

POLITECNICO
MILANO 1863

Il ruolo dei sistemi di accumulo nel mercato elettrico

Memorial Marco Pigni

giuliano.rancilio@polimi.it

22 marzo 2023

School of Industrial and Information Engineering
Department of Energy



Rimini, 7 aprile 2022

Consegna

Assegno di Ricerca
 *Mercati Elettrici e
Sistemi di Accumulo –
Memorial Marco Pigni*

Milano, 28 ottobre 2022

Energy Tracks:

ACCUMULO ENERGETICO

quale ruolo nel sistema elettrico del futuro?

con **restituzione** dei primi
risultati della ricerca



Rimini, 22 marzo 2023

- Presentazione report:
«Modellazione,
pianificazione ed
esercizio di sistemi di
accumulo a batteria»
- **Restituzione** risultati
della ricerca



In collaborazione con:



Uno sforzo collettivo per fornire una panoramica delle attività su SdA a batteria



**POLITECNICO
MILANO 1863**

DIPARTIMENTO DI ENERGIA
GRUPPO DI SISTEMI ELETTRICI PER L'ENERGIA

Modellazione, pianificazione ed esercizio di sistemi di accumulo a batteria

La compatibilità con i mercati
e gli impatti sul sistema elettrico

Marzo 2023

Prefazione

Indice

Ringraziamenti

1. Introduzione e motivazione
2. Modellazione numerica dei sistemi di accumulo a batteria
3. Strumenti di analisi tecnica ed economica
4. Applicazioni e casi studio
5. Suggerimenti regolatori: il modello a supporto del ridisegno del mercato
6. Conclusioni e spunti regolatori



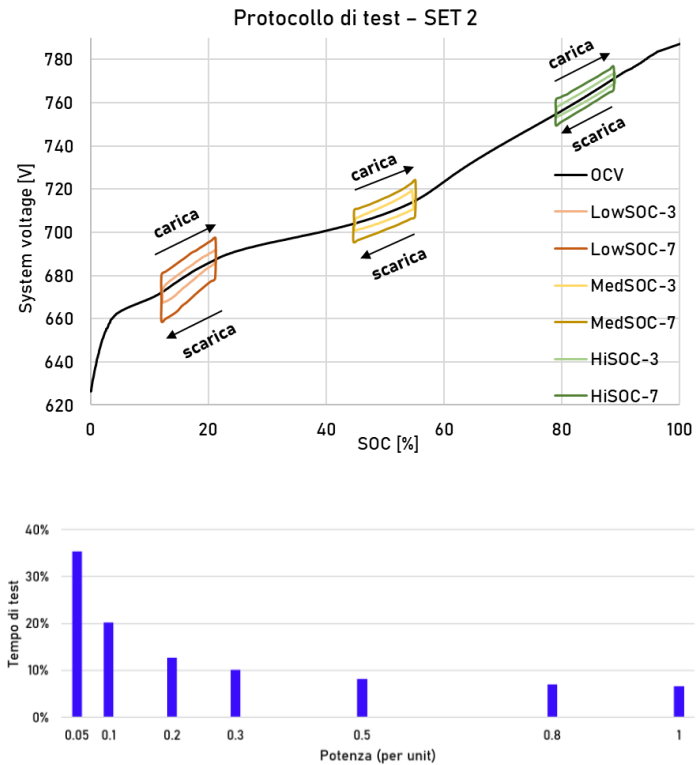
Scan per il report in
anteprima

Disponibile nei prossimi
giorni anche su:
<http://www.e4g.polimi.it/>

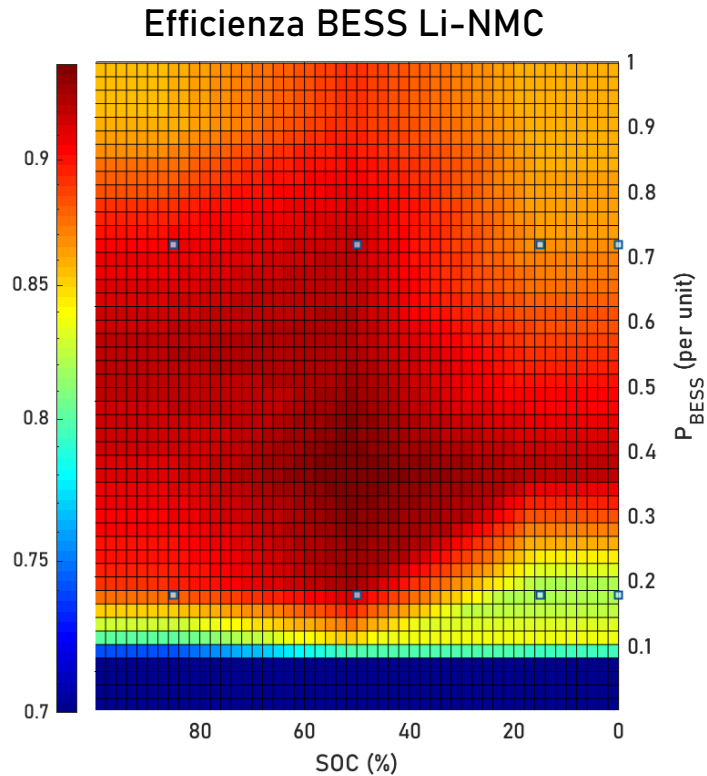


Test e modellazione matematica di BESS

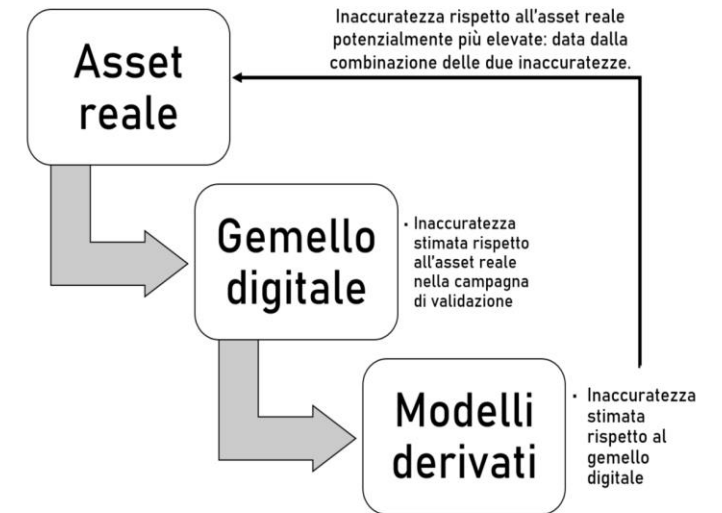
Protocolli di test per la mappatura delle prestazioni



