

Il paradosso dell'IA: potenza computazionale o sostenibilità reale?

2 luglio 2026 - Milano, Centro Congressi FAST

L'utilizzo dell'IA per previsione e ottimizzazione del consumo di energia

Sonia Leva



Indice

1. Contesto Energetico

Emissioni e RES

Fonti energetiche rinnovabili

Consumi elettrici

2. Previsione e ottimizzazione

Il bilancio energetico

Sistemi di Gestione dell'Energia

Previsione della generazione, del carico e del EV

Riduzione dei costi & AI per la gestione intelligente dell'energia

3. AI e gestione intelligente dell'energia

Ambito residenziale

Ambito industriale & commerciale

4. Conclusioni

Situazione energetica Mondiale

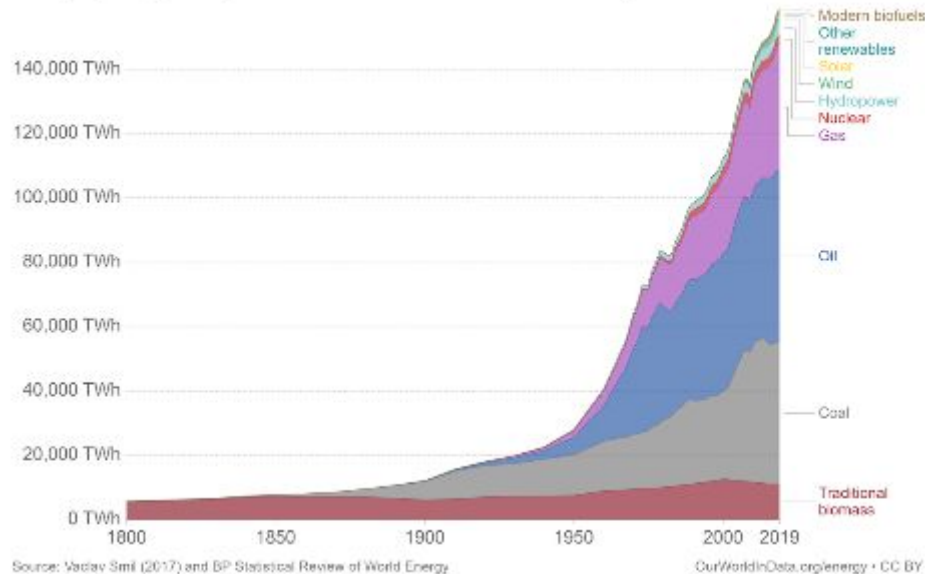
01

Contesto energetico: rinnovabili e mobilità sostenibile

- Il nostro mondo è ancora basato sui combustibili fossili come fonte energetica primaria

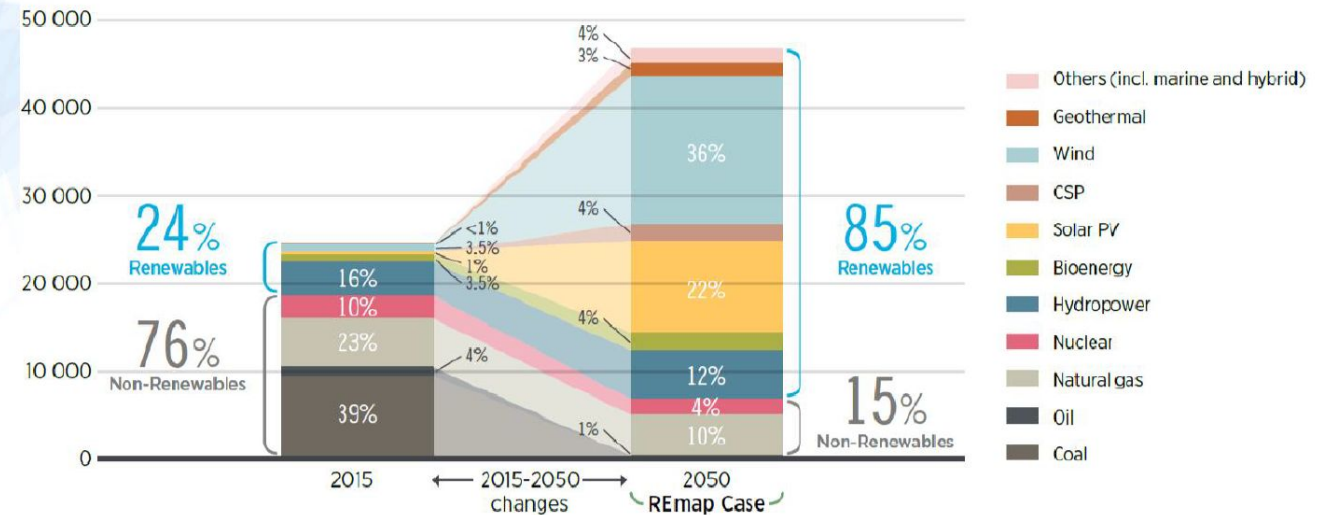
Global direct primary energy consumption

Direct primary energy consumption does not take account of inefficiencies in fossil fuel production.



Gross power generation to almost double and RE providing 85% of electricity

Electricity generation (TWh/yr)



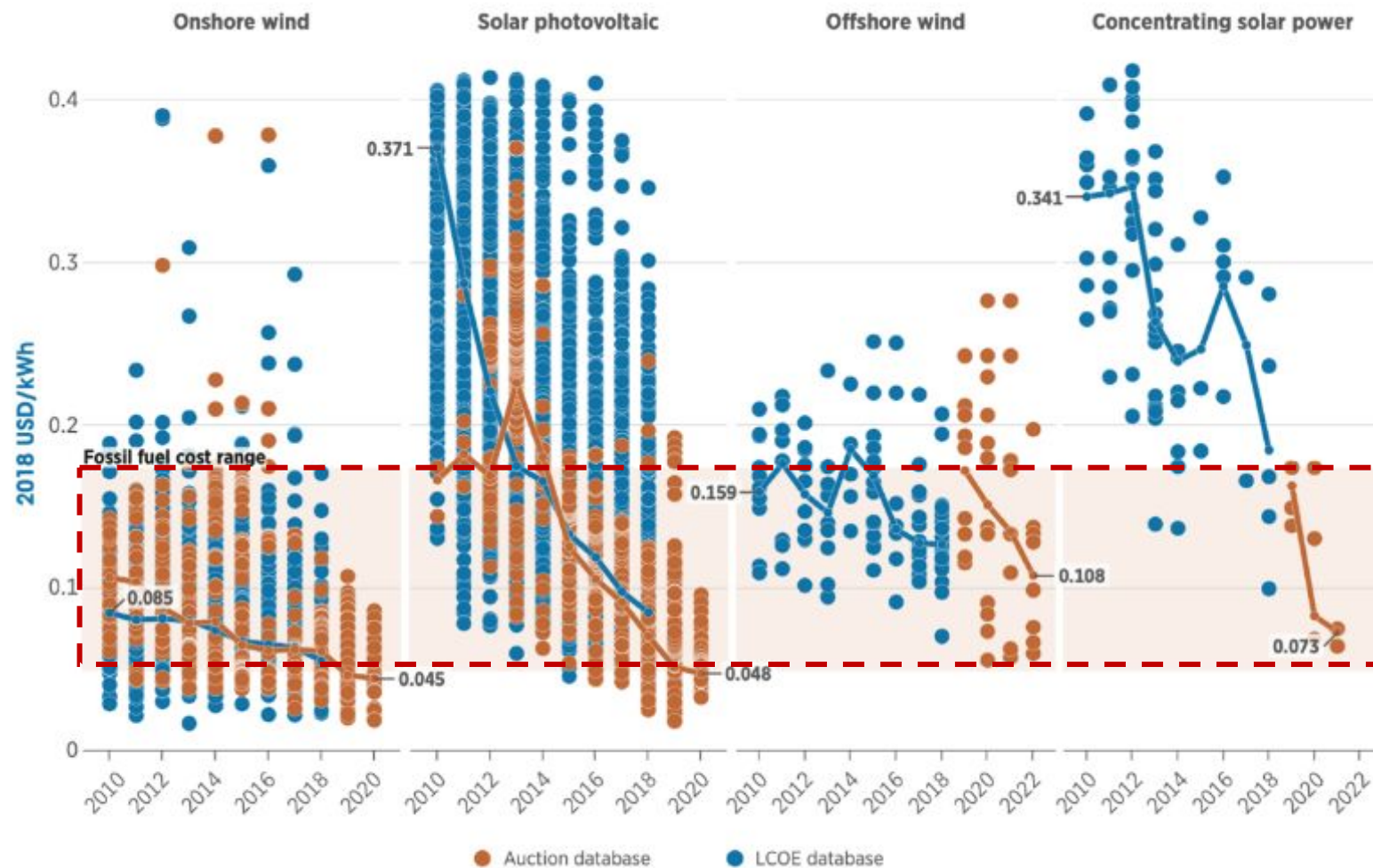
- Per ridurre la CO₂ ci si sta muovendo principalmente in queste direzioni:
 - Transizione alle Fonti Rinnovabili di Energia (**Renewable Energy Sources - RES**) □ integrazione delle RES nei sistemi di Potenza
 - Transizione alla Mobilità Sostenibile (**Sustainable Mobility**) □ incremento di energia per i Veicoli Elettrici (Electric Vehicle – EV)

Contesto energetico: costo delle RES

L'energia rinnovabile è competitiva dal punto di vista economico rispetto al costo dei combustibili fossili.

