



**REGIONE PUGLIA**  
**Comune di Ascoli Satriano (FG)**



PIATTAFORMA PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA CON PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE TRAMITE POWER TO GAS (PTG) DA FONTE RINNOVABILE SOLARE AGROVOLTAICO, SISTEMA DI ACCUMULO (BESS) E RETE DI CONNESSIONE ALLA STAZIONE ELETTRICA AT DI DELICETO

LOCALITA CAPO D'ACQUA - ASCOLI SATRIANO (FG)

OGGETTO DELL'ELABORATO

Relazione Tecnica Sistema di Accumulo

CODICE GENERALE ELABORATO

CODICE OPERA

STATO

data

AREA PROGETTO

N° ELABORATO

VERSIONE

EDIS-RT\_GEN\_BESS\_INT

Definitivo

FEB24

PTO

RT GEN 01

0

IDENTIFICAZIONE FILE: EDIS-RT\_GEN\_BESS\_INT.doc

versione

data

Oggetto

0

22/02/2024

1° emissione

1

2

REDATTO:

**Arch. Giuseppe Perfetto - Studio Solar design**  
Via Rivarolo - Beltrama, 50 - 10040 Lombardore (TO)

Ordine Architetti della Provincia di Torino n. 5437 - PI 08360730017  
Tel ++39 339 4030592 - PEC [g.perfetto@architettitorinopec.it](mailto:g.perfetto@architettitorinopec.it)



PROPONENTE:

**EDIS S.r.l.**

Viale Nino Bixio, 6 – 12051 – ALBA (CN)

Partita IVA/CF: 03491720045



# Relazione Tecnica Sistema di Accumulo

PIATTAFORMA PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA CON PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE TRAMITE POWER TO GAS (PTG) DA FONTE RINNOVABILE SOLARE AGRO-VOLTAICA E SISTEMA DI ACCUMULO (BESS) E RETE DI CONNESSIONE ALLA STAZIONE ELETTRICA AT DI DELICETO PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 115 MW

LOCALITA CAPO D'ACQUA - ASCOLI SATRIANO (FG)



## Sommario

1. Premessa .....	5
2. Comparazione tecnologie.....	5
3. Soluzione di progetto .....	10
4. Decadimento BESS.....	12
5. Procedure di dismissione.....	13
6. Rischi in fase di esercizio .....	14
7. Prevenzione dei rischi.....	15
8. Analisi tecnico-economica.....	16
9. Schema di esercizio del BESS.....	17

Gruppo di lavoro	PIATTAFORMA PER LA TRANSIZIONE ENERGETICA ASCOLI SATRIANO
Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro
Ing. Marco Cerchio	CEO EDIS Srl - Direzione Tecnica
Ing. Davide Pascarella	EDIS - Project Office - Coordinamento tecnico
Dott. Pietro Caselli	EDIS - Project Office - Coordinamento economico finanziario
Dott. Michele Chieffi	General Contractor Sviluppo - Coordinamento progetto di Sviluppo
Per. Ind. Alessandro Continanza	Progettazione Elettrica
Studio Projema	Coordinamento Progettazione Connessione RTN
Ing. Francesco Paolo Lamacchia	Progettazione Civile e Geotecnica
Arch. Giuseppe Perfetto - Studio Solardesign	Coordinamento SIA
Prof.ssa Guglielmina Mutani - DENERG	Prof. Area Pianificazione - Politecnico di Torino
Teresa Spallone - Tesista	Tesista Area Pianificazione - Politecnico di Torino
Ing. Silvio Galtieri	Acustico
Ing. Maria Di Modugno	Ingegneria Idraulica ed Ambientale
Arch. Giuseppe Perfetto	Esperto Pianificazione Energetico-Ambientale
Dott. Geologo Pietro Pepe – Studio APOGEO	Geologo - Indagini Geotecniche
Prof Giuseppe Ferrara	Agronomo - Università di Bari
Prof Maurizio Boselli	Agronomo - Università di Verona
Ing. Francesco Paolo Lamacchia	Ingegneria Strutturale e Civile
Alessandro Continanza – Studio Projema	Ingegneria Elettrica
Alessandro Continanza - Studio Projema	Progetto di Connessione alla R.T.N.
Studio APOGEO	Rilievo topografico
Angelo Ippolito	Imprenditore Agricolo

## 1. Premessa

La relazione che segue, è volta a dare risposta a quanto richiesto dal MASE, nella richiesta di integrazioni del 10/10/2023, specificatamente alle domande relative ai punti 11.1,11.4, 11.5, 11.6,11.7, 11.8.

Il progetto in esame prevede l'installazione di un sistema di accumulo elettrochimico (BESS), della potenza di 25MW, con una capacità di 55 MWh (50MWh utili), associato ad un impianto agrivoltaico da 89MW e un impianto di elettrolisi da 20MW per la produzione di idrogeno verde.

L'impianto BESS sorgerà in prossimità dei sistemi sopra menzionati, sulla par. 93 del foglio 52 Ascoli Satriano.

L'impianto di Storage verrà realizzato in area dedicata nei pressi della cabina di consegna MT/MT e della piattaforma Power to gas. Si rimanda all'elaborato grafico di riferimento ED-EG-Tav\_8.pdf

I dispositivi containerizzati verranno disposti su platea in cls e cablati su Quadro Elettrico dedicato BT/MT.

Dato il forte cambiamento che sta interessando la rete di distribuzione nazionale e dell'area di progetto, in virtù del forte incremento di FER, intrinsecamente non programmabili, il sistema di stoccaggio in esame ricopre, limitatamente alla sua capacità, un ruolo importante per la regolazione ai fini della stabilità della rete di AT stessa. Inoltre è da evidenziare come un sistema di stoccaggio elettrochimico agli ioni di litio, sia perfettamente idoneo per trasferire significative quantità di energia, dalle ore di massima produzione (quando plausibilmente potrebbe essere in eccesso rispetto alle richieste degli utenti), alle ore ove la produzione da FV viene a mancare, effettuando il cosiddetto arbitraggio.

## 2. Comparazione tecnologie

Al fine di conservare ed immagazzinare energia elettrica, il metodo più comune, e tra i più efficienti, è quello dello stoccaggio con un accumulatore elettrochimico. Attraverso tale sistema è possibile dunque usufruire di energia elettrica immagazzinata in momenti diversi rispetto a quando è stata prodotta.

L'accumulatore elettrochimico consiste in una struttura composta da due semi-celle separate da un setto poroso, ciascuna delle quali contiene al proprio interno un elettrodo (anodo e catodo) metallico immerso in soluzione elettrolitica (che tipicamente contiene ioni dello stesso metallo).

Per svolgere tale attività esistono diverse tecnologie principali, dalle quali derivano tutte le altre sotto-categorie:

### Batterie con elettrolita acquoso;

Le batterie con elettrolita acquoso, sono anche note come VLA e VRLA, e comunemente hanno come elemento caratterizzante la presenza di elettrodi al piombo immersi in una soluzione acquosa di acido solforico (piombo acido). Esiste una variante più moderna ed efficiente dove all'elettrolita acquoso è sostituito un gel di apposite caratteristiche.

Questo tipo di batteria è caratterizzata per la generazione di gas di scarto, idrogeno e ossigeno, che vengono dispersi nell'ambiente circostante.

Queste batterie sono largamente diffuse grazie anche alle soluzioni tecnologiche adottate ormai ben consolidate, ma presentano scarsa densità energetica in termini di peso e volume e stanno rapidamente perdendo quote di mercato in quasi tutte le applicazioni rispetto alle tecnologie basate sul litio.

