

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale  
«Sistemi di accumulo per le  
Comunità Energetiche Rinnovabili»***

Tutor universitario: Prof. Lazzaretto

Andrea

Laureando: *Innao Matteo*

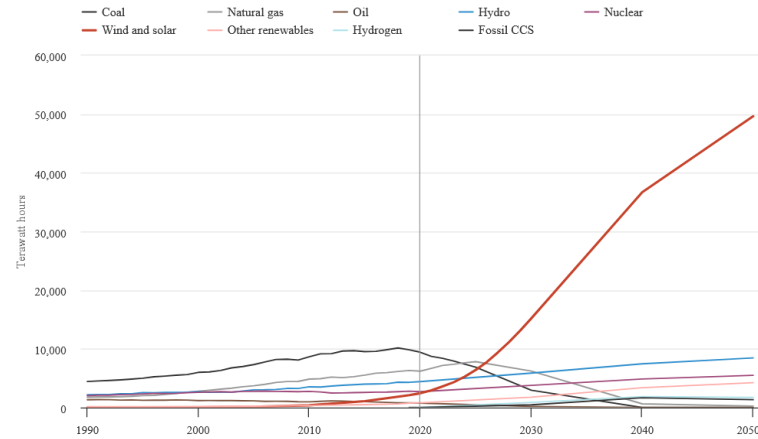
Padova, 21/07/2024

La transizione energetica, intesa come quel processo di cambiamento che segna il passaggio verso un sistema basato sull'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili sostenibili ed a basse emissioni di gas effetto serra, è necessaria per combattere la crisi climatica e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici

www.dii.unipd.it

The net-zero global electricity system will be much larger – and **overwhelmingly renewable**

Nearly 90% of the electricity mix in 2050 is renewable, with nuclear covering most of the remainder

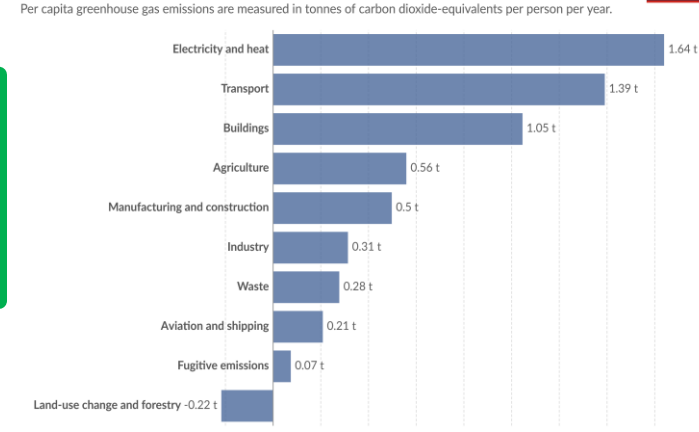


**EU Green Deal  
2050 Net Zero Emissions**

**Comunità Energetiche Rinnovabili**

Rapidi incrementi di conversione energia da fonti FER intermittenti

Per capita greenhouse gas emissions by sector, Italy, 2020



Data source: Climate Watch (2023); Population based on various sources (2023) OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Coinvolgimento dei consumatori (privati, aziende e amministrazione)

**Sistemi di accumulo energetici comunitari**

Principali sistemi di accumulo energetico

Analisi parametri tecnici e di maturità tecnologica

Analisi per servizio alla rete elettrica

Analisi dei costi per servizio

Contesto e definizioni

Quadro normativo e incentivi economici in Italia

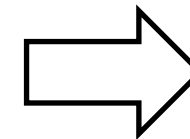
Analisi di benefici ed ostacoli allo sviluppo

Obiettivi e sviluppo dei modelli CER

Approcci e criteri di scelta dei sistemi di accumulo nelle CER

Comunità Energetiche Rinnovabili

Analisi di due casi studio di sistemi di accumulo in comunità energetiche



Orientamento alla scelta e dimensionamento dei sistemi di accumulo nelle Comunità Energetiche Rinnovabili

## Parametri tecnici

Capacità  $E_{max}$  [Wh] – Massima energia accumulabile

Densità di energia  $e_m = \frac{E_{max}}{massa} \left[ \frac{Wh}{kg} \right]$ ;  $e_v = \frac{E_{max}}{volume} \left[ \frac{Wh}{m^3} \right]$

