

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# Impianto di San Giacomo III Installazione di un nuovo gruppo di pompaggio Comune di Fano Adriano (TE)

## Progetto Definitivo per Autorizzazione **RELAZIONE IDROLOGICA**

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17170.00.004 Relazione Idrologica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	12/08/2022	Emissione per Revisione Cliente	C. Piccinin L. Labrosse	F. Maugliani	A. Balestra

### GRE VALIDATION

---	Support Team:	Project Engineer: <b>P. Viganoni</b>
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

SAN GIACOMO III

### GRE CODE

GROUP	FUNCIÓN	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
GRE	EEC	D	99	IT	H	17170	000	004	00

CLASSIFICATION PUBLIC

UTILIZATION SCOPE PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE

*This document is property of Enel Green Power 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 Green Power S.p.A.*

00	08.08.2022	LaL/PCap	MFr/Bal
<b>Version</b>	<b>Date</b>	<b>Author</b>	<b>Verified</b>

**Lombardi SA** Ingegneri Consulenti  
Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco  
Telefono +41(0)91 735 31 00  
www.lombardi.group, info@lombardi.group

## INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Inquadramento generale	1
1.2	Documentazione e dati disponibili	1
1.2.1	Dataroom Enel GP	1
1.2.2	Completezza dei dati	2
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE ESISTENTI	4
2.1	Lo schema idraulico degli impianti dell'alto Vomano	4
2.2	Serbatoio di Campotosto	5
2.3	Centrale di Provvidenza	6
2.3.1	Gruppi ternario Francis, ad asse orizzontale (Gr. 1 e Gr. 2):	6
2.3.2	Gruppo reversibile Francis, ad asse verticale (Gr. 3)	6
2.4	Diga e Serbatoio di Provvidenza	7
2.5	Diga e Serbatoio di Piaganini	9
2.5.1	Dati FCEM	9
2.6	Centrale di San Giacomo I	11
2.6.1	Gruppi di produzione	11
2.7	Centrale di San Giacomo II	12
2.7.1	Gruppi di produzione	12
3.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE	14
3.1	Introduzione	14
3.2	Caratterizzazione idrologica	15
3.2.1	Temperatura	15
3.2.2	Precipitazione	16
3.2.3	Evapotraspirazione	17
3.3	Scenari climatici in proiezione e tendenza climatica	19
4.	PROCEDURA DI RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI	23
4.1	Schematizzazione del modello	23
4.1.1	Tra i serbatoi di Campotosto e Provvidenza	23
4.1.2	Provvidenza a Piaganini	24

4.2	Procedura di calcolo	24
4.3	Serbatoio di Campotosto	25
4.3.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	25
4.3.2	Curva d'invaso del serbatoio	25
4.3.3	Bilancio energetico tra i serbatoi	26
4.3.4	Equazione della potenza della macchina	26
4.4	Serbatoio di Provvidenza	28
4.4.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	28
4.4.2	Curva d'invaso	28
4.4.3	Serbatoio di Piaganini	29
4.4.4	Bilancio energetico tra i due serbatoi	30
4.4.5	Equazione della potenza delle macchine	30
4.5	Attività propedeutiche al calcolo	33
4.5.1	Livelli e produzioni	33
4.5.2	Deflusso Minimo Vitale	33
4.5.3	Sfiori	33
4.6	Postelaborazione	34
5.	RISULTATI	35
5.1	Serbatoio di Campotosto	35
5.1.1	Ricostruzione dei livelli e dei volumi	35
5.1.2	Portate	36
5.2	Serbatoio di Provvidenza	38
5.2.1	Ricostruzione dei livelli e dei volumi	38
5.2.2	Portate	38
5.3	IMPIANTO DI SAN GIACOMO III - Determinazione della tipologia di Pompaggio	40
6.	ANALISI DELLE OSCILLAZIONI DI LIVELLO NEI SERBATOI	42
6.1	Oscillazioni nel Serbatoio di Provvidenza	43
6.1.1	Funzionamento senza trasferimenti integrativi da/verso Campotosto	43
6.1.2	Funzionamento con trasferimenti integrativi da/verso Campotosto	44
6.2	Serbatoio di Piaganini	45
7.	CONCLUSIONI	47

## INDICE DELLE FIGURE

<b>Figura 1:</b> Serbatoio di Campotosto - livelli orari 2011-2021 originali. ....	2
<b>Figura 2:</b> Serbatoio di Campotosto – livelli orari corretti. ....	3
<b>Figura 3:</b> Impianti idroelettrici sul Vomano. ....	4
<b>Figura 4:</b> Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedinate (3). ....	5
<b>Figura 5:</b> Diga di Provvidenza – vista da valle. ....	7
<b>Figura 6:</b> Serbatoio di Piaganini - vista da valle. ....	9
<b>Figura 7:</b> Schema idraulico San Giacomo I. ....	11
<b>Figura 8:</b> Schema idraulico San Giacomo II. ....	12
<b>Figura 9:</b> Schema idraulico del Vomano – gronde di captazione. ....	14
<b>Figura 10:</b> Bacini e sottobacini diretti ed allacciati alla sezione di chiusura Diga Piaganini ....	15
<b>Figura 11:</b> Temperatura media mensile vicina al suolo. ....	16
<b>Figura 12:</b> Temperatura media mensile vicina al suolo per i periodi 1948-2000 e 2000-2021. ....	16
<b>Figura 13:</b> Precipitazione mensile. ....	17
<b>Figura 14:</b> Precipitazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021. ....	17
<b>Figura 15:</b> Evapotraspirazione mensile. ....	18
<b>Figura 16:</b> Evapotraspirazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021. ....	19
<b>Figura 17:</b> modello CMIP6 – previsione delle emissioni di CO2 (credits: Z.Hausfather). ....	20
<b>Figura 18:</b> Tendenza evolutiva della temperatura globale (credits: Z.Hausfather). ....	20
<b>Figura 19:</b> Riscaldamento globale per scenario (credits: Z.Hausfather). ....	21
<b>Figura 20:</b> Schema idraulico dell'impianto di Provvidenza. ....	23
<b>Figura 21:</b> Schema idraulico degli impianti di San Giacomo I e II. ....	24
<b>Figura 22:</b> Serbatoio di Campotosto – curva d'invaso. ....	25
<b>Figura 23:</b> Curve di rendimento dei gruppi di produzione n°1, n°2 e n°3 Francis (in generazione) della centrale di Provvidenza. ....	27
<b>Figura 24:</b> Serbatoio di Provvidenza – curva d'invaso. ....	29
<b>Figura 25:</b> Serbatoio di Piaganini – curva d'invaso. ....	29
<b>Figura 26:</b> Tipica curva di rendimento di una turbina Pelton. ....	31

---

<b>Figura 27:</b> Curve di rendimento dei gruppi di San Giacomo II (Gr. 6 e 7) [7].....	32
<b>Figura 28:</b> Serbatoio di Campotosto – confronto tra livelli originali e corretti.....	35
<b>Figura 29:</b> Serbatoio di Campotosto, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021. ....	36
<b>Figura 30:</b> Serbatoio di Campotosto, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021. ....	36
<b>Figura 31:</b> Serbatoio di Campotosto, curva di durata portate nette entranti ricostruite, passo giornaliero.....	37
<b>Figura 32:</b> Serbatoio di Campotosto, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020.....	37
<b>Figura 33:</b> Serbatoio di Provvidenza – livelli originali e corretti.....	38
<b>Figura 34:</b> Serbatoio di Provvidenza, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021. ....	38
<b>Figura 35:</b> Serbatoio di Provvidenza, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021.....	39
<b>Figura 36:</b> Serbatoio di Provvidenza, curva di durata portate nette entranti, passo giornaliero. ....	39
<b>Figura 37:</b> Serbatoio di Provvidenza, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020. ....	40
<b>Figura 38:</b> Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi .....	43
<b>Figura 39:</b> Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volume in modalità passante.....	44
<b>Figura 40:</b> Serbatoio di Piaganini - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi .....	46

## 1. INTRODUZIONE

### 1.1 Inquadramento generale

Enel SpA – HGT Design & Execution, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione Definitiva per Autorizzazione relativa ad un intervento di potenziamento in pompaggio dell'impianto idroelettrico di San Giacomo di proprietà di Enel Produzione SpA, in Comune di Fano Adriano (TE), mediante l'inserimento di un nuovo gruppo pompa.

L'impianto di San Giacomo, realizzato negli anni '50 e non oggetto di interventi, è stato ampliato negli anni '90 con una nuova centrale in caverna dotata di derivazione indipendente e denominata centrale di San Giacomo II. Questa, che deriva sempre dal serbatoio di Provvidenza restituendo nel serbatoio di Piaganini, è dotata di due gruppi di produzione: 1 turbina Pelton (Gr. 6) da 282.48 MW ed un gruppo Francis di tipo reversibile (Gr.7) da 56.30 MW: la capacità di pompaggio attuale è circa del 15% rispetto alla capacità in generazione.

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di una nuova caverna di Centrale contenente un nuovo gruppo pompa, collegato a monte al pozzo forzato di San Giacomo II ed a valle con una nuova galleria forzata direttamente al serbatoio di Piaganini.

Il nuovo ampliamento d'impianto denominato San Giacomo III consente l'incremento della potenza in pompaggio tra i due serbatoi. L'idea del potenziamento nasce per iniziativa delle strutture Tecniche di Enel Green Power con lo scopo di sfruttare al meglio la risorsa idrica disponibile, adeguandone l'utilizzo alle nuove esigenze di regolazione e servizi ancillari di rete.

### 1.2 Documentazione e dati disponibili

#### 1.2.1 Dataroom Enel GP

Per la redazione della presente relazione è stato fatto riferimento ai rapporti elaborati dal nostro studio e ai documenti facenti parte della documentazione d'incarico ricevuta da Enel GP nella dataroom di progetto, ed in particolare:

Rapporti Lombardi SA:

- [1] 2021.0047.010-ID-PSP-RET-002: Impianto Provvidenza – Relazione idraulica
- [2] 2021.0047.009-ID-PSP-RET-002: Impianto San Giacomo III – Relazione idraulica

Rapporti Enel GP:

- [3] C.le di Provvidenza GR 1, Misura del rendimento del gruppo prima della revisione, Luglio 1999
- [4] C.le di Provvidenza GR 2, Misura del rendimento del gruppo, Marzo 1988
- [5] C.le di Provvidenza GR 3, Misura del rendimento del gruppo, Marzo 1985
- [6] C. Le San Giacomo Nuova – Gruppo Pelton, Collaudo della turbina Pelton, Luglio 2000

[7] C. Le San Giacomo Nuova – Gruppo reversibile Pompa/Turbina, Collaudo della Pompa/Turbina, Dicembre 1999

Dati:

[8] Serbatoio di Campotosto – curva altezza-volume

[9] Serbatoio di Provvidenza – curva altezza-volume

[10] Serbatoio di Campotosto – livelli con risoluzione oraria per il periodo 2011 – 2021;

[11] Serbatoio di Provvidenza – livelli con risoluzione oraria per il periodo 2011 – 2021;

[12] Serbatoio di Piaganini – livelli con risoluzione oraria per il periodo 2011 – 2021;

[13] Provvidenza – dati di produzione e pompaggio dei gruppi per il periodo 2011 – 2021

[14] San Giacomo I e II – dati di produzione e pompaggio dei gruppi per il periodo 2011 - 2021;

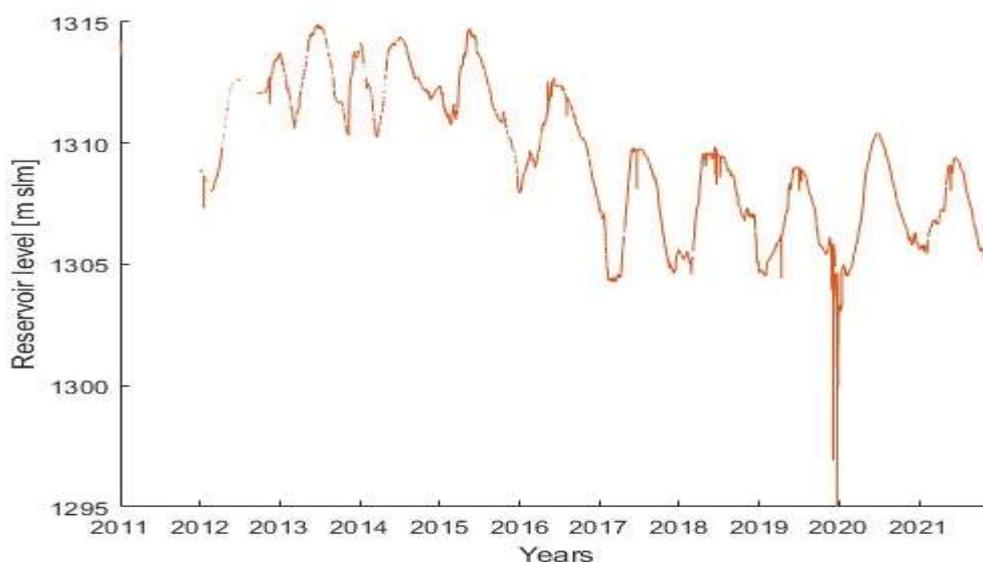
### 1.2.2 Completezza dei dati

Alla data di redazione della presente relazione, si riscontra che la documentazione tecnica presente in dataroom consente l'individuazione della maggior parte degli elementi tecnici che sono necessari allo sviluppo della relazione.

Si evidenzia che le caratteristiche idrauliche (valori di scabrezza) delle adduzioni e di rendimento dei gruppi sono stati assunti arbitrariamente, in quanto non disponibili prove di rendimento che ne consentissero la valutazione diretta.

Per quanto riguarda le serie di dati forniti, si sono riscontrate alcune lacune ed incongruenze, che hanno portato alla necessità di operare delle scelte qui di seguito esplicitate.

A titolo di esempio, sono riportati in **Figura 1** i livelli registrati al serbatoio di Campotosto.

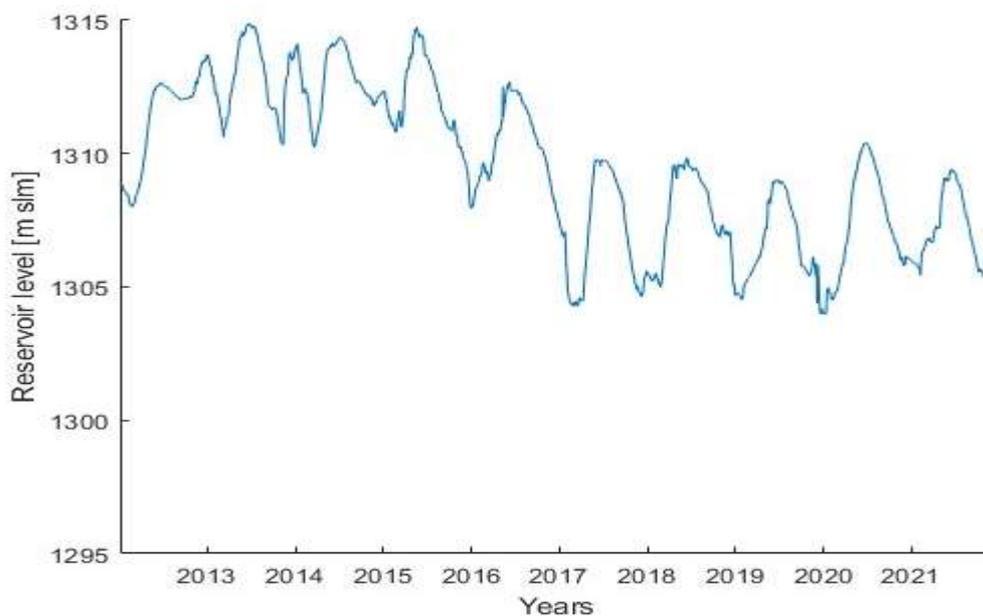


**Figura 1:** Serbatoio di Campotosto - livelli orari 2011-2021 originali.

Vengono dunque applicate le seguenti misure:

- Rimozione dell'anno 2011, quasi completamente assente;
- Interpolazione dei dati mancanti;
- Rimozione delle discrepanze più significative tramite data smoothing.

Questi accorgimenti permettono di ottenere i livelli riportati in **Figura 2**:



**Figura 2:** Serbatoio di Campotosto – livelli orari corretti.

Lo stesso procedimento è stato applicato anche per il serbatoio di Provvidenza, così come ai dati delle potenze di produzione e pompaggio dei gruppi dei diversi impianti, permettendo quindi di ottenere un intervallo continuo di dati.

## 2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE ESISTENTI

### 2.1 Lo schema idraulico degli impianti dell'alto Vomano

Il fiume Vomano nasce dalle pendici settentrionali del Gran Sasso d'Italia e, dopo un corso relativamente breve, si versa nel mare Adriatico presso Roseto degli Abruzzi.

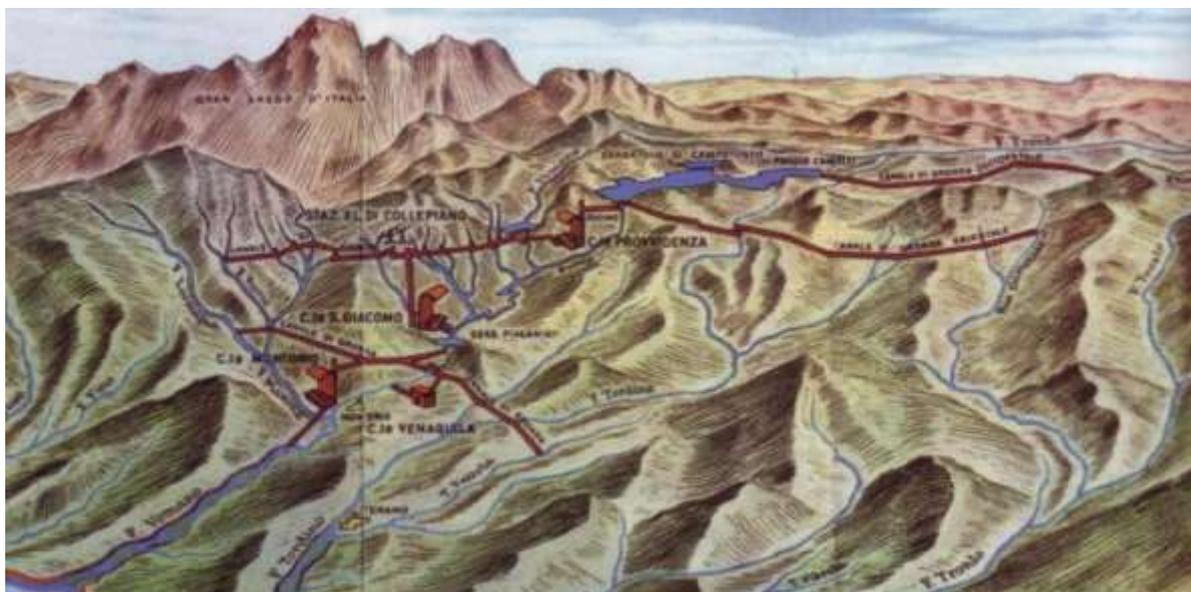
Il serbatoio di testa del sistema d'impianti è stato ottenuto ripristinando artificialmente con tre sbarramenti l'antico lago di Campotosto, di cui era rimasta traccia sotto forma di conca palustre.

