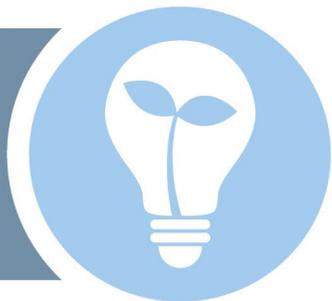


ENERGY TRACKS



ACCUMULO DI ENERGIA: attività di ricerca.

Ing. F. Bovera

*Ricercatore
Dip. di Energia
PoliMi*

Ing. G. Rancilio

*Ricercatore
Dip. di Energia
PoliMi*

Ing. M. Zatti

*Resp. Area
Smart Energy Systems
LEAP*



**POLITECNICO
MILANO 1863**

DIPARTIMENTO DI ENERGIA



LEAP

FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO

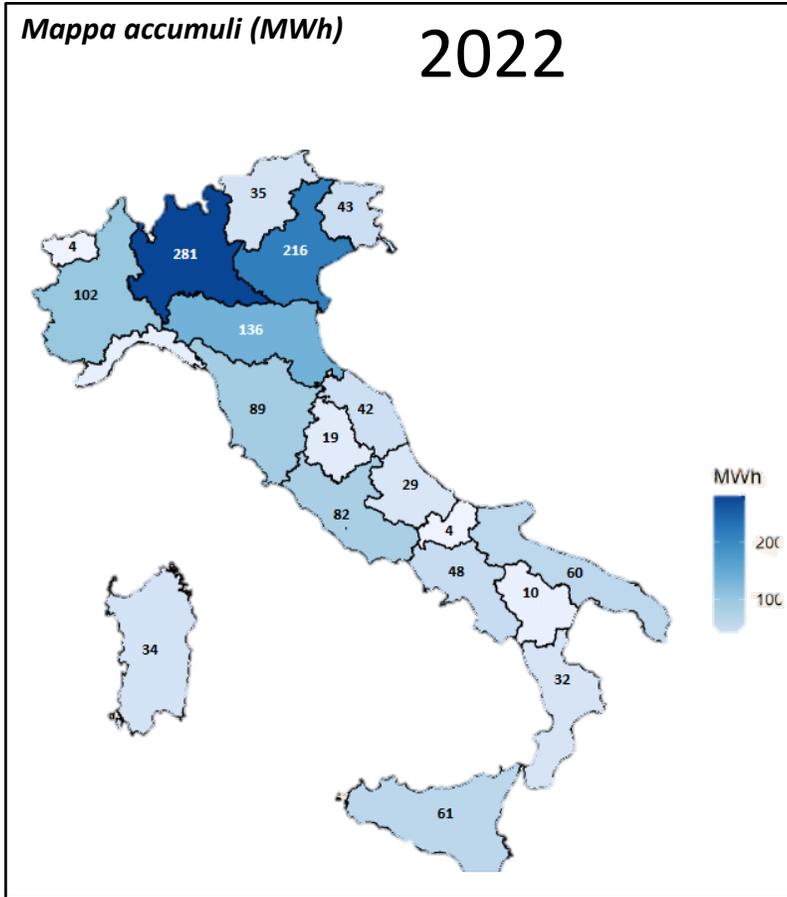
Accumulo energetico: contesto attuale e prospettive future.

0,7 GW
1,4 GWh

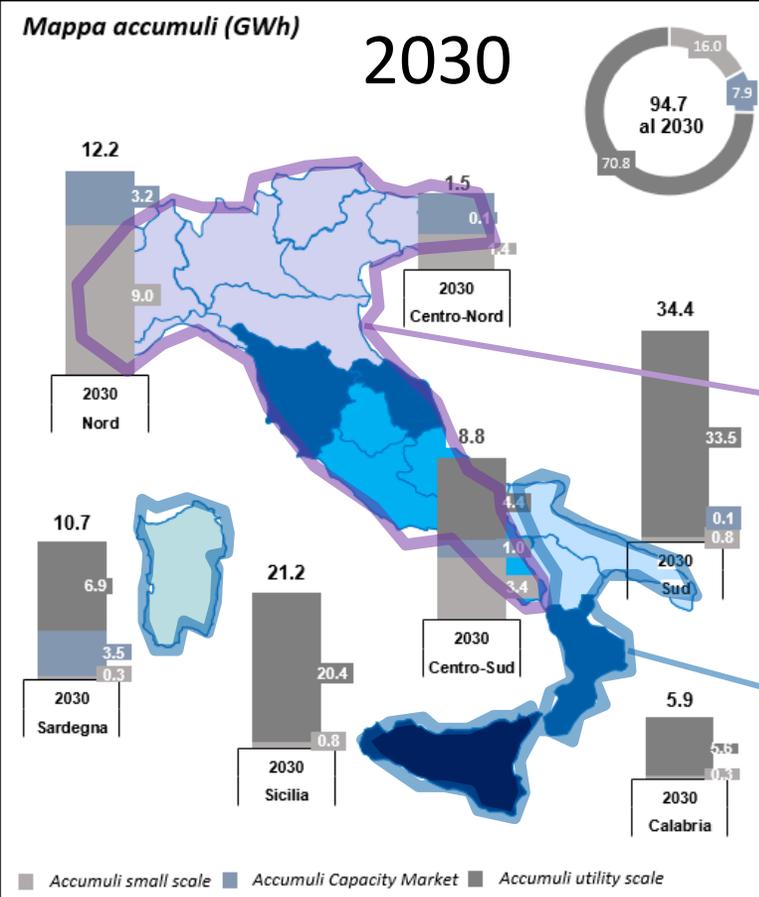
85%
small-scale

13%
mid-scale

2%
utility-scale



Fonte: **Italia Solare (giu 2022)** da dati Gaudì. Si considerano accumuli elettrochimici.



15 GW
95 GWh

70%
small-scale

90%
utility-scale

Fonte: **Terna, Snam (2022)**. Si considerano nuovi pompaggi e accumuli elettrochimici.

Scenario FF55.



