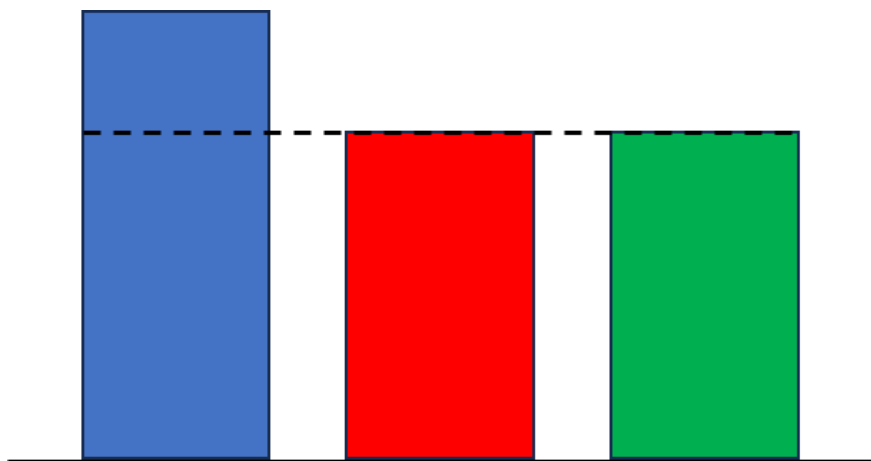
- Insiemi di utilizzatori della rete elettrica (cittadini, piccole e medie imprese, enti territoriali, amministrazioni comunali, cooperative, enti di ricerca, enti religiosi, enti del terzo settore e di protezione ambientale, ecc.) che si associano allo scopo di **condividere** l'energia elettrica rinnovabile prodotta da impianti nella disponibilità di uno o più soggetti membri della comunità
- La condivisione avviene tra i diversi soggetti produttori e consumatori, localizzati all'interno di un medesimo perimetro geografico, **attraverso la rete nazionale di distribuzione di energia elettrica**, che rende possibile la condivisione virtuale di tale energia
- La condivisione si misura con l'**autoconsumo diffuso**



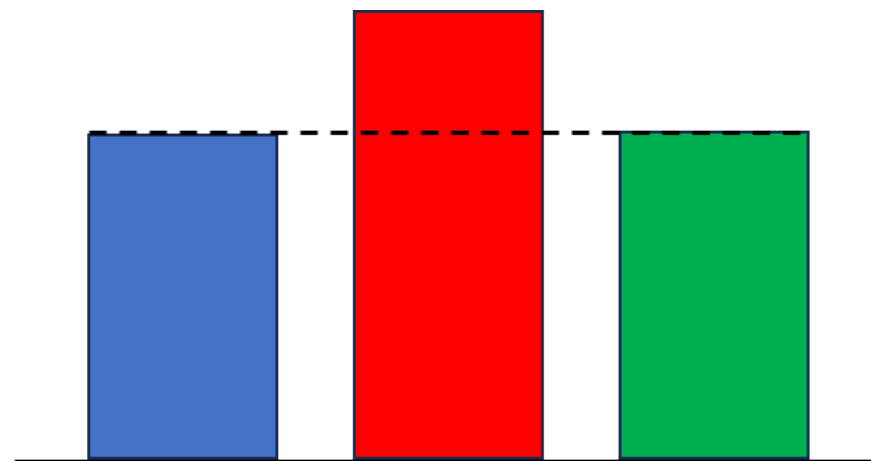
L'autoconsumo diffuso



“Il **minimo**, su base oraria, tra l'**energia elettrica immessa** in rete dagli impianti di produzione e l'**energia elettrica prelevata** dai consumatori che afferiscono alla CER”



Immissa > Prelevata



Immissa < Prelevata

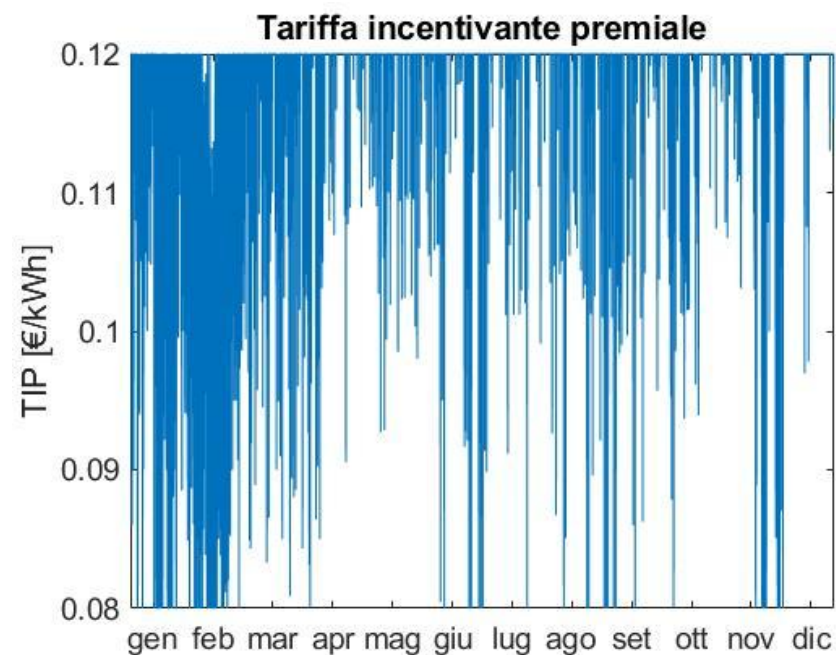
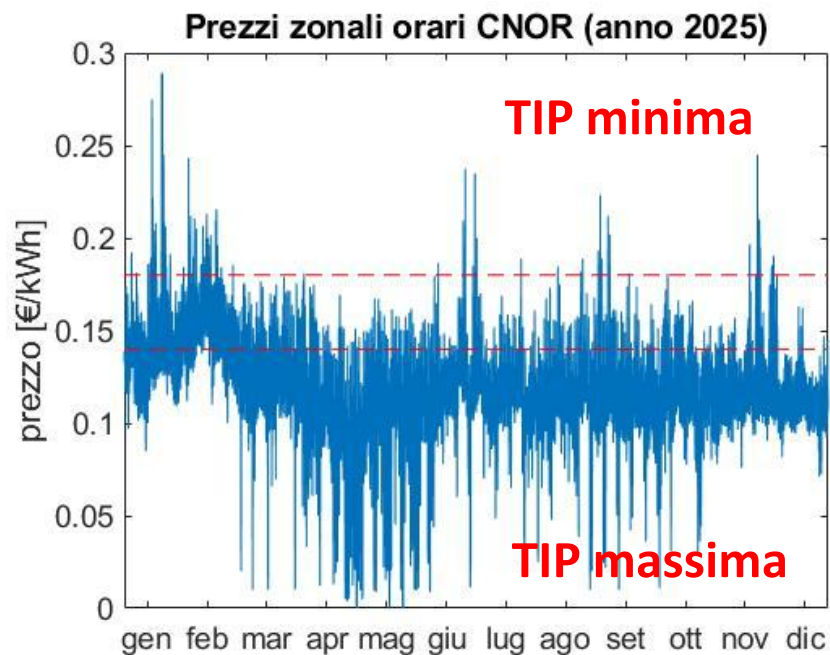
Incentivo per l'autoconsumo diffuso

