

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

Impianto di Provvidenza
Intervento di rifacimento e potenziamento
Comune di L'Aquila (AQ)

Progetto Definitivo per Autorizzazione
RELAZIONE IDROLOGICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17171.00.004.00 Relazione Idrologica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	05/08/2022	Emissione per Revisione Cliente	C. Piccinin L. Labrosse	F. Maugliani	A. Balestra

GRE VALIDATION

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

PROJECT / PLANT

GRE CODE

PROVVIDENZA

GROUP	FUNZION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION
GRE	EEC	D	99	IT	H	17171	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	05.08.2022	LaL/PCap	MFr/Bal
Version	Date	Author	Verified

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): Errore. Il segnalibro non è definito.	II
2.3.2	Gruppo reversibile Francis, ad asse verticale (Gr. 3): Errore. Il segnalibro non è definito.	
2.4	Diga e Serbatoio di Provvidenza	7
3.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE	9
3.1	Introduzione	9
3.2	Caratterizzazione idrologica	10
3.2.1	Temperatura	10
3.2.2	Precipitazione	11
3.2.3	Evapotraspirazione	12
3.3	Scenari climatici in proiezione e tendenza climatica	13
4.	PROCEDURA DI RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI	17
4.1	Schematizzazione del modello	17
4.1.1	Tra i serbatoi di Campotosto e Provvidenza	17
4.2	Procedura di calcolo	18
4.3	Serbatoio di Campotosto	18
4.3.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	18
4.3.2	Curva d'invaso del serbatoio	19
4.3.3	Bilancio energetico tra i serbatoi	19

4.3.4	Equazione della potenza della macchina	20
4.4	Serbatoio di Provvidenza	22
4.4.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	22
4.4.2	Curva d'invaso	22
4.5	Attività propedeutiche al calcolo	23
4.5.1	Livelli e produzioni	23
4.5.2	Deflusso Minimo Vitale	24
4.5.3	Sfiori	24
4.6	Postelaborazione	24
5.	RISULTATI	25
5.1	Serbatoio di Campotosto	25
5.1.1	Ricostruzione dei livelli e dei volumi	25
5.1.2	Portate	26
5.2	Determinazione della tipologia di Pompaggio	28
6.	ANALISI DELLE OSCILLAZIONI DI LIVELLO NEI SERBATOI	29
6.1	Funzionamento senza trasferimenti integrativi da/verso Piaganini	30
6.1.1	Serbatoio di Campotosto (monte)	30
6.1.2	Serbatoio di Provvidenza (valle)	31
6.2	Funzionamento con trasferimenti integrativi da/verso Piaganini	32
6.2.1	Serbatoio di Campotosto (monte)	32
6.2.2	Serbatoio di Provvidenza (valle)	32
7.	CONCLUSIONI	34

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1	: Serbatoio di Campotosto - livelli orari 2011-2021 originali.	3
Figura 2	: Serbatoio di Campotosto – livelli orari corretti.	3
Figura 3	: Impianti idroelettrici sul Vomano.	4
Figura 4	: Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedinate (3).	5
Figura 5	: Diga di Provvidenza – vista da valle.	7

Figura 6 :	Bacini idrografici dei serbatoi di Campotosto e Provvidenza.....	9
Figura 7 :	Temperatura media mensile vicina al suolo.	10
Figura 8 :	Temperatura media mensile vicina al suolo per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.....	10
Figura 9 :	Precipitazione mensile.....	11
Figura 10 :	Precipitazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.	11
Figura 11 :	Evapotraspirazione mensile.....	12
Figura 12 :	Evapotraspirazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.....	13
Figura 13 :	modello CMIP6 – previsione delle emissioni di CO2 (credits: Z.Hausfather)...	14
Figura 14 :	Tendenza evolutiva della temperatura globale (<i>credits: Z.Hausfather</i>).....	14
Figura 15 :	Riscaldamento globale per scenario (credits: Z.Hausfather).....	15
Figura 16 :	Schema idraulico dell'impianto di Provvidenza.	17
Figura 17 :	Serbatoio di Campotosto – curva d'invaso.	19
Figura 18 :	Curve di rendimento dei gruppi di produzione n°1, n°2 e n°3 Francis (in generazione) della centrale di Provvidenza.	21
Figura 19 :	Serbatoio di Provvidenza – curva d'invaso.....	23
Figura 20 :	Serbatoio di Campotosto – confronto tra livelli originali e corretti.....	25
Figura 21 :	Serbatoio di Campotosto, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021.....	26
Figura 22 :	Serbatoio di Campotosto, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021.....	26
Figura 23 :	Serbatoio di Campotosto, curva di durata portate nette entranti ricostruite, passo giornaliero.	27
Figura 24 :	Serbatoio di Campotosto, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020.	27
Figura 25:	Serbatoio di Campotosto - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi	30
Figura 26:	Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi	31
Figura 27:	Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volume in modalità passante.....	33

1. INTRODUZIONE

1.1 Inquadramento generale

Enel SpA – HGT Design & Execution, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione Preliminare e Definitiva per Autorizzazione dell'intervento di realizzazione di due nuovi gruppi reversibile nell'impianto idroelettrico di Provvidenza di proprietà Enel Produzione SpA, sito nel Comune di L'Aquila (AQ).

Attualmente la centrale di Provvidenza, che deriva dal serbatoio di Campotosto e restituisce nel serbatoio di Provvidenza, è dotata di tre gruppi di produzione: 2 gruppi ternari ad asse orizzontale con giranti Francis (Gr. 1-2) da 51.8 MW ed un gruppo reversibile ad asse verticale con girante Francis (Gr.3) da 52.2 MW.

L'intervento in progetto prevede l'ammodernamento dell'impianto di generazione esistente con rifacimento completo ed un incremento della potenza in pompaggio. 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.

Il nuovo impianto a progetto di Provvidenza, che prevede il rifacimento totale dell'impianto con l'installazione di due gruppi reversibili da 110 MW con portata massima pompabile pari a 73.0 m³/s è del tipo "pompaggio misto" in quanto utilizza i deflussi naturali disponibili nell'invaso di monte in quantità superiore al 5%.

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica è quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, gli aspetti idrologici inerenti al potenziamento dell'impianto idroelettrico di Provvidenza.

In particolare, la relazione si focalizza sulla ricostruzione degli afflussi naturali ai serbatoi a partire da dati disponibili con la finalità di individuare l'effettiva utilizzabilità dell'impianto di pompaggio a progetto.

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.

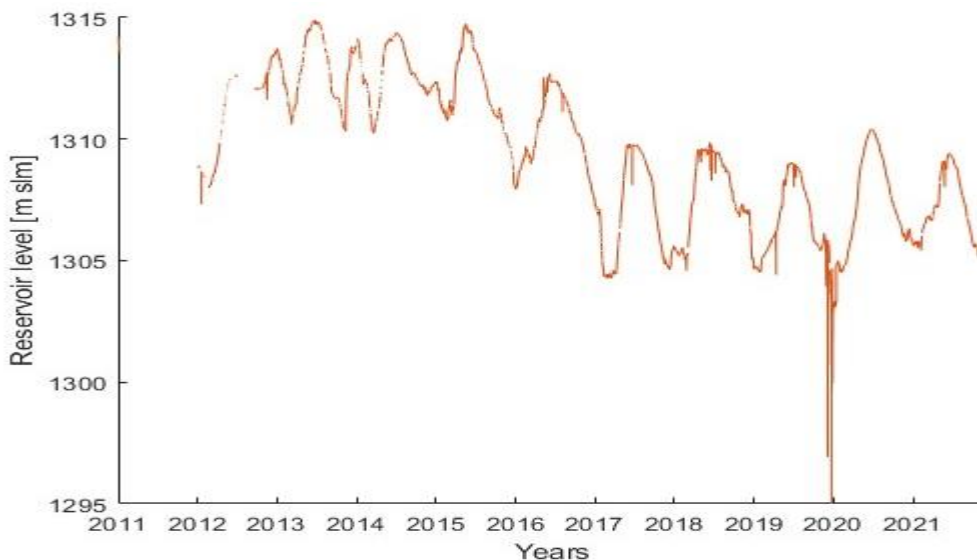


Figura 1 : Serbatoio di Campotosto - livelli orari 2011-2021 originali.