ACCUMULO ELETTOCHIMICO

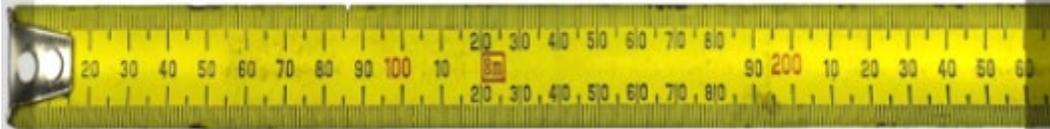


ACCUMULO ELETTROCHIMICO



LA SUITE DI STRUMENTI PER L'ACCUMULO ELETTOCHIMICO

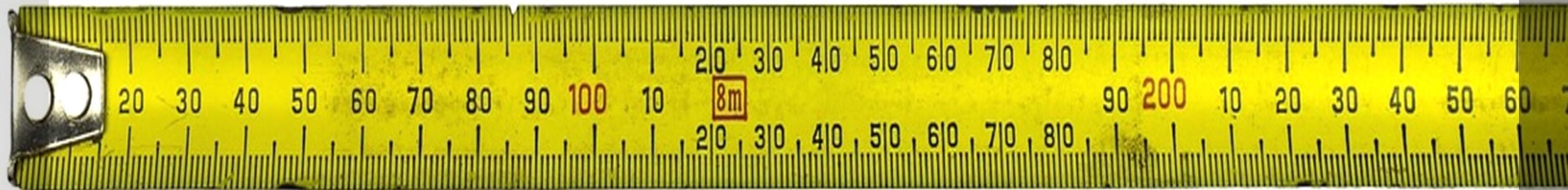
CARATTERIZZAZIONE



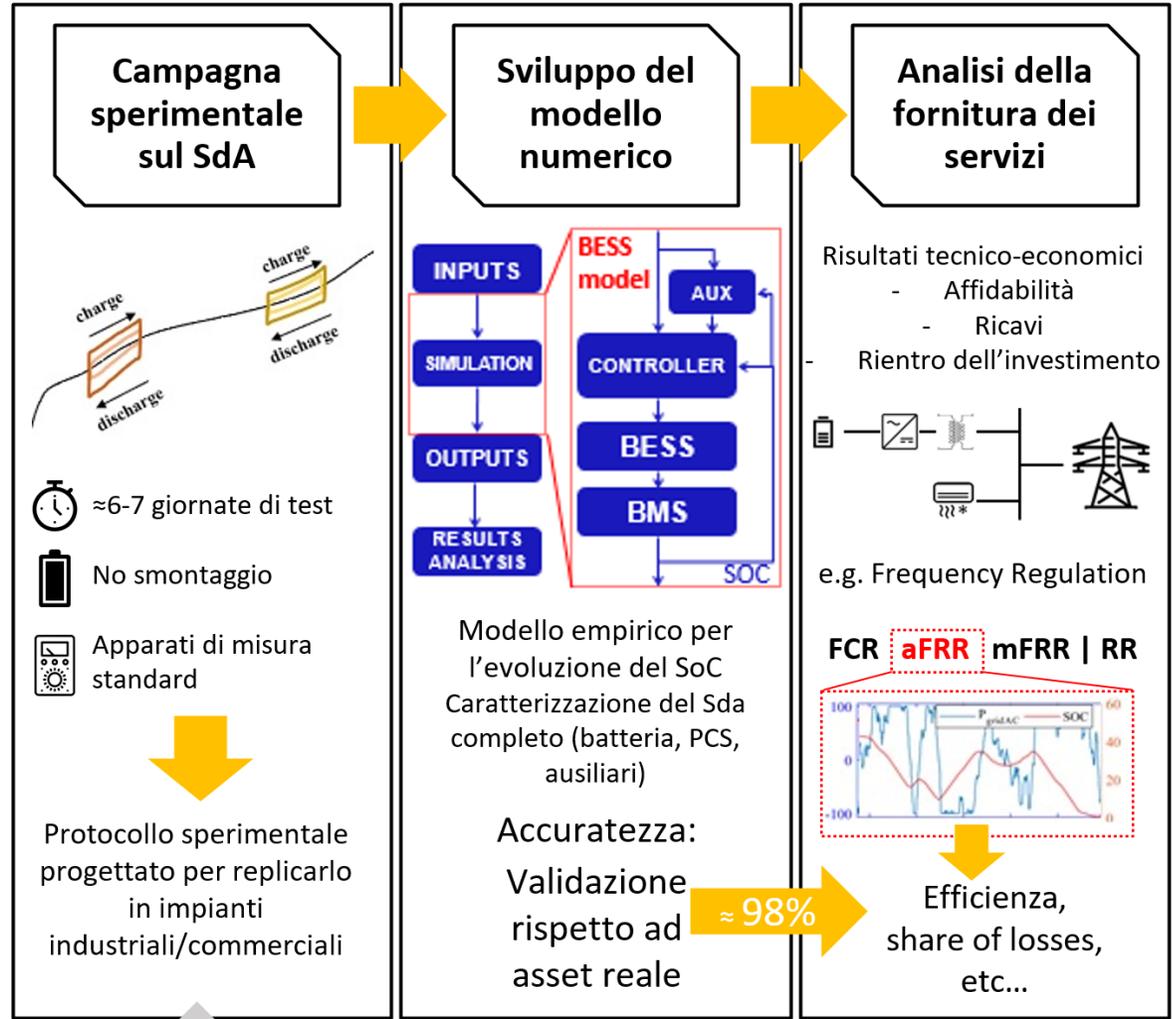
**PIANIFICAZIONE E
GESTIONE**



CARATTERIZZAZIONE



Procedure di caratterizzazione tecnologica



Ripetizione periodica: stima del SOH

PROTOCOLLI DI TEST

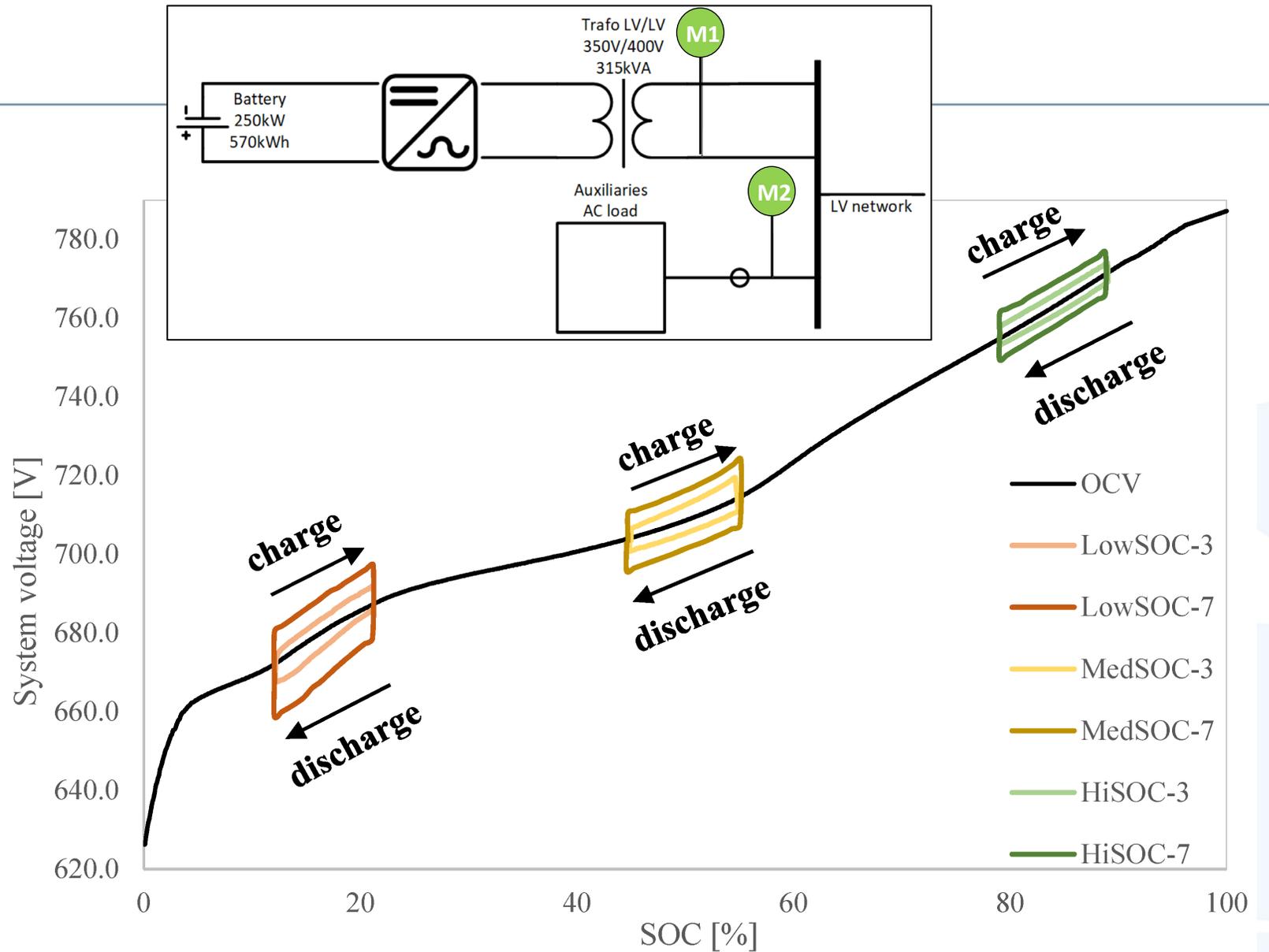
Protocolli di test

PROBLEMA

- x richiedono tempo
- x sono invasivi
- x si limitano alla sezione elettrochimica

SOLUZIONE

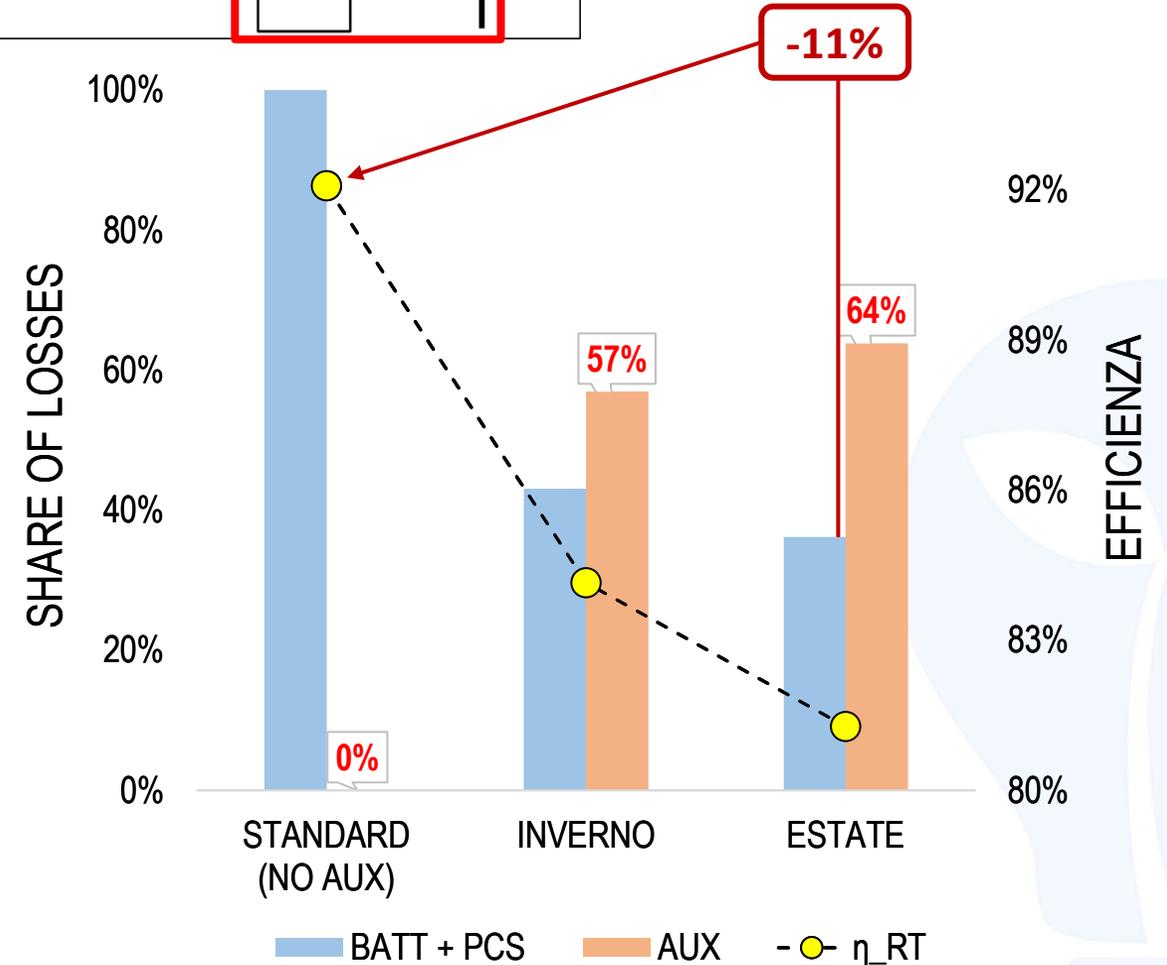
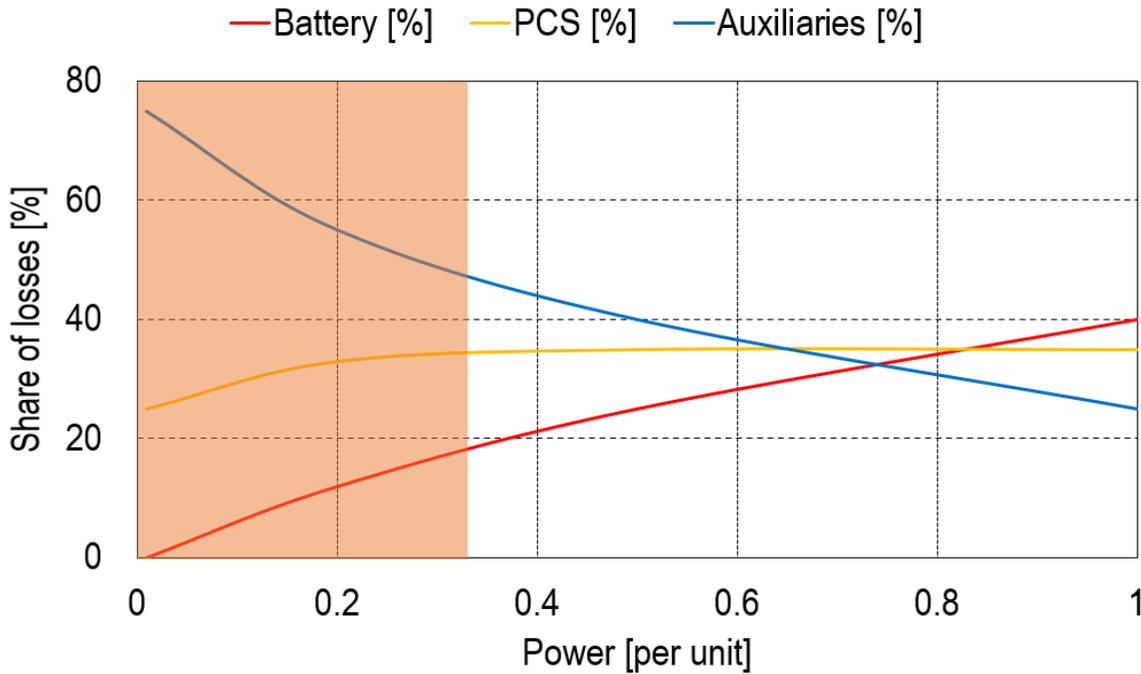
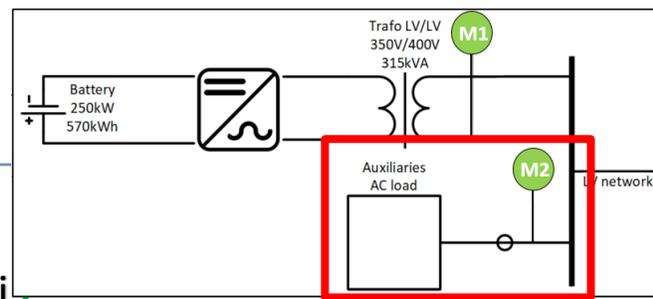
- ✓ Protocollo non invasivo (misure AC)
- ✓ Eseguibile *on the go* (BESS già commissionato)
- ✓ Durata limitata (6 giorni)
- ✓ Prestazioni di tutto il sistema (PCS + celle)