- All'autoconsumo diffuso si applica la Tariffa Incentivante Premiale (TIP)

Potenza impianto [kW]	Formula della TIP [€/kWh]
$P \leq 200$	$\min(0.12, 0.08 + \max(0, 0.18 - P_z))$
$200 < P \leq 600$	$\min(0.11, 0.07 + \max(0, 0.18 - P_z))$
$600 < P \leq 1000$	$\min(0.10, 0.06 + \max(0, 0.18 - P_z))$

- P: potenza in kW dell'impianto di produzione al quale viene imputata la frazione di autoconsumo diffuso secondo un ordine di merito stabilito da regole del GSE
- Pz: prezzo zonale orario

Esempio: TIP per un impianto con $P \leq 200$ kW

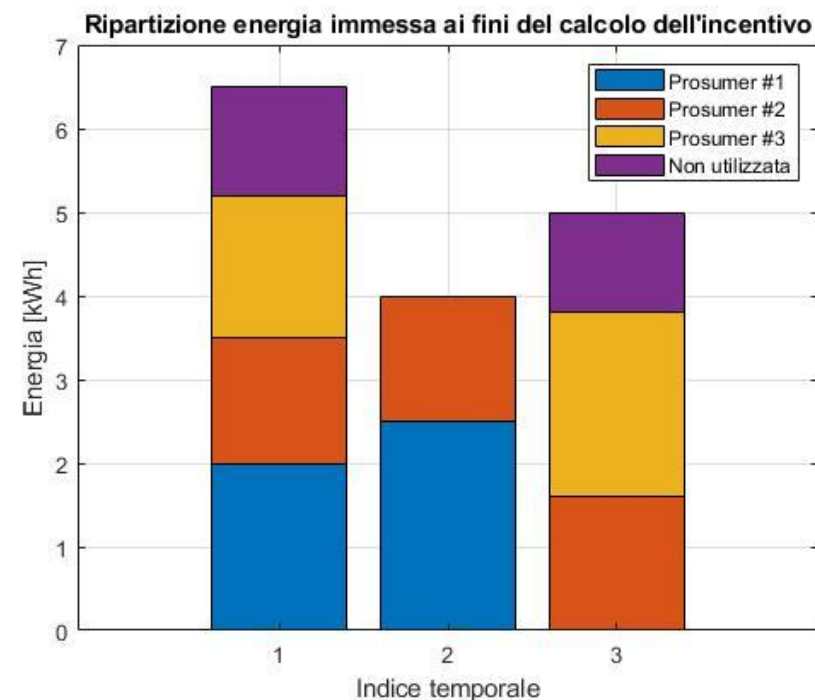


Esempio: Calcolo dell'incentivo

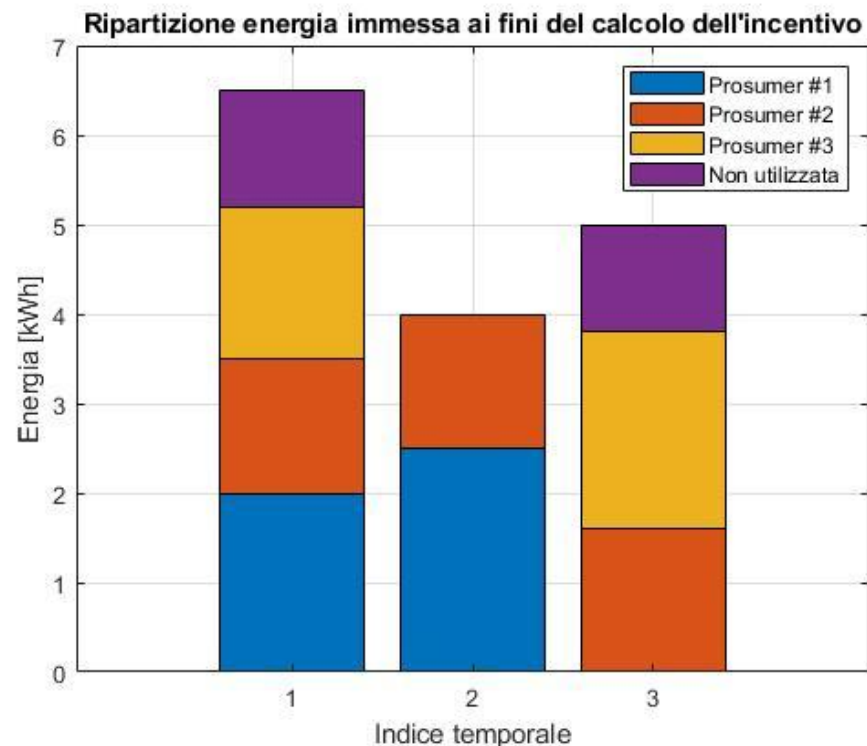


- CER con quattro membri: i primi sono tre prosumer indicizzati in base alla loro priorità, il quarto è un consumatore

Membro		t=1	t=2	t=3
#1	Imm	2.0	2.5	0.0
	Prel	0.0	0.0	1.2
#2	Imm	1.5	1.5	1.6
	Prel	0.0	0.0	0.0
#3	Imm	3.0	0.0	3.4
	Prel	0.0	2.8	0.0
#4	Prel	5.2	1.8	2.6
Autoconsumo		5.2	4.0	3.8



Esempio: Calcolo dell'incentivo



- Indichiamo con $TIP_{u,t}$ la TIP per l'impianto u al tempo t e con INC_t l'incentivo riconosciuto alla CER al tempo t

$$INC_1 = 2.0 TIP_{1,1} + 1.5 TIP_{2,1} + 1.7 TIP_{3,1}$$

$$INC_2 = 2.5 TIP_{1,2} + 1.5 TIP_{2,2}$$

$$INC_3 = 1.6 TIP_{2,3} + 2.2 TIP_{3,3}$$

Gestione di una CER

- **Obiettivo:** Massimizzare il beneficio economico per la CER derivante dall'incentivo sull'autoconsumo diffuso
- **Come si realizza?** Sincronizzando produzione e consumo di energia
 - Spostando i consumi quando c'è produzione
 - Immagazzinando energia in eccesso per rilasciarla quando c'è richiesta
- **Modalità**
 - Non coordinata
 - Coordinata



Gestione non coordinata



- **Non c'è condivisione di informazione tra i membri**
