

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale  
Ingegneria Energetica e Nucleare  
Innovazione nella produzione di energia

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi di fattibilità ed implementazione di impianto  
fotovoltaico con accumulo per fornitura di energia elettrica



## **Relatore**

Prof. Filippo Spertino

## **Corelatori**

Ing. Andrea Mattio

## **Candidato**

Matteo Bertolino s244227

LUGLIO 2020

# SOMMARIO

1	QUEULE PHOTOVOLTAIC PARK 1	
1.1	Inquadramento generale	1
1.2	Pannello fotovoltaico	3
1.2.1	Effetto fotoelettrico	3
1.2.2	Celle fotovoltaiche	4
1.2.3	La produzione del silicio cristallino	6
1.2.4	La produzione della cella	9
1.2.5	L'assemblaggio del modulo fotovoltaico	12
1.3	Pannello Astronergy policristallino	14
1.4	Inverter e trasformatori	16
2	Il sistema di accumulo	18
2.1	Batterie	18
2.1.1	Capacità	19
2.1.2	Stato di carica (SoC) e profondità di scarica (DoD)	19
2.1.3	Batteria Li-ion	20
2.1.3.1	Catodo Li-NiCoMn	20
2.1.3.2	Anodo	22
2.1.3.3	Elettrolita	22
2.1.3.4	Separatore	22
2.2	Samsung SDI	23
2.3	Inverter Sungrow	27
3	Acquisizione ed elaborazione dei dati	28
3.1	Polysun	28
3.1.1	Meteonorm	30
3.1.2	Tracker	32
3.1.3	Pannelli per inverter	33
3.2	Matlab	41
3.2.1	Andamento movimenti tracker	41
3.2.2	Dati di produzione giornalieri	48
3.2.3	Orari picco	49
3.2.4	Dimensionamento del sistema di accumulo	50
3.2.4.1	IPOTESI 1: due picchi giornalieri	51
3.2.4.2	IPOTESI 2: un picco giornaliero	53

4	Analisi payback time	54
4.1	Efficienza pannelli nel tempo ( EP )	55
4.2	Deterioramento delle batterie nel tempo ( DB )	57
4.3	Inflazione ( I )	60
4.4	Andamento mercato elettrico e inflazione in Italia	63
5	Valutazioni finali	66
5.1	Caso 1: EP DB I	66
5.2	Caso 2: EP DB I con rivendita	69
5.3	Caso 3: EP DB I – 1 Picco giornaliero	73
5.4	Conclusioni	78
6	Appendice	81
7	Bibliografia	109



# 1 QUEULE PHOTOVOLTAIC PARK

## 1.1 Inquadramento generale

Il parco fotovoltaico oggetto dello studio di questa tesi è situato in Cile. Più precisamente nel comune di Las Cabras che è collocato nella regione del Libertador General Bernardo O'Higgins anche chiamata VI Región, una regione centrale.

Denominato "Queule solar park" è caratterizzato da una potenza DC installata pari a 8,151 MW<sub>p</sub>, ottenuti dall'installazione di 25080 pannelli da 325 W<sub>p</sub>.

Le coordinate geografiche sono

- Latitudine [°S]: -34,22°
- Longitudine[°W] 71,63°
- Altitudine: <1000 m s.l.m.

Nelle due figure (1 - 2) sottostanti è possibile osservare una fotografia del sito prima e dopo la costruzione.



Figura 1: Vista ante operam.



Figura 2: Vista parco solare. Source: Building Energy.

Attualmente, prima dello studio del sistema di accumulo, l'impianto produce energia sotto forma di DC, la converte in AC ad una frequenza di 50 Hz e la trasforma in media tensione (15 kV) grazie ad un numero sufficiente di stazioni di conversione. Successivamente l'energia viene direttamente immessa in rete.

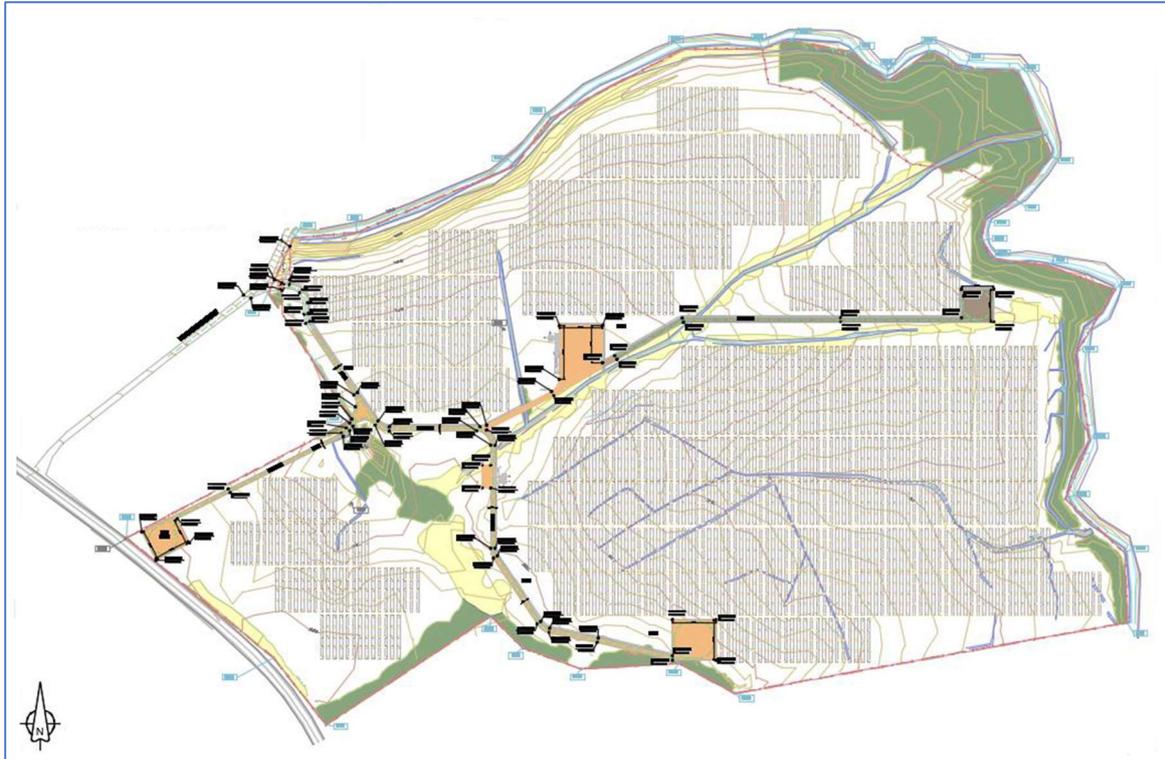


Figura 3: Layout generale

## 1.2 Pannello fotovoltaico

Prima di rivelare la scelta progettuale del tipo e del modello di pannello fatta per l'impianto oggetto di studio verranno brevemente esposti i principi fisici che permettono il funzionamento della tecnologia fotovoltaica, la morfologia di un pannello e come viene prodotto.

### 1.2.1 Effetto fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è il fenomeno fisico che permette l'esistenza della tecnologia fotovoltaica. Questo principio venne ipotizzato per la prima volta nel 1905 da Albert Einstein che dedusse la relazione tra l'interazione tra il materiale ed un fotone, tuttavia all'epoca la sua intuizione non fu subito accettata dalla comunità scientifica.

Da quel giorno sono stati fatti enormi passi avanti e dopo numerosi studi si è definito l'effetto fotoelettrico come il fenomeno fisico caratterizzato dall'emissione di elettroni da parte di una superficie, solitamente metallica, quando viene colpita da una radiazione elettromagnetica, ossia da fotoni aventi una certa lunghezza d'onda.

Gli elettroni di un atomo possono essere caratterizzati da energie ben definite. L'insieme di tutti i livelli energetici consentiti crea le bande di valenza e di conduzione, che si trovano rispettivamente a energie minori nel primo caso e maggiori nel secondo.

L'effetto fotoelettrico si può suddividere in tre fasi distinte 7:

1. Generazione di portatori di carica, cioè particelle dotate di carica positiva o negativa che nel nostro caso saranno rispettivamente le lacune e gli elettroni, tramite l'assorbimento dei fotoni con un'energia sufficiente a far compiere il salto energetico dalla banda di valenza a quella di conduzione. Questa quantità viene chiamata *energy gap* ed è definita come:

$$E_{gap} = E_{cond} - E_{val}$$

L'energy gap perciò rappresenta l'energia minima che deve avere il fotone:

$$E_{ph} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \geq E_{gap}$$

$h$  = costante di Plank

$\nu$  = frequenza

$c$  = velocità della luce

$\lambda$  = lunghezza d'onda

Separazione dei portatori di carica che è permessa dall'utilizzo di due membrane semipermeabili, nella cella fotovoltaica rappresentate dalla giunzione di tipo p-n, nella quale si forma un campo elettrico di giunzione come effetto dell'attraversamento della stessa da parte delle lacune dallo strato p verso lo strato n e degli elettroni nel senso opposto. Movimento che fornisce allo strato n una carica positiva e allo strato p una carica negativa.

2. . Se non sono presenti le membrane o se le stesse sono ad una distanza troppo elevata dall'atomo che ha interagito con il fotone la coppia lacuna-elettrone si può ricombinare riemettendo un fotone (ricombinazione radiativa) o trasferendo l'energia ad una coppia elettrone-lacuna adiacente (ricombinazione non radiativa).
3. Accumulo delle cariche agli estremi della cella con conseguente creazione di una differenza di potenziale, che può essere sfruttata in un circuito elettrico esterno.

### 1.2.2 Celle fotovoltaiche

Una cella fotovoltaica sfrutta la conversione della luce solare, visibile e non, in energia elettrica senza l'utilizzo di parti meccaniche in movimento. Attualmente sul mercato le tecnologie esistenti sono caratterizzate da rendimenti tra il 6 – 22 %. A differenza di un impianto di generazione di elettricità tradizionale perciò non saranno necessarie la manutenzione per parti meccaniche e, non sfruttando calore per produrre la stessa, non saranno necessari sistemi di raffreddamento dell'impianto.

Negli anni la tecnologia delle celle fotovoltaiche ha avuto dei miglioramenti e per questo motivo vengono classificate in tre generazioni [3]:

1. **Prima generazione:** la prima tecnologia utilizzata si basa su wafer sottili di silicio cristallino "c-Si" ed è tutt'ora la più diffusa sul mercato. Al variare del processo di produzione si possono ottenere tre tipologie di cella; silicio monocristallino "m-Si", silicio policristallino "p-Si" e *ribbon sheets* (tipologia policristallina che si ottiene con un processo di fabbricazione differente).
2. **Seconda generazione:** film sottili, sono celle composte da uno o più strati sottili (1–10  $\mu\text{m}$ ) di materiali semiconduttori applicati a un supporto solido e a basso costo, ad esempio acciaio inossidabile, vetro o plastica.

L'utilizzo di lastre sottili permette di ridurre notevolmente la quantità di materiale semiconduttore richiesto per ogni cella, perciò i loro costi sono ridotti rispetto alla cella di silicio

A seconda del materiale utilizzato, al momento sono disponibili in commercio quattro tipi di moduli a film sottile. Il silicio amorfo "a-Si" è una forma non cristallina di silicio, che ha una struttura amorfa. Questo tipo di film sottile ha un'efficienza della cella di circa 4–8% (fino al 10,4% su scala di laboratorio), ma è soggetto a degrado. Il composto semiconduttore più usato è il cadmio-tellurio (CdTe), un materiale economico con un'efficienza fino all'11%, inferiore a quella del silicio. Di conseguenza, le celle solari basate su CdTe richiedono una superficie maggiore per ottenere le stesse prestazioni di una superficie di celle di silicio. Tuttavia, ci sono due preoccupazioni su questa tecnologia: l'impatto ambientale potenzialmente negativo dell'alta tossicità del cadmio e una possibile breve durata del tellurio.

Negli ultimi anni è stata sviluppata la tecnologia basata su una combinazione di "a-Si" e " $\mu\text{c Si}$ " (silicio microcristallino), chiamata tandem. È caratterizzata da un'efficienza fino al 9,8% (oltre il 16,5% su scala di laboratorio).

Infine, rame, indio, gallio, (di) selenio / (di) solfuro (CIGS) e rame, indio e (di) selenio / (di) solfuro (CIS) sono le tecnologie più promettenti per le celle solari a film sottile. Presentano

la massima efficienza (dal 7% a oltre il 12% e quasi il 20% a livello di laboratorio) tra i film sottili, ma comportano costi di produzione più elevati a causa dei processi più complessi per la produzione.

3. **Terza generazione:** Le tecnologie fotovoltaiche di terza generazione stanno attualmente iniziando ad essere commercializzate o sono ancora a livello di ricerca. In linea generale i pannelli di questa categoria raggiungono valori di efficienza anche superiori al 20 %.

Le tecnologie della terza generazione si basano su doppia o tripla giunzione o nanotecnologie. Possono essere a concentrazione (CPV), organici, film sottili avanzati e altre tecnologie emergenti.

Il CPV sfrutta una lente per concentrare tutti i raggi solari in una piccola porzione di superficie. È caratterizzato da un'efficienza elevata, ma da maggiori costi di produzione dovuti alla alta qualità dei materiali utilizzati e maggiori costi di manutenzione.

Tecnologia	Efficienza commerciale	Efficienza scala laboratorio
c-Si monocristallino	13 – 22	25
c-Si policristallino	11 – 18	20,4
CIGS/CIS	7 – 12,7	20,3
CdTe	11	16,7
a-Si - $\mu$ c-Si	7 – 9.8	11.9 – 13.2
CPV Multi-junction	25	25 – 30
Dye-sensitised solar	2 – 4	8 - 12

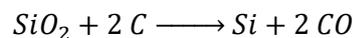
Tabella 1: Valori (in %) dei rendimenti di pannelli fotovoltaici su scala commerciale e scala di laboratorio. Fonte dati [3]

### 1.2.3 La produzione del silicio cristallino

Attualmente sul mercato la tipologia di pannelli fotovoltaici più diffusa è quella del silicio cristallino. Al variare del produttore varierà la qualità del materiale ottenuta, ma il processo di produzione utilizzato sarà abbastanza standardizzato.

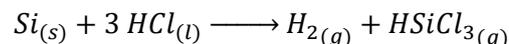
La prima fase consiste nell'ottenimento della più bassa qualità di silicio, che verrà migliorata tramite il processo, cioè il silicio metallurgico (**Mg-Si**). Questo materiale si ottiene tramite la fusione della quarzite, roccia costituita da biossido di silicio ( $\text{SiO}_2$ ) quasi puro, e carbonio in un forno ad arco ad elettrodi sommersi che permette di raggiungere temperature nell'ordine dei 1900 °C. Per fornire il carbonio necessario si utilizza una miscela di carbone, coke e trucioli di legno.

All'interno del forno avviene perciò la reazione:



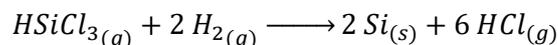
Essendo il monossido di carbonio in fase gassosa si può facilmente separare dal silicio fuso che, a questo punto del processo, è caratterizzato da una purezza compresa tra il 98 % e il 99 %.

In questo momento, la polvere di silicio che è stata ottenuta dopo la solidificazione del materiale fuso viene processata in un reattore chimico tramite il processo Siemens. All'interno di questo macchinario il silicio viene esposto ad acido cloridrico e, grazie alle alte temperature e ad un catalizzatore, reagisce producendo come prodotto di reazione il triclorosilano gassoso.



Successivamente alla liquefazione il triclorosilano viene lavorato in un distillatore dove si riescono a rimuovere le impurità che sono caratterizzate da punti di ebollizione differenti.

Infine, il triclorosilano viene introdotto in un nuovo reattore, chiamato Siemens dal nome del processo, in cui avviene la decomposizione chimica di vapore (Chemical Vapour Deposition, CVD) ad una temperatura tra i 1100 °C e i 1200 °C. Si ripercorre perciò la reazione, mostrata in precedenza, in verso opposto ottenendo un deposito di silicio (che forma una "U" rovesciata come mostrato Figura 4) che parte da un nucleo centrale di polysilicon (silicio metallico con una purezza del 99.9999% o maggiore, anche denominato di grado solare, SG-Si).



L'acido cloridrico prodotto insieme all'idrogeno e al triclorosilano che non hanno reagito vengono recuperati e reimpiegati nel processo. Il processo Siemens consuma molta energia, stimata intorno a 200 kWh/kg di polysilicon prodotto.

Esiste un metodo alternativo per ottenere del polysilicon con purezza di grado solare che viene chiamato *Fluid Bed Reactors* che è caratterizzato da temperature minori e minor consumi di energia.

L'ultimo approccio possibile è quello dell'*upgrade metallurgical silicon*. Un processo in cui il silicio metallurgico viene raffinato chimicamente soffiando gas attraverso la fusione del silicio rimuovendo le impurità. Tuttavia, nonostante la lavorazione sia economica, la purezza del silicio è inferiore a quella ottenuta con gli approcci del reattore Siemens o del letto fluido.

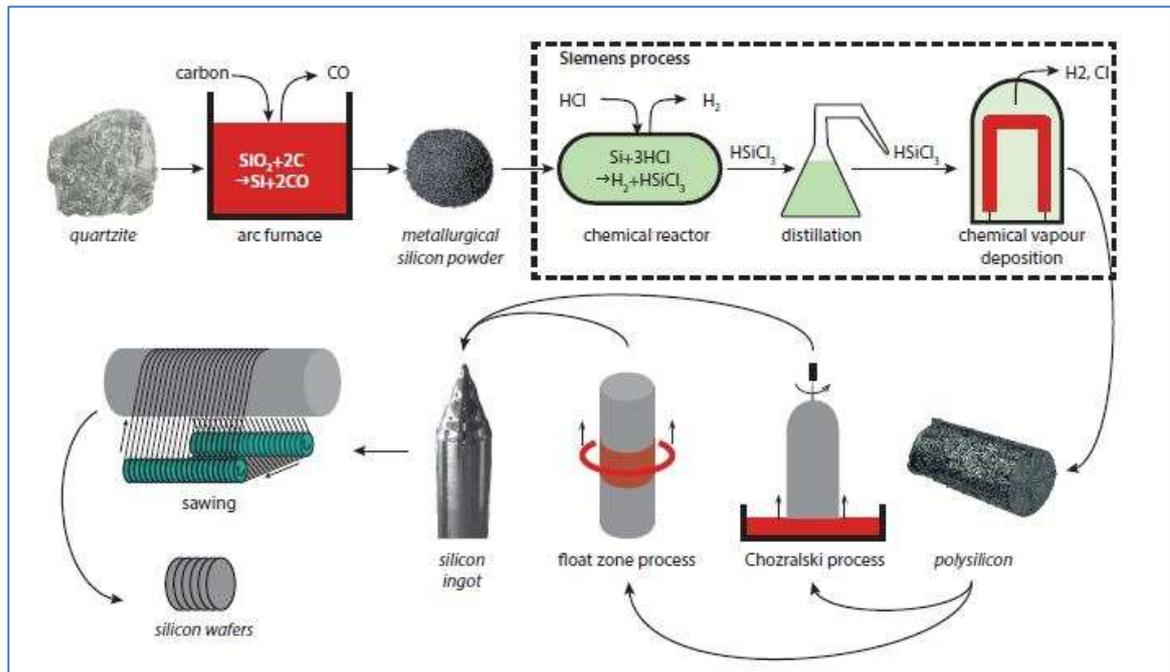


Figura 4: Illustrazione del processo di produzione del wafer di silicio monocristallino.

Attualmente esistono molti metodi per produrre lingotti di silicio monocristallino, cioè grandi cilindri di silicio costituiti da un solo cristallo, ma sicuramente i due più importanti per l'industria fotovoltaica sono [2]:

- **Processo di Czochralski (CZ):**

viene inserito il silicio altamente purificato in un crogiolo, raffigurato in Figura 5, a una temperatura di 1500° nel quale viene fuso e drogato con boro o fosforo per ottenere p-type e n-type rispettivamente.

Un *seed crystal* montato su un albero rotante viene immerso nel materiale fuso, permettendo una lenta solidificazione attorno ad esso, che grazie a un'estrazione controllata dell'albero consente a creazione di una grande colonna cilindrica a cristallo singolo detta lingotto.

Grazie al miglioramento del controllo di processo nel corso degli anni, oggi è possibile fabbricare lingotti di diametro di 200 mm o addirittura 300 mm con lunghezze fino a due metri. Per prevenire l'incorporazione di impurità, questo processo si svolge in un'atmosfera inerte e in un crogiolo che viene realizzato in quarzo, che si dissolve leggermente durante la lavorazione nel fuso. Di conseguenza, il silicio monocristallino realizzato con il metodo Czochralski ha un livello di ossigeno relativamente elevato.

- **Processo Float Zone:**

Questo metodo, raffigurato in Figura 6, permette la produzione di lingotti contenenti basse quantità di impurità come ossigeno e carbonio. Il processo parte utilizzando un'asta policristallina (polysilicon) realizzata con il processo Siemens, la cui estremità viene fusa tramite l'utilizzo di una bobina ad induzione funzionante a radiofrequenza (RF). Il materiale fuso appena creato viene nuovamente portato in contatto con un *seed crystal*. La bobina viene fatta scorrere lentamente lungo l'asta che in questo modo fonde e solidifica creando il lingotto, che raggiunge diametri fin a 150 mm, permettendo di

mantenere le impurità all'interno. Tuttavia, per migliorare il controllo sui microdifetti e la resistenza meccanica dei wafer viene intenzionalmente aggiunto dell'azoto. Infine, anche in questo caso è possibile ottenere il drogaggio per produrre il p-type e il n-type tramite l'aggiunta di gas come diborano ( $B_2H_6$ ) e fosfina ( $PH_3$ ).

Questo metodo permette la creazione del lingotto senza avere il contatto del silicio con altri materiali essendo immerso in un'atmosfera inerte di argon, a differenza del metodo Czochralski nel quale era necessario l'utilizzo del crogiolo.

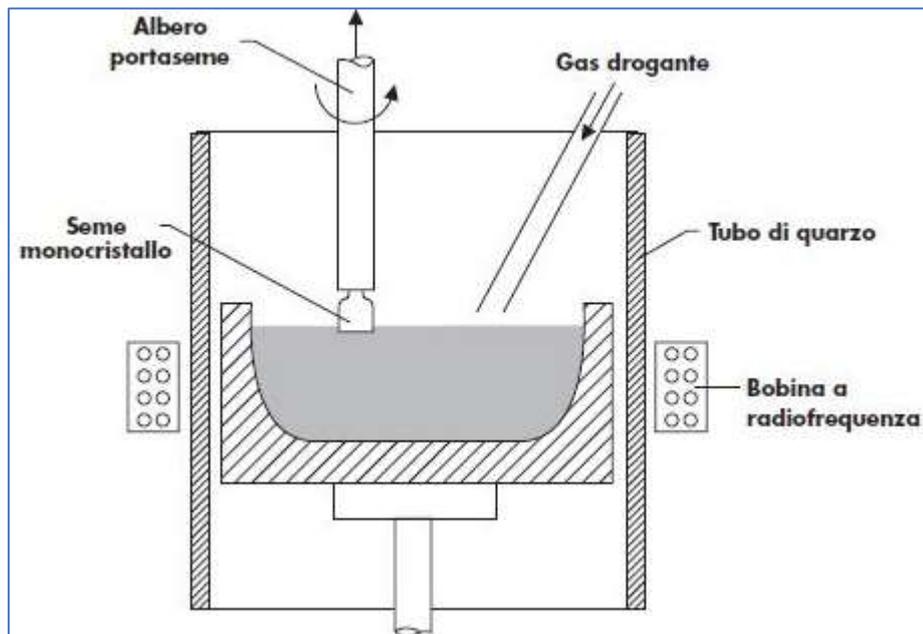


Figura 5: Produzione del monocristallo con il metodo Czochralski.

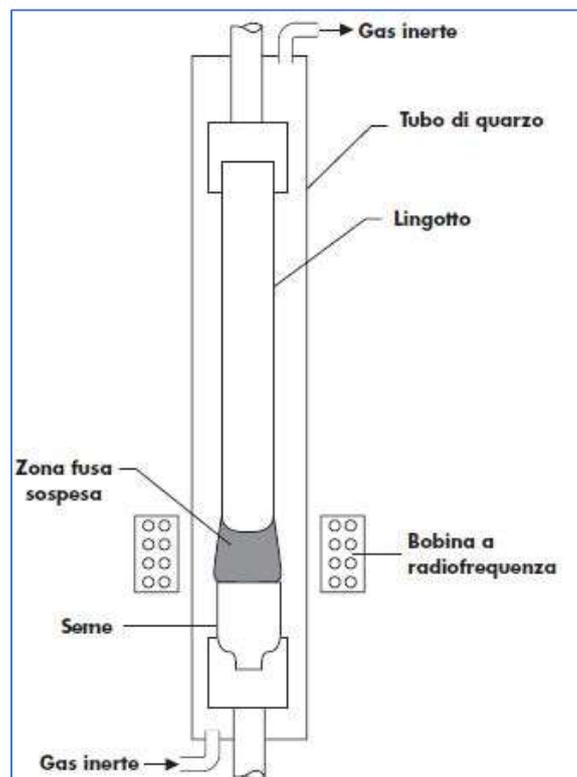


Figura 6: Produzione del monocristallo col metodo floating-zone

Per quanto riguarda il silicio policristallino il metodo più utilizzato è [4]:

- **Processo Block Casting:**

per ottenere il lingotto di silicio policristallino, il polysilicon viene inserito in un crogiolo di grafite dove viene fuso con un arco elettrico. Attraverso un processo di raffreddamento graduale e controllato si ottiene una cristallizzazione direzionale in senso verticale. I lingotti ottenuti hanno la forma di un parallelepipedo di circa 70 x 70 x 25 cm o 150 x 150 x 60 cm per un peso totale di 240 kg. Questi vengono poi tagliati in lingotti a base quadrata di lato 15.6 cm [4].

#### 1.2.4 La produzione della cella

Nella sezione precedente abbiamo descritto i processi di produzione del silicio cristallino che a questo punto della filiera sono sottoforma di cilindri.

Partendo perciò dai lingotti vengono effettuate alcune procedure per ottenere la cella fotovoltaica pronta per essere utilizzata:

- **Sawing:**

cioè il taglio effettuato per ottenere i wafer, dei dischi di dimensioni variabili tra i 0,2 mm e i 0,3 mm [4], tramite l'utilizzo di speciali lame in diamante. La problematica maggiore di questo passaggio è la perdita di materiale durante l'incisione che può raggiungere il 50% della massa iniziale del lingotto [5]. Tuttavia, il materiale perso, essendo di ottima qualità, viene recuperato e riutilizzato per la produzione dei lingotti.

- **Etching:**

i wafer appena ottenuti vengono lavorati dalle imperfezioni dovute al taglio e chimicamente puliti.

- **Doping:**

il disco appena prodotto e lavorato è costituito completamente da p-type. Durante il doping si va a creare lo strato di n-type, chiamato anche livello emettitore, che sarà responsabile della generazione di portatori di carica che saranno responsabili della generazione di corrente.

A causa della legge di Lambert-Beer, l'intensità della generazione diminuirà esponenzialmente proprio come il livello di penetrazione della luce nel materiale, perciò lo spessore dell'emettitore sarà una piccola parte (circa 1  $\mu\text{m}$ , cioè 1%) rispetto allo spessore del wafer.

Quantificando questo spessore si può affermare che nei primi 10  $\mu\text{m}$  circa vengono generati la maggior parte dei portatori.

Il processo utilizza una fornace a circa 850 °C nella quale vengono collocati i wafer che, grazie alla presenza in atmosfera degli atomi droganti sotto forma di fosfina ( $\text{PH}_3$ ), subiscono sulla superficie esposta il cambiamento di tipologia andando a creare la giunzione p-n.

Lo strato n si diffonde in profondità grazie alla legge di Fick che afferma che il flusso di particelle è proporzionale al gradiente negativo della densità di particelle.

Legge di Fick:  $J(x) = -D \frac{dn}{dx}$

$J(x)$  = flusso particelle

$D$  = costante di diffusione

$\frac{dn}{dx}$  = densità particelle

Utilizzando lo stesso metodo di doping è possibile drogare la superficie inferiore del wafer a un livello superiore che sarà chiamato  $p^+$ . questa tecnica permette di diminuire le perdite dovute alle ricombinazioni immediate dei portatori di carica. Essendosi creata una nuova differenza di carica la giunzione tra lo strato  $p^+$ - $p$  si comporta come una giunzione  $p$ - $n$ , che crea un campo elettrico che permette di limitare il passaggio di elettroni in verso opposto. Cioè diminuisce il numero di elettroni che partendo dallo strato  $p$  (vedi Figura 7) raggiungerebbero la base della cella (attuale strato  $p^+$ ).

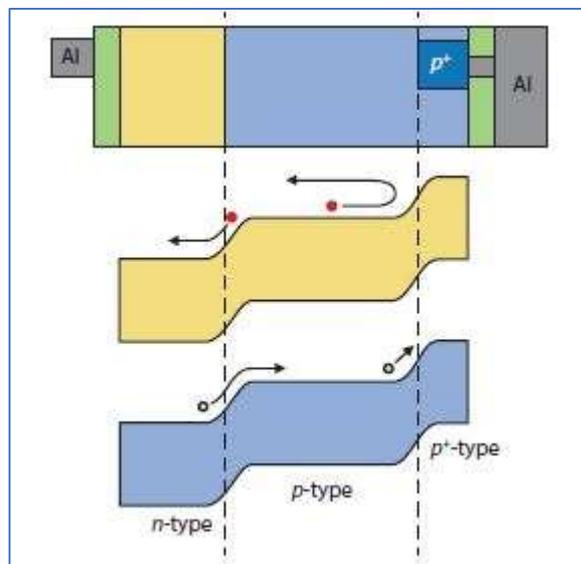


Figura 7: effetto del campo elettrico dovuto alle due giunzioni  $p$ - $n$  e  $p^+$ - $p$  nella distribuzione del potenziale. In bianco sono rappresentate le lacune e in rosso gli elettroni [109].

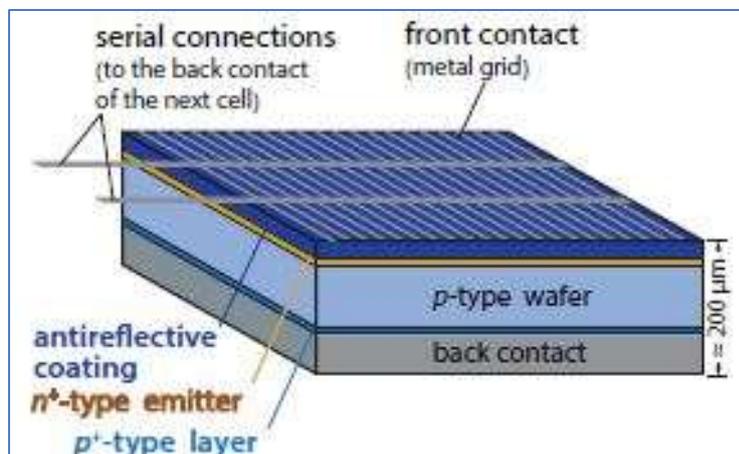


Figura 8: Schema cella solare in silicio cristallino

- **Screen Printing:**

dal layer di tipo  $p$  arriva un flusso di elettroni che tuttavia lo strato emettitore (n-type) non è in grado di condurre. Per ovviare a questo problema vengono aggiunte sulla superficie del wafer delle parti metalliche che prendono il nome di *busbars* e *fingers*. Queste barre posizionate perpendicolarmente tra di loro tuttavia creano una perdita ottica, in quanto riducono la superficie esposta alla luce solare.

Proprio per questo motivo vengono effettuati molti studi per dimensionare correttamente le parti metalliche perché, essendo la resistenza proporzionale a [2]:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{W \cdot H}$$

Dove:

$R =$  resistenza elettrica

$\rho =$  resistività elettrica del metallo

$L =$  lunghezza

$W =$  larghezza

$H =$  altezza

Per diminuire la resistenza elettrica le parti metalliche dovrebbero avere una larghezza il più grande possibile, ma tuttavia all'aumentare di questa dimensione si riduce la superficie della cella esposta alla luce solare riducendo perciò la quantità di corrente prodotta.

Sulla parte inferiore della cella viene posizionato una lamina di alluminio che ricopre l'intera superficie della cella perché non si riscontra il problema di esposizione alla luce.

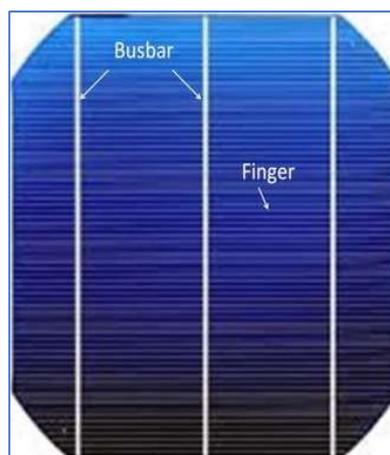


Figura 9: busbars e fingers cella solare.

- **Coating:**

un'altra causa di perdita ottica è dovuta alla riflessione dei raggi incidenti sulla superficie. Per ridurre questo effetto esistono due approcci differenti per la progettazione di uno strato ARC (Anti Reflection Coating). Il primo prevede l'installazione di un sottilissimo strato di nitruro di silicio o ossido di titanio [4] seguendo il principio di Rayleigh.

Nel secondo caso è possibile applicare una texture alla superficie tramite delle incisioni che permettono di direzionare i raggi riflessi nuovamente sulla superficie della cella. Se si seziona una cella fotovoltaica a cui è stata applicata questa soluzione si può notare una superficie caratterizzata da delle piramidi rovesciate di dimensioni nell'ordine dei nanometri [2], come mostrato in Figura 10.

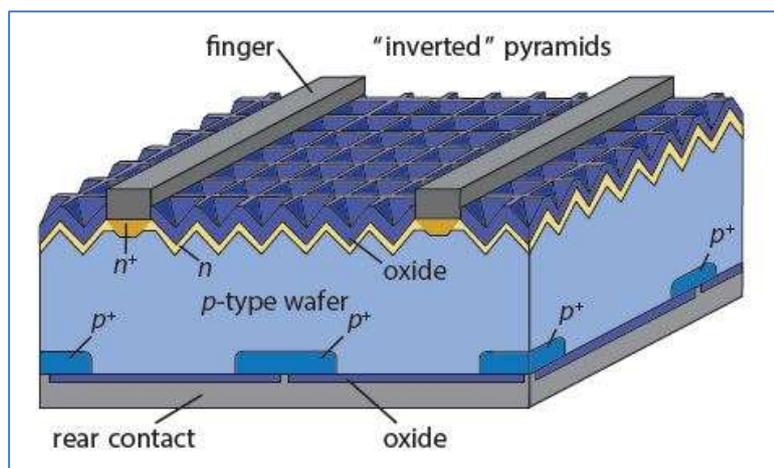


Figura 10: sezione di una cella con trattamento di texturing superficiale [2]

### 1.2.5 L'assemblaggio del modulo fotovoltaico

Per l'assemblaggio del modulo fotovoltaico si utilizza una struttura a strati che permette di proteggere le celle appena prodotte dagli agenti atmosferici ed inoltre le conferisce una solidità strutturale.

Partendo dalla parte posteriore, come si può vedere in figura 11 viene utilizzata una lamina di polimero impermeabile (TEDLAR) che conferisce anche resistenza meccanica.

Per garantire la solidità e la posizione stabile delle celle, quest'ultime vengono incapsulate tra due strati di etilen vinil acetato (EVA) e successivamente posate sopra il primo strato. Al variare della ditta produttrice e delle caratteristiche tecniche richieste il numero di celle può variare da 36 a 92 unità per ogni modulo.

Sullo strato superiore viene posato una lamina di circa 3 – 4 mm di vetro temperato che assicura una buona protezione da eventuali urti di oggetti o agenti atmosferici, senza tuttavia influenzare negativamente le prestazioni e l'efficienza.

Infine, il tutto viene fissato nel frame di alluminio che assicura la rigidità e permette il fissaggio sulle strutture di installazione. Viene inoltre posizionata una guarnizione in neoprene tra la cornice e il sandwich appena creato che assicura l'impermeabilità della struttura.

Come ultima installazione sul frame viene fissata una scatola sigillata (junction box) dentro la quale saranno posizionati tutti i collegamenti elettrici e, dalla quale partiranno i cavi per permettere il collegamento in serie o in parallelo tra i vari moduli del parco fotovoltaico.

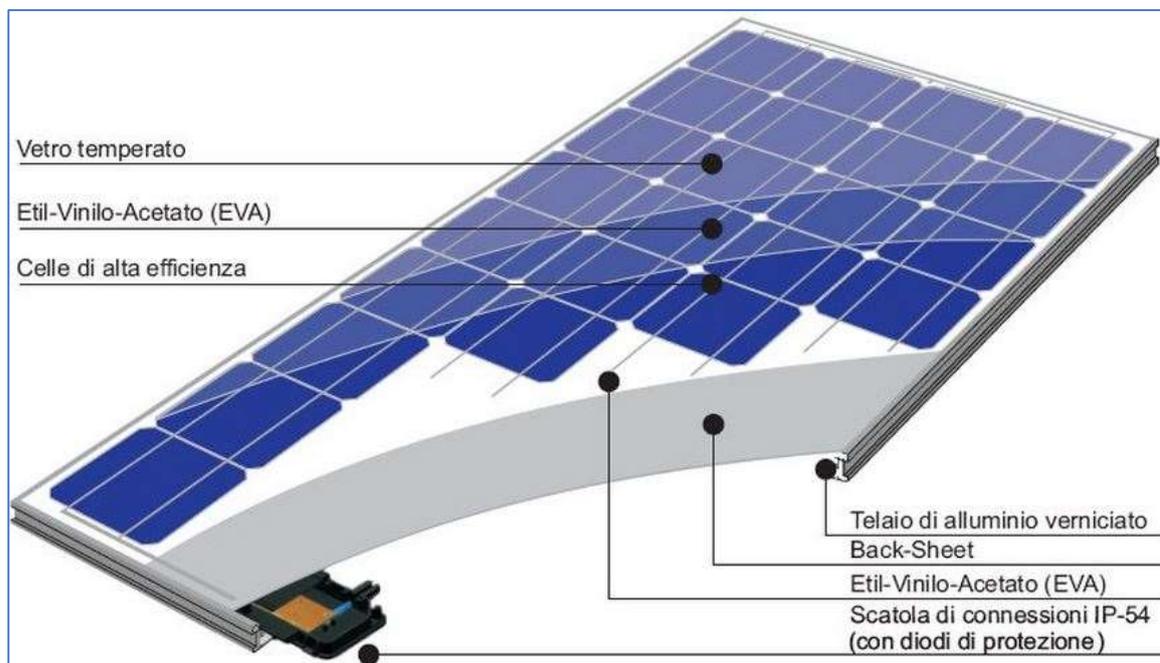


Figura 11: sezione di un modulo fotovoltaico [6]

### 1.3 Pannello Astronergy policristallino

Date le condizioni metereologiche e morfologiche dell'ubicazione dell'impianto è stato scelto un pannello policristallino a 72 celle caratterizzato da 325 W<sub>p</sub> di potenza della Astronergy.

Nello specifico:

*ASTRENERGY STAVE\_CHSM6612P\_40mm frame*

Nella Tabella 2 è possibile osservare le principali caratteristiche:

Potenza Massima	325 W
Tensione Circuito Aperto (V <sub>oc</sub> )	45,67 V
Corrente Corto Circuito (I <sub>sc</sub> )	9,48 A
Tensione @ Massima Potenza (V <sub>mpp</sub> )	37,11 V
Corrente @ Massima Potenza (I <sub>mpp</sub> )	8,77 A
Efficienza del modulo	16,00 %

Tabella 2: Dati pannello fotovoltaico Astronergy

Il costruttore fornisce anche una garanzia di rendimento dei materiali nei primi 10 anni di vita e di ulteriori 15 per un decadimento lineare della potenza in output (2,5 % nel primo anno e per i successivi 24 anni una diminuzione dello 0,7 %/anno) come visibile nella Figura 12.

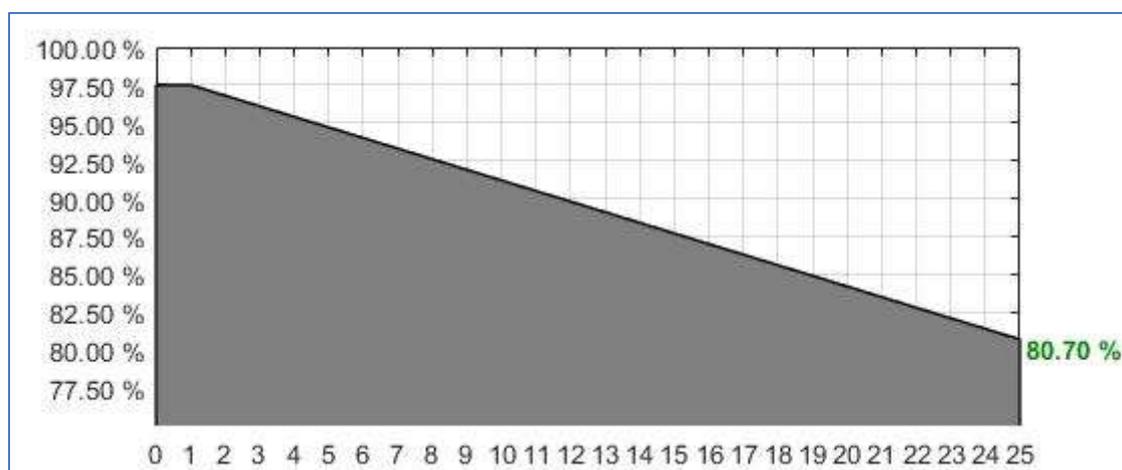


Figura 12: Andamento efficienza del pannello fotovoltaico nel tempo

Come si può vedere dalla Figura 2 i pannelli sono posati a terra sopra ad una struttura tracker ad asse singolo con movimento attorno all'asse nord – sud che permette di massimizzare la produzione di energia. Grazie a questo sistema di inseguimento solare i moduli fotovoltaici possono raggiungere inclinazioni che variano da 55° ai -55° dove 0° è il piano orizzontale.

Ogni struttura permette l'installazione in serie di 30 pannelli che costituiranno una stringa che si collega ad un singolo String Boxes (SB) ottenendo una potenza di 9,750 kW<sub>p</sub>.

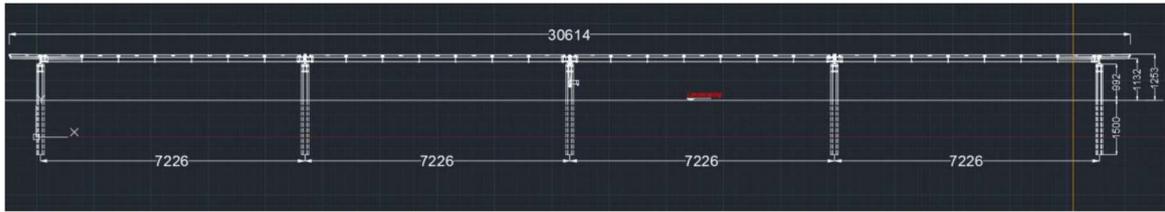


Figura 13: Struttura di montaggio dei pannelli fotovoltaici, vista frontale

Il parco è costituito da 25080 pannelli che permettono di raggiungere una potenza installata pari a 8,151 MW<sub>p</sub>.

