



MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



E.N.A.C  
ENTE NAZIONALE per  
L'AVIAZIONE CIVILE

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO  
VESPUCCI

Opera

PROJECT REVIEW – PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento

Relazione tecnica specialistica BESS

Livello di Progetto

SCHEDE DI APPROFONDIMENTO PROGETTUALE A LIVELLO MINIMO DI PROGETTO DI  
FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
PSA	00	MARZO 2024	N/A	FLR-MPL-PSA-FTV1-004-FV-RT_Rel BESS
				TITOLO RIDOTTO
				Rel BESS

00	02/04/2024	EMISSIONE PER PROCEDURA VIA-VAS	Seingim	A. Bonciani	L.Tenerani
REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<b>COMMITTENTE PRINCIPALE</b>	<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE</b>	<b>SUPPORTI SPECIALISTICI</b>
 <b>ACCOUNTABLE MANAGER</b> Dott. Vittorio Fanti	 <b>DIRETTORE TECNICO</b> Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631	<b>PROGETTAZIONE SPECIALISTICA</b>  <b>DIRETTORE TECNICO</b> Ing. Lorenzo Tenerani Ordine degli Ingegneri di Massa Carrara n°631
<b>POST HOLDER PROGETTAZIONE</b> Ing. Lorenzo Tenerani  <b>POST HOLDER MANUTENZIONE</b> Ing. Nicola D'ippolito  <b>POST HOLDER AREA DI MOVIMENTO</b> Geom. Luca Ermini	<b>RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b> Ing. Andrea Bonciani Ordine degli Ingegneri di Firenze n°4150	<b>SUPPORTO SPECIALISTICO</b> 

## Indice

1. PREMESSA GENERALE .....	2
2. COSTI E SCENARIO .....	2
3. RISPARMIO E KPI .....	2
4. SPECIFICHE TECNICHE .....	3
5. CONFIGURAZIONE ACCUMULO BESS .....	4
6. TABELLE GENERALI .....	5
7. ANDAMENTO TAGLIA ACCUMULO BESS - AUTOCONSUMO.....	7
8. SCELTA TAGLIA ACCUMULO BESS .....	9
9. PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI ALTERNATIVE .....	11
10. SCHEDE TECNICHE SISTEMI DI ACCUMULO BESS.....	12

## 1. Premessa generale

La presente relazione è stata redatta al fine di illustrare lo studio relativo all'ipotesi di implementazione dell'impianto fotovoltaico per l'Aeroporto di Firenze "Amerigo Vespucci" con i sistemi di accumulo BESS (Battery Energy Storage System).

Il documento contiene informazioni relative sia ai dati tecnici, sia ai dati economici necessari al fine di presentare la fattibilità tecnico-economica del progetto.

Quest'ultimo prevede l'utilizzo di sistemi di accumulo al fine di ottimizzare l'autoconsumo e garantire una maggiore efficienza energetica.

## 2. Costi e scenario

Il costo totale dell'impianto è stato stimato in funzione dell'accumulo ipotizzato, considerando un costo di 250 €/kWh. Inizialmente, è stato ipotizzato uno scenario senza accumulo, tuttavia, è possibile studiare l'andamento dell'autoconsumo in funzione della diversa taglia adottata grazie all'introduzione di un accumulo BESS. È importante notare che la percentuale di energia autoconsumata non raggiunge il 100% a causa dell'efficienza di carica e scarica della batteria, fissata al 90%.

## 3. Risparmio e KPI

Il risparmio totale nell'arco di 20 anni è dato dalla somma dell'energia autoconsumata moltiplicata per il Prezzo Unico Nazionale (PUN), rappresentando l'energia risparmiata che non viene acquistata dalla rete, oltre alla remunerazione GSE per l'energia immessa in rete. Una delle KPI (Key Performance Indicator) più significative è il VAN (Valore Attuale Netto) al ventesimo anno, che rimane costantemente maggiore di zero, confermando la convenienza dell'investimento nel progetto.

#### 4. Specifiche tecniche

Nell'implementazione dell'accumulo BESS, è stato utilizzato un sistema FlexConvert BWESS-Single FC-BESS-2000, con le seguenti configurazioni: 1000 kW di potenza e 2400 kWh di capacità di stoccaggio. Nell'ultima colonna della tabella, sono state ipotizzate le cabine da implementare in base al tipo di taglia utilizzata, garantendo così una distribuzione ottimale dell'energia e una gestione efficiente del sistema.

