



UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR

Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 Aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020

Validazione e simulazione delle soluzioni tecnologiche, dei modelli e degli algoritmi sviluppati

Rapporto Tecnico di Sviluppo Sperimentale D7.3



Avviso	Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR
Codice progetto	ARS01_01259
Nome del progetto	Community Energy Storage Gestione Aggregata di Sistemi di Accumulo dell'Energia in Power Cloud
Acronimo	ComESto
Documento	D7.3
Tipologia	Rapporto Tecnico di Sviluppo Sperimentale
Data di Rilascio	05/05/2022
Obiettivo Realizzativo	OR7
Attività Realizzativa	A7.3
Soggetti Beneficiari Proponenti	UNICAL, FBK, EVOLVERE, GES
Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Matteo Baù – FBK Edoardo Gino Macchi – FBK Michele Bolognese – FBK Luca Mendicino – UNICAL Nicola Sorrentino – UNICAL Anna Pinnarelli – UNICAL Paolo Todeschi – GES Alessandro Burgio – Evolvere Giuseppe De Marco – Evolvere
Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Edoardo Gino Macchi – FBK
Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Membri del PEB

Indice

EXECUTIVE SUMMARY	7
1.DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATORS	7
1.1 KPI relativi a aggregazione e nanogrid.....	8
1.2 KPI relativi ai sistema di accumulo.....	20
2.SISTEMA DI MONITORAGGIO E ANALISI KPIS	23
2.1 Implementazione sistema di monitoraggio.....	23
2.2 Analisi KPIs.....	25

Indice delle Figure

Figura 1: Piattaforma ComESto – Schermata “Impianti”	24
Figura 2: Piattaforma ComESto – Schermata visualizzazione KPIs comunità	24
Figura 3: Piattaforma ComESto – Schermata visualizzazione KPIs utente/nanogrid	25
Figura 4: Andamento della produzione di energia da fotovoltaico e consumo dei carichi, di tutta la comunità	26
Figura 5: Andamento dell'indice di autoconsumo della comunità IACH e dei singoli utenti IASh	27
Figura 6: Andamento IAC normalizzato riferito a Prosumager 1 e Prosumager 3	28
Figura 7: Andamento di IACH per i 3 prosumager	29
Figura 8: Andamento di Preteagg e Pretebase	30
Figura 9: IAP prosumager 1 Production	32
Figura 10: IAP prosumager 1 load	33
Figura 11: IAP prosumager 2 Load	33
Figura 12: IAP Prosumager 3 production	34
Figura 13: IAP Prosumager 3 load	34
Figura 14: IAP Consumager 1 load	35
Figura 15: IAP Consumager 2 load	35
Figura 16: IAP Consumager 3 load	36



Validazione e simulazione delle soluzioni tecnologiche, dei modelli e degli algoritmi sviluppati
Rapporto Tecnico di Sviluppo Sperimentale – D7.3

Indice delle Tabelle

Abbreviazioni ed acronimi

Abbreviazione/Acronimo	Testo Esteso
DR	Demand Response
GUI	Graphical User Interface
KPI	Key Performance Indicator
OFIS-DA	Ottimizzazione Flessibilità Interna e Sbilanciamento – Day Ahead
OFIS-TR	Ottimizzazione Flessibilità Interna e Sbilanciamento – Tempo Reale
SdA	Sistema di Accumulo

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento, deliverable del progetto ComESTo, sintetizza i risultati delle attività condotte nell'ambito dell'attività 7.3 ("Realizzazione e sperimentazione del sistema di monitoraggio anche finalizzato alla verifica sul campo dei risultati ottenuti in RI") dell'Obiettivo Realizzativo 7 (OR7).

Obiettivo della attività A7.3 è connesso con la realizzazione e sperimentazione di un sistema di monitoraggio finalizzato anche alla verifica sul campo dei risultati ottenuti nelle attività di ricerca industriale. L'attività si è focalizzata in una prima fase nella definizione dei KPIs più rilevanti sia a livello di comunità che a livello di singolo utente/nanogrid. Tra questi si citano a titolo di esempio, l'indice di riduzione delle emissioni, l'indice di autoconsumo collettivo (di comunità o del singolo utente), l'indice di riduzione del picco di carico. Inoltre sono stati definiti KPIs specifici per i sistemi di accumulo considerati nel progetto. Il fine ultimo dei KPI è la verificare dell'efficacia degli algoritmi, dei modelli e delle soluzioni tecnologiche proposte.

A valle della definizione dei KPI l'attività ha previsto l'implementazione nella piattaforma del calcolo degli stessi e dell'interfaccia grafica per la visualizzazione e il monitoraggio.

Infine, durante la sperimentazione del dimostratore, sono stati analizzati i KPIs per valutare l'efficacia degli algoritmi e delle soluzioni tecnologiche, anche considerando i target degli use case definiti in A7.5.

1. DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATORS

I Key Performance Indicators (KPIs) definiti a seguire sono funzionali alla valutazione delle prestazioni della piattaforma ComESTo durante il periodo dimostrativo e a valle dello stesso. Tale valutazione è eseguita sia sulla base di KPIs derivati da progetti H2020 afferenti al medesimo ambito (e.g. [2] – [4]), che sulla base di KPIs relativi a direttive nazionali (e.g. Delibera ARERA 318/2020/R/eel).

Per ciascun KPI è definita una formulazione matematica basata sui dati trasmessi dal livello locale della nanogrid alla piattaforma ComESTo (piattaforma di aggregazione) e, ove necessario, una rappresentazione grafica da implementare nella GUI della piattaforma stessa. I KPIs sono suddivisi in funzione dell'oggetto della valutazione di prestazione, che può coincidere alternativamente con l'aggregazione, la nanogrid o il singolo sistema di accumulo.

Complessivamente, si propone di strutturare la parte grafica della piattaforma di monitoraggio in quattro schede rispettivamente contenenti:

- un grafico che mostra in tempo reale l'evoluzione temporale della potenza assorbita/erogata da ogni punto di misura dell'aggregazione;

- i KPI di comunità definiti a seguire con i relativi grafici, per un totale di quattro grafici e un valore;
- i KPI di nanogrid definiti a seguire con i relativi grafici, per un totale di cinque grafici;
- i KPI definiti per i sistemi di accumulo con i relativi grafici, per un totale di quattro grafici e un valore.

1.1 KPI relativi a aggregazione e nanogrid

A seguire sono presentati i KPI quantitativi volti a valutare la prestazione tecnica e ambientale dell'aggregazione e delle singole nanogrids. Questi KPI rappresentano la maggior parte degli indici formulati, visto che alla piattaforma sono trasmessi solamente quei parametri dei sistemi di accumulo funzionali alla risoluzione degli algoritmi di pianificazione del giorno prima (OFIS-DA) e in tempo reale (OFIS-TR). I KPI definiti solamente tramite pedice sono riferiti all'intera aggregazione, mentre quelli definiti tramite sia pedice che apice sono calcolati per ogni singola nanogrid/utenza o, nel caso degli indici previsionali, per ciascuna grandezza per la quale è formulata una previsione.

Indice di Riduzione delle Emissioni di CO₂ (IRE)

Il suddetto indice mira a quantificare il beneficio ambientale in termini di riduzione delle emissioni di CO₂ apportato dalla gestione aggregata delle comunità basata su sistemi di accumulo rispetto ad uno scenario di base in cui non sono applicate logiche di aggregazione e le nanogrid non sono equipaggiate con sistemi di accumulo. Il KPI, espresso in valore assoluto in termini di [kg di CO_{2, eq}], può essere calcolato come indicato a seguire:

$$IRE = \sum_{h=1}^H \left(GHG_{base}(h) - GHG_{agg}(h) \right) = k_{mix} \times \sum_{h=1}^H \sum_{n=1}^N E_{dis}^n(h) \quad (1)$$

Dove:

- ***h***: è l'indice dell'ora di riferimento in cui è calcolata la grandezza;
- ***n***: indice del sistema di accumulo per il quale è effettuato il calcolo;
- ***H***: è il numero totale di ore in cui è effettuato il calcolo;
- ***N***: è il numero totale di sistemi di accumulo presenti nell'aggregazione;
- **$GHG_s = k_{mix} \times E_{rete}^s$** : è il valore orario di emissioni equivalenti di CO₂ e, genericamente, può essere espresso come il prodotto tra l'energia oraria E_{rete}^s assorbita da rete nello scenario *s* e il coefficiente di emissioni medio del mix produttivo k_{mix} in [kgCO_{2, eq}/kWh] relativo alla specifica zona di mercato. Nella gestione aggregata, l'energia assorbita da rete E_{rete}^{agg} coincide con quella misurata al 0 dell'aggregazione (assumendo che quest'ultima sia sottesa allo stesso POD), mentre nello scenario base essa è stimata sommando a E_{rete}^{agg} l'energia oraria erogata E_{dis}^k dai *K*

sistemi di accumulo dell'aggregazione nella medesima ora. Al momento per il coefficiente di emissioni medio del mix produttivo k_{mix} è possibile considerare 0,258 kgCO₂/kWh¹.

Il KPI è calcolato a livello di aggregazione e fornisce un singolo valore, che può essere aggiornato quotidianamente o settimanalmente come cumulativo del valore precedente con quello appena calcolato. Di conseguenza, non richiede rappresentazione grafica, ma può essere mostrato nella GUI della piattaforma di monitoraggio un singolo valore (e.g., Riduzione emissioni CO₂ dal xx/xx/xxxx: YYYY kg CO₂).

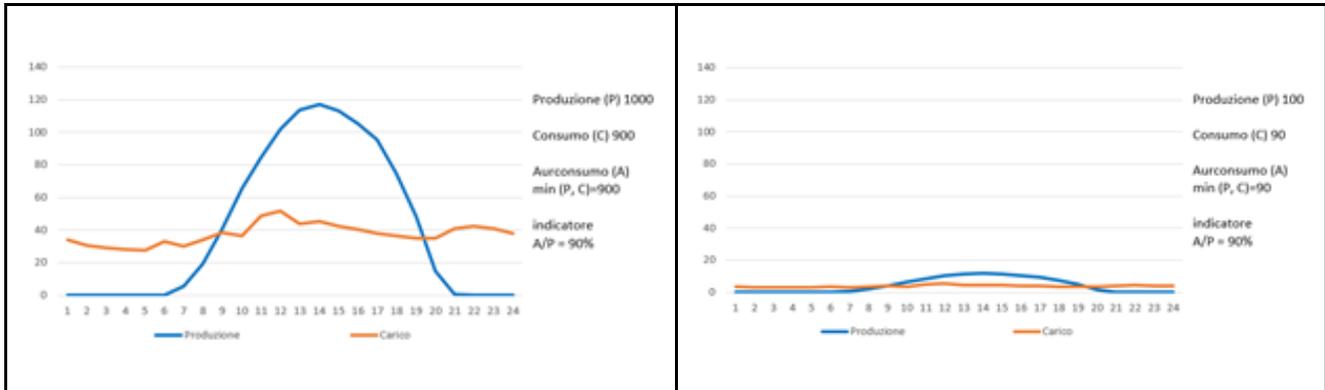
Indici di autoconsumo e autosufficienza (IAC, IAS, PAC)

I seguenti indicatori di performance si rendono necessari per valutare i benefici legati all'autoconsumo condiviso nelle Comunità Energetiche. Tali indici possono essere inoltre messi a confronto con le condizioni di sfruttamento delle reti per valutare gli effetti delle RES utilizzate sia dal singolo utente che dall'aggregazione nel suo complesso. L'obiettivo è quello di individuare oltre all'autosufficienza energetica locale dell'utente, uno o più indici, calcolabili su diverse scale temporali, che siano in grado di misurare non solo l'autoconsumo, di per sé semplice da calcolare, ma che diano anche indicazioni sulla 'qualità' dell'autoconsumo effettuato all'interno della comunità di utenti.

A titolo di esempio, si potrebbe ottenere lo stesso indice di energia auto-consumata, in un giorno con alta produzione (e alto carico) ed un giorno con bassa produzione (e basso carico). Sebbene la percentuale di autoconsumo sia identica, la prestazione della comunità e del singolo utente invece è diversa.