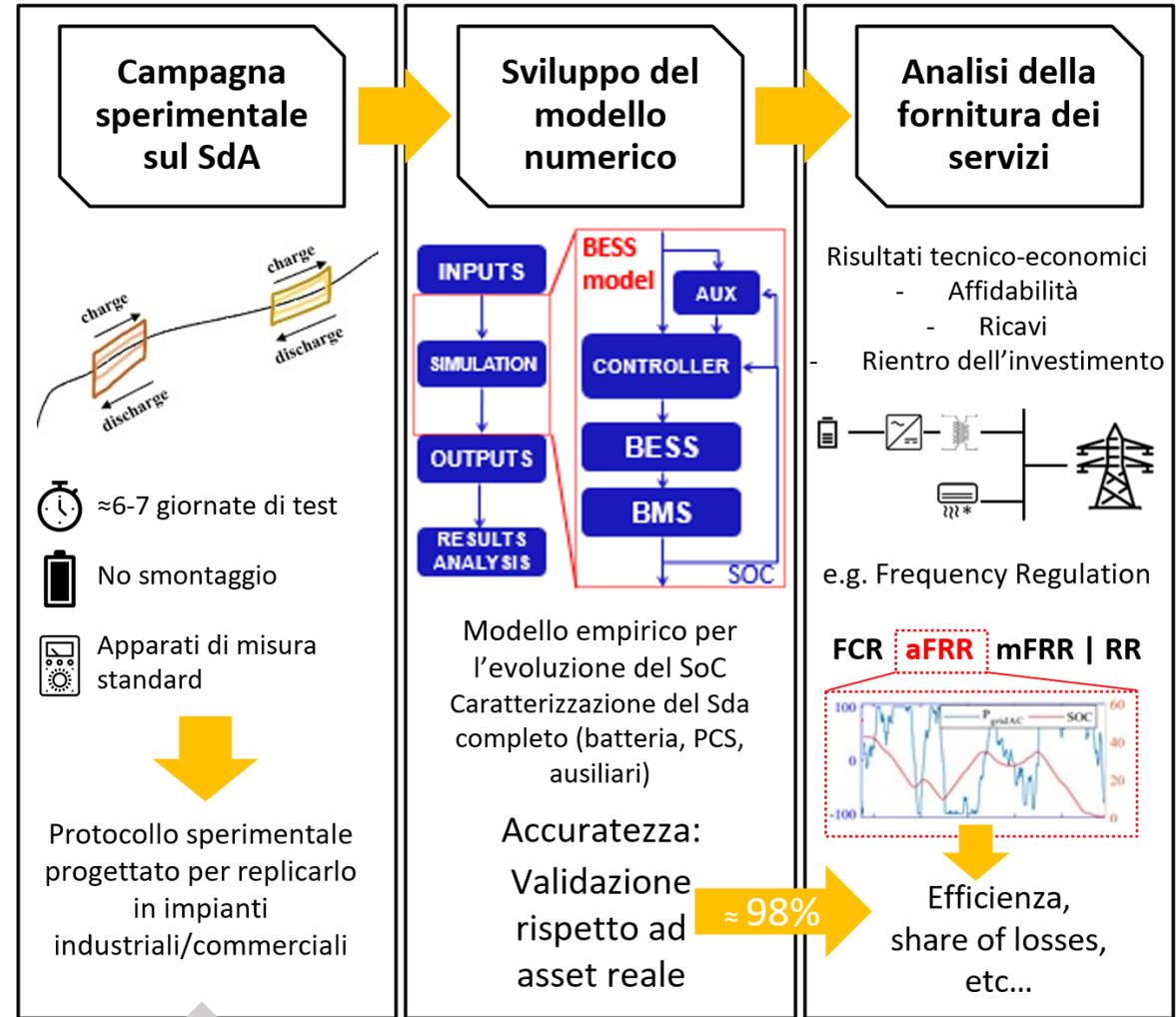
Protocolli di test

SOLUZIONE

- ✓ Misurazione dei carichi ausiliari → perdite non trascurabili
- ✓ Carico sempre presente → $f(T_{amb}, P_{sda})$
- ✓ Peso rilevante soprattutto a potenza bassa o nulla.



Procedure di caratterizzazione tecnologica



Ripetizione periodica: stima del SOH



MODELLI NUMERICI



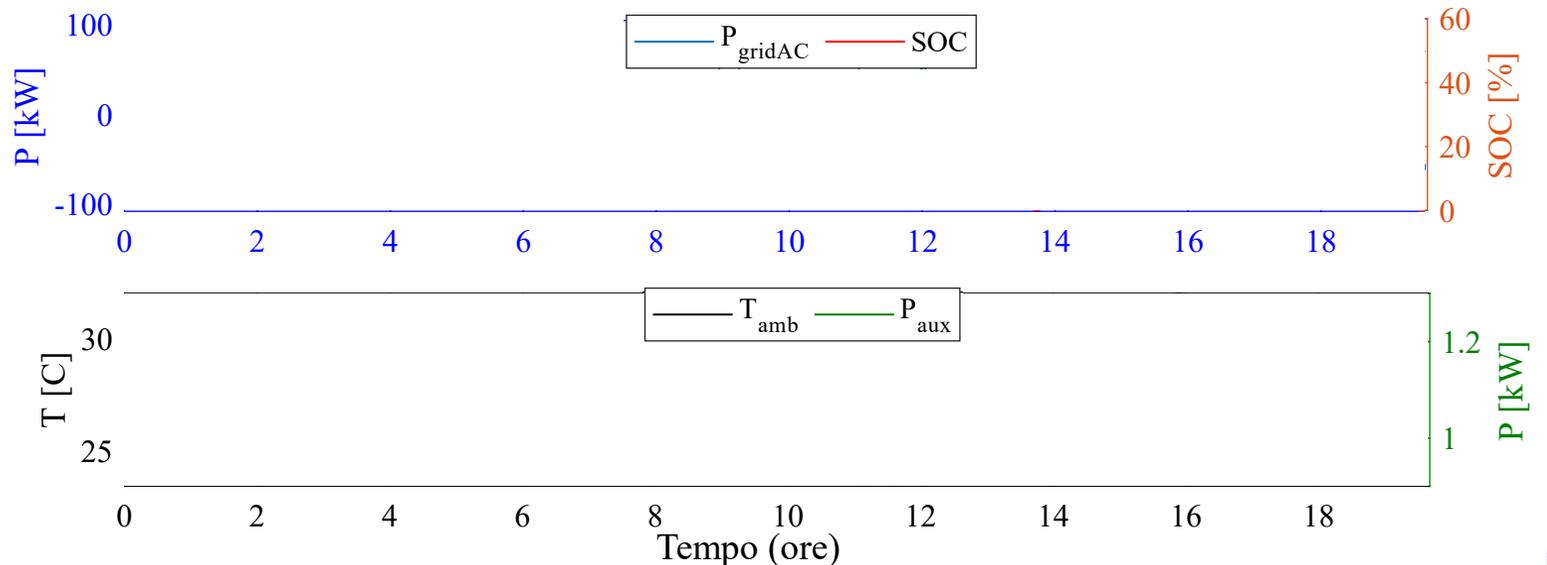
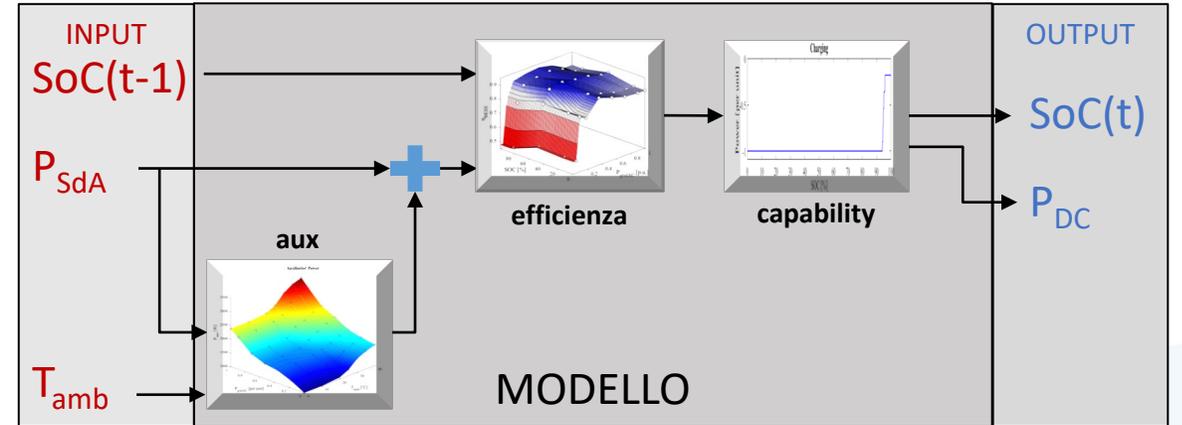
Dai test sul campo ai modelli matematici per l'ottimizzazione

