



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

Implementazione della piattaforma ComESto - Risultati dei test del dimostratore

Rapporto Tecnico di Sviluppo Sperimentale D7.4



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	D7.4
Tipologia	Rapporto Tecnico di Sviluppo Sperimentale
Data di Rilascio	05/05/2022
Obiettivo Realizzativo	OR7
Attività Realizzativa	A7.4
Soggetti Beneficiari Proponenti	UNICAL, EVOLVERE, FBK, TIM, SPINTEL
Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Tutti i partner di progetto
Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Tutti i partner di progetto
Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)	Membri del PEB

INDICE

1 Executive Summary	5
2 Il dimostratore Comesto.....	5
3 La piattaforma ComESto.....	6
3.1 MQTT Broker per la comunicazione tra la piattaforma e i dispositivi di campo.....	7
3.2 RabbitMQ per la gestione delle code dei messaggi	7
3.3 Redis per la memoria cache	8
3.4 Grafana per la analisi dei dati e la produzione di grafici	8
3.5 Kibana per la diagnostica dei servizi.....	8
3.6 Omoi per la memorizzazione delle misure e delle previsioni	8
3.7 Mirai per il forecasting di generazione e consumo	8
3.8 WS-APP per l’interfaccia tra Piattaforma COMESTO e dispositivi periferici e remoti	8
3.9 Backend per l’accesso alla Piattaforma COMESTO dell’utente finale.....	8
3.10 Okane per la lettura dei prezzi zionali dal Mercato Elettrico	8
3.11 Kai per la memorizzazione di dati specifici	9
3.12 SIMU per la generazione di profili di generazione e di domanda.....	9
3.13 Ottimizzazione della flessibilità day ahead, OFIS-DA.....	9
3.14 Ottimizzazione della flessibilità real time, OFIS-RT.....	9
3.15 Demand-respondes profile generator (DRPG)	9
3.16 Interfaccia utente della piattaforma ComESto	9
4 Test del dimostratore Comesto.....	11
4.1 Strategia di pianificazione dei sistemi di accumulo di lungo periodo	12
4.2 Parametri e stato iniziale del sistema di accumulo ad idrogeno	13
4.3 Parametri e stato iniziale del sistema di accumulo a biodiesel	13
4.4 Previsione e misura della domanda dei carichi elettrici	14
4.5 Previsione e misura della generazione da impianti fotovoltaici	15
4.6 Prezzi del mercato elettrico	15
4.7 Profili di carica e scarica dei sistemi di accumulo	16
4.8 Profili al POD delle nanogrid in assenza ed in presenza di accumulo	17
4.9 Profilo aggregato del dimostratore (o anche profilo al POD virtuale)	18
4.10 Validazione delle soluzioni tecnologiche, dei modelli e degli algoritmi implementati	19
5 Conclusioni	22

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 Schema del dimostratore ComESTo	5
Figura 3-1 Elenco dei microservizi della piattaforma ComESTo	7
Figura 3-2 Piattaforma ComESTo: pagina principale	9
Figura 3-3 Piattaforma ComESTo: profili del singolo membro della comunità	10
Figura 3-4 Report autoconsumo per una nanogrid	10
Figura 3-5 Valori restituiti dal microservizio OFIS-DA	11
Figura 4-1 Schema dei giorni del test	12
Figura 4-2 Previsione e misura della domanda dei carichi elettrici	14
Figura 4-3 Previsione e misura della generazione da impianti fotovoltaici	15
Figura 4-4 Prezzi del mercato elettrico	16
Figura 4-5 Profilo di carica e scarica dei sistemi di accumulo (profilo aggregato)	16
Figura 4-6 Profili di carica e scarica di ogni sistema di accumulo	17
Figura 4-7 Profili di ciascuna nanogrid	18
Figura 4-8 Profilo del dimostratore (o profilo al POD virtuale)	19
Figura 4-9 Profilo aggregato del dimostratore, confronto tra il caso di dati di previsione ed il caso di dati misurati	21
Figura 4-10 Sbilanciamenti orari prima della compensazione in tempo (OFIS-DA) e dopo la compensazione in tempo reale (OFIS-RT)	21
Figura 4-11 Profilo aggregato del dimostratore, confronto tra il caso di dati di previsione ed il caso di dati misurati con correzione degli sbilanciamenti	22

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2-1 Dati tecnici delle tecnologie del dimostratore	5
Tabella 4-1 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo con batterie agli ioni di litio	13
Tabella 4-2 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo ad idrogeno	13
Tabella 4-3 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo con biodiesel	13
Tabella 4-4 Quota energia rinnovabile autoconsumata	19
Tabella 4-5 Energia immessa e prelevata	19
Tabella 4-6 Ricavi, costi e profitto	20

1 EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento, deliverable del progetto ComESto, sintetizza i risultati delle attività condotte nell'ambito dell'attività A7.4 dal titolo "Implementazione della piattaforma ComESto" dell'Obiettivo Realizzativo 7 (OR7 - "Realizzazione dimostratore e sperimentazione in sito pilota della Community Energy Storage"). L'attività A7.4 ha come obiettivo l'implementazione e la realizzazione di una piattaforma cloud che gestisca il dimostratore ComESto ed i sistemi di accumulo distribuiti in particolare. A tal fine è stata sviluppata la piattaforma cloud ComESto che integra le soluzioni tecnologiche nonché i modelli e degli algoritmi individuati e implementati negli obiettivi realizzativi di Ricerca Industriale (OR2, OR3, OR4, OR5) seguendo i criteri di progettazione definiti nell'attività 5.7.

2 IL DIMOSTRATORE COMESTO

Il dimostratore Comesto è costruito allo scopo di sperimentare e validare le soluzioni tecnologiche, i modelli e gli algoritmi che sono stati restituiti dalle attività di Ricerca Industriale. Il dimostratore si compone di sei nanogrid e dei sistemi di generazione ed accumulo ad essi associati, oltre un impianto fotovoltaico ed una piattaforma cloud. Una descrizione completa ed esaustiva del dimostratore è riportata nel documento D7.2 (deliverable dell'attività A7.2 dell'obiettivo realizzativo OR7).