ESEMPIO 1:	
Produzione oraria (P) = 1.000 Consumo orario (C) = 900 Autoconsumo (A) = min(produzione, consumo) = 900 Indicatore di autoconsumo rapportato alla produzione → $A/P = 900/1000 = 0,9 = 90\%$ Ad esempio una giornata con alta produzione e alto consumo. Nella realtà la performance è alta (situazione migliore)	Produzione oraria (P) = 100 Consumo orario (C) = 90 Autoconsumo (A) = min(produzione, consumo) = 90 Indicatore di autoconsumo rapportato alla produzione → $A/P = 90/100 = 0,9 = 90\%$ Ad esempio una giornata con bassa produzione e basso consumo. Nella realtà la performance è bassa (situazione peggiore)

¹ <https://www.isprambiente.gov.it/files2021/pubblicazioni/rapporti/r343-2021.pdf>

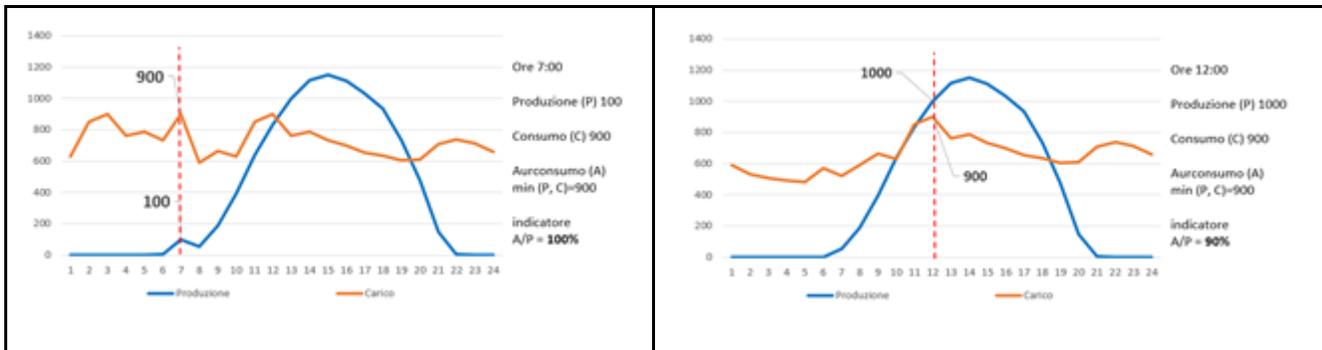


È possibile notare come, nonostante il valore dell'indicatore sia uguale (nell'esempio 1 pari al 90%), le performances dell'aggregazione (o dell'utente) sono molto diverse.

Se non si tiene conto delle reali performance di produzione, ancora più evidenti risultano le incongruenze per un indicatore di autoconsumo condiviso, infatti confrontando ore con produzione differente e carico uguale (ad esempio le ore 7:00 e le ore 12:00) si può ottenere un alto valore dell'indicatore in corrispondenza delle situazioni dove il carico copre tutta la generazione rinnovabile ma non perché ci sia una reale performance elevata ma perché la produzione risulta scarsamente disponibile.

Si mostra pertanto un secondo esempio in orari nella quale la generazione rinnovabile risulta sensibilmente diversa.

ESEMPIO 2:	
<u>Ore 7:00</u>	<u>Ore 12:00</u>
Produzione oraria (P) = 100 Consumo orario (C) = 900 Autoconsumo (A) = min(produzione, consumo) = 100 Indicatore di autoconsumo $100/100 = 1 = 100\%$	Produzione oraria (P) = 1.000 Consumo orario (C) = 900 Autoconsumo (A) = min(produzione, consumo) = 900 Indicatore di autoconsumo $900/1.000 = 0,9 = 90\%$
Nella realtà la performance è bassa (situazione peggiore)	Nella realtà la performance è alta (situazione migliore)



È possibile notare come in questo secondo esempio l'indicatore risulti forviante, in quanto la performance in generale risulta molto alta (100%) ma buona parte del consumo avviene in un momento non idoneo siccome andrebbe spostato nelle ore di maggior produzione.

Naturalmente ciò è possibile se si considera l'utilizzo della *Demand Response* (DR) dei carichi elettrici in maniera coordinata sia a livello locale che aggregato.

Se ci si pone invece nell'ottica di **non** poter variare i carichi elettrici allora, tramite l'ausilio dei Sistemi di storage è possibile accumulare l'energia prodotta nelle ore di maggior produzione e spostarla in corrispondenza delle ore a maggiore consumo aumentando le quote di autoconsumo condiviso nel caso di aggregato o di autoconsumo locale.

Nel caso di aggregato e quindi di condivisione dell'energia si è pensato di utilizzare un termine di 'normalizzazione' nel calcolo degli indicatori di autoconsumo collettivo confrontando la quantità di energia consumata nell'orizzonte temporale su cui calcoliamo l'indice con la quantità di energia rinnovabile effettivamente prodotta e disponibile.

Gli indici costruiti per valutare il grado di autoconsumo, sia esso riferito ad un singolo utente (autoconsumo individuale) che dell'aggregazione/comunità nel suo complesso (autoconsumo condiviso o collettivo), possono essere misurati in riferimento a diversi periodi e pertanto prendono in considerazione diversi intervalli temporali (ora, giorno, mese, anno) nonostante quello di valenza maggiore sia l'indicatore di tipo orario o meglio a consuntivo, di tipo giornaliero.

Ciò che si vuole fare è monitorare i consumi che risultano **virtuosi** ossia concentrati nelle ore a maggiore produzione. Il solo valore di energia consumata come mostrato negli esempi 1 e 2, non dà queste informazioni, pertanto è necessario costruire un indicatore che restituisca informazioni che non sono soltanto di tipo quantitativo ma che dia informazioni anche di tipo QUALI-QUANTITATIVO.

Per tale ragione nel calcolo dell'autoconsumo condiviso, si è deciso di confrontare il consumo locale con il consumo totale dell'aggregato pesandolo attraverso la produzione (normalizzando appunto l'indicatore).

Definiamo con:

- **h:** 1, 2, ..., 24 indice che rappresenta le ore
- **i:** 1, 2, ..., n indice la cui somma rappresenta il **numero di utenti/carichi** della comunità;
- **g:** 1, 2, ..., N_g indice che rappresenta il numero di **giorni** del mese

- m : 1,2.....12, indice che rappresenta il numero di **mesi** dell'anno
- $E_{p,i}^h$: energia prodotta dall'utente i all'ora h ;
- E_p^h : energia prodotta collettivamente da fonti rinnovabili all'ora h ;
- E_i^h : energia assorbita dal carico dell'utente i all'ora h ;
- $E_L^h = \sum_{i=1}^n E_i^h$: energia assorbita da tutti i carichi della comunità
- $E_{AC}^h = \min(E_p^h; E_L^h)$, **energia condivisa dalla Comunità Energetica**, secondo la definizione di ARERA fornita nella delibera 318/2020/R/eel. È definita come il minimo tra il valore orario dell'energia generata da fonti rinnovabili (es. PV) e la somma dell'energia consumata da tutti i carichi della comunità.
- $E_{AL,i}^h = \min(E_i^h; E_{p,i}^h)$, energia auto-consumata localmente o di autosufficienza energetica, rappresentata dal minimo valore tra la produzione e il consumo dell'utente nello stesso sito.

Indice di autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) orario (IAC): l'indice è riferito all'autoconsumo condiviso dell'aggregato in relazione alla quantità totale di energia prodotta nella stessa ora E_p^h da tutte le risorse di generazione rinnovabile. Esso esprime il rapporto tra l'energia condivisa nell'ora in relazione a tutta l'energia prodotta nella stessa ora dalla comunità. Considerando come è costruito E_{AC}^h , è al massimo pari alla quantità di energia autoprodotta da fonte rinnovabile (es. FV) della comunità nella stessa ora. L'indice varia tra 0 e 1 e può essere formulato nel seguente modo:

$$IAC^h = \frac{E_{AC}^h}{E_p^h} \quad (2)$$

Indice di prestazione dell'autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) orario (PAC): è il rapporto tra l'energia condivisa in relazione al totale dell'energia prodotta nel giorno. L'indicatore fornisce infatti una prestazione dell'ora rispetto al totale della giornata.

$$PAC^h = \frac{E_{AC}^h}{\sum_{h=1}^{24} E_p^h} \quad (3)$$

Quando si passa sul singolo utente si deve tenere distinto il valore di autoconsumo locale (che potremmo definire di autosufficienza), dall'autoconsumo condiviso del singolo utente inteso come quota parte dell'autoconsumo collettivo attribuita al singolo utente nell'ora.

Indice di autoconsumo locale orario del singolo utente: è il rapporto tra l'energia auto-consumata localmente nell'ora in relazione all'energia prodotta nella stessa ora dal medesimo utente (quando la produzione è maggiore di zero).

$$IAS_i^h = \frac{E_{AL,i}^h}{E_{p,i}^h} \quad (4)$$

Indice di autoconsumo condiviso orario del singolo utente: L'indice è riferito all'auto-consumo del singolo utente prosumer/prosumer e corrisponde alla percentuale di energia condivisa collettiva che viene consumata dall'utente nello stesso istante in cui viene prodotta (viene conteggiata come energia auto-consumata istantaneamente anche l'energia immagazzinata negli storage locali per i prosumagers).

Considerando la quantità di energia auto-prodotta da rinnovabili data dall'indice di autoconsumo IAC^h e la quantità di energia consumata localmente rispetto al totale (E_i^h/E_L^h), l'indice viene normalizzato con la produzione oraria $E_{p,i}^h$ rispetto al massimo contributo di generazione $max_g E_{p,i}^h$ apportato dell'utente nella giornata g. L'indice varia tra 0 e 1 e può essere calcolato come:

$$IAC_i^h \text{ normalizzato} = \frac{E_i^h}{E_L^h} \times \left(IAC^h \times \frac{E_{p,i}^h}{max_g(E_{p,i}^h)} \right) \quad (5)$$

Il primo termine è il carico assorbito dall'utente i nell'ora **rispetto al carico totale** dei consumi nella stessa ora. Il secondo termine rappresenta l'indice di autoconsumo normalizzato, ovvero il prodotto tra l'indice di autoconsumo collettivo per la produzione dell'utente normalizzata. È da tenere in considerazione che se l'utente i è un consumer, la formulazione precedente non è applicabile ed è invece necessario applicare la formula senza la normalizzazione come di seguito:

$$IAC_i^h = \frac{E_i^h}{E_L^h} \times IAC^h \quad (6)$$

È possibile calcolare gli indici di auto-consumo condiviso singoli o collettivi su altre scale temporali (ad esempio, giornalmente, mensilmente o su base annuale) applicando le medesime formule sopra riportate opportunamente scalate sul corretto orizzonte temporale.

Indici di autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) giornaliero: L'indice è riferito all'autoconsumo condiviso dell'aggregato nel corso della giornata in relazione alla quantità totale di energia assorbita nella giornata da tutto l'aggregato. Considerando come è costruito E_L^h pari alla quantità di energia consumata da tutti i carichi della comunità si potrà al massimo soddisfare il carico complessivo giornaliero. L'indice varia tra 0 e 1 e può essere formulato come di seguito:

$$IAC^g = \frac{\sum_{h=1}^{24} (E_L^h \times IAC^h)}{\sum_{h=1}^{24} E_L^h} \quad (7)$$

È la somma delle quote di carico totale della comunità E_L^h che in ciascuna ora viene soddisfatta in autoconsumo, rispetto al carico totale della giornata.

Una soluzione per migliorare la misura dell'indicatore in funzione della produzione della giornata potrebbe essere quella di pesare IAC^g come calcolato al punto precedente in funzione della produzione mensile. Si considera per il momento un possibile peso dato dalla produzione della giornata rispetto alla massima performance di produzione ottenibile. Tale versione complicherebbe abbastanza il calcolo dell'indicatore in quanto presuppone di conoscere quale sia la massima produzione oraria ottenibile nel giorno all'interno della stagione/mese di riferimento m . Si prende in considerazione nella normalizzazione la massima produzione del giorno all'interno del mese m in analisi.

$$IAC^{gp} = \frac{\sum_{h=1}^{24} (E_L^h \times IAC^h)}{\sum_{h=1}^{24} E_L^h} \times \frac{\sum_{h=1}^{24} E_p^h}{\max_m (\sum_{h=1}^{24} E_p^h)} = IAC^g \times \frac{\sum_{h=1}^{24} E_p^h}{\max_m (\sum_{h=1}^{24} E_p^h)} \quad (8)$$

In questo modo si ottiene l'indice IAC^g pesato (quindi IAC^{gp}) in funzione della produzione giornaliera rispetto alla massima produzione giornaliera del mese preso in considerazione. È ovvio che tale indice si calcola a posteriori una volta che sono a disposizione tutti i dati della giornata, soprattutto nella versione in cui si va a pesare l'indice rispetto alla massima produzione giornaliera del mese. In questo caso però la mancata produzione per via di condizioni indipendenti dalla comunità (ad esempio giornata nuvolosa, guasti ecc) determinerebbe una minore bontà dell'indicatore. Inoltre, tale indicatore risulterebbe con valore maggiore di 1 e rappresenterebbe più uno score che una percentuale di autoconsumo tra 0-100%. Per tale motivo si decide di lasciare l'indicatore invariato come in (7) inizialmente definito o normalizzarlo diversamente una volta che si avranno sufficienti dati a disposizione per effettuare le opportune analisi degli indicatori.

