



Enel Produzione S.p.A.



GRE CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00

PAGE

1 di/of 28

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# IMPIANTO FOTOVOLTAICO FLOTTANTE PRESENZANO INFERIORE

Presenzano (CE)

42,678 MWdc – 35,640 MWac

Progetto definitivo per autorizzazione

Studio Evaporazione

File: GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	19/04/2024	Prima emissione	A. Ottoboni	E. Bronzini	P. Polinelli

## GRE VALIDATION

COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY
---------------	-------------	--------------

PROJECT / PLANT	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION								
Presenzano Inferiore	GRE	EEC	R	2	7	I	T	P	1	4	4	5	6	0	0	0	2	9	0	0

CLASSIFICATION	Public	UTILIZATION SCOPE	Progetto definitivo per autorizzazione
----------------	--------	-------------------	--

This document is property of Enel Produzione S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Produzione S.p.A.



Enel Produzione S.p.A.



GRE CODE

**GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00**

PAGE

2 di/of 28

## INDEX

1. INTRODUZIONE .....	3
2. RACCOLTA E PROCESSAMENTO DEI DATI CLIMATICI.....	4
2.1. Dati disponibili .....	4
2.1.1. Temperatura.....	4
2.1.2. Vento.....	6
2.1.3. Radiazione Solare .....	7
2.1.4. Umidità .....	8
2.2. Analisi ed integrazione dei dati.....	9
3. VALUTAZIONE DELL'EVAPORAZIONE DAL BACINO DI PRESENZANO .....	12
3.1. Approccio metodologico .....	12
3.2. FORMULA DI DRAGONI E VALIGI.....	12
3.3. FORMULA DI VISENTINI.....	13
3.4. FORMULA DI PENMAN .....	14
3.5. Stima dell'evaporazione DEL BACINO DI PRESENZANO .....	15
3.5.1. STIMA DELL'EVAPORAZIONE MENSILE MEDIA .....	16
3.5.2. Calcolo dei volumi mensili medi di evaporazione .....	17
4. ANALISI DELLA DIMINUZIONE DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE .....	20
4.1. Studio di letteratura tecnica tematica sull'impatto di pannelli flottanti sulle dinamiche di evaporazione .....	20
4.2. Valutazione della diminuzione delle perdite per evaporazione.....	23
4.3. Valutazione del risparmio energetico associato alla riduzione delle perdite per evaporazione	25
5. CONCLUSIONI .....	26
6. REFERENZE .....	28



Enel Produzione S.p.A.



GRE CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00

PAGE

3 di/of 28

## 1. INTRODUZIONE

Lo scopo del presente studio è valutare la diminuzione delle perdite per evaporazione dal Bacino di Presenzano dovuta alla presenza dell'impianto fotovoltaico flottante in fase di progettazione.

In mancanza di strumenti a terra di misura, il calcolo dell'evaporazione da specchi d'acqua può essere effettuato seguendo diversi approcci, siano essi empirici e utilizzati in specifiche aree o fisicamente basati.

Verificata l'effettiva mancanza di misure a terra, nel presente studio sono stati valutati ed utilizzati sia approcci empirici già utilizzati in aree simili a quella di interesse, in Italia, che approcci fisicamente basati, in funzione dei dati climatici effettivamente raccolti, secondo lo stato dell'arte e quanto proposto dalla letteratura scientifica.

Il primo step della metodologia applicata ha visto la raccolta ed il processamento dei dati climatici disponibili nell'area di studio, al fine di identificare un dataset rappresentativo della situazione climatologica media. I dati raccolti sono poi stati utilizzati per l'applicazione delle formulazioni prese in esame per il calcolo della stima dell'evaporazione dal Bacino di Presenzano. Il risultato dell'analisi ha fornito una valutazione dell'evaporazione media, su base mensile, che è stata correlata con l'estensione della superficie del bacino, in modo da stimarne il volume medio di evaporazione.

Infine, è stata presa in esame la letteratura tecnica relativa all'impatto di pannelli flottanti sulle dinamiche di evaporazione per poter stimare la diminuzione delle perdite dovuta alla presenza dell'impianto, in termini di volume d'acqua.

Le analisi ed i calcoli effettuati sono stati basati su ricerche bibliografiche, dati statistici e calcoli empirici e sperimentali per cui i risultati ottenuti devono intendersi come indicativi.

## 2. RACCOLTA E PROCESSAMENTO DEI DATI CLIMATICI

### 2.1. DATI DISPONIBILI

I dati utilizzati per lo studio e la stima dell'evaporazione sono stati raccolti da due fonti:

- la stazione meteorologica di Presenzano<sup>1</sup> (installata nel Giugno del 2003 e dismessa nel Febbraio del 2017), i cui dati sono stati scaricati dal sito della Regione Campania;
- la stazione dell'ENEL (dati di livello di invaso disponibili dal 2010 e di temperatura dal 2015), localizzata in prossimità del bacino oggetto di studio, come mostrato nella seguente figura.



Figura 2-1. Posizione delle stazioni meteorologiche

Le estensioni temporali disponibili risultano utili a fornire un quadro sufficientemente rappresentativo dei parametri climatologici presi in esame.

Le due stazioni forniscono entrambe dati giornalieri per le variabili utilizzate nella stima dell'evaporazione. Poiché per l'analisi svolta si è scelto un passo di tempo **mensile**, come timestep significativo per la valutazione delle dinamiche medie legate ai processi di evaporazione, tali dati sono quindi stati processati per fornire un valore medio mensile dell'anno tipo, come mostrato nei paragrafi successivi.

#### 2.1.1. TEMPERATURA

I dati di temperatura erano disponibili sia per la stazione dell'ENEL che per quella della Regione Campania. Per quanto le due stazioni siano piuttosto vicine - la distanza tra di esse è di circa 2 km - e le due serie registrate siano risultate sostanzialmente allineate tra loro, si è assunto che i dati della prima siano più rappresentativi delle condizioni climatiche specifiche che si instaurano nell'intorno del Bacino di Presenzano, proprio a causa della

<sup>1</sup> <http://agricoltura.regione.campania.it/meteo/agrometeo.htm>, accesso eseguito il 04/12/2020



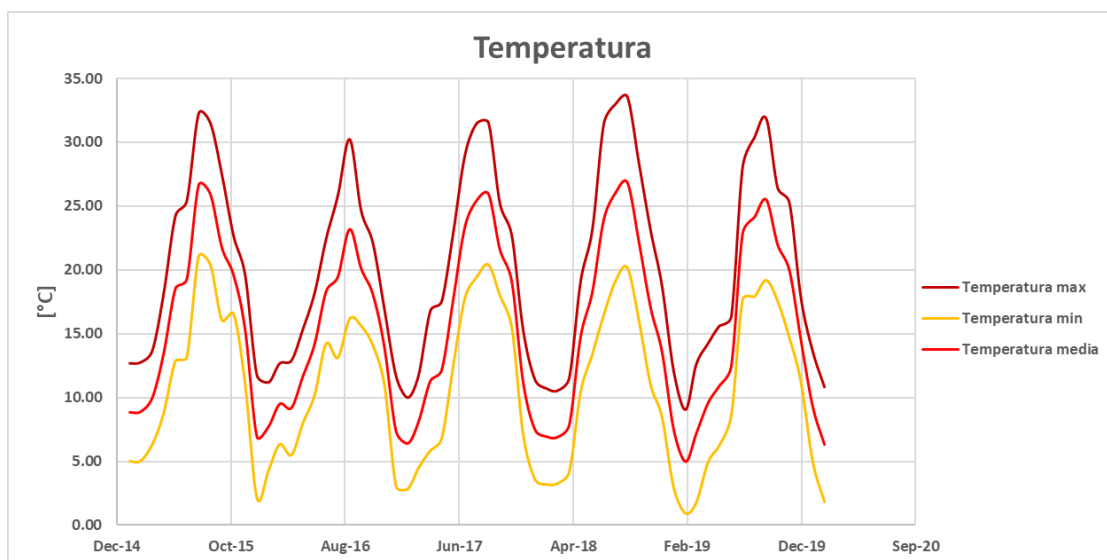


Figura 2-2. Dati mensili disponibili di temperatura

### 2.1.2. VENTO

I dati relativi alla velocità del vento sono stati ricavati dalla stazione della Regione Campania e si riferiscono a misurazioni giornaliere, disponibili da Giugno 2003 fino a Maggio del 2014.

La seguente tabella ed il grafico mostrano i valori medi dei dati di velocità del vento utilizzati per lo studio.

Tabella 4. Dati mensili di velocità del vento (m/s) misurati dalla stazione della Regione Campania

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2003						1.9	2.1	2.1	2.2	2.4	1.8	2.7
2004	2.5	2.2	2.5	2.4	2.4	2.0	2.0	2.0	2.1	1.3	2.1	2.6
2005	2.6	2.9	2.5	2.3	2.2	2.0	1.9	1.9	1.3	1.2	1.9	2.4
2006	3.1	2.8	2.9	2.1	2.0	1.8	1.8	1.9	1.6	1.8	1.6	1.6
2007	1.5	2.4	2.6	1.8	1.9	1.9	2.1	2.3	2.2	2.6	2.6	2.8
2008	2.0	2.7	2.2	2.6	2.0	1.8	1.9	1.9	2.2	1.5	1.7	2.4
2009	2.5	2.4	3.0	2.2	2.0	2.0	1.8	1.7	2.3	2.4	1.3	2.2
2010	2.4	2.1	2.5	2.0	1.9	1.8	1.9	1.9	1.8	2.1	1.4	2.1
2011	1.7	2.7	2.5	2.5	2.0	1.7	1.7	1.6	1.6	1.9	1.2	1.8
2012	1.8	3.4	2.6	2.1	2.0	1.9	2.2	1.9	1.7	1.3	2.0	1.8
2013	1.7	2.0	2.3	2.2	2.0	1.9	1.8	2.1	1.8	1.4	2.4	1.7
2014	1.6	1.6	2.7	2.4	2.0							

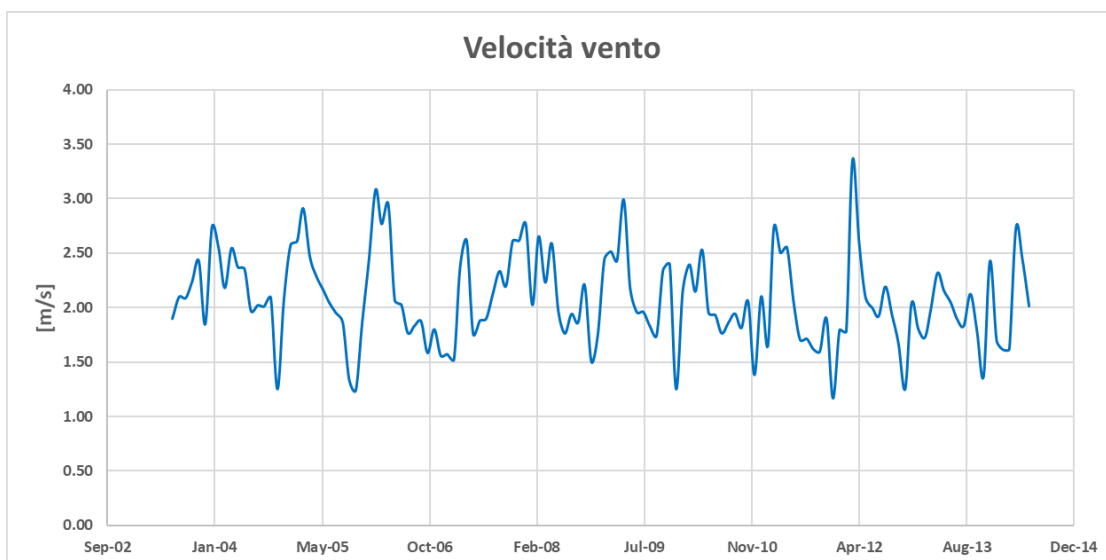


Figura 2-3. Dati mensili disponibili della velocità del vento

### 2.1.3. RADIAZIONE SOLARE

I dati relativi alla radiazione solare sono stati ricavati dalla stazione della Regione Campania e si riferiscono a misurazioni giornaliere, disponibili dal 2007 al 2012.

La seguente tabella ed il grafico mostrano i valori medi dei dati utilizzati per lo studio.