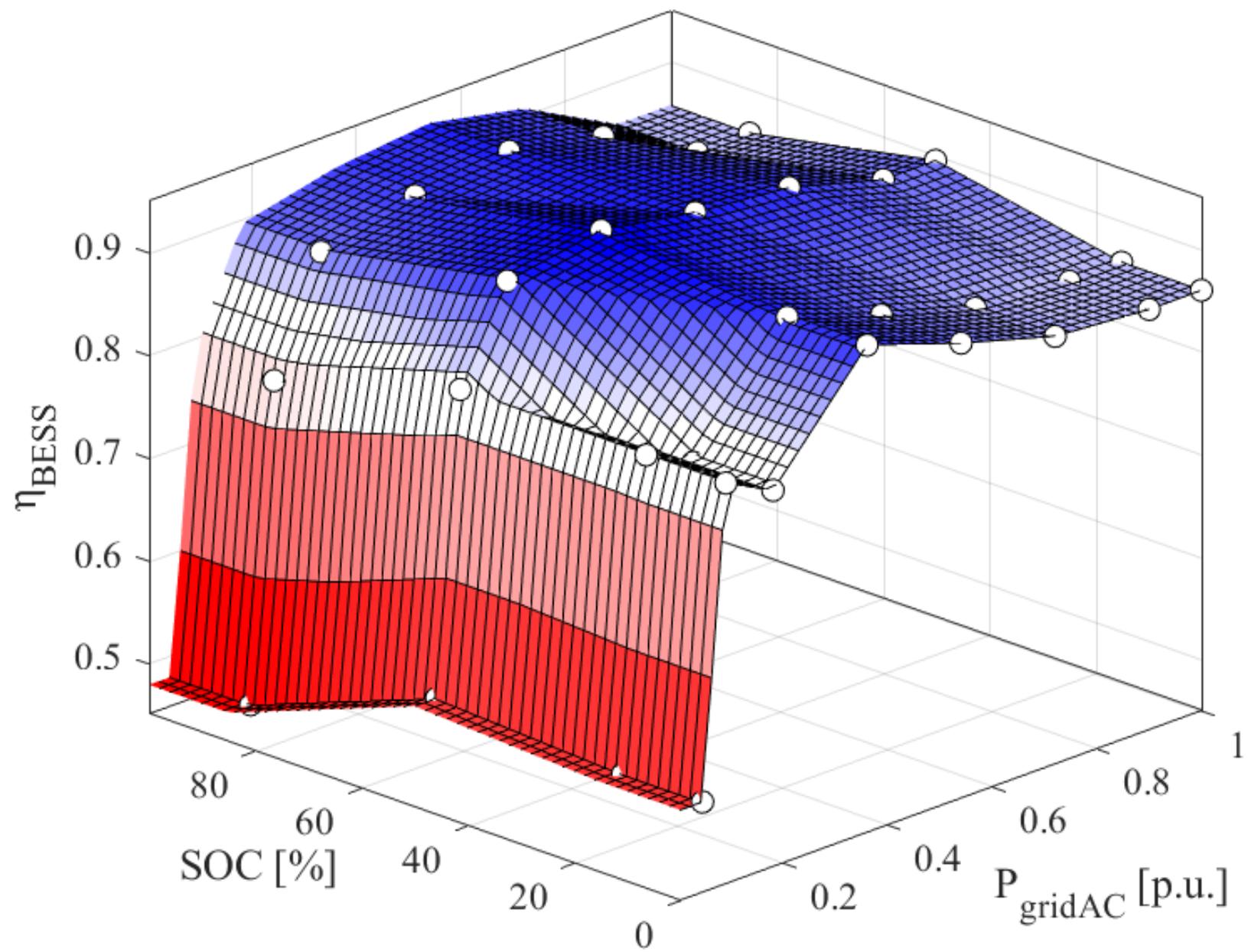
STANDARD

- x Efficienza elettrochimica funzione del c-rate

POLIMI

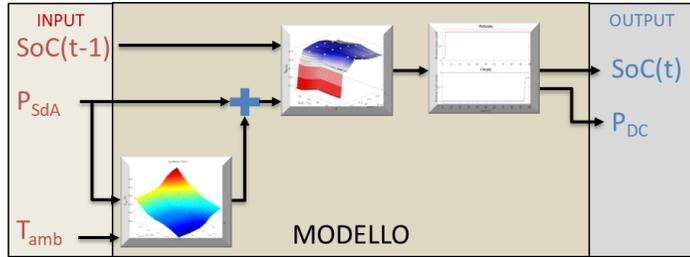
- ✓ Mappatura completa delle prestazioni in funzione di varie condizioni di esercizio e ambientali
- ✓ Modello veloce e flessibile: possibile inserimento in tool per varie indagini
- ✓ Accuratezza stimata con campagna di validazione > 96%