Le stringhe sono collegate in parallelo tra di loro in un Combiner Box (CB), per avere un unico ingresso nel lato DC dell'inverter, fino ad un massimo di ventiquattro (24) ottenendo perciò i seguenti valori elettrici:

- V<sub>oc</sub> in STC: 1370,1 [V]
- V<sub>mpp</sub> in STC: 1015,8 [V]
- I<sub>sc</sub> in STC stringa: 9,48 [A]
- I<sub>sc</sub> in STC combiner: 227,52 [A]
- I<sub>mpp</sub> in STC combiner: 160,8 [A]

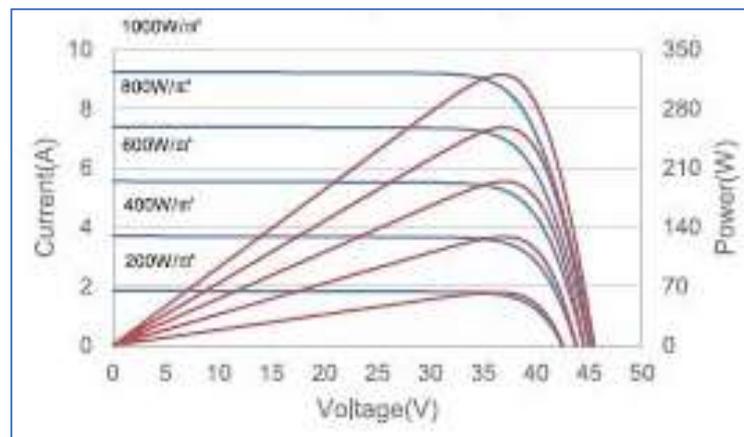


Figura 14: Curve Corrente – Tensione e Potenza – Tensione di un pannello da 320 W

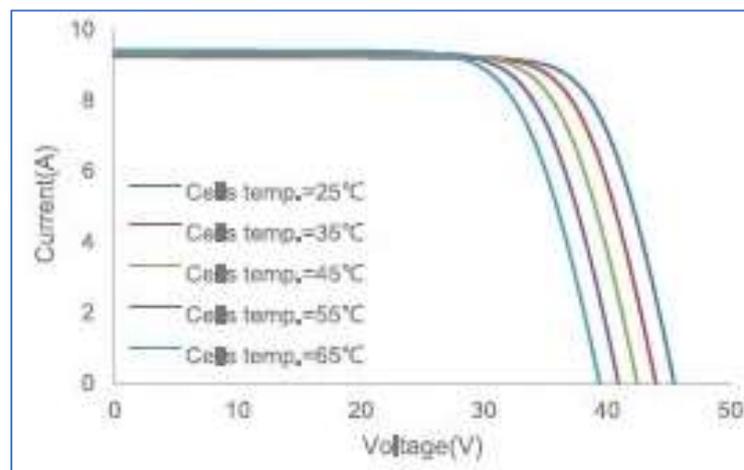


Figura 15: Curva corrente tensione in funzione della temperatura di un pannello da 320 W

## 1.4 Inverter e trasformatori

Nell'impianto sono stati installati sei inverter R15015TL prodotti dall'azienda Fimer di tipo centralizzato con le seguenti caratteristiche:

### **LATO DC**

Massimo numero di DC input	6 combiner boxes
Range tensione MPP	850-1320 V
Massima tensione senza carico	1.500 V
Relè a basso isolamento	Yes
Protezione sovratensioni DC	Yes

### **LATO AC**

Potenza nominale (PN)	1410 kVA
Cos $\phi$ a PN	0,80 CAP - 0,80 IND
Tensione nominale	550 V
Numero di fasi	3
Frequenza	50 Hz
Fattore di distorsione	< 3%
Efficienza europea	98,6%
Isolamento galvanico	No
Protezione anti-isolamento	Yes
Protezione sovratensione AC	Yes
Contatore di energia	Yes

Lo studio effettuato in fase di progettazione ha portato alla definizione del numero di pannelli collegati ad ogni singolo inverter come indicato nella Tabella 3 seguente.

	Numero stringa	Conteggio stringhe progressive	Totale stringhe collegate	Totale pannelli
<b>INVERTER 1</b>	S 1 – S 123	123	134	4020
	S 146 – S 156	11		
<b>INVERTER 2</b>	S 124 – S 145	22	134	4020
	S 157 – S 263	107		
	S 276 – S 280	5		
<b>INVERTER 3</b>	S 264 – S 275	12	142	4260
	S 281 – S 336	56		
	S 349 – S 406	58		
	S 419 – S 434	16		
<b>INVERTER 4</b>	S 337 – S 348	12	144	4320
	S 407 – S 418	12		
	S 435 – S 482	48		
	S 495 – S 562	68		
	S 575 – S 578	4		
<b>INVERTER 5</b>	S 483 – S 494	12	144	4320
	S 563 – S 574	12		
	S 579 – S 638	60		
	S 657 – S 716	60		
<b>INVERTER 6</b>	S 639 – S 656	18	138	4140
	S 717 – S 836	120		

Tabella 3: Riepilogo numero di stringhe e pannelli collegato ad ogni inverter

Per quanto riguarda i trasformatori nell'impianto ne sono stati installati tre MV/LV con i seguenti dati:

- Potenza nominale 2820 (1410 + 1410) kVA
- Frequenza nominale 50 Hz
- Tensione di avvolgimento nominale 15 ±2x2,5% / 0,55 – 0,55 kV
- Configurazione avvolgimenti Dy11y11
- Metodo di raffreddamento ONAN
- Classi isolanti 24 / 50 / 145 kV
- $V_{cc}$  6% - 6%

## 2 Il sistema di accumulo

Una caratteristica fondamentale di un impianto fotovoltaico è la limitazione della produzione di energia esclusivamente durante le ore diurne in cui è disponibile la luce solare. Per i sistemi in cui il fotovoltaico è l'unica fonte di generazione, il sistema di accumulo è in genere necessario poiché un accoppiamento temporale esatto tra la presenza della luce solare e la richiesta di potenza del carico è limitata a pochi tipi di sistemi. Nei sistemi ibridi o di connessione alla rete, dove le batterie non sono intrinsecamente necessarie, possono essere incluse in modo vantaggioso per l'adattamento del carico o il condizionamento dell'alimentazione.

Il sistema di accumulo più diffuso e pratico è dato dall'utilizzo di batterie, in quanto altri sistemi quali un volano o un condensatore sono utilizzabili solo per durate brevi.

### 2.1 Batterie

In qualsiasi sistema fotovoltaico nel quale vengono utilizzate batterie, queste diventano un componente centrale dell'intero sistema che influisce in modo significativo sui costi, i requisiti di manutenzione, l'affidabilità e la progettazione del sistema fotovoltaico. A causa del grande impatto delle batterie in un sistema fotovoltaico, comprendere le proprietà delle batterie è fondamentale per conoscere il funzionamento dei sistemi fotovoltaici.

I parametri più importanti di una batteria, che influenzeranno il funzionamento e le prestazioni del sistema fotovoltaico, sono i requisiti di manutenzione della batteria, la durata della batteria, la potenza disponibile e l'efficienza.

Una batteria ideale:

- sarebbe in grado di essere caricata e scaricata a tempo indeterminato in base a regimi di carica e/o scarica arbitrari;
- avrebbe alta efficienza;
- avrebbe alta densità di energia cioè la capacità di stoccare una grande quantità di energia per unità di massa o dimensione;
- avrebbe bassa autoscarica;
- avrebbe basso costo.

Questi parametri sono controllati non solo dalla scelta iniziale della batteria, ma anche dalla tipologia di utilizzo nel sistema, in particolare dalla modalità in cui viene caricata e scaricata e dalla sua temperatura di funzionamento.

### 2.1.1 Capacità

La capacità di una batteria è la quantità di carica elettrica che può essere immagazzinata e rilasciata dalla cella. Questa quantità viene misurata in coulomb e fornisce una valutazione dei materiali ancora attivi presenti all'interno della cella.

La formula che permette di calcolare la capacità di una batteria è la seguente:

$$C = \int I dt$$

$C = \text{capacità [Ah]}$

$I = \text{corrente elettrica di scarica}$

Tuttavia, il valore reale risulterà minore rispetto a quello rilevato perché parte della capacità durante la fase di rilascio si trasformerà in calore, irreversibilità o creerà reazioni di cristallizzazione degli elementi della batteria che comportano il peggioramento nel tempo delle prestazioni [8]. Inoltre, anche la temperatura svolge un ruolo importante nel determinare la capacità della cella che, quando si raffredda, aumenta la sua resistenza interna portando a una maggiore irreversibilità e di conseguenza valori misurati minori.

La capacità della batteria risulta strettamente legata alla quantità di energia che può essere immagazzinata al suo interno.

Infatti, l'energia è definita come [9]:

$$E = C \cdot V$$

$E = \text{energia [Wh]}$

$C = \text{capacità [Ah]}$

$V = \text{tensione [V]}$

### 2.1.2 Stato di carica (SoC) e profondità di scarica (DoD)

Ogni cella della batteria ha una capacità specifica, ciò significa che non può immagazzinare più energia della sua capacità massima. Durante la fase di scarica la capacità residua nella batteria diminuisce.

Una batteria si definisce completamente carica quando l'energia immagazzinata eguaglia la capacità nominale della cella seguendo la legge riportata in seguito [9].

$$SoC = \frac{C_a}{C_n}$$

$SoC = \text{stato di carica}$

$C_a = \text{energia disponibile}$

$C_n = \text{capacità nominale}$

Il parametro SoC può assumere solo valori compresi tra 0 e 1, dove zero significa che la batteria è completamente scarica e uno significa che è completamente carica.

La profondità di scarica invece è definita come la quantità di energia utilizzata rispetto al totale disponibile.

$$DoD = 1 - SoC$$

$DoD = \text{profondità di scarica}$

Come vedremo successivamente quest'ultimo parametro sarà fondamentale per il dimensionamento del sistema di accumulo perché i cicli di scarica caratterizzati da profondità elevate provocano un calo delle prestazioni della cella. Infatti, per elevati numeri di cicli la capacità massima riottenibile durante la fase di carica diminuirà.

### 2.1.3 Batteria Li-ion

Storicamente la prima batteria agli ioni di litio apparve sul mercato nel 1991 grazie alla casa giapponese Sony.

Questa tipologia di celle è caratterizzata da valori abbastanza elevati di tensione rispetto ad altre tecnologie. Nel caso studio oggetto di questa tesi, come vedremo successivamente, le celle saranno caratterizzate da una tensione nominale pari a 3,68 V.

Le celle agli ioni di litio hanno un'energia specifica ed una potenza elevati poiché il litio è un metallo leggero [9]. Pertanto, le celle sono utilizzate in veicoli elettrici, notebook, telefoni cellulari e qualsiasi altro dispositivo portatile.

I principali vantaggi delle batterie agli ioni di litio sono:

- La densità di energia e l'energia specifica delle celle agli ioni di litio sono più elevate rispetto a qualsiasi altra batteria convenzionale.
- Non soffrono dell'effetto memoria.
- La loro vita ciclica è molto alta.

I principali svantaggi delle batterie agli ioni di litio sono:

- Sono sensibili all'algoritmo di ricarica e, se sovraccaricati, tendono ad esplodere.
- A causa della loro tendenza all'esplosione, un sofisticato controller dovrebbe essere assemblato per la ricarica.
- La temperatura delle celle deve essere monitorata per motivi di sicurezza.
- Sono più costose.

Le batterie agli ioni di litio sono costituite da quattro componenti principali: catodo, anodo, elettrolita e separatore. Ogni singolo componente di una batteria agli ioni di litio è essenziale in quanto non può funzionare quando ne viene a mancare uno.

#### 2.1.3.1 Catodo Li-NiCoMn

Il catodo della batteria agli ioni di litio determina le sue principali caratteristiche, cioè la capacità e la tensione.

Naturalmente, essendo il litio alla base di questa tecnologia, le reazioni chimiche che genereranno energia elettrica saranno basate su questo elemento. Tuttavia, poiché il litio è caratterizzato da instabilità se utilizzato direttamente come elemento chimico si andrà a sfruttare un composto chiamato ossido di litio. Questo composto, detto materiale attivo sarà quello che creerà gli ioni necessari al funzionamento della cella [10].

Per permettere una solidità strutturale della cella il materiale attivo viene fatto aderire ad una lamina di alluminio insieme ad un additivo conduttivo grazie ad un legante. L'additivo conduttivo permette di incrementare la trasmissione degli ioni rilasciati durante le reazioni migliorando le prestazioni della batteria. Nella figura successiva è possibile osservare uno schema rappresentativo di questa soluzione ingegneristica adottata.

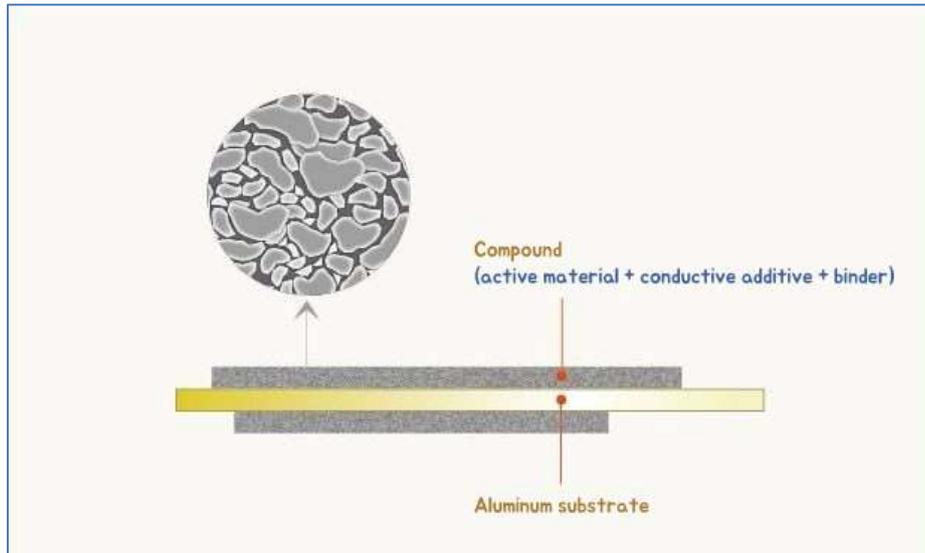


Figura 16: Schema di costruzione del catodo di una batteria agli ioni di litio. Samsun SDI.

La tecnologia che si andrà ad installare sfrutta la combinazione di tre metalli di transizione: Nichel (Ni), Cobalto (Co) e Manganese (Mn). Questi tre materiali permettono di ottenere buone densità energetiche, buone tensioni e costi relativamente contenuti.

NiCoMn è caratterizzato da una struttura cristallina disposta in siti ottaedrici in strati alternati di atomi di nichel e di cobalto, atomi di manganese cobalto e litio come mostrato nella figura successiva [11].

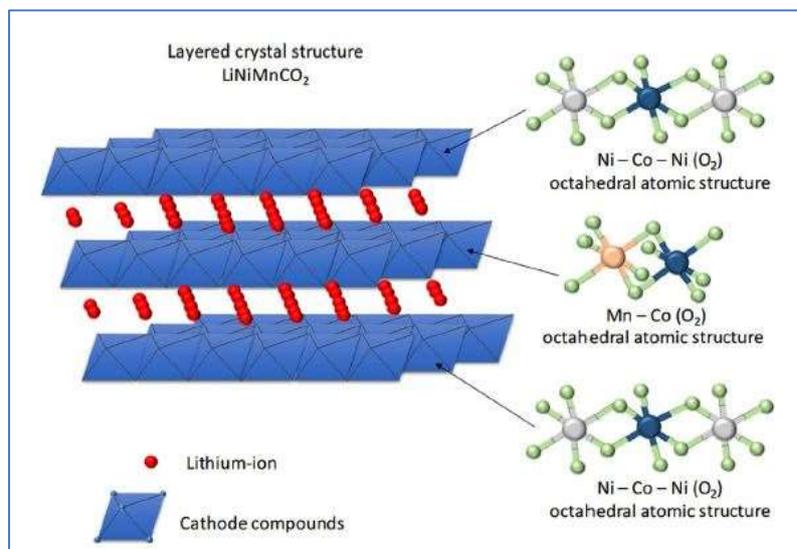


Figura 17: Struttura atomica a strati di NiCoMn. [12]

Il materiale NiCoMn è un composto termicamente stabile contenente almeno un anione di ossigeno e un catione metallico ciascuno di cobalto, manganese e nichel (American Elements, 2017e). La combinazione di diversi metalli di transizione offre vantaggi prestazionali diversi rispetto a quelli che si avrebbero se venissero utilizzati da soli. Ad esempio, le combinazioni di NiCoMn ricche di nichel offrono un'elevata capacità di scarica, mentre le combinazioni ricche di manganese offrono una migliore durata del ciclo e stabilità termica e le combinazioni ricche di cobalto offrono una buona capacità di scarica. Le celle che usano la chimica NiCoMn traggono vantaggio dal fatto che è quella che viene considerata una formula chimica "ben bilanciata", in

quanto è in grado di offrire energia e densità di potenza molto buone in un ampio intervallo di temperature operative e può essere facilmente influenzata dall'energia o dalla potenza a seconda sulle esigenze dell'applicazione. Inoltre, NiCoMn ha dimostrato di essere in grado di raggiungere una durata di ciclo molto elevata rendendola ideale per applicazioni di lunga durata.

Ovviamente, non sono presenti solo dei vantaggi. Infatti, le combinazioni ricche di nichel soffrono di un degrado strutturale che riduce la durata dei cicli. Le combinazioni ricche di manganese soffrono di una capacità ridotta che influisce sulla densità energetica e le combinazioni ricche di cobalto soffrono sia di costi elevati che di problemi di sicurezza [13]. Per questi motivi le sperimentazioni e gli studi sulle percentuali di utilizzo di questi tre elementi sono ancora in corso.

#### *2.1.3.2 Anodo*

Proprio come il catodo, anche il substrato dell'anodo è rivestito con materiale attivo. Il materiale attivo presente nell'anodo permette alla corrente elettrica di fluire attraverso il circuito esterno consentendo allo stesso tempo l'assorbimento o l'emissione reversibile degli ioni di litio rilasciati dal catodo. Quando la batteria viene caricata gli ioni di litio vengono immagazzinati nell'anodo.

A questo punto, quando il filo conduttore collega il catodo all'anodo (fase di scarica), le particelle positive di litio ritornano naturalmente al catodo attraverso l'elettrolita e gli elettroni separati dalle cariche positive si muovono lungo il filo generando elettricità.

Per la costruzione dell'anodo viene utilizzata la grafite perché è caratterizzata da una struttura stabile e una bassa reattività elettrochimica che permette la conservazione degli ioni di litio durante le fasi di carica e di attesa dell'utilizzo della batteria. Inoltre, il prezzo risulta competitivo per permettere la costruzione delle celle.

#### *2.1.3.3 Elettrolita*

Un altro elemento fondamentale per la costruzione di una batteria a celle separate è l'elettrolita. Questo componente ha la funzione di obbligare il movimento degli elettroni all'interno del filo conduttore appositamente inserito nella batteria. L'elettrolita perciò permette il passaggio esclusivamente agli ioni positivi che durante la fase di scarica si sposteranno verso il catodo e durante la fase di carica si sposteranno verso l'anodo.

L'elettrolita è composto da sali, solventi e additivi. I sali permettono il passaggio per lo spostamento degli ioni di litio, i solventi sono liquidi organici utilizzati per dissolvere i sali e gli additivi vengono aggiunti in piccole quantità per scopi specifici. Inoltre, la velocità di movimento degli ioni di litio dipende dal tipo di elettrolita. Pertanto, possono essere utilizzati solo gli elettroliti che soddisfano condizioni rigorose.

#### *2.1.3.4 Separatore*

Il separatore è il componente della batteria che permette la separazione fisica totale tra catodo e anodo permettendo il solo passaggio attraverso l'elettrolita degli ioni. A differenza del catodo e dell'anodo che vanno a caratterizzare le prestazioni e le proprietà delle batterie il separatore garantisce la sicurezza necessaria per il perfetto utilizzo della batteria.

Per questi motivi questo elemento deve soddisfare tutte le caratteristiche fisiche ed elettrochimiche necessarie a garantire buone prestazioni e standard di sicurezza adatti a permettere il commercio delle batterie. Attualmente sul mercato i materiali utilizzati per la creazione di separatori sono composti da resine sintetiche quali polietilene (PE) e polipropilene (PP).

## 2.2 Samsung SDI

La scelta progettuale è ricaduta sulla tecnologia di Samsung SDI in collaborazione con Sungrow. La tecnologia prevede l'utilizzo di batterie NCM Li-ion (Ni-Nichel, Co-Cobalto, Mn-Manganese, Li-Litio). Partendo da una singola cella caratterizzata da una tensione nominale di 3,7 V e una capacità di 160 mAh/g si effettueranno dei collegamenti in serie e in parallelo per raggiungere l'energia di stoccaggio desiderata.

Nella tabella seguente è possibile vedere le caratteristiche principali della batteria scelta.

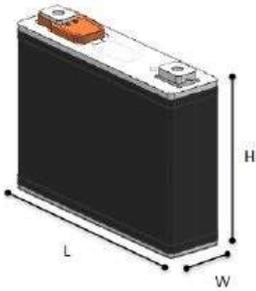
Item		Specification			
		94Ah (E2)	94Ah (M2f)	78Ah (P3)	
 <p>CAN Type LIB</p>	Cell Dimension (Excluding Terminals)	173 x 125 x 45	173 x 125 x 45	173 x 125 x 45	
	Weight	2.100g	2.100g	2.100g	
	Capacity (1/3C rating @25°C)	94Ah	94Ah	78 Ah	
	Energy (1/3C rating @25°C)	345.92Wh	345.92Wh	288.6Wh	
	Energy Density	Gravimetric	164.7 Wh/kg	164.7 Wh/kg	137.5Wh/Kg
		Volumetric	355.5 Wh/L	355.5 Wh/L	296.5 Wh/L
	Voltage	Max.	4.15 V	4.15 V	4.10 V
		Nominal	3.68 V	3.68 V	3.70 V
		Min.	2.70 V	2.70 V	2.70 V
	Temp condition	Operation	-25 ~ 60°C	-25 ~ 60°C	-25 ~ 60°C
Storage		-40 ~ 60°C	-40 ~ 60°C	-40 ~ 60°C	

Tabella 4: Riepilogo caratteristiche della cella base scelta. Batteria Samsung SDI

Partendo dalla cella base si effettua un collegamento in serie di 22 elementi ottenendo un modulo denominato M2-M076F.

Classification	Energy		Medium		Power
	E2-M076	E3-M090	M2-M076F	M3-M087F	P3-M063
Image					
Cell Type Configuration	94Ah 22S1P	111Ah 22S1P	94Ah 22S1P	107Ah 22S1P	78Ah 22S1P
Applicable C-Rate	0.5C ↓	0.5C ↓	0.7 ~ 1.0C	0.7 ~ 1.0C	2.0C
Peak C-Rate (Charge/Discharge)	0.5C / 0.7C	0.5C / 0.7C	1.0C / 1.2C	<del>1.0C / 1.2C</del> Preliminary	2C / 3C (Under 1,200V) 2C / 2.5C (1,500V)
Nominal Energy (kWh)	7.61	8.99	7.61	8.66	6.35
Operating Voltage(V)	70.4 ~ 91.3	68.2 ~ 92.4	70.4 ~ 91.3	68.2 ~ 92.4	68.2 ~ 90.2
Dimension (W×L×H)	370*588*160	370*588*160	370*650*160	370*650*160	370*650*160
Weight (kg)	< 55kg	< 55kg(TBD)	< 55kg	< 55kg(TBD)	< 54.0kg

Tabella 5: Tabella riepilogo caratteristiche modulo (serie di 22 celle). Samsung SDI

Successivamente utilizzando una struttura appositamente studiata è possibile collegare più moduli in serie ottenendo un Rack. Per la tipologia di modulo di batteria prescelto sono previste tre configurazioni standard che variano di dimensione variando il numero di elementi collegati in

serie. Partendo dalla più piccola che è composta da 198 celle in serie che equivalgono a 9 moduli in serie si passa alla taglia media che è formata da 242 celle (11 moduli) per arrivare alla taglia più grande che è caratterizzata da 264 celle, cioè 12 moduli in serie. Le caratteristiche di ogni taglia standard sono riepilogate nella figura successiva.

Item		Specification			
		M2f 198S	M2f 242S	M2f 264S	
	Cell Type	94Ah 1.0C	94Ah 1.0C	94Ah 1.0C	
	Config. (# of module)	198S1P (9)	242S1P (11)	264S1P (12)	
	Dimension (mm)	442 X 702 X 1792	442 X 702 X 2124	442 X 702 X 2290	
	Weight [Kg]	548	665	724	
	Energy [KWh]	68.5	83.7	91.3	
	Voltage [Vdc]	Nominal	728.6	890.5	971.5
		Operating	633.6~821.7	774.4~1004.3	844.8~1095.6
	Power [KW]	Continuous (CHG) (1.0C)	68.5	83.7	91.3
		Continuous (DCHG) (1.0C)	68.5	83.7	91.3

Tabella 6: riepilogo caratteristiche racks (264 celle in serie). Samsung SDI

Infine, si andranno a collegare in parallelo trenta racks ottenendo una energia totale di accumulo pari a 2740 kWh. Il sistema di batterie ha un intervallo di funzionamento tra gli 844 e i 1095 V che permette un accoppiamento alla rete del parco esistente che in condizioni nominali lavora ad una tensione di 1015,8 V (partendo dal singolo pannello che lavora a 33,86 V si crea la stringa da 30 moduli in serie che permette di ottenere il valore precedentemente riportato).

Tipo di Sistema	ST2740KWH
<b>DATI BATTERIA</b>	
Tipo Cella	Samsung SDI Mega M2F, 3,68V / 94Ah
Capacità (BOL)	2740 kWh
Range Tensione	844 – 1095 V

Tabella 7: Dati di riepilogo del sistema di accumulo scelto per l'installazione

Date le dimensioni delle torrette che contengono i moduli di batterie in serie viene predisposto l'utilizzo di un container in cui saranno stoccati. Questa soluzione permette il controllo della temperatura ambientale a cui lavora l'accumulo tramite un impianto di refrigerazione permettendo perciò il mantenimento di condizioni ambientali fisse pari a 25 °C, temperatura alla quale è stato dimostrato che la durata della vita della batteria è massimizzata.



Figura 18: Container refrigerato contenente le batterie del sistema di accumulo.

Tramite alcuni studi sono stati valutati i comportamenti delle celle in condizioni di temperature critiche, cioè agli estremi del range di funzionamento compreso tra i -10 °C e i 40 °C, ottenendo degli ottimi risultati che sono riportati nelle figure successive.

Partendo dal presupposto che per una batteria la durata della vita si considera conclusa nel momento in cui la sua capacità massima non raggiunge più l'ottanta percento (80%) rispetto alla capacità iniziale (BOL, beginning of life).

Alla temperatura di 45 °C con un profilo di carica pari a 1C e scarica pari a 1C è stata ottenuta una vita della batteria di più di 3200 cicli. Mentre ad una temperatura di -10 °C sotto un profilo di 0,2C di carica e 1C di scarica la durata supera i 2500 cicli. Per 1C si fa riferimento ad un andamento che permette di completare la carica o la scarica della batteria in un'ora. Mentre a 0,2C corrisponde un andamento che permette un ciclo completo in 5 ore.

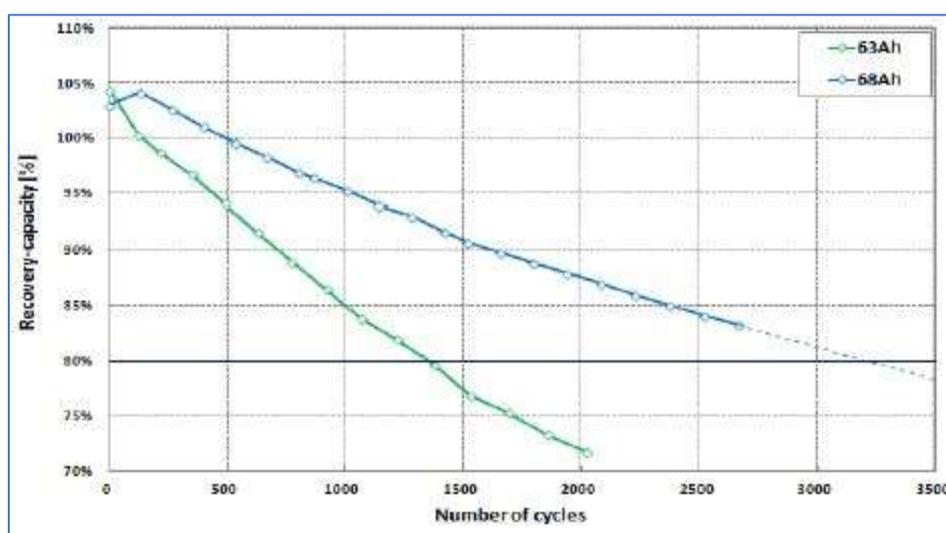


Figura 19: Cicli di vita a 1C/1C alla temperatura di 45 °C

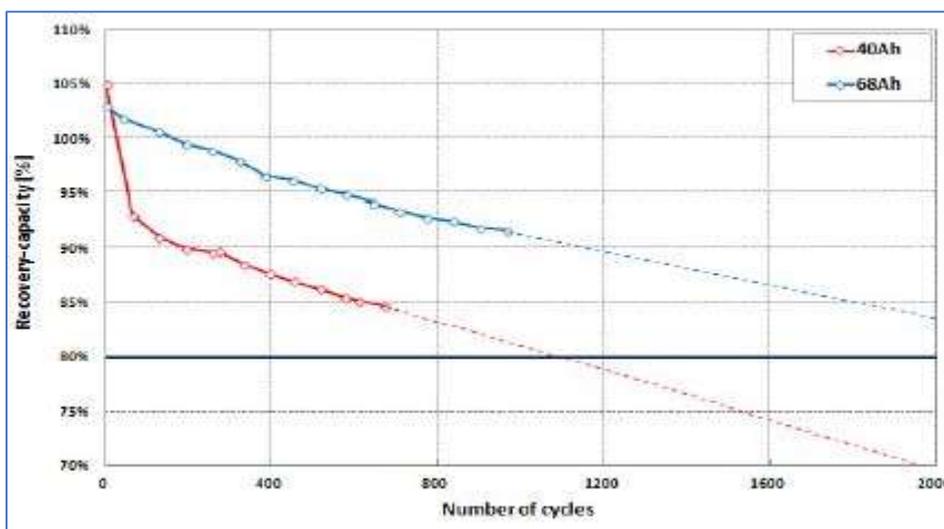


Figura 20: Cicli di vita a 0,2C/1C alla temperatura di -10 °C

La durata della vita della batteria dipende inoltre dalla profondità di scarica che si va ad effettuare nel momento del rilascio dell'energia immagazzinata (DOD, depth of discharge). Simulando due tipologie di scarica (80% e 100%) Samsung SDI ha valutato l'andamento della capacità residua della batteria utilizzata nel nostro sistema alle condizioni ottimali di 25 °C. per entrambe le tipologie di DOD ha inoltre simulato il profilo di carica e scarica paria a 0,5C/0,5C e 1C/1C ottenendo i risultati mostrati nella successiva tabella e figura.

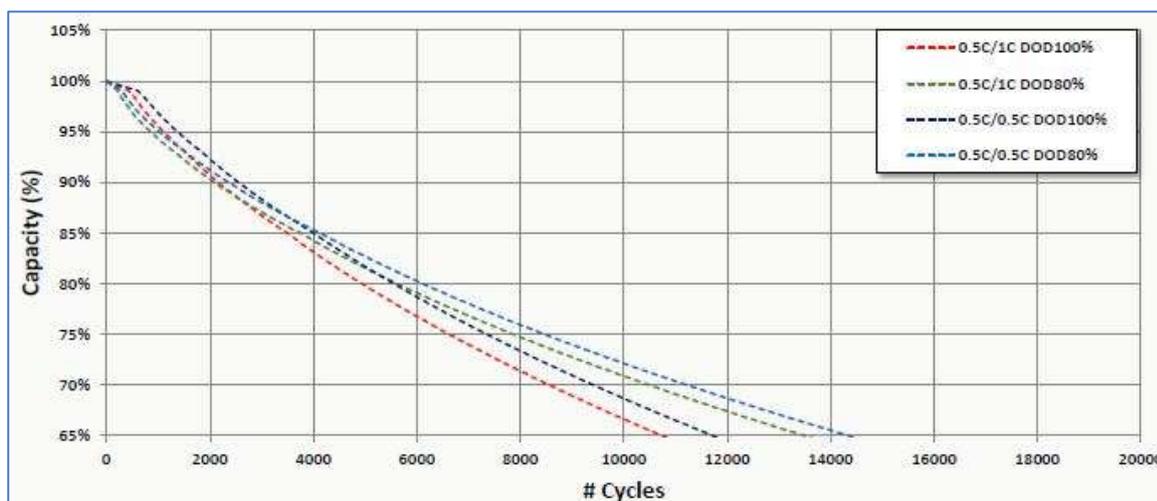


Figura 21: Cicli di vita di una batteria da 94 Ah a 25 °C in condizioni 0,5C/0,5C e 0,5C/1C

Capacità residua	0,5C/1C DOD 100%	0,5C/1C DOD 80%	0,5C/0,5C DOD 100%	0,5C/0,5C DOD 80%
60 %	13000	16500	14000	17500
70 %	8500	10000	9000	10000
80%	4500	5500	5500	6000

Tabella 8: Riepilogo numero di cicli di una batteria da 94 Ah a 25 °C in condizioni 0,5C/0,5C e 0,5C/1C per raggiungere i valori di capacità residua rispetto al valore iniziale

### 2.3 Inverter Sungrow

Per permettere la gestione ottimale ed in sicurezza del sistema di accumulo viene prevista l'installazione di un inverter supplementare della Sungrow con le seguenti caratteristiche:

#### **LATO DC**

Range tensione MPP	800-1300 V
Massima corrente DC	3508 A

#### **LATO AC**

Massima potenza continua AC	2750 kVA
Massima corrente AC	2886 A
Tensione nominale	550 V
Range voltaggio	484 – 625 V
Frequenza	50 Hz
Range frequenza	45 – 55 Hz
Distorsione armonica di corrente THDi	< 3%
Fattore di potenza a PN	> 0.99 %
Isolamento galvanico	Si
Efficienza europea	98,8%
Protezione sovratensione AC	Si
Protezione cortocircuito DC	Si
Protezione sovratensioni DC	Si



Figura 22: Inverter SC2500HV Sungrow

### 3 Acquisizione ed elaborazione dei dati

Partendo dalle informazioni note dell'impianto, cioè le caratteristiche dei pannelli fotovoltaici e degli inverter installati, è stata effettuata un'analisi dell'energia prodotta in un anno solare. Dopo aver ottenuto questa informazione si è proceduto all'analisi dei valori per dimensionare la taglia ottimale dell'accumulo.

#### 3.1 Polysun

Per effettuare l'analisi dell'energia prodotta è stato utilizzato il software Polysun.

Questo software permette la simulazione della produzione in un qualsiasi luogo del mondo scelto dall'utente che ha la possibilità di selezionare da una banca dati la tipologia di pannello fotovoltaico e inverter migliori per il suo impianto. Inoltre, se non fossero disponibili gli elementi reali scelti per l'installazione sarebbe fornita la possibilità di crearne impostandone i valori desiderati permettendo una personalizzazione completa del progetto.

È ulteriormente fornita la possibilità di indicare le perdite derivante dai cavi, dagli inverter e dai trasformatori presenti.

Per calcolare i valori desiderati il programma sfrutta la banca dati Meteonorm che mette a disposizione valori reali e previsioni delle quantità di irraggiamento solare e delle temperature del luogo prescelto dall'utente. Inoltre, fornisce questi dati distribuiti su tutta la durata dell'anno permettendo perciò un'analisi dettagliata istante per istante.

In generale l'energia prodotta da un pannello solare in funzione della radiazione incidente si calcola con la seguente formula:

$$E_{AC} = H_g \cdot S_{PV} \cdot \eta_{STC} \cdot PR$$

$E_{AC}$  = energia prodotta

$H_g$  = radiazione solare  $\left[ \frac{kWh}{m^2} \right]$

$S_{PV}$  = superficie totale dei pannelli  $[m^2]$

$\eta_{STC}$  = efficienza nominale del pannello in STC

$PR$  = performance ratio

Il performance ratio PR è un coefficiente caratterizzato da valori compresi tra 0 e 1 che tiene conto delle perdite di efficienza dovute a:

- errori di corrispondenza delle caratteristiche dei pannelli;
- eventuali riflessi e sporcizia sulla superficie;
- differenze tra lo spettro solare reale e lo spettro solare di riferimento (AM = 1,5);
- perdite nei cavi, e le parti elettriche del circuito;
- temperature di lavoro differenti rispetto a quelle Standard (STC = 25 °C);
- effetti di ombreggiamento tra pannelli;
- perdite dovute al MPP Tracker e alla conversione da CC a CA dell'inverter.

Nella realtà il PR assume valori compresi tra 0,55 e 0,85, ma generalmente viene ipotizzato un valore di progetto pari a 0,75.

Il software Polysun per la stima di questo parametro segue il modello di H.G. Beyer [14] che ha validato l'utilizzo di alcune formule empiriche [15] che permettono di stimare l'efficienza del MPP Tracker durante il suo reale utilizzo. Queste equazioni sono dipendenti dalla radiazione solare e dalla temperatura di esercizio.

$$\eta_{MPP}(H_g, 25^\circ\text{C}) = a_1 + a_2 \cdot H_g + a_3 \ln(H_g)$$

$$H_g = \text{radiazione solare} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$

I parametri empirici "a" sono caratteristici della tecnologia di costruzione del pannello solare e vengono ricavati in base a:

- la potenza del MPP in STC;
- due valori di potenza del MPP a 25 °C in presenza di una radiazione di valore differente a quella standard (1000 W/m<sup>2</sup>);
- la potenza del MPP in presenza di una radiazione solare di 1000 W/m<sup>2</sup> e temperatura di esercizio diversa da quella delle condizioni standard (25 °C).

È inoltre possibile calcolare l'efficienza del MMP tracker al variare della temperatura di esercizio tramite la seguente formula.

$$\eta_{MPP}(H_g, T) = \eta_{MPP}(H_g, 25^\circ\text{C}) \cdot (1 + \alpha \cdot (T - 25^\circ\text{C}))$$

Utilizzando perciò queste equazioni il software è in grado di fornirci dei valori reali dell'energia prodotta dal parco solare oggetto di studio grazie all'utilizzo dei dati dei pannelli e dei valori climatici di temperatura ed irraggiamento forniti dal database Meteonorm.

## 3.1.1 Meteonorm

Entrando nello specifico del parco solare oggetto di analisi di questa tesi partendo dalla banca dati Meteonorm sono stati ricavati valori significativi per la progettazione.

Durante i mesi estivi è stata riscontrata una durata del soleggiamento di 14 ore mentre durante il periodo invernale di 10 ore come riportato nella figura successiva.

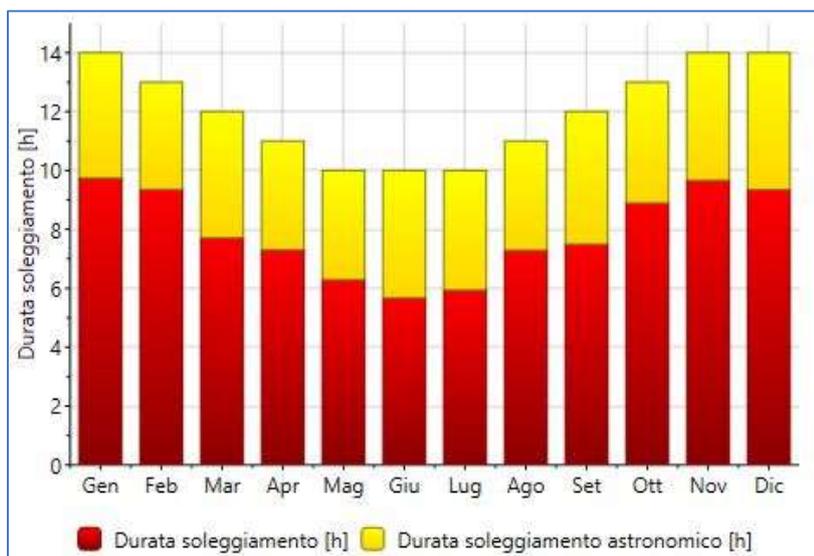


Figura 23: Grafico durata giornaliera media di soleggiamento giornaliero.

È stato inoltre possibile identificare l'irraggiamento giornaliero che varia in funzione delle condizioni climatiche del sito scelto. Infatti, come mostrato nella figura successiva durante il periodo invernale è stato confermato che le giornate piovose sono presenti con una frequenza maggiore rispetto al periodo estivo e per tale motivo l'irraggiamento e conseguentemente la produzione di energia risulteranno molto ridotte.

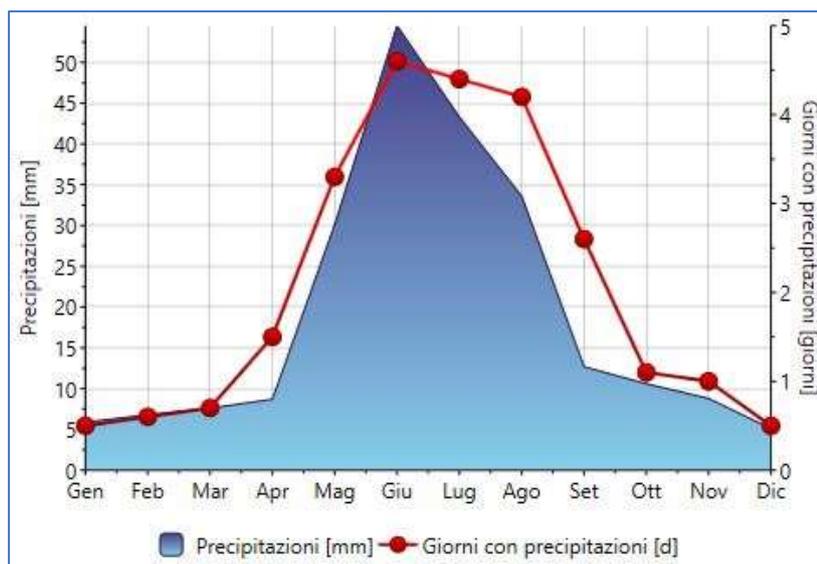


Figura 24: Grafico delle precipitazioni medie mensili e della frequenza di giornate piovose mensili.

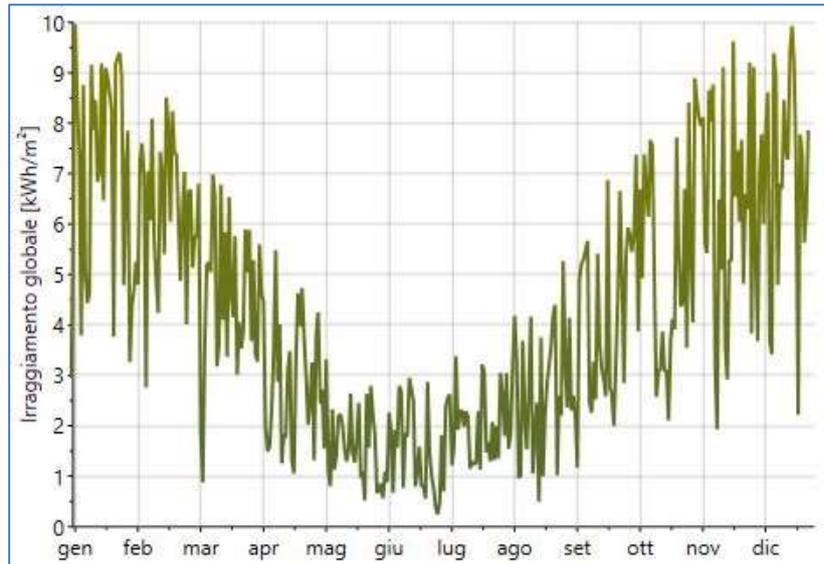


Figura 25: grafico sommatoria giornaliera irraggiamento globale.