La riduzione dei costi è stata guidata dalla crescente maturità del settore.

Ci si attende riduzioni dei costi legati all'eolico offshore.



Contesto energetico: quali sono i problemi delle RES?

- L'energia rinnovabile (principalmente solare e eolico) è **diluita**;

Esempio: 1 GW centrale footprint Fossil fuel fired (coal/NG)

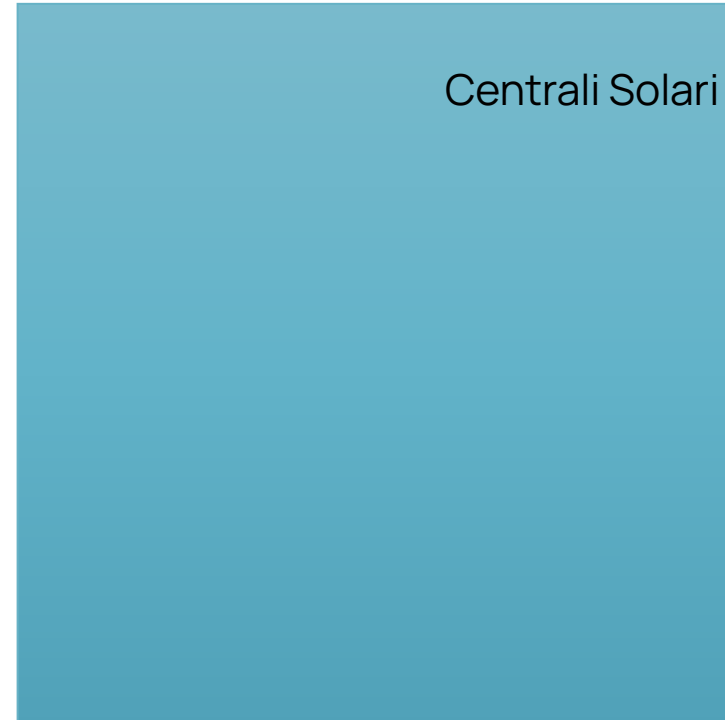
- L'energia rinnovabile **cambia** durante giorno/mesi;

Esempio: 1 GWh centrale footprint Fossil fuel fired (coal/NG)

- L'energia rinnovabile (fotovoltaico e eolico) è **intermittente e non controllabile**.



Centrali Solari



Centrali Solari

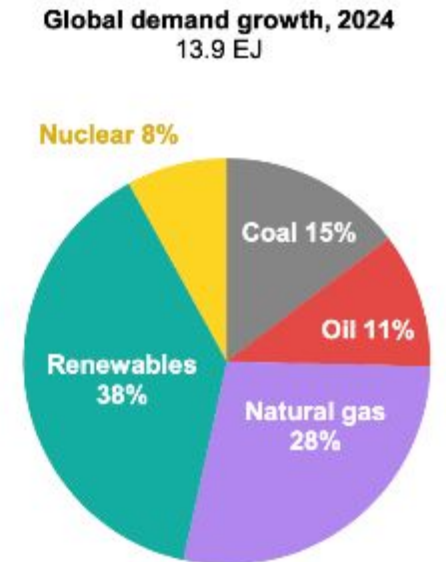
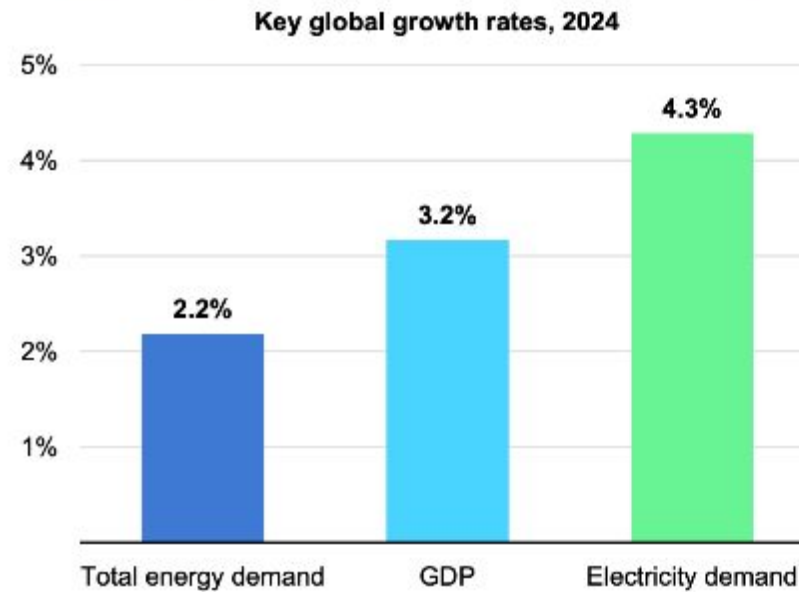
Contesto energetico: consumi elettrici

La domanda globale di energia è cresciuta del 2,2% nel 2024, più velocemente della media degli ultimi dieci anni.

L'aumento è stato guidato dall'elettricità: aumento **del 4,3%**, ben al di sopra della crescita del 3,2% del PIL globale

Le rinnovabili hanno rappresentato la maggior parte della crescita dell'offerta energetica globale (38%), seguita da gas naturale (28%), carbone (15%), petrolio (11%) e nucleare (8%).

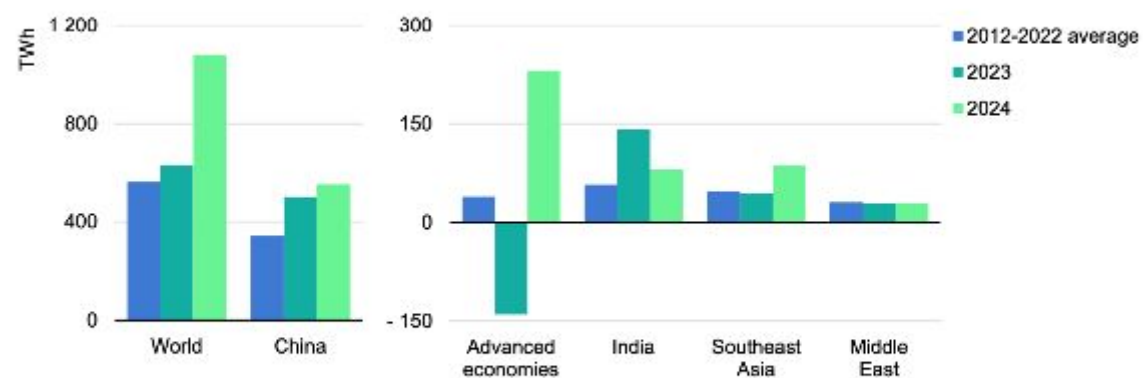
Key global growth rates and the share of energy demand growth by source, 2024



Contesto energetico: consumi elettrici

La Cina ha registrato l'incremento più elevato

Change in total final consumption of electricity for selected regions, 2012-2024

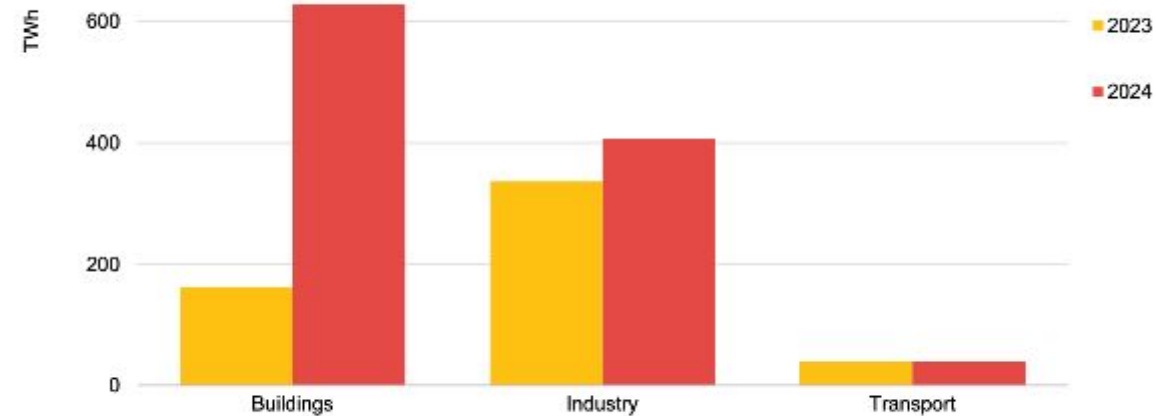


IEA. CC BY 4.0.