Tabella 5. Dati mensili di radiazione solare (MJ/m<sup>2</sup>/giorno) misurati dalla stazione della Regione Campania

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2007	6.1	8.0	12.5	19.2	20.7	23.6	26.7	22.6	17.5	11.5	7.0	5.9
2008	5.4	10.0	8.7	12.8	14.6	16.6	17.8	17.2	11.8	8.3	4.3	3.6
2009	3.4	6.3	8.8	10.4	16.4	15.8	17.8	16.2	11.2	7.8	4.5	3.1
2010	4.0	5.0	8.9	11.4	11.3	15.1	16.8	16.0	11.1	7.4	3.8	3.6
2011	4.2	7.2	8.9	13.0	15.4	15.7	16.7	17.3	12.6	8.8	5.8	3.9
2012	5.2	6.4	10.9	12.6	17.0	21.8	21.3	19.3	12.1	9.2	5.1	

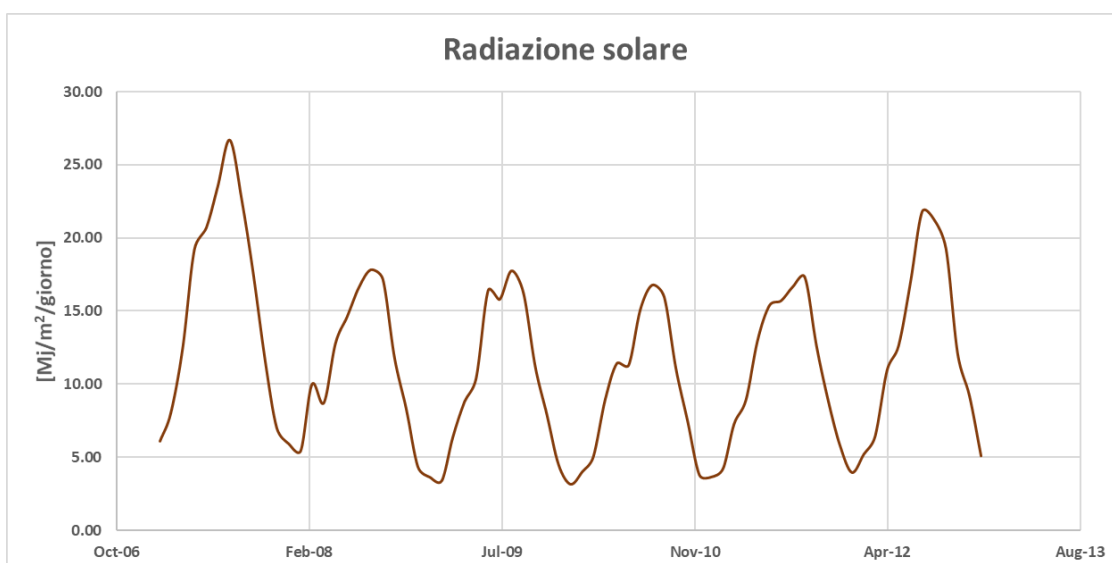


Figura 2-4. Dati mensili disponibili di radiazione solare globale

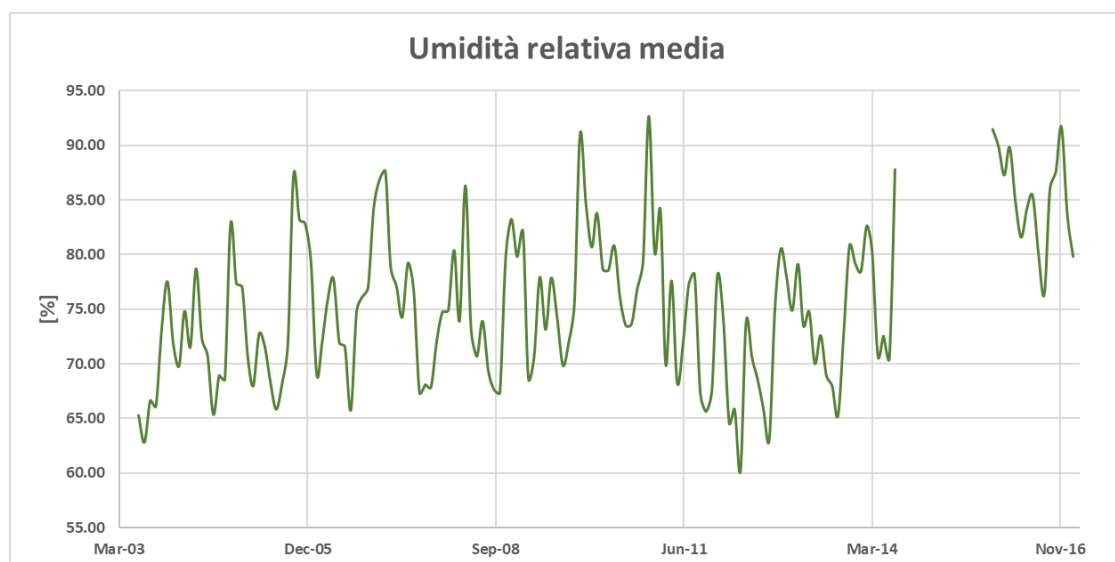
### 2.1.4. UMIDITÀ

I dati relativi all'umidità relativa sono stati ricavati dalla stazione della Regione Campania e si riferiscono a misurazioni giornaliere, disponibili da Giugno 2003 a Giugno 2012, in modo continuativo.

La seguente tabella ed il grafico mostrano i valori medi dei dati utilizzati per lo studio.

**Tabella 6. Dati mensili di umidità relativa (%) media misurati dalla stazione della Regione Campania**

Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2003						65.3	62.8	66.6	66.1	73.3	77.5	71.9
2004	69.8	74.8	71.5	78.7	72.3	70.8	65.4	68.9	68.6	82.8	77.4	77.0
2005	70.4	68.0	72.7	71.6	68.2	65.8	68.2	71.8	87.2	83.2	82.9	79.5
2006	69.0	71.9	75.9	77.8	72.0	71.5	65.8	74.8	76.1	77.0	84.3	86.9
2007	87.6	78.9	77.1	74.3	79.2	76.8	67.4	68.1	67.8	72.1	74.7	74.9
2008	80.4	74.0	86.3	73.2	70.7	73.9	69.3	67.6	67.3	79.8	83.3	79.8
2009	82.0	68.7	70.7	77.9	73.1	77.9	74.2	69.9	71.9	75.5	91.0	84.7
2010	80.7	83.8	78.7	78.6	80.8	76.1	73.5	73.7	76.9	79.5	92.7	80.2
2011	84.0	69.9	77.6	68.2	71.9	77.2	78.2	67.3	65.6	67.5	78.1	74.1
2012	64.6	65.8	60.2	73.8	70.6	68.6	65.9	63.1	75.0	80.5	78.0	74.9
2013	79.1	73.5	74.8	70.0	72.6	68.9	68.0	65.2	72.7	80.8	79.2	78.5
2014	82.6	80.3	70.7	72.5	70.5	87.8						
2015											91.5	89.9
2016	87.3	89.8	84.8	81.6	84.2	85.4	80.1	76.4	86.0	87.6	91.7	83.7
2017	79.8											



**Figura 2-5. Dati mensili disponibili dell'umidità relativa**



## 2.2. ANALISI ED INTEGRAZIONE DEI DATI

Come anticipato, essendo la frequenza mensile il passo più significativo per rappresentare le dinamiche dei processi di evaporazione, per il calcolo della stima dell'evaporazione del Bacino di Presenzano, si è scelto di fare riferimento a valori mensili medi delle grandezze che entrano in gioco. Pertanto, è stata calcolata per ogni mese la media dei dati disponibili, in modo da ottenere un valore che risultasse il più rappresentativo possibile dei dati disponibili, nonostante la finestra temporale di ciascuna grandezza sia diversa l'una dall'altra.

Di seguito è mostrato un grafico rappresentativo delle differenti finestre temporali della disponibilità relativa a ciascun dato.

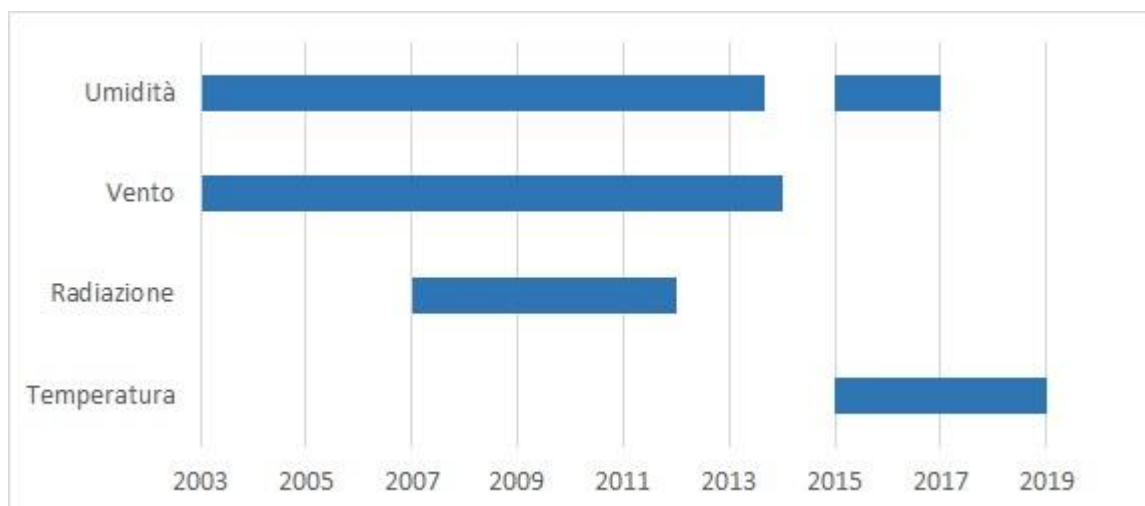


Figura 2-6. Finestra temporale di disponibilità delle grandezze considerate

I dati disponibili sono stati pertanto omogeneizzati attraverso un'analisi statistica ciclica su base mensile per tutti gli anni per i quali le grandezze sono disponibili, ed è stato possibile ottenere i dodici valori che possono essere considerati rappresentativi di un anno tipo e che possono quindi essere utilizzati per il calcolo dell'evaporazione.

Tabella 7. Dati mensili delle grandezze considerate riguardanti l'anno tipo calcolato

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temp. Max (°C)	10.7	12.0	13.8	17.1	21.0	27.2	30.6	31.7	26.4	23.1	17.7	12.1
Temp. Min (°C)	3.0	4.2	5.3	8.0	11.6	15.9	18.1	19.3	16.7	14.4	9.8	3.3
Temp. Media (°C)	6.9	8.1	9.6	12.6	16.3	21.6	24.4	25.5	21.5	18.7	13.7	7.7
Vento (m/s)	2.1	2.5	2.6	2.2	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	2.2
Radiazione (MJ/m <sup>2</sup> /giorno)	4.7	7.1	9.8	13.2	15.9	18.1	19.5	18.1	12.7	8.8	5.1	4.0
Umidità (%)	78.3	75.0	75.1	74.9	73.8	74.3	69.9	69.5	73.4	78.3	83.3	79.7