## 5. Configurazione accumulo BESS

L'analisi di fattibilità tecnico-economica dell'accumulo BESS è stata condotta basandosi sul datasheet illustrato nella figura sottostante. È stata impiegata la configurazione FlexConvert BESS-Single FC-BESS-2000, la quale richiede un volume occupato di 89 m<sup>2</sup> per ogni container utilizzato.

# FlexConvert BESS-Single FC-BESS-2000 configurations

40 ft. Container, up to 16 x 150 kWh racks and one Inverter FC320, FC500, FC750, FC1000, FC1500 or FC2000

FC-BESS-2000 configurations at cos phi: 0,9			
320 kW – 1500 kWh	320 kW – 1800 kWh	320 kW – 2100 kWh	320 kW – 2400 kWh
500 kW – 1500 kWh	500 kW – 1800 kWh	500 kW – 2100 kWh	500 kW – 2400 kWh
750 kW – 1500 kWh	750 kW – 1800 kWh	750 kW – 2100 kWh	750 kW – 2400 kWh
1000 kW – 1500 kWh	1000 kW – 1800 kWh	1000 kW – 2100 kWh	1000 kW – 2400 kWh
1500 kW – 1500 kWh	1500 kW – 1800 kWh	1500 kW – 2100 kWh	1500 kW – 2400 kWh
		2250 kW – 2100 kWh	2250 kW – 2400 kWh
Battery performance	6000 cycles 90%DoD, 0.5C and 4000 cycles 90%DoD, 1C		
System efficiency (round-trip)	> 88%		
Cell Chemistry	Lithium Iron Phosphate LiFePO4		
General data			
Dimensions (L x W x H)	40 ft. 12200x2500x2900 mm		

Figura 1 - Datasheet ipotizzato per accumulo BESS configurazione 1000 kW – 2400kWh

## 6. Tabelle generali

<b>Indicatore</b>
<b>A</b> Percentuale energia autoconsumata
<b>B</b> Percentuale energia ceduta in rete
<b>C</b> Copertura fabbisogno energetica da FV
<b>D</b> Copertura fabbisogno energetica da rete

Figura 2 – Indicatori energetici per accumulo BESS

% taglia impianto FV	kWh	A	B	C	D
300%	41.819	95%	1%	55%	45%
275%	38.334	95%	1%	55%	45%
250%	34.849	95%	1%	54%	46%
225%	31.364	94%	2%	54%	46%
200%	27.879	93%	3%	53%	47%
175%	24.394	91%	6%	52%	48%
150%	20.909	89%	8%	51%	49%
125%	17.424	86%	11%	49%	51%
100%	13.940	82%	15%	47%	53%
75%	10.455	78%	20%	45%	55%
50%	6.970	74%	25%	42%	58%
25%	3.485	69%	30%	39%	61%
0%	0	63%	37%	36%	64%

Tabella 1 - Studio degli scenari di diversa taglia di BESS attraverso l'utilizzo degli indicatori energetici

% taglia impianto FV	kWh	Costo totale impianto	Risparmio totale (20 anni)	Differenza risparmio totale tra taglie	Risparmio attualizzato totale (20 anni)
350%	48.788	27.058.391 €	50.927.154 €	13.799 €	45.067.486 €
325%	45.304	26.187.169 €	50.913.355 €	22.761 €	45.055.274 €
300%	41.819	25.315.946 €	50.890.593 €	36.951 €	45.035.132 €
275%	38.334	24.444.724 €	50.853.643 €	107.900 €	45.002.433 €
250%	34.849	23.573.501 €	50.745.743 €	216.693 €	44.906.948 €
225%	31.364	22.702.279 €	50.529.050 €	418.301 €	44.715.187 €
200%	27.879	21.831.056 €	50.110.748 €	580.664 €	44.345.016 €
175%	24.394	20.959.834 €	49.530.084 €	694.569 €	43.831.163 €
150%	20.909	20.088.611 €	48.835.515 €	848.114 €	43.216.511 €
125%	17.424	19.217.389 €	47.987.402 €	1.006.916 €	42.465.981 €
100%	13.940	18.346.166 €	46.980.486 €	1.167.561 €	41.574.921 €
75%	10.455	17.474.944 €	45.812.925 €	1.309.279 €	40.541.699 €
50%	6.970	16.603.721 €	44.503.646 €	1.490.450 €	39.383.065 €
25%	3.485	15.732.499 €	43.013.195 €	1.644.987 €	38.064.106 €
0%	0	14.861.276 €	41.368.209 €		36.608.391 €