Note: Total final consumption excludes own use for power plants and industry, and transmission and distribution losses.

I consumi per gli edifici sono quasi quadruplicati

Annual change in electricity consumption by sector

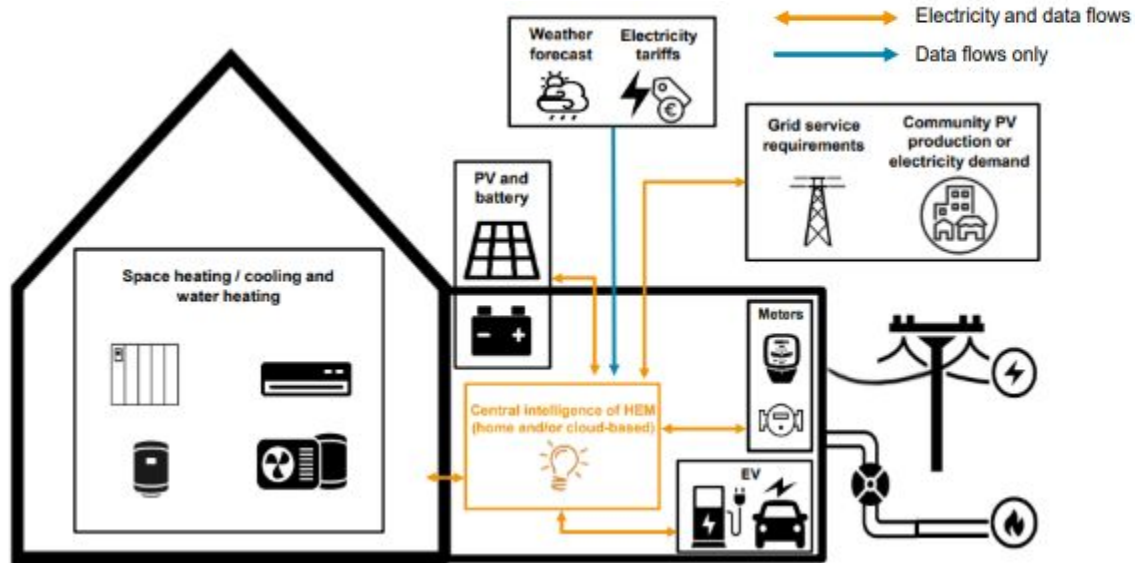


IEA. CC BY 4.0.

Contesto energetico: elettrificazione dei carichi e Smart Building

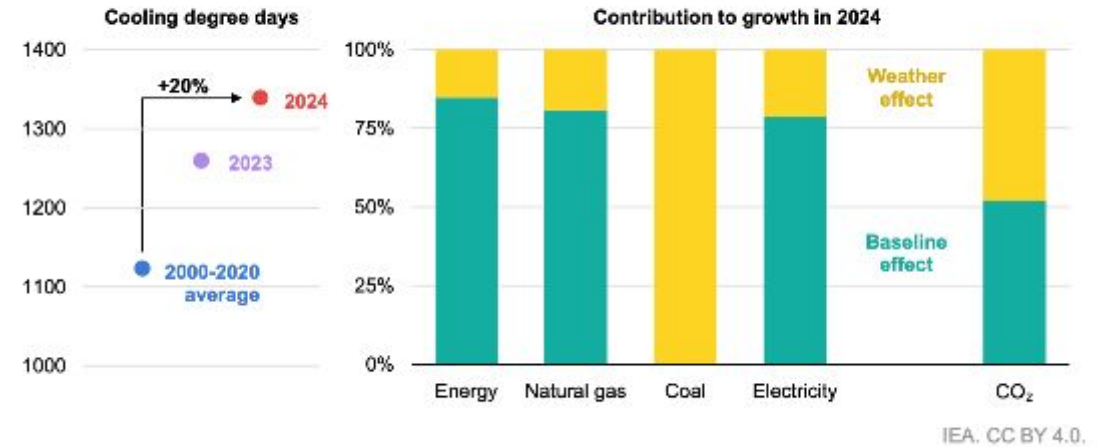
Nuovi carichi anche in contesti tradizionali: pompe di calore, piani a induzione, veicoli elettrici, ecc.

Potenza del contatore da 3kW a 6kW o addirittura 10kW



Temperature record del 2024: **forte aumento della domanda di raffreddamento negli edifici**

Cooling degree days in 2023 and 2024 compared with long-term average and contribution of total weather effects to change of energy demand and emissions, 2024



Contesto energetico: elettrificazione stazioni di ricarica per EV

Sviluppo di strutture di ricarica per veicoli elettrici. EVCS rappresenta:

- una nuova sfida per la gestione e il controllo della stazione di ricarica
- problemi nell'integrazione alla rete: come capacità di trasformatori o linee o limitazioni del tasso di sa
- un'opportunità per soluzioni V2G per le flotte aziendali e non solo in termini di servizi alla rete



Previsione e ottimizzazione

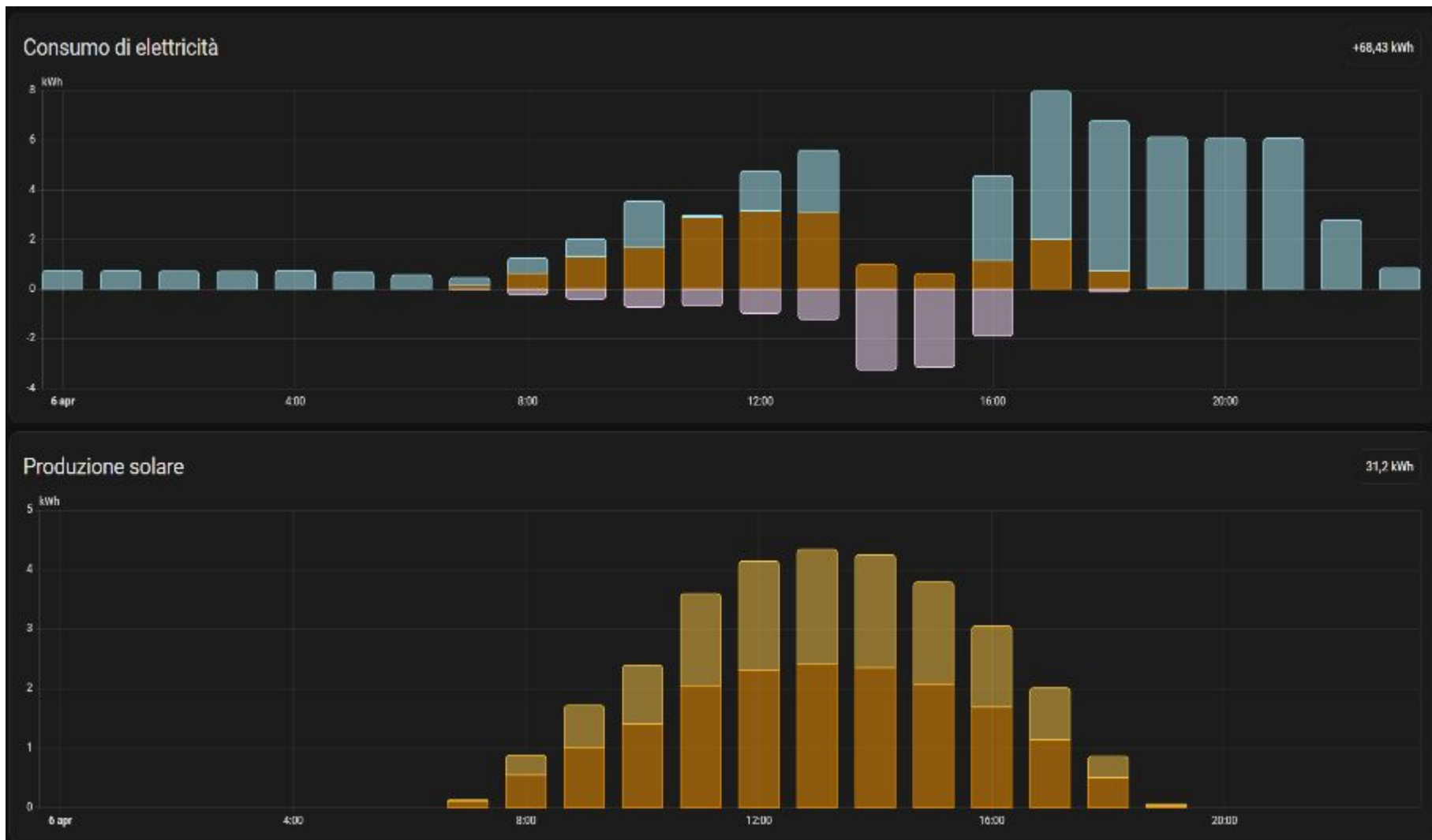
02

Il bilancio energetico: generazione (FV) e utilizzo

L'energia deve essere prodotta e utilizzata contestualmente.