Taglia  $P_{max} = \frac{E_{max}}{t_{scarica}}$  [W] – Potenza erogabile

Rendimento  $\eta_{max} = \frac{E_{st}}{E_{ut}}$  [-]

Rendimento round-trip  $\eta_{rp} = \frac{E_{out}}{E_{in}}$  [-] – Efficienza di ciclo

Tempo di scarica [sec ÷ ore]

Vita attesa [anni]

Numero di cicli [-]

## Maturità tecnologica

### Technology Readiness Level (TRL)

Distribuzione	9	Sistema implementato e operativo in un ambiente reale
	8	Validazione e certificazione completa del sistema in ambiente reale
	7	Prototipo validato in ambiente reale
Ricerca	6	Tecnologia dimostrata in un ambiente rilevante
	5	Tecnologia convalidata nell'ambiente pertinente
In via di sviluppo	4	Tecnologia validata in laboratorio
	3	Concetto testato
	2	Concetto/tecnologia formulata
	1	Idea/concetto di base

## Costo

ALCC  $\left[ \frac{\text{€}}{\text{kW} * \text{anno}} \right]$  - Annualized Life Cycle Cost

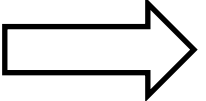
- acquisto, installazione e consegna di un sistema di accumulo
- eventuali sistemi di conversione PCS
- stoccaggio dell'energia
- bilanciamento della potenza

Thermal Energy Storage  
(TES)

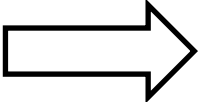
Sensible Heat Storage (SHS)

Latent Heat Storage (LHS)

Pumped Thermal Energy  
Storage (PTES)



Potenze modulabili, tecnologia matura, nessuna limitazione geografica, basso costo



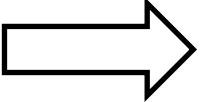
Potenze modulabili, tecnologia in via di sviluppo, nessuna limitazione geografica, elevati tempi di scarica

Pumped Hydro Energy  
Storage (PHS)

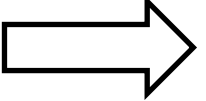
Compressed Air Energy  
Storage (CAES)

Liquid Air Energy Storage  
(LAES)

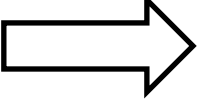
Flywheel Energy storage  
(FES)



Grandi potenze, elevata vita attesa, grande impatto ambientale, bassa densità energetica



Grandi potenze, elevata vita attesa, nessuna limitazione geografica, elevata densità energetica



Grandi potenze, elevato numero di cicli, nessuna limitazione geografica, tempi di scarica lunghi

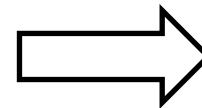


Efficienza molto elevata, elevato numero di cicli, nessuna limitazione geografica, tempi di scarica molto brevi

Mechanical Energy Storage  
(MES)

Chemical Energy Storage  
(CES)

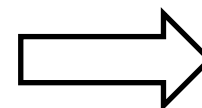
Hydrogen Energy Storage



Potenze modulabili, basse efficienze, nessuna limitazione geografica, costi elevati

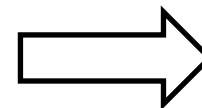
Electrochemical Energy Storage  
(EcES)

Battery Energy Storage (BES)



Potenze modulabili, elevata efficienza, tecnologie mature, costi elevati

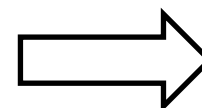
Flow Battery Energy Storage  
(FBES)



Basse potenze, elevata efficienza, elevato numero di cicli, costi elevati

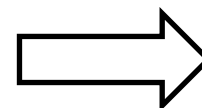
Electrical Energy Storage  
(EcES)