- Sostanzialmente basata sull'impegno di ciascuno a **modificare/adattare le proprie abitudini di consumo** sulla base di opportune indicazioni, regole e informazioni disponibili localmente, per esempio:
 - «Consumare preferibilmente durante le ore diurne in presenza di generazione FV»
- Richiede dedizione e una **forte motivazione** da parte di ciascuno
- Ha poco senso aderire a una CER e continuare a comportarsi secondo le proprie abitudini
- La mancanza di coordinamento determina comunque che l'autoconsumo diffuso risultante rimane comunque «incidentale»



Gestione coordinata

- **Basata sulla condivisione (parziale o totale) di informazione tra i membri**
- Richiede un'infrastruttura tecnologica (hardware e software) per:
 - Raccolta dei dati
 - Elaborazione delle informazioni
 - Visualizzazione delle informazioni (dashboard, app, ecc.)
 - Eventuale implementazione (diretta o indiretta) di politiche di controllo
- Il coordinamento può sfruttare:
 - Flessibilità dei consumi (carichi modulabili e/o programmabili, ecc.)
 - Disponibilità di sistemi di accumulo

Gestione coordinata



- Lato **utenti** questo richiede:
 - Impegno a eseguire ciò che viene suggerito di fare
 - Disponibilità a delegare la programmazione dei propri consumi
- Possibilità di esprimere preferenze, per esempio:
 - Intervalli temporali in cui certe attività devono essere completate
 - Temperatura desiderata in un ambiente
- «**Delegare**» può essere una **barriera** per alcuni oppure una **forte motivazione** per altri (spesso determinata dalla possibilità di utilizzare strumenti tecnologici avanzati)

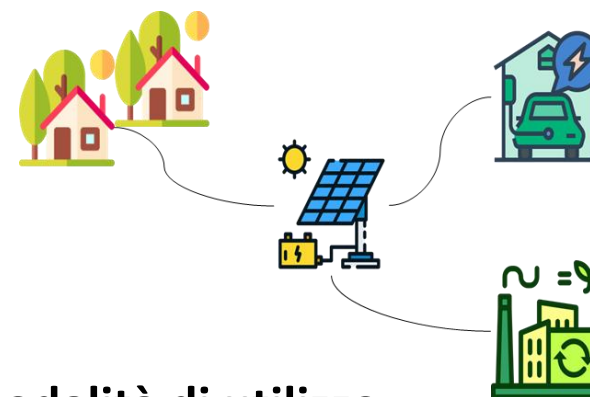


Modelli di simulazione/ottimizzazione per le CER



- **Caratteristiche**

- Utilizzo di profili temporali di consumo e generazione
 - Profili reali
 - Generazione stocastica di profili
- Gestione dei sistemi di accumulo
- Gestione della flessibilità degli utenti