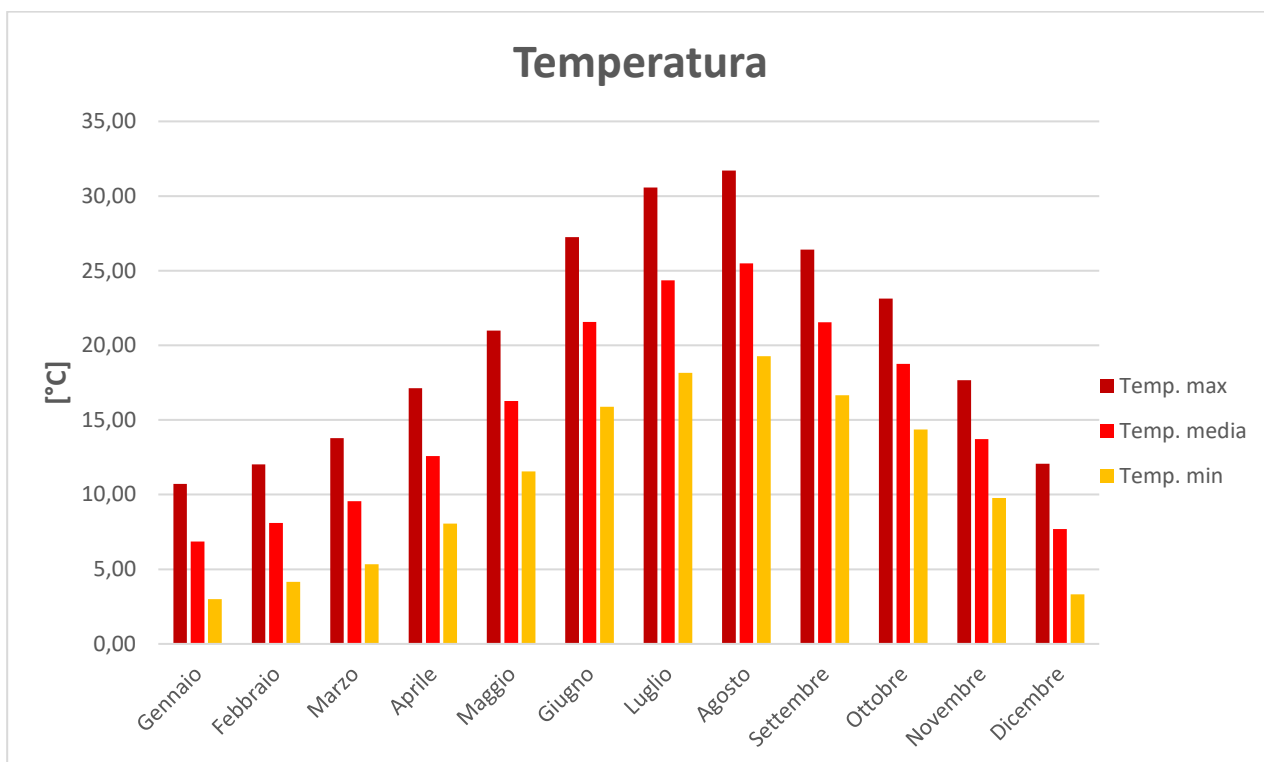


Figura 2-7. Dati mensili di temperatura per l'anno tipo

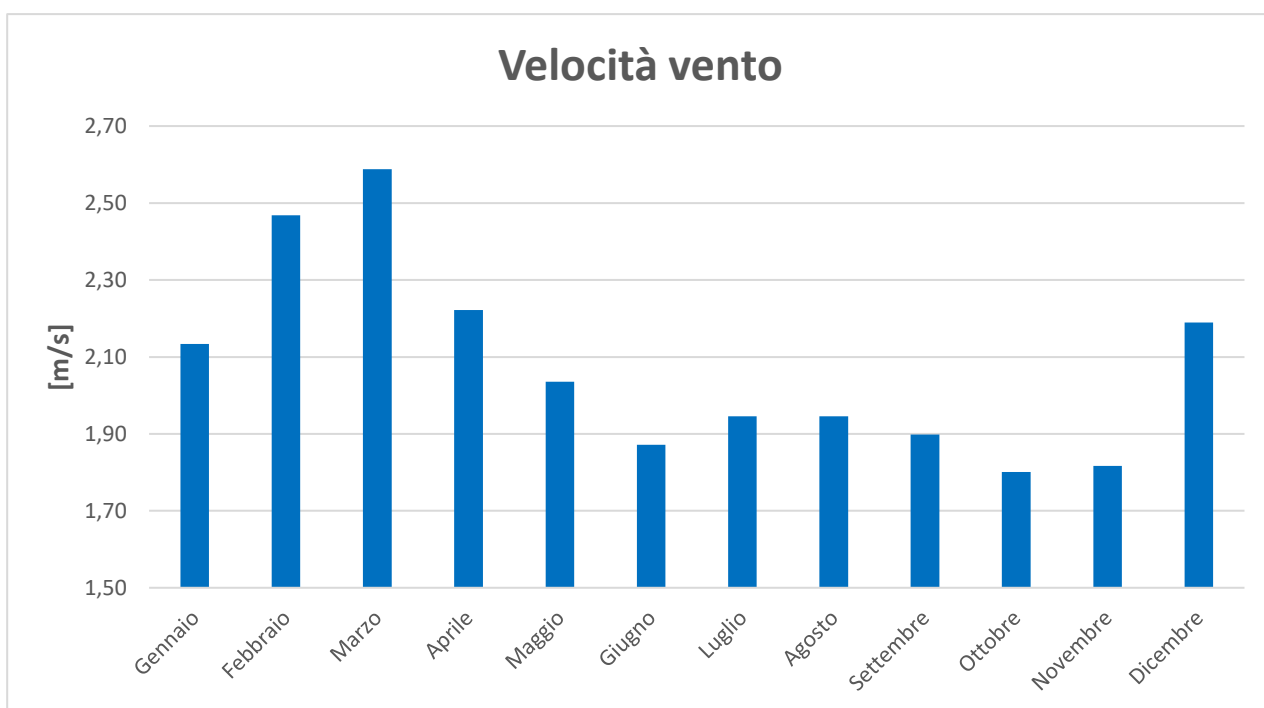


Figura 2-8. Dati mensili della velocità del vento per l'anno tipo

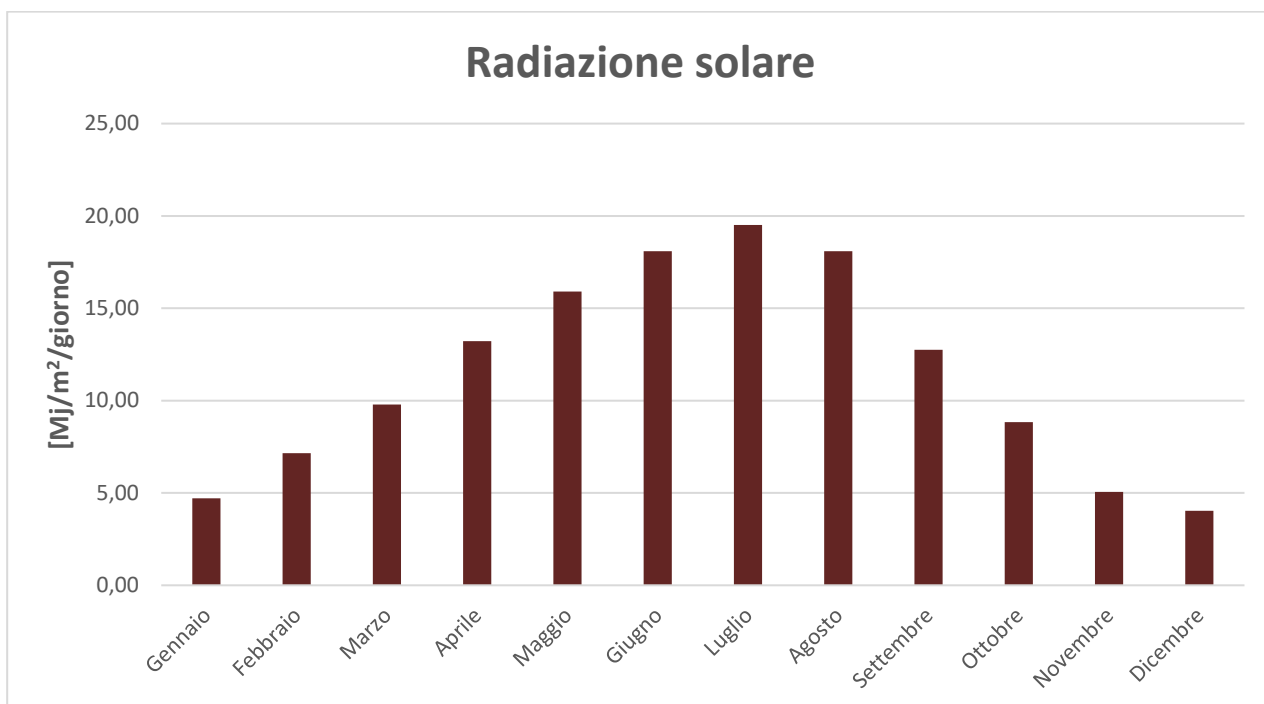


Figura 2-9. Dati mensili di radiazione solare globale per l'anno tipo

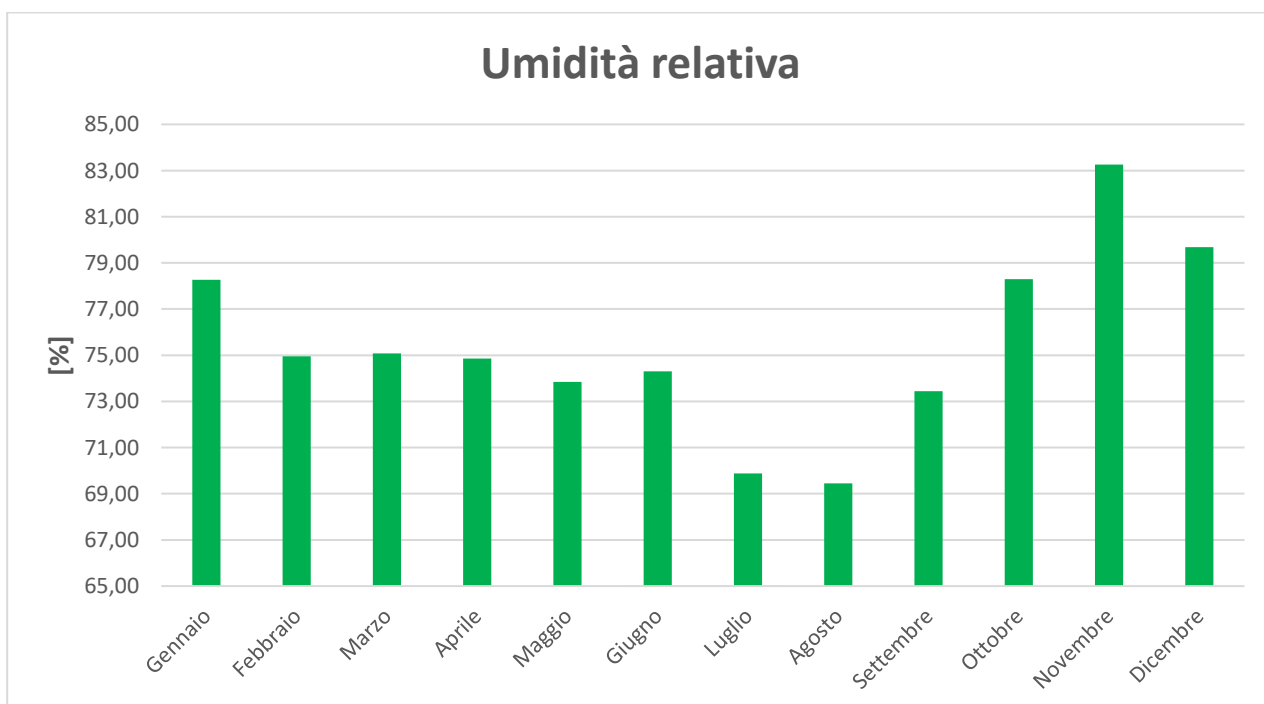


Figura 2-10. Dati mensili di umidità relativa per l'anno tipo

### 3. VALUTAZIONE DELL'EVAPORAZIONE DAL BACINO DI PRESENZANO

Nel presente capitolo vengono illustrati gli approcci empirici e fisicamente basati scelti per il caso di studio.

Il risultato dell'analisi ha fornito una valutazione dell'evaporazione media, su base mensile.

#### 3.1. APPROCCIO METODOLOGICO

Poiché il fenomeno dell'evaporazione dipende da numerosi fattori ambientali, la cui misura spesso non risulta disponibile, la sua stima è stata svolta, nel corso degli anni, seguendo diversi approcci significativi, anche in funzione delle condizioni climatiche specifiche dell'area.

Per questa ragione, nel corso del presente studio, sono stati considerati tre diversi metodi per il calcolo dell'evaporazione mensile media del bacino di Presenzano. In particolare, sono stati utilizzati i seguenti approcci, principalmente per la loro applicabilità al territorio specifico e per la loro validità generale secondo la letteratura tecnica:

1. Formola di Dragoni e Valigi (1994), la quale fornisce un'equazione di natura sperimentale per il calcolo dell'evaporazione nelle zone del versante Tirrenico dell'Italia Centrale;
2. Formola di Visentini (proposta negli anni '30 e successivamente modificata da Romita), ancora usata per la stima dell'evaporazione media mensile e media annua dei laghi d'Italia;
3. Formola di Penman (1948, 1963).

Attraverso le metodologie sopra individuate è stato poi individuato un range di valori rappresentativi per la valutazione dell'evaporazione dal Bacino di Presenzano.

#### 3.2. FORMULA DI DRAGONI E VALIGI

Il primo metodo considerato per la stima dell'evaporazione è quello sviluppato dall'Università di Roma "La Sapienza", che nel 1994 ha svolto degli esperimenti in campo attraverso l'uso di evaporimetri di classe A.

Le stazioni evaporimetriche considerate, messe in opera secondo le prescrizioni dell'U.S. Weather Bureau, sono state quelle di Papiano (nei pressi di Perugia), Viterbo e Roma.

I dati sono stati misurati in evaporimetri di classe A che, come noto da letteratura, sono vasche metalliche di forma circolare, con diametro di 122 cm e profondità di 25.6 cm. Questi vengono sistemati su una piattaforma di legno in modo da essere ad una distanza dal suolo di 10 cm e vengono riempiti con 20 cm di acqua.

I dati mensili disponibili sono stati quindi utilizzati per ricavare delle formule empiriche che forniscono stime di evaporazione da evaporimetri dello stesso tipo.