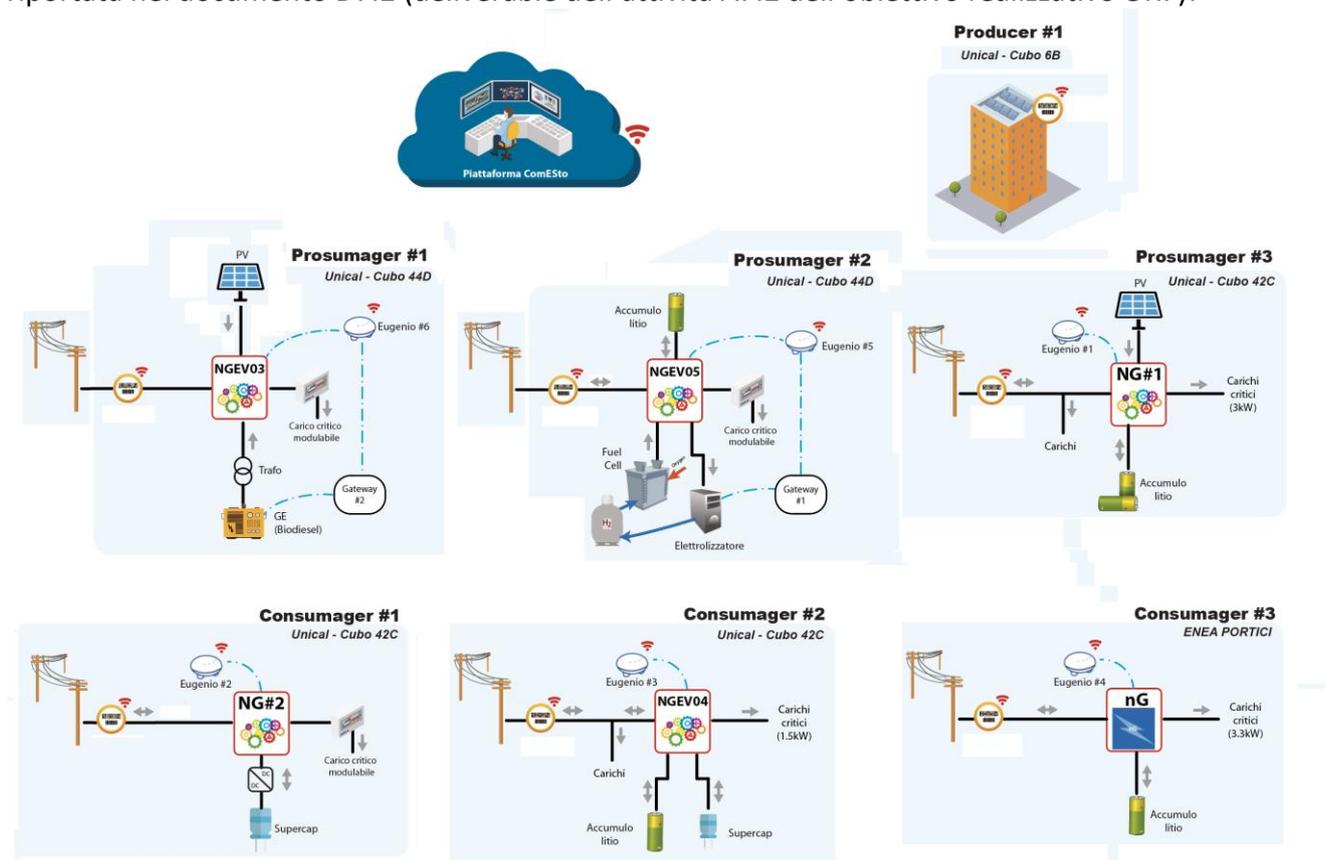


Figura 2-1 Schema del dimostratore ComESto

Tabella 2-1 Dati tecnici delle tecnologie del dimostratore

		Capacità in kWh	P. Carica in kW	P. Scarica in kW	Profilo previsto	Profilo reale	Sistema di Monitoraggio	Note
Producer #1	Profilo di generazione impianto FV 'grande'				x	x	SM026 SM027	FV 60 kWp
Prosumager #2	Capacità del sistema di accumulo litio	4	0,7	0,7			SMEV013	usato in carica/scarica
	Capacità del sistema di accumulo Idrogeno	5,84	0,9					usato in carica
	Capacità fuel cell	1,5		0,9				usato in scarica
Prosumager #1	Profilo di generazione impianto FV 'piccolo'				x	x	SMEV013	FV 3 kWp
	Generatore Biodiesel *	18	6					usato in carica
	Gruppo Elettrogeno (prod. 8,75 kWh per 18,5h)	165		11,2				usato in scarica
	Carico modulabile				x	x		da 1,5 kW a step
Prosumager #3	Profilo di generazione impianto FV 'piccolo'				x	x	SM035	FV 3 kWp
	Capacità del sistema di accumulo litio	16	3	3				usato in carica/scarica
	Profilo di carico standard				x	x		a scelta
	Carico modulabile				x	x		da 3 kW
Consumager #1	Profilo di carico modulabile				x	x	SM083	da 1,5 kW a step
	Supercap 'grande'	0,7	3	3				da 400-415V
Consumager #2	Supercap 'piccolo'	0,1	0,7	0,7			SM072	da 108 V
	Capacità del sistema di accumulo litio	4	0,7	0,7				usato in carica/scarica
	Profilo di carico standard				x	x		a scelta
Consumager #3	Profilo di carico modulabile				x	x	SMEV016	da 1,5 kW
	Capacità del sistema di accumulo litio	4,8	5	5				usato in carica/scarica
	Profilo di carico modulabile				x	x		da 3,3 kW

Al fine di agevolare la comprensione del presente documento, la Fig. 2-1 mostra il dimostratore nella sua interezza mentre la Tab. 2-1 riporta i valori delle grandezze di interesse. Le sei nanogrid che compongono il dimostratore rappresentano altrettanti utenti residenziali, muniti di sistemi di generazione distribuita da fonte rinnovabile (fotovoltaico e biodiesel) e sistemi di accumulo che impiegano batterie agli ioni di litio, elettrolizzatori e fuel-cell, supercondensatori. Tutti e sei le nanogrid sono connesse alla rete elettrica di distribuzione in bassa tensione e tutte comunicano con la piattaforma cloud ComESto che sovrintende il funzionamento dell'intero dimostratore.

3 LA PIATTAFORMA COMESTO

La piattaforma cloud ComESto sovrintende il funzionamento dell'intero dimostratore. A tal fine, la piattaforma fornisce un set di microservizi elencati e brevemente descritti di seguito (una descrizione più dettagliata è riportata nel deliverable D5.7 dell'attività A5.7 dell'obiettivo realizzativo OR7).

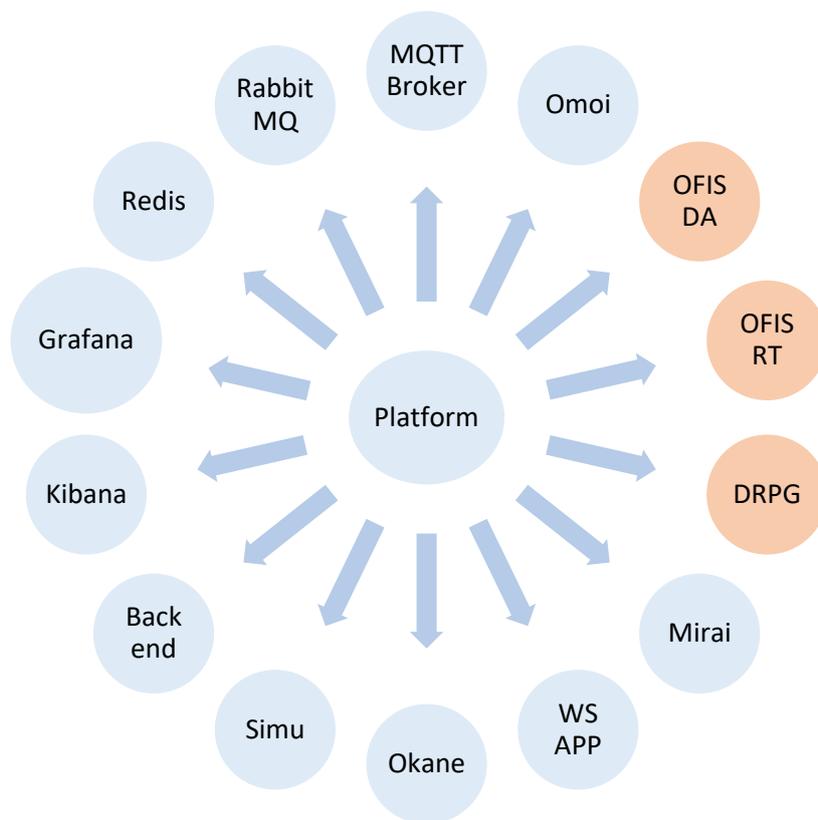


Figura 3-1 Elenco dei microservizi della piattaforma ComESto

L'elenco dei microservizi è organizzato come segue: dapprima sono presentati i microservizi di base cioè i microservizi necessari al funzionamento della stessa piattaforma (illustrati in Fig. 3-1 in cerchi azzurri), a seguire sono presentati i microservizi specifici per la comunità ComESto (illustrati in Fig. 3-1 in cerchi arancioni).

3.1 MQTT Broker per la comunicazione tra la piattaforma e i dispositivi di campo

Il microservizio Broker MQTT è erogato da un server broadcast che segue il paradigma “fire-and-forget”; il compito del Broker MQTT è tenere traccia delle connessioni tra la piattaforma e dispositivi periferici (o sottoscrittori). I dispositivi periferici sono, ad esempio, l’home gateway detto Eugenio e gli smart meters. La Piattaforma COMESTO adotta un broker proprietario che è interamente scritto in nodejs, utilizza il core del broker open source mosca.js ed è stato progettato per le specifiche esigenze del progetto COMESTO.