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**:

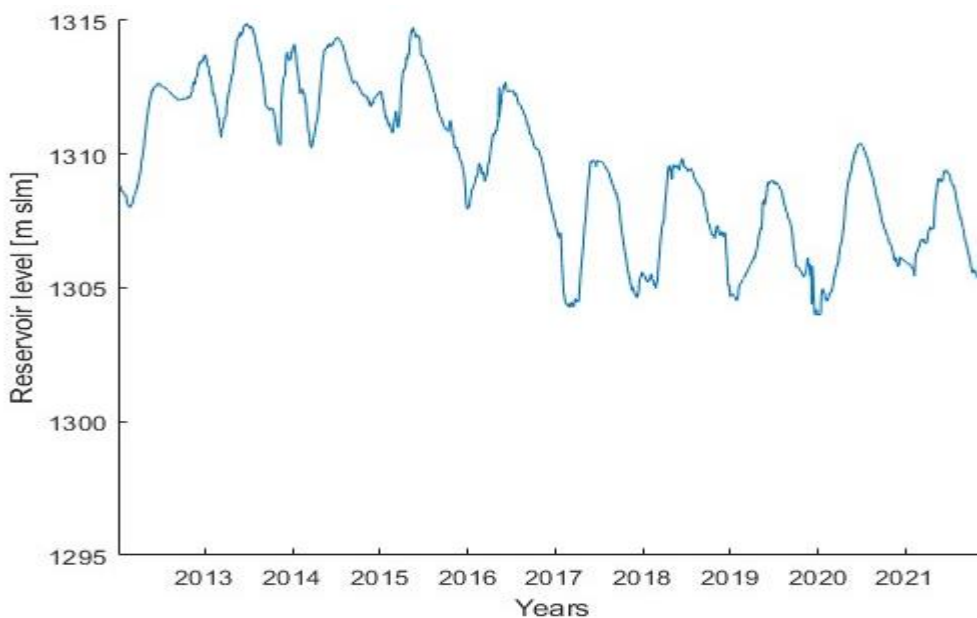


Figura 2: Serbatoio di Campotosto – livelli orari corretti.

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.

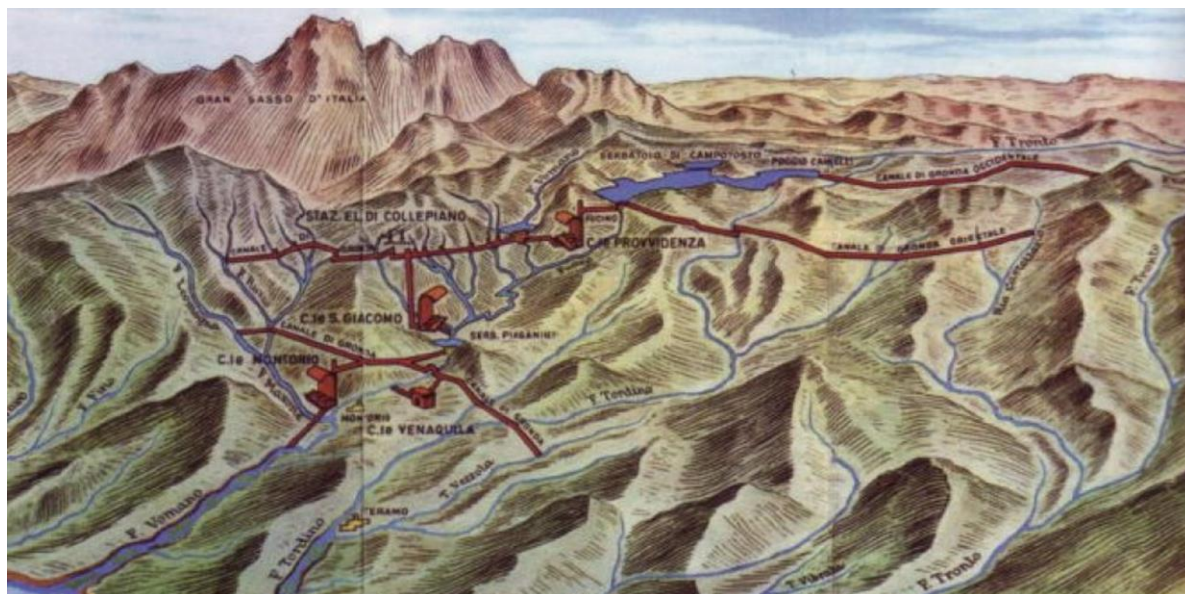


Figura 3 : Impianti idroelettrici sul Vomano.

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].

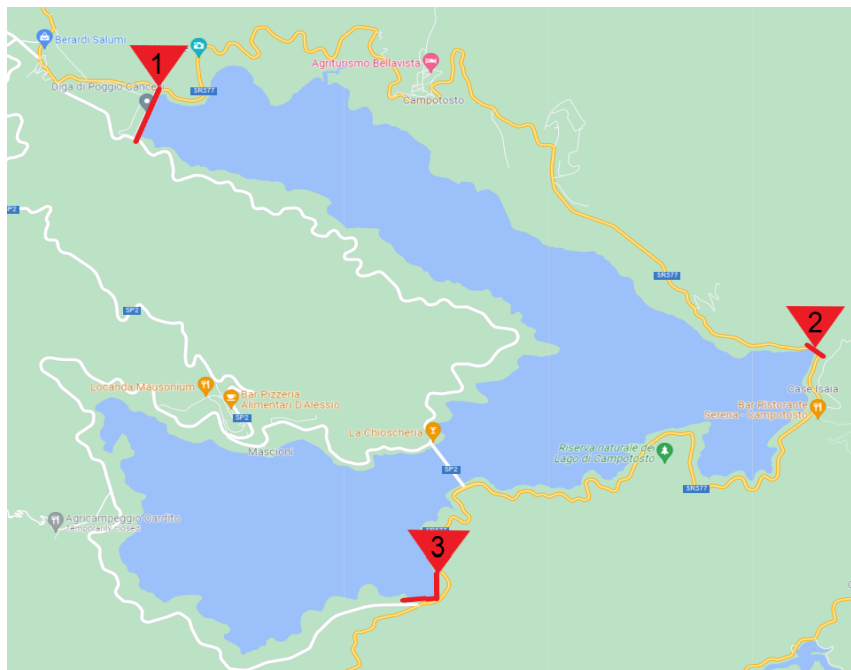


Figura 4: Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedinate (3).

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 ²
• Alla quota massima di regolazione	13,80 km ²
• Alla quota minima di regolazione	3,8 km ²
Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	224,00x10 ⁶ m ³
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	218,00x10 ⁶ m ³
Volume utile di regolazione	218,00x10 ⁶ m ³
Volume di laminazione	6,00x10 ⁶ m ³
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	47,50 km ²
Superficie del bacino allacciato	96,00 km ²

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 m³, verso il serbatoio di Campotosto con una portata complessiva massima di 32,5 m³/s, per formare delle riserve da utilizzare nei periodi di consumo maggiore di energia elettrica.

Qui di seguito si riassumono le principali caratteristiche degli esistenti gruppi di produzione:

2.3.1 Dati di Targa

	generatore		turbina		Salto motore in generazione (m)	Pompa	Salto motore in pompaggio (m)
	MVA	cos φ	MW	mc/s	m	mc/s	m
Gr.1	50	0.8	51.8	20.6	290.0		
Gr.2	50	0.8	51.8	20.6	290.0		
Gr.3	65	0.8	52.2		259.0	17.0	262.0

Tabella 1: Impianto esistente di Provvidenza – Dati di targa

2.3.2 Dati di Collaudo (1963):

	salto in generazione	portata in generazione	potenza in generazione	Prevalenza in pompaggio	Portata in pompaggio	Potenza in pompaggio
	m	mc/s	MW	m	mc/s	MW
Gr. 1	240-270	19-20,6	39-55	286-240	13-16	42-45
Gr. 2	240-270	19-20,6	39-55	286-240	13-16	42-45
Gr. 3	259	nd	52,2	262	17	nd

Tabella 2: Impianto esistente di Provvidenza – Dati di Collaudo (1963)

Dai dati di portata disponibili forniti da EGP, è stata riscontrata una portata massima pompabile di circa 17 m³/s per i gruppi 1 e 2, mentre di 22.8 m³/s per il gruppo 3.

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 m³.



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 m³/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 m³/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 ³

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 ²
• Alla quota massima di regolazione	0,157 km ²
• Alla quota minima di regolazione	0,072 km ²
Volume totale di invaso (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	2,76x10 ⁶ m ³
Volume di invaso (ai sensi della L.584/1994)	2,40x10 ⁶ m ³
Volume utile di regolazione	1,68x10 ⁶ m ³
Volume di laminazione	0,36x10 ⁶ m ³
Superficie del bacino imbrifero direttamente sotteso	54 km ²
Superficie del bacino allacciato	234 km ²
Portata di massima piena di Progetto	350 m ³ /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. (sovrizzo del pelo liquido m 2,20)	
Dallo scarico di superficie	335,00 m ³ /s
Dallo scarico di fondo	20,00 m ³ /s

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.

Temperatura media mensile dell'aria vicina al suolo

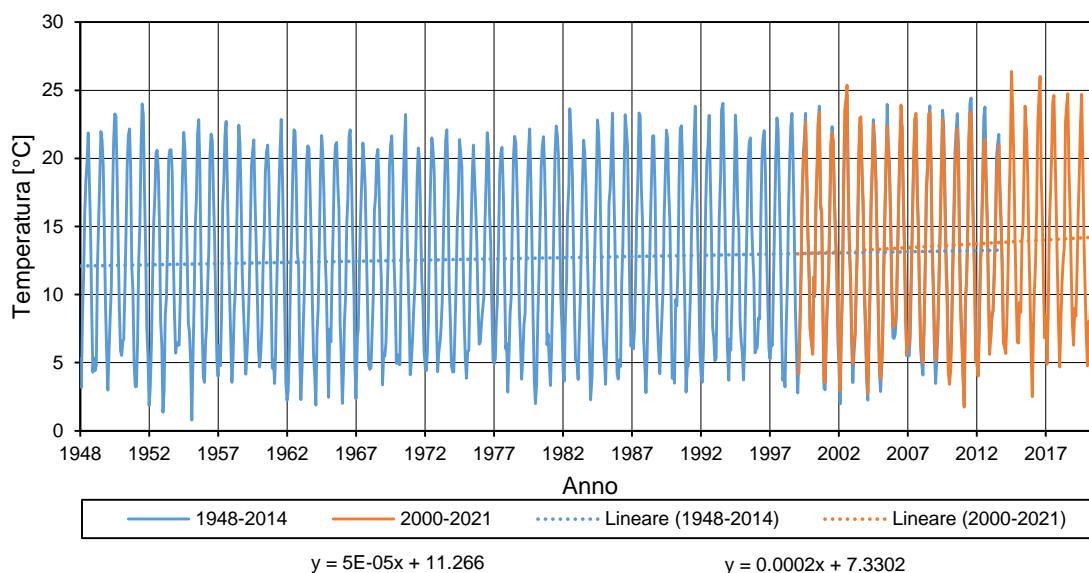


Figura 7 : Temperatura media mensile vicina al suolo.

