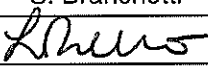
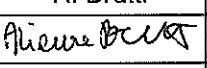
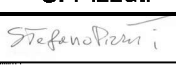


 Centro Ricerche Bologna			Sigla di identificazione ICER – P000 – 002		Distrib. L	Pag. 1	di 48
Titolo MODELLI E STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLE CER - <i>Identificazione e definizione di KPIs per l'analisi delle Comunità Energetiche Rinnovabili</i>							
Descrittori Tipologia del documento: Rapporto Tecnico Argomenti trattati: Comunità energetica, Fonti energetiche rinnovabili e alternative, Energia solare, Progettazione ecosostenibile							
Sommario Lo scopo di questo lavoro di ricerca è quello di individuare i parametri più idonei per confrontare efficacemente un insieme di Comunità Energetiche Rinnovabili (CER) da diverse prospettive, al fine di rilevare le eventuali opportunità di sviluppo e crescita, e di individuare le criticità in modo chiaro ed efficace. Tali parametri, noti in letteratura come <i>Key Performance Indicators</i> (KPIs), permettono di agevolare un confronto semplice ed intuitivo, mettendo in risalto da un punto di vista oggettivo le operazioni e le <i>best practices</i> che consentono di migliorare le performance delle comunità e permettono ai membri della comunità, <i>stakeholders</i> e <i>policymakers</i> di effettuare valutazioni sulla loro corretta gestione. L'identificazione e la definizione degli indicatori di performance ha inoltre lo scopo di mettere in luce la tipologia, le caratteristiche e i meccanismi di acquisizione dei dati necessari per la loro valutazione, nonché le modalità di elaborazione e calcolo dei KPIs, con i relativi insiemi di valori plausibili e l'interpretazione dei diversi valori ottenibili. Il processo di identificazione e definizione dei KPIs si articola su tre livelli, a scala crescente. Il primo livello consiste nell'analisi delle performance di una singola CER, con lo scopo di ottenere una panoramica completa delle prestazioni della comunità dal punto di vista energetico, economico, sociale ed ambientale. Il secondo livello riguarda il confronto tra le diverse CER con il fine di individuare le <i>best practices</i> e le migliori tecniche di gestione in senso assoluto attraverso modelli di calcolo semplici ed intuitivi. Infine, il terzo ed ultimo livello consiste nella valutazione delle potenzialità e dello sviluppo delle CER in relazione al proprio contesto territoriale, attraverso indicatori che quantificano la sinergia tra le comunità e le realtà locali, e gli eventuali margini di miglioramento.							
Note Autori: Lorenzo Giannuzzo ¹ , Francesco Demetrio Minuto ¹ , Daniele Salvatore Schiera ¹ , Andrea Lanzini ¹ , Carlo Petrovich ² , Nicola Gessa ² , Samuele Branchetti ² , Angelo Frascella ² , Gianluca d'Agosta ² ¹ Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica (DENERG) ² ENEA -TERIN-ICER-CROSS							
Copia n.			In carico a:				
2			NOME				
			FIRMA				
1			NOME				
			FIRMA				
0	EMISSIONE	27/05/2025	NOME	S. Branchetti	A. Brutti	S. Pizzuti	
			FIRMA				
REV.	DESCRIZIONE	DATA		REDAZIONE	CONVALIDA	APPROVAZIONE	

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 2	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

Sommario

NOMENCLATURA.....	3
DEFINIZIONI	4
1. Modelli e strumenti di valutazione delle CER	5
1.1 Descrizione attività	5
2. Valutazione delle prestazioni e del potenziale delle CER.....	6
2.1 Livello I – Valutazione delle performance di una singola CER.....	8
2.2 Livello II – Metodologie di confronto (benchmarking) tra CER	8
2.3 Livello III – Potenzialità e sviluppo delle CER nel territorio	9
3. Categorizzazione delle CER	10
4. Livello I – Identificazione e definizione dei KPIs a supporto della valutazione delle CER	13
4.1 Identificazione dei KPIs.....	13
4.2 Sector Domain, Usage e Targets dei KPIs nel contesto delle CER	15
4.3 Flussi energetici e nomenclatura.....	16
4.4 Volumi di controllo e perimetro dell’analisi	19
4.5 Definizione dei KPIs.....	20
4.6 KPIs aggiuntivi a supporto dell’analisi delle performance delle CER.....	25
5. Raccolta ed elaborazione dati	27
5.1 Ricostruzione del profilo orario del consumo elettrico	29
5.2 Simulazione della curva di produzione di impianti fotovoltaici	29
5.2.1 Sorgenti dei dati per la simulazione della curva di produzione di impianti fotovoltaici.....	29
6. Livello II - Benchmarking interno ed esterno delle CER	31
6.1 Benchmarking Interno	31
6.2 Metriche a supporto del Benchmarking Interno.....	32
6.2.1 Esempio Applicativo.....	34
6.3 Benchmarking Esterno.....	35
6.3.1 Modello Matematico.....	37
6.3.2 Esempio Applicativo.....	39
7. Livello III - Analisi del potenziale delle CER nel territorio	43
BIBLIOGRAFIA	44

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 3	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

NOMENCLATURA

ANCI	Associazione Nazionale	RF	Revenues from Flexibility
ANN	Artificial Neural Network	SBD	Social Business Development
CER	Comunità Energetica Rinnovabile	SC	Self-Consumption
CNR	Centro Nazionale Delle Ricerche	SCR	Self-Consumption Rate
CSMS	Community Share of Market Savings	SE	Shared Energy
DSO	Distribution System Operators	SEE	Social Energy Empowerment
E	Energy	SFA	Stochastic Frontier Analysis
EBR	Energy Bill Reduction	SIS	Share of Individual Savings
ECPI	Economic Performance Indicator	SN	Simple Normalization
ENPI	Energy Performance Indicator	SPI	Social Performance Indicator
ENVI	Environmental Impact	SRA	Simple Regression Analysis
EPH	Energy Poverty Help	SSCR	Storage Self-Consumption Rate
EPI	Environmental Performance Indicator	SSR	Self-Sufficiency Rate
ESO	Energy Storage Opportunity	SSSR	Storage Self-Sufficiency Rate
ESP	Electrical Self Production	SYC	Synchronization Coefficient
FA	Flexibility Activated	TSO	Transmission System Operators
GEIF	Grid Energy Interaction Factor	U	Carico elettrico di una singola utenza
GHGE	GHG Emissions	UoL	Use of Land
GPI	Global Performance Indicator	VC	Volume di Controllo
GSE	Gestore dei Servizi Energetici		
IRR	Internal Rate of Return		
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica		
KPIs	Key Performance Indicators		
LCOEC	Levelized Cost of Energy Consumed		
LDG	Local Data Governance		
LPTV	Low Carbon Public Transportation Vehicles Deployment Rate		
LR	Local Representation		
NSEC	Net Shared Energy Unit Cost		
OLS	Ordinary Least Square		
OPA	Open Data Access		
PBT	Payback Time		
PI	Performance Indicator		

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 4	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

DEFINIZIONI

Comunità Energetica Rinnovabile

Una comunità energetica rinnovabile o comunità di energia rinnovabile (CER) è un soggetto che opera nel rispetto di quanto stabilito dall'articolo 31 del decreto legislativo 199/21 [1]; ovvero un soggetto di diritto autonomo il cui esercizio dei poteri di controllo fa capo esclusivamente a persone fisiche, PMI, (associazioni) con personalità giuridica di diritto privato, enti territoriali e autorità locali, ivi incluse le amministrazioni comunali, gli enti di ricerca e formazione, gli enti religiosi, quelli del terzo settore e di protezione ambientale nonché le amministrazioni locali contenute nell'elenco delle amministrazioni pubbliche divulgato dall'Istituto Nazionale di Statistica (di seguito: ISTAT) secondo quanto previsto all'articolo 1, comma 3, della legge 31 dicembre 2009, n. 196, che sono situate nel territorio degli stessi Comuni in cui sono ubicati gli impianti per la condivisione di cui al comma 2, lettera a) [2]. Le regole per le CER sono state poi implementate e dettagliate con il decreto n. 414 del 7 dicembre 2023 (GU Serie Generale n.31 del 07-02-2024).

Energia Condivisa / Autoconsumo Virtuale / Shared Energy

L'energia elettrica condivisa, autoconsumo virtuale o Shared Energy (*SE*) è pari al minimo, calcolato su base oraria, tra l'energia elettrica immessa in rete dagli impianti di produzione alimentati da fonti rinnovabili e l'energia elettrica prelevata per il tramite dei punti di connessione che rilevano ai fini di una comunità di energia rinnovabile [3]. L'energia può essere condivisa nell'ambito della stessa zona di mercato, ferma restando la sussistenza del requisito di connessione alla medesima cabina primaria per l'accesso ai servizi di incentivazione.

Key Performance Indicators (KPIs)

I KPIs sono strumenti matematici in grado di misurare quantitativamente le prestazioni di un fenomeno o di un'attività complessa in una forma numerica e concisa, e consentono il monitoraggio delle prestazioni nel tempo.

Sector Domain

Il termine Sector Domain si riferisce alle macro-aree in cui vengono svolte le attività che coinvolgono i membri di una CER e la CER stessa.

Usage

Il termine Usage fa riferimento allo scopo per cui un KPI viene utilizzato all'interno dei processi di valutazione delle performance delle CER.

Targets

Si definiscono Targets i principali soggetti ai quali è rivolto l'utilizzo e l'interpretazione dei KPIs per l'analisi e la valutazione delle performance delle CER.

Volume di Controllo

Il "Volume di Controllo" è una porzione fisica dello spazio che identifica una cornice analitica per lo studio di scambi di massa ed energia di sistemi aperti o chiusi. Tale regione dello spazio può essere scelta strategicamente in modo da monitorare i flussi e i parametri rilevanti per l'analisi di uno specifico processo.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 5	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

1. MODELLI E STRUMENTI DI VALUTAZIONE DELLE CER

1.1 Descrizione attività

Questa attività è svolta dal Dipartimento di Energia "Galileo Ferraris" (DENERG) del Politecnico di Torino in collaborazione con ENEA (laboratorio TERIN-ICER-CROSS) nell'ambito del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale - Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024 e riguarda lo sviluppo e l'implementazione di un sistema di valutazione delle CER da fornire come supporto decisionale ai gestori delle comunità, ai tecnici impegnati nella realizzazione delle CER e ai policymaker coinvolti nella transizione energetica (organizzazioni territoriali e governative). Da un punto di vista generico, i principali modelli di business che sono tendenzialmente associati allo sviluppo di una CER derivano dai seguenti ambiti:

- Incentivazione sulla condivisione dell'energia (autoconsumo virtuale);
- Compra/vendita di energia (mercati locali, scambio di energia e denaro tra utenti e con la rete elettrica);
- Contratti per la fornitura di servizi ancillari (net balancing, frequency control, demand response programs, voltage control).

La condivisione dell'energia è uno dei concetti cardine sul quale si basa una CER, e comprende la collaborazione tra i membri della comunità al fine di ottimizzare l'uso dell'energia rinnovabile prodotta localmente. L'uso razionale e la condivisione dell'energia prodotta possono portare alla generazione di benefit energetici, economici, sociali ed ambientali ed è ad oggi remunerata dallo stato attraverso procedure di calcolo specifiche, che garantiscono una delle fonti di guadagno più rilevanti per una comunità. Oltre alla quota parte relativa alla condivisione dell'energia, una CER è potenzialmente in grado di stipulare accordi con i DSO e TSO per l'erogazione di servizi ancillari, in riferimento alla capacità di utilizzare la produzione di energia rinnovabile e le risorse energetiche locali per supportare e migliorare la stabilità e l'efficienza della rete. Tale aspetto, però, è ancora in fase sperimentale e necessita ancora di un quadro normativo ben definito, così come l'implementazione di mercati locali che regolano lo scambio di energia tra utenti nel territorio. Per questo motivo nel presente lavoro ci si concentrerà sulla condivisione dell'energia e sulla generazione dei benefici energetici, economici, sociali ed ambientali che essa comporta.

In relazione a tale ambito e in riferimento ai lavori precedentemente svolti e alle collaborazioni passate, gli strumenti software CRUISE e SIMUL [4] (sviluppati nell'ambito del progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" della Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale) sono strumenti ideati per permettere la raccolta, l'elaborazione e la visualizzazione dei dati energetici relativi sia alle singole utenze che alle comunità energetiche, con l'obiettivo di fornire al gestore della comunità stessa un sistema di informazione e di valutazione. Attraverso questi strumenti, il gestore della comunità ha l'opportunità di pianificare i suoi interventi e di valutarne i risultati e le prospettive. Attualmente, l'architettura di tali strumenti si basa su due pilastri:

1. Un insieme di modelli e strumenti di elaborazione in grado di estrarre informazioni dai dati grezzi (ad esempio tramite algoritmi di clustering), restituite sotto forma di grafici, tabelle o composizione di questi;
2. Un software di controllo e gestione che permette l'esecuzione dei modelli e che fornisce una interfaccia grafica sia per i membri della comunità che per i gestori, o altre organizzazioni potenzialmente interessate.

Ad integrazione di tali strumenti, lo scopo di questo lavoro è quello di identificare i parametri e gli indicatori che meglio permettono di confrontare due o più comunità da differenti punti di vista. Questi parametri, o Key Performance Indicators (KPIs) di comunità, hanno lo scopo di permettere il confronto in maniera semplice e intuitiva, in modo che siano chiare problematiche ed eventuali opportunità sia per il gestore della comunità che per un eventuale decisore politico.

Nel presente lavoro, quindi, vengono svolte le seguenti attività lavorative:

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 6	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

- **Valutazione delle prestazioni e del potenziale delle CER** – processo di identificazione degli elementi necessari per la valutazione delle performance e delle potenzialità delle CER, articolato in:
 1. **Identificazione dei KPIs a supporto della valutazione delle CER** – analisi e scelta di indicatori mirati alla valutazione delle prestazioni di comunità attraverso parametri quantitativi e qualitativi, con lo scopo di ottenere informazioni relative al comportamento di una CER in ambito energetico, economico, sociale ed ambientale;
 2. **Definizione delle procedure di calcolo dei KPIs** – metodologie e formulazioni matematiche necessarie al calcolo dei KPIs;
 3. **Descrizione delle metodologie di acquisizione dei dati** – modalità di raccolta dei dati per il calcolo dei KPIs;
 4. **Modellazione delle metodologie di confronto (benchmarking) tra CER** – definizione di modelli matematici e parametri di confronto per la comparazione delle performance di CER distinte;
 5. **Valutazione del potenziale territoriale delle CER** – raccolta dei dati sulle aree disponibili, numero di edifici, inclusi abitazioni, uffici, fabbriche e altre strutture, che permettono di stimare la quantità di energia richiesta per soddisfare i bisogni energetici e che permettono di individuare le opportunità per l'installazione di impianti di generazione distribuita.
- **Categorizzazione delle CER** – macro distinzione delle CER in funzione delle loro caratteristiche principali (consumo energetico, intensità energetica, struttura giuridica).

2. VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI E DEL POTENZIALE DELLE CER

L'analisi delle prestazioni delle CER è un processo complesso ed articolato, che comporta uno studio dettagliato ed approfondito del comportamento delle comunità in tutti i loro ambiti operazionali [5]. Lo scopo principale dell'analisi è generalmente quello di ottenere una panoramica completa, permettendo di analizzare il comportamento delle comunità dal punto di vista energetico, economico, sociale ed ambientale, di identificare le best practices e le eventuali disparità tra le varie comunità, e di quantificare l'impatto delle CER nel territorio. Da un punto di vista teorico, l'analisi delle prestazioni di comunità energetiche può essere articolata su tre livelli distinti, che comprendono l'analisi delle performance al livello di singola CER, il confronto, in termini prestazionali, tra le diverse comunità, e la valutazione delle potenzialità e dello sviluppo delle CER nel proprio contesto territoriale (Figura 1).

ENEA Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 7	di 48
-------------------------------------	---	-----------	---------------	-----------	----------

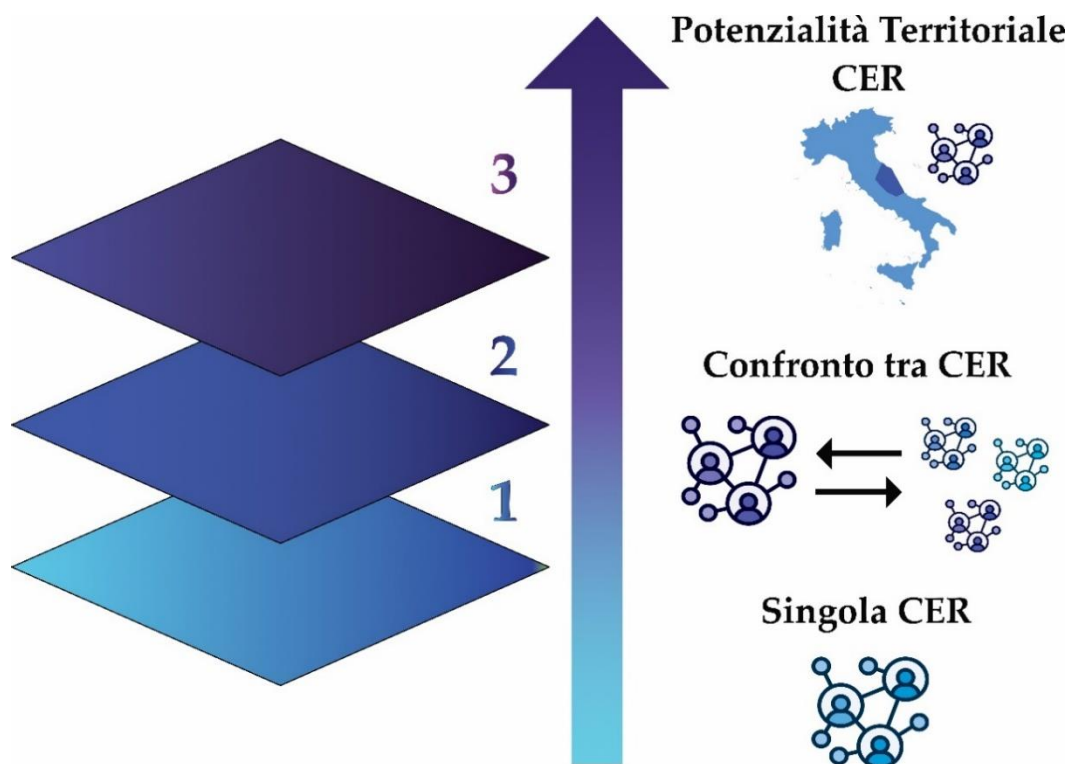


Figura 1 Livelli di dettaglio dell'analisi delle performance delle CER.

Il **primo livello dell'analisi** riguarda la valutazione delle performance di una singola CER, e comprende l'identificazione e la definizione dei KPIs necessari allo studio delle prestazioni nella comunità nei diversi ambiti in cui essa opera. L'obiettivo principale di questo tipo di analisi è quello di predisporre i modelli e gli strumenti di calcolo necessari ad individuare gli elementi che permettono di avere una crescita sostenibile ed un funzionamento efficiente della CER nel corso del tempo. In altre parole, in questo primo livello di valutazione, attraverso i KPIs identificati, vengono creati gli strumenti in grado di individuare le tecniche di efficientamento e gestione di comunità che portano ad ottenere le prestazioni migliori in ciascuno degli ambiti operazionali della CER.

Il **secondo livello dell'analisi** riguarda invece il confronto delle prestazioni di diverse CER, con lo scopo di individuare le caratteristiche che contraddistinguono le comunità più performanti. Il processo di comparazione si articola principalmente in due fasi:

- Definizione del concetto di similarità ed identificazione delle CER tra loro simili;
- Applicazione di metodologie di confronto e confronto delle prestazioni.

La prima fase riguarda l'identificazione dei criteri che permettono di individuare le comunità tra loro simili. Questo processo è particolarmente importante nei processi di benchmarking in quanto permette di effettuare confronti sensati, mettendo a paragone entità simili tra loro. La seconda fase, invece, riguarda la scelta e l'impiego di metodologie di benchmarking appropriate. Le modalità di confronto sono infatti spesso dipendenti dalla numerosità degli elementi messi a paragone e dalla tipologia di dati a disposizione.

Il **terzo ed ultimo livello di analisi** permette di valutare e contestualizzare la potenzialità e lo sviluppo delle CER nel proprio territorio, individuando eventuali margini di miglioramento ed espansione, evidenziando le eventuali possibilità di incremento locale della sinergia tra comunità e territorio.

In generale, l'insieme dei diversi livelli di analisi permette di avere i modelli e gli strumenti necessari ad individuare gli elementi che permettono di garantire una crescita sostenibile ed efficace delle CER. Inoltre, l'individuazione delle best practices e delle migliori tecniche di gestione di una o più comunità permettono di creare un terreno fertile per la proliferazione dei progetti di CER nel corso del tempo.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 8	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

2.1 Livello I – Valutazione delle performance di una singola CER

Come sostenuto da diversi studi in letteratura [6-8], la valutazione delle performance di una singola comunità energetica è un processo finalizzato a misurare e valutare l'efficacia delle attività e il raggiungimento dei risultati previsti nel contesto dello sviluppo delle fonti di energia rinnovabili e della transizione energetica. In dettaglio, l'analisi delle performance al livello di comunità è un processo che comprende una serie di passaggi chiave, quali:

- i. L'identificazione e definizione dei KPIs necessari per la valutazione delle performance nei diversi ambiti in cui operano le CER;
- ii. L'eventuale installazione dei sistemi di monitoraggio e l'utilizzo di surveys per la raccolta dei dati necessari al calcolo dei KPIs;
- iii. Il campionamento, la raccolta e il processamento dei dati raccolti;
- iv. L'analisi delle performance delle CER attraverso i risultati ottenuti dal calcolo degli indicatori scelti.