Supercapacitors



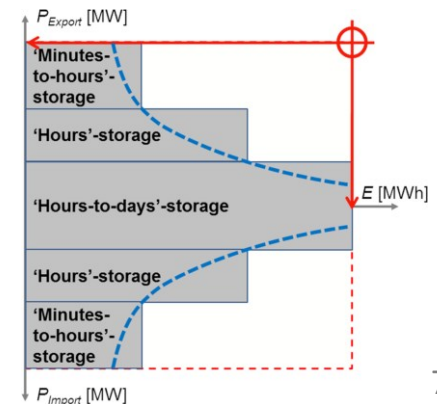
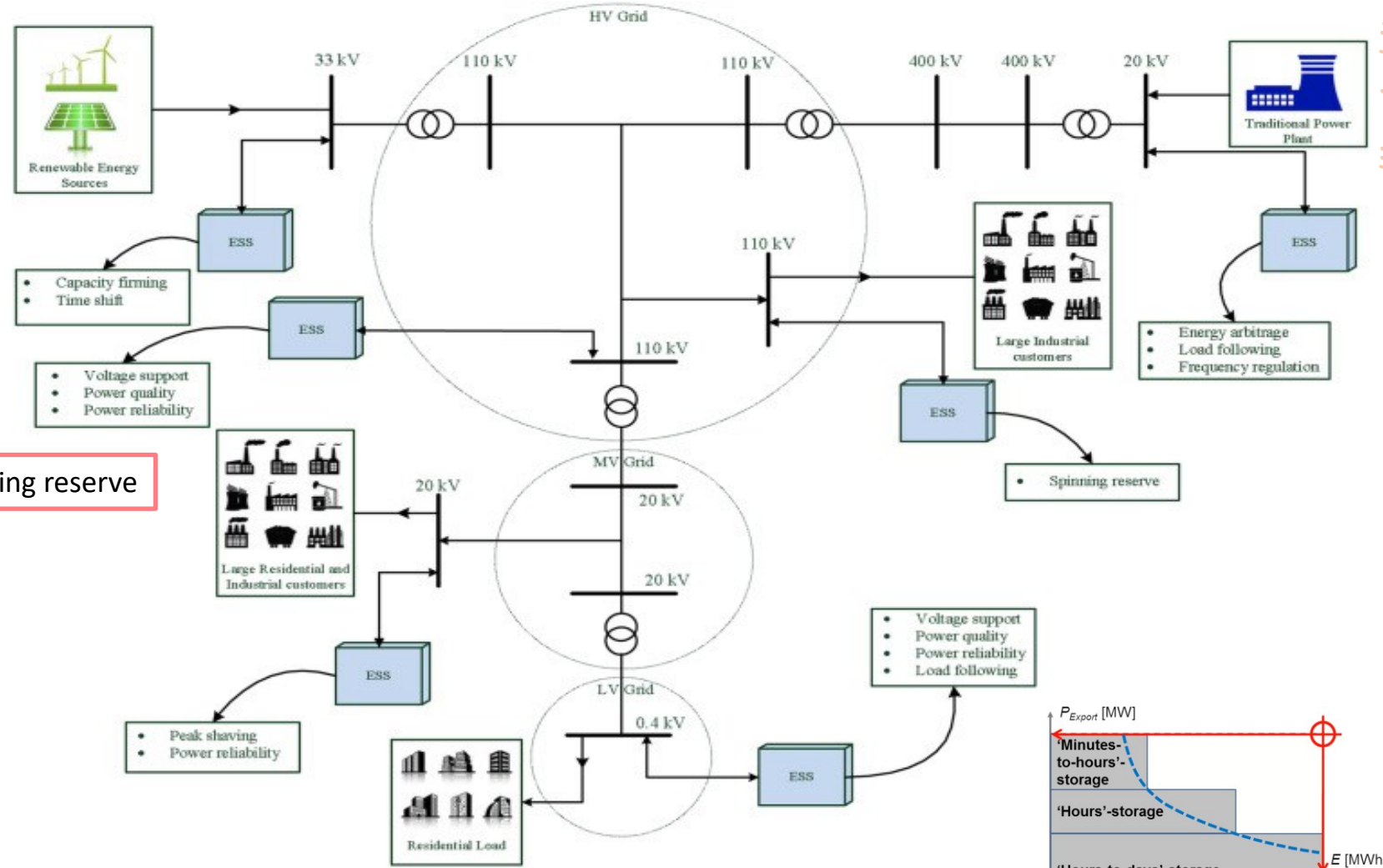
Basse potenze, elevata efficienza, elevato numero di cicli, nessuna limitazione geografica

Superconducting Magnetic  
Energy Storage (SMES)