Indice di autoconsumo locale giornaliero del singolo utente: Anche quando si passa sull'orizzonte giornaliero per il singolo utente si deve tenere distinto il valore di autoconsumo locale (autosufficienza) dall'autoconsumo condiviso del singolo utente inteso come quota parte dell'autoconsumo collettivo attribuita al singolo utente nella giornata. Il seguente indice calcola il rapporto tra l'energia autoconsumata localmente nella giornata in relazione all'energia prodotta nella giornata sempre dallo stesso utente (quando la produzione è > 0).

$$IAS_i^g = \frac{\sum_{h=1}^{24} E_{AL,i}^h}{\sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h} \quad (9)$$

Indice di autoconsumo condiviso giornaliero del singolo utente: L'indice è riferito alla quota di autoconsumo condiviso del singolo utente nel corso della giornata in relazione alla sua quantità giornaliera di energia consumata. L'indice è riferito alla quota parte di autoconsumo condiviso attribuita al singolo utente nel corso della giornata, in relazione alla sua quantità giornaliera di energia consumata. L'indice

può essere pesato con la produzione totale del giorno $\sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h$ rapportata alla massima produzione giornaliera all'interno del mese $\max_m(\sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h)$.

$$IAC_i^g = \frac{\sum_{h=1}^{24} (E_L^h \times IAC_i^h)}{\sum_{h=1}^{24} E_L^h} \times \frac{\sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h}{\max_m(\sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h)} \quad (10)$$

Questo indice rappresenta la somma delle quote di carico totale E_L^h del singolo utente che in ciascuna giornata viene soddisfatta in autoconsumo rispetto al carico totale della giornata. Il tutto è moltiplicato per la performance giornaliera di produzione rapportata alla migliore situazione possibile che si è verificata nel mese. Anche in questo caso vi è da tenere in considerazione che se l'utente i è un consumer allora tale indice non è calcolabile per intero e pertanto si riduce al seguente:

$$IAC_i^g = \frac{\sum_{h=1}^{24} (E_L^h \times IAC_i^h)}{\sum_{h=1}^{24} E_L^h} \quad (11)$$

Indice di autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) mensile: l'indice è riferito all'autoconsumo condiviso dell'aggregato nel corso del mese in relazione alla quantità totale di energia assorbita nel mese da tutto l'aggregato. Considerando come è costruito E_L^g pari alla quantità di energia consumata da tutti i carichi della comunità si potrà al massimo soddisfare il carico complessivo mensile. L'indice varia tra 0 e 1 e può essere calcolato come:

$$IAC^m = \frac{\sum_{g=1}^{N_g} (E_L^g \times IAC^g)}{\sum_{g=1}^{N_g} E_L^g} \quad (12)$$

Esso è la somma delle quote di carico totale $E_L^g \times IAC^g$ che in ciascun giorno viene soddisfatta in autoconsumo condiviso rispetto al carico totale del mese, dove $E_L^g = \sum_{h=1}^{24} E_L^h$ è l'energia totale consumata nel giorno g da tutti i carichi della comunità.

Si considera che l'indicatore come nei casi precedenti può essere pesato attraverso una componente come, ad esempio, la produzione mensile rapportata al mese di massima produzione durante l'anno pertanto può anche essere modificato come di seguito:

$$IAC^m = \frac{\sum_{g=1}^{N_g} (E_L^g \times IAC^g)}{\sum_{g=1}^{N_g} E_L^g} \times \frac{\sum_{g=1}^{N_g} E_p^g}{\max_a(\sum_{g=1}^{N_g} E_L^g)} \quad (13)$$

Dove $E_p^g = \sum_{h=1}^{24} E_p^h$ è l'energia totale prodotta nel giorno g da tutti i generatori e a è il periodo di riferimento (in questo caso l'anno o stagione) su cui è calcolato il massimo giornaliero.

Indice di autoconsumo locale mensile del singolo utente: anche quando si passa sull'orizzonte mensile per il singolo utente si deve tenere distinto il valore di autoconsumo locale (autosufficienza) dall'autoconsumo condiviso del singolo utente inteso come quota parte dell'autoconsumo collettivo attribuita al singolo utente nel mese.

$$IAS_i^m = \frac{\sum_{g=1}^{N_g} E_{AL,i}^g}{\sum_{g=1}^{N_g} E_{p,i}^g} \quad (14)$$

È il rapporto tra l'energia auto-consumata localmente nel mese in relazione all'energia prodotta nel mese sempre dallo stesso utente (quando la produzione è > 0).

Indice di autoconsumo condiviso mensile del singolo utente: l'indice è riferito alla quota di autoconsumo condiviso del singolo utente nel corso di tutti i giorni in relazione alla sua quantità mensile di energia consumata, dove $E_{p,i}^g = \sum_{h=1}^{24} E_{p,i}^h$ è l'energia totale prodotta nel giorno g dall'utente i .

$$IAC_i^g = \frac{\sum_{g=1}^{N_g} (E_L^g \times IAC_i^g)}{\sum_{g=1}^{N_g} E_L^g} \times \frac{\sum_{g=1}^{N_g} E_{p,i}^g}{\max_a (\sum_{g=1}^{N_g} E_{p,i}^g)} \quad (15)$$

L'indicatore rappresenta la somma delle quote di carico totale del singolo utente che in ciascun mese viene soddisfatta in autoconsumo rispetto al carico totale del mese. Il tutto è moltiplicato per la performance di produzione dell'utente data dalla produzione rapportata alla migliore situazione possibile che si è verificata nei vari mesi dell'anno considerato o della stagione considerata.

Come per gli analoghi indicatori, è da tenere in considerazione che, se l'utente i è un consumer, allora tale indice non è calcolabile per intero e pertanto si riduce al seguente:

$$IAC_i^g = \frac{\sum_{g=1}^{N_g} (E_L^g \times IAC_i^g)}{\sum_{g=1}^{N_g} E_L^g} \quad (16)$$

Indice di autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) annuo: l'indice è riferito all'autoconsumo condiviso dell'aggregato nel corso di ogni mese in relazione alla quantità totale di energia assorbita nell'anno da tutto l'aggregato di utenti. L'indice varia tra 0 e 1 e può essere calcolato come:

$$IAC^a = \frac{\sum_{m=1}^{12} (E_L^m \times IAC^m)}{\sum_{m=1}^{12} E_L^m} \quad (17)$$

Dove $E_L^m = \sum_{g=1}^{N_g} E_L^g$ è l'energia totale consumata nel mese m da tutti i carichi.

Per quanto riguarda la rappresentazione grafica degli indici di autoconsumo singoli e collettivi, si propongono le seguenti soluzioni:

- Visualizzazione del valore dell'indice di autoconsumo IAC^g collettivo giornaliero calcolato secondo la formulazione (7) tramite grafico a linee, che mostra l'andamento temporale dell'indice per gli ultimi trenta valori giornalieri (sliding window);
- Visualizzazione statistica degli indici di autoconsumo singoli giornalieri IAC_i^g , tramite boxplot. Gli indici IAC_i^g sono calcolati ogni giorno (per ogni nanogrid) e sono salvati su server/file in associazione alla data di calcolo. I dati relativi a ciascuna nanogrid sono poi raggruppati in due gruppi (giorni lavorativi e festivi/prefestivi) ottenendo così due "scatole" per ogni nanogrid.
- Heatmap dei valori orari di autoconsumo collettivo orari IAC^h , in cui in ordinata sono indicate le ore del giorno (da 1 a 24) e in ascissa la data (GG/MM/AAAA). Alla fine di ogni giorno, la mappa di calore è aggiornata includendo la colonna di dimensione (1, 24) con i dati orari appena calcolati.

Indice di Affidabilità delle Risorse di flessibilità (IAR)

Il seguente indice mira a quantificare l'affidabilità delle risorse di flessibilità, quali sistemi di accumulo e risorse di demand response, nel rispettare l'ultimo profilo di carico comunicato dalla piattaforma di aggregazione alla *i-esima* nanogrid a valle della fase di ottimizzazione e dell'eventuale conseguente modifica del profilo di carico in tempo reale (OFIS-TR). L'indice è formulato come errore quadratico medio normalizzato rispetto al valore medio del profilo di potenza, al fine di facilitare il confronto tra le diverse nanogrid:

$$IAR^i = \frac{1}{T} \times \sum_{t=1}^T \left(P_{eff}^i(t) - P_{OFIS-TR}^i(t) \right)^2 \times \frac{1}{\sum_{t=1}^T P_{eff}^i(t)} \quad (18)$$

Dove:

- T : numero totale di eventi nell'arco del giorno su cui può essere valutato il KPI;
- P_{eff}^i : effettivo profilo di potenza della nanogrid i all'istante temporale t ;
- $P_{OFIS-TR}^i$: l'ultimo profilo di potenza comunicato, come risultato dell'ottimizzazione in tempo reale, alla nanogrid i da seguire all'istante temporale t .

L'indice può essere visualizzato tramite un grafico a barre che mostra il valore dell'errore per ciascuna nanogrid. Il valore può essere aggiornato quotidianamente estendendo il range in cui il valore è calcolato e mediato (visualizzazione statica).

Indice di Accuratezza delle Previsioni (IAP)

Il seguente indice è funzionale a quantificare l'accuratezza delle previsioni del carico elettrico e della generazione fotovoltaica, che chiaramente hanno un forte impatto sull'efficacia della pianificazione al

giorno prima. L'indice è formulato come la radice quadrata dell'errore quadratico medio, normalizzato rispetto al valore medio della variabile stessa:

$$IAP^i = \sqrt{\frac{1}{T} \times \sum_{t=1}^T (V_{prev}^i(t) - V_{eff}^i(t))^2} \times \frac{1}{\sum_{t=1}^T V_{eff}^i(t)} \quad (19)$$

Dove:

- T : numero totale di eventi nell'arco dell'ora su cui può essere valutato l'errore;
- V_{eff}^i : effettivo valore della variabile (potenza generata da FV o carico elettrico) per la nanogrid i all'istante temporale t ;
- V_{prev}^i : valore previsto al tempo t per la variabile della nanogrid i al tempo t .

Per ciascuna variabile, l'indice può essere rappresentato graficamente tramite un boxplot dove i valori di errore sono categorizzati relativamente all'ora del giorno. L'indice è calcolato (per ciascuna tipologia di variabile) ogni ora ed è salvato su server/file in associazione alla ora di calcolo. I dati sono poi raggruppati per ora di calcolo (intervallo [1, 24]) ottenendo così ventiquattro "scatole".

Indice di Riduzione del picco di Carico (IRC)

Questo indice permette di verificare se, nella gestione delle Comunità Energetiche, l'obiettivo di massimizzazione dell'autoconsumo garantisce una simultanea riduzione del picco di carico assorbito dalla rete della comunità stessa. La riduzione del picco di carico elettrico è calcolata con riferimento allo stesso scenario di base definito per il KPI n° 1, in cui non sono applicate logiche di aggregazione e in cui le nanogrid non sono equipaggiate con sistemi di accumulo. L'indice, espresso in termini percentuali, può essere calcolato come segue:

$$IRC = \frac{\max(\mathbf{P}_{rete}^{agg}) - \max(\mathbf{P}_{rete}^{base})}{\max(\mathbf{P}_{rete}^{base})} \times 100 \quad (20)$$

Dove:

- \mathbf{P}_{rete}^{agg} : vettore contenente n valori di potenza complessiva prelevata dalla rete dall'aggregazione in un periodo temporale predefinito (coincidente con l'ora, il giorno, etc.);
- \mathbf{P}_{rete}^{base} : valore di potenza assorbita dalla rete nello scenario base. Deve essere calcolato sulla base del valore di \mathbf{P}_{rete}^{agg} , al netto dei contributi in assorbimento/erogazione dei sistemi di accumulo presenti nell'aggregazione.

Il KPI può essere calcolato per la serie temporale giornaliera di potenza assorbita dalla rete e può essere rappresentato graficamente tramite un boxplot. L'indice è calcolato ogni giorno ed è salvato su server/file in associazione alla data di calcolo. I dati sono poi raggruppati in due gruppi (giorni lavorativi e festivi/prefestivi), ottenendo così un totale di due "scatole".

Indice di Produzione Rinnovabile locale (IPR)

Il seguente indice è utile a caratterizzare ciascuna nanogrid quantificando quanto la produzione di energia da fonte rinnovabile pesi rispetto ai consumi complessivi della nanogrid stessa. Tale grandezza facilita il confronto tra le prestazioni in auto-consumo delle diverse nanogrid. L'indice è calcolato come segue:

$$IPR^i = \frac{\sum_{h=1}^N E_p^i(h)}{\sum_{h=1}^N E_L^i(h)} \times 100 \quad (21)$$

Dove:

- **h**: indice che rappresenta le ore;
- **N**: numero totale di ore presenti nel periodo di dimostrazione considerato;
- E_p^i : energia prodotta da fonti rinnovabili all'ora h dalla nanogrid i ;
- E_L^i : energia assorbita (considerando anche quella accumulata) all'ora h dai carichi della nanogrid i .

L'indice può essere aggiornato, come cumulativo del valore precedente, ogni settimana/mese e può essere visualizzato in un grafico a barre, in cui in ascissa sono indicate le diverse nanogrid e in ordinata i valori del KPI.

Indice di Massimo Surplus orario di produzione rinnovabile (IMS)

Analogamente al precedente, questo indice facilita il confronto tra le prestazioni in auto-consumo delle diverse nanogrid. Esso fornisce il massimo surplus orario di energia prodotta da rinnovabili in una nanogrid rispetto all'energia assorbita dalla nanogrid nella stessa ora.

$$IMS^i = \frac{\max_s (E_p^i - E_L^i)}{E_L^i(h_{max})} \times 100 \quad (22)$$

Dove:

- h_{max} : indice dell'ora in cui si verifica il massimo surplus orario di energia;
- E_p^i : vettore dell'energia oraria prodotta da fonti rinnovabili dalla nanogrid i in un periodo temporale predefinito;
- E_L^i : vettore dell'energia oraria assorbita dai carichi (considerando anche quella accumulata da storage) della nanogrid i in un periodo temporale predefinito, nel nostro caso la settimana s .