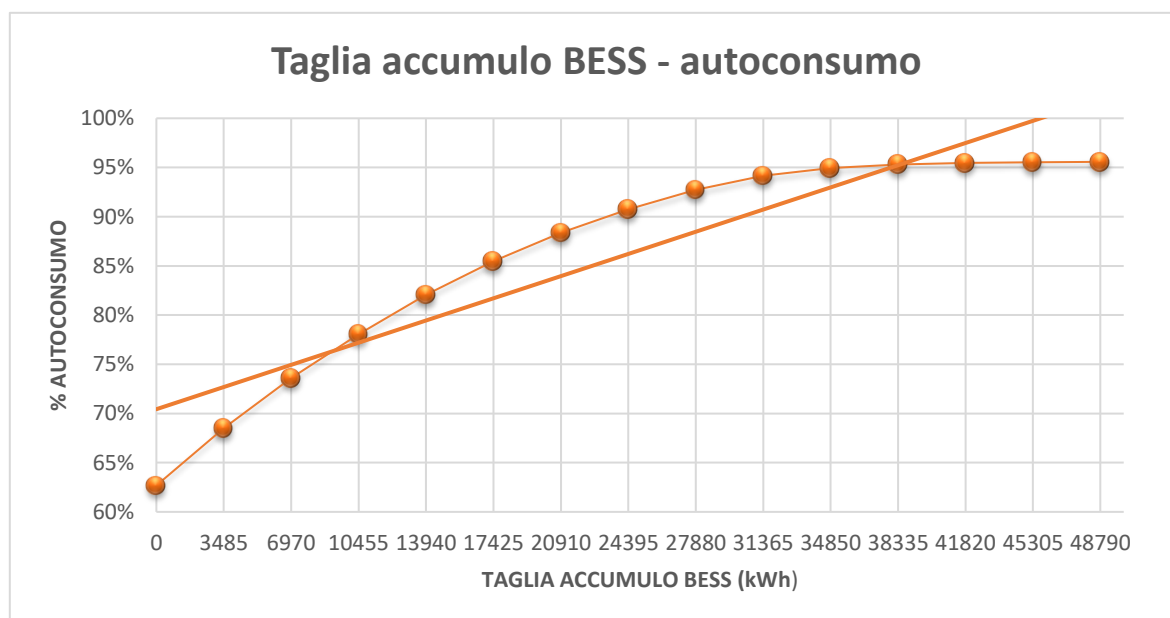
Tabella 2 – Confronto dei costi e dei risparmi per taglia di accumulo BESS in un arco temporale di vent'anni

% taglia impianto FV	kWh	Manutenzione totale (20 anni)	Van 20° anno	TRS (anni)	TRA (anni)	Numero cabine per taglia
350%	48.788	6.578.907 €	11.430.188 €	10,1	13,2	21
325%	45.304	6.317.540 €	12.550.566 €	9,8	12,6	19
300%	41.819	6.056.173 €	13.663.013 €	9,5	12,1	18
275%	38.334	5.794.806 €	14.762.903 €	9,2	11,5	16
250%	34.849	5.533.440 €	15.800.007 €	8,9	11,0	15
225%	31.364	5.272.073 €	16.740.836 €	8,6	10,5	13
200%	27.879	5.010.706 €	17.503.254 €	8,3	10,1	12
175%	24.394	4.749.339 €	18.121.990 €	8,1	9,8	11
150%	20.909	4.487.973 €	18.639.927 €	7,8	9,4	9
125%	17.424	4.226.606 €	19.021.987 €	7,6	9,1	8
100%	13.940	3.965.239 €	19.263.516 €	7,5	8,8	6
75%	10.455	3.703.872 €	19.362.883 €	7,3	8,6	5
50%	6.970	3.442.506 €	19.336.839 €	7,1	8,3	3
25%	3.485	3.181.139 €	19.150.469 €	7,0	8,1	2
0%	0	2.919.772 €	18.827.343 €	6,9	9,0	0

Tabella 3 - Performance e analisi economica dei sistemi di accumulo BESS diviso per taglie

## 7. Andamento Taglia accumulo BESS - Autoconsumo

La figura seguente illustra l'andamento dell'autoconsumo in relazione alla taglia dell'accumulo BESS scelto per l'impianto fotovoltaico da 14 MW sull'aeroporto di Firenze "Amerigo Vespucci". È importante ribadire che l'autoconsumo non raggiunge il 100% a causa dell'efficienza di carica e scarica delle batterie, stimata al 90%.