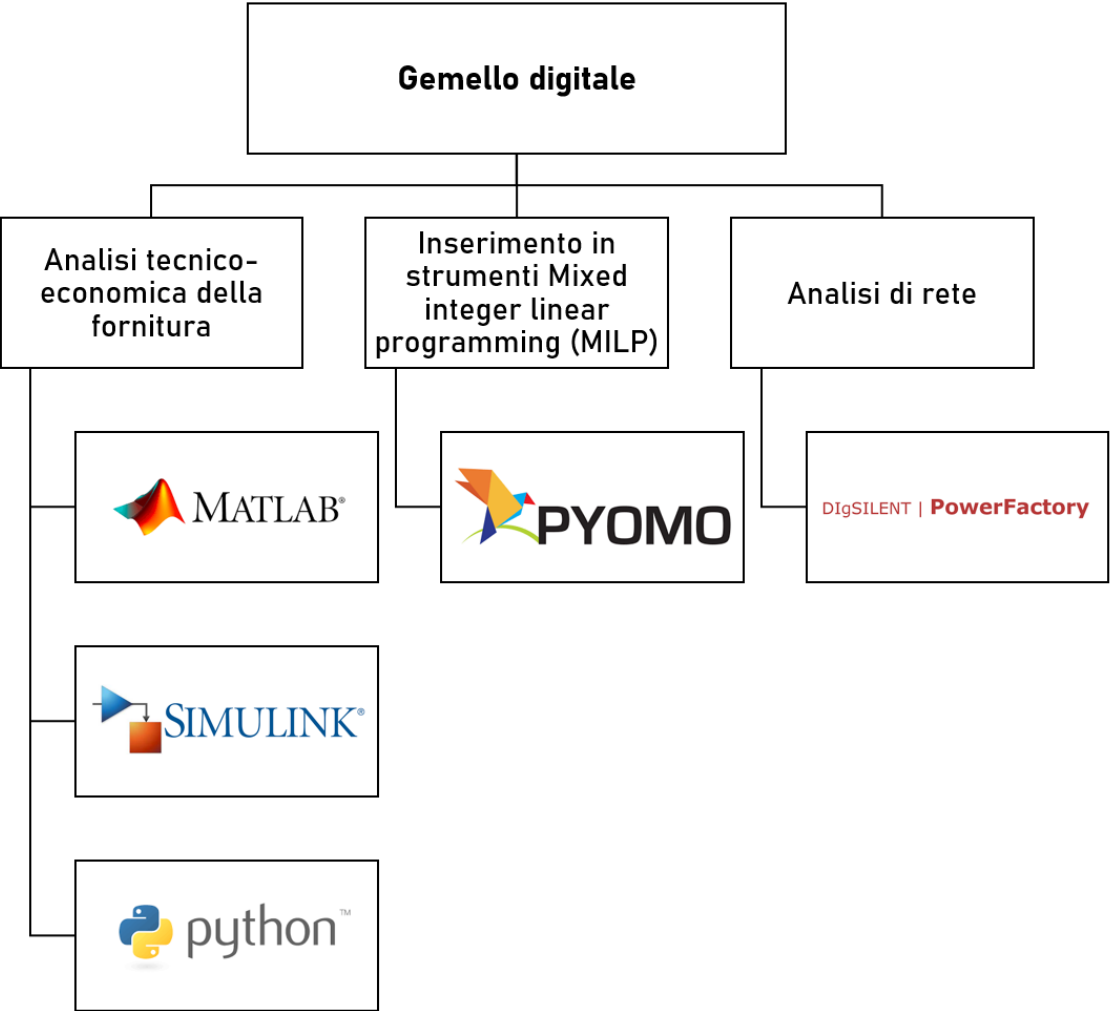
Sviluppo di modelli multiparametro del BESS