Durante il giorno parte dell'energia FV prodotta non viene utilizzata. Nelle ore solari è invece necessario acquistare energia dalla rete elettrica.

Un impianto fotovoltaico produce in estate circa 3 volte quanto produce in inverno. Inserire molti pannelli FV per coprire il carico invernale porta a un eccesso di produzione in estate.

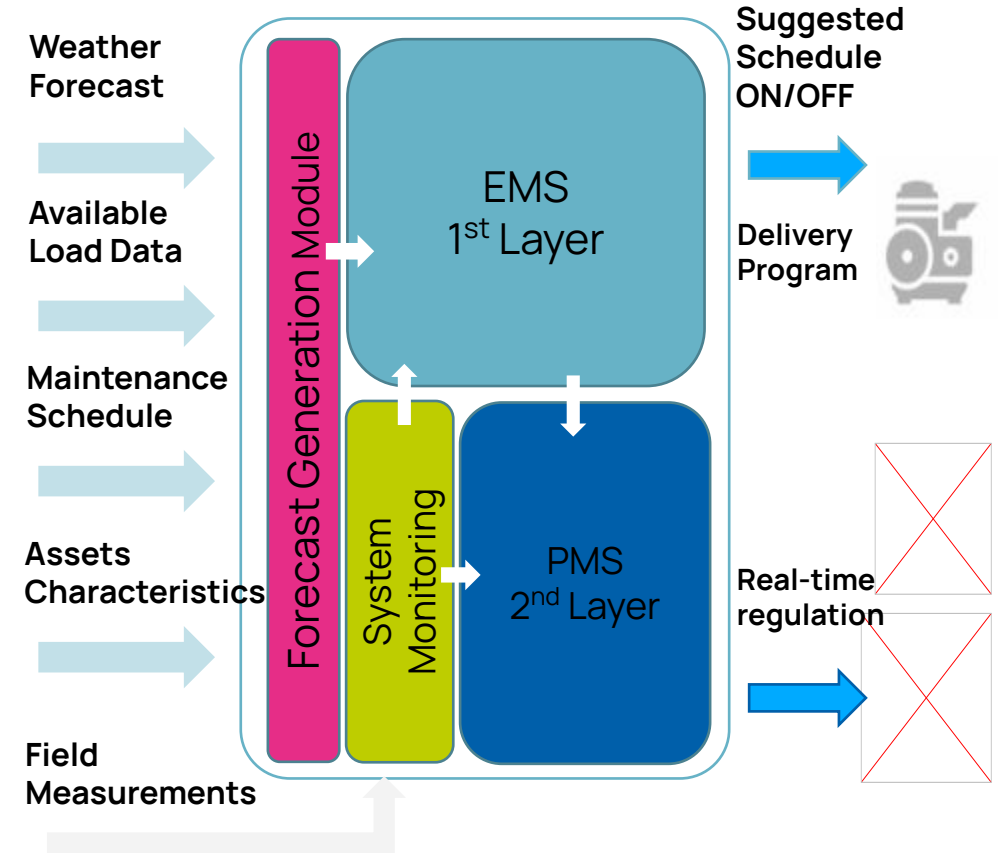


Il concetto di micro-rete e la gestione dell'energia (EMS)

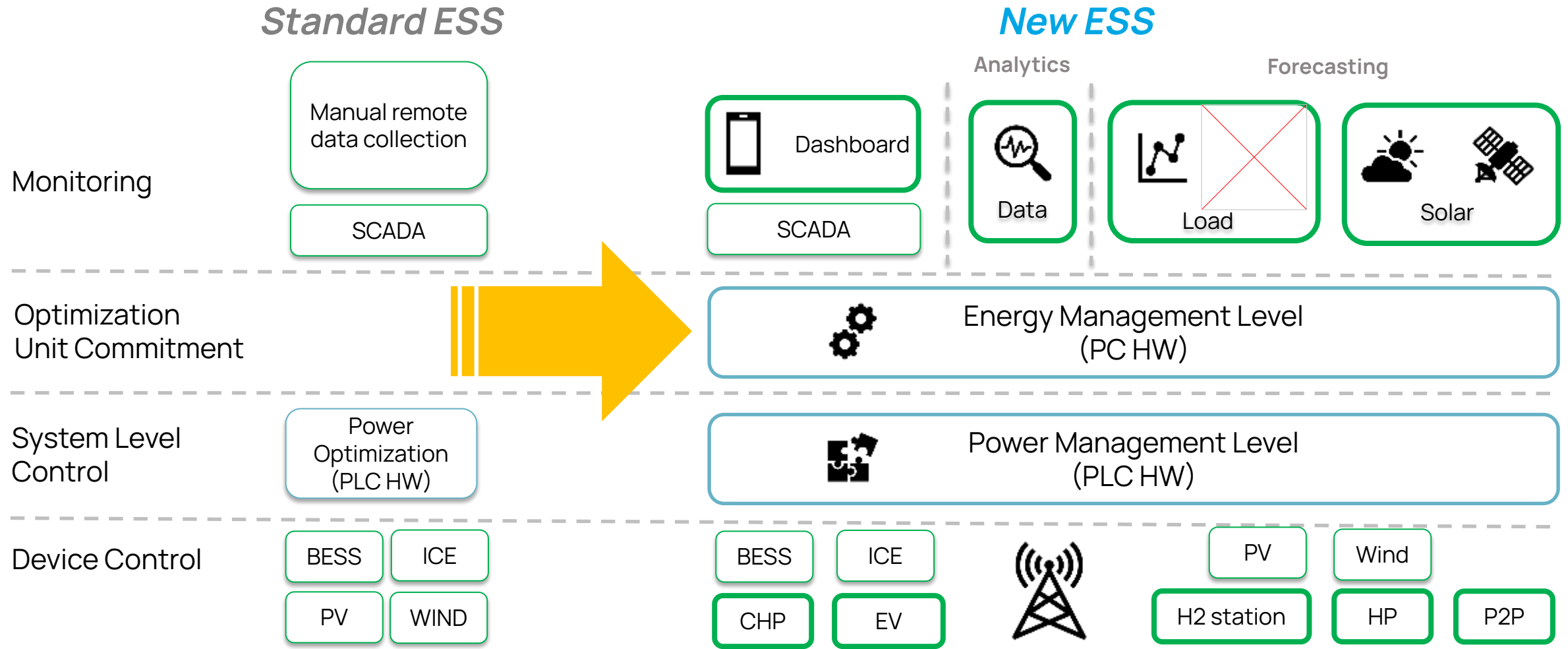
Deve essere sempre garantito il bilancio tra la potenza richiesta e quella generata: Sistemi di Gestione dell'Energia (EMS):

- Previsioni della produzione di energia rinnovabile e del carico
- Misure online (batterie, produzione fotovoltaica, carichi)
- Strumento di ottimizzazione
 - Approccio deterministico
 - Approccio robusto
 - Approccio stocastico
 - Intelligenza artificiale

Research shows that when the forecast error increases by 1%, the annual operation cost of the power system will increase by tens of millions of pounds!



Sistemi di Gestione dell'Energia: previsione e ottimizzazione



Previsione della Potenza generate da Fotovoltaico

Solar resource forecast

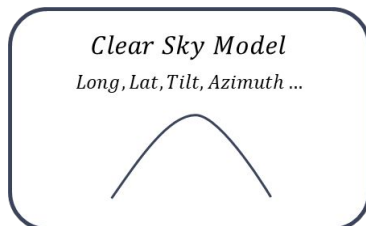
Non-programmable RES variability in time causes new challenges related to energy and power management to be addressed on different time horizons.

Term	Range	Application
Nowcast	Few sec. - 30'	Control & adjustment actions
Short	30' - 1 day	Dispatch planning; electricity market; unit commitment
Long	1 day - 1 week	Reserve requirements; maintenance schedule

State of the art methodologies

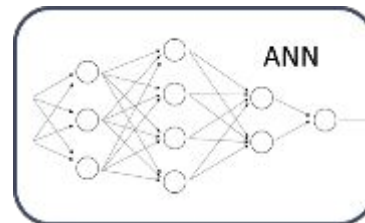
Physical methods

From weather parameters create a physical model of the components through analytical equations



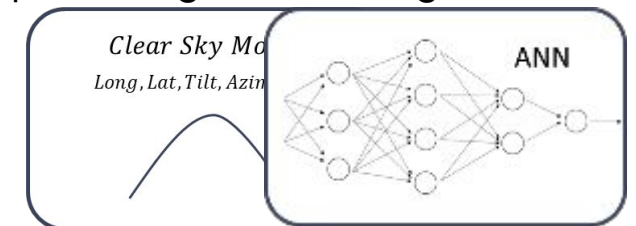
Statistical methods

Infer trends from historical data.
Regression methods
Artificial intelligence (ANN, ensemble methods)



Hybrid methods

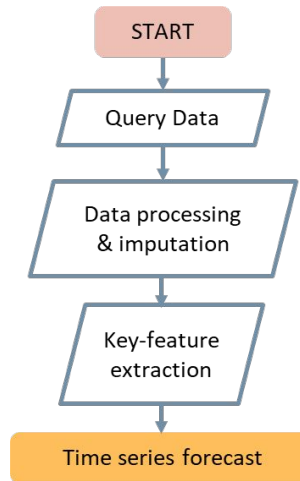
Combination of two or more forecasting techniques to overcome individual model deficiencies emphasizing their strengths.