Il processo di identificazione e definizione dei KPIs è un processo chiave per la valutazione delle performance di una CER in quanto gli indicatori scelti rappresentano le fondamenta per la valutazione delle prestazioni in ogni ambito in cui opera la comunità. In generale, i KPIs sono uno strumento che ha il compito di: fornire valutazioni quantitative in modo chiaro e di facile interpretazione; essere privi di ambiguità nelle proprie procedure di calcolo; essere quanto più possibile facilmente applicabili su tutte le CER, a prescindere dalle loro differenze in ambito tecnico ed anagrafico. Parallelamente, l'installazione dei sistemi di monitoraggio e il processo di raccolta ed elaborazione dei dati sono anch'essi elementi fondamentali nel processo di valutazione delle performance della comunità e sono relativi ad aspetti importanti come: la raccolta delle informazioni riguardanti la produzione e il consumo di energia, l'impatto sociale della CER sul territorio e sui propri membri, e il monitoraggio dei flussi di denaro interni ed esterni alla comunità [6].

Nei processi di raccolta dati, è necessario verificare che essi siano quanto più possibile accurati e completi, e che siano sempre accompagnati da informazioni dettagliate riguardanti il loro livello di precisione e affidabilità. Il processo di raccolta dati, inoltre, deve essere possibilmente sistematizzato, in modo da facilitare le modalità di studio e analisi delle CER. Congiuntamente alla raccolta dei dati, è necessario definire le metodologie per l'individuazione e la correzione delle eventuali discrepanze ed anomalie presenti all'interno dei dati, utilizzando ad esempio metodi statistici e strumenti di analisi dati dettagliati, al fine di ridurre la presenza di elementi che potrebbero potenzialmente influenzare negativamente l'esito dei calcoli e delle valutazioni a seguire.

2.2 Livello II – Metodologie di confronto (benchmarking) tra CER

In letteratura, i processi di benchmarking sono molto diffusi soprattutto in ambito energetico, e sono processi che permettono di confrontare e valutare le prestazioni energetiche di un sistema con quelle di sistemi simili, al fine di identificare le strategie e le tecniche di gestione che distinguono i sistemi più efficienti e performanti [7,8]. In generale, i modelli di benchmarking si dividono in due grandi macro categorie:

- **Benchmarking interno** – analisi delle prestazioni di un singolo sistema nel tempo. Vengono quindi, ad esempio, confrontate le prestazioni all'istante di tempo t con quelle registrate all'istante di tempo $t-1$. L'obiettivo principale di tale processo è quello di identificare le possibili aree di miglioramento prestazionale e valutare l'andamento delle performance nel tempo;
- **Benchmarking esterno** – confronto delle prestazioni di un sistema con quelle di sistemi diversi. Lo scopo principale di tale processo è quello di valutare il comportamento di un sistema in relazione alle performance di altri sistemi, e di identificare le pratiche o gli standard che differenziano i sistemi più efficienti da quelli meno performanti, nel corso del tempo.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 9	di 48
--	--	------------------	----------------------	------------------	-----------------

Le metodologie di benchmarking interno, nel contesto delle CER, possono coinvolgere diversi aspetti, come il monitoraggio della quantità di energia rinnovabile prodotta nel tempo; la variazione del consumo energetico; la variazione dei flussi economici; e la variazione dell'impatto sociale della comunità sul territorio. Analogamente, le metodologie di benchmarking esterno coinvolgono molteplici ambiti, ma con un'ottica diversa. Se, infatti, nel benchmarking interno lo scopo principale è quello di osservare l'evoluzione delle performance di un singolo elemento (in questo caso la CER) nel tempo, nei processi di benchmarking esterno vengono messe a confronto le prestazioni di due o più comunità distinte, con lo scopo di individuare quali sono le caratteristiche delle comunità che determinano le prestazioni migliori, in ogni ambito.

Dalla letteratura, emergono principalmente le seguenti metodologie: Simple Normalization (SN), Ordinary Least Square (OLS) o anche nota come Simple Regression Analysis (SRA), Data Envelopment Analysis (DEA), Stochastic Frontier Analysis (SFA), metodi model-based (simulations), e Artificial Neural Networks (ANNs) [9]. La metodologia SN consiste semplicemente nell'utilizzo di indicatori di performance relativi o normalizzati su grandezze comuni. La OLS invece fa uso di regressioni lineari applicate a determinati indicatori di performance con lo scopo di creare un modello di previsione delle prestazioni che faccia da riferimento con il quale confrontare le prestazioni dei singoli elementi, analogamente a quanto previsto dalla SFA, anche se in quest'ultima i modelli di regressione risultano essere più raffinati ed accurati. La DEA, invece, consiste nel calcolo di macro-indicatori di performance calcolati attraverso medie pesate di indicatori specifici, dove è possibile calibrare i pesi attribuiti a ciascun indicatore in modo da enfatizzare o meno aspetti specifici. D'altro canto, le metodologie di benchmarking model-based fanno uso di softwares simulativi con lo scopo di generare ex-novo elementi con i quali poter effettuare il confronto. Infine, le metodologie basate su ANNs fanno uso di reti neurali che, sulla base di un opportuno processo di allenamento su un set di dati, sono in grado di prevedere quale dovrebbero essere le prestazioni di una comunità con determinate caratteristiche tecniche ed anagrafiche e confrontarle rispetto alle performance reali rilevate sul campo.

Ognuna di queste metodologie è più o meno applicabile in funzione della numerosità degli elementi che si desidera confrontare e sulla quantità di dati a disposizione per allenare gli eventuali modelli impiegati. A titolo esemplificativo, utilizzare metodologie di confronto che coinvolgono elementi come le ANNs, richiede una serie di dati maggiore rispetto a modelli più semplici, come la DEA o la SN. Ciò è dovuto principalmente al fatto che l'impiego di modelli di machine-learning richiede un periodo di allenamento dei modelli stessi che generalmente è tanto più efficace quanto più è alto il numero di dati utilizzati. Tale passaggio non è necessario se invece vengono utilizzate metodologie di benchmarking che coinvolgono indicatori matematici semplici.

2.3 Livello III – Potenzialità e sviluppo delle CER nel territorio

La valutazione del potenziale territoriale delle CER rappresenta un'analisi dettagliata e multi-livello che ha come obiettivo l'individuazione delle aree e delle condizioni più favorevoli per promuovere la transizione energetica sostenibile. La realizzazione di nuove CER comporta la progettazione e l'installazione di nuovi impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili, come impianti fotovoltaici o turbine eoliche, oltre alla costituzione di comunità energetiche in aree identificate come strategiche. La scelta di queste aree si basa su criteri quali la disponibilità di risorse energetiche rinnovabili, la presenza di infrastrutture esistenti e la possibilità di accrescere l'autosufficienza energetica della zona. Un altro aspetto cruciale è l'ampliamento delle CER già esistenti, che si realizza tramite l'incremento della potenza degli impianti di produzione presenti. L'espansione della capacità produttiva può rispondere a un aumento della domanda energetica all'interno della comunità o a un bisogno di migliorare l'efficienza complessiva. Per supportare tale espansione, è possibile investire in tecnologie di accumulo energetico e di gestione avanzata della rete, oltre che in interventi di ristrutturazione infrastrutturale che migliorano la resilienza della comunità energetica stessa.

ENEA Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 10	di 48
-------------------------------------	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

3. CATEGORIZZAZIONE DELLE CER

La recente estensione del perimetro delle comunità [1] ha permesso di includere un numero crescente e variegato di partecipanti, e la loro possibile diffusione nel territorio ha portato all'identificazione di diverse forme giuridiche attraverso le quali è possibile costituire formalmente una comunità. Per distinguere le varie tipologie di CER è possibile individuare dei sottogruppi in funzione di alcune loro caratteristiche distintive, come ad esempio la loro intensità energetica, prevalenza energetica e la loro struttura giuridica, secondo quanto raffigurato in Figura 2.

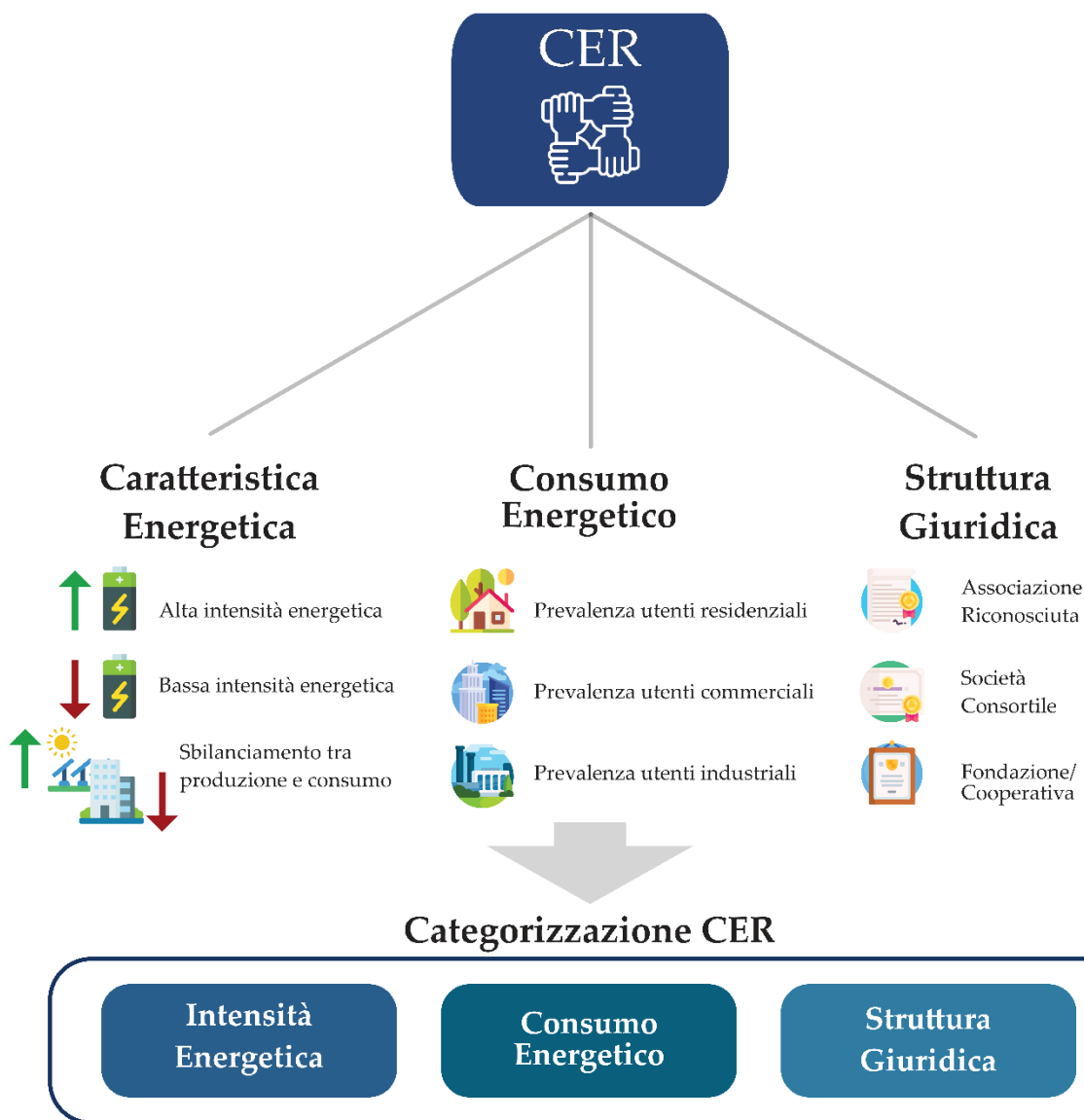


Figura 2 Categorizzazione di una CER.

L'**intensità energetica** è un parametro che mette in relazione la produzione ed il consumo interni alla comunità e permette quindi di classificare le CER in relazione a questi parametri energetici, come quanto rappresentato in Figura 3 (in analogia con quanto sviluppato in [10]).

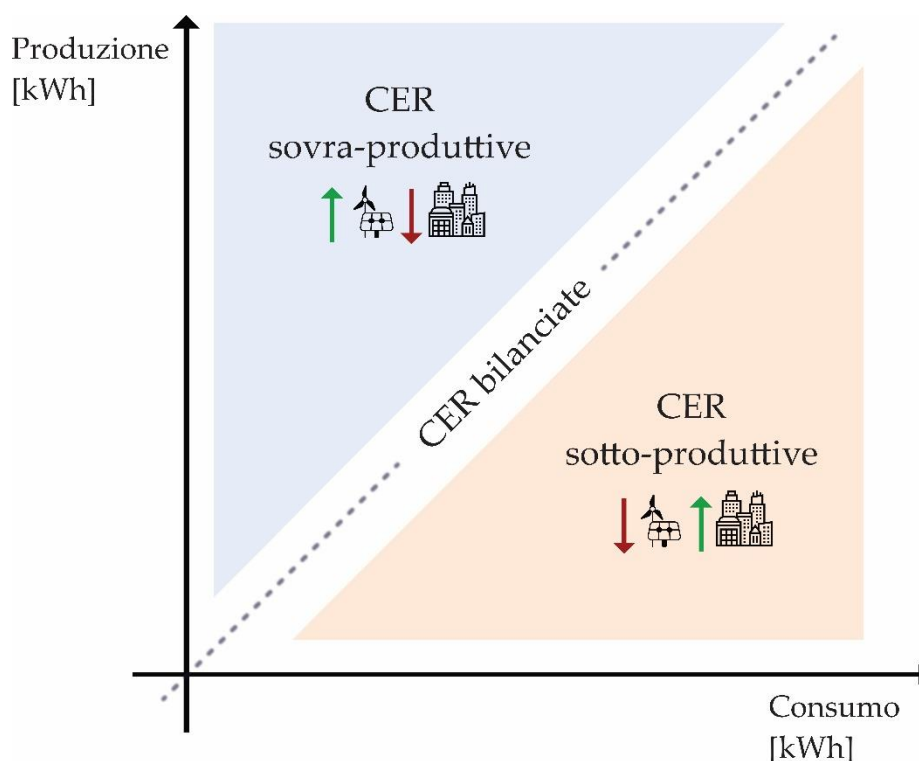


Figura 3 Categorizzazione delle CER sul piano energetico.

In generale, le CER sono quindi potenzialmente classificabili in:

- **CER bilanciate** – Comunità energetiche caratterizzate da una quantità di energia consumata confrontabile con quella prodotta;
- **CER sotto-produttive** – Comunità energetiche caratterizzate da una quantità di energia consumata superiore a quella prodotta;
- **CER sovra-produttive** – Comunità energetiche caratterizzate da una quantità di energia prodotta superiore a quella consumata.

Le CER bilanciate sono quelle comunità in cui l'energia prodotta dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili è simile al consumo aggregato e si posizionano in prossimità della bisettrice del grafico rappresentato in Figura 3. Invece, le CER sovra-produttive o sotto-produttive sono delle comunità caratterizzate da un marcato sbilanciamento tra energia prodotta e consumata all'interno dell'aggregato. Tale sbilanciamento può essere dovuto a diversi fattori. Ad esempio, una CER potrebbe essere categorizzabile come sotto-produttiva a fronte di una mancata disponibilità di superfici utili all'installazione di impianti alimentati a fonti rinnovabili, impianti che permetterebbero alla comunità di bilanciare la quota di energia prodotta con la domanda aggregata. Allo stesso tempo, una CER potrebbe essere categorizzabile come sovra-produttiva anche perché ha visto ridurre la propria quota di consumo nel tempo, a seguito dell'uscita di alcuni dei propri membri.

Il secondo parametro che può essere utilizzato per categorizzare le CER è la **prevalenza energetica**. Tale parametro associa la quota maggioritaria di domanda aggregata della comunità ad una tipologia di utenze, come rappresentato in Figura 4.

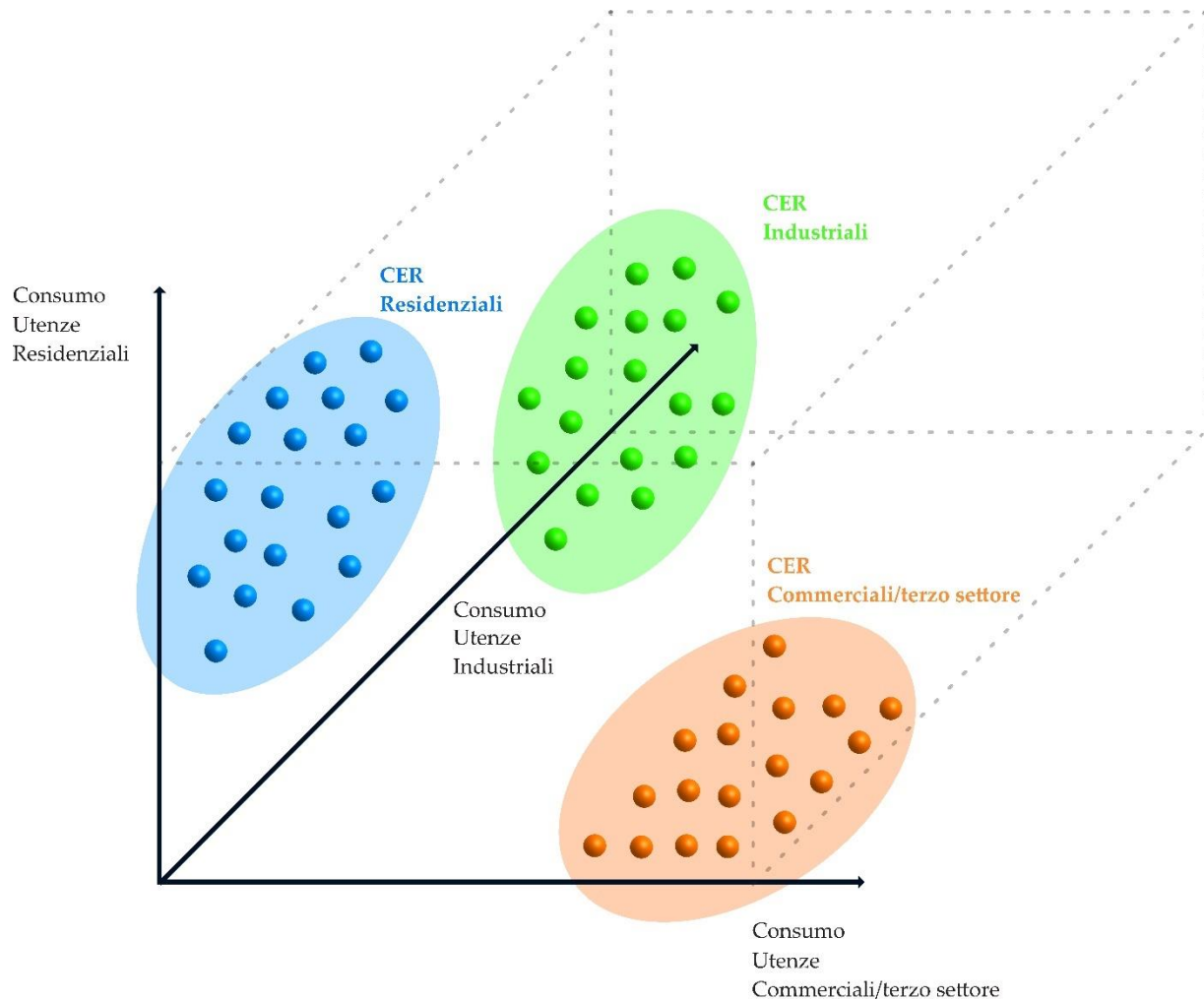


Figura 4 Distinzione tra CER per tipologia di membri.

La prevalenza energetica di una comunità è un elemento chiave che incide notevolmente sul carico elettrico aggregato e sulla sua forma. Ad esempio, una CER con una forte componente energetica associabile ad utenze commerciali o del terzo settore potrebbe avere una curva di carico a doppia campana, una delle forme di carico più frequenti per questo tipo di utenze. Le CER, quindi, possono essere classificate in base alla loro prevalenza energetica, come quanto segue:

- **CER Residenziali** – Comunità energetiche la cui quota maggioritaria di consumo è associabile ad utenze residenziali;
- **CER Industriali** – Comunità energetiche la cui quota maggioritaria di consumo è associabile ad utenze industriali;
- **CER Commerciali/terzo settore** – Comunità energetiche la cui quota maggioritaria di consumo è associabile ad utenze commerciali o del terzo settore;
- **CER Miste** – Comunità energetiche la cui quota maggioritaria di consumo è eterogenea, quindi associabile a diverse tipologie di utenze.