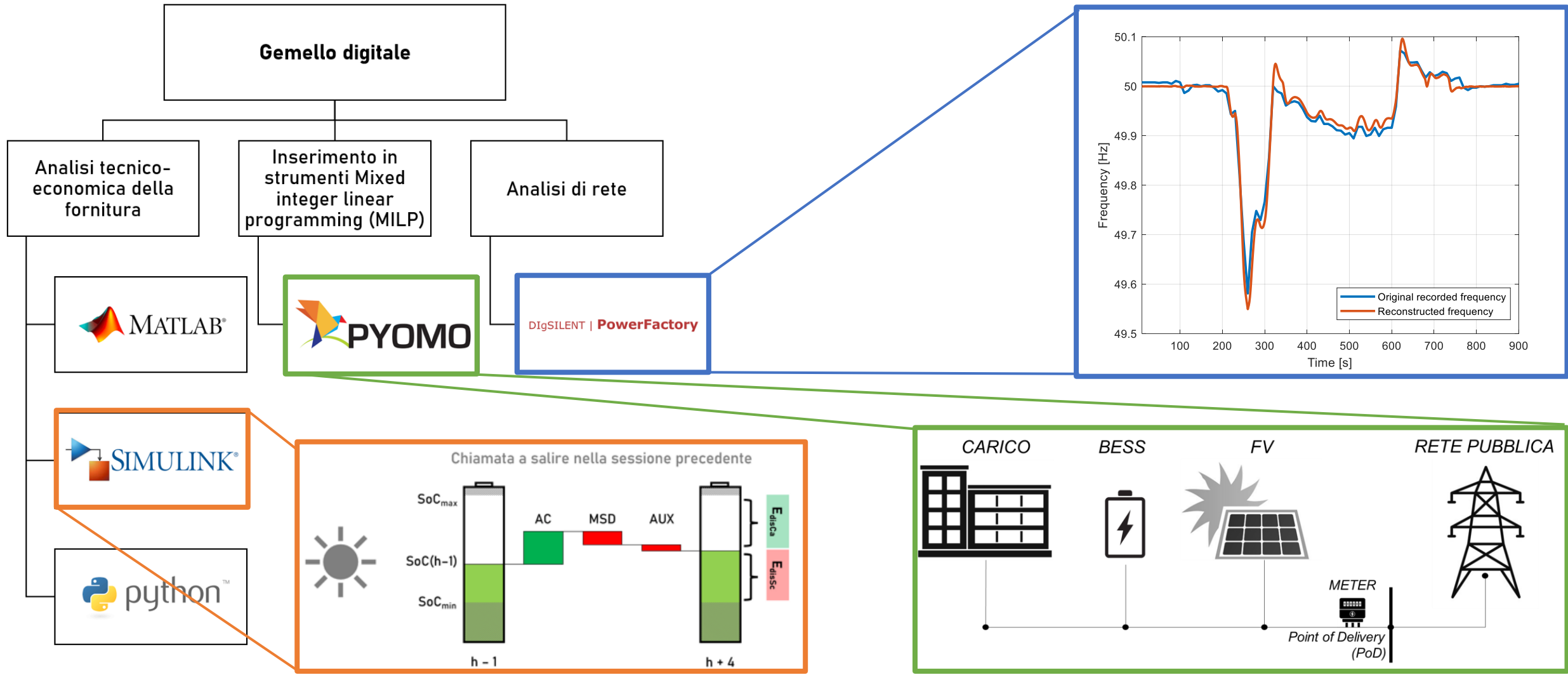
Modelli derivati per varie applicazioni



Strumenti per la pianificazione e l'esercizio dei BESS in vari contesti



Strumenti per la pianificazione e l'esercizio dei BESS in vari contesti



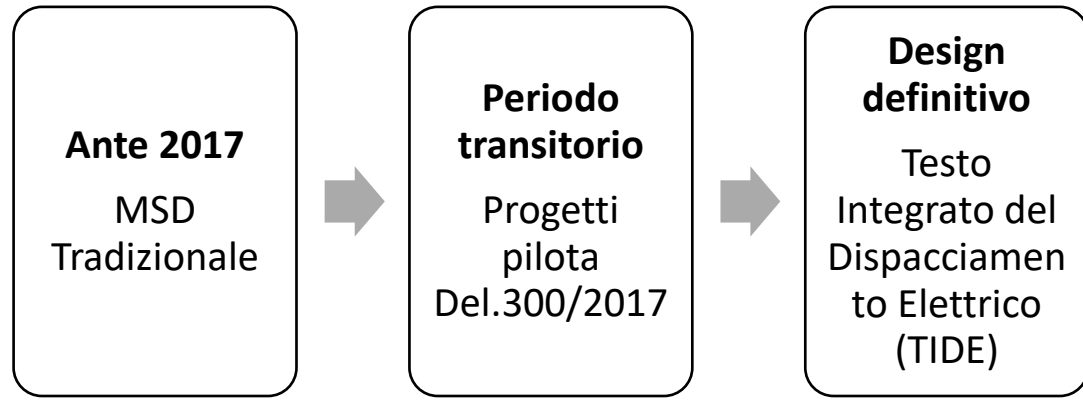
Qualche analisi dei risultati: il lavoro svolto in questo anno di ricerca



Qualche analisi dei risultati: il lavoro svolto in questo anno di ricerca

Obiettivi:

- Analizzare l'evoluzione del dispacciamento in atto.
- Fornire risultati quantitativi sulla **compatibilità BESS <-> Mercati per il Servizio di Dispacciamento**.
- Utilizzare una **modellazione BESS** capace di rappresentare le prestazioni in esercizio.
- Adottare una **strategia di controllo** che possa essere replicata su vari asset e in vari contesti.



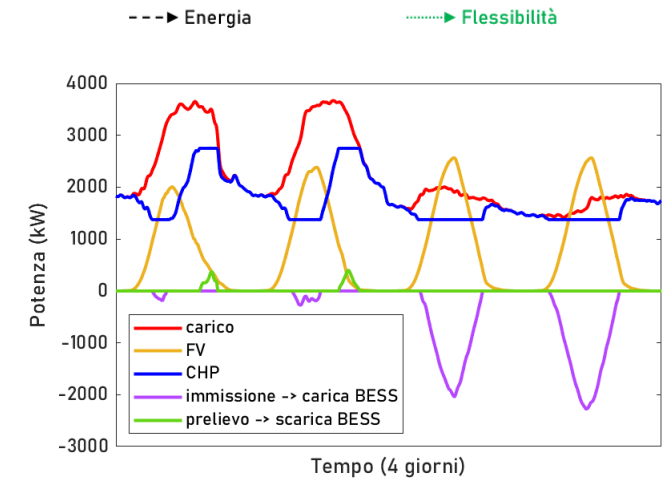
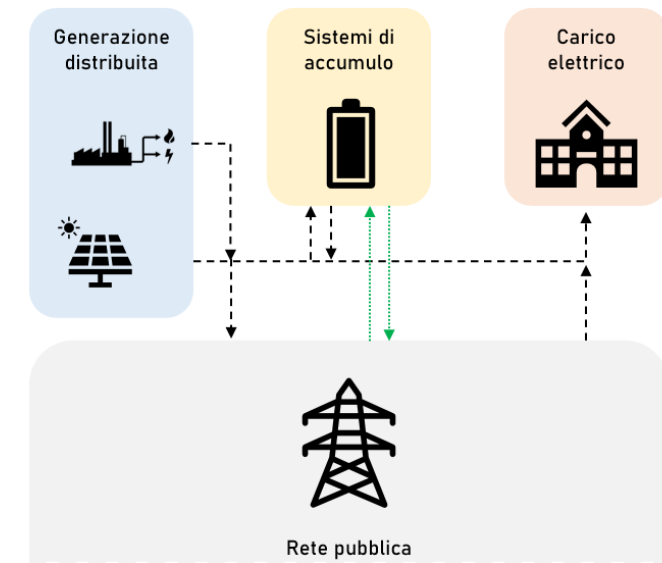
Modello BESS multiparametro