- **Modalità di utilizzo**

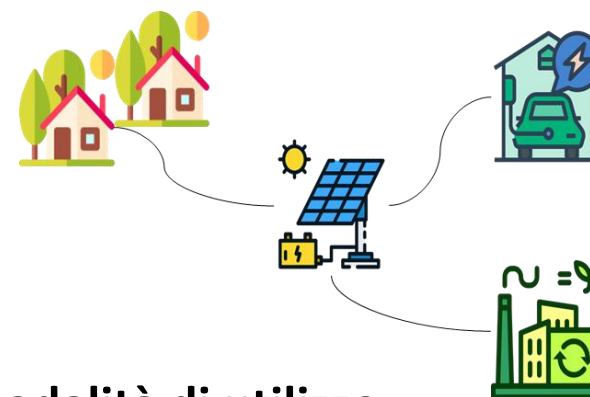
- Progettazione e dimensionamento
- Gestione operativa
- Validazione a posteriori (analisi As-Is e What-If)

Modelli di simulazione/ottimizzazione per le CER



- **Caratteristiche**

- Utilizzo di profili temporali di consumo e generazione
 - Profili reali
 - Generazione stocastica di profili
- Gestione dei sistemi di accumulo
- Gestione della flessibilità degli utenti



- **Modalità di utilizzo**

- Progettazione e dimensionamento
- Gestione operativa
- Validazione a posteriori (analisi As-Is e What-If)

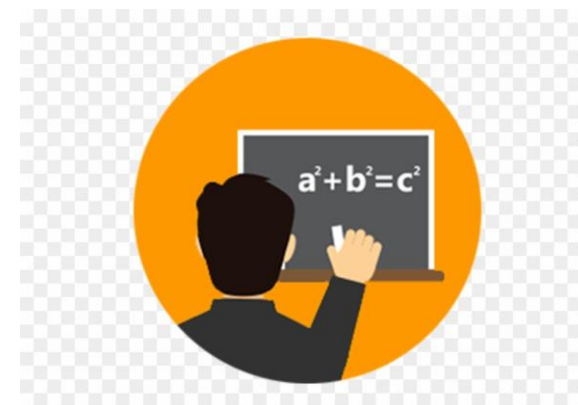
Modelli di simulazione/ottimizzazione per le CER



- Modelli basati sulla formulazione di **problemi di ottimizzazione**

$$\max \sum_u \text{Profitto}_u + \text{Incentivo}$$

- Il profitto dell'utente u è definito come $\text{Profitto}_u = \text{Ricavi}_u - \text{Costi}_u$
- Ricavi_u : ricavi dell'utente u (vendita dell'energia, servizi di flessibilità, ecc.)
- Costi_u : costi dell'utente u (acquisto dell'energia, costi operativi, ecc.)



Analisi As-Is e What-If: Casi di studio reali



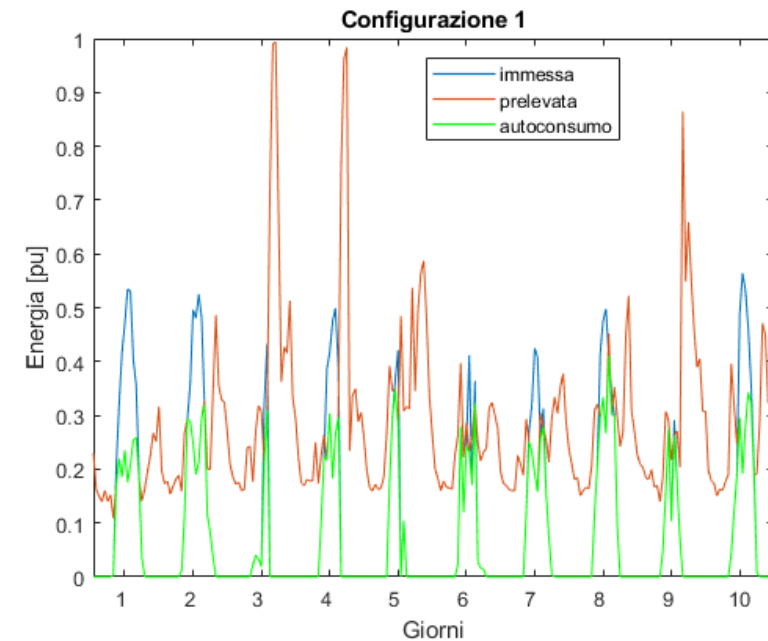
- Due configurazioni della CER [Sienaenergie](#)
 - Configurazione 1
 - 13 associati: 1 prosumer (PMI) con impianto PV, 12 consumatori puri
 - Gestione non coordinata
 - Configurazione 2
 - 10 associati: 1 prosumer (PMI) con impianto PV, 9 consumatori puri
 - Gestione non coordinata
- Disponibilità di dati
 - Dati ufficiali GSE per il secondo semestre 2024



Caso di studio: Configurazione 1



- Analisi As-Is
 - Consumi 9-17: 46.80%
 - Generazione 9-17: 97.71%
 - Autoconsumo diffuso: 77.08%
- Analisi What-If
 - Simulare diverse distribuzioni dei consumi a parità di domanda giornaliera per ciascun utente
 - Le distribuzioni dei consumi sono ottimizzate mediante il modello di ottimizzazione
 - Focus sui benefici per la PMI