L'indice può essere aggiornato ogni settimana, verificando se, per ciascuna nanogrid, il nuovo valore è superiore al precedente: il valore precedente per la nanogrid i è sostituito solo nel caso in cui il nuovo valore sia superiore. Il KPI può essere visualizzato in un grafico a barre, in cui in ascissa sono indicate le diverse nanogrid e in ordinata i valori del KPI aggiornati secondo il metodo definito in precedenza.

Le principali caratteristiche dei KPI relativi all'aggregazione e alle nanogrid sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 1 Caratteristiche dei Key Performance Indicators proposti a livello di comunità e nanogrid.

Sigla	Grandezza misurata	Livello	Periodo di calcolo	Valore target	Scenario di base	Formula	Grafico
IRE	Riduzione delle Emissioni di CO ₂	Comunità	Giorno	100	Si	1	N/A
IAC	Autoconsumo condiviso	Comunità/ Nanogrid	Multiplo	1	No	2, 5-8, 10-13, 15-17	A linee; Heatmap;
PAC	Prestazione di autoconsumo condiviso	Comunità	Ora	1	No	3	N/A
IASⁱ	Autoconsumo locale di utente	Nanogrid	Multiplo	1	No	4, 9, 14	Boxplot
IARⁱ	Affidabilità delle risorse di flessibilità	Nanogrid	Giorno	0	No	18	A barre
IAPⁱ	Accuratezza della previsione	Nanogrid	Ora	0	No	19	Boxplot
IRC	Riduzione del picco di carico	Comunità	Settimana	100	Si	20	Boxplot
IPRⁱ	Produzione rinnovabile locale	Nanogrid	Settimana	N/A	No	21	A barre
IMSⁱ	Massimo surplus orario di produzione rinnovabile	Nanogrid	Settimana	N/A	No	22	A barre

1.2 KPI relativi ai sistema di accumulo

I KPI relativi ai sistemi di accumulo sono calcolati sulla base di grandezze trasmesse alla piattaforma di aggregazione oppure sono calcolati internamente al sistema di accumulo (data la maggiore disponibilità di dati) e successivamente sono trasmessi alla piattaforma.

Indici di Energia Assorbita ed Erogata dal sistema di accumulo (IEA, IEE)

Questi indici forniscono l'energia rispettivamente assorbita ed erogata in un periodo predefinito (es. giorno) da ogni singolo sistema di accumulo presente nella Comunità Energetica e permettono di valutare il tasso di utilizzo dell'SdA stesso. Essi sono normalizzati rispettivamente in relazione all'energia oraria prodotta E_p^h e assorbita E_L^h a livello di comunità e sono definiti come indicato a seguire:

$$IEA^i = \frac{\sum_{h=1}^{24} E_{ch}^i(h)}{\sum_{h=1}^{24} E_p^h} \times 100 \quad (23)$$

$$IEE^i = \frac{\sum_{h=1}^{24} E_{dis}^i(h)}{\sum_{h=1}^{24} E_L^h} \times 100 \quad (24)$$

Dove:

- h : indice dell'ora
- E_{ch}^i : energia oraria assorbita dal sistema di accumulo i
- E_{dis}^i : energia oraria erogata dal sistema di accumulo i

I due indici possono essere visualizzati nello stesso grafico tramite il grafico boxplot, eventualmente categorizzando i valori tra giorni feriali e festivi/prefestivi.

Indice sullo Stato di Salute del sistema di accumulo (ISS)

Lo stato di salute del sistema di accumulo KPI_{SdA-3}^i è calcolato internamente all'SdA ed è trasmesso alla piattaforma una volta al giorno. Esso permette di valutare il livello di utilizzo e la prestazione, in termini di invecchiamento, del sistema di accumulo.

Questo indice può essere visualizzato tramite un grafico a dispersione in cui sono visualizzati i valori giornalieri per tutte le diverse tecnologie di accumulo, a cui è sovrapposto un grafico a linee che fornisce un modello di regressione lineare per ciascun set di punti.

Indice sulla Disponibilità in Accumulo (IDA)

Questo indice ha lo scopo di valutare la disponibilità all'accumulo di energia del sistema nel tempo, in funzione della sua capacità nominale e pertanto fornisce un'indicazione indiretta del suo utilizzo.

$$IDA^i = \frac{E_{d-ch}^i(h)}{E_n^i} \times 100 \quad (25)$$

Dove:

- h : indice dell'ora
- E_{d-ch}^i : energia oraria accumulata nel sistema di accumulo i
- E_n^i : energia nominale del sistema di accumulo i

Il singolo sistema di accumulo trasmette alla piattaforma il dato relativo alla stima di energia accumulata E_{d-ch}^i ogni ora ed il KPI viene calcolato dalla piattaforma. Questo indice può essere visualizzato tramite un grafico a linee che riporta, per ogni giorno, i valori orari per le diverse tecnologie di accumulo (con sliding window).

Indice su Idrogeno prodotto da fonti Rinnovabili (IIR)

Questo indice mira a verificare che la strategia di controllo di massimizzazione dell'autoconsumo funzioni correttamente attivando la produzione di idrogeno tramite elettrolisi solo quando vi è un surplus di energia rinnovabile prodotta a livello dell'aggregazione, rispetto al carico della stessa. L'indice percentuale è calcolato come segue:

$$IIR = \frac{\sum_{t=1}^T m_{H2,res}(h)}{\sum_{t=1}^T m_{H2}(h)} \times 100 \quad \text{dove: } \begin{cases} m_{H2,res}(t) = m_{H2}(t) & \text{se } P_{rete}(t) \leq 0 \\ m_{H2,res}(t) = 0 & \text{se } P_{rete}(t) > 0 \end{cases} \quad (26)$$

Dove:

- t : istante temporale
- T : numero totale di valori trasmessi alla piattaforma in un giorno
- $m_{H2,res}$: massa di idrogeno prodotta da fonte rinnovabile al tempo t
- m_{H2} : massa di idrogeno prodotta al tempo t

Questo indice dovrebbe sempre avere un valore pari a 100%, di conseguenza è preferibile riportare il singolo valore orario nella GUI senza grafico, eventualmente evidenziandolo con colore rosso nel caso in cui esso sia inferiore al target.

Indice su Idrogeno non Utilizzato (IIU)

Questo indice serve a monitorare la quantità di idrogeno che quotidianamente non viene utilizzata, per verificare le potenzialità di utilizzo dell'idrogeno stesso in altri settori (es. trasporti). L'indice è calcolato internamente al sistema di accumulo ad idrogeno ed è comunicato alla piattaforma di monitoraggio.

Esso può essere visualizzato tramite un grafico a linee che mostra i valori orari per gli ultimi trenta giorni (sliding window).

A seguire sono riassunte le principali caratteristiche dei KPI individuati per i sistemi di accumulo dell'aggregazione.

Tabella 2 Caratteristiche dei Key Performance Indicators proposti a livello di singolo sistema di accumulo.

Sigla	Grandezza misurata	Livello	Periodo di calcolo	Valore target	Scenario di base	Formula	Grafico
IEAⁱ	Energia assorbita da SdA	Accumulo	Giorno	N/A	No	23	Boxplot

IEEⁱ	Energia erogata da SdA	Accumulo	Giorno	N/A	No	24	
ISSⁱ	Stato di salute dell'SdA	Accumulo	Giorno	100	No	1*	Dispersione + regressione lineare
IDAⁱ	Disponibilità in accumulo	Accumulo	Ora	N/A	No	25	A linee
IIR	Idrogeno prodotto da fonti rinnovabili	Accumulo	Ora	100	No	26	N/A
IUU	Idrogeno non utilizzato	Accumulo	Ora	N/A	No	1*	A linee

* L'indice è calcolato internamente al sistema di accumulo ed è trasmesso alla piattaforma Comesto.

2. SISTEMA DI MONITORAGGIO E ANALISI KPIS

2.1 Implementazione sistema di monitoraggio

Al fine di validare le soluzioni tecnologiche, i modelli e gli algoritmi sviluppati, è stato realizzato all'interno della piattaforma ComESto (D7.4), un modulo di calcolo dei KPIS sopra descritti. Inoltre, è stata realizzata un'interfaccia utente che consente la visualizzazione di ciascun KPI sia a livello di aggregato/comunità che a livello di singola nanogrid. Nella schermata "Impianti" della piattaforma sono riportate i diversi partecipanti alla comunità (ovvero le diverse nanogrids). L'accesso all'interfaccia utente per la visualizzazione dei KPIS che riferiscono all'intera comunità è riportato nella schermata "Impianti" (Figura 1, Figura 2). La piattaforma consente inoltre la visualizzazione di alcuni KPIS relativi ai singoli utenti/nanogrid (Figura 3). Tutti i KPIS sono registrati dalla piattaforma e immagazzinati su cloud.

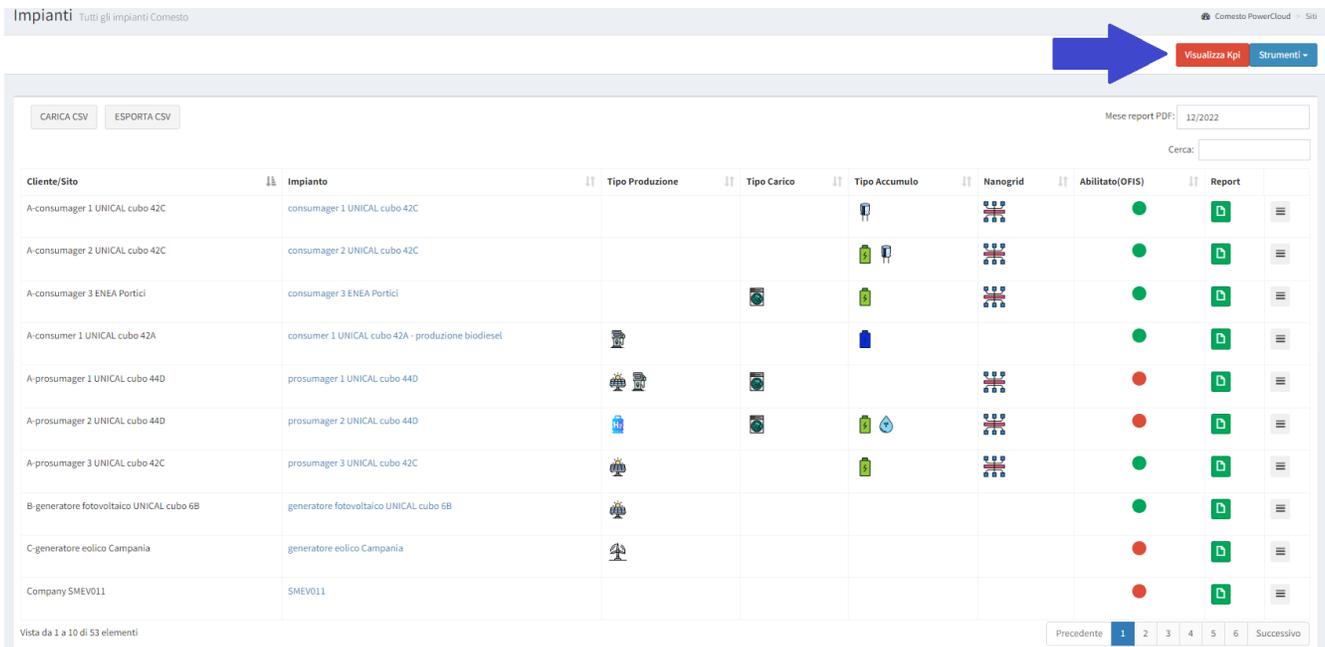


Figura 1: Piattaforma ComESto – Schermata “Impianti”

