



MINISTERO  
DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI



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

Committente Principale



AEROPORTO INTERNAZIONALE DI FIRENZE AMERIGO  
VESPUCCI

Opera

PROJECT REVIEW – PIANO DI SVILUPPO AEROPORTUALE AL 2035

Titolo Documento





Relazione di Analisi Energetica

Livello di Progetto

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

LIV	REV	DATA EMISSIONE	SCALA	CODICE FILE COMPLETO
PSA	00	MARZO 2024	N/A	FLR-MPL-PSA-FTV1-003-FV-RT_Rel An Ene
				TITOLO RIDOTTO
				Rel An Ene

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

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

## Indice

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. DETERMINAZIONE FABBISOGNO ENERGETICO COMPLESSIVO .....</b>	<b>3</b>
2.1 DATI CLIMATICI STORICI E DI RIFERIMENTO.....	3
2.2 CENTRI DI CONSUMO ENERGETICO .....	7
2.2.1 <i>Nuovo Terminal</i> .....	7
2.2.2 <i>Altri edifici del Sedime Aeroportuale</i> .....	18
2.2.3 <i>Ground Support Equipment (GSE)</i> .....	22
2.2.4 <i>Aiuti Visivi Luminosi (AVL)</i> .....	23
2.2.5 <i>Electric Vehicle Charging (EVC)</i> .....	24
2.2.6 <i>Curva di carico complessiva</i> .....	26
<b>3. PRODUCIBILITÀ IMPIANTO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>26</b>
<b>4. SIMULAZIONE ENERGETICA .....</b>	<b>29</b>
<b>5. SIMULAZIONE ECONOMICO-FINANZIARIA.....</b>	<b>32</b>
<b>6. CONCLUSIONI .....</b>	<b>33</b>

## 1. Premessa

La presente relazione tecnica presenta i risultati ottenuti dall'analisi energetico finanziaria condotta per il nuovo impianto fotovoltaico dell'aeroporto di Firenze "Amerigo Vespucci" ideato e previsto all'interno del Masterplan 2035. Alla luce delle ultime comunicazioni dell'Enac, "Ente Nazionale Aviazione Civile", nell'ambito della mission di riconciliazione del settore dell'aviazione civile con l'ambiente, la progettazione di un impianto fotovoltaico nel sedime aeroportuale deve essere accompagnata da un Piano Economico Finanziario che presenti i seguenti contenuti:

- Analisi di producibilità attesa dell'impianto e profili di autoconsumo, con particolare riferimento alla vita utile dell'impianto ed ai fabbisogni stimati connessi alle fasi di sviluppo dell'aeroporto;
- Costo iniziale di investimento e modalità di finanziamento dell'intervento;
- Flussi di cassa attesi nel periodo di vita utile dell'impianto;
- Costo stimato di dismissione a fine vita utile, anche con riferimento al termine del periodo concessorio;
- Ricorso ad eventuali incentivi e/o corrispettivi premianti, sia per l'energia autoconsumata che per l'energia valorizzata a mercato (quali, ad esempio, incentivi GSE, corrispettivi ARERA, ecc.).

Tali tematiche di analisi verranno affrontate e presentate nei seguenti capitoli, con particolare attenzione ai dati di input utilizzati, alle ipotesi di calcolo assunte e ai risultati ottenuti.

## 2. Determinazione Fabbisogno Energetico complessivo

Nella prima fase dell'analisi effettuata si è proceduto con la determinazione del fabbisogno energetico complessivo del Sedime Aeroportuale in accordo con quanto contenuto all'interno del Masterplan 2035, pertanto, tenendo conto delle evoluzioni caratterizzanti non solo la nuova configurazione aeroportuale ma anche i nuovi servizi offerti e la generale elettrificazione degli impianti tecnologici. In particolare, in accordo con la Committenza, si è considerato come anno di riferimento della presente simulazione il 2030.

### 2.1 Dati climatici storici e di riferimento

Il primo step del seguente studio riguarda l'analisi dei consumi storici da bolletta per le utenze alimentate e contabilizzate appartenenti al Sedime Aeroportuale, tali valori sono stati necessari per la costruzione della baseline energetica per l'anno di riferimento considerato. L'utilizzo di consumi storici, raccolti per le annualità 2018, 2019 e 2022, necessita l'associazione di tali valori alle condizioni climatiche reali per gli anni corrispondenti. Le temperature esterne registrate ogni 15 min sono state scaricate dal sito ufficiale della regione Toscana al seguente indirizzo <https://www.sir.toscana.it/>. La stazione di riferimento per i dati meteorologici, denominata "Case Passerini", ha sede presso il comune di Sesto Fiorentino che dista meno di 3 km dall'Aeroporto di Firenze "Amerigo Vespucci".



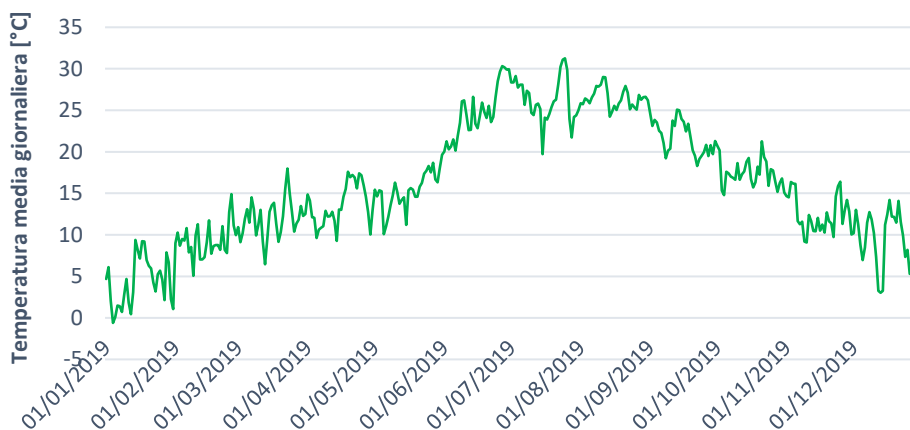
Figura 1 - Stazione meteorologica di riferimento per dati climatici storici.

Si mostra qui di seguito l'andamento delle temperature medie giornaliere per gli anni storici analizzati:

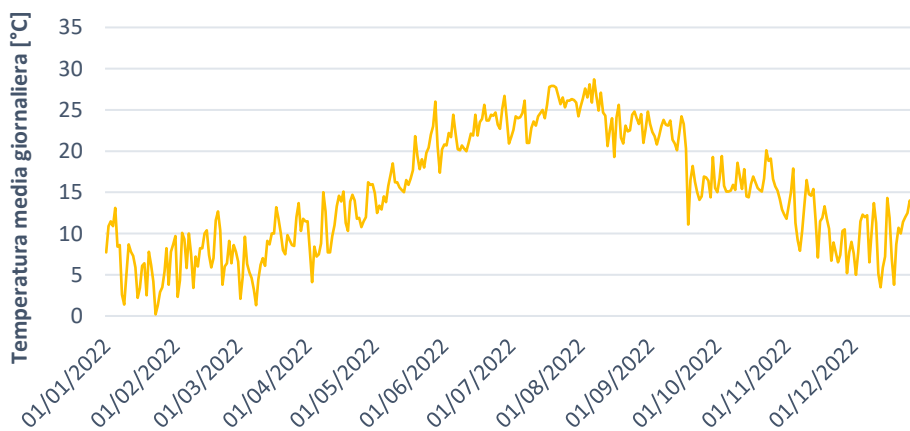
### Temperature medie giornaliere 2018



### Temperature medie giornaliere 2019



### Temperature medie giornaliere 2022



In seguito all'analisi dei consumi storici per le annualità considerate, è necessario e fondamentale eseguire la normalizzazione di tali valori alle condizioni climatiche di riferimento considerate rappresentative dell'anno 2030. La normalizzazione è stata effettuata considerando come parametri attuativi i gradi giorno di riscaldamento ( $GG_{risc}$ ) e i gradi giorno di raffrescamento ( $GG_{raff}$ ) per le annualità dei consumi storici calcolati come segue:

$$GG_{risc} = \sum T_{set,inv} - T_{e,m,g} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Dove

$T_{e,m,g}$  è la temperatura esterna media giornaliera dei giorni compresi nel periodo di riscaldamento per la zona climatica E (dal 15 ottobre al 15 aprile);

$T_{set,inv}$  è la temperatura di set point invernale fissato a 20°C.

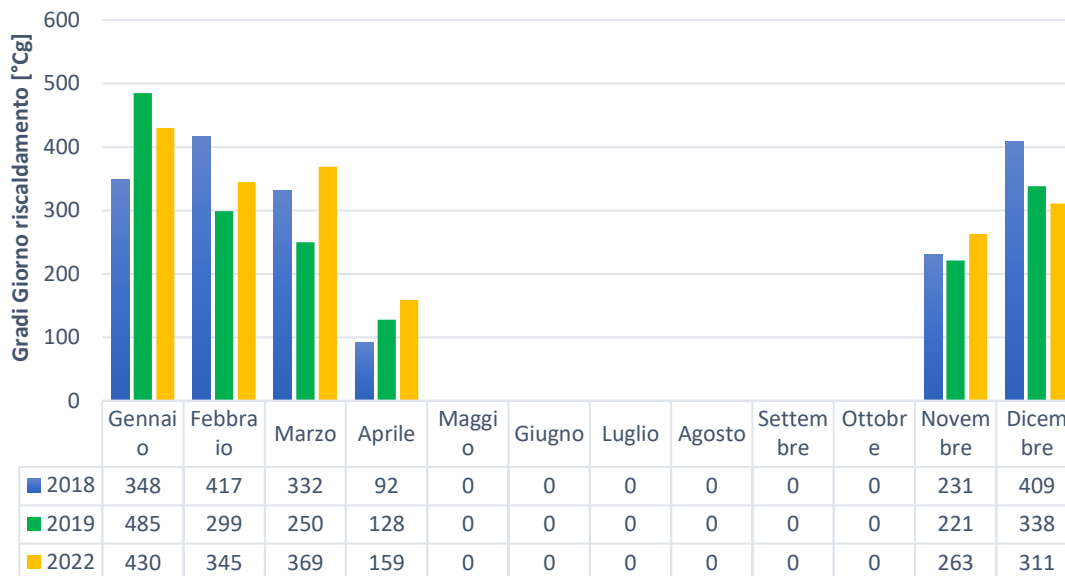
$$GG_{raff} = \sum T_{e,m,g} - T_{set,est} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Dove

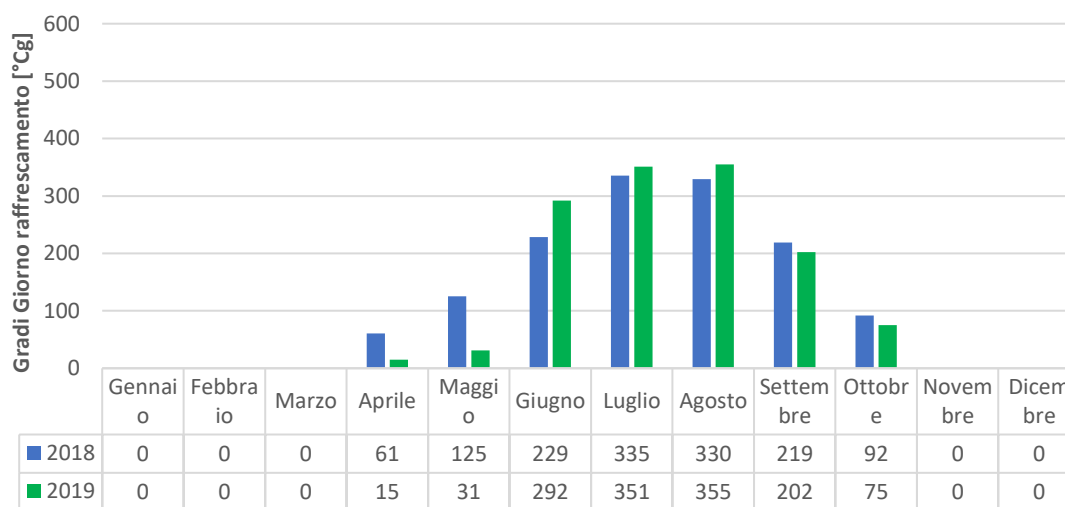
$T_{e,m,g}$  è la temperatura esterna media giornaliera dei giorni compresi nel periodo di raffrescamento considerata dal 16 aprile al 14 ottobre.

$T_{set,est}$  è la temperatura dell'aria esterna da cui si registra un fabbisogno di raffrescamento per effetto dei carichi termici interni ed esterni fissata a 15°C.