3.2 RabbitMQ per la gestione delle code dei messaggi

Il microservizio RabbitMQ è erogato da un server di livello industriale, è scritto in Erlang, ha lo scopo di gestire le code dei messaggi nonché lo scambio di messaggi asincroni tra i microservizi della stessa piattaforma Comesto.

3.3 Redis per la memoria cache

Il microservizio Redis è erogato da un server di cache del tipo key-value, ed è utilizzato come punto comune fra servizi per la memorizzazione dati; ad esempio, il servizio broker MQTT interroga il servizio Redis per conoscere i dispositivi di campo sono al momento attivi.

3.4 Grafana per la analisi dei dati e la produzione di grafici

Il microservizio Grafana è erogato da un server gestionale di analisi dati, produce grafici, widget o pannelli per la rappresentazione grafica di dati memorizzati o forniti da una sorgente.

3.5 Kibana per la diagnostica dei servizi

Il microservizio Kibana facilita le operazioni di diagnostica dei microservizi. Infatti, ogni microservizio scrive cronologicamente ogni operazione effettuata (i.e. il proprio log) su un server centrale che, quindi, contiene la lista completa di tutti gli eventi che accadono nella Piattaforma.

3.6 Omoi per la memorizzazione delle misure e delle previsioni

Il microservizio OMOI gestisce la lettura e la scrittura dei dati conservati su due database, detti timescaleDB e mongoDB, secondo la tecnologia nodejs. Tramite OMOI è possibile, ad esempio, conoscere la domanda oppure l'energia prodotta, tempo per tempo, dagli utenti finali, nonché i prezzi del mercato elettrico.

3.7 Mirai per il forecasting di generazione e consumo

Mirai è un microservizio di forecasting del profilo della domanda di un utente residenziale e del profilo di generazione di un impianto a fonte rinnovabile. Il servizio, sviluppato con tecnologia, abilita lo scambio di dati tra la Piattaforma ed i server di terze parti, utilizzando un protocollo del tipo machine-to-machine. Le previsioni restituite da Mirai sono input per altri microservizi.

3.8 WS-APP per l'interfaccia tra Piattaforma COMESTO e dispositivi periferici e remoti

Il microservizio WS-APP fornisce dati ai dispositivi di campo periferici, quali l'home gateway Eugenio o App installate su dispositivi mobili degli utenti finali.

3.9 Backend per l'accesso alla Piattaforma COMESTO dell'utente finale

Il microservizio Backend fornisce all'utente finale accesso alla stessa piattaforma tramite interfaccia web.

3.10 Okane per la lettura dei prezzi zionali dal Mercato Elettrico

Il microservizio Okane si collega al server del Gestore del Mercato Elettrico (GME) Italiano e riceve i prezzi orari di acquisto/vendita di energia elettrica sul libero mercato; i dati ottenuti sono salvati su un database detto mongoDb per il tramite del servizio OMOI. La connessione al server del GME utilizza il protocollo di livello applicativo *file-transfer-protocol* (FTP).

3.11 Kai per la memorizzazione di dati specifici

Il microservizio Kai scrive sul database locale timescaleDB i dati ricevuti dai soli dispositivi di campo home gateway Eugenio e smart meters.

3.12 SIMU per la generazione di profili di generazione e di domanda

Il microservizio SIMU genera serie temporali che riproducono la produzione di energia da fonte solare (cioè impianti fotovoltaici) o il consumo di energia elettrica di abitazioni residenziali. Questo microservizio è stato usato per testare e collaudare la Piattaforma Comesto.

3.13 Ottimizzazione della flessibilità day ahead, OFIS-DA

Il microservizio OFIS-DA, sviluppato con tecnologia nodejs, ottimizza la flessibilità interna e lo sbilanciamento tra domanda e generazione di energia elettrica, in fase di pianificazione, calcolando profili di immissione e prelievo, e lo stato dei sistemi di stoccaggio il giorno prima per il giorno dopo.

3.14 Ottimizzazione della flessibilità real time, OFIS-RT

Il microservizio OFIS-RT, sviluppato con tecnologia nodejs, corregge in tempo reale i profili di immissione e prelievo per come calcolati dal microservizio OFIS-DA.

3.15 Demand-respond profile generator (DRPG)

Il microservizio Demand-Response Profile Generator (DRPG) suddivide/ripartisce la soluzione restituita da OFIS_DA e OFIS-RT tra le nanogrid.

3.16 Interfaccia utente della piattaforma ComESTo

La piattaforma ComESTo ha una interfaccia grafica che è stata progettata per essere fruibile da un operatore umano, pertanto sono state create alcune videate, nella forma di pagine web, con grafici e comandi per l'attivazione delle varie funzionalità implementate.

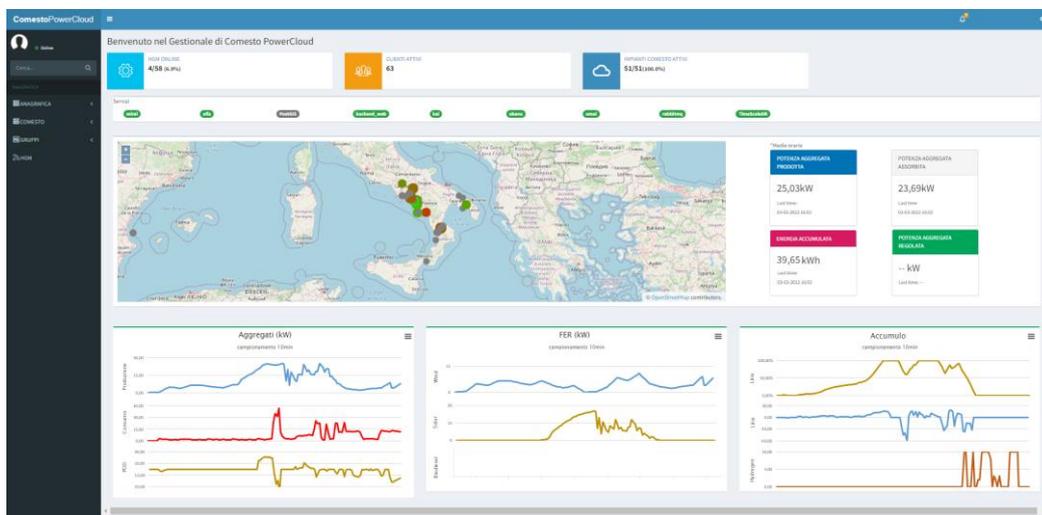


Figura 3-2 Piattaforma ComESTo: pagina principale

La pagina principale di Fig. 3-2 mostra una mappa con i siti dove le nanogrid e gli impianti di generazione da fonte rinnovabile del dimostratore sono stati installati, assieme a grafici e dati che riferiscono all'intero dimostratore.



Figura 3-3 Piattaforma ComESto: profili del singolo membro della comunità

Anche i dati di ciascun singolo impianto posso essere visualizzati; la Fig. 3-3 mostra, ad esempio, il caso di un prosumer e, più precisamente, lo scambio al POD, le curve di generazione e domanda, lo stato dei sistemi di accumulo ed alcuni indici di prestazione (es. il tasso di autoconsumo giornaliero).



Figura 3-4 Report autoconsumo per una nanogrid

Pr ciascuna nanogrid esiste anche la possibilità di generare report mensili circa consumo, produzione ed autoconsumo come in Fig. 3-4.



Figura 3-5 Piattaforma ComESTo: profili di prezzi di mercato

All’operatore della piattaforma sono anche mostrati i prezzi del mercato elettrico (prezzo zonale e prezzo unico nazionale) per come calcolati dal Gestore dei Mercati Energetici.