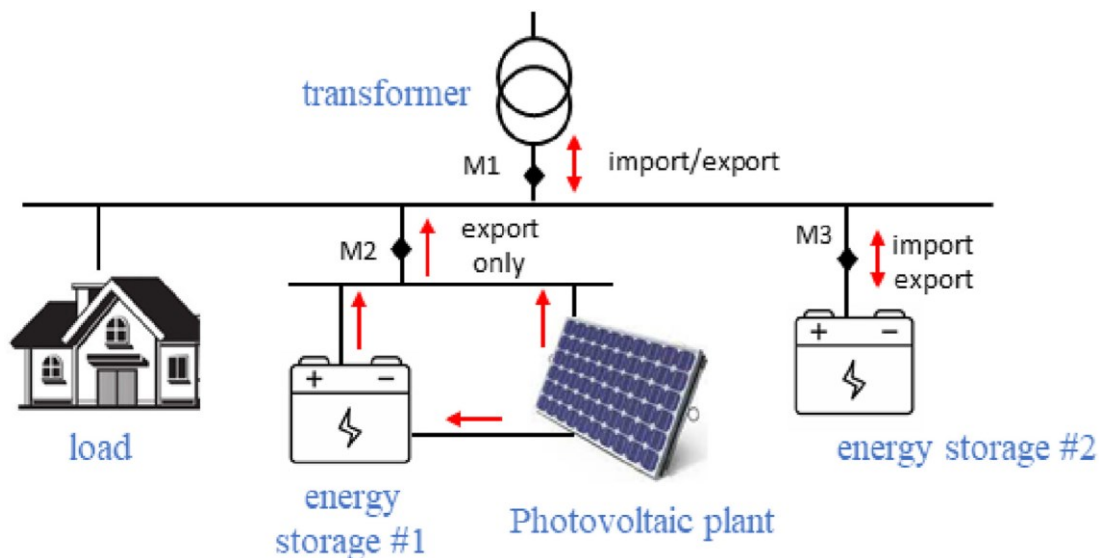
Basse potenze, elevata efficienza, elevato numero di cicli, tempi di scarica molto brevi

- Bulk energy
- Energy arbitrage
- Peak shaving
- Ancillary services
- Load following
- Voltage support
- Black start
- Frequency regulation
- Spinning reserve
- Customer energy management
- Power quality
- Power reliability
- Renewable energy integration
- Renewable energy firming
- Renewable energy time shift



## Definizione

Una comunità energetica rinnovabile (CER) è un soggetto giuridico i cui soci o membri con potere di controllo all'interno della CER possono essere cittadini, piccole e medie imprese (per le quali la partecipazione alla CER non costituisca l'attività commerciale e industriale principale), enti territoriali e autorità locali, incluse le amministrazioni comunali, le cooperative, gli enti di ricerca, gli enti religiosi, quelli del terzo settore e di protezione ambientale, che condividono, tramite i loro consumi, l'energia elettrica rinnovabile prodotta da impianti a fonte rinnovabile con lo scopo principale di fornire benefici ambientali, economici o sociali piuttosto che ottenere profitti finanziari.



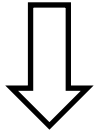
## Benefici previsti:

- Profitti economici
- Sviluppo fonti rinnovabili
- Riduzione emissioni inquinanti
- Contrasto alla povertà energetica
- Sviluppo del contesto sociale
- .....

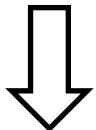
- Oltre 9000 energy communities in Europa
- Circa un centinaio in Italia ma potenziali 40000 al 2025



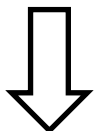
Direttiva UE 2018/2001 – RED II



Decreto-legge 162/19  
DL Milleproroghe



.....