Il terzo parametro coinvolto nel processo di categorizzazione è la **struttura giuridica**. In generale, ogni CER presenterà una struttura diversa in funzione della tipologia dei propri membri e delle finalità della comunità stessa. È importante ribadire che la CER deve essere un soggetto giuridico autonomo (con personalità giuridica o

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 13	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

comunque con soggettività giuridica autonoma che la rende centro autonomo di imputazione di rapporti giuridici) e che la finalità lucrativa non può essere prevalente, ma non è esclusa. Nello specifico, nei casi in cui venissero adottate strutture giuridiche che consentono la distribuzione di utili è necessario comunque stabilire delle clausole che escludano o limitino tale distribuzione in modo da escluderne la prevalenza. In generale, la struttura giuridica è un parametro che caratterizza fortemente una CER per diversi motivi:

- **Responsabilità legale** – Definisce chi sono i membri della comunità, quali sono i loro diritti e doveri, e stabilisce le basi legali per l'operazione e la gestione degli impianti all'interno della CER;
- **Proprietà e partecipazione** – Definisce come vengono suddivisi i diritti di proprietà e di partecipazione all'interno della comunità. Ad esempio, stabilisce se i membri hanno quote di proprietà degli impianti o se partecipano in altro modo al progetto;
- **Vincoli normativi** – Garantisce il rispetto delle leggi e dei regolamenti locali e nazionali, come ad esempio la regolamentazione relativa alle autorizzazioni per la produzione e vendita dell'energia;
- **Gestione e decisioni operative** – Stabilisce come vengono prese le decisioni all'interno della comunità e quali sono i meccanismi necessari a risolvere le eventuali dispute o controversie;
- **Contratti e accordi** – Definisce i contratti e gli accordi tra i membri della comunità, i fornitori di tecnologia e servizi, i clienti e altre parti interessate. Questi documenti possono includere, ad esempio, contratti di fornitura di energia, o accordi di condivisione dei costi e dei profitti;
- **Rischi e responsabilità** – Definisce come vengono affrontati i rischi associati alle eventuali operazioni di investimento per impianti rinnovabili, ad esempio, stabilendo chi è responsabile in caso di danni o guasti relativi agli impianti.

In sintesi, la combinazione di intensità, prevalenza energetica e struttura giuridica permette di individuare macro-gruppi contenenti CER simili tra di loro. Tali raggruppamenti, permettono di agevolare il confronto tra le CER, o di individuare in modo più agevole gli insiemi di CER con prestazioni simili. Oltre ai tre parametri precedentemente individuati, la proprietà degli impianti all'interno di una CER è un altro parametro che permette di distinguere ulteriormente le comunità. Tuttavia, a differenza dei parametri utilizzati precedentemente per categorizzare e distinguere le CER, quest'ultimo non è strettamente legato alle prestazioni di una comunità, siano esse di natura energetica, economica, sociale o ambientale, ed è per questo escluso dal processo di categorizzazione e dalle analisi che ne seguono.

4. LIVELLO I – IDENTIFICAZIONE E DEFINIZIONE DEI KPIs A SUPPORTO DELLA VALUTAZIONE DELLE CER

4.1 Identificazione dei KPIs

In questo capitolo vengono identificati dalla letteratura e definiti i KPIs e i parametri utili al monitoraggio e alla valutazione delle performance di una singola CER. In questa prima fase dell'analisi vengono quindi stabiliti gli strumenti e le metodologie di calcolo per lo studio delle prestazioni di una comunità, a prescindere dalla propria composizione, finalità e struttura giuridica.

La comunità scientifica sta progredendo nella comprensione delle sfide riguardanti le CER, in particolare nella progettazione tecnica, nell'integrazione delle politiche e dei sistemi legislativi, e nelle analisi economiche. Ad esempio, nello studio di Barabino et al. viene esaminata la letteratura sulle CER con lo scopo di determinare lo stato dell'arte della modellazione delle comunità [7]. Gli autori di questo lavoro si sono concentrati sull'inclusione e sulla descrizione dettagliata dei modelli di business e degli obiettivi principali delle CER, ottenendo risultati che evidenziano significative opportunità di ricerca all'intersezione tra progettazione tecnica, politica ed economica. Questo studio, inoltre, ha dimostrato che in letteratura è possibile notare un aumento significativo del numero di studi sulle CER. Nello specifico, risulta essere in forte crescita il numero di studi che coinvolgono i contesti socio-

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 14	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

economici, ambientali e geografici. Sul piano energetico, lo studio di Reis et al. [11] ha evidenziato la predominanza delle CER basate sull'autoconsumo locale dell'energia, mentre i modelli di business che coinvolgono aspetti come i servizi ancillari, l'efficientamento energetico, e lo sviluppo della mobilità elettrica non sono ancora ben sviluppati. Nel loro lavoro è stato sottolineato inoltre che la ricerca sui nuovi modelli di business deve essere rafforzata, poiché si prevede che questi modelli diventeranno cruciali per mantenere le CER come attori chiave nella transizione energetica e per sostenere l'evoluzione del quadro normativo. Nel lavoro di ricerca di Fouladvand et al. [12] è stato dimostrato che, sebbene il numero di pubblicazioni in questo settore sia cresciuto rapidamente negli ultimi tempi, l'attenzione si è concentrata in gran parte sulle sfide tecnologiche, con pochi articoli che affrontano le prospettive istituzionali, le politiche e le riforme dei prezzi dell'energia. I ricercatori hanno inoltre riscontrato che le regole e la gestione all'interno delle CER sono create principalmente sulla base del punto di vista dei consumatori e che i criteri di valutazione delle performance delle comunità sono spesso limitati agli aspetti economici ed energetici, trascurando altri aspetti importanti come l'inquinamento del suolo, la pianificazione territoriale, e l'impatto delle comunità sul territorio.

Da un punto di vista più generale, per ottenere risultati significativi e valutare l'impatto dei progetti CER, in letteratura vengono solitamente utilizzati approcci sistematici, come la creazione di modelli di valutazione che richiedono la definizione di metriche oggettive, dette KPIs [6]. I KPIs sono misure quantitative che esprimono le prestazioni di un fenomeno o di un'attività complessa in una forma numerica concisa, e che consentono il monitoraggio di tali prestazioni nel tempo. La selezione dei KPIs e delle variabili associate al loro calcolo dipende dagli aspetti specifici del fenomeno o dell'attività da enfatizzare, dagli obiettivi perseguiti e dalla disponibilità e quantità dei dati di cui si dispone. L'impatto dei progetti di CER è tendenzialmente misurato attraverso KPIs sociali, economici, ambientali ed energetici, con lo scopo di fornire una valutazione neutrale e oggettiva negli ambiti chiave in cui operano le comunità [13-19]. In alcuni casi, tali KPIs vengono utilizzati anche per analizzare aggregati di utenti diversi dalle comunità, come le smart grids [20-23] o gli smart districts [24,25].

I KPIs energetici ed economici sono solitamente impiegati nella valutazione dei progetti CER per supportare i gestori della comunità e gli stakeholder, andando a valutare aspetti come il dimensionamento degli impianti e l'ottimizzazione dei flussi energetici ed economici, quantificando l'impatto energetico ed economico delle comunità nel territorio [26-30]. Ad esempio, nel loro studio De Lotto et al. [31] hanno evidenziato le opportunità tecniche ed economiche relative allo scambio di energia tra le comunità con eccesso di energia prodotta, facendo uso di un elevato numero di KPIs energetici ed economici per evidenziare i punti di forza delle CER e gli eventuali ostacoli al loro sviluppo. Altri studi, come [32], hanno esteso la loro analisi per includere KPIs di carattere ambientale, mentre altri [33-37] hanno esaminato l'impatto sociale delle comunità sul territorio, concentrandosi su fattori come il coinvolgimento dei membri, la consapevolezza sociale e la povertà energetica.

In aggiunta agli aspetti menzionati in precedenza, in letteratura i KPIs energetici vengono utilizzati anche per valutare l'interazione tra la CER e la rete elettrica, spesso includendo la valutazione di servizi di flessibilità e di programmi di demand-response [38,39]. Ad esempio, lo studio condotto da Di Silvestre et al. [40] ha analizzato vari aspetti relativi all'interazione della CER con il sistema elettrico, evidenziando in particolare che alcune problematiche devono ancora essere affrontate per la completa integrazione delle comunità nel sistema elettrico. Altri ricercatori hanno utilizzato i KPIs basati sull'energia in modo diverso, ad esempio Mustika et al. [41] hanno utilizzato indicatori per analizzare l'espansione delle comunità energetiche esistenti, concentrandosi in particolare sui criteri di selezione dei nuovi membri da un pool di candidati. Come mostrato in precedenza, la letteratura sui KPIs per l'analisi delle CER è ampia e variegata. Tuttavia, è notevole l'assenza di una revisione sistematica che raccolga, categorizzi e descriva in modo rigoroso le metriche presenti in letteratura. In particolare, non esiste una rassegna completa che descriva in dettaglio l'applicabilità dei KPIs ai diversi stakeholder coinvolti nei progetti CER, come i policymakers, i membri delle CER, i fornitori di servizi e le agenzie nazionali. Inoltre, in letteratura manca una sintesi dei KPIs in base alle fasi del progetto CER, come la pianificazione, la gestione, il monitoraggio e l'implementazione [42], nonché in base all'ambito di utilizzo. Inoltre, non sembra esistere una nomenclatura di riferimento pienamente sviluppata e una definizione matematica di KPI nel contesto della letteratura sulle CER.

A valle di ciò, nel processo di identificazione e definizione dei KPIs si raccolgono dalla letteratura gli indicatori ritenuti più rilevanti in ambito energetico, economico, sociale ed ambientale, e si definiscono in funzione di una nomenclatura comune, con lo scopo di fornire una lista di indicatori in grado di fornire un quadro completo delle performance delle CER. Inoltre, gli indicatori scelti vengono classificati e categorizzati in funzione del loro utilizzo, del loro campo di applicazione e in base a chi sono rivolti, così da fornire una lista di KPIs che copra gli aspetti più rilevanti dello sviluppo e della gestione della comunità e che sia rivolto ad un numero ampio di attori.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 15	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

4.2 Sector Domain, Usage e Targets dei KPIs nel contesto delle CER

Il termine Sector Domain si riferisce alle aree specifiche in cui opera una CER. Da un'attenta analisi in letteratura emergono principalmente quattro diverse tipologie di Sector Domains: energetico, economico, ambientale e sociale [25,30,31,40]. Ciascuno ambito è definibile nel modo seguente:

- **Energetico** – Attività che comportano lo scambio di flussi di energia tra i membri delle CER o tra i membri ed utenti terzi, come l'immissione o il ritiro di energia dalla rete e l'autoconsumo fisico o virtuale;
- **Economico** – Attività che comportano lo scambio di flussi monetari tra utenti di CER o tra membri ed utenti terzi, come i costi di installazione dei sistemi di energia rinnovabile, i costi di manutenzione, i risparmi sulle bollette energetiche o i ricavi dalla vendita di energia alla rete;
- **Ambientale** – Attività volte a ridurre l'impatto ambientale dovute al consumo di energia, come la produzione di energia elettrica tramite impianti alimentati da energia rinnovabile o l'adozione e l'utilizzo di veicoli elettrici;
- **Sociale** – Attività che comprendono iniziative sociali volte ad aiutare e coinvolgere i membri della CER, come l'organizzazione di eventi per sensibilizzare i consumatori o l'approccio a temi sociali come la povertà energetica.

Parallelamente al concetto di Sector Domain, il termine Usage riferito ai KPIs identifica lo scopo per cui un indicatore viene impiegato. In letteratura i principali Usage associati all'impiego di KPIs sono:

- **Planning** – Attività che riguardano il processo di dimensionamento e creazione di una CER attraverso simulazioni e l'utilizzo di algoritmi di ottimizzazione basati su dati sintetici o reali che non si basano sul monitoraggio in tempo reale. Un esempio di attività legate a questo tipo di utilizzo è il dimensionamento degli impianti di generazione di energia e l'identificazione del tipo e del numero di utenti da coinvolgere nel progetto;
- **Operation** – Attività legate alla gestione e all'ottimizzazione dei processi reali che coinvolgono CER già costituite, con lo scopo di garantire la buona riuscita del progetto e migliorarne le prestazioni nel tempo;
- **Benchmarking** – Attività riguardanti il confronto delle prestazioni delle CER nei loro diversi ambiti, sia nei contesti di simulazione di comunità che in contesti di casi studio reali;
- **Monitoring** – Attività che includono l'osservazione e il controllo continuo dei processi e delle prestazioni all'interno delle CER per un determinato periodo di tempo, mantenendo specifici parametri ed indicatori costantemente sotto controllo.

Infine, si definiscono Targets nel contesto delle CER i soggetti ai quali sono destinati i KPIs. I Targets individuati in letteratura [43,44] sono:

- **Policymakers** – Funzionari governativi e autorità di regolamentazione responsabili della creazione e dell'attuazione di politiche, leggi e regolamenti che riguardano le CER. Il loro ruolo comprende la definizione di quadri giuridici che supportino la creazione e il funzionamento delle CER; la fornitura di incentivi, sussidi o sovvenzioni per promuovere i progetti di energia rinnovabile; la garanzia di conformità agli standard e agli obiettivi ambientali; la facilitazione della cooperazione tra i vari soggetti coinvolti nella diffusione delle energie rinnovabili [45, 46];
- **Stakeholders** – Individui o gruppi con un interesse ad una partecipazione nelle CER. Tra questi vi sono gli aggregatori, gli investitori e le istituzioni finanziarie che finanziano il progetto [47], le organizzazioni ambientaliste che promuovono pratiche sostenibili, le utility e i fornitori coinvolti nella distribuzione e nella gestione dell'energia [48];
- **CER Members** – Individui, famiglie, aziende o organizzazioni che configurano come membri effettivi di una CER. Il loro ruolo comprende il consumo, la produzione o lo stoccaggio di energia rinnovabile generata all'interno della comunità, l'opportunità di partecipare ai processi decisionali relativi alla CER e

alla condivisione dei benefici, come la riduzione dei costi energetici, e il contributo e il sostegno agli obiettivi di sostenibilità della comunità [49];

- **CER or CER Manager** – Entità o persona responsabile della gestione delle operazioni quotidiane delle CER. Le loro responsabilità comprendono la supervisione della produzione, della distribuzione e del consumo di energia rinnovabile all'interno della comunità, la garanzia di un funzionamento efficiente ed efficace dei sistemi di energia rinnovabile, la gestione o la delega di attività amministrative come la fatturazione, la manutenzione e l'assistenza ai clienti, la facilitazione della comunicazione e della collaborazione tra i membri della CER ed eventuali utenti terzi.

4.3 Flussi energetici e nomenclatura

Come sottolineato nelle sezioni precedenti, al fine di definire in modo univoco i KPIs, si ritiene necessario stabilire una nomenclatura comune, in particolare su alcuni dei flussi energetici all'interno della CER, che nell'ambito della letteratura si sono dimostrati essere quelli che tendenzialmente generano più ambiguità. Vengono quindi definiti e nominati i flussi energetici all'interno della comunità secondo quanto rappresentato in Figura 5.

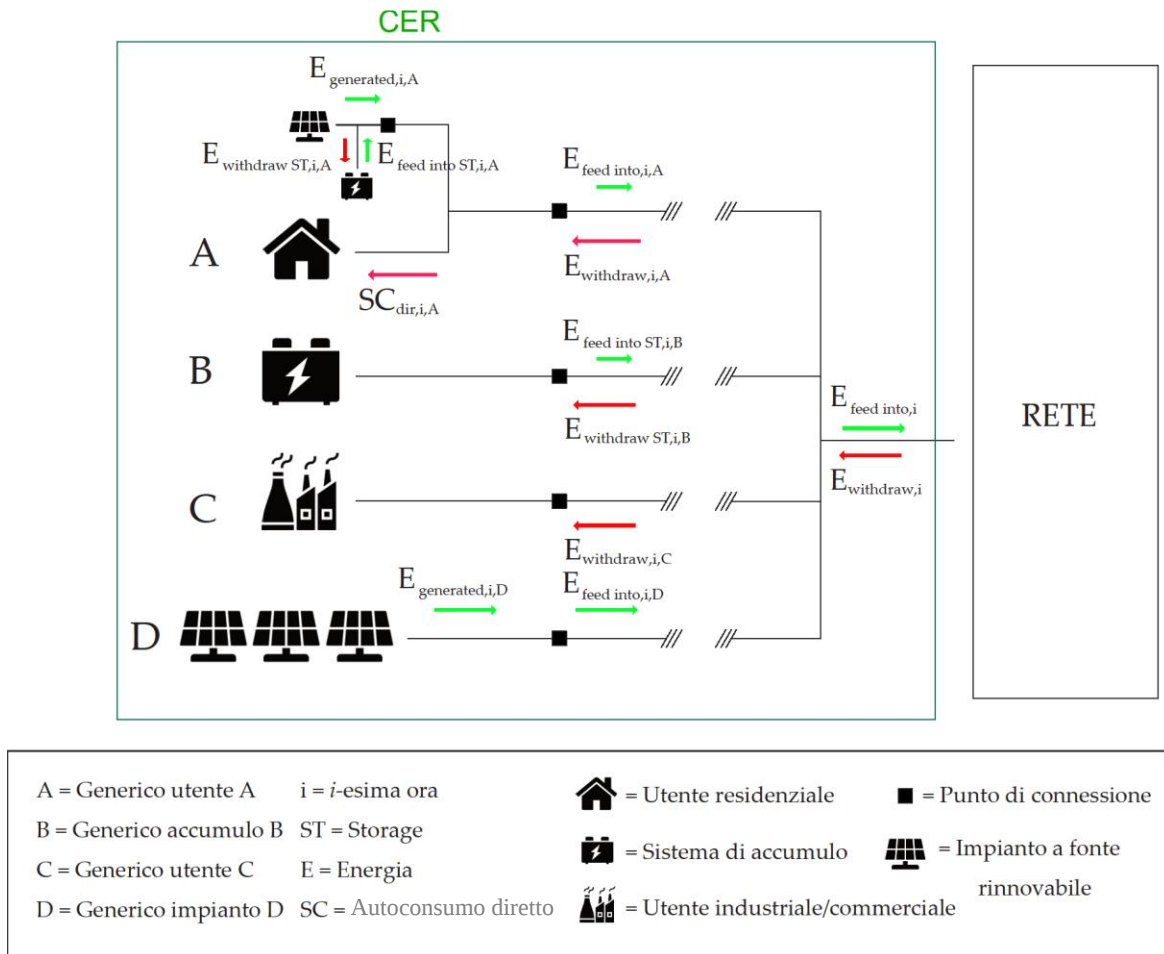


Figura 5 Schema dei principali flussi energetici di una CER.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 17	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

In Figura 5 è rappresentato lo schema semplificato di una CER. Lo scopo di questo schema è quello di visualizzare in modo univoco i principali flussi energetici all'interno della comunità, la cui nomenclatura, definizione e descrizione sono sintetizzate in Tabella 1.

Tabella 1 Flussi energetici principali all'interno di una CER.

Flusso Energetico	Nomenclatura	Unità di misura	Descrizione
Energia elettrica prodotta dagli impianti all'interno della CER	$E_{generated}$	[kWh]	Energia elettrica prodotta complessivamente dagli impianti alimentati da fonte rinnovabile afferenti alla CER.
Energia elettrica immessa in rete dagli impianti all'interno CER	$E_{feed\ into}$	[kWh]	Energia immessa in rete dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili afferenti alla CER.
Consumo elettrico Totale della CER	E_{demand}	[kWh]	Somma dell'energia autoconsumata direttamente + energia prelevata da rete dalle utenze della CER.
Energia elettrica prelevata dalla rete dalle utenze all'interno della CER	$E_{withdraw}$	[kWh]	Somma dell'energia prelevata dalla rete dalle utenze della CER.
Energia elettrica autoconsumata direttamente (fisicamente) all'interno della CER	SC_{dir}	[kWh]	Energia prodotta ed autoconsumata direttamente dalle utenze all'interno della CER.
Energia accumulata dagli storage all'interno della CER	$E_{withdraw,ST}$	[kWh]	Energia accumulata dagli accumuli all'interno della CER.
Energia immessa in rete dagli storage all'interno della CER	$E_{feed\ into,ST}$	[kWh]	Energia immessa in rete dagli accumuli all'interno della CER.

Oltre alla definizione dei principali flussi energetici nella CER, si ritiene inoltre necessario definire degli ulteriori parametri energetici (non direttamente rappresentati in Figura 5) che si riveleranno essere utili allo sviluppo e al calcolo di alcuni dei KPIs scelti. Vengono quindi definiti alcuni parametri energetici relativi al singolo membro della comunità e al concetto di simultaneità tra produzione e consumo all'interno della CER, sintetizzati in Tabella 2.

Tabella 2 Parametri energetici aggiuntivi utili allo sviluppo e al calcolo dei KPIs.

Parametro	Nomenclatura	Unità di misura	Descrizione
Consumo elettrico di un singolo utente	U_{demand}	[kWh]	Somma dell'energia autoconsumata direttamente e prelevata da rete da un utente all'interno della CER.
Consumo elettrico di un singolo utente a cui è associato un sistema di accumulo	$U_{demand,ST}$	[kWh]	Somma dell'energia autoconsumata direttamente e prelevata da rete da un utente all'interno della CER provvisto di sistemi di accumulo.
Energia prodotta da un singolo utente	$U_{generated}$	[kWh]	Energia prodotta dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili di un utente all'interno della CER.
Energia immessa in rete da un singolo utente	$U_{feed\ into}$	[kWh]	Energia immessa in rete dagli impianti alimentati da fonti rinnovabili di un utente all'interno della CER.
Energia prelevata dalla rete da un singolo utente	$U_{withdraw}$	[kWh]	Energia prelevata da rete da parte di un utente all'interno della CER.

