

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO DI VALCIMARRA II

Installazione di un nuovo gruppo reversibile

Centrale di Valcimarra

Comune di Caldarola (MC)

Progetto Definitivo per Autorizzazione

RELAZIONE IDROLOGICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.004.00 Relazione Idrologica.docx

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
00	06/06/2022	Prima Emissione	C. Piccinin	F. Maugliani A. Balestra	M. Braghini

GRE VALIDATION

---	Support Team: G. RIPELLINO	Project Engineer: F. PODIO
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT VALCIMARRA	GRE CODE																			
	GROUP	FUNCI	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISI										
	GRE	EEC	D	9	9	I	T	H	1	7	1	6	8	0	0	0	0	4	0	0

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.

R.00	06.06.2022	PCap	MFr/Bal
Versione	Data	Redatto	Verificato

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	Contesto generale e scopo del lavoro	1
1.2	Documenti analizzati	2
1.2.1	Documentazione dataroom Enel	2
1.2.2	Completezza dei dati	2
2.	DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE ESISTENTI	6
2.1	Lo schema idraulico dell'impianto di Valcimarra	6
2.2	Diga del Fiastrone e relativa derivazione	6
2.3	Diga di Polverina e relativa derivazione	7
2.4	Centrale di Valcimarra	8
2.5	Gruppi di produzione	8
2.5.1	Derivazione Fiastrone:	8
2.5.2	Derivazione Polverina:	8
2.6	Canali di scarico	9
3.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE	10
3.1	Introduzione	10
3.2	Caratterizzazione idrologica	11
3.2.1	Temperatura	11
3.2.2	Precipitazione	12
3.2.3	Evapotraspirazione	13
3.3	Scenari climatici in proiezione	15
3.3.1	Tendenza climatica	15
4.	PROCEDURA DI RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI	19
4.1	Schematizzazione del modello	19
4.2	Serbatoio del Fiastrone	20
4.2.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	20
4.2.2	Curva d'invaso del serbatoio	20
4.2.3	Bilancio energetico tra serbatoio e restituzione	21
4.2.4	Equazione della potenza della macchina	22

4.2.5	Scala di deflusso alla restituzione	23
4.3	Serbatoio di Polverina	23
4.3.1	Bilancio di massa nel serbatoio di monte	23
4.3.2	Curva d'invaso del serbatoio di monte	23
4.3.3	Bilancio energetico tra serbatoio e restituzione	24
4.3.4	Equazione della potenza della macchina	24
4.3.5	Scala di deflusso alla restituzione	24
4.4	Attività propedeutiche al calcolo	25
4.4.1	Livelli e produzioni	25
4.4.2	Deflusso Minimo Vitale	25
4.4.3	Sfiori	26
4.5	Procedura di calcolo	26
5.	RISULTATI DELLA RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI NETTI NATURALI	28
5.1	Serbatoio del Fiastrone	28
5.2	Livelli nel serbatoio	28
5.3	Portate	28
5.4	Dati di produzione	30
5.5	Confronto con risultati ottenuti da altri	32
5.6	Serbatoio di Polverina	33
5.7	Livelli nel serbatoio	33
5.8	Portate	33
5.9	Dati di produzione	35
5.10	Confronto con risultati ottenuti da altri	36
5.11	Conclusioni	37
6.	VALUTAZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI SFRUTTAMENTO DEL NUOVO GRUPPO IN BASE AI LIVELLI NEI SERBATOI	38
6.1	Rappresentazione storica dei volumi utili invasati e rimanenti	38
6.2	Rappresentazione storica dei volumi trasferibili	41
7.	CONCLUSIONI	48

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Serbatoio del Fiastrone - livelli orari 2010-2020 originali	3
Figura 2: Derivazione Fiastrone – Gruppo 1 e Gruppo 2 – confronto tra energie orarie e suborarie..	3
Figura 3: Serbatoio di Polverina – livelli orari 2010-2020 originali	4
Figura 4: Derivazione Polverina – Gruppo 3 – confronto tra potenze orarie e suborarie.....	5
Figura 5: Impianto di Valcimarra Chienti - Schema idraulico.....	6
Figura 6: Derivazione Fiastrone - profilo idraulico	7
Figura 7: Derivazione Polverina - profilo idraulico	7
Figura 8: Centrale di Valcimarra - planimetria generale	8
Figura 9: Centrale di Valcimarra – canali di scarico	9
Figura 10: Bacino idrografico Fiume Chienti (<i>Credits ArpaM</i>)	10
Figura 11: Bacini idrografici sottesi dalle dighe di Polverina e del Fiastrone	11
Figura 12: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Temperatura media mensile vicina al suolo ...	12
Figura 13: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone –Temperatura mensile media ultimi 10 anni.....	12
Figura 14: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Precipitazione mensile.....	13
Figura 15: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Precipitazione mensile media ultimi 10 anni...	13
Figura 16: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – ET0 mensile.....	14
Figura 17: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – ET0 mensile media ultimi 10 anni.....	14
Figura 18: CMIP6 model CO2 emissions forecast (<i>credits: Z.Hausfather</i>)	15
Figura 19: Tendenza evolutiva della temperatura globale (<i>credits: Z.Hausfather</i>).....	16
Figura 20: Riscaldamento globale per scenario (<i>credits: Z.Hausfather</i>)	16
Figura 21: Schema idraulico dell'impianto di Valcimarra.....	19
Figura 22: Diga del Fiastrone - diagramma delle aree e dei volumi (2020)	21
Figura 23: Curva di rendimento di una turbina Francis	22
Figura 24: Diga di Polverina - diagramma delle aree e dei volumi (2018)	24
Figura 25: Diga del Fiastrone: sfiori nel periodo 2012-2020.....	26
Figura 26: Diga di Polverina: sfiori nel periodo 2012-2020.....	26
Figura 27: Diga del Fiastrone - confronto tra livelli originali e corretti – passo orario.....	28

Figura 28: Serbatoio del Fiastrone – serie delle portate nette entranti ricostruite – passo orario.....	29
Figura 29: Serbatoio del Fiastrone – curva di durata portate nette entranti ricostruite – passo orario	29
Figura 30: Serbatoio del Fiastrone – serie delle portate medie mensili	30
Figura 31: Serbatoio del Fiastrone - curva di durata delle portate medie mensili	30
Figura 32: Derivazione Fiastrone – Gruppo 1 – serie della produzione totale originale e ricostruita	31
Figura 33: Derivazione Fiastrone – Gruppo 2 – serie della produzione totale originale e ricostruita	31
Figura 34: Serbatoio del Fiastrone– afflussi medi mensili 2015-2018 (altri)	32
Figura 35: Serbatoio del Fiastrone - afflussi medi mensili 2012-2018	32
Figura 36: Diga di Polverina - confronto tra livelli originali e corretti – passo orario.....	33
Figura 37: Serbatoio di Polverina – serie delle portate nette entranti ricostruite – passo orario.....	34
Figura 38: Serbatoio di Polverina – curva di durata portate nette entranti ricostruite – passo orario	34
Figura 39: Serbatoio di Polverina – serie delle portate mensili	35
Figura 40: Serbatoio di Polverina - curva di durata delle portate mensili	35
Figura 41: Derivazione Polverina – Gruppo 3 – serie della produzione originale e ricostruita.....	36
Figura 42: Serbatoio di Polverina – afflussi medi mensili 2006-2010 (altri)	36
Figura 43: Serbatoio di Polverina - afflussi medi mensili 2012-2018	37
Figura 44: Serbatoio del Fiastrone - volumi utili invasati	38
Figura 45: Serbatoio del Fiastrone - volume utile rimanente.....	39
Figura 46: Serbatoio del Fiastrone – curve di durata dei volumi	39
Figura 47: Serbatoio di Polverina - volumi utili invasati	40
Figura 48: Serbatoio di Polverina - volume utile rimanente	40
Figura 49: Serbatoio di Polverina – curve di durata dei volumi	41
Figura 50: Impianto di Valcimarra – serie dei volumi trasferibili da Fiastrone a Polverina.....	42
Figura 51: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da Fiastrone a Polverina	42
Figura 52: Impianto di Valcimarra – serie dei volumi trasferibili da Polverina a Fiastrone	43
Figura 53: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da Polverina a Fiastrone	43
Figura 54: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da e verso Polverina.....	44

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Fiastrone – curva d’invaso del serbatoio (2018)	20
Tabella 2: Polverina – curva d’invaso del serbatoio (2018)	23

1. INTRODUZIONE

1.1 Contesto generale e scopo del lavoro

Enel Produzione SpA – HGT Design & Execution, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione Definitiva per Autorizzazione dell'intervento di installazione di un nuovo gruppo reversibile nell'impianto idroelettrico di Valcimarra, sito nel Comune di Caldarola (MC).

L'opera idraulica, fa parte dell'asta idroelettrica del Fiume Chienti, costituita dagli impianti idroelettrici dell'asta del fiume Chienti, comprendente le centrali di Valcimarra Chienti, Belforte 1° salto, Belforte 2° salto, Città di Macerata, S. Maria Apparente e Molino Nuovo.

Le dighe di Fiastra e Polverina alimentano la Centrale di Valcimarra. A valle sono ubicati gli impianti di Belforte 1° salto e 2° salto. La centrale di Belforte 1° salto è alimentata dal bacino di Borgiano, realizzato sbarrando il fiume Chienti poco più a valle del punto di rilascio delle acque di scarico della centrale di Valcimarra Chienti nel comune di Serrapetrona (MC). La centrale di Belforte 2° salto è alimentata dal bacino di S. Maria, realizzato sbarrando il fiume Chienti in prossimità del borgo di S. Maria nel comune di Belforte del Chienti. Proseguendo lungo l'asta idroelettrica del fiume Chienti si trovano gli impianti di Città di Macerata e, in prossimità della foce, gli impianti idroelettrici in successione di S. Maria Apparente e Molino Nuovo. Lo schema idroelettrico è interamente gestito da Enel GP.

Attualmente la centrale di Valcimarra è dotata di tre gruppi di produzione: 2 turbine Francis (Gr.1 e Gr.2) con asse verticale da 14.823 MW sulla derivazione Fiastrone ed una turbina Francis (Gr.3) con asse verticale da 14.9 MW sulla derivazione Polverina.

L'intervento prevede la trasformazione dell'impianto idroelettrico di generazione esistente di Valcimarra Chienti in un impianto reversibile, di generazione e pompaggio. Il concetto dell'impianto nasce per iniziativa delle strutture tecniche di Enel Green Power con lo scopo di incrementare localmente la capacità di regolazione di rete, utilizzando una risorsa idrica già disponibile, disponendo quindi di nuova potenza in pompaggio e della possibilità di effettuare regolazioni e servizi ancillari di rete mediante l'uso di un nuovo gruppo reversibile a velocità variabile (regolazione di frequenza, generazione di potenza reattiva, ecc.).

Il nuovo impianto a progetto di Valcimarra II è del tipo "pompaggio puro" in quanto non utilizza nulla dei deflussi naturali disponibili nei due invasi di monte, bacino di Polverina con immissario il fiume Chienti e bacino di Fiastrone con immissario il torrente Fiastrone: gli afflussi naturali ai due bacini sono infatti in toto utilizzati per atto di concessione storico rispettivamente dall'impianto Valcimarra Chienti e Valcimarra Fiastrone, collocati entrambi nell'edificio della centrale di Valcimarra.

La modalità di esercizio giornaliero unicamente possibile per questo impianto è il trasferimento sistematico nei due sensi dello stesso volume d'acqua, senza possibilità di utilizzo di portate naturali ulteriormente disponibili nei due bacini, riservate all'impiego negli altri impianti, questi di tipo non reversibile e con scarico nel fiume Chienti.

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.

L'obiettivo della presente Relazione Tecnica è quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, gli aspetti idrologici inerenti alla conversione a pompaggio dell'impianto idroelettrico di Valcimarra Chienti.

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 Documenti analizzati

1.2.1 Documentazione dataroom Enel

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

Documenti:

- curve di invaso dei serbatoi;
- piani di gestione dei sedimenti;

Dati:

- livelli nei serbatoi;
- produzione dei gruppi;

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.

1.2.2.1 Derivazione Fiastrone

Per quanto riguarda i livelli nel serbatoio sono stati forniti dati orari nel periodo 2010-2020 (cfr figura qui sotto).

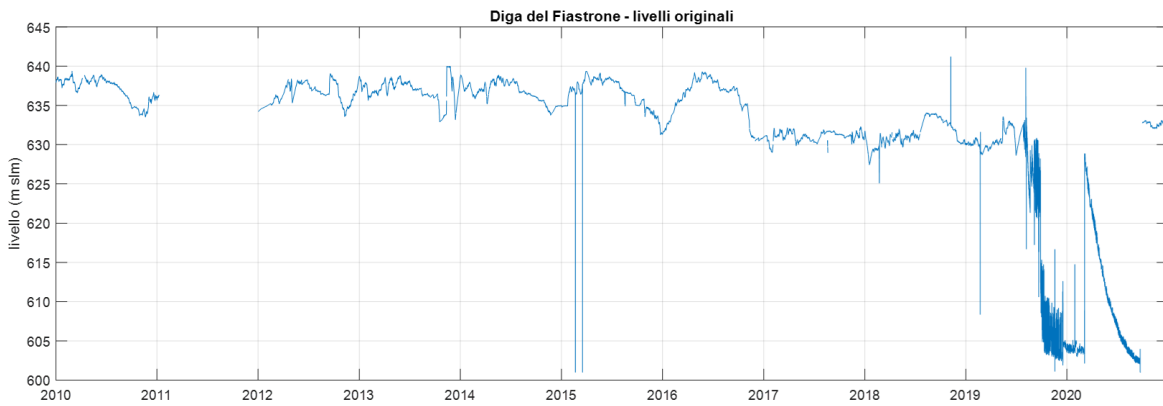


Figura 1: Serbatoio del Fiastrone - livelli orari 2010-2020 originali

Il numero di records del dataset con dati mancanti o affetti da errore è risultato essere 11'479 su un totale di 96'409 ovvero l'11.9%.

Inoltre, l'anno 2011 non è stato ritenuto ricostruibile, ed a partire dal 2019 si riscontrano dei livelli che sembrano non congruenti con gli anni precedenti e con oscillazioni di livello molto marcate. È stato pertanto deciso di assumere **come periodo di riferimento l'intervallo 2012-2018**.

Per quanto riguarda invece l'energia prodotta dai gruppi, sono stati forniti dati sia orari che suborari.

Per il Gruppo 1, i dati assenti o negativi sono risultati essere il 16.5%, ed è stata riscontrata una certa discrepanza tra i valori orari e quelli suborari (integrati su base oraria per rendere possibile il confronto). Analogamente, per il Gruppo 2 si è riscontrato il 12% di dati non utilizzabili ed una simile discrepanza tra i valori suborari e quelli orari.

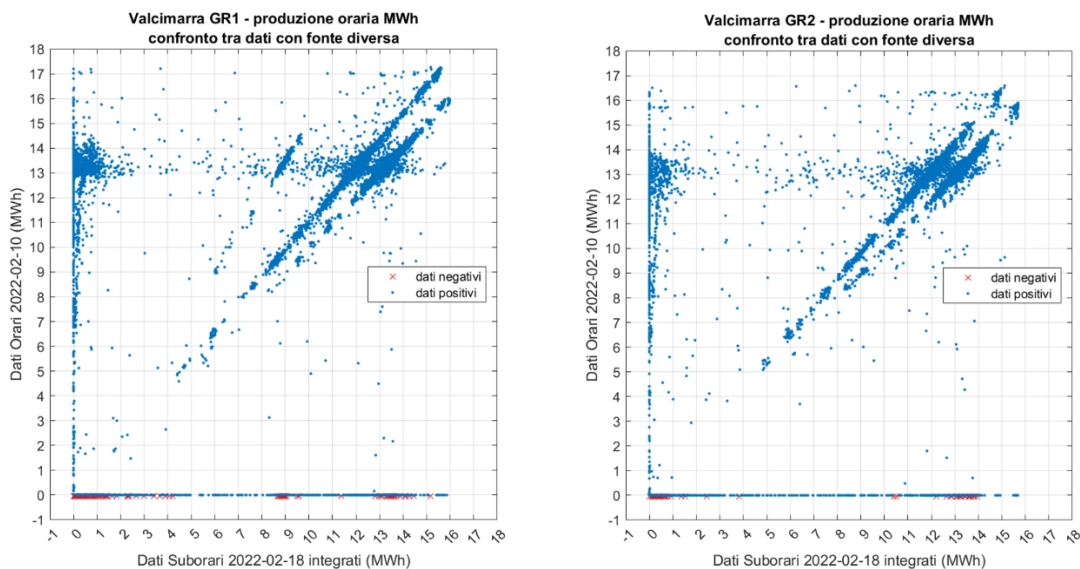


Figura 2: Derivazione Fiastrone – Gruppo 1 e Gruppo 2 – confronto tra energie orarie e suborarie

Constatato che i valori di energia negative vengono rilevati principalmente nel campione di dati orari, si è deciso di utilizzare per la ricostruzione degli afflussi il dataset contenente i dati suborari, integrati su base oraria.

1.2.2.2 Derivazione Polverina

Per quanto riguarda i livelli nel serbatoio sono stati forniti dati orari nel periodo 2010-2020 (cfr. figura qui sotto).

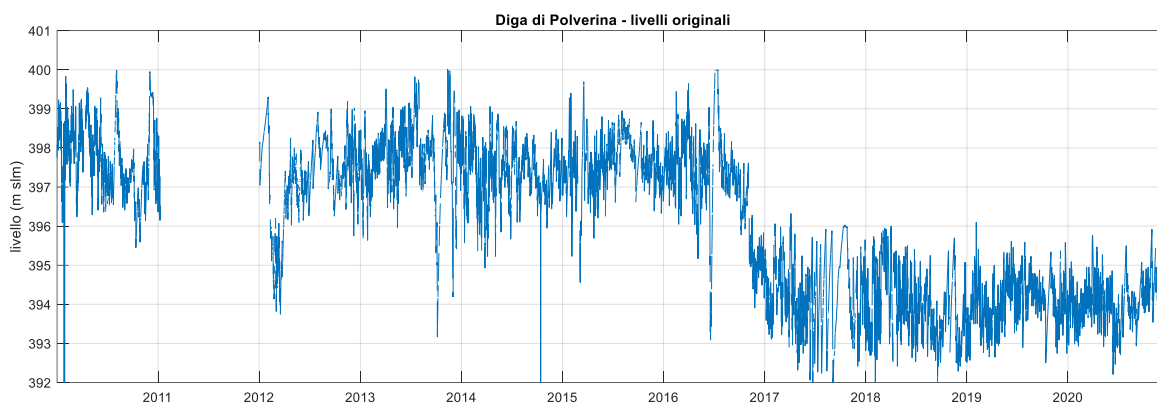


Figura 3: Serbatoio di Polverina – livelli orari 2010-2020 originali

Il numero di records del dataset con dati mancanti o affetti da errore è risultato essere 12'764 su un totale di 96'409 ovvero l'13.2%.

Inoltre, l'anno 2011 non è stato ritenuto ricostruibile. È stato pertanto deciso di assumere **come periodo di riferimento l'intervallo 2012-2020**.

Per quanto riguarda invece l'energia prodotta dal gruppo 3, sono stati forniti dati sia orari che suborari.

I dati assenti o negativi sono risultati essere il 15.6%, ed è stata riscontrata una certa discrepanza tra i valori orari e quelli suborari (integrati su base oraria per rendere possibile il confronto).