Strategia di controllo Multiservizio

POLITECNICO
MILANO 1863

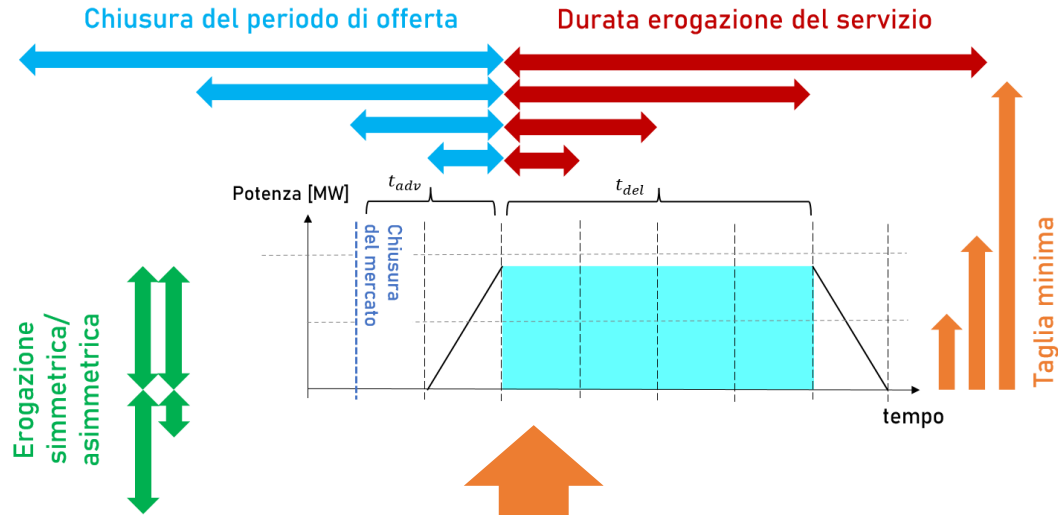


Caso studio Città Studi



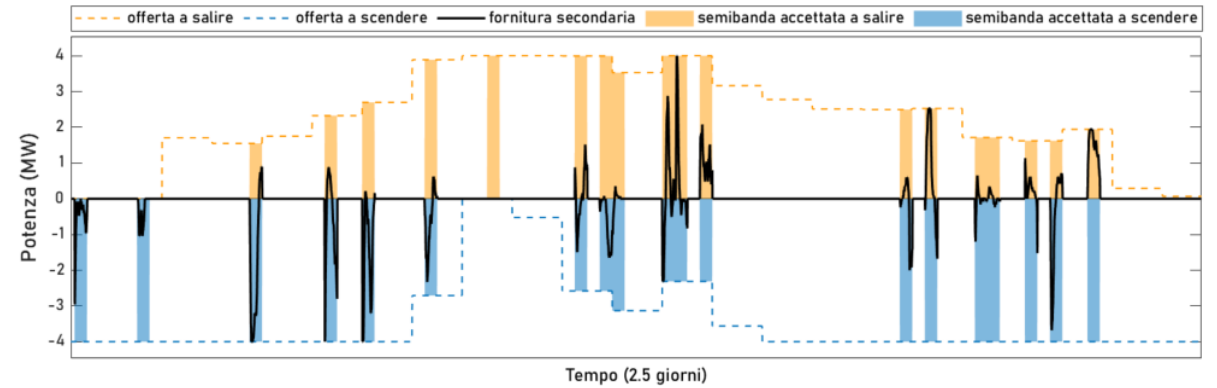
Fotografare e valutare la possibile evoluzione normativa

Analisi di sensitività su diversi parametri dei prodotti:

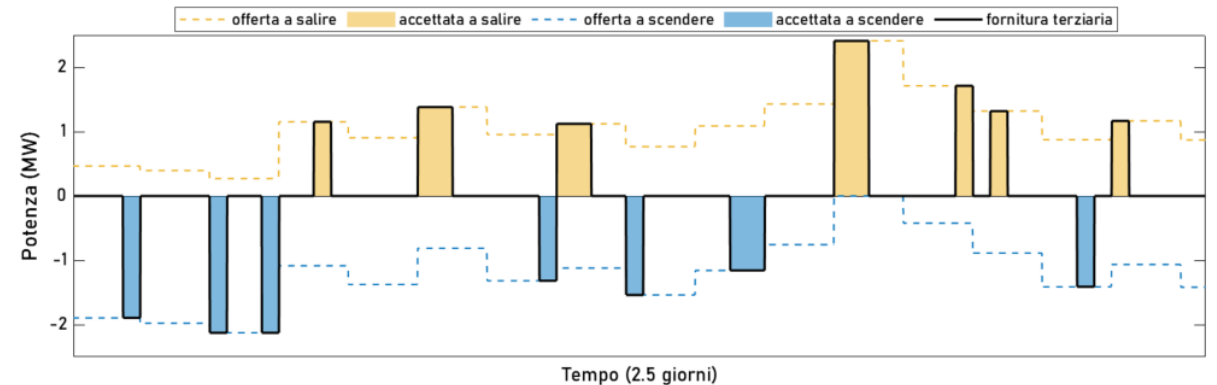


Analisi di due diversi servizi:

Riserva secondaria (asimmetrica)



Riserva terziaria



La prospettiva di sistema: quali impatti hanno i parametri sulla fornitura di servizi

Messaggi regolatori chiave:

- La **fornitura asimmetrica** dei servizi permette un **generale miglioramento** delle prestazioni e un aumento della flessibilità fornita.
- Un requisito inferiore sulla **durata minima di erogazione** dei servizi **aumenta la flessibilità** fornita da varie risorse distribuite, potenzialmente a **parziale spesa dell'affidabilità**.

- La **chiusura del mercato più vicina** al tempo reale ha un **impatto positivo sull'affidabilità** della fornitura.