La tendenza risultante è crescente, maggiormente nell'ultimo ventennio. La media delle temperature mensili dell'ultimo ventennio è riportata in **Figura 8**, distinguendo tra i due periodi a disposizione:

Temperatura media mensile dell'aria vicina al suolo

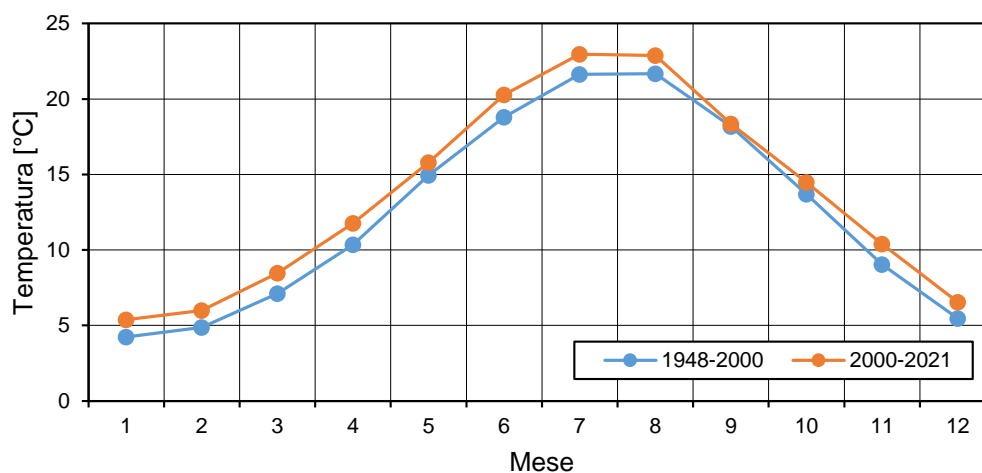


Figura 8 : Temperatura media mensile vicina al suolo per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

3.2.2 *Precipitazione*

Figura 9 rappresenta la precipitazione totale (i.e. sia liquida che solida) sulle aree oggetto di interesse.

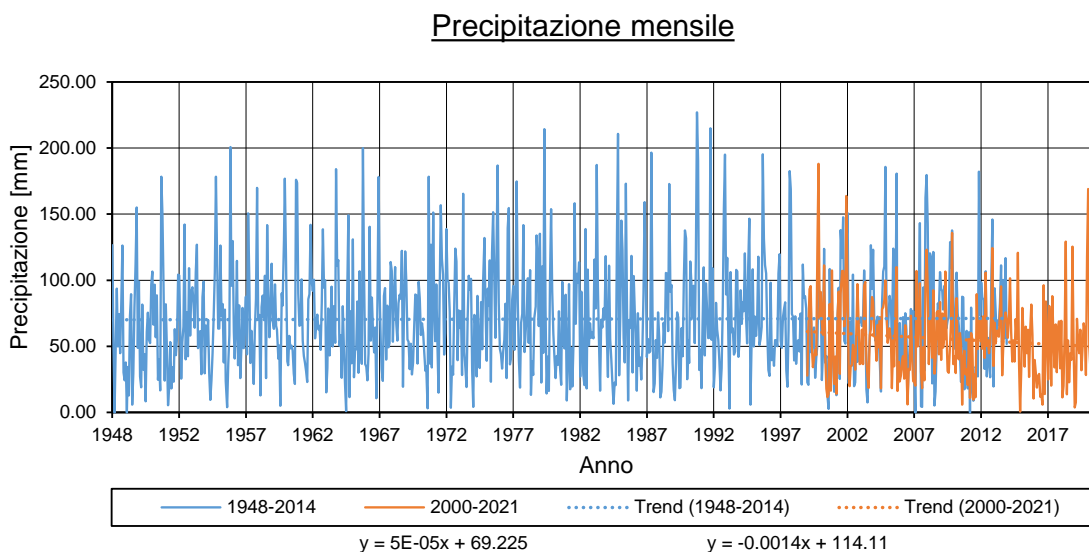


Figura 9 : Precipitazione mensile.

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 10**:

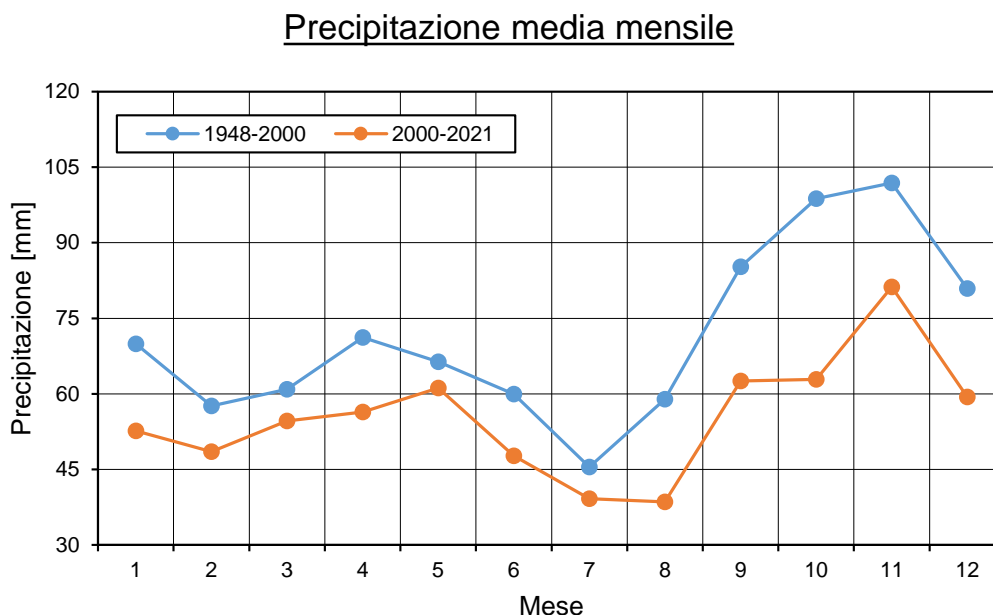


Figura 10 : Precipitazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

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 11**:

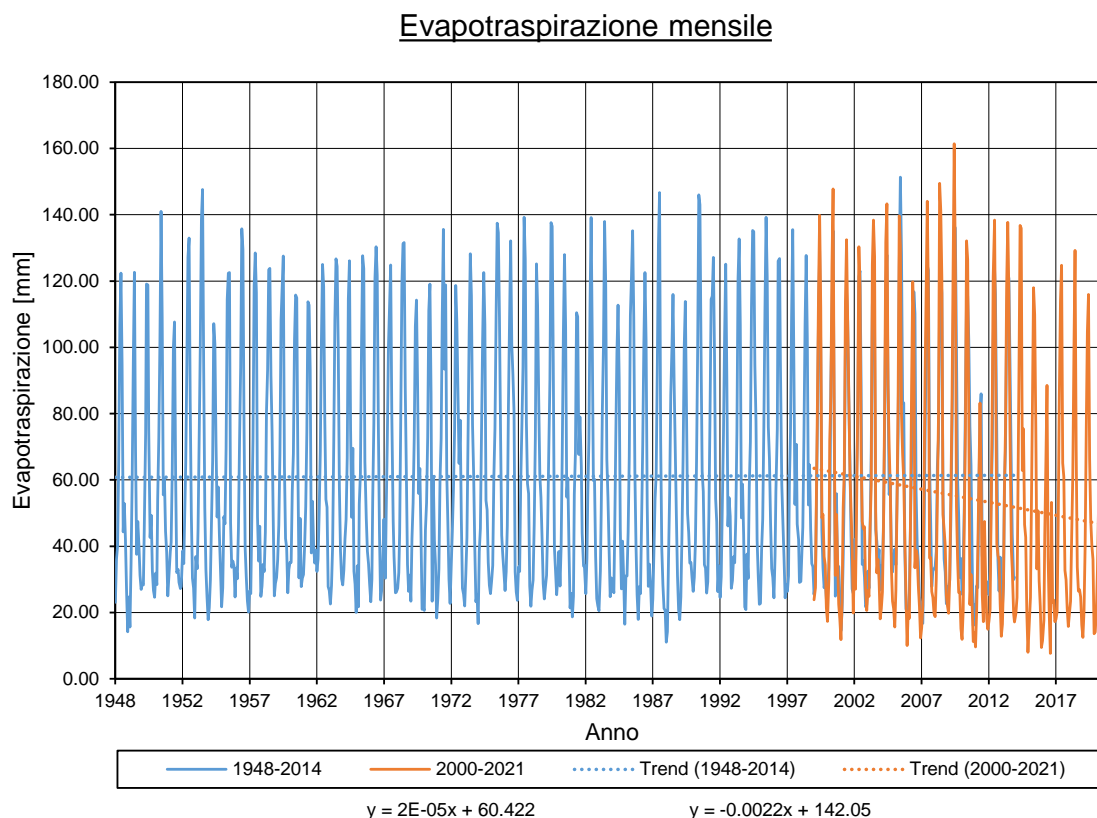


Figura 11 : Evapotraspirazione mensile.