### Gradi giorno riscaldamento anni storici



### Gradi giorno raffrescamento anni storici



A completamento della definizione delle condizioni climatiche di riferimento per l'anno 2030 si è considerata la località di Sesto Fiorentino, comune della provincia di Firenze in cui è localizzato l'Aeroporto "Amerigo Vespucci", e le condizioni climatiche standard secondo UNI 10349:2016.

## 2.2 Centri di consumo energetico

Ai fini della definizione della curva di carico complessiva del Sedime Aeroportuale rappresentante il fabbisogno energetico di riferimento, si sono analizzati i principali centri di consumo energetico, qui di seguito riassunti:

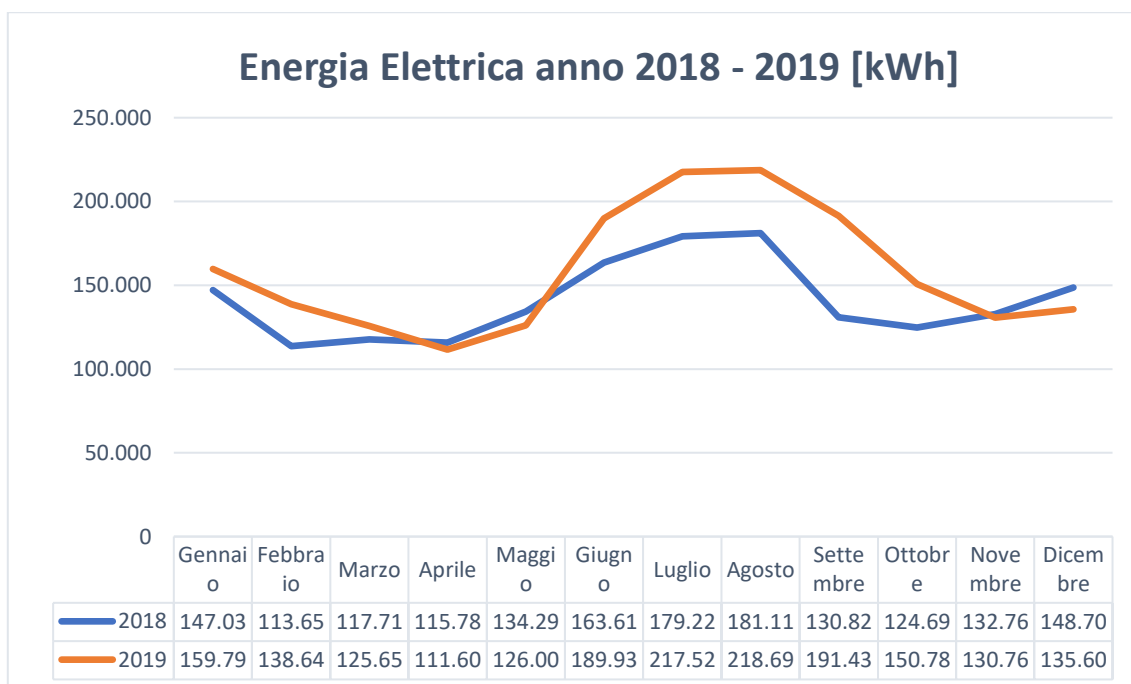
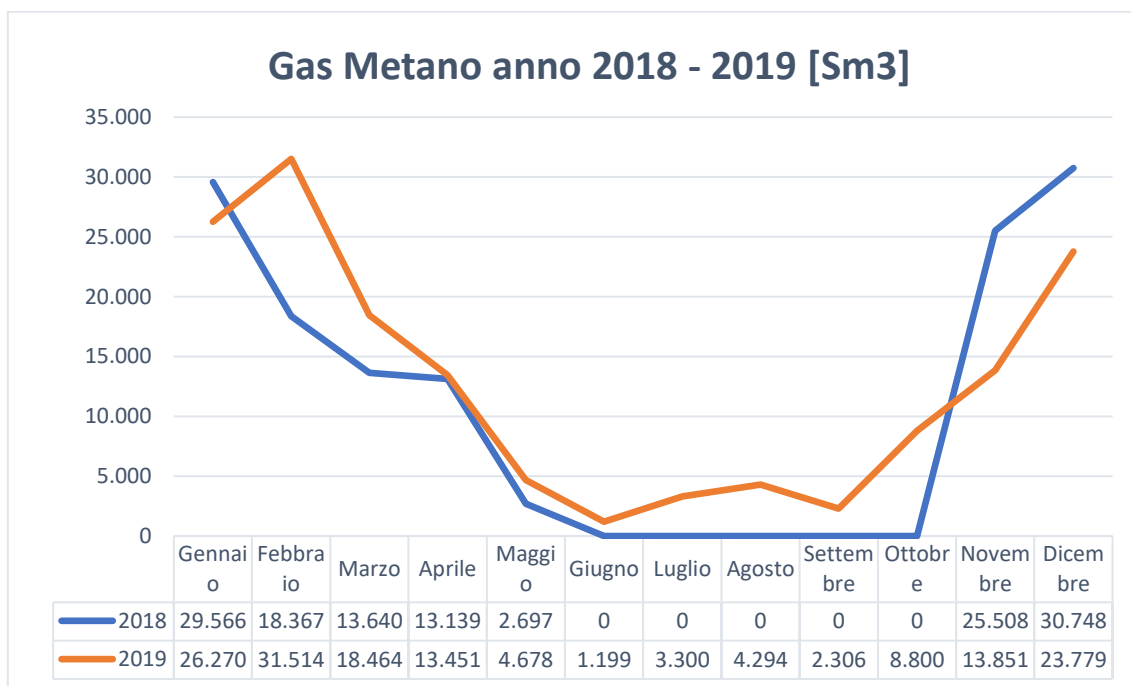
- 1) Consumo energetico Nuovo Terminal, in previsione alla costruzione del nuovo terminal si è determinato una curva di carico dell'edificio considerando la previsione al 2030 e l'elettrificazione di tutti i sistemi tecnologici al servizio dello stesso;
- 2) Consumo energetico altri edifici, si sono determinate le curve di carico di tutti gli edifici esistenti e di nuova costruzione presenti nel Sedime Aeroportuale con previsione al 2030 e ipotizzando anche in questo caso l'elettrificazione di tutti i servizi tecnologici;
- 3) Ground Support Equipment, determinazione consumo energetico annuo proiettato al 2030 dei servizi offerti alla sosta dei velivoli nelle piazzole di parcheggio disponibili nell'Air Side, con l'ipotesi di sostituzione dei servizi alimentati a gasolio con nuovi a fonte elettrica;
- 4) Aiuti Visivi Luminosi, definizione e determinazione assorbimento elettrico annuo del sistema di illuminazione della nuova pista ipotizzata al 2030;
- 5) Electric Vehicle Charging, ipotizzando una mutazione del parco automobilistico nazionale al 2030, si è determinato un consumo di energia elettrica associato alla ricarica dei veicoli elettrici, in accordo con le caratteristiche dei nuovi parcheggi previsti al 2030;

### 2.2.1 Nuovo Terminal

In accordo con quanto contenuto nella documentazione del Masterplan 2035, nel Sedime Aeroportuale verrà costruito un nuovo terminal dedicato ai servizi aeroportuali con una volumetria indicativa di 390.000 m<sup>3</sup>. Per la determinazione della curva di carico energetica di tale edificio si è proceduto con lo studio dei consumi storici registrati per gli anni disponibili per l'edificio "Nuova Aerostazione", che si sviluppa per 7.466 m<sup>2</sup> e 31.597 m<sup>3</sup>. In accordo con la committenza, la definizione di una baseline energetica per l'edificio esistente è stata utilizzata per determinare la baseline dell'edificio di nuova costruzione, dato che la destinazione d'uso è rimasta invariata.

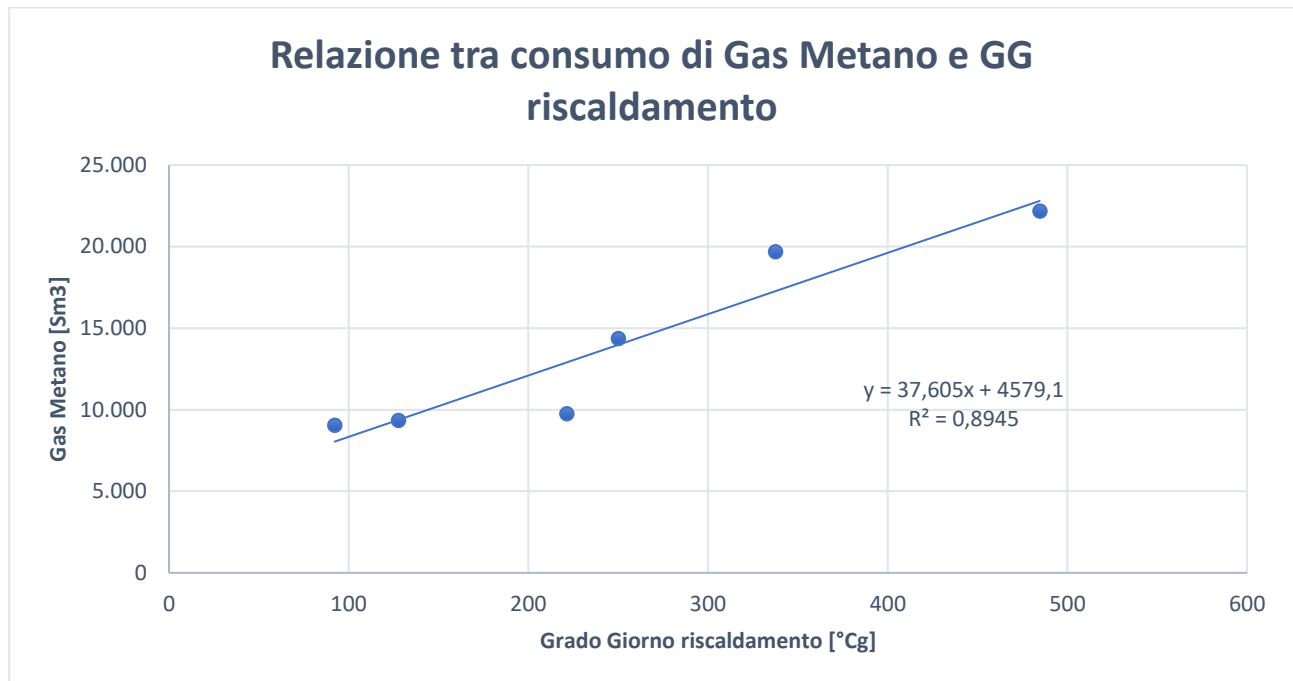
Qui di seguito si mostrano i consumi di Gas Metano e di Energia elettrica per le annualità disponibili per la Nuova Aerostazione:





Per quanto riguarda il consumo di Gas Metano si è determinato un valore di Sm<sup>3</sup> di consumo di base registrati nei mesi estivi in cui il servizio di riscaldamento non è attivo e i generatori di calore coprono il fabbisogno di Acqua Calda Sanitaria e Post riscaldamento delle Unità di Trattamento Aria ( denominato C<sub>base</sub>). È stato così possibile determinare in fase preliminare l'ammontare di combustibile utilizzato per il servizio di riscaldamento durante la stagione invernale. Tali valori sono poi stati utilizzati per definire una relazione tra il consumo di

gas e il parametro significativo Grado Giorno di riscaldamento determinato in precedenza (riferiti agli anni 2018 e 2019), qui di seguito mostrato:



Come si evince dal grafico tale correlazione esprime una buona relazione tra le due grandezze con un  $R^2 > 0,75$ . A questo punto è possibile determinare il consumo del nuovo terminal riferito alle condizioni climatiche di riferimento, utilizzando quindi i Gradi Giorno di riferimento ( $GG_{rif}$ ), e adattando il risultato ottenuto alla nuova volumetria del Terminal, tramite la seguente relazione:

$$C_{mese,i} = (C_{base} + a * GG_{rif,mese i} + b) * \frac{V_{NT}}{V_{NA}} \quad [Sm^3]$$

Dove:

$C_{mese,i}$  consumo di Gas Metano mese i-esimo;  $C_{base}$  consumo Gas Metano di base;  $a$  coefficiente angolare relazione lineare e  $b$  intercetta relazione lineare;  $GG_{rif,mese i}$  Gradi Giorno riscaldamento di riferimento del mese i-esimo per le condizioni climatiche standard contenute nella UNI 10349:2016 per il comune di Sesto Fiorentino;  $V_{NT}$  volume nuovo Terminal e  $V_{NA}$  volume nuova Aerostazione.