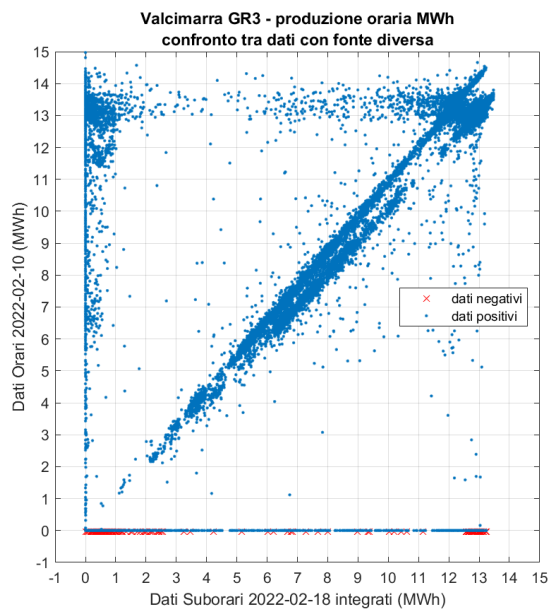


Figura 4: Derivazione Polverina – Gruppo 3 – confronto tra potenze orarie e suborarie

Constato che i valori di energia negativi vengono rilevati principalmente nel campione di dati orari, si è deciso di utilizzare per la ricostruzione degli afflussi il dataset contenente i dati suborari, integrati su base oraria.

2. DESCRIZIONE SINTETICA DELLE OPERE ESISTENTI

2.1 Lo schema idraulico dell'impianto di Valcimarra

La centrale idroelettrica di Valcimarra è alimentata da due derivazioni distinte:

- la derivazione proveniente dalla Diga di Fiastra (o Fiastrone), realizzata sbarrando il torrente Fiastrone (affluente del Fiume Chienti) in prossimità di S. Lorenzo di Fiastra (MC) con una diga ad arco gravità;
- la derivazione proveniente dalla Diga di Polverina, realizzata sbarrando il Fiume Chienti in comune di Polverina (MC) con una diga in materiale sciolto.

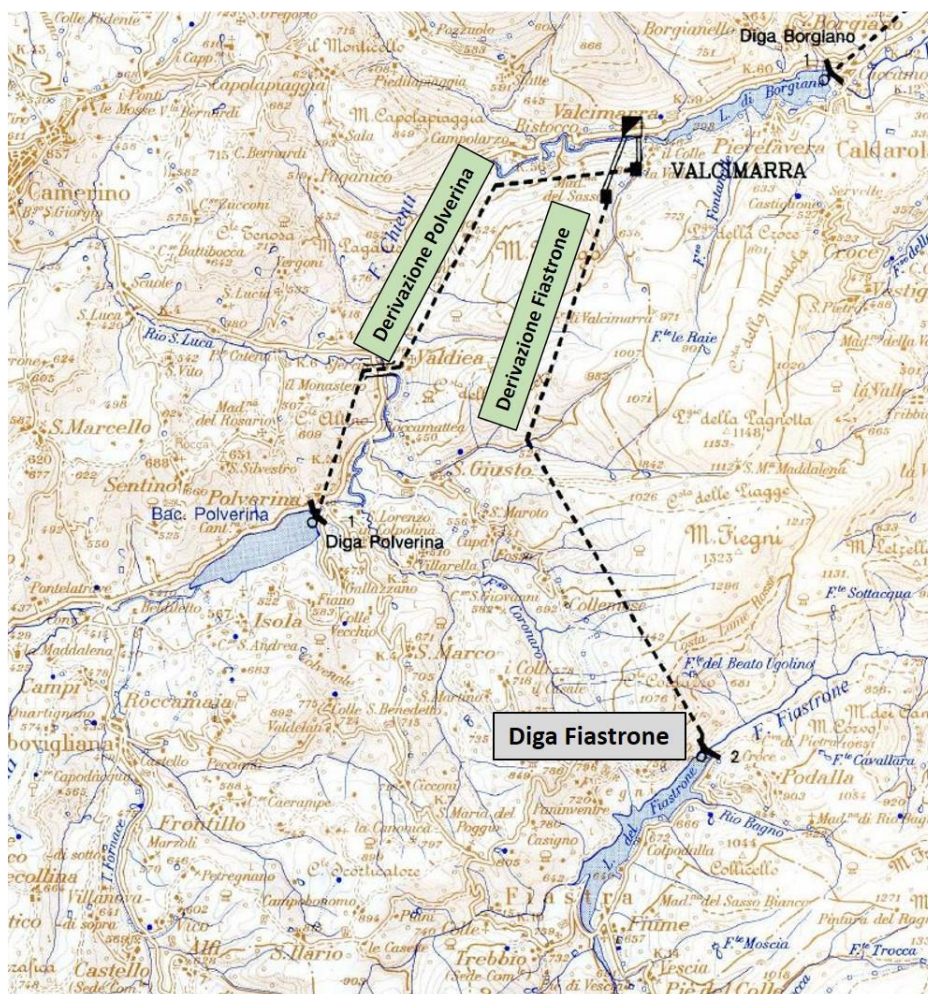


Figura 5: Impianto di Valcimarra Chienti - Schema idraulico

Per la descrizione delle opere idrauliche e civili, si rimanda alla Relazione Idraulica.

2.2 Diga del Fiastrone e relativa derivazione

La diga del Fiastrone, costruita nel periodo 1950-1954, è una diga ad arco-gravità realizzata in calcestruzzo. Il piano di Coronamento si trova a quota 642.00 m slm e si sviluppa per 254.0 m. Il corpo diga ha un volume pari a 158'000 m³. Lo sbarramento dispone di diverse opere di scarico.

L'opera di presa, ubicata in sinistra idraulica, è costituita da una luce rettangolare inclinata con dimensioni 3.20x4.80m, dotata di griglia. Dopo la griglia vi è un breve tratto di galleria con DI 3.1 m dalla quale si stacca lo scarico intermedio. Immediatamente a valle la derivazione è intercettata con una paratoia piana 1.4x1.6m ed una valvola a farfalla DI 1.6 m.

La galleria di derivazione, realizzata in calcestruzzo con DI 2.4 m, ha uno sviluppo di circa 8600 m fino al pozzo piezometrico ed ha pendenza costante pari a 2.0 m/km.

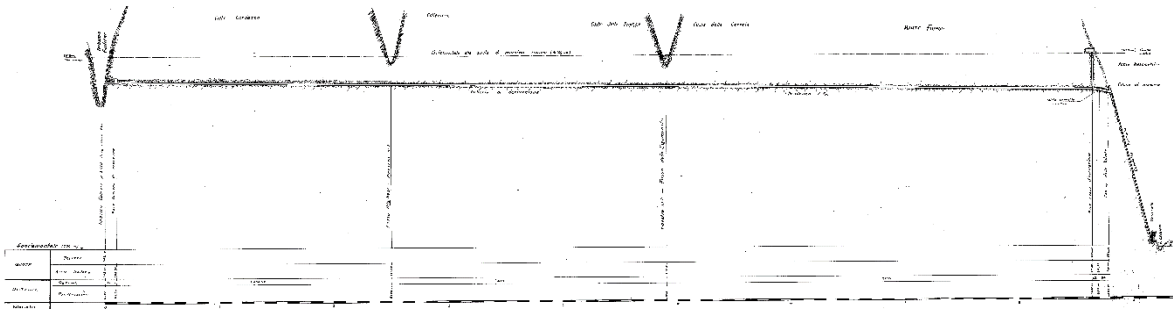


Figura 6: Derivazione Fiastrone - profilo idraulico

A valle del Pozzo Piezometrico e della camera valvole si raccorda la condotta forzata avente DI 1700-1500 mm, che si sviluppa lungo un piano inclinato parte in galleria e parte all'aperto per circa 460 m assumendo andamento orizzontale prima dell'ingresso in casa macchine ad elev. 297.90 m slm.

La condotta poi si biforca per alimentare due gruppi Francis ad asse verticale da 14.823 MW.

2.3 Diga di Polverina e relativa derivazione

La diga di Polverina, costruita nel periodo 1963-1967, è una diga in terra con nucleo centrale impermeabile. Il piano di Coronamento si trova a quota 402.00 m slm e si sviluppa per 375.0 m. Il corpo diga ha un volume pari a 321'000 m³. Lo sbarramento dispone di due opere di scarico.

La galleria di derivazione in pressione è realizzata in calcestruzzo semplice, gunitato o armato, ha DI 3.3 m ed uno sviluppo di circa 7'700 m, tranne un breve tratto sifonato in corrispondenza dell'attraversamento del Fiume Chienti, in cui l'adduzione è formata da una condotta metallica DI 3.0 m.

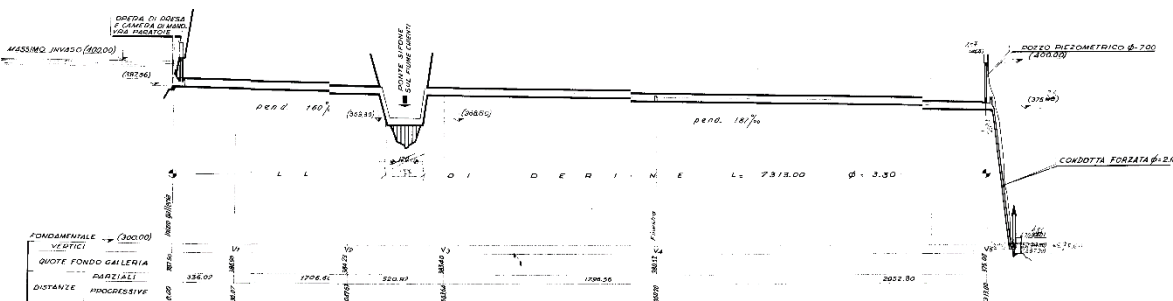


Figura 7: Derivazione Polverina - profilo idraulico

Dopo il pozzo piezometrico e la camera valvole, si raccorda la condotta forzata avente DI 2100 mm, che si sviluppa all'aperto per circa 155 m assumendo andamento orizzontale prima dell'ingresso in casa macchine ad elev. 299.00 m slm. La condotta poi alimenta un gruppo Francis ad asse verticale da 14.9 MW.

2.4 Centrale di Valcimarra

La centrale di Valcimarra, sita in comune di Caldarola (MC), è stata costruita in tempi diversi, seguendo le fasi costruttive delle derivazioni, prima la derivazione Fiastrone e poi Polverina.

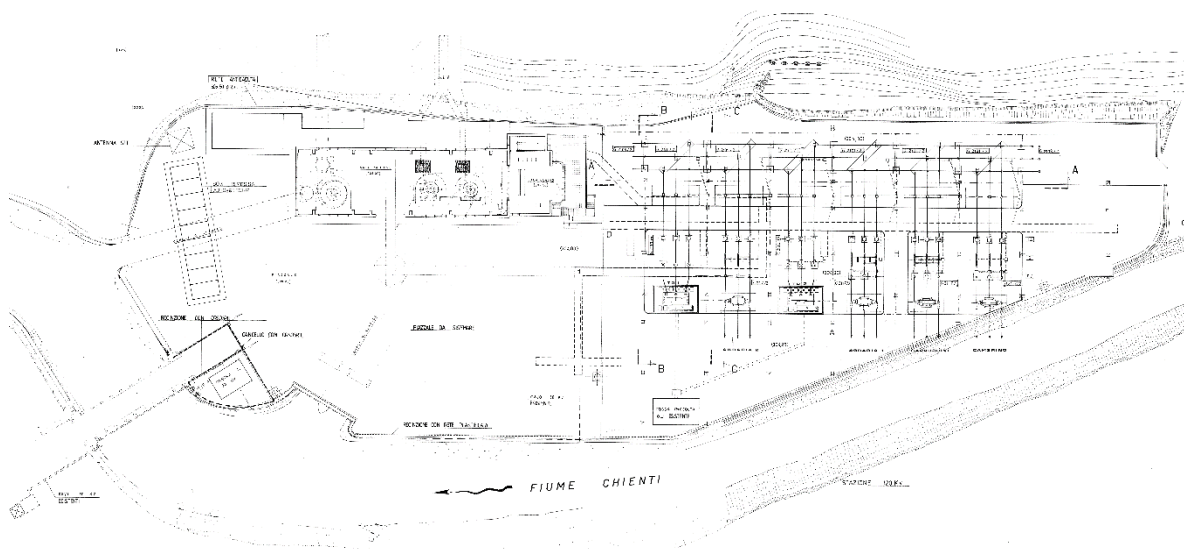


Figura 8: Centrale di Valcimarra - planimetria generale

2.5 Gruppi di produzione

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

2.5.1 Derivazione Fiastrone:

- 2 gruppi Francis, ad asse verticale (Gr.1 e Gr.2)
- Quota pelo libero scarico alla portata nominale: 299.20 m slm alla portata di 10.8 m³/s
- Dati targa turbina:
 - Portata: 5.40 m³/s
 - Potenza: 14.823 MW (con salto originale)

2.5.2 Derivazione Polverina:

- 1 gruppo Francis, ad asse verticale (Gr. 3)
- Quota pelo libero scarico alla portata nominale: 298.50 m slm @ 18.0 m³/s
- Dati targa turbina:
 - Portata: 18.0 m³/s

- Potenza: 14.9 MW (con salto originale)

2.6 Canali di scarico

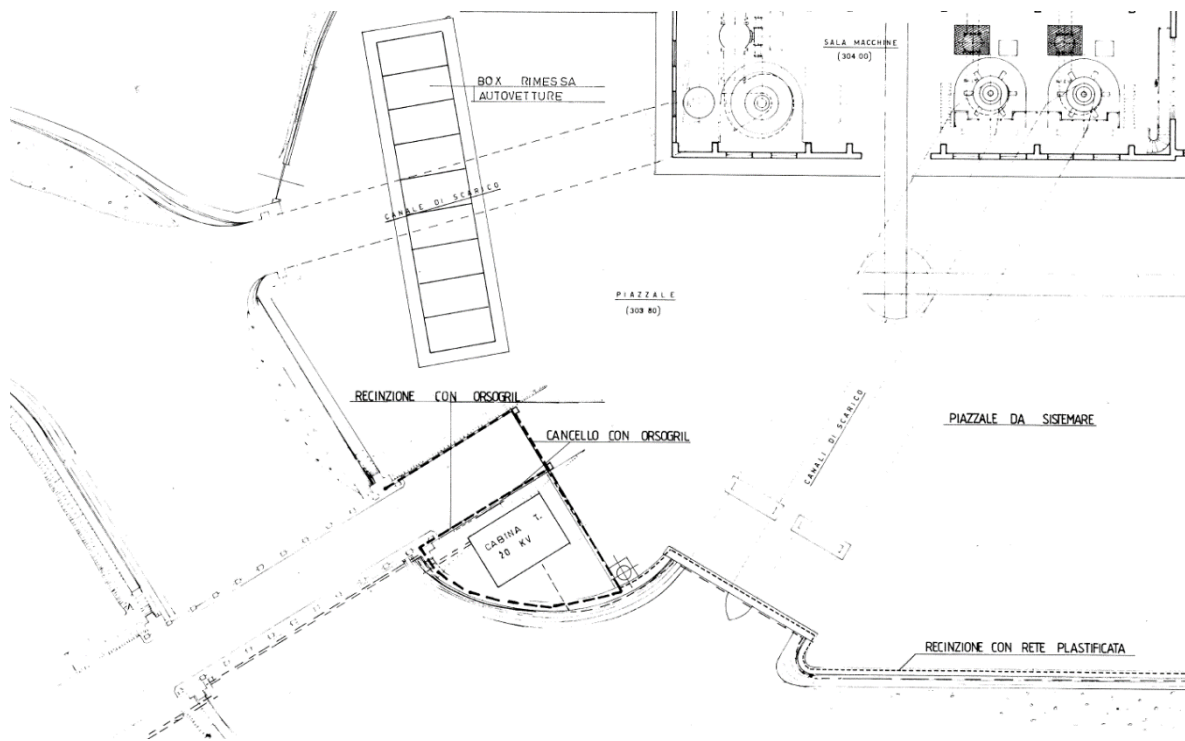


Figura 9: Centrale di Valcimarra – canali di scarico

I canali di scarico sono entrambi a pelo libero ed interrati. Prima dell'immissione nel Chienti sono presenti paratoie rettangolari di intercettazione.

Lo scarico di ciascuna turbina della derivazione Fiastrone è largo circa 3.78 m, lungo circa 40/45 m .

Lo scarico della turbina della derivazione Polverina è largo circa 4.00 m, lungo circa 40 m.

Per maggiori dettagli sulla descrizione dell'impianto si rimanda alla Relazione Idraulica.

3. INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE

3.1 Introduzione

L'impianto di Valcimarra deriva le acque dal Fiume Chienti e dal Torrente Fiastrone, affluente del Chienti, mediante gli sbarramenti rispettivamente di Polverina e del Fiastrone.

Il Fiume Chienti è uno dei maggiori fiumi marchigiani, con un bacino di circa 1280 km², una lunghezza di circa 91 km ed una portata media di 7.5 m³/s. Ha due rami principali: il Chienti di Gelagna, che nasce dai monti Macchie e Civitella ad 860 m slm ed il Chienti di Pieve Torina che nasce dal Monte Cavallo a 1284 m slm. I due rami si ricongiungono vicino a Camerino, per poi proseguire sfociando nel mare Adriatico tra Civitanova Marche e Porto Sant'Elpidio.

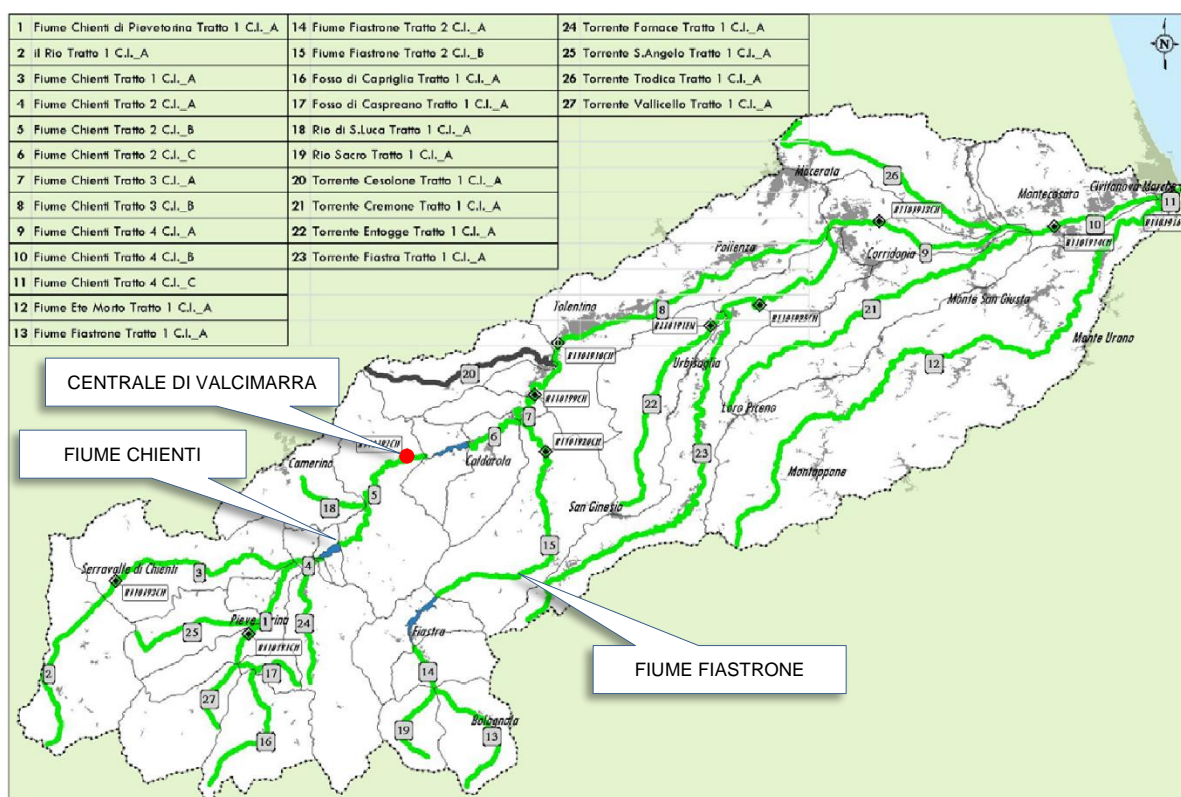


Figura 10: Bacino idrografico Fiume Chienti (Credits ArpaM)

Il Fiume Fiastrone (da non confondere con il Torrente Fiastra, pure affluente del Chienti, ndr), affluente del Chienti, ha un bacino complessivo di circa 300 km², una lunghezza di 34 km ed una portata media di 3.5 m³/s. Nasce dalla Forcella del Faragno a 1700 m slm, e si immette nel Chienti a Belforte del Chienti.