I parametri relativi al concetto di simultaneità tra produzione e consumo all'interno della CER hanno lo scopo di esprimere la sinergia tra gli impianti e i membri della comunità. Il consumo elettrico totale della CER sincrono alla produzione degli impianti (E_{demand}^*) rappresenta la quota di autoconsumo diretto e prelievo da rete dei membri della comunità che sono contemporanei alla produzione degli impianti afferenti alla CER, come schematizzato in Figura 6.

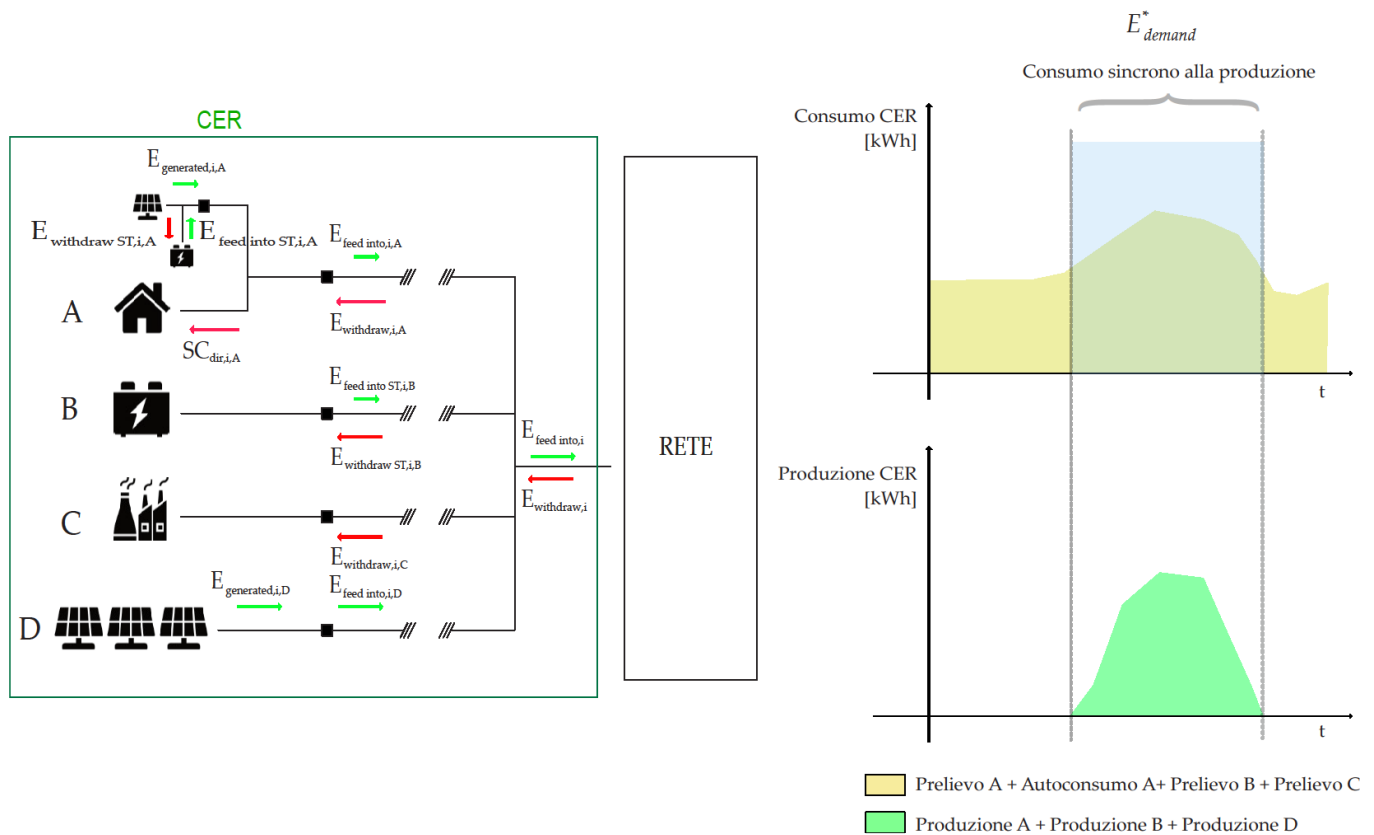


Figura 6 Sincronia tra consumo totale e produzione all'interno della CER.

Come mostrato in figura, la quota di consumo elettrico della comunità sincrona alla produzione è la parte di consumo dell'aggregato (Utente A, B e C) che è contemporanea alla produzione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili (Impianto A, B e D). Analogamente, l'energia elettrica prelevata dalla rete da parte delle utenze all'interno della CER sincrona all'immissione in rete ($E_{withdraw}^*$) rappresenta la quota di energia dei prelievi da rete della CER contemporanea all'immissione in rete degli impianti afferenti alla comunità, come schematizzato in Figura 7.

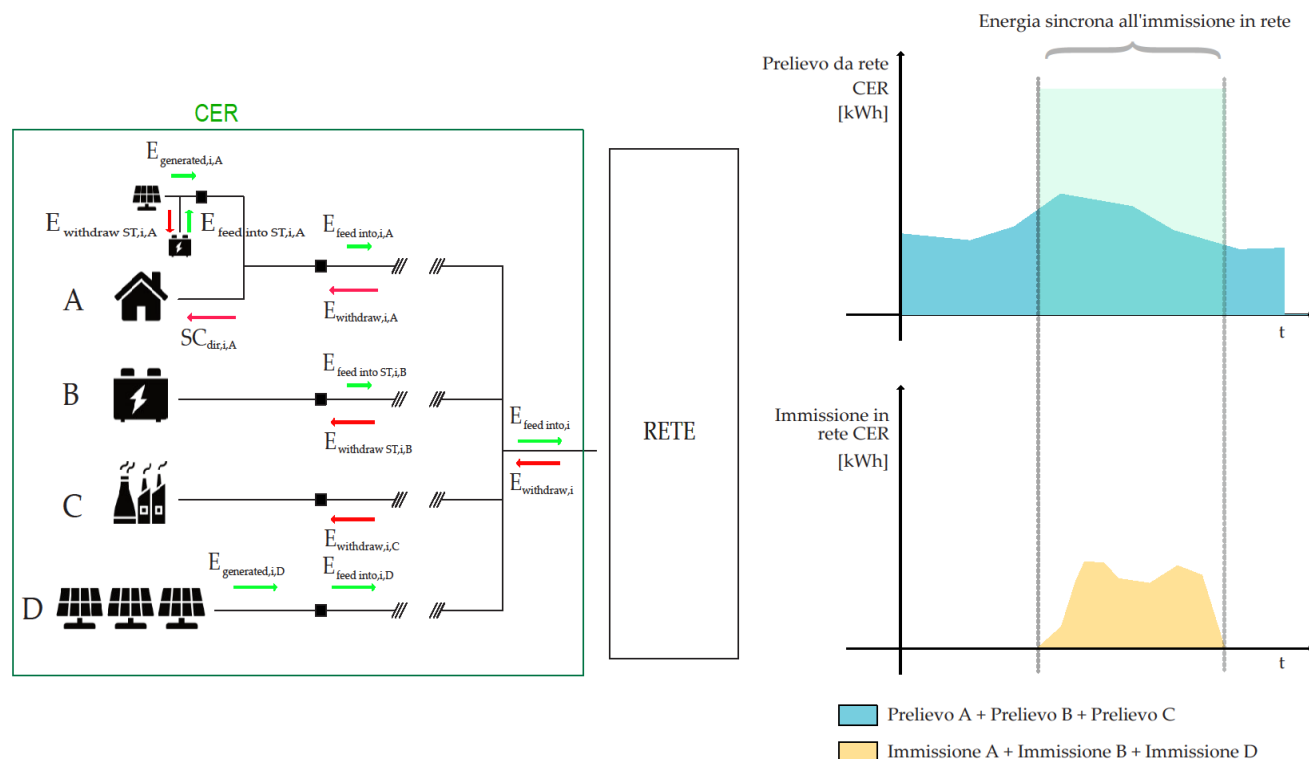


Figura 7 Sincronia tra energia elettrica immessa e prelevata all'interno della CER.

La quota di energia prelevata da rete dalla CER (Utente A, B e C) sincrona all'immissione in rete degli impianti (Impianto A, B e D) è la parte di energia prelevata da rete delimitata dalla curva di immissione. Analogamente a quanto visto per la CER, il Consumo elettrico e il prelievo del singolo utente sincroni alla produzione e all'immissione in rete (U_{demand}^* e $U_{withdraw}^*$) corrispondono alle quote di consumo elettrico e prelievo delimitate dalle curve di produzione ed immissione del singolo utente.

4.4 Volumi di controllo e perimetro dell'analisi

In questa sezione, vengono definiti i perimetri dell'analisi per il calcolo e la valutazione dei KPIs relativi all'analisi delle performance della CER. Tale operazione è necessaria al fine di evitare le eventuali ambiguità interpretative e di calcolo che potrebbero sorgere. A titolo esemplificativo, come si evince dalla letteratura, alcuni KPIs possono essere calcolati utilizzando perimetri di calcolo estesi [6-8] che comprendono sia i flussi energetici scambiati tra singoli membri che quelli scambiati tra la CER e la rete, o perimetri più ristretti, mirati ad esempio alla valutazione di alcune caratteristiche dei singoli utenti o ai soli rapporti di scambio tra comunità e rete elettrica [14]. Si definisce quindi "Volume di Controllo" (VC) una porzione fisica dello spazio che identifica una cornice analitica per lo studio di scambi di massa ed energia di sistemi aperti o chiusi. Tale regione dello spazio è scelta strategicamente in modo da monitorare i flussi e i parametri rilevanti per l'analisi di uno specifico processo. Secondo questa definizione, si individuano tre volumi di controllo distinti entro i quali è possibile calcolare i KPIs utili studio delle performance di una CER (in inglese REC), schematizzati in Figura 8:

- **CER Members** – volume di controllo comprendente separatamente i singoli utenti all'interno della comunità (Figura 8a);
- **CER** – volume di controllo che racchiude l'intera comunità (Figura 8b);
- **CER-to-Grid** – volume di controllo che mette in relazione la CER e la rete elettrica (Figura 8c).

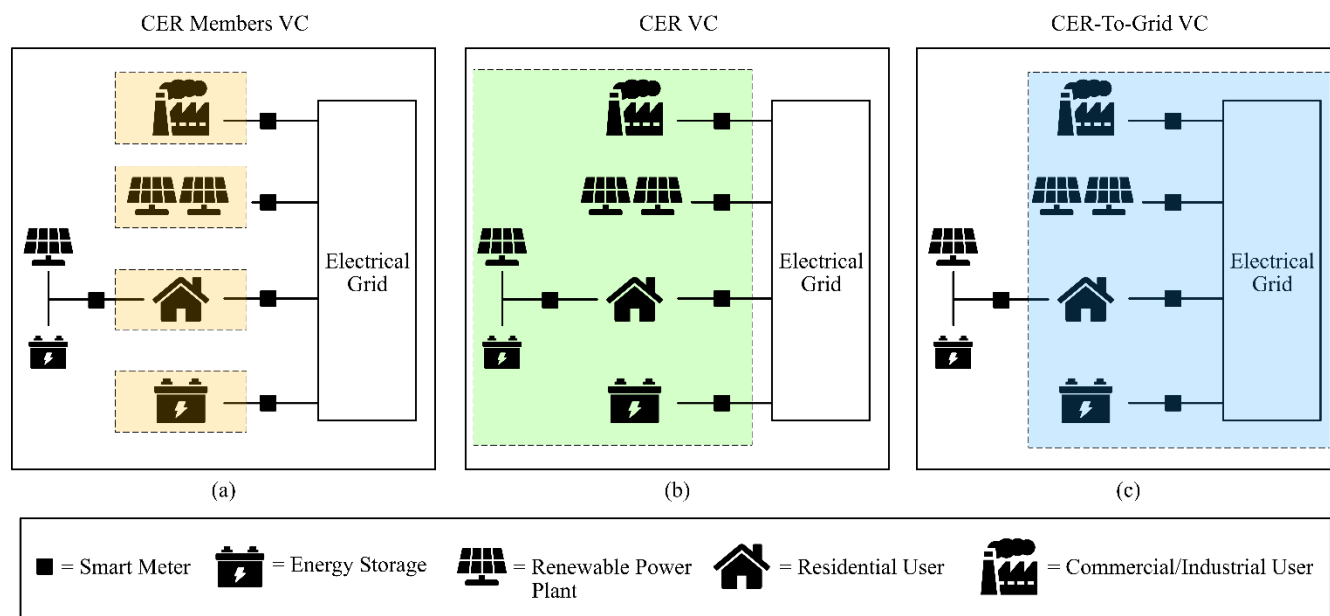


Figura 8 Volumi di controllo per il calcolo dei KPIs utili all'analisi delle CER.

Il volume di controllo “**CER Members**” contiene al suo interno tutte le informazioni relative ai membri della comunità. Questo perimetro è rappresentativo di tutti quegli indicatori che sono descrittivi dei membri, focalizzandosi sull'analisi del loro comportamento e delle loro caratteristiche. Il volume di controllo “**CER**” è il più ampio e prende in considerazione tutti i flussi scambiati e le informazioni all'interno della comunità. Tramite questo VC è possibile quantificare i KPIs più complessi (es. rate di autoconsumo e di autosufficienza), che richiedono la conoscenza di molte informazioni, spesso relative sia ai singoli utenti che alle caratteristiche della CER. Diversamente, il volume di controllo “**CER-to-Grid**” permette di effettuare delle valutazioni relative al rapporto tra la rete e la comunità. Tale VC non comprende i flussi scambiati e le informazioni relative ai singoli membri, ma comprende i flussi scambiati tra la CER e la rete elettrica (es. Energia prelevata dalla CER). La scelta del volume di controllo per il calcolo degli indicatori è fortemente dipendente dalle caratteristiche di ogni singolo KPI e da ciò che esso esprime. Oltre ad essere un modo rapido ed efficace per capire l'entità dei dati necessaria per il calcolo degli indicatori, il volume di controllo identifica, seppur in modo sommario e qualitativo, l'origine dei dati. In aggiunta, la codifica dei KPIs tramite il loro volume di controllo permette di distinguere immediatamente gli indicatori generici (o di sistema) da quelli più specifici, come ad esempio gli indicatori descrittivi di specifici scambi tra la comunità e la rete, o tra la comunità e i propri membri.

4.5 Definizione dei KPIs

In questa sezione vengono selezionati e definiti i KPIs più rilevanti presenti in letteratura per lo studio delle performance della singola CER. Come detto nelle sezioni precedenti, gli indicatori selezionati vengono catalogati in funzione del loro nome, formulazione matematica, ambito (Sector Domain), utilizzo (Usage), volume di controllo, e in relazione a chi sono rivolti (Targets), come rappresentato in Tabella 3.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 21 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------------

Tabella 3 KPIs selezionati dalla letteratura per l'analisi delle performance di una singola CER.

KPI	Sector Domain	Formula	Definizione	Usage	Target	Volume di Controllo	Reference Paper
Shared Energy (SE)	Energetico	$SE = \min(E_{withdrawn}, E_{feed\ into})$	Valore minimo, in ogni time step, tra l'energia prelevata da rete ($E_{withdrawn}$) e quella immessa in rete ($E_{feed\ into}$) (kWh).	Planning, Monitoring	CER, Policymakers, Stakeholders	CER-To-Grid	[8]
Self – Consumption Rate (SCR)	Energetico	$SCR = \frac{\sum_{t=1}^T (SC_{dir,t} + SE_t)}{\sum_{t=1}^T E_{generated,t}}$	Rapporto tra l'energia elettrica autoconsumata direttamente (SC_{dir}) più la Shared Energy (SE) e l'energia elettrica prodotta ($E_{generated}$) all'interno della CER (%). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Planning, Monitoring, Benchmarking	CER, Policymakers, Stakeholders	CER	[32,39]
Self – Sufficiency Rate (SSR)	Energetico	$SSR = \frac{\sum_{t=1}^T (SC_{dir,t} + SE_t)}{\sum_{t=1}^T E_{demand,t}}$	Rapporto tra l'energia elettrica autoconsumata direttamente (SC_{dir}) più la Shared Energy (SE) e la domanda di energia elettrica della CER (E_{demand}) (%). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Planning, Monitoring, Benchmarking	CER, Policymakers, Stakeholders	CER	[32,39]
Electrical Self – Production Rate (ESP)	Energetico	$ESP = \frac{\sum_{t=1}^T E_{generated,t}}{\sum_{t=1}^T E_{demand,t}}$	Rapporto tra l'energia elettrica prodotta dalla CER ($E_{generated}$) e la domanda di energia della comunità (E_{demand}) (%). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Planning, Monitoring, Benchmarking	CER, Policymakers, Stakeholders	CER	[5]
Grid Energy Interaction Factor (GEIF)	Energetico	$GEIF = \frac{\sum_{t=1}^T (E_{withdrawn,t} + E_{feed\ into,t})}{\sum_{t=1}^T E_{demand,t}}$	Rapporto tra l'energia elettrica prelevata da rete ($E_{withdrawn}$) più l'energia elettrica immessa in rete ($E_{feed\ into}$) e la domanda di energia elettrica della CER (E_{demand}) (%). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Operation, Monitoring	CER, Policymakers	CER	[50]
Energy Storage Opportunity (ESO)	Energetico	$ESO = \sum_{t=1}^T \max(0, \min(E_{REC\ sur,t}, E_{REC\ def,t}) - E_{REC\ storage,t})$	Quantifica la necessità di installazione di energy storage all'interno della CER in relazione al surplus di energia elettrica ($E_{REC\ sur,t}$), al deficit di energia elettrica ($E_{REC\ def,t}$), e l'energia caricata o scaricata dagli energy storage già presenti in comunità ($E_{REC\ storage,t}$) (kWh).	Operation	CER, Stakeholders	CER	[41]

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 22	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

Flexibility Activated (FA)	Energetico	$FA = \sum_{t=1}^T E_{flex,t}$	Energia annuale usata all'intero della CER per fornire servizi di flessibilità ($E_{flex,t}$) (kWh). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Monitoring	CER, Policymakers	CER-To-Grid	[39]
Payback Time (PBT)	Economico	$PBT = \frac{C_0}{Inc_y - Exp_y}$	Periodo richiesto per uguagliare i ricavi generati dalla CER agli investimenti iniziali (y). I ricavi e le spese annuali devono essere attualizzati utilizzando un opportuno tasso di sconto.	Planning	CER, CER Members, Stakeholders	CER	-
Energy Bills Reduction (EBR)	Economico	$EBR = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T C_{bill,ex-REC,t}}{\sum_{t=1}^T C_{bill,REC,t}}$	Rapporto tra i costi dovuti all'approvvigionamento di energia prima della creazione della CER ($C_{bill,ex-REC}$) e dopo la sua realizzazione ($C_{bill,REC}$). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Monitoring, Benchmarking	CER Members	CER Members	[39]
Levelized Cost of Energy Consumed (LCOEC)	Economico	$LCOEC = \frac{\sum_{n=1}^N \frac{I_n + M_n}{(1+a)^n}}{\sum_{n=1}^N \frac{E_n}{(1+a)^n}}$	Si riferisce al costo medio per unità di energia consumata dalla comunità in una determinate finestra temporale di lunghezza N (€/kWh). Questo indicatore comprende al suo interno i costi capitali, i costi operativi e di manutenzione.	Planning, Benchmarking	CER, Stakeholders	CER	-
Share of Individual Savings (SIS)	Economico	$SIS = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - P_i^*)}{\sum_{i=1}^N P_i}$	Percentuali di ricavi sviluppata da un singolo prosumer o consumer all'interno della CER per aver scambiato e acquistato energia con gli altri utenti della comunità (P_i), rispetto a quanto avrebbe speso in assenza della comunità (P_i^*) (%).	Operation, Monitoring	CER, CER Members	CER Members	[51]
Community Share of Market Savings (CSMS)	Economico	$CSMS = \frac{\sum_{i=1}^N (P_{DSO,i} - P_{DSO,i}^*)}{\sum_{i=1}^N P_{DSO,i}}$	Somma dei ricavi sviluppata da ogni singolo agente locale (DSO) all'interno della CER per effetto dello scambio e acquisto di energia nella CER (P_{DSO}) rispetto a quanto avrebbe speso in assenza della comunità (P_{DSO}^*) (%).	Operation, Monitoring	CER, CER Members	CER Members	[51]
Revenues from Flexibility (RF)	Economico	$R_{flex} = \sum_{t=1}^T p_{flex,t} * E_{flex,t}$	Rappresenta i ricavi generati dalla messa in atto di servizi ancillari di flessibilità (€). $p_{flex,t}$ è il costo unitario espresso in €/kWh _{flex} e $E_{flex,t}$ è l'energia utilizzata nel timestep t ai fini della flessibilità, comprensivo sia della quota per	Monitoring	CER, CER Members, Policymakers	CER-To-Grid	-

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 23	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