### Batterie ad alta temperatura:

Le batterie ad alta temperatura sono caratterizzate da una temperatura di esercizio particolarmente elevata, nell'intorno di 300°C.

Tale temperatura risulta necessaria per mantenere allo stato liquido gli elettroliti, altrimenti solidi (tipicamente sono dei sali), in modo che assumano maggiore conducibilità, rendimento e densità energetica.

Il raggiungimento ed il mantenimento della temperatura di esercizio costituisce un limite in quanto richiede grandi quantità di energia.

### Batterie a circolazione di elettrolita:

Questo tipo di batteria è caratterizzata per un funzionamento basato sullo scambio ionico tra due elettroliti, separati da una membrana. Il tale configurazione permette il passaggio degli ioni di idrogeno, che in tal modo alimentano la reazione redox.

Con questo particolare funzionamento è quindi possibile avere un infinito numero di cicli di carica e scarica, senza perdita di prestazioni.

Si tratta però di una tecnologia ancora in fase sperimentale.

### Batterie agli ioni di litio.

Le batterie agli ioni di litio sono attualmente la tecnologia predominante e con il miglior rapporto di costo/efficienza/densità energetica per l'accumulo di grandi quantità di energia.

Si tratta del sistema di accumulo più modulabile e scalabile, con la maggiore potenza specifica (per unità di volume e di peso), caratteristiche fondamentali per i compiti che tali batterie, nel nostro sistema, saranno chiamate a fare.

L'alto rendimento energetico, superiore al 90%, permette inoltre la minima dispersione di energia elettrica.

Queste, insieme a tutte le altre caratteristiche intrinseche di queste batterie, le rende preferibili rispetto alle tecnologie precedentemente presentate.

Tra i diversi tipi di batterie agli ioni di litio, che si suddividono tendenzialmente in LFP (Litio-Ferro-Fosfato) ed NMC (Nichel-Manganese-Cobalto): per il progetto in esame è stata selezionata la tecnologia LFP.

Tale tecnologia LFP gode infatti di un maggior numero di cicli operativi rispetto a quella NMC, ed un minor costo di installazione, dovuto alla composizione con materiali di più facile reperimento.

Viene quindi proposta una comparazione qualitativa e quantitativa tra le diverse tecnologie, premettendo che per quelle basate sul litio si registra negli ultimi anni un progresso tecnologico significativo, con continuo aumento delle prestazioni e consistente riduzione dei costi all'aumentare dei volumi di produzione secondo una curva di apprendimento.

*Tabella 1: comparazione qualitativa tecnologie*

TECNOLOGIA	VANTAGGI	SVANTAGGI
<b>Batterie con elettrolita acquoso o gel (piombo acido,</b>	Buona efficienza energetica, oltre il 70%	Ricombinazione dei gas. I gas prodotti si ricombinano completamente soltanto fino a un certo valore della corrente di

<p>nicel/cadmio, nicel/metal idruro)</p>	<p>Ampia gamma nelle temperature di utilizzo, da -40°C a +60°C</p> <p>Esistenza di tipologie con ridotto o assente bisogno di manutenzione (gel)</p> <p>Basso costo</p>	<p>ricarica, oltre il quale parte di essi viene evacuata nell'ambiente esterno attraverso le valvole di sicurezza, provocando un graduale consumo dell'elettrolita ed un accelerato degradamento della batteria.</p> <p>Autoscarica: essa è dovuta a varie reazioni parassite che consumano lentamente le cariche presenti e portano nel tempo alla scarica completa della batteria. In condizioni normali l'autoscarica determina una riduzione della carica della batteria pari a circa il 2-3% al mese.</p> <p>Peso elevato, proprio per il materiale con cui sono fabbricate (piombo)</p> <p>Bassa densità energetica (30-40 Wh/kg)</p> <p>Alto contenuto di piombo, arsenico e antimonio, molto pericolosi per la salute</p>
<p>Batterie ad alta temperatura</p>	<p>Alta energia specifica</p> <p>Elevati rendimenti</p> <p>Componentistica completamente riciclabile</p>	<p>Applicabile solo in particolari ambiti</p> <p>Problemi per mantenere la T</p> <p>Consumo energetico</p> <p>Alte temperature di funzionamento</p>
<p>Batterie a circolazione di elettrolita</p>	<p>Durata elevata</p> <p>Basso costo di manutenzione</p> <p>Numero indefinito di cicli di carica/scarica</p>	<p>Livello di maturità tecnologica non ancora compatibile con le applicazioni previste per il progetto</p> <p>Problemi per mantenere la T</p> <p>Ingombri notevoli</p> <p>Rapporto Energia / Volume relativamente basso</p>

Batterie agli ioni di litio	<p>Longevità</p> <p>Buona densità energetica (eccellente per quelle a stato solido)</p> <p>Bassi costi di produzione installazione (costi in rapida diminuzione con l'aumentare dei volumi di produzione)</p> <p>Bassi costi di manutenzione</p> <p>Modularità, scalabilità</p> <p>Alte correnti di carica e scarica</p> <p>Tecnologia altamente diffusa</p>	<p>Suscettibilità alle escursioni termiche</p> <p>Limiti di utilizzo in fase di scarica</p>
-----------------------------	--	---

Tabella 2: comparazione quantitativa tecnologie

	Densità energetica	Cicli di carica/scarica	Manutenzione	Costi d'installazione	Costi d'esercizio (Operation & Maintenance)
Elettrolita acquoso	35 Wh/kg	2.000	Poca manutenzione	300€/kWh piombo acido	15€/kWh fissi + 0,087 €/kWh variabili
Alta temperatura		3.000	ND	500€/kWh	10€/kWh fissi + 0,031 €/KWh variabili
Circolazione di elettrolita	30 Wh/kg	>10.000	Poca manutenzione	800€/kWh	15€/kWh fissi + 0,013€/KWh variabili



Ioni di litio	350 Wh/kg	5.000	No manutenzione	500€/kWh	10€/kWh fissi + 0,023 €/kWh variabili
---------------	-----------	-------	-----------------	----------	---

Per completezza, si riporta anche un grafico esemplificativo dove si confrontano non solo i sistemi elettrochimici di accumulo tra di loro, ma anche con altre tecnologie disponibili per capacità di scarica e per capacità di accumulo (flywheel, CAES, pumped hydro, PTG-H2 e PTG-CH4), tenendo sempre presente che l'evoluzione tecnologica è costante e nuove tecnologie sono continuamente portate alla ribalta (ad esempio sistemi di accumulo gravitazionali)

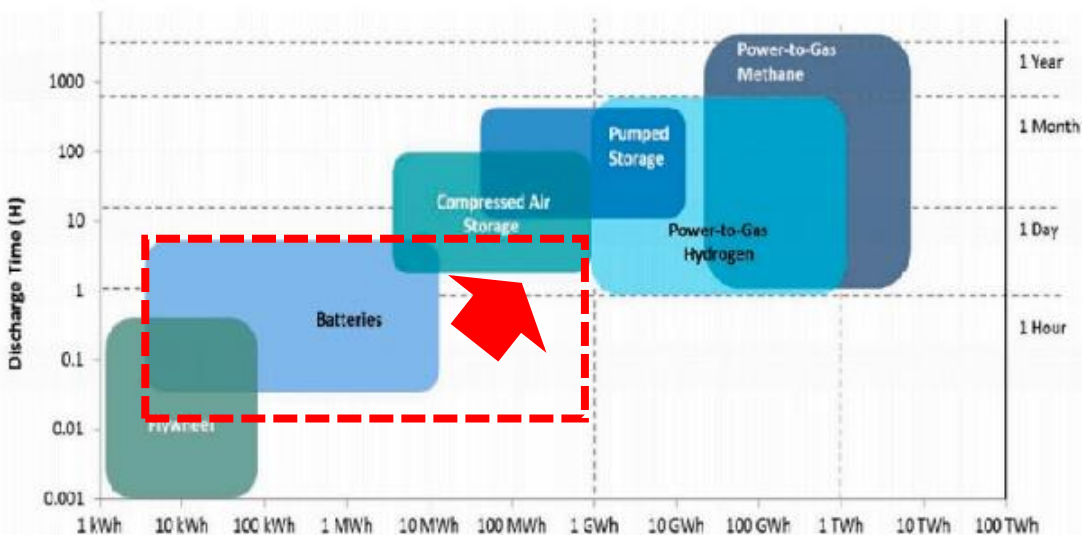


Figura 1 - Comparazione tecnologie bess per taglia impianto

Il grafico suggerisce la tecnologia da adottare in base alla taglia dell'impianto ed i tempi di carica / scarica richiesti.