Previsione della Potenza utilizzata dal carico

Electric load forecast

Name	Time Horizon
Long term	≥ 3 years
Medium term	15 days to 36 months
Short term	1 to 14 days
Nowcasting	1 to 60 minutes



Outliers' removal & Anomaly detection

Importance of abnormal behavior recognition:

- Affect Machine Learning training ability
- Equipment's early fault detection to reduce downtime schedule predictive maintenance

State of the art methodologies

Load forecast

- Statistical methods (ARMA, ARIMA, SARIMA, ARIMAX, SARIMAX)
- Recurrent Neural Networks (RNN)
- Deep learning (LSTM: Long Short Term Memory and GRU: Gated Recurrent Unit)

Outliers' detection

- Hypothesis testing
- Machine learning

Anomaly detection

- ANN
- Deep Recurrent Neural Networks
- Autoencoders

Previsione della Potenza utilizzata dal Veicolo Elettrico

Horizon	Step Ahead	Methods	Metrics Best Value	Dataset
SSTLF	1 min	ANN, RNN, LSTM, GRU, SAEs, Bi-LSTM	MAE: 0.286 (kW) RMSE: 0.442 (kW)	PEV charging station in Shenzhen(N. A.)
SSTLF	5 min	MToM-Based Quantile Forecast Network string	personalized loss function	ACN-data [27]
SSTLF	15/30 min	LSTM	MAE: 12.302 (kWh) RMSE: 5.509 (kWh)	PEV charging station in Shenzhen (N. A.)
SSTLF	15/30	SAMToM	CRPS: 2.09%, reliability: 1.28%, sharpness: 1.79%	ACN-data [27]
STLF	1 h	DNN, RNN, LSTM, GRU	NMAE: 0.77% NMRSE: 2.89%	PEV charging station in Shenzhen (N. A.)
STLF	1 h	Q-Learning	MSE: 0.89 (kW)	Simulated Data
STLF	1 h/ 4 h/ 10 h/ 24 h	S2S with Bahdanau Attention	MAE: 2.705 (kWh), MAPE: 12.155%	Electric Load of a commercial building (N. A.)
STLF	24 h	ERNN, LSTM, GRU, NARX, ESN	NRMSE: 0.38197/ 0.37678/ 0.87451 (kWh)	Orange dataset (telephonic activity load), ACEA dataset (electricity load), GEFCom2012 dataset (electricity load) [30]
STLF	24 h	Wavenet	MAE: 1117.471(MW), MSE: 2.685 (MW), RMSE: 1638.709(MW)	Réseau de Transport d'Électricité (RTE) electric load of the French grid [32]
STLF	24 h	D-FED	NRMSE: 7.10%	UT Chandigarh energy demand [34]
STLF	24 h	S2S with Attention + Multi Layer Preception	MAPE: 1.96% RMSE: 0.94 (GW)	Tokyo Electric Power Company (TEPCO) data [36]
STLF	24 h	Reinforcement Learning	MAPE: 1.368 (kW), MAE: 196.314 (kW), RMSE: 0.988 (kW)	ISO-NE dataset, GEFCom2017 dataset [38]
MTLF	1 month	S2S	MAE: 9.2 (kWh), RMSE: 12.87 (kWh)	PlugShare [40]
MTLF	1 month	TDResNet-SD-ISE	MAPE: 1.485%, RMSE: 409.321 (kW)	Independent System Operator-New England (ISO-NE) American Utility dataset [42]

SSLTF = Super-Short-Term-Load-Forecasting
 STLF = Short-Term Load Forecast
 MTLF = Medium-Term Load Forecast
 LTLF = Long-Term Load Forecast

- **Naive:** persistence based method (robust, smart, ect.)
- **Decomposition:** Empirical Mode Decomposition, Encoder-Decoder architecture
- **Pattern learning:** Attention mechanisms (a fundamental improvement in the transformers, such as in GPT-4)
- **Time series processing and regression:** Long Short-Term Memory (a type of Recurrent Neural Network)
- **Robust statistical estimation:** Bayesian methods such as the Kalman filter, Monte Carlo coupled with cluster analysis

S. Matrone, et Al. «Electric vehicle supply equipment day-ahead power forecast based on Deep Learning and the Attention mechanism», IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2024

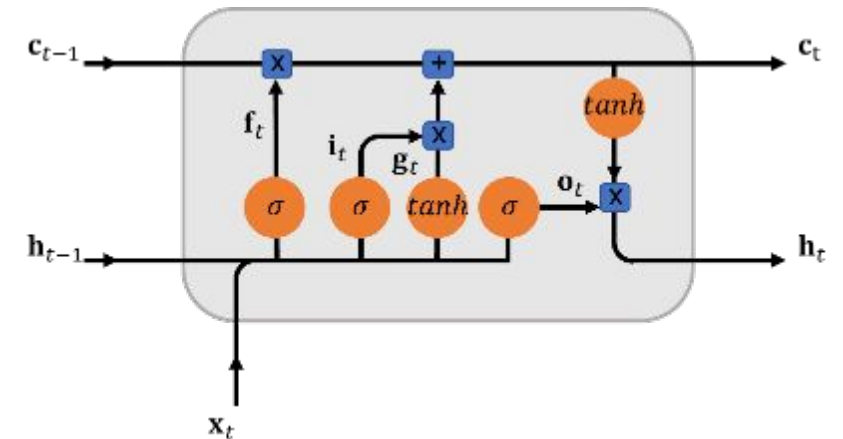
Previsione della Potenza utilizzata dal Veicolo Elettrico

- Inizialmente gli studi sulla previsione del carico dei veicoli elettrici, i modelli a **serie temporali** erano la scelta più adatta a causa della mancanza di dati reali sulla ricarica dei veicoli elettrici → bassa accuratezza
- Con la disponibilità di dati reali sul carico dei veicoli elettrici, la previsione del carico EV si è spostata verso metodi **data driven**
- Oggi, la previsione del carico EV si concentra su diversi tipi di reti Artificial Neural Network (ANN) e modelli di machine learning (ML) → **LSTM sembra essere superiore agli altri metodi**.
- La maggior parte dei lavori si concentra sulla previsione e sulla ricostruzione **del profilo di potenza aggregata**. Questo potrebbe essere insufficiente pensando al nuovo concetto di carico bidirezionale controllabile e alla programmazione attiva dell'energia richiesta dai veicoli elettrici: **stima della singola sessione**