Internal Rate of Return (IRR)	Economico	$0 = NPV = -CAPEX + \sum_{i=1}^N \frac{CF_i}{(1 - IRR)^n}$	messa in disponibilità che per quella di attivazione. Rappresenta il discount rate per il quale il net present value (NPV), relativo a tutti i flussi di cassa (CF_i), si annulla.	Planning	CER; CER Members, Stakeholders	CER	-
Environmental Impact (ENVI)	Ambientale	$ENVI = \frac{\sum_{t=1}^T X_{poll,REC,t}}{\sum_{t=1}^T X_{poll,ex-REC,t}}$	Impatto ambientale in termini di tonnellate annue di uno specifico inquinante X (X_{poll}) evitate per effetto della realizzazione della CER (%). T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Planning, Monitoring, Benchmarking	CER, Policymakers	CER	[32,39]
Low carbon Public Transportation Vehicles deployment rate (LPTV)	Ambientale	$LPTV = \frac{N_{LPTV}}{N_{REC\ public\ vehicles}}$	Quantificazione dell'adozione di veicoli a basso impatto emissivo per il trasporto pubblico all'interno della CER (%), dove $N_{REC\ public\ vehicles}$ è la somma di tutti i veicoli per il trasporto pubblico in comunità, e N_{LPTV} è il numero di veicoli a basso impatto emissivo utilizzati.	Monitoring, Benchmarking	CER, CER Members, Policymakers	CER	[39]
Use of Land (UoL)	Ambientale	$UoL = \sum_{i=1}^I A_{no\ more\ avail,i}$	Area non più utilizzabile per l'agricoltura o la cura della biodiversità per via della realizzazione della CER e delle sue attività (m2). $A_{no\ more\ avail,i}$ è la i-esima superficie della comunità non più utilizzabile, e I è il numero totale di aree non più utilizzabili.	Planning, Monitoring	CER, Policymakers	CER	[39]
GHG Emissions (GHGE)	Ambientale	$GHGE = \sum_{i=1}^T (CO2_{eq,prod,t} + CO2_{eq,oper,t} + CO2_{eq,trans,t})$	Emissioni di GHG (carbon footprint) nella comunità (kg of CO2-eq.) espresso come la somma delle emissioni di CO2 dovute alla produzione di energia ($CO2_{eq,prod}$), alle attività operative ($CO2_{eq,oper}$) e alla trasmissione dell'energia ($CO2_{eq,trans}$) all'interno della CER. T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Operation, Monitoring	CER, Policymakers	CER	[52,53]
Social Energy Empowerment (SEE)	Sociale	$SEE = \frac{N_{resp,REC}}{N_{REC}}$	Percentuale della popolazione facente parte la CER che si ritiene conscia e responsabile ($N_{resp,REC}$) del proprio consumo energetico (%).	Monitoring	CER Members	CER	[39,54]

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. di 24 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------------

Social Business Development (SBD)	Sociale	$SBD = B_{EP} + B_{FP}$	Numero di business e attività a carattere sociale sviluppati all'interno della CER, incluse le attività relative alla povertà energetica (B_{EP}) e alla fuel poverty (B_{FP}).	Monitoring	CER, CER Members	CER	[39,54]
Energy Poverty Help (EPH)	Sociale	$EPH = \frac{REC_{Inc}}{MUC * Bp_{grid}}$	Rapporto tra i ricavi della CER (REC_{Inc}) e il consumo medio di un singolo utente all'interno della CER (MUC) moltiplicato per il proprio prezzo medio di acquisto dell'energia da rete (Bp_{grid}). Questo indicatore rappresenta quanti utenti della CER potrebbero essere aiutati se in condizioni di povertà energetica.	Monitoring, Benchmarking	CER, CER Members	CER	[55]
Open Data Access (ODA)	Sociale	$ODA = \frac{REC_{open\ data}}{REC_{data}}$	Percentuale di dati anonimizzati monitorati all'interno della CER che sono pubblicamente accessibili attraverso API ($REC_{open\ data}$), rispetto ai dati complessivamente raccolti all'interno della comunità (REC_{data}) (%).	Monitoring, Benchmarking	CER, CER Members, Policymakers	CER	[39]
Local Data Governance (LDG)	Sociale	$LDG = Yes/No$	Indica se è stato istituito un comitato di cittadini e stakeholder (industriali, accademici, esperti sociali, ecc.) per lavorare su diversi aspetti relativi alla raccolta dei dati (accordi di condivisione, accordi di monitoraggio, supporto GDPR, trasparenza, ecc.)	Planning	CER, CER Members, Stakeholders	CER	[39]
Local Representation (LR)	Sociale	$LR = \frac{N_{rep,REC}}{N_{REC}}$	Valuta la rappresentatività delle persone in relazione a coloro che costituiscono il team di governance locale della CER (%). $N_{rep,REC}$ è il numero di membri della CER che si sentono rappresentati dal team di governance, mentre N_{REC} è il numero totale di membri della CER.	Monitoring, Benchmarking	CER, CER Members	CER	[39]

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 25	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

I 24 KPI descritti in Tabella 3 sono suddivisi in 7 indicatori energetici, 7 economici, 4 ambientali e 6 sociali. Le categorie di indicatori energetici ed economici presentano il maggior numero di KPIs, a testimonianza della loro importanza nella valutazione dei vari aspetti nel contesto delle CER. I KPIs selezionati per la categoria energia includono quelli che descrivono il comportamento energetico della comunità (come il Self-Consumption Rate, il Self-Sufficiency Rate, e l'Electrical Self-Production Rate), quelli che quantificano gli scambi tra la CER e la rete elettrica (Grid Energy Interaction Factor) e quelli che valutano l'integrazione dei sistemi di accumulo di energia (Batteries Integration) e dei servizi ancillari di flessibilità (Flexibility Activated). Si precisa inoltre che gli indicatori Self-Consumption Rate e Self-Sufficiency Rate sono stati modificati rispetto alle loro formulazioni matematiche più diffuse in letteratura. Nello specifico, al numeratore è stata aggiunta la quota relativa all'energia condivisa, in quanto ritenuta una componente essenziale per la valutazione delle prestazioni energetiche della CER, soprattutto per strutture regolamentari incentrate sulla valorizzazione della condivisione dell'energia, come ad esempio quella italiana.

Nella categoria di indicatori economici, i KPIs selezionati evidenziano vari aspetti come la fattibilità del progetto (Net Present Value e Internal Rate of Return), l'impatto sul mercato locale (Share of Individual Savings e Community Share of Market Savings), i ricavi da servizi ancillari di flessibilità (Revenues from Flexibility) e la riduzione dei costi dell'energia per i membri della CER (Energy Bills Reduction). Dalla letteratura non sono stati selezionati KPI come l'Annual Energy Cashflow, il Capital Expenditure, e l'Economic Sustainability Factor, perché sono elementi necessari per calcolare KPIs più generali come l'NPV (Net Present Value), che forniscono indicazioni più significative sulla fattibilità del progetto di CER.

Per gli indicatori ambientali, sono stati selezionati dalla letteratura quattro KPIs che quantificano l'impatto ambientale complessivo della CER, tra cui l'uso del suolo (Use of Land), le emissioni inquinanti (GHG Emissions e Environmental Impact) e le riduzioni delle emissioni derivanti dall'integrazione dei veicoli elettrici o a basso impatto ambientale (Low Carbon Public Transportation Vehicles Deployment Rate). KPIs di letteratura come il Noise Pollution Reduction, il Rare Earth Element Consumption, e il Biodiversity Impact sono stati esclusi perché forniscono informazioni molto specifiche, e risultano quindi meno rilevanti per le valutazioni ambientali delle CER di tipo più generale.

Infine, i KPIs sociali selezionati sono quelli utilizzati per quantificare l'impatto delle CER sulla popolazione locale, sulla consapevolezza del ruolo dei membri e dei benefici che può garantire la comunità (come Energy Poverty Help, il Local Representation, il Social Energy Empowerment e il Social Businesses Development). In aggiunta a questi, sono stati selezionati dalla letteratura anche indicatori che affrontano l'aspetto critico del monitoraggio e della disponibilità dei dati nel tempo, ovvero gli indicatori Open Data Access e Local Data Governance.

4.6 KPIs aggiuntivi a supporto dell'analisi delle performance delle CER

In questa sezione si ritiene opportuno definire dei KPIs aggiuntivi a supporto dell'analisi delle performance delle CER che analizzano alcuni aspetti ritenuti rilevanti che non vengono esplicitamente esplorati dai KPIs raccolti dalla letteratura. Tali indicatori sono rappresentati in Tabella 4.

Tabella 4 KPIs aggiuntivi per l'analisi delle performance di una singola CER.

KPI	Sector Domain	Formula	Definizione	Usage	Target	Volume di Controllo
Synchronization Coefficient (SYC)	Energetico	$SYC = \frac{\sum_{t=1}^T E_{withdrawn}^*}{\sum_{t=1}^T E_{withdrawn}}$	Rapporto tra la sommatoria del prelievo da rete su base oraria contemporaneo all'immissione in rete degli impianti afferenti alla CER ($E_{withdrawn}^*$), e la sommatoria del prelievo da rete dell'intero aggregato (%). Lo scopo di tale indicatore è quello di quantificare la simultaneità tra l'immissione in rete degli impianti ed il prelievo della comunità. T rappresenta l'estensione temporale in cui l'indicatore viene calcolato.	Planning, Operation, Monitoring	CER, CER Members, Stakeholders	CER
Storage Self Consumption Rate (SSCR)	Energetico	$SSCR = \frac{E_{storage,SC}}{E_{withdraw,ST}}$	Quantifica, in termini percentuali, la quantità di energia accumulata dagli storage presenti nella CER ($E_{withdrawn,ST}$) che viene utilizzata successivamente per l'autoconsumo diretto ($E_{storage,SC}$) (%). Tale indicatore definisce quanto efficientemente vengono utilizzati i sistemi di accumulo all'interno della comunità ai fini di massimizzare l'autoconsumo diretto.	Operation, Monitoring	CER, CER Members	CER
Storage Self Sufficiency Rate (SSSR)	Energetico	$SSSR = \frac{E_{storage,SS}}{E_{withdrawn,ST}}$	Indica, in termini percentuali, quanta energia accumulata negli storage ($E_{withdrawn,ST}$) viene utilizzata per aumentare l'energia condivisa all'interno della CER (%).	Operation, Monitoring	CER, CER Members	CER
Net Shared Energy Unit Cost (NSEC)	Economico	$NSEC = \frac{\epsilon_{CER,y}^*}{E_{withdraw}}$	Rappresenta la valorizzazione dell'energia condivisa, al netto delle spese di gestione della CER, rispetto al prelievo da rete della comunità (€/kWh). Tale indicatore permette di quantificare gli introiti dovuti all'incentivazione e valorizzazione dell'energia condivisa della CER in relazione al proprio prelievo da rete.	Operation, Monitoring	CER, CER Members, Stakeholders	CER-to-Grid

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 27	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

Gli indicatori presentati nella Tabella 4 offrono un'ulteriore dimensione di analisi rispetto a quelli della Tabella 3. Mentre i KPIs della Tabella 3 forniscono un'analisi complessiva delle performance della CER, quelli di Tabella 4 introducono metriche specifiche, nell'ambito energetico ed economico, per migliorare l'ottimizzazione operativa e la gestione interna della comunità. Ad esempio, il Synchronization Coefficient quantifica in modo più diretto, rispetto agli indicatori precedenti, quanto è sincrona l'energia prodotta dagli impianti all'interno della CER rispetto alla quota di energia consumata. Tramite questo indicatore si può più facilmente individuare la quota di energia prodotta che non è valorizzata in termini di autoconsumo diretto o virtuale (Shared Energy) ed è quindi più agevole identificare le aree di miglioramento relative all'uso ottimale dei flussi energetici di comunità. KPIs come lo Storage Self Consumption Rate e lo Storage Self Sufficiency Rate forniscono informazioni sull'utilizzo degli storage all'interno della comunità, elemento cruciale per una corretta gestione dei flussi energetici. I due indicatori quantificano, rispettivamente, quanta energia accumulata dagli storage viene utilizzata per incrementare l'autoconsumo diretto e la condivisione dell'energia (Shared Energy) all'interno della comunità, rispetto all'energia che essi immagazzinano dagli impianti di produzione. Alla luce del nuovo quadro normativo che regola l'utilizzo degli accumuli nelle CER, e in condizioni in cui i sistemi di accumulo non sono autorizzati alla compravendita di energia elettrica da rete, gli indicatori risultano essere l'uno il complementare dell'altro. In questo contesto, gli indicatori quantificano qual è la logica prioritaria con il quale i sistemi di gestione degli accumuli di comunità vengono governati. Ad esempio, in casi di elevato Storage Self Consumption, emerge che in comunità i sistemi di gestione degli accumuli di energia favoriscono di più l'autoconsumo diretto a discapito della condivisione dell'energia. Invece, nelle condizioni in cui i sistemi di accumulo risultassero abilitati alla compravendita dell'energia, gli indicatori possono essere utilizzati come metriche per quantificare l'impatto della compravendita da rete rispetto all'autoconsumo e la condivisione dell'energia. Ad esempio, per valori bassi di entrambi gli indicatori, la compravendita dell'energia risulterebbe prioritaria nelle logiche di gestione dei sistemi di accumulo. Infine, l'indicatore economico Net Shared Energy Unit Cost (NSEC) fornisce una valutazione dettagliata del costo unitario dell'energia condivisa, al netto delle spese di gestione della comunità. Questo KPI permette di analizzare in modo preciso non solo il valore economico generato dalla condivisione dell'energia all'interno della CER, ma permette anche di confrontarlo con il costo dell'energia prelevata dalla rete. In questo modo, è possibile comprendere quanto la gestione interna e l'ottimizzazione dei flussi energetici mirati alla condivisione dell'energia incidano sul costo complessivo dell'approvvigionamento energetico per i membri della comunità. L'NSEC risulta essere quindi uno strumento utile per misurare l'efficacia economica della CER e il suo potenziale di riduzione dei costi per i propri membri.

5. RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI

Il processo di raccolta ed elaborazione dati rappresenta la base essenziale per valutare le prestazioni di una comunità energetica attraverso i KPIs e gli indicatori definiti nei vari livelli dell'analisi. In particolare, acquisire le serie storiche del consumo elettrico e delle curve di produzione per un periodo di tempo abbastanza lungo (ad esempio due mesi) è indispensabile per ottenere un'analisi energetica significativa. Inoltre, i dati raccolti devono essere per quanto possibile privi di anomalie e valori mancanti, in quanto la presenza di outliers o assenza di dati, potrebbe condizionare i risultati riducendone l'affidabilità e l'accuratezza. Tali elementi sono spesso riconducibili a fenomeni che impediscono il corretto rilevamento dei dati, come ad esempio:

- Il malfunzionamento o rottura dei sistemi di rilevazione o trasmissione del dato;
- L'interruzione della rilevazione del dato per interventi di manutenzione;
- Errori di campionamento da parte dei sistemi di rilevazione dei dati.

Il processo di raccolta dei dati può avvenire su diverse scale temporali in funzione della tipologia di utenti e delle loro apparecchiature di misura. In generale, in presenza di dati mancanti o anomali, anche se in quota minoritaria, è possibile migliorare la qualità dei dati a disposizione attraverso l'utilizzo di algoritmi di analisi dati, come ad esempio algoritmi di pre-processing ed analisi statistica. A titolo esemplificativo, il processo di raccolta ed elaborazione dati nel contesto dell'analisi prestazionale delle CER riguardante i flussi energetici di consumo e produzione, può essere eseguito come rappresentato in Figura 9.

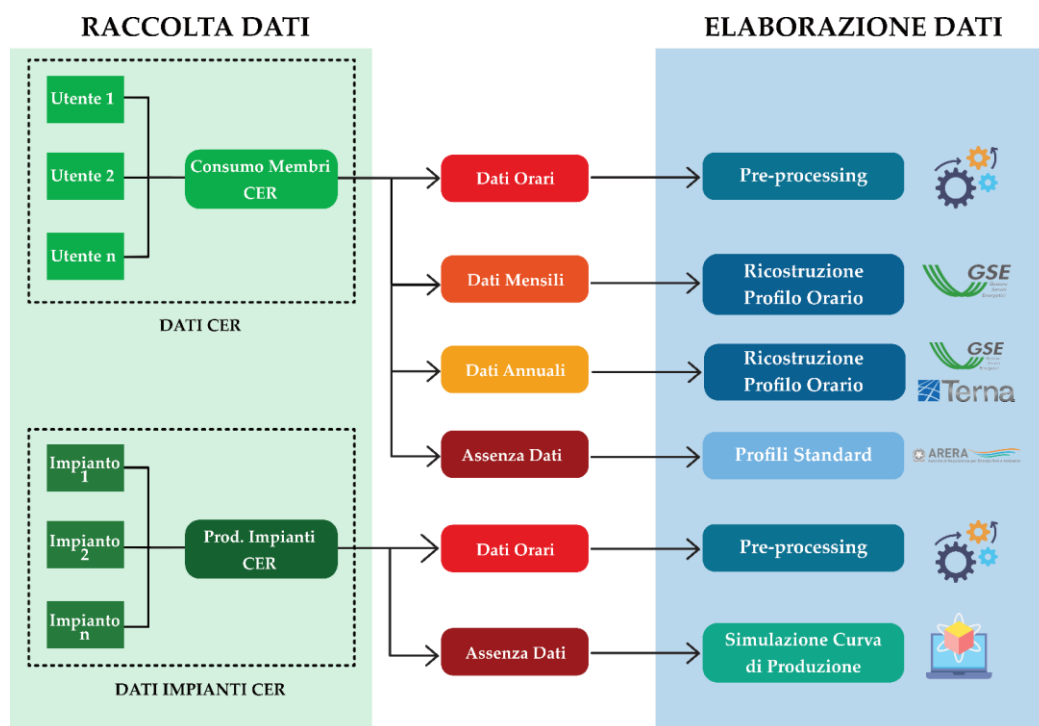


Figura 9 Schema logico del processo di raccolta ed elaborazione dati.

Come rappresentato in figura, il processo è generalmente divisibile in due fasi:

- **Data collection (Raccolta dati):** campionamento del consumo elettrico dei membri della CER su scala quattoraria, oraria, mensile o annuale;
- **Elaboration (Elaborazione dati):** eliminazione dei valori mancanti o anomali; ricostruzione del profilo orario anche a partire da dati mensili o annuali; utilizzo di profili standard.

La fase di raccolta dati coinvolge la cattura, l'archiviazione e la gestione delle informazioni relative alla produzione e al consumo di energia all'interno di una comunità. La fase di elaborazione, invece, si articola in diversi casi a seconda della risoluzione temporale dei dati collezionati durante la fase precedente. Per i dati relativi al consumo dei membri all'interno della CER, in presenza di dati orari reali, rilevabili ad esempio attraverso l'ausilio degli smart meter, è necessario intraprendere un processo di finitura dei dati attraverso algoritmi di pre-processing ed analisi statistica, come menzionato in precedenza. In situazioni in cui è presente il solo dato del consumo elettrico mensile, diviso nelle varie fasce di consumo (F1, F2 e F3), o i dati di consumo annuali, è necessario intraprendere un processo di ricostruzione del profilo orario, con lo scopo di ottenere i profili di carico idonei per la valutazione delle performance della CER. Analogamente, per l'utilizzo di dati reali con risoluzione oraria o sub-oraria relativi alla produzione degli impianti interni alla comunità è necessario procedere in prima battuta con un processo di pulizia dei dati attraverso i processi e gli algoritmi menzionati in precedenza. Invece, in caso di assenza di dati di produzione, è necessario l'utilizzo di strumenti di simulazione.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 29	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

5.1 Ricostruzione del profilo orario del consumo elettrico

Uno degli aspetti più critici per i processi di valutazione delle performance delle CER è l'acquisizione dei dati orari relativi al consumo elettrico della comunità e dei propri membri. In assenza di dati orari, per poter effettuare delle analisi rilevanti è necessario intraprendere un processo di ricostruzione dei profili del consumo elettrico degli utenti. La ricostruzione dei profili di carico orari delle utenze interne alla CER parte dall'utilizzo di dati di consumo mensile o annuale. In caso di impiego di dati di consumo mensile, siano essi divisi per fasce o mono-orari, è possibile ricostruire il profilo di carico orario attraverso la metodologia di calcolo proposta dal GSE [56]. Tale metodologia permette di distribuire i valori di consumo elettrico mensile su curve di carico normalizzate che simulano l'andamento del consumo di un'utenza generica in funzione della propria tipologia (ad esempio, domestico, non domestico). Nel caso invece di utilizzo di dati di consumo annuali, il processo di ricostruzione del profilo orario può essere diviso in due fasi: una prima fase in cui viene stimato il consumo elettrico per ogni mese dell'anno attraverso dei parametri di proporzionamento del carico ottenuti tramite valori medi nazionali come quelli ad esempio elaborati da TERNA; ed una seconda fase in cui viene nuovamente applicato l'algoritmo di ricostruzione dei profili del GSE a partire dai dati di consumo mensile così calcolati. Ai fini dell'ottenimento di risultati accurati a valle di processi di analisi del presente documento, è necessario specificare che i modelli di ricostruzione del profilo orario descritti finora, siano essi basati su dati mensili o annuali, sono in generale meno accurati se paragonati all'utilizzo di dati con risoluzione oraria o sub-oraria. Pertanto, l'utilizzo di dati con una risoluzione temporale più grossolana può potenzialmente restituire dei risultati con grado di incertezza più significativo, ed è quindi sempre preferibile l'utilizzo di dati orari qualora disponibili.