In particolare, lo studio fornisce la seguente formula per il calcolo dell'evaporazione degli specchi d'acqua nell'Italia Centrale:

$$E_m = C \cdot b \cdot i_m^{a_1} \cdot t_m^{a_2}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

- $E_m$  evaporazione media mensile (mm/mese);
- $t_m$  temperatura media mensile (°C);
- $i_m$  indice di insolazione mensile di Thorntwaite riportato nella tabella che segue;

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$i_m$	0.81	0.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.2	1.04	0.95	0.81	0.77

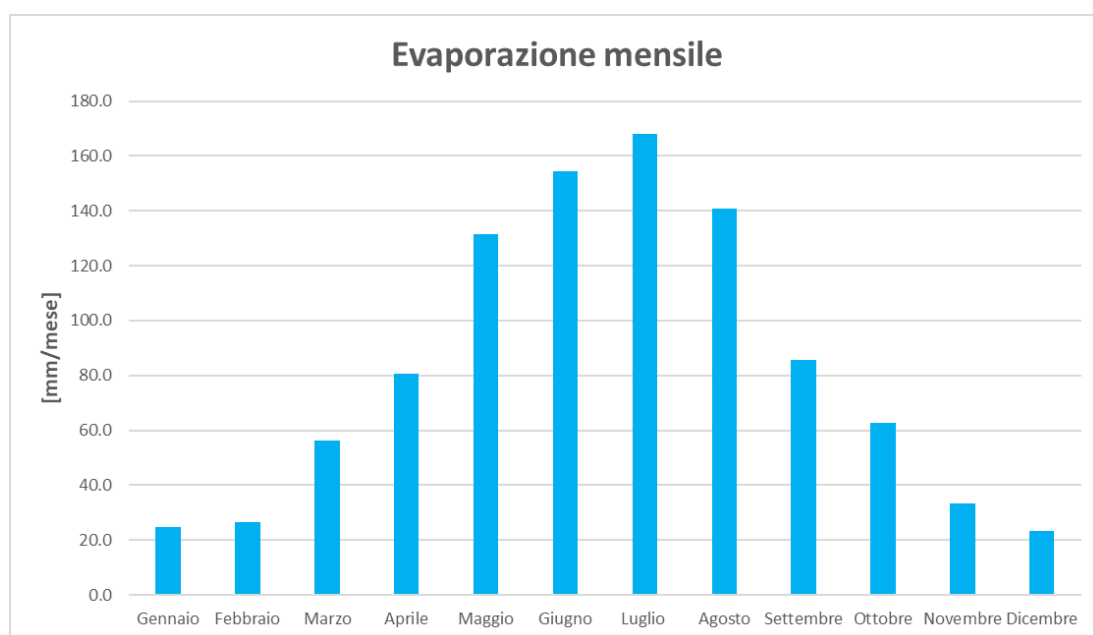
- $m$  indice relativo al mese, da 1 a 12;
- $b$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  coefficienti medi, stimati validi per il calcolo nell'Italia Centrale ( $a_1=3.063$ ,  $a_2=0.486$ ,  $b=19.007$ );
- $C$  coefficiente di correzione.

Secondo la letteratura, l'evaporazione da lago dovrebbe essere inferiore a quella da evaporimetro a terra per un fattore  $C$  di circa 0.7-0.8 (Linsley et al. 1982; Moisello 1985), ma come mostrato da calcoli svolti nella zona dell'Italia Centrale per altri laghi, lo studio suggerisce che tale coefficiente di correzione possa essere superiore a quello proposto; per questa ragione nell'applicazione del metodo si assume un valore pari a 0.9.

I valori medi mensili, ottenuti utilizzando i dati climatici processati come descritto nel Capitolo 2, sono quelli considerati di seguito:

**Tabella 9. Evaporazione media mensile calcolata attraverso la formula di Dragoni**

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$E_m$ (mm)	24.6	26.7	56.1	80.6	131.4	154.5	167.9	140.6	85.8	62.7	33.3	23.3



**Figura 3-1. Evaporazione mensile per l'anno medio calcolata con la formula di Dragoni**

Sommando a questo punto i valori mensili, si ottiene un'evaporazione media annua pari a:

$$E_a = 987.5 \text{ mm/anno}$$

### 3.3. FORMULA DI VISENTINI

Visentini propone una formula di natura sperimentale basandosi su circa un anno e mezzo di misure fatte su due evaporimetri, uno galleggiante ed uno a terra. Questi evaporimetri, di tipo Bindemann, erano stati messi in opera sul lago di Molato, nell'Appennino Piacentino. Poiché i due evaporimetri davano risultati molto simili, Visentini ritenne che i dati di quello galleggiante rappresentassero abbastanza bene l'evaporazione del lago. Si sottolinea il fatto

che, durante i suoi esperimenti, Visentini abbia utilizzato temperature medie ricavate da registrazioni in continuo, e non dalla media delle temperature massime e minime giornaliere, come oggi si usa normalmente.

La letteratura propone due formule, la prima per il calcolo dell'evaporazione media mensile, la seconda per il calcolo dell'evaporazione media annua. Mentre la formula dell'evaporazione media mensile fornisce risultati superiori ad oltre il 60% rispetto a quelli ottenuti con la formula di Dragoni e Valigi, quella per il calcolo dell'evaporazione media annua fornisce invece uno scarto di circa il 10% rispetto alla formula proposta dallo studio condotto dall'Università "La Sapienza". Pertanto, ai fini del presente studio è stata considerata valida solamente la valutazione annuale.

In particolare, la formula utilizzata è la seguente:

$$E_a = c_1 \cdot t_a + c_2$$

Dove i simboli rappresentano:

- $E_a$  evaporazione media annua (mm/anno);
- $t_a$  temperatura media annua (°C);
- $c_1$  e  $c_2$  coefficienti empirici pari rispettivamente a 75 e 0 per quote comprese tra gli 0 e i 200 m s.l.m.m.

Si ricava un'evaporazione media annua pari a:

$$E_a = 1'166.7 \text{ mm/anno}$$

### 3.4. FORMULA DI PENMAN

L'ultimo metodo utilizzato è quello proposto da Penman, globalmente riconosciuto per il calcolo dell'evaporazione. La formula consiste in un'equazione combinata radiazione-aerodinamica usata per il calcolo dell'evaporazione di superfici d'acqua, terreno spoglio ed erboso. Essendo disponibili dati riguardanti la radiazione solare e la velocità del vento alla stazione meteorologica della Regione Campania, è stato possibile effettuare una stima attraverso tale formula.

Di seguito è mostrata la formula utilizzata per il calcolo dell'evaporazione media mensile attraverso il metodo di Penman:

$$E_{pen} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{6.43 f_u D}{\lambda}$$

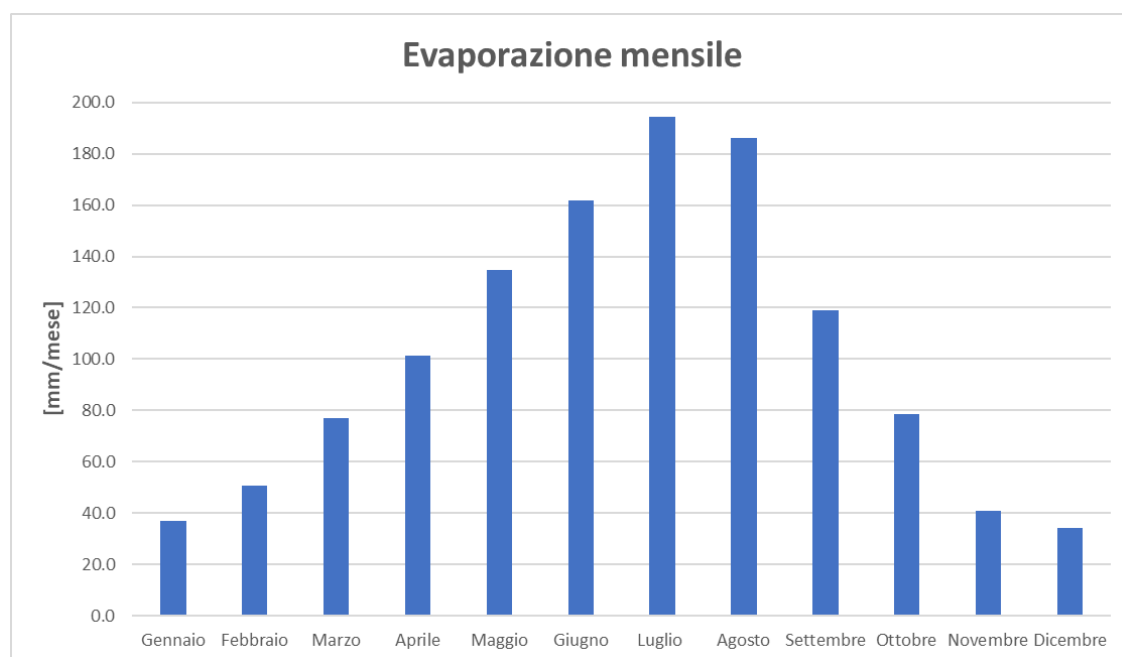
Dove i simboli indicano:

- $E_{pen}$  evaporazione potenziale per una superficie d'acqua (mm/giorno);
- $R_n$  radiazione netta in superficie (MJ/m<sup>2</sup>/giorno);
- $\Delta$  pendenza della curva della tensione di vapore (kPa/°C);
- $\gamma$  coefficiente psicrometrica (kPa/°C);
- $\lambda$  calore latente di vaporizzazione (MJ/kg);
- $f_u$  funzione dipendente dalla velocità del vento.

I valori medi mensili sono stati calcolati facendo una media dei valori giornalieri ottenuti e sono mostrati di seguito:

**Tabella 10. Evaporazione media mensile calcolata attraverso la formula di Penman**

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
<b><math>E_m</math> (mm)</b>	36.9	50.8	77.1	101.5	134.5	162.0	194.6	186.3	119.1	78.7	41.0	34.1



**Figura 3-2. Evaporazione mensile per l'anno medio calcolata con la formula di Penman**

Moltiplicando i valori ottenuti per il numero di giorni presenti in ciascun mese si è ottenuta un'evaporazione media annua pari a:

$$E_a = 1'216.8 \text{ mm/anno}$$

### 3.5. STIMA DELL'EVAPORAZIONE DEL BACINO DI PRESENZANO

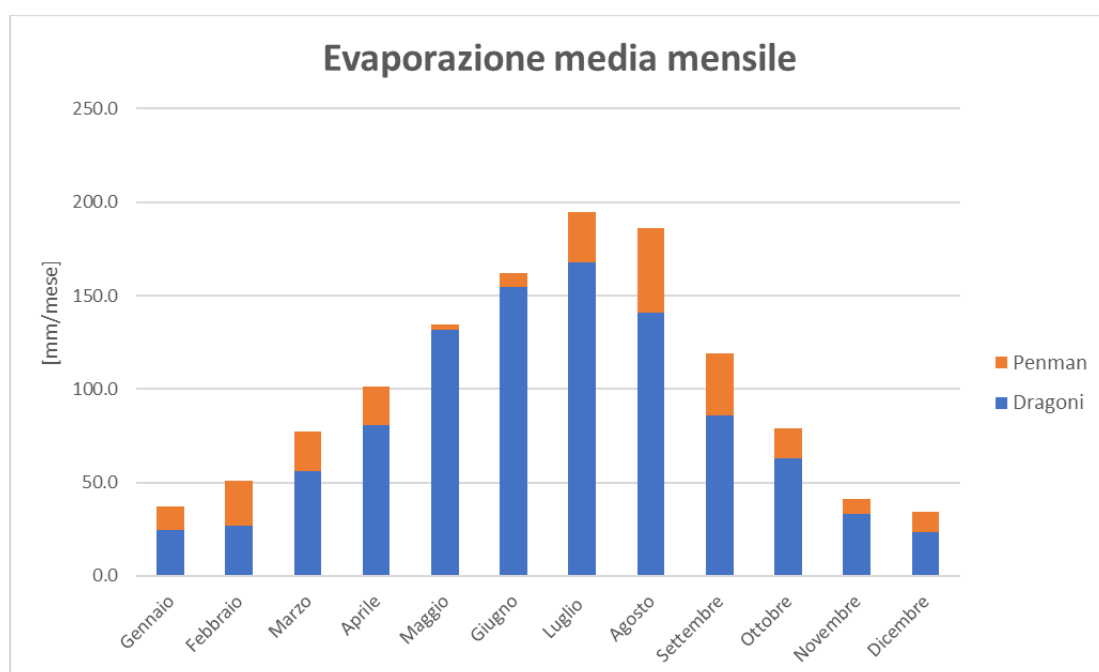
Non essendo disponibile un evaporimetro che fornisce dati che possano validare una metodologia rispetto all'altra ed avendo impostato l'analisi dell'evaporazione su un passo di tempo mensile, si è deciso di considerare entrambi gli approcci di Dragoni e Valigi e di Penman e di utilizzare il metodo di Visentini, che fornisce solamente un valore annuale al fine di validare ulteriormente la stima ottenuta mediante le altre metodologie; effettivamente, il valore di evaporazione ottenuto da quest'ultimo metodo risulta essere nel range definito dalle stime calcolate mediante gli altri approcci.