Il bacino imbrifero scolante nel lago di Campotosto viene notevolmente esteso mediante due canali collettori di gronda posti sui versanti orientale e occidentale dei monti della Laga.

Dal serbatoio di Campotosto parte la galleria forzata che alimenta la centrale di Provvidenza; le acque turbinate vengono scaricate, tramite una galleria in pressione, nel bacino di Provvidenza. La centrale può anche pompare acqua fino al lago di Campotosto.

Più in avanti lungo l'asta idroelettrica si trovano gli impianti di San Giacomo I e II, con una modesta capacità in pompaggio dal serbatoio di Piaganini, a valle degli impianti di San Giacomo, al serbatoio di Provvidenza.

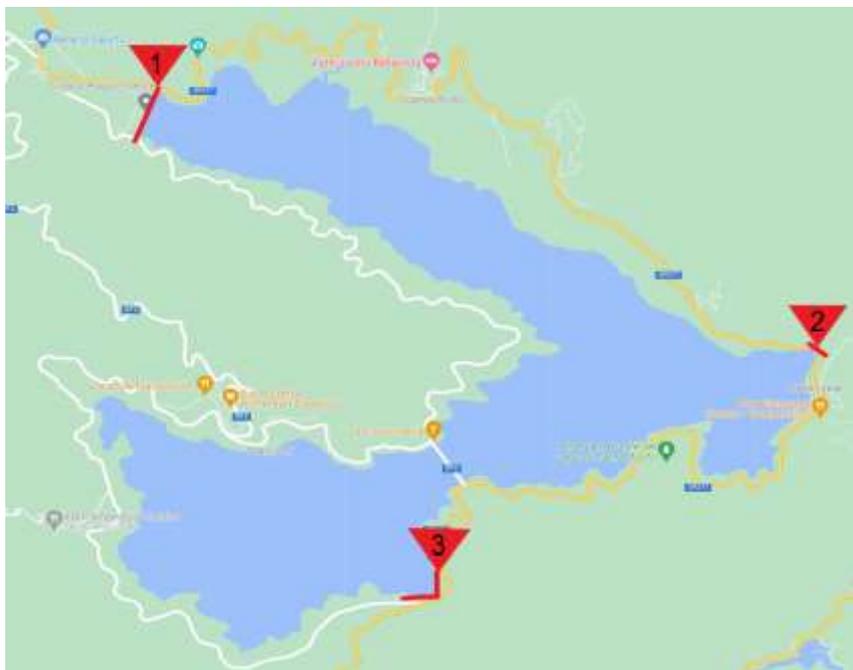
Il presente rapporto si occupa degli impianti fino al serbatoio di Piaganini, ma l'asta del Vomano continua fino all'impianto di Montorio.



**Figura 3:** Impianti idroelettrici sul Vomano.

## 2.2 Serbatoio di Campotosto

Per creare il serbatoio di Campotosto sono state costruite tre dighe, le cui posizioni sono indicate nella **Figura 4**. Si tratta delle dighe di Poggio Cancelli, Rio Fucino e Sella Pedinate. Per maggiori informazioni su queste dighe vedasi [1].



**Figura 4:** Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedinate (3).

### Dati principali del serbatoio desunti dal Progetto approvato

Quota di massimo invaso	1318,25 m slm
Quota massima di regolazione	1317,50 m slm
Quota minima di regolazione	1294,00 m slm
Superficie dello specchio liquido	
• Alla quota di massimo invaso	17,07 km <sup>2</sup>
• Alla quota massima di regolazione	13,80 km <sup>2</sup>
• Alla quota minima di regolazione	3,8 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	224,00x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	218,00x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	218,00x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di laminazione	6,00x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	47,50 km <sup>2</sup>
Superficie del bacino allacciato	96,00 km <sup>2</sup>

## 2.3 Centrale di Provvidenza

La centrale di Provvidenza, sita in comune di L'Aquila (AQ), è stata costruita nell'anno 1949. È equipaggiata con due gruppi turbina/alternatore Francis ad asse orizzontale ed uno ad asse verticale. Le macchine permettono anche il pompaggio inverso dell'acqua dal bacino di Provvidenza, della capacità di 1.690.000 m<sup>3</sup>, verso il serbatoio di Campotosto con una portata complessiva massima di 32,5 m<sup>3</sup>/s, per formare delle riserve da utilizzare nei periodi di consumo maggiore di energia elettrica.

### 2.3.1 Gruppi ternario Francis, ad asse orizzontale (Gr. 1 e Gr. 2):

- Salto lordo max: 283.50 m
- Salto lordo min: 263.00 m
- Asse gruppo: 1031.00 m slm
- Dati targa turbina:
  - Portata: 20.60 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 51.80 MW
- Dati targa pompa:
  - Portata: 17.00 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 44.0 MW
- Dati targa generatore:
  - Tipo: sincrotrifase
  - Potenza: 50 MVA      Cos  $\phi$ : 0.8      Freq: 45-50 Hz

### 2.3.2 Gruppo reversibile Francis, ad asse verticale (Gr. 3)

- Salto lordo max: 295.15 m
- Salto lordo min: 271.65 m
- Asse gruppo: 1022.55 m slm
- Dati targa turbina:
  - Portata: 26.0 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 60.50 MW
- Dati massimi pompa:
  - Portata: 22.8 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 60.00 MW
- Dati targa generatore:
  - Tipo: sincrotrifase
  - Potenza: 65 MVA      Cos  $\phi$ : 0.8      Freq: 50 Hz

## 2.4 Diga e Serbatoio di Provvidenza

La diga di Provvidenza, costruita nel periodo 1939-1947, è una diga muraria ad arco. Il piano di Coronamento si trova a quota 1063.2.00 m slm e si sviluppa per 237.7 m. Il corpo diga ha un volume pari a 70'800 m<sup>3</sup>.



**Figura 5:** Diga di Provvidenza – vista da valle.

Lo sbarramento dispone due opere di scarico: uno scarico di superficie (sei luci con stramazzo libero dello sviluppo di 8 m con soglia ad el. 1060.00 m slm di una portata massima di 335 m<sup>3</sup>/s) ed uno scarico di fondo (galleria DI 2.1 m lunga 180 m, dotata di una paratoia a rulli, piana di 2.0x2.0 m e di una portata massima di 20 m<sup>3</sup>/s).

### Dati principali della diga desunti dal Progetto approvato:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	52.20 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94)	56.20 m
Altezza di massima ritenuta	45.20 m
Quota coronamento	1063.20 m slm
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	1.00 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.'82)	0.70 m
Sviluppo del coronamento	237.70 m
Volume della diga	70.800 m <sup>3</sup>

Grado di sismicità assunto nel Progetto	S=9
Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82	diga muraria ad arco (Abl)
<u>Dati principali del serbatoio desunti dal Progetto approvato</u>	
Quota di massimo invaso	1062,20 m slm
Quota massima di regolazione	1060,00 m slm
Quota minima di regolazione	1045,00 m slm
Superficie dello specchio liquido	
• Alla quota di massimo invaso	0,171 km <sup>2</sup>
• Alla quota massima di regolazione	0,157 km <sup>2</sup>
• Alla quota minima di regolazione	0,072 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	2,76x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	2,40x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	1,68x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di laminazione	0,36x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	54 km <sup>2</sup>
Superficie del bacino allacciato	234 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di Progetto	350 m <sup>3</sup> /s
Tempo di ritorno (ultimo anno di riferimento dei dati .....)	non disponibile

Dati principali delle opere di scarico

Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 1062,20 m slm. (sovralzo del pelo liquido m 2,20)	
Dallo scarico di superficie	335,00 m <sup>3</sup> /s
Dallo scarico di fondo	20,00 m <sup>3</sup> /s

## 2.5 Diga e Serbatoio di Piaganini



**Figura 6:** Serbatoio di Piaganini - vista da valle.

### 2.5.1 Dati FCEM

#### Dati principali della diga desunti dal Progetto approvato:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	45.05 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94)	43.50 m
Altezza di massima ritenuta	34.50 m
Quota coronamento	398.50 m slm
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	1.00 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.'82)	-
Sviluppo del coronamento	113.02 m
Volume della diga	26'000 m <sup>3</sup>
Grado di sismicità assunto nel Progetto	S=0
Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82	muraria, ad arco gravità (Ab2)

#### Dati principali del serbatoio desunti dal Progetto approvato

Quota di massimo invaso	397.50 m slm
-------------------------	--------------

---

Quota massima di regolazione	397.00 m slm
Quota minima di regolazione	384.40 m slm
Superficie dello specchio liquido	
• Alla quota di massimo invaso	0.1125 km <sup>2</sup>
• Alla quota massima di regolazione	0.110 km <sup>2</sup>
• Alla quota minima di regolazione	0.0425 km <sup>2</sup>
Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	1.45x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	1.40x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume utile di regolazione	0.95x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volume di laminazione	0.05x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	198 km <sup>2</sup>
Superficie del bacino allacciato	495 km <sup>2</sup>
Portata di massima piena di Progetto	609.00 m <sup>3</sup> /s
Tempo di ritorno (ultimo anno di riferimento dei dati ...)	<i>n.d.</i> anni

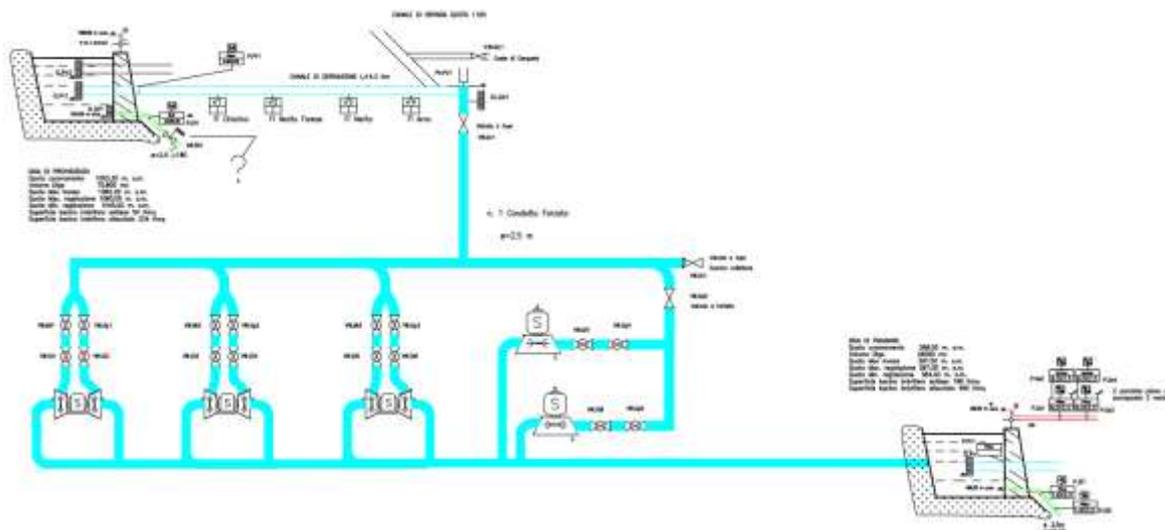
Dati principali delle opere di scarico

Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 397,50 m slm.

Dallo scarico di superficie	600.00 m <sup>3</sup> /s
Dallo scarico di fondo	65.00 m <sup>3</sup> /s

## 2.6 Centrale di San Giacomo I

La centrale di San Giacomo I, sita in comune di Fano Adriano (TE), è stata costruita negli anni 1947. È equipaggiata con 3 gruppi turbina Pelton/alternatore ad asse orizzontale (GR1 a GR3) e 2 gruppi di piccolissime dimensioni rispetto agli altri per alimentare i servizi di centrale.



**Figura 7:** Schema idraulico San Giacomo I.

### 2.6.1 Gruppi di produzione

Qui di seguito si riassumono le principali caratteristiche dei gruppi di produzione:

#### 2.6.1.1 Gruppo Pelton, ad asse orizzontale (Gr. 1 a 3):

- Salto lordo max: 656.75 m
- Salto lordo min: 642.75 m
- Asse gruppo: 403.25 m slm
- Dati targa turbina:
  - Portata: 50.34 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 282.45 MW
- Dati targa generatore:
  - Tipo: sincro trifase
  - Potenza: 310 MVA      Cos φ: 0.9      Freq: 50 Hz

## 2.7 Centrale di San Giacomo II

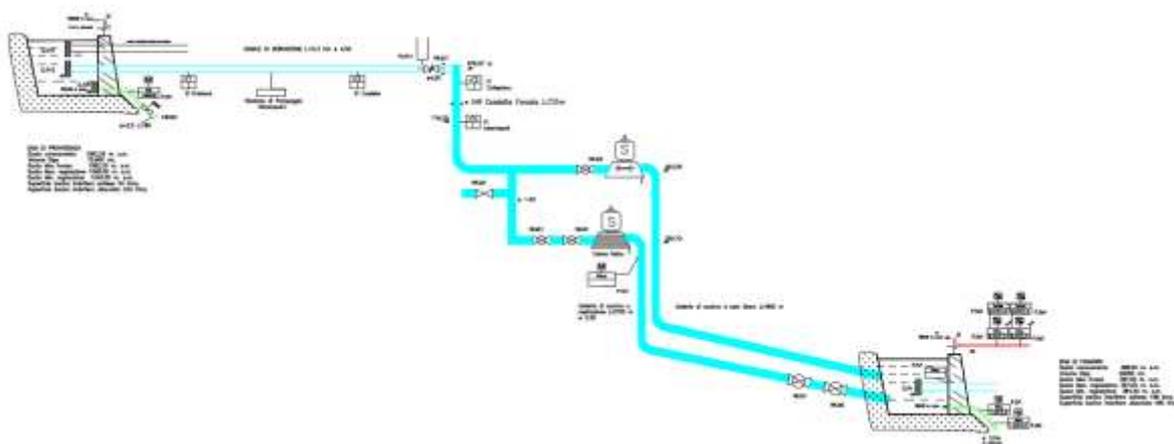
La centrale di San Giacomo II, sita in comune di Fano Adriano (TE), è stata costruita negli anni 1998 come ampliamento della centrale esistente di San Giacomo 1.

L'accesso avviene dal portale sito in riva al serbatoio Piaganini, tramite l'esistente galleria lunga circa 2 km, dalla quale si stacca la nuova galleria di accesso lunga circa 145 m.

Entrando in centrale, dapprima si incrocia la galleria trasformatori, dove sono ubicati sui lati opposti i due trasformatori che servono sia la centrale esistente che quella nuova.

Proseguendo si raggiunge la sala macchine di San Giacomo II, che è costituita da una caverna di centrale nella quale sono collocati sui lati opposti il gruppo Pelton (Gr 6) ed un pozzo verticale circolare molto profondo in cui è stato installato il gruppo Francis reversibile (Gr 7).

I piani giranti turbine si trovano rispettivamente ad El. 403.25 m slm (Gr. 6) e ad El. 359.70 m slm (Gr. 7).



**Figura 8:** Schema idraulico San Giacomo II.

### 2.7.1 Gruppi di produzione

Qui di seguito si riassumono le principali caratteristiche dei gruppi di produzione:

#### 2.7.1.1 Gruppo Pelton, ad asse verticale (Gr. 6):

- Salto lordo max: 656.75 m
- Salto lordo min: 642.75 m
- Asse gruppo: 403.25 m slm
- Dati targa turbina:
  - Portata: 50.34 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 282.45 MW
- Dati targa generatore:
  - Tipo: sincrono trifase

- Potenza: 310 MVA      Cos  $\phi$ : 0.9      Freq: 50 Hz

#### 2.7.1.2 Gruppo reversibile Francis, ad asse verticale (Gr. 7)

- Salto lordo max: 675.60 m
- Salto lordo min: 661.60 m
- Asse gruppo: 359.70 m slm
- Dati targa turbina:
  - Portata: 9.81 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 56.29 MW
- Dati targa pompa:
  - Portata: 8.29 m<sup>3</sup>/s
  - Potenza: 60.64 MW
- Dati targa generatore:
  - Tipo: sincrotrifase
  - Potenza: 65 MVA      Cos  $\phi$ : 0.9      Freq: 50 Hz

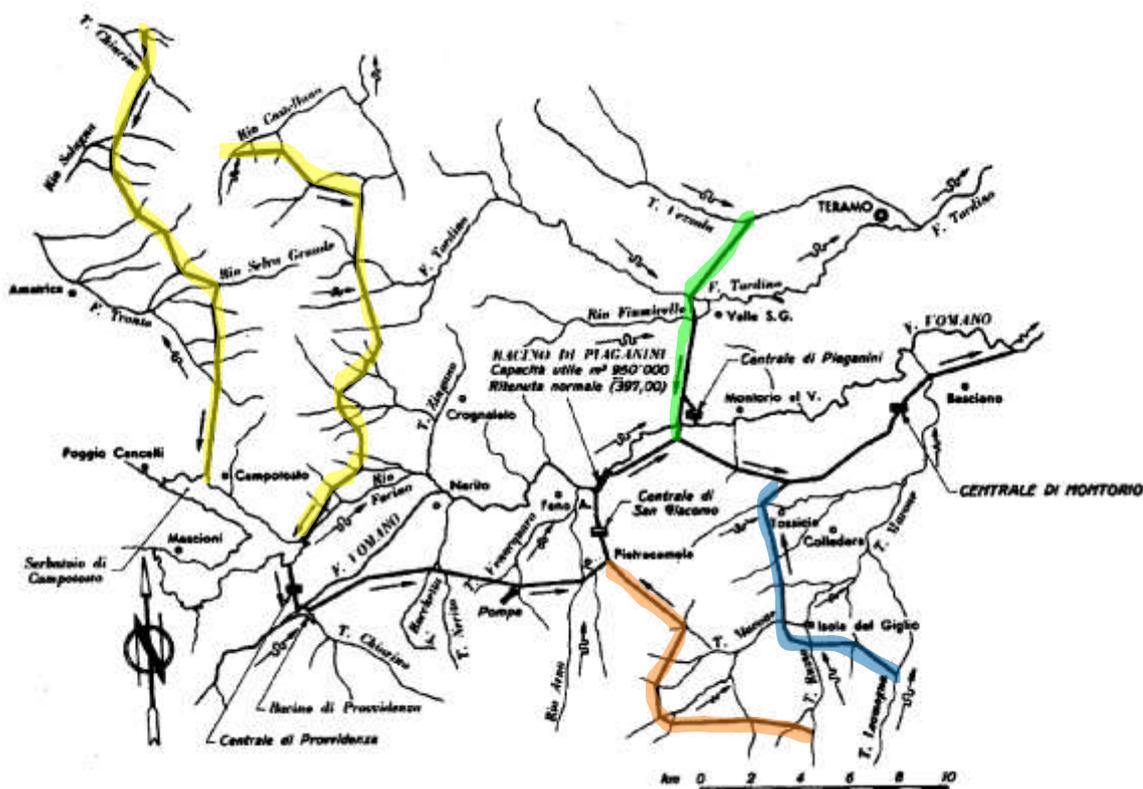
### 3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE

#### 3.1 Introduzione

Il sistema idraulico della cascata del Vomano è costituito dal punto di vista delle captazioni, dai serbatoi di Campotosto, Provvidenza e Piaganini, con le relative gronde di adduzione (cfr. **Figura 9**).