*Figura 3 – Relazione tra la taglia di accumulo BESS e l'Autoconsumo*

L'asse delle ascisse rappresenta le diverse taglie di accumulo BESS, mentre sull'asse delle ordinate è riportata la percentuale di autoconsumo dell'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico.

Come evidenziato, all'aumentare della taglia dell'accumulo BESS, si osserva un incremento dell'autoconsumo, tuttavia, non si raggiunge il 100% a causa dell'efficienza delle batterie.



Questo grafico fornisce un'indicazione chiara sulla relazione tra la dimensione dell'accumulo BESS e l'efficienza complessiva del sistema in termini di autoconsumo energetico. **Trovare la dimensione ideale per l'accumulo di energia BESS implica trovare un equilibrio tra la volontà di massimizzare l'autoconsumo e ottimizzare l'utilizzo dello spazio disponibile per questi sistemi.** In conclusione, la figura evidenzia l'importanza di considerare attentamente la taglia dell'accumulo BESS nell'implementazione di impianti fotovoltaici, al fine di massimizzare l'efficienza energetica e garantire una gestione ottimale delle risorse disponibili.

## 8. Scelta taglia accumulo BESS

La scelta della dimensione ottimale dell'accumulo BESS è stata il risultato di un'analisi dettagliata dei vincoli spaziali e delle condizioni energetiche rilevanti. Nella figura seguente, è possibile visualizzare lo spazio dedicato all'installazione dei sistemi di accumulo BESS. Questo requisito ha guidato la determinazione del numero di BESS da installare, nell'ottica di massimizzare l'autoconsumo.

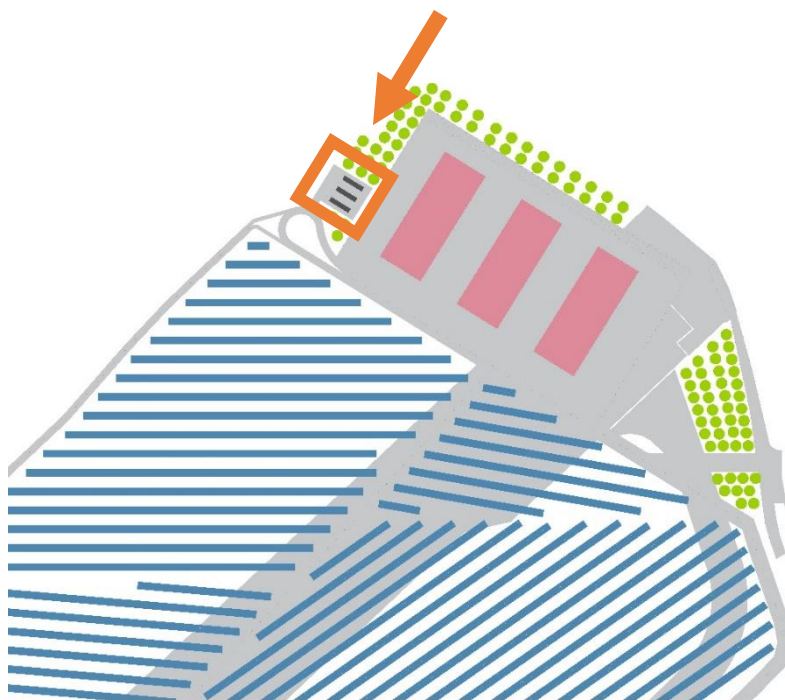


Figura 4 – Planimetria area di installazione accumulo BESS

Pertanto, la scelta della capacità specifica di **13.940 kWh** si è rivelata la soluzione più idonea, garantendo un efficace autoconsumo pari all'82%. In aggiunta, si è osservato che il 15% dell'energia prodotta viene ceduta alla rete, mentre il fotovoltaico riesce a coprire il 47% del fabbisogno energetico e il restante 53% è sostenuto dalla rete. Nella tabella seguente sono riportati i principali

dati relativi alla configurazione selezionata, che prevede l'utilizzo di un sistema di accumulo BESS con capacità di 13.940 kWh.

PROD. IMPIANTO FOTOVOLTAICO	AUTOCONSUMO TOTALE	CESSIONE IN RETE	PRELIEVO DA RETE
18.583.517 [kWh]	15.288.188 [kWh]	2.822.200 [kWh]	17.212.833 [kWh]

*Tabella 4 – Macrodati relativi alla produzione fotovoltaica, autoconsumo, cessione in rete e prelievo da rete*

Per garantire un posizionamento ottimale dei sistemi di accumulo BESS, si adotterà una configurazione doppia, che prevede l'impilamento di due sistemi BESS uno sopra l'altro. Tale disposizione comporterà l'installazione complessiva di sei container.