### 3.5.1. STIMA DELL'EVAPORAZIONE MENSILE MEDIA

Di seguito è mostrato il confronto tra i due metodi di Dragoni e Penman, i quali forniscono dati mensili dell'evaporazione media, così da poter apprezzare meglio le differenze tra i due approcci.

**Tabella 11. Confronto tra l'evaporazione media mensile calcolata con le formule di Dragoni e Penman**

Evap.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Dragoni	24.6	26.7	56.1	80.6	131.4	154.5	167.9	140.6	85.8	62.7	33.3	23.3
Penman	36.9	50.8	77.1	101.5	134.5	162.0	194.6	186.3	119.1	78.7	41.0	34.1
Differenza	12.3	24.0	20.9	20.9	3.1	7.5	26.7	45.7	33.3	16.0	7.8	10.9
Diff. %	50%	90%	37%	26%	2%	5%	16%	33%	39%	26%	23%	47%



**Figura 3-3. Confronto tra l'evaporazione mensile calcolata attraverso le formule di Dragoni e Penman**

Dai risultati ottenuti si nota immediatamente come i valori ottenuti utilizzando l'approccio di Penman siano superiori rispetto a quelli ottenuti usando la formula di Dragoni. Le differenze percentuali si assestano attorno al 30%, ma bisogna considerare che le più alte si riscontrano nei mesi invernali, in cui l'evaporazione risulta essere inferiore. Anche nello studio di Dragoni (1994) viene riportato un confronto effettuato tra la formula sperimentale identificata e l'equazione di Penman, riscontrando delle variazioni simili a quelle sopra definite.

Dal punto di vista dell'evaporazione annuale media, non avendo evidenze del fatto che uno dei due metodi fornisca un risultato migliore dell'altro, si è calcolato un valore singolo di riferimento (con opportuno intervallo di variabilità) considerando la media dei risultati ottenuti con i due metodi di Dragoni e Penman, pari a:

$$E_a = 1'102.2 \pm 10.4\% \text{ mm/anno}$$

in cui l'intervallo di variabilità è stato ottenuto considerando il range di valori dato dalle due formule di Dragoni e Penman utilizzate.



### 3.5.2. CALCOLO DEI VOLUMI MENSILI MEDI DI EVAPORAZIONE

#### 3.5.2.1. VALUTAZIONE DELL'ESTENSIONE DELLO SPECCHIO D'ACQUA

Partendo dai dati di progetto del bacino, resi disponibili dal gestore della centrale idroelettrica di Presenzano, relativi alla quota massima e minima d'invaso (pari rispettivamente a 156.05 e 147,5 m s.l.m.), e alle relative estensioni dello specchio d'acqua in questione (pari rispettivamente a 0.732 e 0.675 km<sup>2</sup>), è stato possibile definire una relazione lineare tra livello e superficie, come mostrato in Figura 3-5.

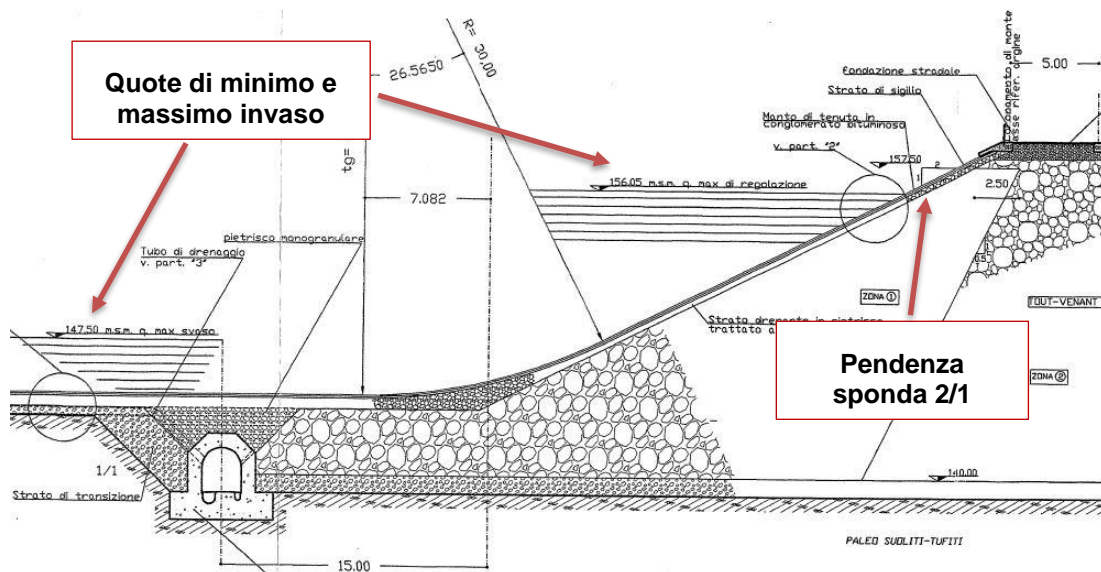


Figura 3-4. Sezione tipologica del bacino di Presenzano

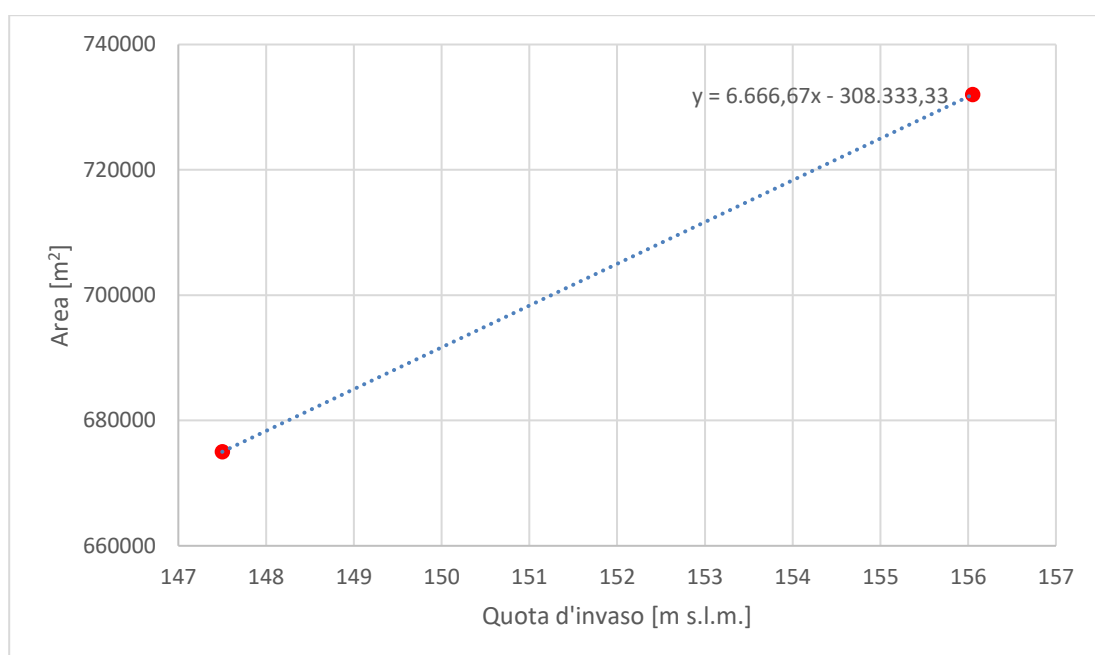


Figura 3-5. Relazione trovata tra quota d'invaso e superficie d'acqua del bacino di Presenzano

A conferma di quanto calcolato, si riporta anche il diagramma altezza-volume d'invaso specifico del bacino di Presenzano.

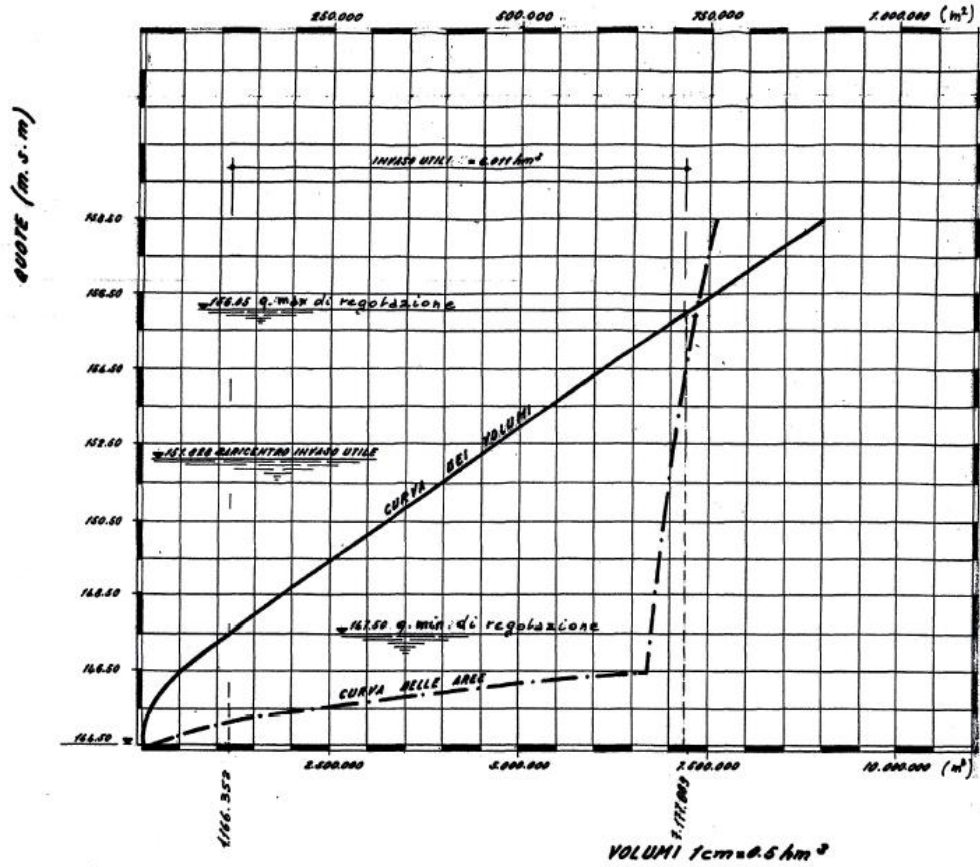


Figura 3-6: Diagramma dei volumi d'invaso

A partire da tale relazione sono state calcolate le superfici corrispondenti ai valori d'invaso giornalieri forniti da ENEL, e sono stati calcolati i valori medi mensili dell'anno tipo, come già fatto per i parametri climatici, come mostrato di seguito.