Secondo l'esperienza maturata nel campo e considerato anche l'andamento del mercato, è plausibile l'estensione del comparto BESS, come tecnologia più adatta, anche su taglie maggiori di 100 MWh (fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-discharge-time-capacity-of-energy-storage-technologies\\_fig1\\_362934352](https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-discharge-time-capacity-of-energy-storage-technologies_fig1_362934352) ).

A conferma dell'affermazione di cui sopra si riportano di seguito alcuni impianti, già esistenti, che adottano appunto il sistema BESS con tecnologie agli ioni di litio per potenze / capacità notevoli, a testimonianza del fatto che dette tecnologie sono in rapida evoluzione / espansione e stanno dominando il mercato:

- Moss Landing, Vistra Energy, California US, 400 MW/1600 MWh
- Manatee battery energy storage center, Florida power and light, Florida US, 409MW/900MWh
- Victorian Big Battery, Neoen, Near Geelong Australia, 300MW/450MWh
- McCoy solar energy project, NextEra energy resources, California US, 230MW/920MWh
- Elkhorn battery, California US, Pacific gas and electric company, 182.5MW/730MWh

### 3. Soluzione di progetto

In virtù di quanto emerso ed evidenziato nei paragrafi precedenti, la scelta tecnologica è quella delle batterie agli ioni di litio con tecnologia LFP, che sono quelle utilizzate da larga parte dei costruttori di sistemi BESS per utilizzi stazionari.

La configurazione indicata in fase autorizzativa, prevede l'installazione di 15 container suddivisi in 5 gruppi da 3 raffreddati a liquido, con una capacità complessiva di 55 MWh (50MWh utili). I Gruppi da tre sono composti da due container da 40 piedi per il sistema di accumulo vero e proprio ed uno sempre da 20/40 piedi per il PCS (Power Conversion System).

Tali container saranno posizionati su degli autobloccanti di tipo drenante su di un'area di circa 45x30m, al fine di ridurre al minimo la realizzazione di platee di fondazione in cls armato e quindi gli impatti sul suolo.

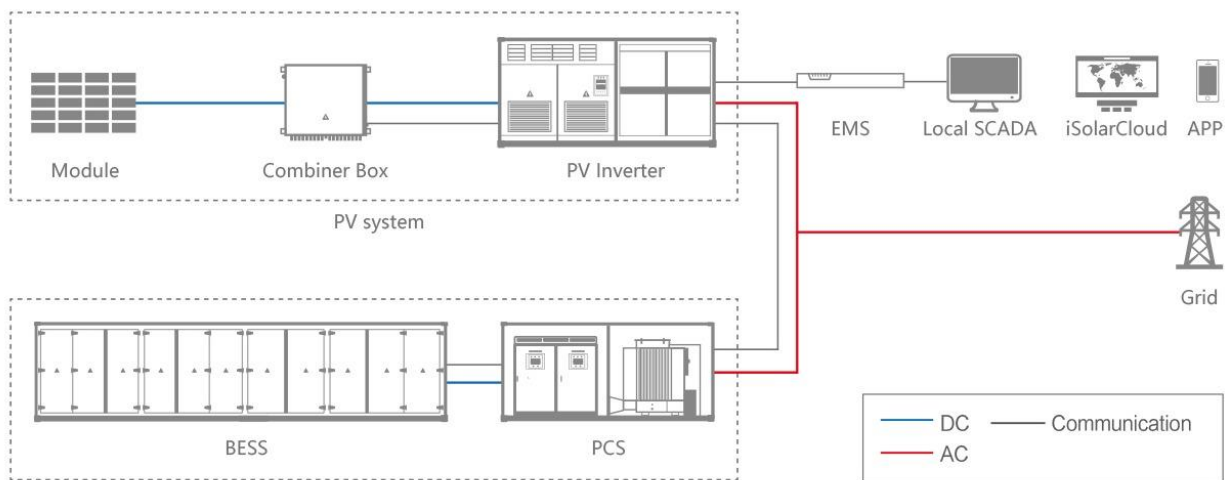
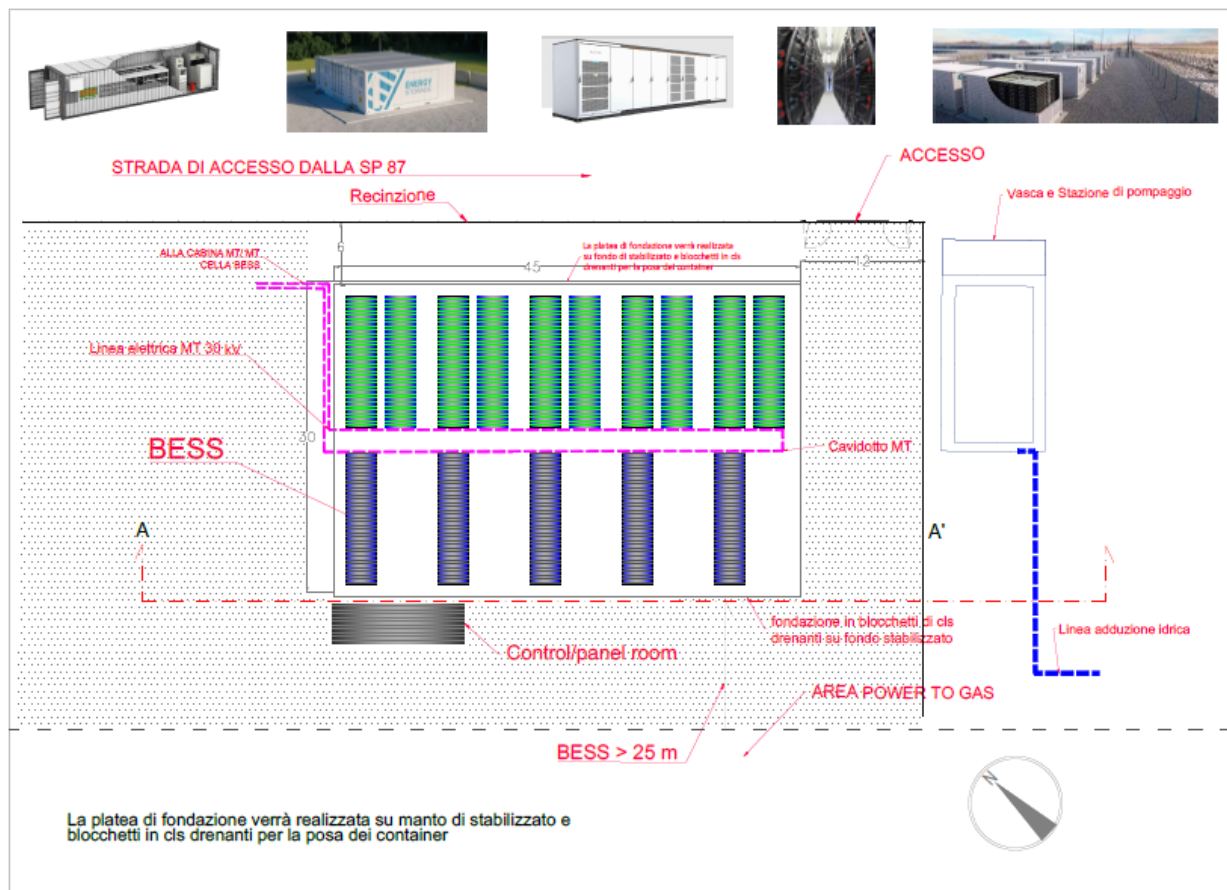