La diga di Polverina, che alimenta il gruppo 3 dell'impianto di Valcimarra, ha coronamento a quota 402 m slm e sottende un bacino di circa 296 km².

La diga del Fiastrone, che alimenta i gruppi 1 e 2 dell'impianto di Valcimarra, ha coronamento a quota 642 m slm e sottende un bacino di circa 81 km².

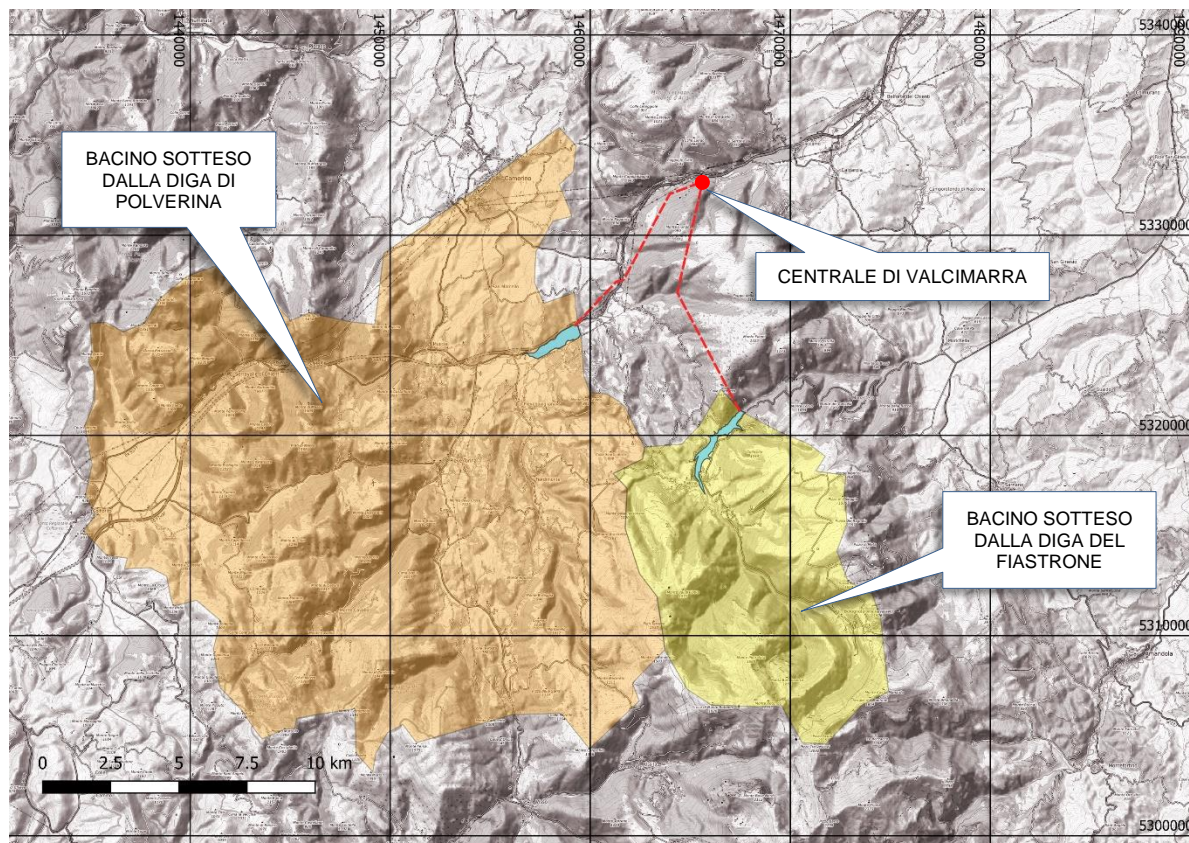


Figura 11: Bacini idrografici sottesi dalle dighe di Polverina e del Fiastrone

In coordinate geografiche decimali, il rettangolo che racchiude i bacini è definito dalla coppia 12.83210,43.16945 e 13.25870,42.94237.

3.2 Caratterizzazione idrologica

Per effettuare la caratterizzazione storica dei principali dati climatici sono stati utilizzati dati satellitari NASA¹, mediati sull'area dei due bacini.

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 raffinata, ma consente di ottenere un utile inquadramento sulle variabili idrologiche.

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.

¹ 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)

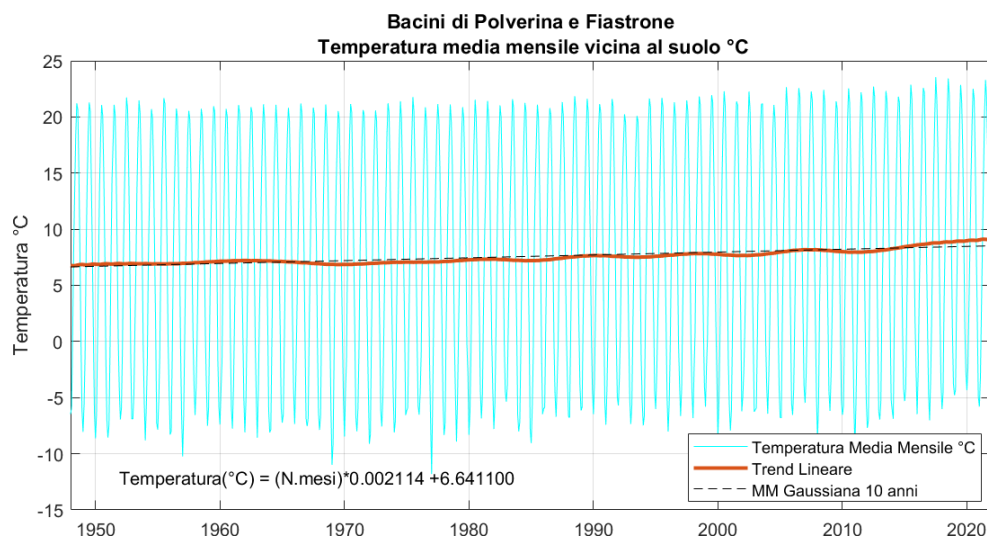


Figura 12: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Temperatura media mensile vicina al suolo

La tendenza risultante è crescente, maggiormente nell’ultimo ventennio. La media delle temperature mensili medie dell’ultimo decennio è riportata nel seguente grafico:

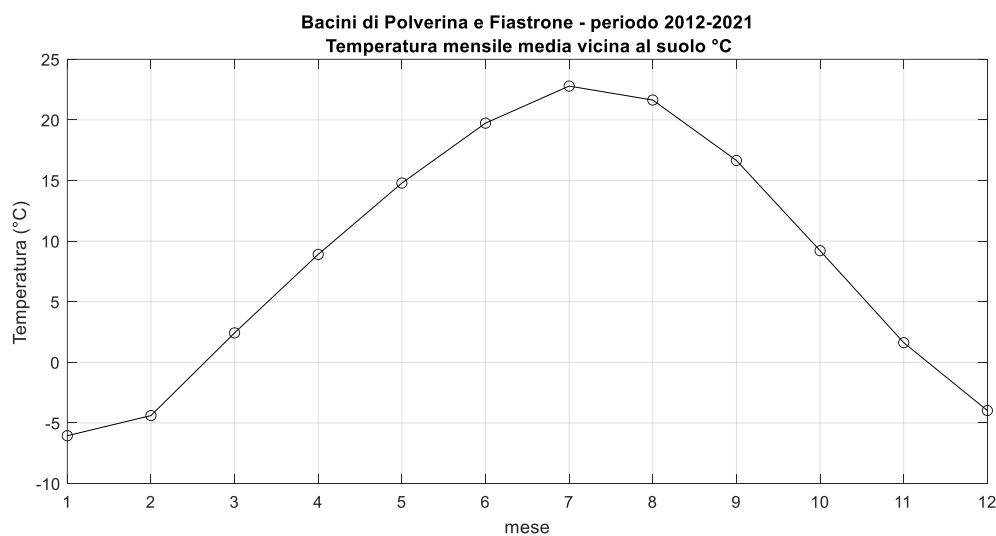


Figura 13: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone –Temperatura mensile media ultimi 10 anni

3.2.2 Precipitazione

Il seguente grafico rappresenta la precipitazione totale (i.e. sia liquida che solida) sulle aree oggetto di interesse.

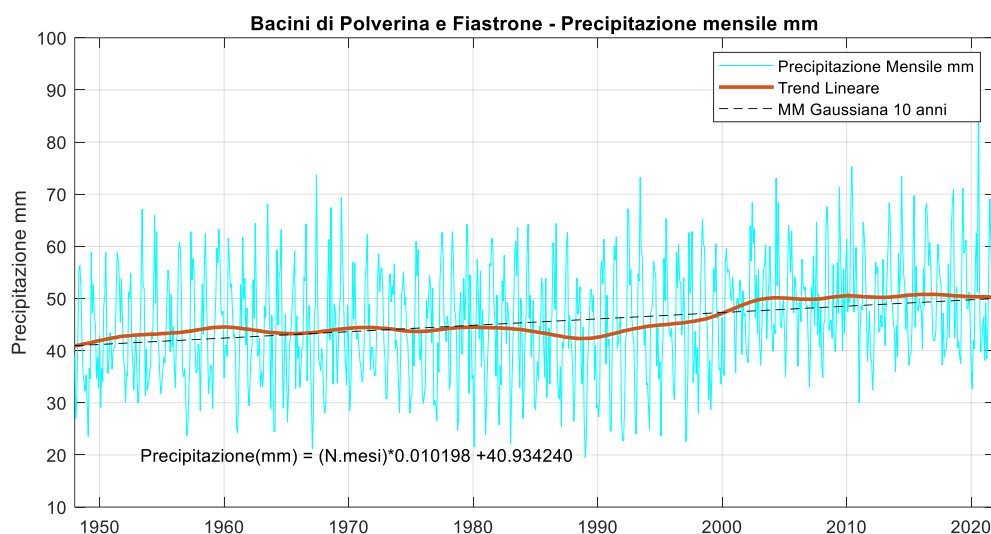


Figura 14: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Precipitazione mensile

Il grafico mostra una tendenza crescente per i bacini in oggetto. La media della precipitazioni mensili dell'ultimo decennio è riportata nel seguente grafico:

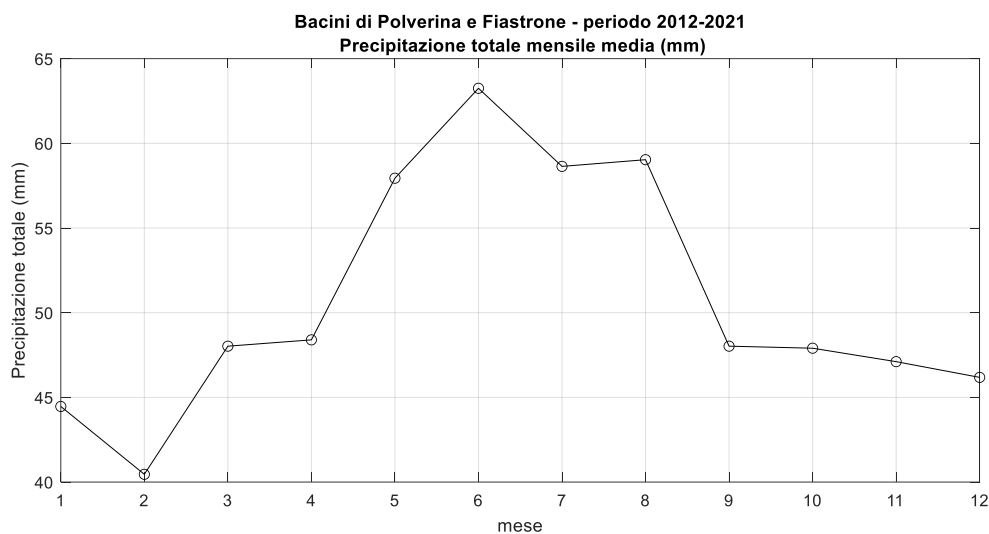


Figura 15: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – Precipitazione mensile media ultimi 10 anni

L'afflusso totale annuo medio negli ultimi 10 anni risulta pari a 609 mm.

3.2.3 Evapotraspirazione

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

Il seguente grafico mostra l'andamento storico a lungo termine di ET0:

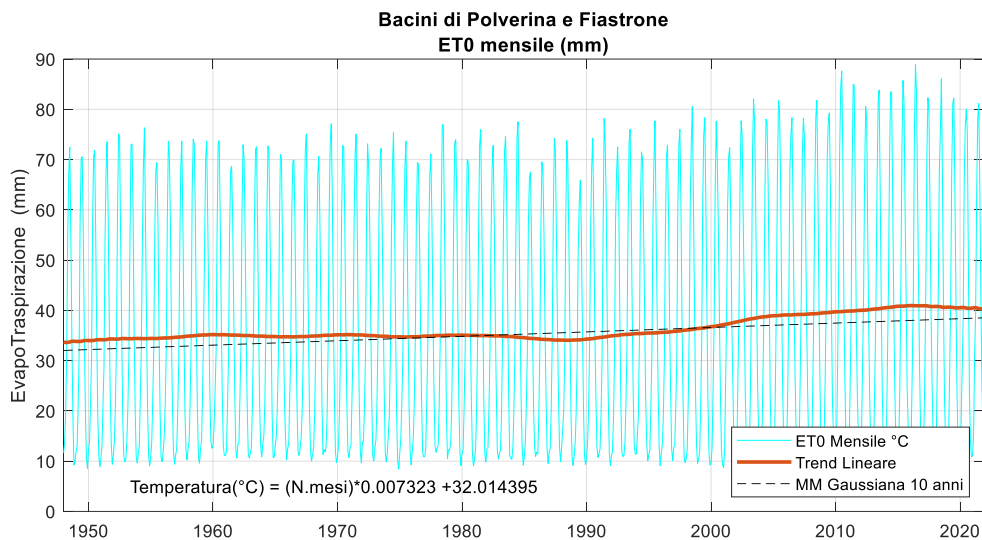


Figura 16: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – ET0 mensile

Anche qui si nota una tendenza crescente nel tempo. I valori medi dell'ET0 mensile negli ultimi 10 anni sono riportati nella figura seguente:

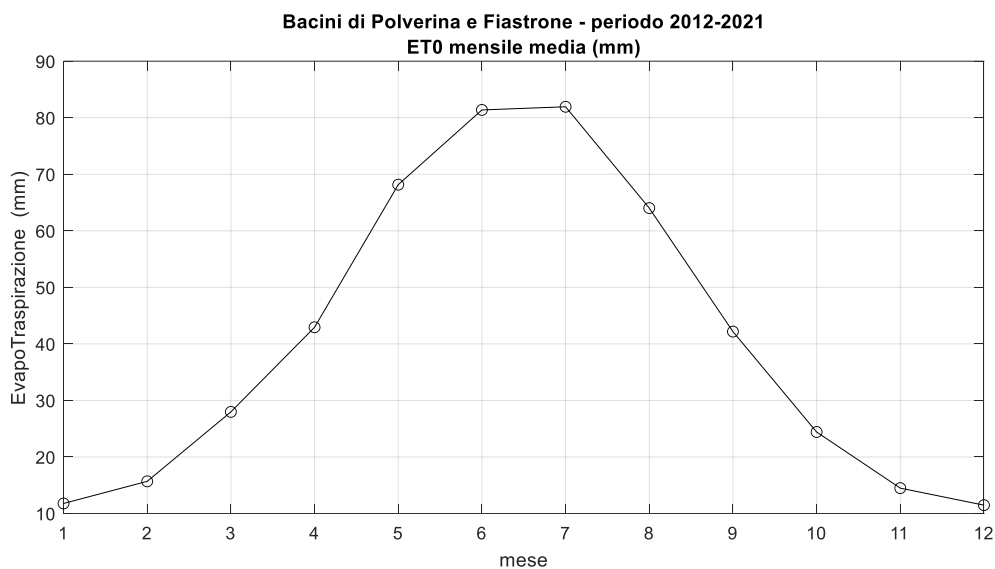


Figura 17: Bacini idrografici Polverina e Fiastrone – ET0 mensile media ultimi 10 anni

3.3 Scenari climatici in proiezione

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.

3.3.1 Tendenza climatica

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 fondamentalmente 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.

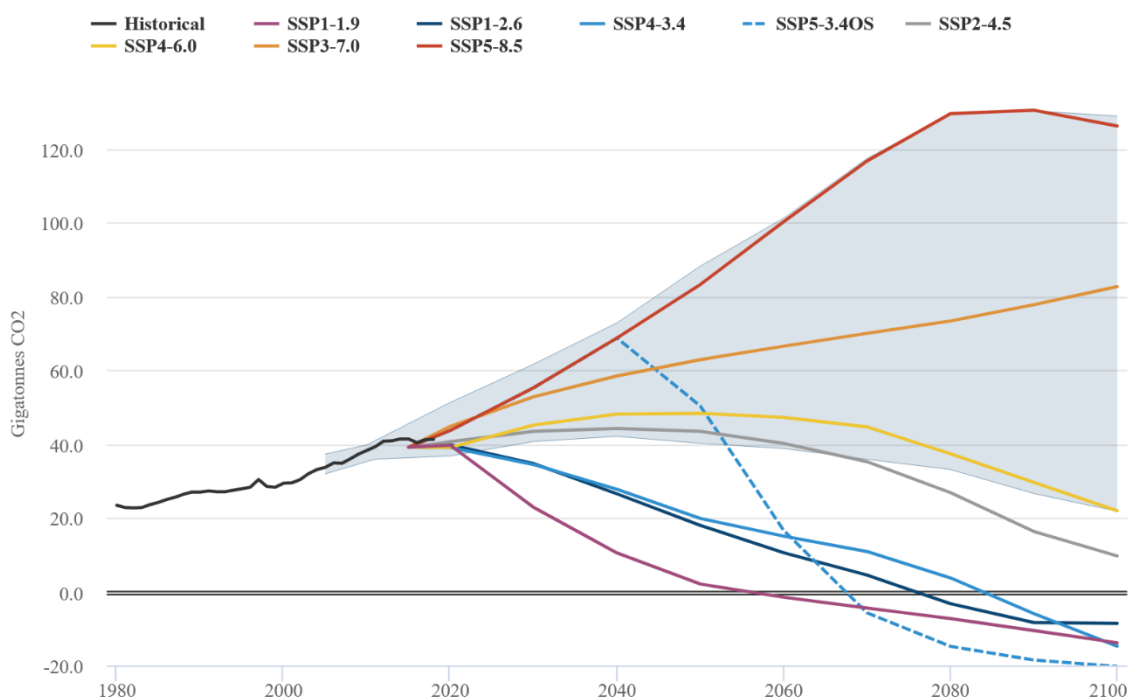


Figura 18: CMIP6 model CO₂ emissions forecast (*credits: Z.Hausfather*)

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.