Bisogna sottolineare tuttavia come il fabbisogno specifico di energia termica o frigorifera per il Nuovo Terminal non può essere considerato uguale agli edifici attualmente esistenti. Pertanto, se le relazioni appena sviluppate possono essere considerate coerenti con l'obiettivo, si è deciso di calcolare un fattore di riduzione del fabbisogno che sia in grado di considerare tale differenza. Questo ha determinato la necessità di un'analisi

specifica sull'evoluzione delle prestazioni termiche degli edifici per la definizione dei relativi fabbisogni termici e frigoriferi. La proiezione temporale del Piano di sviluppo suggerisce che i nuovi edifici, la cui costruzione è attualmente programmata e distribuita fino al 2035, assicureranno non solo il rispetto degli attuali standard prestazionali ed energetici definiti dalle normative vigenti, ma anche un miglioramento del comportamento energetico dovuto a un'evoluzione normativa, esattamente come è avvenuto negli ultimi decenni.

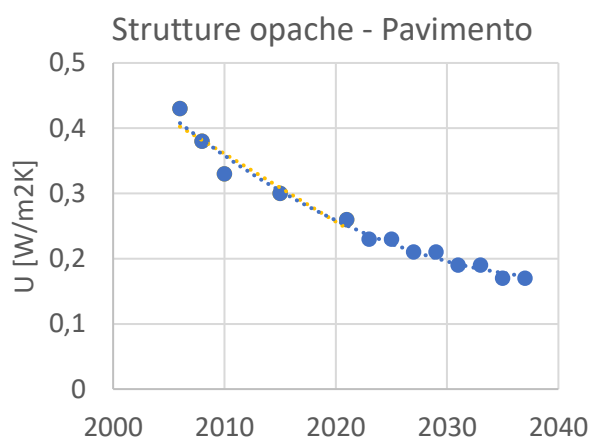
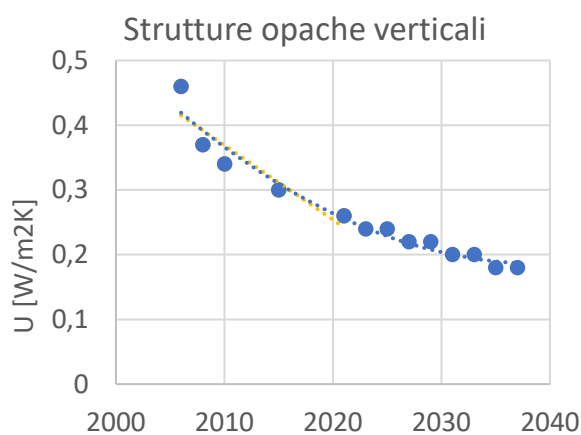
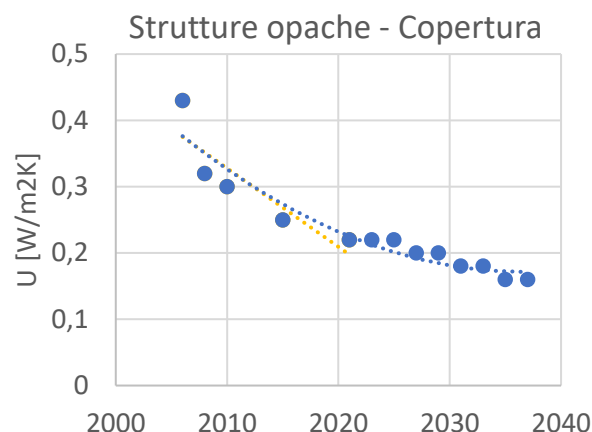
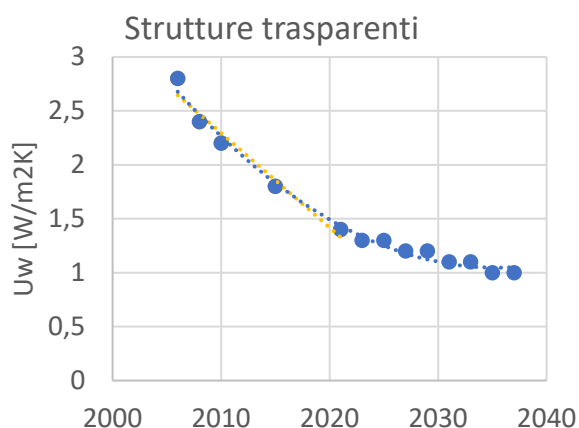
Da tali considerazioni è stato sviluppato uno studio sulle caratteristiche termiche e fisiche delle strutture costituenti l'involucro e sulle efficienze dei recuperi del sistema di ventilazione meccanica che incidono sul fabbisogno di energia utile degli edifici di nuova costruzione. A questo scopo il lavoro è stato suddiviso in diversi passaggi sviluppati di seguito.

Nella prima fase di analisi sono stati studiati i limiti di legge prestazionali delle strutture dell'involucro e, in particolare, le indicazioni contenute nei decreti di settore, tra cui si riportano a titolo esemplificativo e non esaustivo:

- D.lgs. 192/05 e ss.mm.ii.
- Decreto "Requisiti Minimi" 26 giugno 2015
- D.lgs. 199/2021. ss.mm.ii.

Dai grafici costruiti e mostrati qui di seguito si evince una forte decrescita nei primi valori di trasmittanza termica  $W/m^2K$  rappresentati e associati alle normative prima elencate (fino al 2021).

Nella seconda fase si sono ipotizzati per gli anni fino al 2037 i valori limite prestazionali assumendo una riduzione di tali valori di circa il 10% ogni 4 anni. Tale scelta è giustificata dalla costruzione di un andamento più attenuato rispetto i valori storici di legge con l'obiettivo di massimizzazione  $R^2$  polinomiale di regressione, tenendo conto anche degli attuali limiti tecnici dei materiali presenti nel mercato.



	U.M.	Attuale limite di legge	2023	2025	2027	2029	2031	2033	2035	2037
<b>Rendimento recupero stagionale invernale</b>	-	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60
<b>Rendimento recupero stagionale estivo</b>	-	0,10	0,13	0,16	0,20	0,23	0,26	0,30	0,30	0,30
<b>Opache verticali</b>	W/m²K	0,26	0,24	0,24	0,22	0,22	0,2	0,2	0,18	0,18
<b>Copertura</b>	W/m²K	0,22	0,22	0,22	0,20	0,20	0,18	0,18	0,16	0,16
<b>Pavimento</b>	W/m²K	0,26	0,23	0,23	0,21	0,21	0,19	0,19	0,17	0,17
<b>Serramento</b>	W/m²K	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
<b>Fattore trasmissione solare</b>	-	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,15	0,15

Tabella 1 - Tabella riepilogativa valori prestazionali limite di legge.

A questo punto si è proceduto nella costruzione del modello energetico semplificato (Simple Box) tramite software di simulazione energetica (EC700 versione 11.22.19 della suite Edilclima®) con le caratteristiche dell'involucro e dell'impianto di ventilazione presentate per i diversi anni di analisi, considerando come condizione di baseline l'anno 2021. A questo sistema edificio-impianto sono stati applicati le metodologie di calcolo contenute nella normativa nazionale UNI TS 11300, i cui risultati sono presentati qui di seguito:

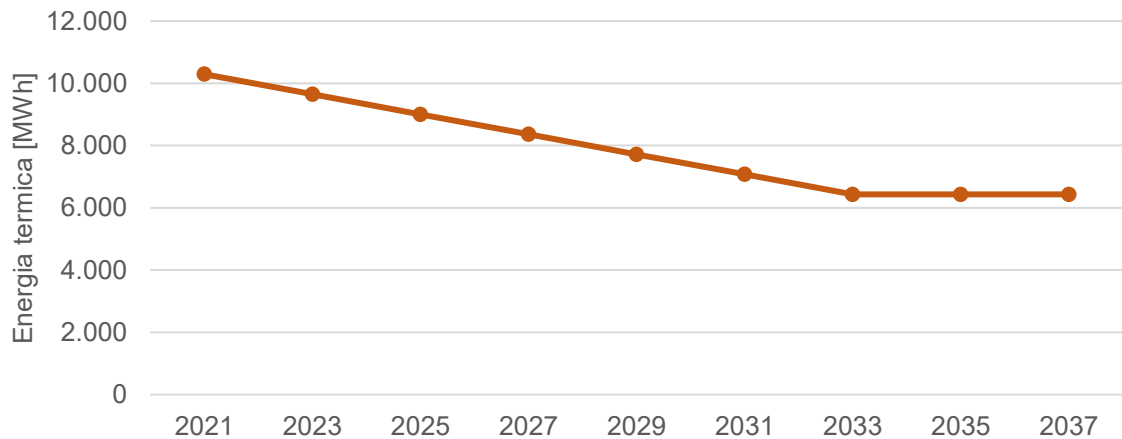


Figura 2 - Andamento fabbisogno energia utile invernale.

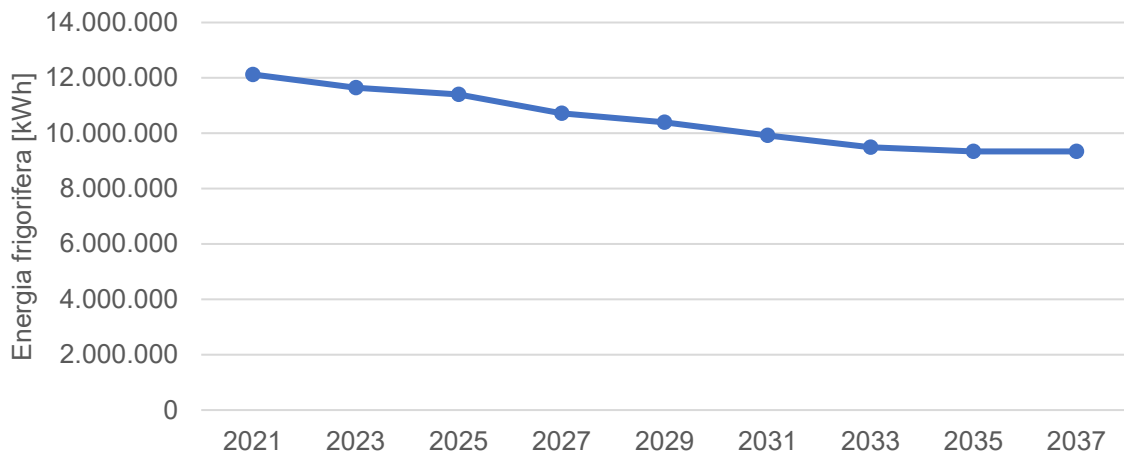


Figura 3 - Andamento fabbisogno energia utile estiva.

Una volta determinati i fabbisogni teorici di energia utile per le diverse stagioni di climatizzazione e per diversi anni di analisi, si sono calcolati i fattori di riduzione del consumo energetico come rapporto tra il fabbisogno di baseline (riferito all'anno 2021) e fabbisogno all'anno i-esimo di analisi, come di seguito mostrato:

$$f_{r,i-esimo} = \frac{\text{Fabbisogno anno}_{i-esimo}}{\text{Fabbisogno di baseline}}$$

dove  $f_{r,i-esimo}$  è il fattore di riduzione del fabbisogno di energia utile per l'anno i-esimo.

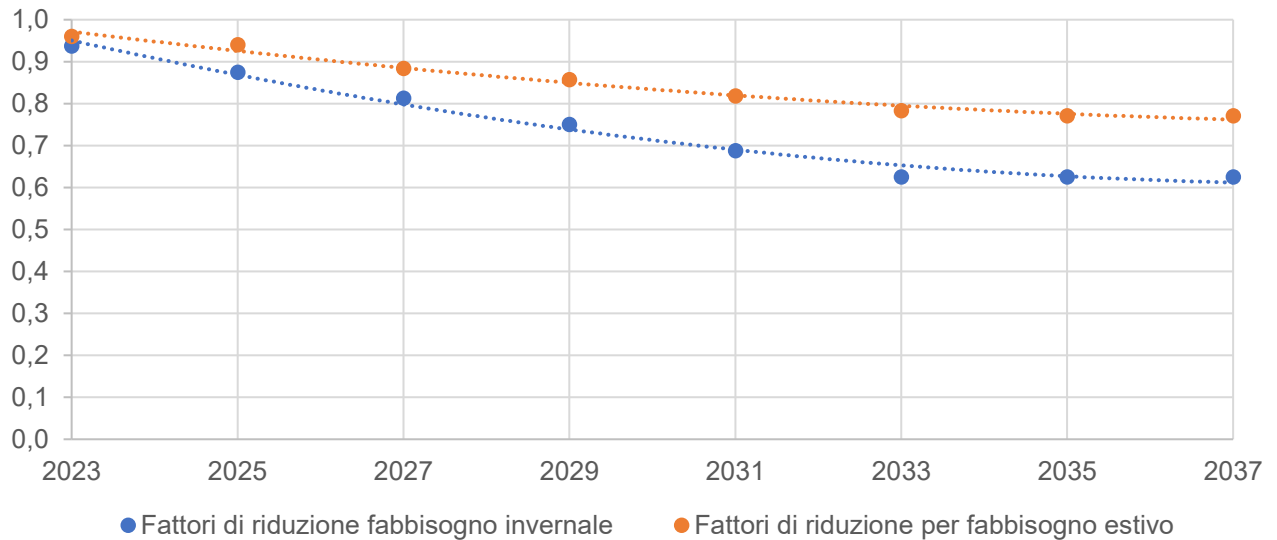


Figura 4 - Evoluzione fattore di riduzione consumo energetico (trasmissione + ventilazione).