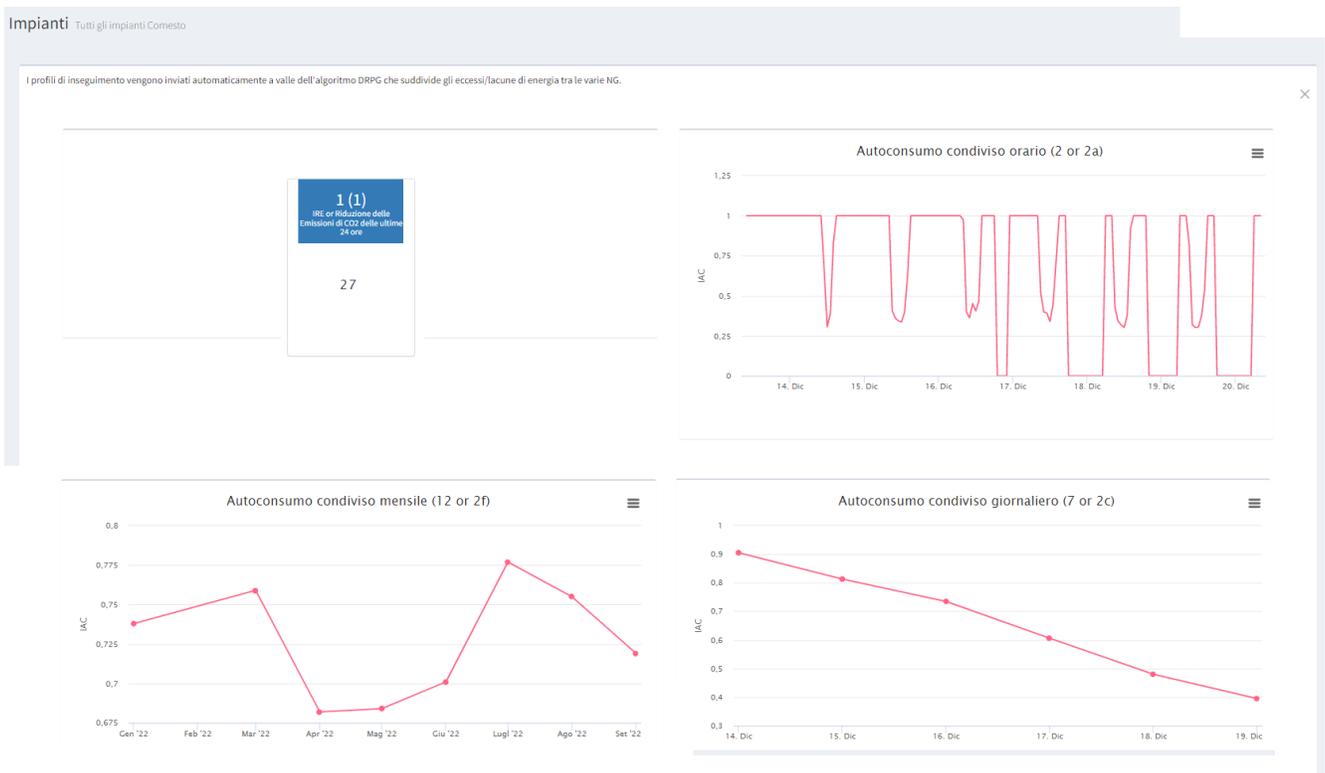


Figura 2: Piattaforma ComESto – Schermata visualizzazione KPIs comunità

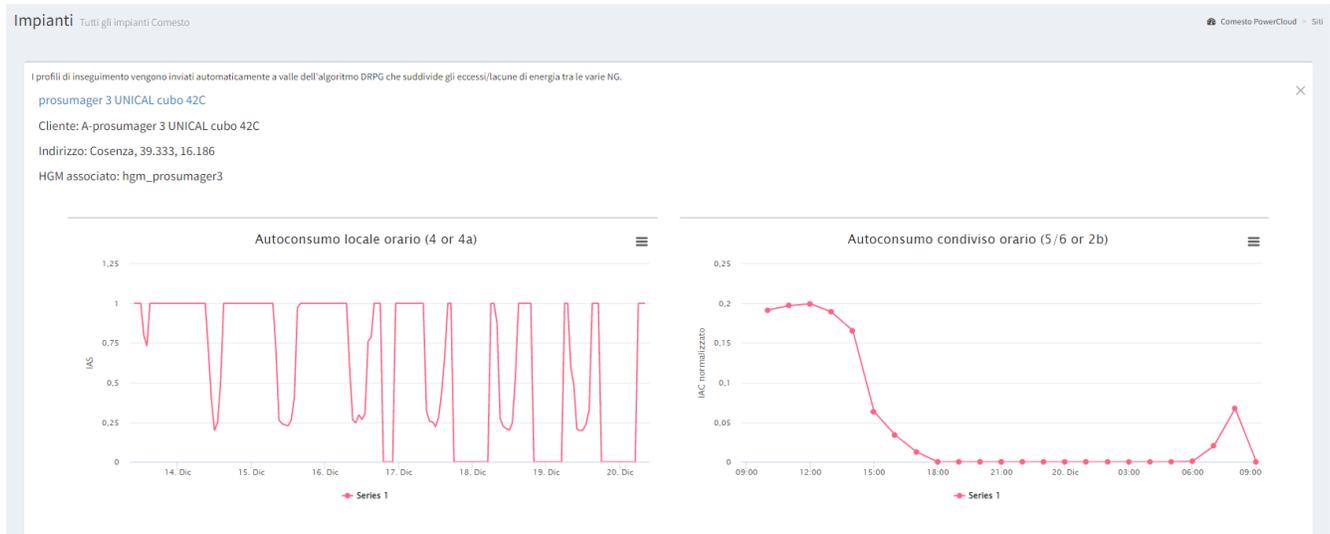


Figura 3: Piattaforma ComESTo – Schermata visualizzazione KPIs utente/nanogrid

2.2 Analisi KPIs

Per l'analisi dei KPIs, sono stati considerati i dati relativi alla giornata del 06/06. I dati sono disponibili ogni 15 minuti. L'indice di Riduzione delle Emissioni di CO₂ (IRE) espresso in formula (1) è relativo a tutta la comunità e risulta essere di 24.498 [kg di CO₂,eq]. In Figura 4 si presenta l'andamento della produzione di energia elettrica da fotovoltaico (E_P^h) e del consumo di energia assorbito da tutti i carichi della comunità (E_L^h).

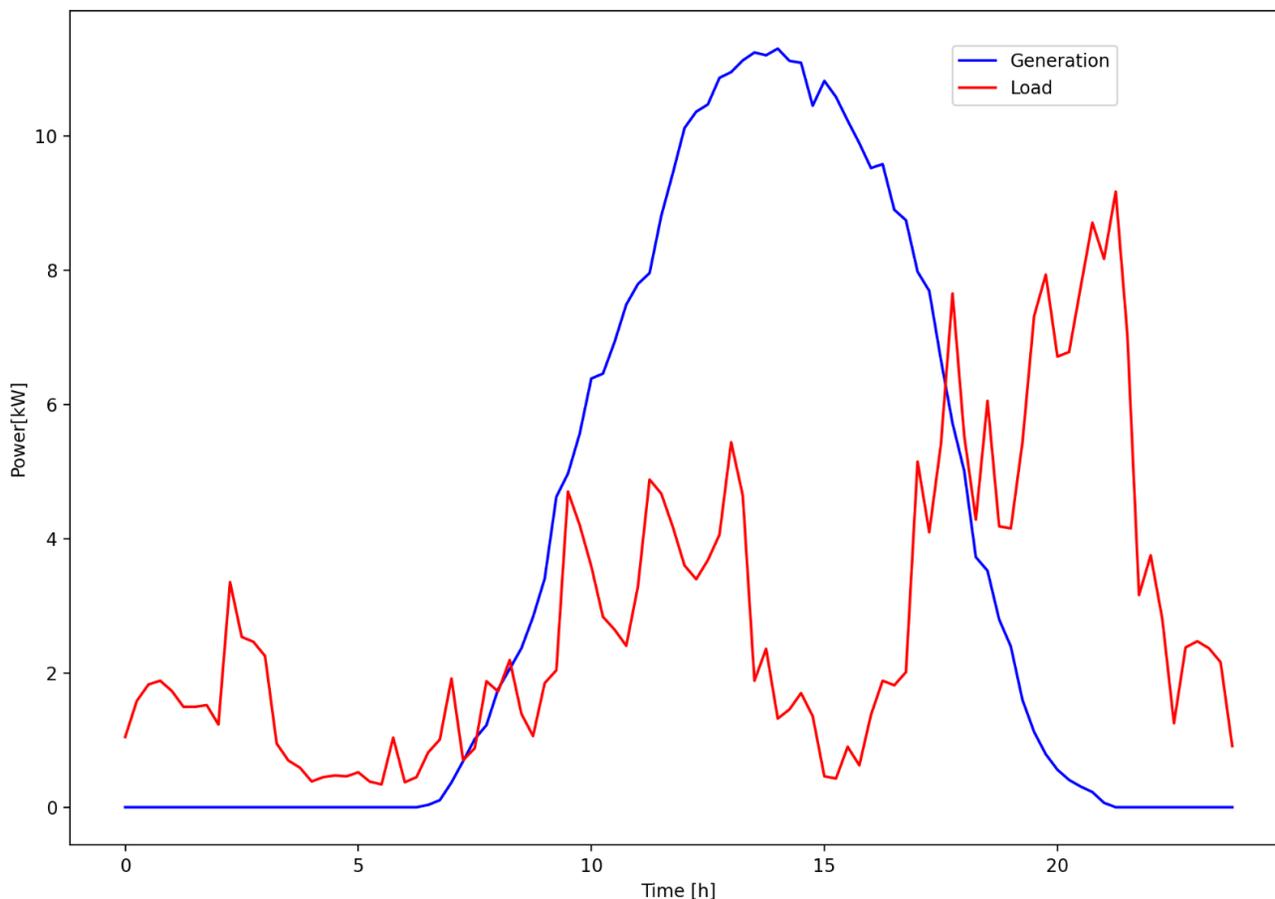


Figura 4: Andamento della produzione di energia da fotovoltaico e consumo dei carichi, di tutta la comunità

In Figura 5 si presenta l'andamento dell'indice di autoconsumo della comunità ICh e dei singoli utenti IASh. I singoli utenti sono relativi al producer individuato dall'apice 0, i tre prosumager (apici 1,2,3) e i tre consumager (apici 4,5,6). In prosumager 1 e 3 dispongono di una produzione fotovoltaica con 3 kW di picco mentre il producer dispone di una potenza installata di 6 kW di picco.

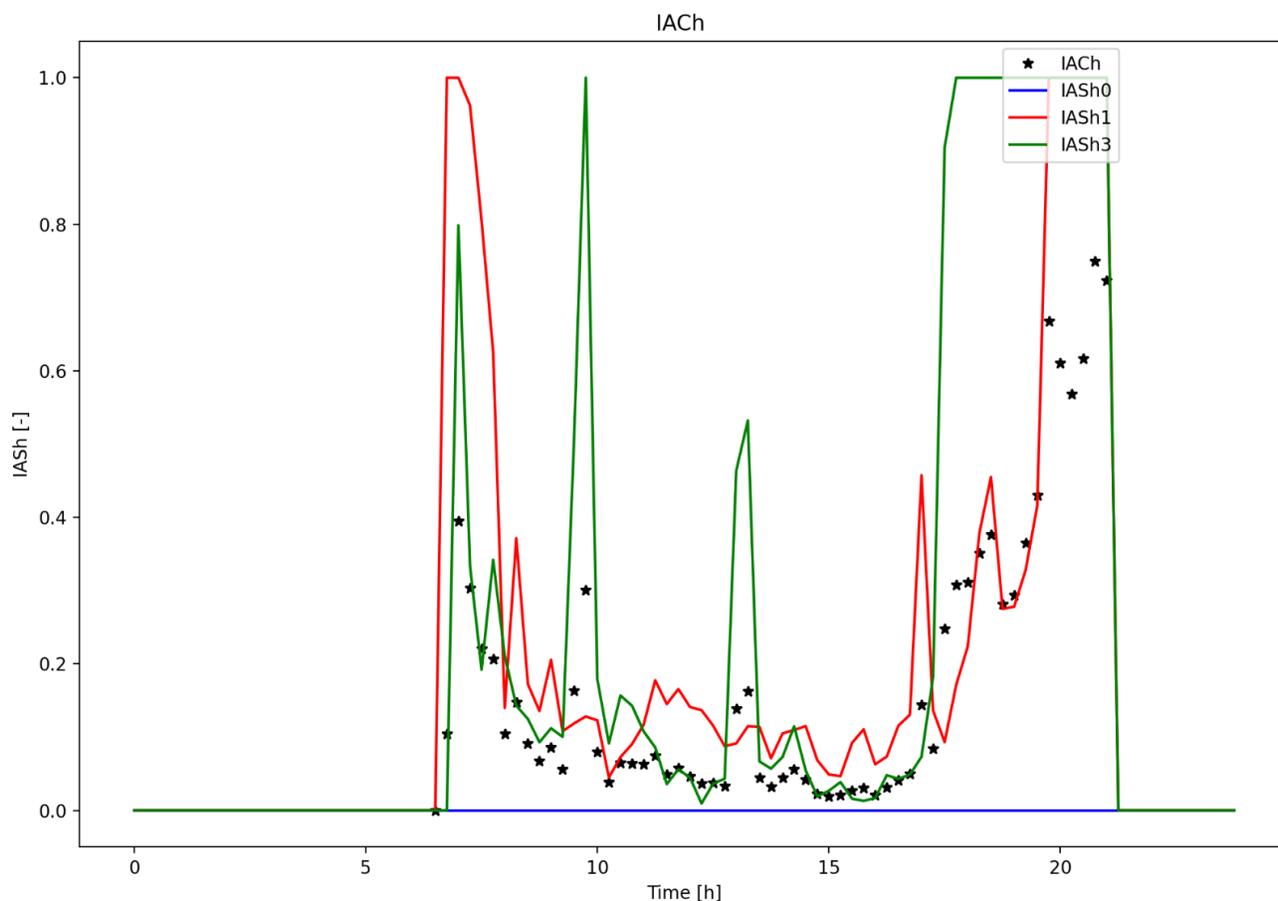


Figura 5: Andamento dell'indice di autoconsumo della comunità IACH e dei singoli utenti IASh

L'espressione per IACH (2) è riferita all'energia condivisa dalla Comunità Energetica mentre IASh (4) è riferita all'energia autoconsumata dal singolo utente. In Figura 6 si presenta l'andamento del IAC normalizzato (5) riferito a Prosumager 1 e 3. Figura 6: Andamento IAC normalizzato riferito a Prosumager 1 e Prosumager