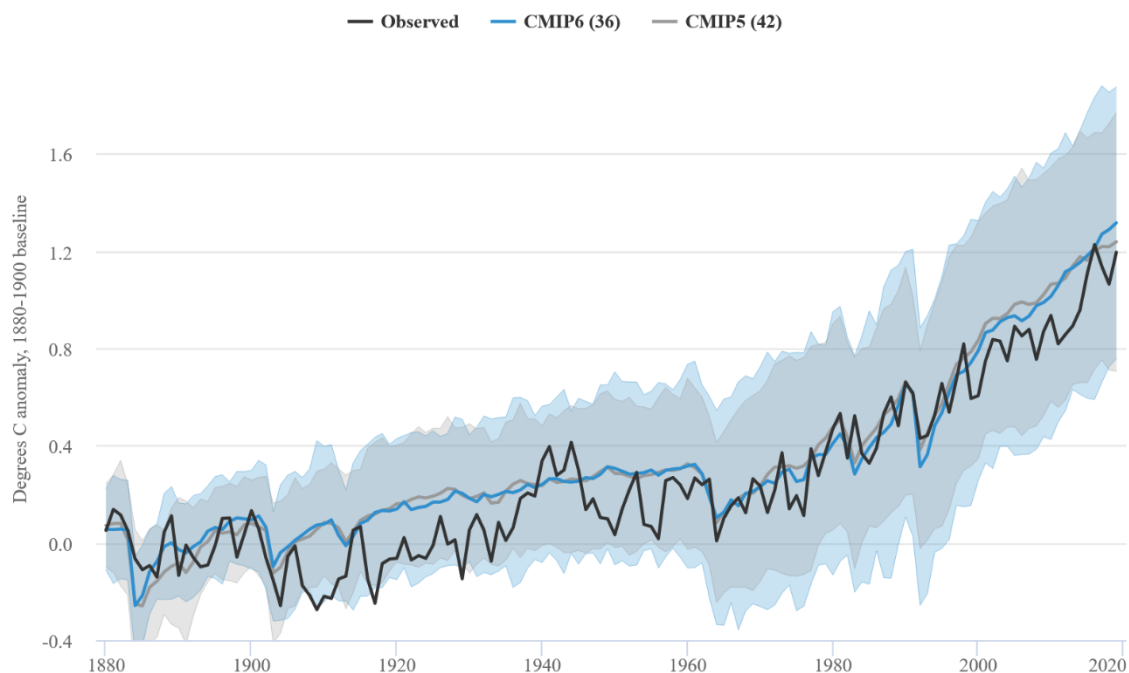


Figura 19: Tendenza evolutiva della temperatura globale (credits: Z.Hausfather)

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

Warming by scenario in current CMIP6 model runs

For currently available runs, from 1880-1900 to 2090-2100.

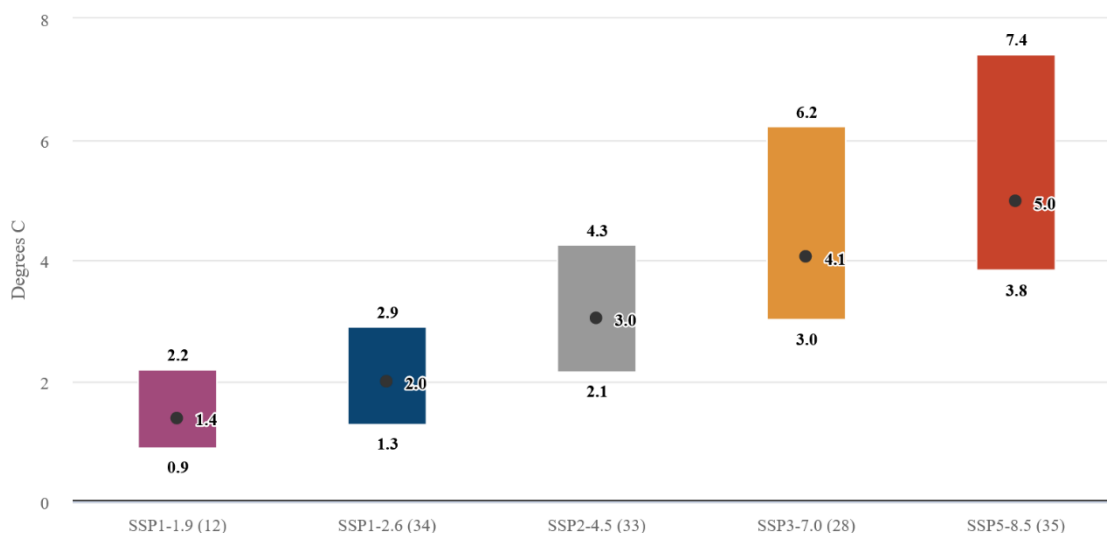


Figura 20: Riscaldamento globale per scenario (credits: Z.Hausfather)

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 (MATTM)** 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 anche questa in aumento e pertanto andrà a compensare l'aumento di evapotraspirazione.

Ci si potrebbe dunque aspettare un apporto idrologico ai serbatoi con afflussi sostanzialmente invariato a livello annuo, ma 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 R2021b.

4.1 Schematizzazione del modello

La centrale idroelettrica di Valcimarra è alimentata da due derivazioni, Fiastrone e Polverina, che non sono intercomunicanti.

La ricostruzione degli afflussi può pertanto essere eseguita considerando i due impianti distinti ed indipendenti tra loro.

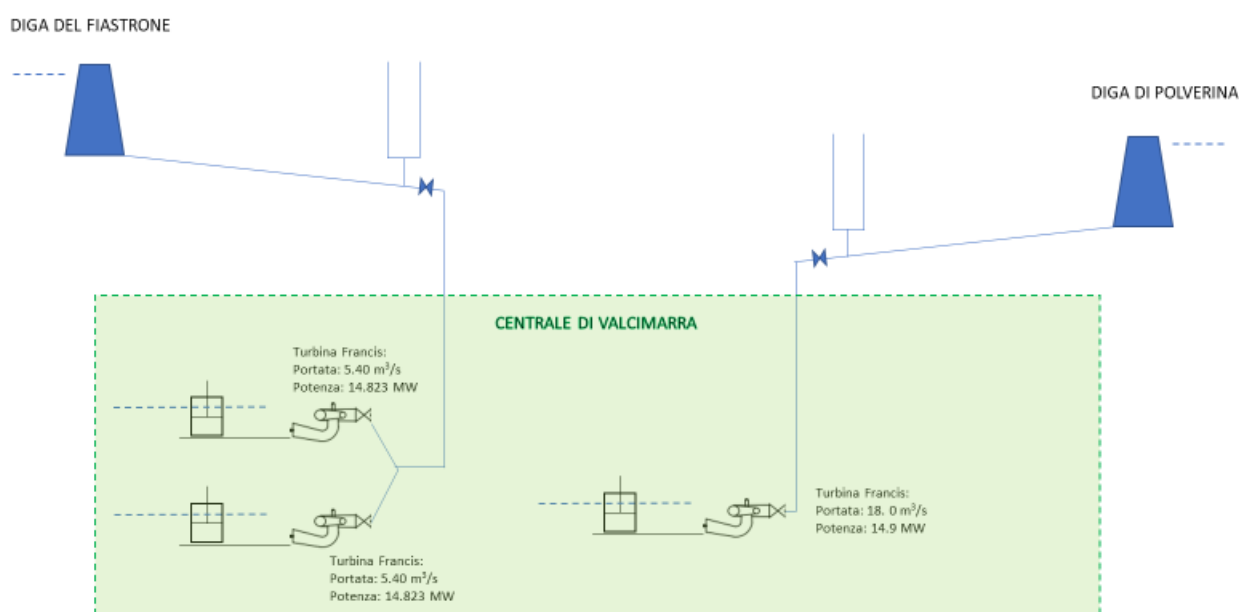


Figura 21: Schema idraulico dell'impianto di Valcimarra

Per ciascuno dei due impianti 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 Serbatoio del Fiastrone

4.2.1 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:

$$W_{S,i} - W_{S,i-1} = W_{NET IN,i} - W_{T,i} - W_{SF,i} - W_{DMV,i}$$

dove le quantità note, espresse in [m³] sono

- $W_{S,i}$ è il volume *contenuto* nel serbatoio al passo iesimo;
- $W_{S,i-1}$ è il volume *contenuto* nel serbatoio al passo precedente;
- $W_{T,i}$ è il volume *turbinato* nel serbatoio al passo iesimo;
- $W_{SF,i}$ 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;

4.2.2 Curva d'invaso del serbatoio

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

Tale curva d'invaso è stata digitalizzata ed è modellata con una curva interpolante di tipo cubico con preservazione della forma e possibilità di estrapolazione. Qui di seguito si riporta la tabella dei valori di riferimento utilizzati:

zw,s	563.19	568.85	589.96	600.03	606.40	611.25	617.11	623.48	627.82	630.24	633.68	636.87	639.80
W,s	0.00E+00	4.73E+04	3.53E+05	1.16E+06	2.17E+06	3.24E+06	5.09E+06	7.94E+06	1.04E+07	1.20E+07	1.45E+07	1.72E+07	1.99E+07

Tabella 1: Fiastrone – curva d'invaso del serbatoio (2018)

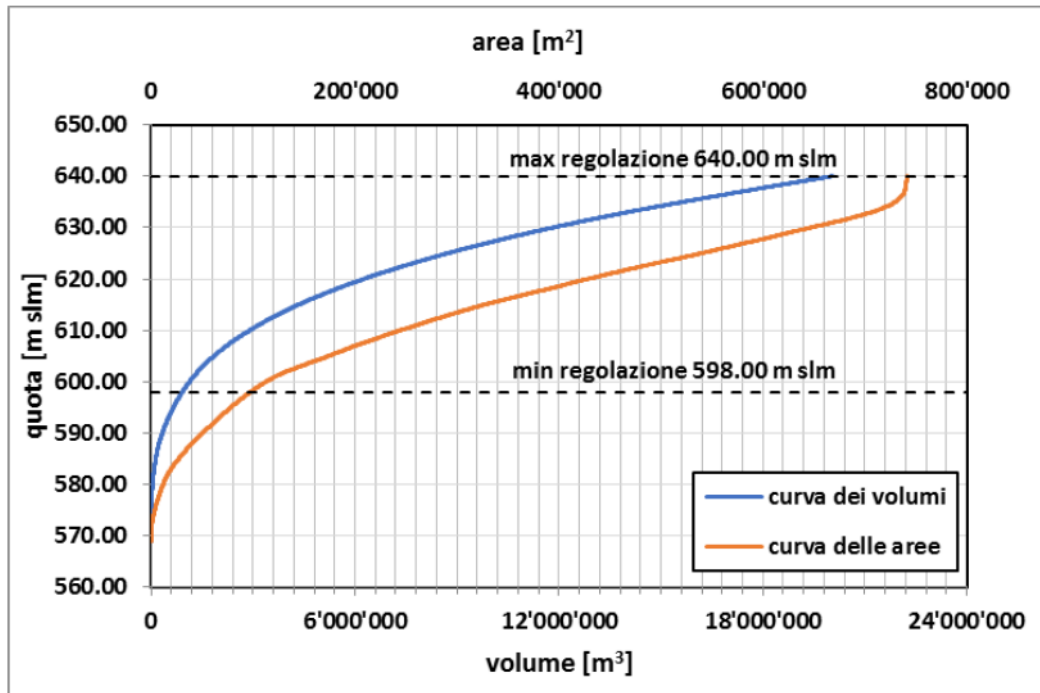


Figura 22: Diga del Fiastrone - diagramma delle aree e dei volumi (2020)

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

$$z_{ws,i} = f_{FIASTRONE}(W_{S,i})$$

oppure

$$W_{S,i} = f_{FIASTRONE}(z_{ws,i})$$

con

- $z_{ws,i}$ è il livello nel serbatoio al passo iesimo; [m s.l.m.]
- $W_{S,i}$ è il volume nel serbatoio al passo iesimo; [m³]

4.2.3 Bilancio energetico tra serbatoio e restituzione

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

K è definito in base alle perdite di carico distribuite e concentrate del sistema. Il valore K considerato (cfr. Relazione Idraulica) per la derivazione Fiastrone vale:

$$K_{FIASTRONE} = 0.2622 \quad \left[\frac{m}{(m^3/s)^2} \right]$$

Il carico assorbito dalla macchina idraulica viene conteggiato nell'equazione della potenza della macchina, definita nel paragrafo seguente.

In pratica, l'equazione si esprime come:

$$\Delta H_{GRUPPO,i} = z_{ws,i} - z_{wr,i} - K \cdot Q_{T,i}^2 \quad [m]$$

con

- $\Delta H_{GRUPPO, i}$ è il la prevalenza nella macchina idraulica al passo iesimo;
- $z_{wS, i}$ è il livello nel serbatoio al passo iesimo;
- $z_{wR, i}$ è il livello nel canale di restituzione al passo iesimo;
- K è il coefficiente delle perdite;
- $Q_{T, i}$ è la portata turbinata dalle macchine (e transitante nella condotta di adduzione) al passo iesimo;

4.2.4 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 Fiastrone sono presenti due gruppi, e pertanto il sistema risolutivo generale è il seguente:

$$\begin{cases} P_{GR1, i} = 9.806 \cdot Q_{GR1, i} \cdot \Delta H_{GR1, i} \cdot \eta \left(Q_{GR1, i} / Q_{MAX, GR1} \right) / 1000; \\ P_{GR2, i} = 9.806 \cdot Q_{GR2, i} \cdot \Delta H_{GR2, i} \cdot \eta \left(Q_{GR2, i} / Q_{MAX, GR2} \right) / 1000; \\ Q_{T, i} = Q_{GR1, i} + Q_{GR2, i}; \end{cases}$$

con

- $P_{GRj, i}$ 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]
- $\eta \left(Q_{GRj, i} / Q_{MAX, GRj} \right)$ rendimento del gruppo al passo iesimo;

Il rendimento di turbina è stato valutato utilizzando una curva di una macchina simile, abbattuto del 3% per tenere in conto la vetustà della macchina:

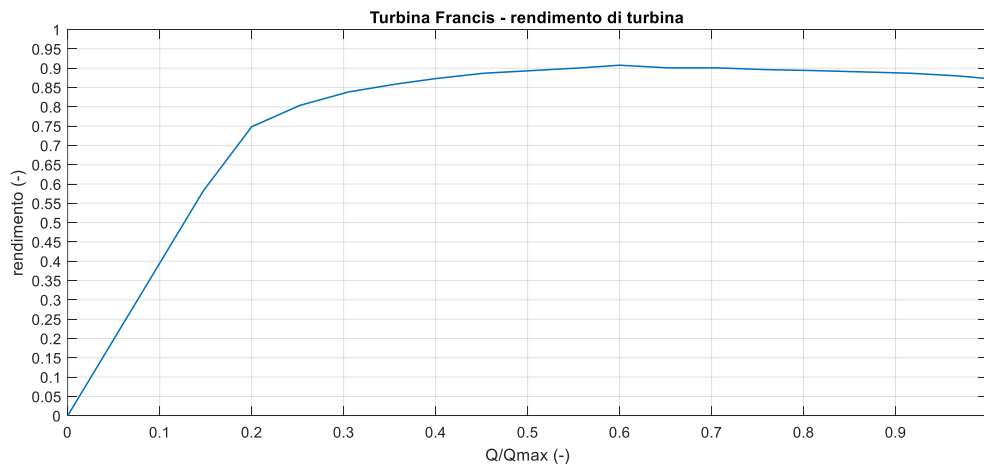


Figura 23: Curva di rendimento di una turbina Francis

Come rendimento del generatore si è assunto un valore pari a 0.97, mentre per il trasformatore si è assunto un valore pari a 0.99. Complessivamente, il rendimento di gruppo è stato calcolato come prodotto dei tre:

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

4.2.5 Scala di deflusso alla restituzione

Per cogliere correttamente il salto netto, in assenza di maggiori dettagli, si è assunto che il canale di scarico potesse avere una scala di deflusso corrispondente a quella dello stramazzo a larga soglia. La quota di soglia è stata desunta in base ai dati disponibili.

$$z_{WRj,i} = z_{SOGLIAj} + \left(\frac{Q_{GRj,i}}{\mu \cdot B_j \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3};$$

con

- $z_{WR,i}$ il livello nel canale di restituzione al passo iesimo [m s.l.m.]
- $z_{SOGLIAj} = 298.30$ quota di soglia del canale di scarico del gruppo j [m s.l.m.]
- $B_j = 3.80$ larghezza del canale di scarico del gruppo j [m]
- $\mu = 0.385$ coefficiente di deflusso;
- $g = 9.806$ accelerazione di gravità [m/s²].

Considerato il salto di circa 300 metri, la quota della soglia di valle in realtà influisce poco sulle prestazioni della macchina.

4.3 Serbatoio di Polverina

Le equazioni qui sotto riportate ricalcano quelle espresse al paragrafo precedente, a cui si rimanda per le spiegazioni e le legende.

4.3.1 Bilancio di massa nel serbatoio di monte

$$W_{S,i} - W_{S,i-1} = W_{NET IN,i} - W_{T,i} - W_{SF,i} - W_{DMV,i}$$

4.3.2 Curva d'invaso del serbatoio di monte

La curva d'invaso del serbatoio di Polverina è disponibile sia all'interno del FCEM, sia nel Piano di Gestione dei Sedimenti (Batimetria 2018).

Tale curva d'invaso è stata digitalizzata ed è modellata con una curva interpolante di tipo cubico con preservazione della forma e possibilità di estrapolazione. Qui di seguito si riporta la tabella dei valori di riferimento utilizzati:

z _{w,s}	382.00	383.16	384.40	385.43	386.59	387.78	388.78	390.00	391.24	392.27	393.43	394.56	395.85	397.30	399.09	399.96
W _s	0.00E+00	3.63E+03	4.83E+04	1.26E+05	2.28E+05	3.68E+05	5.07E+05	7.53E+05	1.04E+06	1.35E+06	1.74E+06	2.17E+06	2.77E+06	3.52E+06	4.51E+06	5.03E+06

Tabella 2: Polverina – curva d'invaso del serbatoio (2018)

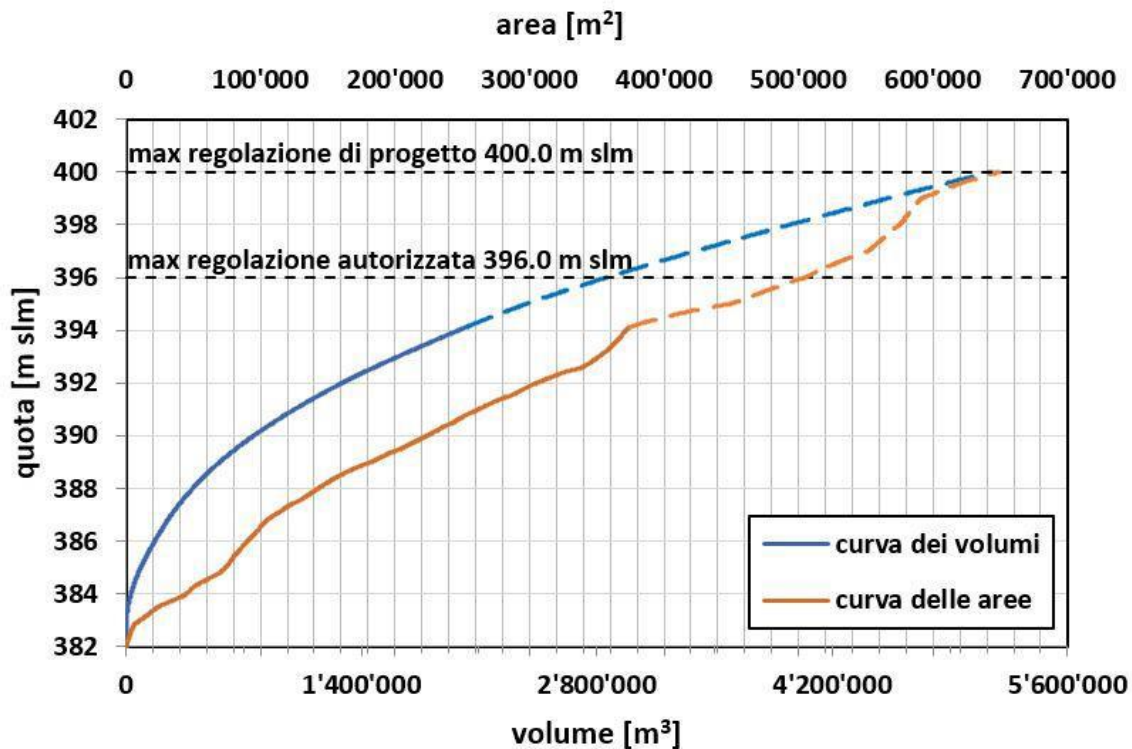


Figura 24: Diga di Polverina - diagramma delle aree e dei volumi (2018)

Le funzioni interpolari sono pertanto:

$$z_{WS,i} = f_{POLVERINA}(W_{S,i})$$

$$W_{S,i} = f_{POLVERINA}(z_{WS,i})$$

4.3.3 Bilancio energetico tra serbatoio e restituzione

$$K_{POLVERINA} = 0.0430 \quad \left[\frac{m}{(m^3/s)^2} \right]$$

$$\Delta H_{GRUPPO,i} = z_{WS,i} - z_{WR,i} - K \cdot Q_{T,i}^2 \quad [m]$$

4.3.4 Equazione della potenza della macchina

La derivazione Polverina dispone di un unico gruppo Francis:

$$P_{GR1,i} = 9.806 \cdot Q_{GR1,i} \cdot \Delta H_{GR1,i} \cdot \eta \left(\frac{Q_{GR1,i}}{Q_{MAX,GR1}} \right) / 1000;$$

con

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

e con rendimenti pari a quelli esposti in precedenza.