Figura 2-schema funzionamento BESS e PCS

La fig.1, mostra uno schema di principio tipo di un apparato BESS collegato ad un impianto fotovoltaico. In questo schema non sono rappresentati i diversi trasformatori di adattamento delle grandezze elettriche tra i diversi componenti. In questo caso, vi è una configurazione che mette in connessione diretta il generatore elettrico e lo stoccaggio, in modo che possa essere ottimizzata l'immissione in rete dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico.

Maggiori dettagli relativi alla configurazione, alle caratteristiche dell'impianto, alle aree impermeabilizzate in CLS e le altre opere propedeutiche all'installazione del sistema sono disponibili nella EG-BESS\_Tav\_8\_A1\_Rev\_00. Si riporta in fig. 2 per comodità uno stralcio della planimetria BESS.



Layout Impianto di storage - BESS - Scala 1:200

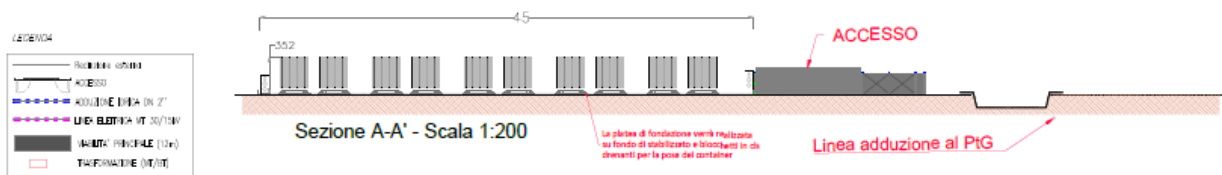


Figura 3 - Pianta e sezione BESS

## 4. Decadimento BESS

La modellazione del degradamento delle batterie a ioni di litio rappresenta una sfida significativa. Infatti, queste tecnologie introducono dinamiche tecniche complesse e paradigmi operativi innovativi, rendendo necessari nuovi e approfonditi metodi di valutazione. La questione è discussa approfonditamente in un recente articolo pubblicato su Nature Energy, intitolato “Energy storage solutions to decarbonize electricity through enhanced capacity expansion modelling” (2022).

Secondo gli autori, l'importanza dei BESS emerge contestualmente all'evoluzione dei servizi di trasmissione, resa necessaria dall'introduzione massiva di sistemi di generazione da fonti non rinnovabili, che può richiedere molti anni. In altre parole, il BESS diventa un elemento abilitante per i traguardi climatici a breve termine: può pertanto esser visto come una soluzione provvisoria. Come tale, lascia non totalmente risolte alcune domande di carattere tecnico, tra cui la previsione del suo stato di salute nel corso degli anni.

Per esempio, i BESS tendono a degradarsi maggiormente se sono sottoposti a frequenti e repentini cicli di scarica. Più in generale, il degradamento dipende dall'operazione della batteria, che varia a seconda della destinazione d'uso. Nel caso del revenue stacking, come lo si propone per questo progetto, è bene dedicare porzioni percentuali di carica separate a ciascun servizio ancillare che si vuole prestare, così come si deve dedicare una porzione fissata all'arbitraggio. In questo modo, è implementabile una “continuità temporale” nella gestione dei flussi entranti ed uscenti dal BESS. Come mostrato in Figura X.4 (riportata dal suddetto articolo), la continuità temporale è ottenibile semplicemente tramite la variabile che descrive lo stato di carica della batteria.

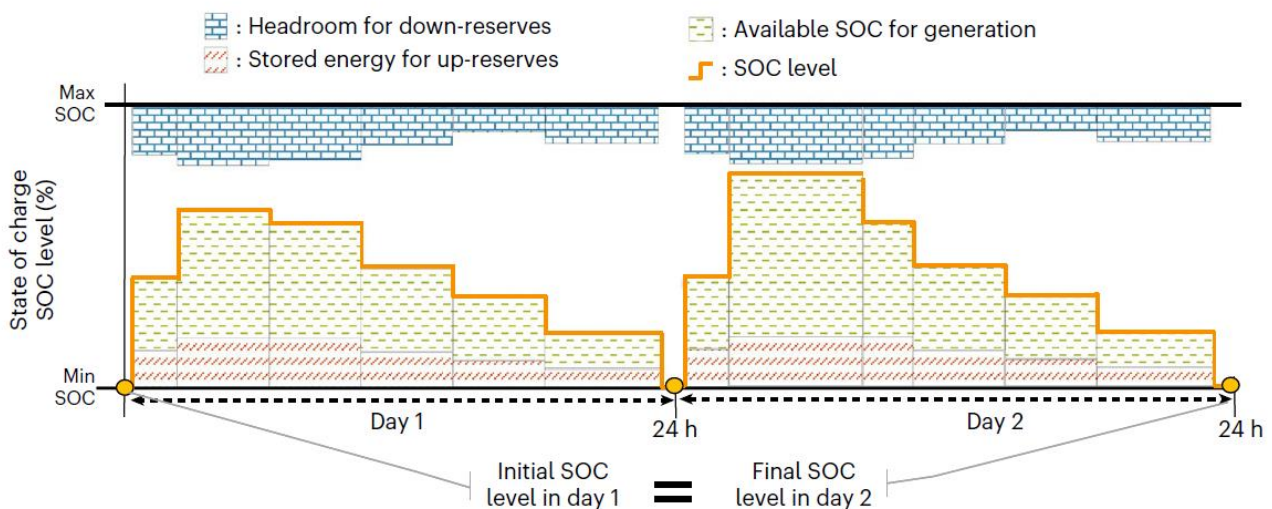


Figura 4: Illustrazione qualitativa del principio di “continuità temporale” nella gestione del BESS, da implementare al fine di salvaguardare l'accumulo dal degradamento.

Poiché il BESS può offrire numerosi servizi alla rete, diventa importante stimare i costi associati a tali servizi. Purtroppo, la normativa italiana, in continua evoluzione, non sempre consente di effettuare stime precise. Ricordiamo che la natura potenzialmente impulsiva di tali servizi può stressare notevolmente il BESS, causando degradamento.

Anche i dati meteorologici diventano cruciali per la modellazione del degradamento: il BESS è particolarmente sensibile agli impatti meteorologici sulle dinamiche di domanda e offerta di elettricità, rendendo fondamentali previsioni meteo di alta qualità. Inoltre, la considerazione di più anni meteorologici è essenziale per catturare la variabilità del degradamento.