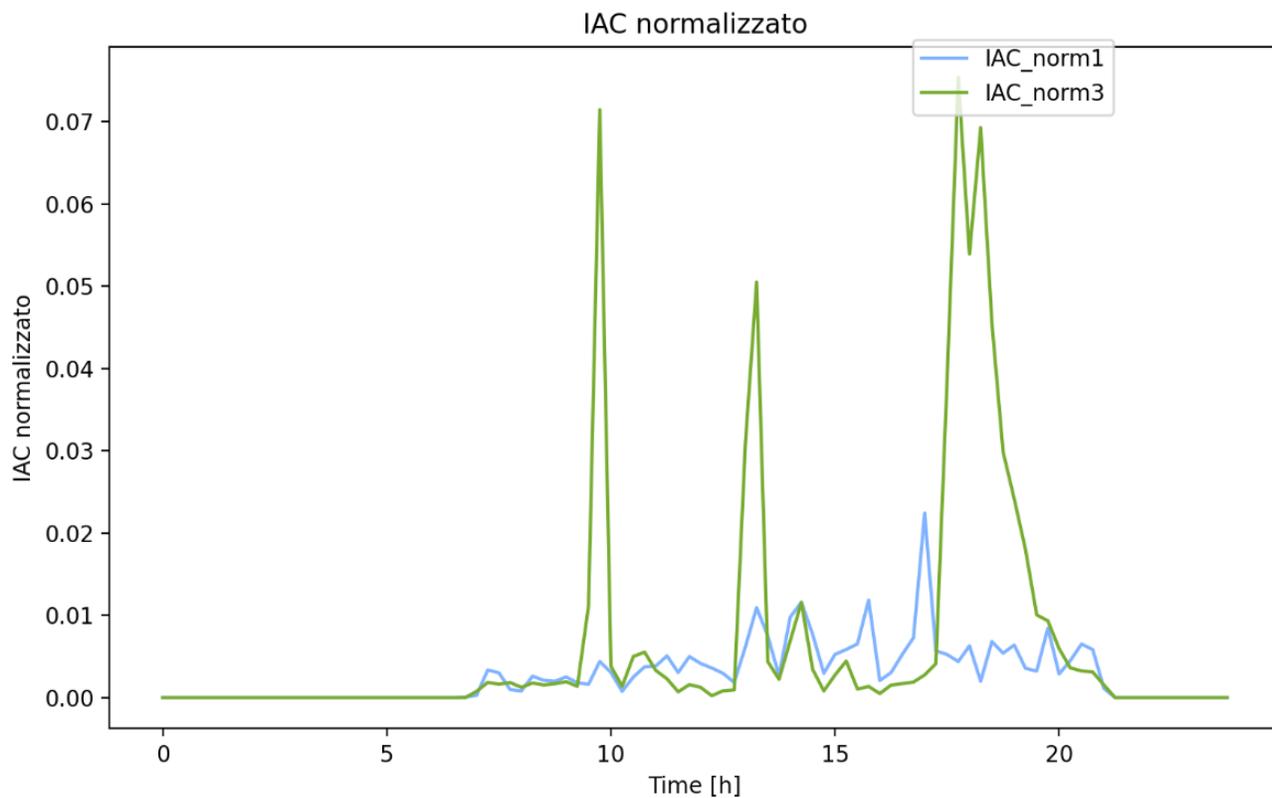


Figura 6: Andamento IAC normalizzato riferito a Prosumager 1 e Prosumager 3

In Figura 7 si può vedere l'andamento di IACH (6) riferito al singolo utente, per i 3 prosumager:

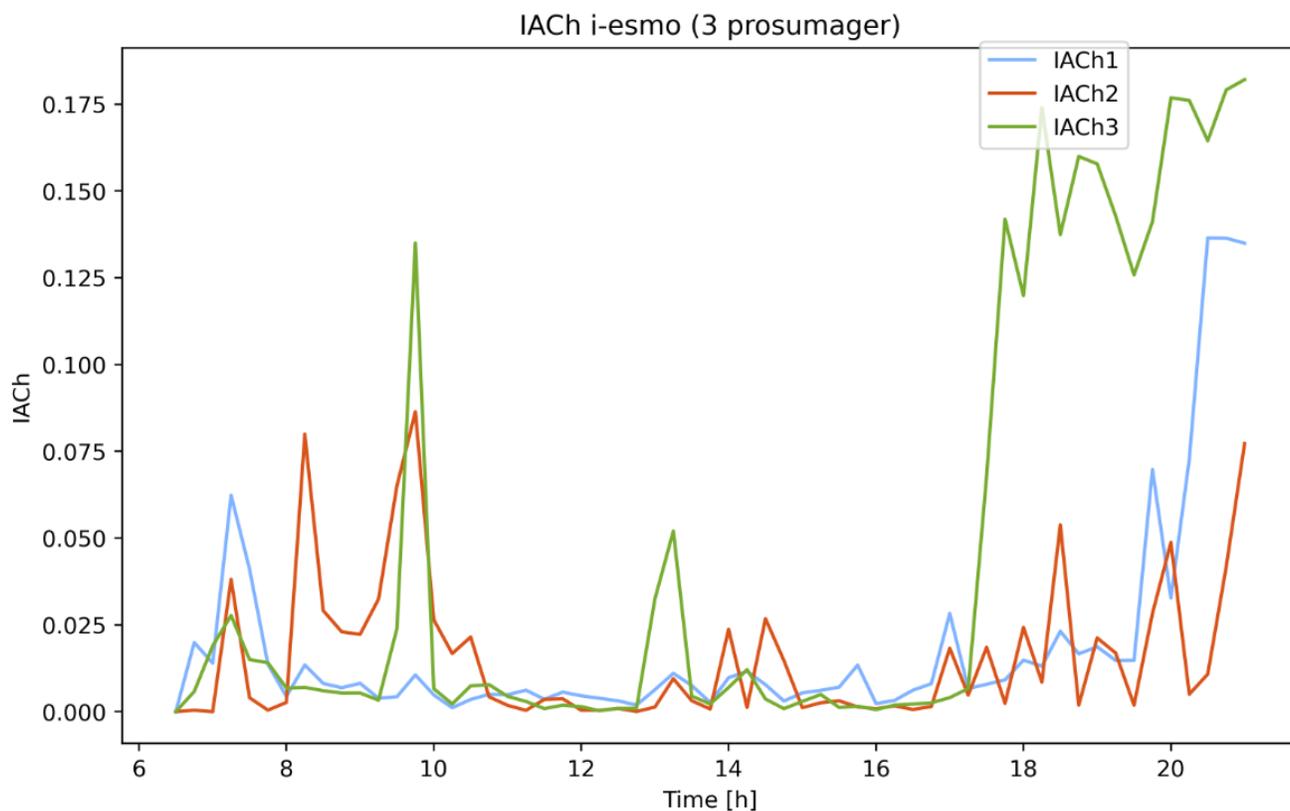


Figura 7: Andamento di IACH per i 3 prosumager

L' espressione di IACg -Indice di autoconsumo di Comunità (condiviso o collettivo) giornaliero (7) permette di calcolare per la giornata in questione, un valore di 0.21.

Per l'indice di Riduzione del picco di Carico (IRC) definito in (20) occorre definire P_{rete}^{agg} e P_{rete}^{base} , di cui è possibile vedere il trend in Figura 8.

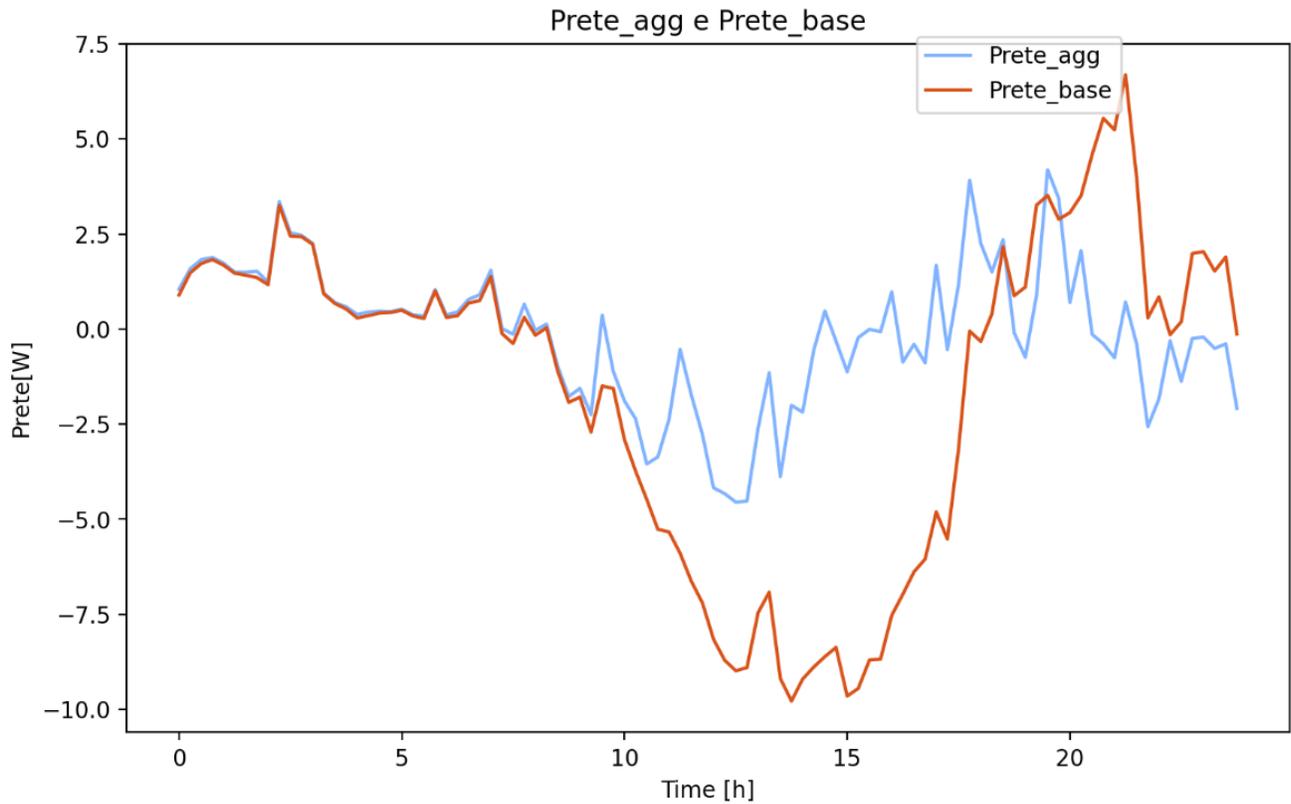
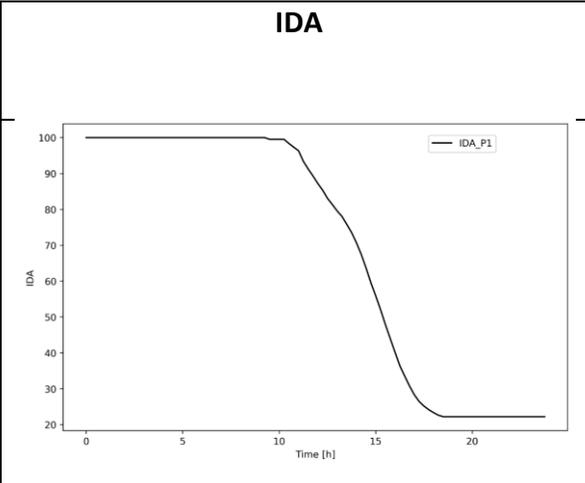
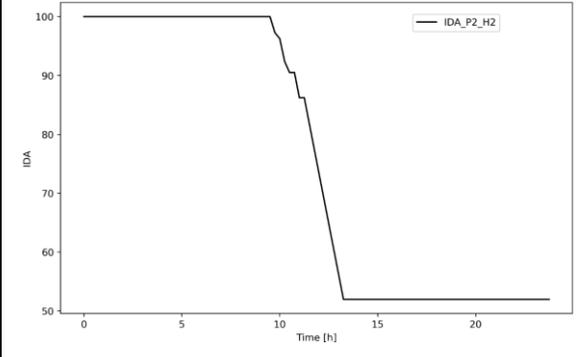
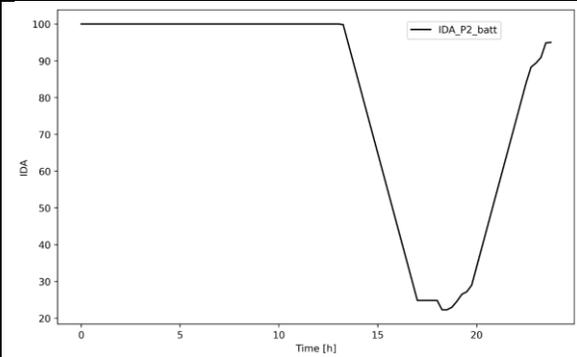
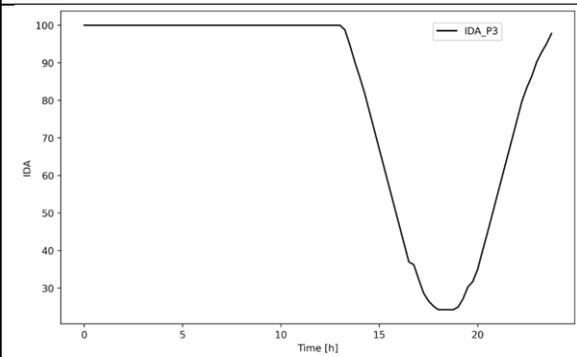
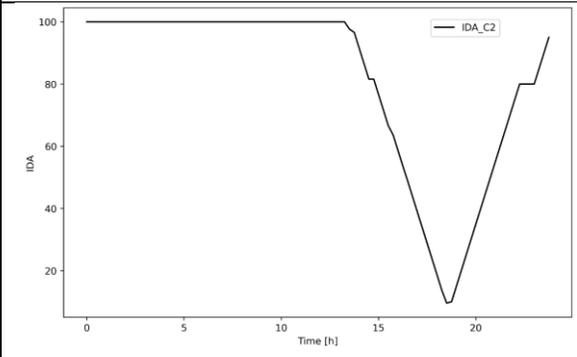
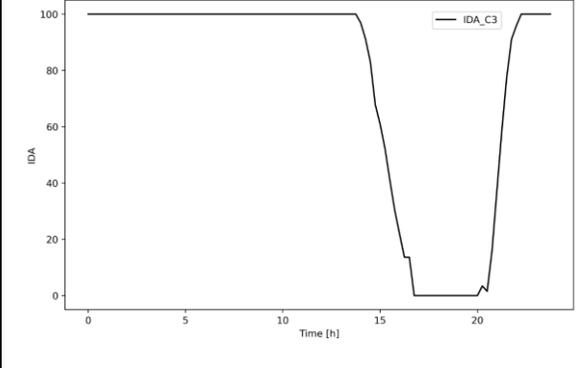


Figura 8: Andamento di P_{rete}^{agg} e P_{rete}^{base}

Il valore di IRC calcolato in (20) risulta essere di 37.36.