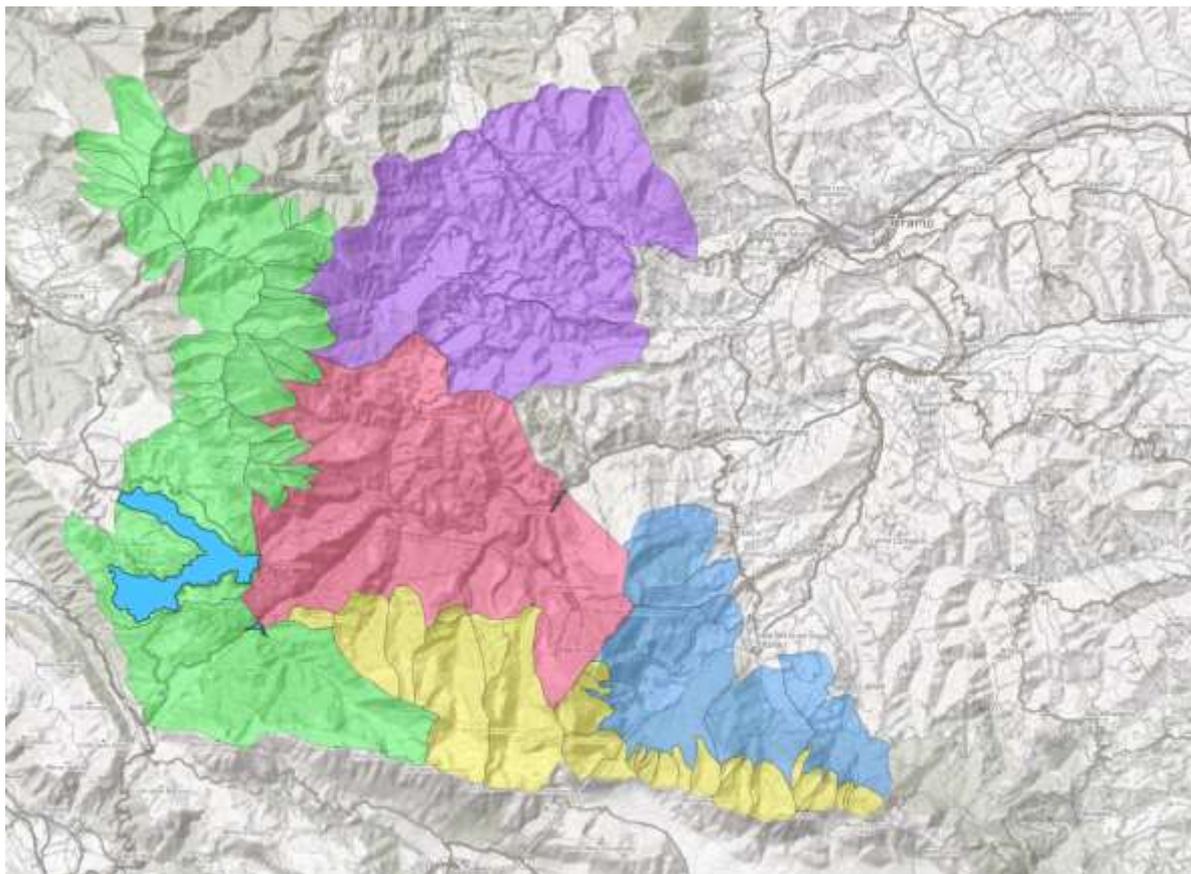
Nel presente studio si vogliono valutare gli afflussi idrologici al serbatoio di Provvidenza, che alimentano le Centrali di San Giacomo I e II, che recapitano nel serbatoio di Piaganini.

Di particolare interesse sono le gronde di captazione del serbatoio di Campotosto (evidenziate in giallo in **Figura 9**, che afferiscono direttamente al serbatoio) e Provvidenza (evidenziata in arancione in **Figura 9** che confluisce nella galleria forzata di adduzione di San Giacomo I poco prima del pozzo piezometrico). Inoltre, alla medesima galleria forzata di adduzione di San Giacomo I sono collegate direttamente alcune prese intermedie.



**Figura 9:** Schema idraulico del Vomano – gronde di captazione.

Da questa rappresentazione schematica sono stati ricostruiti i vari sottobacini diretti ed allacciati di interesse, a monte della sezione di chiusura data dalla Diga di Piaganini e che sono rappresentati qui di seguito in **Figura 10**.



**Figura 10:** Bacini e sottobacini diretti ed allacciati alla sezione di chiusura Diga Piaganini

Per effettuare la caratterizzazione storica dei principali dati climatici sono stati utilizzati dati satellitari NASA<sup>1</sup>, mediati sull'area di interesse del bacino del Vomano.

I dati utilizzati hanno una griglia di risoluzione spaziale pari a 0.25° (circa 28km al suolo) ed è stato scelto un passo temporale mensile.

La risoluzione non è elevata, ma consente di ottenere un utile inquadramento sulle variabili idrologiche

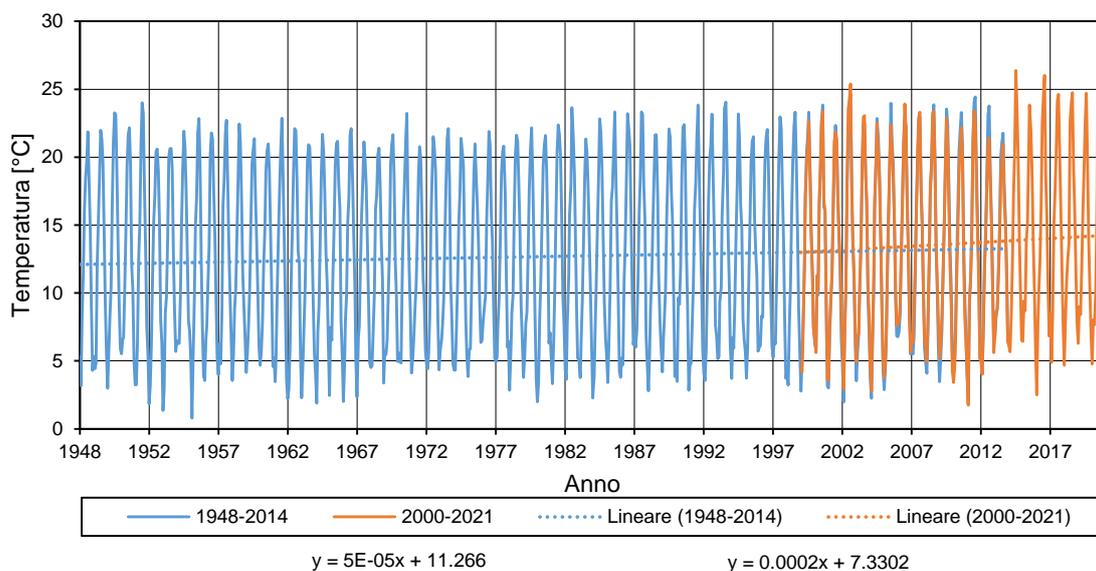
## **3.2 Caratterizzazione idrologica**

### *3.2.1 Temperatura*

Come parametro di riferimento è stata considerata la temperatura media mensile dell'aria vicina alla superficie, i.e circa ad una quota di 2.0 m al di sopra del suolo.

<sup>1</sup> Beaudoin, H. and M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2019), GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25 x 0.25 degree V2.0, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)

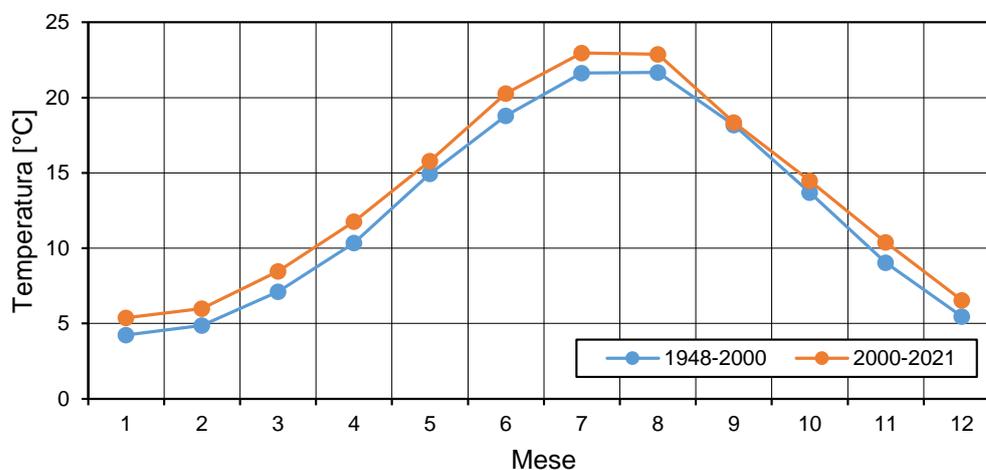
Temperatura media mensile dell'aria vicina al suolo



**Figura 11:** Temperatura media mensile vicina al suolo.

La tendenza risultante è crescente, maggiormente nell'ultimo ventennio. La media delle temperature mensili dell'ultimo ventennio è riportata in **Figura 12**, distinguendo tra i due periodi a disposizione:

Temperatura media mensile dell'aria vicina al suolo

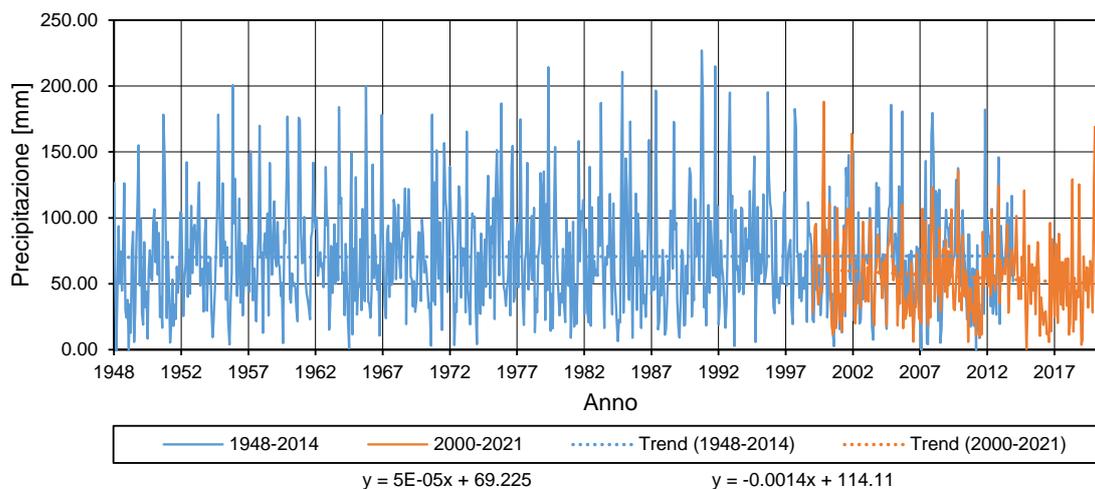


**Figura 12:** Temperatura media mensile vicina al suolo per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

3.2.2 *Precipitazione*

**Figura 13** rappresenta la precipitazione totale (i.e. sia liquida che solida) sulle aree oggetto di interesse.

Precipitazione mensile

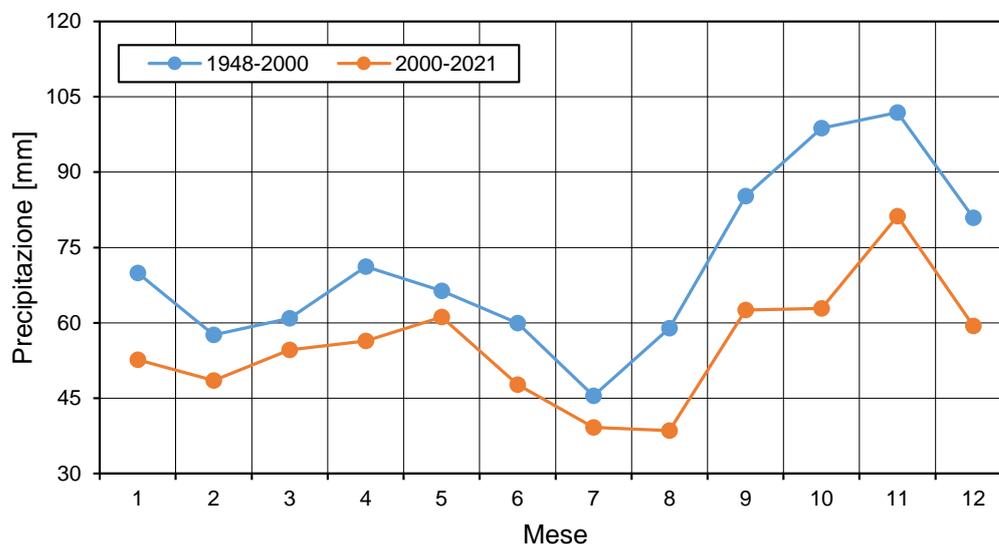


**Figura 13:** Precipitazione mensile.

I dati mostrano una chiara diminuzione nella precipitazione totale nella regione, che appare ragionevole considerando l'evoluzione generale del clima e delle temperature.

Le precipitazioni medie mensili nell'ultimo ventennio e nel periodo precedente sono mostrate in **Figura 14**:

Precipitazione media mensile



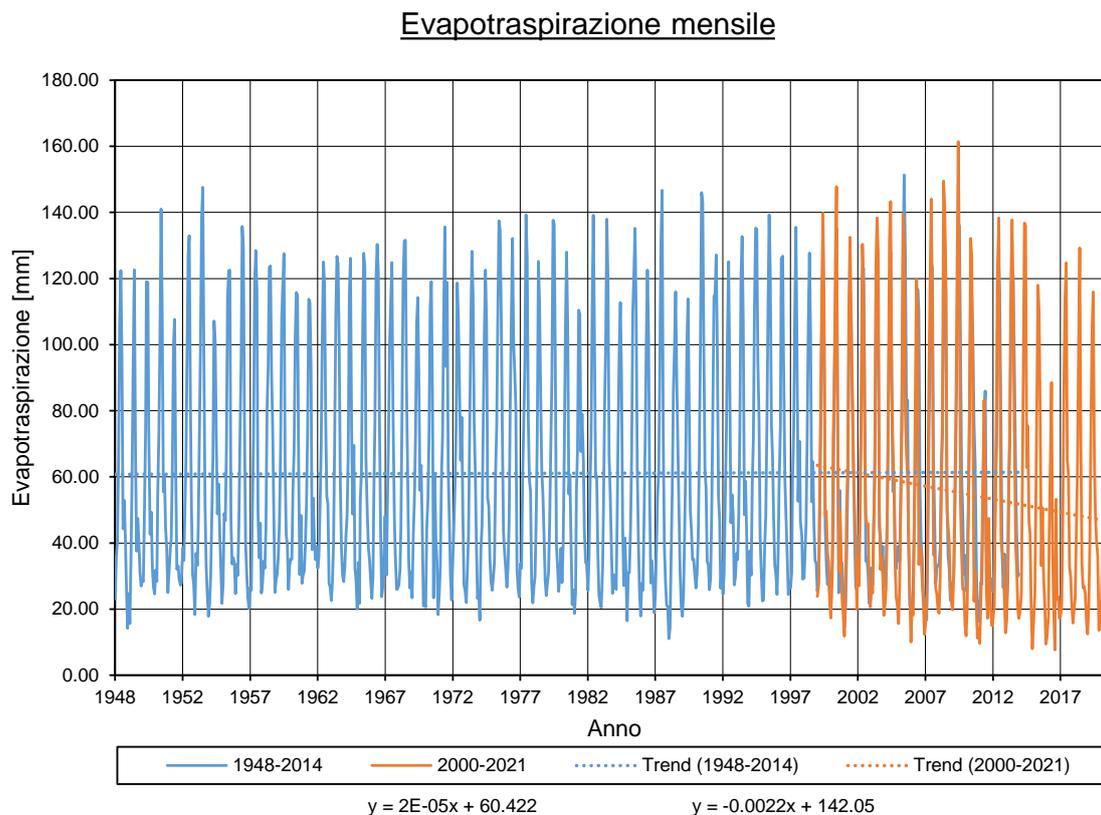
**Figura 14:** Precipitazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

L'afflusso totale annuo medio negli ultimi 20 anni risulta pari a 665 mm.

**3.2.3 Evapotraspirazione**

Il fenomeno dell'evapotraspirazione gioca un ruolo importante nei cambiamenti climatici, dipendendo direttamente dalla temperatura.