Infine, è stato riscontrato l'andamento medio delle temperature atmosferiche presenti nel sito di El Queule che permetterà di valutare il funzionamento dei pannelli fotovoltaici anche tenendo conto del surriscaldamento degli stessi. Questa valutazione risulta molto importante perché all'aumentare della temperatura la performance diminuirà di conseguenza.

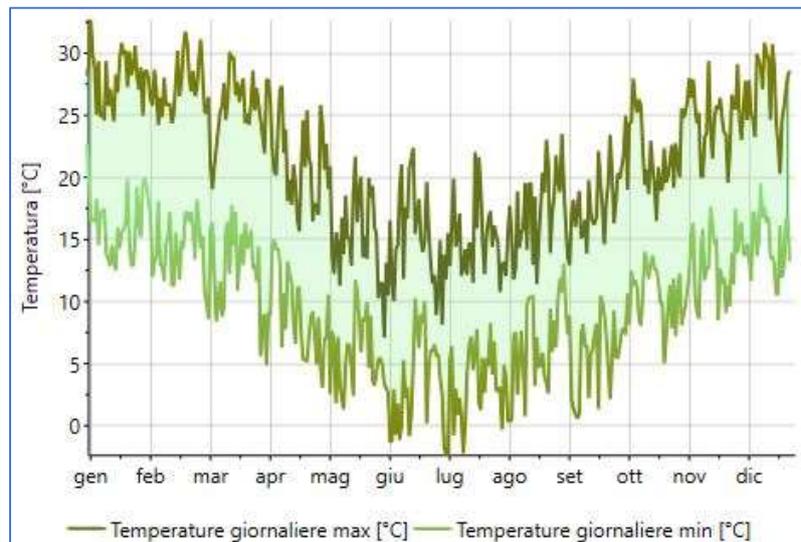


Figura 26: Andamento temperatura massima e minima giornaliera.

### 3.1.2 Tracker

Il tracker è un sistema meccanico che permette di variare l'inclinazione dei pannelli fotovoltaici durante l'arco della giornata per continuare a ricevere l'irraggiamento solare sempre con l'angolo ottimale di incidenza.

Come detto in precedenza nel parco solare di El Queule tutte le stringhe composte da 30 moduli sono installate su una struttura mobile sull'asse Nord - Sud (N - S) con angolazioni massima pari a  $55^\circ$  e  $-55^\circ$ , dove  $0^\circ$  è pari all'asse orizzontale. Questo tipo di tracker permette di seguire l'arco solare durante tutta la giornata incrementando la produzione energetica rispetto ad un sistema sprovvisto di questo sistema.

La prima problematica riscontrata per la raccolta dati è stata causata dalla programmazione della simulazione della presenza di un sistema di tracker per i pannelli nel software Polysun che, permette di impostare e valutare la presenza di questo sistema meccanico, tuttavia non dando all'utente la possibilità di stabilire un angolo massimo di inclinazione che rappresenti il valore reale a cui lavorerà il sistema oggetto di studio.

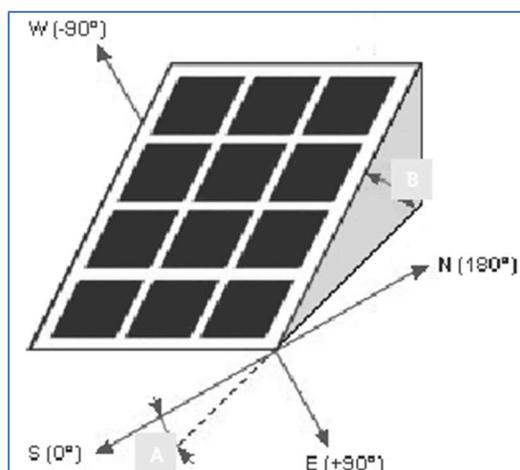


Figura 27: Schema di scelta dell'angolo di inclinazione dei pannelli e del loro orientamento sul software Polysun.

Inoltre, un secondo limite era costituito dalla necessità di stabilire obbligatoriamente l'orientamento del pannello scegliendo tra valori compresi tra  $-90^\circ$  (faccia rivolta ad Est) e  $90^\circ$  (faccia rivolta a Ovest) dove  $0^\circ$  rappresentava un orientamento a Sud.

Dato che se durante l'elaborazione della produzione annua fosse stata impostata la presenza di tracker Polysun avrebbe fatto variare l'angolo di inclinazione da  $0^\circ$  a  $90^\circ$  della superficie di captazione del pannello rivolta nella direzione fissata, nel nostro caso verso Ovest o Est, comportando una sovrapproduzione di energia rispetto alla realtà che avrebbe provocato un errato dimensionamento del sistema di accumulo.

Per risolvere questo problema sono state eseguite delle simulazioni di produzione annuale per ogni singolo grado di inclinazione compreso tra i due estremi degli angoli di inclinazione del sistema reale ottenendo 111 simulazioni annuali differenti tra loro. Essendo i risultati valutati ogni quindici minuti, ad ogni iterazione, sono stati salvati 35040 valori in un foglio di calcolo (Excel).

Una volta finito il lavoro di salvataggio dei dati ottenuti è stato valutato il funzionamento del tracker selezionando il valore massimo di produzione tra i 111 valori per ogni istante di tempo (passo di 15 minuti). In questo modo il risultato finale di 35040 valori rappresenterà il funzionamento del sistema di inseguimento solare.

## 3.1.3 Pannelli per inverter

Come riportato nel capitolo 1.4 ad ogni inverter corrispondeva un numero differente di pannelli, questa scelta era dovuta ad una valutazione progettuale effettuata in fase di progettazione del parco solare, e per questo motivo fuori da considerazioni tecniche di questa relazione.

Riepilogando la situazione di ogni singolo inverter era la seguente:

Inverter 1	4020 p
Inverter 2	4020 p
Inverter 3	4260 p
Inverter 4	4320 p
Inverter 5	4320 p
Inverter 6	4140 p

Tuttavia, il numero variabile ha comportato l'impossibilità di effettuare una singola simulazione della produzione.

Perciò il procedimento descritto nel capitolo precedente (tracker) è stato ripetuto quattro volte (4020, 4140, 4260, 4320 pannelli).

Visualizza nel rapporto	▼ visibile	
Fotovoltaico	<input checked="" type="checkbox"/> CHSM 6612P/HV-325 STAVE	
- Produttore	Astronergy Co. Ltd. (Chint Solar)	
- Tipo modulo	policristallino	
- Potenza nominale STC	325	W
- Superficie lorda	1,93	m <sup>2</sup>
Metodo di calcolo	▼ Utilizza dati meteo	
Valore di riferimento per la superficie	▼ Numero moduli	
Numero moduli	4.320	
Numero moduli (dimensionamento)	4.320	
Potenza nominale totale DC	1.404	kW
Superficie totale lorda	8.337,6	m <sup>2</sup>
Orientamento (E=+90°, S=0°, O=-90°)	90	°
Inclinazione (orizz.=0°, vert.=90°)	17	°
Inseguitore	▼ Senza inseguitore	
Percentuale di vento	50	%
Ventilazione posteriore	▼ media	
Sporcizia	2	%
Degradazione	0,5	%
Calcolo delle perdite dei cavi	▼ Fattore delle perdite	
Perdite cavi	2	%
Mismatching	4	%
Progettazione inverter	▼ Manuale	
Numero di tipi di inverter	1	
Progetto 1: Inverter	<input checked="" type="checkbox"/> fimer solar	
Progetto 1: Numero di inverter	1	
Progetto 1: A numero stringhe	144	
Progetto 1: A moduli per stringa	30	

Figura 28: Finestra di riepilogo dei dati dell'impianto in simulazione all'interno del software Polysun. Caso composto da 4320 pannelli divisi in 144 stringhe da 30 moduli ognuna.

Riepilogando, dopo tutte le simulazioni sono stati ottenuti quattro fogli di calcolo contenenti quasi quattro milioni di valori ognuno da cui una volta ricavati i valori massimi orari è stato creato il valore finale per l'intero parco fotovoltaico sommando i contributi di ogni singolo inverter.

Nelle pagine seguenti è riportato un estratto del foglio di calcolo finale da cui si possono notare delle celle evidenziate da uno sfondo rosso che corrispondono ai valori massimi di produzione di energia per quell'istante temporale.

	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37
01.01.07:45:00	3372458	3345223	3316996	3287780	3257579	3226404	3194260	3161154	3127091	3092087	3056140	3019272	2981479	2942778	2903174	2862683	2821308	2779068	2735968
01.01.08:00:00	3358391	3331273	3303168	3274077	3244007	3212967	3180960	3147998	3114084	3079229	3043438	3006727	2969096	2930560	2891127	2850808	2809611	2767552	2724638
01.01.08:15:00	3358391	3331273	3303168	3274077	3244007	3212967	3180960	3147998	3114084	3079229	3043438	3006727	2969096	2930560	2891127	2850808	2809611	2767552	2724638
01.01.08:30:00	3358391	3331273	3303168	3274077	3244007	3212967	3180960	3147998	3114084	3079229	3043438	3006727	2969096	2930560	2891127	2850808	2809611	2767552	2724638
01.01.08:45:00	5694349	5670487	5645099	5618185	5589750	5559788	5528307	5495306	5460791	5424757	5387211	5348158	5307598	5265533	5221970	5176909	5130357	5082316	5032792
01.01.09:00:00	5686548	5662723	5637373	5610499	5582106	5552190	5520755	5487805	5453341	5417362	5379870	5340876	5300376	5258374	5214875	5169880	5123396	5075424	5025976
01.01.09:15:00	5686548	5662723	5637373	5610499	5582106	5552190	5520755	5487805	5453341	5417362	5379870	5340876	5300376	5258374	5214875	5169880	5123396	5075424	5025976
01.01.09:30:00	5686548	5662723	5637373	5610499	5582106	5552190	5520755	5487805	5453341	5417362	5379870	5340876	5300376	5258374	5214875	5169880	5123396	5075424	5025976
01.01.09:45:00	6666355	6659210	6650419	6639987	6627913	6614195	6598833	6581824	6563175	6542877	6520927	6497339	6472101	6445213	6416676	6386491	6354650	6321164	6286026
01.01.10:00:00	6656312	6649176	6640405	6629988	6617936	6604242	6588905	6571926	6553308	6533043	6511135	6487584	6462388	6435545	6407056	6376920	6345138	6311707	6276627
01.01.10:15:00	6656312	6649176	6640403	6629989	6617936	6604242	6588905	6571926	6553308	6533043	6511135	6487584	6462388	6435545	6407056	6376920	6345138	6311706	6276626
01.01.10:30:00	6656312	6649176	6640403	6629989	6617936	6604242	6588905	6571926	6553308	6533043	6511135	6487584	6462388	6435545	6407056	6376920	6345138	6311706	6276626
01.01.10:45:00	6971564	6984071	6994920	7004113	7011650	7017533	7021757	7024329	7025245	7024508	7022111	7018068	7012364	7005005	6995990	6985320	6972990	6959002	6943355
01.01.11:00:00	6961455	6973941	6984772	6993950	7001477	7007348	7011566	7014135	7015046	7014310	7011919	7007883	7002188	6994842	6985842	6975189	6962877	6948913	6933292
01.01.11:15:00	6961455	6973941	6984772	6993950	7001475	7007349	7011566	7014134	7015046	7014310	7011919	7007883	7002188	6994842	6985841	6975188	6962877	6948913	6933292
01.01.11:30:00	6961455	6973941	6984772	6993950	7001475	7007349	7011566	7014134	7015046	7014310	7011919	7007883	7002188	6994842	6985841	6975188	6962877	6948913	6933292
01.01.11:45:00	6756123	6789826	6821872	6852264	6881011	6908107	6933552	6957354	6979515	7000032	7018904	7036146	7051744	7065711	7078040	7088734	7097799	7105230	7111030
01.01.12:00:00	6747575	6781230	6813233	6843588	6872293	6899351	6924763	6948534	6970666	6991153	7010003	7027221	7042798	7056747	7069059	7079739	7088790	7096211	7102003
01.01.12:15:00	6747575	6781230	6813233	6843588	6872291	6899351	6924763	6948534	6970666	6991153	7010003	7027221	7042798	7056745	7069059	7079739	7088790	7096211	7102003
01.01.12:30:00	6747575	6781230	6813233	6843588	6872291	6899351	6924763	6948534	6970666	6991153	7010003	7027221	7042798	7056745	7069059	7079739	7088790	7096211	7102003
01.01.12:45:00	6084365	6140356	6194717	6247440	6298533	6347994	6395819	6442016	6486579	6529514	6570813	6610496	6648545	6684974	6719774	6752960	6784521	6814468	6842798
01.01.13:00:00	6077097	6133010	6187293	6239943	6290966	6340354	6388112	6434240	6478741	6521612	6562854	6602479	6640471	6676846	6711598	6744734	6776250	6806152	6834441
01.01.13:15:00	6077097	6133010	6187293	6239943	6290966	6340354	6388111	6434240	6478741	6521612	6562854	6602479	6640471	6676846	6711598	6744734	6776250	6806153	6834441
01.01.13:30:00	6077097	6133010	6187293	6239943	6290966	6340354	6388111	6434240	6478741	6521612	6562854	6602479	6640471	6676846	6711598	6744734	6776250	6806153	6834441
01.01.13:45:00	5022361	5101227	5178559	5254341	5328567	5401230	5472323	5541840	5609777	5676123	5740876	5804045	5865612	5925578	5983943	6040703	6095861	6149413	6201354
01.01.14:00:00	5018136	5096936	5174198	5249914	5324074	5396674	5467703	5537156	5605033	5671323	5736017	5799132	5860643	5920553	5978869	6035576	6090683	6144185	6196082
01.01.14:15:00	5018136	5096936	5174197	5249914	5324074	5396674	5467703	5537156	5605033	5671323	5736017	5799132	5860643	5920553	5978869	6035576	6090683	6144185	6196082
01.01.14:30:00	5018136	5096936	5174197	5249914	5324074	5396674	5467703	5537156	5605033	5671323	5736017	5799132	5860643	5920553	5978869	6035576	6090683	6144185	6196082
01.01.14:45:00	3634996	3736066	3835850	3934317	4031446	4127211	4221588	4314558	4406103	4496205	4584835	4672001	4757666	4841829	4924472	5005582	5085155	5163176	5239636
01.01.15:00:00	3632672	3733670	3833384	3931780	4028838	4124534	4218842	4311746	4403222	4493255	4581819	4668919	4754521	4838617	4921197	5002247	5081757	5159715	5236118
01.01.15:15:00	3632672	3733670	3833384	3931780	4028838	4124534	4218840	4311746	4403222	4493255	4581819	4668918	4754521	4838617	4921197	5002247	5081756	5159715	5236118
01.01.15:30:00	3632672	3733670	3833384	3931780	4028838	4124534	4218840	4311746	4403222	4493255	4581819	4668918	4754521	4838617	4921197	5002247	5081756	5159715	5236118
01.01.15:45:00	1966472	2083736	2200386	2316345	2431551	2545945	2659460	2772051	2883661	2994248	3103758	3212167	3319419	3425483	3530326	3633908	3736207	3837189	3936829
01.01.16:00:00	1965955	2083194	2199820	2315756	2430940	2545311	2658805	2771377	2882969	2993538	3103031	3211425	3318661	3424710	3529540	3633113	3735398	3836370	3935999
01.01.16:15:00	1965955	2083194	2199820	2315755	2430940	2545311	2658805	2771377	2882969	2993538	3103031	3211425	3318661	3424710	3529540	3633113	3735398	3836370	3935999
01.01.16:30:00	1965955	2083194	2199820	2315755	2430940	2545311	2658805	2771377	2882969	2993538	3103031	3211425	3318661	3424710	3529540	3633113	3735398	3836370	3935999
01.01.16:45:00	555368	593513	642540	706132	779191	861923	954516	1058251	1172452	1293017	1413611	1534114	1654390	1774328	1893831	2012806	2131173	2248853	2365775

Tabella 9: Estratto 1/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 7:45 alle ore 16:45 per gli angoli di inclinazione da 55° a 37° con superficie rivolta a Est. Dati in W

	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
01.01.07:45:00	2692026	2647246	2601647	2555243	2508041	2460062	2411315	2361816	2311587	2260635	2208984	2156650	2103644	2049996	1995712	1940822	1885348	1829304	1772716	1715604
01.01.08:00:00	2680879	2636294	2590889	2544679	2497678	2449900	2401362	2352075	2302057	2251321	2199885	2147770	2094989	2041564	1987511	1932850	1877608	1821799	1765447	1708574
01.01.08:15:00	2680879	2636292	2590889	2544679	2497678	2449900	2401362	2352075	2302057	2251321	2199885	2147770	2094989	2041564	1987511	1932850	1877608	1821799	1765447	1708574
01.01.08:30:00	2680879	2636292	2590889	2544679	2497678	2449900	2401362	2352075	2302057	2251321	2199885	2147770	2094989	2041564	1987511	1932850	1877608	1821799	1765447	1708574
01.01.08:45:00	4981793	4929317	4875382	4819980	4763130	4704834	4645100	4583935	4521352	4457356	4391963	4325176	4257015	4187485	4116605	4044385	3970839	3895983	3819838	3742414
01.01.09:00:00	4975049	4922653	4868795	4813477	4756709	4698496	4638848	4577772	4515278	4451377	4386074	4319385	4251322	4181892	4111111	4038992	3965552	3890802	3814762	3737446
01.01.09:15:00	4975049	4922653	4868795	4813476	4756709	4698496	4638848	4577772	4515280	4451377	4386076	4319387	4251322	4181892	4111111	4038992	3965552	3890802	3814762	3737446
01.01.09:30:00	4975049	4922653	4868795	4813476	4756709	4698496	4638848	4577772	4515280	4451377	4386076	4319387	4251322	4181892	4111111	4038992	3965552	3890802	3814762	3737446
01.01.09:45:00	6249238	6210799	6170708	6128965	6085573	6040529	5993841	5945503	5895516	5843887	5790612	5735698	5679145	5620361	5561142	5499699	5436632	5371947	5305650	5237748
01.01.10:00:00	6239898	6201525	6161499	6119827	6076506	6031540	5984928	5936668	5886766	5835220	5782034	5727210	5670749	5612659	5552938	5491595	5428627	5364048	5297857	5230062
01.01.10:15:00	6239898	6201525	6161499	6119827	6076506	6031540	5984928	5936668	5886766	5835220	5782034	5727210	5670749	5612659	5552938	5491593	5428627	5364048	5297857	5230062
01.01.10:30:00	6239898	6201525	6161499	6119827	6076506	6031540	5984928	5936668	5886766	5835220	5782034	5727210	5670749	5612659	5552938	5491593	5428627	5364048	5297857	5230062
01.01.10:45:00	6926047	6907079	6886445	6864147	6840182	6814550	6787250	6758279	6727633	6695318	6661324	6625656	6588308	6549283	6508576	6466190	6422119	6376368	6328933	6279810
01.01.11:00:00	6916010	6897072	6876473	6854210	6830285	6804691	6777438	6748510	6717917	6685651	6651715	6616102	6578814	6539849	6499210	6456891	6412890	6367210	6319849	6270806
01.01.11:15:00	6916010	6897072	6876474	6854210	6830285	6804691	6777438	6748510	6717917	6685651	6651715	6616102	6578814	6539849	6499210	6456889	6412890	6367210	6319849	6270806
01.01.11:45:00	7115198	7117735	7118647	7117922	7115570	7111586	7105974	7098729	7089854	7079343	7067202	7053424	7038013	7020963	7002275	6981948	6959978	6936368	6911112	6884213
01.01.12:00:00	7106165	7108699	7109608	7108886	7106537	7102559	7096954	7089719	7080855	7070361	7058236	7044475	7029083	7012057	6993396	6973097	6951156	6927578	6902356	6875490
01.01.12:15:00	7106167	7108699	7109608	7108886	7106537	7102560	7096954	7089719	7080857	7070361	7058236	7044476	7029083	7012056	6993396	6973097	6951156	6927578	6902355	6875490
01.01.12:30:00	7106167	7108699	7109608	7108886	7106537	7102560	7096954	7089719	7080857	7070361	7058236	7044476	7029083	7012056	6993396	6973097	6951156	6927578	6902355	6875490
01.01.12:45:00	6869516	6894619	6918114	6939999	6960279	6978951	6996021	7011487	7025357	7037623	7048292	7057359	7064833	7070712	7074994	7077679	7078774	7078272	7076176	7072486
01.01.13:00:00	6861119	6886186	6909644	6931496	6951748	6970393	6987436	7002880	7016727	7028977	7039628	7048683	7056149	7062016	7066292	7068974	7070065	7069565	7067471	7063786
01.01.13:15:00	6861119	6886184	6909644	6931496	6951746	6970393	6987436	7002880	7016727	7028975	7039629	7048683	7056147	7062016	7066292	7068974	7070067	7069563	7067471	7063786
01.01.13:30:00	6861119	6886184	6909644	6931496	6951746	6970393	6987436	7002880	7016727	7028975	7039629	7048683	7056147	7062016	7066292	7068974	7070067	7069563	7067471	7063786
01.01.13:45:00	6251689	6300420	6347544	6393064	6436976	6479283	6519990	6559092	6596595	6632500	6666806	6699514	6730630	6760156	6788089	6814436	6839193	6862365	6883953	6903961
01.01.14:00:00	6246372	6295061	6342140	6387618	6431489	6473761	6514428	6553496	6590963	6626836	6661111	6693791	6724878	6754374	6782285	6808605	6833338	6856490	6878058	6898049
01.01.14:15:00	6246372	6295061	6342140	6387618	6431489	6473761	6514428	6553496	6590963	6626836	6661111	6693791	6724878	6754374	6782285	6808603	6833338	6856490	6878058	6898049
01.01.14:30:00	6246372	6295061	6342140	6387618	6431489	6473761	6514428	6553496	6590963	6626836	6661111	6693791	6724878	6754374	6782285	6808603	6833338	6856490	6878058	6898049
01.01.14:45:00	5314531	5387848	5459588	5529739	5598298	5665258	5730620	5794375	5856524	5917062	5975991	6033306	6089008	6143095	6195568	6246425	6295672	6343300	6389320	6433725
01.01.15:00:00	5310952	5384213	5455892	5525986	5594490	5661399	5726704	5790407	5852507	5912995	5971875	6029144	6084795	6138841	6191268	6242084	6291285	6338875	6384853	6429224
01.01.15:15:00	5310952	5384213	5455892	5525986	5594492	5661399	5726704	5790411	5852507	5912994	5971875	6029144	6084797	6138841	6191270	6242084	6291285	6338875	6384855	6429224
01.01.15:30:00	5310952	5384213	5455892	5525986	5594492	5661399	5726704	5790411	5852507	5912994	5971875	6029144	6084797	6138841	6191270	6242084	6291285	6338875	6384855	6429224
01.01.15:45:00	4035100	4131979	4227444	4321472	4414047	4505145	4594755	4682857	4769439	4854486	4937986	5019926	5100300	5179095	5256302	5331914	5405924	5478325	5549116	5618285
01.01.16:00:00	4034261	4131131	4226588	4320611	4413175	4504269	4593874	4681973	4768550	4853598	4937093	5019032	5099404	5178199	5255405	5331018	5405028	5477431	5548220	5617392
01.01.16:15:00	4034261	4131131	4226588	4320611	4413175	4504269	4593874	4681973	4768550	4853598	4937095	5019032	5099404	5178199	5255405	5331018	5405028	5477431	5548220	5617392
01.01.16:30:00	4034261	4131131	4226588	4320611	4413175	4504269	4593874	4681973	4768550	4853598	4937095	5019032	5099404	5178199	5255405	5331018	5405028	5477431	5548220	5617392
01.01.16:45:00	2481873	2597091	2711368	2824649	2936892	3048044	3158061	3266906	3374537	3480925	3586026	3689816	3792259	3893334	3993011	4091266	4188077	4283423	4377293	4469640

Tabella 10: Estratto 2/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 7:45 alle ore 16:45 per gli angoli di inclinazione da 36° a 17° con superficie rivolta a Est. Dati in W

	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2
01.01. 07:45:00	1657997	1599917	1541392	1482454	1423126	1363445	1303440	1243143	1182595	1121821	1060861	999752	938532	877246	815945	754677	693506	632496	571738
01.01. 08:00:00	1651208	1593372	1535090	1476391	1417312	1357877	1298121	1238076	1177776	1117254	1056543	995687	934717	873683	812632	751613	690696	629934	569423
01.01. 08:15:00	1651208	1593371	1535090	1476391	1417312	1357877	1298121	1238077	1177776	1117254	1056543	995687	934717	873683	812632	751613	690696	629934	569423
01.01. 08:30:00	1651208	1593371	1535090	1476391	1417312	1357877	1298121	1238077	1177776	1117254	1056543	995687	934717	873683	812632	751613	690696	629934	569423
01.01. 08:45:00	3663731	3583812	3502675	3420347	3336853	3252216	3166467	3079634	2991743	2902831	2812924	2722060	2630271	2537597	2444076	2349748	2254665	2158839	2062340
01.01. 09:00:00	3658876	3579068	3498044	3415832	3332451	3247934	3162301	3075587	2987819	2899027	2809243	2718501	2626840	2534289	2440895	2346693	2251736	2156039	2059670
01.01. 09:15:00	3658876	3579068	3498044	3415832	3332451	3247934	3162301	3075587	2987819	2899027	2809243	2718501	2626840	2534289	2440895	2346693	2251736	2156039	2059670
01.01. 09:30:00	3658876	3579068	3498044	3415832	3332451	3247934	3162301	3075587	2987819	2899027	2809243	2718501	2626840	2534289	2440895	2346693	2251736	2156039	2059670
01.01. 09:45:00	5168246	5097153	5024478	4950233	4874434	4797091	4718217	4637828	4555943	4472580	4387762	4301514	4213858	4124820	4034430	3942705	3849688	3755347	3659734
01.01. 10:00:00	5160673	5089693	5017137	4943009	4867331	4790107	4711357	4631094	4549339	4466103	4381420	4295303	4207782	4118884	4028629	3937045	3844171	3749973	3654502
01.01. 10:15:00	5160673	5089693	5017137	4943007	4867331	4790107	4711357	4631094	4549339	4466103	4381418	4295303	4207782	4118884	4028629	3937045	3844170	3749973	3654502
01.01. 10:30:00	5160673	5089693	5017137	4943007	4867331	4790107	4711357	4631094	4549339	4466103	4381418	4295303	4207782	4118884	4028629	3937045	3844170	3749973	3654502
01.01. 10:45:00	6229009	6176525	6122358	6066516	6009002	5949821	5888974	5826472	5762319	5696528	5629124	5560114	5489515	5417350	5343635	5268377	5191610	5113274	5033405
01.01. 11:00:00	6220085	6167682	6113599	6057846	6000421	5941332	5880580	5818173	5754120	5688433	5621130	5552226	5481735	5409682	5336078	5260936	5184285	5106068	5026318
01.01. 11:15:00	6220084	6167682	6113599	6057846	6000421	5941332	5880578	5818173	5754122	5688433	5621130	5552226	5481735	5409682	5336078	5260936	5184285	5106069	5026318
01.01. 11:30:00	6220084	6167682	6113599	6057846	6000421	5941332	5880578	5818173	5754122	5688433	5621130	5552226	5481735	5409682	5336078	5260936	5184285	5106069	5026318
01.01. 11:45:00	6855664	6825465	6793616	6760126	6724984	6688195	6649762	6609684	6567966	6524616	6479663	6433106	6384960	6335247	6283972	6231144	6176786	6120825	6063286
01.01. 12:00:00	6846981	6816823	6785018	6751571	6716477	6679738	6641355	6601331	6559667	6516377	6471482	6424988	6376905	6327259	6276051	6223293	6169010	6113121	6055657
01.01. 12:15:00	6846981	6816823	6785018	6751571	6716477	6679738	6641355	6601331	6559667	6516377	6471482	6424988	6376905	6327258	6276051	6223293	6169010	6113121	6055657
01.01. 12:30:00	6846981	6816823	6785018	6751571	6716477	6679738	6641355	6601331	6559667	6516377	6471482	6424988	6376905	6327258	6276051	6223293	6169010	6113121	6055657
01.01. 12:45:00	7067197	7060317	7051843	7041772	7030114	7016865	7002020	6985587	6967568	6947978	6926838	6904161	6879952	6854235	6827024	6798321	6768145	6736418	6703161
01.01. 13:00:00	7058506	7051636	7043174	7033121	7021476	7008247	6993426	6977017	6959026	6939465	6918358	6895712	6871539	6845860	6818688	6790027	6759896	6728215	6695009
01.01. 13:15:00	7058506	7051636	7043174	7033121	7021476	7008250	6993426	6977017	6959024	6939465	6918358	6895712	6871539	6845860	6818688	6790027	6759896	6728215	6695009
01.01. 13:30:00	7058506	7051636	7043174	7033121	7021476	7008250	6993426	6977017	6959024	6939465	6918358	6895712	6871539	6845860	6818688	6790027	6759896	6728215	6695009
01.01. 13:45:00	6922386	6939236	6954509	6968205	6980333	6990888	6999876	7007300	7013161	7017482	7020290	7021590	7021400	7019744	7016634	7012078	7006100	6998609	6989632
01.01. 14:00:00	6916458	6933292	6948549	6962231	6974349	6984896	6993876	7001294	7007149	7011467	7014270	7015570	7015380	7013728	7010620	7006070	7000095	6992610	6983643
01.01. 14:15:00	6916458	6933292	6948549	6962231	6974349	6984896	6993876	7001294	7007149	7011467	7014270	7015570	7015380	7013728	7010620	7006070	7000095	6992610	6983643
01.01. 14:30:00	6916458	6933292	6948549	6962231	6974349	6984896	6993876	7001294	7007149	7011467	7014270	7015570	7015380	7013728	7010620	7006070	7000095	6992610	6983643
01.01. 14:45:00	6476522	6517708	6557288	6595269	6631648	6666428	6699618	6731217	6761233	6789685	6816608	6842004	6865892	6888303	6909245	6928727	6946775	6963304	6978339
01.01. 15:00:00	6471979	6513132	6552677	6590625	6626972	6661722	6694882	6726453	6756443	6784871	6811769	6837142	6861009	6883399	6904324	6923786	6941820	6958334	6973354
01.01. 15:15:00	6471979	6513132	6552677	6590625	6626971	6661722	6694882	6726453	6756443	6784871	6811769	6837142	6861009	6883399	6904324	6923786	6941820	6958334	6973354
01.01. 15:30:00	6471979	6513132	6552677	6590625	6626971	6661722	6694882	6726453	6756443	6784871	6811769	6837142	6861009	6883399	6904324	6923786	6941820	6958334	6973354
01.01. 15:45:00	5685833	5751751	5816043	5878708	5939747	5999155	6056939	6113097	6167633	6220566	6271920	6321699	6369926	6416619	6461787	6505440	6547601	6588190	6627227
01.01. 16:00:00	5684942	5750863	5815159	5877829	5938872	5998282	6056069	6112231	6166773	6219708	6271067	6320851	6369084	6415779	6460954	6504611	6546777	6587370	6626412
01.01. 16:15:00	5684942	5750863	5815157	5877828	5938872	5998282	6056069	6112231	6166773	6219708	6271067	6320851	6369084	6415780	6460954	6504611	6546777	6587370	6626412
01.01. 16:30:00	5684942	5750863	5815157	5877828	5938872	5998282	6056069	6112231	6166773	6219708	6271067	6320851	6369084	6415780	6460954	6504611	6546777	6587370	6626412
01.01. 16:45:00	4560472	4649770	4737519	4823708	4908327	4991367	5072822	5152681	5230940	5307611	5382706	5456226	5528172	5598565	5667403	5734691	5800446	5864584	5927132

Tabella 11: Estratto 3/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 7:45 alle ore 16:45 per gli angoli di inclinazione da 16° a 0° rivolti ad Est e tra 0° e -2° con superficie rivolta ad Ovest. Dati in W

	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
01.01.07:45:00	511318	451344	392041	340712	296124	257341	224036	205202	190077	178302	169780	164294	161345	160767	160662	160548	160431	160305	160172
01.01.08:00:00	509252	449521	390457	339337	294927	256303	223133	204375	189312	177583	169099	163631	160695	160118	160015	159904	159784	159658	159525
01.01.08:15:00	509252	449521	390457	339337	294927	256303	223133	204375	189312	177583	169099	163631	160695	160118	160015	159904	159784	159658	159525
01.01.08:30:00	509252	449521	390457	339337	294927	256303	223133	204375	189312	177583	169099	163631	160695	160118	160015	159904	159784	159658	159525
01.01.08:45:00	1965206	1867487	1769241	1670528	1571411	1471952	1372226	1272316	1172307	1072307	972429	872805	773595	674977	586017	506915	436909	375962	326590
01.01.09:00:00	1962663	1865075	1766960	1668377	1569390	1470061	1370467	1270686	1170809	1070939	971190	871695	772609	674118	585273	506272	436358	375487	326176
01.01.09:15:00	1962663	1865075	1766960	1668377	1569390	1470061	1370467	1270686	1170809	1070939	971190	871695	772609	674118	585273	506272	436358	375487	326176
01.01.09:30:00	1962663	1865075	1766960	1668377	1569390	1470061	1370467	1270686	1170809	1070939	971190	871695	772609	674118	585273	506272	436358	375487	326176
01.01.09:45:00	3562841	3464695	3365320	3264753	3163013	3060143	2956165	2851115	2745035	2637966	2529953	2421047	2311295	2200757	2089492	1977564	1865042	1752003	1638524
01.01.10:00:00	3557757	3459759	3360533	3260113	3158529	3055809	2951983	2847089	2741167	2634255	2526398	2417649	2308057	2197680	2086575	1974809	1862447	1749569	1636251
01.01.10:15:00	3557757	3459760	3360533	3260113	3158529	3055809	2951983	2847089	2741167	2634255	2526398	2417649	2308057	2197680	2086575	1974809	1862447	1749569	1636251
01.01.10:30:00	3557757	3459760	3360533	3260113	3158529	3055809	2951983	2847089	2741167	2634255	2526398	2417649	2308057	2197680	2086575	1974809	1862447	1749569	1636251
01.01.10:45:00	4951965	4868964	4784408	4698313	4610689	4521550	4430899	4338756	4245136	4150058	4053540	3955608	3856280	3755586	3653553	3550205	3445574	3339695	3232601
01.01.11:00:00	4945001	4862126	4777694	4691727	4604236	4515224	4424709	4332705	4239222	4144285	4047908	3950117	3850936	3750388	3648501	3545301	3440820	3335095	3228156
01.01.11:15:00	4945001	4862126	4777694	4691727	4604236	4515224	4424708	4332705	4239222	4144284	4047908	3950117	3850936	3750388	3648501	3545303	3440820	3335095	3228156
01.01.11:30:00	4945001	4862126	4777694	4691727	4604236	4515224	4424708	4332705	4239222	4144284	4047908	3950117	3850936	3750388	3648501	3545303	3440820	3335095	3228156
01.01.11:45:00	6004113	5943305	5880863	5816786	5751080	5683739	5614763	5544155	5471923	5398066	5322592	5245508	5166824	5086544	5004682	4921247	4836250	4749703	4661621
01.01.12:00:00	5996563	5935838	5873475	5809482	5743862	5676609	5607722	5537209	5465067	5391306	5315934	5238950	5160367	5080192	4998435	4915108	4830220	4743785	4655816
01.01.12:15:00	5996563	5935838	5873475	5809480	5743860	5676608	5607722	5537208	5465067	5391307	5315934	5238949	5160367	5080192	4998433	4915108	4830220	4743785	4655816
01.01.12:30:00	5996563	5935838	5873475	5809480	5743860	5676608	5607722	5537208	5465067	5391307	5315934	5238949	5160367	5080192	4998433	4915108	4830220	4743785	4655816
01.01.12:45:00	6668309	6631852	6593786	6554115	6512831	6469930	6425411	6379268	6331501	6282102	6231079	6178428	6124151	6068244	6010711	5951556	5890774	5828375	5764352
01.01.13:00:00	6660205	6623802	6585791	6546179	6504954	6462115	6417660	6371582	6323881	6274557	6223606	6171029	6116824	6060998	6003548	5944472	5883775	5821460	5757526
01.01.13:15:00	6660205	6623802	6585793	6546179	6504954	6462115	6417660	6371582	6323881	6274557	6223606	6171029	6116826	6060998	6003546	5944472	5883775	5821462	5757526
01.01.13:30:00	6660205	6623802	6585793	6546179	6504954	6462115	6417660	6371582	6323881	6274557	6223606	6171029	6116826	6060998	6003546	5944472	5883775	5821462	5757526
01.01.13:45:00	6979099	6967001	6953339	6938109	6921311	6902935	6882982	6861454	6838341	6813646	6787364	6759492	6730035	6698984	6666335	6632096	6596261	6558824	6519787
01.01.14:00:00	6973116	6961029	6947380	6932165	6915381	6897026	6877091	6855579	6832490	6807818	6781558	6753712	6724283	6693261	6660644	6626436	6590632	6553228	6514227
01.01.14:15:00	6973117	6961029	6947380	6932165	6915381	6897026	6877091	6855581	6832490	6807817	6781558	6753712	6724285	6693261	6660644	6626436	6590632	6553228	6514227
01.01.14:30:00	6973117	6961029	6947380	6932165	6915381	6897026	6877091	6855581	6832490	6807817	6781558	6753712	6724285	6693261	6660644	6626436	6590632	6553228	6514227
01.01.14:45:00	6991814	7003716	7014059	7022829	7030036	7035672	7039735	7042226	7043149	7042494	7040269	7036467	7031088	7024137	7015611	7005505	6993820	6980558	6965715
01.01.15:00:00	6986816	6998712	7009041	7017807	7025003	7030635	7034697	7037184	7038104	7037454	7035226	7031428	7026057	7019113	7010590	7000497	6988822	6975573	6960742
01.01.15:15:00	6986816	6998712	7009041	7017807	7025003	7030635	7034697	7037184	7038104	7037454	7035226	7031428	7026057	7019113	7010590	7000496	6988822	6975573	6960742
01.01.15:30:00	6986816	6998712	7009041	7017807	7025003	7030635	7034697	7037184	7038104	7037454	7035226	7031428	7026057	7019113	7010590	7000496	6988822	6975573	6960742
01.01.15:45:00	6664651	6700462	6734663	6767250	6798223	6827585	6853332	6881462	6905979	6928893	6950179	6969860	6987934	7004402	7019265	7032526	7044184	7054240	7062693
01.01.16:00:00	6663842	6699659	6733863	6766455	6797435	6826800	6854550	6880684	6905203	6928113	6949411	6969096	6987174	7003647	7018510	7031772	7043430	7053490	7061944
01.01.16:15:00	6663842	6699658	6733863	6766456	6797435	6826800	6854550	6880684	6905204	6928112	6949411	6969096	6987174	7003647	7018510	7031772	7043430	7053488	7061944
01.01.16:30:00	6663842	6699658	6733863	6766456	6797435	6826800	6854550	6880684	6905204	6928112	6949411	6969096	6987174	7003647	7018510	7031772	7043430	7053488	7061944
01.01.16:45:00	5988031	6047270	6104852	6160774	6215030	6267626	6318550	6367805	6415388	6461297	6505540	6548113	6589020	6628265	6665846	6701766	6736028	6768639	6799593

Tabella 12: Estratto 4/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 7:45 alle ore 16:45 per gli angoli di inclinazione da -3° a -21° con superficie rivolta a Ovest. Dati in W