Riassumendo, l'incertezza sugli sviluppi futuri crea un option value associato al ritardo degli investimenti, sottolineando quindi l'importanza di migliorare i metodi di valutazione, a livello globale.

Per provare comunque rispondere alla domanda in modo quantitativo si fa riferimento a dei delle informazioni scambiate con un potenziale fornitore del sistema BESS relativamente ad una curva di degrado di un sistema basato su celle LFP.

Tra le caratteristiche dei sistemi di accumulo elettrochimico, risulta essere quella relativa alla necessità di rispettare delle precise intensità in fase di carica e scarica, per non compromettere prematuramente la vita utile e l'integrità fisica delle stesse.

Inevitabilmente, i cicli di carica e scarica, anche compiuti secondo le indicazioni fornite dal fornitore, generano un decadimento delle prestazioni della macchina.

Un ulteriore fattore di decadimento sono le temperature di esercizio e l'irregolarità dei cicli di carica e scarica; intrinsecamente, con il passare del tempo, l'elettrolita tenderà ad aumentare la propria resistenza interna, generando quindi una minore efficienza ed una perdita di potenza specifica delle celle singole.

Da fonti bibliografiche e dalle schede tecniche fornite dai fornitori, è stata dedotta la curva di decadimento riportata in **fig.4**, che mostra la perdita di capacità delle batterie su una linea temporale (espressa in anni), durante la quale viene eseguito un ciclo di carica/scarica al giorno. Tale curva in realtà è desunta da informazioni relative a celle ormai obsolete e viene pertanto rappresentata in questo documento come riferimento di massima. Siccome la composizione chimica delle celle sta progredendo sensibilmente ed in tempi rapidi è presumibile che le celle disponibili in futuro ed i metodi di gestione elettrica delle stesse tramite i BMS (battery management system) ridurranno i fattori di degrado a vantaggio della durata nel tempo delle celle e delle loro prestazioni.

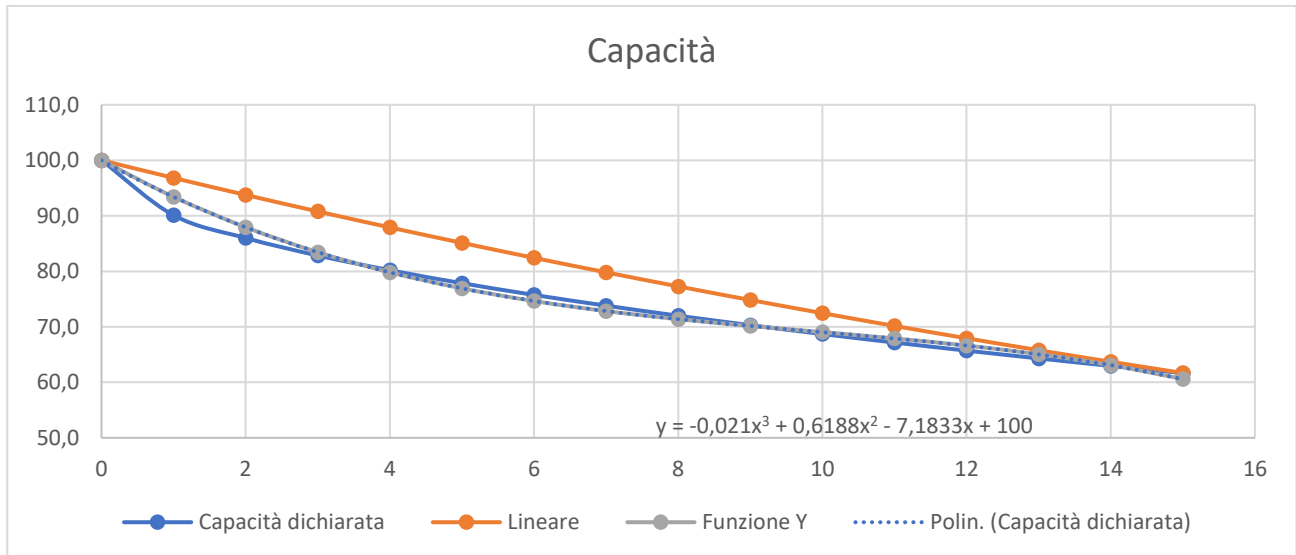


Figura 5 – grafico di decadimento capacità batterie agli ioni di litio

## 5. Procedure di dismissione

Per quanto riguarda le procedure di dismissione degli impianti di stoccaggio elettrochimico, si fa riferimento alle seguenti norme:

- Il decreto legislativo 3 settembre 2020, n. 118 che ha recepito la direttiva 2018/849/UE sui rifiuti di pile e accumulatori e sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE),

modificando i decreti legislativi 188/2008 e 49/2014;

- Il decreto legislativo 3 settembre 2020, n. 121 ha recepito la direttiva 2018/850/UE sulle discariche di rifiuti modificando il dlgs 36/2003

Resta comunque inteso che, al momento effettivo di dismissione dell'impianto, verranno eseguite in conformità alle leggi nazionali ed internazionali vigenti al momento.

Si segnala infine che sono già operativi sia sul territorio nazionale che all'estero dei centri specializzati al recupero dei materiali dalle batterie (di seguito alcuni link) e sono correntemente riportate notizie di stampa relative alla costruzione di ulteriori grandi centri dedicati al recupero / riciclo / smaltimento.

<https://www.wired.it/article/batterie-litio-enel-x-midac-riciclo-italia/>

<https://www.stenarecycling.com/it/cosa-offriamo/riciclaggio-dei-materiali/batterie/>

<https://www.re-bat.it/costi-smaltimento-batterie/>

## 6. Rischi in fase di esercizio

Durante la fase normale di esercizio, le batterie agli ioni di litio di tipo LFP non presentano problemi di inquinamento ambientale.

In questo tipo di batterie, gli elementi che presentano un potenziale rischio per ambiente e salute sono completamente sigillati e protetti da eventuali interazioni con l'ambiente circostante e con le persone.

Risulta comunque potenzialmente pericoloso l'elettrolita liquido delle stesse, per le sue proprietà infiammabili, irritanti e corrosive.

Relativamente alle batterie si possono quindi catalogare i seguenti tipi di rischio:

1. Termico: data l'elevata densità energetica delle batterie, qualora venisse rilasciata in modo incontrollato, si verificherebbe un notevole aumento di temperatura, che potrebbe innescare un incendio dovuto al *thermal runaway*, particolarmente complesso da gestire;
2. Elettrico: dovuto alla quantità di energia immagazzinata dalle batterie, che se sprigionata incontrollatamente può generare rischi di folgorazione nei dintorni;
3. Energia cinetica: in caso di malfunzionamenti gravi, possono verificarsi esplosioni in grado di proiettare frammenti nell'intorno
4. Chimico: l'elettrolita liquido contenuto all'interno delle batterie, in caso di fuoriuscita, può dare luogo ad incendi, corrosioni ed emissione di gas tossici.

Per quanto è dato conoscere, in merito alle emissioni di vapori, si prevede che queste avvengano esclusivamente in casi d'emergenza (incendio) e che si possano quantificare in 20-200 mg/Wh di HF.

In virtù dei numerosi sistemi di prevenzione e protezione attiva e passiva dei moduli BESS e della distanza tra i diversi container si ritiene sia improbabile un incendio diffuso che coinvolga tutta la

sezione di accumulo.

## 7. Prevenzione dei rischi

Al fine di prevenire e mitigare gli effetti di potenziali incidenti, vengo applicate delle protezioni sia attive che passive, e sistemi di monitoraggio in grado di intervenire prontamente in caso di identificazione di situazioni di malfunzionamento.