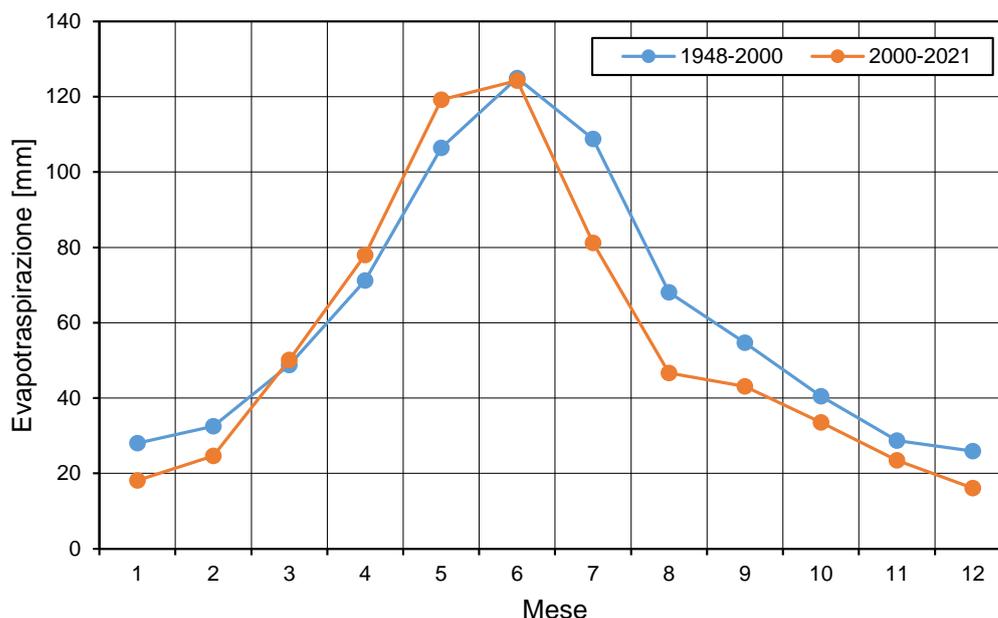
L'andamento storico a lungo termine dell'evapotraspirazione è mostrato in **Figura 15**:



**Figura 15:** Evapotraspirazione mensile.

Si nota una chiara diminuzione, che nonostante possa sembrare in contraddizione con l'aumento della temperatura, è coerente con la diminuzione nelle precipitazioni, la quale risulta in un inaridimento del terreno, con meno acqua a disposizione per l'evapotraspirazione. I valori medi mensili dell'evapotraspirazione negli ultimi 20 anni sono mostrati in **Figura 16**. Si nota una diminuzione generale rispetto al periodo precedente, ad eccezione della primavera, che presenta un leggero aumento.

### Evapotraspirazione media mensile



**Figura 16:** Evapotraspirazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

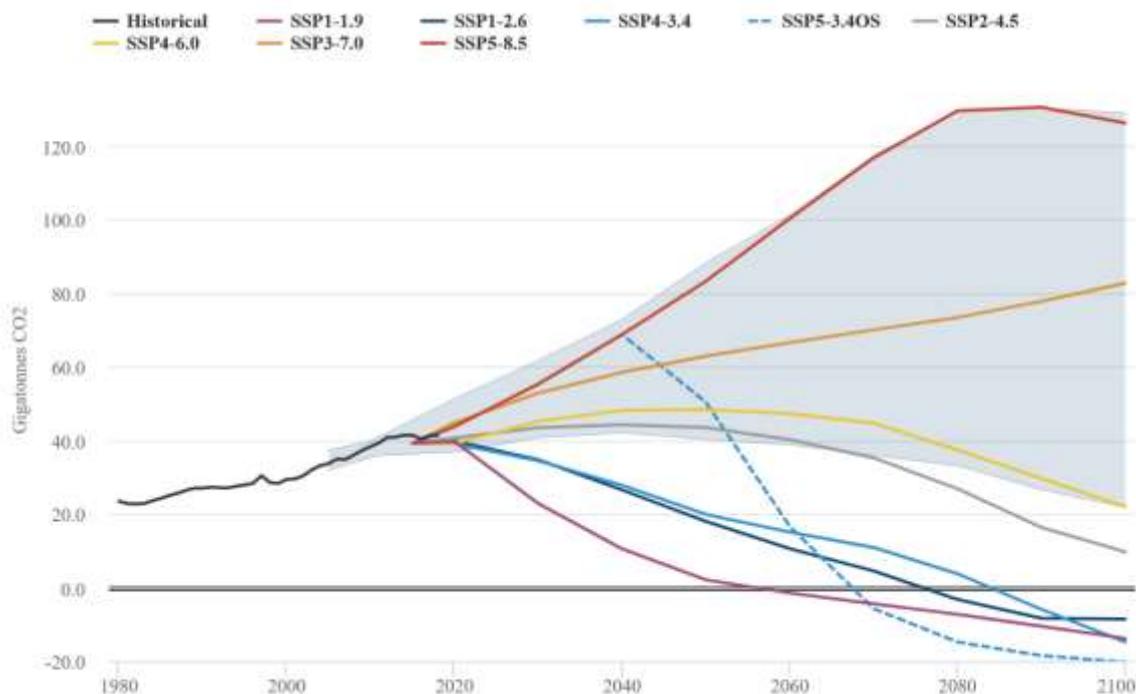
### **3.3 Scenari climatici in proiezione e tendenza climatica**

Nel presente capitolo si propongono alcuni scenari idrologici che si ritiene possano mediamente rappresentare l'evoluzione futura della risorsa idrica disponibile per i bacini oggetto di studio.

Gli effetti del cambiamento climatico sono molto discussi e con risultati molto controversi. Sono stati implementati modelli per valutare gli effetti delle emissioni di gas serra, che fondamentalemente influenzano in modo drammatico l'aumento delle temperature globali.

Questo aumento ha molteplici effetti, tra cui: la redistribuzione delle precipitazioni, il cambiamento delle stagionalità tradizionali, l'aumento dei valori massimi delle precipitazioni e quindi dei valori massimi di alluvione, la posticipazione dell'inizio delle nevicate e l'anticipazione dello scioglimento della neve.

Secondo i più recenti modelli CMIP6, gli attuali scenari di concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera dipendono anche dal modo in cui l'umanità reagisce per mitigare le emissioni.

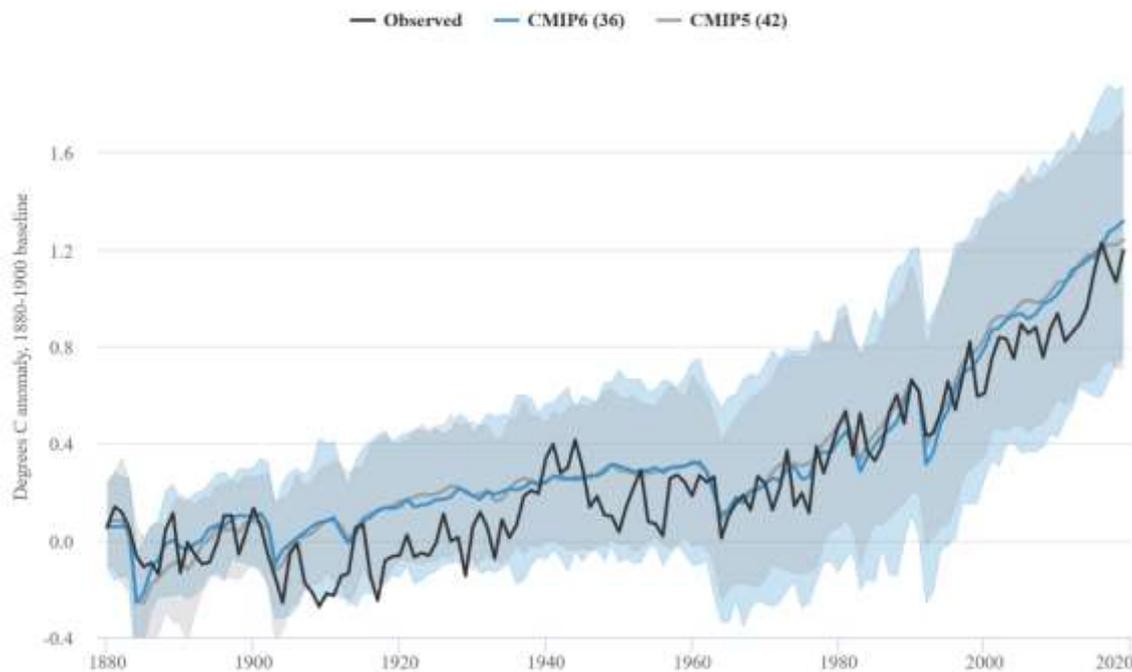


**Figura 17:** modello CMIP6 – previsione delle emissioni di CO2 (credits: Z.Hausfather).

Il grafico successivo mostra l'aumento della temperatura globale dovuto alle emissioni:

#### Global surface temperatures 1880-2019: CMIP5, CMIP6 and observations

For currently available CMIP6 runs. Observational data from NASA GISTEMP.



**Figura 18:** Tendenza evolutiva della temperatura globale (credits: Z.Hausfather).

I diversi modelli prevedono aumenti medi della temperatura alla data di previsione del 2090-2100, come mostrato nella figura seguente:

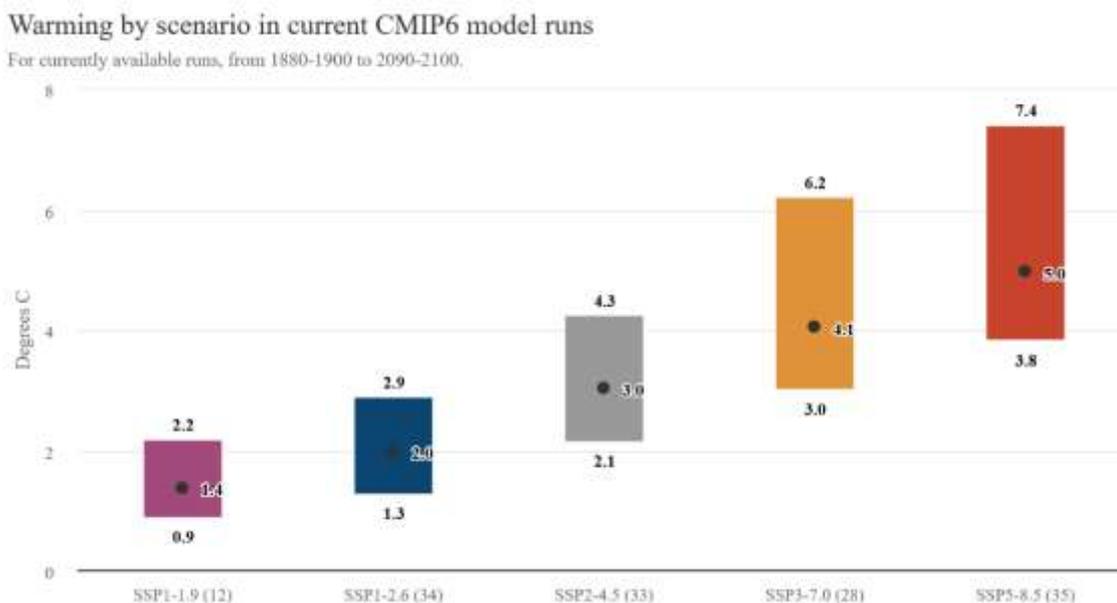


Figura 19: Riscaldamento globale per scenario (credits: Z.Hausfather).

Nell'ambito dei molteplici scenari possibili quelli che appaiono di maggiore interesse e che si ritengono rappresentativi allo scopo della presente relazione sono:

- Scenario a bassa emissione **SSP1-2.6** (RCP 2.6 nei precedenti modelli CMIP5), rappresentativo di tutti gli sforzi volti a limitare il riscaldamento globale a un **massimo di 2°C**;
- Scenario ad elevata emissione **SSP5-8.5** (RCP 8.5 nei precedenti modelli CMIP5), rappresentativo di tutti gli sforzi volti a limitare il riscaldamento globale a un **massimo di 5°C**;

Il **Ministero dell'Ambiente (MATM)** ha sviluppato un piano strategico nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici e valuta importanti informazioni climatiche in relazione all'evoluzione del riscaldamento globale.

Nel documento si cita quanto segue:

- **“Le precipitazioni medie sono in diminuzione nell'Europa meridionale e in aumento nel Nord Europa. Le proiezioni climatiche indicano che tale tendenza continuerà anche in futuro.”**
- **“In Italia, gli impatti attesi più significativi nei prossimi decenni potrebbero essere causati da un eccezionale aumento delle temperature (soprattutto in estate), da un aumento della frequenza degli eventi meteorologici estremi (ondate di calore, siccità ed episodi di forti precipitazioni), da una riduzione delle precipitazioni medie annue e dei deflussi fluviali annuali.”**
- **“La media cumulata delle precipitazioni annue in Italia nel lungo periodo è in leggera diminuzione (dell'ordine dell'1% per decennio). Tuttavia, il segno e il livello di**

**significatività delle tendenze sono altamente variabili a seconda dell'intervallo di tempo, dell'area geoclimatica e della stagione.**

- “Lo scenario A1B IPCC SRES (RCP2.6 o **SSP1-2.6**, nota dell'autore), per il periodo 2021-50, produce un riscaldamento (circa 1,5 ° C in inverno e quasi 2 ° C in estate) e una **diminuzione delle precipitazioni (circa -5% in inverno e -10% in estate) rispetto al periodo di riferimento su gran parte dell'area mediterranea**. Valori più elevati di riscaldamento e riduzioni più drastiche delle precipitazioni si ottengono per scenari corrispondenti a emissioni più elevate (ad esempio A2).”
- “Su gran parte d'Italia, secondo lo scenario IPCC A2 (RCP8.5 o **SSP5-8.5**, nota dell'autore) **le precipitazioni medie diminuiscono in estate del 30% o più, mentre in inverno la riduzione è molto meno consistente al sud e praticamente nessuna al centro**. Al Nord le precipitazioni mostrano un significativo incremento (+ 17%), soprattutto nelle aree alpine”
- “Per **l'energia idroelettrica** sarà necessaria una crescente attenzione in relazione alla variabilità dell'approvvigionamento idrico durante tutto l'anno al fine di **proteggere le condizioni ecologiche del corso d'acqua ed evitare conflitti legati ad altri usi della risorsa, in particolare quelli agricoli**”
- “I cambiamenti climatici e idrologici rendono necessaria l'analisi dei rischi legata alla gestione di bacini artificiali (dighe e laghi) e infrastrutture di genere che interagiscono con le acque e i pendii. L'Italia possiede i dati, le informazioni e le risorse per effettuare un esame critico della situazione del Paese, in tempi compatibili con le esigenze ambientali e sociali. È essenziale agire tempestivamente, data la rapidità con cui si verificano generalmente i cambiamenti climatici, idrologici e ambientali che stanno verificando, e tenendo conto del fatto che gli scenari concordano nell'indicare per il prossimo futuro una continuazione della tendenza attuale (IPCC, 2013).”

Risulta pertanto molto difficile stimare un possibile impatto del cosiddetto “cambiamento climatico” a lungo termine.

Per i bacini in oggetto, si nota che la tendenza di precipitazione è in diminuzione e pertanto andrà a compensare l'aumento di evapotraspirazione.

Ci si potrebbe dunque aspettare un apporto idrologico ai serbatoi con afflussi in diminuzione a livello annuo e con una redistribuzione mensile diversa da quella attuale (ad esempio l'anticipo dello scioglimento delle nevi) e con la presenza di eventi meteorici più intensi.

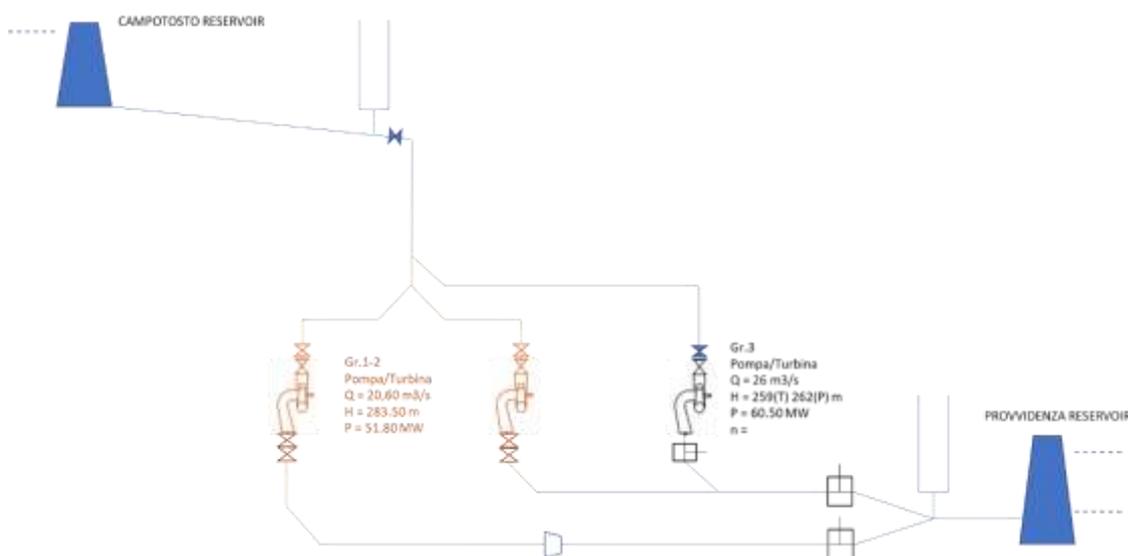
## 4. PROCEDURA DI RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI

La modellazione numerica relativa alla ricostruzione richiesta da Enel GP è stata effettuata con il software Matlab R2022a.

### 4.1 Schematizzazione del modello

La ricostruzione degli afflussi è stata dapprima eseguita per il primo passo dell'asta idroelettrica, ovvero dal serbatoio di Campotosto all'impianto di Provvidenza. Il calcolo dei deflussi dai gruppi permette in primo luogo di stimare gli afflussi naturali al serbatoio di Campotosto, che possono in seguito essere usati per calcolare gli afflussi naturali al serbatoio di Provvidenza.

#### 4.1.1 Tra i serbatoi di Campotosto e Provvidenza



**Figura 20:** Schema idraulico dell'impianto di Provvidenza.

È possibile scrivere le equazioni utili alla ricostruzione degli afflussi, ricordando che sono note le geometrie del sistema, i livelli nei serbatoi e le produzioni delle macchine idrauliche.

La ricostruzione degli afflussi utilizzando il coefficiente energetico dell'impianto, come spesso avviene per effettuare valutazioni semplificate, non dispone della precisione sufficiente allo scopo, in quanto il coefficiente energetico è a sua volta un valore medio indicativo che applicato alle produzioni disponibili con passo temporale molto breve (orario o suborario) distorcerebbe le variazioni naturali della portata entrante nel sistema.