Persistence Forecast with a 7 day Lag Value

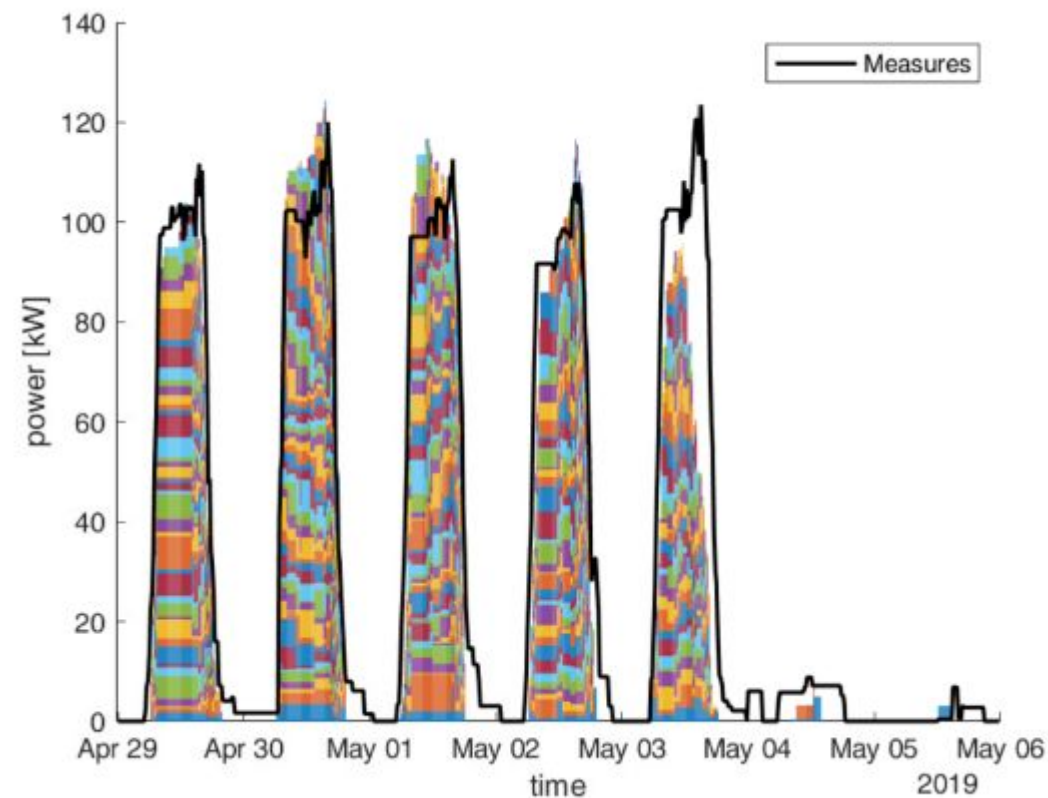
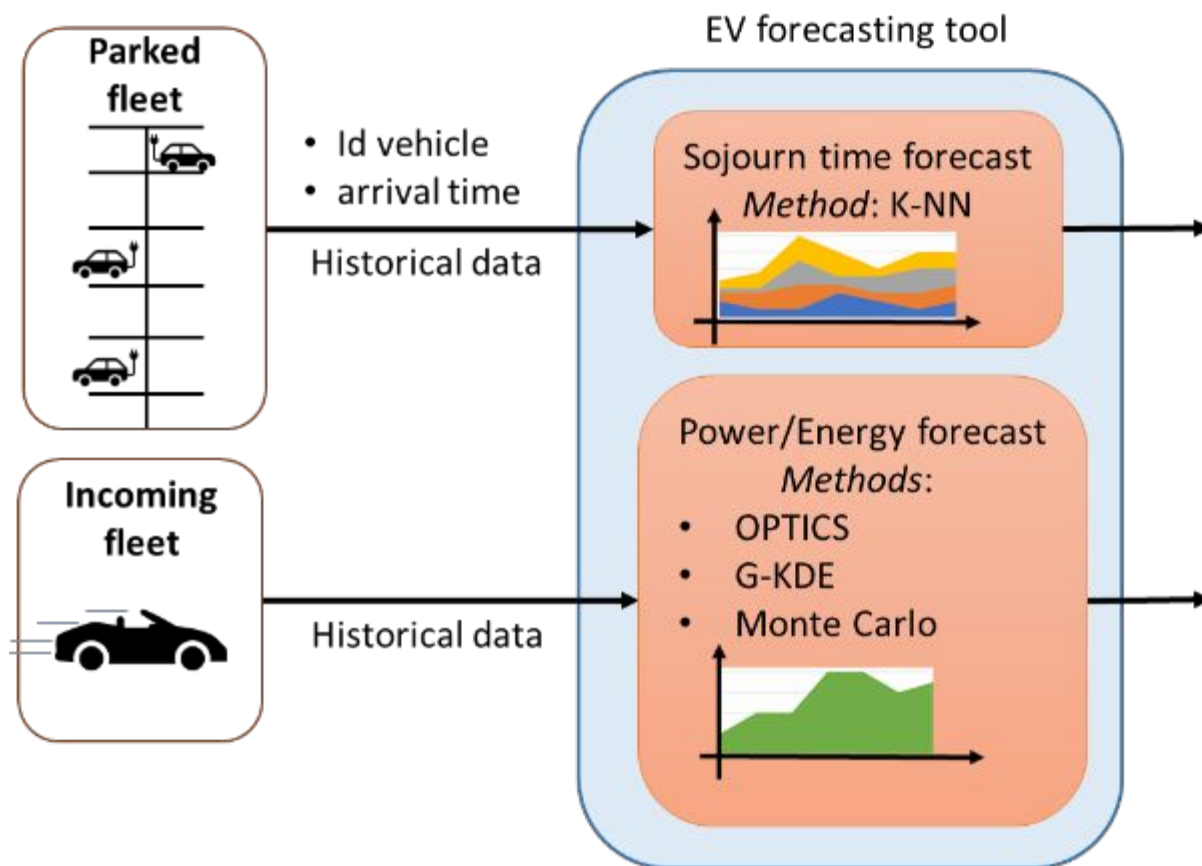


LSTM cell/block



Previsione della Potenza utilizzata dal Veicolo Elettrico

Informazioni importanti: il profilo di ricarica in termini di potenza, il numero di sessioni e quando sono richieste.

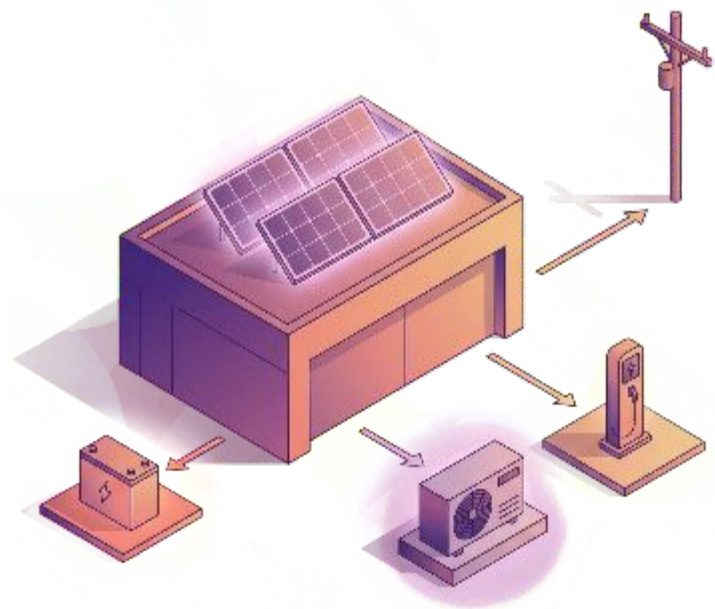


AI e gestione intelligente dell'energia

03



AI per la gestione dell'energia in ambito residenziale



- Fotovoltaico, accumulo, pompe di calore, ricarica EV
- Energia prodotta non sfruttata del tutto
- Dispositivi isolati, nessun coordinamento

- Previsione, gestione e ottimizzazione
- Gestione coordinata, automatica, continua
- Minimizzazione Costi

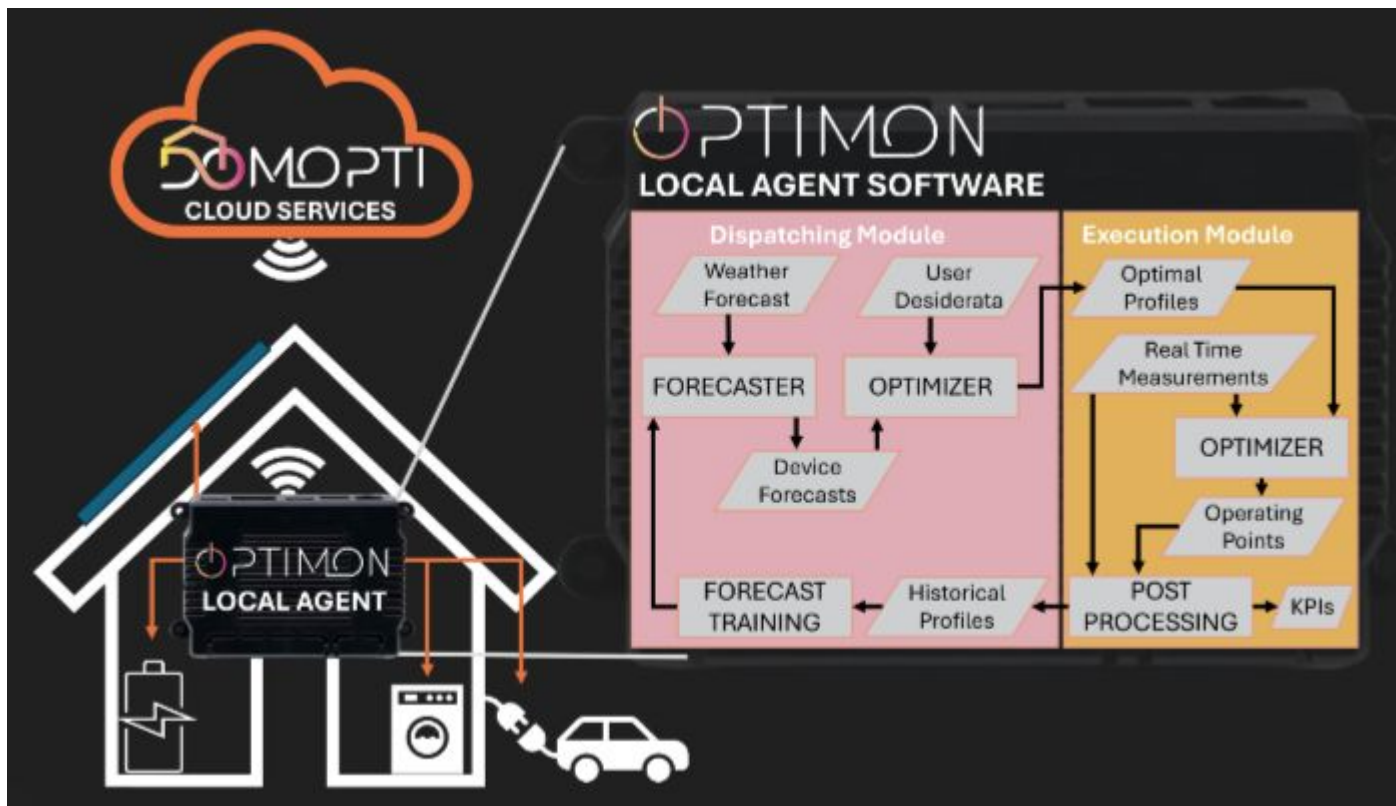
Il risparmio si basa su: kWh, PUN, fasce F1, F2, F3, previsioni meteo, prezzi, curve di carico.