Per gli edifici di nuova costruzione privi di ventilazione meccanica controllata si sono determinati i fattori con la sola influenza delle prestazioni dell'involucro ottenendo così dei valori di riduzione meno impattanti.

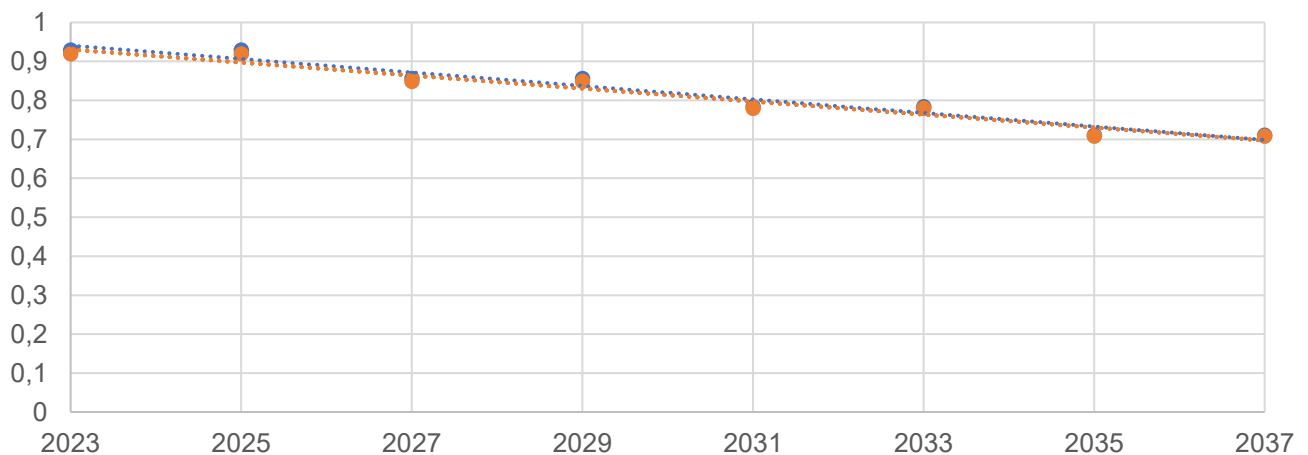


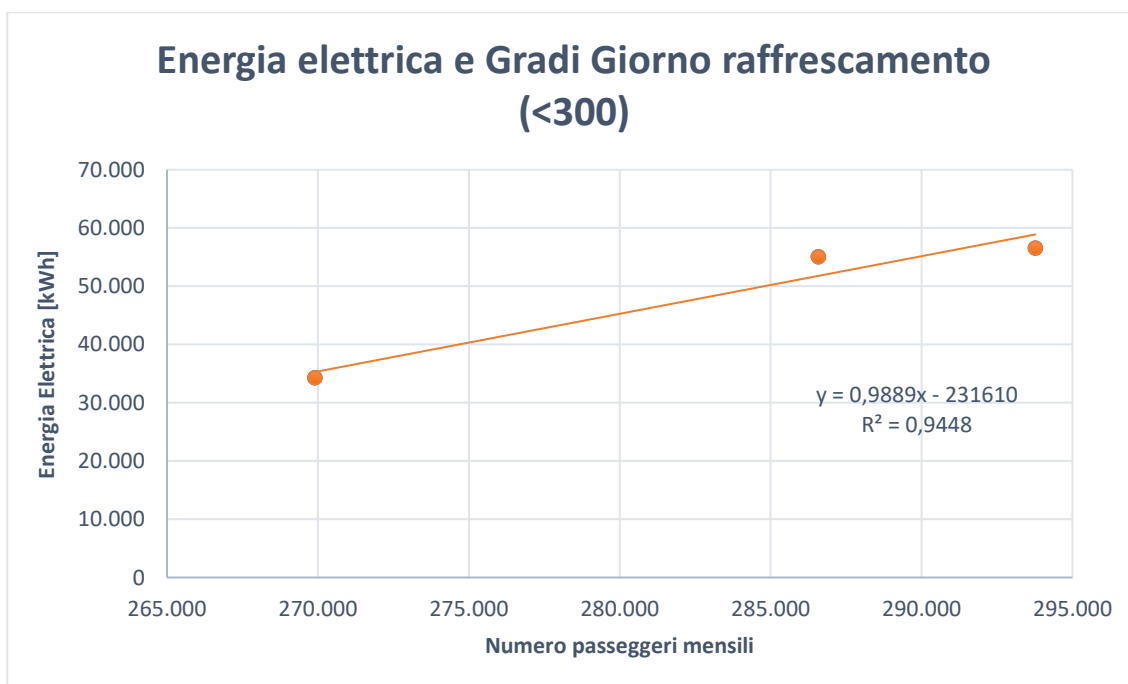
Figura 5 - Evoluzione fattore di riduzione consumo energetico (solo trasmissione).

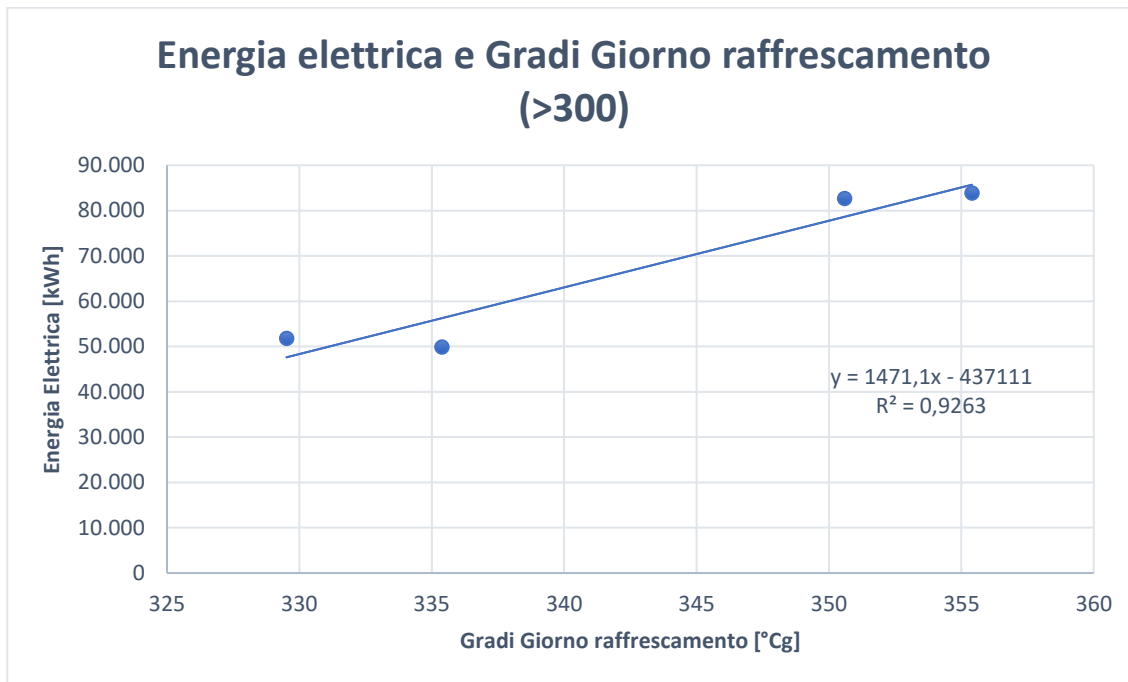
Una volta ottenuto il valore di tali fattori di aggiustamento è possibile determinare il consumo mensile di Gas Metano per il Nuovo Terminal. Nell'ottica di elettrificazione dei sistemi energetici si è convertito il consumo

di combustibile in consumo di energia elettrica utilizzando le seguenti assunzioni condivise con la committenza:

- Valore PCI gas metano pari a 9,94 kWh/Nm<sup>3</sup> (da UNI TS 1300:2 Tabella combustibili)
- Fattore di conversione in Sm<sup>3</sup> pari a 1,0549 Sm<sup>3</sup>/Nm<sup>3</sup>;
- Rendimento di generazione parco impiantistico esistente pari a 90%;
- Parco di generazione previsto costituito da pompe di calore geotermiche (SCOP 3,6 e SEER 4,5), gruppi frigoriferi condensati a torre (SEER 5) e pompe di calore ad aria (SCOP 3,5 e SEER 3).

Analogamente si è sviluppata l'analisi per il consumo di Energia elettrica con alcune distinzioni dovute ai servizi energetici alimentati. Infatti, in questo caso il consumo di energia nei mesi invernali rappresenta il consumo di base associabile all'alimentazione generale della Forza Motrice della Aerostazione, degli impianti di illuminazione e di tutti quei sistemi che sono normalmente utilizzati durante tutto l'anno, pertanto, i consumi associati ad essi possono essere considerati circa costanti. Per quanto riguarda il consumo di energia associabile al servizio di raffrescamento, da uno studio approfondito di correlazione statistica dei dati, è emerso che per i mesi estivi meno caldi (con indice di GG di raffrescamento minore di 300) il driver che comanda il consumo energetico è rappresentato dal numero di passeggeri, mentre, per i mesi più caldi (con indice di GG di raffrescamento maggiore di 300) il parametro resta la combinazione di GG di raffrescamento e volumetria climatizzata. Qui di seguito le correlazioni utilizzate:





A questo punto è possibile ricostruire il consumo mensile di energia elettrica per il servizio di raffrescamento secondo quanto indicato dalle seguenti equazioni e secondo la distinzione appena presentata:

Se  $GG_{\text{raff, mese } i} < 300 \text{ } ^\circ\text{Cg}$

$$C_{\text{mese},i} = C_{\text{base}} + a * Pax_{\text{rif, mese } i} + b \quad [\text{kWh}]$$

Dove:

$C_{\text{mese},i}$  consumo di Energia elettrica mese i-esimo;  $C_{\text{base}}$  consumo Energia elettrica di base; a coefficiente angolare relazione lineare e b intercetta relazione lineare ( $GG_{\text{raff mese } i} < 300$ );  $Pax_{\text{rif, mese } i}$  numero passeggeri previsto del mese i-esimo per l'anno di riferimento 2030.

Se  $GG_{\text{raff, mese } i} > 300 \text{ } ^\circ\text{Cg}$

$$C_{\text{mese},i} = (C_{\text{base}} + a * GG_{\text{rif, mese } i} + b) * \frac{V_{\text{NT}}}{V_{\text{NA}}} \quad [\text{kWh}]$$

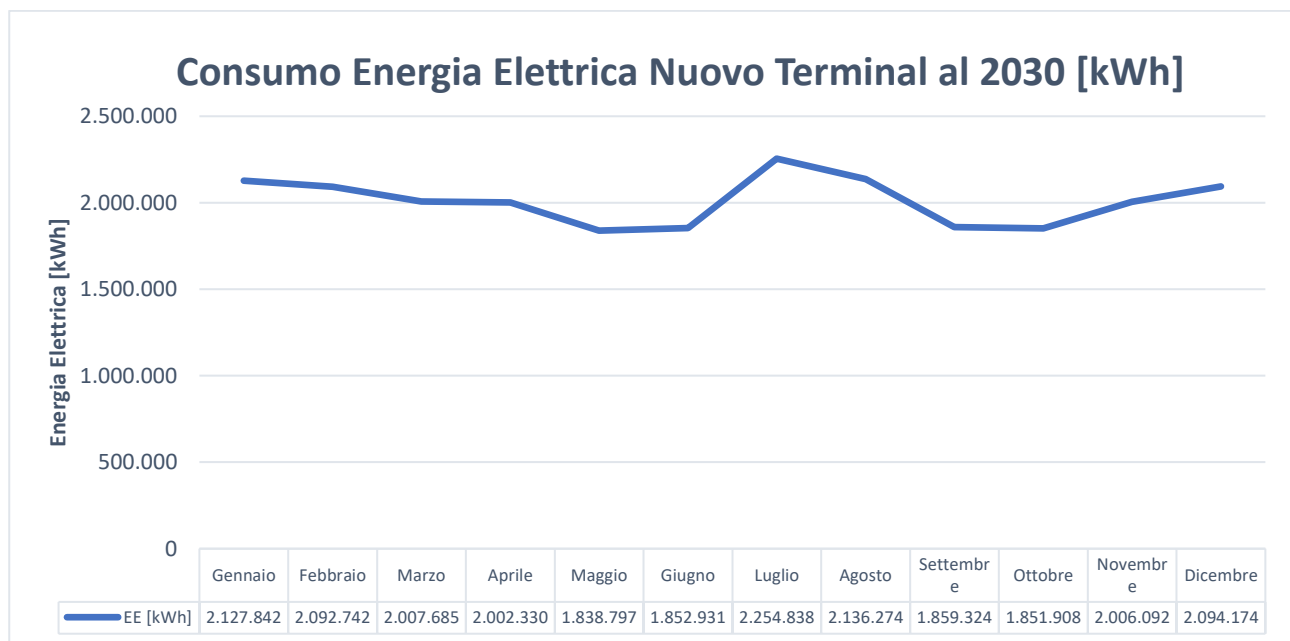
Dove:

$C_{\text{mese},i}$  consumo di Energia elettrica mese i-esimo;  $C_{\text{base}}$  consumo Energia elettrica di base; a coefficiente angolare relazione lineare e b intercetta relazione lineare ( $GG_{\text{raff mese } i} > 300$ );  $GG_{\text{rif, mese } i}$  Gradi Giorno raffrescamento di riferimento del mese i-esimo per le condizioni climatiche standard contenute nella UNI 10349:2016 per il comune di Sesto Fiorentino;  $V_{\text{NT}}$  volume nuovo Terminal e  $V_{\text{NA}}$  volume nuova Aerostazione..