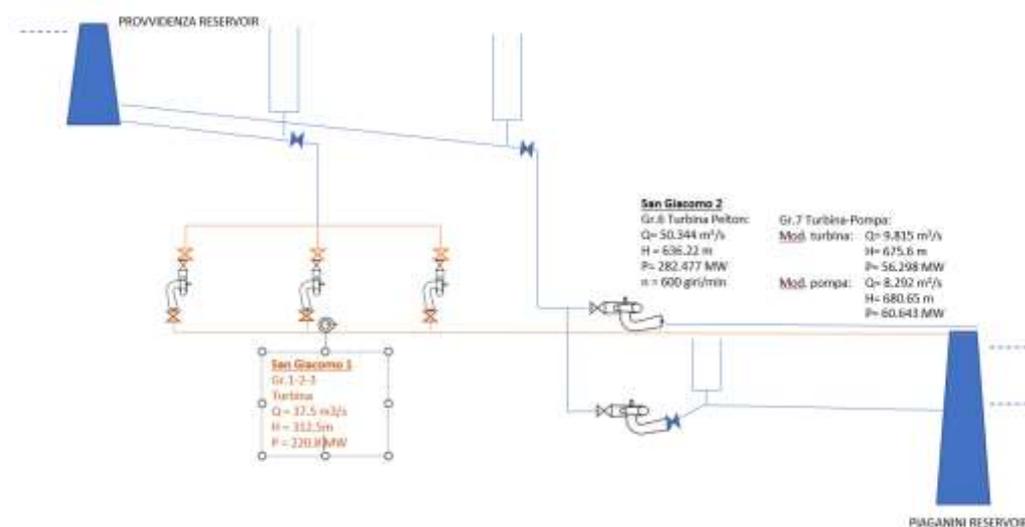
Pertanto, viene modellato tutto il sistema idraulico composto da serbatoio, adduzione (galleria e condotta forzate), macchina e restituzione, formando il seguente sistema di equazioni:

- Bilancio di massa nel serbatoio di monte;
- Curva d'invaso del serbatoio di monte;
- Bilancio energetico tra serbatoio e restituzione;

- Equazione della potenza della macchina;
- Scala di deflusso alla restituzione.

Tale sistema andrà risolto nel tempo, con passo di risoluzione non inferiore al passo temporale minore tra i dati disponibili.

#### 4.1.2 Provvidenza a Piaganini



**Figura 21:** Schema idraulico degli impianti di San Giacomo I e II.

Per questo passaggio il procedimento è identico a quello illustrato per gli afflussi al serbatoio di Campotosto, tranne che per la considerazione degli scarichi delle turbine precedentemente calcolati nell'equilibrio di massa del bacino di Provvidenza.

## 4.2 Procedura di calcolo

I passi adottati nella procedura di ricostruzione degli afflussi sono qui di seguito descritti.

Il passo di calcolo adottato è quello orario.

1. Determinazione dei livelli baricentrici in ciascun intervallo;
2. Stima dei volumi turbinati da ciascun gruppo, tramite risoluzione di un sistema di equazioni non lineari comprendenti:
  - a. Dati noti di Livello nei serbatoi e produzione;
  - b. Bilancio energetico lungo il sistema idraulico;
  - c. Equazioni delle potenze delle macchine;
  - d. Equazione di continuità fra i gruppi ed il sistema idraulico;
  - e. Livelli di valle variabili in funzione della portata dei gruppi;
3. Bilancio di massa nel serbatoio, ricavando i volumi netti entranti.

### 4.3 Serbatoio di Campotosto

#### 4.3.1 Bilancio di massa nel serbatoio di monte

Il bilancio di massa del serbatoio nel tempo

$$\frac{dW}{dt} = \sum Q_{entranti}(t) - \sum Q_{uscenti}(t)$$

viene discretizzato in passi temporali ed espresso in termini di volume considerando tutti gli elementi interagenti con il serbatoio stesso:

$$W_{C,i} - W_{C,i-1} = W_{NET\ IN,i} - W_{T\_Prov,i} - W_{SF,i} - W_{DMV,i}$$

dove le quantità note, espresse in [m<sup>3</sup>] sono

- $W_{C,i}$  è il volume *contenuto* nel serbatoio al passo iesimo;
- $W_{C,i-1}$  è il volume *contenuto* nel serbatoio al passo precedente;
- $W_{T\_Prov,i}$  è il volume turbinato dalla centrale di Providenza al passo iesimo, sottratto o aggiunto in generazione rispettivamente in pompaggio;
- $W_{SF,i}$  è il volume *sfiato* nel serbatoio al passo iesimo;
- $W_{DMV,i}$  è il volume di *deflusso minimo vitale* rilasciato dal serbatoio al passo iesimo;

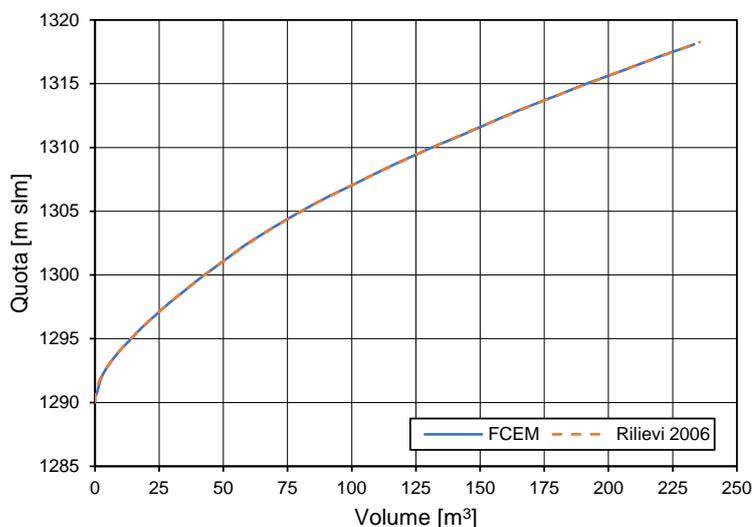
e l'incognita è data da:

- $W_{NET\ IN,i}$  è il volume *NETTO entrante* nel serbatoio al passo iesimo, ovvero al netto delle eventuali perdite od apporti sotterranei al serbatoio.

#### 4.3.2 Curva d'invaso del serbatoio

La curva d'invaso del serbatoio di Campotosto è disponibile sia all'interno del FCEM, sia Piano di Gestione dei Sedimenti (Batimetria 2020).

Curva di invaso Campotosto



**Figura 22:** Serbatoio di Campotosto – curva d'invaso.

Le funzioni interpolari consentono, all'istante temporale considerato nel ciclo di calcolo, di ricavare:

$$z_{wC,i} = f_{CAMPOTOSTO}(W_{S,i})$$

oppure

$$W_{C,i} = f_{CAMPOTOSTO}(z_{wS,i})$$

con

- $z_{wC,i}$  è il livello nel serbatoio al passo iesimo [m s.l.m.]
- $W_{C,i}$  è il volume nel serbatoio al passo iesimo [m<sup>3</sup>]

#### 4.3.3 Bilancio energetico tra i serbatoi

Considerato lo schema idraulico Serbatoio-Adduzione-Serbatoio, le perdite di carico sono definite mediante la formulazione  $\Delta H = K \cdot Q^2$  in modo da "legare" il serbatoio con le macchine.

K è definito in base alle perdite di carico distribuite e concentrate del sistema. Il valore K considerato (cfr. [1]) per la derivazione Provvidenza è diverso se la centrale è in generazione o pompaggio:

$$K_{T,PROV} = 0.002777 \quad \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right]$$

$$K_{P,PROV} = 0.003169 \quad \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right]$$

Il carico assorbito dalle macchine idrauliche viene conteggiato nell'equazione della potenza delle macchine, definita nel paragrafo seguente.

In pratica, l'equazione si esprime come:

$$\Delta H_{GRUPPO,i} = z_{wC,i} - z_{wP,i} - K_{Prov} \cdot Q_{G,i} * |Q_{G,i}| \quad [m]$$

con

- $\Delta H_{GRUPPO,i}$  è il la prevalenza nella macchina idraulica al passo iesimo;
- $z_{wC,i}$  è il livello nel serbatoio di Campotosto (monte) al passo iesimo;
- $z_{wP,i}$  è il livello nel serbatoio di Provvidenza (valle) al passo iesimo (vedasi §4.3.2);
- $K_{PROV}$  è il coefficiente delle perdite;
- $Q_{G,i}$  è la portata turbinata dalle macchine (e transitante nella condotta di adduzione) al passo iesimo. L'utilizzo del modulo permette di usare la stessa equazione con i gruppi in pompaggio o in turbinaggio.

#### 4.3.4 Equazione della potenza della macchina

L'equazione della potenza della macchina consente di mettere a sistema la portata e la prevalenza, una volta nota la produzione della macchina.

Nel caso della derivazione Provvidenza sono presenti tre gruppi, e pertanto il sistema risolutivo generale è il seguente:

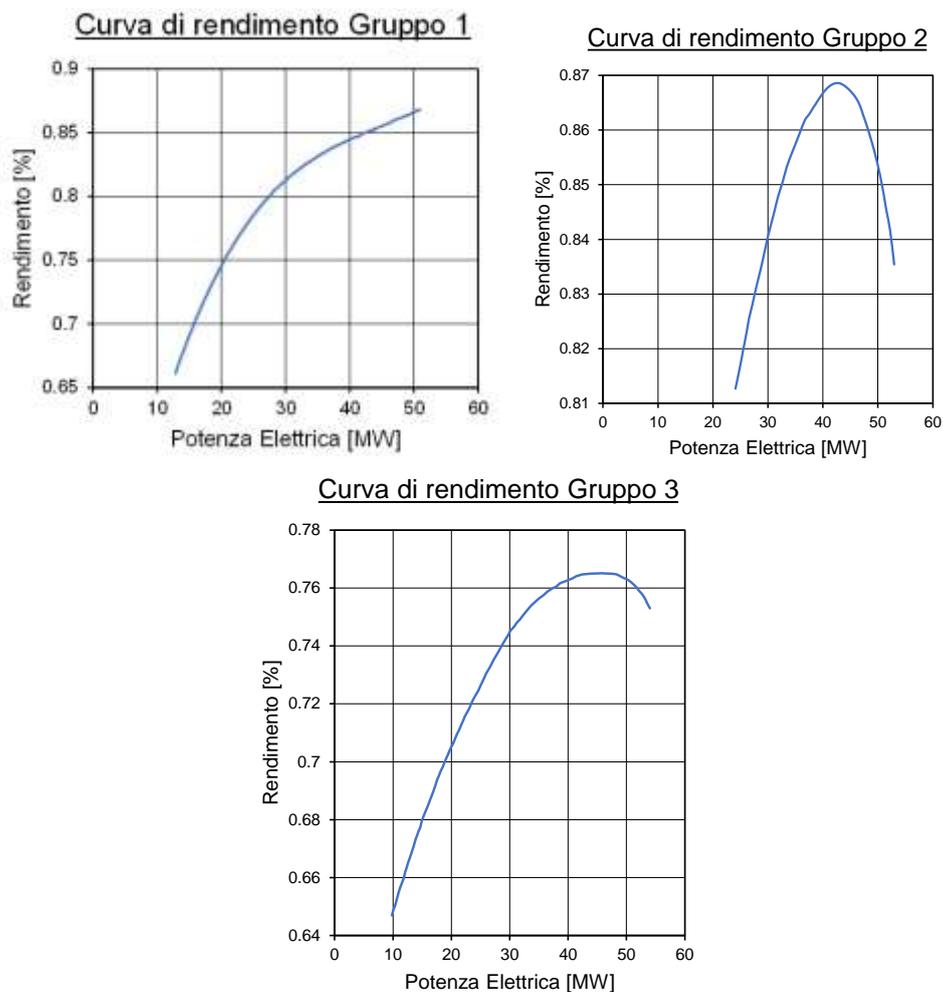
$$\begin{cases} P_{GR1,i} = g \cdot Q_{GR1,i} \cdot \Delta H_{GR1,i} \cdot \frac{\eta(P_{GR1,i})}{1000}; \\ P_{GR2,i} = g \cdot Q_{GR2,i} \cdot \Delta H_{GR2,i} \cdot \frac{\eta(P_{GR2,i})}{1000}; \\ P_{GR3,i} = g \cdot Q_{GR3,i} \cdot \Delta H_{GR3,i} \cdot \frac{\eta(P_{GR3,i})}{1000}; \\ Q_{T,i} = Q_{GR1,i} + Q_{GR2,i} + Q_{GR3,i}; \end{cases}$$

con

- $g$  accelerazione gravitazionale [m/s<sup>2</sup>]
- $P_{GRj,i}$  potenza del gruppo al passo iesimo [MW]
- $Q_{GRj,i}$  portata del gruppo al passo iesimo [m<sup>3</sup>/s]
- $\Delta H_{GRj,i}$  salto netto del gruppo al passo iesimo [m]
- $\eta(P_{GRj,i})$  rendimento del gruppo al passo iesimo [-]

Nel caso di pompaggio, il rendimento (sempre minore di 1) passa al denominatore.

Le curve di rendimento in generazione sono disponibili per tutti e tre i gruppi della centrale di Provvidenza, ricavate da test svolti in date differenti. Queste curve sono riportate in **Figura 23**.



**Figura 23:** Curve di rendimento dei gruppi di produzione n°1, n°2 e n°3 Francis (in generazione) della centrale di Provvidenza.

Per le tre curve i valori sono dati per la turbina e il generatore. I test sono stati svolti nel 1999 [3] per il primo Gruppo, nel 1988 [4] per il secondo e nel 1985 [5] per il terzo.

Poiché il rendimento del generatore è dato nei valori di **Figura 23**, e dato che il rendimento del trasformatore è stato assunto a 0.99, il rendimento complessivo di gruppo viene calcolato come il prodotto dei due:

$$\eta = \eta_{TURBINA+GENERATORE} \cdot \eta_{TRASFORMATORE}$$

Dato che non è noto il rendimento dei tre gruppi in pompaggio, viene assunto un valore fisso pari a 0.75.

#### 4.4 Serbatoio di Provvidenza

Le equazioni riportate qui di seguito si rifanno a quanto presentato nel sottocapitolo precedente, al quale si fa riferimento per ulteriori dettagli.

##### 4.4.1 Bilancio di massa nel serbatoio di monte

La differenza principale in questo caso è data dalla necessità di tre dati diversi per i volumi pompati dalle tre centrali, i.e. Provvidenza, per la quale si hanno valori negativi in pompaggio e positivi in turbinaggio, San Giacomo I, che può avere solo valori negativi, e San Giacomo II, che ha valori positivi in pompaggio e negativi in turbinaggio:

$$W_{P,i} - W_{P,i-1} = W_{NET\ IN,i} + W_{T\ Prov,i} - W_{T\ SG1,i} - W_{T\ SG2,i} - W_{SF,i} - W_{DMV,i}$$

Si assume che gli afflussi naturali raccolti dai canali a pelo libero e aggiunti al sistema in corrispondenza del serbatoio di Provvidenza siano inclusi nel volume d'invaso, e quindi nell'afflusso naturale calcolato. Si può infatti notare come la centrale di San Giacomo I funzioni unicamente per il 6% del periodo analizzato, indicando quindi che l'acqua viene utilizzata per lo più dalla centrale di San Giacomo II.

##### 4.4.2 Curva d'invaso

La curva d'invaso del serbatoio di Provvidenza è riportata in

**Figura 24**, disponibile sia all'interno del FCEM, sia Piano di Gestione dei Sedimenti (Batimetria 2006).

Le funzioni interpolari consentono, all'istante temporale considerato nel ciclo di calcolo, di ricavare:

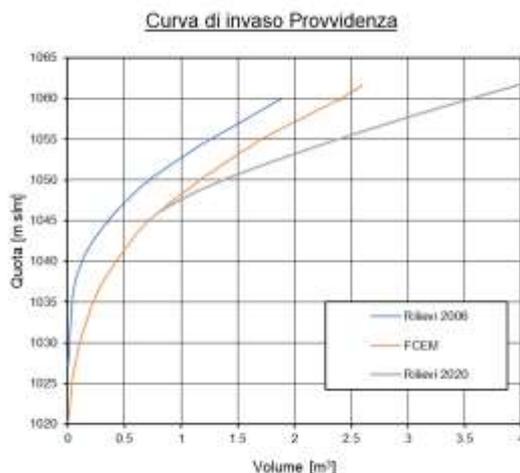
$$z_{WP,i} = f_{PROVVIDENZA}(W_{P,i})$$

oppure

$$W_{P,i} = f_{PROVVIDENZA}(z_{WP,i})$$

con

- $z_{WP,i}$  è il livello nel serbatoio al passo iesimo [m s.l.m.]
- $W_{P,i}$  è il volume nel serbatoio al passo iesimo [m<sup>3</sup>]



**Figura 24:** Serbatoio di Provvidenza – curva d’invaso.

#### 4.4.3 Serbatoio di Piaganini

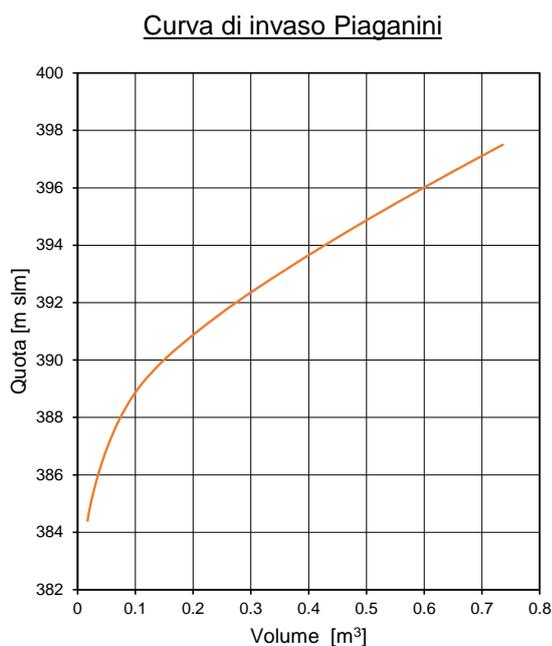
La quota del serbatoio di Piaganini è usata unicamente per calcolare le perdite del gruppo Francis reversibile, dato che le portate affluenti di questo serbatoio non sono fra gli obiettivi del presente studio.