I sistemi di ottimizzazione lo fanno in tempo reale, senza chiedere all'utente di diventare un esperto.



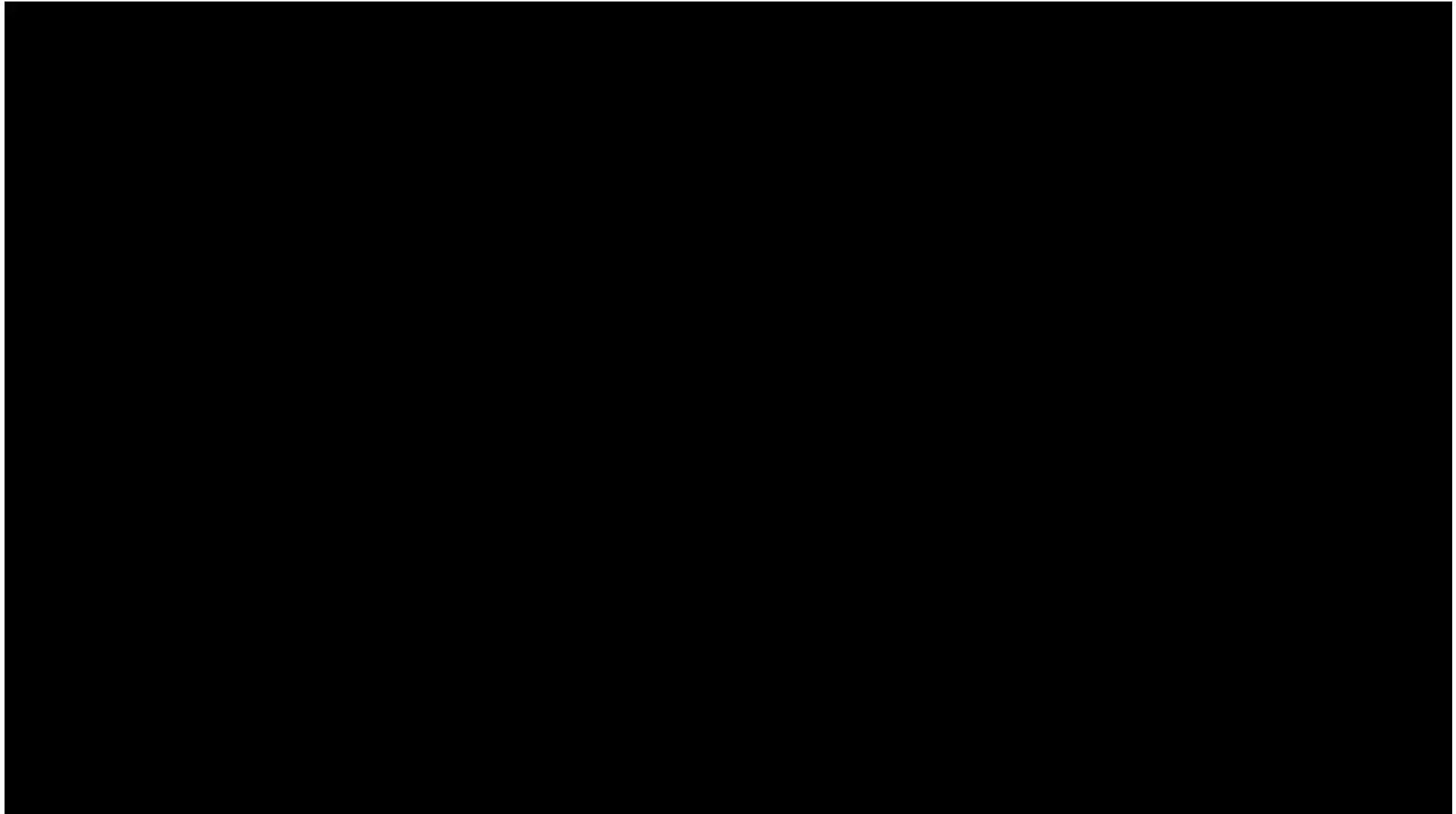
AI per la gestione dell'energia in ambito residenziale

- Sistema integrato di monitoraggio, ottimizzazione e automazione nella gestione dell'energia
- Grazie ad AI ed avanzati algoritmi di ottimizzazione energetica è in grado di massimizzare l'efficienza dell'abitazione, minimizzando i costi per l'utente finale.