	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39	-40
01.01.11:30:00	3120038	3010781	2900428	2789023	2676611	2563243	2448971	2333856	2217954	2101331	1984061	1866220	1747886	1629155	1510123	1390904	1271618	1152405	1036067
01.01.11:45:00	4572019	4480915	4388319	4294257	4198741	4101800	4003448	3903717	3802627	3700205	3596482	3491489	3385254	3277815	3169210	3059474	2948650	2836779	2723913
01.01.12:00:00	4566332	4475339	4382864	4288920	4193527	4096709	3998485	3898879	3797915	3695623	3592035	3487171	3381071	3273768	3165300	3055701	2945015	2833288	2720563
01.01.12:15:00	4566332	4475339	4382864	4288920	4193527	4096710	3998485	3898879	3797915	3695623	3592031	3487171	3381071	3273768	3165298	3055701	2945015	2833288	2720561
01.01.12:30:00	4566332	4475339	4382864	4288920	4193527	4096710	3998485	3898879	3797915	3695623	3592031	3487171	3381071	3273768	3165298	3055701	2945015	2833288	2720561
01.01.12:45:00	5698717	5631469	5562613	5492152	5420099	5346450	5271219	5194410	5116034	5036095	4954609	4871584	4787034	4700970	4613405	4524356	4433835	4341866	4248465
01.01.13:00:00	5691981	5624825	5556061	5485698	5413739	5340190	5265058	5188354	5110080	5030248	4948868	4865951	4781510	4695555	4608104	4519169	4428766	4336913	4243626
01.01.13:15:00	5691981	5624826	5556061	5485698	5413741	5340190	5265058	5188354	5110080	5030248	4948868	4865951	4781510	4695555	4608104	4519169	4428767	4336913	4243626
01.01.13:30:00	5691981	5624826	5556061	5485698	5413741	5340190	5265058	5188354	5110080	5030248	4948868	4865951	4781510	4695555	4608104	4519169	4428767	4336913	4243626
01.01.13:45:00	6479150	6436910	6393067	6347620	6300565	6251908	6201642	6149772	6096291	6041208	5984521	5926231	5866336	5804843	5741756	5677074	5610801	5542941	5473502
01.01.14:00:00	6473629	6431426	6387624	6342215	6295204	6246591	6196368	6144546	6091114	6036078	5979444	5921204	5861366	5799928	5736895	5672271	5606058	5538259	5468883
01.01.14:15:00	6473626	6431426	6387624	6342215	6295204	6246591	6196369	6144546	6091114	6036078	5979444	5921204	5861366	5799928	5736895	5672271	5606058	5538259	5468883
01.01.14:30:00	6473626	6431426	6387624	6342215	6295204	6246591	6196369	6144546	6091114	6036078	5979444	5921204	5861366	5799928	5736895	5672271	5606058	5538259	5468883
01.01.14:45:00	6949289	6931282	6911696	6890507	6867738	6843378	6817425	6789878	6760734	6729990	6697649	6663703	6628154	6590996	6552230	6511857	6469871	6426270	6381054
01.01.15:00:00	6944333	6926339	6906763	6885602	6862853	6838516	6812587	6785061	6755944	6725227	6692916	6658999	6623482	6586356	6547625	6507286	6465336	6421773	6376597
01.01.15:15:00	6944333	6926339	6906763	6885603	6862853	6838516	6812586	6785061	6755944	6725227	6692916	6658997	6623481	6586356	6547625	6507286	6465336	6421773	6376595
01.01.15:30:00	6944333	6926339	6906763	6885603	6862853	6838516	6812586	6785061	6755944	6725227	6692916	6658997	6623481	6586356	6547625	6507286	6465336	6421773	6376595
01.01.15:45:00	7069551	7074808	7078467	7080530	7080992	7079859	7077129	7072798	7066871	7059343	7050217	7039490	7027159	7013227	6997689	6980546	6961795	6941434	6919462
01.01.16:00:00	7068804	7074062	7077721	7079784	7080247	7079114	7076383	7072053	7066121	7058596	7049468	7038736	7026406	7012472	6996929	6979786	6961029	6940664	6918689
01.01.16:15:00	7068805	7074062	7077721	7079784	7080247	7079114	7076383	7072051	7066123	7058596	7049468	7038736	7026407	7012472	6996930	6979786	6961029	6940664	6918689
01.01.16:30:00	7068805	7074062	7077721	7079784	7080247	7079114	7076383	7072051	7066123	7058596	7049468	7038736	7026407	7012472	6996930	6979786	6961029	6940664	6918689
01.01.16:45:00	6828899	6856553	6882566	6906934	6929662	6950750	6970200	6988016	7004200	7018751	7031675	7042966	7052633	7060671	7067085	7071876	7075041	7076582	7076499
01.01.17:00:00	6828515	6856170	6882181	6906547	6929272	6950359	6969808	6987625	7003808	7018357	7031278	7042569	7052235	7060272	7066686	7071478	7074642	7076182	7076100
01.01.17:15:00	6828515	6856170	6882181	6906547	6929272	6950359	6969809	6987625	7003808	7018357	7031278	7042569	7052235	7060272	7066686	7071478	7074641	7076182	7076100
01.01.17:30:00	6828515	6856170	6882181	6906547	6929272	6950359	6969809	6987625	7003808	7018357	7031278	7042569	7052235	7060272	7066686	7071478	7074641	7076182	7076100
01.01.17:45:00	6154880	6203386	6250218	6295381	6338875	6380706	6420867	6459364	6496197	6531373	6564889	6596751	6626959	6655509	6682412	6707672	6731280	6753245	6773568
01.01.18:00:00	6156504	6205019	6251863	6297038	6340543	6382383	6422551	6461059	6497904	6533086	6566609	6598478	6628692	6657253	6684162	6709425	6733039	6755008	6775336
01.01.18:15:00	6156504	6205019	6251863	6297038	6340543	6382382	6422551	6461059	6497904	6533086	6566609	6598478	6628692	6657253	6684162	6709425	6733039	6755008	6775336
01.01.18:30:00	6156504	6205019	6251863	6297038	6340543	6382382	6422551	6461059	6497904	6533086	6566609	6598478	6628692	6657253	6684162	6709425	6733039	6755008	6775336
01.01.18:45:00	4999826	5063720	5126075	5186889	5246155	5303867	5360026	5414623	5467659	5519127	5569027	5617355	5664113	5709296	5752902	5794937	5835391	5874269	5911569
01.01.19:00:00	5003754	5067705	5130116	5190987	5250306	5308071	5364280	5418929	5472013	5523530	5573476	5621852	5668653	5713876	5757526	5799598	5840093	5879008	5916343
01.01.19:15:00	5003754	5067704	5130116	5190987	5250306	5308071	5364282	5418929	5472013	5523530	5573476	5621852	5668651	5713876	5757526	5799598	5840093	5879008	5916343
01.01.19:30:00	5003754	5067704	5130116	5190987	5250306	5308071	5364282	5418929	5472013	5523530	5573476	5621852	5668651	5713876	5757526	5799598	5840093	5879008	5916343
01.01.19:45:00	3448878	3519863	3589668	3658281	3725682	3791859	3856797	3920482	3982906	4044055	4103917	4162483	4219742	4275685	4330306	4383592	4435542	4486142	4535389
01.01.20:00:00	3452533	3523598	3593481	3662169	3729645	3795900	3860908	3924670	3987164	4048382	4108312	4166946	4224270	4280279	4334962	4388310	4440320	4490978	4540284
01.01.20:15:00	3452533	3523598	3593481	3662169	3729645	3795898	3860909	3924670	3987164	4048382	4108312	4166946	4224270	4280279	4334961	4388312	4440320	4490978	4540282
01.01.20:30:00	3452533	3523598	3593481	3662169	3729645	3795898	3860909	3924670	3987164	4048382	4108312	4166946	4224270	4280279	4334961	4388312	4440320	4490978	4540282

Tabella 13: Estratto 5/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 11:30 alle ore 20:30 per gli angoli di inclinazione da -22° a -40° con superficie rivolta a Ovest. Dati in W

	-41	-42	-43	-44	-45	-46	-47	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55
01.01.11:30:00	930252	834768	749638	675504	610910	559442	520114	489697	468542	455534	450480	453241	458428	463670	468968
01.01.11:45:00	2610102	2495391	2379840	2263515	2146468	2028789	1910534	1791790	1672648	1553206	1433567	1313852	1200918	1098328	1005849
01.01.12:00:00	2606891	2492325	2376920	2260735	2143835	2026303	1908193	1789598	1670602	1551307	1431813	1312248	1199453	1096989	1004623
01.01.12:15:00	2606891	2492325	2376920	2260734	2143835	2026303	1908193	1789598	1670602	1551307	1431813	1312248	1199453	1096989	1004623
01.01.12:30:00	2606891	2492325	2376920	2260734	2143835	2026303	1908193	1789598	1670602	1551307	1431813	1312248	1199453	1096989	1004623
01.01.12:45:00	4153649	4057440	3959860	3860938	3760688	3659158	3556353	3452318	3347081	3240677	3133143	3024517	2914842	2804158	2692516
01.01.13:00:00	4148931	4052843	3955385	3856581	3756457	3655048	3552370	3448462	3343352	3237076	3129669	3021171	2911625	2801072	2689560
01.01.13:15:00	4148931	4052842	3955385	3856581	3756457	3655048	3552370	3448462	3343352	3237076	3129669	3021171	2911625	2801072	2689560
01.01.13:30:00	4148931	4052842	3955385	3856581	3756457	3655048	3552370	3448462	3343352	3237076	3129669	3021171	2911625	2801072	2689560
01.01.13:45:00	5402489	5329901	5255754	5180049	5102794	5024008	4943687	4861847	4778505	4693668	4607349	4519566	4430331	4339665	4247585
01.01.14:00:00	5397929	5325407	5251325	5175686	5098499	5019781	4939533	4857766	4774495	4689731	4603488	4515781	4426626	4336035	4244034
01.01.14:15:00	5397929	5325407	5251325	5175685	5098499	5019781	4939533	4857766	4774495	4689731	4603488	4515781	4426626	4336035	4244034
01.01.14:30:00	5397929	5325407	5251325	5175685	5098499	5019781	4939533	4857766	4774495	4689731	4603488	4515781	4426626	4336035	4244034
01.01.14:45:00	6334225	6285774	6235709	6184024	6130717	6075801	6019262	5961104	5901331	5839944	5776943	5712333	5646118	5578299	5508878
01.01.15:00:00	6329805	6281398	6231375	6179734	6126473	6071601	6015110	5957001	5897276	5835942	5772992	5708436	5642273	5574508	5505142
01.01.15:15:00	6329805	6281398	6231373	6179734	6126473	6071601	6015110	5957001	5897276	5835942	5772992	5708436	5642273	5574508	5505143
01.01.15:30:00	6329805	6281398	6231373	6179734	6126473	6071601	6015110	5957001	5897276	5835942	5772992	5708436	5642273	5574508	5505143
01.01.15:45:00	6895875	6870673	6843851	6815413	6785346	6753665	6720352	6685410	6648836	6610632	6570789	6529312	6486195	6441435	6395037
01.01.16:00:00	6895097	6869894	6843067	6814625	6784555	6752870	6719549	6684604	6648024	6609815	6569968	6528486	6485365	6440599	6394197
01.01.16:15:00	6895099	6869894	6843067	6814625	6784555	6752870	6719549	6684604	6648024	6609817	6569969	6528486	6485365	6440600	6394197
01.01.16:30:00	6895099	6869894	6843067	6814625	6784555	6752870	6719549	6684604	6648024	6609817	6569969	6528486	6485365	6440600	6394197
01.01.16:45:00	7074792	7071462	7066509	7059929	7051723	7041896	7030436	7017349	7002630	6986284	6968299	6948684	6927427	6904535	6879999
01.01.17:00:00	7074395	7071062	7066111	7059532	7051326	7041499	7030040	7016955	7002239	6985893	6967909	6948292	6927039	6904145	6879611
01.01.17:15:00	7074395	7071064	7066111	7059532	7051326	7041499	7030040	7016953	7002239	6985893	6967909	6948292	6927039	6904145	6879611
01.01.17:30:00	7074395	7071064	7066111	7059532	7051326	7041499	7030040	7016953	7002239	6985893	6967909	6948292	6927039	6904145	6879611
01.01.17:45:00	6792249	6809292	6824698	6838468	6850596	6861101	6869970	6877204	6882807	6886782	6889127	6889842	6888926	6886379	6882203
01.01.18:00:00	6794021	6811068	6826476	6840251	6852382	6862891	6871759	6878996	6884602	6888578	6890925	6891635	6890721	6888171	6883997
01.01.18:15:00	6794021	6811070	6826476	6840252	6852382	6862891	6871761	6878998	6884602	6888578	6890923	6891635	6890721	6888171	6883997
01.01.18:30:00	6794021	6811070	6826476	6840252	6852382	6862891	6871761	6878998	6884602	6888578	6890923	6891635	6890721	6888171	6883997
01.01.18:45:00	5947292	5981435	6014000	6044988	6074397	6102232	6128485	6153166	6176269	6197797	6217751	6236130	6252937	6268168	6281828
01.01.19:00:00	5952100	5986276	6018872	6049890	6079328	6107189	6133470	6158175	6181299	6202851	6222822	6241218	6258043	6273291	6286963
01.01.19:15:00	5952100	5986278	6018872	6049892	6079328	6107189	6133470	6158175	6181299	6202851	6222822	6241218	6258043	6273291	6286964
01.01.19:30:00	5952100	5986278	6018872	6049892	6079328	6107189	6133470	6158175	6181299	6202851	6222822	6241218	6258043	6273291	6286964
01.01.19:45:00	4583276	4629796	4674944	4718716	4761104	4802111	4841723	4879943	4916762	4952182	4986198	5018806	5050002	5079787	5108161
01.01.20:00:00	4588227	4634800	4680000	4723825	4766261	4807317	4846977	4885241	4922103	4957562	4991623	5024268	5055502	5085322	5113727
01.01.20:15:00	4588227	4634800	4680000	4723825	4766261	4807317	4846977	4885239	4922103	4957564	4991622	5024268	5055502	5085322	5113727
01.01.20:30:00	4588227	4634800	4680000	4723825	4766261	4807317	4846977	4885239	4922103	4957564	4991622	5024268	5055502	5085322	5113727

Tabella 14: Estratto 6/6 dei dati 1 gennaio dalle ore 11:30 alle ore 20:30 per gli angoli di inclinazione da -41° a -55° con superficie rivolta a Ovest. Dati in W

## 3.2 Matlab

Finita la raccolta dei dati è iniziata l'analisi vera e propria dell'impianto e del dimensionamento dell'accumulo sfruttando la potenza di calcolo e di analisi dell'ambiente Matlab.

Dal software Polysun sono stati ricavati due fogli di calcolo contenenti rispettivamente i valori di energia prodotta dai pannelli e il valore di energia immessa in rete dopo le opportune procedure di passaggio da corrente continua a corrente alternata (inverter) e di trasformazione in media tensione (trasformatore).

### 3.2.1 Andamento movimenti tracker

Dopo aver riordinato i valori in matrici dove ogni colonna corrisponde a un giorno dell'anno, ottenendo perciò delle matrici  $24 * 365$ , sono stati visualizzati dei grafici (riportati nelle figure successive) contenenti l'andamento dell'angolo di orientamento dei pannelli dovuto alla funzione del tracker per alcune settimane annuali prese come campione.

Da questi andamenti è stato possibile osservare la diversa orientazione al variare delle condizioni climatiche. Ad esempio, nella prima settimana è probabile che durante il quarto, quinto e sesto giorno ci fosse una presenza di nubi.

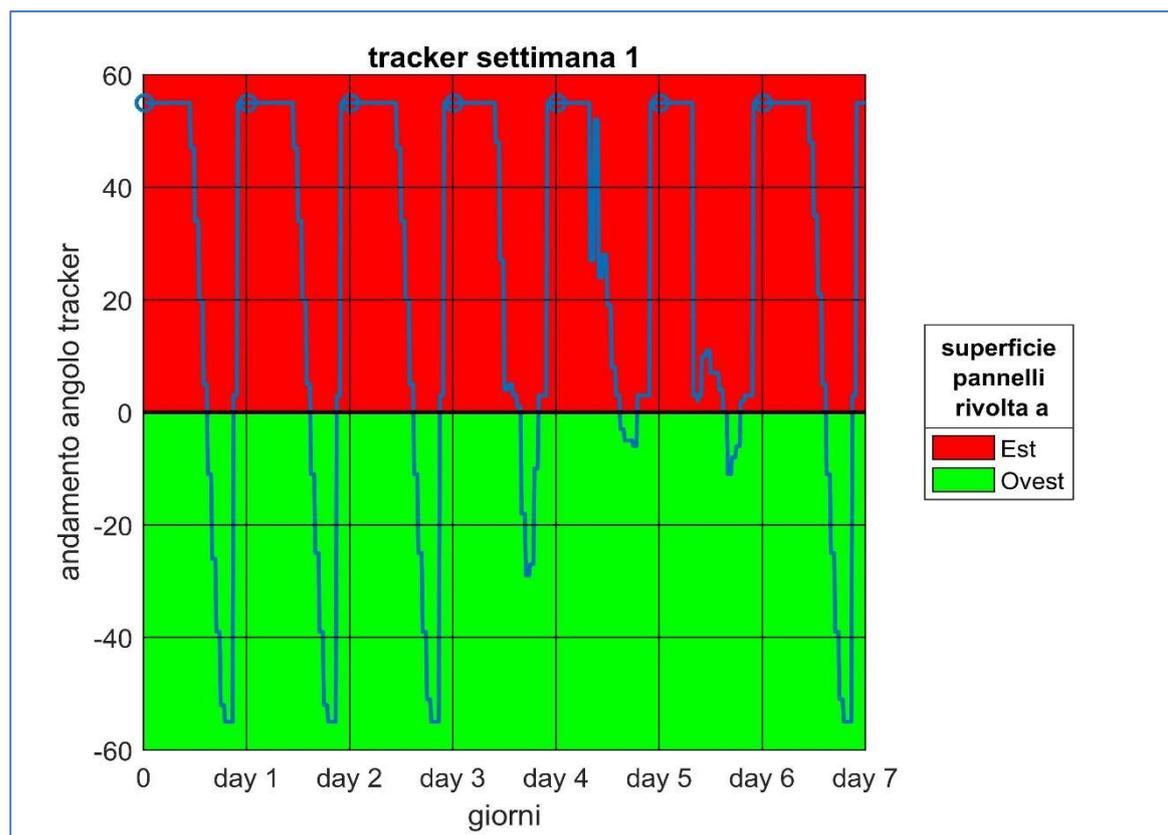


Figura 29: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 1 dell'anno.

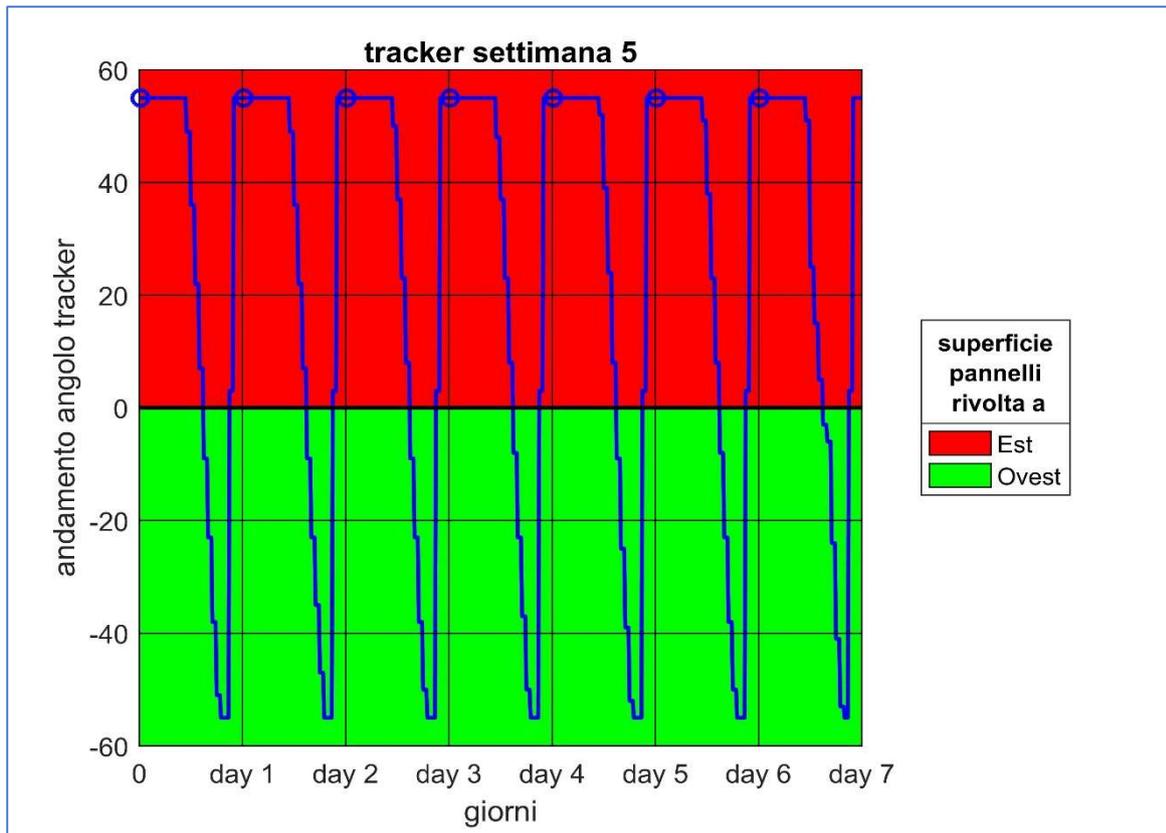


Figura 30: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 5 dell'anno.

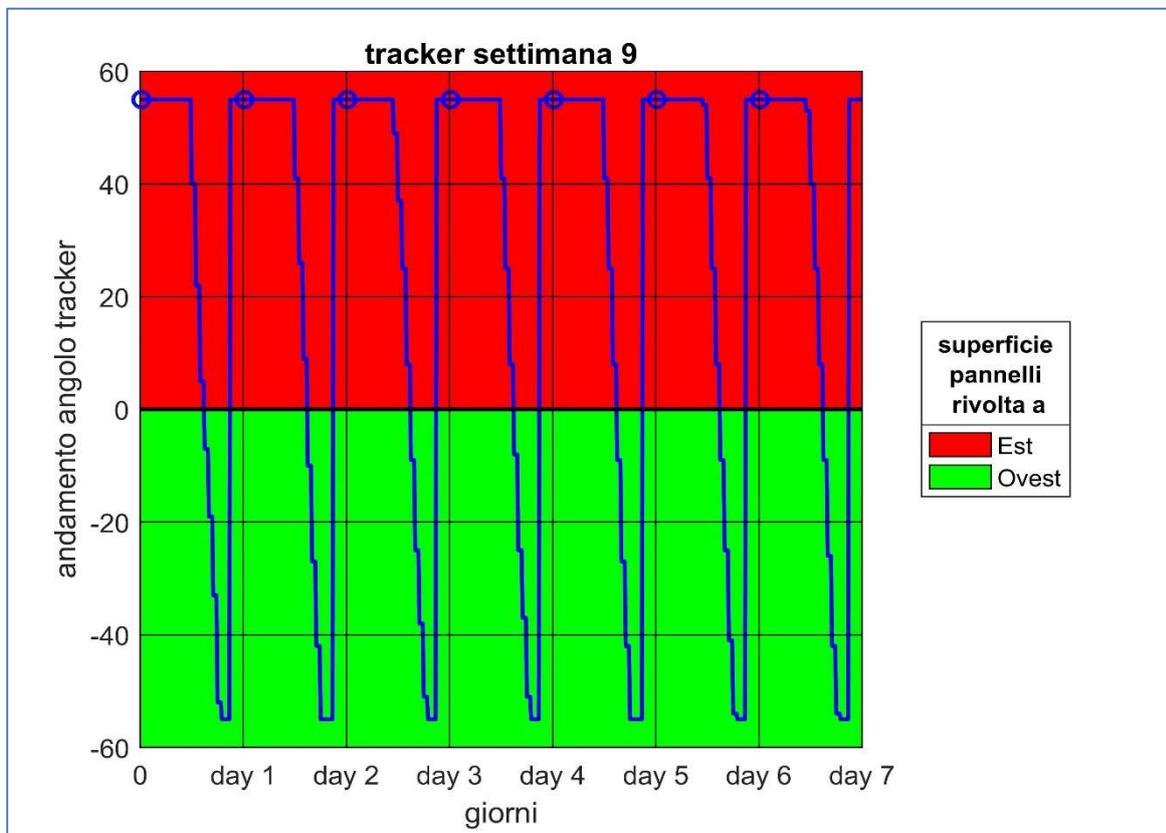


Figura 31: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 9 dell'anno.

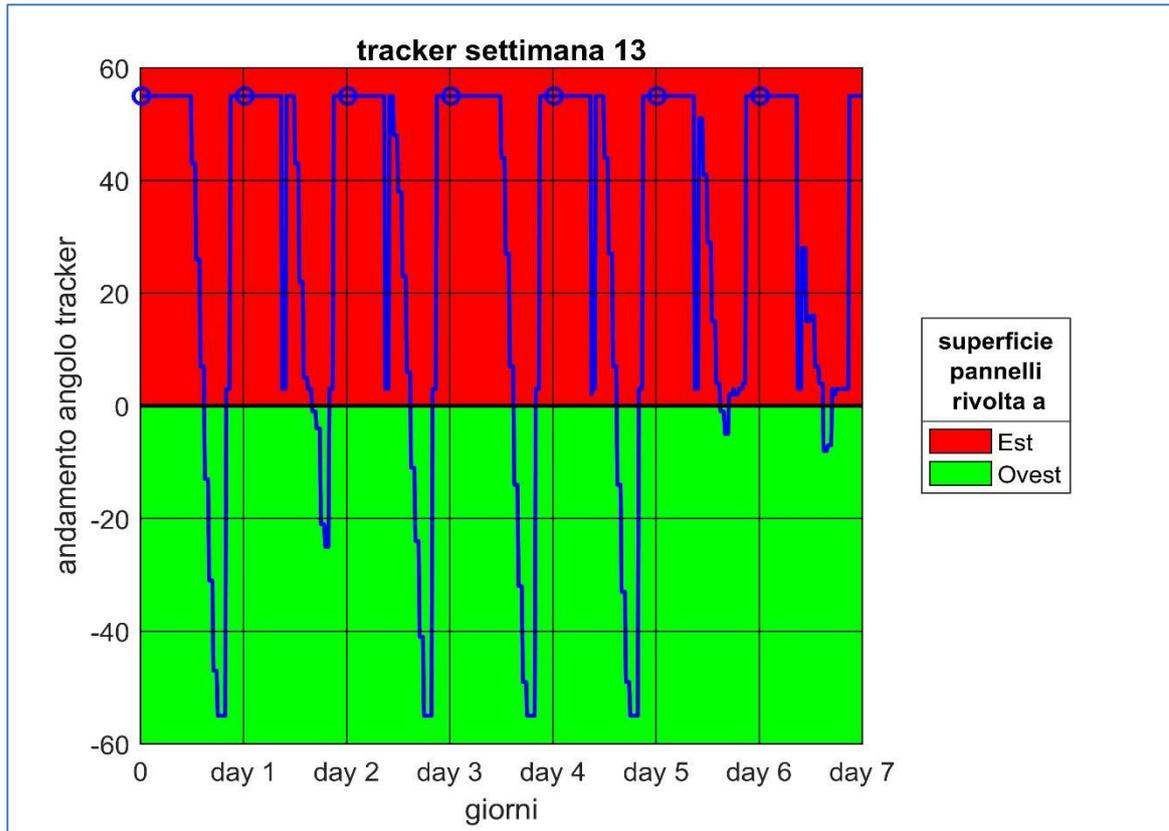


Figura 32: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 13 dell'anno.

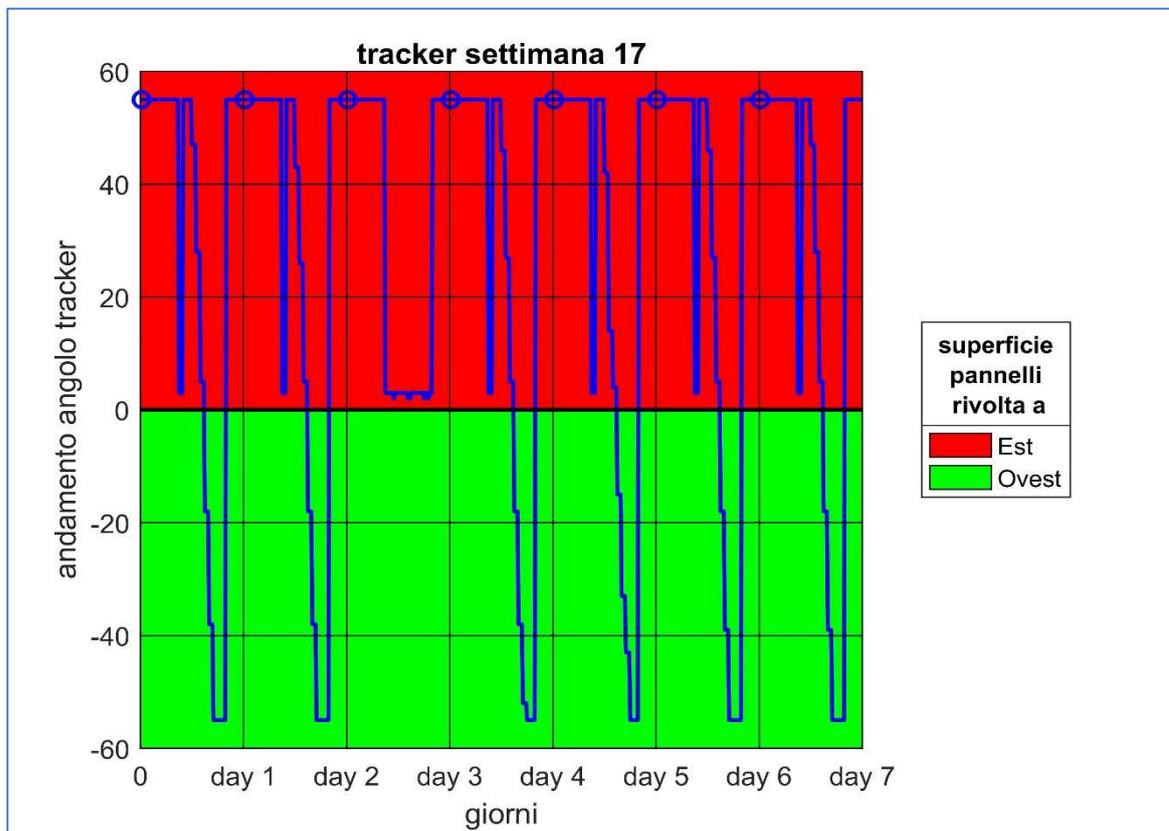


Figura 33: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 17 dell'anno.

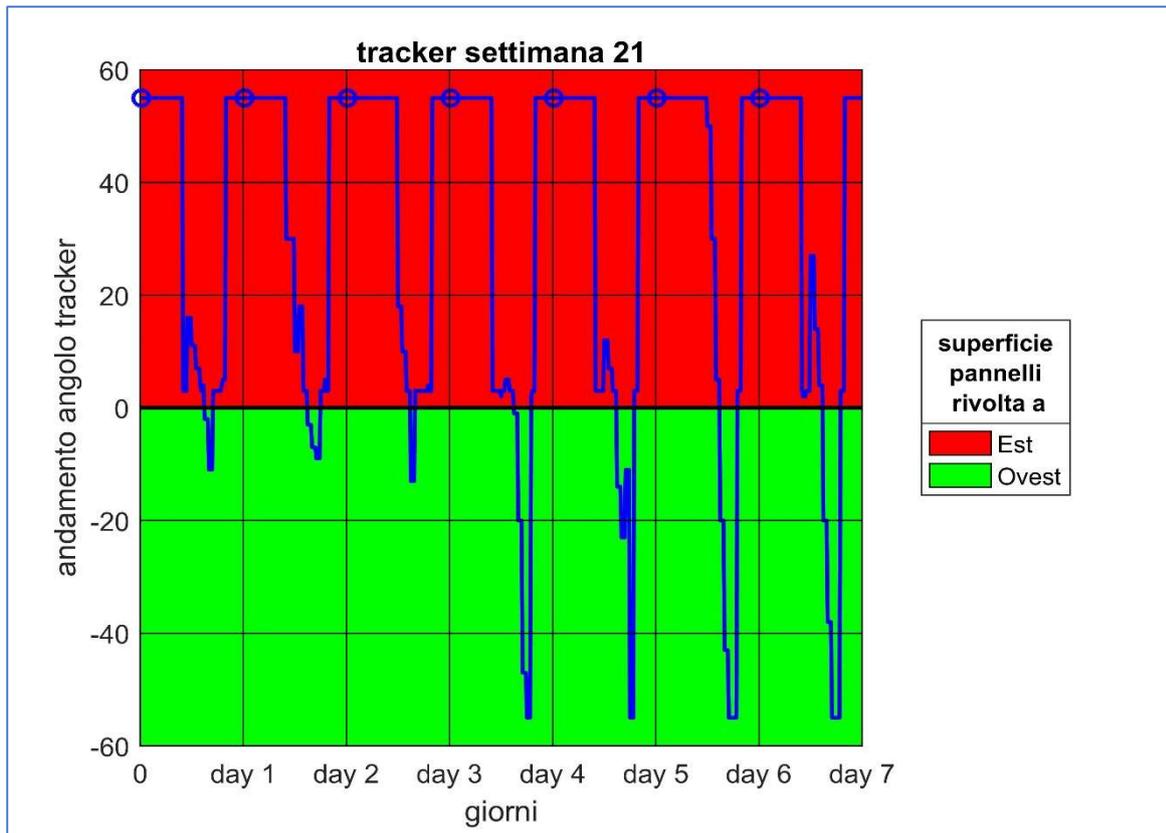


Figura 34: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 21 dell'anno.

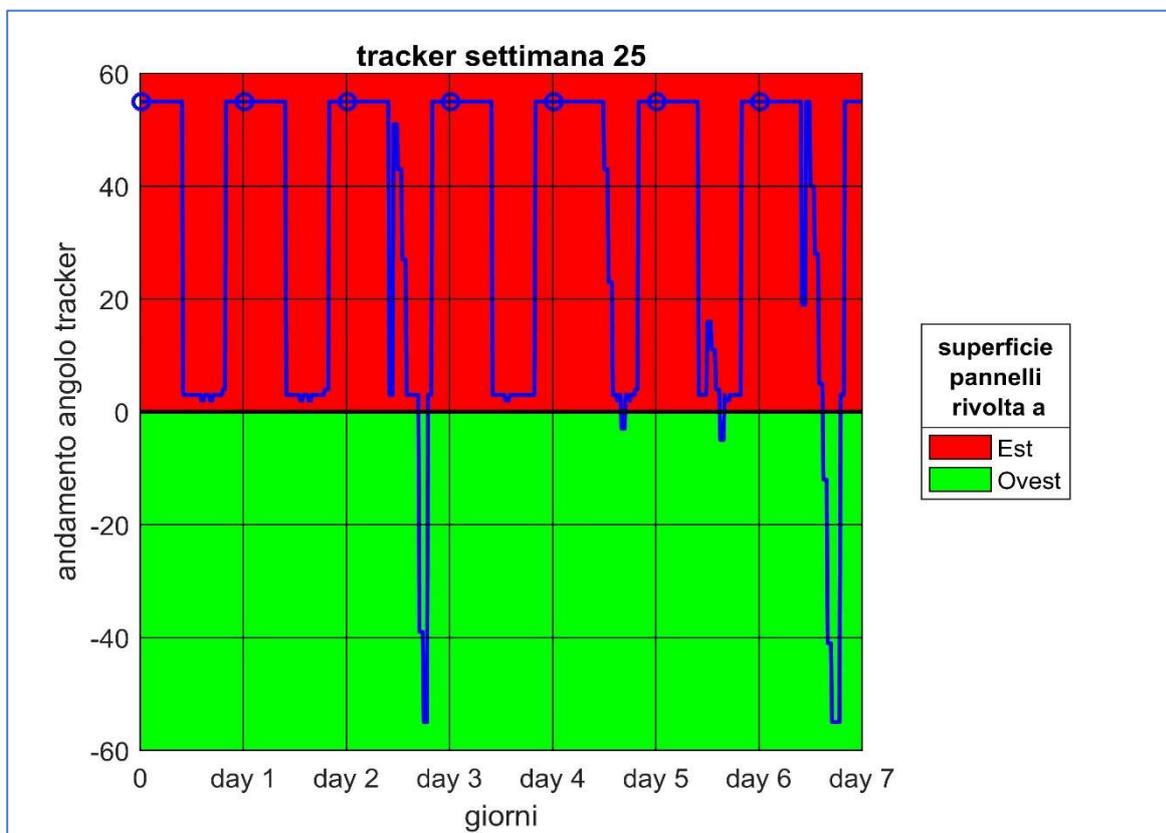


Figura 35: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 25 dell'anno.

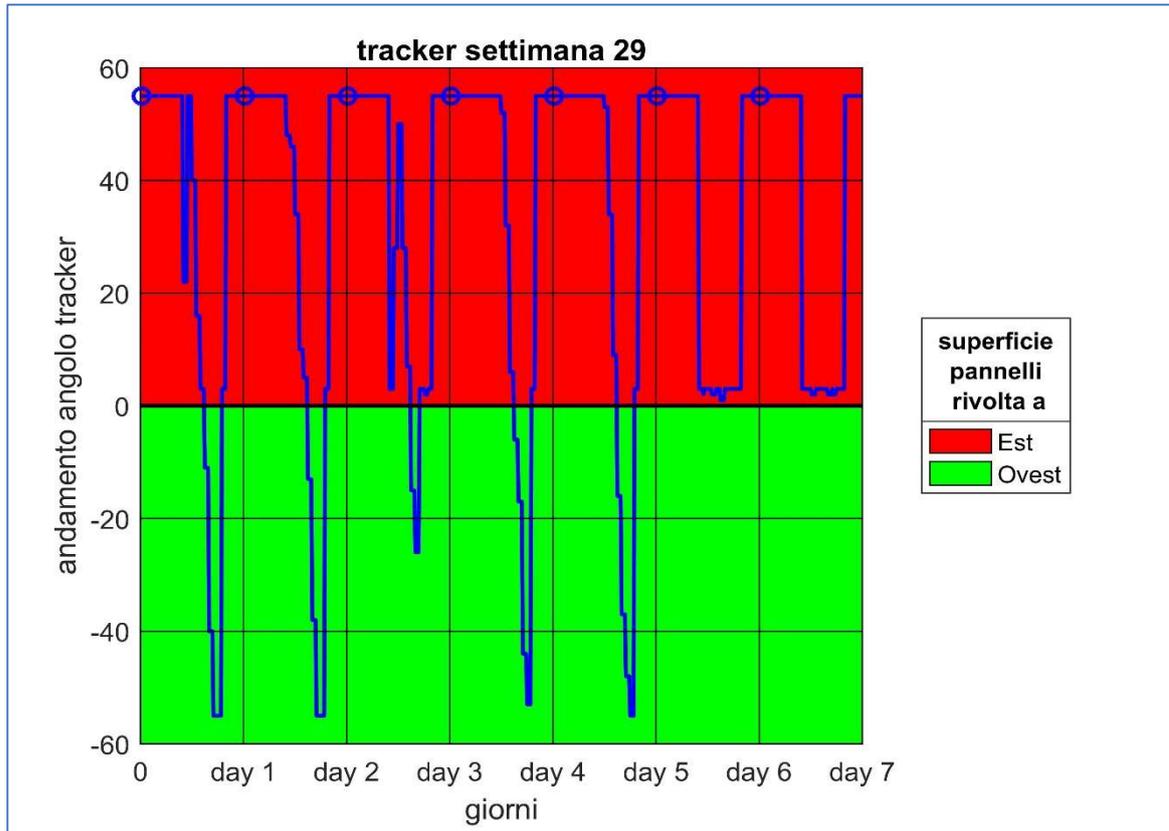


Figura 36: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 29 dell'anno.

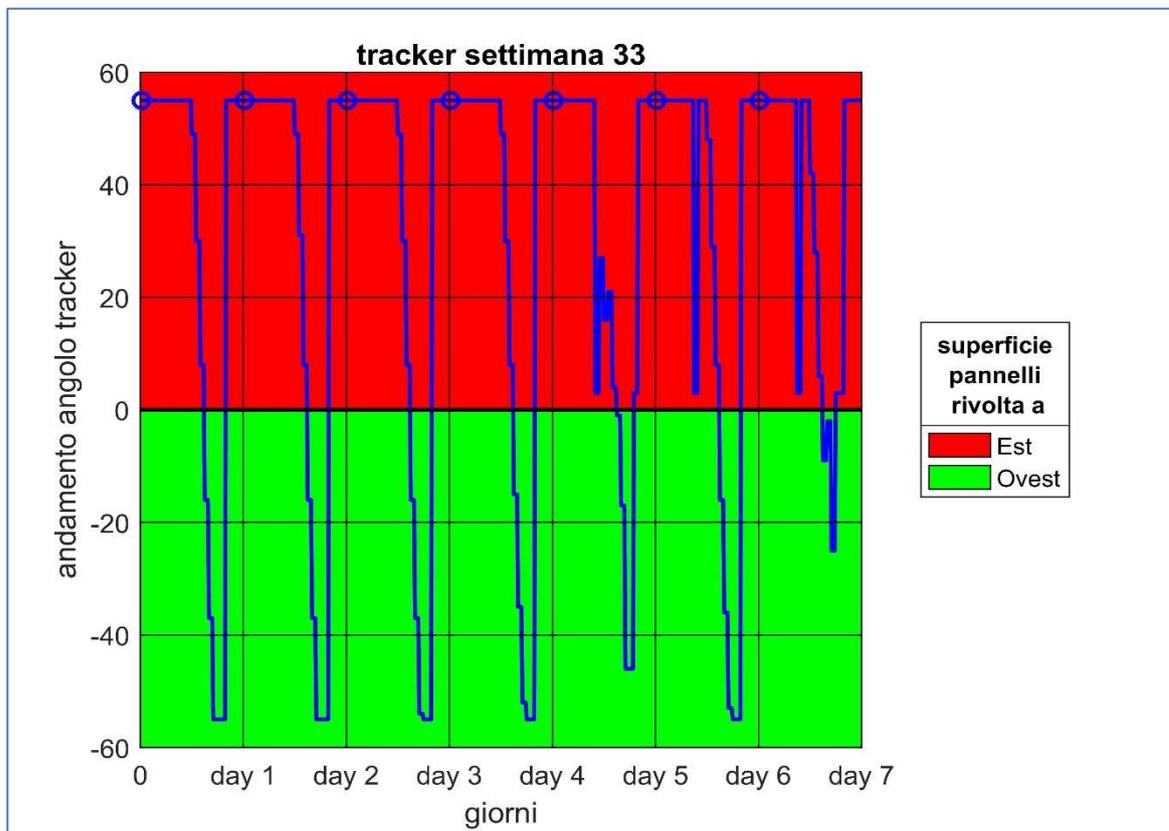


Figura 37: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 33 dell'anno.

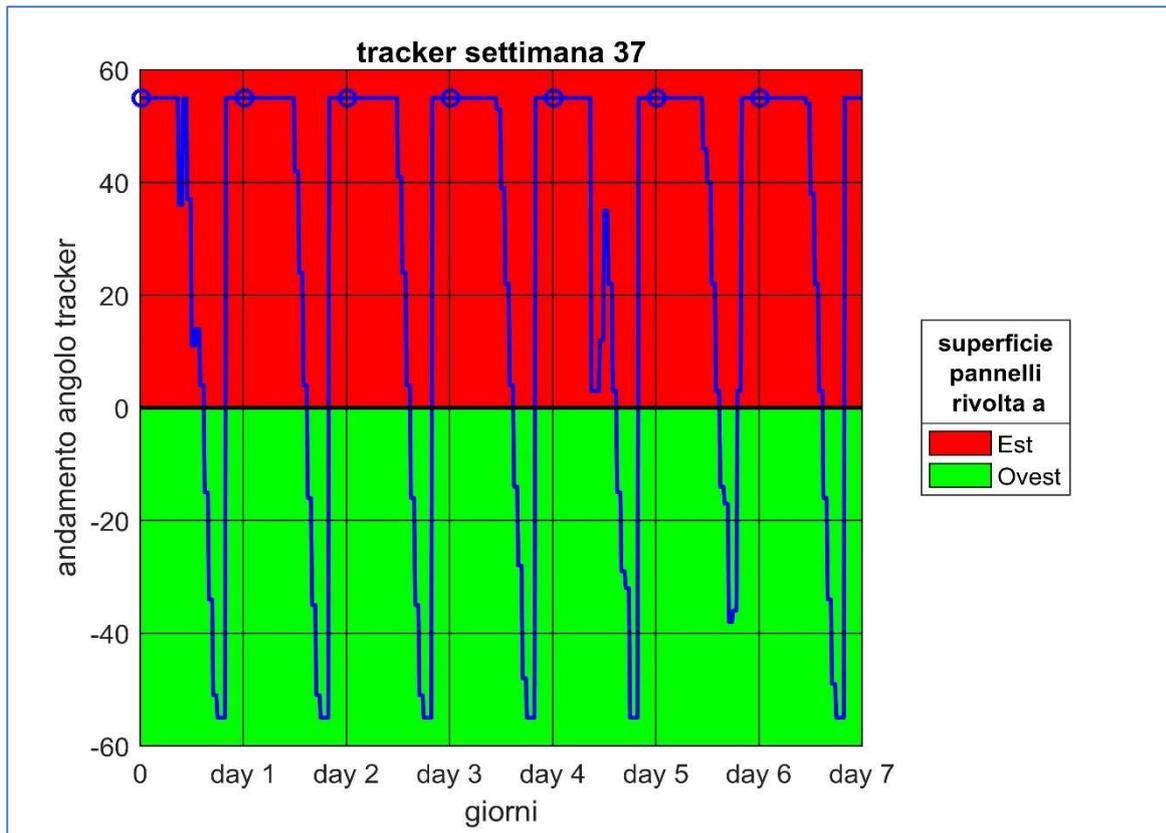


Figura 38: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 37 dell'anno.