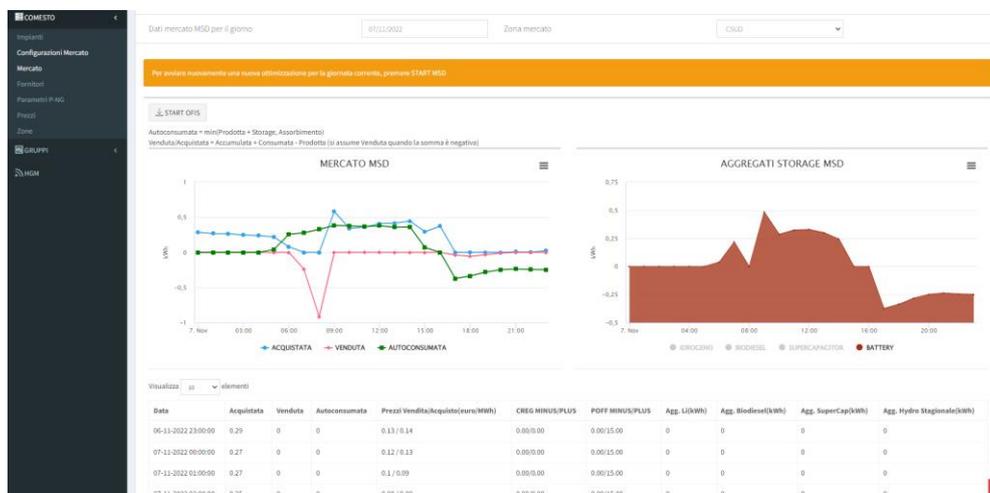


Figura 3-5 Valori restituiti dal microservizio OFIS-DA

Il microservizio OFIS-DA, che ottimizza la flessibilità interna e lo sbilanciamento tra domanda e generazione di energia elettrica in fase di pianificazione, è eseguito automaticamente ogni 24 ore. L’operatore della piattaforma può visualizzare i valori previsti di immissione e prelievo di energia elettrica della comunità, nonché lo stato dei sistemi di accumulo per ogni ora del giorno successivo come mostrato in Fig. 3-5.

4 TEST DEL DIMOSTRATORE COMESTO

Il Dimostratore ComESTo è testato al fine di validare le soluzioni tecnologiche, i modelli e gli algoritmi individuati e implementati. Il test è illustrato di seguito è stato eseguito il giorno lunedì 6 giugno 2022 e copre un orizzonte temporale di 24 ore (giorno D), preceduto dal giorno D-1 (vedi Fig. 4-1);

quest'ultimo è utile alla esecuzione delle previsioni di domanda e della generazione per il giorno D, ricavare le condizioni iniziali dei sistemi di accumulo (stato di carica dei sistemi di accumulo a batterie, livello serbatoio idrogeno, livello serbatoio biofuel), eseguire gli algoritmi di ottimizzazione della flessibilità per il giorno D.

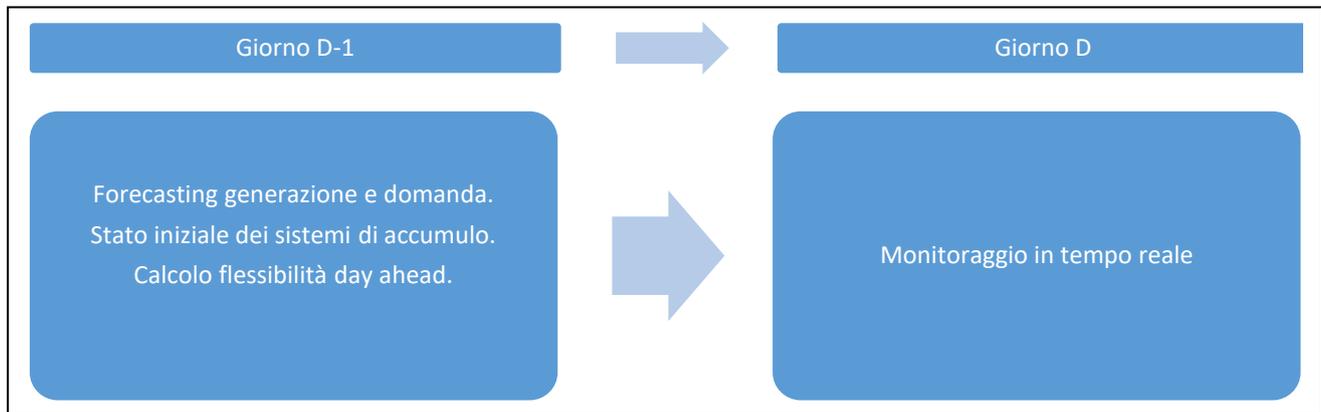


Figura 4-1 Schema dei giorni del test

Per il test in esame, il giorno D è un giorno particolarmente soleggiato pertanto il fenomeno prevalente atteso è la sovragerazione cioè un eccesso di generazione di energia da fonte rinnovabile dei tre impianti fotovoltaici durante le ore diurne rispetto alla domanda nelle stesse ore. Il risultato prevalente atteso è duplice:

- la carica dei sistemi di accumulo e la riduzione dell'energia ceduta all'esterno della comunità (venduta sul mercato libero) durante le ore di sovragerazione;
- la scarica dei sistemi di accumulo e la riduzione dell'energia importata dall'esterno della comunità (acquistata sul libero mercato) durante le ore di sottogenerazione.

4.1 Strategia di pianificazione dei sistemi di accumulo di lungo periodo

Il modello di ottimizzazione della gestione dei sistemi di accumulo distingue i sistemi di accumulo in due categorie: lungo periodo e breve periodo. I sistemi di accumulo a batterie appartengono alla prima categoria mentre i sistemi di accumulo che impiegano biodiesel e idrogeno appartengono alla seconda categoria. Di conseguenza, questi ultimi possono essere ricaricati durante un giorno particolarmente soleggiato e scaricati nei giorni successivi quando la generazione da fonte solare è particolarmente scarsa o nulla. Per questo, il modello consente di stabilire due parametri di cui il primo (detto P_SEASONAL) stabilisce la quota giornaliera di energia elettrica generata in eccesso rispetto alla domanda che deve essere utilizzata per ricaricare i sistemi di accumulo di lungo periodo mentre il secondo (detto M_SEASONAL) stabilisce la quota giornaliera di energia elettrica che può essere prelevata da questi sistemi. Ciò detto, per il test in esame vale quanto segue:

- P_SEASONAL = 30%
- M_SEASONAL = 0%

Ciò implica che non più del 30% della overgeneration del giorno D del test sarà utilizzata per ricaricare i sistemi di accumulo a biodiesel ed idrogeno, e che questi sistemi di accumulo non saranno scaricati nella stessa giornata. Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo con batterie agli ioni di litio

La seguente Tab. 4-1 riporta i parametri e lo stato iniziale dei sistemi di accumulo con batterie agli ioni di litio.

Tabella 4-1 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo con batterie agli ioni di litio

SOC	COST	Emin	Emax	CapMin	CapMax
0	0,0102	2,35	2,35	0	28,8

dove

- SOC in kWh è lo stato di carica complessivo di tutti i sistemi di accumulo che impiegano batterie agli ioni di litio
- COST in €/kWh è il costo per caricare/scaricare i sistemi di accumulo che impiegano batterie agli ioni di litio
- Emin ed Emax in kWh sono la massima quantità di energia che può essere prelevata o accumulata in 15 minuti in tutti i sistemi di accumulo che impiegano batterie agli ioni di litio
- Capmin e Capmax in kWh sono la minima e massima capacità di accumulo di tutti i sistemi di accumulo che impiegano batterie agli ioni di litio

4.2 Parametri e stato iniziale del sistema di accumulo ad idrogeno

La seguente Tab. 4-2 riporta i parametri e lo stato iniziale del sistema di accumulo ad idrogeno.