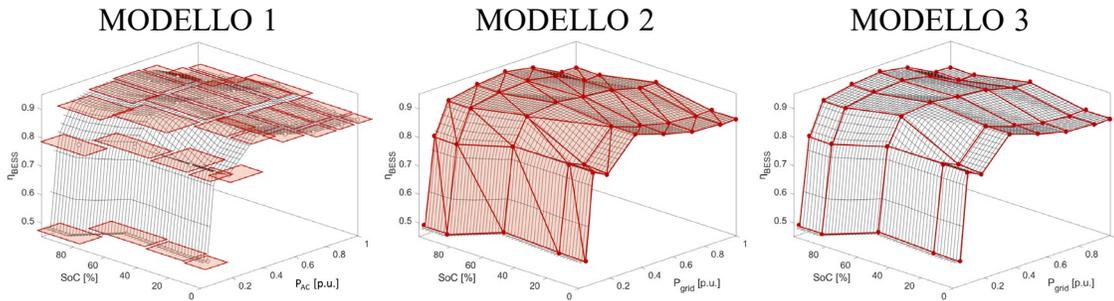


Dai test sul campo ai modelli matematici per l'ottimizzazione

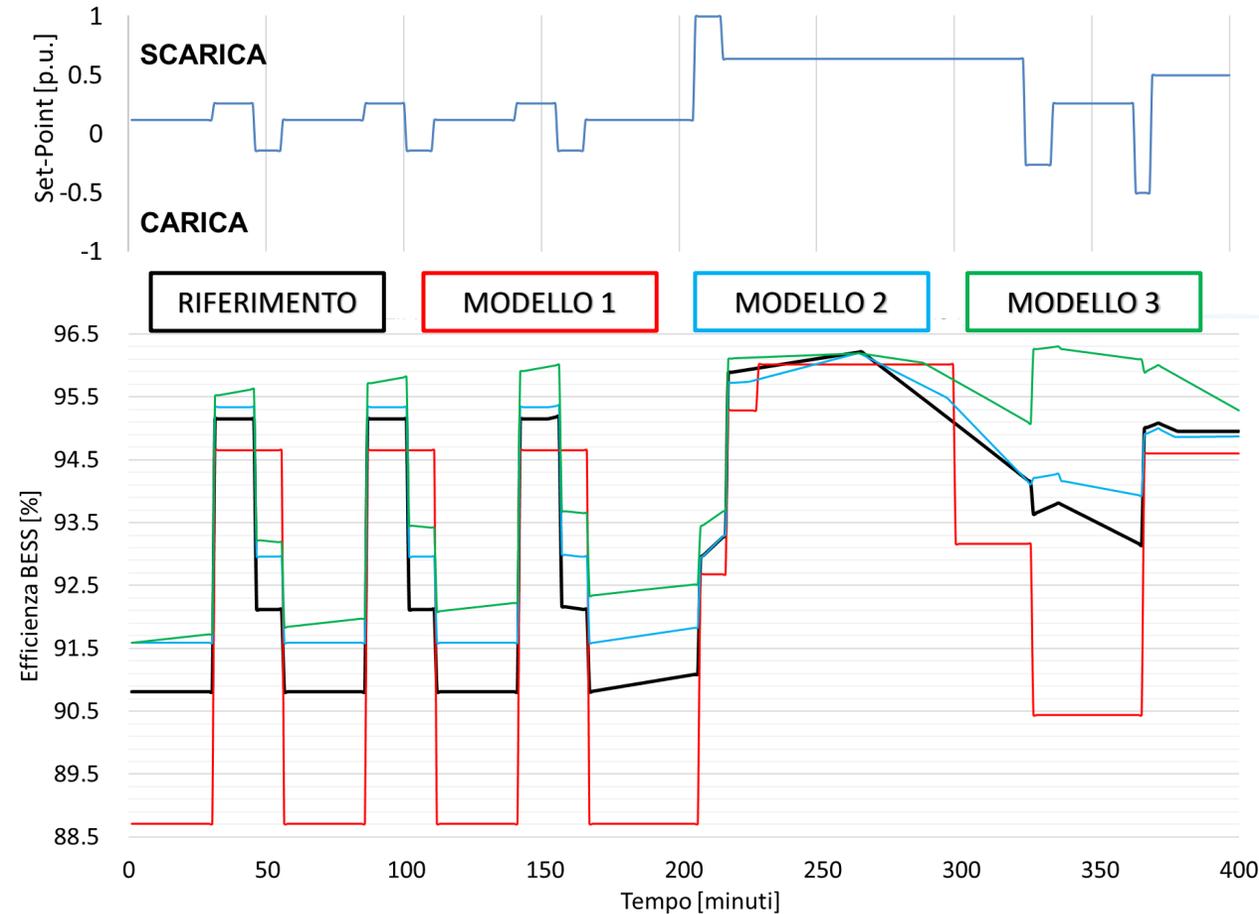
MODELLO EMPIRICO



MODELLI MATEMATICI



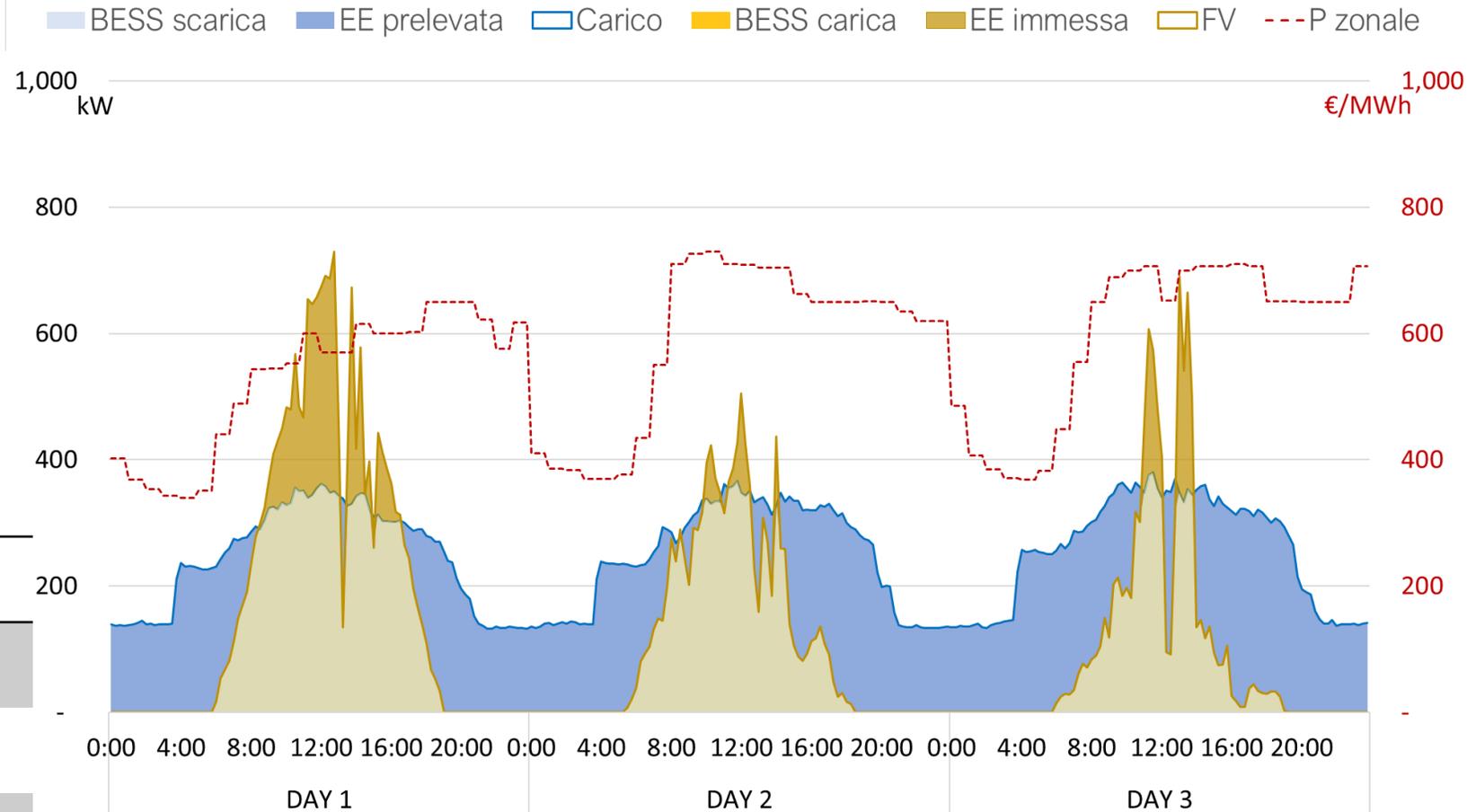
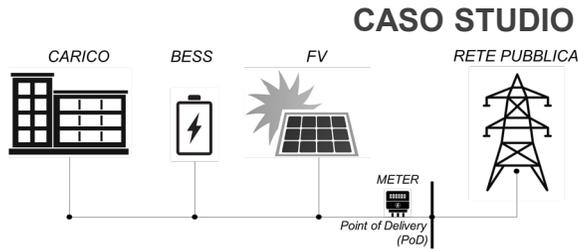
CICLO DI TEST (IEC 62660)



Minimizzazione dell'errore di stima e dei tempi di calcolo richiesti.

	MAE _{SoC} [%]	MAE _{efficienza} [%]	Sforzo Computazionale [s]
MODELLO 1	1.02	2.39	302
MODELLO 2	0.79	2.08	672
MODELLO 3	0.91	2.16	10

Dai test sul campo ai modelli matematici per l'ottimizzazione



PROBLEMA

MODELLO MATEMATICO
efficienza variabile

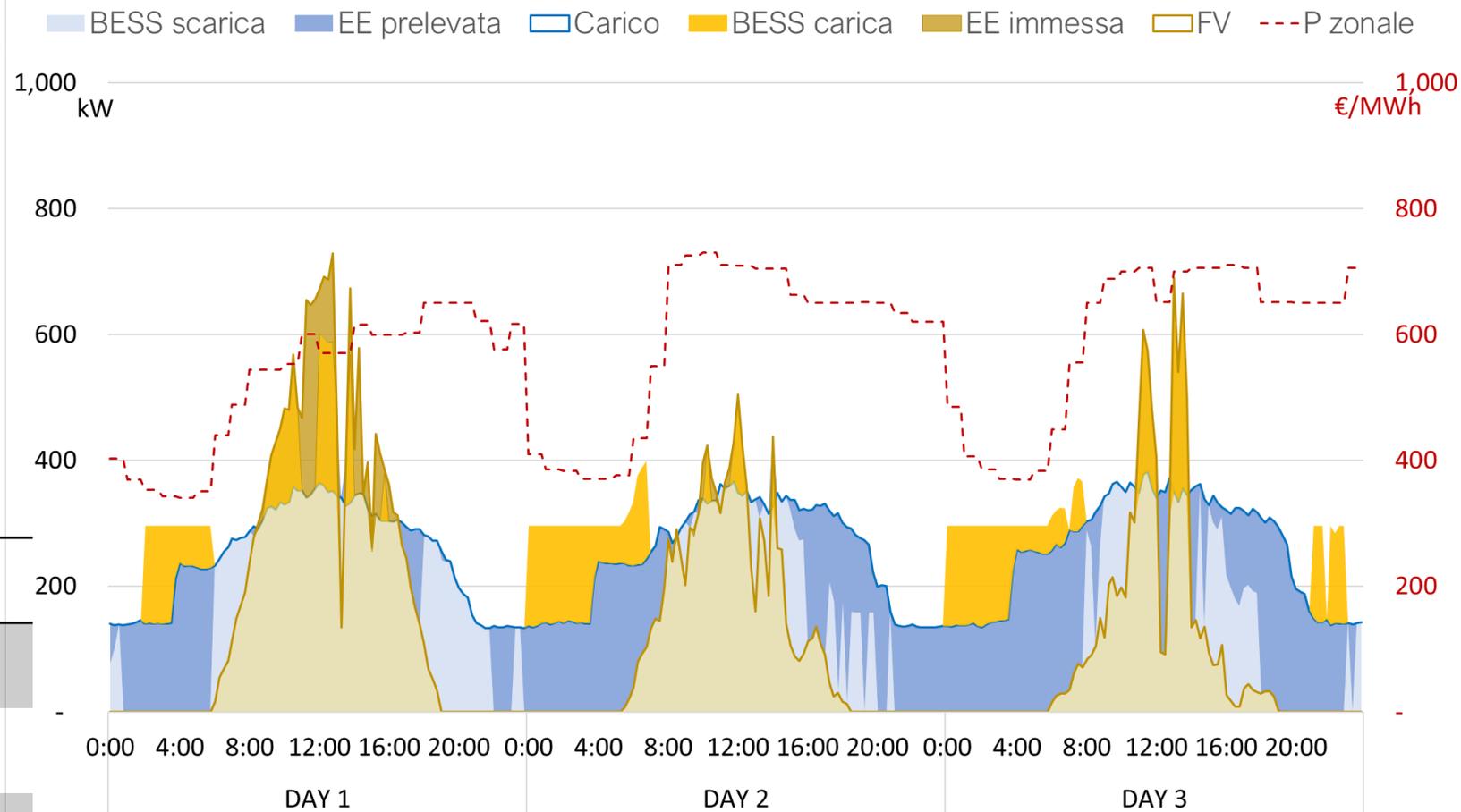
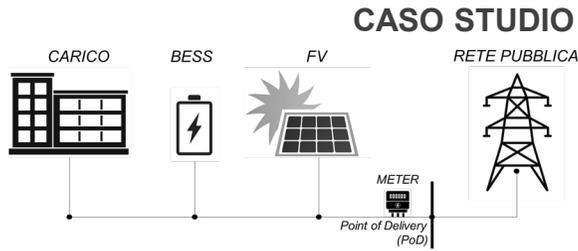
vs

MODELLO STANDARD
efficienza costante

POTENZIALE DI ERRORE

picco di prelievo	?
domanda ausiliari	?
energia immessa	?
autoconsumo	?

Dai test sul campo ai modelli matematici per l'ottimizzazione



PROBLEMA

MODELLO MATEMATICO vs **MODELLO STANDARD**

efficienza variabile vs *efficienza costante*

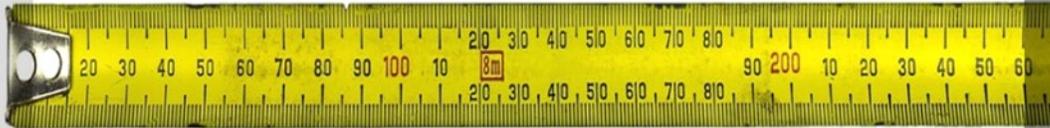
POTENZIALE DI ERRORE

picco di prelievo	15%
domanda ausiliari	7%
energia immessa	20%
autoconsumo	2%

Utilizzare un'efficienza costante (per quanto corretta) causa un errore potenzialmente rilevante nella stima di variabili.