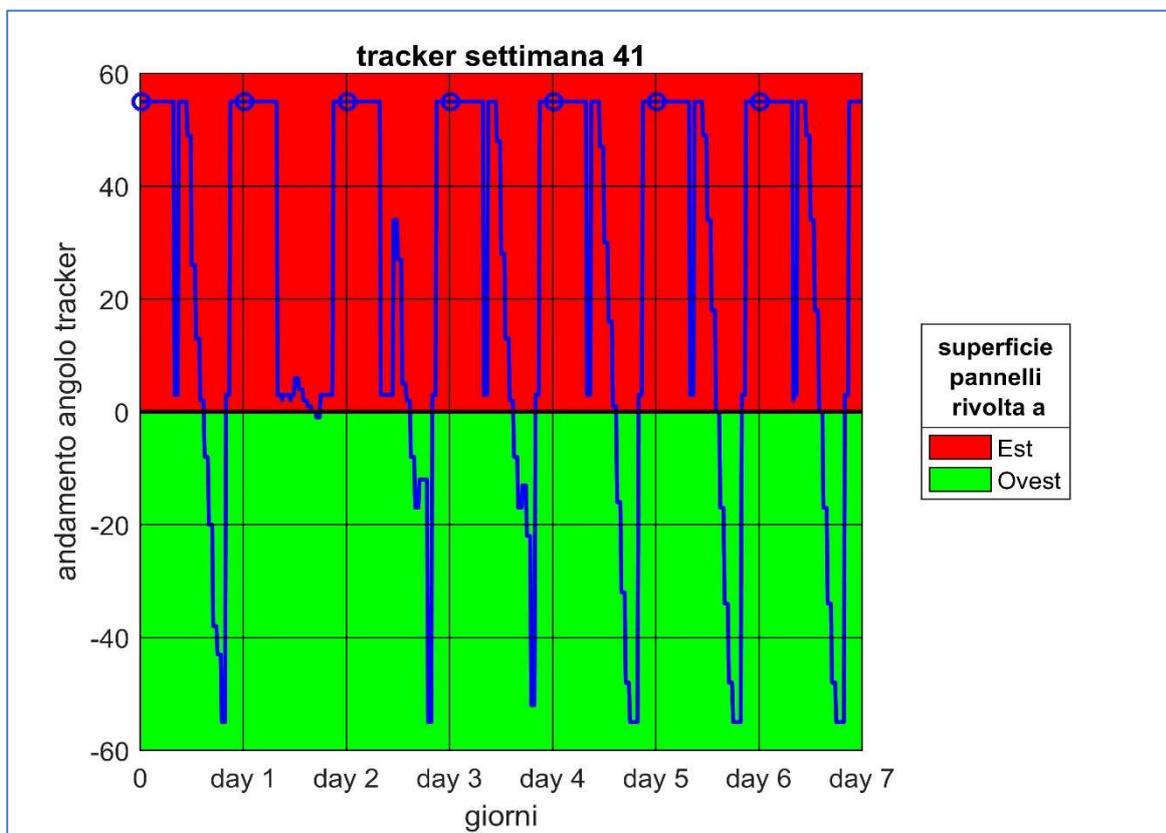


Figura 39: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 41 dell'anno.

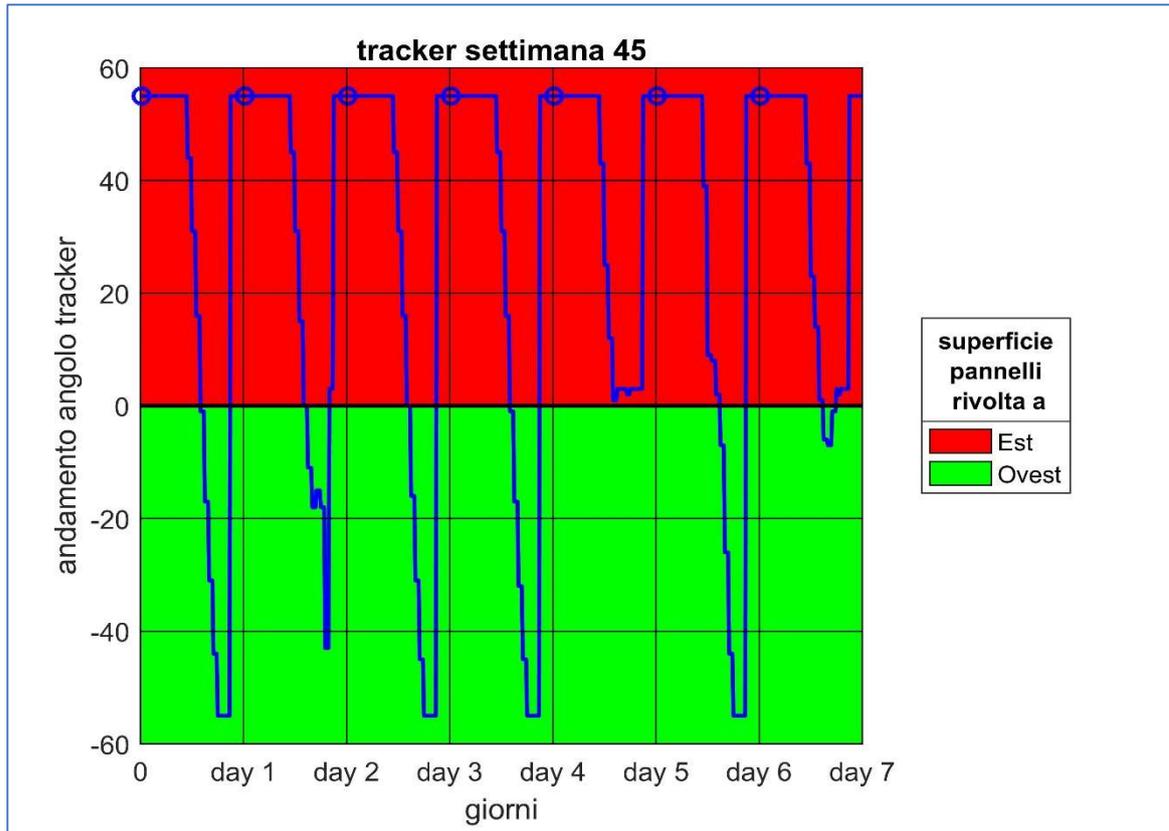


Figura 40: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 45 dell'anno.

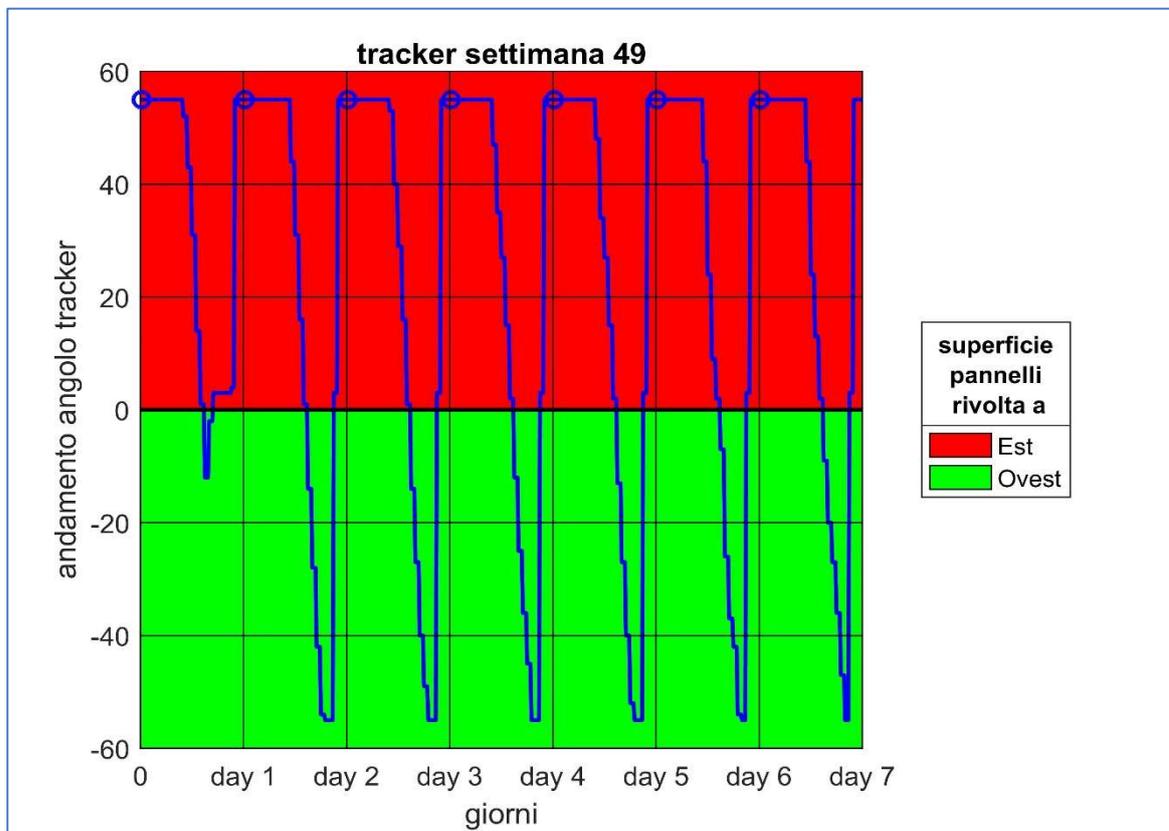
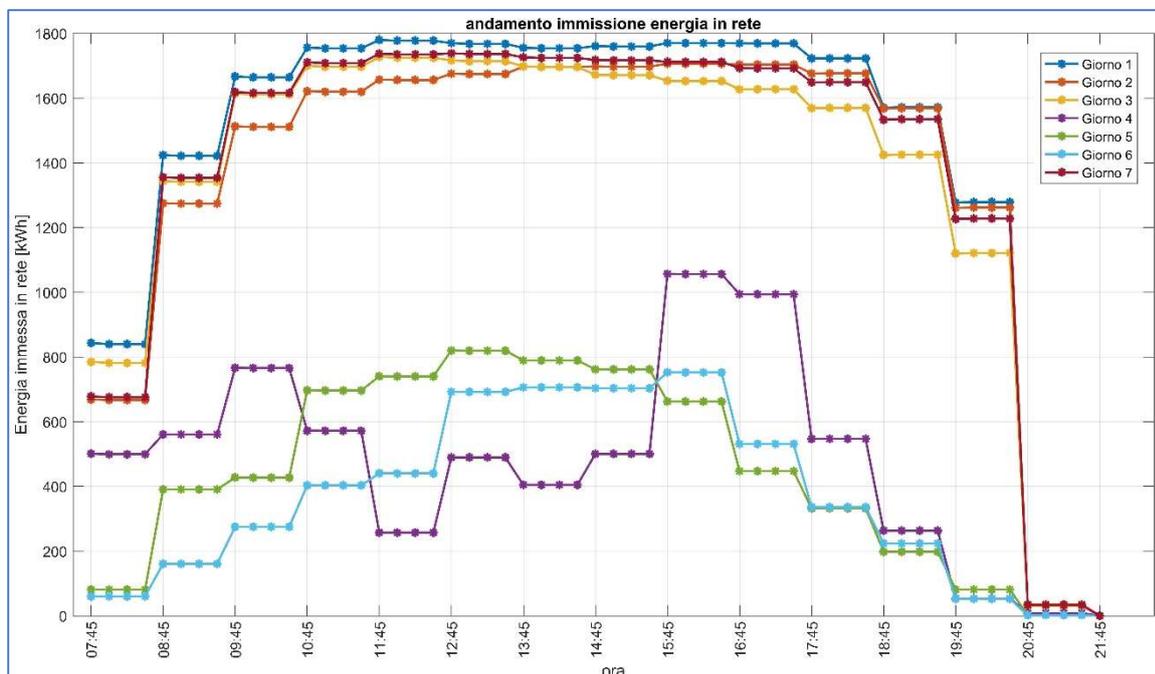


Figura 41: Andamento dell'angolo di orientamento della superficie dei pannelli durante la settimana 49 dell'anno.

## 3.2.2 Dati di produzione giornalieri

Partendo dai dati salvati e riordinati è stata valutata la quantità di energia prodotta dai pannelli e successivamente introdotta in rete. Nella figura successiva è possibile vedere un estratto dei dati giornalieri di produzione della prima settimana dell'anno.



15Figura 42: estratto valori di energia, espressa in kWh, immessa in rete nella prima settimana dell'anno.

Valutando tutti i valori giornalieri sono stati ricavati i seguenti dati:

- Il giorno con la produzione minore di energia è il 170° che corrisponde al 19 giugno. Il valore corrispondente è pari a 1303,3 kWh;
- Il giorno con la massima produzione di energia è il 334° che corrisponde al 30 novembre. Il valore corrispondente è 86239,5 kWh;
- Mediamente ogni giorno vengono prodotti 33305,5 kWh.

Questi risultati confermano quanto atteso perché il giorno con il valore minimo cade nel periodo invernale durante il quale la produzione è più bassa rispetto al periodo estivo. Inoltre, il giorno di massima produzione avviene durante il periodo estivo come da previsioni.

Nella tabella successiva sono riportati i valori di energia prodotti mese per mese.

	Produzione mensile MWh
<b>Gennaio</b>	1.850,323
<b>Febbraio</b>	1.514,694
<b>Marzo</b>	1.348,485
<b>Aprile</b>	880,984
<b>Maggio</b>	522,632
<b>Giugno</b>	393,165
<b>Luglio</b>	483,676
<b>Agosto</b>	710,123
<b>Settembre</b>	977,653
<b>Ottobre</b>	1.350,660
<b>Novembre</b>	1.723,056
<b>Dicembre</b>	1.857,023

Tabella 16: riepilogo valori di produzione mensili in MWh.

Il totale annuale di energia prodotta secondo l'analisi effettuata tramite Polysun utilizzando i dati di Meteonorm risulta pari a 13,612 GWh. Tuttavia, questo valore potrebbe salire fino a 15 GWh in un anno caratterizzato da condizioni atmosferiche particolarmente favorevoli (Dati Meteonorm).

### 3.2.3 Orari picco

Per definire gli orari di picco della domanda di energia elettrica in modo più oggettivo è stato valutato l'andamento in Italia e successivamente, assumendo un andamento simile tra il mercato elettrico cileno ed italiano tenendo conto dell'inversioni delle stagioni climatiche, sono stati applicati i range di tempo ottenuti al parco solare oggetto di studio.

I dati utilizzati sono stati ottenuti dal sito di Terna che è il gestore nazionale della rete elettrica ad alta e altissima tensione.

Sono stati perciò ottenuti i valori dei consumi giornalieri di tutto l'anno 2019, anno scelto come base di riferimento. Nella tabella successiva sono mostrati i valori di alcuni giorni dell'anno.

Dai calcoli effettuati è stato ottenuto che mediamente ogni giorno sono presenti due fasce di picco di richiesta che corrispondono agli orari compresi tra le 11 e le 13 e tra le 18 e le 20.

Andando poi a valutare nel dettaglio i dati a ridosso di questi intervalli è stato notato che anche per le ore 14 e 21 i valori sono paragonabili a quelli di picco. Per questo motivo per lo studio oggetto di questa tesi si è stabilito che gli orari di picco saranno compresi tra le 11 e le 13.30 per il primo range e tra le 18 e 20.30 per il secondo.

Ora	Giorno 267	Giorno 268	Giorno 269	Giorno 270	Giorno 271	Giorno 272	Giorno 273
1	30,853	30,808	30,879	31,044	30,853	27,026	25,714
2	28,939	29,323	29,133	28,902	28,997	25,234	24,427
3	28,086	28,355	28,213	28,083	27,624	24,258	23,977
4	27,674	28,060	28,075	27,547	27,327	23,633	23,849
5	27,863	28,179	28,176	27,845	27,235	23,403	24,132
6	29,611	29,610	29,824	29,546	27,812	23,819	26,275
7	35,048	35,098	35,243	35,022	29,944	24,766	32,544
8	39,800	39,874	39,762	39,954	32,588	25,145	37,954
9	44,687	44,428	44,207	44,276	35,580	27,536	42,698
10	46,382	46,125	46,096	46,018	37,823	30,459	44,629
11	46,731	46,391	46,460	46,463	38,073	32,033	45,003
12	46,830	46,499	46,281	46,646	37,719	32,297	45,130
13	44,731	44,157	44,135	44,439	36,007	32,421	43,336
14	44,536	44,711	44,301	44,307	34,611	31,715	43,240
15	45,852	45,128	44,998	45,498	33,640	30,630	44,709
16	45,961	45,693	45,041	45,498	33,213	30,257	45,189
17	45,564	46,158	45,573	45,202	33,596	29,955	45,009
18	44,186	44,672	44,310	43,755	34,108	29,937	43,704
19	43,219	43,641	43,454	43,088	35,501	30,802	42,667
20	45,458	45,971	45,836	45,293	38,702	34,666	45,115
21	44,373	44,314	44,220	43,489	37,133	34,346	43,527
22	41,352	41,064	41,353	39,969	34,311	32,377	40,705
23	37,247	36,890	37,184	36,346	31,902	30,173	36,831
24	33,552	33,643	33,782	33,319	29,300	27,668	33,401

Tabella 17: valori di potenza giornaliera richiesta in Italia ed espressa in MW con i valori di picco evidenziati

### 3.2.4 Dimensionamento del sistema di accumulo

Come detto in precedenza per il sistema di accumulo si utilizzeranno delle batterie della Samsung SDI che, in collaborazione con Sungrow, fornirà tutte le componenti tecnologiche necessarie per la gestione e il mantenimento.

Un eventuale dimensionamento che permetta l'immagazzinamento di tutta l'energia prodotta durante il giorno caratterizzato dalla resa maggiore provocherebbe un sovradimensionamento delle batterie dal punto di vista energetico e un costo non sostenibile economicamente.

Allo stesso modo se si scegliesse una taglia dell'impianto di storage capace di conservare tutta l'energia prodotta durante il giorno con la produzione minore l'accumulo risulterebbe sottodimensionato durante la maggior parte dell'anno rendendolo poco redditizio dal punto di vista finanziario.

Da un punto di vista economico le ore che ricadono nei picchi di domanda risultano quelle caratterizzate da prezzi di vendita maggiori, aspetto ipotizzabile pensando all'andamento di un qualsiasi mercato. Infatti, se un bene riscontra una domanda di acquisto maggiore acquisisce un aumento del valore se la quantità dell'offerta dello stesso rimane invariata.

Partendo da questo principio si è fatta l'ipotesi di non sfruttare il sistema di accumulo per l'energia prodotta dal parco solare durante le ore rientranti nelle due fasce di picco ipotizzate nel capitolo precedente (11 – 13.30, 18 – 20.30), ma di utilizzarlo solamente per immagazzinare l'elettricità prodotta al di fuori dei range di picco in modo da poterla rilasciare durante gli stessi ricavandone un profitto maggiore.

Si sono successivamente valutati due metodi di valutazione per il dimensionamento.

### 3.2.4.1 IPOTESI 1: due picchi giornalieri

La batteria viene scaricata ad ogni picco giornaliero, perciò due volte ogni giorno. Questo comporta un numero maggiore di cicli di carica e scarica con conseguente deterioramento maggiore delle batterie nel tempo.

Utilizzando i dati forniti dal produttore e riportati nella Tabella 8 del capitolo 2.2 si è stimato che l'uso continuativo due volte al giorno durante 25 anni (18250 cicli) comportasse la perdita del 50 % della capacità di storage se non venisse sostituito.

Tuttavia, dato che il deterioramento delle batterie non avviene soltanto a causa del susseguirsi dei cicli di carica e scarica si è ipotizzata una sostituzione dell'accumulo al quattordicesimo anno di utilizzo dello stesso. Questa sostituzione comporta una differente capacità residua delle batterie che nel momento della sostituzione, applicando le assunzioni descritte fino a questo momento, assume un valore pari a circa il 68 % rispetto al valore iniziale. Per quanto riguarda il venticinquesimo anno di vita dell'impianto il secondo sistema di batterie installato avrà subito un calo di circa il 30 % rispetto ai valori iniziali.

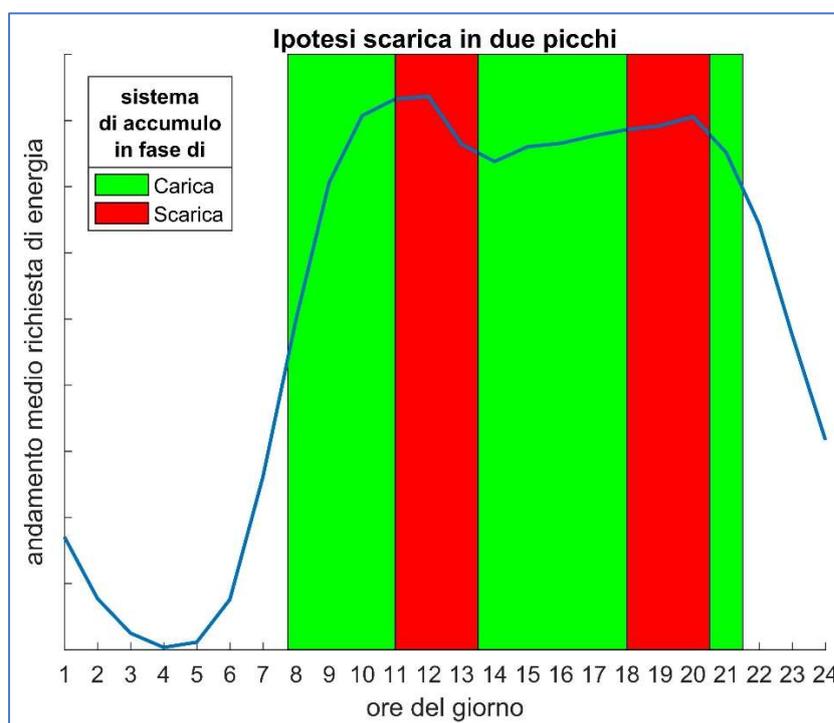


Figura 43: Schema riassuntivo di una giornata tipica di utilizzo del sistema di accumulo con l'ipotesi di scarica durante i due picchi giornalieri.

Essendo ipotizzata la scarica durante ogni fascia di picco di richiesta è possibile separare in due blocchi le ore in cui l'energia prodotta dall'impianto sarà immagazzinata nel sistema di accumulo. Il primo blocco sarà composto da tutte le ore comprese tra la fine del picco serale e il picco

mattutino, cioè tra le 20.30 e le 10.59. Mentre per il secondo saranno le ore comprese tra le 13.30 e le 17.59.

Nonostante le ore tra il primo picco e il secondo siano inferiori di numero, essendo però caratterizzate dall'irraggiamento solare maggiore, risultano quelle con la produzione maggiore di energia. Infatti, come riportato nella tabella successiva quasi per il 100 % dei giorni dell'anno la capacità viene utilizzata completamente.

<b>Taglia accumulo kWh</b>	<b>Percentuale di non utilizzo della capacità delle batterie al primo anno PICCO 1</b>	<b>Taglia accumulo kWh</b>	<b>Percentuale di no utilizzo della capacità delle batterie al primo anno PICCO 2</b>
<b>1826</b>	0,233	<b>1826</b>	0,005
<b>2009</b>	0,246	<b>2009</b>	0,006
<b>2192</b>	0,259	<b>2192</b>	0,007
<b>2374</b>	0,270	<b>2374</b>	0,008
<b>2557</b>	0,281	<b>2557</b>	0,009
<b>2740</b>	0,290	<b>2740</b>	0,010
<b>2922</b>	0,300	<b>2922</b>	0,012
<b>3105</b>	0,308	<b>3105</b>	0,013
<b>3288</b>	0,316	<b>3288</b>	0,015
<b>3470</b>	0,323	<b>3470</b>	0,016
<b>3653</b>	0,331	<b>3653</b>	0,018

Tabella 18 - 19: Valori di percentuale di non utilizzo della capacità della batteria durante il primo anno di utilizzo.

<b>Taglia accumulo kWh</b>	<b>Giorni che non producono energia sufficiente a riempire le batterie nelle ore prima del PICCO 1</b>	<b>Taglia accumulo kWh</b>	<b>Giorni che non producono energia sufficiente a riempire le batterie nelle ore prima del PICCO 2</b>
<b>1826</b>	136	<b>1826</b>	6
<b>2009</b>	141	<b>2009</b>	6
<b>2192</b>	145	<b>2192</b>	7
<b>2374</b>	151	<b>2374</b>	8
<b>2557</b>	155	<b>2557</b>	10
<b>2740</b>	158	<b>2740</b>	10
<b>2922</b>	161	<b>2922</b>	12
<b>3105</b>	163	<b>3105</b>	15
<b>3288</b>	164	<b>3288</b>	16
<b>3470</b>	167	<b>3470</b>	17
<b>3653</b>	173	<b>3653</b>	18

Tabella 20 - 21: numero di giorni in cui la produzione di energia non è sufficiente a riempire al 100% le batterie durante le ore adibite a quello scopo per ognuno dei picchi durante il primo anno di utilizzo.

Vedendo la tendenza della percentuale non utilizzata durante il primo picco giornaliero si potrebbe pensare che diminuendo la dimensione dell'accumulo la percentuale raggiungerebbe il 100 % di utilizzo. Tuttavia, dopo aver simulato accumuli di taglia più piccola è stato riscontrato che per circa 60 giorni all'anno l'energia generata non andrebbe a sfruttare completamente un accumulo da 500 kWh. Per questo motivo non sono stati presi in considerazione dimensionamenti minori a quelli riportati nelle tabelle precedenti.

#### 3.2.4.2 IPOTESI 2: un picco giornaliero

La batteria viene scaricata solo una volta al giorno durante l'orario del picco serale. Con l'utilizzo di questa ipotesi perciò il numero di cicli di carica e scarica verrebbe dimezzato a 9125 con conseguente perdita, al venticinquesimo anno, di circa il 32 % della capacità iniziale.

Anche in questo caso si applica una sostituzione del sistema di accumulo al quattordicesimo anno di vita che corrisponde a valori residui della capacità delle batterie pari a circa 79,6 % per il primo sistema e 80.5 % per il secondo.

Nonostante questo, come spiegato nei capitoli successivi sulla valutazione del payback time, il beneficio di un minor degrado delle batterie non compensa i mancati introiti derivanti dall'utilizzo dimezzato rispetto alla prima ipotesi.

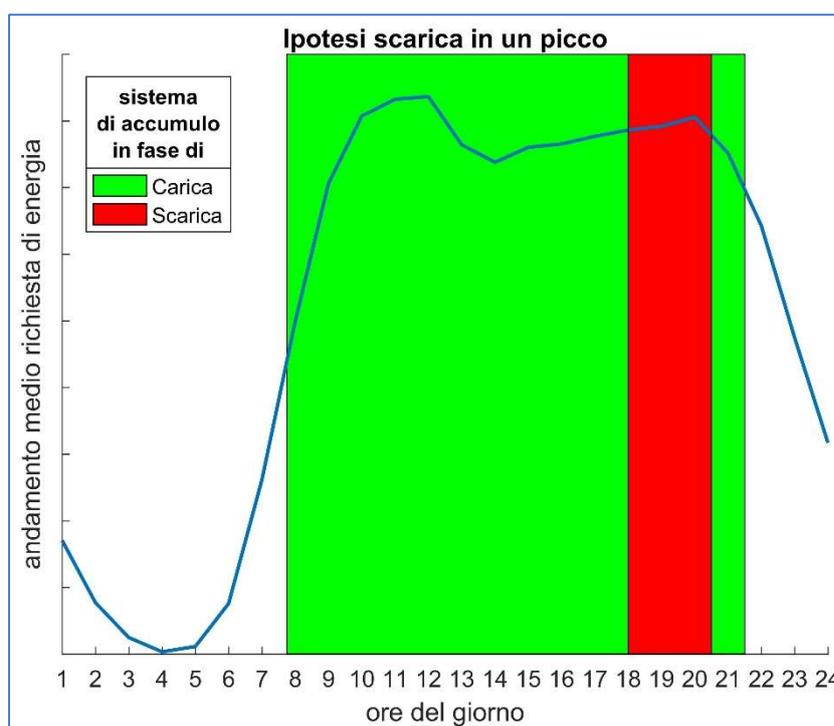


Figura 44: Schema riassuntivo di una giornata tipica di utilizzo del sistema di accumulo con l'ipotesi di scarica durante i un picco giornaliero.

## 4 Analisi payback time

Il primo aspetto fondamentale per questa analisi è chiarire quali parametri saranno presi in considerazione per valutare il tempo di ritorno dell'investimento. Essendo la costruzione del parco solare fuori da questa valutazione non saranno tenuti in considerazione i costi di installazione e messa in opera dei pannelli solari e degli inverter previsti dal progetto iniziale. Si valuteranno perciò solo i ricavi o le perdite dovute all'installazione del sistema di accumulo.

L'analisi sarà fatta su una finestra temporale di 25 anni perché dai dati forniti dal costruttore dei pannelli solari viene garantita una potenza rilasciata caratterizzata da un andamento lineare, come riportato nel capitolo 1.3.

Attualmente l'energia dell'impianto viene venduta a circa 62 \$/MWh immesso in rete.

Per effettuare un calcolo dei profitti dovuti al sistema di batterie si è ipotizzato di vendere l'energia al di fuori dei picchi di potenza al prezzo riportato in precedenza.

Per quanto riguarda l'energia rilasciata durante i periodi caratterizzati da una richiesta maggiore è stato stabilito che il prezzo di vendita dovrà essere obbligatoriamente superiore al valore di vendita attuale.

Grazie ai dati forniti da Sungrow un sistema di accumulo da 2,74 MWh comprensivo di tutte le tecnologie necessarie al suo funzionamento e all'installazione costa all'incirca 1,5 milioni di euro.

Per determinare i costi di tutte le taglie considerate è stato deciso di effettuare una proporzione in base alla dimensione delle batterie. Facendo ciò è stato ricavato che ogni kWh installato è caratterizzato da un costo pari a 547,45 \$. Inoltre, essendo il prezzo riportato in precedenza comprensivo del costo dell'inverter si è ipotizzato che la sostituzione delle batterie al quattordicesimo anno di vita del parco solare comporterà un costo pari al 50 % del prezzo sostenuto al primo anno. Questa assunzione è stata fatta tenendo in considerazione che il suddetto inverter non sarà sostituito e, con il passare degli anni, il costo della tecnologia di accumulo installata potrà probabilmente subire delle diminuzioni dovute al suo maggior sviluppo industriale.

Taglia accumulo kWh	Costo installazione ed acquisto		Totale \$
	primo anno \$	quattordicesimo anno \$	
<b>1826</b>	999635	499818	1499453
<b>2009</b>	1099818	549909	1649727
<b>2192</b>	1200000	600000	1800000
<b>2374</b>	1299635	649818	1949453
<b>2557</b>	1399818	699909	2099727
<b>2740</b>	1500000	750000	2250000
<b>2922</b>	1599635	799818	2399453
<b>3105</b>	1699818	849909	2549727
<b>3288</b>	1800000	900000	2700000
<b>3470</b>	1899635	949818	2849453
<b>3653</b>	1999818	999909	2999727

Tabella 22: Costi installazione e acquisto dei sistemi di accumulo per ogni taglia considerata.

#### 4.1 Efficienza pannelli nel tempo ( EP )

La prima fase di questo calcolo ha previsto la definizione della quantità di energia che verrebbe immagazzinata nel sistema di accumulo al variare della dimensione dello stesso.

Successivamente sfruttando i valori di efficienza dei pannelli forniti dal costruttore si è valutata una diminuzione della produzione di energia del parco solare rispetto alla quantità ottenuta dal programma Polysun per l'anno che potremmo definire come "anno zero" dell'analisi.

Chiaramente non tenendo conto della variazione nel tempo della capacità delle batterie i risultati ottenuti sono viziati da un errore significativo nel tempo. Tuttavia, possono fornire già un'idea dell'andamento finale dell'analisi.

Nelle figure successive sono visualizzati i risultati ottenuti al variare del prezzo di vendita dell'energia elettrica per un accumulo di 1,826 MWh.

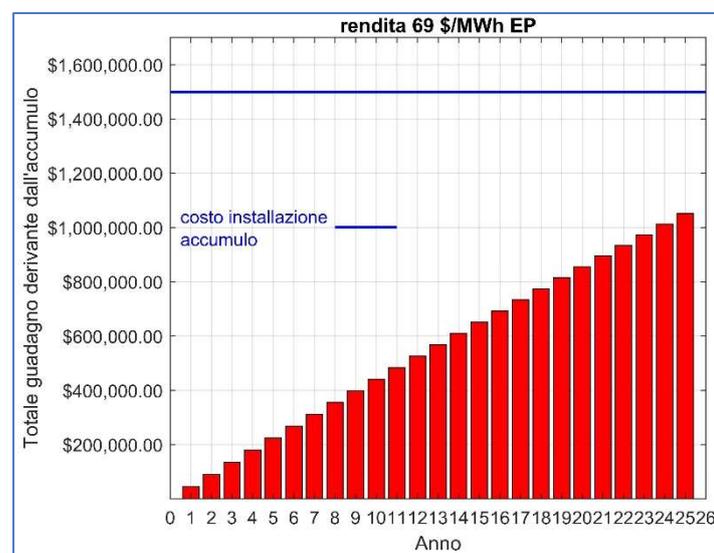


Figura 45: rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 69 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

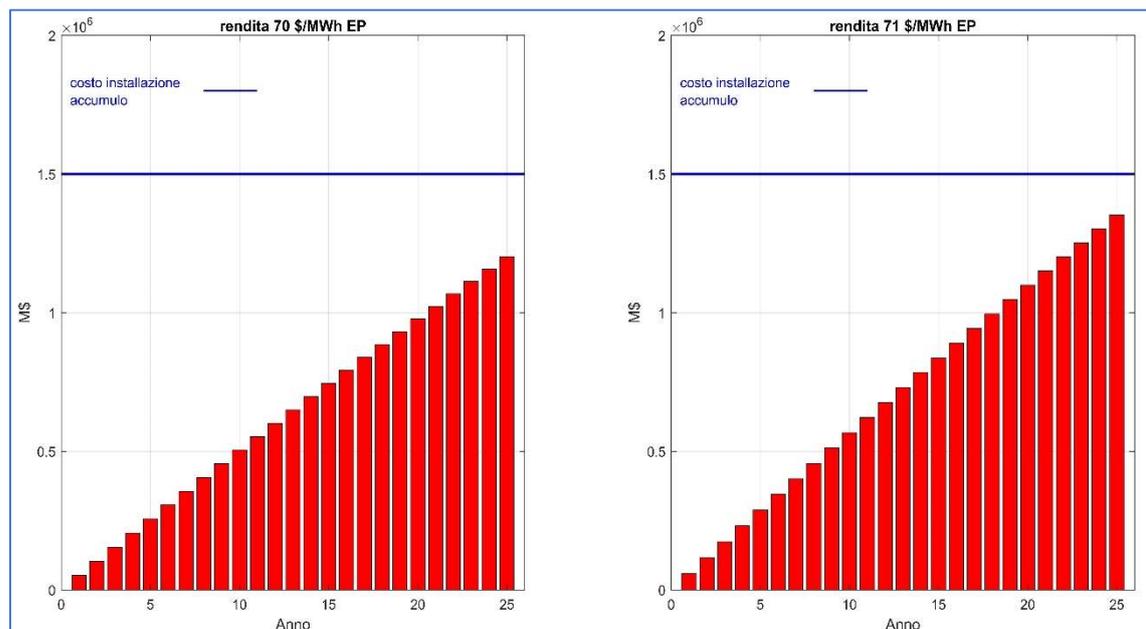


Figura 46: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 70 e 71 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

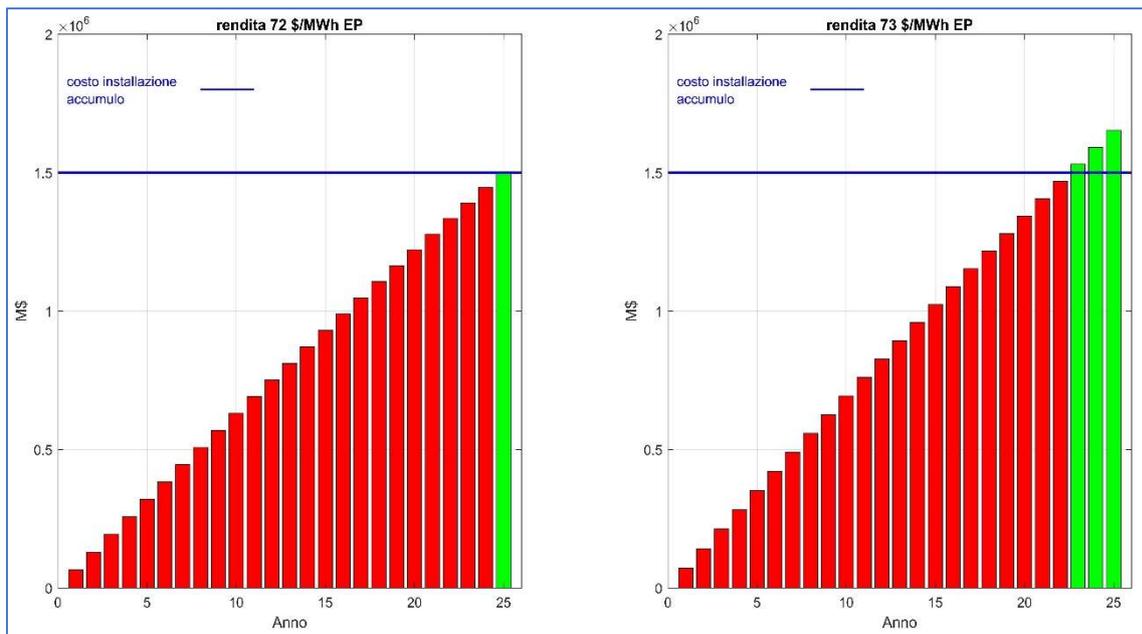


Figura 47: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 72 e 73 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

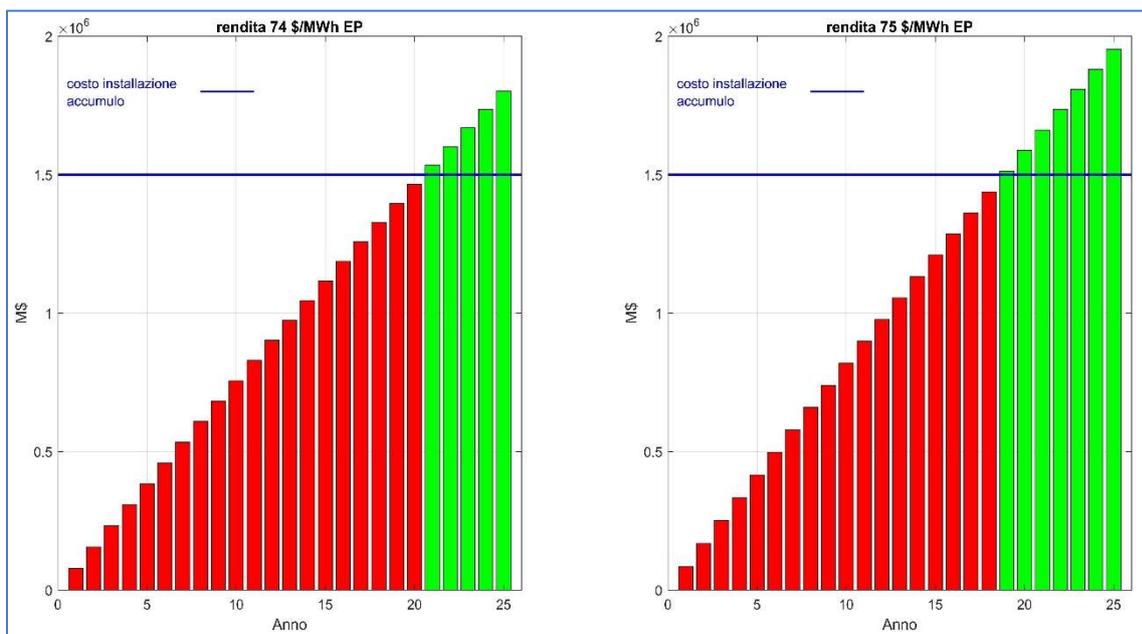


Figura 48: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 74 e 75 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

## 4.2 Deterioramento delle batterie nel tempo ( DB )

La definizione del deterioramento nel tempo delle batterie a causa del loro utilizzo è forse la più importante e allo stesso tempo delicata assunzione che è stata effettuata per ottenere un risultato dell'analisi il più prossimo alla realtà.

Al variare della tipologia di utilizzo cambierà il deterioramento del sistema di accumulo, come già affermato nel capitolo 2.2. Per questo motivo è stato fondamentale comprendere come sarebbero sfruttate nel parco solare oggetto di studio le batterie.

Analizzando i dati ottenuti nella simulazione di produzione di energia dell'anno campione, si è notato che al variare dell'ipotesi utilizzate di un picco giornaliero o due picchi (capitolo 3.2.4) cambia la profondità della scarica che viene effettuata durante il rilascio.

Per quanto riguarda l'ipotesi di un solo picco giornaliero la percentuale di carica risulta prossima al 100 % per tutti i giorni dell'anno.

Mentre per l'ipotesi della scarica durante entrambi i picchi giornalieri deve essere fatta una differenziazione tra i due. Durante il picco mattutino mediamente su tutta la durata dell'anno non viene sfruttato tra il 23,3 % per un accumulo di 1826 kWh e il 33,1 % per un accumulo di 3653 kWh dell'energia massima immagazzinabile durante lo stesso arco temporale. Più nel dettaglio per una taglia di 1826 kWh la scarica risulterà inferiore al 100 % in circa 130 giorni dell'anno.

Per quanto riguarda invece il secondo orario di picco sia per la taglia più piccola che per quella più grande considerate la scarica sarà prossima al 100 % per tutti i giorni dell'anno.

Dai dati forniti dal costruttore delle batterie si può notare come ad una scarica minore del massimo consentito corrisponda un deperimento minore delle batterie. Tuttavia, per effettuare un'analisi più conservativa è stato deciso di considerare per entrambe le ipotesi e tipologie di picchi la scarica caratterizzata da un calo di prestazioni pari a quello che si avrebbe con un rilascio del 100 %.

A questo punto risulta semplice stabilire il numero di cicli necessari durante la vita dell'impianto, cioè nei 25 anni successivi all'installazione dell'accumulo.

Ipotizzando perciò una scarica durante tutti i giorni dell'anno risulta che ad ogni picco sono necessari 9125 cicli di carica scarica. Se l'ipotesi prevede due rilasci per ogni giorno i cicli richiesti per sostenere l'utilizzo durante tutto il periodo di venticinque anni analizzato risulteranno 18250. Tuttavia, a causa della sostituzione delle batterie questi numeri scendono a 4745 e 4380 cicli nel caso di una scarica singola giornaliera rispettivamente per il primo ed il secondo set installati e, per quanto riguarda il caso di doppia scarica giornaliera raggiungeranno rispettivamente 9490 e 8760 cicli di carica e scarica.

Osservando i dati riportati nella Tabella 8 e riportati in un estratto nella tabella successiva si può definire che a 4745 e 4380 cicli corrisponderà una capacità finale pari a circa 80 % di quella iniziale. Invece a 9490 e 8760 cicli corrisponderà una capacità finale pari a circa il 70 % di quella iniziale.

EOL	0,5C/1C DOD 100%	0,5C/0,5C DOD 100%
60 %	13000	14000
70 %	8500	9000
80%	4500	5500

Tabella 23: Estratto Tabella 8, numero di cicli di vita di una batteria da 94 Ah a 25 °C in condizioni 0,5C/0,5C e 0,5C/1C

Rispetto ai risultati precedenti si può osservare una diminuzione degli introiti dovuti all'accumulo derivanti dalla minore capacità di immagazzinamento dell'energia prodotta. Nelle figure successive è possibile vedere le variazioni che sono causate da questo peggioramento di prestazioni.