Tabella 4-2 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo ad idrogeno

SOC	COST	Emin	Emax	CapMin	CapMax
0	0,33	0,02	0,02	0	5,84

dove

- SOC in kWh è lo stato di carica del sistema di accumulo che impiega idrogeno;
- COST in €/kWh è il costo per caricare/scaricare il serbatoio di idrogeno;
- Emin ed Emax in kWh sono la massima quantità di energia che può essere prelevata o accumulata in 15 minuti dal serbatoio di idrogeno;
- *Capmin e Capmax in kWh sono la minima e massima capacità di accumulo del serbatoio di idrogeno.*

4.3 Parametri e stato iniziale del sistema di accumulo a biodiesel

La seguente Tab. 4-3 riporta i parametri e lo stato iniziale del sistema di accumulo a biodiesel.

Tabella 4-3 Parametri e stato iniziale dei sistemi di accumulo con biodiesel

SOC	COST	Emin	Emax	CapMin	CapMax
0	0,03	0,12	2.8	0	165

dove

- SOC in kWh è lo stato del serbatoio di biodiesel;
- COST in €/kWh è il costo per caricare/scaricare il serbatoio di biodiesel;
- Emin in kWh è la massima quantità di energia che può essere utilizzata in 15 minuti per produrre biodiesel;
- Emax in kWh è la massima quantità di energia che può essere ottenuta in 15 minuti nel consumare biodiesel;
- Capmin e Capmax in kWh sono la minima e massima capacità di accumulo del serbatoio di

biodiesel.

4.4 Previsione e misura della domanda dei carichi elettrici

Il microservizio MIRAI è invocato così da ottenere le previsioni della domanda dei carichi elettrici alimentati dalle nanogrid.

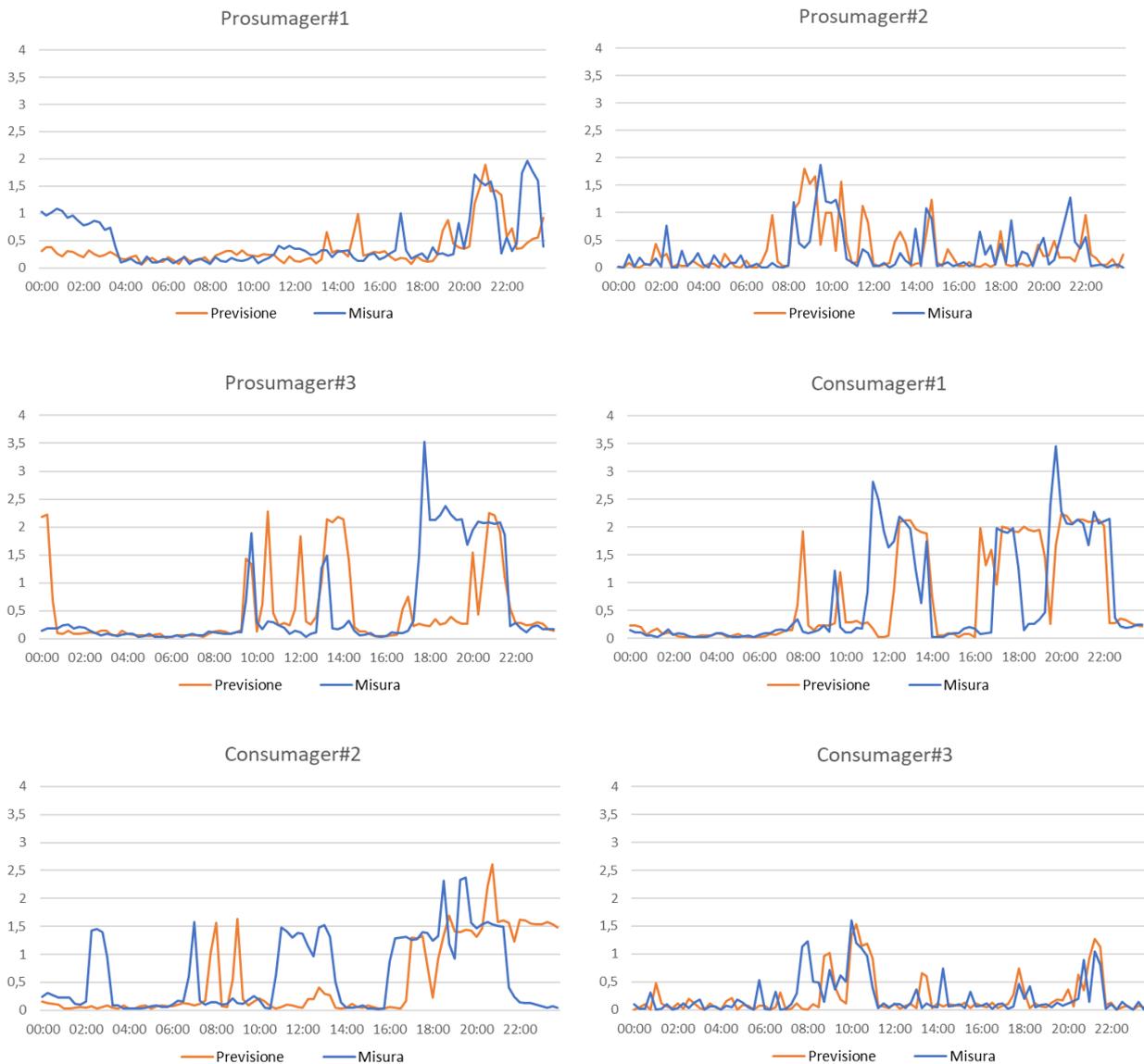


Figura 4-2 Previsione e misura della domanda dei carichi elettrici

La Fig. 4-2 riporta la previsione (il giorno prima per il giorno dopo) della domanda dei sei carichi elettrici alimentati da altrettante nanogrid; la previsione è messa a confronto con la misura della potenza che è stata realmente richiesta dalle utenze elettriche il giorno dopo la previsione. Il confronto mostra la soddisfacente bontà degli algoritmi per la previsione del domanda, al netto di evidenti sbavature che sono da imputare ad un atipico comportamento - del tutto imprevedibile - degli utenti finali.

4.5 Previsione e misura della generazione da impianti fotovoltaici

Il microservizio MIRAI è invocato da ottenere le previsioni della generazione dell'impianto fotovoltaico dell'impianto Producer#1 e delle nanogrid Prosumager#1 e Prosumager#3.