Analogamente agli altri serbatoi, lo stesso procedimento si applica anche all’invaso di Piaganini, a valle dei due impianti di San Giacomo. Le funzioni interpolari sono dunque:

$$z_{wPi,i} = f_{PIAGANINI}(W_{S,i})$$

$$W_{Pi,i} = f_{PIAGANINI}(z_{wS,i})$$

La curva d’invaso è data in **Figura 25**:



**Figura 25:** Serbatoio di Piaganini – curva d’invaso.

#### 4.4.4 Bilancio energetico tra i due serbatoi

Lo stesso procedimento descritto nei paragrafi precedenti è applicato per il calcolo delle portate turbinate dai gruppi delle centrali di San Giacomo. I valori K utilizzati sono definiti qui di seguito (cfr. [2]):

$$\begin{aligned}
 K_{SG1} &= 0.04803 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right] \\
 K_{TSG2\_G\&P} &= 0.01241 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right] \\
 K_{PSG2\_G\&P} &= 0.01251 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right] \\
 K_{TSG2\_6} &= 0.00017 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right] \\
 K_{TSG2\_7} &= 0.02798 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right] \\
 K_{DS\_7} &= 0.0468 && \left[ \frac{m}{(m^3/s)^2} \right]
 \end{aligned}$$

Dove:

- $K_{SG1}$  è il valore per la derivazione San Giacomo I;
- $K_{TSG2\_G\&P}$  è il valore per San Giacomo II dalla presa alla fine della biforcazione tra i gruppi 6 e 7 nel pozzo forzato, quando la centrale è in generazione;
- $K_{PSG2\_G\&P}$  è il valore per San Giacomo II dalla presa alla fine della biforcazione tra i gruppi 6 e 7 nel pozzo forzato, quando la centrale è in pompaggio;
- $K_{TSG2\_6}$  è il valore per San Giacomo II dalla biforcazione alla turbina Pelton (Gr. 6);
- $K_{TSG2\_7}$  è il valore per San Giacomo II dalla biforcazione alla turbina Francis (Gr. 7);
- $K_{DS\_7}$  è il valore per San Giacomo II per la restituzione della turbina reversibile (Gr. 7);

Con questi valori possono essere definite le stesse equazioni formulate per la centrale di Provvidenza. Per il gruppo Pelton si ottiene:

$$\Delta H_{GRUPPO,i} = z_{WP,i} - z_{Injectors} - \sum K_j \cdot Q_{j,i} * |Q_{j,i}| \quad [m]$$

Mentre per la turbina Francis:

$$\Delta H_{GRUPPO,i} = z_{WP,i} - z_{wPi,i} - \sum K_j \cdot Q_{j,i} * |Q_{j,i}| \quad [m]$$

#### 4.4.5 Equazione della potenza delle macchine

Le centrali di San Giacomo I e II hanno derivazioni indipendenti, quindi sono necessari due separati sistemi di equazioni. Per San Giacomo I, il sistema è espresso come segue:

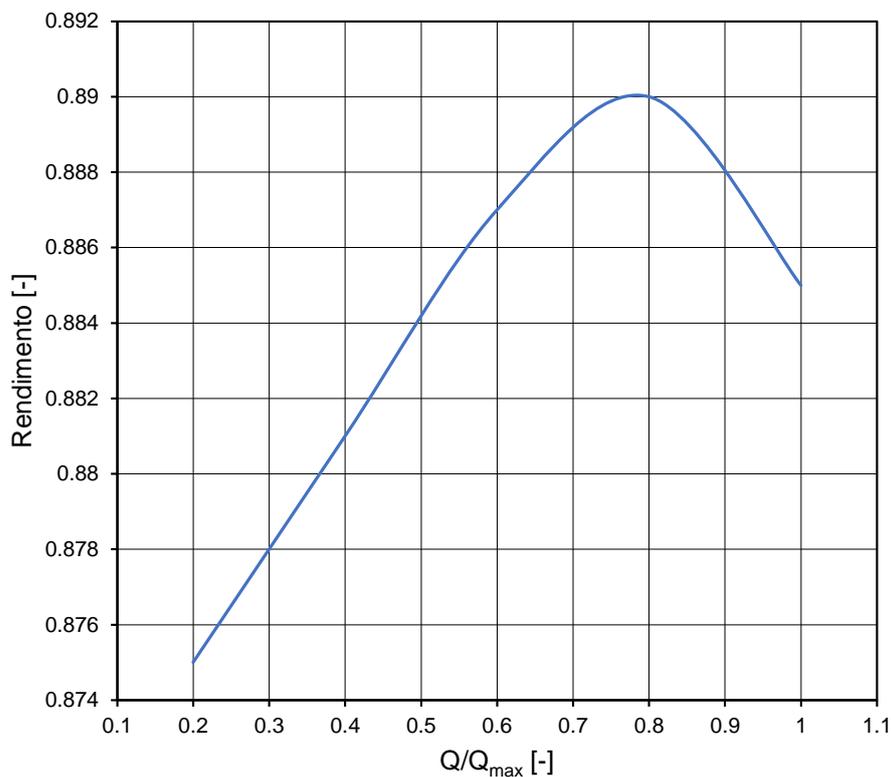
$$\begin{cases} P_{GR1,i} = g \cdot Q_{GR1,i} \cdot \Delta H_{GR1,i} \cdot \frac{\eta(Q_{GR1,i}/Q_{MAX,GR1})}{1000}; \\ P_{GR2,i} = g \cdot Q_{GR2,i} \cdot \Delta H_{GR2,i} \cdot \frac{\eta(Q_{GR2,i}/Q_{MAX,GR2})}{1000}; \\ P_{GR3,i} = g \cdot Q_{GR3,i} \cdot \Delta H_{GR3,i} \cdot \frac{\eta(Q_{GR3,i}/Q_{MAX,GR3})}{1000}; \\ Q_{T,i} = Q_{GR1,i} + Q_{GR2,i} + Q_{GR3,i}; \end{cases}$$

con

$$\eta = \eta_{TURBINA} \cdot \eta_{GENERATORE} \cdot \eta_{TRASFORMATORE}$$

Poiché non sono note le curve di rendimento dei gruppi di San Giacomo I, vengono usate le curve di macchine simili:

Curva di rendimento Gruppo 1-2-3 in funzione della portata



**Figura 26:** Tipica curva di rendimento di una turbina Pelton.

Per la centrale di San Giacomo II, il sistema diventa:

$$\begin{cases} P_{GR6,i} = g \cdot Q_{GR1,i} \cdot \Delta H_{GR1,i} \cdot \frac{\eta(P_{GR6,i})}{1000}; \\ P_{GR7,i} = g \cdot Q_{GR2,i} \cdot \Delta H_{GR2,i} \cdot \frac{\eta(P_{GR7,i})}{1000}; \\ Q_i = Q_{GR6,i} + Q_{GR7,i}; \end{cases}$$

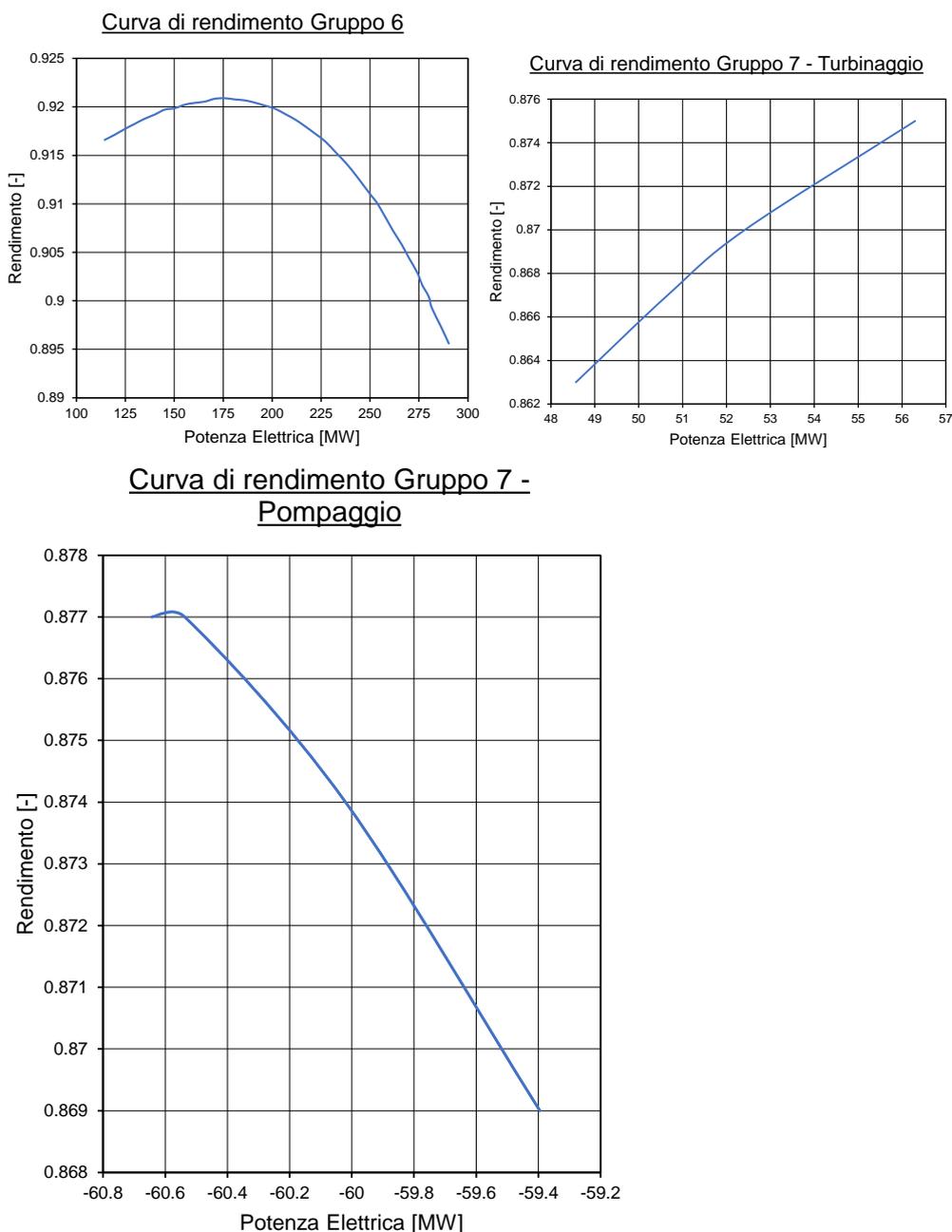
Con:

$$\eta = \eta_{TURBINA+GENERATORE} \cdot \eta_{TRASFORMATORE}$$

Il sistema è implementato nel codice usato per il calcolo da poter considerare tutti i casi di carico:

- Uno o entrambi i gruppi sono in generazione;
- Il gruppo reversibile (Gr.7) è in pompaggio;
- Il gruppo reversibile (Gr.7) è in pompaggio mentre il gruppo Pelton (Gr.6) è in turbinaggio;

Le curve di rendimento per entrambi i gruppi sono note, e riportate qui sotto in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**



**Figura 27:** Curve di rendimento dei gruppi di San Giacomo II (Gr. 6 e 7) [7]

#### 4.5 Attività propedeutiche al calcolo

Per poter procedere con il ciclo di calcolo, è stato necessario svolgere alcune attività propedeutiche di rielaborazione o preparazione dei dati, come descritto qui di seguito.

##### 4.5.1 Livelli e produzioni

Si premette che, come citato sopra, i dati delle produzioni o dei livelli nei serbatoi sono risultati incompleti. Come attività propedeutica al calcolo è stato dunque necessario ricostruire i dati mancanti.

Considerato che la maggior parte dei dati mancanti o derivanti da errori strumentali sono risultati essere puntuali, si è optato per:

- Individuare dei macro-periodi in cui i dati si ritenessero utili al calcolo a ritroso dei deflussi naturali;
- Procedere con la sostituzione dei dati mancanti o errati mediante interpolazione lineare.

I dati ricostruiti sono poi utilizzati nella procedura di calcolo degli afflussi.

Si segnala che l'interpolazione lineare porta sempre ad una ricostruzione precisa se il dato da correggere è isolato. Se invece vi sono più dati consecutivi da ricostruire, è possibile che l'interpolazione lineare porti a dei valori non verosimili. Di questa possibilità si è tenuto conto nella procedura di calcolo, descritta nel successivo paragrafo.

##### 4.5.2 Deflusso Minimo Vitale

Per i valori di Deflusso Minimo Vitale (DMV) sono stati creati due vettori di dati contenenti i volumi utilizzati nell'erogazione del DMV, assunti come costanti durante il periodo esaminato:

1. Riferiti all'attuazione della fase di sperimentazione <sup>2</sup>:
  - Dal serbatoio di Provvidenza: 0.179 m<sup>3</sup>/s;
  - Dalla Presa Mavone sul canale di gronda 400 Dx: 0.175 mc/s
  - Dalla Presa Ruzzo sul canale di gronda 400 Dx: 0.096 mc/s
2. Riferiti ai Disciplinari di Concessione <sup>3</sup>:
  - Dalla Presa Tordino sul canale di gronda 400 Sx: 0.28 mc/s
  - A valle dell'abitato di Montorio al Vomano, alimentata dal serbatoio Piaganini e/o dai due canali di gronda 400: 1,35 mc/s

##### 4.5.3 Sfiori

Dalle informazioni ricevute si nota che non vi è stato alcuno sfioro durante il periodo analizzato per le tre dighe di Campotosto, o per la diga di Provvidenza. Si segnalano degli eventi di sfioro per la diga di Piaganini, che non sono però rilevanti nell'ambito di questo studio.

---

<sup>2</sup> Convenzione con Regione Abruzzo in data 5/8/2014 (Convenzione per l'esecuzione della sperimentazione sui rilasci dalle opere di presa delle derivazioni d'acqua ad uso idroelettrico site nel bacino idrografico del fiume Vomano)

<sup>3</sup> Note del Genio Civile di Teramo prot. 841 del 5/6/1954 e del Ministero dei LL.PP: Servizio Idrografico del 5/4/1957

#### **4.6 Postelaborazione**

A causa delle approssimazioni dovute al processo di interpolazione dei dati mancanti o errati, è possibile che risultino alcuni volumi netti entranti aventi valore negativo, cosa che si ritiene non accettabile (valori al minimo nulli) per via della fisicità del problema.

Considerando che questi valori negativi rappresentano tra il 40% (Provvidenza) e il 50% (Campotosto) dei risultati per i due serbatoi, si assume che questi non siano dovuti a inconsistenze nei dati di quota o nelle portate turbinate dai gruppi, bensì a oscillazioni tra valori estremi positivi e valori negativi tra due intervalli temporali. Queste oscillazioni possono essere causate da una leggera distanza tra l'ora in cui viene calcolata la media del livello dell'acqua e quella in cui viene calcolata la media della potenza generata.

La prima correzione consiste nell'applicazione di un filtro costituito da una media mobile gaussiana dei dati, che riduce la quantità di valori negativi al 5% (Provvidenza) rispettivamente 9% (Campotosto).

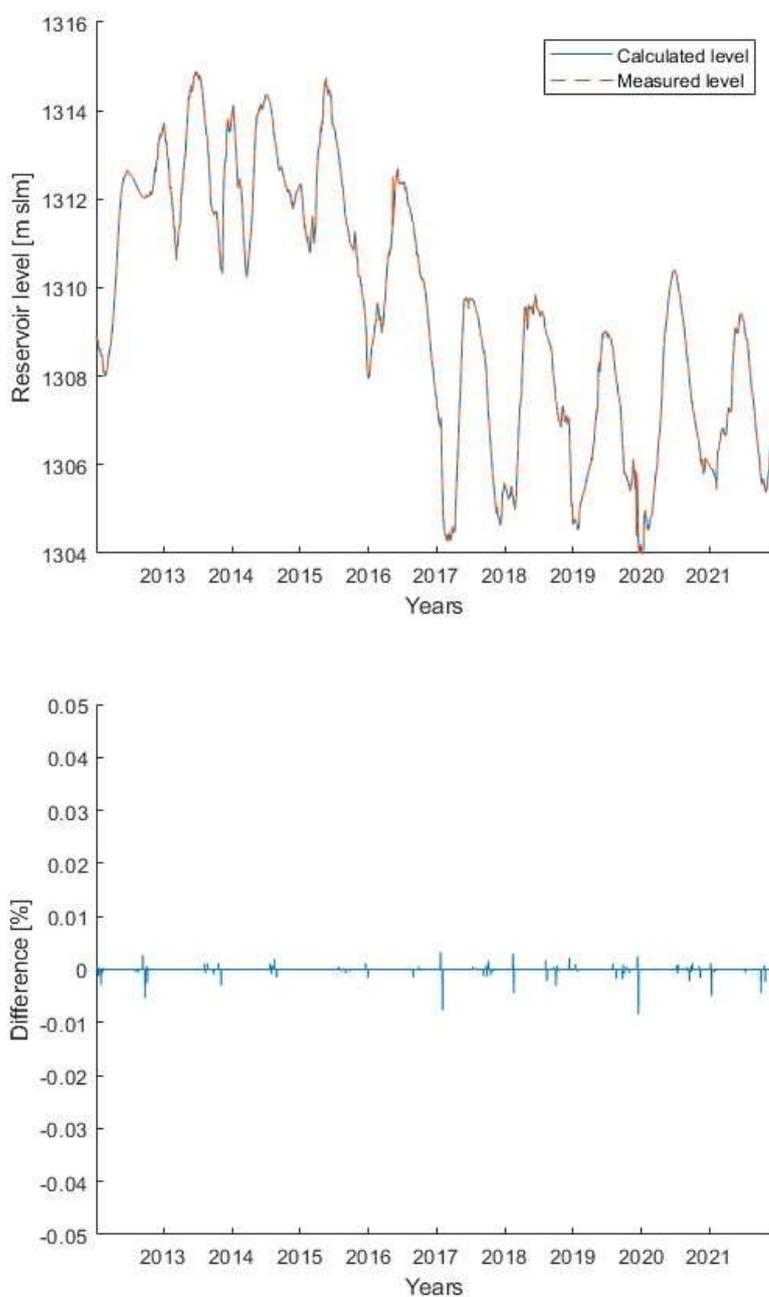
I valori rimanenti sono stati eliminati con un secondo metodo, che consiste nell'aggiustamento del livello nel serbatoio al fine di ritrovare la congruenza nel bilancio di massa.