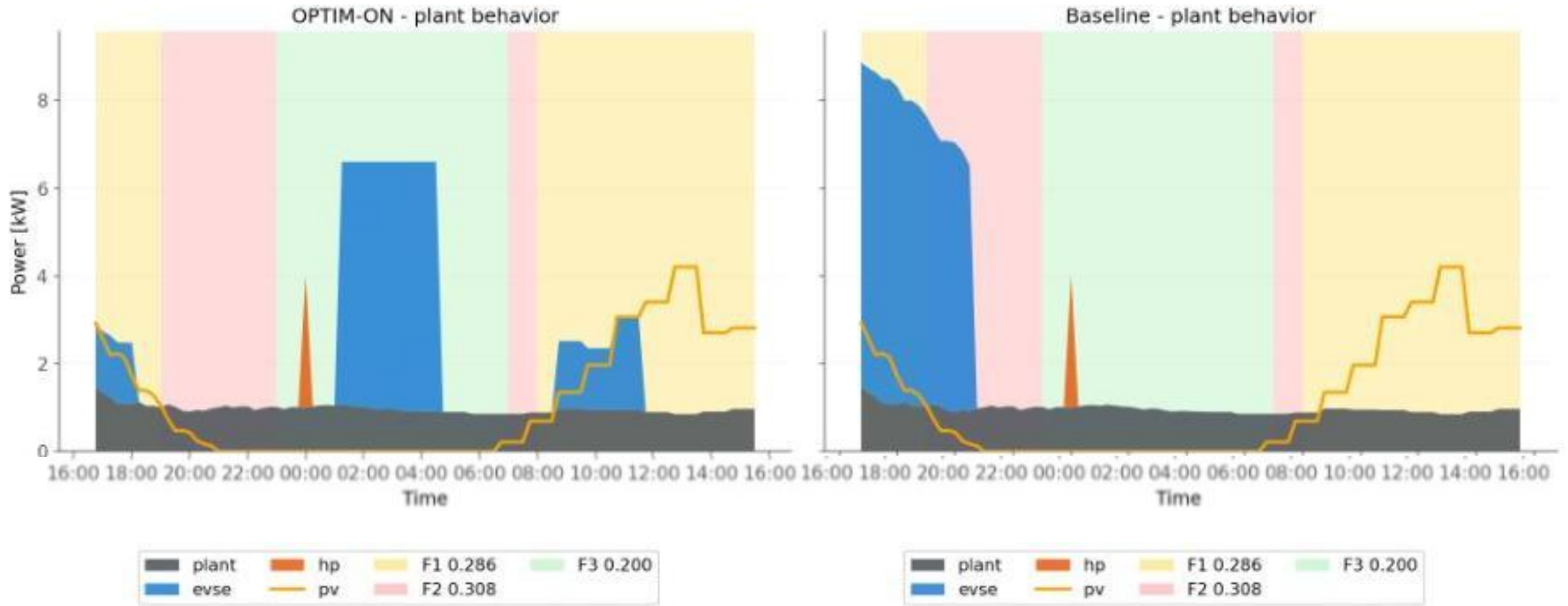


AI per la gestione dell'energia: esempio di una casa



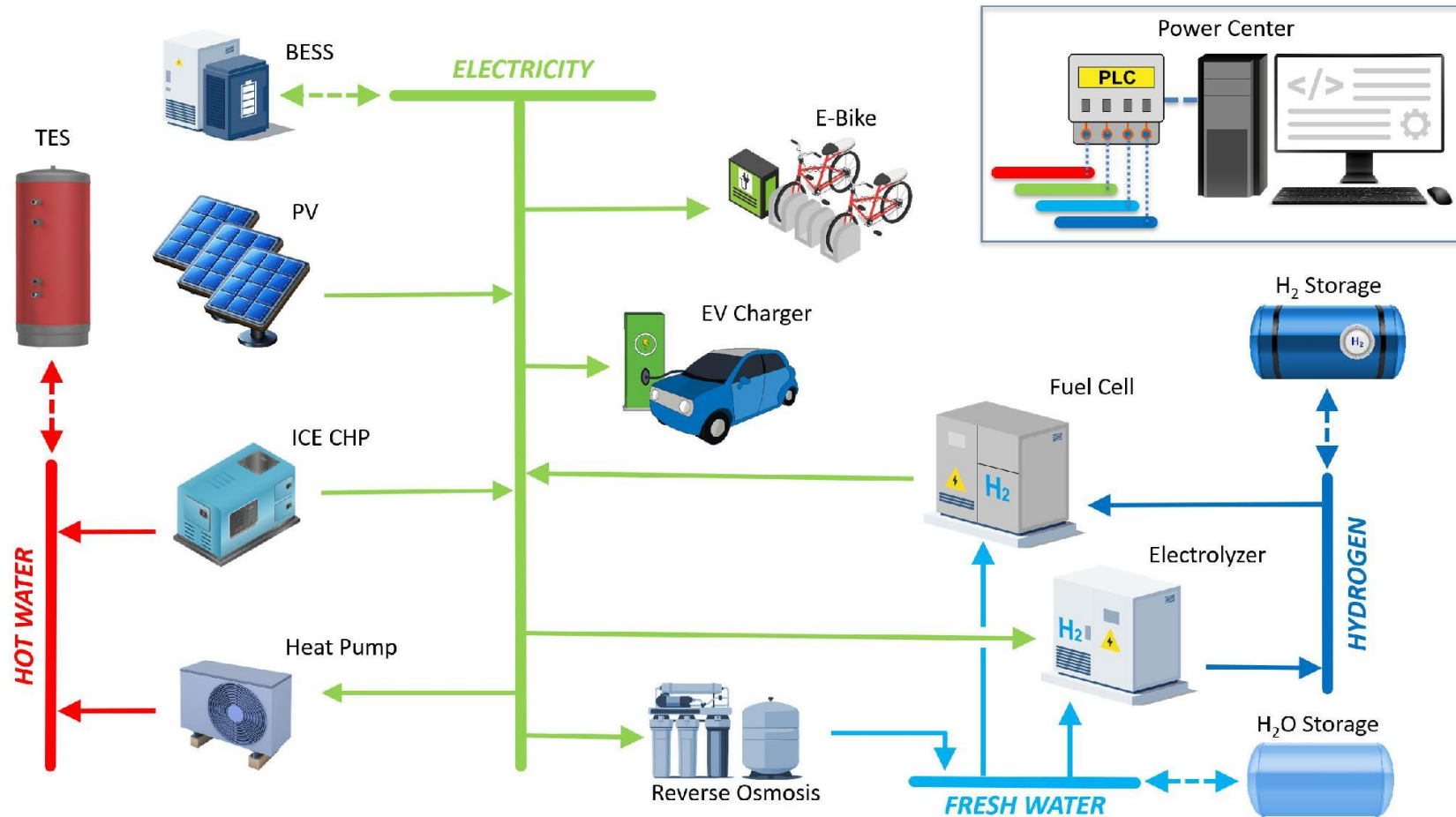


AI per la gestione dell'energia: esempio di una casa



- Auto disponibile per ricarica dalle 17:00 alle 12:00
- Risparmio del 28%.

AI per la gestione dell'energia: campus universitario (MG2lab)

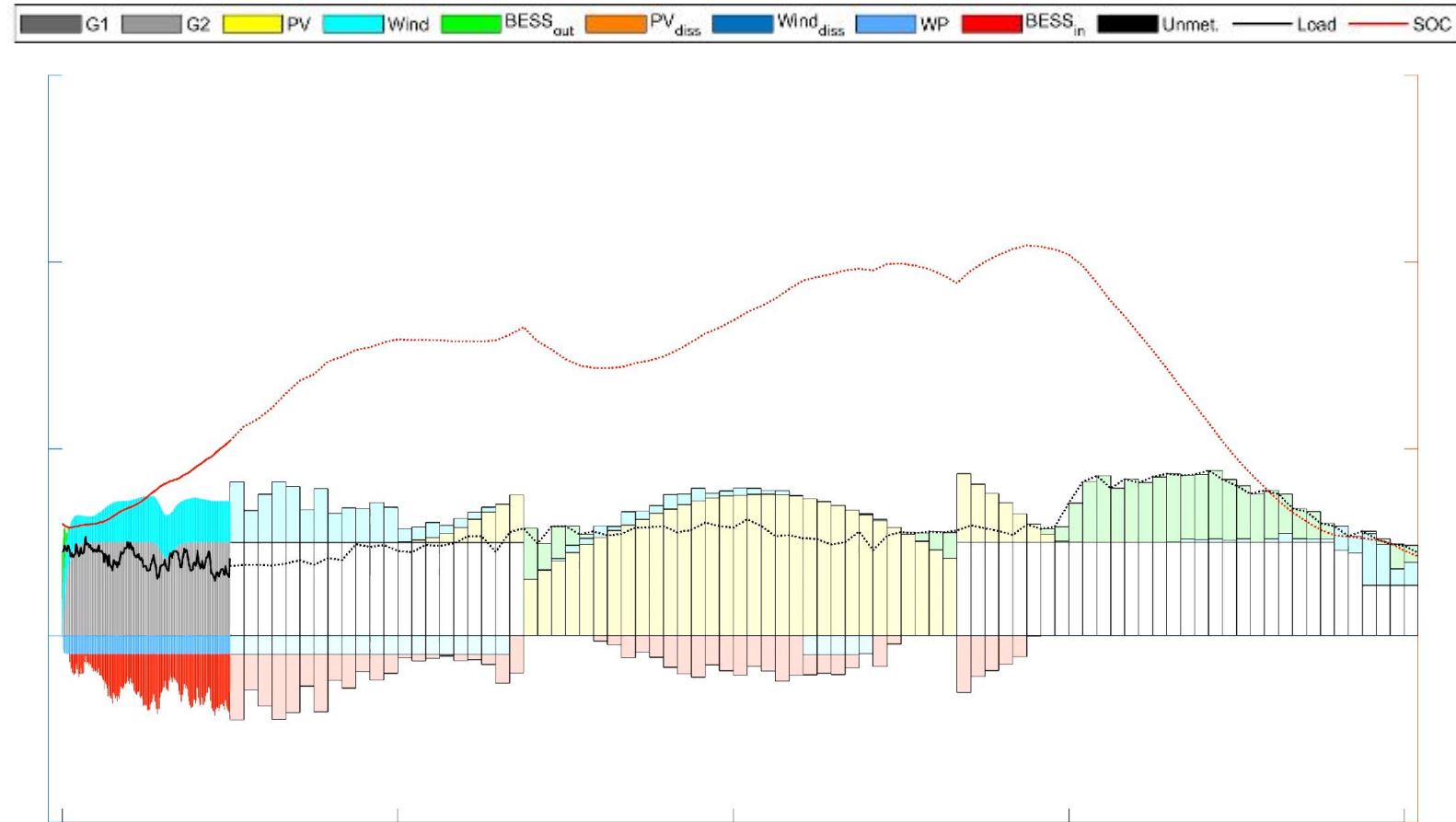


AI per la gestione dell'energia: un esempio in Africa

Per garantire l'equilibrio istantaneo e i minori consumi di combustibile il Sistema di gestione agisce:

- Previsione del giorno dopo.
- Aggiornamento delle tre ore successive
- Controllo in tempo reale

Le applicazioni off-grid consentono l'utilizzo di un approccio a orizzonte mobile.



Conclusioni

04

Conclusioni

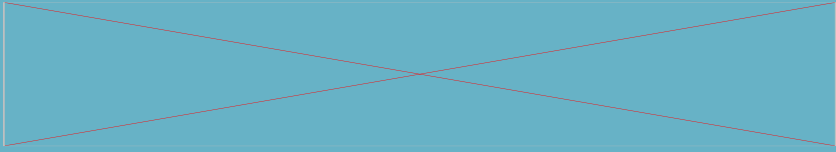
Pensare in modo **collaborativo** a più fonti di produzione dell'energia e di utilizzo (gestione attiva dei carichi)

Vedere l'automobile elettrica come un'opportunità con il V2G.

L'AI consente una gestione ottimizzata e efficiente dell'energia **riducendo i costi** e l'**impatto** di RES e EV **sull'infrastruttura di rete**.

Maggiore consapevolezza dell'utenze che può diventare un collaboratore attivo.

La transizione energetica e la trasformazione digitale offrono grandi opportunità per l'ingegneria e rappresentano tematiche multidisciplinari che richiedono sinergie tra diversi approcci e metodologie.



Contatti

Sonia.leva@polimi.it

www.energia.polimi.it