4.3.5 Scala di deflusso alla restituzione

$$z_{wR3,i} = z_{SOGLIA3} + \left(\frac{Q_{GR3,i}}{\mu \cdot B_3 \cdot \sqrt{2g}} \right)^{(2/3)} ;$$

con

- $z_{wR3,i}$ il livello nel canale di restituzione al passo iesimo [m s.l.m.]
- $z_{SOGLIA3} = 296.60$ quota di soglia del canale di scarico del gruppo j [m s.l.m.]
- $B_3 = 4.00$ larghezza del canale di scarico del gruppo j [m]
- $\mu = 0.385$ coefficiente di deflusso;
- $g = 9.806$ accelerazione di gravità [m/s²]

4.4 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.

4.4.1 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.

4.4.2 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, che peraltro è risultato essere invariato nel corso del periodo di simulazione ed invariante durante l'anno. Per i due serbatoi i valori del rilascio sono:

- Serbatoio del Fiastrone: 0.25 m³/s, corrispondenti a 900 m³/ora;
- Serbatoio di Polverina: 0.45 m³/s, corrispondenti a 1'620 m³/ora;

4.4.3 Sfiori

Enel ha reso disponibili i dati delle portate sfiorate nei pochi eventi registrati di piena (3 per Fiastrone e 6 per Polverina) in cui è stato necessario prevedere lo scarico superficiale delle acque.

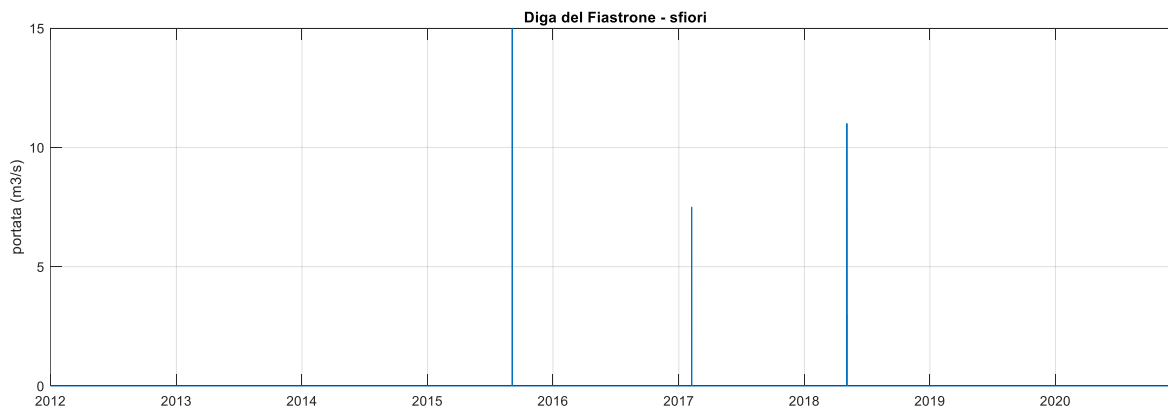


Figura 25: Diga del Fiastrone: sfiori nel periodo 2012-2020

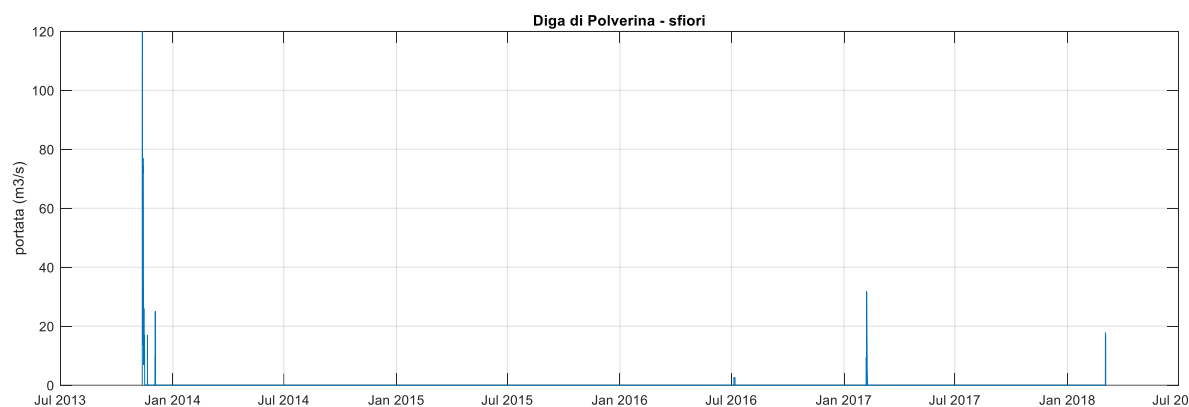


Figura 26: Diga di Polverina: sfiori nel periodo 2012-2020

I dati, a passo temporale variabile, sono stati convertiti su base oraria, in modo da renderli utilizzabili nella procedura di calcolo.

4.5 Procedura di calcolo

I passi adottati nella procedura di ricostruzione degli afflussi sono qui di seguito descritti. La descrizione è del tutto generale e viene poi attuata per ciascuna derivazione nei capitoli seguenti.

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.

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.

Per questo motivo si prevede un secondo ciclo, di correzione, basato fondamentalmente sull'ipotesi che vi siano stati errori di valutazione delle portate turbinate. I valori di portata turbinata vengono quindi aumentati in modo da soddisfare la congruenza con i livelli riscontrati nei serbatoi. Al termine del secondo ciclo si riefetta il bilancio di massa nel serbatoio. Si è verificato che questo ciclo aggiuntivo riduce ad una percentuale risibile tali incongruenze.

Al fine di eliminare le incongruenze residue, si prevede un terzo ciclo di correzione (ipotesi di non corretta ricostruzione del valore o incongruenza occulta nei dati di base), dove si prevede l'aggiustamento del livello nel serbatoio al fine di ritrovare la congruenza nel bilancio di massa.

Nel capitolo successivo si riportano i risultati ottenuti dalla procedura per le due derivazioni oggetto di studio.

5. RISULTATI DELLA RICOSTRUZIONE DEGLI AFFLUSSI NETTI NATURALI

Qui di seguito si presentano i risultati della ricostruzione degli afflussi con la metodologia descritta nel capitolo precedente.

5.1 Serbatoio del Fiastrone

5.2 Livelli nel serbatoio

Il confronto tra livelli ricostruiti e livelli originali mostra una sostanziale identità tra i due valori, con la presenza di variazioni tipicamente puntuali.



Figura 27: Diga del Fiastrone - confronto tra livelli originali e corretti – passo orario

La media degli scarti (con segno) risulta pari a +0.5 mm, con deviazione standard pari a 5 mm. I valori con moduli maggiori di 0.1 m rappresentano lo 0.02% del campione.

5.3 Portate

I dati di portata oraria netta entrante hanno mostrato avere una variabilità elevata. Si è pertanto deciso di effettuare una media gaussiana dei dati con una finestra di 6 ore, ottenendo le seguenti portate entranti di afflusso netto:

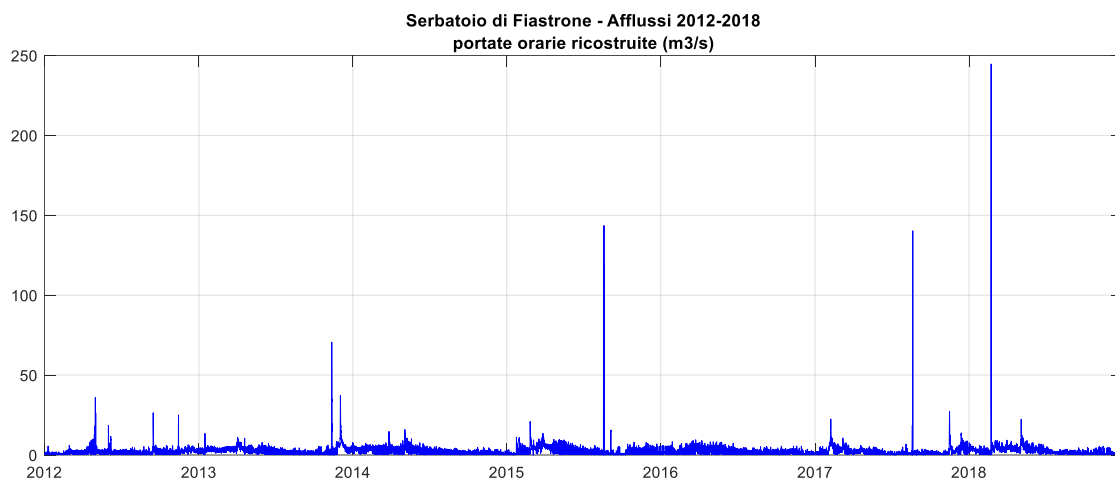


Figura 28: Serbatoio del Fiastrone – serie delle portate nette entranti ricostruite – passo orario

Nella seguente figura si riporta la curva di durata dei dati orari.

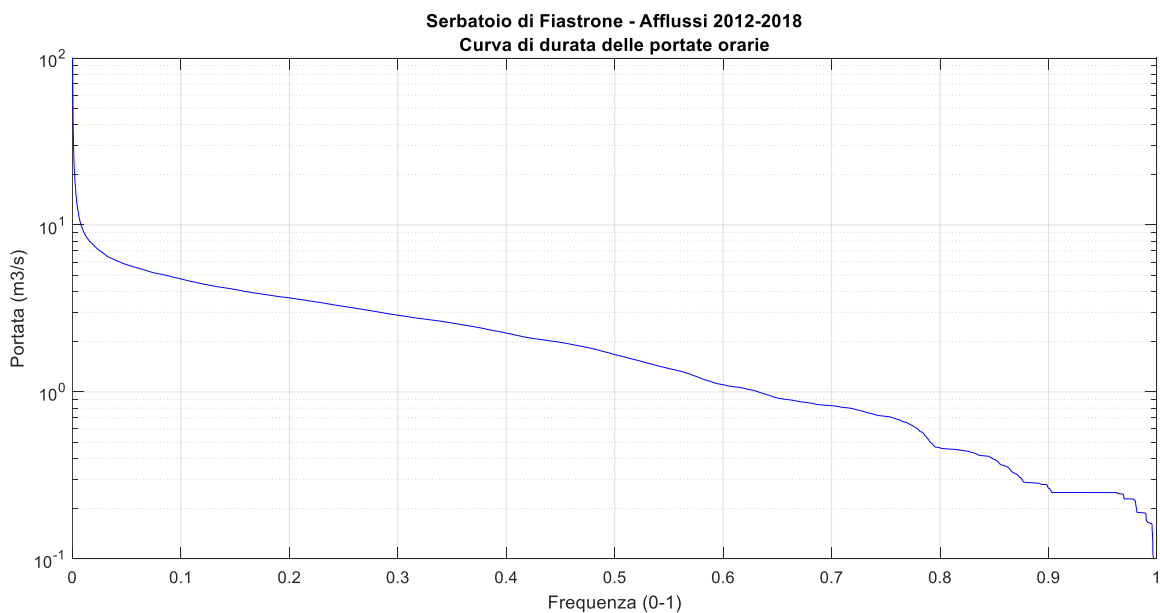


Figura 29: Serbatoio del Fiastrone – curva di durata portate nette entranti ricostruite – passo orario

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

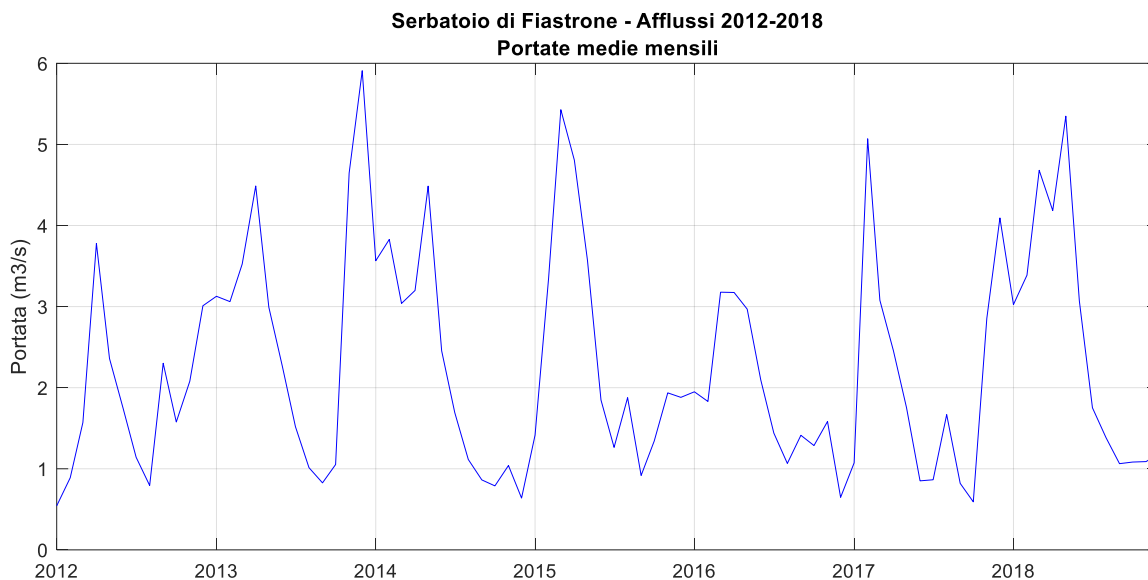


Figura 30: Serbatoio del Fiastrone – serie delle portate medie mensili

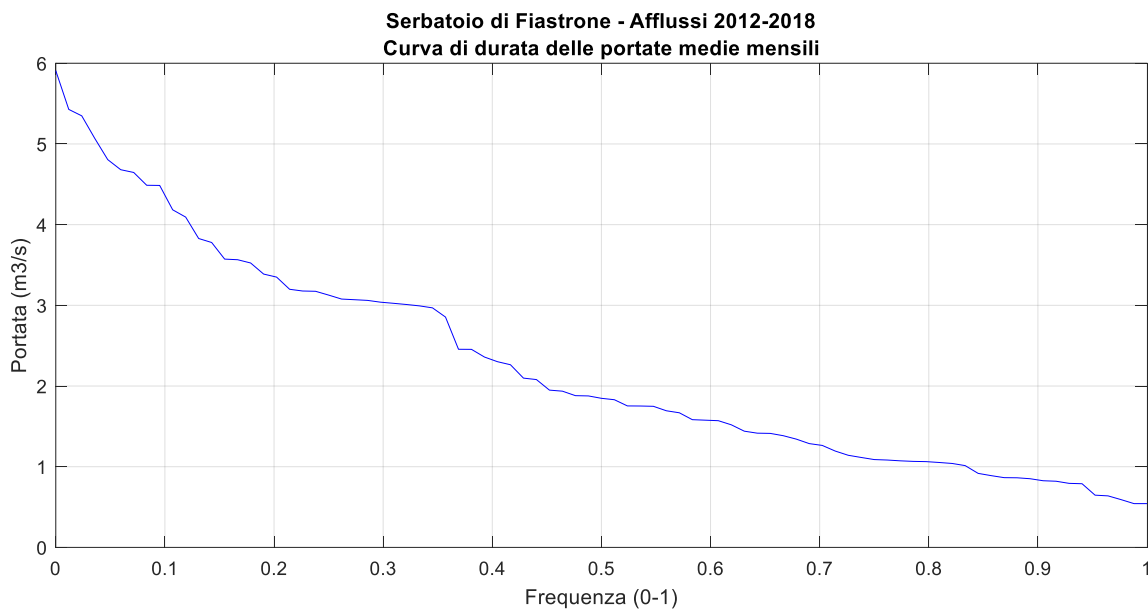


Figura 31: Serbatoio del Fiastrone - curva di durata delle portate medie mensili

5.4 Dati di produzione

Il presente paragrafo riporta il confronto eseguito tra le produzioni mensili dei gruppi e le produzioni ricostruite nell'ambito della procedura di calcolo.

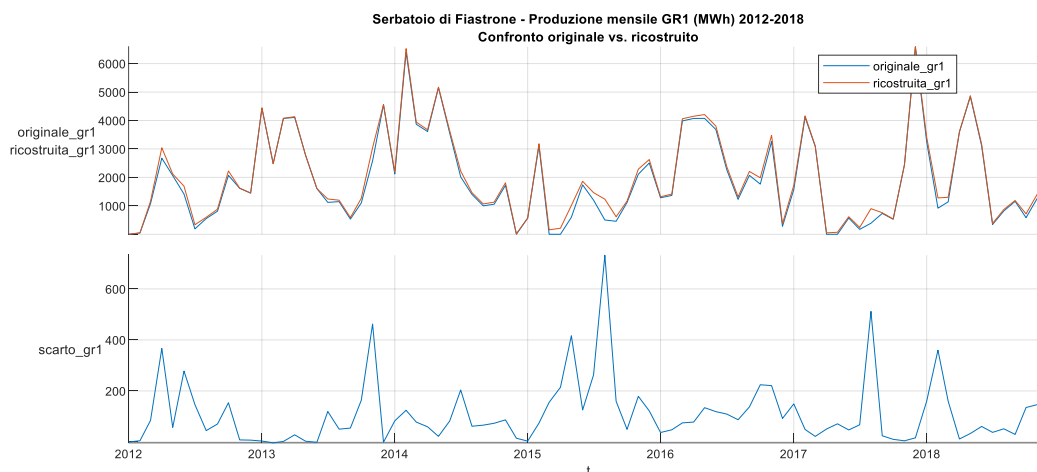


Figura 32: Derivazione Fiastrone – Gruppo 1 – serie della produzione totale originale e ricostruita

La media degli scarti (con segno) risulta pari a 109 MWh, con deviazione standard pari a 125 MWh. I valori con scarti relativi maggiori del 10% rappresentano il 30% del campione.