Utente	Tecnologia Accumulo	Taglia Nominale (kWh)	IEA	IEE	IDA
Prosumager 1	Biodiesel	18	15.93	0	

Prosumager 2	Idrogeno	5.84	3.19	0	
	Litio	4	4.10	-4.54	
Prosumager 3	Litio	16	13.79	17.73	
Consumager 2	Litio	4	4.11	5.28	

Consumager 3	Litio	4.8	5.57	7.15	
Comunità			46.72	34.71	

Di seguito si presenta l'andamento dei valori previsti e misurati nella stessa giornata relativi ai dati di produzione e consumo dei 3 prosumager e dei 3 consumer. Inoltre sul secondo asse (asterisco rosso) si presenta il valore dell'indice di accuratezza calcolato secondo la (19)

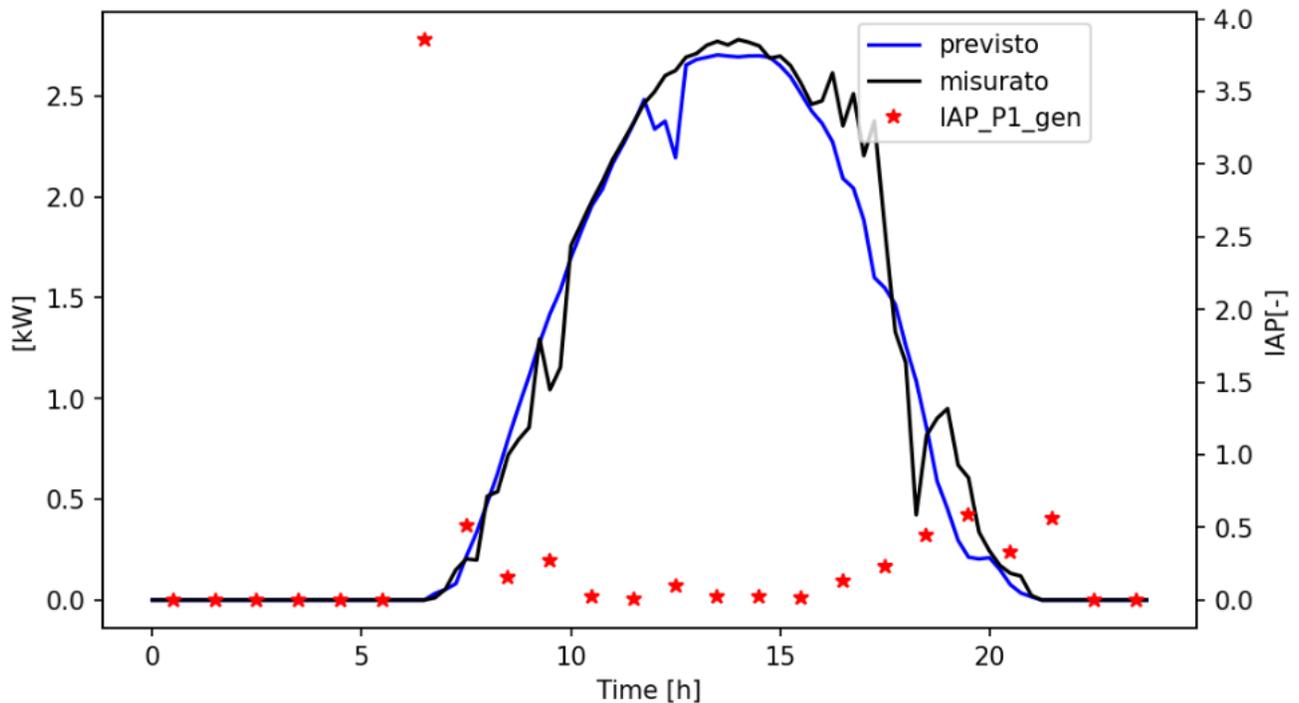