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 12**. Si nota una diminuzione generale rispetto al periodo precedente, ad eccezione della primavera, che presenta un leggero aumento.

Evapotraspirazione media mensile

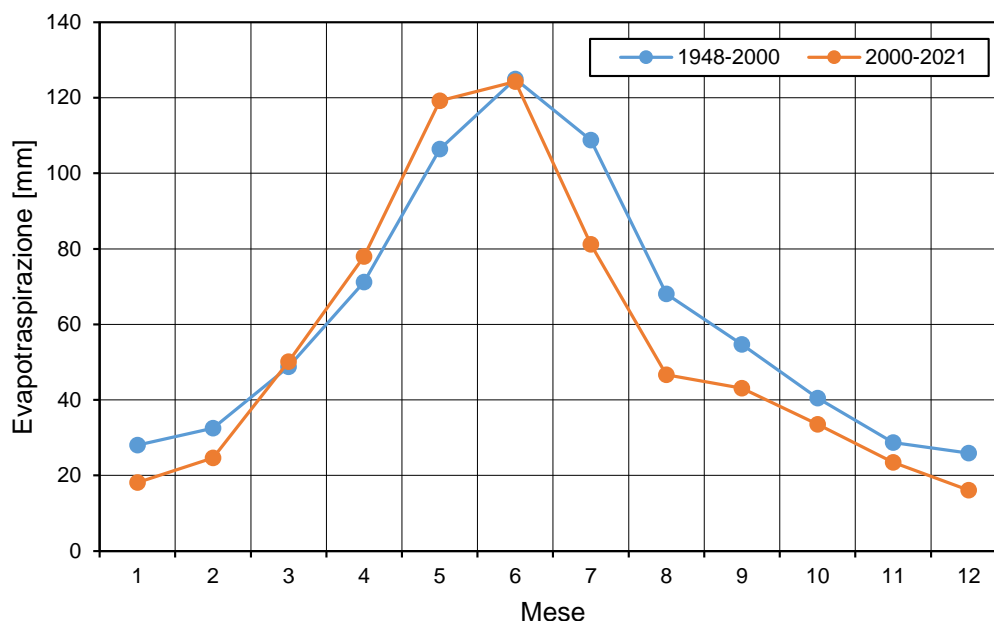


Figura 12 : Evapotraspirazione media mensile per i periodi 1948-2000 e 2000-2021.

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 fundamentalmente 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 CO₂ in atmosfera dipendono anche dal modo in cui l'umanità reagisce per mitigare le emissioni.

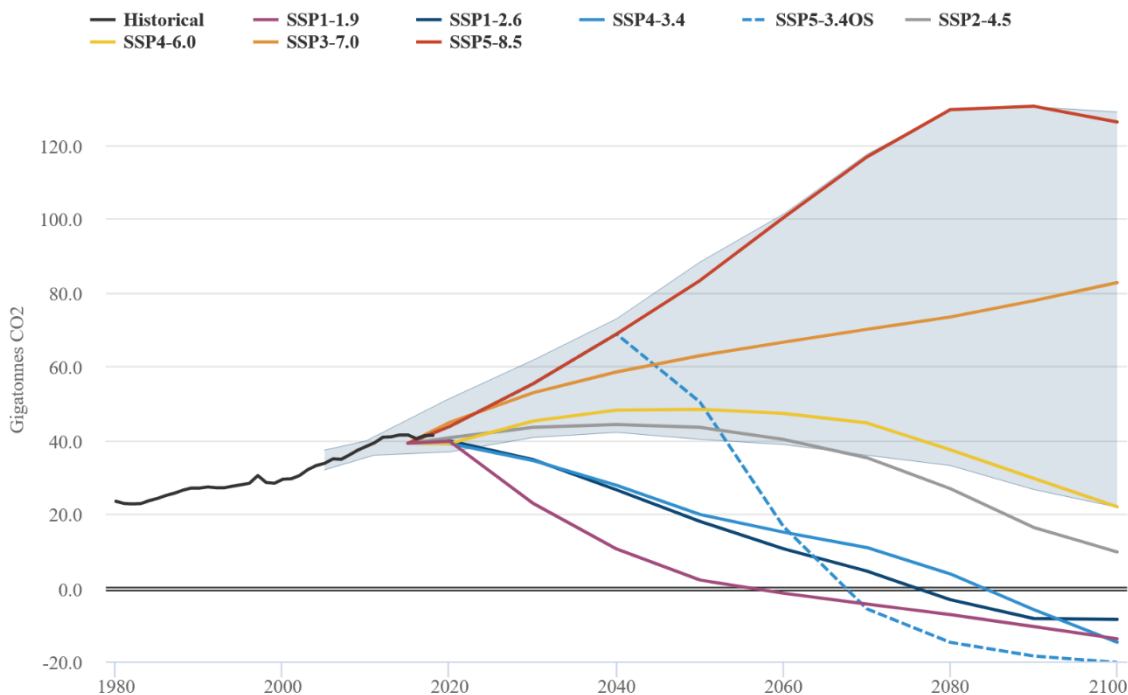


Figura 13 : modello CMIP6 – previsione delle emissioni di CO2 (credits: Z.Hausfather).

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.

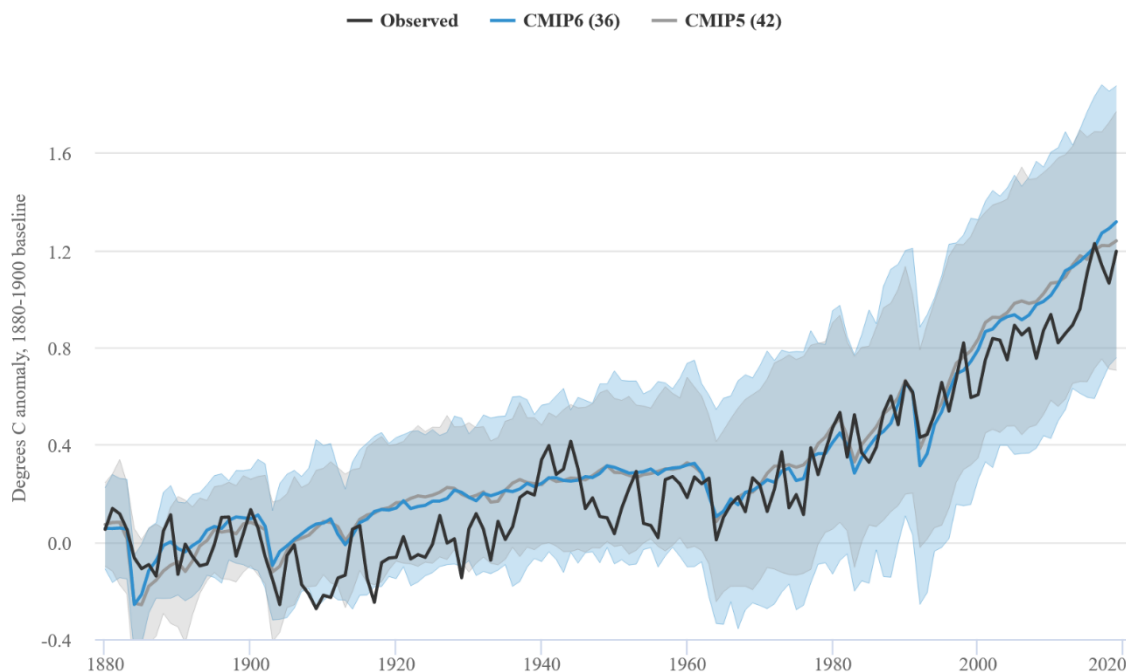


Figura 14 : Tendenza evolutiva della temperatura globale (credits: Z.Hausfather).