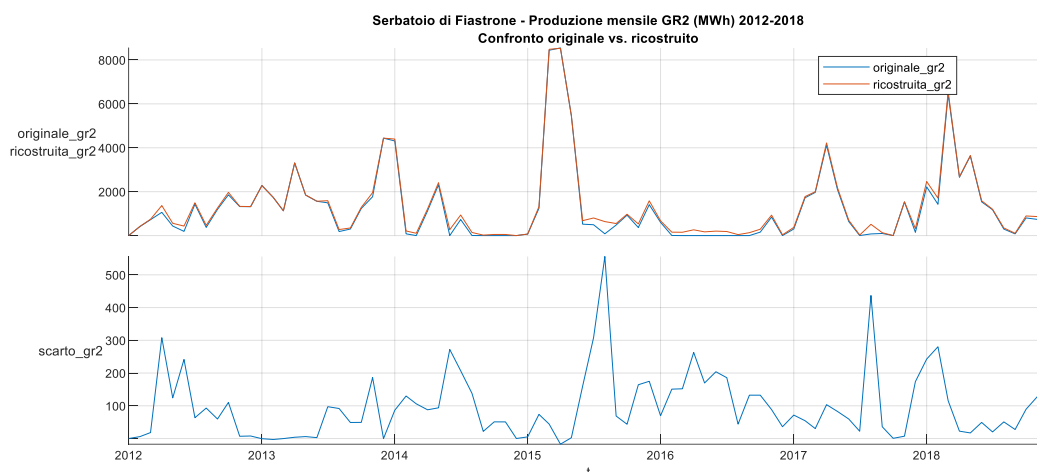


Figura 33: Derivazione Fiastrone – Gruppo 2 – serie della produzione totale originale e ricostruita

La media degli scarti (con segno) risulta pari a 96 MWh, con deviazione standard pari a 102 MWh. I valori con scarti relativi maggiori del 10% rappresentano il 56% del campione.

I risultati mostrano che in entrambi i casi, per garantire la congruenza tra volumi e livelli e produzioni, è stato necessario operare correzioni anche significative.

Si ritiene tuttavia che nell'ambito delle approssimazioni generali assunte alla base dei calcoli e quelle che generalmente si possono riscontrare nelle variabili idrologiche, questi risultati possano ritenersi adeguati a un loro utilizzo in simulazioni di natura idraulico-energetica.

5.5 Confronto con risultati ottenuti da altri

Nell'ambito della redazione dei piani di gestione, altri hanno effettuato per conto di Enel GP la stessa ricostruzione degli afflussi, giungendo a risultati simili.

I seguenti grafici mostrano il confronto tra le portate medie mensili ottenute. Si segnala che i periodi di calcolo sono diversi.

La prima immagine, **Figura 34**, riporta i dati idrologici ricostruiti da altri, nel periodo 2006-2010:

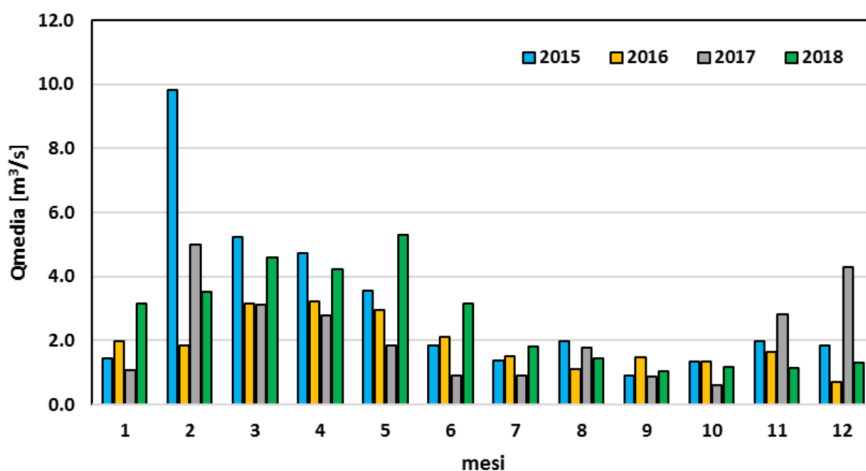


Figura 34: Serbatoio del Fiastrone– afflussi medi mensili 2015-2018 (altri)

La seguente figura mostra i dati ricostruiti dallo Scrivente nel periodo 2012-2018 (portata media annua pari a 2.28 m³/s). Tale portata è bene allineata con quella prevista a Concessione, pari a 2.2 m³/s:

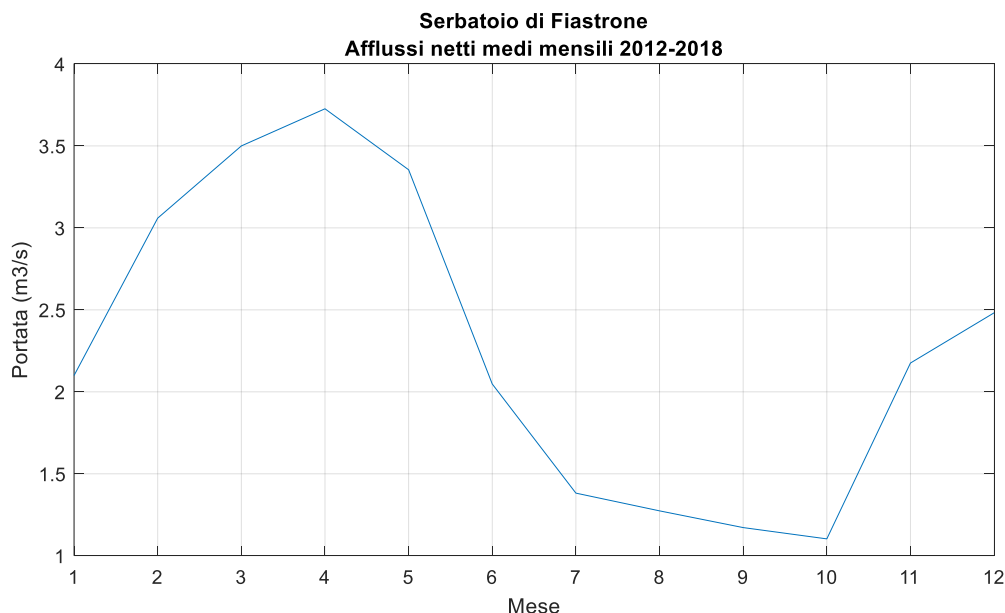


Figura 35: Serbatoio del Fiastrone - afflussi medi mensili 2012-2018

I due andamenti, seppure con valori diversi, si mostrano simili mantenendo l'idraulicità massima e minima rispettivamente a marzo e ad ottobre.

5.6 Serbatoio di Polverina

Al fine di rendere confrontabili i dati, si è ridotto il periodo disponibile su Polverina allo stesso ritenuto valido per Fiastrone, ovvero 2012-2018.

5.7 Livelli nel serbatoio

Il confronto tra livelli ricostruiti e livelli originali mostra una sostanziale identità tra i due valori, con la presenza di variazioni tipicamente puntuali.

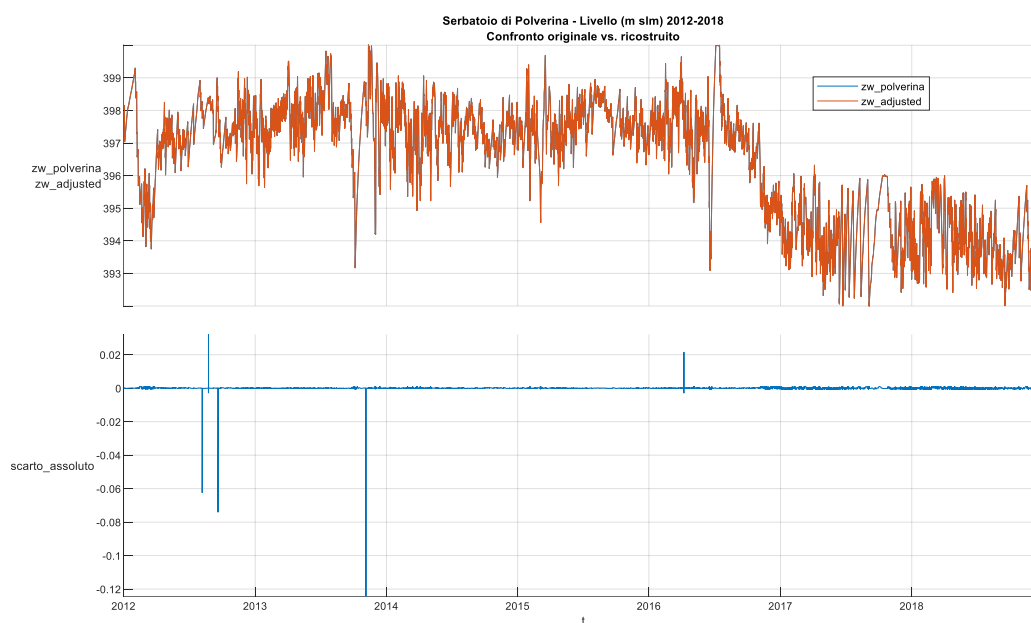


Figura 36: Diga di Polverina - confronto tra livelli originali e corretti – passo orario

La media degli scarti (con segno) risulta pari a +0.04 mm, con deviazione standard pari a 0.7 mm. I valori con moduli maggiori di 0.1 m rappresentano lo 0.001% del campione.

5.8 Portate

I dati di portata oraria netta entrante hanno mostrato avere una variabilità elevata. Si è pertanto deciso di effettuare una media gaussiana dei dati con una finestra di 6 ore, ottenendo le seguenti portate entranti di afflusso netto:

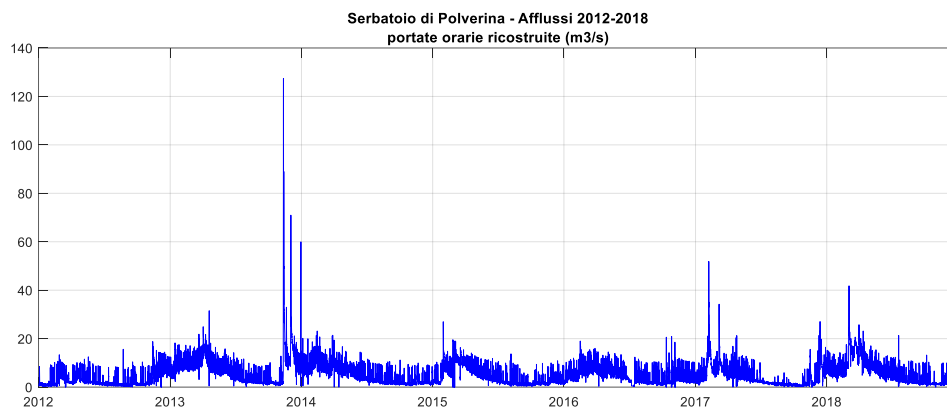


Figura 37: Serbatoio di Polverina – serie delle portate nette entranti ricostruite – passo orario

Nella seguente figura si riporta la curva di durata dei dati orari.

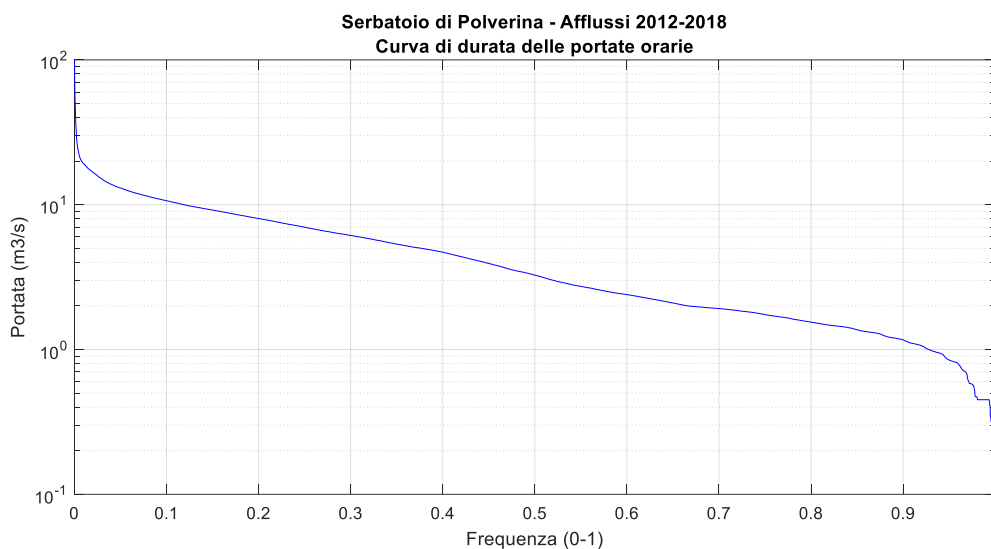


Figura 38: Serbatoio di Polverina – curva di durata portate nette entranti ricostruite – passo orario

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

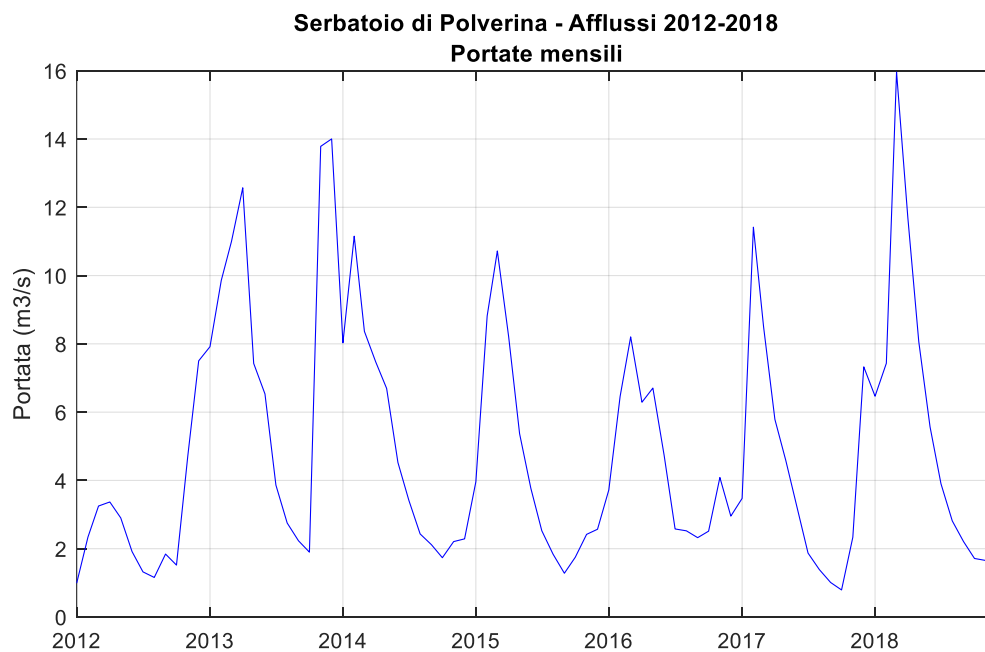


Figura 39: Serbatoio di Polverina – serie delle portate mensili

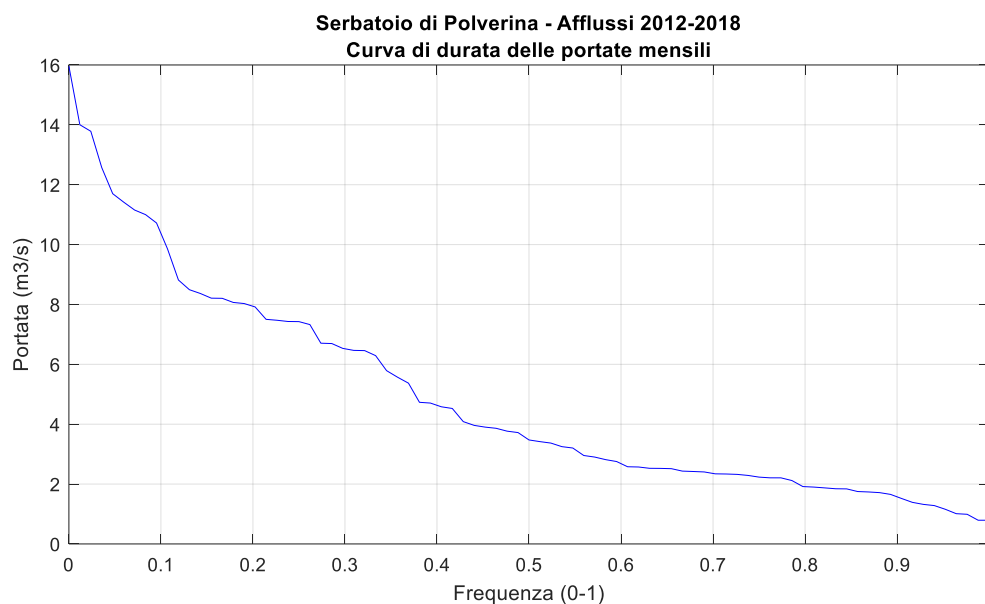


Figura 40: Serbatoio di Polverina - curva di durata delle portate mensili

5.9 Dati di produzione

Il presente paragrafo riporta il confronto eseguito tra le produzioni mensili del Gruppo 3 e le produzioni ricostruite nell'ambito della procedura di calcolo.

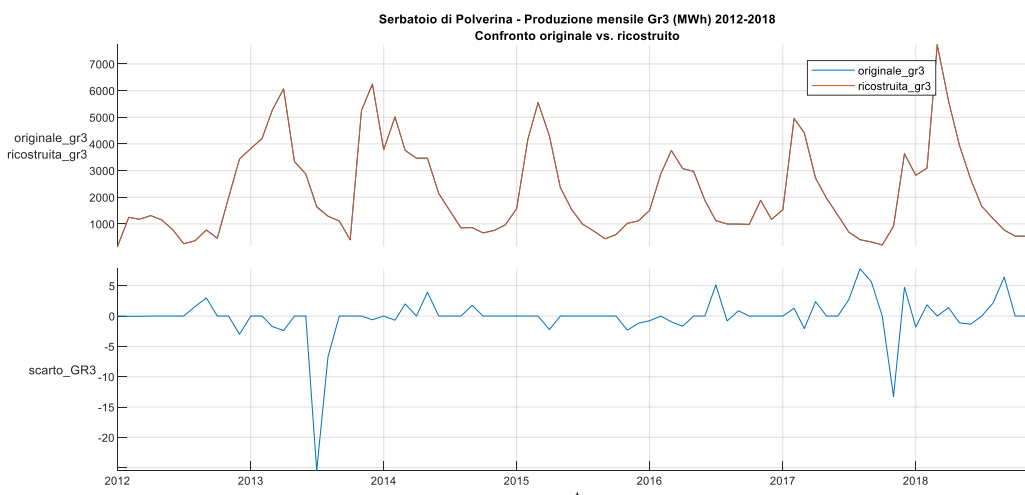


Figura 41: Derivazione Polverina – Gruppo 3 – serie della produzione originale e ricostruita

La media degli scarti relativi percentuali (con segno) risulta pari al 0.18 MWh, con deviazione standard pari a 3.7 MWh. I valori con scarti relativi maggiori del 1% rappresentano il 4% del campione.

I risultati mostrano che, per garantire la congruenza tra volumi e livelli e produzioni, è stato necessario operare correzioni poco significative.

Si ritiene pertanto che nell'abito delle approssimazioni generali assunte alla base dei calcoli e quelle che generalmente si possono riscontrare nelle variabili idrologiche, questi risultati possano ritenersi adeguati a un loro utilizzo in simulazioni di natura idraulico-energetica.

5.10 Confronto con risultati ottenuti da altri

Nell'ambito della redazione dei piani di gestione, altri hanno effettuato per conto di Enel GP la stessa ricostruzione degli afflussi, giungendo a risultati simili.