Le batterie dispongono di un sistema FFS (Fire Fighting System) integrato, in grado di rilevare la presenza di incendi, intervenendo autonomamente con estintori e, se necessario, con l'allagamento del container. All'interno dei container vi sono infatti dei dispositivi di spegnimento (sprinkler) collegati a dei sensori di rilevamento fumi e temperatura, con funzionamento automatico.

I container soddisfano il livello di protezione IP55: la loro capacità di resistenza al fuoco è incrementata da riempimenti ignifughi tra le pareti e le partizioni per fornire un ulteriore strato di isolamento antincendio.

Per quanto riguarda la dispersione nell'ambiente di liquidi inquinanti, le batterie dispongono di specifici apparati di canalizzazione e stoccaggio degli stessi, oltre a protezioni passive contro la loro dispersione.

Il fluido estinguente sarà un gas caratterizzato da limitata tossicità per le persone e massima sostenibilità ambientale, contenuto in bombole pressurizzate con azoto (tipicamente a 25 bar). Sarà di tipo fluoro-chetone 3M NOVEC 1230 o equivalente.

La distribuzione è effettuata ad ugelli, e realizzerà l'estinzione entro 10 s; la centrale di rilevazione e automazione del sistema di estinzione e le bombole saranno installate nel container; esternamente ai container saranno installati avvisatori visivi e acustici degli stati d'allarme, e sistema a chiave di esclusione dell'estinzione. Saranno inoltre presenti pulsanti di sgancio e di allarme e specifiche procedure per la gestione delle eventuali situazioni di malfunzionamento in modo da escludere limitazioni alle attuali condizioni di sicurezza della centrale. Nei locali elettrici non dotati di sistema di estinzione automatico (cabina elettrica) saranno previsti estintori a CO<sub>2</sub>.

All'interno del campo di Storage saranno posizionati n. 10 estintori portatili a CO<sub>2</sub> per interventi minori o di primo intervento. La gestione degli apparecchi che contengono gas ad effetto serra sarà conforme alle normative F-Gas vigenti.

Per quanto riguarda l'emissione in atmosfera di gas inquinanti, derivanti da situazioni straordinarie, i container dispongono di sistemi di rilevamento fumi e monitoraggio dell'aria, che possono comandare l'attivazione degli aspiratori che stoccheranno in appositi tanks. In situazioni di normale esercizio, non si verificano emissioni di gas in atmosfera grazie alla tecnologia di fabbricazione delle celle LFP (Litio Ferro Fosfato).

È presente inoltre un sistema di raffreddamento a liquido in grado di mantenere la temperatura delle celle in condizioni ottimali.

Il sistema dispone inoltre di barriere termiche ed un adeguato distanziamento tra i diversi container contenenti le batterie, al fine di evitare la propagazione delle fiamme tra gli stessi, e barriere elettriche, le quali intervengono in caso di anomalie elettriche, disabilitando la connessione elettrica tra i dispositivi.

Per gli stoccaggi commerciali modulari, si ritiene che l'installazione all'aperto dovrebbe esser fatta valutando il rischio di propagazione nello scenario di perdita per incendio di uno dei sistemi, usando eventualmente lo specifico capitolo S3 Del DM 3/8/2015 in specifico il paragrafo "metodi per determinare la distanza di separazione".

Si ritiene utile riportare quanto previsto da FM Global (compagnia di mutua assicurazione americana):

- collocare l'ESS al di fuori ed a distanza da edifici o apparecchi critici;
- fornire una separazione minima dello spazio tra gli involucri ESS ed edifici o apparecchiature critiche;
- fornire una distanza minima tra gli armadi ESS di 6 m;
- se la distanza tra gli armadi ESS è inferiore a 6 m fornire una barriera termica, valutata almeno in 1 ora, all'interno o all'esterno dell'involucro.

Vedere per un esempio di adeguata barriera termica tra involucri adiacenti; laddove siano previste aperture di ventilazione o altri attraversamenti, assicurarsi che siano disposte e diretti lontano dalle attrezzature e dagli edifici circostanti. (attraversamenti di cavi elettrici, porte, unità HVAC, ecc.);

- se un sistema ESS è installato all'interno di un edificio, collocare questi sistemi in un ambiente chiuso ed accessibile per operazioni antincendio manuali;
- le superfici di separazione di tale ambiente, pavimenti, pareti e soffitto devono essere classificati per la resistenza al fuoco per almeno 1 ora;
- Le aperture di tale ambiente devono possedere caratteristiche di resistenza al fuoco congruenti al punto precedente, per almeno 1 ora;

Identica caratteristica è richiesta agli attraversamenti di cablaggi.

Ogni maggiore dettaglio rispetto ai sopra citati sistemi, è disponibile nella documentazione tecnica fornita dal produttore delle batterie e dalle valutazioni effettuate da VVFF.

## 8. Analisi tecnico-economica

Riprendendo quanto analizzato nel paragrafo 4, sono state effettuate delle analisi tecnico economiche relative al sistema BESS. Indipendentemente dai servizi che tale sistema sarà chiamato ad effettuare, si prevede di impegnare l'80% della capacità nominale (circa 40 MWh), in modo da garantire al gestore di rete nazionale la prestazione in capacità richiesta (in base alle indicazioni date dal fornitore) per le batterie e in tal modo prolungarne la vita utile. Dato il decadimento inevitabile del sistema, è previsto che il BESS andrà plausibilmente sostituito indicativamente entro il 15° anno dall'entrata in esercizio. Per mantenere comunque le prestazioni previste, potranno eventualmente essere effettuati dei revamping parziali dei componenti, indicativamente a partire dal 7° anno. Questi interventi sono però considerati di manutenzione ordinaria e contabilizzati come OPEX e non capitalizzati.

L'importo stimato per la prima installazione è di circa €12M€, mentre si prevede un esborso complessivo, entro il 15° anno, pari a circa l'80% rispetto all'investimento iniziale, ovvero 9,6M€ circa.

Tale riduzione (plausibilmente molto conservativa) è stimata sulla base dell'andamento storico del mercato delle batterie, anche se risulta molto complesso fare previsioni a così lunga scadenza temporale.



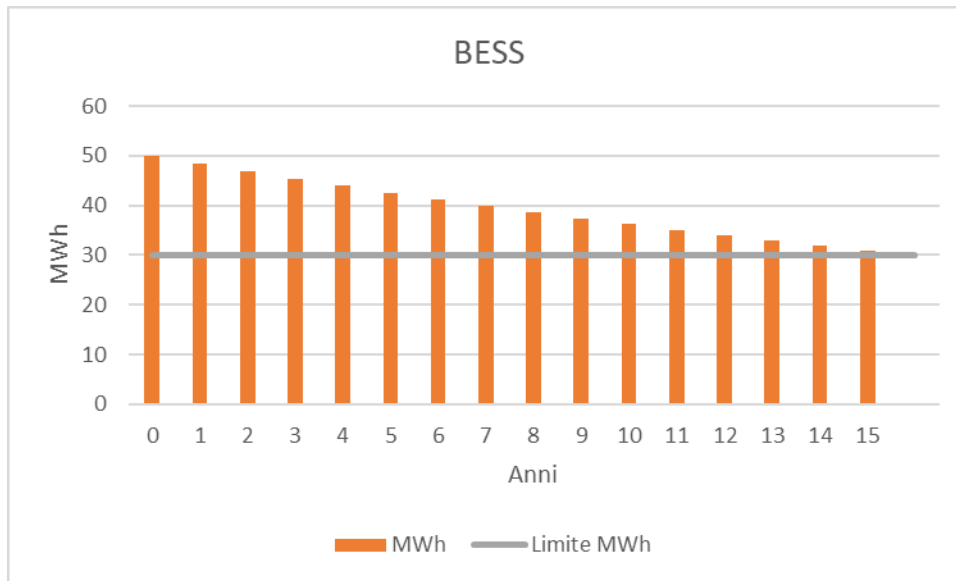


Figura 6 – Decadimento atteso del BESS negli anni

## 9. Schema di esercizio del BESS

Una esemplificazione dei flussi energetici del sistema nel suo complesso è riportata nella figura che segue.