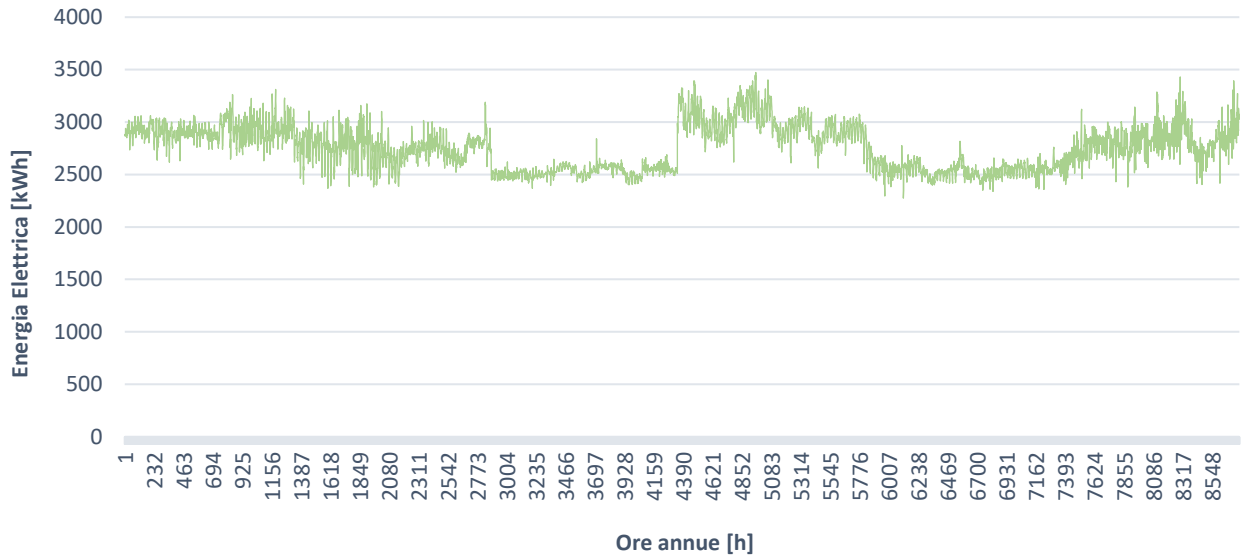
In seguito, il consumo di energia calcolata viene moltiplicata per il fattore di riduzione del fabbisogno estivo, così come indicato in precedenza. Infine, come ultimo passaggio, il consumo di energia viene poi attualizzato ai sistemi di generazione previsti per il parco tecnologico del Nuovo Terminal al 2030, in accordo con le ipotesi precedentemente mostrate.

Aggregati tutti i contributi per i diversi servizi previsti è possibile determinare il consumo mensile per il Nuovo Terminal con un assorbimento annuo stimato di energia elettrica di circa 24.124.937 kWh.



La determinazione della curva di carico oraria è stata effettuata utilizzando le distribuzioni orarie dei consumi monitorati di Terminal Aeroportuali di altre città, in accordo con la committenza. In questo modo è stato possibile determinare la curva di carico complessiva per il Nuovo Terminal per l'anno di riferimento 2030.

### Curva di carico Nuovo Terminal 2030



## 2.2.2 Altri edifici del Sedime Aeroportuale

In accordo con quanto previsto dai documenti di Masterplan 2035, all'interno del sedime aeroportuale sarà prevista la costruzione di diversi nuovi edifici localizzati nella zona Ovest dello spazio aeroportuale. Si presenta quindi la necessità di stimare il consumo di energia elettrica di queste utenze in accordo con quanto analizzato e calcolato ai capitoli precedenti. Si presenta qui di seguito una tabella riepilogativa degli edifici previsti dal programma di sviluppo aeroportuale:

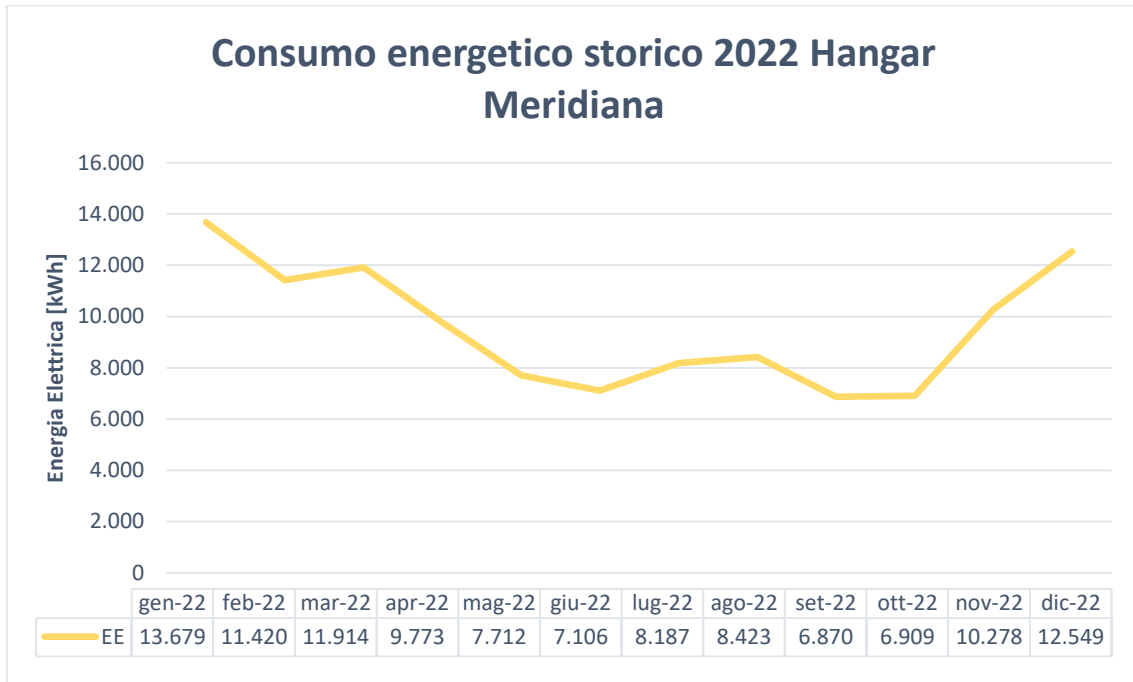
Codice	Denominazione
<b>C01</b>	Terminal Aerostazione
<b>C02</b>	Parcheggio Multipiano
<b>C03</b>	Hangar Aeroclub
<b>C04</b>	Aviazione Generale
<b>C05</b>	Hangar "A"
<b>C06</b>	Hangar "B"
<b>C07</b>	Hangar Officina Mezzi
<b>C08</b>	Edificio Catering
<b>C09</b>	Bilanciamento Vigili del Fuoco
<b>C10</b>	Edificio Logistica
<b>C11</b>	Locali Tecnici

Tabella 2 - Edifici di nuova costruzione secondo Masterplan 2035

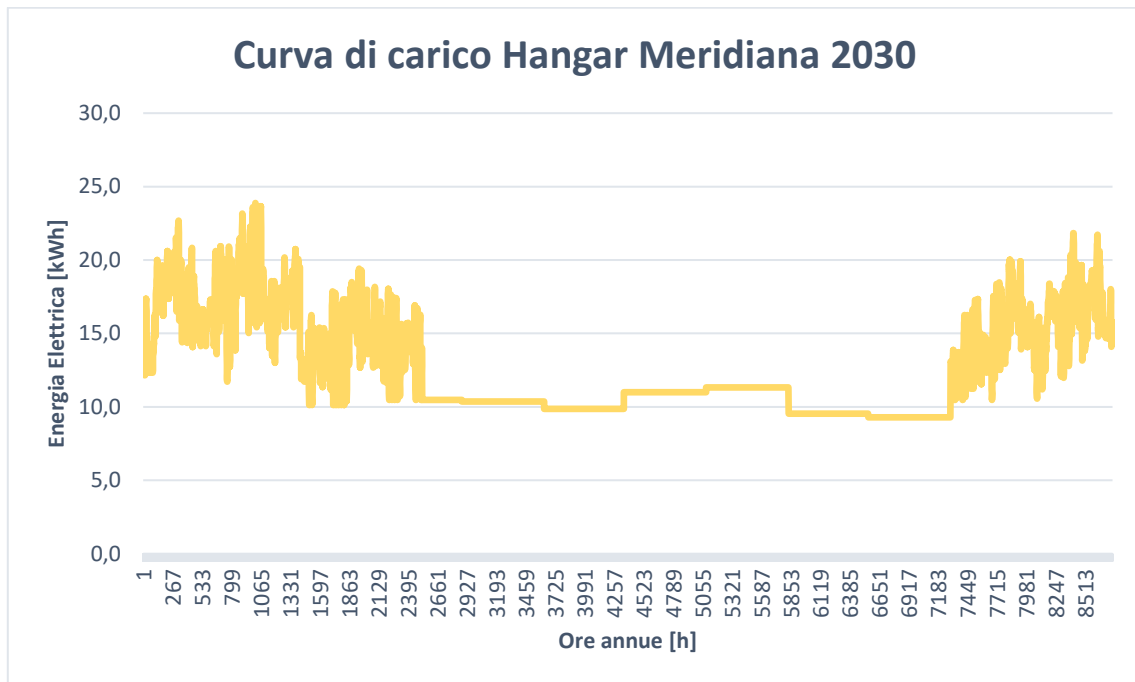
Ad eccezione del primo edificio trattato al capitolo precedente, si rende necessaria la stima delle curve di carico associate alle utenze in tabella, così da poter comprendere tali consumi ai bilanci energetici del sedime aeroportuale. In accordo con la committenza, per gli edifici con codice identificativo C07, C08, C09 e C10 si è parametrizzato il consumo calcolato per il Nuovo Terminal (C01) con i dati dimensionali preliminari dei nuovi edifici, così come ricevuti dai documenti del masterplan.

Per quanto riguarda invece gli edifici con codice identificativo C03, C04, C05 e C06 si è deciso di analizzare i consumi storici riferiti all'anno 2022 dell'edificio esistente denominato "Hangar Meridiana" e utilizzare tali

dati per la costruzione di un consumo di baseline delle altre utenze. Tale scelta può essere giustificata dal fatto che tali edifici sono concordi tal punto di vista della destinazione d'uso, pertanto, i consumi derivati dal loro utilizzo possono essere considerati coerenti tra loro.