5.2 Simulazione della curva di produzione di impianti fotovoltaici

Così come per il consumo elettrico con risoluzione oraria, anche ottenere le curve di produzione degli impianti di produzione della CER con un'adeguata risoluzione temporale non è sempre possibile. In questi casi si ricorre ai dati PVGIS (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/) oppure all'utilizzo di strumenti e tecniche utili alla simulazione delle producibilità degli impianti. Nel caso di impianti fotovoltaici, la stima della produzione oraria può essere ottenuta utilizzando il modello sviluppato nel progetto del CNR "Energy+: metodo di calcolo semplificato per la composizione della radiazione solare globale e la stima della produzione da fotovoltaico" (<http://meteoepius.pd.cnr.it/index.php>). Lo scopo di tale lavoro è stato quello di sviluppare un modello di calcolo semplificato che è stato adoperato anche nella sezione "Simulatore fotovoltaico" presente sul portale del progetto CNR ENERGY+. In sintesi, attraverso l'utilizzo dei valori reali di radiazione solare misurati da stazioni meteorologiche, il modello, con appropriati algoritmi, genera la scomposizione della radiazione sul piano orizzontale e su superfici inclinate e variamente orientate, in modo da pervenire alla potenza prodotta da un ipotetico impianto fotovoltaico posto sullo stesso sito di ubicazione della stazione. Seppur in forma semplificata, il modello offre il vantaggio di basarsi sui soli valori reali di radiazione solare globale sul piano orizzontale, misurati dalle stazioni meteorologiche e ricava la radiazione solare globale captata dal piano dei moduli fotovoltaici in funzione degli indici di luminosità e di nitidezza. Per lo sviluppo del simulatore è stato utilizzato un modello di regressione basato su misure sperimentali fatte in varie località degli Stati Uniti.

5.2.1 Sorgenti dei dati per la simulazione della curva di produzione di impianti fotovoltaici

In questa sezione vengono identificate le sorgenti dei dati necessari per la simulazione della curva di produzione per gli impianti fotovoltaici. Tale tecnologia è di particolare interesse per lo sviluppo di CER in quanto risulta essere ad oggi la più performante e competitiva sul mercato. I dati necessari al modello di simulazione della produzione di impianti fotovoltaici sono in sintesi: irradianza, temperatura esterna e velocità del vento. Tali dati sono reperibili dalle fonti riportate in Tabella 5.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 30	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

Tabella 5 Fonti dei dati necessari per la simulazione della produzione di impianti fotovoltaici.

Fonte	Temperatura	Velocità del vento	Irradianza	Risoluzione Temporale	Metodo di acquisizione dati
ARPA	X	X	X	Oraria	csv
PVGIS*	X*	X*	X*	Oraria	csv/ json/ epw
ilmeteo.it	X	X	-	Giornaliera	csv
Stazioni meteo locali	X	X	X	Variabile	Variabile

(*) Dati che fanno riferimento al “Typical Meteorological Year”, ovvero un insieme di dati meteorologici con valori per ogni ora in un anno per una data posizione geografica. I dati sono selezionati da dati orari per l'intero periodo disponibile, attualmente dal 2005 al 2020 in PVGIS 5.2 e dal 2005 al 2016 in PVGIS 5.1. PVGIS genera un TMY seguendo la procedura ISO 15927-4.

Nel dettaglio, la Rete Regionale di Rilevamento Meteorologico di ARPA fornisce gratuitamente accesso ai dati delle stazioni meteorologiche. Dopo aver selezionato una stazione, l'utente può ottenere i dati disponibili, come precipitazione cumulata, temperatura, umidità relativa, radiazione globale, velocità e direzione del vento. I dati vengono inviati all'utente entro 24 ore dalla richiesta via e-mail. Le grandezze sono fornite con aggregazioni temporali di medie orarie e medie giornaliere, tranne per le precipitazioni, per le quali vengono fornite cumulate orarie e giornaliere. I dati sono riferiti all'ora solare (UTC+1).

PVGIS utilizza la procedura ISO 15927-4 per generare il Typical Meteorological Year e gli utenti possono interagire per visualizzare o scaricare i dati in diversi formati, tra cui “csv”, “json” e “epw”. I dati solari provengono dai database PVGIS-SARAH, PVGIS-NSRDB o PVGIS-ERA5, mentre le altre variabili meteorologiche dipendono dai dati di riassunto ERA-Land o ERA-Interim. L'output in formato “csv” fornisce informazioni chiave sulla località, seguite dai dati effettivi come ad esempio temperatura, umidità e irradianza solare. Il formato “json” organizza in modo più strutturato i dati di input e output, mentre il formato “epw” è progettato per essere compatibile con il software EnergyPlus, con una temporizzazione locale.

Il sito ilmeteo.it fornisce una vasta gamma di dati meteorologici per diverse località. Alcune delle principali categorie di dati meteo disponibili su ilmeteo.it sono scaricabili tramite file .csv ed includono:

- **Temperatura** – informazioni sulla temperatura corrente, massima e minima giornaliera;
- **Precipitazioni** – quantità di pioggia caduta o altri tipi di precipitazioni;
- **Umidità** – livelli di umidità relativa dell'aria;
- **Vento** – velocità e direzione del vento;
- **Pressione atmosferica.**

Infine, le stazioni meteorologiche locali in Italia raccolgono una vasta gamma di dati per monitorare e analizzare le condizioni atmosferiche. Alcuni dei dati chiave che possono essere acquisiti includono: temperatura, umidità dell'aria, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento, precipitazioni e radiazione solare. Questi dati vengono acquisiti e resi successivamente disponibili al pubblico con una risoluzione temporale variabile, a seconda del sito.

6. LIVELLO II - BENCHMARKING INTERNO ED ESTERNO DELLE CER

6.1 Benchmarking Interno

Il processo di benchmarking interno ha le proprie fondamenta nei KPIs relativi alla valutazione delle performance della singola CER. Nel processo di benchmarking vengono confrontate le prestazioni di una CER lungo un arco temporale ben definito attraverso i dati storici raccolti nel tempo (Historical Performance Benchmarking), utilizzando le metriche per l'analisi delle performance di una singola CER, con il fine di monitorare le prestazioni nei diversi ambiti ed individuare le eventuali lacune e aree di miglioramento messe in risalto dai trend prestazionali ottenuti. Un'analisi di benchmarking completa comprende in teoria l'impiego dei dati necessari al calcolo di tutti i KPIs definiti nel capitolo 4, come ad esempio le serie storiche relative al consumo aggregato, alla produzione degli impianti e all'utilizzo dei sistemi di accumulo all'interno della CER. Tuttavia, qualora non fossero disponibili tutte le serie storiche necessarie e i dati necessari per il calcolo di tutti i KPIs, è possibile comunque effettuare un benchmarking parziale, attraverso i KPIs calcolabili con i dati a disposizione. Per poter effettuare un benchmarking che sia sufficientemente significativo dell'andamento delle performance di una CER è necessario disporre di serie storiche e dati per almeno due mesi consecutivi [31]. In generale, il processo di benchmarking interno è suddivisibile in tre fasi, come illustrato in Figura 10.

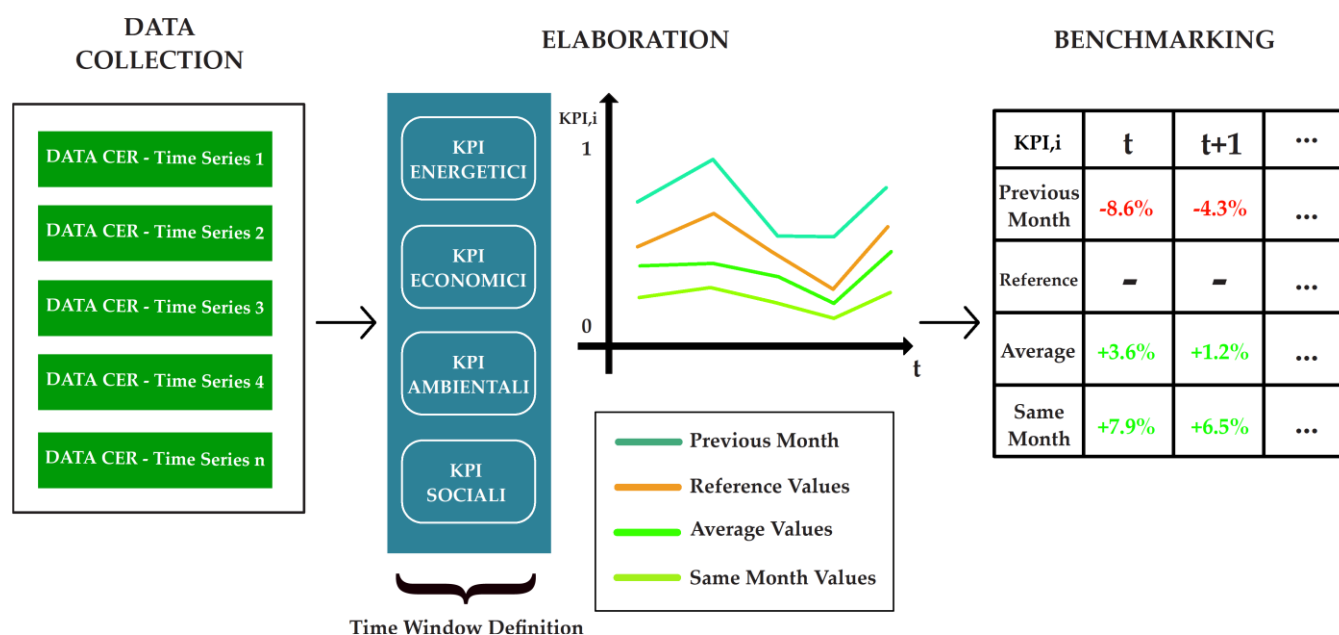


Figura 10 Workflow del processo di benchmarking interno.

In sintesi, il processo si articola in:

- **Data Collection** – Raccolta dei dati storici relativi alla CER di cui si desidera effettuare il benchmarking interno. I dati raccolti in questa fase devono essere opportunamente processati ed analizzati per accertarne la validità;
- **Elaboration** – In questa fase, in funzione dell'estensione temporale e della qualità dei dati a disposizione, vengono definite le finestre temporali in cui si vuole fare (o è possibile fare) la valutazione delle performance della comunità. In questa fase vengono quindi calcolati i KPIs definiti nel capitolo 4 utili al processo benchmarking;

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 32	di 48
--	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- **Benchmarking** – In questa fase vengono ottenuti i trend prestazionali della comunità all'interno delle finestre temporali definite in fase di Elaboration. Vengono quindi confrontati i KPIs calcolati nella fase precedente per tracciare l'evoluzione delle performance della CER nel tempo.

Nell'ipotesi in cui si desidera comparare le prestazioni registrate in un mese da parte di una comunità, un esempio di metriche di paragone e confronto utilizzate nei processi di benchmarking interno possono riguardare:

- Il confronto con le prestazioni registrate nel mese precedente;
- Il confronto con la media delle prestazioni complessivamente registrate nell'ultimo anno;
- Il confronto con le prestazioni dello stesso mese riferito ad anni precedenti;
- Il confronto con le prestazioni mensili migliori (o peggiori) registrate in assoluto nel tempo.

6.2 Metriche a supporto del Benchmarking Interno

In questa sezione vengono definite alcune delle metriche utili ai processi di benchmarking interno (Tabella 6). Nello specifico vengono definite le metriche relative alle:

- I. Prestazioni di comunità registrate nel mese precedente;
- II. Prestazioni complessivamente registrate dalla CER negli ultimi 12 mesi;
- III. Prestazioni della CER nello stesso mese riferite all'anno precedente;
- IV. Prestazioni mensili migliori, in senso assoluto, registrate dalla CER nel corso degli anni di misurazione dei dati.

Tabella 6 Metriche a supporto del benchmarking interno.

Metriche	Formula	Definizione	Utilizzo
Confronto con il mese precedente	$P_{KPIx,m} = \frac{KPI_{x,m} - KPI_{x,m-1}}{KPI_{x,m-1}}$	$P_{KPIx,m}$ rappresenta l'aumento o la diminuzione percentuale di un generico KPI nel m-esimo mese in relazione al mese precedente; $KPI_{x,m}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nel m-esimo mese; $KPI_{x,m-1}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nel mese m-1. Tale valutazione necessita quindi dei dati storici relativi al mese m-esimo e al suo precedente.	Monitoraggio delle prestazioni nel tempo.
Confronto con l'ultimo anno	$P_{KPIx,y} = \frac{KPI_{x,m} - KPI_{x,y}}{KPI_{x,y}}$	$P_{KPIx,y}$ rappresenta l'aumento o la diminuzione percentuale di un generico KPI nel m-esimo mese in relazione alle prestazioni medie degli ultimi 12 mesi; $KPI_{x,m}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nel m-esimo mese; $KPI_{x,y}$ rappresenta la media del generico KPI "x" valutato negli ultimi 12 mesi. Tale valutazione necessita quindi dei dati storici relativi al mese m-esimo e agli ultimi 12 mesi.	Monitoraggio delle prestazioni nel tempo.
Confronto con lo stesso mese dell'anno precedente	$P_{KPIx,m-y} = \frac{KPI_{x,m} - KPI_{x,m-y}}{KPI_{x,m-y}}$	$P_{KPIx,m-y}$ rappresenta l'aumento o la diminuzione percentuale di un generico KPI nel m-esimo mese in relazione alle prestazioni registrate nello stesso mese dell'anno precedente; $KPI_{x,m}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nel m-esimo mese; $KPI_{x,m-y}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nello stesso mese dell'anno precedente. Per poter effettuare questo tipo di confronto è necessario disporre dei dati storici relativi al mese m-esimo e allo stesso mese dell'anno precedente.	Monitoraggio delle prestazioni nel tempo.
Confronto con le prestazioni migliori	$P_{KPIx,best} = \frac{KPI_{x,m} - KPI_{x,best}}{KPI_{x,best}}$	$P_{KPIx,best}$ rappresenta la distanza percentuale di un generico KPI nel m-esimo mese in relazione alle prestazioni più elevate della CER registrate in assoluto all'interno di una determinata finestra temporale; $KPI_{x,m}$ rappresenta il generico KPI "x" valutato nel m-esimo mese; $KPI_{x,best}$ rappresenta il generico KPI "x" riferito al mese in cui presenta il suo valore più alto. Tale valutazione necessita quindi di dati storici quanto più estesi possibile, in quanto è necessario identificare le prestazioni migliori della CER in senso assoluto.	Monitoraggio delle prestazioni nel tempo.

La precedente formulazione matematica fornisce un mezzo accurato per monitorare la tendenza delle performance della comunità con semplicità ed efficacia. Attraverso il confronto relativo dei KPIs con diversi valori di riferimento, è possibile tracciare in modo dettagliato l'andamento delle prestazioni, offrendo una visione chiara ed immediata dell'evoluzione del sistema. Oltre a questo tipo di monitoraggio, è necessaria una successiva fase di analisi per interpretare i valori ottenuti. Tale analisi si configura come una valutazione approfondita dell'evoluzione delle prestazioni della CER nel tempo. Attraverso questa fase, è possibile identificare trend prestazionali, cogliere eventuali segnali di criticità e proporre soluzioni o contromisure per mitigare eventuali tendenze di peggioramento delle performance della comunità. In sintesi, l'approccio matematico delineato offre un metodo semplice ed efficace, e permette di ottenere un quadro completo per l'analisi e la gestione proattiva delle performance della comunità energetica nel breve e medio termine.

6.2.1 Esempio Applicativo

In questa sezione viene riportato un esempio applicativo delle metriche a supporto del benchmarking interno. Si considera un'ipotetica CER a cui vengono applicate, a partire dall'inizio del 2023, delle strategie di ottimizzazione mirate all'aumento della condivisione dell'energia nella comunità. In questo esempio, viene quindi applicata la metodologia di benchmarking interno sul parametro Shared Energy, di cui si presuppone di avere i dati per la durata di due anni (2022 e 2023). I valori di energia condivisa utilizzati in questo esempio vengono riportati in Tabella 7.

Tabella 7 Esempio di valori di Shared Energy registrati nel 2022 e nel 2023 per l'applicazione del benchmarking interno.

2022													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	UdM
Shared Energy	11234	12345	14555	12012	13024	15049	16403	17564	14231	13421	12012	9087	[kWh]
2023													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	UdM
Shared Energy	11334	12845	13555	10442	12024	16049	17403	18564	13231	14421	12519	8087	[kWh]

Effettuando l'analisi di benchmarking sui dati sopra riportati è possibile individuare le tendenze e valutare le prestazioni della CER nel tempo in relazione alla condivisione dell'energia. Per ogni mese del 2023 vengono quindi valutate le performance della CER in relazione al mese precedente, alle prestazioni medie calcolate nei 12 mesi precedenti, alle prestazioni migliori rilevate in assoluto, e alle prestazioni dello stesso mese riferite all'anno precedente, ovvero il 2022. L'analisi restituisce, in sintesi, i risultati del confronto con i valori di riferimento precedentemente elencati, che vengono riportati in Tabella 8.

Tabella 8 Risultati ottenuti dal benchmarking interno applicato ai dati del 2022 e del 2023 di un'ipotetica CER.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	UdM
Shared Energy	11334	12845	13555	10442	12024	16049	17403	18564	13231	14421	12519	8087	[kWh]
$P_{SE,m}$	24.7%	13.3%	5.5%	-23.0%	15.2%	33.5%	8.4%	6.7%	-28.7%	9.0%	-13.2%	-35.4%	[%]
$P_{SE,y}$	-15.5%	-4.3%	0.7%	-21.9%	-9.2%	21.9%	31.4%	39.3%	-1.4%	8.2%	-6.7%	-39.9%	[%]
$P_{SE,m-y}$	0.9%	4.1%	-6.9%	-13.1%	-7.7%	6.6%	6.1%	5.7%	-7.0%	7.5%	4.2%	-11.0%	[%]
$P_{SE,best}$	-38.9%	-30.8%	-27.0%	-43.8%	-35.2%	-13.5%	-6.3%	0.0%	-28.7%	-22.3%	-32.6%	-56.4%	[%]

Dall'analisi effettuata emergono una serie di risultati rilevanti. Ad esempio, dal confronto della Shared Energy con i dati riferiti al mese precedente ($P_{SE,m}$) emerge un progressivo aumento dell'energia condivisa nei mesi di Gennaio e Marzo, e nei mesi di Giugno e Agosto, intervallato da una repentina diminuzione in alcuni mesi, come ad esempio nel mese di Aprile e Dicembre. Analogamente, rispetto alla media delle prestazioni registrate nei 12 mesi precedenti ($P_{SE,y}$), si registra un incremento dell'energia condivisa per la maggior parte dell'anno, ad eccezione dei mesi di gennaio, aprile, novembre e dicembre. Proseguendo, il confronto dei valori della Shared Energy rispetto alle prestazioni registrate nello stesso mese dell'anno precedente ($P_{SE,m-y}$) evidenzia come in alcuni è presente un aumento dell'energia condivisa mentre per altri si verifica una diminuzione, potenzialmente evidenziando cambiamenti della produzione e del consumo all'interno della comunità, mentre confrontando tali valori con le prestazioni migliori registrate ($P_{SE,best}$) tra il 2022 e 2023, si nota che le prestazioni relative alla condivisione dell'energia oscillano tra il -56.4% e il -6.3% rispetto al massimo registrato.

In sintesi, dai risultati ottenuti si evince che le strategie adottate per migliorare la condivisione dell'energia hanno avuto effetto positivo. Ciò è visibile principalmente dai valori del parametro $P_{SE,m-y}$ ottenuti attraverso il confronto con le prestazioni registrate nei mesi dell'anno precedente (2022), periodo in cui le strategie di ottimizzazione sulla Shared Energy non erano ancora state applicate. Il confronto con le performance massime registrate e con quelle relative al mese precedente, espresso attraverso i parametri $P_{SE,best}$ e $P_{SE,m}$ sono di secondaria importanza per la valutazione dell'effetto delle strategie di ottimizzazione adottate in quanto non rappresentativi di una comparazione tra le prestazioni ante e post della CER rispetto all'intervento considerato. Tuttavia, tali parametri sono utili per il monitoraggio continuo delle performance della comunità e forniscono delle indicazioni importanti in caso di eventi inaspettati. Ad esempio, dai risultati ottenuti si nota che il mese di aprile risulta essere un mese particolarmente critico per la condivisione dell'energia, anche a fronte delle strategie di ottimizzazione adottate. Infatti, i parametri $P_{SE,best}$ e $P_{SE,m}$ presentano per questo mese i loro valori minimi, dimostrando che in questo mese è accaduto qualcosa di fortemente impattante sulla condivisione dell'energia, come ad esempio il malfunzionamento di alcuni degli impianti di produzione o un forte sfasamento tra il consumo aggregato e la curva di produzione, eventi che fino a quel momento non si erano manifestati.

6.3 Benchmarking Esterno

Durante il processo di benchmarking esterno vengono confrontate le prestazioni delle CER tra di loro sulla base dei propri dati storici. Si tratta quindi anche in questo caso di un Historical Performance Benchmarking ed è quindi un processo di tipo data-driven. La struttura del processo di benchmarking esterno è composta da tre fasi, come rappresentato in Figura 11.

Il processo si articola quindi in:

- **Data Collection** – In questa fase avviene la raccolta dati relativi alle CER necessari per effettuare un confronto tra le performance delle comunità, nei vari ambiti.
- **Elaboration** – Vengono calcolati i Performance Indicator (PI) per ciascun ambito di attività (Energetico, Economico, Sociale, Ambientale), necessari al confronto delle prestazioni delle CER. I quattro PI (denominati rispettivamente ENPI, ECPI, SPI, EPI) sono degli indicatori descrittivi delle performance di una CER e vengono calcolati utilizzando i KPIs del primo livello del rispettivo ambito, ovvero i KPIs utilizzati in fase di valutazione delle performance della singola CER. Inoltre, in questa fase, così come per il benchmarking interno, vengono definite le finestre temporali in cui viene fatto il confronto delle performance tra le comunità in funzione dell'estensione temporale e della qualità dei dati a disposizione.
- **Ranking** – In questa fase vengono valutati per ogni CER i quattro PI ed è calcolato un Global Performance Indicator (GPI), ovvero un unico coefficiente globale di prestazione utile a confrontare le performance complessive delle CER tra di loro. In funzione dei risultati ottenuti viene quindi effettuato il Ranking delle CER, ovvero vengono classificate le prestazioni globali delle comunità in funzione del loro GPI (e quindi in funzione delle loro performance nei vari ambiti).