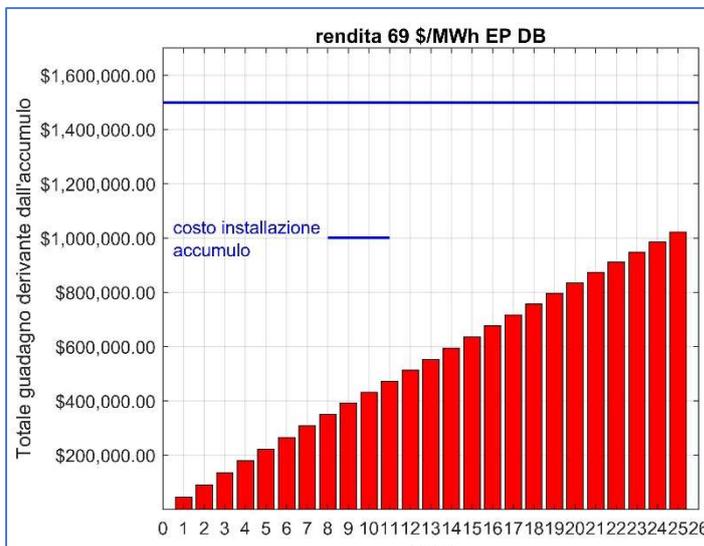


Figura 49: rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 69 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

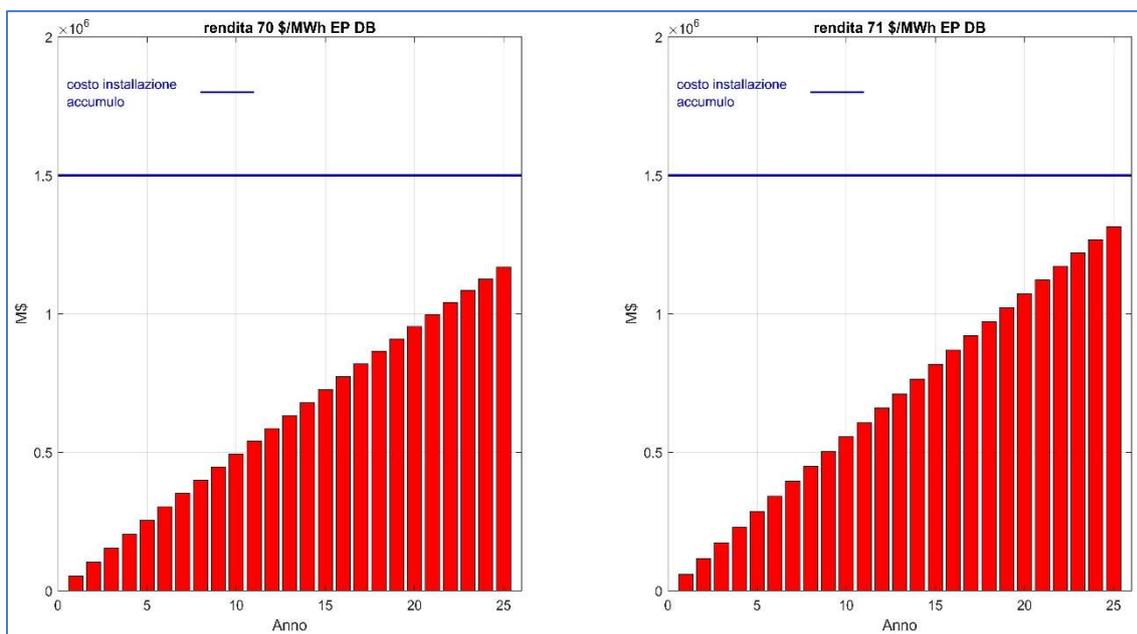


Figura 50: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 70 e 71 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

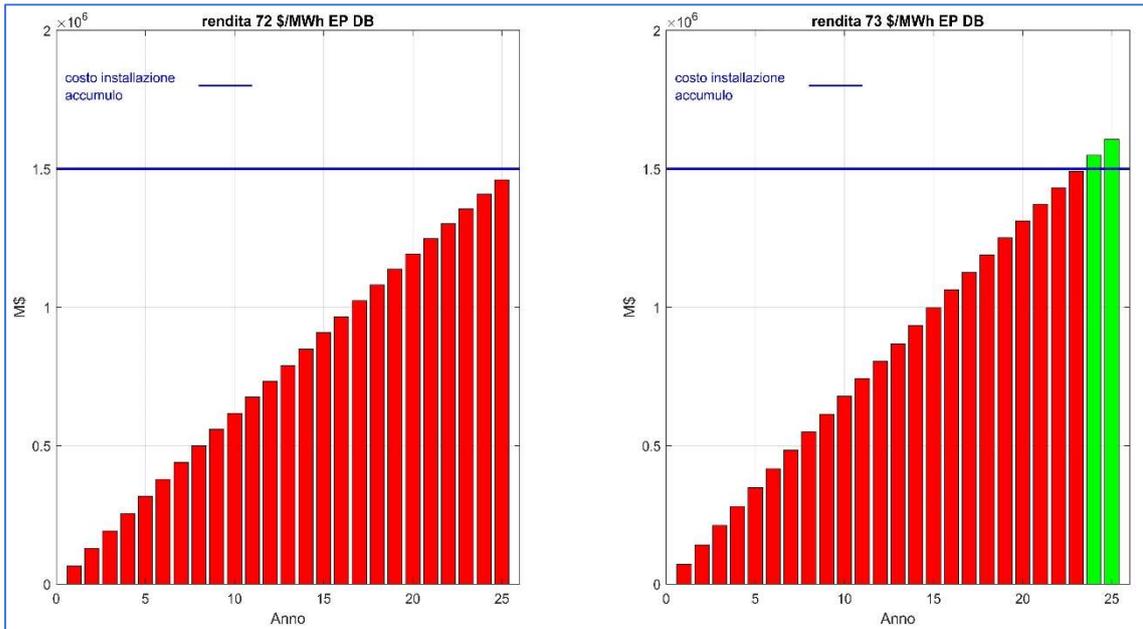


Figura 51: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 72 e 73 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

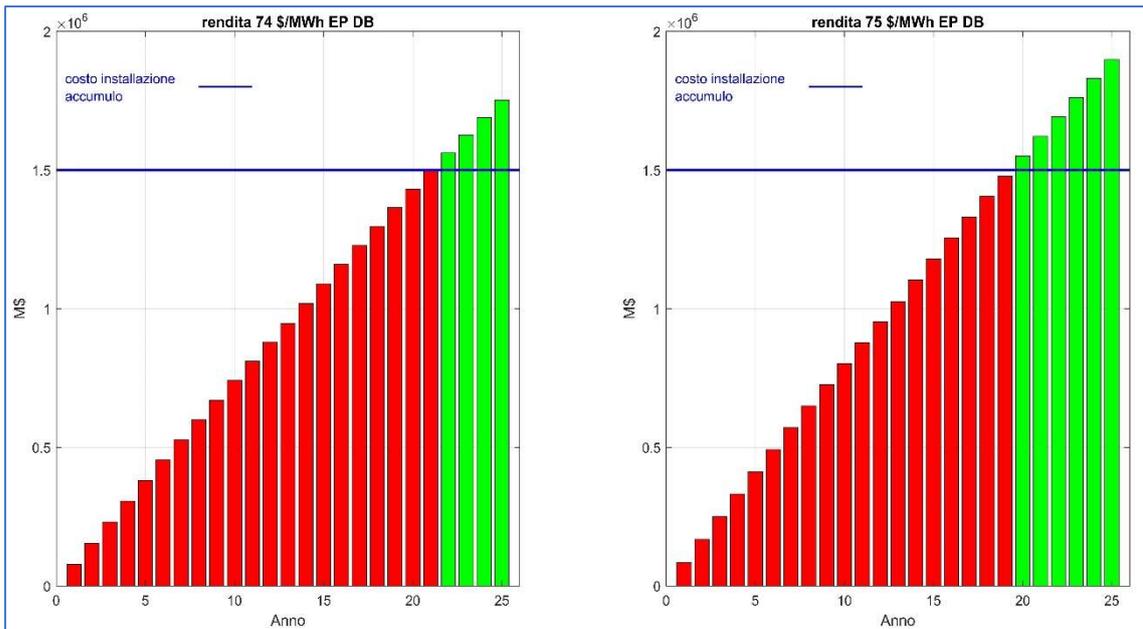


Figura 52: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 74 e 75 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

### 4.3 Inflazione ( I )

Un ultimo parametro di cui si deve tener conto per effettuare un'analisi più veritiera è l'inflazione. Secondo le teorie economiche, inflazione significa l'aumento generale dei prezzi di beni e servizi in una economia durante un determinato periodo. In generale con inflazione si definisce l'aumento del livello generale dei prezzi. Ne risulta che l'inflazione equivale alla perdita di valore della moneta ovvero una svalutazione monetaria per cui il potere d'acquisto del denaro si riduce. Come parametro dell'inflazione si usa il tasso d'inflazione.

Dopo aver effettuato delle ricerche sono stati rilevati i valori per il Cile riportati nella tabella successiva.

Anno	Inflazione media annuale rispetto all'anno precedente	Anno	Inflazione media annuale rispetto all'anno precedente
2000	4,53 %	2010	2,97 %
2001	2,64 %	2011	4,44 %
2002	2,82 %	2012	1,49 %
2003	1,07 %	2013	2,84 %
2004	2,43 %	2014	4,64 %
2005	3,66 %	2015	4,38 %
2006	2,57 %	2016	2,71 %
2007	7,82 %	2017	2,27 %
2008	7,09 %	2018	2,57 %
2009	2,58 %	2019	3,00 %

Tabella 24: Riepilogo inflazione annua in Cile, valori percentuali di crescita rispetto all'anno precedente. Fonte INFLATION.EU

Facendo una media dei valori storici di inflazione in Cile è stato ottenuto il seguente valor medio.

Anni	Inflazione percentuale media di variazione annuale
2000 - 2019	3,426 %

Tabella 25: Valore di aumento annuo percentuale dell'inflazione in Cile.

Ipotizzando perciò un andamento costante nel tempo oggetto di studio del coefficiente di inflazione pari al valor medio ottenuto dai dati storici riportati sono stati ottenuti i valori definitivi dei ricavi dovuti al sistema di accumulo riportati nei grafici successivi. Grazie all'effetto dell'inflazione è auspicabile un aumento dei ricavi nel tempo dovuti al prezzo di vendita aumentato ogni anno.

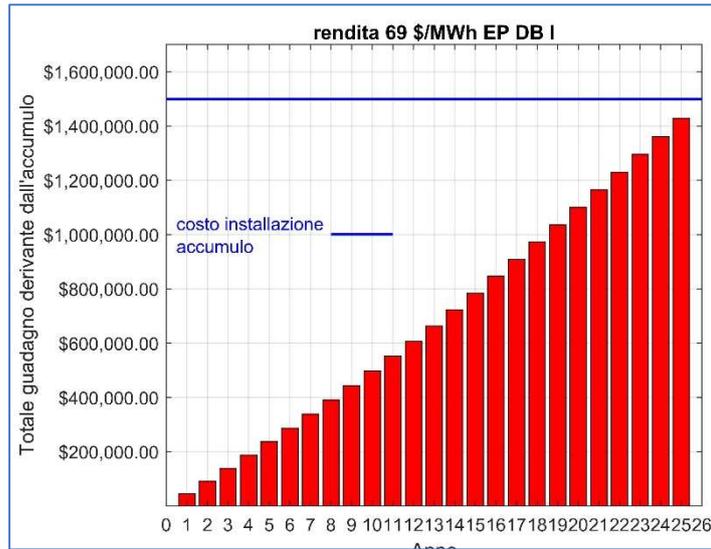


Figura 53: rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 69 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

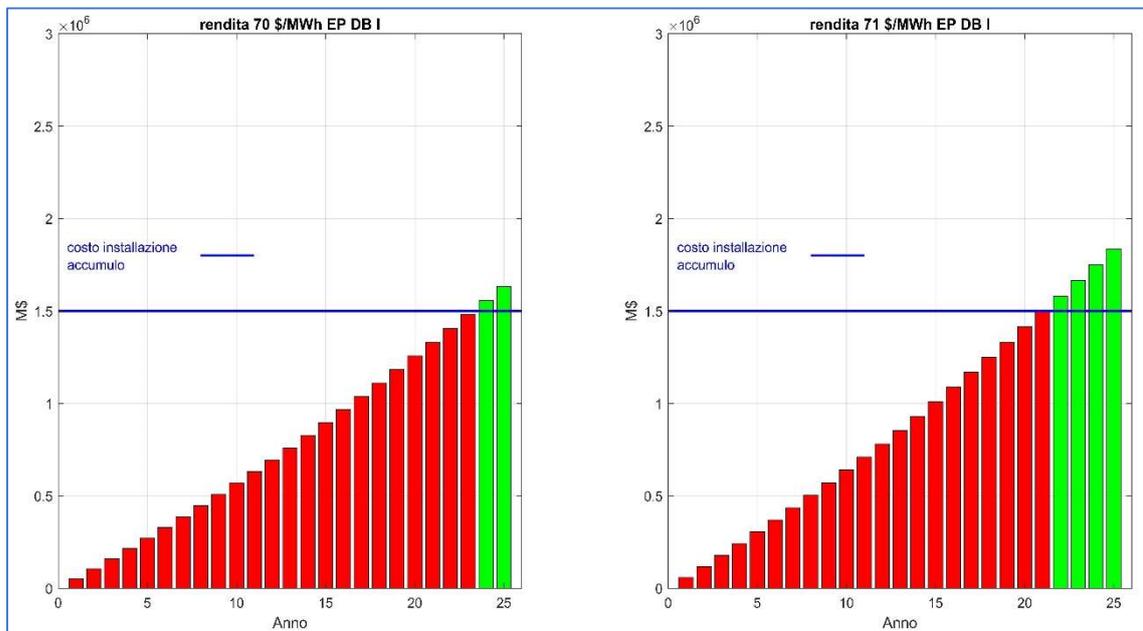


Figura 54: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 70 e 71 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

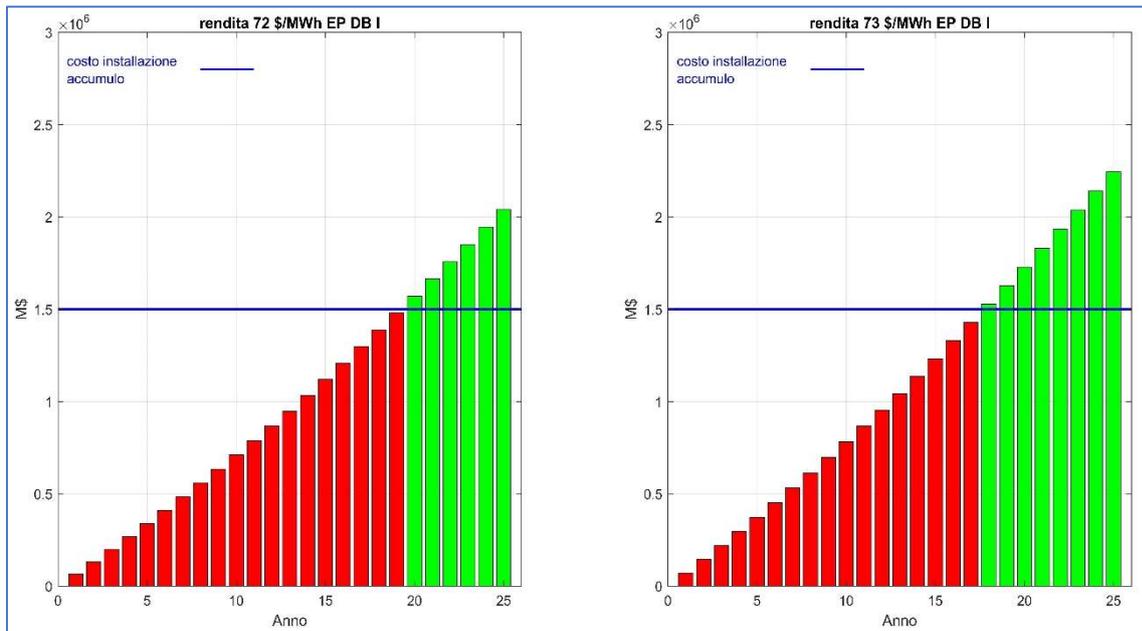


Figura 55: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 72 e 73 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

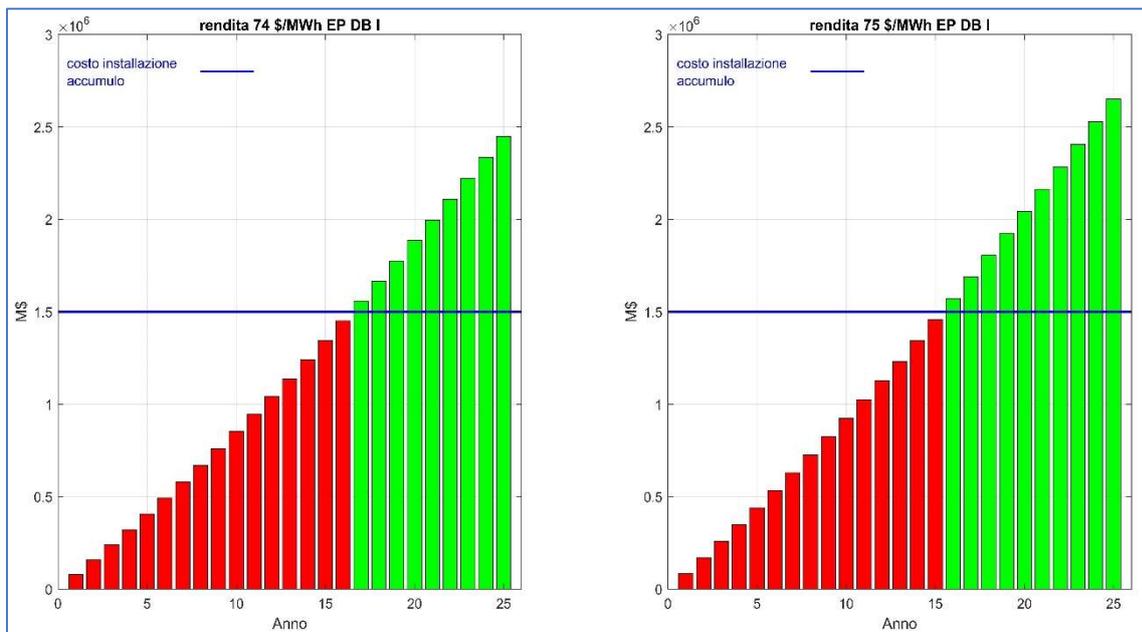


Figura 56: confronto rendita ricavata dalla vendita dell'energia a 74 e 75 \$/MWh per un accumulo di 1,826 MWh.

#### 4.4 Andamento mercato elettrico e inflazione in Italia

Per poter fare una valutazione più reale del valore a cui si andrà a vendere l'energia immagazzinata è stato valutato l'andamento del mercato elettrico italiano. In questo modo è stato possibile avere una base dalla quale partire per effettuare una stima delle cifre da utilizzare.

Tramite il sito del GME (Gestore Mercati Energetici, [www.mercatoelettrico.org](http://www.mercatoelettrico.org)) sono stati ricavati tutti i valori orari del PUN (Prezzo Unico Nazionale) dell'energia elettrica dal 2004, data in cui è entrato in vigore il decreto legislativo n. 79/99.

Il PUN è definito come la media dei prezzi di vendita zionali, ponderata con gli acquisti totali, in vigore nel mercato in cui, con un giorno di anticipo rispetto alla consegna dell'elettricità, si propongono le offerte per acquistare o vendere energia, per ogni ora del giorno seguente.

Anno	PUN medio annuale €/MWh	PUN medio durante le ore di picco €/MWh
2005	58,59	76,68
2006	74,75	95,52
2007	70,99	94,46
2008	87,04	109,47
2009	63,72	79,34
2010	64,12	76,08
2011	72,23	83,16
2012	75,48	87,18
2013	62,99	71,12
2014	52,08	58,40
2015	52,31	57,42
2016	42,75	47,29
2017	53,95	59,74
2018	61,31	66,50
2019	52,32	57,25

Tabella 26: Riepilogo valori medi del PUN annuale e del PUN durante i picchi

L'andamento del PUN quindi non è costante, ma una variabile che viene definita per ogni ora di ogni giorno sulla base del meccanismo di domanda e offerta. Per questo motivo sono stati valutati i valori presi da questo indice per tutte le ore di tutti i giorni dall'anno 2005 all'anno 2019.

Successivamente sono stati valutati i valori medi del PUN per ogni anno considerato e il valore medio dello stesso ottenuto nelle ore di picco stabilite nel capitolo 3.2.3, i dati ottenuti sono riportati nella tabella precedente.

Infine, facendo la media tra i numeri ottenuti è stato ricavato che mediamente negli ultimi quindici anni in Italia il PUN medio è stato pari a 62,975 €/MWh, un valore molto simili al prezzo rilevato attualmente nel mercato cileno oggetto dello studio. Per quanto riguarda le ore di picco mediamente l'energia elettrica è stata venduta a 74,641 €/MWh.

Anni	PUN medio annuale €/MWh	PUN medio durante le ore di picco €/MWh
2005-2019	62,975	74,641

Tabella 27: Valori medi del PUN negli ultimi 15 anni in Italia.

Vista la somiglianza attuale dei due mercati si ipotizza una vendita dell'energia prodotta dall'impianto e stoccata nelle batterie ad almeno il 10 % in più rispetto al valore attuale, cioè ad almeno 69 \$/MWh. Inoltre, si ipotizza che sia l'energia stoccata e sia quella prodotta durante i picchi sia rivenduta a questo prezzo.

Per la valutazione dei coefficienti di inflazione annui in Italia è stato consultato il portale online "Inflation.eu", sito che raccoglie i valori storici e in tempo reale di inflazione per tutti i paesi europei e per molti stranieri.

Anno	Inflazione media annuale rispetto all'anno precedente	Anno	Inflazione media annuale rispetto all'anno precedente
2000	2,70 %	2010	1,88 %
2001	2,37 %	2011	3,29 %
2002	2,83 %	2012	2,31 %
2003	2,50 %	2013	0,66 %
2004	2,03 %	2014	0,00 %
2005	1,99 %	2015	0,09 %
2006	1,87 %	2016	0,49 %
2007	2,61 %	2017	0,90 %
2008	2,24 %	2018	1,09 %
2009	1,02 %	2019	0,49 %

Tabella 28: Riepilogo inflazione annua in Cile, valori percentuali di crescita rispetto all'anno precedente. Fonte INFLATION.EU

Infine, dalla media degli ultimi venti anni, si ottiene il seguente risultato.

Anni	Inflazione percentuale media di variazione annuale
2000 - 2019	1,668 %

Tabella 29: Valore di aumento annuo percentuale dell'inflazione in Italia.

Seguendo sempre le valutazioni espone nei tre paragrafi precedenti è stata simulata l'analisi economica del parco solare oggetto di studio come se fosse ubicato in Italia e producesse esattamente la stessa quantità di energia.

Valutando nuovamente la variazione della taglia del sistema di accumulo installato sono riportati nella tabella successiva i risultati ottenuti utilizzando l'inflazione media degli ultimi venti anni e i prezzi di vendita pari al valor medio del PUN durante le ore di picco.

Inoltre, essendo stato fornito il costo dell'accumulo in dollari americani è stato applicato un tasso di cambio euro - dollaro pari a 0,91.

Taglia accumulato kWh	Anno di rientro dal costo dell'accumulo	Resa totale al venticinquesimo anno dovuta all'accumulo €
1826	18	2032670
2009	19	2064441
2192	20	2095858
2374	22	2126793
2557	23	2157620
2740	24	2188182
2922	25	2218332
3105	> 25	2248416
3288	> 25	2278282
3470	> 25	2307764
3653	> 25	2337189

Tabella 30: Riepilogo anni di ritorno e resa totale finale, di un impianto con le stesse caratteristiche situato in Italia

Diversamente da quanto ci si può aspettare una taglia maggiore dell'accumulo non comporta benefici economici maggiori. Questo perché a parità del prezzo di vendita, l'aumento del costo dell'accumulo risulta più elevato rispetto ai ricavi ottenuti grazie alla dimensione maggiore.

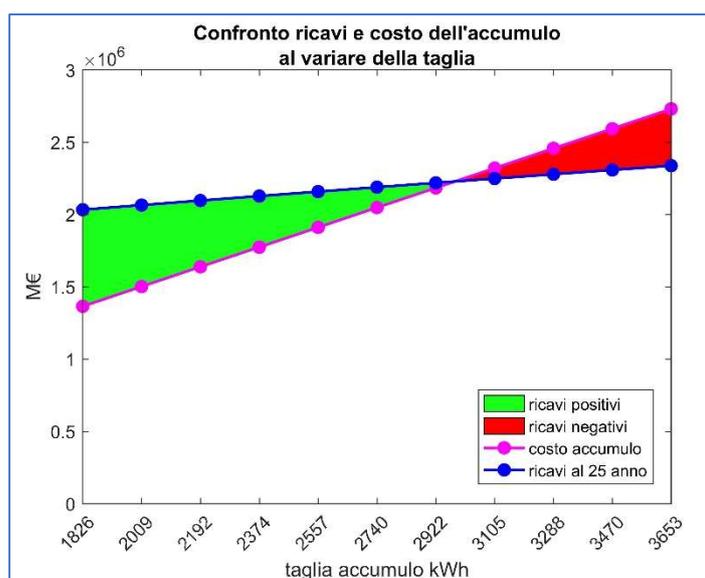


Figura 57: Confronto tra i ricavi al venticinquesimo anno e il costo di installazione dell'accumulo al variare della sua taglia per un impianto in Italia.

## 5 Valutazioni finali

Una volta conclusa l'analisi economica ed avendo perciò a disposizione tutti i risultati ottenuti è stata effettuata la valutazione finale.

Sono stati valutati tre casi di funzionamento dell'impianto che sono regolati dalle supposizioni esposte in precedenza e qui raggruppate.

L'efficienza dei pannelli è caratterizzata da una diminuzione annuale lineare fino al venticinquesimo anno dell'impianto, anno durante il quale il suo valore sarà pari al 80,70 % rispetto al valore di 97,50 % garantito all'installazione. Per quanto riguarda le batterie il valore di capacità residua delle batterie risulta leggermente differente al variare del caso studio al variare del numero di picchi durante i quali avviene il rilascio di energia. Questo numero di scariche di energia può variare solamente tra un rilascio o due rilasci giornalieri. Nella prima ipotesi di rilascio considerata la capacità ancora utilizzabile sarà pari al 68 % per il primo sistema di batterie e 70 % per il secondo sistema installato dopo la sostituzione. Mentre nella seconda ipotesi di rilascio sarà pari al 79,6 % per il primo sistema e 80.5 % per il secondo. In entrambi i casi i valori riportati fanno riferimento ad un valore iniziale della capacità pari al 100 %. Infine, l'inflazione è stata stabilita con un andamento lineare durante tutto il periodo con un valore uguale a quello medio degli ultimi vent'anni in Cile: 3,426 %.

### 5.1 Caso 1: EP DB I

Il primo caso riguarda l'impianto come descritto in precedenza caratterizzato da un utilizzo del sistema di accumulo ipotizzato pari a due utilizzi giornalieri con conseguente numero maggiore di cicli di carica e scarica che provoca un maggior deperimento delle batterie.

Nelle tabelle successive è possibile visualizzare i valori di ricavo ottenuti sommando anno per anno gli introiti ottenuti sfruttando il sistema di accumulo. Questa valutazione è stata fatta facendo variare il valore di vendita dell'energia e la taglia del sistema di stoccaggio.

EP DB I – CILE						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	1427952	1450275	1472348	1494083	1515742	1537215
70	1631945	1657457	1682683	1707524	1732277	1756817
71	1835939	1864639	1893019	1920964	1948811	1976419
72	2039932	2071821	2103354	2134404	2165346	2196021
73	2243925	2279004	2313690	2347845	2381881	2415623
74	2447918	2486186	2524025	2561285	2598415	2635225
75	2651911	2693368	2734361	2774726	2814950	2854827
76	2855904	2900550	2944696	2988166	3031484	3074429
77	3059898	3107732	3155032	3201607	3248019	3294032
78	3263891	3314914	3365367	3415047	3464554	3513634
79	3467884	3522096	3575702	3628488	3681088	3733236
80	3671877	3729279	3786038	3841928	3897623	3952838

Tabella 31: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I.

EP DB I - CILE					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	1558398	1579535	1600519	1621232	1641905
70	1781026	1805183	1829164	1852836	1876463
71	2003655	2030830	2057810	2084441	2111021
72	2226283	2256478	2286455	2316045	2345578
73	2448911	2482126	2515101	2547650	2580136
74	2671540	2707774	2743747	2779254	2814694
75	2894168	2933422	2972392	3010859	3049252
76	3116796	3159070	3201038	3242463	3283810
77	3339424	3384717	3429683	3474068	3518368
78	3562053	3610365	3658329	3705672	3752925
79	3784681	3836013	3886974	3937277	3987483
80	4007309	4061661	4115620	4168881	4222041

Tabella 32: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I.

Ad un primo sguardo si potrebbe pensare che essendo i valori ottenuti con la taglia pari a 3653 kWh i maggiori quel dimensionamento sia il migliore. Tuttavia, andando a valutare il costo di installazione si può osservare come l'aumento dei ricavi non compensa il suo incremento.

EP DB I – CILE – valori al netto del costo di installazione						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	-71500	-199451	-327652	-455369	-583984	-712785
70	132493	7731	-117317	-241929	-367450	-493183
71	336486	214913	93019	-28489	-150915	-273581
72	540479	422095	303354	184952	65620	-53979
73	744472	629277	513690	398392	282154	165623
74	948465	836459	724025	611833	498689	385225
75	1152459	1043642	934361	825273	715223	604827
76	1356452	1250824	1144696	1038714	931758	824429
77	1560445	1458006	1355032	1252154	1148293	1044032
78	1764438	1665188	1565367	1465595	1364827	1263634
79	1968431	1872370	1775702	1679035	1581362	1483236
80	2172424	2079552	1986038	1892476	1797896	1702838

Tabella 33: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I.

EP DB I - CILE – valori al netto del costo di installazione					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	-841054	-970191	-1099481	-1228221	-1357821
70	-618426	-744544	-870836	-996616	-1123264
71	-395798	-518896	-642190	-765012	-888706
72	-173170	-293248	-413545	-533407	-654148
73	49459	-67600	-184899	-301803	-419590
74	272087	158048	43747	-70198	-185032
75	494715	383695	272392	161406	49526
76	717344	609343	501038	393011	284084
77	939972	834991	729683	624615	518641
78	1162600	1060639	958329	856220	753199
79	1385228	1286287	1186974	1087824	987757
80	1607857	1511935	1415620	1319429	1222315

Tabella 34: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I.

Infatti, come evidenziato nelle due tabelle precedenti, in alcuni casi il prezzo di vendita risulta troppo basso per permettere di ottenere un utile alla fine del periodo di studio. Perciò dal punto di vista economico il sistema migliore risulta quello più piccolo considerato, cioè quello da 1826 kWh, perché grazie al costo minore di installazione permette una rendita finale maggiore.

## 5.2 Caso 2: EP DB I con rivendita

Prendendo spunto dall'analisi del dimensionamento delle batterie effettuata nel capitolo 3.2.4 viene ipotizzata una compravendita di energia.

Visto che il parco solare in alcuni giorni dell'anno non permette di sfruttare al 100 % la capacità delle batterie a causa delle condizioni climatiche, la quantità di energia mancante viene comprata dalla rete e rivenduta alla stessa durante i picchi giornalieri. In questo modo le batterie vengono sfruttate pienamente ed il profitto dovuto al sistema di accumulo risulterà il massimo possibile.

Questa particolare soluzione progettuale permetterebbe di ottenere i profitti massimi.

Tuttavia, risulta di difficile applicazione poiché la carica delle batterie ottenuta prima dell'inizio della fase di rilascio di un picco è nota solo nel momento in cui inizia lo stesso. Perciò a quel punto, con le ipotesi fatte in precedenza, il prezzo dell'energia non sarebbe pari a quello di vendita al di fuori dei picchi, ma pari a quello massimo di vendita. Questo non permetterebbe nessun ricavo ulteriore.

L'unico modo per permettere di sfruttare questa soluzione è quello di comprare preventivamente una certa quantità di energia in modo tale da completare la carica prima dell'inizio della fase di picco. L'eventuale eccesso prodotto dall'impianto sarebbe inviato immediatamente in rete.

Tuttavia, per semplificare il calcolo di questo caso si ipotizza che l'energia mancante al raggiungimento della carica completa del sistema di accumulo venga acquistata istantaneamente alla fine della fase di carica ed al prezzo di vendita fuori dal picco che nel caso studio è pari a 62 \$/MWh.

Il risultato di questo caso studio perciò permette di ottenere un valore limite massimo dei ricavi che permetterà di fare alcune considerazioni interessanti successivamente.

EP DB I – RIVENDITA - CILE						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	1459178	1486745	1514311	1541726	1569293	1596859
70	1667633	1699137	1730641	1761973	1793477	1824981
71	1876087	1911529	1946971	1982220	2017662	2053104
72	2084541	2123921	2163301	2202466	2241847	2281227
73	2292995	2336313	2379631	2422713	2466031	2509349
74	2501449	2548705	2595961	2642960	2690216	2737472
75	2709903	2761097	2812292	2863206	2914400	2965595
76	2918357	2973489	3028622	3083453	3138585	3193718
77	3126811	3185881	3244952	3303699	3362770	3421840
78	3335265	3398274	3461282	3523946	3586954	3649963
79	3543719	3610666	3677612	3744193	3811139	3878086
80	3752173	3823058	3893942	3964439	4035324	4106208

Tabella 35: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I - RIVENDITA.

EP DB I – RIVENDITA - CILE					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	1624274	1651840	1679407	1706822	1734388
70	1856313	1887818	1919322	1950654	1982158
71	2088353	2123795	2159237	2194486	2229928
72	2320392	2359772	2399152	2438317	2477698
73	2552431	2595749	2639068	2682149	2725467
74	2784470	2831727	2878983	2925981	2973237
75	3016509	3067704	3118898	3169813	3221007
76	3248549	3303681	3358813	3413644	3468777
77	3480588	3539658	3598729	3657476	3716547
78	3712627	3775635	3838644	3901308	3964316
79	3944666	4011613	4078559	4145140	4212086
80	4176705	4247590	4318474	4388971	4459856

Tabella 36: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I - RIVENDITA.

Nelle tabelle successive come per il caso 1 viene sottratto il costo dell'installazione del sistema di accumulo.

EP DB I – RIVENDITA - CILE – valori al netto del costo di installazione						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	-40274	-162982	-285689	-407726	-530434	-653141
70	168180	49410	-69359	-187480	-306249	-425019
71	376634	261803	146971	32767	-82064	-196896
72	585088	474195	363301	253014	142120	31227
73	793542	686587	579631	473260	366305	259349
74	1001996	898979	795961	693507	590490	487472
75	1210450	1111371	1012292	913754	814674	715595
76	1418904	1323763	1228622	1134000	1038859	943718
77	1627358	1536155	1444952	1354247	1263044	1171840
78	1835813	1748547	1661282	1574493	1487228	1399963
79	2044267	1960939	1877612	1794740	1711413	1628086
80	2252721	2173331	2093942	2014987	1935597	1856208

Tabella 37: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I - RIVENDITA.

EP DB I – RIVENDITA - CILE – valori al netto del costo di installazione					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	-775178	-897886	-1020593	-1142630	-1265338
70	-543139	-661909	-780678	-898799	-1017568
71	-311100	-425931	-540763	-654967	-769798
72	-79061	-189954	-300848	-411135	-522029
73	152978	46023	-60932	-167303	-274259
74	385018	282000	178983	76528	-26489
75	617057	517977	418898	320360	221281
76	849096	753955	658813	564192	469050
77	1081135	989932	898729	808024	716820
78	1313174	1225909	1138644	1051855	964590
79	1545214	1461886	1378559	1295687	1212360
80	1777253	1697864	1618474	1539519	1460130

Tabella 38: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I - RIVENDITA.

CONFRONTO CASO 1 E CASO 2						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	31226	36470	41963	47643	53550	59644
70	35687	41680	47957	54449	61200	68165
71	40148	46890	53952	61256	68851	76685
72	44609	52100	59947	68062	76501	85206
73	49070	57309	65942	74868	84151	93726
74	53531	62519	71936	81674	91801	102247
75	57992	67729	77931	88480	99451	110768
76	62453	72939	83926	95286	107101	119288
77	66914	78149	89920	102093	114751	127809
78	71374	83359	95915	108899	122401	136329
79	75835	88569	101910	115705	130051	144850
80	80296	93779	107904	122511	137701	153370

Tabella 39: Confronto differenze dei ricavi ottenuti al venticinquesimo anno tra il primo caso ed il secondo, cioè quale cifra viene ottenuta tramite la rivendita di energia che permette di sfruttare completamente la taglia dell'accumulo. Valori in \$.

CONFRONTO CASO 1 E CASO 2					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	65876	72306	78888	85591	92483
70	75287	82635	90158	97818	105695
71	84698	92964	101427	110045	118907
72	94109	103294	112697	122272	132119
73	103520	113623	123967	134499	145331
74	112931	123953	135236	146727	158543
75	122342	134282	146506	158954	171755
76	131752	144611	157776	171181	184967
77	141163	154941	169045	183408	198179
78	150574	165270	180315	195636	211391
79	159985	175599	191585	207863	224603
80	169396	185929	202854	220090	237815

Tabella 40: Confronto differenze dei ricavi ottenuti al venticinquesimo anno tra il primo caso ed il secondo, cioè quale cifra viene ottenuta tramite la rivendita di energia che permette di sfruttare completamente la taglia dell'accumulo. Valori in \$.

Valutando i risultati ottenuti si può affermare che per le taglie minori la differenza di denaro ottenuta al venticinquesimo anno risulta quasi trascurabile rispetto alla cifra ottenuta senza l'utilizzo di questa compravendita.

Per le taglie maggiori se il prezzo di vendita risultasse molto elevato il beneficio ottenuto potrebbe essere non economicamente trascurabile. Questo risultato poteva essere previsto perché come visto nei capitoli precedenti all'aumentare della capacità totale delle batterie installata il parco solare sarà caratterizzato da un maggior numero di giorni durante i quali l'energia prodotta non risulterebbe sufficiente al completamento della carica.

Tuttavia, se si valuta non solo il fattore economico, ma anche quello ingegneristico si può affermare che se questa pratica venisse evitata la vita utile delle batterie potrebbe risultare maggiore perché in alcuni giorni dell'anno, non essendo sfruttata completamente la loro capacità, la profondità della scarica sarebbe meno profonda con un conseguente degradamento minore.

### 5.3 Caso 3: EP DB I – 1 Picco giornaliero

Un'altra ipotesi che è stata valutata è quella di sfruttare la scarica delle batterie soltanto una volta al giorno durante uno dei due picchi giornalieri. Questo cambiamento porterebbe molti benefici dal punto di vista del danneggiamento delle batterie. Infatti, il numero di cicli di carica e scarica risulterebbero dimezzati. Infatti, dai 18250 cicli di utilizzo complessivi nell'arco di venticinque anni si passerebbe a 9125 che, vista la sostituzione delle batterie, corrispondono a 4745 e 4380 cicli. Questi numeri di utilizzi totali comportano un deterioramento a circa 80 % della capacità iniziale per entrambi i sistemi installati, cioè un deperimento minore di circa il 10 – 12 % rispetto all'ipotesi di utilizzo del sistema di accumulo durante due picchi giornalieri.

Per semplificare lo studio è stato stabilito che il rilascio avviene sempre durante il picco serale, ovvero il secondo picco giornaliero degli altri scenari considerati in precedenza.

Analizzando la quantità di energia prodotta comunque al di fuori degli orari di picco stabiliti è stato rilevato che al primo anno di funzionamento i giorni in cui la produzione non risulta sufficiente al riempimento delle batterie variano tra sei e diciassette al variare della taglia. Questi valori diminuiscono leggermente con il passare degli anni perché il deperimento del sistema di accumulo risulta maggiore rispetto a quello dei pannelli fotovoltaici. Perciò, nonostante la produzione dei pannelli sia caratterizzata da un andamento negativo, la disponibilità di energia da mandare allo stoccaggio risulterà maggiore rispetto alla capacità delle batterie con il passare degli anni.

<b>Taglia accumulo kWh</b>	<b>Giorni che non producono energia sufficiente a riempire le batterie al primo anno di funzionamento</b>	<b>Giorni che non producono energia sufficiente a riempire le batterie all'ultimo anno preso in considerazione</b>
<b>1826</b>	6	4
<b>2009</b>	6	5
<b>2192</b>	7	6
<b>2374</b>	7	6
<b>2557</b>	8	6
<b>2740</b>	10	7
<b>2922</b>	10	7
<b>3105</b>	12	8
<b>3288</b>	13	10
<b>3470</b>	16	10
<b>3653</b>	17	11

*Tabella 41:* numero di giorni in cui la produzione di energia non è sufficiente a riempire al 100% le batterie durante le ore adibite a quello scopo il primo anno di utilizzo e l'ultimo anno considerato.

EP DB I – 1 PICCO - CILE						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	1330792	1345306	1359803	1374204	1388652	1403056
70	1520906	1537493	1554061	1570519	1587031	1603492
71	1711019	1729679	1748319	1766834	1785410	1803929
72	1901132	1921866	1942576	1963149	1983789	2004365
73	2091245	2114052	2136834	2159464	2182168	2204802
74	2281358	2306239	2331092	2355779	2380547	2405238
75	2471472	2498425	2525349	2552094	2578926	2605675
76	2661585	2690612	2719607	2748409	2777304	2806112
77	2851698	2882799	2913864	2944723	2975683	3006548
78	3041811	3074985	3108122	3141038	3174062	3206985
79	3231924	3267172	3302380	3337353	3372441	3407421
80	3422038	3459358	3496637	3533668	3570820	3607858

Tabella 42: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I – 1 PICCO.

EP DB I – 1 PICCO - CILE					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	1417331	1431634	1445879	1459985	1474111
70	1619806	1636153	1652433	1668554	1684699
71	1822282	1840672	1858987	1877123	1895286
72	2024758	2045191	2065541	2085692	2105873
73	2227234	2249710	2272095	2294262	2316461
74	2429710	2454229	2478649	2502831	2527048
75	2632186	2658748	2685203	2711400	2737635
76	2834661	2863267	2891757	2919969	2948223
77	3037137	3067786	3098311	3128539	3158810
78	3239613	3272305	3304865	3337108	3369397
79	3442089	3476825	3511420	3545677	3579985
80	3644565	3681344	3717974	3754246	3790572

Tabella 43: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita. Valori in \$ per il caso studio EP DB I – 1 PICCO.

EP DB I – 1 PICCO - CILE – valori al netto del costo di installazione						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	-168660	-304420	-440197	-575248	-711074	-846944
70	21453	-112234	-245939	-378933	-512695	-646508
71	211566	79953	-51681	-182618	-314316	-446071
72	401679	272139	142576	13696	-115937	-245635
73	591793	464326	336834	210011	82442	-45198
74	781906	656513	531092	406326	280820	155238
75	972019	848699	725349	602641	479199	355675
76	1162132	1040886	919607	798956	677578	556112
77	1352245	1233072	1113864	995271	875957	756548
78	1542359	1425259	1308122	1191586	1074336	956985
79	1732472	1617445	1502380	1387901	1272715	1157421
80	1922585	1809632	1696637	1584216	1471094	1357858

Tabella 44: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I – 1 PICCO.

EP DB I – 1 PICCO - CILE – valori al netto del costo di installazione					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	-982122	-1118093	-1254121	-1389468	-1525615
70	-779646	-913574	-1047567	-1180899	-1315028
71	-577170	-709054	-841013	-972329	-1104440
72	-374694	-504535	-634459	-763760	-893853
73	-172219	-300016	-427905	-555191	-683266
74	30257	-95497	-221351	-346622	-472678
75	232733	109022	-14797	-138052	-262091
76	435209	313541	191757	70517	-51504
77	637685	518060	398311	279086	159084
78	840160	722579	604865	487655	369671
79	1042636	927098	811420	696225	580258
80	1245112	1131617	1017974	904794	790846

Tabella 45: Riepilogo valori della sommatoria dei ricavi al venticinquesimo anno al variare del prezzo di vendita al netto del costo del sistema di accumulo. Valori in \$ per il caso studio EP DB I – 1 PICCO.