LA SUITE DI STRUMENTI PER L'ACCUMULO ELETTRICITÀ

CARATTERIZZAZIONE



PIANIFICAZIONE E
GESTIONE



PIANIFICAZIONE E GESTIONE

A hand is holding a yellow spirit level against a white wall. The level is positioned horizontally, and the hand is visible on the left side, gripping the tool. The background shows a white wall with a window frame and a white railing. The text "PIANIFICAZIONE E GESTIONE" is overlaid in the center of the image.

STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEGLI ASSET



An aerial photograph of a residential property. The central focus is a large house with a complex roof structure featuring multiple gables and a prominent red-tiled section. To the left of the main house is a smaller structure with a brown corrugated metal roof. A paved driveway leads to a dark-colored car parked in front of the main house. To the right of the main house, a swimming pool is visible, surrounded by a concrete deck and some landscaping. The property is bordered by a dense line of tall, green trees. In the background, a road with white lane markings is visible. The overall scene is lush and green, suggesting a suburban or rural setting.

SMALL-SCALE DOMESTICO

Revenue stacking domestico: la priorità ai servizi behind-the-meter

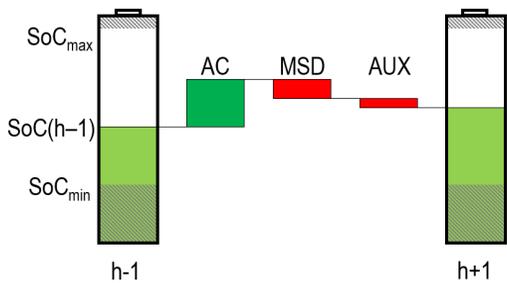
STANDARD

- Autoconsumo

POLIMI

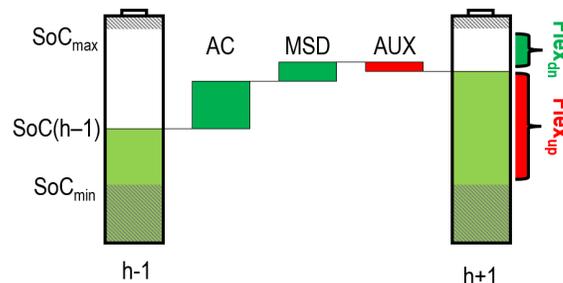
- ✓ Multiservizio con stima delle bande disponibili per flessibilità
- ✓ Priorità al servizio behind-the-meter.
- ✓ Stima dei margini di flessibilità disponibili

Chiamata a salire nella sessione precedente

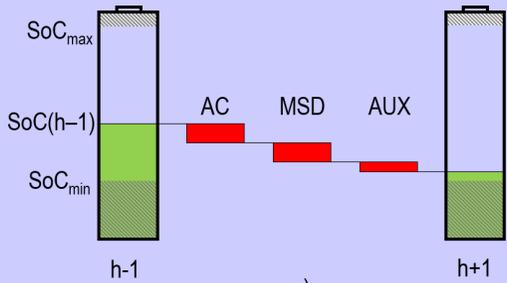


a)

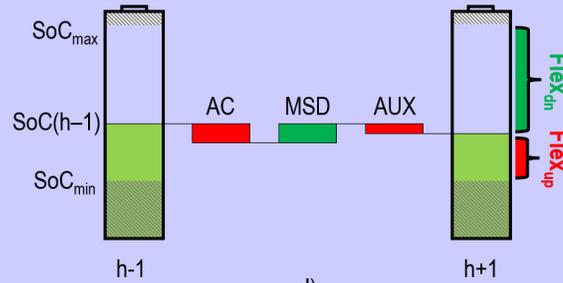
Chiamata a scendere nella sessione precedente



b)



c)



d)

Multiservizio vs autoconsumo standard:

↑ ricavi

Da tempo di rientro > vita utile
A tempo di rientro \approx 5-9 anni

↓ prelievo

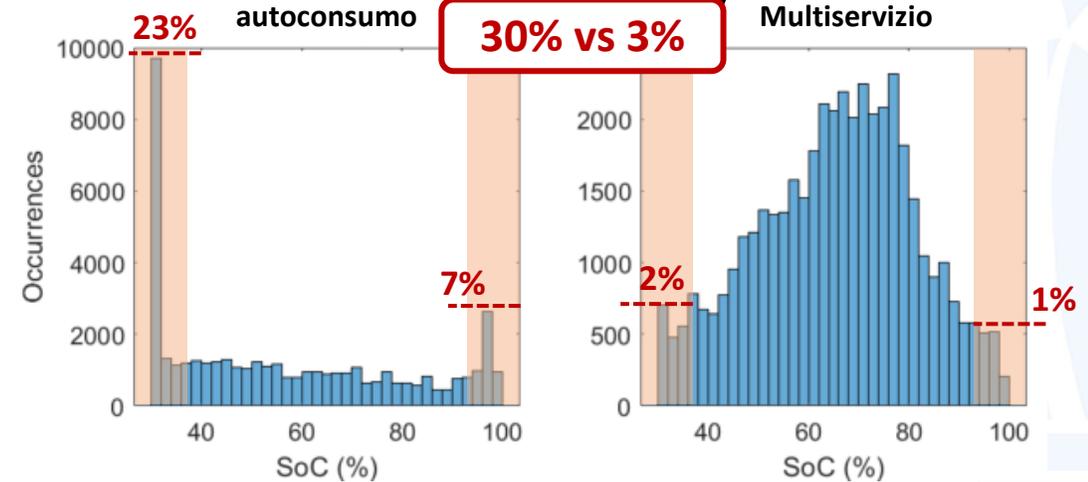
↓ immissione

Scambio con la rete ridotto del
80-95%

Affidabilità su MB

89-97%

↑ gestione SoC



STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEGLI ASSET



UTILITY-SCALE

An aerial photograph showing a large-scale solar farm. The solar panels are arranged in neat, parallel rows across a flat, arid landscape. In the foreground, a tall, white utility pole stands prominently, with its cross-arms extending horizontally across the frame. The background features a mix of dry, brownish ground and some sparse, low-lying vegetation. A road or path is visible, winding through the solar farm area. The overall scene is brightly lit, suggesting a clear, sunny day.

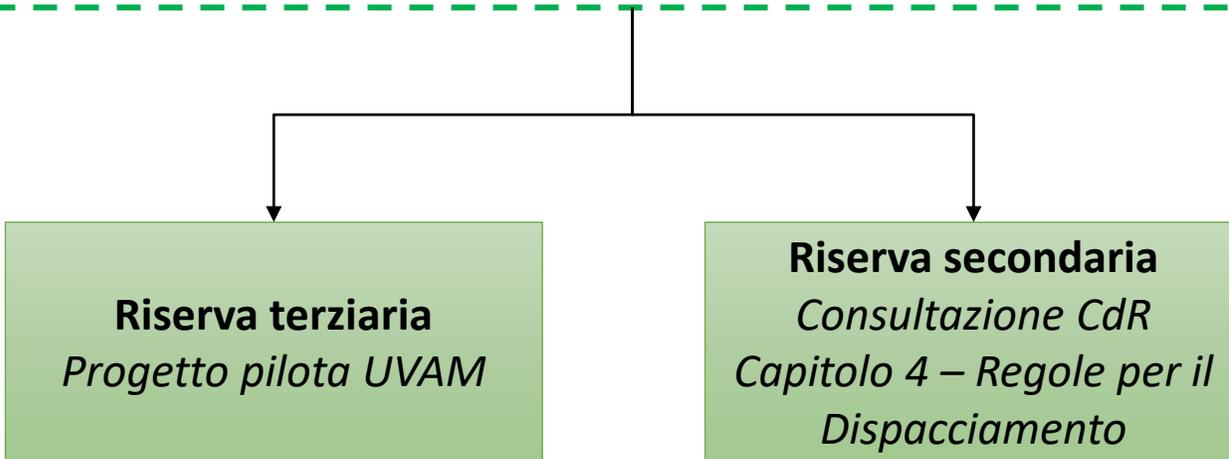
Sistemi di accumulo utility-scale: l'importanza del revenue stacking

STANDARD

- Gestione del SoC tramite flussi energetici dedicati

POLIMI

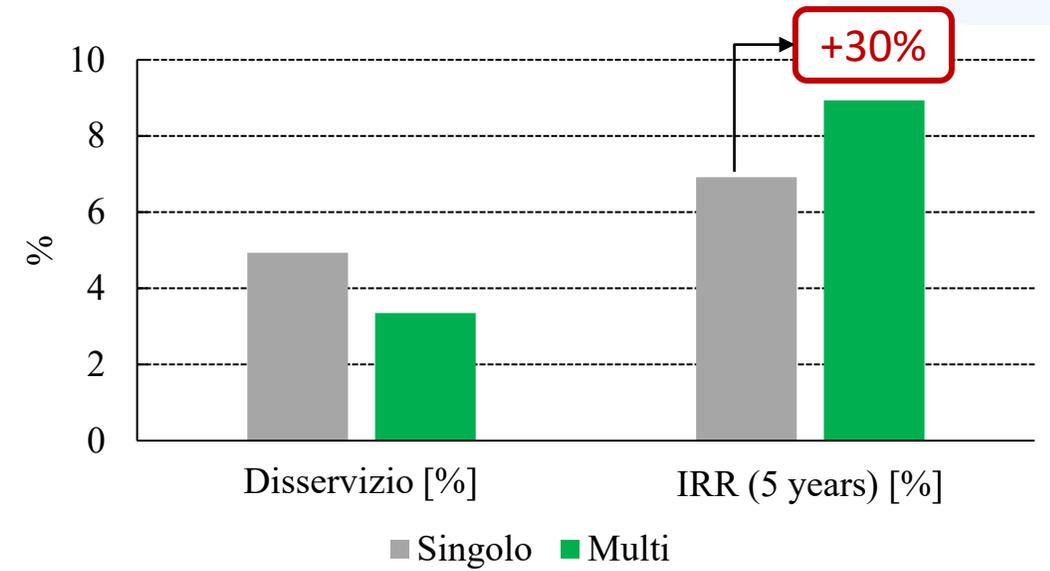
- ✓ Multiservizio
- ✓ Fornitura di servizi asimmetrici per la gestione del SoC