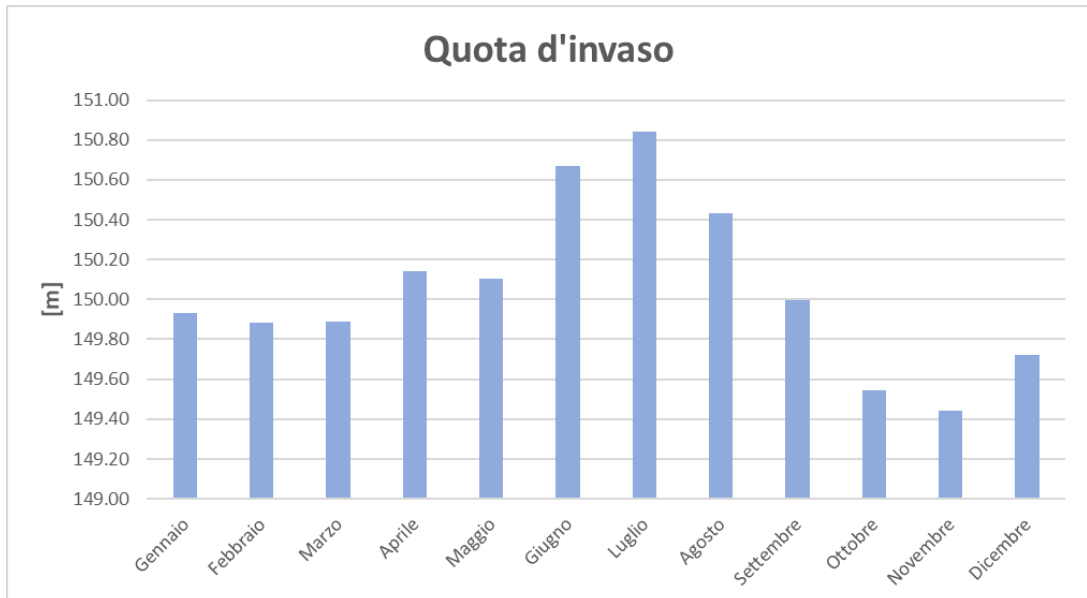


Figura 3-7. Dati mensili della quota d'invaso riguardante l'anno tipo calcolato

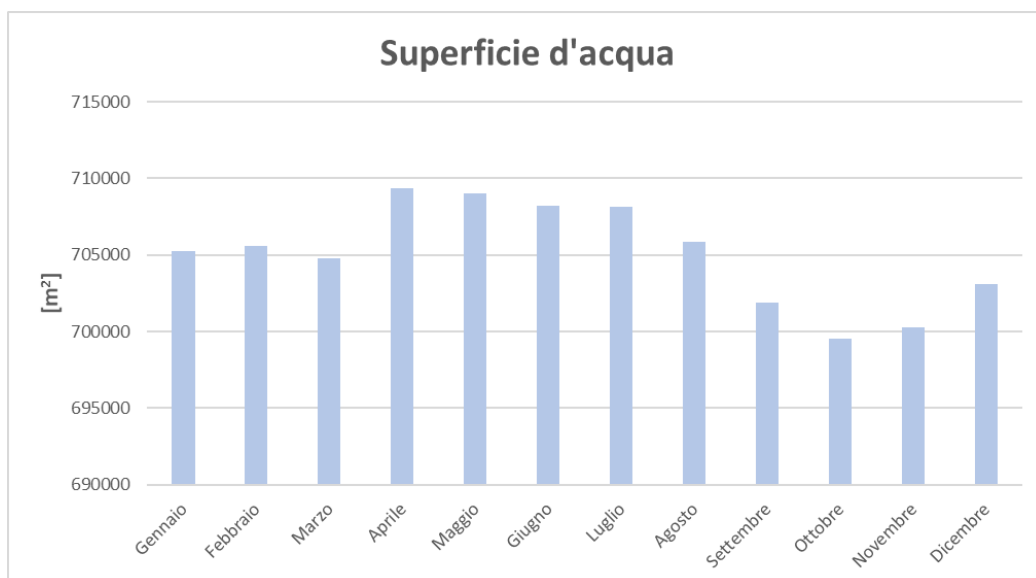


Figura 3-8. Superficie d'acqua mensile riguardante l'anno tipo calcolata con la relazione trovata

### 3.5.2.1. CALCOLO DEI VOLUMI DI EVAPORAZIONE

Sfruttando i risultati medi mensili ottenuti per l'evaporazione e la superficie d'acqua, è possibile a questo punto effettuare il calcolo del volume evaporato mediamente al mese dal bacino di Presenzano.

Considerando i due approcci metodologici seguiti, è possibile avere una stima dei volumi in gioco, come mostrato di seguito.

Tabella 12. Volumi medi mensili evaporati calcolati con le formule di Dragoni e Penman

Volume (m³)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Dragoni	17'374	18'847	39'548	57'192	93'182	109'390	118'880	99'256	60'187	43'884	23'289	16'368
Penman	26'043	35'809	54'314	72'016	95'393	114'734	137'802	131'519	83'585	55'079	28'744	24'008

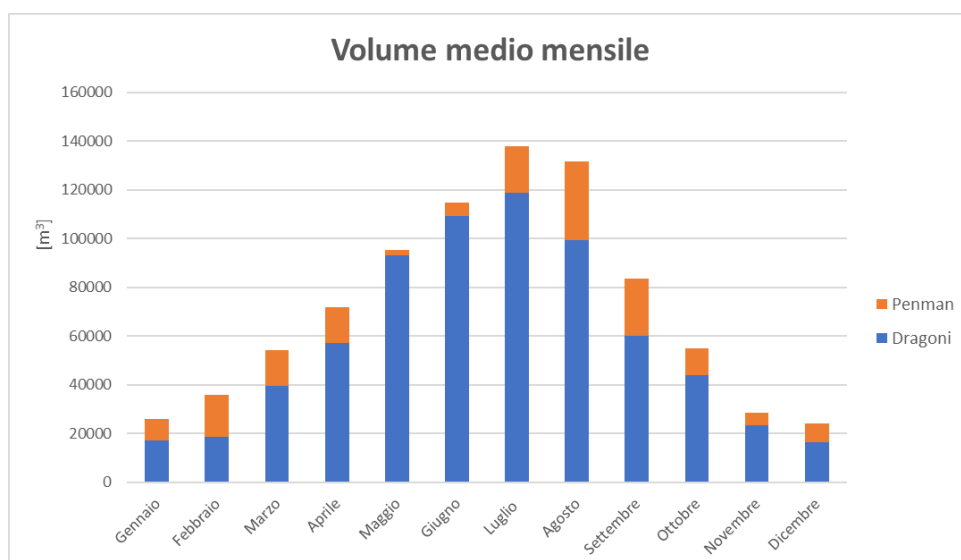


Figura 3-9. Confronto tra i volumi d'acqua evaporati mensilmente calcolati attraverso le formule di Dragoni e Penman

Annualmente si stima invece una perdita di volume a causa dell'evaporazione del bacino di Presenzano pari a:

$$V_{a0} = 777'099 \pm 10.4\% m^3/anno$$

#### 4. ANALISI DELLA DIMINUZIONE DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE

L'installazione di pannelli fotovoltaici flottanti sulla superficie di un bacino è una soluzione largamente impiegata, seppure di recente sviluppo, poiché comporta una serie di vantaggi che includono tra gli altri:

- La riduzione del consumo di suolo;
- L'aumento dell'efficienza dell'impianto, poiché l'acqua contribuisce al raffreddamento del sistema (Cazzaniga et al., 2017; Choi, 2014; Muscat, 2014);
- Prevenzione della diffusione di polvere che impatta l'efficienza del sistema (Mittal et al., 2017);
- La riduzione delle perdite per evaporazione grazie alla diminuzione della superficie del bacino che viene parzialmente schermata dall'irraggiamento solare, cui si aggiunge la ridotta azione dei venti (Azami et al., 2017; Liu et al., 2017; Mittal et al., 2017; Nazifard et al., 2017; Taboada et al., 2017).

Lo studio presente pone l'attenzione sulla riduzione delle perdite per evaporazione: l'installazione di un impianto fotovoltaico flottante sulla superficie del bacino di Presenzano comporta una copertura della stessa e di conseguenza un ostacolo ai processi di evaporazione indagati nei capitoli precedenti. Come descritto, l'evaporazione nei corpi idrici è un fenomeno fisico in cui l'acqua cambia il suo stato in vapore. Questo fenomeno dipende da variabili meteorologiche come l'irraggiamento solare, la temperatura dell'aria e dell'acqua, la velocità del vento, la pressione atmosferica e l'umidità. Maggiore è l'irraggiamento solare, la temperatura e la velocità del vento e minore l'umidità relativa dell'aria, maggiore è il tasso di evaporazione nei serbatoi. L'installazione di un impianto fotovoltaico flottante su un bacino idrico può significativamente diminuire i fattori che influenzano l'evaporazione.

La diminuzione di millimetri evaporati si traduce in un risparmio energetico dovuto all'evitato funzionamento delle pompe per il reintegro d'acqua in centrale, oppure in altri contesti, dove l'acqua ha un valore molto prezioso, la riduzione del tasso di evaporazione può contribuire al contenimento dell'aumento della salinità e quindi al mantenimento della qualità dell'acqua e al generale controllo del rischio e della vulnerabilità della regione. Pertanto, appare importante stimare l'impatto della copertura sulle perdite per evaporazione e, di conseguenza, il volume d'acqua risparmiato e quello che resta a disposizione per gli utilizzi previsti.

##### 4.1. STUDIO DI LETTERATURA TECNICA TEMATICA SULL'IMPATTO DI PANNELLI FLOTTANTI SULLE DINAMICHE DI EVAPORAZIONE

Poiché l'utilizzo di pannelli fotovoltaici flottanti (FPV – Floating PhotoVoltaic) è un fenomeno di relativamente recente applicazione e sviluppo, in letteratura non sono presenti formule specifiche per il calcolo del risparmio di volume evaporato dovuto alla copertura offerta dai pannelli stessi. Oltre ad essere un fenomeno difficilmente stimabile, a causa delle numerose variabili in gioco, lo stesso grado di protezione potrebbe cambiare a seconda della sola disposizione dei pannelli e della loro struttura.

Per questa ragione i riferimenti in letteratura tecnica appaiono relativamente limitati e strettamente sperimentali; sono state reperite infatti delle stime del risparmio evaporativo date da studi pratici su pannelli fotovoltaici flottanti installati e attraverso i quali è quindi stato possibile condurre delle indagini più approfondite. Pertanto, tali studi specifici sono stati integrati con i risultati ottenibili dagli articoli scientifici relativi alla tematica più generale del risparmio in perdite di evaporazione dovuto a svariati sistemi di copertura; tale area tecnica risulta essere oggetto di ricerca in diverse trattazioni e viene usualmente applicata anche all'analisi dell'impatto dei pannelli flottanti.

La tabella che segue riassume i riferimenti scientifici principali relativi alle ricerche condotte sulla diminuzione dell'evaporazione da bacini idrici per la presenza di coperture in genere o di pannelli fotovoltaici flottanti.

**Tabella 13. Principali studi e letteratura scientifica reperiti**

Autore	Anno	Luogo	Tipologia di analisi e risultati principali
Assouline	2011	-	Studio sperimentale sulla copertura parziale di bacini idrici. Fornisce una relazione empirica tra la riduzione di evaporazione e la superficie d'acqua coperta.
Yao	2010	Australia	Studio sperimentale sulla copertura parziale di bacini idrici. Fornisce una relazione tra la riduzione di evaporazione e la superficie d'acqua coperta per grandi bacini, ottenuta mediante l'applicazione di modelli matematici. Conferma valutazioni di Assouline, 2011.
Youssif	2019	Russia	Revisione di letteratura tematica su vari tipi di copertura per bacini idrici. Si assume una riduzione dell'evaporazione compresa tra il 70 e il 95% per quanto riguarda coperture fisiche di specchi d'acqua.
McKay	2013	USA	Ricerca sperimentale sugli effetti dell'utilizzo di FPV. Si assume una riduzione dell'evaporazione del 70% derivante da studi/esperimenti precedentemente condotti con coperture differenti (Gallego, 2011; Shuttleworth, 2007).
Santafè	2014	Spagna	Studio sperimentale sulla copertura con FPV. A fronte della copertura completa del bacino la riduzione dell'evaporazione risulta pari al 25% della capacità del serbatoio.
Sharma	2015	India	Studio sperimentale sulla copertura con FPV. Si assume una riduzione dell'evaporazione del 70%.
Campos Lopes	2020	Brasile	Revisione di letteratura tematica su vari tipi di copertura per bacini idrici e valutazione su bacini specifici. Vengono confermate le valutazioni di Youssif (2014) e Assouline (2011). Le valutazioni conducono alla stima di una riduzione del 70% dell'area coperta.
Yale School of Environment, Warburg	2016	USA	Viene assunta una riduzione dell'evaporazione del 90% sulla base di informazioni desunte dalle prove sperimentali condotte da contractor che si occupano di installazione di impianti FPV: <a href="https://www.abc.net.au/news/2014-05-12/floating-solar-power-plant-would-reduce-evaporation/5445912">https://www.abc.net.au/news/2014-05-12/floating-solar-power-plant-would-reduce-evaporation/5445912</a> .
Taboada	2017	Cile	Calcolo sperimentale su due apparati FPV (uno coperto e uno no). Si valuta una riduzione dell'evaporazione del 90%.
Di Simone	2018	Italia	Studio che riporta valuta una riduzione dell'evaporazione del 90% grazie alla presenza di FPV.
Gamarra	2019	Texas	Viene assunta una riduzione dell'evaporazione del 90% sulla base di informazioni desunte dalle prove sperimentali condotte da contractor che si occupano di installazione di impianti FPV: <a href="https://www.abc.net.au/news/2014-05-12/floating-solar-power-plant-would-reduce-evaporation/5445912">https://www.abc.net.au/news/2014-05-12/floating-solar-power-plant-would-reduce-evaporation/5445912</a> .
Mittal	2017	India	Analisi teorica dell'impatto di sistemi FPV sulla riduzione dell'evaporazione. Viene considerata una riduzione del 70% citando Sharma (2015)

Youssef e Khodzinskaya (2019) hanno esaminato una serie di studi pregressi relativi a metodi fisici, chimici e biologici per ridurre l'evaporazione dei serbatoi, concludendo che i metodi fisici riducono l'evaporazione tra il 70 e il 95%. Essi hanno anche concluso che l'efficienza di diminuzione dell'evaporazione è proporzionale all'area coperta. I risultati sull'efficienza della riduzione nell'evaporazione riscontrata in questi studi sono da considerarsi tuttavia principalmente empirici e qualitativi, di valore limitato per una valutazione tecnica ed economica.