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

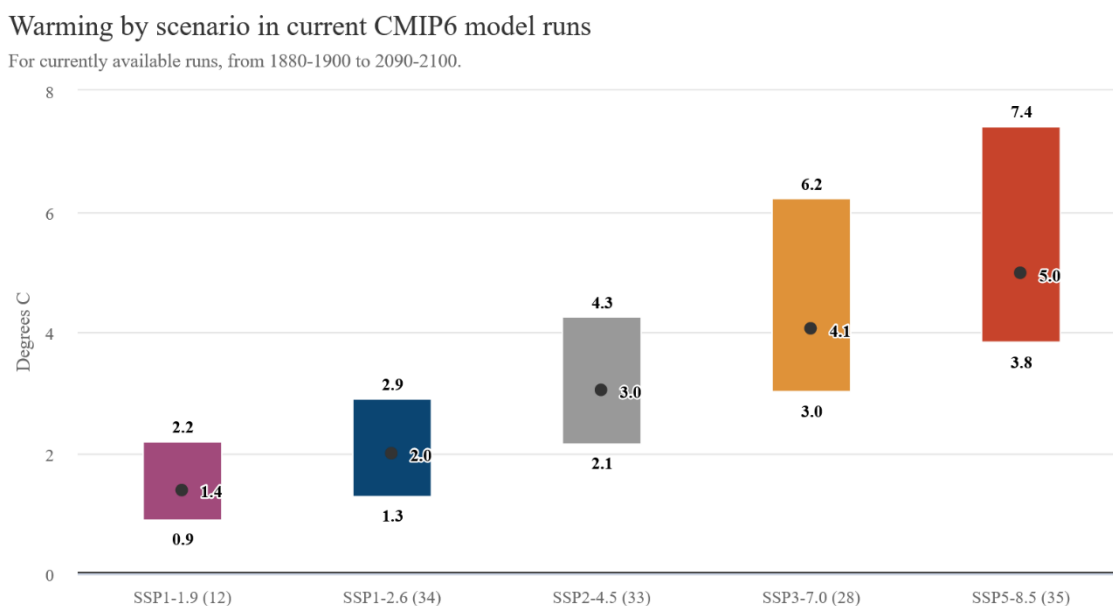


Figura 15 : Riscaldamento globale per scenario (credits: Z.Hausfather).

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

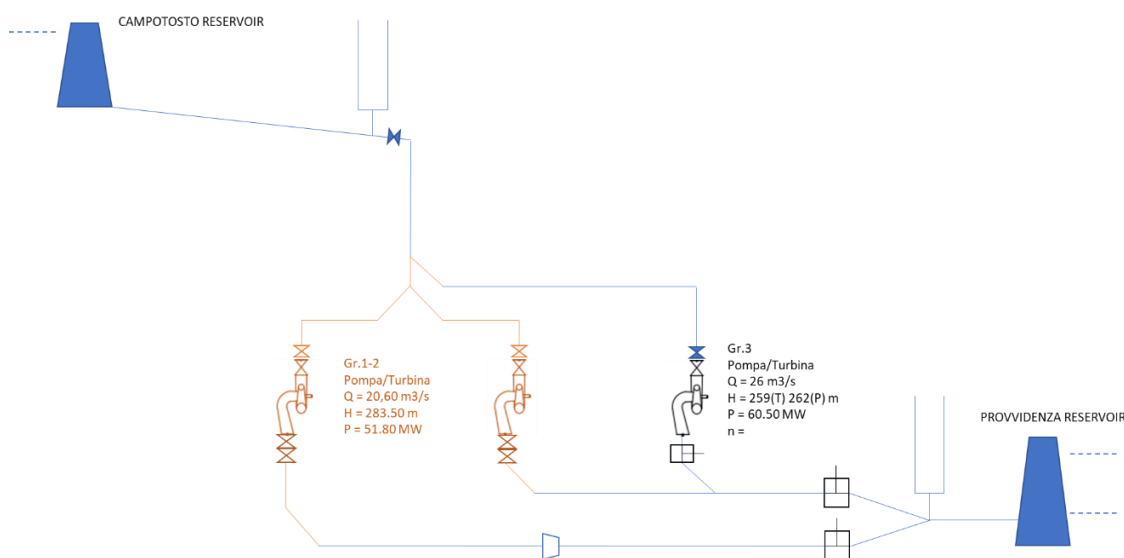


Figura 16 : Schema idraulico dell'impianto di Provvidenza.

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.

4.2 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 [m³] 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

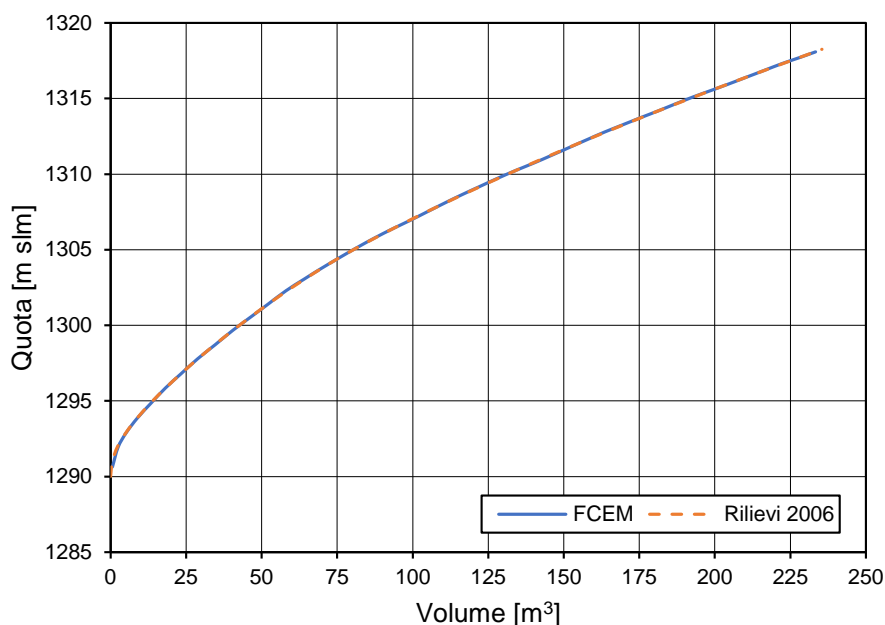


Figura 17 : Serbatoio di Campotosto – curva d'invaso.

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 [m³]

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 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 $[m/s^2]$
- $P_{GRj,i}$ potenza del gruppo al passo iesimo $[MW]$
- $Q_{GRj,i}$ portata del gruppo al passo iesimo $[m^3/s]$
- $\Delta H_{GRj,i}$ 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 18**.

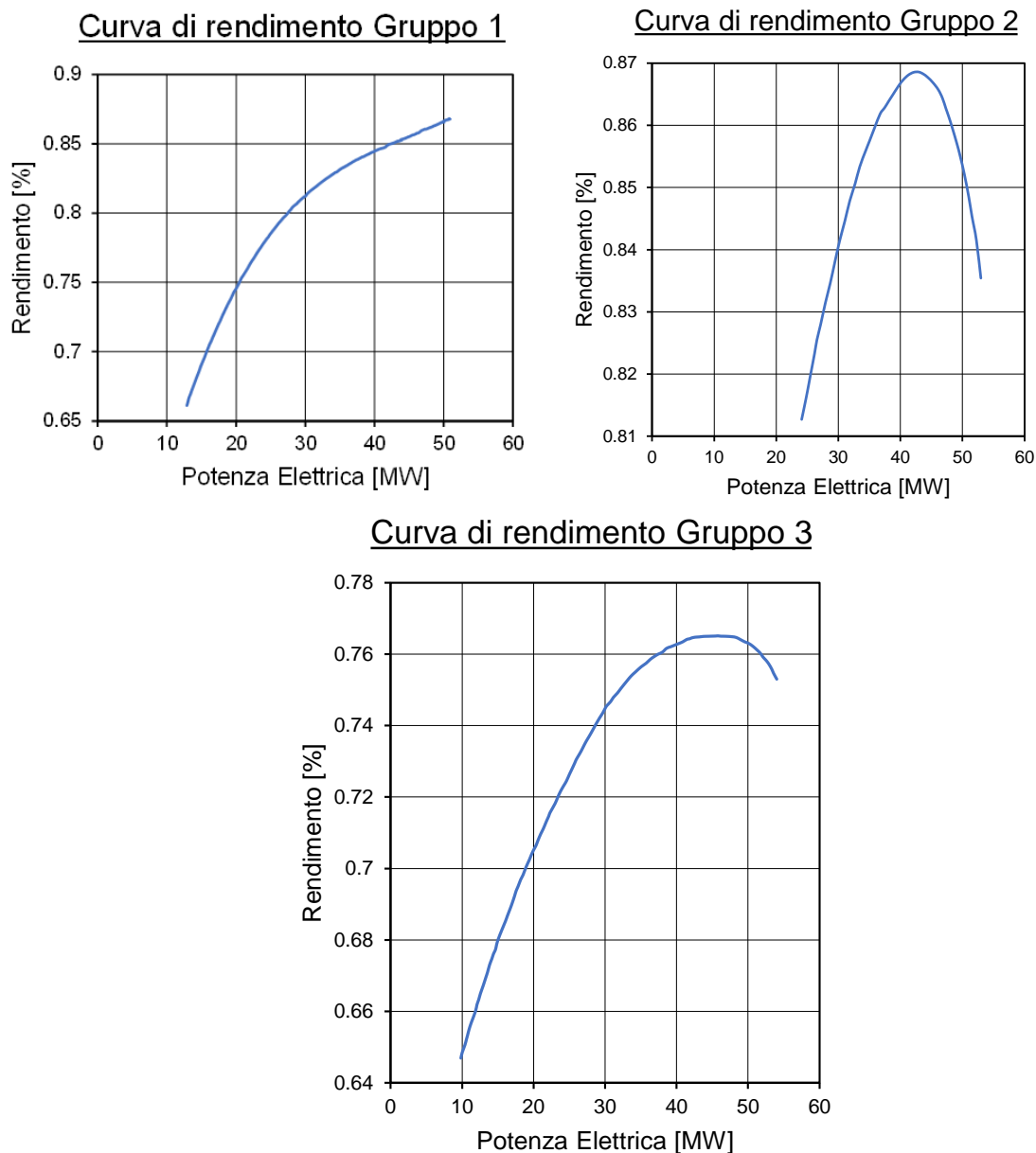


Figura 18 : Curve di rendimento dei gruppi di produzione n°1, n°2 e n°3 Francis (in generazione) della centrale di Provvidenza.