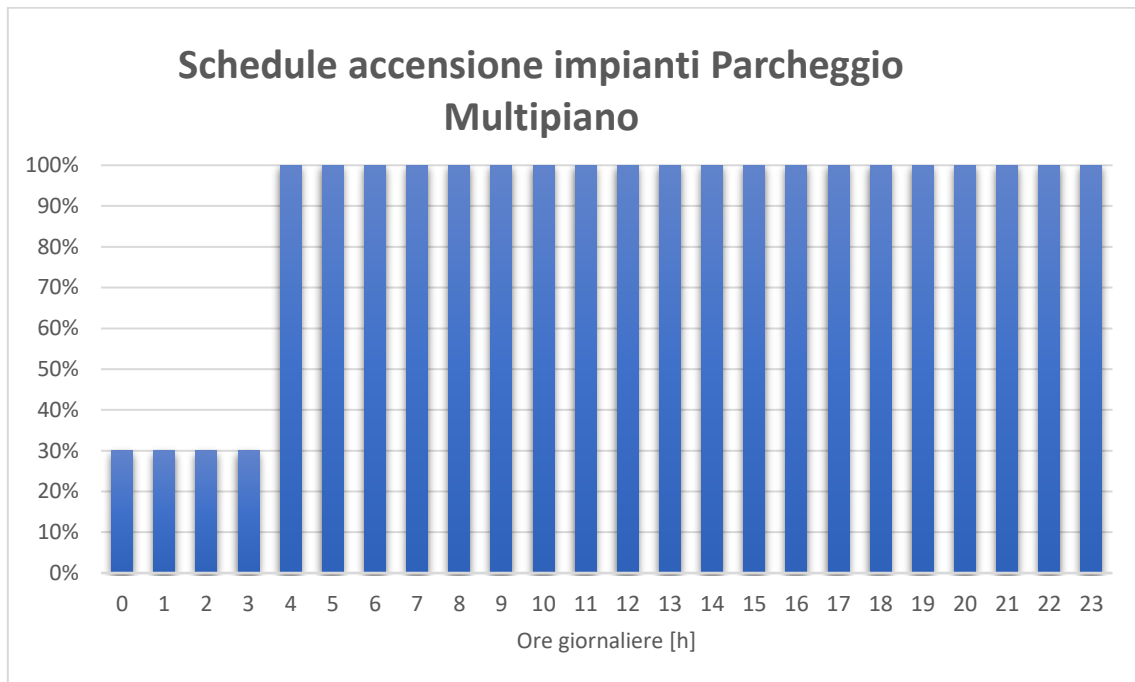


La metodologia di analisi dei consumi storici è la stessa applicata al paragrafo precedente per la Nuova Aerostazione, adattando ovviamente i parametri, i dati climatici e i coefficienti al sistema edificio-impianto Hangar. Da sottolineare come gli attuali Hangar non abbiano impianti di raffrescamento, pertanto, il consumo registrato è associabile ai soli servizi di riscaldamento, Forza Motrice, illuminazione e impianti tecnologici generali adibiti alla corretta fruibilità degli spazi interni. Si è così ottenuta la curva di carico di riferimento (anno 2030) per l'Hangar Meridiana da utilizzare come fonte di dati per la parametrizzazione delle utenze presentate in precedenza.



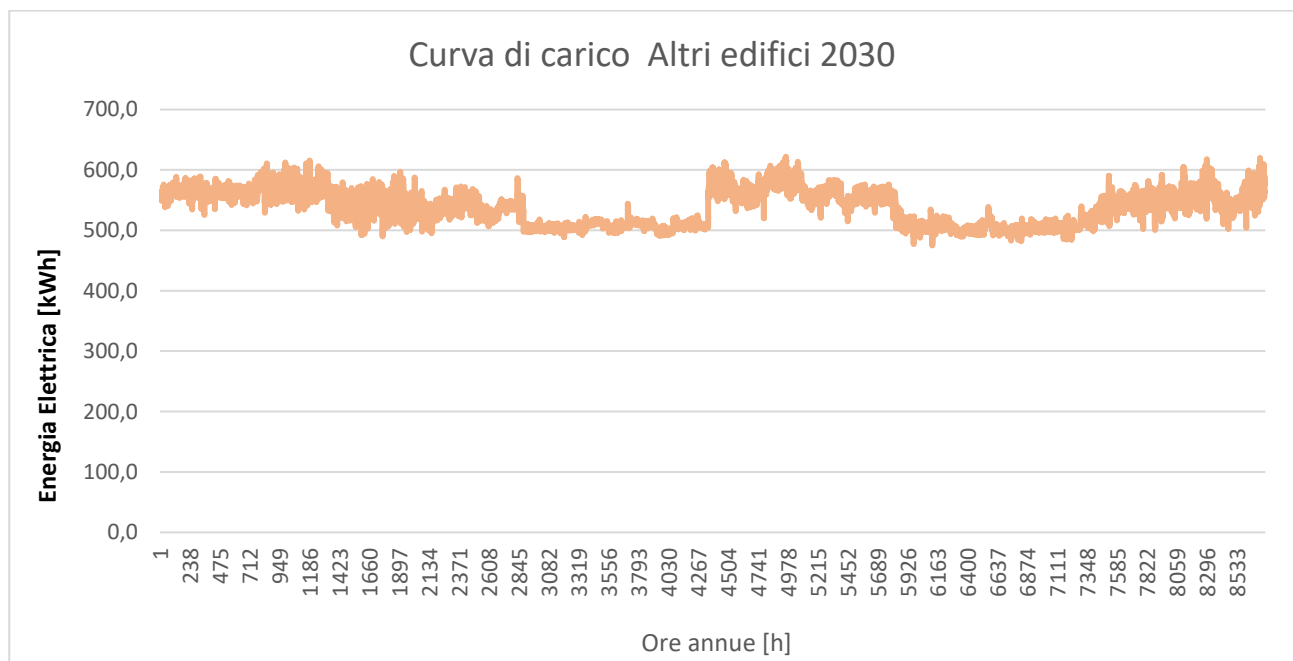
Per quanto riguarda invece l'edificio denominato "Locali Tecnici" (C11), dopo una prima stima e considerazione sulle possibili utenze considerate e simulate si è deciso di non costruire una curva di carico ad hoc, in quanto risulterebbe non solo insignificante rispetto l'ammontare dei kWh utilizzati dalle altre utenze ma soprattutto poco significativa del reale utilizzo caratterizzante il Sedime Aeroportuale e gli edifici accessori al normale funzionamento dell'aeroporto.

Come successivo step di analisi si è affrontata la stima dei consumi energetici del nuovo parcheggio Multipiano (C02) previsto a supporto dei parcheggi scoperti al servizio del Nuovo Terminal. In assenza di dati storici di consumo, si è proceduto con l'analisi dei dati di progetto di infrastrutture simili, con lo scopo di determinare una potenza elettrica installata per m<sup>2</sup> di parcheggio disponibile. Per gli impianti tecnologici a servizio del multipiano, tra i quali i più rilevanti dal punto di vista energetico sono l'impianto di illuminazione, impianto di controllo e sorveglianza, impianto di accesso e segnaletica e impianto di sicurezza e antincendio, si è determinata una potenza installata per area di circa 8 W/m<sup>2</sup>. La schedule di accensione di tali impianti ha seguito le ore di apertura del Terminal aeroportuale con una attenuazione notturna dovuta a esigenze di sicurezza; qui di seguito si mostrano le ore di accensione:



La simulazione energetica per l'anno di riferimento ha portato alla stima di circa 1.392.840 kWh di energia elettrica assorbita.

Una volta ottenute le curve di carico per ogni edificio della Tabella a inizio capitolo si è potuto ottenere la curva di carico complessiva Altri edifici per l'anno di riferimento 2030 qui di seguito mostrata, con un assorbimento annuo stimato di 4.719.839 kWh.



### 2.2.3 Ground Support Equipment (GSE)

Alla luce dei possibili sviluppi che coinvolgeranno l'aeroporto "Amerigo Vespucci", un importante centro di consumo da considerare nella seguente analisi è l'elettrificazione dei sistemi di supporto per gli aeroplani in sosta denominato Ground Support Equipment (GSE). Tali sistemi ad oggi sono alimentati da combustibili fossili e rappresentano non solo un importante servizio che il sedime aeroportuale assicura ai velivoli in transito ma anche un sistema energivoro che attualmente non è in linea con le tecnologie presenti nel mercato. Nell'ottica, dunque, di abbattimento non solo dei consumi energetici dai combustibili tradizionali, ma anche nella volontà dell'Aeroporto di ridurre considerevolmente le emissioni dirette di gas climalteranti, si è sviluppata un'analisi dei fabbisogni energetici che i nuovi sistemi avranno all'anno di riferimento 2030, considerando la conversione del parco di supporto con nuove tecnologie ad alimentazione elettrica, qui di seguito elencate:

Item
GPU
Cobus
Cars
Ambulift
Airstairs
Lavatory truck
Water truck
ACU
Aircraft Starter Unit (ASU)
De Icing
Snow Sweeper
Sweeper
Container Loader

---

Push-back

Dolly

Belt Loader

---

*Tabella 3 - Ground Support Equipment (GSE)*

Il consumo totale annuo, riferito agli anni attuali, fornito dalla committenza e diviso per tipologia di servizio ammonta a 212.223 l di diesel. Tale consumo è stato convertito in consumo elettrico considerando le seguenti assunzioni:

- Potere calorifico Superiore PCI del gasolio assunto pari a 11,87 kWh/kg così come indicato nella tabella dei combustibili del Prospetto B1 della UNI TS 11300 parte 2;
- Densità del gasolio assunta pari a 832,5 kg/m<sup>3</sup>, così come indicato dalla Tabella 4.6 del Rapporto ISPRA sui combustibili commerciali 2021;
- Rendimento medio del motore endotermico pari a 0,4 e del motore elettrico pari a 0,8;

Sulla base delle precedenti ipotesi si è determinato un consumo di energia elettrica pari a 831.589 kWh. Tale consumo è stato poi suddiviso mensilmente sulla base dei movimenti indicati da Assaeroporti per l'anno 2019. In accordo con quanto indicato sulle previsioni di aumento del traffico aereo nei documenti del Masterplan 2035, si è aumentato percentualmente il consumo dei GSE fino ad ottenere per l'anno di riferimento (2030) un assorbimento elettrico di 1.241.715 kWh. La distribuzione oraria di consumo è stata effettuata considerando i movimenti medi giornalieri in accordo con le previsioni del Masterplan e una distribuzione media costante all'interno dell'orario operativo dei voli dalle 06:00 alle 23:59, così come indicato dal sito ufficiale dell'Aeroporto (<https://www.toscana-aeroporti.com/home/azienda/dati-tecnici.html>).

## 2.2.4 Aiuti Visivi Luminosi (AVL)

Il sistema costituito dagli Aiuti Visivi Luminosi (AVL) rappresenta un centro di consumo energetico rilevante e sicuramente non trascurabile. In previsione alla costruzione della nuova pista con grandezze dimensionali superiori a quella attuale, si è deciso di valutare i consumi elettrici dei nuovi impianti all'anno di riferimento del 2030. In accordo con questo, è stata ricevuta dalla committenza una tabella riepilogativa degli elementi previsti per la nuova pista con denominazione, potenza elettrica nominale e quantità previste. Si presenta qui di seguito gli elementi principali considerati:



Commercial Name	Power for each Fixture	Quantity of Fixtures
-	[W]	N°
LIRC	32,00	294
LERE	29,00	69
LIRE	65,00	13
LIRE	62,00	0
LITC	7,00	1.543
LITC	12,00	4
LETE	6,00	321
LITC	7,00	37
LIRN	18,00	14
LIRT	36,00	51
LIRD	16,00	361
LERA	38,00	439
LEFL	77,00	66
PAPI	216,00	8

Tabella 4 - Elementi costituenti l'impianto di Aiuti Visivi Luminosi (AVL)

La previsione di consumo ha considerato le ore notturne come ore previste di accensione continuativa mentre per le ore diurne un tempo di accensione medio giornaliero di 6 ore. Sulla base di queste considerazioni e dopo aver ottenuto la potenza elettrica totale installata (comprensiva di potenze elettriche elementi accessori, rendimento di sistemi di conversione e perdite di distribuzione) pari a circa 89,45 kW, si è potuto calcolare un consumo annuo stimato di 447.442 kWh. Tale consumo è stato confrontato con dei valori di benchmark ottenuti da analisi affini per l'Aeroporto di Venezia e per l'Aeroporto di Treviso. In particolare, parametrizzando il consumo sulla base della lunghezza di pista è stato ottenuto un indice di circa 250 kWh/m, mentre normalizzando tale valore sul numero di passeggeri annui si ottiene circa 0,17 kWh/pax. Analogamente applicando tali indicatori al caso in esame si è ottenuto 248,6 kWh/m di pista e 0,15 kWh/pax, valori assolutamente coerenti con gli altri aeroporti analizzati.

### 2.2.5 Electric Vehicle Charging (EVC)

Un ultimo centro di consumo energetico analizzato e sviluppato prevede la stima dell'assorbimento elettrico previsto dalle colonnine di ricarica delle auto elettriche. Secondo quanto riportato nel Piano Nazionale Integrato di Energia e Clima (PNIEC) nel 2030 il parco automobilistico circolante che ammonterà a circa 37 milioni di vetture sarà costituito da circa 1,6 milioni di auto full electric e 4,5 milioni di ibride; tali auto richiederanno un'infrastruttura di ricarica capace di soddisfare almeno in parte il fabbisogno richiesto. In accordo con il Masterplan 2035, si prevede la realizzazione di colonnine di ricarica nei nuovi parcheggi

scoperti e nel parcheggio multipiano previsto dal nuovo progetto. Ipotizzando che il 40% dei passeggeri totali (5.000.000) per l'anno 2030 arriveranno in macchina in aeroporto e che mediamente ogni macchina conterrà due persone, si evince che nel sedime aeroportuale sopraggiungeranno circa 278 autovetture elettriche al giorno, mantenendo lo stesso rapporto tra auto elettriche e parco automobilistico indicato nel PNIEC.