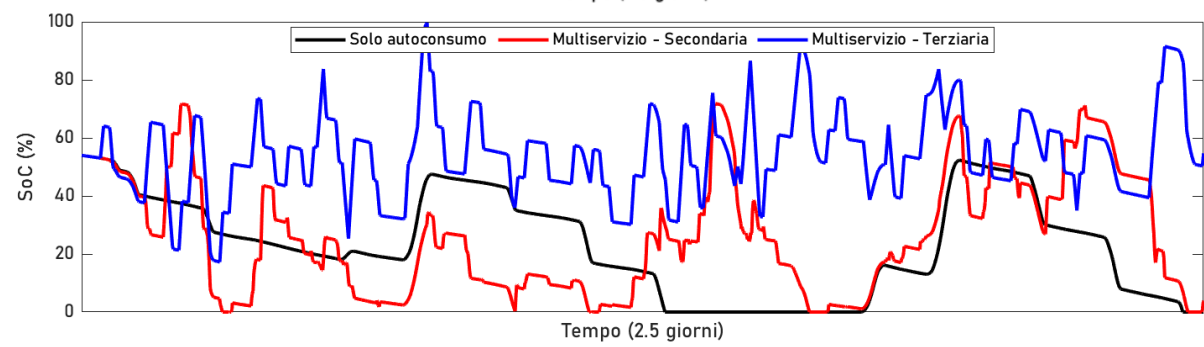
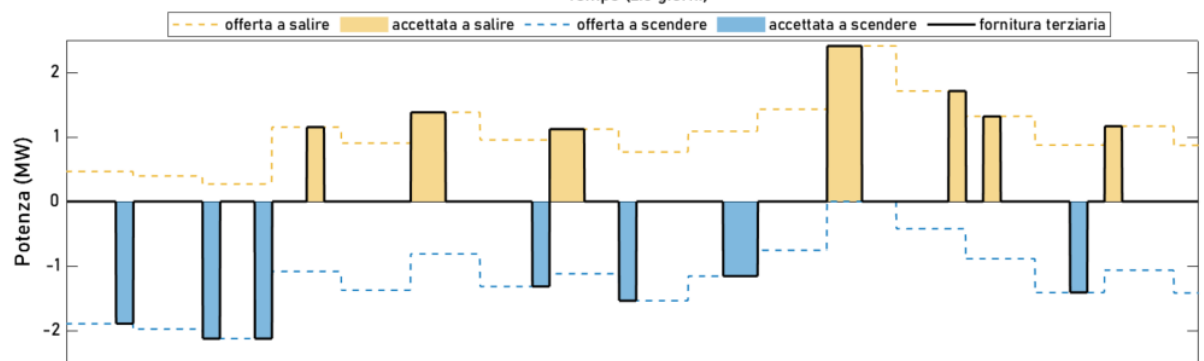
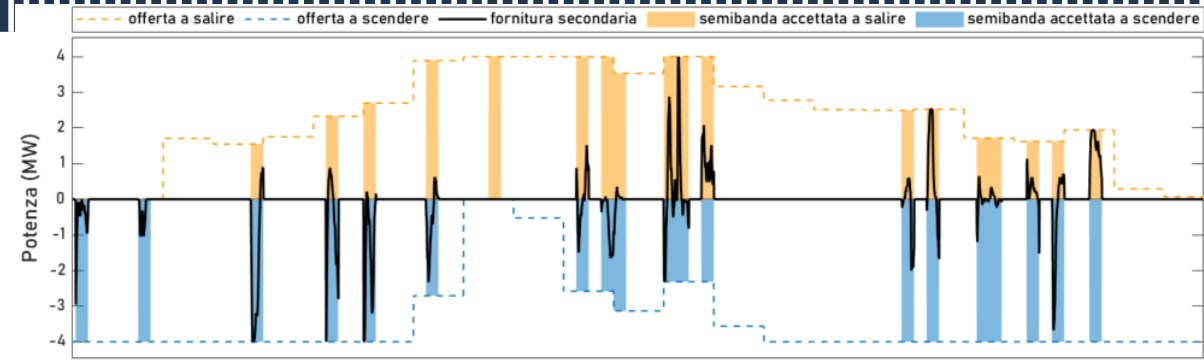
- Un servizio **power intensive** che seleziona in maniera esclusiva le risorse **sfrutta le qualità di una regolazione veloce a spese di affidabilità ed efficienza operativa**.

	Autoconsumo/ autobilanciamento	Flessibilità: energia fornita	Flessibilità: potenza disponibile	Flessibilità: affidabilità	Efficienza di utilizzo del BESS
Fornitura asimmetrica	↑	↑	↑	↑	↑
Diminuzione durata minima di erogazione	↓	↑↑	↑↑	↓	↑↑
Chiusura mercato più vicina	↔	↔	↔	↑	↔
Servizio power intensive	↓	↓	↑↑	↓	↓

Il caso studio: secondaria vs terziaria

Analisi tecnica:

- La logica seguita è quella della **strategia Multiservizio** prima introdotta:
 - **Precedenza al servizio behind-the-meter**, con massimizzazione dell'autoconsumo.
 - **Fornitura delle bande rimanenti in energia e potenza sul mercato di bilanciamento (MB).**
- In caso di fornitura di secondaria, richiesta in energia inferiore e potenza offerta superiore rispetto alla terziaria.
- Meno cicli, più aleatorietà data dalla dinamica del Segnale di Livello. Viceversa se si fornisce regolazione terziaria.
- Dato che i servizi ancillari contribuiscono alla gestione dello stato di carica, le **offerte hanno prezzi competitivi** e il tasso di accettazione cresce.
- Potenzialmente, **il sistema riceve flessibilità a prezzi convenienti ed elevata affidabilità**. Ciò grazie al revenue stacking di massimizzazione autoconsumo e fornitura di servizi di rete. → **situazione già vista in GER con FCR.**