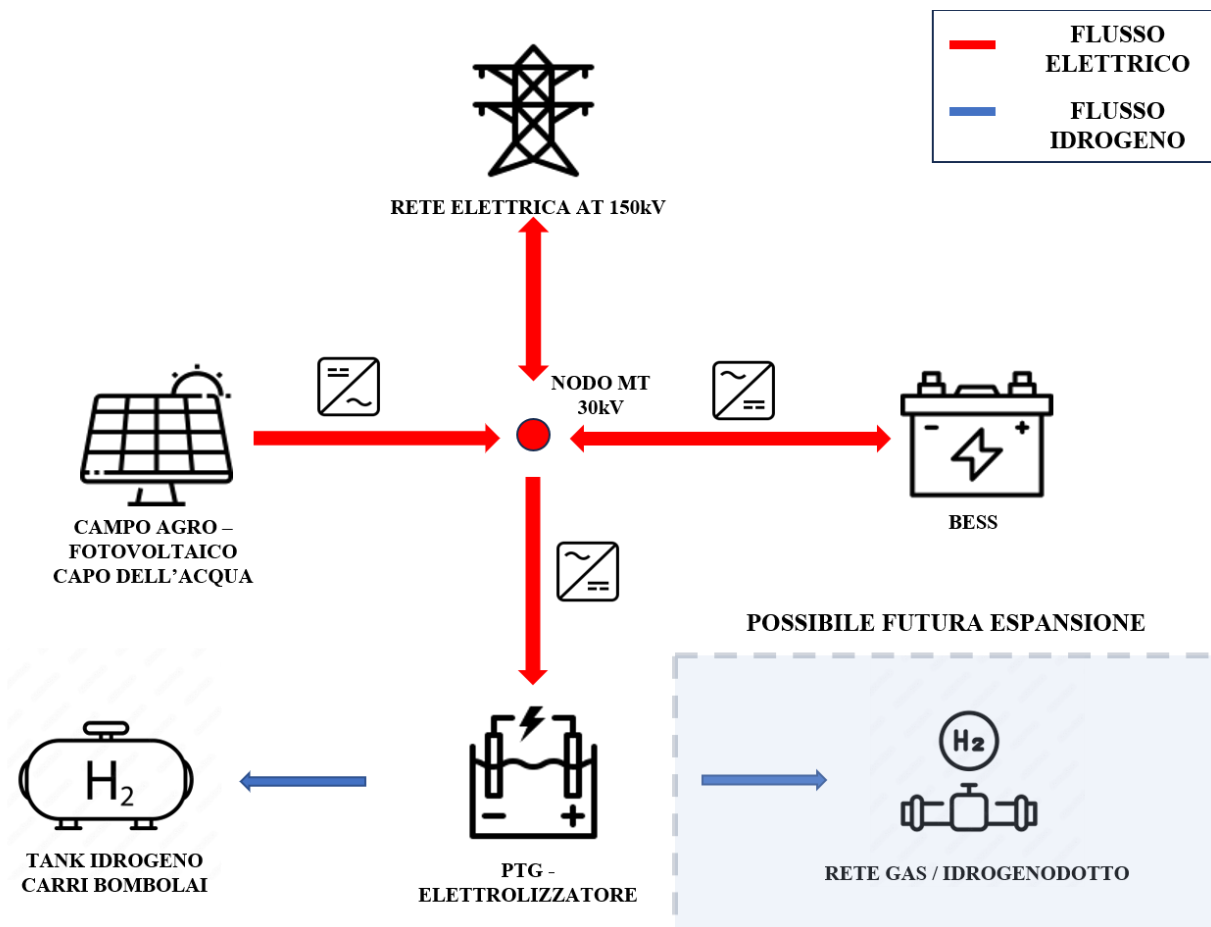


Figure X.1: Schema di produzione complessivo dell'impianto. In questa sezione consideriamo la parte elettrica (in rosso) ed in particolare l'esercizio del sistema di accumulo elettrochimico (BESS in figura).

Come anticipato nel documento principale, la proposta progettuale riguarda una rete energetica ibrida, ovvero un sistema multigenerativo caratterizzato dalla presenza di due vettori energetici: elettricità ed idrogeno. Sebbene anche l'idrogeno possa essere utilizzato, in linea di principio, come forma di accumulo energetico (e poi riconvertito in elettricità tramite un'ipotetica cella combustibile), tale soluzione risulta decisamente inefficiente. Al contrario, l'impiego di un sistema elettrochimico (BESS) a ioni di litio costituisce una soluzione decisamente efficiente ed adatta a più esigenze. Nello specifico, se ne prevede l'utilizzo sia come strumento di arbitraggio sui mercati elettrici, che per effettuare servizi ancillari di rete, che eventualmente per alimentare l'elettrolizzatore.

Nella figura sopra, il sistema BESS comunica con tutta la porzione elettrica dell'impianto tramite un nodo a Media Tensione da 30 kV. Sebbene tale interconnessione non presenti complicazioni da un punto di vista realizzativo, meno banale è il problema della gestione ottimale del flusso elettrico entrante ed uscente nel e dal sistema di accumulo. In altre parole, serve (ed è in corso di sviluppo) un sistema automatico che, ora per ora, ne determini il comportamento finanziariamente più conveniente, senza trascurare i vincoli tecnici atti a preservare ove possibile la prestazione e la durata dei diversi componenti ed in particolare del BESS.

Si tratta di un problema di ottimizzazione avente come obiettivo la massimizzazione dei ricavi, soggetto a vincoli tecnici di rete e/o di altra natura, come ad esempio la produzione di un quantitativo minimo di idrogeno durante le ore notturne che non preveda l'acquisto di energia dalla rete, la massima scarica del BESS etc. La risoluzione oraria deriva dalla discretizzazione dei mercati elettrici italiani, anch'essa oraria sia per i mercati del GME, che per il Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD) di Terna. Di seguito forniamo una descrizione qualitativa del sistema automatico deputato a risolvere tale problema, che è correntemente in fase di sviluppo tramite una collaborazione con il Dipartimento di Energia "Galileo Ferraris" del Politecnico di Torino.