Tali step sono seguiti da una fase di analisi e interpretazione critica dei dati, per dare una valutazione del confronto delle CER e identificare problemi, alternative, contromisure, soluzione, e trarre delle considerazioni in base ai risultati ottenuti.

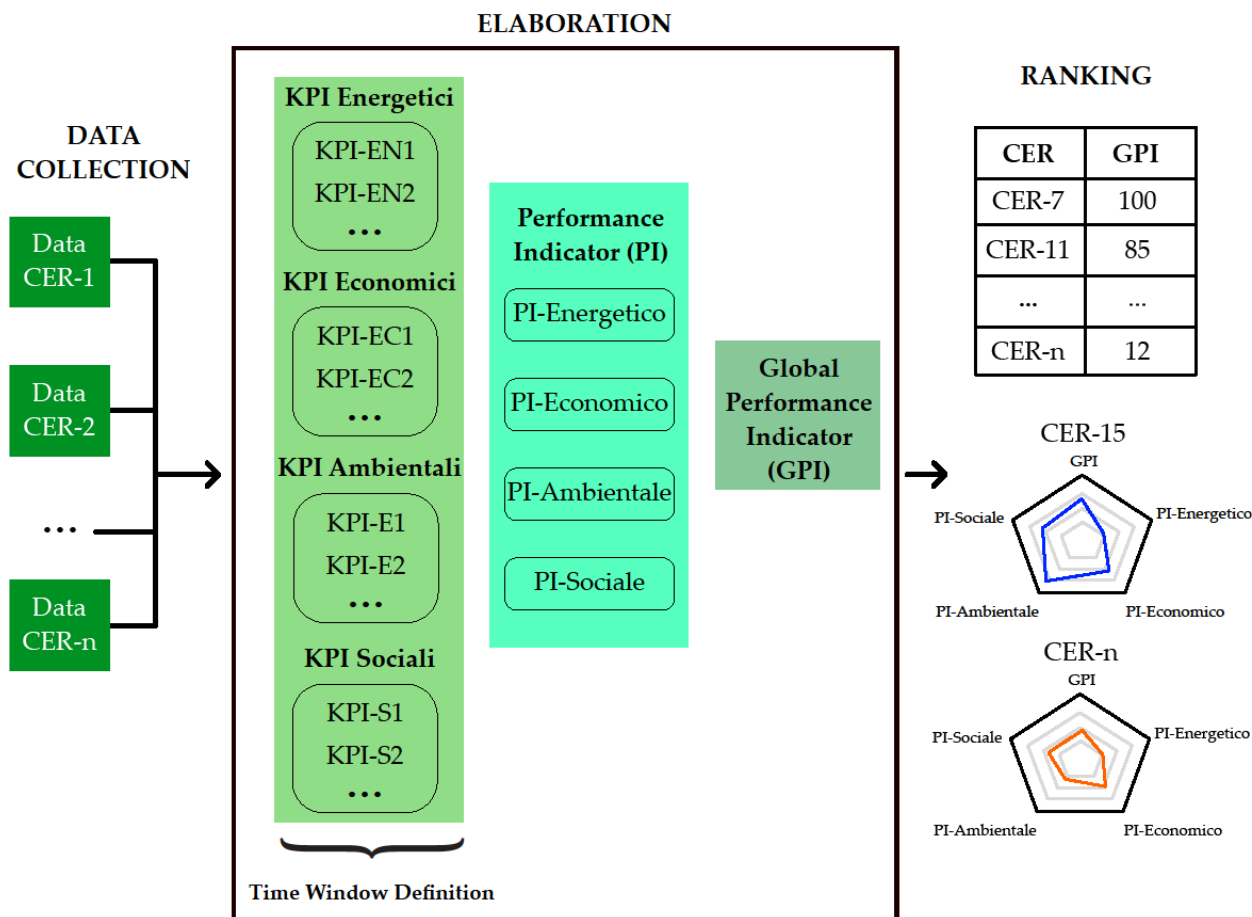


Figura 11 Struttura del Benchmarking esterno.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 37	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

6.3.1 Modello Matematico

Il modello descritto in questa sezione è basato sulle metodologie di Data Envelope Analysis (DEA) descritte nelle sezioni precedenti. Tale modello si configura come uno dei più semplici e più flessibili da applicare ed è un modello di tipo matematico che concerne la valutazione dei PI e del GPI per le comunità di cui si desidera effettuare il confronto. I PI sono definiti per ciascun ambito di attività delle CER e riassumono le prestazioni della comunità per ciascuno di essi. I PI si basano sui KPIs di primo livello utilizzati per l'analisi delle performance della singola CER. Essendo essi non tutti esprimibili in forma percentuale, o comunque in un range univoco per tutti, è necessario uniformare il calcolo dei KPIs su una scala comune. I KPIs vengono quindi normalizzati secondo la seguente equazione:

$$KPI_{x,i}^p = \frac{KPI_{x,i}^{CERj} - \min(A_{x,i})}{\max(A_{x,i}) - \min(A_{x,i})} [\%] \quad ; A_{x,i} = \{KPI_{x,i}^{CER_1}, KPI_{x,i}^{CER_2}, \dots, KPI_{x,i}^{CER_n}\} \quad (1)$$

dove:

- $KPI_{x,i}^p$ rappresenta l'i-esimo KPI normalizzato nell'ambito x;
- $KPI_{x,i}^{CERj}$ è l'i-esimo KPI nell'ambito x, della j-esima CER;
- $A_{x,i}$ è l'insieme di tutti gli i-esimi KPI calcolati per tutte le CER analizzate, nell'ambito x;
- n è il numero totale di CER.

In sintesi, un generico KPI appartenente ad uno dei quattro ambiti viene rielaborato attraverso una normalizzazione di tipo "min-max", dove il valore del singolo KPI viene riproporzionato in funzione del valore massimo e minimo calcolato tra tutte le CER in esame del medesimo KPI. In questo modo, è possibile uniformare la scala di tutti i KPIs definiti in precedenza, anche di quelli non espressi in percentuale o con unità di misura diverse.

Dopo avere dunque riproporzionato i KPIs in modo da poterli confrontare sulla stessa scala di valori, è possibile definire i PI per ciascuno degli ambiti operativi di una CER. In generale, i PI vengono definiti in modo flessibile attribuendo dei pesi specifici ad ognuno dei KPIs coinvolti nel calcolo. In questo modo, è possibile operare sui pesi dei singoli KPIs per poter accentuare il peso di alcuni KPIs specifici per gli scopi successivi dell'analisi. Il PI riferito all'ambito energetico è definito dall'Equazione 2 e viene quindi calcolato sulla base dei KPIs energetici descritti per l'analisi delle performance della singola CER.

$$ENPI_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{KPI,energy}} \alpha_i * KPI_{energy,i}^p}{\sum_{i=1}^{N_{KPI,energy}} \alpha_i} [\%] \quad ; \quad \alpha_i \in [0; 1] \quad (2)$$

dove:

- ENergy Performance Indicator ($ENPI_j$) è l'indicatore riferito alla j-esima CER descrittivo delle performance energetiche;
- $KPI_{energy,i}^p$ rappresenta l'i-esimo KPI normalizzato nell'ambito energy;
- α_i rappresenta l'i-esimo peso associato all'i-esimo percentile dell'i-esimo KPI;
- $N_{KPI,energy}$ è il numero di KPIs energetici.

Il PI riferito all'ambito economico, invece, è definito dall'Equazione 3 e viene calcolato sulla base dei KPIs economici di primo livello.

$$ECPI_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{KPI,economic}} \alpha_i * KPI_{economic,i}^p}{\sum_{i=1}^{N_{KPI,economic}} \alpha_i} [\%] \quad ; \quad \alpha_i \in [0; 1] \quad (3)$$

dove:

- EConomic Performance Indicator ($ECPI_j$) è l'indicatore di prestazioni della j-esima CER in ambito economico;

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 38	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- $KPI_{economic,i}^p$ rappresenta l'i-esimo KPI normalizzato nell'ambito economic;
- α_i rappresenta l'i-esimo peso associato all'i-esimo percentile dell'i-esimo KPI;
- $N_{KPI,economic}$ è il numero di KPIs economici.

Analogamente, il PI riferito all'ambito sociale è calcolato secondo l'Equazione 4.

$$SPI_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{KPI,social}} \alpha_i * KPI_{social,i}^p}{\sum_{i=1}^{N_{KPI,social}} \alpha_i} [\%] \quad ; \quad \alpha_i \in [0; 1] \quad (4)$$

dove:

- Social Performance Indicator (SPI_j) è l'indicatore di prestazioni della j-esima CER in ambito sociale;
- $KPI_{social,i}^p$ rappresenta l'i-esimo KPI normalizzato nell'ambito social;
- α_i rappresenta l'i-esimo peso associato all'i-esimo percentile dell'i-esimo KPI;
- $N_{KPI,social}$ è il numero di KPIs sociali.

Infine, il PI riferito all'ambito ambientale è calcolato tramite l'Equazione 5.

$$EPI_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_{KPI,environmental}} \alpha_i * KPI_{environmental,i}^p}{\sum_{i=1}^{N_{KPI,environmental}} \alpha_i} [\%] \quad ; \quad \alpha_i \in [0; 1] \quad (5)$$

dove:

- Environmental Performance Indicator (EPI_j) è l'indicatore di prestazioni della j-esima CER in ambito ambientale;
- $KPI_{environmental,i}^p$ rappresenta l'i-esimo KPI normalizzato nell'ambito environmental;
- α_i rappresenta l'i-esimo peso associato all'i-esimo percentile dell'i-esimo KPI;
- $N_{KPI,environmental}$ è il numero di KPI ambientali.

Come ribadito in precedenza, i PI sono descrittivi del comportamento generale di una CER nell'ambito energetico, economico, sociale ed ambientale, e la loro scala temporale è funzione della risoluzione temporale con la quale vengono calcolati i singoli KPIs del primo livello. I pesi utilizzati per ponderare i singoli KPIs per il calcolo di ciascun PI (α_i) variano a seconda dell'importanza che si desidera attribuire a ciascun KPIs durante la fase di calcolo. Ad esempio, qualora all'interno di un singolo ambito (energetico, economico, sociale o ambientale) si ritenga esistere un KPI più importante degli altri, è possibile modificare i valori di α_i di modo tale che il KPI ritenuto più importante influisca maggiormente sulla valutazione delle performance della CER, e quindi nel calcolo del PI.

Il parametro relativo alle prestazioni globali della singola (GPI) è calcolato come segue.

$$GPI = \frac{\beta_1 * ENPI + \beta_2 * ECPI + \beta_3 * SPI + \beta_4 * EPI}{\sum_{i=1}^4 \beta_i} [\%] \quad ; \quad \beta_{1,2,3,4} \in [0; 1] \quad (6)$$

dove:

- GPI rappresenta il global performance indicator;
- β_i rappresenta l'i-esimo peso associato al generico settore del PI.

Così come per il calcolo dei singoli PI, anche per la valutazione del GPI vengono utilizzati dei pesi specifici. Essi possono essere utilizzati per ponderare i Performance Indicator, possono essere utilizzati per enfatizzare l'importanza delle prestazioni della CER in uno o più ambiti. Ad esempio, qualora si volesse valutare le performance di una CER dando più rilevanza alle prestazioni in ambito energetico ed economico, è possibile agire sui valori dei vari β_i in modo da ottenere un GPI guidato prevalentemente dai PI relativi a tali ambiti.

6.3.2 Esempio Applicativo

In questa sezione viene fatto un esempio pratico dell'applicazione del modello di benchmarking esterno su un ipotetico caso studio in cui vengono calcolati i PI per tre differenti CER nei mesi di maggio, giugno e luglio, al fine di confrontare tra loro le comunità per individuare la migliore in senso assoluto, e nei vari ambiti in cui operano. I valori dei PI per ognuna delle CER valutati nell'arco temporale prefissato sono rappresentati in Tabella 9.

Tabella 9 Risultati ottenuti dall'esempio applicativo.

	Maggio			Giugno			Luglio		
	CER 1	CER 2	CER 3	CER 1	CER 2	CER 3	CER 1	CER 2	CER 3
ENPI	78%	90%	100%	83%	75%	100%	70%	100%	100%
ECPI	50%	70%	100%	55%	50%	100%	60%	70%	100%
SPI	100%	50%	10%	100%	50%	40%	60%	30%	30%
EPI	30%	100%	50%	40%	100%	40%	40%	100%	30%

Dai valori sopra riportati si evince che la CER 1 nel mese di maggio registra delle performance discrete in ambito energetico, meno buone in ambito economico ed ambientale, mentre le prestazioni migliori sono presenti in ambito sociale. Tale trend si riconferma nuovamente per il mese di giugno, dove si registra però un incremento generale delle performance per il settore energetico, economico e ambientale. Il mese di luglio invece è caratterizzato da una sostanziale diminuzione delle prestazioni della CER in ambito sociale, un sensibile decremento in ambito energetico e un leggero aumento in ambito economico.

La CER 2 nel mese di maggio registra invece le migliori performance in ambito ambientale, delle ottime performance in ambito energetico e delle discrete prestazioni in ambito economico e sociale. Analogamente alla CER 1, la comunità conferma il proprio trend prestazionale nel mese di giugno ma con un lieve decremento delle prestazioni in ambito economico ed energetico. Nel mese di luglio, invece, le prestazioni energetiche aumentano notevolmente diventando le più alte tra le comunità analizzate. Inoltre, la CER 2 in quest'ultimo mese migliora le proprie performance in ambito economico e registra una diminuzione di quelle in ambito sociale, mentre si riconferma nuovamente la migliore dal punto di vista ambientale.

Infine, la CER 3 registra nel mese di maggio le migliori prestazioni in ambito economico ed energetico, mentre presenta delle discrete performance in ambito ambientale e delle scarse performance in ambito sociale. Nel mese di giugno si conferma nuovamente il trend prestazionale del mese precedente ad eccezione di un leggero decremento delle performance in ambito ambientale e un lieve aumento di quelle in ambito sociale. A concludere, nel mese di luglio le performance economiche ed energetiche rimangono costanti, mentre quelle in ambito ambientale diminuiscono leggermente.

A partire dai dati dei PI valutati nei mesi di maggio, luglio e agosto, è possibile calcolare il GPI per ognuna delle CER in modo da individuare la comunità migliore, in senso generale. Per fare ciò si decide di fissare i pesi relativi ai singoli PI (β_i) all'unità, così da poter dare la stessa importanza ad ognuno dei vari ambiti in cui operano le CER. Il calcolo del GPI restituisce i risultati schematizzati in Tabella 10.

Tabella 10 Estensione dei risultati ottenuti dall'esempio applicativo.

	Maggio			Giugno			Luglio		
	CER 1	CER 2	CER 3	CER 1	CER 2	CER 3	CER 1	CER 2	CER 3
ENPI	78%	90%	100%	83%	75%	100%	70%	100%	100%
ECPI	50%	70%	100%	55%	50%	100%	60%	70%	100%
SPI	100%	50%	10%	100%	50%	40%	60%	30%	30%
EPI	30%	100%	50%	40%	100%	40%	40%	100%	30%
GPI	65%	78%	65%	70%	69%	70%	58%	75%	65%

Avendo calcolato il GPI si è quindi ottenuto un quadro completo delle prestazioni delle CER nei tre mesi in cui si è svolta la valutazione. L'andamento delle prestazioni nel tempo per ognuna delle comunità analizzate è rappresentato in Figura 12, nel quale è possibile apprezzare graficamente le differenze tra le comunità in termini prestazionali. Ad esempio, nel mese di maggio è possibile notare che la CER 1 rispetto alla CER 2 presenta delle prestazioni migliori in ambito sociale, ma peggiori nei restanti, di fatto registrando un GPI minore, mentre la CER 3 emerge come la comunità più performante dal punto di vista energetico ed economico pur dimostrando di avere delle carenze in ambito sociale ed ambientale. Per questo primo mese di confronto, infatti, la comunità migliore dal punto di vista delle prestazioni generali nei vari ambiti è la CER 2, che dimostra di avere delle performance mediamente buone in tutti e quattro gli ambiti in cui opera, dimostrandosi per questo mese la CER con la configurazione migliore. Nel mese di giugno, invece, la CER 1 e la CER 3 migliorano leggermente le performance negli ambiti in cui erano più carenti, di fatto aumentano il proprio GPI fino a superare la CER 2, che al contrario registra un lieve decremento generale delle prestazioni. Infine, nel mese di luglio, la CER 2 torna a confermarsi la migliore registrando il GPI più alto di tutte, in particolare grazie all'aumento delle proprie prestazioni in ambito energetico. In quest'ultimo mese, la CER 1 e la CER 3 registrano una leggera riduzione generale delle prestazioni, dimostrata dalla riduzione del loro GPI.

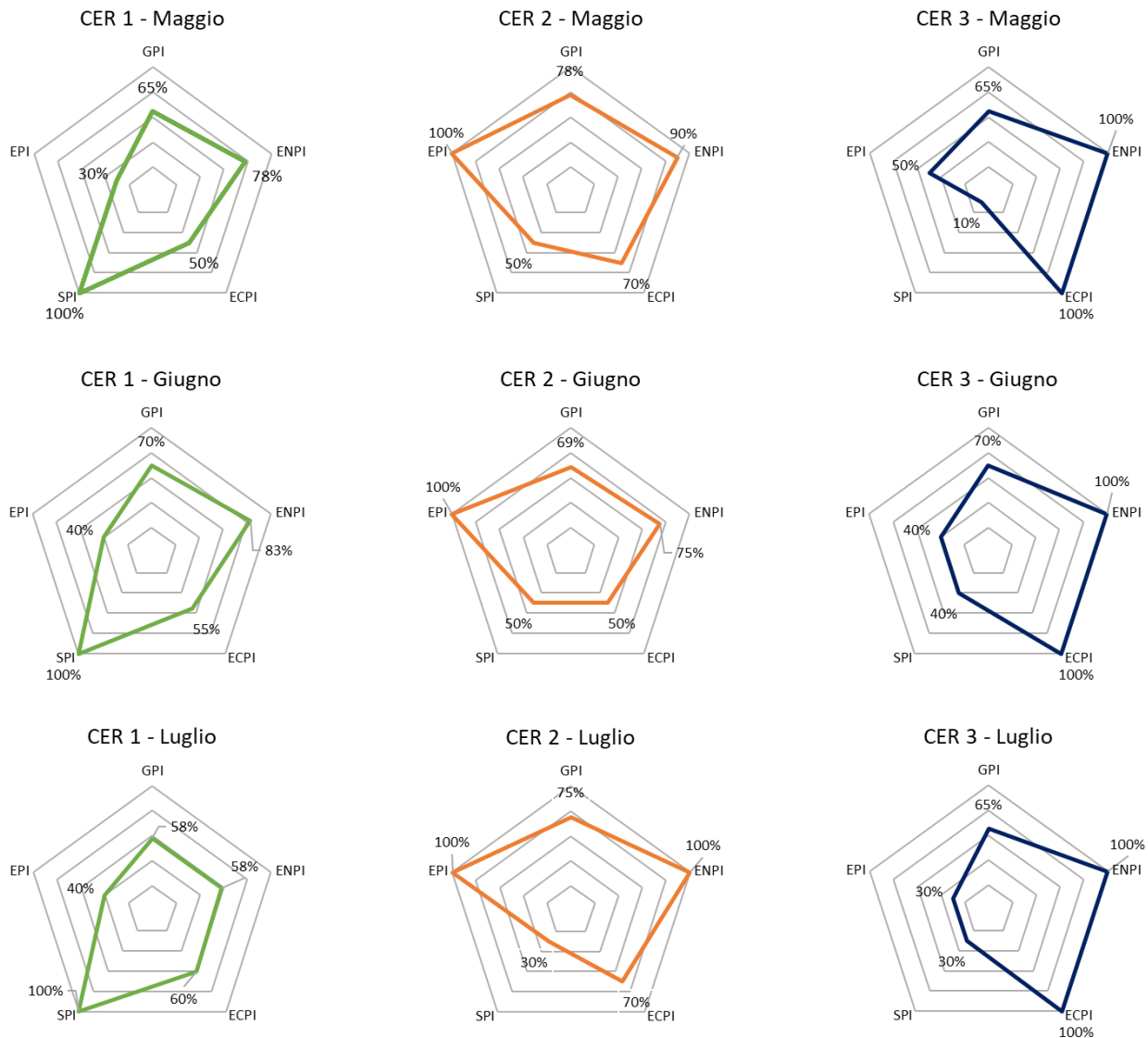


Figura 12 Confronto prestazionale tra le CER.