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 18**, 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 19**, 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 [m³]

Curva di invaso Provvidenza

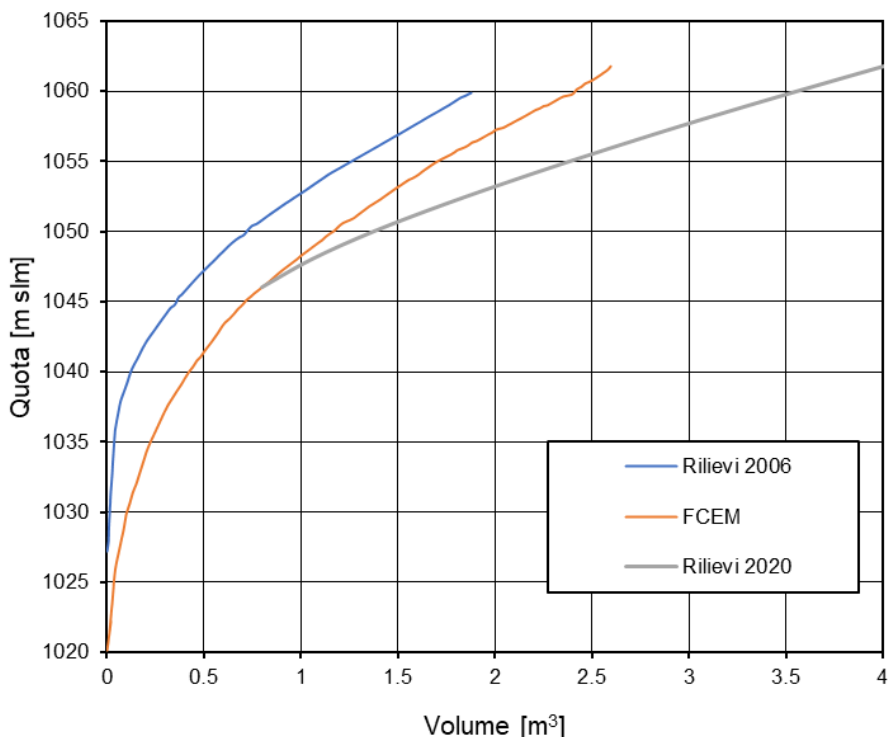


Figura 19 : Serbatoio di Provvidenza – curva d’invaso.

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:

- Serbatoio di Campotosto: 0.06 m³/s
- Serbatoio di Provvidenza: 0.199 m³/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.

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.

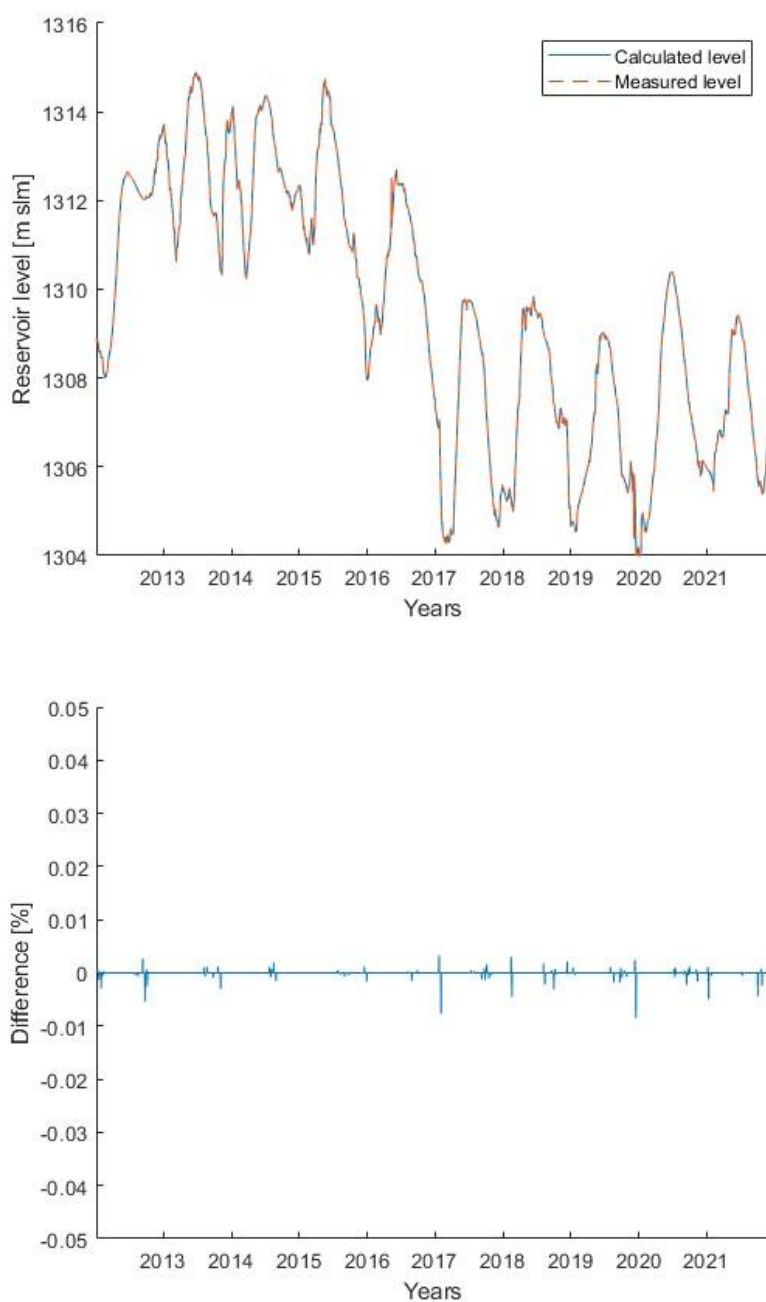


Figura 20 : Serbatoio di Campotosto – confronto tra livelli originali e corretti.

5.1.2 Portate

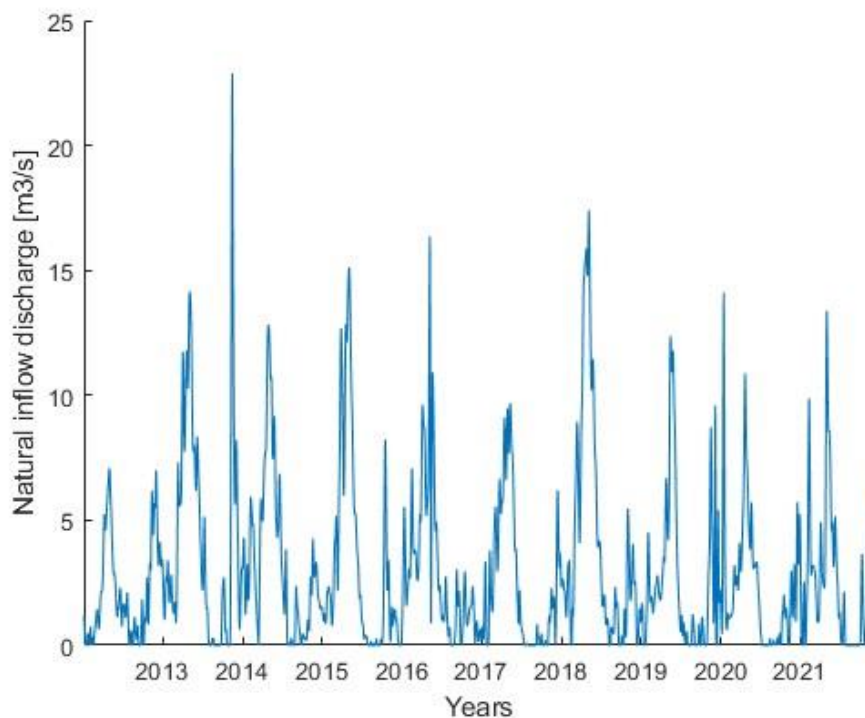


Figura 21 : Serbatoio di Campotosto, serie delle portate nette entranti ricostruite, passo orario, periodo 2012-2021.

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

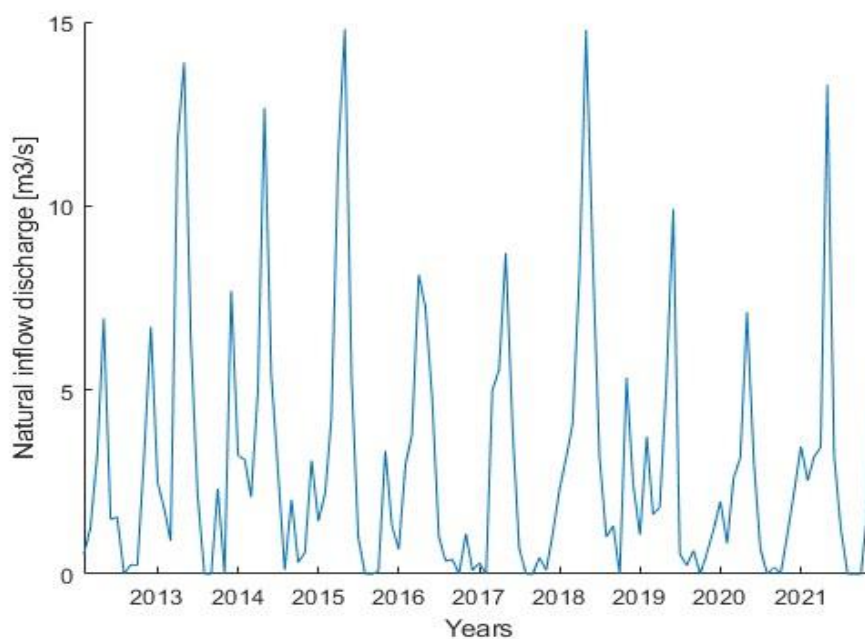


Figura 22 : Serbatoio di Campotosto, serie delle portate mensili, periodo 2012-2021.