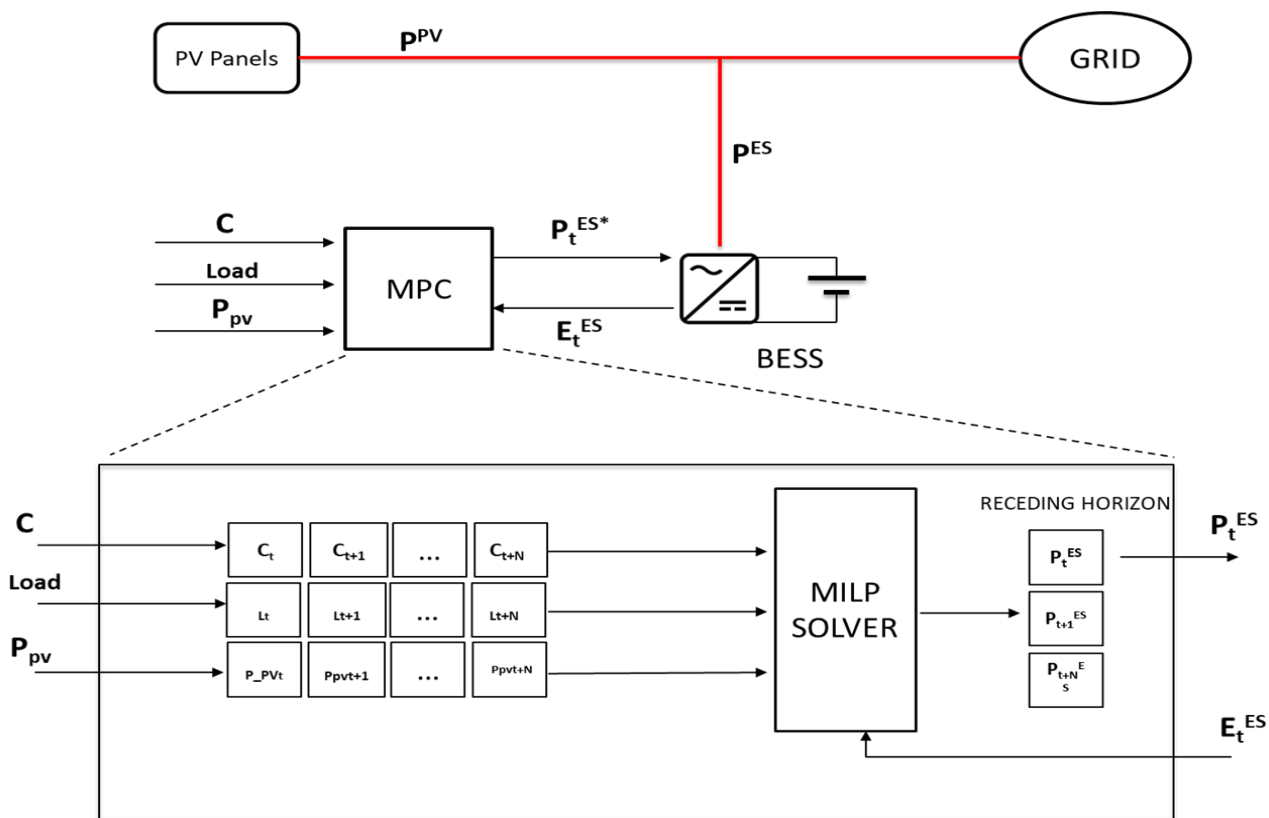


Figure X.2: Diagramma schematico che illustra il sistema Model Predictive Control (MPC) deputato alla gestione oraria dell'impianto fotovoltaico abbinato al sistema di accumulo BESS. Lo stesso sistema permette di ottimizzare congiuntamente il comportamento del sistema PTG, qui omesso per esigenza di semplificazione.

Simboli	Definizioni
$C$	Prezzi elettricità
$P_t^{PV}$	Potenza fotovoltaico
$E_t^{ES}$	Stato di carica BESS
$P_t^{ES*}$	Segnale di controllo ottimo
$p^{ES}$	Potenza batteria

Come mostrato in Figura X.2, si tratta di un sistema cosiddetto Model Predictive Control (MPC), ovvero sistema di controllo basato su un modello predittivo. Infatti, il calcolo dei flussi energetici ottimali ora per ora deve basarsi su previsioni delle variabili ambientali (produzione fotovoltaica, carico elettrico e prezzo dell'energia, qualora necessario). Il core del sistema MPC è un'astrazione matematica dell'impianto, basato su equazioni lineari a tratti. Tale rappresentazione consente di utilizzare, a ciascuna ora  $t$ , un algoritmo di tipo Mixed Integer Linear Programming (MILP) che massimizza i ricavi attesi e determina la quantità di energia elettrica che entra od esce dal sistema di accumulo elettrochimico. Data la risoluzione oraria della rappresentazione, il controllo ottimale del sistema può essere letto come un segnale di potenza medio. Le previsioni delle variabili ambientali sono determinabili con metodi statistici consolidati (nessun metodo basato sull'intelligenza artificiale), anch'essi studiati approfonditamente nell'ambito della collaborazione con il Politecnico di Torino. Quest'approccio è anche detto "receding horizon", ovvero un approccio di controllo in cui le decisioni vengono prese considerando un orizzonte temporale futuro che si "allontana" man mano che il tempo passa. Il termine "orizzonte" si riferisce al periodo di tempo su cui si basano le decisioni del sistema. L'approccio prevede che il sistema ricalcoli le decisioni in modo iterativo, adattandole continuamente sulla base delle informazioni più recenti disponibili. Nel modello proposto, l'orizzonte di ottimizzazione può variare da ventiquattro a centosessantotto ore (una settimana). Questo consente al sistema di adattarsi dinamicamente alle variazioni delle condizioni e di ottimizzare le sue azioni in modo più flessibile rispetto a un approccio statico a orizzonte fisso. Una rappresentazione schematica del "receding horizon" è disponibile in Fig. X.3.

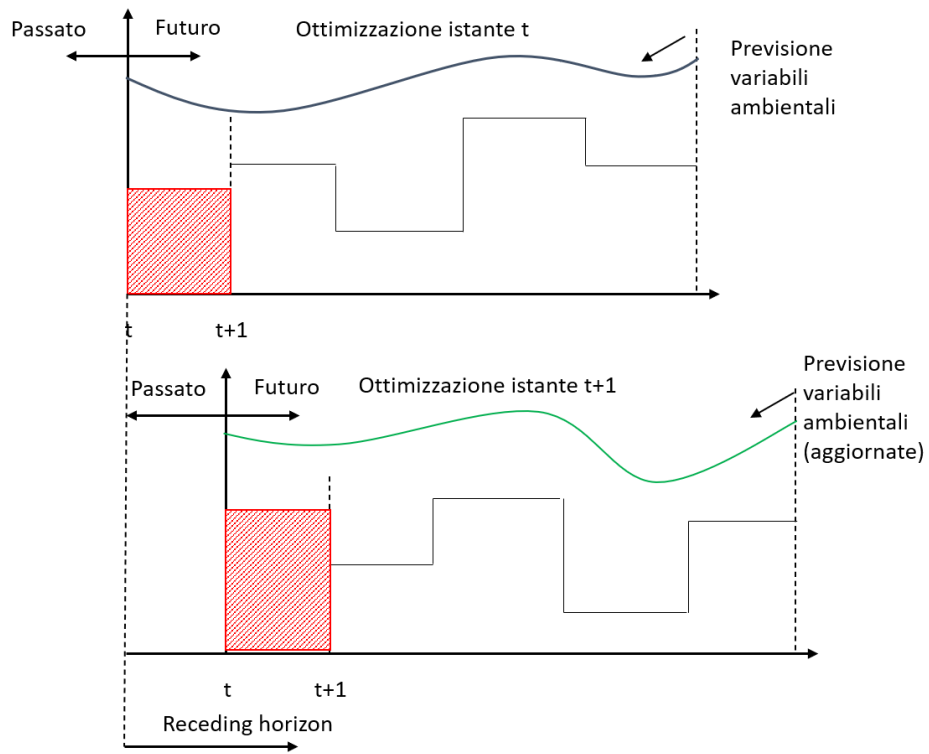


Figure X.3: Diagramma schematico che illustra il principio di controllo "receding horizon". In rosso, una rappresentazione della strategia di controllo ottimale, da applicarsi ora per ora.