Caso di studio: Configurazione 1



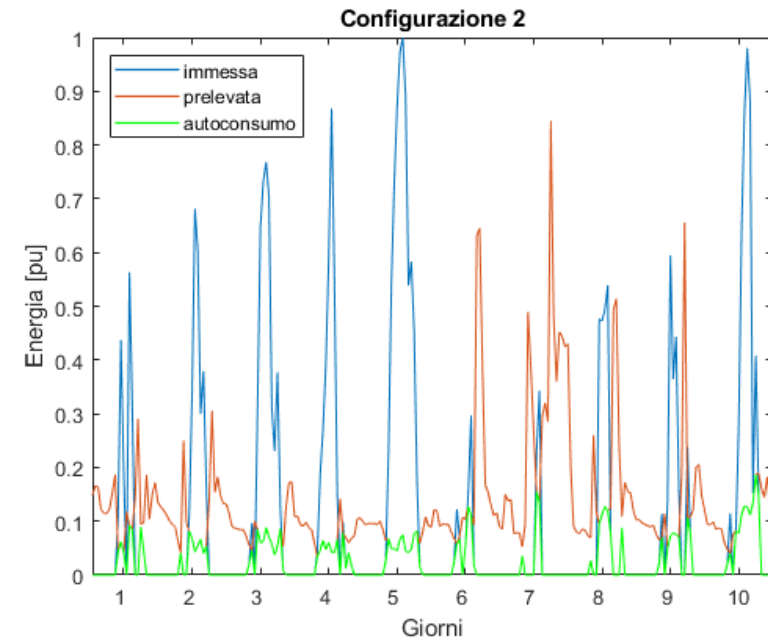
	As-Is	What-If (Distribuzione ottimizzata dei consumi)		
Consumi 9-17	46.80%	46.80%	60%	80%
Generazione 9-17	97.71%	97.71%	97.71%	97.71%
Autoconsumo diffuso	77.08%	96.66%	99.30%	99.98%
Energia immessa	--	-17.20%	-20.49%	-25.00%
Incentivo	--	+4.57%	+3.16%	-2.00%
Perdite prosumer (senza incentivo)	--	-25.49%	-25.83%	-25.95%
Perdite prosumer (con incentivo)	-20.43%	-46.85%	-46.91%	-45.97%



Caso di studio: Configurazione 2



- Analisi As-Is
 - Consumi 9-17: 48.43%
 - Generazione 9-17: 94.33%
 - Autoconsumo diffuso: 19.54%
- Analisi What-If
 - Simulare diverse distribuzioni dei consumi a parità di domanda giornaliera per ciascun utente
 - Le distribuzioni dei consumi sono ottimizzate mediante il modello di ottimizzazione
 - Focus sui benefici per la PMI



Caso di studio: Configurazione 2



	As-Is	What-If (Distribuzione ottimizzata dei consumi)		
Consumi 9-17	48.43%	48.43%	60%	80%
Generazione 9-17	94.33%	94.33%	94.33%	94.33%
Autoconsumo diffuso	19.54%	32.67%	38.13%	46.87%
Energia immessa	--	-12.51%	-14.50%	-16.52%
Incentivo	--	+47.25%	+67.98%	+101.64%
Perdite prosumer (senza incentivo)	--	-29.00%	-29.00%	-27.62%
Perdite prosumer (con incentivo)	-7.5%	-40.05%	-41.61%	-42.76%



Commenti



- I risultati dei casi di studio sono stati mostrati nelle Assemblee di partecipazione delle due configurazioni al fine di aumentare il **coinvolgimento** e la **motivazione** degli associati
- **Ma basta l'aspetto economico per motivare la partecipazione a una CER?**
- Per utenti domestici il ritorno tipico dalla ripartizione degli incentivi si aggira intorno a qualche decina di euro all'anno
- Le complicazioni burocratiche, amministrative, ecc. riducono ulteriormente l'interesse
- Questo probabilmente spiega l'impatto ancora ridotto in termini di partecipazione: le CER vengono create, ma i partecipanti sono pochi



Commenti



- L'aspetto economico può diventare rilevante per le CER quando queste cominceranno ad offrire altri tipi di servizi possibilmente più remunerativi (vendita/acquisto dell'energia, ricarica di veicoli elettrici, servizi di flessibilità alla rete, ecc.)
- Tuttavia, occorrono probabilmente ulteriori argomenti per motivare la partecipazione alle CER
- Differenziare l'approccio per tipologie di utenti, facendo leva sulla sensibilità rispetto a diversi aspetti:
 - Sociali
 - Ambientali
 - Tecnologici, ecc.

A. Sridhat *et al.*, [Residential consumer preferences to demand response: Analysis of different motivators to enroll in direct load control demand response](#). *Energy Policy*, vol. 173, 2023



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1779 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA

isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Commenti

- Sicuramente va sviluppata la consapevolezza che «*dobbiamo diventare tutti parte della soluzione del problema*»
- Le CER basate sull'autoconsumo rappresentano infatti solo una delle possibili modalità di coinvolgimento degli utenti all'interno di questo contesto di consapevolezza diffusa
- **Ma qual è il problema?**



Semplici azioni quotidiane...



...Ma come arriva
l'elettricità nelle nostre
case?



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1770 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA



isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Black-out in Italia 28.09.2003



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1770 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA



innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Black-out nella Penisola Iberica 28.04.2025



Il blackout in Spagna, Portogallo e Francia è stato così vasto e rapido perché ogni rete elettrica è estremamente delicata: in caso di squilibri si può generare una cascata di disconnessioni che può lasciare un intero Paese senza elettricità nel giro di pochi minuti, come è successo nella Penisola Iberica.