A differenza della maggior parte degli studi citati, Assouline et al. (2011), ripreso da Campos Lopes et al. (2020), ha condotto una ricerca sperimentale prendendo in esame diverse modalità di copertura, focalizzando l'attenzione su coperture galleggianti che coprono parzialmente le superfici liquide; la ricerca ha identificato una relazione matematica empirica tra l'efficienza di riduzione dell'evaporazione e la superficie coperta per corpi idrici parzialmente coperti con ampie zone di apertura, come espresso nell'equazione che segue

$$\varepsilon = 1 - \alpha^{2/3}$$

Dove  $\varepsilon$  è l'efficienza di riduzione dell'evaporazione e  $\alpha$  è la percentuale di superficie coperta sulla superficie totale del serbatoio. La funzione definita è riportata nella figura seguente.

Considerando la configurazione dell'impianto previsto nel bacino di Presenzano, la superficie d'acqua coperta risulta essere pari al 44% della superficie media annua del bacino, che corrisponde ad una riduzione del 33% del volume di evaporazione totale dal bacino (ovvero del 73% del volume di evaporazione relativo alla sola area coperta).

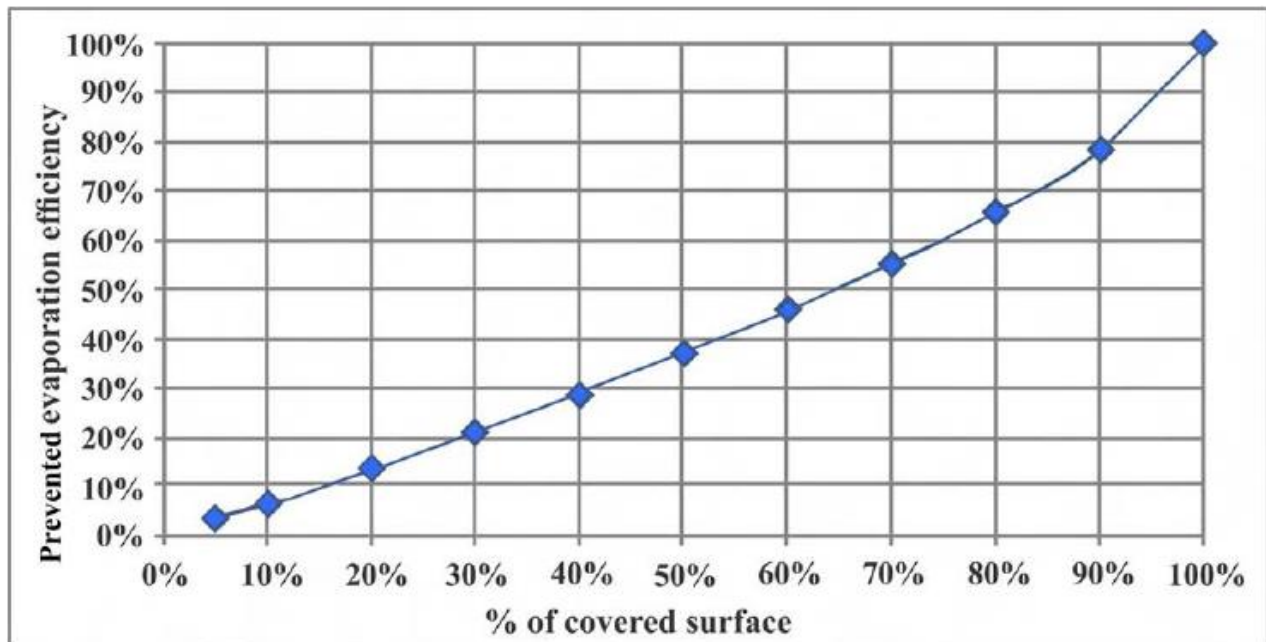


Figura 4-1. Efficienza della riduzione dell'evaporazione in funzione dell'area coperta (Campos Lopes, 2020)

Yao (2010) fornisce uno studio sperimentale sulla copertura parziale di bacini idrici applicato ad un invaso in Australia caratterizzato da una superficie di 107 km<sup>2</sup>. Lo studio fornisce una relazione, ottenuta dall'implementazione di un modello matematico, tra la riduzione di evaporazione e la superficie d'acqua coperta: la relazione conferma sostanzialmente quanto sopra già definito da Assouline.

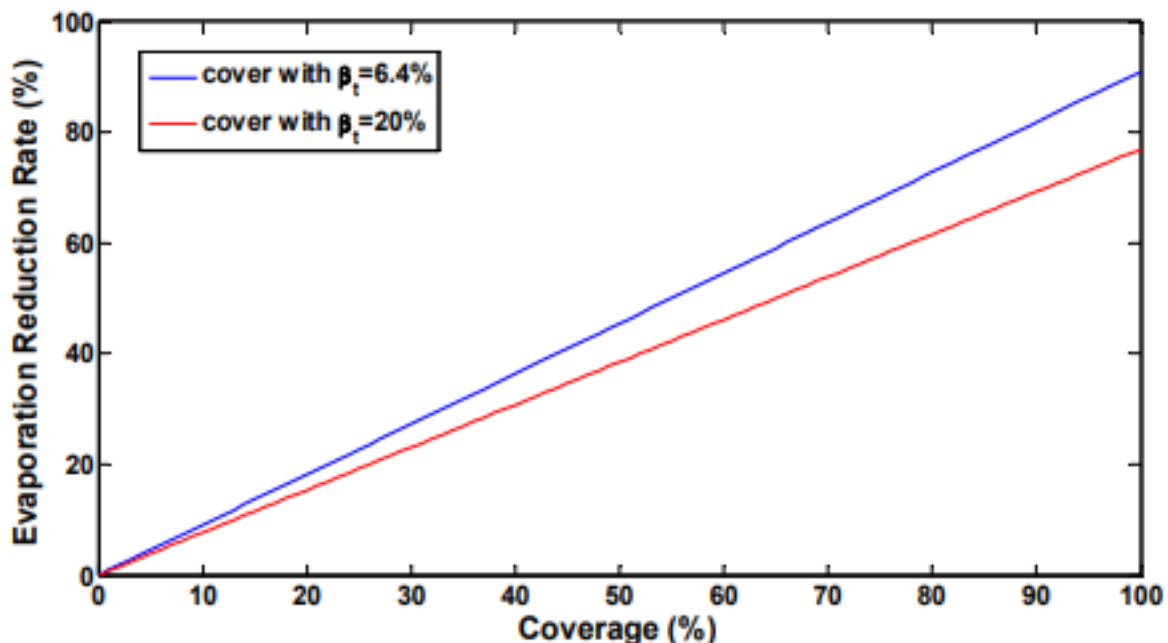


Figura 4-2. Efficienza della riduzione dell'evaporazione in funzione dell'area coperta per due esempi di materiale di copertura (Yao, 2010)

Gli studi e le ricerche specifiche sulla riduzione dell'evaporazione dovuta all'installazione di FPV in parte rimandano alla letteratura relativa ai più generali sistemi di copertura fisica e in alcuni casi fanno riferimento ad analisi sperimentali che risultano comunque consistenti con gli studi pregressi.

In definitiva, la letteratura tecnica consultata stima che una copertura fisica, e in particolare l'installazione di pannelli fotovoltaici flottanti sulla superficie libera, possa portare ad una riduzione dell'evaporazione dal 70% al 95% per l'area effettivamente coperta.

## 4.2. VALUTAZIONE DELLA DIMINUZIONE DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE

Come anticipato, considerando la configurazione di progetto dell'installazione dei pannelli fotovoltaici flottanti nel bacino di Presenzano, la superficie d'acqua coperta, e di conseguenza protetta dal fenomeno evaporativo, risulta essere pari a 309'485 m<sup>2</sup>, cioè circa il 44% della superficie media annua che si riscontra nel bacino.

Viste le valutazioni desunte sopra dalla letteratura tematica, tale area si ritroverà, dopo l'installazione, ad avere un **flusso evaporativo ridotto di circa il 70%** (considerando i limite inferiore del range di riduzione, a favore di sicurezza).

Tali considerazioni portano a calcolare il nuovo volume evaporato nel seguente modo:

$$V_1 = A_p \cdot E \cdot 0.3 + (A - A_p) \cdot E$$

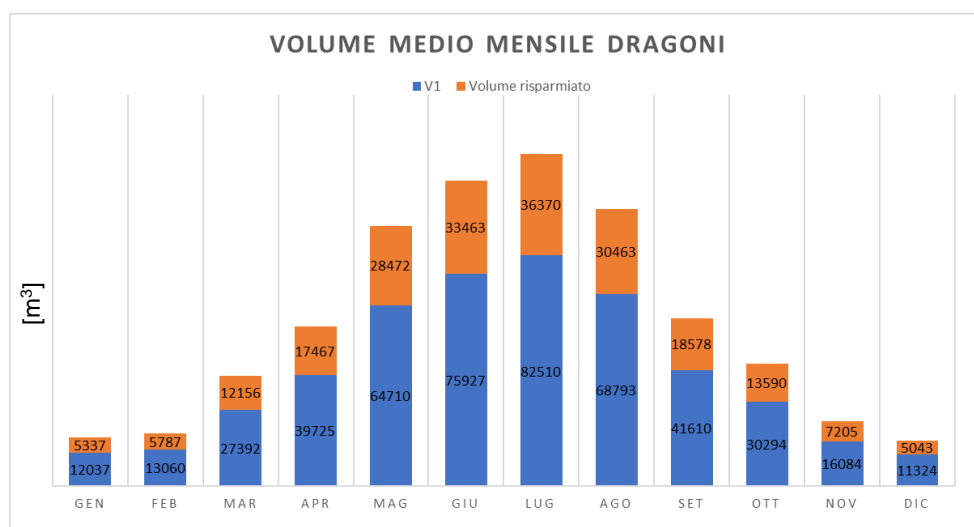
Dove i simboli rappresentano:

- V<sub>1</sub> il nuovo volume d'acqua evaporato;
- A la superficie del bacino di Presenzano;
- A<sub>p</sub> la superficie coperta dai pannelli fotovoltaici flottanti;
- E l'evaporazione.

Sulla scala mensile, avendo considerato due approcci distinti, i risultati di tale stima sono mostrati di seguito, dove mensilmente sono state considerate le variazioni del flusso evaporativo e della superficie d'acqua del bacino di Presenzano.

**Tabella 14. Volumi medi mensili evaporati prima e dopo l'installazione dei pannelli calcolati con la formula di Dragoni**

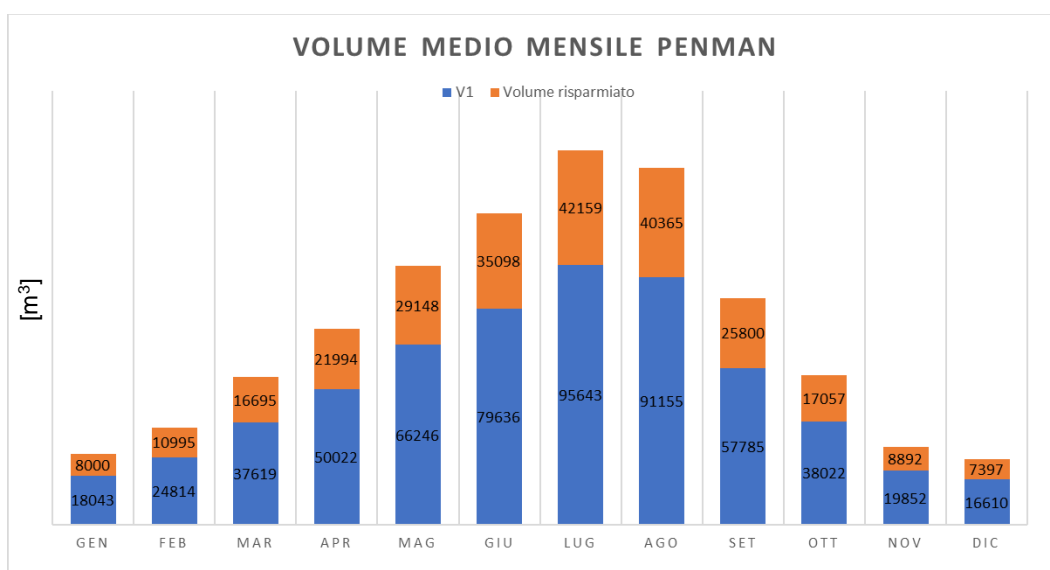
Dragoni	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
V <sub>0,Dragoni</sub> (m <sup>3</sup> )	17'374	18'847	39'548	57'192	93'182	109'390	118'880	99'256	60'187	43'884	23'289	16'368
V <sub>1,Dragoni</sub> (m <sup>3</sup> )	12'037	13'060	27'392	39'725	64'710	75'927	82'510	68'793	41'610	30'294	16'084	11'324
Risparmio(m <sup>3</sup> )	5'337	5'787	12'156	17'467	28'472	33'463	36'370	30'463	18'578	13'590	7'205	5'043
Risparmio (%)	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%



**Figura 4-3. Volumi d'acqua evaporati prima e dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici flottanti calcolati attraverso la formula di Dragoni**

**Tabella 15. Volumi medi mensili evaporati prima e dopo l'installazione dei pannelli calcolati con la formula di Penman**

Penman	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
$V_{0, Penman} (m^3)$	26'043	35'809	54'314	72'016	95'393	114'734	137'802	131'519	83'585	55'079	28'744	24'008
$V_{1, Penman} (m^3)$	18'043	24'814	37'619	50'022	66'246	79'636	95'643	91'155	57'785	38'022	19'852	16'610
Risparmio ( $m^3$ )	8'000	10'995	16'695	21'994	29'148	35'098	42'159	40'365	25'800	17'057	8'892	7'397
Risparmio (%)	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%	31%



**Figura 4-4. Volumi d'acqua evaporati prima e dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici flottanti calcolati attraverso la formula di Penman**

Dalle stime fatte è possibile osservare che il risparmio evaporativo sia di circa il 31%, con volumi medi mensili di risparmio idrico che raggiungono picchi di circa 36'000  $m^3$  nel caso della formula di Dragoni e di circa 42'000  $m^3$  nel caso della formula di Penman.