Il caso studio: secondaria vs terziaria

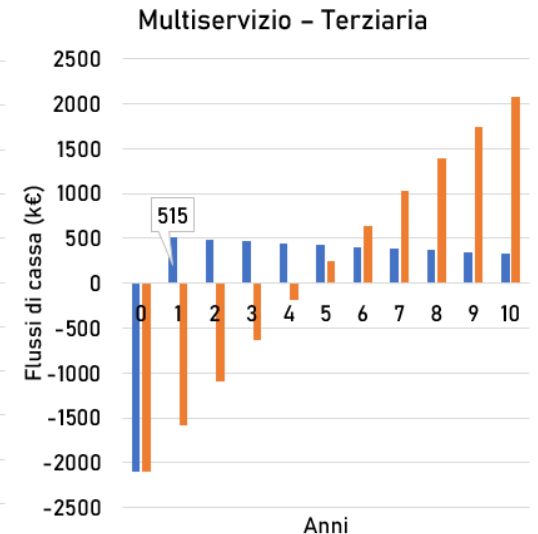
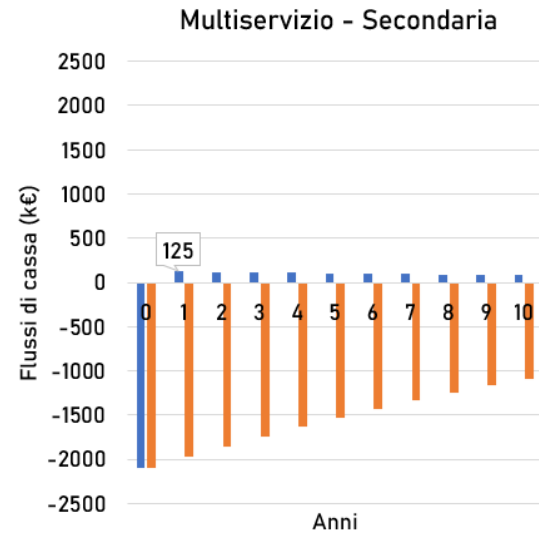
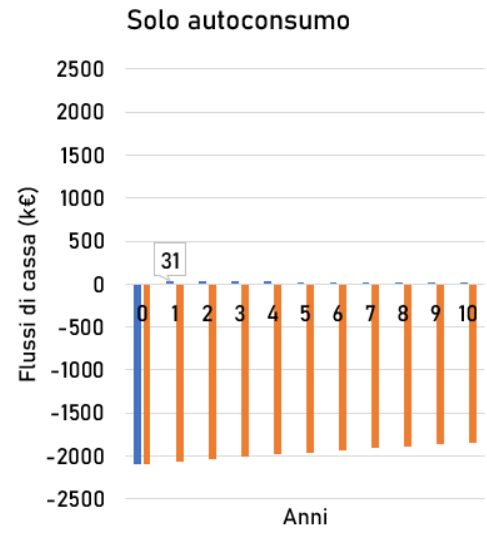
Analisi economica:

- Ipotesi:
 - Penalità elevata per la mancata movimentazione.
 - Fornitura di secondaria asimmetrica da consultazione CdR.
 - Solo autoconsumo, vs Multiservizio con secondaria o terziaria.
 - Remunerazione in energia (€/MWh).
- Risultati:
 - **Ritorno economico** solo con terziaria: numero di **cicli eq. > 1 ciclo/giorno**
 - **Adempienza** della fornitura 91-98%.
 - Possibile definire la **remunerazione in capacità per pareggiare i ricavi**



circa 45 €/MW/h → Coerente con prezzi FCR GER

	Solo autoconsumo	Multiservizio Secondaria	Multiservizio Terziaria
Ricavi autoconsumo	82786	97817	122247
Ricavi flessibilità	-	144066	630233
Penalità ¹⁴	-	-60407	-162043
Ricavi netti	82786	181476	590437
Cicli equivalenti	18	125	470



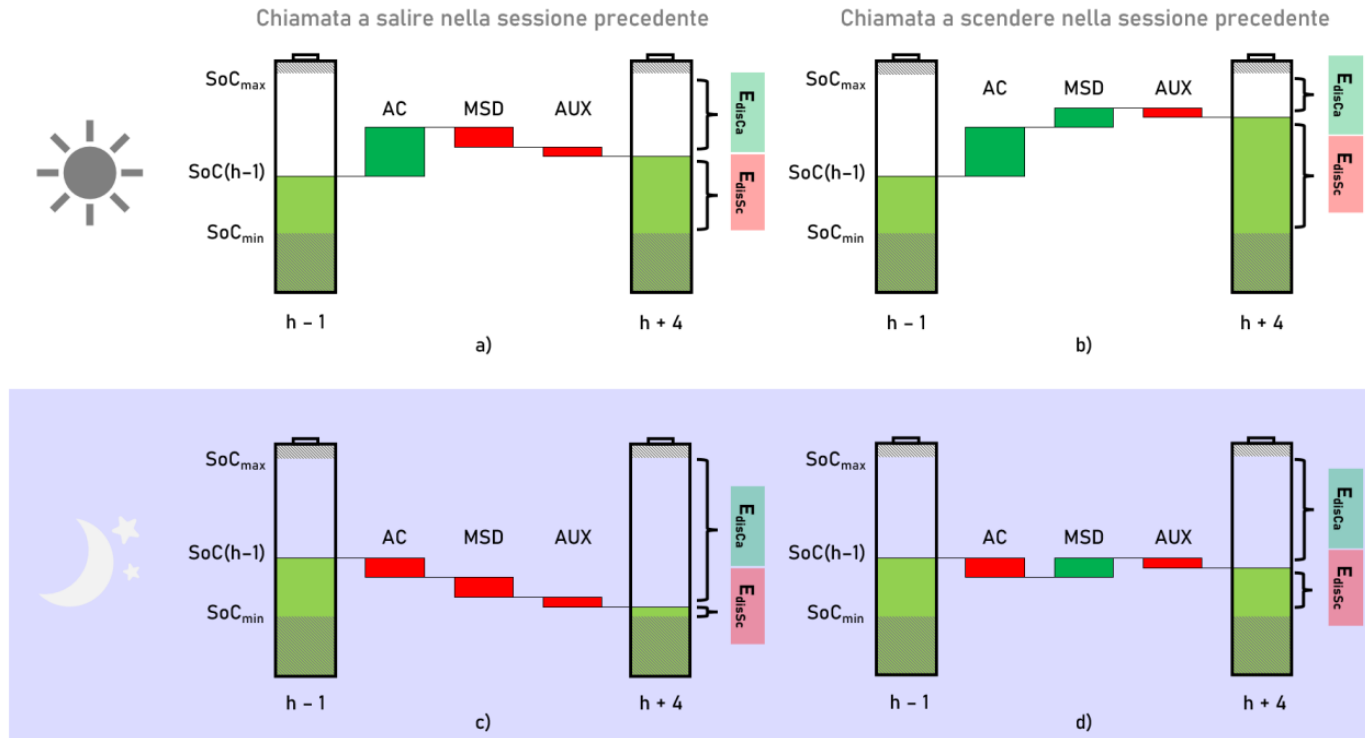
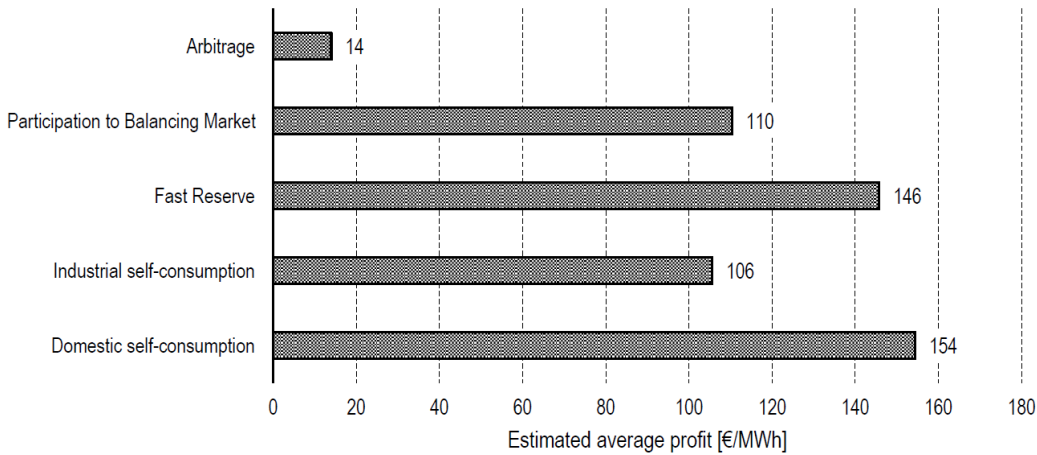
■ flussi di cassa attualizzati ■ flussi di cassa cumulati