I seguenti grafici mostrano il confronto tra le portate medie mensili ottenute. Si segnala che i periodi di calcolo sono diversi.

La prima immagine riporta i dati idrologici ricostruiti da altri, nel periodo 2006-2010:

MESE	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q(m ³ /s)	5.6	5.2	6.9	6.2	4.5	3.0	1.0	1.7	1.2	1.0	1.3	4.0

Figura 42: Serbatoio di Polverina – afflussi medi mensili 2006-2010 (altri)

La seguente figura mostra i dati ricostruiti dallo Scrittore nel periodo 2012-2018 (portata media annua pari a 4.94 m³/s):

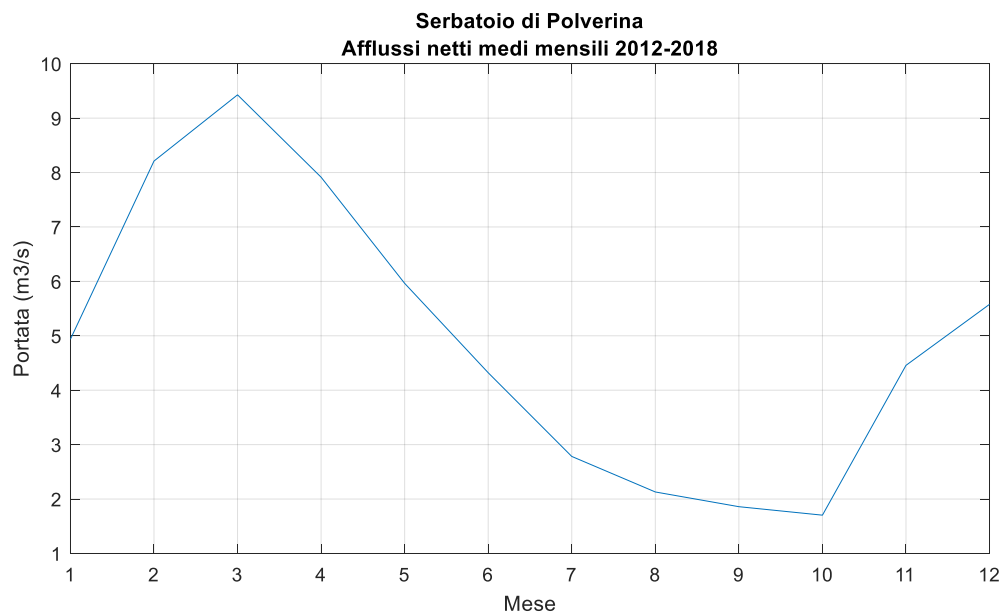


Figura 43: Serbatoio di Polverina - afflussi medi mensili 2012-2018

Tale portata è lievemente inferiore rispetto a quella media prevista in Concessione, pari a 5.28 m³/s, ma viste le tolleranze assunte nei calcoli, può considerarsi allineata.

I due andamenti, seppure con valori diversi, si mostrano similari mantenendo l'idraulicità massima e minima rispettivamente a marzo e ad ottobre.

Questa è anche la conferma, dato che i risultati derivano dalle potenze erogate dai gruppi turbina esistenti (2 sulla derivazione Fiastrone, 1 sulla derivazione Polverina), **che l'impianto esistente effettivamente turbinava tutti i deflussi naturali.**

5.11 Conclusioni

La ricostruzione degli afflussi netti entranti ai serbatoi è stata effettuata con alcune assunzioni relativamente ad aspetti impiantistici ed idraulici del sistema idraulico, ottenendo degli afflussi orari che si ritengono plausibili ed adeguati alla possibile simulazione dell'inserimento del nuovo gruppo reversibile Gr.4 all'interno della Centrale di Valcimarra.

Tale simulazione, se ritenuta necessaria, viene rimandata alle successive fasi progettuali nelle quali saranno presumibilmente rese disponibili le modalità di operazione del nuovo gruppo in funzione delle esigenze di regolazione della frequenza di rete.

Con le nuove regole sarà possibile simulare l'impianto e la conseguente redditività della soluzione prescelta.

6. VALUTAZIONE DELLA POSSIBILITÀ DI SFRUTTAMENTO DEL NUOVO GRUPPO IN BASE AI LIVELLI NEI SERBATOI

Nel presente capitolo si procede ad una stima semplificata della potenzialità di sfruttamento del nuovo gruppo reversibile sulla base dei livelli storici nei serbatoi (considerando dunque l'effetto della passata operatività dei gruppi) e rimandando ad una eventuale fase successiva la simulazione del sistema completo, una volta disponibili tutte le informazioni necessarie.

In particolare, ci si può soffermare sulle seguenti due grandezze caratteristiche:

- il volume rimanente nel serbatoio rispetto alla quota di massima regolazione, ovvero quanto il serbatoio è in grado di ricevere;
- il volume invasato utile (volume rispetto alla quota minima regolazione), ovvero quanto è possibile trasferire all'altro serbatoio;

Queste grandezze, valutate per entrambi i serbatoi, consentono di valutare quanto volume sarebbe possibile utilizzare per effettuare regolazione di rete con il nuovo gruppo reversibile.

Si considera il periodo 2012-2016, prima che subentrassero a seguito del sisma del 2016 le limitazioni alle altezze d'invaso.

6.1 Rappresentazione storica dei volumi utili invasati e rimanenti

Per il **Serbatoio del Fiastrone**, il seguente grafico rappresenta l'andamento dei volumi utili invasati:

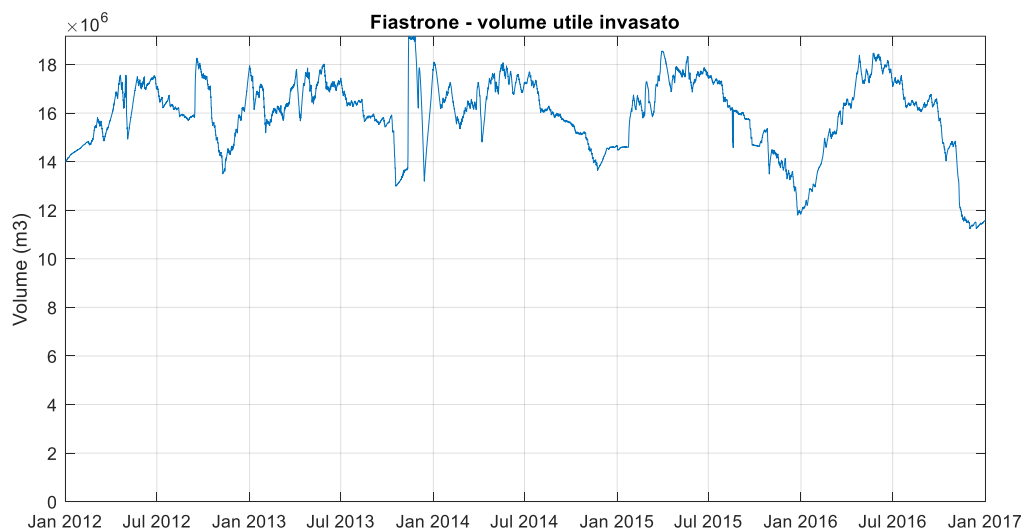


Figura 44: Serbatoio del Fiastrone - volumi utili invasati

Si può notare come il serbatoio sia ben sfruttato, mantenendo i volumi invasati nel terzo medio superiore della capacità utile del serbatoio.

Per differenza rispetto al livello di massima regolazione, si ricava il volume “disponibile”:

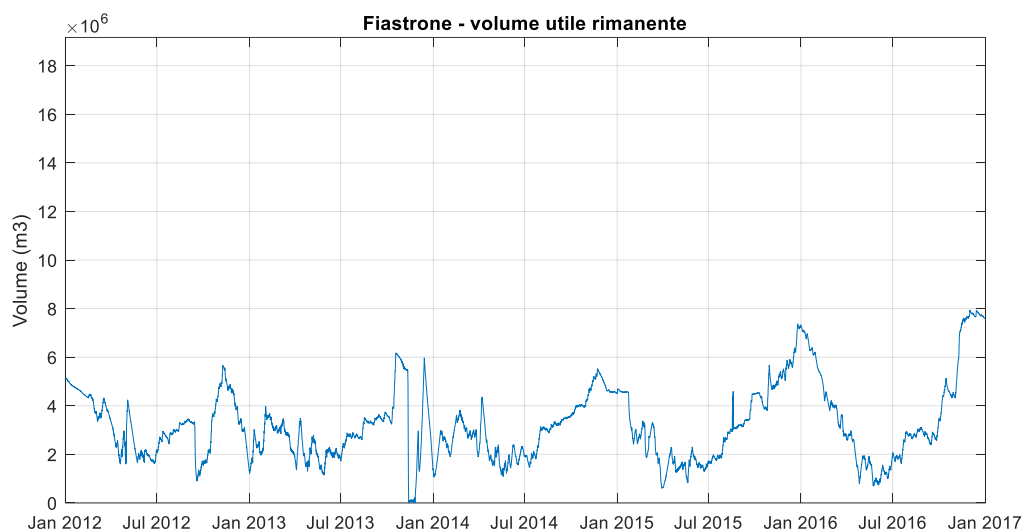


Figura 45: Serbatoio del Fiastrone - volume utile rimanente

Si può notare come il volume rimanente sia tendenzialmente minore nei mesi estivi, ovvero a seguito del riempimento che avviene generalmente in primavera.

Sulla base dei due grafici precedenti, è possibile generare le corrispondenti curve di durata:

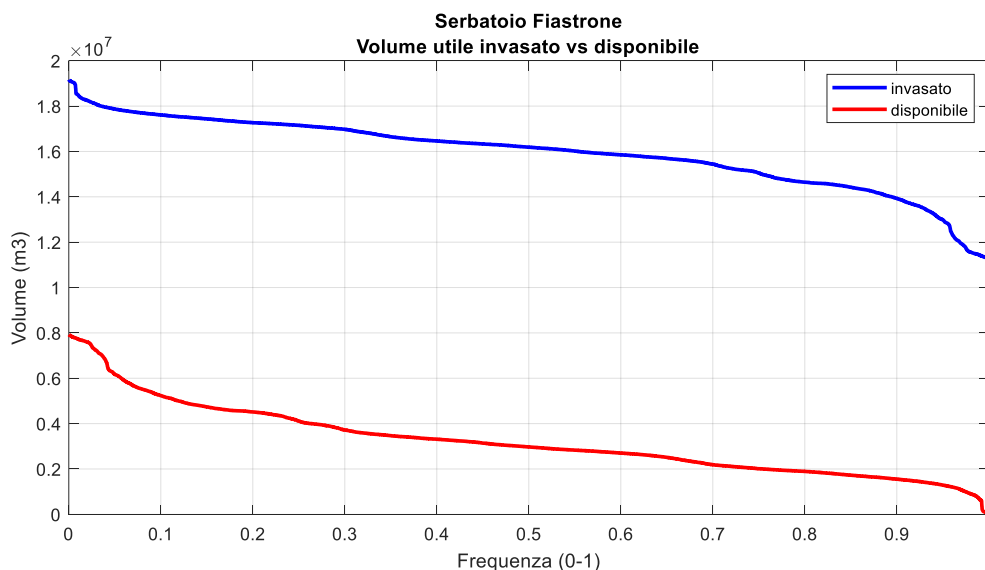


Figura 46: Serbatoio del Fiastrone – curve di durata dei volumi

Occorre notare che le due curve sono indipendenti l'una dall'altra ed a pari frequenza si possono leggere i valori dei volumi, ma non è detto che questi siano effettivamente contemporaneamente presenti lungo le rispettive linee del tempo.

Analogamente, per il **Serbatoio di Polverina** il seguente grafico rappresenta l'andamento dei volumi utili invasati:

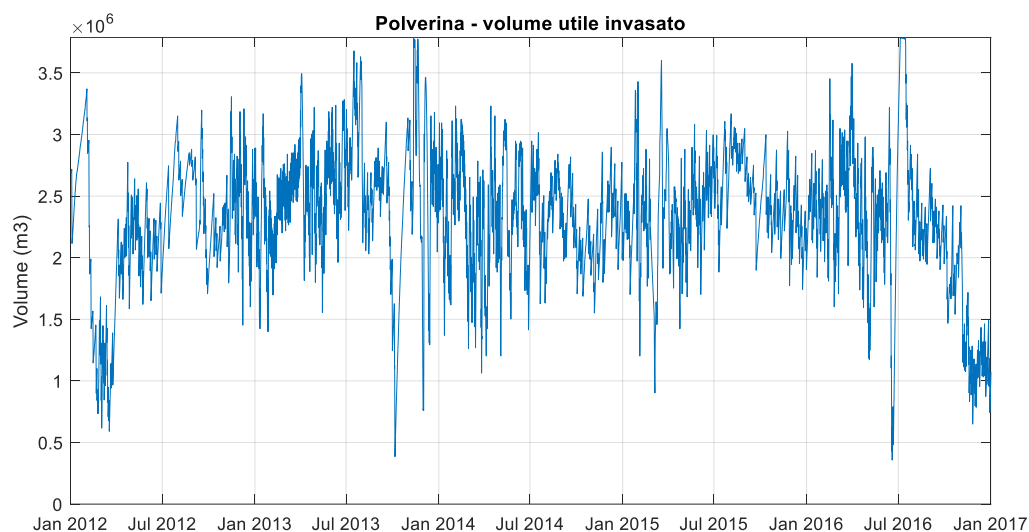


Figura 47: Serbatoio di Polverina - volumi utili invasati

Si può notare come il serbatoio sia ben sfruttato, mantenendo i volumi invasati generalmente nella metà superiore della capacità utile del serbatoio, ma con escursioni più evidenti dovute sia alla minore capacità del serbatoio sia alla maggiore idraulicità del bacino sotteso.

Il seguente grafico rappresenta invece il volume “disponibile”:

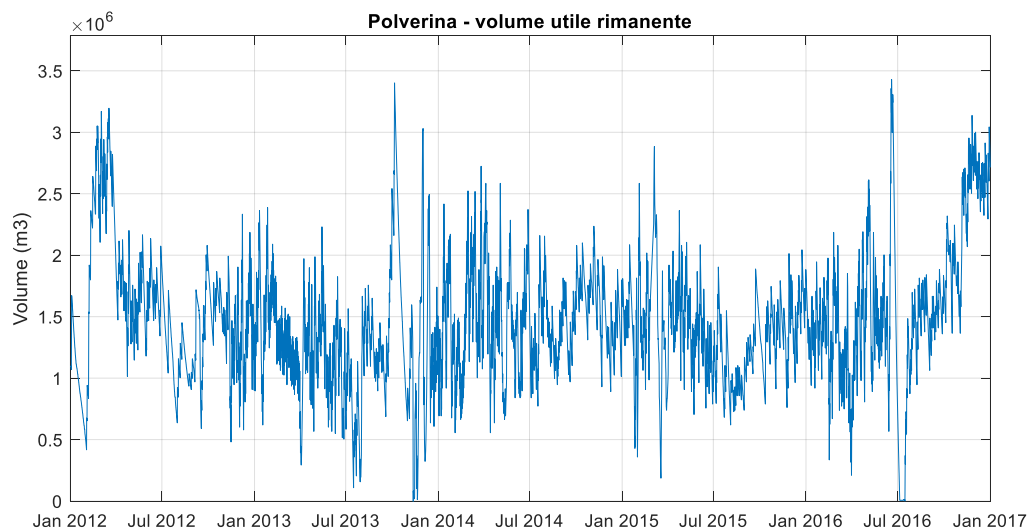


Figura 48: Serbatoio di Polverina - volume utile rimanente

Analogamente a quanto sopra, si ricavano le curve di durata dei volumi:

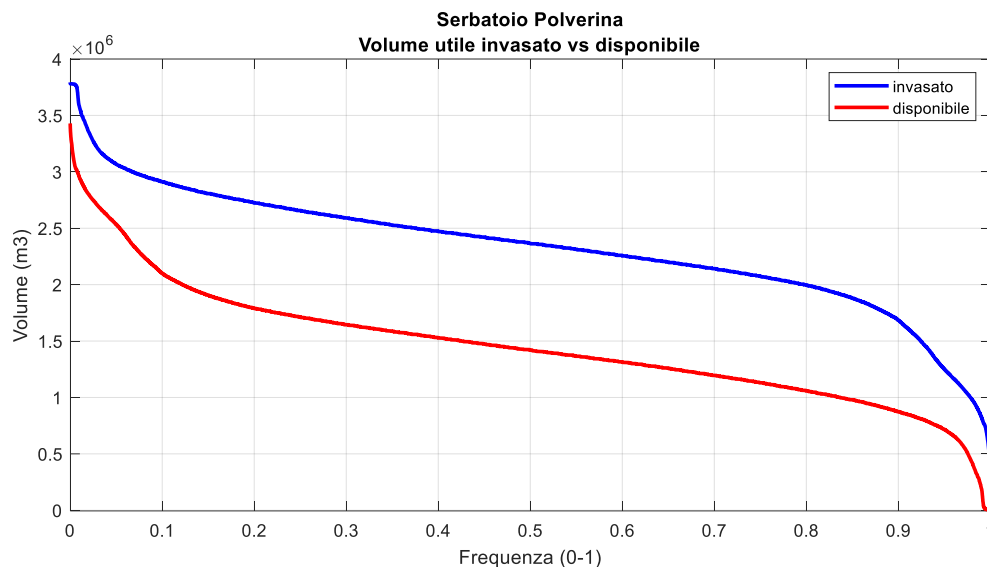


Figura 49: Serbatoio di Polverina – curve di durata dei volumi

La maggiore vicinanza tra le curve rispecchia la maggiore persistenza dei volumi nella fascia centrale dei valori.

Si richiama quanto già espresso per l’analogo grafico sul Fiastrone relativamente alla non necessaria contemporaneità dei volumi a pari frequenza.