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1770 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA



isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Commenti



- Quando accadono, questi eventi ci ricordano:
 - Quanto siamo dipendenti dall'energia elettrica
 - Il sistema elettrico è un sistema fisico che può anche non funzionare...
- Con l'aumentare della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili non programmabili, saremo sempre più chiamati a contribuire al buon funzionamento del sistema (quindi a essere «*parte della soluzione del problema*»)

Questa dovrebbe (opinione personale) diventare la motivazione base per partecipare a iniziative come le CER o, più in generale, di *demand response*



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1779 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



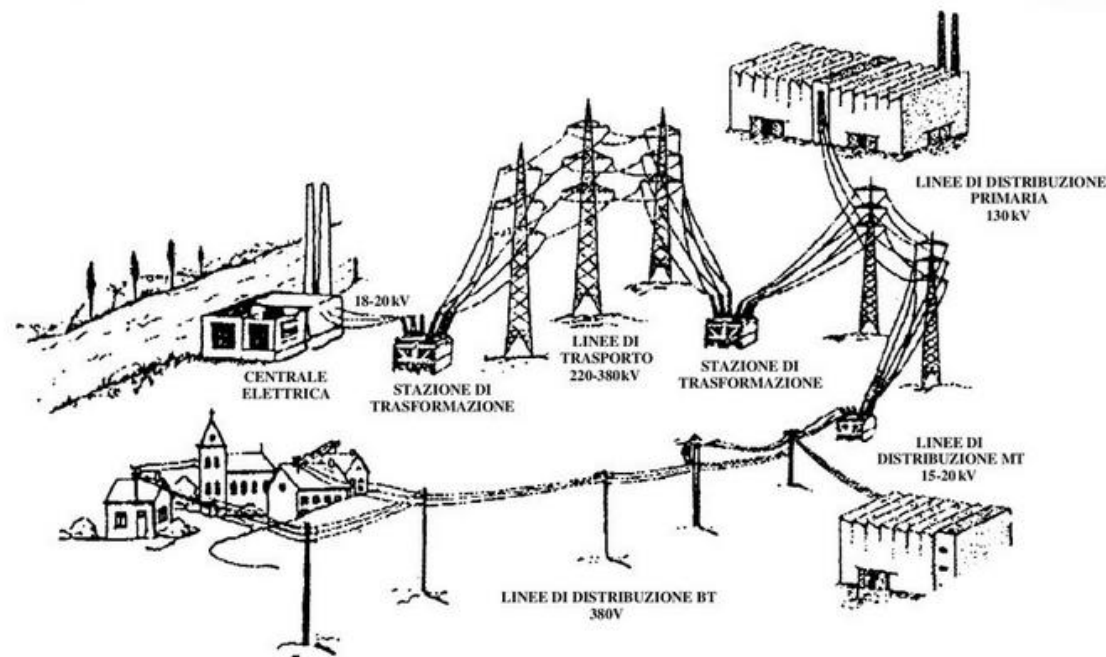
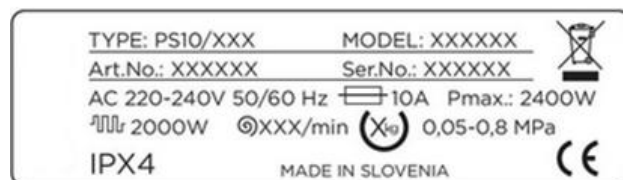
UNIONCAMERE
TOSCANA



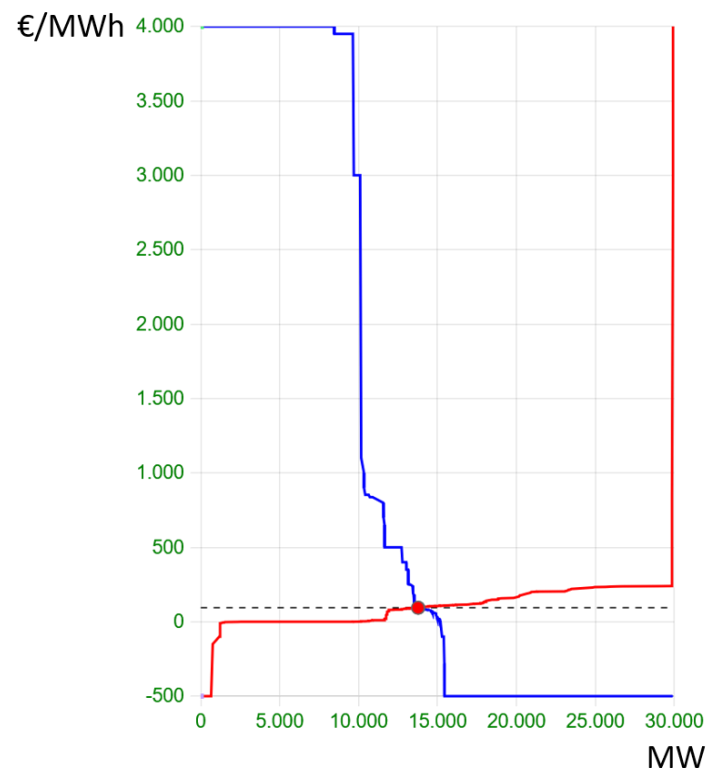
isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Il sistema elettrico

- Sistema interconnesso complesso
- **Equilibrio tra immissione e prelievo**
- Frequenza stabile
- Livelli di tensione garantiti



Bilanciamento e Mercato elettrico



- Il bilanciamento tra immissioni e prelievi è alla base del funzionamento del Mercato elettrico