Decreto MASE 7/12/2023, n. 414  
Decreto CACER

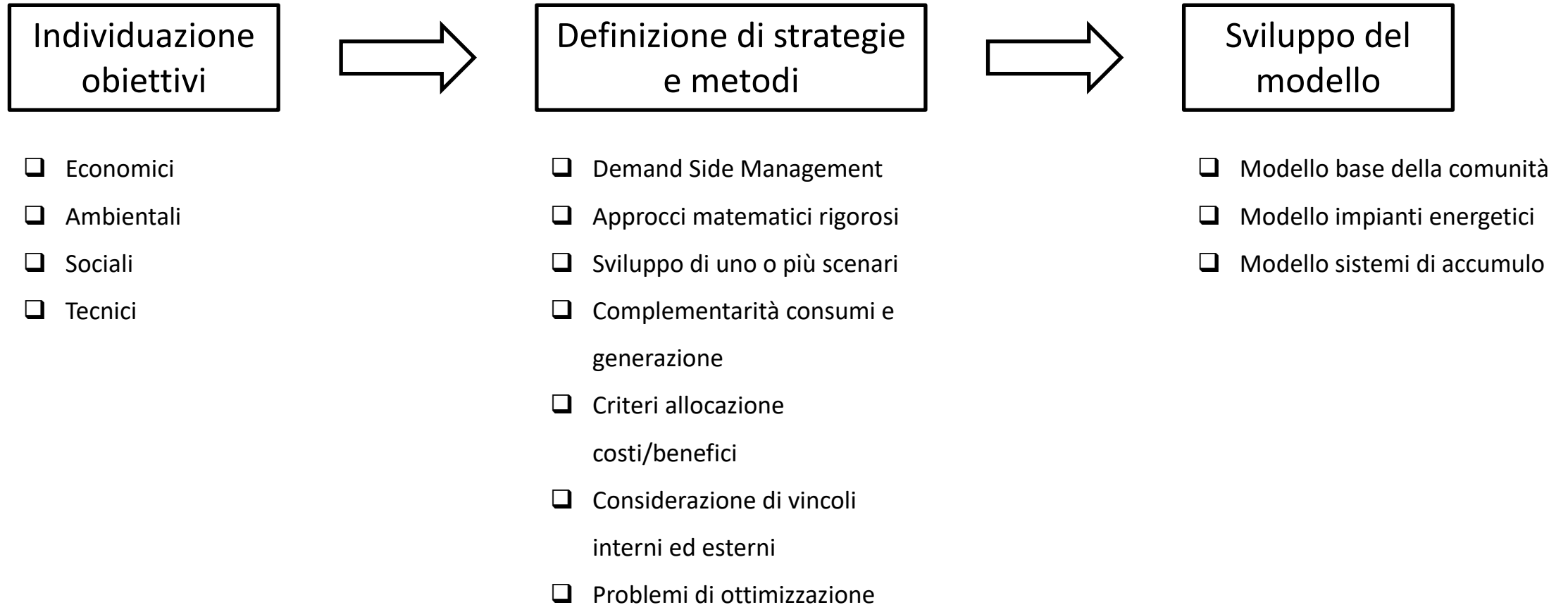
## Corrispettivi economici previsti al 30/06/2026 o raggiungimento di 2 GW

- ❑ Corrispettivo di valorizzazione: rimborso alcune componenti tariffarie da Arera (~8,5€/MWh)
- ❑ Tariffa premio: incentivo sull'energia prodotta e autoconsumata virtualmente dai membri della CER
- ❑ Maggiorazione per soli impianti fotovoltaici in base al luogo di installazione
- ❑ Corrispettivo per energia immessa in rete con contratto RID (~40€/MWh)
- ❑ Contributo in conto capitale dal PNRR fino ad un massimo del 40% del costo di investimento per le CER in Comuni con una popolazione inferiore a 5.000 abitanti.

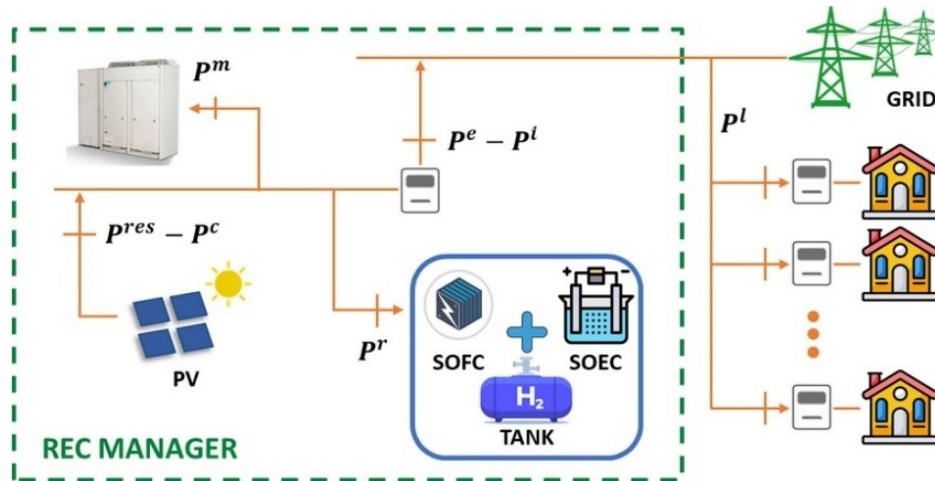
Potenza impianto [kW]	Tariffa incentivante - Parte fissa [€/MWh]	Tariffa incentivante - Parte variabile [€/MWh]
< 200	80	0 ÷ 40
200 ÷ 600	70	
600 ÷ 1000	60	