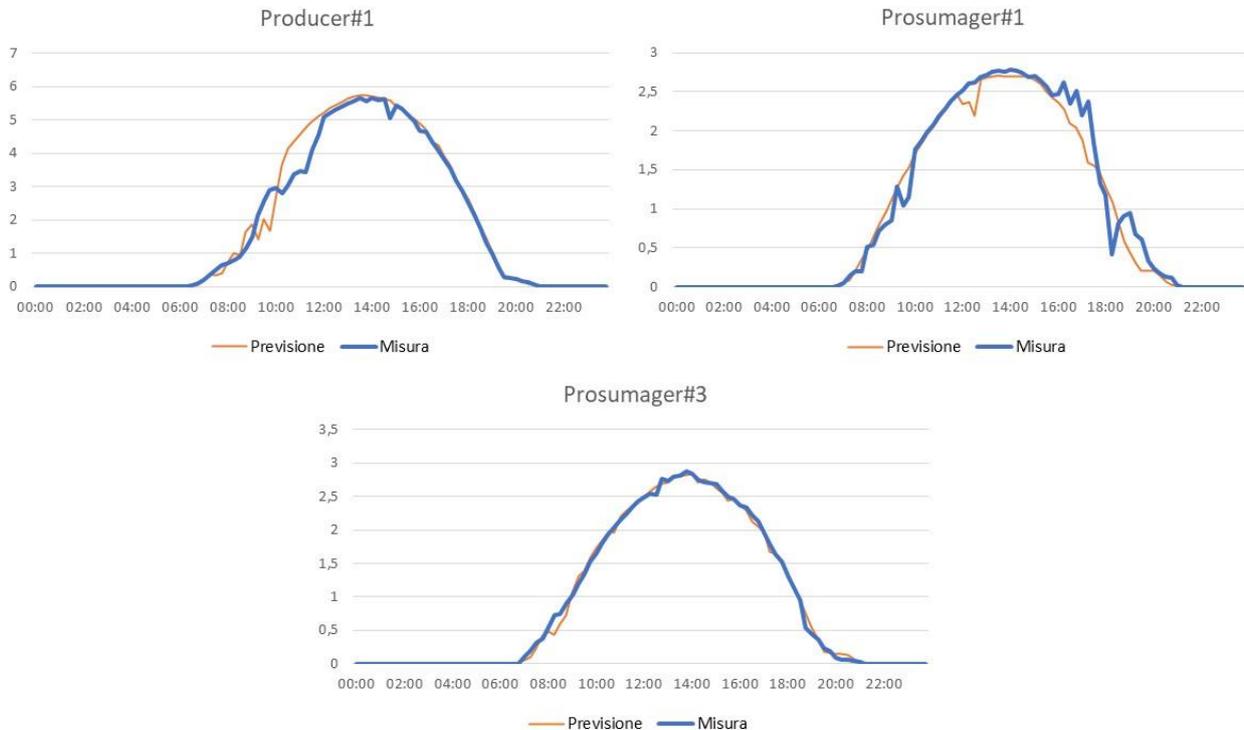


Figura 4-3 Previsione e misura della generazione da impianti fotovoltaici

La Fig. 4-3 riporta la previsione (il giorno prima per il giorno dopo) della potenza generata dai tre impianti fotovoltaici inclusi nel dimostratore. La previsione è messa a confronto con la misura della potenza che è stata realmente generata dagli impianti fotovoltaici il giorno dopo la previsione. Il confronto mostra la molto soddisfacente bontà degli algoritmi per la previsione del generazione dalla fonte solare.

4.6 Prezzi del mercato elettrico

Al fine dell'ottimizzazione dei sistemi di accumulo e della conseguente determinazione delle quantità di energia da acquistare e vendere sul mercato elettrico, è necessario tenere in debita considerazione i prezzi dello stesso mercato.

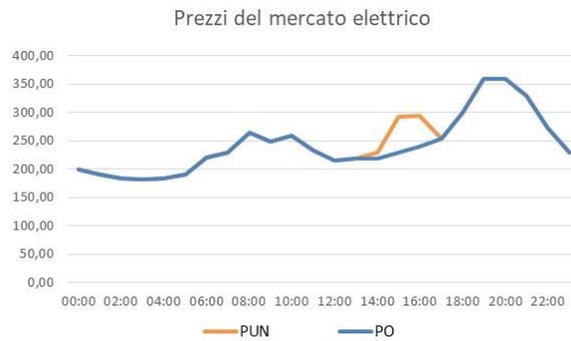


Figura 4-4 Prezi del mercato elettrico

Per il giorno 6 giugno 2022, i prezzi orari per l’acquisto dell’energia elettrica (cioè il prezzo unico nazionale, PUN) e i prezzi orari per la vendita dell’energia elettrica (cioè il prezzo zonale per la zona CALABRIA) sono mostrati in Fig. 4-4. Si nota che i prezzi di vendita ed acquisto coincidono tra loro per l’intera giornata tranne nell’intervallo 14:00 – 17:00 durante il quale il prezzo di acquisto supera il prezzo di vendita.

4.7 Profili di carica e scarica dei sistemi di accumulo

Il microservizio OFIS-DA è invocato così da ottenere la carica e la scarica del sistema di accumulo aggregato, cioè dell’intero dimostratore, che unisce insieme i sistemi di accumulo a batterie, il sistema di accumulo ad idrogeno ed il sistema di accumulo a biodiesel.



Figura 4-5 Profilo di carica e scarica dei sistemi di accumulo (profilo aggregato)

Il profilo di carica e scarica del sistema di accumulo aggregato, mostrato in Fig. 4-5, è calcolato il giorno prima per il giorno dopo, e compensa la differenza tra la previsione della domanda aggregata e della generazione aggregata. In particolare, il sistema di accumulo aggregato carica 40.45kWh mentre scarica 23.64kWh, la differenza è una quantità di energia che è caricata dai sistemi di accumulo che impiegano biodiesel ed idrogeno. Questi due sistemi di accumulo operano solo “in carica” ma non “in scarica” poiché, come anticipato nelle premesse di questo test, sono utilizzati come sistemi di accumulo nel lungo periodo cioè una riserva di energia da utilizzare nei successivi giorni di irraggiamento solare scarso o nulla.

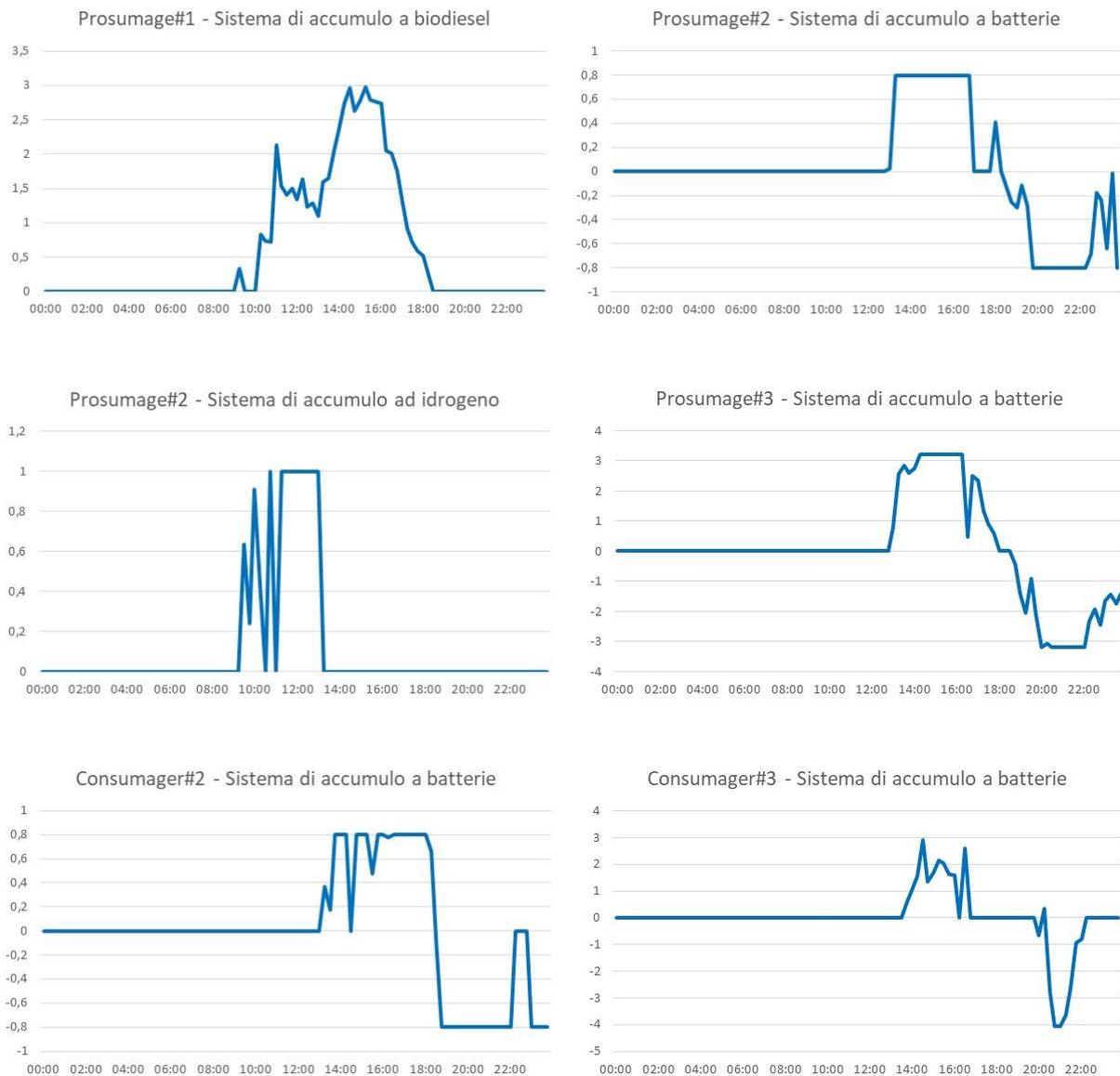


Figura 4-6 Profili di carica e scarica di ogni sistema di accumulo

Il microservizio DRPG è invocato così da ottenere ripartizione della carica e della scarica del sistema di accumulo aggregato tra i diversi sistemi di accumulo – batterie, idrogeno e biodiesel, installati presso le nanogrid. I profili di carica e scarica dei diversi sistemi di accumulo sono illustrati in Fig. 4-6.