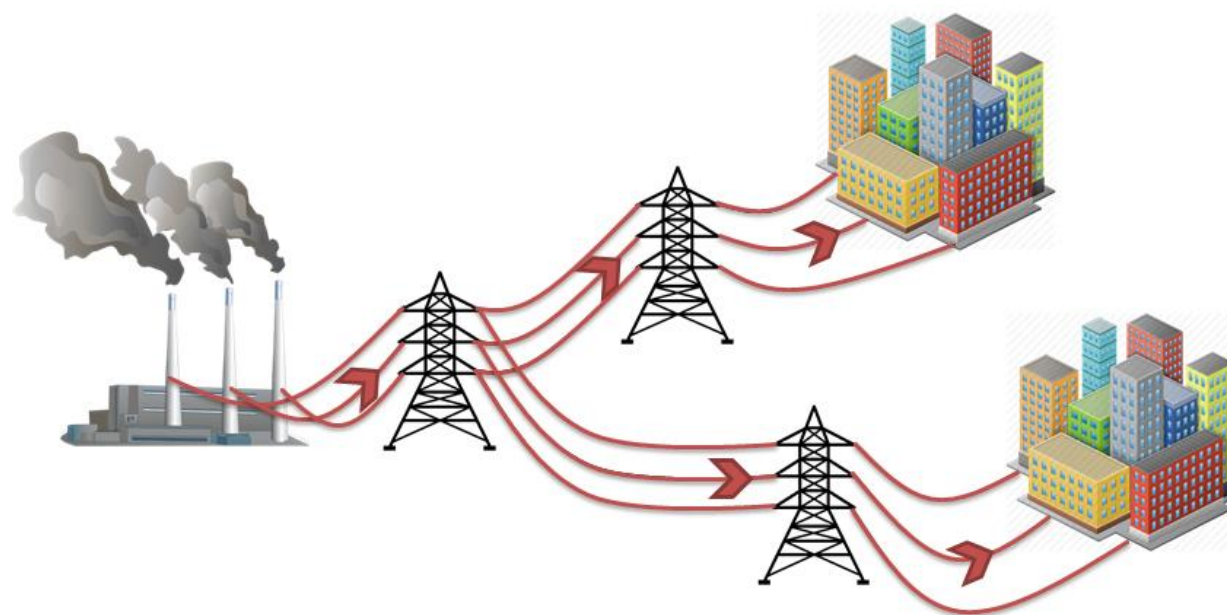
Curve di **domanda-offerta**

- Zona Nord
- Giorno 28/07/2025
- Ora 1

Fonte: <https://www.mercatoelettrico.org/>

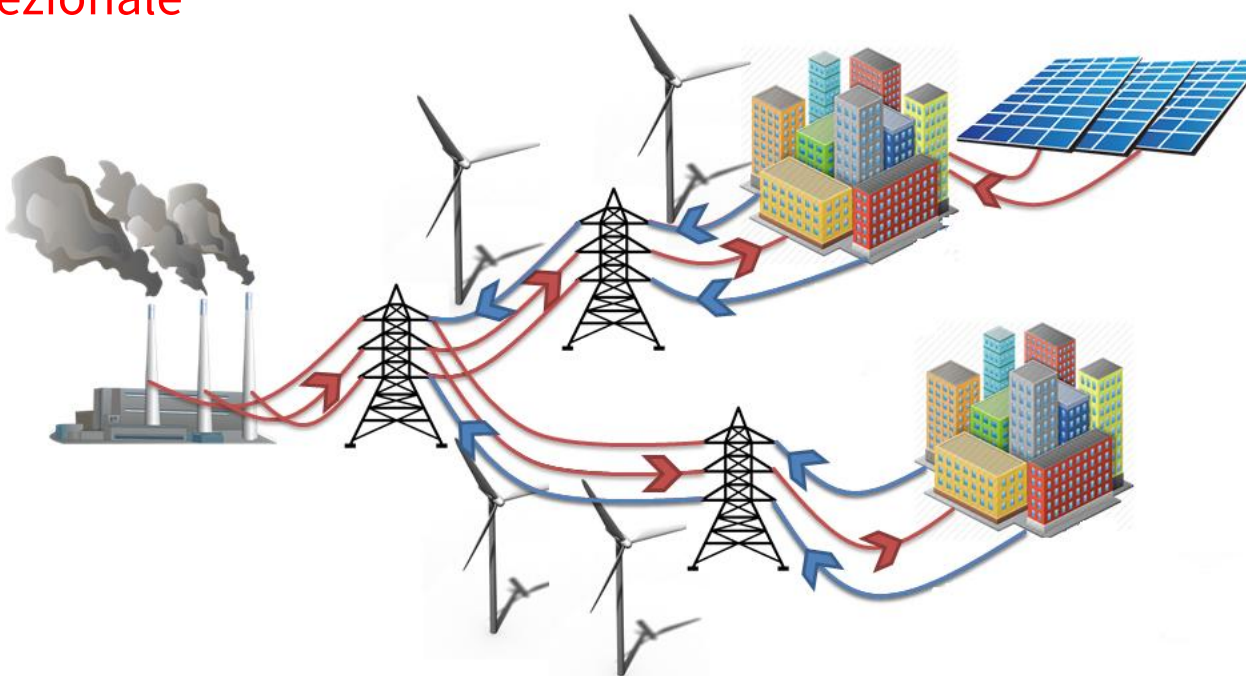
Il vecchio paradigma: le reti passive

- Flusso di potenza unidirezionale
- La generazione segue la domanda



Il nuovo paradigma: le reti attive

- Generazione **distribuita**
- Flusso di potenza **bidirezionale**

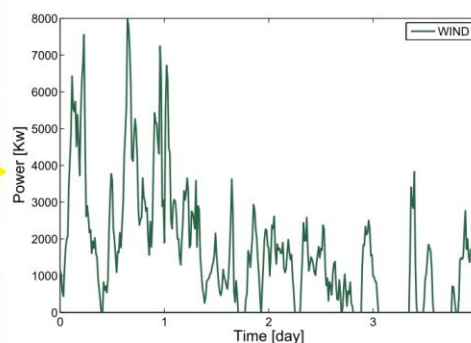
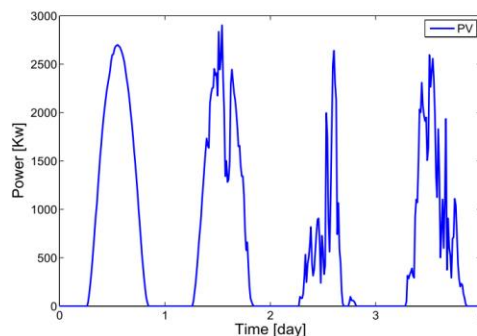