Spunti per la discussione: il modello merchant funziona con il revenue stacking

- In un **mercato maggiormente a pronti**, il BESS beneficia di una strategia di controllo che ottimizza un **revenue stacking dinamico**.
- Non una miriade di servizi, ma dare **priorità** ai servizi più remunerativi (spread tra servizio a scendere e salire).
- Beneficiare di **finestre di mercato brevi** per sfruttare le diverse peculiarità subgiornaliere, ad esempio in impianti ibridi.
- Possibilità di fornire **servizi asimmetrici** per aumentare l'integrazione delle FER.

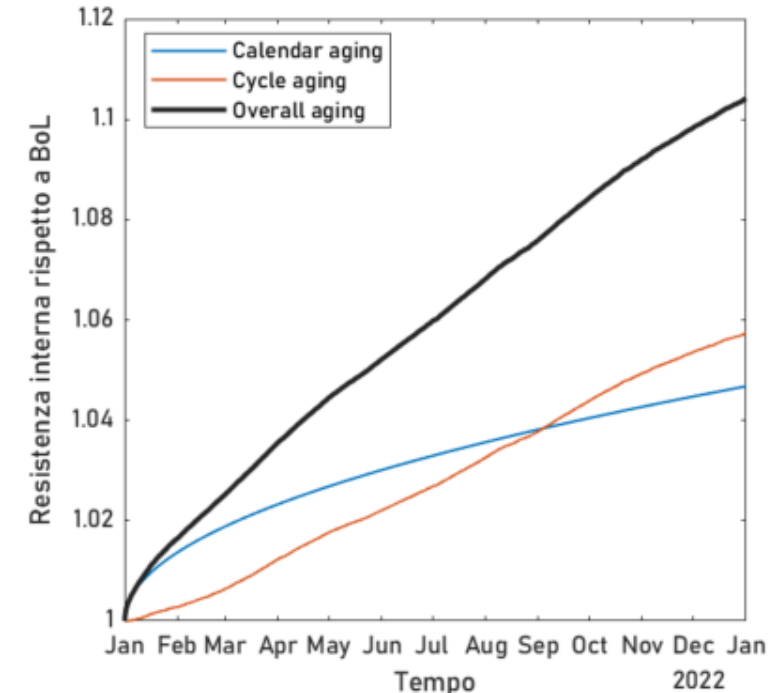
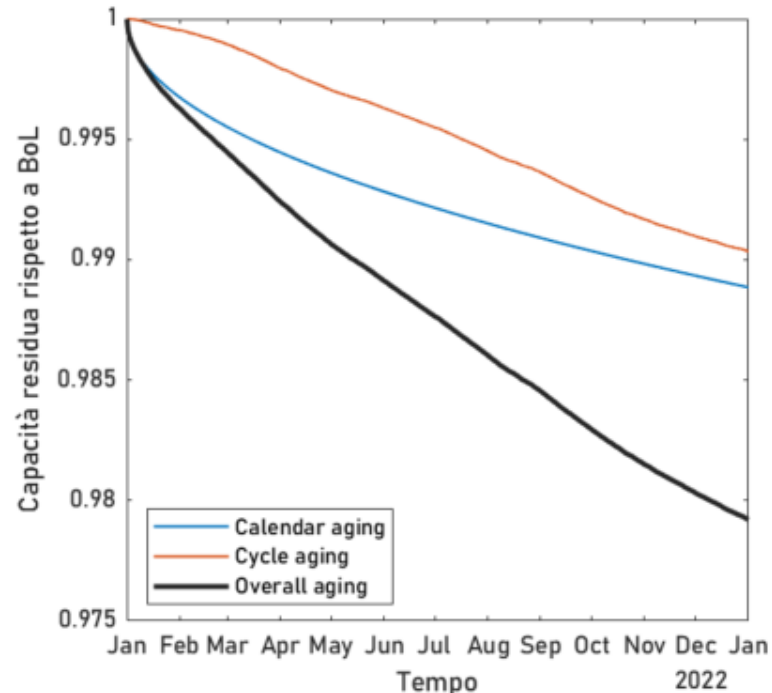