4.8 Profili al POD delle nanogrid in assenza ed in presenza di accumulo

Tenendo della previsione della generazione degli impianti fotovoltaici, della previsione della domanda dei sei carichi elettrici e della carica e scarica dei singoli sistemi di accumulo per come restituiti dal microservizio DRPG, è possibile confrontare il profilo di potenza al punto di connessione con la rete elettrica per ciascuna nanogrid, in assenza ed in presenza dei sistemi di accumulo.

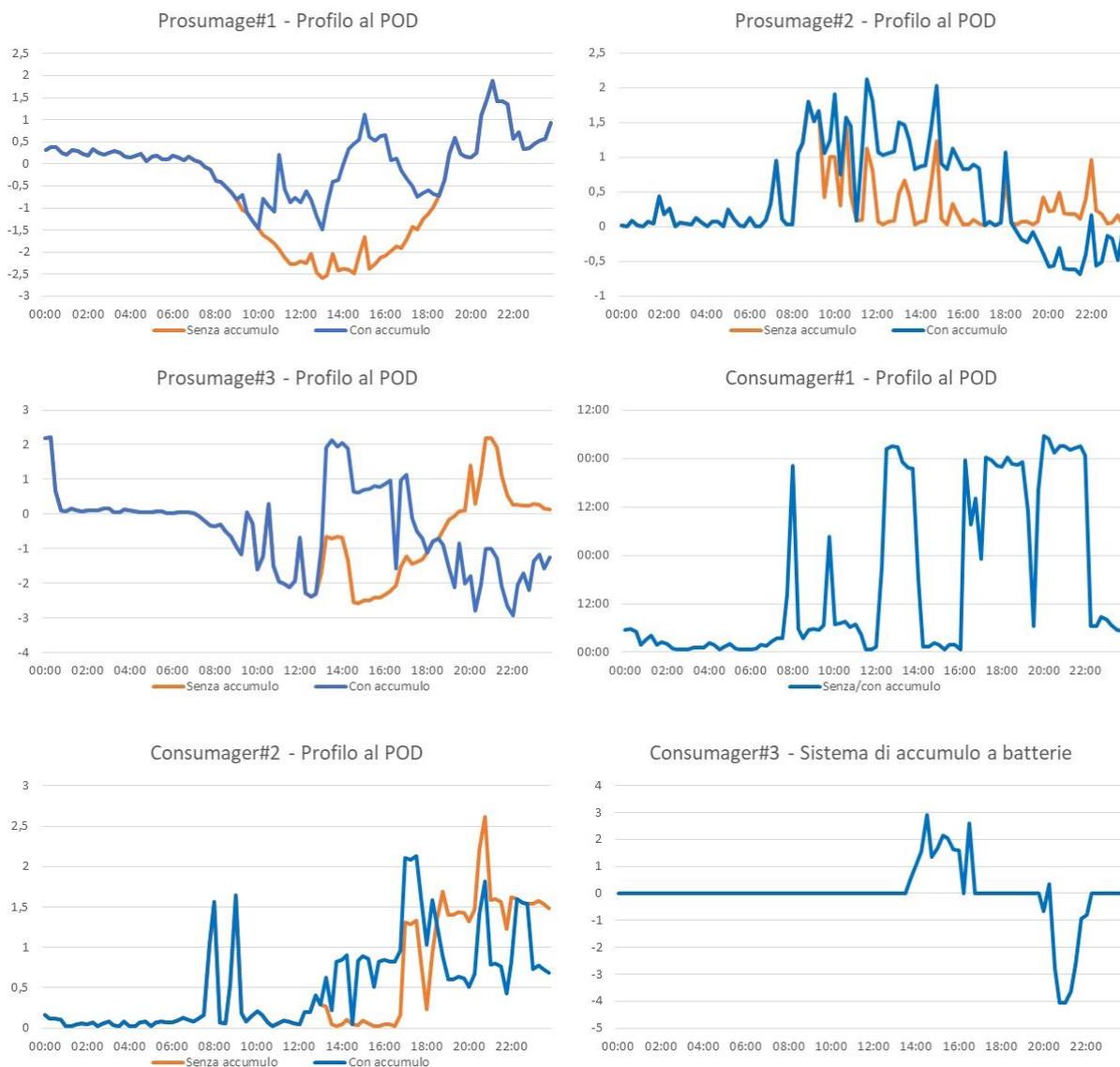


Figura 4-7 Profili di ciascuna nanogrid

La Fig. 4-7 mostra i profili di ciascuna nanogrid in assenza ed in presenza dei sistemi di accumulo, ad eccezione della nanogrid del Consumer#1 in quanto quest'ultimo è munito di soli supercapacitori la cui capacità è di appena 0.7kWh. Si può notare, ad esempio, che la potenza immessa nella rete elettrica del Prosumager#1 di minuisce in presenza di accumulo poiché una parte della potenza generata localmente è utilizzata per caricare il sistema ad accumulo a biodiesel. Stesso vale per il Prosumager#3 che è dotato di un sistema di accumulo a batterie.

4.9 Profilo aggregato del dimostratore (o anche profilo al POD virtuale)

La somma dei profili di potenza al punto di connessione con la rete elettrica di ciascuna nanogrid, in assenza ed in presenza dei sistemi di accumulo, restituisce il profilo aggregato della potenza dell'intero dimostratore (vedi Fig. 4-8).



Figura 4-8 Profilo del dimostratore (o profilo al POD virtuale)

L'energia prelevata ed immessa in assenza dei sistemi di accumulo è pari a 30.53kWh e 56.22kWh, rispettivamente. In presenza dei sistemi di accumulo tali valori sono 6.88kWh e 15.77kWh, rispettivamente.

4.10 Validazione delle soluzioni tecnologiche, dei modelli e degli algoritmi implementati

La validazione delle soluzioni tecnologiche, dei modelli e degli algoritmi implementati è condotta attraverso un set di indicatori di risultato.

Tabella 4-4 Quota energia rinnovabile autoconsumata

Generazione aggregata	kWh	88,70
Domanda aggregata	kWh	63.02
In assenza di sistemi di accumulo		
Autoconsumo	kWh	32.48
Autoconsumo	%	36.62
In presenza di sistemi di accumulo		
Autoconsumo	kWh	72.94
Autoconsumo	%	82.24

Un primo indicatore è l'aumento della quota di energia rinnovabile autoconsumata dalla Community. Come riportato in Tab. 4-4, la quota di autoconsumo è pari al 36% circa in assenza di sistemi di accumulo mentre è pari al 82% circa in presenza di sistemi di accumulo, quando opportunamente operati dal modello di ottimizzazione OFIS-DA che è stato progettato e implementato nel progetto ComESTo.