Figura 9: IAP prosumager 1 Production

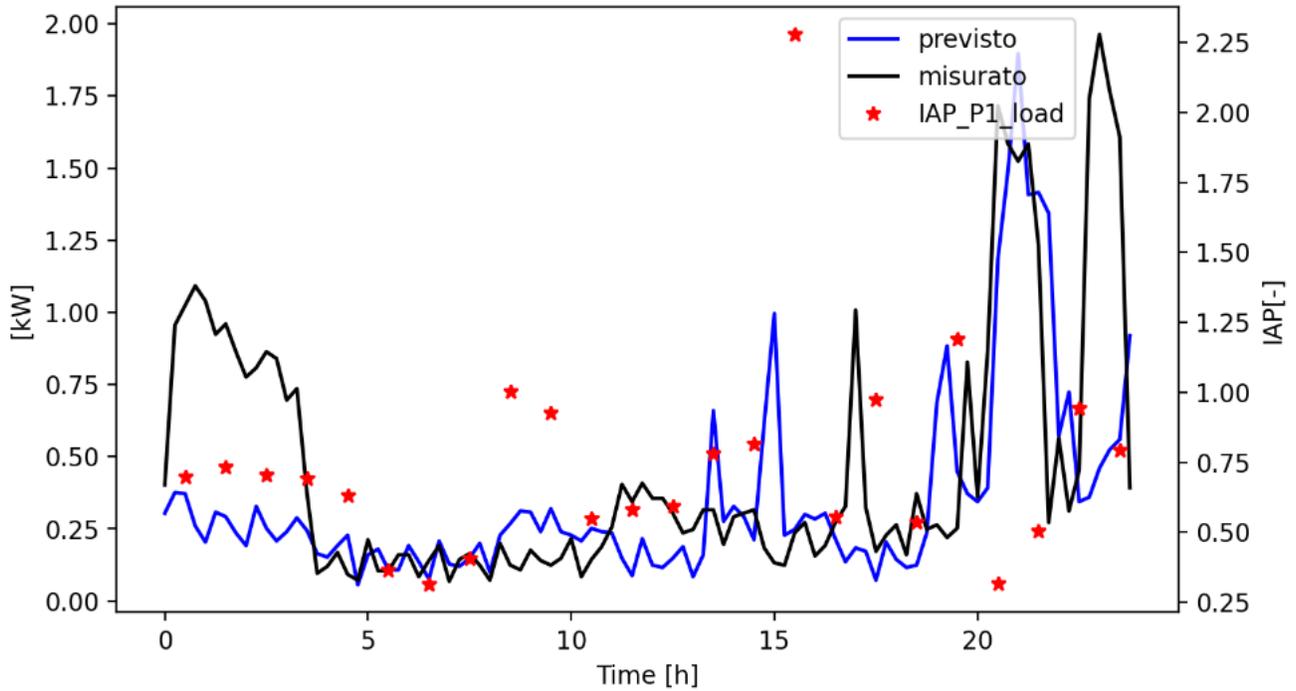


Figura 10: IAP prosumer 1 load

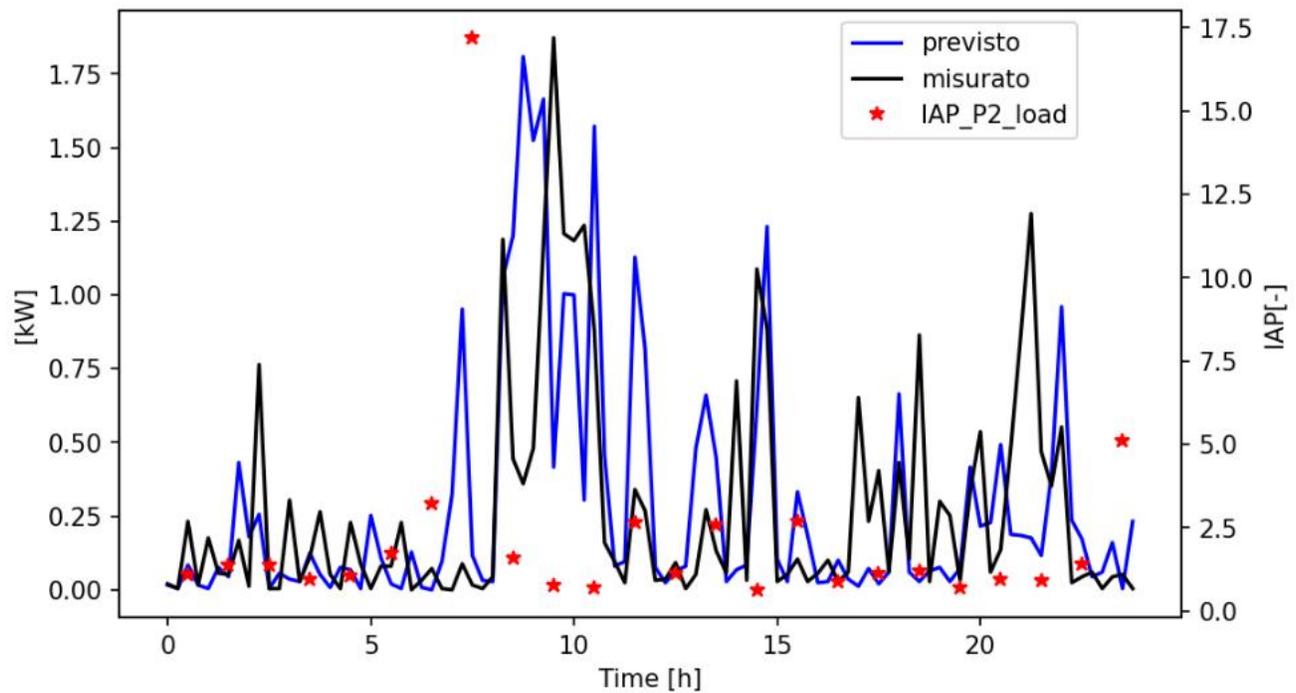


Figura 11: IAP prosumer 2 Load

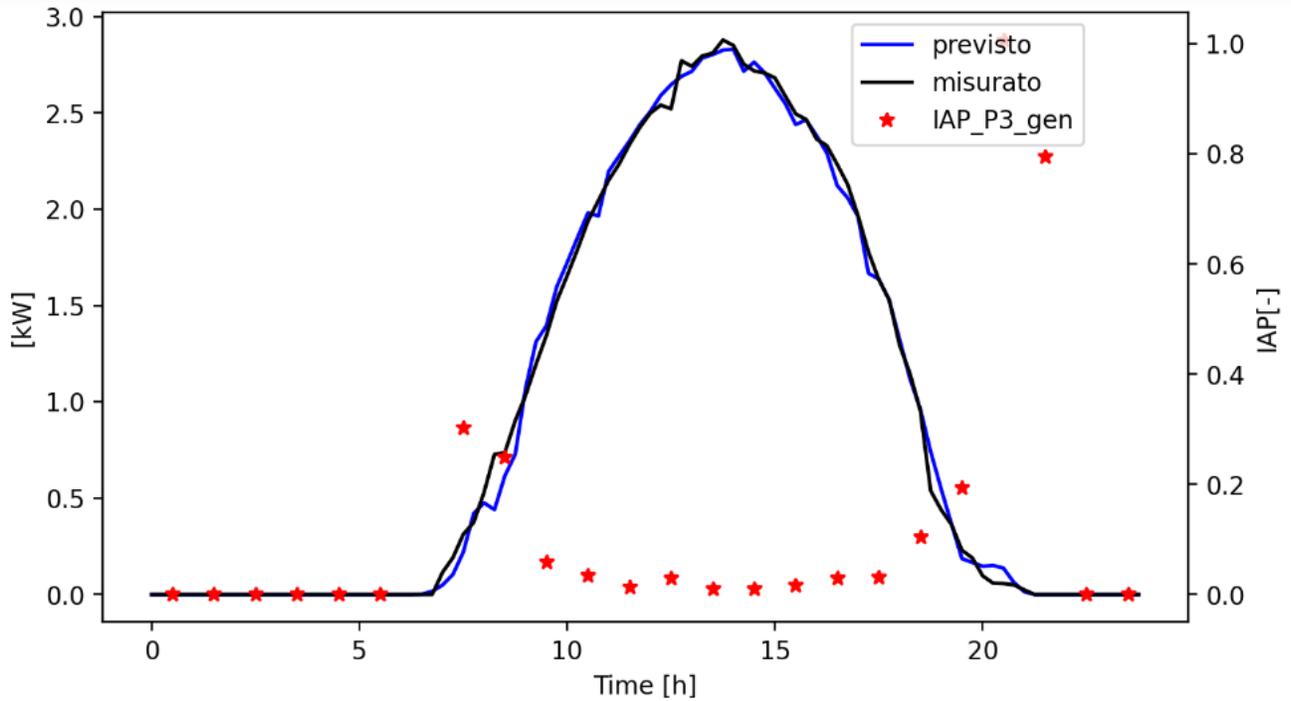


Figura 12: IAP Prosumager 3 production

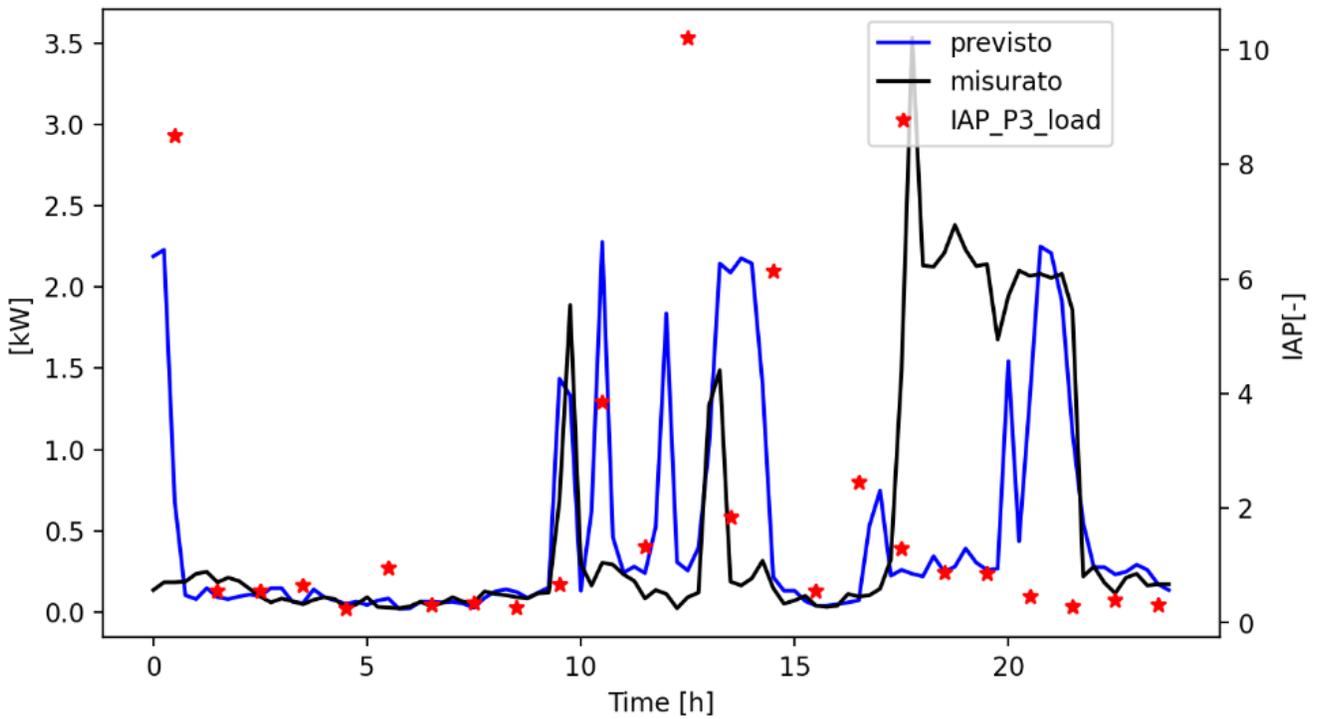


Figura 13: IAP Prosumager 3 load

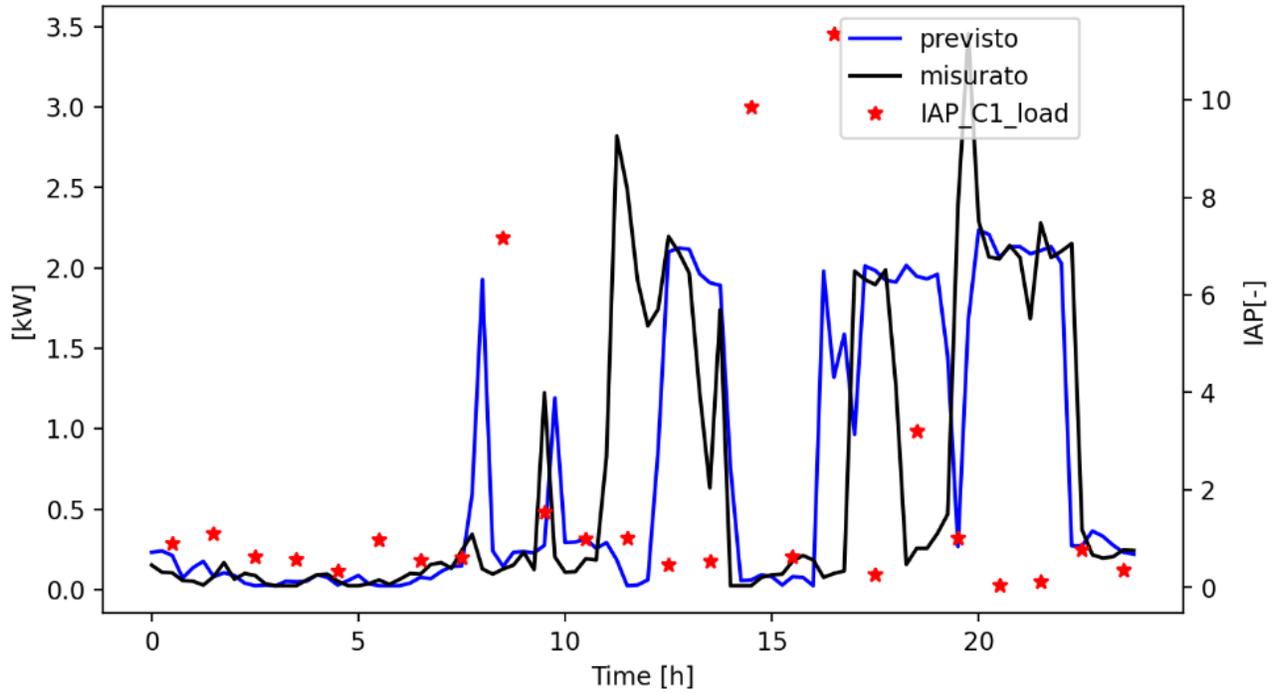


Figura 14: IAP Consumager 1 load

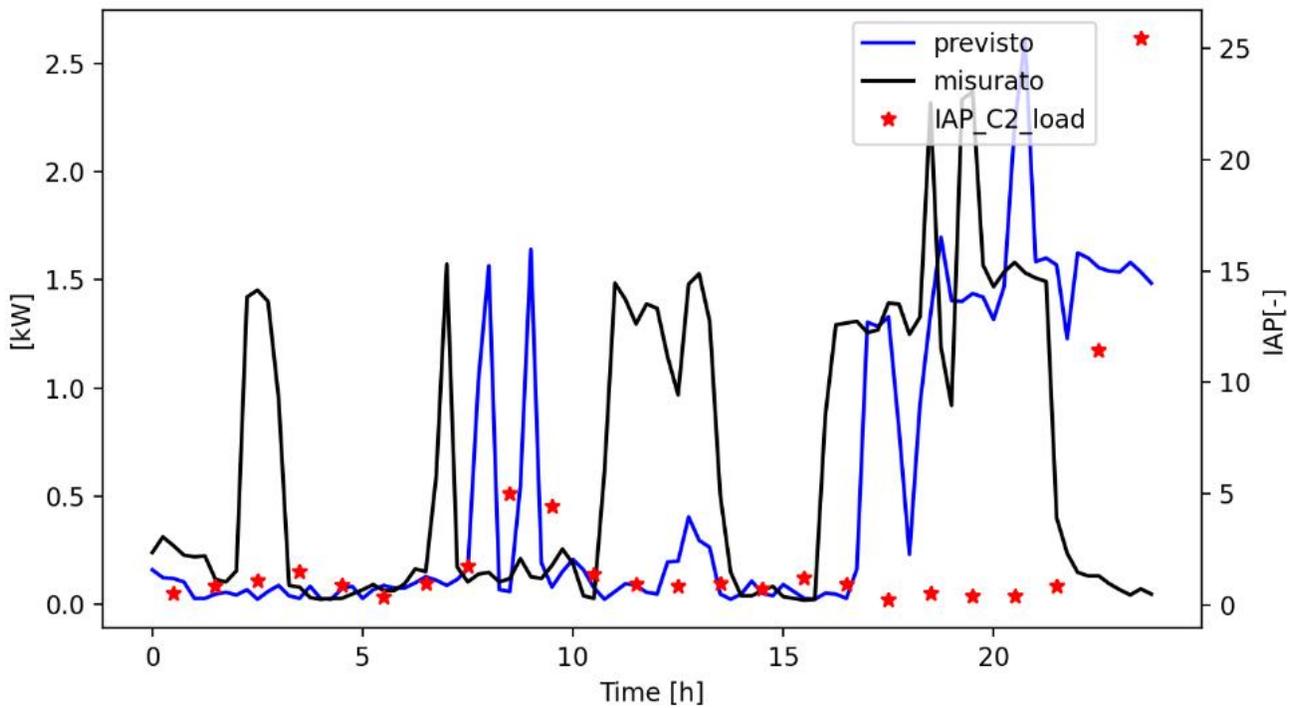


Figura 15: IAP Consumager 2 load

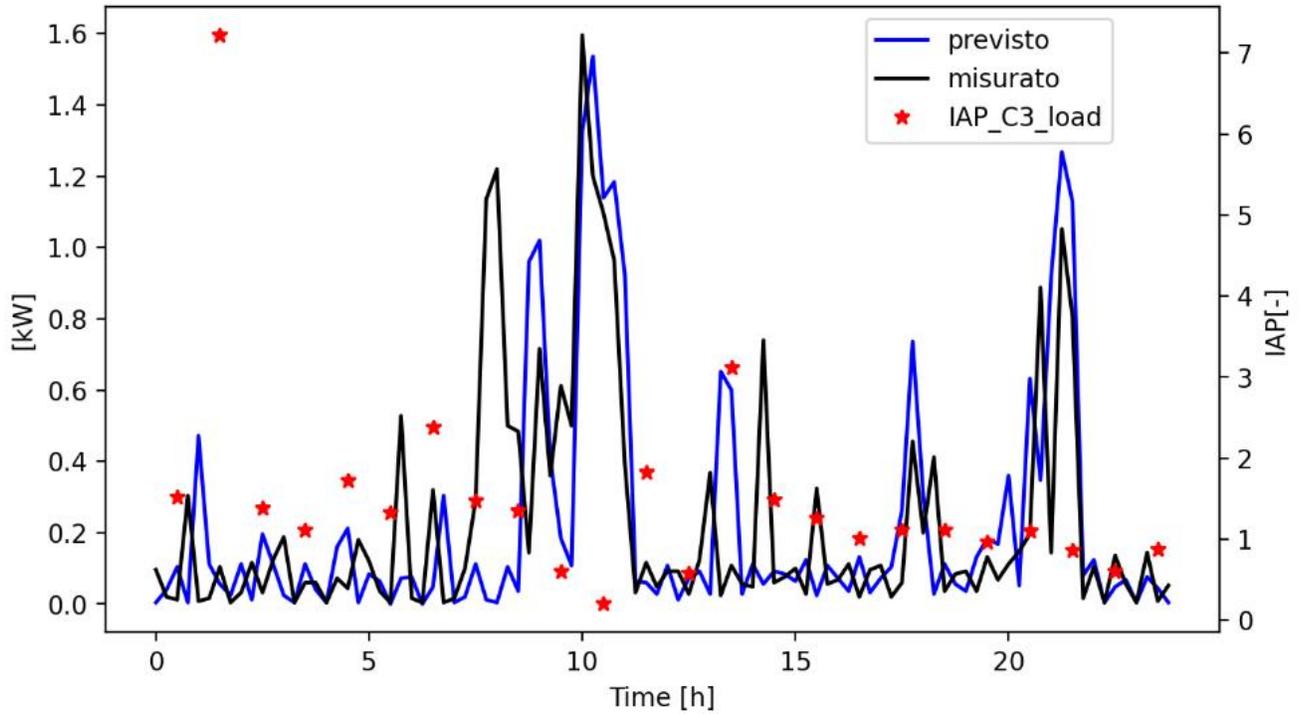


Figura 16: IAP Consumer 3 load