La generazione distribuita

- Aspetti positivi
 - Riduzione delle emissioni di CO₂
 - Riduzione delle perdite di trasmissione
 - Riduzione dei costi per le infrastrutture
 - Riduzione (?) della bolletta elettrica
- Difficoltà introdotte
 - Ridotta inerzia del sistema
 - Inversione del flusso di energia
 - Non-programmabilità delle principali fonti rinnovabili (solare, eolico)



Fonti rinnovabili intermittenti



La generazione da fonti rinnovabili intermittenti è difficile da predire

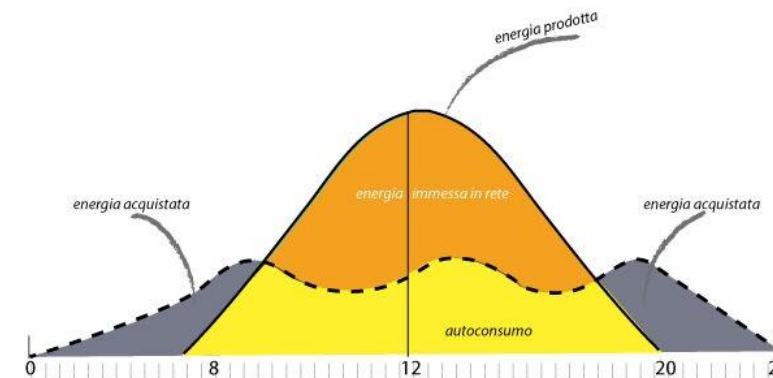
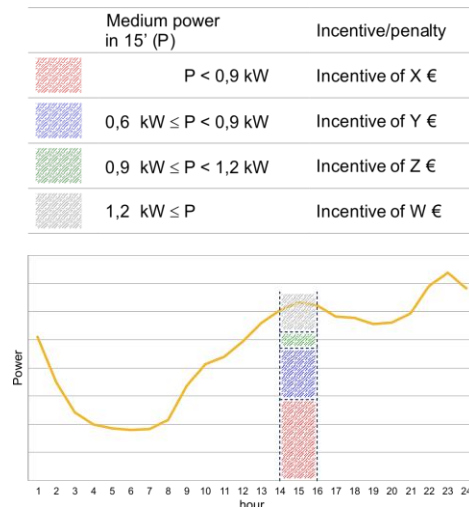


- Problemi nel bilanciare immissioni e prelievi
- Cambio di paradigma: è la domanda che deve seguire la generazione

Demand response



- Meccanismi per cui un utente riduce o aumenta i propri consumi energetici al fine di combinare la domanda di potenza con la fornitura
- Comportamento indotto da:
 - ✓ Segnali esterni, per es. Prezzo-Volume
 - ✓ Incentivazione dell'autoconsumo



Demand response e CER



- Le CER sono un chiaro esempio di meccanismo di Demand response
- L'incentivo sull'autoconsumo diffuso tende a favorire il **bilanciamento** energetico a livello locale
- Limitazione dell'effetto di inversione del flusso di energia



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1779 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA

isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Demand response e CER



- Le CER sono un chiaro esempio di meccanismo di Demand response
- L'incentivo sull'autoconsumo diffuso tende a favorire il **bilanciamento** energetico a livello locale
- Limitazione dell'effetto di inversione del flusso di energia



CAMERA DI COMMERCIO
AREZZO-SIENA



Camera di Commercio
Firenze
dal 1770 la casa delle imprese



CAMERA DI COMMERCIO
MAREMMA E TIRRENO



Camera di Commercio
Pistoia-Prato



CAMERA DI COMMERCIO
TOSCANA NORD-OVEST



UNIONCAMERE
TOSCANA

isi
innovazione
sviluppo
imprenditoriale
FONDAZIONE DI PARTECIPAZIONE

Conclusioni



- Gli utenti (cittadini, imprese) diventeranno sempre più parti attive nella gestione del sistema elettrico
 - Comportamenti di consumo virtuosi (autoconsumo)
 - Offerta di servizi di flessibilità alla rete
 - Partecipazione ai mercati elettrici
- Nuove opportunità sia di risparmio che di guadagno
- Necessità di ottimizzazione per massimizzare i benefici
 - Disponibilità di dati
 - Modelli di previsione, simulazione e ottimizzazione
 - Implementazione nei servizi IT



Bibliografia



- M. Stentati, S. Paoletti, A. Vicino, "Optimization of energy communities in the Italian incentive system". 2022 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), Novi Sad, Serbia, pp. 1-5, 2022
- L. Guiducci, G. Palma, M. Stentati, A. Rizzo, S. Paoletti, "A Reinforcement Learning approach to the management of Renewable Energy Communities". 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, pp. 1-8, 2023
- M. Stentati, S. Paoletti, A. Vicino, "Optimization and Redistribution Strategies for Italian Renewable Energy Communities", 20th IEEE International Conference on Smart Technologies (EUROCON), Torino, Italia, pp. 263-268, 2023
- A. Nammouchi, M. Stentati, S. Paoletti, A. Kassler, A. Theocharis, "Robust Operation of Energy Communities in the Italian Incentive System". 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE), Grenoble, France, pp. 1-5, 2023
- G. Palma, L. Guiducci, M. Stentati, A. Rizzo, S. Paoletti, "Reinforcement Learning for Energy Community Management: A European-Scale Study". Energies, n. 17, pp. 1-19, 2024