## 5. RISULTATI

### 5.1 Serbatoio di Campotosto

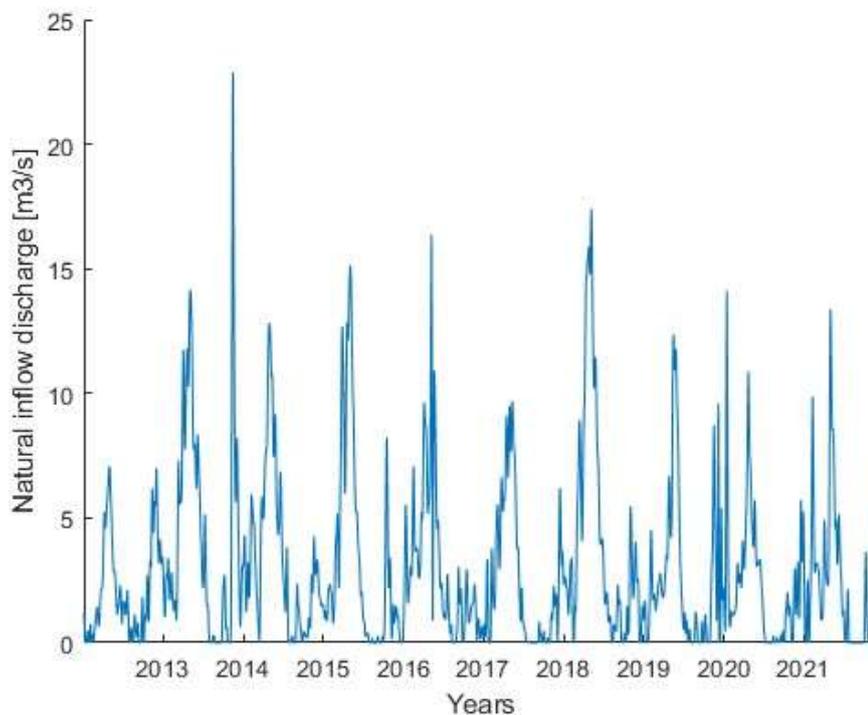
#### 5.1.1 Ricostruzione dei livelli e dei volumi

Il confronto tra livelli ricostruiti e livelli originali mostra una sostanziale identità tra i due valori, con la presenza di variazioni tipicamente puntuali. Eventuali errori sono visibili sui volumi, ovvero la quantità modificata.



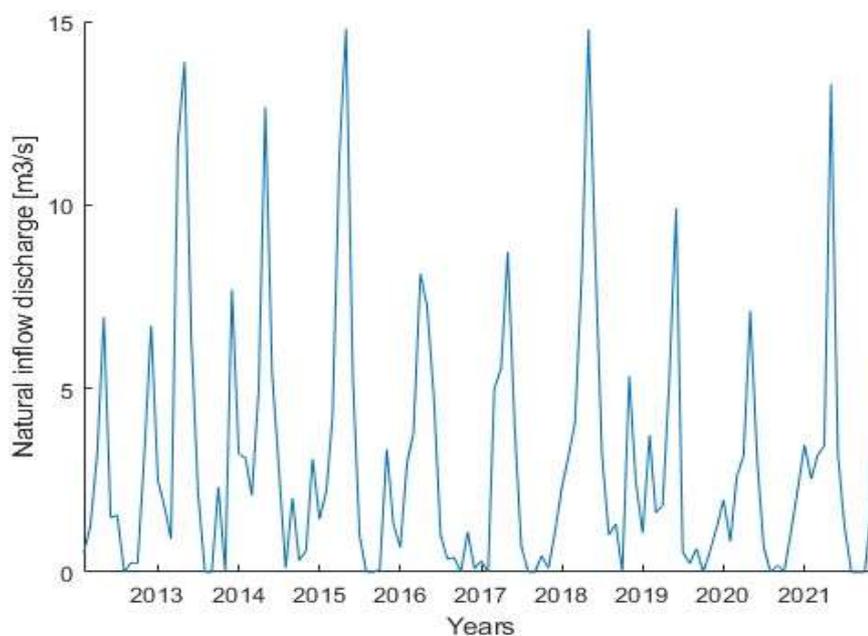
**Figura 28:** Serbatoio di Campotosto – confronto tra livelli originali e corretti.

5.1.2 Portate



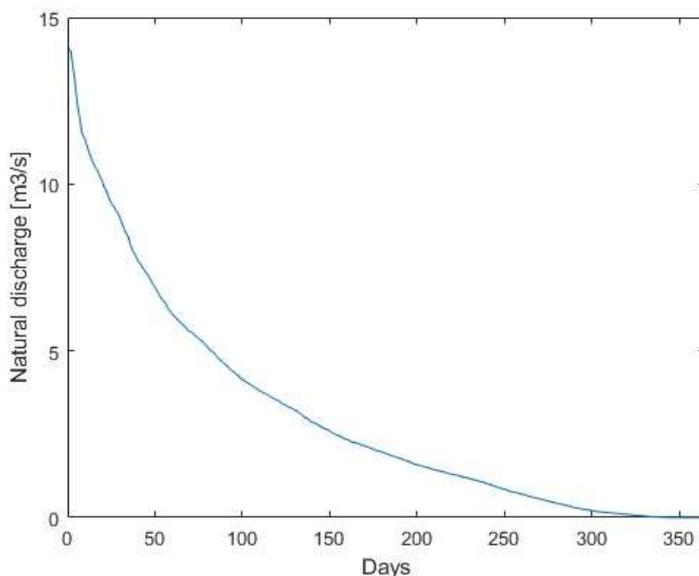
**Figura 29:** Serbatoio di Campotosto, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021.

Per migliorare la leggibilità dei dati, si riportano nel seguente grafico le portate medie mensili:



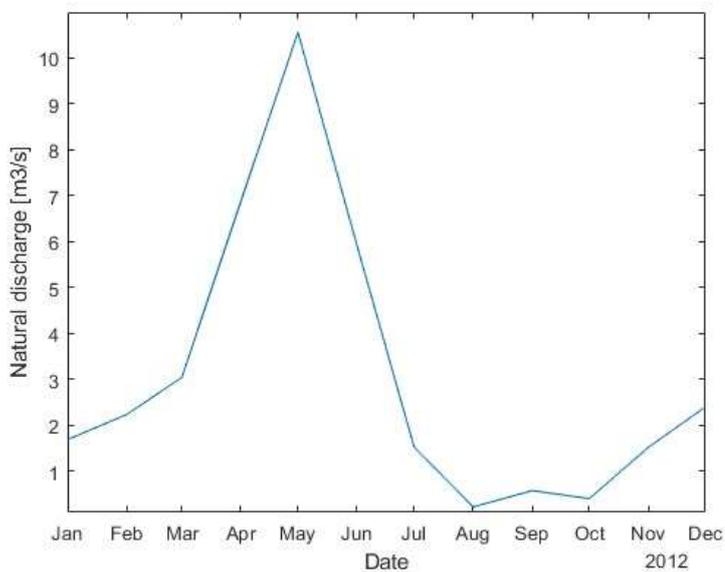
**Figura 30:** Serbatoio di Campotosto, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021.

Nella seguente figura si riporta la curva di durata dei dati giornalieri:



**Figura 31:** Serbatoio di Campotosto, curva di durata portate nette entranti ricostruite, passo giornaliero.

Il seguente grafico mostra gli afflussi medi mensili per il periodo 2013-2020. Gli anni 2012 e 2021 sono stati esclusi in quanto con dati incompleti.



**Figura 32:** Serbatoio di Campotosto, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020.

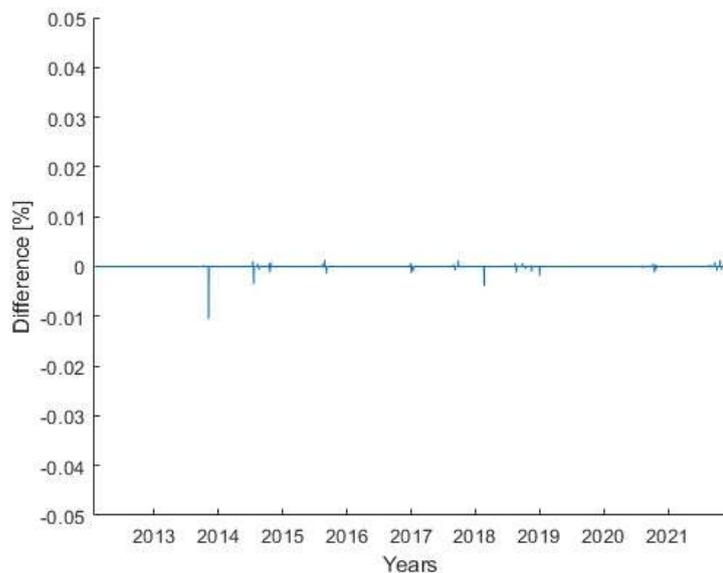
La portata media mensile affluente ricostruita dalla simulazione nel periodo 2013-2020 risulta essere pari a 3.07 m<sup>3</sup>/s, inferiore di circa il 20% rispetto alla portata media annua prevista in concessione per l'impianto di Provvidenza, pari a 3.80 m<sup>3</sup>/s.

Tale riduzione si correla alla riduzione della precipitazione nell'area negli ultimi 10 anni.

## 5.2 Serbatoio di Provvidenza

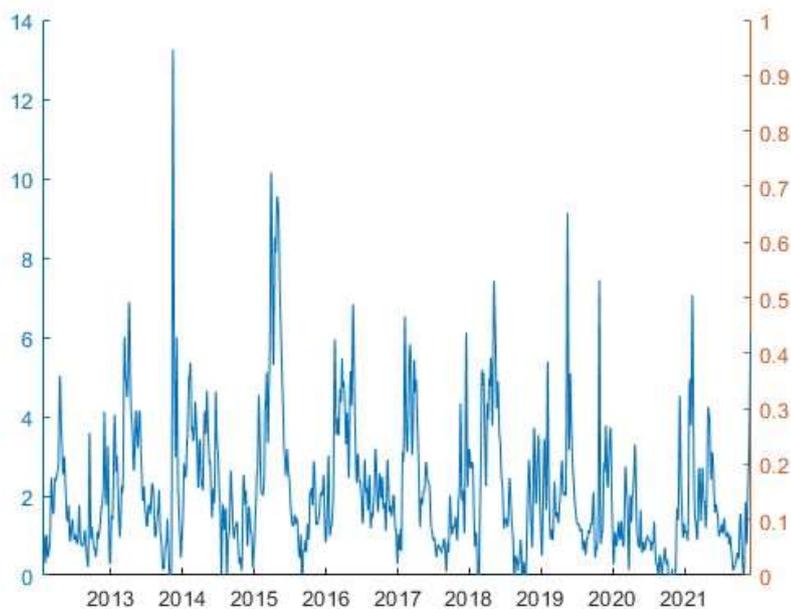
### 5.2.1 Ricostruzione dei livelli e dei volumi

Il confronto tra i livelli originali e quelli ricostruiti non è mostrato a causa delle variazioni nella quota di questo serbatoio. Viene tuttavia mostrato il confronto sui volumi, ovvero la quantità modificata.



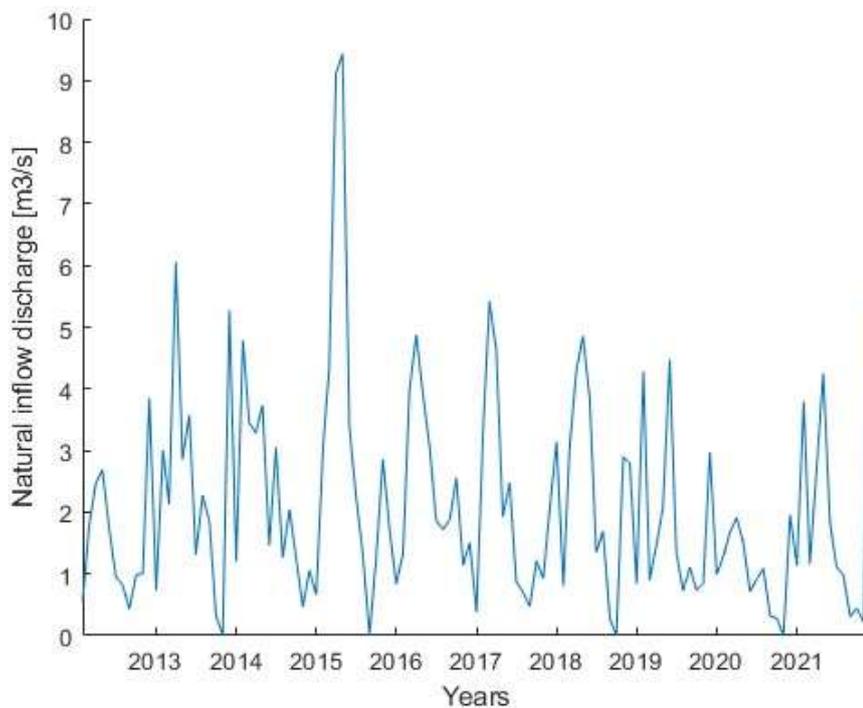
**Figura 33:** Serbatoio di Provvidenza – livelli originali e corretti.

### 5.2.2 Portate



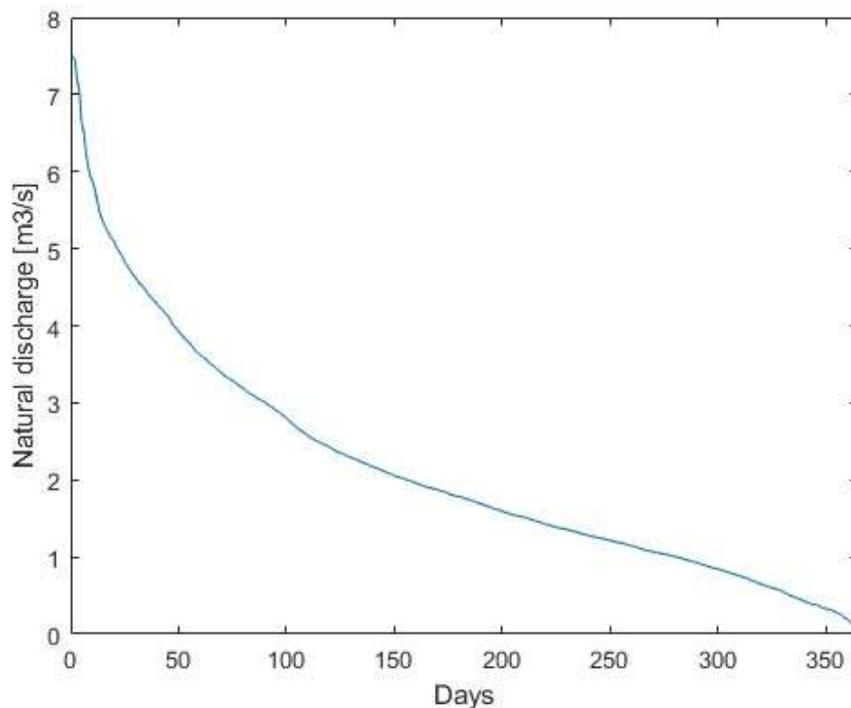
**Figura 34:** Serbatoio di Provvidenza, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021.

Per migliorare la leggibilità dei dati, si riportano nel seguente grafico le portate medie mensili:



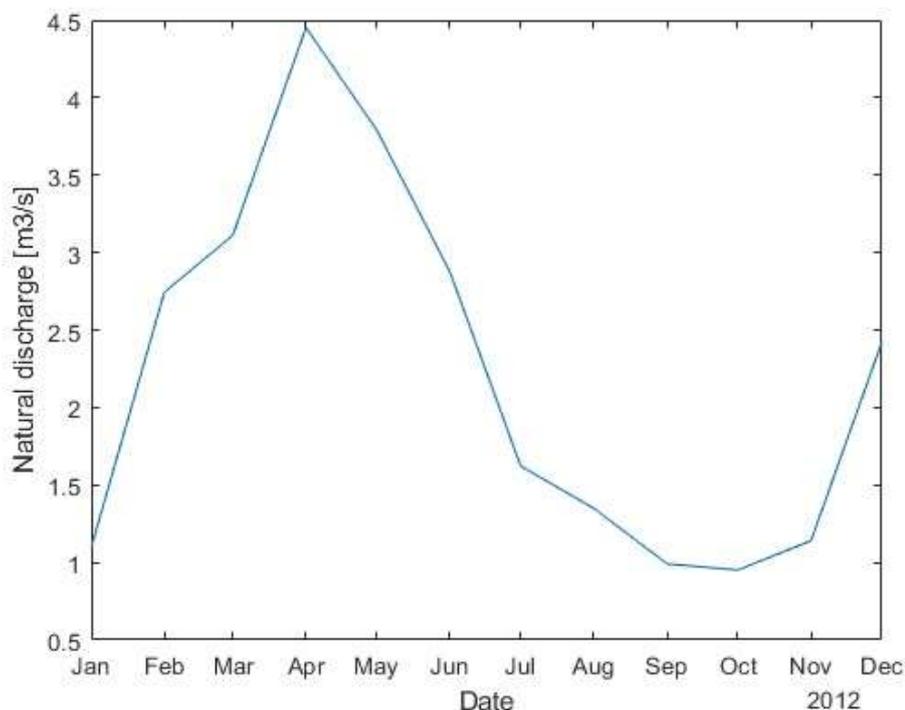
**Figura 35:** Serbatoio di Provvidenza, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021.

Nella seguente figura si riporta la curva di durata dei dati giornalieri:



**Figura 36:** Serbatoio di Provvidenza, curva di durata portate nette entranti, passo giornaliero.

Il seguente grafico mostra gli afflussi medi mensili per il periodo 2013-2020. Gli anni 2012 e 2021 sono infatti non completi.



**Figura 37:** Serbatoio di Provvidenza, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020.

La portata media mensile affluente ricostruita dalla simulazione nel periodo 2013-2020, intesa come somma del contributo di bacino diretto e bacini allacciati (quindi esclusi i sottobacini afferenti a Campotosto, ndr) risulta essere pari a  $2.12 \text{ m}^3/\text{s}$ , che sommati ai  $3.07 \text{ m}^3/\text{s}$  porterebbero ad una disponibilità media annua pari a circa  $5.2 \text{ m}^3/\text{s}$  inferiore di circa il 40% rispetto alla portata media annua prevista in concessione per l'impianto di Provvidenza, pari a  $8.86 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tale riduzione si correla alla riduzione della precipitazione nell'area negli ultimi 10 anni.

### 5.3 IMPIANTO DI SAN GIACOMO III - Determinazione della tipologia di Pompaggio

La tipologia di pompaggio, che occorre definire per stabilire il corretto iter autorizzativo di Autorizzazione Unica (AU), dipende dalle caratteristiche dell'impianto e dai volumi naturali affluenti al serbatoio di monte.

In particolare, si considera come riferimento la definizione di Terna, secondo la quale sono designati col termine di impianti di pompaggio puro o impianti di pompaggio misto quando, rispettivamente, gli apporti naturali che alimentano il serbatoio superiore siano in media inferiori o superiori al 5% del volume d'acqua mediamente turbinata in un anno.