Fin da subito osservando le tabelle di riepilogo dei ricavi al netto del costo del sistema di accumulo si può notare che all'aumentare della taglia in molti più casi, rispetto ai precedenti, sono presenti valori negativi.

CONFRONTO CASO 1 E CASO 3						
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)					
	1826	2009	2192	2374	2557	2740
69	97160	104969	112545	119879	127090	134159
70	111040	119965	128622	137004	145246	153324
71	124920	134960	144700	154130	163401	172490
72	138800	149956	160778	171256	181557	191656
73	152680	164951	176856	188381	199713	210821
74	166560	179947	192934	205507	217868	229987
75	180440	194942	209011	222632	236024	249152
76	194320	209938	225089	239758	254180	268318
77	208200	224934	241167	256883	272336	287483
78	222079	239929	257245	274009	290491	306649
79	235959	254925	273323	291134	308647	325815
80	249839	269920	289401	308260	326803	344980

Tabella 46: Confronto differenze dei ricavi ottenuti al venticinquesimo anno tra il primo caso ed il terzo a parità di taglia di accumulo. Un valore positivo indica che il caso 1 (2 picchi) guadagna più denaro rispetto al caso 3 (1 picco). Valori in \$

CONFRONTO CASO 1 E CASO 3					
Prezzo di vendita durante i picchi \$/MWh	Taglia accumulo (kWh)				
	2922	3105	3288	3470	3653
69	141067	147901	154640	161247	167794
70	161220	169030	176732	184282	191764
71	181372	190159	198823	207317	215735
72	201525	211287	220915	230353	239705
73	221677	232416	243006	253388	263676
74	241830	253545	265097	276423	287646
75	261982	274674	287189	299459	311617
76	282135	295802	309280	322494	335587
77	302287	316931	331372	345529	359558
78	322440	338060	353463	368564	383528
79	342592	359189	375555	391600	407499
80	362745	380317	397646	414635	431469

Tabella 47: Confronto differenze dei ricavi ottenuti al venticinquesimo anno tra il primo caso ed il terzo a parità di taglia di accumulo. Un valore positivo indica che il caso 1 (2 picchi) guadagna più denaro rispetto al caso 3 (1 picco). Valori in \$

Osservando i valori riportati nelle due tabelle precedenti che fanno riferimento alle differenze di ricavi al venticinquesimo anno dello studio tra il primo caso, ovvero lo scenario in cui l'energia prodotta è venduta in entrambi i picchi giornalieri, e il terzo che fa riferimento alla vendita in uno solo dei due picchi si può notare che tutti sono numeri positivi. Questo significa che per tutti le taglie del sistema di accumulo e per tutti possibili prezzi di vendita lo scenario in cui viene ceduta energia in due picchi risulta migliore.

Inoltre, questo comportamento economico del sistema indica che il minor deperimento delle batterie non compensa i mancati introiti dovuti alla doppia vendita giornaliera.

Si può perciò affermare che, nonostante per molti giorni durante l'anno le batterie non vengano completamente riempite durante il primo picco giornaliero la quantità di energia venduta sia maggiore nel caso in cui si sfruttino entrambe le fasce per il rilascio. Per il prezzo di vendita minore pari a 69 \$/MWh la differenza tra i due scenari è pari a circa il 7 % del costo dell'accumulo, a parità di taglia.

Tuttavia, se il sistema sfrutta due picchi giornalieri la capacità ipotetica dell'accumulo sarebbe il doppio rispetto a quella installata. Ciò significa che tra le taglie considerate il paragone più corretto sarebbe tra la minore da 1826 kWh e la maggiore da 3653 kWh.

Prezzo di vendita \$/MWh	CASO 1 – EP DB I	CASO 3 -1 PICCO	Confronto tra caso 3 e caso 1 Differenze dei ricavi, senza tener conto del prezzo dell'accumulo
	Ricavi al venticinquesimo anno sfruttando due picchi giornalieri Taglia accumulo kWh	Ricavi al venticinquesimo anno sfruttando un picco giornalieri Taglia accumulo kWh	
	<b>1826</b>	<b>3653</b>	
<b>69</b>	1427952	1474111	46159
<b>70</b>	1631945	1684699	52753
<b>71</b>	1835939	1895286	59347
<b>72</b>	2039932	2105873	65942
<b>73</b>	2243925	2316461	72536
<b>74</b>	2447918	2527048	79130
<b>75</b>	2651911	2737635	85724
<b>76</b>	2855904	2948223	92318
<b>77</b>	3059898	3158810	98912
<b>78</b>	3263891	3369397	105507
<b>79</b>	3467884	3579985	112101
<b>80</b>	3671877	3790572	118695

Tabella 48: Confronto tra ricavi dei degli scenari 1 e 3, valori in \$

Come riportato nella tabella precedente il sistema di accumulo guadagna più denaro installando una taglia più grande sfruttandola per una sola volta al giorno, perché il deperimento delle batterie risulta minore nel tempo grazie al minor numero di cicli, rispetto all'installazione di una taglia dimezzata da sfruttare due volte al giorno. Tuttavia, se si tiene conto del costo di installazione si capisce che l'installazione del sistema più grande non giustifica quei pochi ricavi in più ottenuti al venticinquesimo anno. Infatti, con l'andamento dei costi dell'accumulo ipotizzato tra le due soluzioni c'è una differenza di circa un milione e mezzo di dollari che non sarà mai colmata da quei pochi ricavi o da un calo del costo della tecnologia sulle taglie maggiori.

## 5.4 Conclusioni

Dopo tutte le analisi e le considerazioni fatte in precedenza si può affermare che l'installazione di un sistema di accumulo nel parco solare di EL QUEULE oggetto di studio può risultare economicamente conveniente se opportunamente dimensionato.

Sicuramente a causa dei prezzi attuali della tecnologia delle batterie è economicamente più vantaggioso installare una taglia minore rispetto ad una maggiore.

Per sfruttare meglio la taglia ridotta la soluzione migliore risulta lo sfruttamento di due picchi giornalieri nonostante per il primo l'energia prodotta non risulta sufficiente a sfruttare completamente la capacità delle batterie in alcuni giorni dell'anno.

Per quanto riguarda la soluzione della scarica durante un solo picco giornaliero la soluzione non risulta economicamente sostenibile perché a parità di dimensionamento dell'accumulo il deperimento minore dovuto all'utilizzo singolo giornaliero non compensa i mancati introiti derivanti dalla doppia vendita. Mentre se si considera una taglia doppia durante l'utilizzo singolo ed una taglia dimezzata durante l'utilizzo doppio, soluzione che permette di avere la stessa capacità giornaliera delle batterie durante le fasi di scarica delle stesse, i ricavi maggiori del caso singolo non giustificano il costo raddoppiato dell'installazione.

Per questo motivo la soluzione a picco singolo non può essere quella prescelta per l'utilizzo del sistema.

Riguardando le differenze tra il Caso 1 ed il Caso 2, si può affermare che l'ipotesi di sfruttare una vendita di energia precedentemente acquistata durante gli orari fuori picco risulta anche in questo caso poco conveniente dal punto di vista economico rispetto alle difficoltà di applicazione. Infatti, essendo quella fotovoltaica una tecnologia che non produce un quantitativo fisso di energia, ma un valore variabile che viene influenzato da molti fattori come le condizioni meteo, risulterebbe difficile prevedere e calcolare la quantità di energia da acquistare per completare la carica delle batterie.

Per questi motivi la scelta operativa del sistema di accumulo è ricaduta sulla vendita di energia durante due picchi giornalieri senza lo sfruttamento di compravendite di energia per utilizzare completamente la capacità installata.

Successivamente si devono differenziare i due possibili scenari presi in considerazione per l'installazione dell'accumulo. Se la scelta viene presa solo osservando il lato economico sicuramente verrebbe installata una delle taglie più piccole considerate. Se invece si dovesse stabilire la dimensione del sistema non solo dal punto di vista finanziario, ma anche energetico sicuramente la scelta dovrebbe ricadere sulle taglie medie grandi.

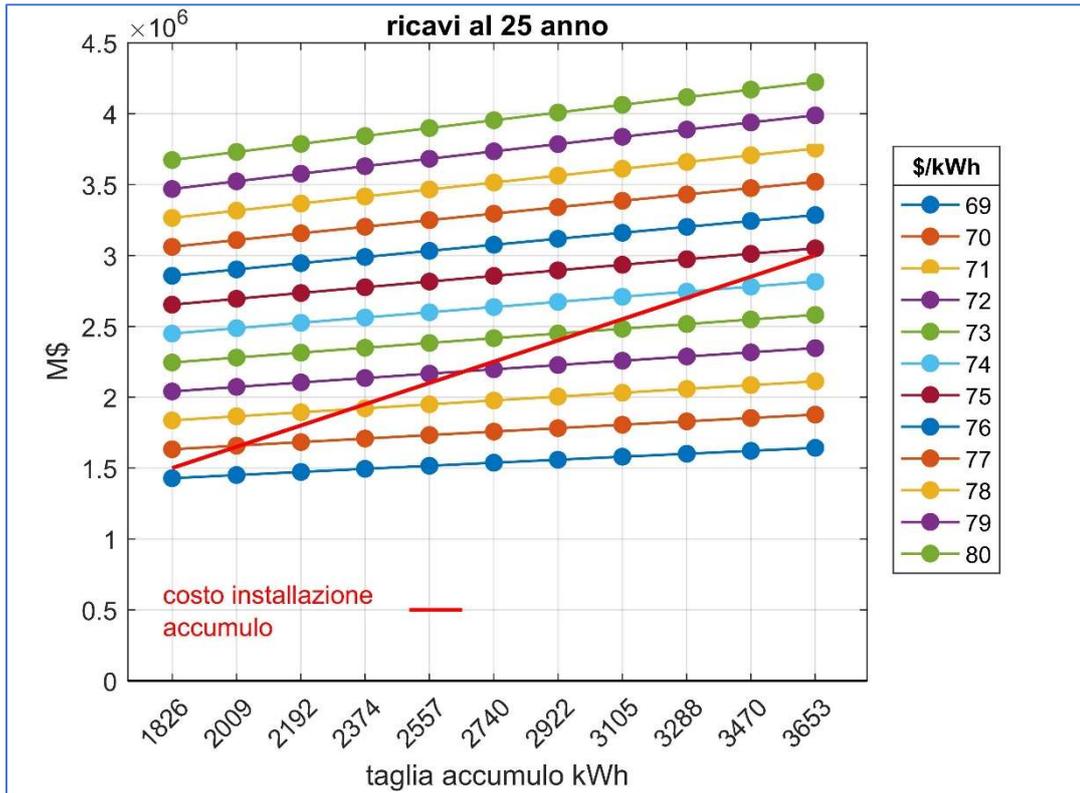


Figura 58: ricavi totali al venticinquesimo anno al variare della taglia e del prezzo di vendita per il caso EP DB I, con due picchi giornalieri.

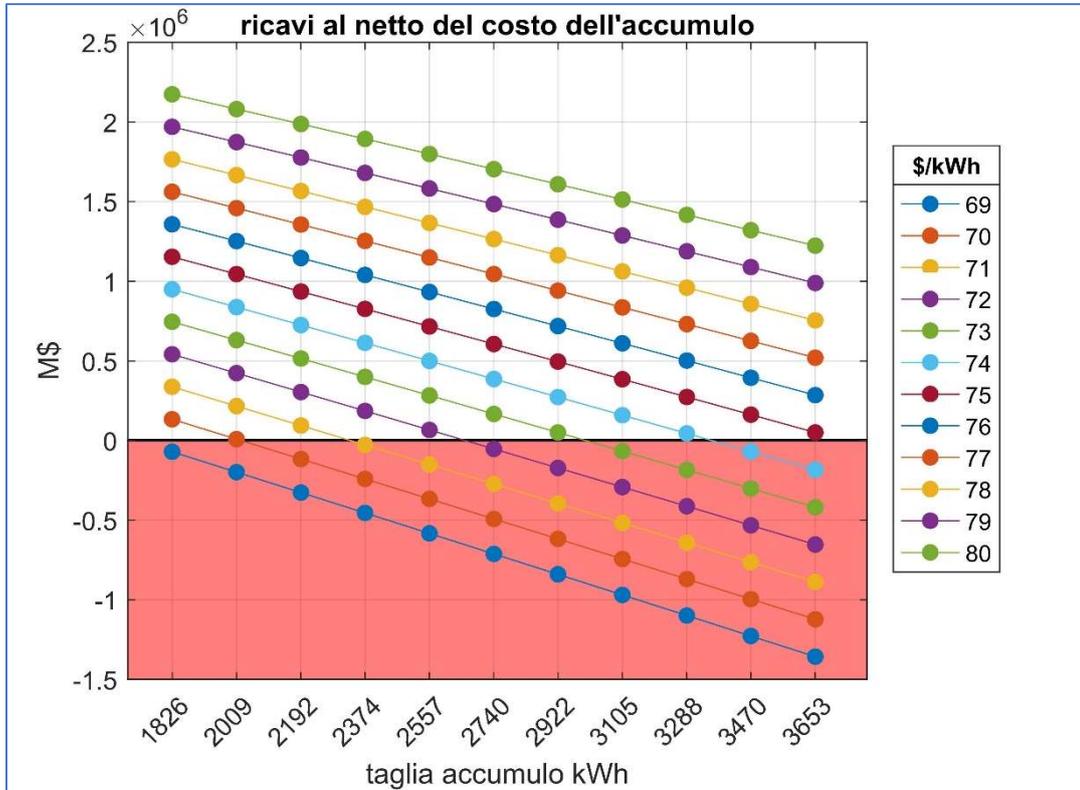


Figura 59: ricavi totali al venticinquesimo anno al variare della taglia e del prezzo di vendita per il caso EP DB I, con due picchi giornalieri. Valori al netto del costo dell'accumulo.

Infine, osservando le due figure riepilogative dei risultati dei ricavi al venticinquesimo anno per un impianto funzionante due volte al giorno durante i picchi che segue le ipotesi del peggioramento delle prestazioni dei pannelli (EP), del deterioramento delle batterie (DB) e dell'inflazione (I) si può affermare che economicamente le taglie minori di 2740 kWh sono più convenienti. Questo perché anche con valori più bassi di vendita l'impianto riesce ad ottenere dei valori positivi.

Entrando nello specifico per la taglia da 2740 kWh al venticinquesimo anno l'impianto andrà pressoché in parità ai costi di installazione sostenuti all'installazione se il prezzo di vendita sarà leggermente minore rispetto al valore medio dei prezzi durante le ore di picco ottenuto dall'analisi del mercato italiano, cioè 73 \$/MWh.

La taglia minore da 1826 kWh è la migliore dal punto di vista economico perché il costo dell'accumulo risulta molto meno impattante rispetto al totale ottenuto alla fine del periodo. Inoltre, permette di ottenere già buoni profitti con valori di vendita bassi garantendo perciò una sicurezza maggiore di ottenere dei profitti alla fine del periodo studiato. Infatti, man mano che la taglia e di conseguenza il costo di installazione aumentano il prezzo minimo al di sotto del quale non si dovrebbe vendere l'energia stoccata per avere dei profitti aumentano.

Questi ragionamenti sono stati fatti ipotizzando dei prezzi di vendita fissi lungo tutto il periodo, tuttavia essendo quello elettrico un mercato caratterizzato da molte fluttuazioni la scelta di un sistema di taglia minore permetterebbe di affrontare con più serenità eventuali periodi in cui i prezzi siano minori di quelli ipotizzati. Perciò un eventuale investimento per la costruzione del sistema di accumulo dal punto di vista economico dovrebbe tendere alle taglie minori.

Se si fa un confronto con i prezzi di vendita medi analizzati in Italia, cioè un valore compreso tra i 74 e 75 \$/MWh le taglie menzionate in precedenza permettono di ottenere profitti che variano tra 120 % e 170 % rispetto al costo iniziale sostenuto.

Per questi motivi la costruzione di un sistema di accumulo potrebbe essere valutata positivamente dal punto di vista finanziario ed energetico.

Sicuramente se in futuro la tecnologia di costruzione delle batterie raggiungerà standard migliori riuscendo a mantenere meglio le caratteristiche all'aumentare dei numeri di cicli di carica e scarica questa tipologia di soluzione risulterà molto conveniente dal punto di vista energetico. Inoltre, se il prezzo di acquisto della tecnologia dovesse diminuire, le taglie maggiori potrebbero diventare molto più appetibili sul mercato per eventuali dimensionamenti analoghi.

## 6 Appendice

### Codice matlab utilizzato

```

close all
clear variables
%variabili utilizzate
giorni_anno=365;
ii=1;
colonna=1;
grid_1 =0:96:672;
grid_2 = -40:20:40;
ora_str=strings([96,1]);
dollari_accumulo = 1.5e6;
taglia_fornita_kWh = 2740;
prezzo_accumulo_kWh_usd = dollari_accumulo/taglia_fornita_kWh;
taglia_da_tastiera = [1826 2009 2192 2374 2557 2740 2922 3105 3288 3470 3653];
%% 1 - APERTURA DATI DA EXCEL E SALVATAGGIO
%apro i valori della produzione DC dei pannelli
prod25080=xlsread('prod25080.xlsx');
%apro i valori di immissione in rete, dopo la trasformazione dell'inverter
imm25080=xlsread('imm25080.xlsx');
% creo la matrice contenente i valori riordinati in ogni colonna un giorno
% di produzione e immissione POTENZE
giorno_prod_potenza_W = ones(96,365);
giorno_imm_potenza_W = ones(96,365);
% massimo di ogni ora (mi trova il valore di produzione che si avrebbe con
% il tracker)
[max_ora_prod,Ind] = max(prod25080,[],2);
max_ora_imm = max(imm25080,[],2);
%tolgo la prima riga che conteneva i valori dell'angolo di inclinazione dei
%pannelli
max_ora_prod(1,:)=[];
max_ora_imm(1,:)=[];
% angoli tracker
Ind(1,:)=[];
tracker = imm25080(1,Ind);
%riempio la divisione giorno per giorno dentro le matrici giorno
while colonna<=giorni_anno
    for dd = 1:1:96
        giorno_prod_potenza_W(dd,colonna)=max_ora_prod(ii);
        giorno_imm_potenza_W(dd,colonna)=max_ora_imm(ii);
        ii=ii+1;
    end
    colonna=colonna+1;
end
%% 2- creo vettore con gli orari del giorno
for HH=0:1:23
    ora_in =hours([HH HH HH HH]) + minutes(0:15:45) + seconds(0);
    ora_tmp = string(ora_in,'hh:mm:ss');
    ora_str((HH*4)+1):((HH*4)+4)=ora_tmp';
end
%% 3 - STAMPA ANDAMENTO TRACKER IN ALCUNE SETTIMANE
mesi = {'gennaio'; 'febbraio'; 'marzo'; 'aprile'; 'maggio'; 'giugno'; ...
        'luglio'; 'agosto'; 'settembre'; 'ottobre'; 'novembre'; 'dicembre'};
for pl = 1:1:12
    figure
    if pl==1
        %plot settimana 1
        patch([0 672 672 0],[0 0 60 60],[0 0 0 0],'facecolor','r')
        hold on
        patch([0 672 672 0],[0 0 -60 -60],[0 0 0 0],'facecolor','g')
        hold on
        plot(tracker(1:672),'-o','MarkerIndices',1:96:672,'LineWidth',1.5)
        settimana =pl;
        xticks(0:96:672)
    end
end

```

```

xticklabels({'0','day 1','day 2','day 3','day 4','day 5','day 6','day 7'})
ylabel('andamento angolo tracker')
xlabel('giorni')
xlim([0,672])
grid on
title(['tracker settimana ', num2str(settimana)])
hold on
plot([0 672],[0 0],'k','LineWidth',1.5)
for c_grid1=2:1:7
    hold on
    plot([grid_1(c_grid1) grid_1(c_grid1)],[60 -60],'k')
end
for c_grid2=1:1:length(grid_2)
    hold on
    plot([0 672],[grid_2(c_grid2) grid_2(c_grid2)],[60 -60],'k')
end
legend({'Est','Ovest'},'Location','eastoutside')
title(legend,{'superficie';'pannelli';'rivolta a'})
%plot settimana 4
figure
patch([0 672 672 0],[0 0 60 60],[0 0 0 0],'facecolor','r')
hold on
patch([0 672 672 0],[0 0 -60 -60],[0 0 0 0],'facecolor','g')
hold on
plot(tracker((1+672*pl*4):(672+672*pl*4)),'-o','MarkerIndices',...
    1:96:672,'LineWidth',1.5)
settimana =pl*4+1;
xticks(0:96:672)
xticklabels({'0','day 1','day 2','day 3','day 4','day 5','day 6','day 7'})
xlim([0,672])
ylabel('andamento angolo tracker')
xlabel('giorni')
grid on
title(['tracker settimana ', num2str(settimana)])
hold on
plot([0 672],[0 0],'k','LineWidth',1.5)
for c_grid1=2:1:7
    hold on
    plot([grid_1(c_grid1) grid_1(c_grid1)],[60 -60],'k')
end
for c_grid2=1:1:length(grid_2)
    hold on
    plot([0 672],[grid_2(c_grid2) grid_2(c_grid2)],[60 -60],'k')
end
legend({'Est','Ovest'},'Location','eastoutside')
title(legend,{'superficie';'pannelli';'rivolta a'})
end
patch([0 672 672 0],[0 0 60 60],[0 0 0 0],'facecolor','r')
hold on
patch([0 672 672 0],[0 0 -60 -60],[0 0 0 0],'facecolor','g')
hold on
plot(tracker((1+672*pl*4):(672+672*pl*4)),'-bo','MarkerIndices',...
    1:96:672,'LineWidth',1.5)
settimana =pl*4+1;
xticks(0:96:672)
xticklabels({'0','day 1','day 2','day 3','day 4','day 5','day 6','day 7'})
xlim([0,672])
grid on
title(['tracker settimana ', num2str(settimana)])
ylabel('andamento angolo tracker')
xlabel('giorni')
hold on
plot([0 672],[0 0],'k','LineWidth',1.5)
for c_grid1=2:1:7
    hold on
    plot([grid_1(c_grid1) grid_1(c_grid1)],[60 -60],'k')

```

```

end
for c_grid2=1:1:length(grid_2)
    hold on
    plot([0 672],[grid_2(c_grid2) grid_2(c_grid2)],'k')
end
legend({'Est','Ovest'},'Location','eastoutside')
title(legend,{'superficie';'pannelli';'rivolta a'})
end
%% 4 - trovo ENERGIA prodotta ogni 15 minuti
%dati in Wh
giorno_prod_energia_Wh = giorno_prod_potenza_W.*(1/4);
giorno_imm_energia_Wh = giorno_imm_potenza_W.*(1/4);
%% 5 - TRASFORMO IN kWh e kW
giorno_prod_energia_kWh = giorno_prod_energia_Wh./1000;
giorno_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W./1000;
giorno_imm_energia_kWh = giorno_imm_energia_Wh./1000;
giorno_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W./1000;
%% 6 - Trovo giorno con produzione massima, minima e media di energia
produzione_giornaliera_Wh = sum(giorno_prod_energia_Wh);
produzione_giornaliera_kWh = produzione_giornaliera_Wh./1000;
max_prod_Wh = max(produzione_giornaliera_Wh);
min_prod_Wh = min(produzione_giornaliera_Wh);
giorno_max_prod = find(max_prod_Wh==produzione_giornaliera_Wh);
giorno_min_prod = find(min_prod_Wh==produzione_giornaliera_Wh);
med_prod_Wh = median(produzione_giornaliera_Wh);
max_prod_kWh = max_prod_Wh./1000;
min_prod_kWh = min_prod_Wh./1000;
med_prod_kWh = med_prod_Wh./1000;
max_prod_MWh = max_prod_kWh./1000;
min_prod_MWh = min_prod_kWh./1000;
med_prod_MWh = med_prod_kWh./1000;
%% 7 - produzione totale
produzione_annua_Wh = sum(produzione_giornaliera_Wh);
produzione_annua_kWh = produzione_annua_Wh/1000;
produzione_annua_MWh = produzione_annua_kWh/1000;
produzione_annua_GWh = produzione_annua_MWh/1000;
%% 8 - controllo che il giorno massimo e minimo corrispondano dopo
% la trasformazione dell'inverter
immissione_giornaliera_Wh = sum(giorno_imm_energia_Wh);
immissione_giornaliera_kWh = immissione_giornaliera_Wh./1000;
max_imm_Wh = max(immissione_giornaliera_Wh);
min_imm_Wh = min(immissione_giornaliera_Wh);
giorno_max_imm = find(max_imm_Wh==immissione_giornaliera_Wh);
giorno_min_imm = find(min_imm_Wh==immissione_giornaliera_Wh);
med_imm_Wh = median(immissione_giornaliera_Wh);
max_imm_kWh = max_imm_Wh./1000;
min_imm_kWh = min_imm_Wh./1000;
med_imm_kWh = med_imm_Wh./1000;
%% 9 - immissione totale
immissione_annua_Wh = sum(immissione_giornaliera_Wh);
immissione_annua_kWh = immissione_annua_Wh/1000;
immissione_annua_MWh = immissione_annua_kWh/1000;
immissione_annua_GWh = immissione_annua_MWh/1000;
%% 10 - apro file picchi
A=load('picco anno 2019.txt');
%% 11 - creo matrice con i valori di consumi rilevati da TERNA
giorno_picco_potenza_MW = ones(24,365);
colonna=1;
giorni_anno=365;
ii=1;
while colonna<=giorni_anno
    ored=1;
    for ored = 1:1:24
        giorno_picco_potenza_MW(ored,colonna)=A(ii,2);
        ii=ii+1;
    end
end

```

```

        colonna=colonna+1;
    end
    B=A;
    B(:,3)=[];
    % mi trova valore e indice dei picchi massimi giornalieri
    [M,I]=max(giorno_picco_potenza_MW);
    %% 12 trovo il numero di picchi giornaliero e il suo valore
    colonna = 1;
    ii = 2;
    picco=zeros(8760,1);
    n_pic=0;
    pic_d=zeros(1,giorni_anno);
    flag_2=0;
    flag=0;
    flag_3=0;
    B(:,1)=[];
    contatore=1;
    while colonna<=giorni_anno && flag_2==0
        n_pic=0;
        ored=2;
        while ored <= 24
            if B(ii)>B(ii-1)
                flag_3=1;
                ii=ii+1;
                ored=ored+1;
                while (B(ii)>B(ii-1)) && flag==0
                    if ored>24
                        flag=1;
                    end
                    ii=ii+1;
                    ored=ored+1;
                end
            end
            if flag_3==1
                picco(contatore) =B(ii-1);
                contatore=contatore+1;
                n_pic=n_pic+1;
                pic_d(colonna)=n_pic;
                flag_3=0;
            end
            ii=ii+1;
            ored=ored+1;
        end
        ii=ii+1;
        colonna=colonna+1;
        if ii > (24*giorni_anno)
            flag_2=1;
        end
    end
    %% 13 creo matrice con i picchi di ogni giorno e matrice con
    %   gli orari del picco
    max_pic = max(pic_d);
    valori_picchi_giornalieri=zeros(max_pic,giorni_anno);
    orari_picchi_giornalieri=zeros(max_pic,giorni_anno);
    colonna = 1;
    ii = 1;
    while colonna<=giorni_anno
        n_pic = 1;
        while n_pic <= pic_d(colonna)
            valori_picchi_giornalieri(n_pic,colonna)= picco(ii);
            [row,col]=find(giorno_picco_potenza_MW(:,colonna)==picco(ii));
            if length(row)==1
                orari_picchi_giornalieri(n_pic,colonna)= row;
            else
                orari_picchi_giornalieri(n_pic,colonna)= row(end);
            end
        end
    end

```

```

    n_pic = n_pic +1;
    ii=ii+1;
end
if orari_picchi_giornalieri(end,colonna)==0
%1
    if orari_picchi_giornalieri(end-1,colonna)==0
%2
        if orari_picchi_giornalieri(end-2,colonna)==0
%3
            valori_picchi_giornalieri(2:end,colonna)=...
            sort( valori_picchi_giornalieri(2:end,colonna));
            orari_picchi_giornalieri(2:end,colonna)=...
            sort( orari_picchi_giornalieri(2:end,colonna));
        end
%2
        valori_picchi_giornalieri(3:end,colonna)=...
        sort( valori_picchi_giornalieri(3:end,colonna));
        orari_picchi_giornalieri(3:end,colonna)=...
        sort( orari_picchi_giornalieri(3:end,colonna));
%2
        if orari_picchi_giornalieri(2,colonna)>=15

            valori_picchi_giornalieri(3,colonna)= ...
            valori_picchi_giornalieri(2,colonna);
            valori_picchi_giornalieri(2,colonna)= 0;
            orari_picchi_giornalieri(3,colonna)= ...
            orari_picchi_giornalieri(2,colonna);
            orari_picchi_giornalieri(2,colonna)= 0;
        end
%2
        if orari_picchi_giornalieri(3,colonna)>=17
            valori_picchi_giornalieri(4,colonna)= ...
            valori_picchi_giornalieri(3,colonna);
            valori_picchi_giornalieri(3,colonna)= 0;
            orari_picchi_giornalieri(4,colonna)= ...
            orari_picchi_giornalieri(3,colonna);
            orari_picchi_giornalieri(3,colonna)= 0;
        end
    end
end
%1
if orari_picchi_giornalieri(3,colonna)>=17
    valori_picchi_giornalieri(3:end,colonna)=...
    sort( valori_picchi_giornalieri(3:end,colonna));
    orari_picchi_giornalieri(3:end,colonna)=...
    sort( orari_picchi_giornalieri(3:end,colonna));
else
    valori_picchi_giornalieri(4:end,colonna)=...
    sort( valori_picchi_giornalieri(4:end,colonna));
    orari_picchi_giornalieri(4:end,colonna)=...
    sort( orari_picchi_giornalieri(4:end,colonna));
end
if orari_picchi_giornalieri(2,colonna)>=15
    valori_picchi_giornalieri(3,colonna)= ...
    valori_picchi_giornalieri(2,colonna);
    valori_picchi_giornalieri(2,colonna)= 0;
    orari_picchi_giornalieri(3,colonna)= ...
    orari_picchi_giornalieri(2,colonna);
    orari_picchi_giornalieri(2,colonna)= 0;
end
end
colonna=colonna+1;
end
%% 14 TROVO ORARI MEDI PICCHI
somma_ore = sum(orari_picchi_giornalieri,2);
numero_val_zero = sum(orari_picchi_giornalieri==0,2);
numero_val_divzero = 365-numero_val_zero;

```

```

valore_medio_ore_picchi = somma_ore./numero_val_divzero;
valore_medio_ore_picchi=[fix(valore_medio_ore_picchi),...
    fix((valore_medio_ore_picchi-fix(valore_medio_ore_picchi))*60)];
%% 15 Valuto la dimensione delle batterie
energia_in_batteria_prod_Wh = zeros(1,365);
energia_in_batteria_imm_Wh = zeros(1,365);
energia_diretta_alla_rete_prod_Wh = zeros(1,365);
energia_diretta_alla_rete_imm_Wh = zeros(1,365);
energia_in_batteria_prima_picco_1_prod_Wh = zeros(1,365);
energia_in_batteria_prima_picco_1_imm_Wh = zeros(1,365);
energia_in_batteria_prima_picco_2_prod_Wh = zeros(1,365);
energia_in_batteria_prima_picco_2_imm_Wh = zeros(1,365);
nn=1;
dd=1;
dd_1 = 1;
dd_2 = 1;
for ii=1:1:96
    if ii >= 45 && ii <= 54
        energia_diretta_alla_rete_prod_Wh(nn,:) = giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
        energia_diretta_alla_rete_imm_Wh(nn,:) = giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
        nn=nn+1;
    elseif ii >= 73 && ii <= 82
        energia_diretta_alla_rete_prod_Wh(nn,:) = giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
        energia_diretta_alla_rete_imm_Wh(nn,:) = giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
        nn=nn+1;
    else
        energia_in_batteria_prod_Wh(dd,:) = giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
        energia_in_batteria_imm_Wh(dd,:) = giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
        if ii <= 44
            energia_in_batteria_prima_picco_1_prod_Wh(dd_1,:) = ...
                giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
            energia_in_batteria_prima_picco_1_imm_Wh(dd_1,:) = ...
                giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
            dd_1=dd_1+1;
        end
        if ii>54 && ii<= 72
            energia_in_batteria_prima_picco_2_prod_Wh(dd_2,:) = ...
                giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
            energia_in_batteria_prima_picco_2_imm_Wh(dd_2,:) = ...
                giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
            dd_2=dd_2+1;
        end
        if ii>82
            energia_in_batteria_prima_picco_1_prod_Wh(dd_1,:) = ...
                giorno_prod_energia_Wh(ii,:);
            energia_in_batteria_prima_picco_1_imm_Wh(dd_1,:) = ...
                giorno_imm_energia_Wh(ii,:);
            dd_1=dd_1+1;
        end
        dd=dd+1;
    end
end
end
tot_energia_in_batteria_prod_Wh = sum(energia_in_batteria_prod_Wh);
tot_energia_in_batteria_imm_Wh = sum(energia_in_batteria_imm_Wh);
tot_energia_diretta_alla_rete_prod_Wh = sum(energia_diretta_alla_rete_prod_Wh);
tot_energia_diretta_alla_rete_imm_Wh = sum(energia_diretta_alla_rete_imm_Wh);
tot_energia_in_batteria_picco_1_prod_Wh = sum(energia_in_batteria_prima_picco_1_prod_Wh);
tot_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh = sum(energia_in_batteria_prima_picco_1_imm_Wh);
tot_energia_in_batteria_picco_2_prod_Wh = sum(energia_in_batteria_prima_picco_2_prod_Wh);
tot_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh = sum(energia_in_batteria_prima_picco_2_imm_Wh);
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_prod_Wh = ...
    sum(tot_energia_in_batteria_picco_1_prod_Wh)/giorni_anno;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh = ...
    sum(tot_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh)/giorni_anno;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_prod_Wh = ...
    sum(tot_energia_in_batteria_picco_2_prod_Wh)/giorni_anno;

```

```

tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh = ...
    sum(tot_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh)/giorni_anno;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_prod_kWh = ...
    tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_prod_Wh/1000;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_imm_kWh = ...
    tot_media_day_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh/1000;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_prod_kWh = ...
    tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_prod_Wh/1000;
tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_imm_kWh = ...
    tot_media_day_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh/1000;
tot_max_energia_in_batteria_prod_Wh = max(tot_energia_in_batteria_prod_Wh);
tot_min_energia_in_batteria_prod_Wh = min(tot_energia_in_batteria_prod_Wh);
tot_max_energia_in_batteria_imm_Wh = max(tot_energia_in_batteria_imm_Wh);
tot_min_energia_in_batteria_imm_Wh = min(tot_energia_in_batteria_imm_Wh);
tot_media_day_energia_in_batteria_prod_Wh = ...
sum(tot_energia_in_batteria_prod_Wh)/giorni_anno;
tot_media_day_energia_in_batteria_imm_Wh = ...
sum(tot_energia_in_batteria_imm_Wh)/giorni_anno;
tot_media_day_energia_in_batteria_prod_kWh = ...
tot_media_day_energia_in_batteria_prod_Wh/1000;
tot_media_day_energia_in_batteria_imm_kWh = tot_media_day_energia_in_batteria_imm_Wh/1000;
tot_max_energia_in_batteria_prod_kWh = tot_max_energia_in_batteria_prod_Wh/1000;
tot_min_energia_in_batteria_prod_kWh = tot_min_energia_in_batteria_prod_Wh/1000;
tot_max_energia_in_batteria_imm_kWh = tot_max_energia_in_batteria_imm_Wh/1000;
tot_min_energia_in_batteria_imm_kWh = tot_min_energia_in_batteria_imm_Wh/1000;
tot_max_energia_in_batteria_prod_MWh = tot_max_energia_in_batteria_prod_kWh/1000;
tot_min_energia_in_batteria_prod_MWh = tot_min_energia_in_batteria_prod_kWh/1000;
tot_max_energia_in_batteria_imm_MWh = tot_max_energia_in_batteria_imm_kWh/1000;
tot_min_energia_in_batteria_imm_MWh = tot_min_energia_in_batteria_imm_kWh/1000;
numero_giorni_mese = [31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31];
%% 16 divido i dati mese per mese
% dati divisi in giorni
m_gennaio_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,1:1:31)./1000;
m_gennaio_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,1:1:31)./1000;
m_febbraio_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,32:1:59)./1000;
m_febbraio_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,32:1:59)./1000;
m_marzo_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,60:1:90)./1000;
m_marzo_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,60:1:90)./1000;
m_aprile_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,91:1:120)./1000;
m_aprile_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,91:1:120)./1000;
m_maggio_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,121:1:151)./1000;
m_maggio_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,121:1:151)./1000;
m_giugno_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,152:1:181)./1000;
m_giugno_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,152:1:181)./1000;
m_luglio_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,182:1:212)./1000;
m_luglio_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,182:1:212)./1000;
m_agosto_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,213:1:243)./1000;
m_agosto_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,213:1:243)./1000;
m_settembre_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,244:1:273)./1000;
m_settembre_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,244:1:273)./1000;
m_ottobre_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,274:1:304)./1000;
m_ottobre_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,274:1:304)./1000;
m_novembre_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,305:1:334)./1000;
m_novembre_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,305:1:334)./1000;
m_dicembre_prod_potenza_kW = giorno_prod_potenza_W(:,335:1:365)./1000;
m_dicembre_imm_potenza_kW = giorno_imm_potenza_W(:,335:1:365)./1000;
%% 17 trovo kW per ogni mese
pot_gennaio_MW = sum(sum(m_gennaio_imm_potenza_kW))/4000;
pot_febbraio_MW = sum(sum(m_febbraio_imm_potenza_kW))/4000;
pot_marzo_MW = sum(sum(m_marzo_imm_potenza_kW))/4000;
pot_aprile_MW = sum(sum(m_aprile_imm_potenza_kW))/4000;
pot_maggio_MW = sum(sum(m_maggio_imm_potenza_kW))/4000;
pot_giugno_MW = sum(sum(m_giugno_imm_potenza_kW))/4000;
pot_luglio_MW = sum(sum(m_luglio_imm_potenza_kW))/4000;
pot_agosto_MW = sum(sum(m_agosto_imm_potenza_kW))/4000;
pot_settembre_MW = sum(sum(m_settembre_imm_potenza_kW))/4000;

```

```

pot_ottobre_MW = sum(sum(m_ottobre_imm_potenza_kW))/4000;
pot_novembre_MW = sum(sum(m_novembre_imm_potenza_kW))/4000;
pot_dicembre_MW = sum(sum(m_dicembre_imm_potenza_kW))/4000;
MW_annui = pot_gennaio_MW + pot_febbraio_MW + pot_marzo_MW + pot_aprile_MW ...
    + pot_maggio_MW + pot_giugno_MW + pot_luglio_MW + pot_agosto_MW ...
    + pot_settembre_MW + pot_ottobre_MW + pot_novembre_MW + pot_dicembre_MW;
% trovo kWh per ogni mese
ene_gennaio_MWh = sum(sum(m_gennaio_imm_energia_kWh))/1000;
ene_febbraio_MWh = sum(sum(m_febbraio_imm_energia_kWh))/1000;
ene_marzo_MWh = sum(sum(m_marzo_imm_energia_kWh))/1000;
ene_aprile_MWh = sum(sum(m_aprile_imm_energia_kWh))/1000;
ene_maggio_MWh = sum(sum(m_maggio_imm_energia_kWh))/1000;
ene_giugno_MWh = sum(sum(m_giugno_imm_energia_kWh))/1000;
ene_luglio_MWh = sum(sum(m_luglio_imm_energia_kWh))/1000;
ene_agosto_MWh = sum(sum(m_agosto_imm_energia_kWh))/1000;
ene_settembre_MWh = sum(sum(m_settembre_imm_energia_kWh))/1000;
ene_ottobre_MWh = sum(sum(m_ottobre_imm_energia_kWh))/1000;
ene_novembre_MWh = sum(sum(m_novembre_imm_energia_kWh))/1000;
ene_dicembre_MWh = sum(sum(m_dicembre_imm_energia_kWh))/1000;
MWh_annui = ene_gennaio_MWh + ene_febbraio_MWh + ene_marzo_MWh + ene_aprile_MWh ...
    + ene_maggio_MWh + ene_giugno_MWh + ene_luglio_MWh + ene_agosto_MWh ...
    + ene_settembre_MWh + ene_ottobre_MWh + ene_novembre_MWh + ene_dicembre_MWh;
rendita_mensile_media_no_acc = ...
    input(['inserire il valore di vendita senza accumulo accumulo $/MWh\n',...
        'il valore deve essere compreso tra 45 e 70\n']);
disp(' ~ ~ ~ ~ ~ ')
disp(' ')
while (rendita_mensile_media_no_acc < 45 || rendita_mensile_media_no_acc >71)
    disp('inserire un valore compreso tra 45 e 70')
    rendita_mensile_media_no_acc = input('nuovo valore di vendita senza accumulo $/MWh\n');
    disp(' ~ ~ ~ ~ ~ ')
    disp(' ')
end
%% 18 calcolo il PBT considerando un peggioramento delle condizioni dei pannelli
% tramite l'efficienza nei 25 anni data dal costruttore
efficienza_pannello=0.975:-0.007:0.807;
MWh_annui_calcolo=MWh_annui/0.975; % xk il primo anno è già riferito al 97.5%
MWh_annuale = MWh_annui_calcolo * efficienza_pannello;
% chiedo da tastiera valori di vendita
val_min_vendita_si_acc = ...
    input('inserire valore minimo di vendita dell''energia in presenza di accumulo
$/MWh\n');
disp(' ~ ~ ~ ~ ~ ')
disp(' ')
while val_min_vendita_si_acc <= rendita_mensile_media_no_acc
    disp(' ')
    disp('inserire un valore maggiore del prezzo di vendita senza accumulo')
    disp(['il prezzo fissato in precedenza da superare è ',...
        num2str(rendita_mensile_media_no_acc), ' $/MWh'])
% fprintf('%d\t$/MWh\n',rendita_mensile_media_no_acc);
val_min_vendita_si_acc = input('nuovo valore minimo vendita con accumulo $/MWh\n');
disp(' ~ ~ ~ ~ ~ ')
disp(' ')
end
disp(['il programma calcola 6 scenari di prezzo partendo dal valore '...
    'minimino già impostato']);
disp(' ');
val_passo_vendita_si_acc = input('inserire il valore di incremento del prezzo di vendita
$/MWh\n');
% rendita_mensile_media = val_min_vendita_si_acc: val_passo_vendita_si_acc: ...
% (val_min_vendita_si_acc+val_passo_vendita_si_acc*5);
rendita_mensile_media = val_min_vendita_si_acc: val_passo_vendita_si_acc: ...
    (val_min_vendita_si_acc+val_passo_vendita_si_acc*11);
no_abbastanza_energia_picco_1 = zeros(length(taglia_da_tastiera),25);
no_abbastanza_energia_picco_2 = zeros(length(taglia_da_tastiera),25);
no_abbastanza_energia_1_picco_caso_3 = zeros(length(taglia_da_tastiera),25);