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

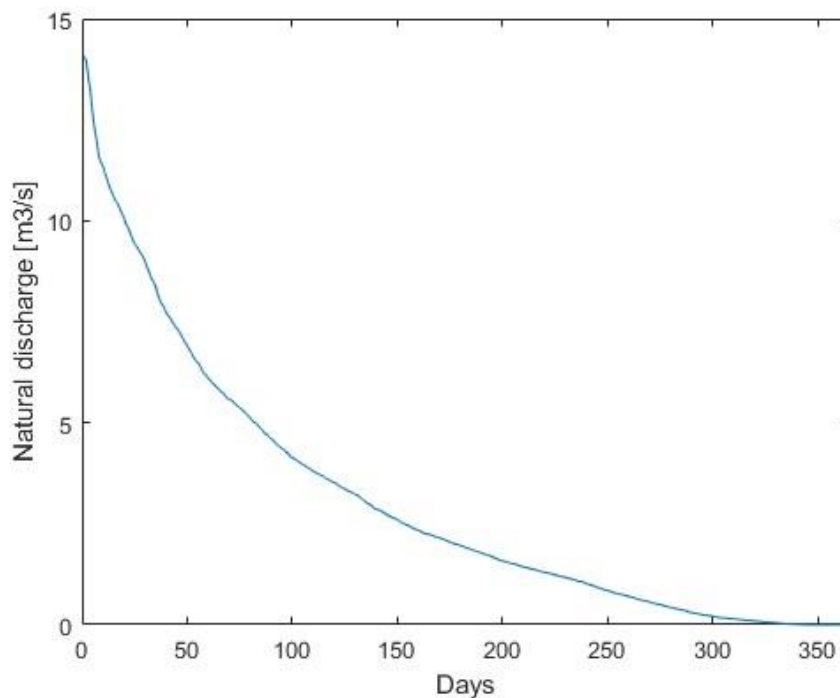


Figura 23 : Serbatoio di Campotosto, curva di durata portate nette entranti ricostruite, passo giornaliero.

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.

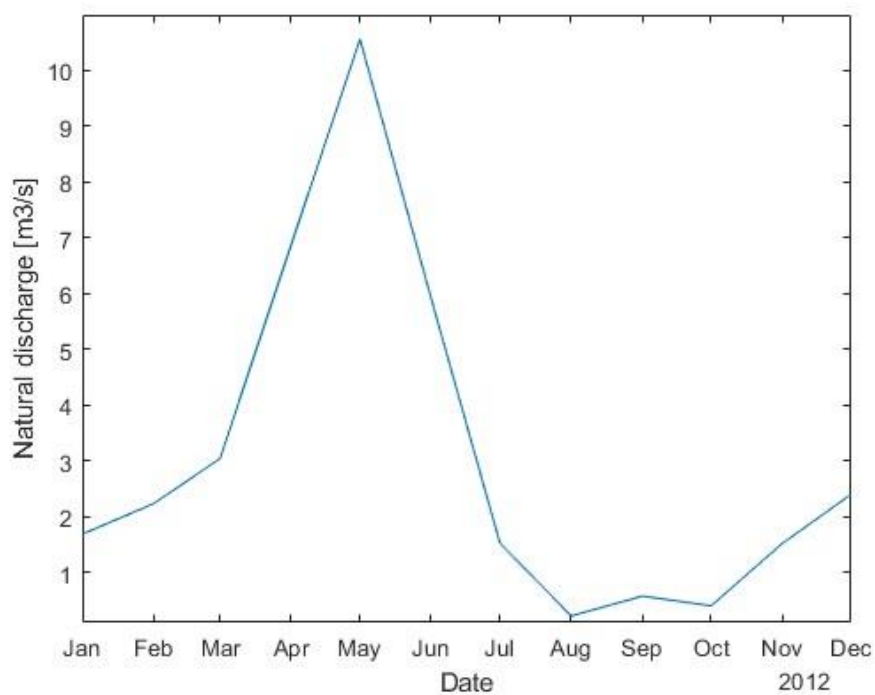


Figura 24 : Serbatoio di Campotosto, afflussi medi mensili, periodo 2013-2020.

La portata media mensile affluente ricostruita dalla simulazione nel periodo 2013-2020 risulta essere pari a 3.07 m³/s, inferiore di circa il 20% rispetto alla portata media annua prevista in concessione per l'impianto di Provvidenza, pari a 3.80 m³/s.

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

5.2 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 pompaggio effettuato con questi impianti è definito "pompaggio volontario".

Alla centrale esistente sono in concessione tutti gli afflussi naturali nel bacino sotteso, al netto del DMV.

Considerando l'anno medio di esercizio 2013-2020, gli apporti naturali medi sono risultati pari a 3.07 m³/s (96.8 Mm³).

L'apporto del volume pompaggio giornaliero (73 m³/s su 8 ore pari ad un massimo trasferibile di 2.1 Mm³) corrisponde ad un volume annuo pari a 767 Mm³.

Il rapporto di riferimento vale pertanto: $\frac{V_N}{V_T+V_P} = \frac{96.8}{96.8+767} = 0.11 > 5\%$.

L'incremento di potenza in pompaggio non è pertanto tale da ridurre al di sotto del 5% l'apporto naturale annuo ai volumi turbinati.

L'impianto non rientra quindi nei limiti per la qualifica di pompaggio puro, e risulta da classificarsi come pompaggio misto.

L'iter di AU non sarà pertanto in capo al Ministero della Transizione Ecologica (MiTE).

Solo nei due casi di modifica rilevante della modalità di esercizio:

- a) Incremento della durata del pompaggio oltre le 8 ore;
- b) Riduzione della portata media di concessione

sarebbe possibile rientrare nel limite indicato, ad esempio prevedendo più cicli giornalieri tali da consentire il rientro nei parametri. Tali possibilità potranno essere valutate non appena saranno noti i contenuti del bando di Terna.

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 Campotosto, 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 Mm³, contro gli 1.68 Mm³ utili originali.

Le caratteristiche idrauliche considerate per il nuovo gruppo differenziale sono quelle nominali, che differiscono in maniera trascurabile da quelle reali in quanto il gruppo opera a giri variabili:

- generazione (direzione Campotosto → Provvidenza): $Q=86.0 \text{ m}^3/\text{s}$.
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 4.6 ore;
- pompaggio (direzione Provvidenza → Campotosto): $Q=73.0 \text{ m}^3/\text{s}$.
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 5.5 ore;

Occorre poi tenere in conto che dalla futura centrale di San Giacomo III sarà possibile pompare fino a 41 m³/s, per un volume complessivamente trasferibile pari a quello di regolazione utile del serbatoio di Piaganini e cioè circa 0.95 Mm³. In questo caso, il volume totale trasferibile in cascata sarebbe pari a 2.38 Mm³ e la durata del trasferimento attraverso il serbatoio di Provvidenza diventerebbe pari a:

- generazione (direzione Campotosto → Provvidenza): $Q=86.0 \text{ m}^3/\text{s}$.
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 7.7 ore;
- pompaggio (direzione Provvidenza → Campotosto): $Q=73.0 \text{ m}^3/\text{s}$.
In questo caso, tutto il volume utile viene trasferito in 9.0 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 Funzionamento senza trasferimenti integrativi da/verso Piaganini

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

6.1.1 Serbatoio di Campotosto (monte)

Nel serbatoio del Campotosto, 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.

Dato l'enorme volume del serbatoio, ci si aspetta che le oscillazioni corrispondenti alle manovre effettuate siano di ridotta entità.

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.