Multiservizio vs singolo servizio + gestione SoC

≈ affidabilità → 97% (disservizio = 3%)

↑ economics → IRR = 9%



STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEGLI ASSET

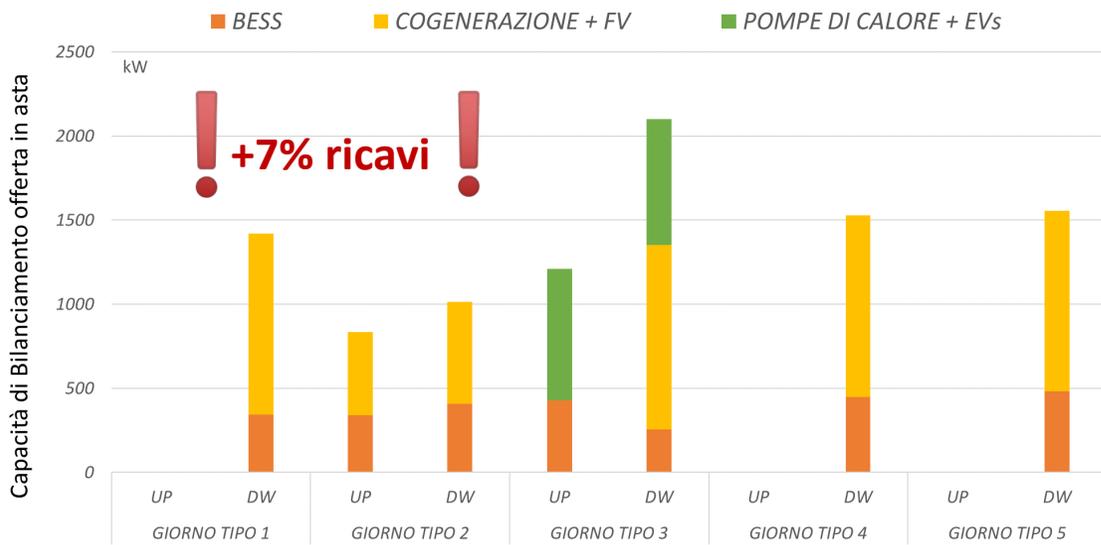


An aerial photograph of a solar farm. The image shows rows of solar panels and inverters on a flat, light-colored ground. The text "DISTRETTO ENERGETICO" is overlaid in large, bold, black letters across the center of the image. The background is a mix of light grey and blue tones, with some greenery visible at the bottom.

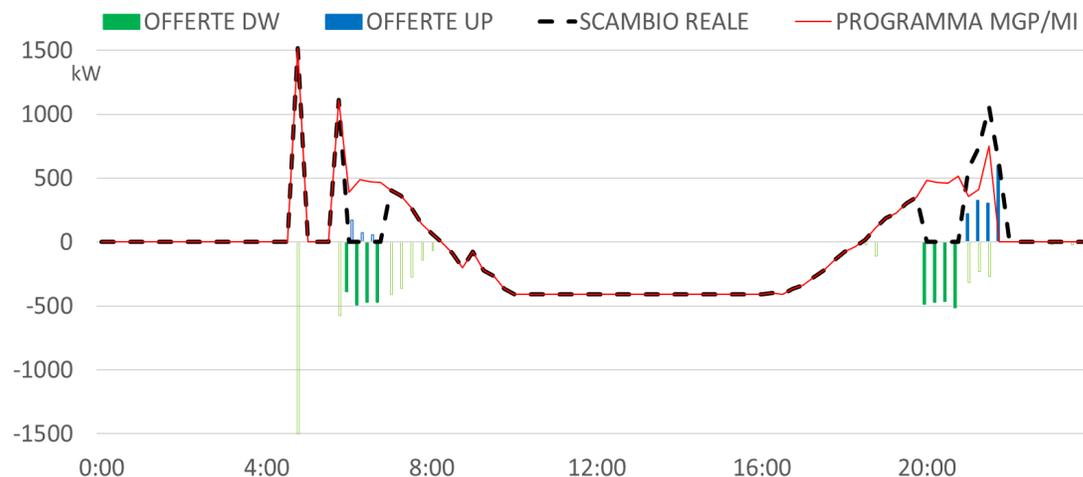
DISTRETTO ENERGETICO

Distretti energetici multi-energia: tra autoconsumo e servizi a mercato

Dalla gestione di aste settimanali...



... alla definizione in tempo reale delle offerte.



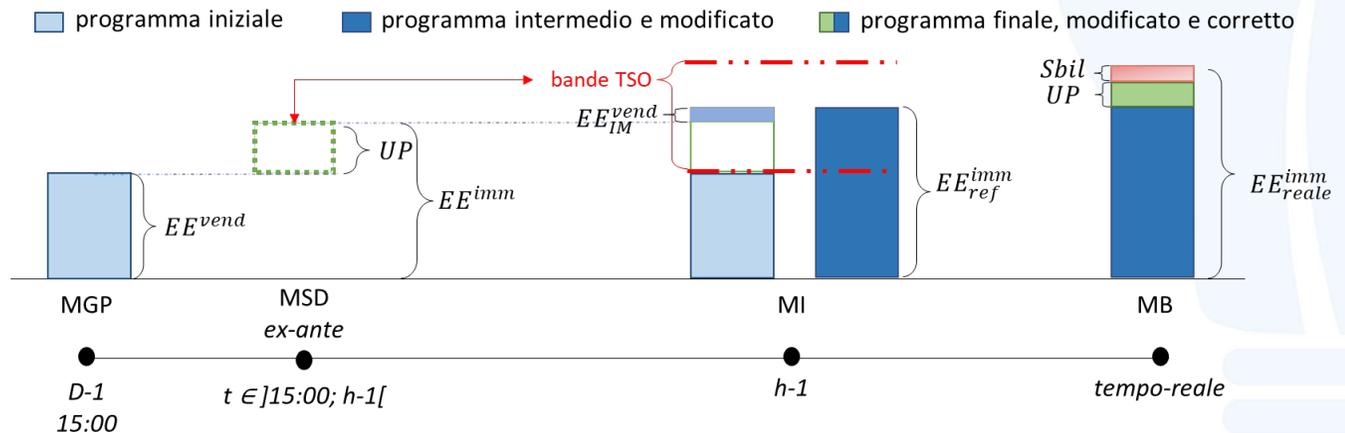
PROBLEMA

- x Ottimizzazione sfruttamento delle diverse risorse
- x Incertezza mercati
- x Gestione del programma rispetto ai vari mercati

SOLUZIONE

- ✓ Modello a blocchi (additività degli asset sfruttabili)
- ✓ Gestione scenari di mercato (modello stocastico)
- ✓ Bilancio scambio fisico (rete) e scambi commerciali (mercati)

GESTIONE DEI PROGRAMMI A MERCATO



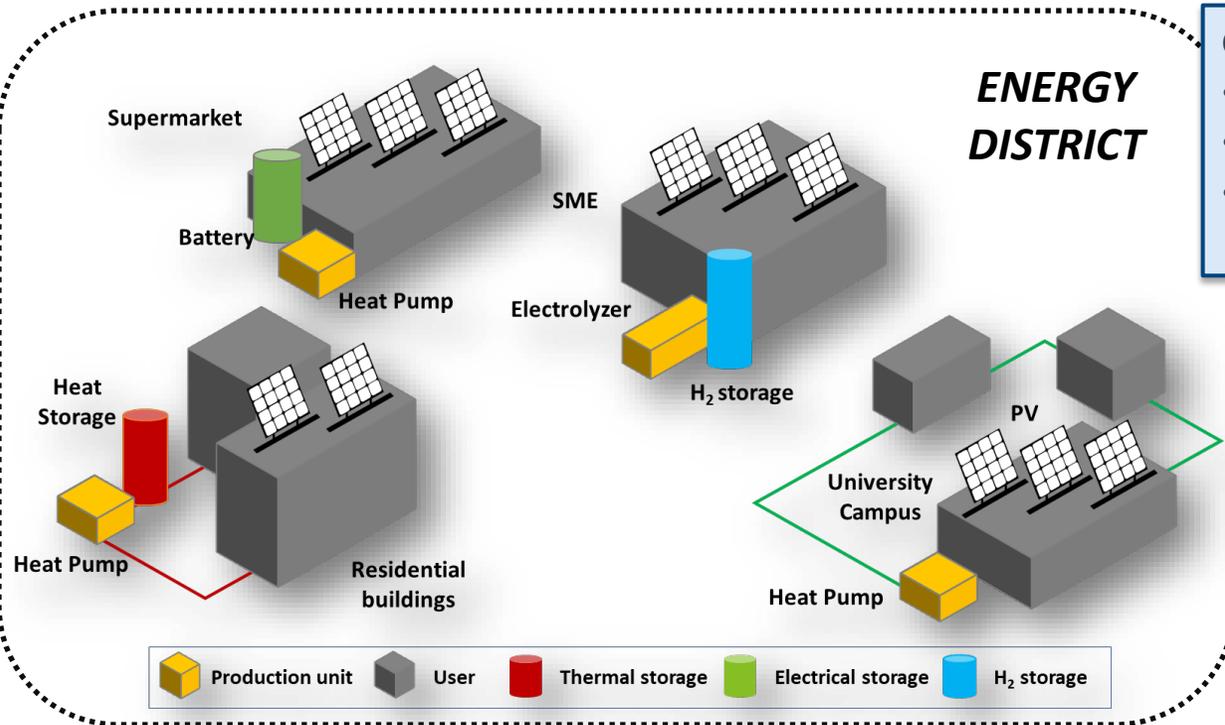
Distretti energetici multi-energia: tra autoconsumo e servizi a mercato

PROBLEMA

- x Ottimizzazione TAC = CAPEX + OPEX
- x Evitare disservizi o inefficienze

SOLUZIONE

- ✓ Analisi e identificazione profili (domanda, FERNP, prezzi, ecc.) rappresentativi
- ✓ Ottimizzazione *design & operation*



CASE STUDY

- Utenze di diverse tipologie
- Consumi elettrici e termici
- Installazione FV + Pompa di Calore (autoconsumo = 25%)

CONFIGURAZIONI

	A	B	C
Accumulo Termico	X	X	X
Batterie		X	
Idrogeno P2P			X
Dimensione FV	-15%	-15%	=
CAPEX	-20%	+7%	+35%
OPEX	+5%	-2%	-1%
Quota autoconsumo	50%	65%	75%



OLTRE ALL' ACCUMULO ELETTROCHIMICO



DES-PARK

A photograph of a large, multi-story industrial building, likely a former factory or warehouse, featuring a prominent triangular pediment and a tall, cylindrical chimney. The building's facade is a mix of light-colored stone or concrete and brickwork, with several arched windows and classical architectural details. A silver car is parked in the foreground on a paved area. The sky is a clear, pale blue, suggesting a bright day. The text "DES-PARK" is overlaid in large, bold, white capital letters across the center of the image.