```

```

for giro=1:1:length(taglia_da_tastiera)
    taglia_da_tastiera(giro)
    costo_accumulo = taglia_da_tastiera(giro) * prezzo_accumulo_kWh_usd;
    batterie_kWh = taglia_da_tastiera(giro);
    batterie_Wh = batterie_kWh*1000;
    cambio_dollaro_euro = 0.91;
    costo_accumulo = 1.5 * taglia_da_tastiera(giro) * prezzo_accumulo_kWh_usd;
    costo_accumulo_italia = costo_accumulo * cambio_dollaro_euro;
    rendita_accumulo_25_anni_EP = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
    anno_ritorno_accumulo_EP = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
    ricav_anno_si_acc_25_EP = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
    rit_economico_EP = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
    indice_anno_ritorno_EP = zeros(1,length(rendita_mensile_media));
    % calcolo quanta energia vendo dalle batterie
    energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP = zeros(1,365);
    energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP = zeros(1,365);
    energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP = zeros(1,365);
    energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP = zeros(1,365);
    tot_energia_giorno_batteria_p_1_prod_25_wh = efficienza_pannello' * ...
        tot_energia_in_batteria_picco_1_prod_Wh/0.975;
    tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh = efficienza_pannello' * ...
        tot_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh/0.975;
    tot_energia_giorno_batteria_p_2_prod_25_wh = efficienza_pannello' * ...
        tot_energia_in_batteria_picco_2_prod_Wh/0.975;
    tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh = efficienza_pannello' * ...
        tot_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh/0.975;
    tot_energia_giorno_diretta_rete_imm_25_wh = efficienza_pannello' * ...
        tot_energia_diretta_alla_rete_imm_Wh/0.975;
    tot_energia_annua_diretta_alla_rete_imm_MWh =
    sum(tot_energia_diretta_alla_rete_imm_Wh)/1e6;
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_Wh =
    sum(tot_energia_giorno_diretta_rete_imm_25_wh,2)';
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh = tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_Wh'/1e6;
for anno = 1:1:25
    for ii=1:1:giorni_anno
        if tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh(anno,ii)<batterie_Wh
            energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_1_prod_25_wh(anno,ii);
            energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh(anno,ii);
        else
            energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP(anno,ii) = batterie_Wh;
            energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP(anno,ii) = batterie_Wh;
        end
        if tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh(anno,ii)<batterie_Wh
            energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_2_prod_25_wh(anno,ii);
            energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh(anno,ii);
        else
            energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP(anno,ii) = batterie_Wh;
            energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP(anno,ii) = batterie_Wh;
        end
    end
end
Wh_annuale_batteria_EP = sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP,2)+...
    sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP,2);
kWh_annuale_batteria_EP = Wh_annuale_batteria_EP/1000;
MWh_annuale_batteria_EP = kWh_annuale_batteria_EP'/1000;
% verifico che la somma sia uguale al primo anno
verifica_1 = (sum(tot_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh)+...
    sum(tot_energia_in_batteria_picco_2_imm_Wh)...
    +sum(tot_energia_diretta_alla_rete_imm_Wh))/1e6;
verifica_2 = MWh_annui-verifica_1;
verifica_3 = sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP(1),2);
verifica_4 = sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP(1),2);

```

```

verifica_5 = sum(tot_energia_in_batteria_picco_1_imm_Wh)- verifica_3;
e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP = sum(tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh,2) -...
    sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP,2);
e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP = e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP'/1e6;
e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP = sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP,2);
e_batteria_anno_picco_1_imm_MWh_EP = e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP'/1e6;
e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP = sum(tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh,2) -...
    sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP,2);
e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP = e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP'/1e6;
e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP = sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP,2);
e_batteria_anno_picco_2_imm_MWh_EP = e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP'/1e6;
verifica_6 = MWh_annui- (e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP(1) +...
    e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP(1) + e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP(1) +...
    e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP(1) + sum(tot_energia_diretta_alla_rete_imm_Wh))/1e6;
verifica_7 = MWh_annui- (e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP(1) +...
    e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP(1) + e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP(1) +...
    e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP(1)                                     +
tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_Wh(1))/1e6;
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
    ricavo_annuo_si_acc_25_EP(nn,:) = MWh_annuale_batteria_EP * rendita_mensile_media(nn)
+...
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh'* rendita_mensile_media(nn) +...
    e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP * rendita_mensile_media_no_acc +...
    e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP * rendita_mensile_media_no_acc;
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP = MWh_annuale * rendita_mensile_media_no_acc;
    rendita_accumulo_25_anni_EP(nn,:) = ricavo_annuo_si_acc_25_EP(nn,:) - ...
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP;
    ii = 1;
    while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP)
        if ii == 1
            rit_economico_EP(nn,ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP(nn,ii);
        else
            rit_economico_EP(nn,ii) = rit_economico_EP(nn,ii-1)+...
            rendita_accumulo_25_anni_EP(nn,ii);
        end
        ii=ii+1;
    end
    if rit_economico_EP(nn,end)<costo_accumulo
        indice_anno_ritorno_EP(nn)=50;
        figure
        bar(rit_economico_EP(nn,:), 'r')
        grid on
        title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth',1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:1:26)
        xlabel('Anno')
        ytickformat('usd')
        ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
        text(0.5,ceil(rit_economico_EP(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
            {'costo installazione','accumulo'}, 'Color', 'blue')
        hold on
        plot ([8 11],[(ceil(max(rit_economico_EP(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
            (ceil(max(rit_economico_EP(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth',1.5)
    else
        indice_anno_ritorno_EP(nn) = find(rit_economico_EP(nn,:)>costo_accumulo, 1);
        anno_ritorno_accumulo_EP(nn,indice_anno_ritorno_EP(nn)) =...
            rit_economico_EP(nn,indice_anno_ritorno_EP(nn));
        figure
        bar(rit_economico_EP(nn,1:(indice_anno_ritorno_EP(nn)-1)), 'r')
        grid on
        hold on
        bar(indice_anno_ritorno_EP(nn):1:25, rit_economico_EP(nn,...
            indice_anno_ritorno_EP(nn):1:end), 'g')
        title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP'])

```

```

hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:1:26)
xlabel('Anno')
ytickformat('usd')
ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
text(0.5,ceil(rit_economico_EP(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
     {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
hold on
plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP(nn,:))/1e6)*1e6-2e5 ...
           (ceil(max(rit_economico_EP(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
end
end
figure
for nn=1:length(rendita_mensile_media)
if length(rendita_mensile_media)>4
subplot(2,round((length(rendita_mensile_media)/2)),nn)
else
subplot(round((length(rendita_mensile_media)/2)),2,nn)
end
if indice_anno_ritorno_EP(nn)== 50
bar(rit_economico_EP(nn,:),'r')
grid on
title(['rendita ',num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP(nn,1:(indice_anno_ritorno_EP(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP(nn):1:25,rit_economico_EP(nn,...
           indice_anno_ritorno_EP(nn):1:end),'g')
title(['rendita ',num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
end
end
%% 19 caso 2 Tengo conto oltre alla diminuzione di efficienza dei pannelli
%      anche della minor capacità di accumulo delle batterie
% per 25 anni di utilizzo giornaliero sarebbero necessari 9125 cicli di
% scarica
efficienza_pannello=0.975:-0.007:0.807;
MWh_annui_calcolo=MWh_annui/0.975; % xk il primo anno è già riferito al 97.5%
MWh_annuale = MWh_annui_calcolo * efficienza_pannello;
rendita_accumulo_25_anni_EP_DB = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
anno_ritorno_accumulo_EP_DB = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
rit_economico_EP_DB = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
indice_anno_ritorno_EP_DB = zeros(1,length(rendita_mensile_media));
capacita_batterie = [linspace(1,0.68,13) linspace(1,0.695,12)];
energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP_DB = zeros(1,365);
energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB = zeros(1,365);
energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP_DB = zeros(1,365);

```

```

energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB = zeros(1,365);
batterie_Wh_DB = batterie_Wh*capacita_batterie;
for anno = 1:1:25
    for ii=1:1:giorni_anno
        if tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh(anno,ii)<batterie_Wh_DB(anno)
            energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP_DB(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_1_prod_25_wh(anno,ii);
            energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh(anno,ii);
            no_abbastanza_energia_picco_1(giro,anno)= ...
                no_abbastanza_energia_picco_1(giro,anno)+1;
        else
            energia_batteria_picco_1_prod_Wh_EP_DB(anno,ii) = batterie_Wh_DB(anno);
            energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB(anno,ii) = batterie_Wh_DB(anno);
        end
        if tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh(anno,ii)<batterie_Wh_DB(anno)
            energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP_DB(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_2_prod_25_wh(anno,ii);
            energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB(anno,ii) = ...
                tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh(anno,ii);
            no_abbastanza_energia_picco_2(giro,anno)= ...
                no_abbastanza_energia_picco_2(giro,anno)+1;
        else
            energia_batteria_picco_2_prod_Wh_EP_DB(anno,ii) = batterie_Wh_DB(anno);
            energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB(anno,ii) = batterie_Wh_DB(anno);
        end
    end
end
Wh_annuale_batteria_EP_DB = sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB,2)+...
    sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB,2);
kWh_annuale_batteria_EP_DB = Wh_annuale_batteria_EP_DB/1000;
MWh_annuale_batteria_EP_DB = kWh_annuale_batteria_EP_DB'/1000;
e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP_DB = sum(tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh,2) -...
    sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB,2);
e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB = e_no_batteria_picco_1_25_Wh_EP_DB'/1e6;
e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP_DB = sum(energia_batteria_picco_1_imm_Wh_EP_DB,2);
e_batteria_anno_picco_1_imm_MWh_EP_DB = e_batteria_anno_picco_1_imm_Wh_EP_DB'/1e6;
e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP_DB = sum(tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh,2) -...
    sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB,2);
e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB = e_no_batteria_picco_2_25_Wh_EP_DB'/1e6;
e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP_DB = sum(energia_batteria_picco_2_imm_Wh_EP_DB,2);
e_batteria_anno_picco_2_imm_MWh_EP_DB = e_batteria_anno_picco_2_imm_Wh_EP_DB'/1e6;
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
    ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB(nn,:) = MWh_annuale_batteria_EP_DB * ...
        rendita_mensile_media(nn) +...
        tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh'* rendita_mensile_media(nn) +...
        e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB * rendita_mensile_media_no_acc +...
        e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB * rendita_mensile_media_no_acc;
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB = MWh_annuale * rendita_mensile_media_no_acc;
    rendita_accumulo_25_anni_EP_DB(nn,:) = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB(nn,:)...
        - ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB;
    ii = 1;
    while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_DB)
        if ii == 1
            rit_economico_EP_DB(nn,ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP_DB(nn,ii);
        else
            rit_economico_EP_DB(nn,ii) = rit_economico_EP_DB(nn,ii-1)+...
                rendita_accumulo_25_anni_EP_DB(nn,ii);
        end
        ii=ii+1;
    end
end
if rit_economico_EP_DB(nn,end)<costo_accumulo
    indice_anno_ritorno_EP_DB(nn) = 50;
figure
bar(rit_economico_EP_DB(nn,:), 'r')
grid on

```

```

title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:1:26)
xlabel('Anno')
ytickformat('usd')
ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
text(0.5, ceil(rit_economico_EP_DB(nn,end)/1e6)*1e6-2e5, ...
     {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([8 11], [(ceil(max(rit_economico_EP_DB(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
               (ceil(max(rit_economico_EP_DB(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
else
indice_anno_ritorno_EP_DB(nn) = find(rit_economico_EP_DB(nn,:) > costo_accumulo, 1);
anno_ritorno_accumulo_EP_DB(nn, indice_anno_ritorno_EP_DB(nn)) = ...
    rit_economico_EP_DB(nn, indice_anno_ritorno_EP_DB(nn));
figure
bar(rit_economico_EP_DB(nn, 1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:25, rit_economico_EP_DB(nn, ...
    indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:end), 'g')
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:1:26)
xlabel('Anno')
ytickformat('usd')
ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
text(0.5, ceil(rit_economico_EP_DB(nn,end)/1e6)*1e6-2e5, ...
     {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([8 11], [(ceil(max(rit_economico_EP_DB(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
               (ceil(max(rit_economico_EP_DB(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
end
end
figure
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
if length(rendita_mensile_media) > 4
subplot(2, round((length(rendita_mensile_media)/2)), nn)
else
subplot(round((length(rendita_mensile_media)/2)), 2, nn)
end
if indice_anno_ritorno_EP_DB(nn) == 50
bar(rit_economico_EP_DB(nn,:), 'r')
grid on
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP_DB(nn, 1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:25, rit_economico_EP_DB(nn, ...
    indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:end), 'g')
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)

```

```

        ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB(end,:))/1e6)*1e6])
        yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB(end,:))/1e6)*1e6)
        ylabel('M$')
        xlabel('Anno')
    end
end
%% 20 VALUTO UNA STIMA DELL' INFLAZIONE oltre a EP e DB
efficienza_pannello=0.975:-0.007:0.807;
MWh_annui_calcolo=MWh_annui/0.975; % xk il primo anno è già riferito al 97.5%
MWh_annuale = MWh_annui_calcolo * efficienza_pannello;
rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
rit_economico_EP_DB_I = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
indice_anno_ritorno_EP_DB_I = zeros(1,length(rendita_mensile_media));
inflazione = 3.426e-2;
inflazione_anno = 1:inflazione:(1+inflazione*24);
rendita_mensile_media_I = rendita_mensile_media'*inflazione_anno;
rendita_mensile_media_no_acc_I = rendita_mensile_media_no_acc*inflazione_anno;
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
    ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I(nn,:) = MWh_annuale_batteria_EP_DB .*...
        rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
        tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh' .* rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
        e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_I +...
        e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_I;
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I = MWh_annuale .* rendita_mensile_media_no_acc_I;
    rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I(nn,:) = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I(nn,:)...
        - ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I;
    ii = 1;
    while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I)
        if ii == 1
            rit_economico_EP_DB_I(nn,ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I(nn,ii);
        else
            rit_economico_EP_DB_I(nn,ii) = rit_economico_EP_DB_I(nn,ii-1)+...
                rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I(nn,ii);
        end
        ii=ii+1;
    end
    if rit_economico_EP_DB_I(nn,end)<costo_accumulo
        indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)= 50;
        figure
        bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,:), 'r')
        grid on
        title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth',1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:1:26)
        xlabel('Anno')
        ytickformat('usd')
        ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
        text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
            {'costo installazione','accumulo'}, 'Color','blue')
        plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6-2e5 ...
            (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth',1.5)
    else
        indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)=find(rit_economico_EP_DB_I(nn,:)>costo_accumulo,1;
        anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I(nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)) = ...
            rit_economico_EP_DB_I(nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn));
        figure
        bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)-1)), 'r')
        grid on
        hold on
        bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:25,rit_economico_EP_DB_I(nn,...
            indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:end), 'g')
    end
end

```

```

title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:1:26)
xlabel('Anno')
ytickformat('usd')
ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
     {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
plot ([8 11],[(ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
              (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
end
end
figure
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
if length(rendita_mensile_media)>4
subplot(2,round((length(rendita_mensile_media)/2)),nn)
else
subplot(round((length(rendita_mensile_media)/2)),2,nn)
end
if indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)== 50
bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,:),'r')
grid on
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:25,rit_economico_EP_DB_I(nn,...
                    indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:end),'g')
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
end
end
%% 21 confronto grafici EP con 'EP DB' e I
% trovo valore massimo alla fine dei 25 anni
massimi_a_25_anni = zeros(length(rendita_mensile_media),3);
massimi_a_25_anni(:,1) = rit_economico_EP(:,end);
massimi_a_25_anni(:,2) = rit_economico_EP_DB(:,end);
massimi_a_25_anni(:,3) = rit_economico_EP_DB_I(:,end);
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
figure
subplot(1,3,1)
if indice_anno_ritorno_EP(nn)== 50
bar(rit_economico_EP(nn,:),'r')
grid on
text(0.5,(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5,...
     {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
hold on
plot ([11 14],[(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...

```

```

        (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP(nn,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_EP(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP(nn):1:25, rit_economico_EP(nn, ...
    indice_anno_ritorno_EP(nn):1:end), 'g')
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
end
subplot(1,3,2)
if indice_anno_ritorno_EP_DB(nn)== 50
bar(rit_economico_EP_DB(nn,:), 'r')
grid on
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
hold on
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP_DB(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:25, rit_economico_EP_DB(nn, ...
    indice_anno_ritorno_EP_DB(nn):1:end), 'g')
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')

```

```

        xlabel('Anno')
    end
    subplot(1,3,3)
    if indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)== 50
        bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,:), 'r')
        grid on
        text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
            {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
        hold on
        plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
            (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
            title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
        hold on
        plot ([0 26], [costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:5:25)
        ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6])
        yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
        ylabel('M$')
        xlabel('Anno')
    else
        bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)-1)), 'r')
        grid on
        hold on
        bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:25, rit_economico_EP_DB_I(nn, ...
            indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:end), 'g')
        text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
            {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
        hold on
        plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
            (ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
            title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
        hold on
        plot ([0 26], [costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:5:25)
        ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6])
        yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni(nn,:))/1e6)*1e6)
        ylabel('M$')
        xlabel('Anno')
    end
end
%% 22 ITALIA
%apro i valori orari del PUN dal 2005 al 2019
anno_2019=xlsread('anno2005-19.xlsx');
%% creo matrice con i valori orari di PUN
na=15;
PUN_orario = ones(24,365,na);
for nn=1:1:na
    ii=2;
    colonna=1;
    while colonna<=giorni_anno
        ored=1;
        for ored = 1:1:24
            PUN_orario(ored,colonna,nn)=anno_2019(ii,2+nn);
            ii=ii+1;
        end
        colonna=colonna+1;
    end
end
PUN_vendita_accumulo_orario = PUN_orario([11:13 18:20],:,:);
Prezzo_vendita_accumulo_medio_2019_2
sum(sum(PUN_vendita_accumulo_orario(:, :, na)))/(6*365);
PREZZI= zeros(na,2);
for nn=1:1:na
    yy=2004+nn;

```

=

```

eval(['PUN_' num2str(yy) '=sum(sum(PUN_orario(:, :, nn)))/8760;'])
eval(['Prezzo_vendita_accumulo_medio_' num2str(yy) ...
      '=sum(sum(PUN_vendita_accumulo_orario(:, :, nn)))/(6*365);'])
PREZZI(nn, :)=[sum(sum(PUN_orario(:, :, nn)))/8760 sum(...
sum(PUN_vendita_accumulo_orario(:, :, nn)))/(6*365)];
end
prezzi_medi=sum(PREZZI)/size(PREZZI,1);
%% 23 EP ITALIA
rendita_mensile_media_EP_italia = prezzi_medi(2);
rendita_mensile_media_no_acc_EP_italia = prezzi_medi(1);
rit_economico_EP_italia=zeros(1,25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_italia = MWh_annuale_batteria_EP *
rendita_mensile_media_EP_italia +...
tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh * rendita_mensile_media_EP_italia +...
e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP * rendita_mensile_media_no_acc_EP_italia +...
e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP * rendita_mensile_media_no_acc_EP_italia;
ricavo_annuo_no_acc_25_EP_italia = MWh_annuale .* rendita_mensile_media_no_acc_EP_italia;
rendita_accumulo_25_anni_EP_italia = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_italia...
- ricavo_annuo_no_acc_25_EP_italia;
ii = 1;
while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_italia)
    if ii == 1
        rit_economico_EP_italia(ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP_italia(ii);
    else
        rit_economico_EP_italia(ii) = rit_economico_EP_italia(ii-1)+...
rendita_accumulo_25_anni_EP_italia(ii);
    end
    ii=ii+1;
end
if rit_economico_EP_italia(end)<costo_accumulo_italia
    indice_anno_ritorno_EP_italia= 50;
    figure
    bar(rit_economico_EP_italia, 'r')
    grid on
    title(['rendita ', num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5, ceil(rit_economico_EP_italia(end)/1e6)*1e6-2e5, ...
        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
    plot ([8 11], [(ceil(max(rit_economico_EP_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
(ceil(max(rit_economico_EP_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
else
    indice_anno_ritorno_EP_italia = find(rit_economico_EP_italia>costo_accumulo_italia, 1);
    anno_ritorno_accumulo_EP_italia(indice_anno_ritorno_EP_italia) = ...
        rit_economico_EP_italia(indice_anno_ritorno_EP_italia);
    figure
    bar(rit_economico_EP_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_italia-1)), 'r')
    grid on
    hold on
    bar(indice_anno_ritorno_EP_italia:1:25, rit_economico_EP_italia(...
        indice_anno_ritorno_EP_italia:1:end), 'g')
    title(['rendita ', num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5, ceil(rit_economico_EP_italia(end)/1e6)*1e6-2e5, ...
        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')

```

```

plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
      (ceil(max(rit_economico_EP_italia)/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
end
%% 24 EP DB ITALIA
rendita_mensile_media_EP_DB_italia = prezzi_medi(2);
rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_italia = prezzi_medi(1);
rit_economico_EP_DB_italia=zeros(1,25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_italia = MWh_annuale_batteria_EP_DB *
rendita_mensile_media_EP_DB_italia +...
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh* rendita_mensile_media_EP_DB_italia +...
    e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB * rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_italia +...
    e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB * rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_italia;
ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_italia = MWh_annuale .*
rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_italia;
rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_italia = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_italia...
    - ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_italia;
ii = 1;
while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_italia)
    if ii == 1
        rit_economico_EP_DB_italia(ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_italia(ii);
    else
        rit_economico_EP_DB_italia(ii) = rit_economico_EP_DB_italia(ii-1)+...
            rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_italia(ii);
    end
    ii=ii+1;
end
if rit_economico_EP_DB_italia(end)<costo_accumulo_italia
    indice_anno_ritorno_EP_DB_italia= 50;
    figure
    bar(rit_economico_EP_DB_italia,'r')
    grid on
    title(['rendita ',num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP DB - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia],'b','LineWidth',1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_italia(end)/1e6)*1e6-2e5,...
        {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
    plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP_DB_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_EP_DB_italia)/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
else
    indice_anno_ritorno_EP_DB_italia =
find(rit_economico_EP_DB_italia>costo_accumulo_italia, 1);
    anno_ritorno_accumulo_EP_DB_italia(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia) = ...
        rit_economico_EP_DB_italia(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia);
    figure
    bar(rit_economico_EP_DB_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia-1)),'r')
    grid on
    hold on
    bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia:1:25,rit_economico_EP_DB_italia...
        (indice_anno_ritorno_EP_DB_italia:1:end),'g')
    title(['rendita ',num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP DB - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia],'b','LineWidth',1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_italia(end)/1e6)*1e6-2e5,...
        {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
    plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP_DB_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_EP_DB_italia)/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)

```

End

```

%% 25 EP DB I ITALIA
inflazione_italia = 1.668e-2;
inflazione_anno_italia = 1:inflazione_italia:(1+inflazione_italia*24);
rendita_mensile_media_EP_DB_I_italia = prezzi_medi(2)*inflazione_anno_italia;
rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_I_italia = prezzi_medi(1)*inflazione_anno_italia;
rit_economico_EP_DB_I_italia=zeros(1,25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_italia = MWh_annuale_batteria_EP_DB .*
rendita_mensile_media_EP_DB_I_italia +...
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh' .* rendita_mensile_media_EP_DB_I_italia
+...
    e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_I_italia
+...
    e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_I_italia;
ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I_italia = MWh_annuale .*
rendita_mensile_media_no_acc_EP_DB_I_italia;
rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_italia = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_italia...
    - ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I_italia;
ii = 1;
while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_italia)
    if ii == 1
        rit_economico_EP_DB_I_italia(ii) = rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_italia(ii);
    else
        rit_economico_EP_DB_I_italia(ii) = rit_economico_EP_DB_I_italia(ii-1)+...
            rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_italia(ii);
    end
    ii=ii+1;
end
if rit_economico_EP_DB_I_italia(end)<costo_accumulo_italia
    indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia= 50;
    figure
    bar(rit_economico_EP_DB_I_italia,'r')
    grid on
    title(['rendita ',num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP DB I - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia],'b','LineWidth',1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I_italia(end)/1e6)*1e6-2e5,...
        {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
    plot ([8 11],[(ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_italia)/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
else
    indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia =
find(rit_economico_EP_DB_I_italia>costo_accumulo_italia, 1);
    anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I_italia(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia) = ...
        rit_economico_EP_DB_I_italia(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia);
    figure
    bar(rit_economico_EP_DB_I_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia-1)),'r')
    grid on
    hold on
    bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia:1:25,rit_economico_EP_DB_I_italia(...
        indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia:1:end),'g')
    title(['rendita ',num2str(prezzi_medi(2)), ' €/MWh EP DB I - Italia'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia],'b','LineWidth',1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('eur')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo in Italia')
    text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I_italia(end)/1e6)*1e6-2e5,...

```

```

        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
    plot ([8 11], [(ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
end
%% 26 CONFRONTO EP DB I ITALIA
% trovo valore massimo alla fine dei 25 anni in italia
massimi_a_25_anni_italia = zeros(1,3);
massimi_a_25_anni_italia(:,1) = rit_economico_EP_italia(:,end);
massimi_a_25_anni_italia(:,2) = rit_economico_EP_DB_italia(:,end);
massimi_a_25_anni_italia(:,3) = rit_economico_EP_DB_I_italia(:,end);
figure
subplot(1,3,1)
if indice_anno_ritorno_EP_italia== 50
    bar(rit_economico_EP_italia, 'r')
    grid on
    text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5, ...
        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
    plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    title({'rendita EP - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' €/MWh'])))
    hold on
    plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:5:25)
    ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
    yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
    ylabel('MC')
    xlabel('Anno')
else
    bar(rit_economico_EP_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_italia-1)), 'r')
    grid on
    hold on
    bar(indice_anno_ritorno_EP_italia:1:25, rit_economico_EP_italia(...
        indice_anno_ritorno_EP_italia:1:end), 'g')
    text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5, ...
        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
    plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    title({'rendita EP - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' €/MWh'])))
    hold on
    plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:5:25)
    ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
    yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
    ylabel('MC')
    xlabel('Anno')
end
subplot(1,3,2)
if indice_anno_ritorno_EP_DB_italia== 50
    bar(rit_economico_EP_DB_italia, 'r')
    grid on
    text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5, ...
        {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
    plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    title({'rendita EP DB - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' €/MWh'])))
    hold on
    plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:5:25)
    ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
    yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
    ylabel('MC')
    xlabel('Anno')
else

```

```

bar(rit_economico_EP_DB_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_italia:1:25, rit_economico_EP_DB_italia(...
    indice_anno_ritorno_EP_DB_italia:1:end), 'g')
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title({'rendita EP DB - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' e/MWh'])))
hold on
plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
ylabel('MC')
xlabel('Anno')
end
subplot(1,3,3)
if indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia== 50
bar(rit_economico_EP_DB_I_italia, 'r')
grid on
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title({'rendita EP DB I - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' e/MWh'])))
hold on
plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
ylabel('MC')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP_DB_I_italia(1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia:1:25, rit_economico_EP_DB_I_italia(...
    indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia:1:end), 'g')
text(0.5, (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5, ...
    {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
hold on
plot ([11 14], [(ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5 ...
    (ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
title({'rendita EP DB I - Italia'; string([num2str(prezzi_medi(2)) ' e/MWh'])))
hold on
plot ([0 26], [costo_accumulo_italia costo_accumulo_italia], 'b', 'LineWidth', 1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(massimi_a_25_anni_italia)/1e6)*1e6)
ylabel('MC')
xlabel('Anno')
end
tot_MWh_in_batteria = sum(MWh_annuale_batteria_EP_DB);
%% 27 VALUTO la compravendita di energia, compro per riempire le batterie
% al massimo nelle ore non di picco per poi rivenderla durante i picchi
rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_RIV = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I_RIV = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_RIV = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
rit_economico_EP_DB_I_RIV = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV = zeros(1,length(rendita_mensile_media));
rendita_mensile_media_I = rendita_mensile_media'*inflazione_anno;

```

```

rendita_mensile_media_no_acc_I = rendita_mensile_media_no_acc*inflazione_anno;
batterie_MWh_DB = batterie_Wh_DB/1e6;
batterie_max_anno_MWh = batterie_MWh_DB*365;
e_comprata_per_riempire_batterie_picco_1_MWh = (batterie_max_anno_MWh - ...
    e_batteria_anno_picco_1_imm_MWh_EP_DB);
e_comprata_per_riempire_batterie_picco_2_MWh = (batterie_max_anno_MWh - ...
    e_batteria_anno_picco_2_imm_MWh_EP_DB);
e_comprata_per_riempire_batterie_tot_MWh = e_comprata_per_riempire_batterie_picco_1_MWh
+...
    e_comprata_per_riempire_batterie_picco_2_MWh;
for nn=1:length(rendita_mensile_media)
    ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_RIV(nn,:) = MWh_annuale_batteria_EP_DB .*...
        rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
        tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh' .* rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
        e_no_batteria_picco_1_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_I +...
        e_no_batteria_picco_2_25_MWh_EP_DB .* rendita_mensile_media_no_acc_I +...
        e_comprata_per_riempire_batterie_tot_MWh .* (rendita_mensile_media_I(nn,:) -...
        rendita_mensile_media_no_acc_I);
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I = MWh_annuale .* rendita_mensile_media_no_acc_I;
    rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_RIV(nn,:) = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_RIV(nn,:) ...
    ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I;
    ii = 1;
    while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_RIV)
        if ii == 1
            rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,ii) = ricavo_annuo_si_acc_25_EP_DB_I_RIV(nn,ii) ...
            ricavo_annuo_no_acc_25_EP_DB_I;
        else
            rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,ii) = rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,ii-1)+...
            rendita_accumulo_25_anni_EP_DB_I_RIV(nn,ii);
        end
        ii=ii+1;
    end
    if rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,end)<costo_accumulo
        indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn) = 50;
        figure
        bar(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:), 'r')
        grid on
        title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I RIV'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:1:26)
        xlabel('Anno')
        ytickformat('usd')
        ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
        text(0.5, ceil(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,end)/1e6)*1e6-2e5, ...
            {'costo installazione', 'accumulo'}, 'Color', 'blue')
        plot ([8 11], [(ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
            (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    else
        indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn) = find(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:)>costo_accumulo, 1);
        anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I_RIV(nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn)) = ...
            rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn));
        figure
        bar(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn)-1)), 'r')
        grid on
        hold on
        bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn):1:25, rit_economico_EP_DB_I_RIV(...
            nn, indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn):1:end), 'g')
        title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I RIV'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:1:26)

```

```

xlabel('Anno')
ytickformat('usd')
ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
     {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
      (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
end
end
figure
for nn=1:length(rendita_mensile_media)
if length(rendita_mensile_media)>4
subplot(2,round((length(rendita_mensile_media)/2)),nn)
else
subplot(round((length(rendita_mensile_media)/2)),2,nn)
end
if indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn)== 50
bar(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,:), 'r')
grid on
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I RIV'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
else
bar(rit_economico_EP_DB_I_RIV(nn,1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn):1:25,rit_economico_EP_DB_I_RIV(...
nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV(nn):1:end),'g')
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I RIV'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I_RIV(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
end
end
end
%% 28 IPOTESI RILASCIO IN 1 SOLO PICCO AL GIORNO
% La batteria la uso per un numero di cicli inferiore, si rovina meno
% rispetto a prima
rendita_accumulo_25_anni_1P = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
anno_ritorno_accumulo_1P = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
ricavo_annuo_si_acc_25_1P = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
rit_economico_1P = zeros(length(rendita_mensile_media),25);
indice_anno_ritorno_1P = zeros(1,length(rendita_mensile_media));
rendita_mensile_media_I = rendita_mensile_media'*inflazione_anno;
rendita_mensile_media_no_acc_I = rendita_mensile_media_no_acc*inflazione_anno;
capacita_batterie_1P = [linspace(1,0.794,13) linspace(1,0.805,12)];
tot_energia_giorno_batteria_imm_25_wh_1P = tot_energia_giorno_batteria_p_1_imm_25_wh +...
tot_energia_giorno_batteria_p_2_imm_25_wh;
energia_batteria_prod_Wh_1P = zeros(1,365);
energia_batteria_imm_Wh_1P = zeros(1,365);
batterie_Wh_1P = batterie_Wh*capacita_batterie_1P;
batterie_MWh_1P = batterie_Wh_1P/1e6;
batterie_max_anno_MWh_1P = batterie_MWh_1P*365;
for anno = 1:1:25
for ii=1:1:giorni_anno
if tot_energia_giorno_batteria_imm_25_wh_1P(anno,ii)<batterie_Wh_1P(anno)

```

```

        energia_batteria_imm_Wh_1P(anno,ii) = ...
            tot_energia_giorno_batteria_imm_25_wh_1P(anno,ii);
        no_abbastanza_energia_1_picco_caso_3(giro,anno) = ...
            no_abbastanza_energia_1_picco_caso_3(giro,anno) +1;
    else
        energia_batteria_imm_Wh_1P(anno,ii) = batterie_Wh_1P(anno);
    end
end
end
Wh_annuale_batteria_1P = sum(energia_batteria_imm_Wh_1P,2);
kWh_annuale_batteria_1P = Wh_annuale_batteria_1P/1000;
MWh_annuale_batteria_1P = kWh_annuale_batteria_1P'/1000;
e_no_batteria_25_Wh_1P = sum(tot_energia_giorno_batteria_imm_25_wh_1P,2) -...
    sum(energia_batteria_imm_Wh_1P,2);
e_no_batteria_25_MWh_1P = e_no_batteria_25_Wh_1P'/1e6;
e_batteria_anno_imm_Wh_1P = sum(energia_batteria_imm_Wh_1P,2);
e_batteria_anno_imm_MWh_1P = e_batteria_anno_imm_Wh_1P'/1e6;
for nn=1:1:length(rendita_mensile_media)
    ricavo_annuo_si_acc_25_1P(nn,:) = MWh_annuale_batteria_1P .*
rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
    tot_energia_anno_diretta_rete_imm_25_MWh' .* rendita_mensile_media_I(nn,:) +...
    e_no_batteria_25_MWh_1P .* rendita_mensile_media_no_acc_I;
    ricavo_annuo_no_acc_25_1P = MWh_annuale .* rendita_mensile_media_no_acc_I;
    rendita_accumulo_25_anni_1P(nn,:) = ricavo_annuo_si_acc_25_1P(nn,:)...
        - ricavo_annuo_no_acc_25_1P;
    ii = 1;
    while ii <= length(rendita_accumulo_25_anni_1P)
        if ii == 1
            rit_economico_1P(nn,ii) = rendita_accumulo_25_anni_1P(nn,ii);
        else
            rit_economico_1P(nn,ii) = rit_economico_1P(nn,ii-1)+...
                rendita_accumulo_25_anni_1P(nn,ii);
        end
        ii=ii+1;
    end
end
if rit_economico_1P(nn,end)<costo_accumulo
    indice_anno_ritorno_1P(nn)= 50;
    figure
    bar(rit_economico_1P(nn,:), 'r')
    grid on
    title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh 1P'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:1:26)
    xlabel('Anno')
    ytickformat('usd')
    ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
    text(0.5,ceil(rit_economico_1P(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
        {'costo installazione','accumulo'}, 'Color','blue')
    plot ([8 11],[(ceil(max(rit_economico_1P(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_1P(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth', 1.5)
else
    indice_anno_ritorno_1P(nn) = find(rit_economico_1P(nn,:)>costo_accumulo, 1);
    anno_ritorno_accumulo_EP_DB_I_RIV(nn,indice_anno_ritorno_1P(nn)) = ...
        rit_economico_1P(nn,indice_anno_ritorno_1P(nn));
    figure
    bar(rit_economico_1P(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_1P(nn)-1)), 'r')
    grid on
    hold on
    bar(indice_anno_ritorno_1P(nn):1:25, rit_economico_1P(nn,...
        indice_anno_ritorno_1P(nn):1:end), 'g')
    title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh 1P'])
    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth', 1.5)
    xlim([0,26])

```

```

        xticks(0:1:26)
        xlabel('Anno')
        ytickformat('usd')
        ylabel('Totale guadagno derivante dall''accumulo')
        text(0.5,ceil(rit_economico_1P(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
            {'costo installazione','accumulo'},'Color','blue')
        plot ([8 11],[ceil(max(rit_economico_1P(nn,:))/1e6)*1e6]-2e5 ...
            (ceil(max(rit_economico_1P(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5],'b','LineWidth',1.5)
    end
end
figure
for nn=1:length(rendita_mensile_media)
    if length(rendita_mensile_media)>4
        subplot(2,round((length(rendita_mensile_media)/2)),nn)
    else
        subplot(round((length(rendita_mensile_media)/2)),2,nn)
    end
    if indice_anno_ritorno_1P(nn)== 50
        bar(rit_economico_1P(nn,:), 'r')
        grid on
        title(['rendita ',num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh 1P'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:5:25)
        ylim([0 ceil(max(rit_economico_1P(end,:))/1e6)*1e6])
        yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_1P(end,:))/1e6)*1e6)
        ylabel('M$')
        xlabel('Anno')
    else
        bar(rit_economico_1P(nn,1:(indice_anno_ritorno_1P(nn)-1)), 'r')
        grid on
        hold on
        bar(indice_anno_ritorno_1P(nn):1:25,rit_economico_1P(nn,...
            indice_anno_ritorno_1P(nn):1:end),'g')
        title(['rendita ',num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh 1P'])
        hold on
        plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo],'b','LineWidth',1.5)
        xlim([0,26])
        xticks(0:5:25)
        ylim([0 ceil(max(rit_economico_1P(end,:))/1e6)*1e6])
        yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_1P(end,:))/1e6)*1e6)
        ylabel('M$')
        xlabel('Anno')
    end
end
end
if giro ==1
%EP DB I
fileID = fopen('anni_ritorno_EP_DB_I.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); indice_anno_ritorno_EP_DB_I'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%EP DB I RIV
fileID = fopen('anni_ritorno_RIV.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro) ; indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25_RIV.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I_RIV(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%EP DB I italia

```

```

fileID = fopen('anni ritorno italia.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro) ; indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25 italia.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I_italia(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%1P
fileID = fopen('anni ritorno 1P.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); indice_anno_ritorno_1P'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25_1P.txt','w');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_1P(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
else
%EP DB I
fileID = fopen('anni ritorno EP DB I.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); indice_anno_ritorno_EP_DB_I'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%EP DB I RIV
fileID = fopen('anni ritorno RIV.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro) ; indice_anno_ritorno_EP_DB_I_RIV'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25 RIV.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I_RIV(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%EP DB I italia
fileID = fopen('anni ritorno italia.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro) ; indice_anno_ritorno_EP_DB_I_italia'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25 italia.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_EP_DB_I_italia(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
%1P
fileID = fopen('anni ritorno 1P.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); indice_anno_ritorno_1P'];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
fileID = fopen('ritornoeconomico25_1P.txt','a');
stampa = [taglia_da_tastiera(giro); rit_economico_1P(:,end)];
fprintf(fileID,'%f\n',stampa);
fclose(fileID);
end
end
rit_economico_EP_DB_I(end,end) - rit_economico_1P(end,end)
nn=1;
while nn <= length(rendita_mensile_media)
figure
for pp=1:1:2
subplot(1,2,pp)
if indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)== 50
bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,:), 'r')
grid on
title(['rendita ', num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])

```

```

    hold on
    plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth',1.5)
    xlim([0,26])
    xticks(0:5:25)
    ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6])
    yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6)
    ylabel('M$')
    xlabel('Anno')
    text(0.5,ceil(rit_economico_EP_DB_I(nn,end)/1e6)*1e6-2e5,...
        {'costo installazione','accumulo'}, 'Color','blue')
    hold on
    plot ([8 11],[(ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5 ...
        (ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(nn,:))/1e6)*1e6)-2e5], 'b', 'LineWidth',1.5)
else
bar(rit_economico_EP_DB_I(nn,1:1:(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn)-1)), 'r')
grid on
hold on
bar(indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:25,rit_economico_EP_DB_I(...
    nn,indice_anno_ritorno_EP_DB_I(nn):1:end), 'g')
title(['rendita ',num2str(rendita_mensile_media(nn)), ' $/MWh EP DB I'])
hold on
plot ([0 26],[costo_accumulo costo_accumulo], 'b', 'LineWidth',1.5)
xlim([0,26])
xticks(0:5:25)
ylim([0 ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6])
yticks(0: 5e5: ceil(max(rit_economico_EP_DB_I(end,:))/1e6)*1e6)
ylabel('M$')
xlabel('Anno')
end
nn=nn+1;
end
end

```

## 7 Bibliografia

- [1] Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij, Miro Zeman "Solar Energy - Fundamentals, Technology, and Systems", "capitolo 3: The Working Principle of a Solar Cell", Delft University of Technology, 2014.
- [2] Klaus Jäger, Olindo Isabella, Arno H.M. Smets, René A.C.M.M. van Swaaij, Miro Zeman "Solar Energy - Fundamentals, Technology, and Systems", "capitolo 12: The Working Principle of a Solar Cell", Delft University of Technology, 2014.
- [3] Annarita Paiano, "Renewable and Sustainable Energy Reviews: Photovoltaic waste assessment in Italy", Volume 41, 2015, Pages 99-112, ISSN 1364-0321.
- [4] F. Spertino, «Materiale didattico corso "Power Generation from Renewable Sources" - Politecnico di Torino - a.a. 2018-2019».
- [5] S. Ranjan, S. Balaji, Rocco A. Panella, B. Erik Ydstie, "Computers & Chemical Engineering: Silicon solar cell production", Volume 35, 2011, Pages 1439-1453, ISSN 0098-1354,
- [6] <http://www.losatech.it/promo-losatech.php?id=9#>
- [7] C.B. Honsberg and S.G. Bowden, "Photovoltaics Education Website," [www.pveducation.org](http://www.pveducation.org), 2019
- [8] Farschad Torabi, Pouria Ahmadi, Chapter 2 - Fundamentals of batteries, Editor(s): Farschad Torabi, Pouria Ahmadi, Simulation of Battery Systems, Academic Press, 2020, Pages 55-81, ISBN 9780128162125
- [9] Farschad Torabi, Pouria Ahmadi, Chapter 1 - Battery technologies, Editor(s): Farschad Torabi, Pouria Ahmadi, Simulation of Battery Systems, Academic Press, 2020, Pages 1-54, ISBN 9780128162125
- [10] Samsung SDI, [www.samsungsdi.com](http://www.samsungsdi.com)
- [11] John T. Warner, Chapter 5 - The Cathodes, Editor(s): John T. Warner, Lithium-Ion Battery Chemistries, Elsevier, 2019, Pages 99-114, ISBN 9780128147788
- [12] J. Dahn, G. Ehrlich Lithium-Ion Batteries T.B. Reddy (Ed.), Linden's handbook of batteries (4th d.), McGraw-Hill, New York (2011), pp. 26.1-26.79
- [13] H. Sun, K. Zhao Electronic structure and comparative properties of LiNi<sub>x</sub>Mn<sub>y</sub>Co<sub>z</sub>O<sub>2</sub> cathode materials Journal of Physical Chemistry, 121 (2017), pp. 6002-6010 Retrieved December 20, 2017

[14] Beyer, Hans Georg & Betcke, Jethro & Drews, A. & Heinemann, Detlev & Lorenz, Elke & Heilscher, Gerd & Bofinger, Stefan. (2004). "Identification of a General Model for the MPP Performance of PV-Modules for the Application in a Procedure for the Performance Check of Grid Connected Systems.", Proc. 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference.

[15] S.R.Williams, T.R.Betts, T.Helf, R.Gottschalg, H.G.Beyer, D.G.Infield, Modelling long-term module performance based on realistic reporting conditions with consideration to spectral effects, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion , Osaka, 11.-18.05 (2003)