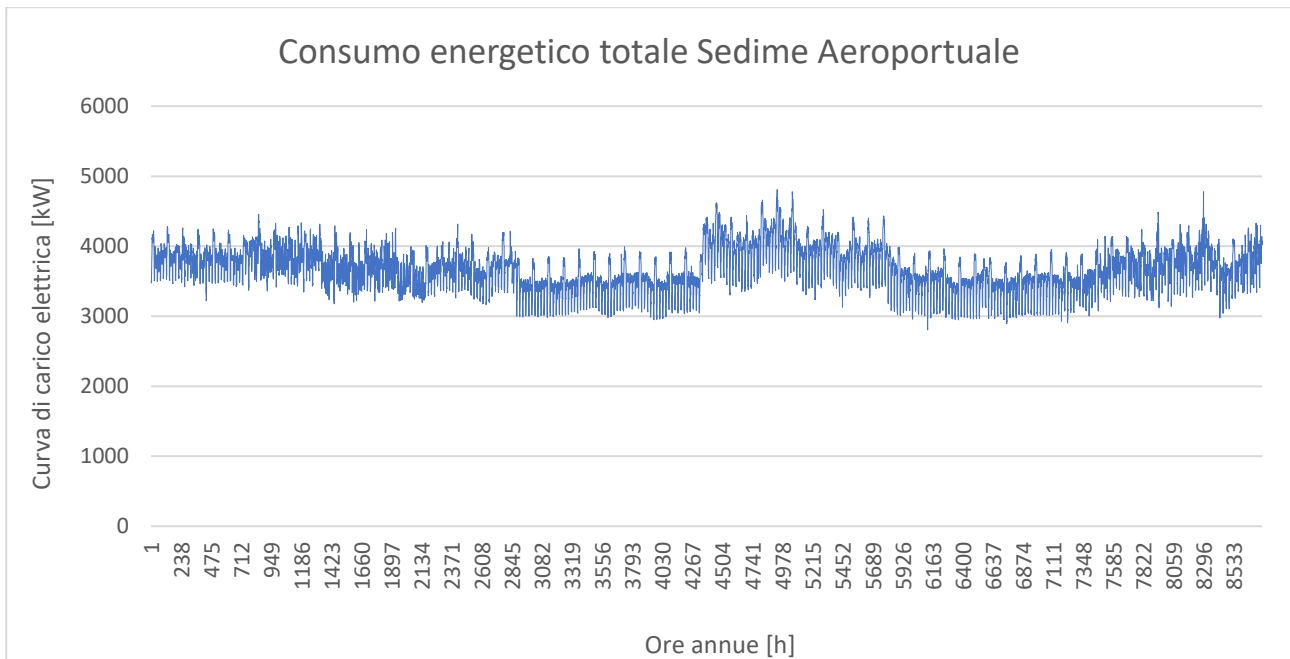
Considerando i nuovi spazi adibiti a parcheggi, si è ipotizzata l'installazione di n°104 postazioni di ricarica elettriche (10% rispetto il numero totale di posteggi), rispettando in questo modo le indicazioni contenute nel Decreto legislativo 257/2016. Considerando una sosta media di 5 giorni per auto parcheggiata, si capisce che mediamente tutti gli stalli disponibili del parcheggio saranno utilizzati e che il limite superiore di assorbimento elettrico è rappresentato dal numero di colonnine installate. Dal punto di vista elettrico, si è considerata una potenza nominale installata di 22 kW per colonnina, una capacità di accumulo della batteria della macchina di 60 kWh in linea con le attuali prestazioni di mercato e una ricarica richiesta del 75%. Per evitare picchi di potenza nel caso di allacci contemporanei, si è considerato un limitatore di potenza al 50%, normalmente previsto in progetti di uguale tipologia.

EV	Motore	Pacco batterie	Caricabatterie	Connettore
Renault Zoe	80-100 kW	22<->41 kWh	22 kW ca (46 kW cc)	T2 (Combo)
BMW ID.3	150 kW	45<->77 kWh	11 kW ca (100 kW cc)	T2 (Combo)
Tesla Model 3	225 kW	75 kWh	11 kW ca 250 kW cc	T2 Combo
FIAT 500	70-85 kW	24<->42 kWh	11 kW 85 kW cc	T2 Combo

Figura 6 - Capacità di accumulo modelli di autoveicoli.

Considerando infine un range temporale di arrivo in aeroporto dalle 6:00 alle 21:00, si sono definiti 15 turni di arrivo da 7/6 macchine elettriche che si allacciano al numero totale di colonnine. In questo modo è stato possibile definire uno scenario tipo di ricarica con determinazione della potenza elettrica richiesta e sviluppato per tutto l'anno un assorbimento energetico di 341.640 kWh.

## 2.2.6 Curva di carico complessiva



## 3. Producibilità impianto fotovoltaico

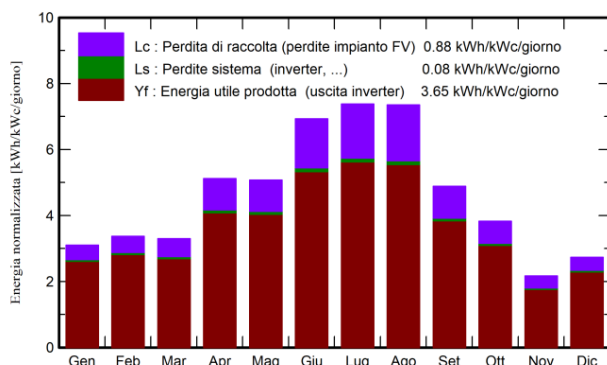
Per il progetto ed il sito in oggetto, sono stati utilizzati per l'elaborazione statistica della stima di radiazione solare, dati meteo del database PVGIS api TMY. Stabilita la disponibilità solare e le perdite dell'impianto, è possibile calcolare la producibilità di energia elettrica annua. Il calcolo è stato effettuato mediante software PV Syst, versione 7.2.19, di cui si allega report completo della simulazione.

I risultati dell'analisi condotta sono riassunti nella tabella sotto. In base ai parametri impostati per le relative perdite d'impianto, ai componenti scelti (moduli e inverter) e alle condizioni meteorologiche del sito in esame, si è inoltre potuto calcolare l'indice di PR a livello dei punti di consegna in corrispondenza della connessione in MT nella sottostazione AT/MT. I risultati ottenuti sono in linea con le prestazioni dimostrate da impianti fotovoltaici di simile fattura dislocati in zone vicine e giustificano ampiamente la fattibilità del progetto.

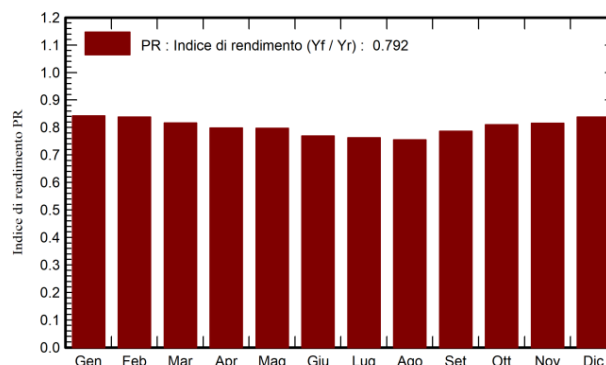
**CALCOLI DI PROGETTO**

Denominazione impianto	Fotovoltaico Aeroporto di Firenze
Potenza di picco fotovoltaica	13.939,56 kWp
Irraggiamento medio annuo sul piano orizzontale	1.463,1 kWh/m <sup>2</sup>
Irraggiamento medio annuo sul piano dei moduli	1.682,9 kWh/m <sup>2</sup>
Producibilità annua	<b>18.583 MWh</b>
Producibilità specifica	1.333 kWh/kWp
Performance Ratio (PR)	79.22%

**Produzione normalizzata (per kWp installato)**



**Indice di rendimento PR**



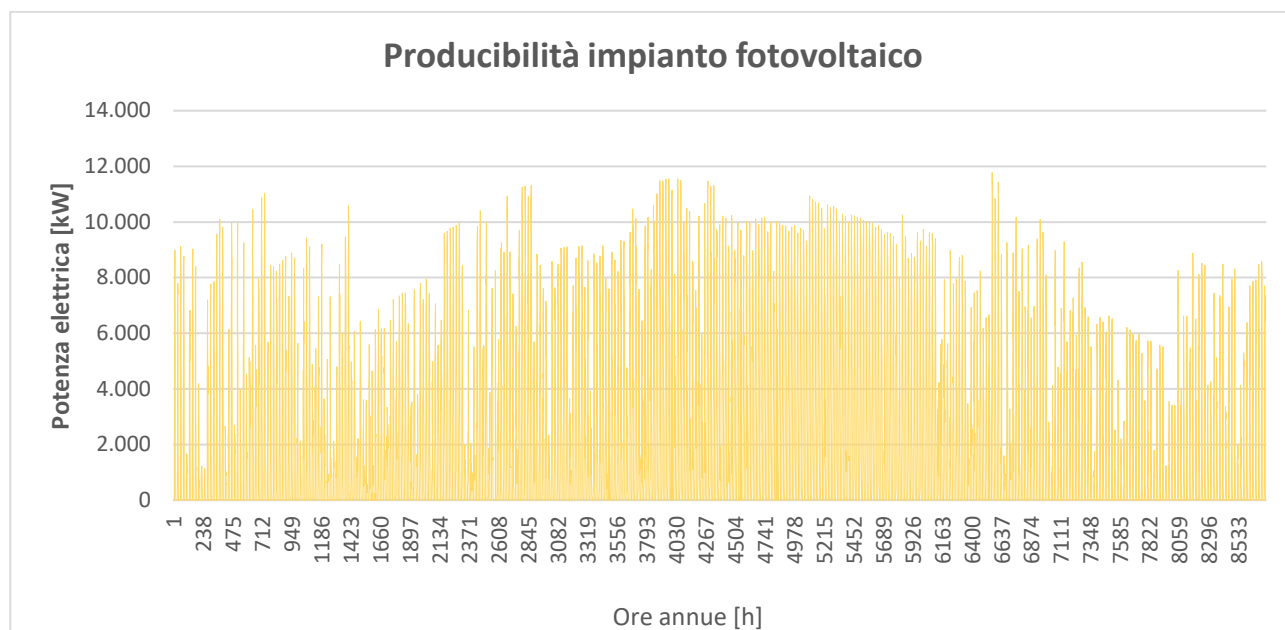
**Bilanci e risultati principali**

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	MWh	MWh	ratio
<b>Gennaio</b>	54.8	20.44	2.53	96.2	92.0	1155	1129	0.843
<b>Febbraio</b>	66.8	30.64	1.65	94.2	90.1	1126	1100	0.838
<b>Marzo</b>	87.3	47.88	7.72	102.2	97.7	1190	1164	0.816
<b>Aprile</b>	142.3	59.94	11.17	153.5	146.5	1746	1709	0.799
<b>Maggio</b>	156.7	79.53	14.23	157.3	150.1	1786	1748	0.797
<b>Giugno</b>	212.5	73.85	21.22	208.0	198.7	2278	2230	0.769
<b>Luglio</b>	227.2	68.64	23.65	228.7	218.5	2483	2432	0.763
<b>Agosto</b>	208.4	56.56	25.61	227.9	218.0	2449	2399	0.755
<b>Settembre</b>	124.4	55.97	19.06	146.7	140.4	1642	1607	0.786
<b>Ottobre</b>	88.0	40.33	12.29	118.6	113.3	1367	1338	0.810
<b>Novembre</b>	45.5	27.10	11.91	64.9	62.0	757	738	0.815
<b>Dicembre</b>	49.1	23.64	5.14	84.7	81.0	1012	990	0.838
<b>Anno</b>	1463.1	584.51	13.08	1682.9	1608.4	18990	18583	0.792

**Legenda**

GlobHor	Irraggiamento orizzontale globale	EArray	Energia effettiva in uscita campo
DiffHor	Irraggiamento diffuso orizz.	E_Grid	Energia immessa in rete
T_Amb	Temperatura ambiente	PR	Indice di rendimento
GlobInc	Globale incidente piano coll.		
GlobEff	Globale "effettivo", corr. per IAM e ombre		

Per poter effettuare l'analisi energetica del sistema utenza-impianto si è distribuita la producibilità dell'impianto fotovoltaico progettato con time step orari, così da poter essere confrontati con le curve di carico precedentemente presentate. In particolare, si è utilizzato il database di PVGIS che rende disponibili i dati di irraggiamento orario per una località scelta (TMY) su cui basare la distribuzione oraria. Qui di seguito si mostra l'andamento orario della produzione fotovoltaica:



## 4. Simulazione energetica

La simulazione energetica condotta per il sistema utenza-impianto combina in bilanci energetici su time step orari i dati di fabbisogno energetico del Sedime Aeroportuale, così come calcolati e mostrati al capitolo 2.1.6, e i dati di producibilità oraria del capitolo 3. In questo modo, per ogni ora dell'anno di riferimento (2030), è possibile calcolare la quantità di energia che viene rispettivamente autoconsumata, ceduta in rete o prelevata dalla rete per coprire il fabbisogno energetico dell'aeroporto.