Il progetto consiste nell'inserimento di un gruppo pompa in parallelo ad un gruppo turbina esistente. Il nuovo gruppo, in centrale separata, è evidentemente privo di capacità di turbinaggio, con impiego quindi nullo in turbinaggio degli afflussi naturali al bacino sotteso a monte, che rimangono quindi utilizzati sui gruppi esistenti. **Il nuovo impianto di San Giacomo III si qualifica pertanto come impianto di “Pompaggio puro”.**

Ai sensi di quanto previsto dall'Art. 13 della Legge 27 aprile 2022 n. 34 (legge di conversione del D.L. 01 marzo 2022 n. 17), che aggiunge all'Art. 12 c. 3 del d.lgs. n. 387 del 2003 il seguente periodo

*"Per gli impianti di accumulo idroelettrico attraverso pompaggio puro l'autorizzazione è rilasciata dal Ministero della transizione ecologica, sentito il Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili e d'intesa con la regione interessata, con le modalità di cui al comma 4".*

**La competenza per il rilascio dell'Autorizzazione Unica per questo impianto è in capo al MiTE.**

## 6. ANALISI DELLE OSCILLAZIONI DI LIVELLO NEI SERBATOI

L'operatività a ciclicità giornaliera dei nuovi gruppi reversibili, che collegano idraulicamente i due serbatoi di Provvidenza e Piaganini, induce oscillazioni di livello nei serbatoi.

Il presente paragrafo vuole valutare l'entità di tali oscillazioni, sotto alcune ipotesi che consentono di isolarne l'effetto da altri concomitanti:

- Assenza di perdite, ad esempio dovute all'evaporazione;
- Assenza di contributi idrologici;

Risulta vincolante il volume utile di regolazione del serbatoio di Provvidenza, che allo stato (Batimetria 2020) risulta essere pari a 1.43 Mm<sup>3</sup>, contro gli 1.68 Mm<sup>3</sup> utili originali.

Per il serbatoio di Piaganini, l'analisi è fatta sulla base delle indicazioni di Enel GP, che prevedono lo sfangamento del Serbatoio fino al raggiungimento della capacità utile originaria di 0.95 Mm<sup>3</sup>.

Le caratteristiche idrauliche considerate per l'impianto di San Giacomo II+III sono:

- generazione (direzione Provvidenza → Piaganini):  $Q=58.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 4.6 ore;
- pompaggio (direzione Piaganini → Provvidenza):  $Q=42.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 6.3 ore;

Occorre poi tenere in conto che dalla futura centrale di Provvidenza sarebbe possibile pompare o turbinare verso/da Campotosto un volume pari a quello di regolazione utile del serbatoio di Provvidenza. In questo caso di funzionamento in cascata, le portate differenziali e la durata del trasferimento attraverso il serbatoio di Provvidenza diventerebbero pari a:

- generazione (direzione Campotosto → Piaganini):  $Q=86.0-58.0 = 28.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
In questo caso, tutto il volume utile verrebbe trasferito in 9.4 ore;
- pompaggio (direzione Piaganini → Campotosto):  $Q=73.0-42.0 = 31.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .  
In questo caso, tutto il volume utile verrebbe trasferito in 8.5 ore;

Nel seguito si analizzeranno le escursioni di livello per le due distinte situazioni operative sopra riportate.

Noto un dato livello di partenza nei serbatoi, è possibile ricavare i valori di oscillazione nei serbatoi alla fine del ciclo di funzionamento.

Le trasformazioni tra livello e volume e viceversa sono effettuate utilizzando le curve di invaso disponibili per i due serbatoi (rif. Relazione Idraulica) e per interpolazione curvilinea tra i punti disponibili.

## 6.1 Oscillazioni nel Serbatoio di Provvidenza

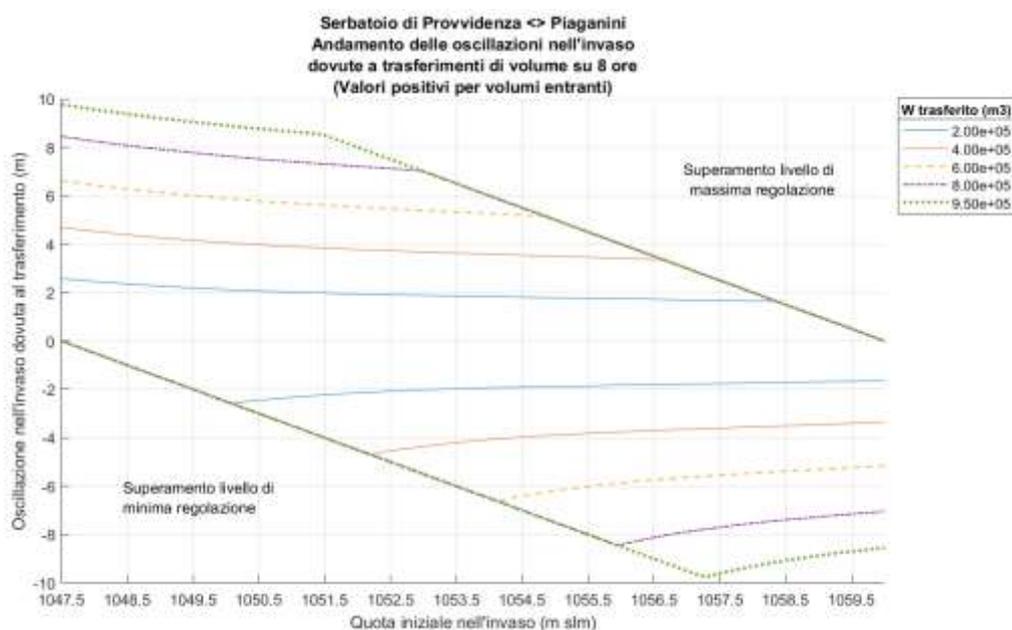
### 6.1.1 Funzionamento senza trasferimenti integrativi da/verso Campotosto

Questa prima casistica esamina i trasferimenti tra i serbatoi di Provvidenza e Piaganini, senza tenere in conto del possibile trasferimento integrativo da/verso Campotosto.

Nel serbatoio di Provvidenza, la portata in pompaggio produce un incremento positivo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione positiva del livello nel serbatoio tra inizio e fine dell'operazione.

Viceversa, la portata in generazione produce un incremento negativo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione negativa del livello.

Considerando i volumi nominali trasferibili sopra citati sono state ricavate le curve di oscillazione, attraverso le quali è possibile, a partire da un livello e da un volume di trasferimento noti, determinare la conseguente oscillazione di livello.



**Figura 38:** Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

Si riporta per il grafico qui sopra la tabella di conversione tra volumi su 8 ore e le corrispondenti portate differenziali:

Volume Mm <sup>3</sup>	0.2	0.4	0.6	0.8	0.95
Portata m <sup>3</sup> /s	6.94	13.9	20.8	27.8	33.0

Come si può notare dalla figura, per il serbatoio di Provvidenza sono evidenziate le ampie zone di superamento dei limiti ammissibili della massima o minima regolazione, all'interno dei quali è consentito l'esercizio dell'impianto. In questo caso, occorrerà interrompere anticipatamente il trasferimento del volume ovvero ridurre la portata di trasferimento in modo opportuno.

**Le oscillazioni indotte dal nuovo assetto portano il serbatoio sempre o alla massima regolazione o alla minima regolazione, con massime escursioni che possono arrivare fino a  $\pm 10.0$  m.**

6.1.2 *Funzionamento con trasferimenti integrativi da/verso Campotosto*

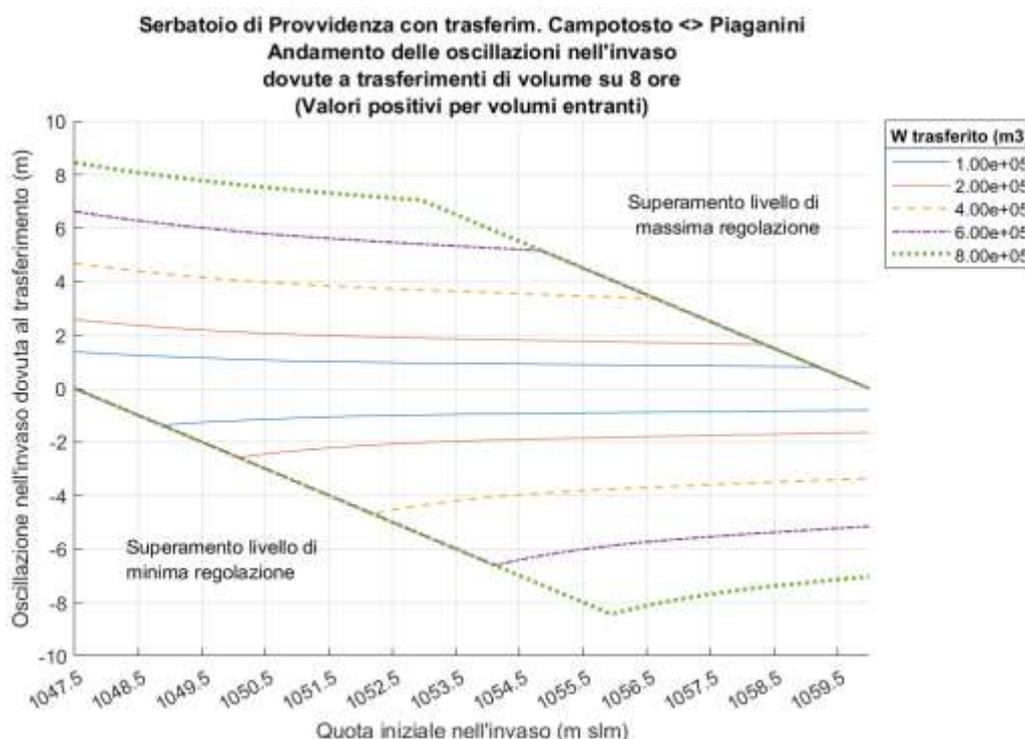
Questa prima casistica esamina i trasferimenti tra i serbatoi di Piaganini e Provvidenza, tenendo anche in conto il trasferimento integrativo da/verso Campotosto.

L'operatività in cascata, sia in generazione che in pompaggio, degli impianti di Provvidenza e San Giacomo III consente di mitigare gli effetti delle oscillazioni nel serbatoio di Provvidenza.

Nel serbatoio di Provvidenza, la portata in pompaggio produce un incremento positivo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione positiva del livello nel serbatoio tra inizio e fine dell'operazione. Ma, essendo contemporaneo il pompaggio da Provvidenza a Campotosto, tale oscillazione positiva viene bilanciata.

Viceversa, la portata in generazione produce un incremento negativo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione negativa del livello. Ma, essendo contemporaneo la generazione da Campotosto a Provvidenza, tale oscillazione negativa viene bilanciata.

Considerando i volumi nominali trasferibili sopra citati sono state ricavate le curve di oscillazione, attraverso le quali è possibile, a partire da un livello e da un volume di trasferimento noti, determinare la conseguente oscillazione di livello.



**Figura 39:** Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volume in modalità passante

Si riporta per il grafico in **Figura 39** la tabella di conversione tra volumi su 8 ore e le corrispondenti portate differenziali:

Volume Mm <sup>3</sup>	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
Portata m <sup>3</sup> /s	3.47	6.94	13.9	20.8	27.8

La portata differenziale è data dalla differenza tra portate uscenti verso l'impianto di San Giacomo II ed entranti dall'impianto di Provvidenza in caso di generazione o viceversa in caso di pompaggio.

In caso di generazione, la massima portata differenziale è pari a:

$$Q_{diff} = Q_P - Q_{SG} = 86.0 - 60.15 = 25.85 \text{ m}^3/\text{s};$$

In caso di pompaggio, la massima portata differenziale è pari a:

$$Q_{diff} = Q_{SG} - Q_P = 42.0 - 73.0 = -31.0 \text{ m}^3/\text{s};$$

Anche in questo caso sono presenti ampie zone di superamento dei limiti ammissibili della massima o minima regolazione, all'interno dei quali è consentito l'esercizio dell'impianto. In questo caso, occorrerà interrompere anticipatamente il trasferimento del volume ovvero ridurre la portata di trasferimento in modo opportuno.

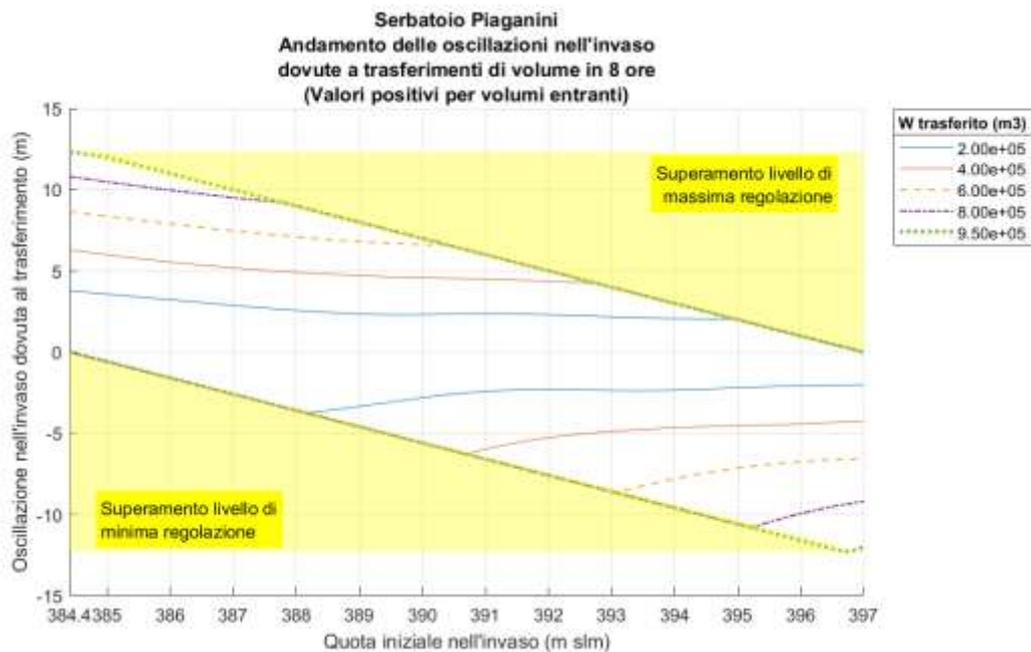
**Le oscillazioni indotte dal nuovo assetto portano il serbatoio sempre o alla massima regolazione o alla minima regolazione, con massime escursioni che possono arrivare fino a circa  $\pm 8.5$  m.**

## 6.2 Serbatoio di Piaganini

Nel serbatoio di Piaganini, la portata in pompaggio da San Giacomo II+III produce un incremento negativo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione negativa del livello nel serbatoio tra inizio e fine dell'operazione.

Viceversa, la portata in generazione produce un incremento positivo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione positiva del livello.

Considerando i volumi nominali trasferibili sopra citati sono state ricavate le curve di oscillazione, attraverso le quali è possibile, a partire da un livello e da un volume di trasferimento noti, determinare la conseguente oscillazione di livello.



**Figura 40:** Serbatoio di Piaganini - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

Si riporta per il grafico qui sopra la tabella di conversione tra volumi su 8 ore e le corrispondenti portate differenziali:

Volume Mm <sup>3</sup>	0.2	0.4	0.6	0.8	0.95
Portata m <sup>3</sup> /s	6.94	13.9	20.8	27.8	33.0

Come si può notare dalla figura, per il serbatoio di Piaganini sono evidenziate le ampie zone di superamento dei limiti ammissibili della massima o minima regolazione, all'interno dei quali è consentito l'esercizio dell'impianto. In questo caso, occorrerà interrompere anticipatamente il trasferimento del volume ovvero ridurre la portata di trasferimento in modo opportuno.

**Le oscillazioni indotte dal nuovo assetto portano il serbatoio sempre o alla massima regolazione o alla minima regolazione, con massime escursioni che possono arrivare fino a  $\pm 15.0$  m.**

## 7. CONCLUSIONI

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica è stato quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, gli aspetti idrologici inerenti il potenziamento della capacità di pompaggio dell'impianto idroelettrico di San Giacomo, con particolare focus sulla ricostruzione degli afflussi naturali ai serbatoi a partire da dati disponibili.

I bacini oggetto di studio presentano un regime idrologico con massimo di precipitazioni in estate e minimo a fine inverno, con un valore medio nell'ultimo ventennio pari a 609 mm.

Volgendo lo sguardo al futuro, ci si aspetta una redistribuzione delle precipitazioni all'interno dell'anno, con valori annui in decremento.

**È stato possibile ricostruire gli afflussi naturali ai serbatoi, al netto delle perdite idrologiche, ottenendo per i bacini sottesi dalla diga di Provvidenza nel periodo 2013-2020 una portata media annua pari a 5.2 m<sup>3</sup>/s, valori inferiori a quelli di concessione pari a 8.86 m<sup>3</sup>/s per via della diminuzione delle precipitazioni.**

Considerata l'attuale indeterminatezza delle regole necessarie per simulare la fornitura di servizi ancillari di rete con i nuovi gruppi reversibili Francis nell'impianto di Provvidenza, oltre il semplice trasferimento di energia e la copertura del diagramma di carico locale, si rimanda a fase successiva l'eventuale sviluppo di un modello idraulico dedicato di simulazione.

È stato comunque possibile valutare tramite stima semplificata la potenzialità di utilizzo del nuovo gruppo reversibile sulla base dei livelli storici nei serbatoi.

La taglia scelta per l'impianto di San Giacomo II+III (42.0 m<sup>3</sup>/s in pompaggio e 58.0 m<sup>3</sup>/s in generazione) è possibile operare il trasferimento da/verso il serbatoio di Piaganini in tempi al minimo pari a 4.6 ore.

Con il nuovo impianto, le oscillazioni di livello nei serbatoi risultano essere apprezzabili, con escursioni che possono arrivare a portare il serbatoio di Piaganini e Provvidenza alla minima o massima regolazione durante il ciclo giornaliero (fino a ±15 metri). Inoltre, solo per il serbatoio di Provvidenza, Queste oscillazioni potrebbero essere ridotte se l'impianto venisse utilizzato in cascata con quello di Provvidenza (fino a ±8.5 metri).

**Il progetto di San Giacomo III consiste nell'inserimento di un gruppo pompa in parallelo ad un gruppo turbina esistente. Il nuovo gruppo, in centrale separata, è evidentemente privo di capacità di turbinaggio, con impiego quindi nullo in turbinaggio degli afflussi naturali al bacino sotteso a monte, che rimangono quindi utilizzati sui gruppi esistenti. Il nuovo impianto di San Giacomo III si qualifica pertanto come impianto di "Pompaggio puro".**

**La competenza per il rilascio dell'Autorizzazione Unica per questo impianto è in capo al MiTE.**