Motivazioni e Obiettivi

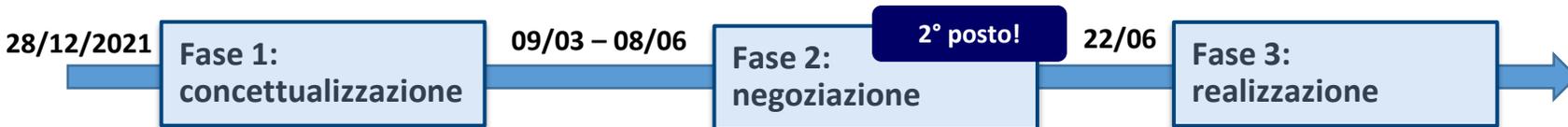
Digital Energy Storage Park (DES-Park)

Realizzazione di una facility per sviluppare, testare e certificare:

- componenti e sistemi per l'accumulo energetico
- strumenti digitali per una gestione ottimizzata degli asset

Avviso 3265 Bandi PNRR – Infrastrutture Tecnologiche di Innovazione (M4C2 Linea 3.1)

- Creazione di un **PPP** per realizzazione e gestione facility: **società mista** (DES-Park s.c.a r.l.)
- Attività di **innovazione** a TRL medio-alto
- Headquarter: **Ex-centrale Emilia** (Piacenza): ampi spazi, sistemi di **taglia medio-grande** (>10 MW)
- Sede distaccata nel Mezzogiorno
- Budget ca. **28 M€**: **cofinanziamento pubblico 49%**
- Durata progetto: 3 anni (+ esercizio)



Progetto

WP1 – Recupero Ex-centrale Emilia e set-up della facility multi-sito

WP2 – Accumulo chimico (idrogeno and e-fuels): produzione, accumulo e utilizzo dell'idrogeno (gas, liquido, stato-solido) e di e-fuels

WP3 – Accumulo elettrochimico: ioni-litio, ioni-sodio, flow-batteries, inverter, conduttori, ecc.

WP4 – Accumulo termico: calore sensibile, PCM, accumulo termo-chimico, AT/BT

WP5 – Accumulo termodinamico: compressione/espansione/accumulo di aria o altri fluidi (e.g., CO₂ batteries)

WP6 – Sistemi di controllo e infrastruttura digitale per la gestione di sistemi di accumulo e reti multi-energia: previsione, protezione, diagnosi, stima dello stato di carica e salute, ecc.

WP7 - Project Management e Coordinamento delle attività di realizzazione

WP8 - Knowledge Transfer e Business Creation

- Prestazioni, integrazione, costi, sostenibilità del ciclo di vita
- Ambiente rilevante → commercializzazione

PolIMI
LEAP
RSE

UniBG
UniSalento
UniBO

UniPR
Regione ER
Greentech

- È in corso un dialogo con le aziende interessate per definire aspetti tecnici e amministrativi

Prossima scadenza:
manifestazione pubblica di interesse per
la partecipazione al PPP



**ENERGY
TRACKS**



Grazie!

comunità energetiche

SECONDO-LIFE
CIRCOLARITÀ

ricerca e sviluppo

dispacciamento

mercato elettrico



**POLITECNICO
MILANO 1863**

DIPARTIMENTO DI ENERGIA



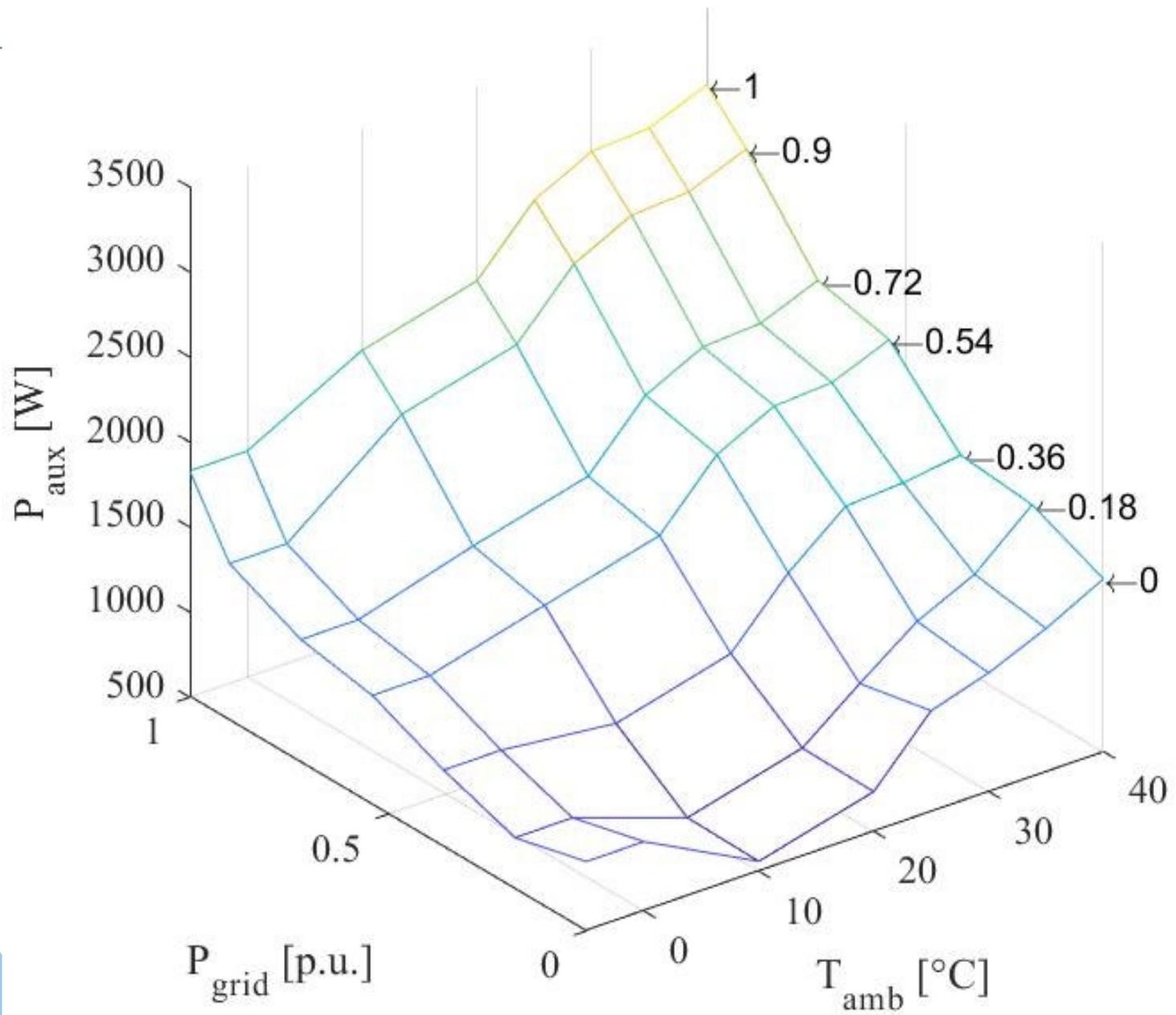
RSE

Ricerca
Sistema
Energetico

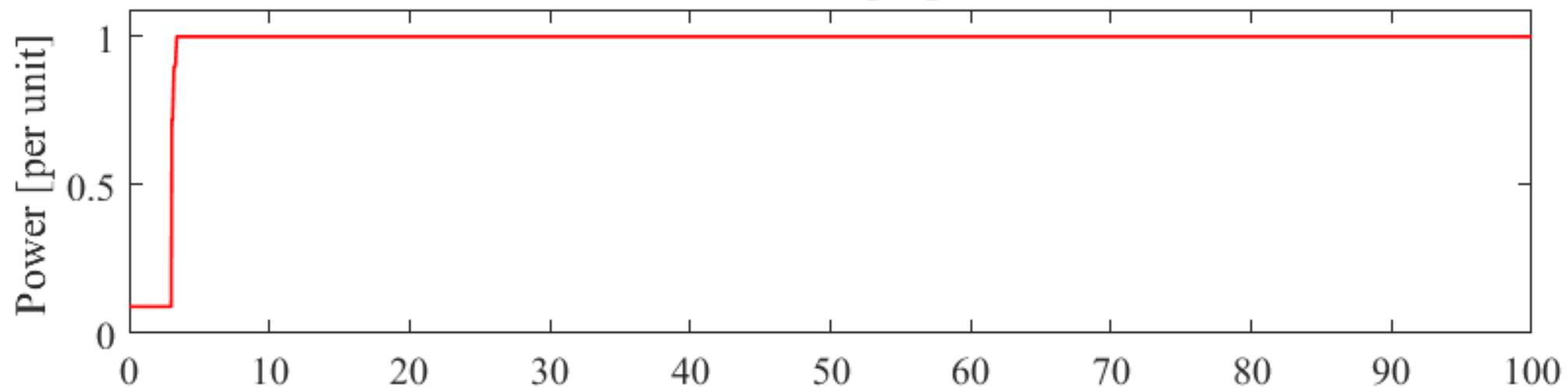


LEAP

FOUNDED IN 2005 BY
POLITECNICO DI MILANO



Discharging



Charging