## 9. Produzione di energia elettrica da fonti alternative

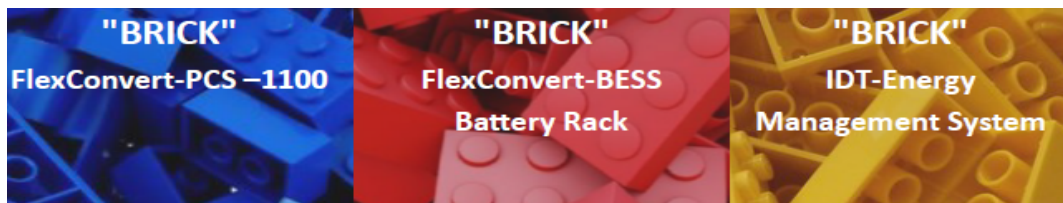
La produzione di energia elettrica rinnovabile è di fondamentale importanza per un aeroporto, non solo per ridurre l'impatto ambientale, ma anche per garantire un approvvigionamento energetico sostenibile e affidabile. L'installazione di un sistema fotovoltaico all'interno dell'aeroporto rappresenta un passo significativo verso la riduzione della dipendenza energetica dalla rete esterna.

Questo sistema consentirà di generare energia direttamente sul sito, sfruttando una fonte rinnovabile e abbondante come il sole. Tuttavia, è importante considerare la variazione stagionale nella disponibilità di luce solare. Nel corso dei mesi invernali, caratterizzati da giornate più brevi e da un cielo potenzialmente nuvoloso, è verosimile che la produttività del sistema fotovoltaico possa risentire di una diminuzione. Per garantire una fornitura continua di energia elettrica durante questi periodi, è necessario integrare il sistema fotovoltaico con altre fonti di energia.

Una soluzione potrebbe essere l'impiego di un cogeneratore alimentato da biometano. Il biometano è un combustibile rinnovabile ottenuto dalla decomposizione anaerobica di materiali organici, come i rifiuti alimentari o agricoli.

Utilizzando un cogeneratore da biometano, l'aeroporto potrebbe continuare a generare energia elettrica anche quando la produzione solare è limitata, garantendo così un approvvigionamento energetico costante e riducendo ulteriormente la dipendenza dalla rete esterna. In questo modo, l'aeroporto potrebbe raggiungere un livello significativo di autosufficienza energetica, contribuendo alla sostenibilità ambientale e alla resilienza operativa dell'infrastruttura aeroportuale.

## 10. Schede tecniche sistemi di accumulo BESS



### FlexConvert BESS-Single

One container energy storage system solution including:

Enclosure, Inverter, 150 kWh battery racks, HVAC, EMS and Control

BESS System Parameter	FC-BESS-320	FC-BESS-1000	FC-BESS-2000
Nominal power range	up to 350 kW	up to 1150 kW	up to 2250 kW
Rated capacity range	up to 600 kWh	up to 1200 kWh	up to 2400 kWh
Grid voltage	Low-voltage and medium voltage		
Power factor cos ( $\varphi$ )	0 $\pm$ 1 (four-quadrant operation) BDEW / ARN 4110		
PCS AC voltage	520 V		
PCS AC operating current	385 A	1260 A	2520 A
Grid frequency	50 Hz / 60 Hz		
Cell Chemistry	Lithium Iron Phosphate LiFePO4		
Battery performance	6000 cycles 90%DoD, 0.5C and 4000 cycles 90%DoD, 1C		
System efficiency (round-trip)	> 88%		
<b>Inverter data</b>			
Type	FC320	FC1000	FC2000
Maximum PCS AC current	420 A	1400 A	2800 A
Harmonic distortion (THD $I_{AC}$ )	< 3 %		
Max. inverter efficiency	98,4 %		
<b>General data</b>			
Dimensions (L x W x H)	3600 x 2630 x 2850 mm	6100 x 2500 x 2900 mm	12200 x 2500 x 2900 mm
Weight	11 tons	20 tons	45 tons
Ambient temperature	-20... +45°C (extended range upon request)		

Technical data are subject to change, even for reasons on country-specific deviations.  
Indrivetec assumes no liability for errors and omissions.

Figura 5 – Scheda tecnica Flexconvert BESS -Single



## FlexConvert BESS

Battery Energy Storage System for multiple uses in the industrial, commercial and utility sector for operation in highly developed and weak grids

### FlexConvert BESS-Single

One container energy storage system



### FlexConvert BESS-Dual

Two container energy storage system