Maggiorazione [€/MWh]	Regione di installazione degli impianti FV
10	Regioni del nord
4	Regioni del centro
0	Regioni del sud

Potenza impianto [kW]	Limite di contributi in conto capitale [€/kWh]
< 20	1500
20 ÷ 200	1200
200 ÷ 600	1100
600 ÷ 1000	1050

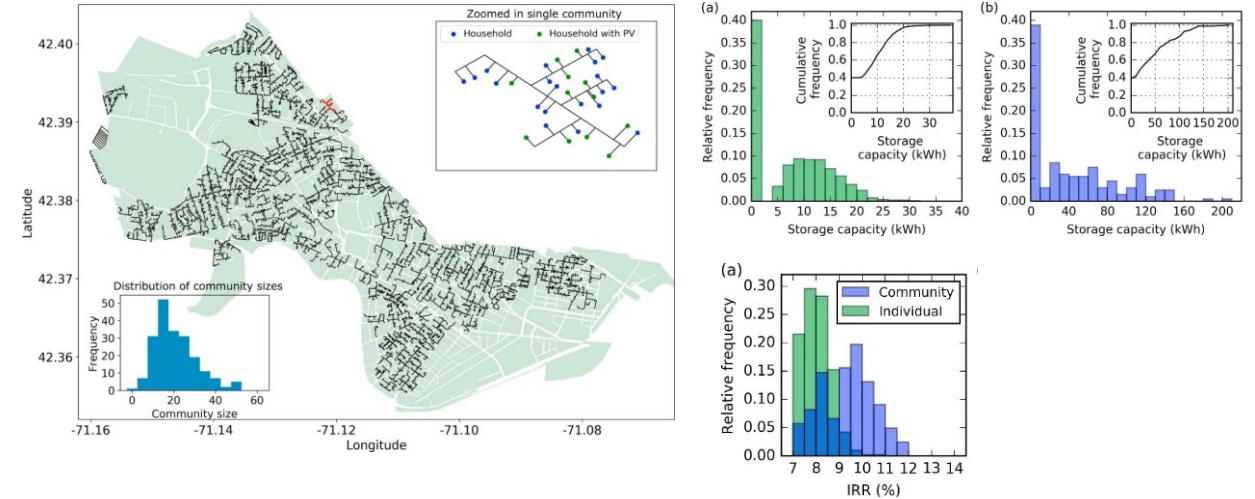


## Comunità Energetica Rinnovabile con sistema di accumulo ad idrogeno RSOC



- Sistema di accumulo unico e condiviso
  - Sistema di accumulo a basso impatto ambientale
  - Modello di controllo predittivo basato su scenari a due stadi
  - Considerati anche incentivi economici
- Efficienza media non elevata (0,47÷0,49)
- Profitto economico del ~7% rispetto alla stessa comunità senza sistema di accumulo

## Energy community con sistema di accumulo a batterie agli ioni di litio



- Confronto tra sistemi di accumulo individuali e comunitario
  - Sistema di accumulo tecnologicamente maturo
  - Modello della comunità basato su dati reali di cittadini statunitensi
  - Risultati per frazione di impianti fotovoltaici presenti
- Lo scenario con sistemi di accumulo individuali necessita di una capacità maggiore rispetto al caso comunitario (13 - 8,5 MWh)
- IRR più elevati più elevati nel caso comunitario (medio 9,3% - 8%)

Esistono molte tecnologie di accumulo energetico, ognuna con i propri parametri prestazionali, livelli di sviluppo e costi.

A seconda delle caratteristiche, ognuno di questi sistemi può considerarsi più o meno adatto all'accoppiamento con una Comunità Energetica Rinnovabile.

Orientamenti indicati per la progettazione di sistemi di accumulo comunitari riscontrati nella letteratura scientifica:

- Sistemi di accumulo comunitari hanno costi/benefici migliori rispetto ai sistemi individuali
- Sistemi multi-accumulo danno risultati migliori in termini di autoconsumo e corretto utilizzo ma anche costi elevati
- Utilizzare sistemi di accumulo termici considerando anche i consumi di riscaldamento e raffrescamento per condivisione tramite reti di teleriscaldamento