Spunti per la discussione: con contratti a termine serve stimare l'offerta giusta

- In caso di contrattualizzazione a termine delle risorse, la remunerazione prevalente seguirà **l'asta in capacità** (€/MW/anno).
- Logica di **lungo termine**: la gestione dinamica non è ottimizzabile dall'operatore, che deve invece offrire un asset coerente con la fornitura del servizio per tutta la vita utile → **sovradimensionamento** e offerta che consideri CAPEX, OPEX, stima della vita utile
- La stima dell'offerta richiede conoscenza del **Levelized Cost of Storage (LCOS)**, dipendente dalla vita utile del BESS.
- L'invecchiamento è **calendar e cycle aging**: serve un modello per stimare le prestazioni residue all'anno target.

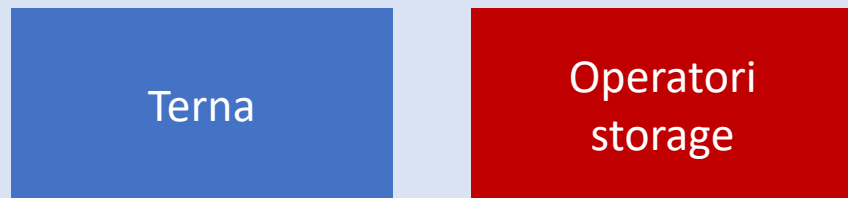
$$LCOS \left(\frac{\text{€}}{MWh} \right) = \frac{CAPEX (\text{€}) + OPEX (\text{€}) - \text{Residual value} (\text{€})}{E_{grid}}$$

$$aging = f(c - rate, SoC, T_{amb}, \dots)$$



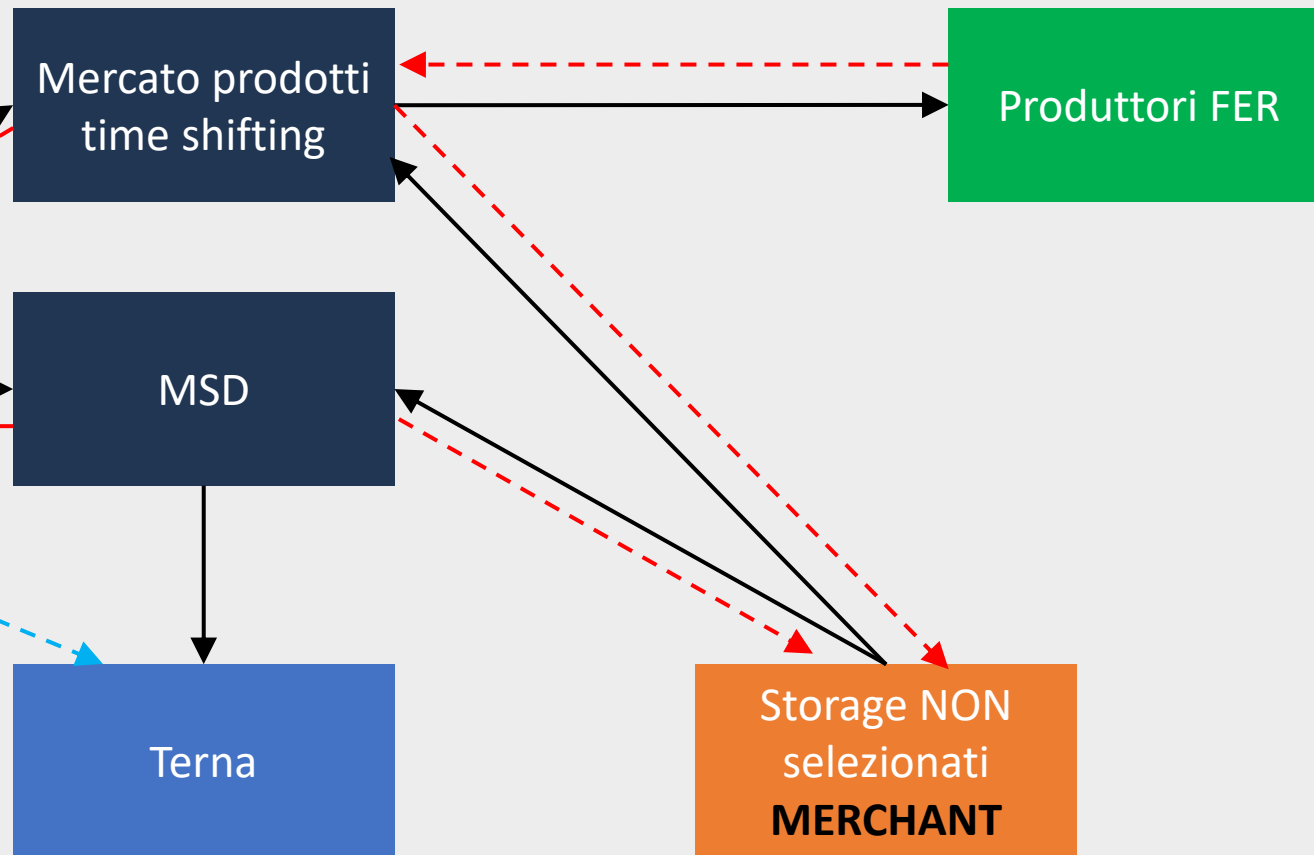
Spunti per la discussione: lo scenario italiano e le aste storage

ASTE PER LA CONTRATTUALIZZAZIONE A TERMINE



- Contratto standard:**
- Remunerazione €/MW/anno
 - **Obbligo fornitura** su mercati a pronti a **prezzo con cap**

MERCATI A PRONTI



- > Fornitura servizi
- - -> Prezzo di mercato (pronti) > Prezzo di mercato (asta)
- - -> Differenza tra Prezzo di mercato e cap (cap fino a 0?)