A prescindere dall'evoluzione del loro comportamento prestazionale nel tempo, emerge chiaramente che le caratteristiche della CER 1 la portano ad essere la migliore dal punto di vista sociale, mentre la CER 2 risulta essere la migliore in ambito ambientale e la CER 3 in ambito economico ed energetico. Il confronto tra le tre CER permetterebbe quindi di individuare quali sono le caratteristiche di una comunità che determinano le prestazioni migliori per ognuno degli ambiti in cui opera una comunità, e permette di individuare quali sono le caratteristiche che combinate insieme determinano la CER più efficiente nel suo complesso.

Tramite il calcolo del GPI è possibile stilare per ognuno dei mesi dell'analisi di questo esempio applicativo la classifica che determina la CER complessivamente più performante, come rappresentato in Tabella 11.

Tabella 11 Classifica delle CER in funzione del GPI per i mesi di maggio, giugno e luglio.

Maggio			Giugno			Luglio		
Posizione	Nome	GPI	Posizione	Nome	GPI	Posizione	Nome	GPI
1	CER 2	78	1	CER 1	70	1	CER 2	75
2	CER 1	65	1	CER 3	70	2	CER 3	65
2	CER 3	65	2	CER 2	69	3	CER 1	58

In definitiva, nell'esempio applicativo svolto, la CER 2 emerge come comunità migliore dal punto di vista prestazionale in quanto presenta il GPI mediamente più elevato nella finestra temporale dell'analisi, classificandosi come prima nei mesi di maggio e luglio, con un indicatore globale di performance discretamente più alto delle altre due comunità.

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 43	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

7. LIVELLO III - ANALISI DEL POTENZIALE DELLE CER NEL TERRITORIO

La valutazione del potenziale territoriale delle CER è un'analisi complessa che mira a identificare le opportunità di sviluppo energetico sostenibile all'interno di un determinato territorio. La scala di questo tipo di analisi può essere estremamente varia, a partire dall'analisi dei singoli comuni fino ad estendersi ad intere regioni o al livello nazionale. Tale valutazione può essere condotta per diversi motivi strategici:

- **Realizzazione di nuove CER** – Installazione di nuovi impianti di produzione energetica, come pannelli fotovoltaici o turbine eoliche, e creazione di una o più comunità energetiche in aree considerate di particolare interesse. Queste zone possono essere selezionate in base a criteri come l'elevato potenziale di energia rinnovabile installabile;
- **Ampliamento di CER già esistenti** – Incremento della potenza installata degli impianti di produzione già presenti all'interno di una comunità energetica. Questo ampliamento può essere necessario per rispondere a un aumento della domanda energetica o per migliorare l'efficienza energetica della comunità, garantendo così una maggiore autosufficienza energetica e un migliore bilanciamento tra produzione e consumo. L'incremento della capacità produttiva è spesso accompagnato da una ristrutturazione delle infrastrutture e da investimenti in tecnologie di accumulo energetico e gestione della rete.

Il processo di valutazione del potenziale territoriale si basa su un approccio scientifico consolidato, che viene regolarmente esplorato nella letteratura di settore. Il framework metodologico più diffuso può essere suddiviso in cinque fasi principali, ognuna delle quali svolge un ruolo cruciale nella comprensione e nella gestione delle risorse energetiche all'interno delle CER:

- i. Realizzazione e/o integrazione di nuovi studi relativi al censimento e al consumo energetico dei membri della CER;
- ii. Implementazione di algoritmi o analisi specifiche per l'individuazione di aree idonee per la realizzazione e/o implementazione di impianti di produzione in relazione al consumo di una comunità energetica;
- iii. Stima dell'impatto ambientale in termini di CO₂ evitata a seguito della realizzazione o dell'ampliamento di una comunità energetica;
- iv. Analisi di scenari e casi studio per la valutazione dell'impatto economico e sociale sulla popolazione;
- v. Analisi di scenari e casi studio per la valutazione dell'impatto energetico derivante dalla realizzazione o dall'ampliamento di una CER sulla rete elettrica.

La prima fase è mirata all'apprendimento o al miglioramento delle conoscenze relative alle caratteristiche dei membri della comunità e al loro consumo energetico. Una buona conoscenza del consumo energetico di una CER è la base principale non solo per la valutazione delle performance della comunità stessa (come ribadito nelle sezioni precedenti) ma anche per l'analisi dei potenziali margini di sviluppo e crescita. Studi approfonditi come la valutazione del carico elettrico dei singoli membri e lo studio delle caratteristiche del consumo energetico aggregato dell'intera comunità permettono di estrarre informazioni chiave per la generazione dei benefici economici, sociali ed ambientali.

La seconda fase, ovvero quella relativa alla valutazione delle aree idonee per la realizzazione o l'ampliamento degli impianti di produzione, quantifica il totale dell'energia potenzialmente producibile da una comunità. Tale energia, relazionata al consumo energetico dei membri della comunità stessa, definisce qual è la quota di energia potenzialmente autoconsumabile, quella virtualmente condivisibile, e quella potenzialmente utilizzabile ai fini dei servizi di flessibilità, permettendo di valutare quindi i benefici economici potenzialmente generabili da una CER a seguito della realizzazione di nuovi impianti di produzione.

Per questa seconda fase sono molto utilizzati in letteratura i Digital Surface Models (DSM) ovvero modelli in grado di rappresentare superfici, edifici, alberi e altre strutture, includendo gli oggetti che generano ingombri e/o ombreggiamenti. Le informazioni relativi alle superfici e alle strutture in genere vengono spesso ottenute da strumenti come il Geospatial Data Abstraction Library (GDAL), che gestiscono le informazioni geospaziali in

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 44	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

formato raster o vettoriale. I DSM sono spesso accompagnati da criteri di selezione delle superfici migliori, soprattutto in relazione all'installazione di nuovi impianti fotovoltaici, che identificano le aree più idonee in funzione della loro pendenza ed orientamento.

La valutazione del potenziale territoriale include anche la stima dell'impatto ambientale, soprattutto in termini di riduzione delle emissioni di CO₂. Questo aspetto è cruciale per dimostrare i benefici ambientali delle CER e per quantificare il contributo che queste comunità possono offrire nella lotta al cambiamento climatico. Attraverso opportune analisi e simulazioni, è possibile quantificare quanta CO₂ verrebbe evitata con l'installazione di nuovi impianti e quanta energia rinnovabile potrebbe sostituire quella proveniente da fonti fossili.

Oltre agli aspetti ambientali, vengono presi in considerazione anche l'impatto economico e sociale derivante dalla creazione o dall'ampliamento di una CER sulla popolazione locale. Questa fase prevede l'analisi degli effetti diretti e indiretti sul territorio, come la creazione di nuove iniziative sociali, e la riduzione delle spese energetiche. Vengono inoltre esaminati i possibili incentivi economici, sia a livello locale che nazionale, che possono derivare dalla partecipazione a iniziative di energia comunitaria, come ad esempio la condivisione virtuale dell'energia.

Infine, si prende in esame anche l'impatto della realizzazione di una CER o del suo ampliamento sulla rete elettrica. Infatti, la connessione di nuovi impianti di produzione distribuita può generalmente influenzare la stabilità e la gestione della rete, soprattutto in termini di bilanciamento di potenza attiva e reattiva. In questa fase vengono studiati scenari di integrazione con la rete esistente, e vengono prese in considerazione le possibili soluzioni tecnologiche come la realizzazione di sistemi di accumulo energetico per la gestione ottimale dei flussi o per garantire la possibilità di poter fornire servizi alla rete, come ad esempio quelli di flessibilità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/11/30/21G00214/sg>
- [2] Principi di coordinamento, obiettivi di finanza pubblica e armonizzazione dei sistemi contabili.
https://www.gazzettaufficiale.it/atto/vediMenuHTML?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2009-12-31&atto.codiceRedazionale=009G0201&tipoSerie=serie_generale&tipoVigenza=originario
- [3] Regole Tecniche per accesso al servizio di valorizzazione e incentivazione energia elettrica condivisa – GSE [Regole Tecniche per accesso al servizio di valorizzazione e incentivazione energia elettrica condivisa.pdf](#)
- [4] ENEA - CRUISE <https://sue.enea.it/product/cittadini-attivi-e-comunita-intelligenti/cruise>
- [5] Bianco, G., Bonvini, B., Bracco, S., Delfino, F., Laiolo, P., & Piazza, G. (2021). Key performance indicators for an Energy Community Based on Sustainable Technologies. Sustainability, 13(16), 8789.
<https://doi.org/10.3390/su13168789>
- [6] Mansó Borràs, I., Neves, D., & Gomes, R. (2023a). Using urban building energy modeling data to assess energy communities' potential. Energy and Buildings, 282, 112791.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112791>
- [7] Barabino, E., Fioriti, D., Guerrazzi, E., Mariuzzo, I., Poli, D., Raugi, M., Razaei, E., Schito, E., & Thomopoulos, D. (2023). Energy communities: A review on trends, energy system modelling, business models, and optimization objectives. Sustainable Energy, Grids and Networks, 36, 101187.
<https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101187>

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 45	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- [8] Cielo, A., Margiaria, P., Lazzeroni, P., Mariuzzo, I., & Repetto, M. (2021). Renewable energy communities business models under the 2020 Italian regulation. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128217. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128217>
- [9] Chung, W. (2011). Review of Building Energy-use performance benchmarking methodologies. *Applied Energy*, 88(5), 1470–1479. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.022>
- [10] Luthander, R., Nilsson, A. M., Widén, J., & Åberg, M. (2019). Graphical analysis of photovoltaic generation and load matching in buildings: A novel way of studying self-consumption and self-sufficiency. *Applied Energy*, 250, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.058>
- [11] F.G. Reis, I., Gonçalves, I., A.R. Lopes, M., & Henggeler Antunes, C. (2021). Business models for Energy Communities: A review of key issues and Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 111013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111013>
- [12] Fouladvand, J., Ghorbani, A., Mouter, N., & Herder, P. (2022). Analysing community-based initiatives for heating and cooling: A systematic and Critical Review. *Energy Research & Social Science*, 88, 102507. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102507>
- [13] Trevisan, R., Ghiani, E., & Pilo, F. (2023). Use of performance indicators to encourage proactive user behaviours in renewable energy communities. 27th International Conference on Electricity Distribution (CIRED 2023). <https://doi.org/10.1049/icp.2023.0792>
- [14] Mansó Borràs, I., Neves, D., & Gomes, R. (2023). Using urban building energy modeling data to assess energy communities' potential. *Energy and Buildings*, 282, 112791. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112791>
- [15] International Energy Agency, “Characterization of Energy Flexibility in Buildings”, *Energy in Buildings and Communities Programme Annex 67 Energy flexible buildings*, December 2019. Available online: <https://www.annex67.org/media/1919/characterization-of-energy-flexibility-in-buildings.pdf>
- [16] International Energy Agency, “Methodology for investigating cost-effective building renovation strategies at district level combining energy efficiency & renewables”, *Energy in Buildings and Communities Technology Collaboration Programme*, May 2023. Available online: https://annex75.iea-ebc.org/Data/publications/Annex75_B1%20Report_Methodology_18_June_2023.pdf
- [17] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Climate Change 2023 - Synthesis Report”, 2023. Available online: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf
- [18] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change”, 2022. Available online: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
- [19] Intergovernmental Panel on Climate Change, “Special Report: Global Warming of 1.5 °C, 2018. Available online: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Full_Report_HR.pdf
- [20] Definition of an assessment framework for projects of common interest in the field of smart grids | JRC smart electricity systems and Interoperability. (n.d.-a). <https://ses.jrc.ec.europa.eu/publications/reports/definition-assessment-framework-projects-common-interest-field-smart-grids>
- [21] Enrique Personal, Juan Ignacio Guerrero, Antonio Garcia, Manuel Peña, Carlos Leon, Key performance indicators: A useful tool to assess Smart Grid goals, *Energy*, Volume 76, 2014, Pages 976-988, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.015>
- [22] Joud Al Dakheel, Claudio Del Pero, Niccolò Aste, Fabrizio Leonforte, Smart buildings features and key performance indicators: A review, *Sustainable Cities and Society*, Volume 61, 2020, 102328, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102328>

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 46	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- [23] Angelakoglou, K.; Kourtzanidis, K.; Giourka, P.; Apostolopoulos, V.; Nikolopoulos, N.; Kantorovitch, J. From a Comprehensive Pool to a Project-Specific List of Key Performance Indicators for Monitoring the Positive Energy Transition of Smart Cities—An Experience-Based Approach. *Smart Cities* 2020, 3, 705-735. <https://doi.org/10.3390/smartcities3030036>
- [24] Agbali, M., Trillo, C., Fernando, T., Ibrahim, I. A., & Arayici, Y. (2018). Conceptual smart city KPI model: A System Dynamics Modelling Approach. 2018 Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4). <https://doi.org/10.1109/worlds4.2018.8611565>
- [25] Quijano, A.; Hernández, J.L.; Nouaille, P.; Virtanen, M.; Sánchez-Sarachu, B.; Pardo-Bosch, F.; Kneiling, J. Towards Sustainable and Smart Cities: Replicable and KPI-Driven Evaluation Framework. *Buildings* 2022, 12, 233. <https://doi.org/10.3390/buildings12020233>
- [26] Barbaro, S., & Napoli, G. (2023). Energy communities in urban areas: Comparison of energy strategy and economic feasibility in Italy and Spain. *Land*, 12(7), 1282. <https://doi.org/10.3390/land12071282>
- [27] Canizes, B., Costa, J., Bairrão, D., & Vale, Z. (2023). Local renewable energy communities: Classification and sizing. *Energies*, 16(5), 2389. <https://doi.org/10.3390/en16052389>
- [28] Esfandiary Abdolmaleki, D., Faraji Abdolmaleki, S., & Bello Bugallo, P. M. (2023). Evaluating renewable energy and ranking 17 Autonomous Communities in Spain: A topsis method. *Sustainability*, 15(16), 12259. <https://doi.org/10.3390/su151612259>
- [29] Haji Bashi, M., De Tommasi, L., Le Cam, A., Relaño, L. S., Lyons, P., Mundó, J., Pandelieva-Dimova, I., Schapp, H., Loth-Babut, K., Egger, C., Camps, M., Cassidy, B., Angelov, G., & Stancioff, C. E. (2023a). A review and mapping exercise of Energy Community Regulatory Challenges in European member states based on a survey of collective energy actors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113055. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113055>
- [30] Moreno Escobar, J. J., Morales Matamoros, O., Tejeida Padilla, R., Lina Reyes, I., & Quintana Espinosa, H. (2021). A comprehensive review on Smart Grids: Challenges and opportunities. *Sensors*, 21(21), 6978. <https://doi.org/10.3390/s21216978>
- [31] De Lotto, R., Micciché, C., Venco, E. M., Bonaiti, A., & De Napoli, R. (2022). Energy communities: Technical, legislative, organizational, and planning features. *Energies*, 15(5), 1731. <https://doi.org/10.3390/en15051731>
- [32] Cutore E, Fichera A, Volpe R. A Roadmap for the Design, Operation and Monitoring of Renewable Energy Communities in Italy. *Sustainability*. 2023; 15(10):8118. <https://doi.org/10.3390/su15108118>
- [33] Bosone, M., Pirelli, B., & Vito, D. (2023). Evaluating energy communities: A new social and economic model for implementing the ecological transition. *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2023 Workshops*, 259–276. https://doi.org/10.1007/978-3-031-37117-2_19
- [34] Kaiser, S., Oliveira, M., Vassillo, C., Orlandini, G., & Zucaro, A. (2022). Social and Environmental Assessment of a Solidarity Oriented Energy Community: A case-study in San Giovanni a Teduccio, Napoli (it). *Energies*, 15(4), 1557. <https://doi.org/10.3390/en15041557>
- [35] Piselli, C., Fronzetti Colladon, A., Segneri, L., & Pisello, A. L. (2022). Evaluating and improving social awareness of energy communities through semantic network analysis of online news. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112792. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112792>
- [36] Biresselioglu, M. E., Demir, M. H., Solak, B., Savas, Z. F., Kollmann, A., Kirchler, B., & Ozcureci, B. (2024). Empowering energy citizenship: Exploring dimensions and drivers in citizen engagement during the Energy Transition. *Energy Reports*, 11, 1894–1909. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.01.040>

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 47	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- [37] McMaster, R., Noble, B., & Poelzer, G. (2024). Assessing local capacity for community appropriate sustainable energy transitions in northern and remote indigenous communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114232>
- [38] Pelekis, S., Pipergias, A., Karakolis, E., Mouzakitis, S., Santori, F., Ghoreishi, M., & Askounis, D. (2023). Targeted demand response for flexible energy communities using clustering techniques. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 36, 101134. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2023.101134>
- [39] Couraud, B., Andoni, M., Robu, V., Norbu, S., Chen, S., & Flynn, D. (2023). Responsive flexibility: A smart local energy system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113343. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113343>
- [40] Di Silvestre, M. L., Ippolito, M. G., Sanseverino, E. R., Sciumè, G., & Vasile, A. (2021). Energy self-consumers and renewable energy communities in Italy: New actors of the Electric Power Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111565>
- [41] Mustika, A. D., Rigo-Mariani, R., Debusschere, V., & Pachurka, A. (2022). New members selection for the expansion of Energy Communities. *Sustainability*, 14(18), 11257. <https://doi.org/10.3390/su141811257>
- [42] Minuto, F. D., Lanzini, A., Giannuzzo, L., & Borchellini, R. (2022). Digital platforms for Renewable Energy Communities Projects: An overview. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1106(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1106/1/012007>
- [43] Haji Bashi, M., De Tommasi, L., Le Cam, A., Relaño, L. S., Lyons, P., Mundó, J., Pandelieva-Dimova, I., Schapp, H., Loth-Babut, K., Egger, C., Camps, M., Cassidy, B., Angelov, G., & Stancioff, C. E. (2023). A review and mapping exercise of Energy Community Regulatory Challenges in European member states based on a survey of collective energy actors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 172, 113055. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113055>
- [44] Vernay, A.-L., Sebi, C., & Arroyo, F. (2023). Energy community business models and their impact on the energy transition: Lessons learnt from France. *Energy Policy*, 175, 113473. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113473>
- [45] Campagna, L., Rancilio, G., Radaelli, L., & Merlo, M. (2024). Renewable Energy Communities and mitigation of Energy Poverty: Instruments for policymakers and community managers. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 101471. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2024.101471>
- [46] D'Alpaos, C., & Andreolli, F. (2020). Renewable energy communities: The challenge for new policy and regulatory frameworks design. *New Metropolitan Perspectives*, 500–509. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_47
- [47] Standal, K., Leiren, M. D., Alonso, I., Azevedo, I., Kudrenickis, I., Maleki-Dizaji, P., Laes, E., Di Nucci, M. R., & Krug, M. (2023). Can renewable energy communities enable a just energy transition? exploring alignment between stakeholder motivations and needs and EU policy in Latvia, Norway, Portugal and Spain. *Energy Research & Social Science*, 106, 103326. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103326>
- [48] Tatti, A., Ferroni, S., Ferrando, M., Motta, M., & Causone, F. (2023). The emerging trends of Renewable Energy Communities' development in Italy. *Sustainability*, 15(8), 6792. <https://doi.org/10.3390/su15086792>
- [49] Ahmed, S., Ali, A., & D'Angola, A. (2024). A review of Renewable Energy Communities: Concepts, scope, progress, challenges, and recommendations. *Sustainability*, 16(5), 1749. <https://doi.org/10.3390/su16051749>
- [50] Braeuer, F., Kleinebrahm, M., Naber, E., Scheller, F., & McKenna, R. (2022). Optimal system design for energy communities in multi-family buildings: The case of the German tenant electricity law. *Applied Energy*, 305, 117884. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117884>

 Centro Ricerche Bologna	Sigla di identificazione ICER – P000 – 002	Rev. 0	Distrib. L	Pag. 48	di 48
---	--	------------------	----------------------	-------------------	-----------------

- [51] Bergamaschi, S., & Gagliardelli, L. (2023). A big data platform for the management of Local Energy Communities Data. 2023 IEEE International Conference on Big Data (BigData). <https://doi.org/10.1109/bigdata59044.2023.10386905>
- [52] VERDE, S. F., & ROSSETTO, N. (1970, January 1). The future of renewable energy communities in the EU: An investigation at the time of the Clean Energy Package. Cadmus Home. <https://cadmus.eui.eu/handle/1814/68383>
- [53] VERDE, S. F., & ROSSETTO, N. (1970, January 1). The future of renewable energy communities in the EU: An investigation at the time of the Clean Energy Package. Cadmus Home. <https://cadmus.eui.eu/handle/1814/68383>
- [54] Ceglia, F., Marrasso, E., Samanta, S., & Sasso, M. (2022). Addressing energy poverty in the Energy Community: Assessment of Energy, environmental, economic, and social benefits for an Italian residential case study. Sustainability, 14(22), 15077. <https://doi.org/10.3390/su142215077>
- [55] Cutore, E., Volpe, R., Sgroi, R., & Fichera, A. (2023). Energy Management and Sustainability Assessment of Renewable Energy Communities: The Italian context. Energy Conversion and Management, 278, 116713. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.116713>
- [56] Gruppi di autoconsumatori di energia rinnovabile che agiscono collettivamente e comunità di energia rinnovabile - Modalità di profilazione dei dati di misura e relative modalità di utilizzo ai sensi dell'articolo 9 dell'allegato A alla delibera 318/2020/r/eel. 4 aprile 2022. https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Servizi%20per%20te/AUTOCONSUMO/Gruppi%20di%20autoconsumatori%20e%20comunita%20di%20energia%20rinnovabile/Normative/Consultazione%20GSE%20VERSIONE%20FINALE.pdf