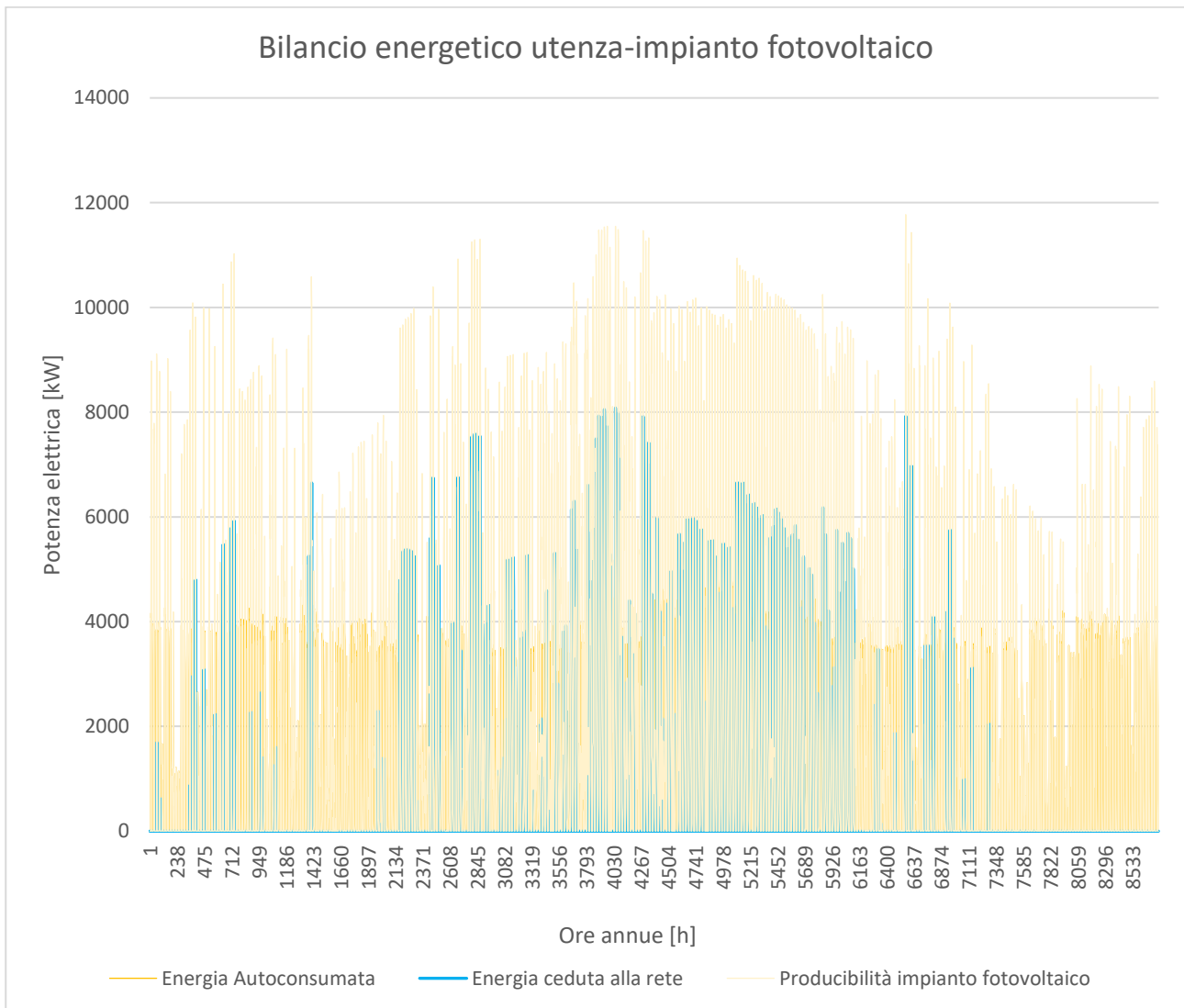
Come ulteriore passo, dalla stessa matrice di calcolo è possibile abbinare degli accumulatori per immagazzinare l'energia che altrimenti verrebbe ceduta in rete, per poterla utilizzare nel momento il cui la produzione diretta dell'impianto non sopperisce al fabbisogno dell'aeroporto.

Sulla base dei risultati ottenuti si mostra come l'impianto fotovoltaico abbinato ad accumuli sia in grado di coprire il 47% del fabbisogno energetico complessivo, con un prelievo dalla rete che ammonta dunque al 53%.

Simulazione sistema			A	B	C	D
MW FV	N°pannelli	MWh acc.				
<b>13.940</b>	<b>25.814</b>	<b>13.940</b>	<b>82%</b>	<b>15%</b>	<b>47%</b>	<b>53%</b>
		0	63%	37%	36%	64%

Dove:

- A. Percentuale energia autoconsumata;
- B. Percentuale energia ceduta in rete;
- C. Copertura fabbisogno energetico da fotovoltaico;
- D. Copertura fabbisogno energetico da rete.



Dal punto di vista dell'impianto fotovoltaico, la percentuale di energia autoconsumata ammonta a circa l'82%, per contro quella ceduta in rete è il 15%. La restante quota è dissipata per i cicli di carica/scarica degli storage. Rispetto all'assenza dei sistemi di accumulo, l'autoconsumo è incrementato di un 19%.

Il dimensionamento del sistema è frutto di una scelta basata su diverse simulazioni energetiche, in cui variando il numero di pannelli installati si ha registrato la variazione dei seguenti indicatori prestazionali:

- A. Percentuale energia autoconsumata;
- B. Percentuale energia ceduta in rete;
- C. Copertura fabbisogno energetico da fotovoltaico.

**Simulazione taglie diverse**

**A**

**B**

**C**

Scenario	MW	MWh			
<b>1</b>	<b>13.940</b>	<b>27.879</b>	<b>63%</b>	<b>37%</b>	<b>36%</b>
<b>2</b>	10.800	21.600	75%	25%	33%
<b>3</b>	8.100	16.200	88%	12%	29%
<b>4</b>	6.750	13.500	94%	6%	26%
<b>5</b>	5.400	10.800	99%	1%	22%
<b>6</b>	2.700	5.400	100%	0%	11%

Tabella 5 - Indicatori prestazioni impianto fotovoltaico

Come si evince dai risultati ottenuti, al diminuire della potenza di picco dell'impianto aumenta la percentuale di energia autoconsumata, al contrario diminuisce la copertura del fabbisogno energetico dell'utenza. Analogamente, per la scelta degli accumuli sono state simulate diverse taglie così legate alla dimensione del fotovoltaico:

Simulazione taglie diverse			A	B	C
Scenario	% taglia FV	MWh			
<b>1</b>	300%	41.819	95%	1%	55%
<b>2</b>	275%	38.334	95%	1%	55%
<b>3</b>	250%	34.849	95%	1%	55%
<b>4</b>	225%	31.364	94%	2%	54%
<b>5</b>	200%	27.879	93%	4%	53%
<b>6</b>	175%	24.394	91%	6%	52%
<b>7</b>	150%	20.909	88%	8%	51%
<b>8</b>	125%	17.424	85%	12%	49%
<b>9</b>	<b>100%</b>	<b>13.940</b>	<b>82%</b>	<b>15%</b>	<b>47%</b>
<b>10</b>	75%	10.455	78%	20%	45%
<b>11</b>	50%	6.970	74%	25%	42%
<b>12</b>	25%	3.485	68%	31%	39%

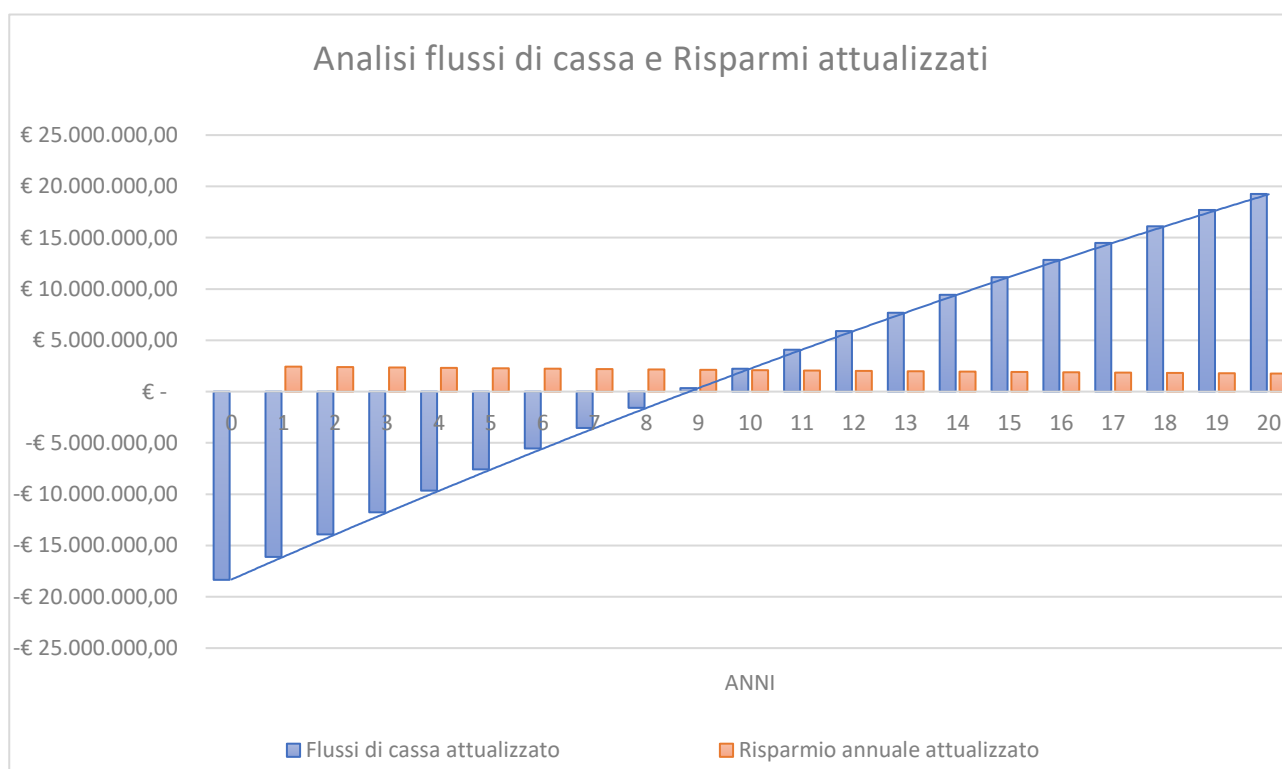
\*la percentuale mancante al 100% tra A e B è energia dissipata nei cicli di carica e scarica



## 5. Simulazione economico-finanziaria

Per lo scenario individuato, si sono considerati i seguenti valori:

Campo	Valore	U.d.m.
Costo energia elettrica	0,15	€/kWh
Remunerazione GSE	0,06	€/kWh
Investimento totale	18.346.166	€
Manutenzione annua	198.262	€
Tasso di interesse	4,25	%
Tasso di inflazione	3,00	%
Tasso di interesse reale	1,21	%
Svalutazione annua produzione fotovoltaica	0,50	%



## 6. Conclusioni

Da un punto di vista di sostenibilità economica dell'intervento, maggiore è la percentuale di energia autoconsumata (più piccolo è l'impianto), migliori saranno i parametri economico-finanziari dello scenario analizzato. È anche vero, tuttavia, che nell'ottica di una decarbonizzazione delle utenze energetiche del Sedime Aeroportuale, unita a una generale elettrificazione degli impianti tecnologici, è auspicabile l'installazione di un impianto fotovoltaico con potenza di picco più elevata possibile, in accordo con le limitazioni tecnologiche e logistiche del caso in esame. La scelta, quindi, ricade su un buon compromesso che garantisca la maggior copertura possibile in accordo con investimento ed un ritorno economico accettabile.