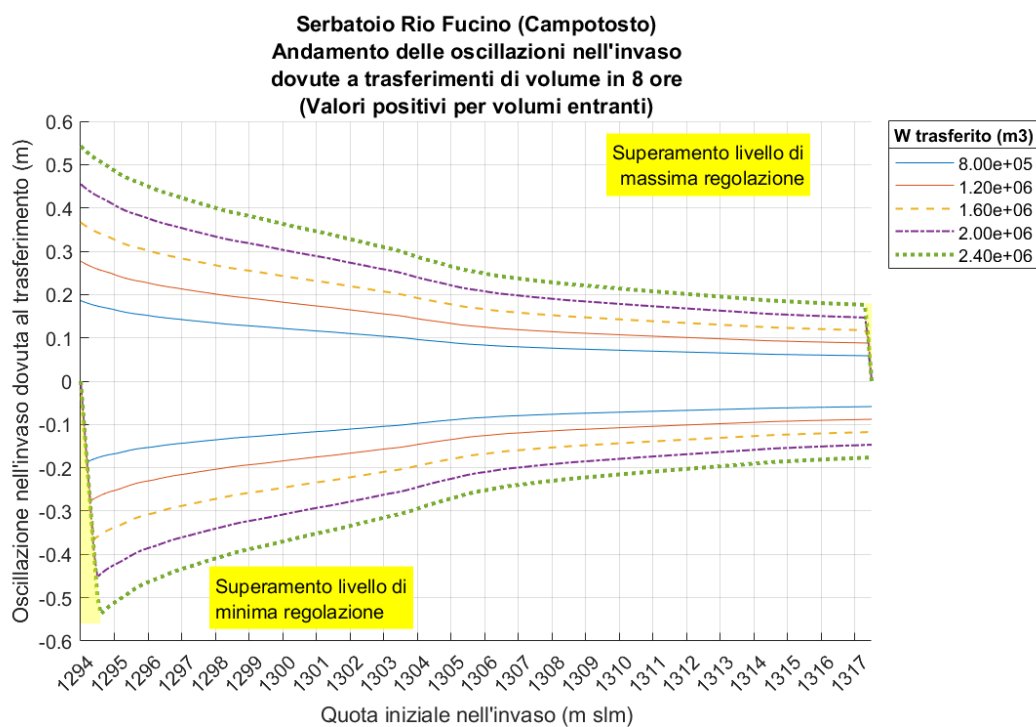


Figura 25: Serbatoio di Campotosto - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

Si riporta per il grafico in **Figura 25** la tabella di conversione tra volumi su 8 ore e portate corrispondenti:

Volume Mm3	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4
Portata m3/s	27.8	41.7	55.6	69.4	83.3

Come si può notare dalla figura, sono presenti due zone evidenziate in giallo che rappresentano l'impossibilità di trasferire l'intero volume previsto, in quanto si supererebbero i 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.

Nel recente passato, i livelli storici del serbatoio sono stati eserciti tra el. 1308÷1315 m slm ante sisma 2016 e tra el. 1304÷1310 m slm post sisma, indicando che le oscillazioni indotte dal nuovo gruppo al massimo ammonterebbero rispettivamente a ± 0.25 m (ante sisma) ed a ± 0.30 m (post sisma 2016).

6.1.2 Serbatoio di Provvidenza (valle)

Nel serbatoio di Provvidenza, la portata in pompaggio 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.

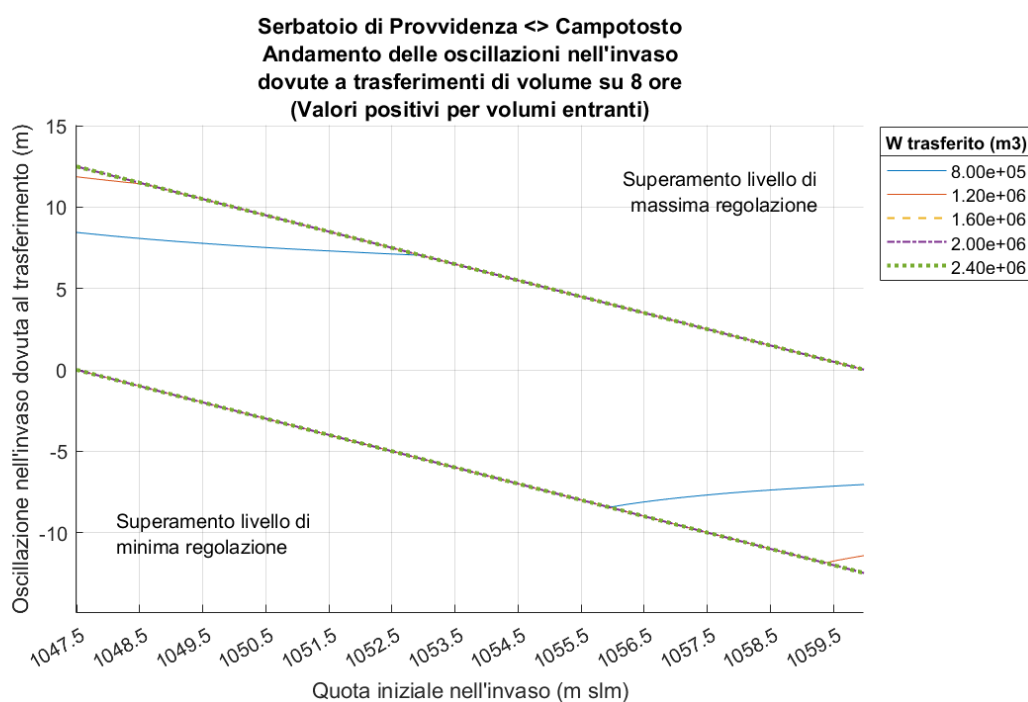


Figura 26: Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

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 ± 15.0 m.

6.2 Funzionamento con trasferimenti integrativi da/verso Piaganini

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

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.

6.2.1 Serbatoio di Campotosto (monte)

Nel serbatoio del Campotosto, le massime oscillazioni indotte sono le medesime del precedente paragrafo.

6.2.2 Serbatoio di Provvidenza (valle)

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

Viceversa, la portata in generazione produce un incremento positivo del volume, a cui corrisponde un'oscillazione positiva del livello. Ma, essendo contemporaneo la generazione da Piaganini a Provvidenza, tale oscillazione positiva viene mitigata.

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.

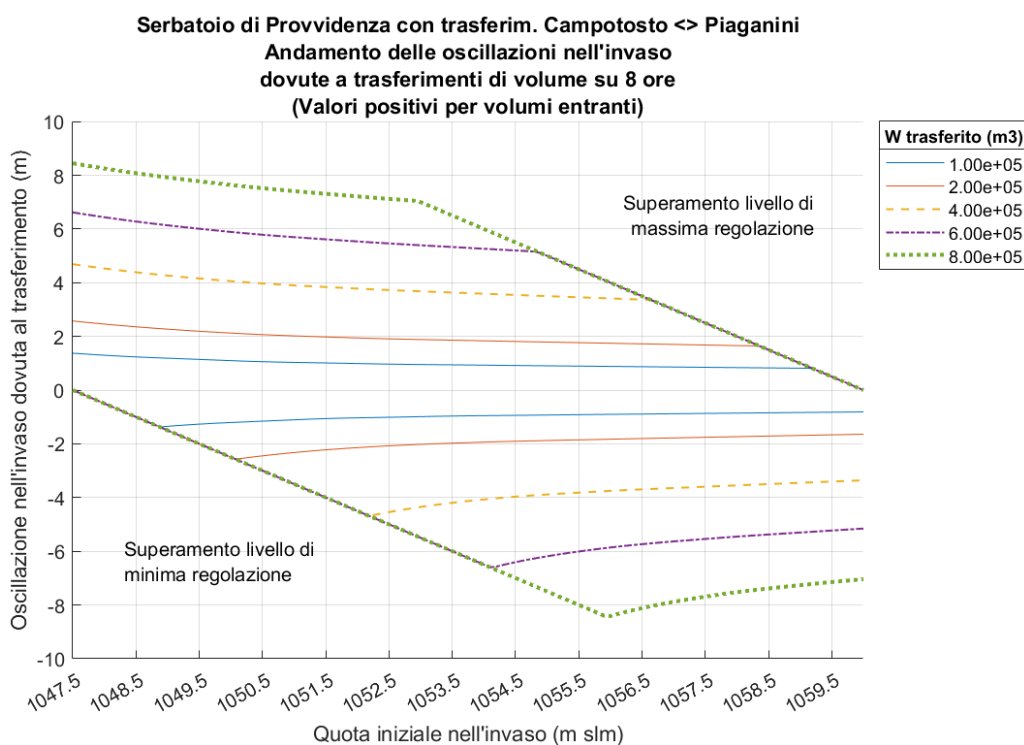


Figura 27: Serbatoio di Provvidenza - oscillazioni di livello da trasferimento di volume in modalità passante

Si riporta per il grafico in **Figura 27** la tabella di conversione tra volumi su 8 ore e le corrispondenti portate differenziali:

Volume Mm3	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
Portata m ³ /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 ± 9.0 m.

7. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa Relazione Tecnica è stato quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, gli aspetti idrologici inerenti il potenziamento sia in generazione che in pompaggio dell'impianto idroelettrico di Provvidenza, 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 nel periodo 2013-2020 una portata media annua pari a 3.07 m³/s, valori inferiori a quelli di concessione pari a 3.81 m³/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 (72.0 m³/s in pompaggio e 86 m³/s in generazione) è possibile operare il trasferimento da/verso il serbatoio di Campotosto 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 alla minima o massima regolazione durante il ciclo giornaliero (fino a 15 metri). Queste oscillazioni possono essere mitigate se l'impianto verrà utilizzato in cascata con quello di San Giacomo III (fino a 9 metri)

Il nuovo impianto a progetto di Provvidenza, che prevede il rifacimento totale dell'impianto con l'installazione di due gruppi reversibili da 110 MW con portata massima pompabile pari a 73.0 m³/s è del tipo "pompaggio misto" in quanto utilizza i deflussi naturali disponibili nell'invaso di monte in quantità superiore al 5%.