A seguito dell'installazione dei pannelli fotovoltaici flottanti, si può stimare, sulla base delle considerazioni sopra esposte, un nuovo volume medio annuo di acqua evaporata dal bacino di Presenzano pari a:

$$V_{a1} = 538'330 \pm 10.4\% m^3/anno$$

Confrontando dunque il volume  $V_{a0}$ , calcolato alle condizioni attuali di bacino libero, ed il volume  $V_{a1}$ , che si stima raggiungere dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici, si ottiene un risparmio di evaporazione pari a:

$$V_r = V_{a0} - V_{a1} = 238'769 \pm 10.4\% m^3/anno$$

Tale volume corrisponde ad **un risparmio percentuale di circa il 31%**.



#### 4.3. VALUTAZIONE DEL RISPARMIO ENERGETICO ASSOCIATO ALLA RIDUZIONE DELLE PERDITE PER EVAPORAZIONE

Come precedentemente menzionato, la riduzione del volume evaporato per effetto dell'installazione dell'impianto flottante si traduce anche in un risparmio energetico, in virtù dell'evitato funzionamento delle pompe per il reintegro di tale porzione d'acqua in centrale.

Sulla base dei dati di targa delle pompe di reintegro (fornite da Termomeccanica Italiana, tipo IVN453/1) e del volume d'acqua che evapora, alle condizioni attuali – senza installazione delle zattere- e che per tanto viene reintegrato nel bacino di Presenzano (pari a circa 777'099 m<sup>3</sup>/anno, come calcolato nel 3.5.2.1) è possibile stimare l'attuale numero di ore di funzionamento delle pompe per tale reintegro come segue:

$$h_{funz\ evapo,actual} = \frac{V_{reintegro,actual}}{Q_{nom,pompe}} = 432\ h/anno$$

nell'ipotesi di utilizzare le pompe alla capacità nominale pari a 500 l/s (1800 m<sup>3</sup>/h)

A seguito dell'installazione dell'impianto FV galleggiante, la presenza dei pannelli determina una riduzione delle perdite per evaporazione dal bacino e conseguentemente una diminuzione del volume d'acqua da reintegrare. Nella fattispecie, utilizzando il valor medio di volume d'acqua risparmiato precedentemente individuato (238'769 m<sup>3</sup>/anno) si può stimare il numero di ore funzionamento macchina nelle nuove condizioni:

$$h_{funz\ evapo,post} = \frac{V_{reintegro,actual} - V_{risparmiato}}{Q_{nom,pompe}} = 299\ h/anno$$

Dal confronto delle due condizioni di funzionamento (esercizio attuale ed a valle dell'installazione dell'impianto fotovoltaico galleggiante) si ottiene un risparmio in termini di ore di funzionamento pari a:

$$\Delta h_{evaporazione} = h_{actual} - h_{post} = 132\ h/anno$$

da qui, tramite la potenza si può stimare il risparmio energetico.

Nel caso specifico, non si dispone dei valori di potenza effettiva o rendimento della macchina, ma si assume un consumo elettrico pompe pari alla potenza di targa motore (315 kW, motore GIEM - Gruppo Industriale Ercole Marelli) e si calcola il massimo risparmio energetico pari a:

$$Risparmio = Pot_{targa,mot} \times \Delta h = 42'000\ kWh$$

corrispondente ad **un risparmio percentuale di circa il 31% dell'attuale consumo per il reintegro della quota parte di acqua persa per evaporazione.**

## 5. CONCLUSIONI

I dati utilizzati per lo studio e la stima dell'evaporazione sono stati raccolti da due fonti: la stazione meteorologica di Presenzano, gestita dalla Regione Campania, e la stazione ENEL in prossimità della centrale idroelettrica di Presenzano. Le estensioni temporali disponibili risultano utili a fornire un quadro sufficientemente rappresentativo dei parametri climatologici presi in esame. Le stazioni forniscono dati giornalieri per i seguenti parametri:

- Temperatura;
- Vento;
- Radiazione solare;
- Umidità.

Essendo il passo di tempo mensile quello maggiormente significativo per la valutazione delle dinamiche medie legate ai processi di evaporazione, i dati disponibili sono stati processati per fornire un valore medio su base mensile.

Per la valutazione dell'evaporazione dal bacino sono stati utilizzati gli approcci di seguito elencati, principalmente per la loro applicabilità al territorio specifico e per la loro validità generale secondo la letteratura tecnica:

1. Formula di Dragoni e Valigi (1994), la quale fornisce un'equazione di natura sperimentale per il calcolo dell'evaporazione nelle zone del versante Tirrenico dell'Italia Centrale;
2. Formula di Visentini (proposta negli anni '30, e successivamente modificata da Romita), ancora usata per la stima dell'evaporazione media annua dei laghi d'Italia;
3. Formula di Penman (1948, 1963).

Attraverso le metodologie sopra individuate è stato poi individuato un range di valori rappresentativi per la valutazione dell'evaporazione dal Bacino di Presenzano.

L'evaporazione annuale media, considerando il range di valori ottenuti, è risultata pari a:

$$E_a = 1'102.2 \pm 10.4\% \text{ mm/anno}$$

corrispondente ad una perdita di volume per evaporazione media annua pari a:

$$V_{a0} = 777'099 \pm 10.4\% \text{ m}^3/\text{anno}$$

L'installazione di pannelli fotovoltaici flottanti sulla superficie del bacino di Presenzano comporta una copertura della stessa e di conseguenza un ostacolo ai processi di evaporazione indagati.

La letteratura tecnica consultata stima che una copertura fisica, e in particolare l'installazione di pannelli fotovoltaici flottanti sulla superficie libera, possa portare ad una riduzione dell'evaporazione dal 70% al 95% per l'area effettivamente coperta. Per la presente analisi si è scelto di calcolare la riduzione dell'evaporazione adottando cautelativamente e a favore di sicurezza il 70% come parametro di riferimento.

Considerando la configurazione del progetto dell'impianto fotovoltaico flottante sul bacino di Presenzano, la superficie d'acqua coperta risulta essere pari a circa il 44% della superficie media annua del bacino. Tale copertura, implica che i volumi medi mensili di risparmio idrico potrebbero raggiungere picchi di circa 36'000 m<sup>3</sup> – 42'000 m<sup>3</sup>, in funzione del metodo di stima utilizzato.

Su base annuale, il volume medio annuo risparmiato grazie all'installazione viene stimato pari a:

$$V_r = 238'769 \pm 10.4\% \text{ m}^3/\text{anno}$$

In termini percentuali, il risparmio sulle perdite per evaporazione equivale a circa il **31%**.

Una delle conseguenze di tale minore evaporazione, dovuta alla presenza della zattera fotovoltaica, potrebbe configurarsi come una minore umidità atmosferica nell'area della Centrale.



Enel Produzione S.p.A.



GRE CODE

GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00

PAGE

27 di/of 28

Tale volume non evaporato corrisponde evidentemente ad una minore esigenza di reintegrare acqua in centrale (perdendo meno acqua in evaporazione si ha meno necessità di reintegrare) ed essendo la fonte del reintegro il fiume, **attingendo meno acqua, si esercita un minore impatto ambientale sul fiume.**

Inoltre, in virtù dell'evitato funzionamento delle pompe per il reintegro di tale porzione d'acqua, si ottiene anche un *risparmio energetico*, che corrisponde ad un risparmio percentuale massima di circa il **31% dell'attuale consumo per reintegrare la quota evaporata.**



Enel Produzione S.p.A.



GRE CODE

**GRE.EEC.R.27.IT.P.14456.00.029.00**

PAGE

28 di/of 28

## 6. REFERENZE

- 1) Azami, S., Vahdaty, M., Torabi, F. (2017), Theoretical analysis of reservoir-based floating photovoltaic plant for 15-khordad dam in Delijan. *Energy Equip. Syst.* 5, 211-218
- 2) Campos Lopes MP, de Andrade Neto Sudá, Castelo Branco DA, Aurelio de Vasconcelos Freitas M, da Silva Fidelis N (2020), Water-energy nexus: Floating photovoltaic systems promoting water security and energy generation in the semiarid region of Brazil, *Journal of Cleaner Production*
- 3) Cazzaniga, R., Cicu, M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G.M., Ventura, C. (2017), Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 12
- 4) Choi, Y., Song, J. (2016), Sustainable development of abandoned mine areas using renewable energy systems: A case study of the photovoltaic potential assessment at the tailings dam of abandoned Sangdong mine, Korea. *Sustainability* 8, 12
- 5) Dragoni W., Valigi D. (1994) - "Contributo alla stima dell'evaporazione dalle superfici liquide nell'Italia Centrale" - Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - *Geologia Romana* vol. XX
- 6) Finch J. W., Hail R. (2001) - "Estimation of Open Water Evaporation" - Environment Agency, Rio House
- 7) Krishnaveni N. et al. (2016) - "A survey on floating solar power system" - *International Journal of Current Research and Modern Education (IJCRME)*
- 8) Liu, L., Wang, Q., Lin, H., Li, H., Sun, Q., Wennersten, R. (2017), Power Generation Efficiency and Prospects of Floating Photovoltaic Systems. *Energy Procedia* 105, 1136-1142
- 9) Mittal D. et al. (2017) - "Potential of Floating Photovoltaic System for Energy Generation and Reduction of Water Evaporation at Four Different Lakes in Rajasthan" - Department of Renewable Energy, Rajasthan Technical University Kota, India
- 10) Nazififard, M., Taheri, S.M., Nazififardarani, K. (2017), Novel Floating Photovoltaic Cover Systems Generating Electricity and Prevent Evaporative Losses for Agriculture Industry in Iran, in: 3rd International Conference of IEA. Tehran, pp. 1-5
- 11) Santafé M. R. et al. (2014) - "Theoretical and experimental analysis of floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs" - Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria - Elsevier
- 12) Sharma P. et al. (2015) - "Design parameters of 10kW floating solar power plant" - IMS Engineering College, Gheziabad - *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*
- 13) Swedan N. H. (2018) - "Calculation of Open Water Evaporation as a Climate Parameter" - Pacific engineering, Olympia, USA - *Journal of Water Resource and Protection*, 10, 762-779
- 14) Taboada, M.E., Cáceres, L., Graber, T.A., Galleguillos, H.R., Cabeza, L.F., Rojas, R. (2017), Solar water heating system and photovoltaic floating cover to reduce evaporation: Experimental results and modeling. *Renew. Energy* 105, 601-615
- 15) Valiantzas J. D. (2006) - "Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data" - Division of Water Resources Management, Department of Natural Resources and Agricultural Engineering - Agricultural University of Athens - *Journal of Hydrology* 331, 690-702
- 16) Visentini M. (1937) - "L'evapotraspirazione degli specchi liquidi" - Mem. e Studi Idrografici - Pubblicazione n. 2 del Servizio idrografico, Ist. Poligrafico dello Stato, 9, Roma
- 17) Warburg P. (2016) - "Floating Solar: A Win-Win for Drought-Stricken Lakes in U.S." - *Yale Environment* 360