Tabella 4-5 Energia immessa e prelevata

In assenza di sistemi di accumulo		
Energia immessa nella rete elettrica di distribuzione	kWh	56.22
Energia prelevata dalla rete elettrica di distribuzione	kWh	30.53

In presenza di sistemi di accumulo

Energia immessa nella rete elettrica di distribuzione	kWh	15.76
Energia prelevata dalla rete elettrica di distribuzione	kWh	6.88

Un secondo indicatore è l'aumento della hosting capacity della rete di distribuzione in presenza di forte penetrazione di impianti che sfruttano fonti energetiche rinnovabili. Come riportato in Tab. 4-5, l'energia immessa nella rete elettrica di distribuzione in assenza di sistemi di accumulo è pari a 56kWh circa mentre è pari a 15kWh circa in presenza di sistemi di accumulo, quando opportunamente operati dal modello di ottimizzazione OFIS-DA che è stato progettato e implementato nel progetto ComESto. La rilevante riduzione (72% circa) dell'energia immessa nella rete elettrica di distribuzione migliora evidentemente la capacità della stessa rete elettrica di accettazione la connessione di impianti di generazione distribuita a fonte rinnovabile.

Tabella 4-6 Ricavi, costi e profitto

In assenza di sistemi di accumulo		
Mancato esborso per autoconsumo	€	7.85
Ricavi per vendita dell'energia	€	12.89
Costi per acquisto dell'energia	€	8.35
Profitto (ricavi – costi)	€	12.39
In presenza di sistemi di accumulo		
Mancato esborso per autoconsumo	€	17.23
Ricavi per vendita dell'energia	€	3.51
Costi per acquisto dell'energia	€	1.53
Profitto (ricavi – costi)	€	19.21

Un terzo indicatore è la riduzione del costo sostenuto dalla comunità per l'acquisto dell'energia elettrica e l'incremento dei margini di profitto. La Tab. 4-6 riporta un conto economico che include il mancato esborso per l'energia prodotta dagli impianti fotovoltaici ed autoconsumata, i ricavi per l'energia immessa nella rete elettrica e venduta sul mercato elettrico, il costo per l'energia prelevata dalla rete elettrica e acquistata sul mercato elettrico, il profitto calcolato come somma algebrica dei tre valori appena citati ed assumendo il segno negativo per il costo di acquisto. Il profitto in assenza di sistemi di accumulo è pari a 12€ circa mentre è pari a 19€ circa in presenza di sistemi di accumulo, quando opportunamente operati dal modello di ottimizzazione OFIS-DA che è stato progettato e implementato nel progetto ComESto. Ne consegue un maggior profitto pari al 55%.

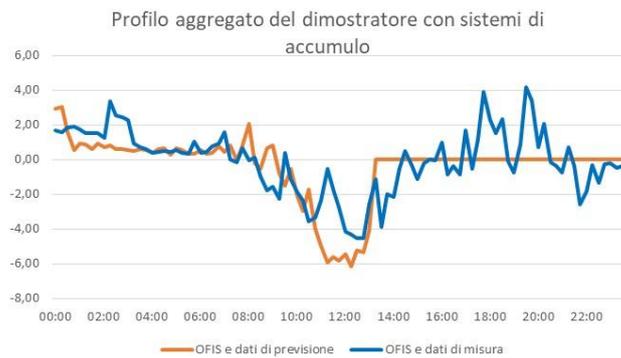


Figura 4-9 Profilo aggregato del dimostratore, confronto tra il caso di dati di previsione ed il caso di dati misurati

Un quarto indicatore riferisce ai benefici derivanti dalla riduzione degli sbilanciamenti. Il microservizio OFIS-DA il giorno D-1 ottimizza la flessibilità interna del dimostratore per il giorno D, utilizzando dati di previsione della domanda e della generazione. Come facile intuire, le misurazioni di domanda e generazione nel giorno D mostrano uno scostamento dei valori misurati rispetto ai valori previsti. In tal senso, la linea arancione in Fig. 4-9 mostra il profilo aggregato del dimostratore secondo quanto stabilito il giorno D-1 dal microservizio OFIS-DA per il giorno D; la linea blu di Fig. 4-9, invece, mostra il profilo aggregato del dimostratore per il giorno D, quando le misure reali della domanda e della generazione sostituiscono le loro previsioni mentre i sistemi di accumulo continuano ad operare secondo quanto stabilito il giorno D-1 dal microservizio OFIS-DA.

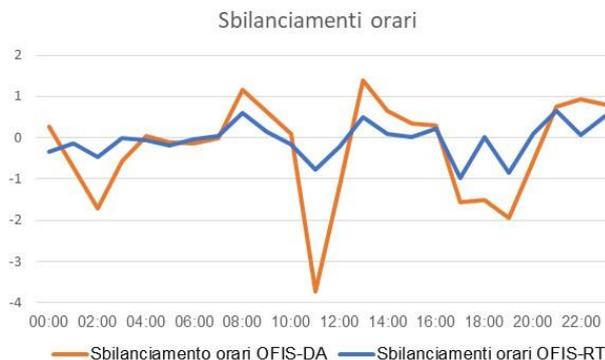


Figura 4-10 Sbilanciamenti orari prima della compensazione in tempo (OFIS-DA) e dopo la compensazione in tempo reale (OFIS-RT)

La Fig. 4-9 mostra che esistono degli scostamenti tra i due profili aggregati. Tali scostamenti danno origine ad uno sbilanciamento. In particolare, la linea arancione di Fig. 4-10 riporta lo sbilanciamento orario che si misura il giorno D in assenza di qualsiasi compensazione; la somma dei valori assoluti di tali sbilanciamenti è pari a 21.06kWh. Al fine di compensare o eliminare questi scostamenti, il microservizio OFIS-RT corregge nel giorno D ed in tempo reale i valori di carica/scarica dei sistemi di accumulo, già calcolati dal microservizio OFIS-DA il giorno D-1. La linea blu di Fig. 4-10 riporta lo sbilanciamento orario per il giorno D a seguito della compensazione operata dal microservizio OFIS-RT; la somma dei valori assoluti di tali sbilanciamenti è pari a 7.13kWh. Ne consegue una riduzione degli sbilanciamenti pari al 66.14%.



Figura 4-11 Profilo aggregato del dimostratore, confronto tra il caso di dati di previsione ed il caso di dati misurati con correzione degli sbilanciamenti

Per finire, la Fig. 4-11 mostra due curve dove la prima, in arancione, rappresenta il profilo aggregato del dimostratore secondo quanto stabilito il giorno D-1 dal microservizio OFIS-DA per il giorno D mentre la seconda, in blu, rappresenta il profilo aggregato del dimostratore il giorno D a seguito della compensazione effettuata dal microservizio OFIS-RT.

5 CONCLUSIONI

Il presente documento, deliverable del progetto ComESTo, ha mostrato i risultati delle attività condotte nell'ambito dell'attività A7.4 dal titolo "Implementazione della piattaforma ComESTo" dell'Obiettivo Realizzativo 7 (OR7 - "Realizzazione dimostratore e sperimentazione in sito pilota della Community Energy Storage"). In particolare, il presente documento ha presentato l'elenco dei microservizi che costituiscono la piattaforma ComESTo ed una loro descrizione. Quindi, sono stati mostrati e discussi i risultati di un test eseguito il giorno 6 giugno 2022. Il test ha dimostrato che l'eccesso di generazione di energia elettrica da fonte rinnovabile per il giorno considerato era opportunamente utilizzato per ricaricare i sistemi di accumulo così da ridurre la quantità di energia elettrica immessa nella rete di distribuzione per essere venduta sul mercato elettrico. Allo stesso tempo, l'energia accumulata era utilizzata nelle ore di sottogenerazione (ore serali) così da ridurre la quantità di energia elettrica prelevata dalla rete di distribuzione e acquistata sul mercato elettrico. I risultati ottenuti, inoltre, dimostrano che la gestione ottimizzata dei sistemi di accumulo ha consentito un aumento (dal 36% al 82%) del tasso di autoconsumo dell'energia prodotta dalla stessa comunità da fonte solare, un decremento (da 30kWh a 7kWh) dell'energia elettrica immessa nella rete elettrica col conseguente aumento della hosting capacity della rete elettrica di distribuzione, un aumento (da 12€ a 19€) del profitto della Comunità ComESTo ed una consistente riduzione degli sbilanciamenti (66%).