6.2 Rappresentazione storica dei volumi trasferibili

Premesso quanto sopra, si possono valutare quantitativamente i volumi che trasferibili tra un serbatoio e l’altro. In pratica, dato per noto ad un certo istante temporale che il serbatoio da cui si attinge abbia un certo volume invasato disponibile e che il serbatoio ricevente abbia un certo volume utile residuo “disponibile”, vale l’equivalenza:

$$W_{TRASFERIBILE} = \min\{W_{INVASATO A MONTE}; W_{DISPONIBILE A VALLE}\}$$

Ora, nel caso si voglia trasferire da Fiastrone a Polverina del volume, il calcolo del volume teoricamente trasferibile genera la seguente serie storica:

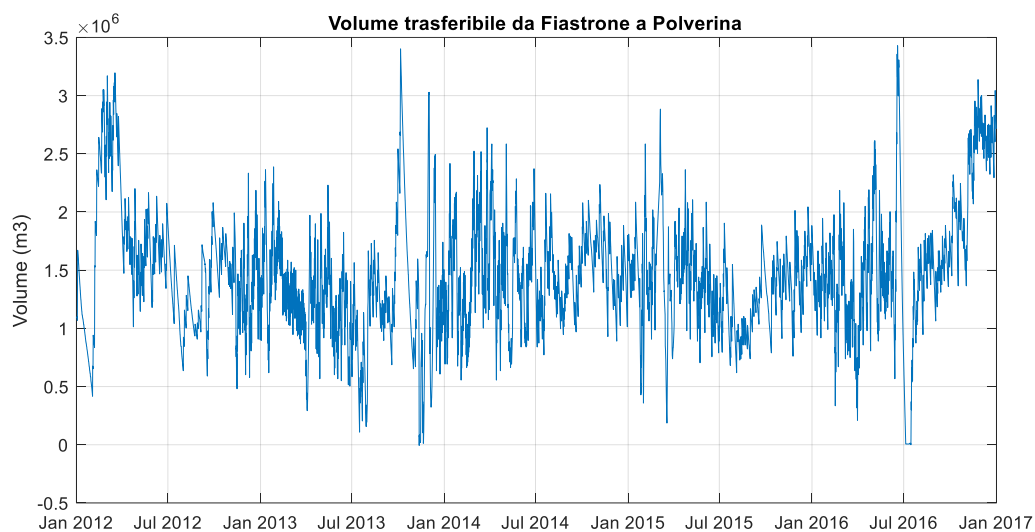


Figura 50: Impianto di Valcimarra – serie dei volumi trasferibili da Fiastrone a Polverina

Il grafico mostra che, tranne che per brevissimi periodi vi è una buona possibilità di trasferimento, che può essere meglio colta nella curva di durata rappresentata qui sotto:

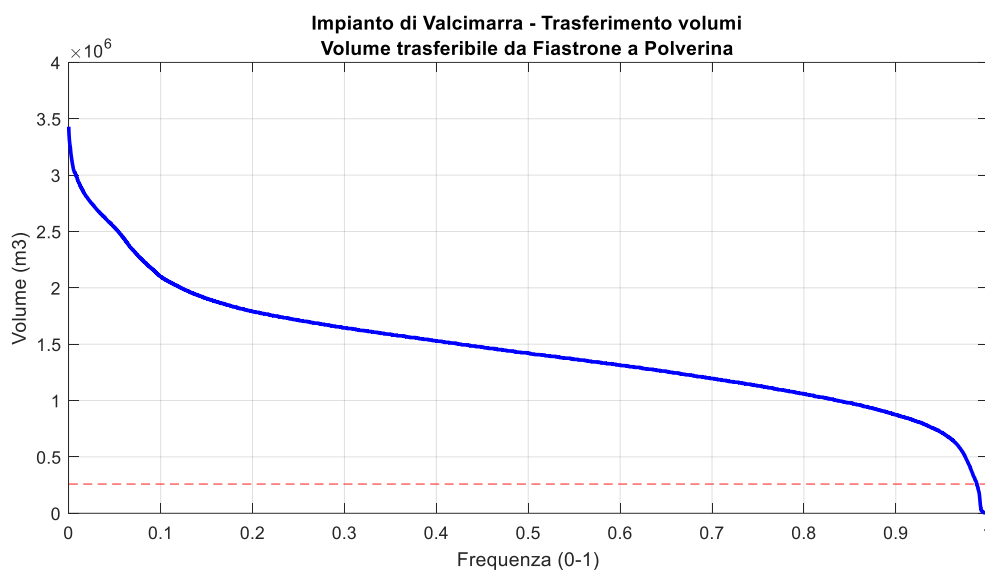


Figura 51: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da Fiastrone a Polverina

Nel grafico, la linea tratteggiata rossa rappresenta il volume di riferimento pari a 259'200 m³, corrispondente ad una portata di pompaggio pari a 9.0 m³/s per una durata di 8 ore.

In modo analogo, si ricavano i grafici contenenti rispettivamente la serie storica dei volumi teoricamente trasferibili da Polverina verso Fiastrone e la relativa curva di durata:

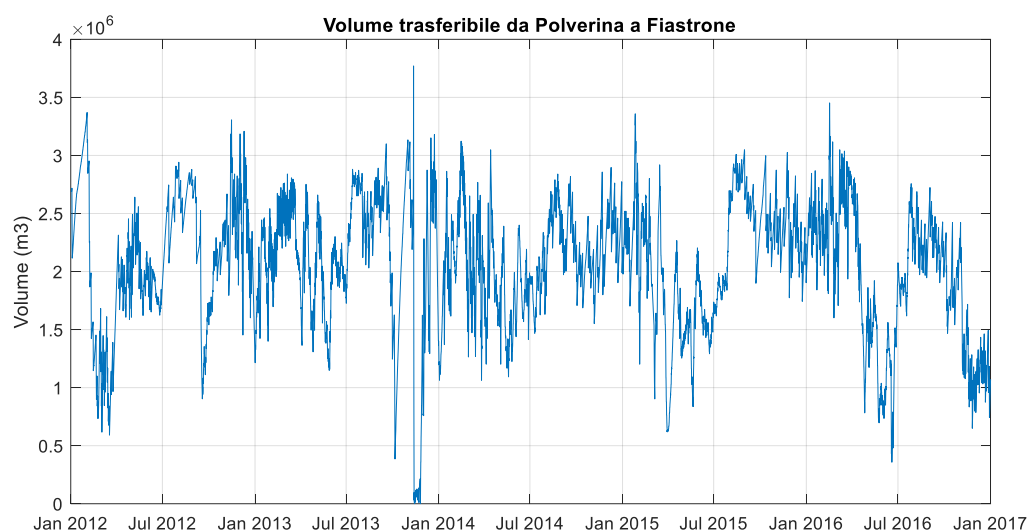


Figura 52: Impianto di Valcimarra – serie dei volumi trasferibili da Polverina a Fiastrone

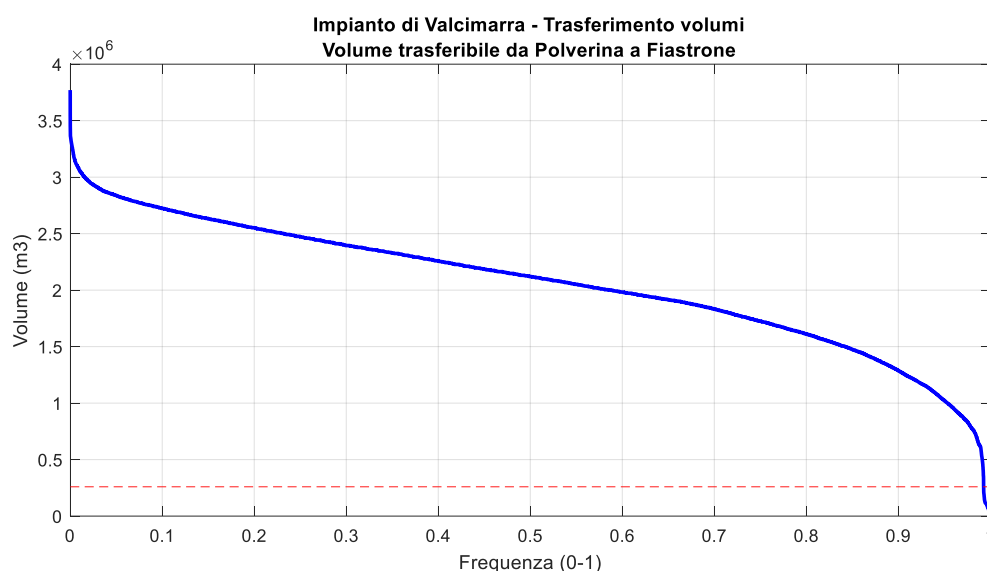


Figura 53: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da Polverina a Fiastrone

Resta dunque confermata la disponibilità a trasferire volumi considerevoli per buona parte dell'anno.

Come ultima considerazione, si esamina il trasferimento in Andata e Ritorno dei volumi da Polverina. In questo caso, la curva di durata si modifica come segue:

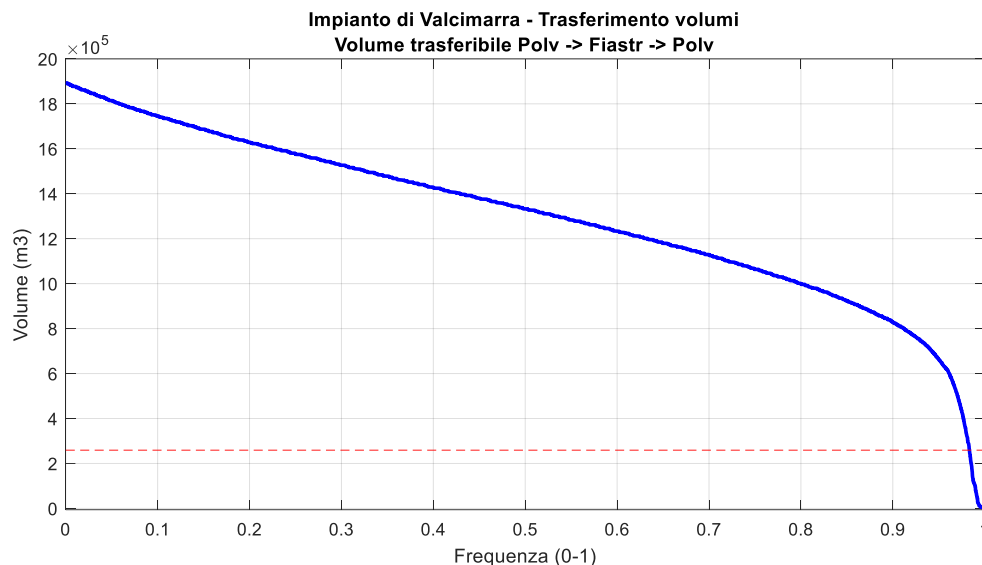


Figura 54: Impianto di Valcimarra – curva di durata dei volumi trasferibili da e verso Polverina

Quest'ultima figura ci mostra che in effetti tra i due serbatoi vi siano ampi margini per trasferimenti di volume più importanti rispetto a quelli previsti con l'inserimento del nuovo gruppo reversibile.

Occorre comunque considerare che tali volumi, utilizzando con modifiche minori il sistema idraulico esistente, non sono raggiungibili per causa dei limiti idraulici presenti.

6.3 Analisi delle oscillazioni di livello nei serbatoi

L'operatività su 8 ore del nuovo gruppo differenziale turbina/pompa, che collega idraulicamente i due serbatoi di Fiastrone e Polverina, 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;
- Il gruppo differenziale esclude il funzionamento degli altri gruppi.

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: $Q=10.8 \text{ m}^3/\text{s}$ $W=311'040 \text{ m}^3/8\text{h}$ (direzione Fiastrone → Polverina)
- pompaggio: $Q=9.0 \text{ m}^3/\text{s}$ $W=259'200 \text{ m}^3/8\text{h}$ (direzione Polverina → Fiastrone)

Nota 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.

Nei sottoparagrafi successivi si analizzano gli effetti di molteplici scenari di funzionamento, mentre nella seguente tabella si riporta il calcolo delle oscillazioni a partire da uno scenario convenzionale, nel quale i due serbatoi si trovano al livello corrispondente al proprio volume medio.

EFFETTI DEL TRASFERIMENTO DI VOLUMI SU 8 ORE CON PORTATE NOMINALI, A PARTIRE DAL LIVELLO BARICENTRICO NEI SERBATOI	Serbatoio Fiastrone	Serbatoio Polverina
Livello iniziale: Baricentrico (m slm)	627.98	396.61
Volume Baricentrico (m ³)	10'527'700	3'159'070
DW pompaggio differenziale 9.0 m ³ /s su 8 ore(m ³)	+259'200	-259'200
Livello finale dopo pompaggio (m slm)	628.39	396.11
Oscillazione alla fine del pompaggio (m)	+0.41	-0.50
DW turbinaggio differenziale 10.8 m ³ /s su 8 ore (m ³)	-311'040	+311'040
Livello finale dopo turbinaggio (m slm)	627.48	397.21
Oscillazione alla fine del turbinaggio (m)	-0.50	+0.60

Tabella 3: Oscillazioni nei serbatoi di Fiastrone e Polverina – Scenario convenzionale

La tabella mostra che per entrambi i serbatoi le oscillazioni sono contenute entro i ± 60 cm.

6.3.1 Serbatoio del Fiastrone

Nel serbatoio del Fiastrone, 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.

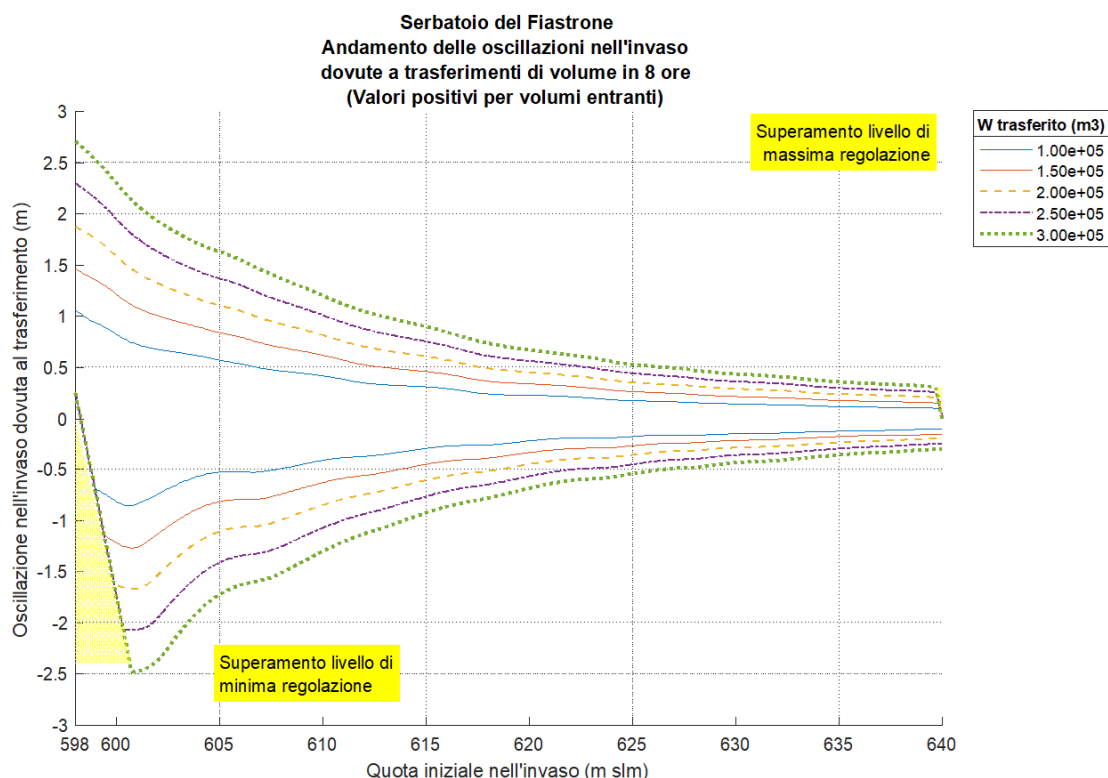


Figura 55: Serbatoio del Fiastrone - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

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. 630÷640 m slm (non considerando le limitazioni attualmente vigenti), indicando che le oscillazioni indotte dal nuovo gruppo al massimo ammonterebbero a ± 0.5 m.

6.3.2 Serbatoio di Polverina

Nel serbatoio di Polverina, 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.

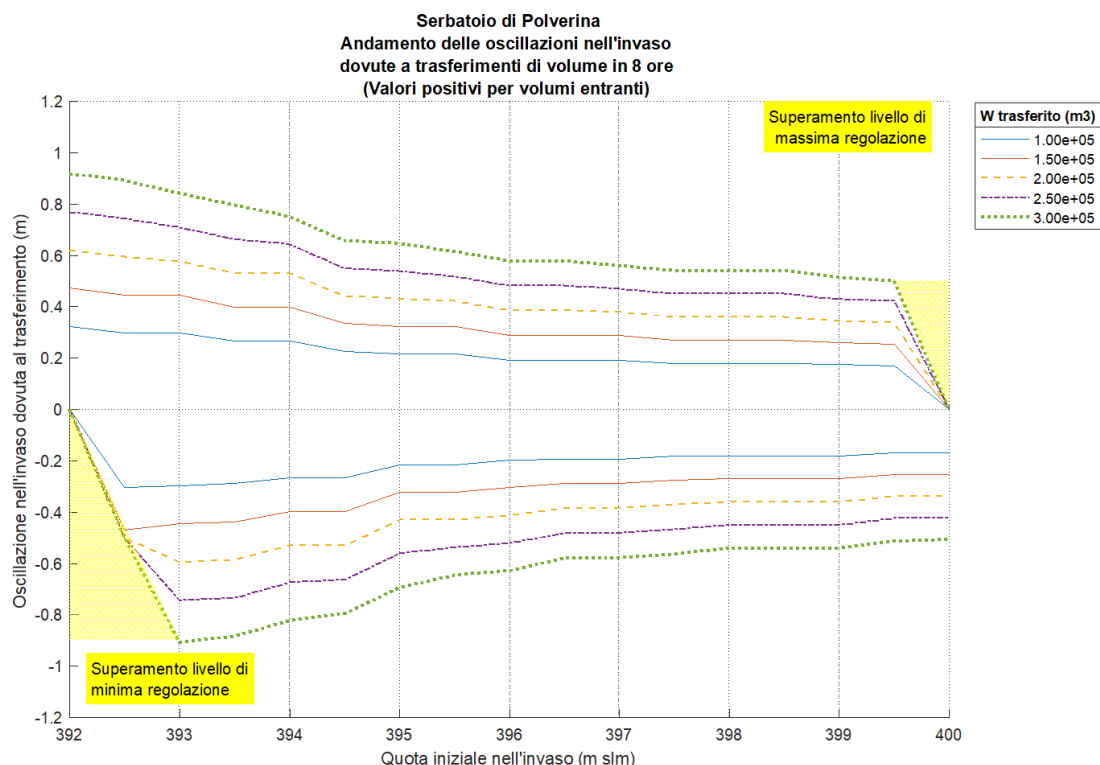


Figura 56: Serbatoio di Polverina - oscillazioni di livello da trasferimento di volumi

Come si può notare dalla figura, anche per il serbatoio di Polverina sono evidenziate le 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.

Nel recente passato, i livelli storici del serbatoio sono stati eserciti tra el. 396÷400 m slm (non considerando le limitazioni attualmente vigenti), indicando che le oscillazioni indotte dal nuovo gruppo al massimo ammonterebbero a ± 0.7 m.

7. CONCLUSIONI

L'obiettivo di questa Relazione Tecnica è stato quello di descrivere, per la fase di progettazione definitiva, gli aspetti idrologici inerenti alla conversione a pompaggio dell'impianto idroelettrico di Valcimarra Chienti, con particolare focus sulla ricostruzione degli afflussi naturali ai serbatoi a partire da dati disponibili e sulla effettiva sfruttabilità dell'impianto di pompaggio stesso.

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 decennio pari a 609 mm.

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

È stato possibile ricostruire gli afflussi naturali ai serbatoi, al netto delle perdite idrologiche, ottenendo nel periodo 2012-2016 portate medie annue rispettivamente pari a 2.28 m³/s per il Serbatoio di Fiastrone e 4.50 m³/s per il Serbatoio di Polverina, valori allineati con quelli di concessione.

Considerata l'attuale indeterminatezza delle regole necessarie per simulare la fornitura di servizi ancillari di rete con il nuovo gruppo reversibile Francis nell'impianto di Valcimarra, 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.

Con la taglia scelta per l'impianto (9.0 m³/s in pompaggio e 10.8 m³/s in generazione) è possibile operare il nuovo gruppo per più del 98% del tempo, con ampi margini disponibili.

L'ipotesi di ulteriore utilizzo di questi margini, ovvero un incremento della potenza installata previsto a progetto, con il mantenimento delle due adduzioni, non risulta conveniente, in quanto richiede sostanziali modifiche di tutto il sistema idraulico, costituito da lunghe gallerie in pressione.

Con il nuovo gruppo differenziale, le oscillazioni di livello nei serbatoi risultano essere contenute. Considerando dati nominali di esercizio e livelli baricentrici, per entrambi i serbatoi le oscillazioni sono contenute entro i ± 60 cm.

In ogni caso l'impianto a progetto utilizza nei due sensi in regolazione lo stesso volume disponibile dai serbatoi di monte, senza possibilità d'uso di afflussi naturali, peraltro riservati ai due impianti originari per concessione: si tratta quindi di un impianto del tipo "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), la competenza per il rilascio dell'Autorizzazione Unica per questo impianto è in capo al MiTE.