

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

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

Progetto Definitivo per Autorizzazione
RELAZIONE IDRAULICA

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17171.00.003.00 Relazione Idraulica.docx

00	02/08/2022	Prima Emissione	J.Vögele/R. Arrigoni	F. Maugliani	A. Balestra															
			C. Piccinin																	
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED															
GRE VALIDATION																				
			P. Viganoni																	
COLLABORATORS		VERIFIED BY	VALIDATED BY																	
PROJECT / PLANT	GRE CODE																			
PROVVIDENZA	GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT	SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION										
	GRE	EEC	R	9	9	I	T	H	1	7	1	7	1	0	0	0	0	3	0	0
CLASSIFICATION	PUBLIC			UTILIZATION SCOPE	PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE															
<p><i>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.</i></p>																				

R00	26.07.2022	VJ/ArR/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	1
1.2.1	Documentazione Dataroom Enel	1
1.2.2	Completezza dei dati	1
1.2.3	Riferimenti bibliografici	1
2.	DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI	3
2.1	Lo schema idraulico degli impianti di Provvidenza	3
2.2	Dighe del serbatoio di Campotosto e gallerie di derivazione di Provvidenza	3
2.3	Diga di Provvidenza e derivazione di Provvidenza	7
2.4	Gallerie e condotte di adduzione e restituzione	9
2.5	Centrale di Provvidenza	10
2.6	Gruppi di produzione	11
3.	CARATTERISTICHE DEI SERBATOI	12
3.1	Serbatoio di Campotosto	12
3.1.1	Dati FCEM	12
3.1.2	Dati contenuti nel Piano di Gestione dei Sedimenti e batimetrie	17
3.1.3	Dati storici di livello	19
3.2	Serbatoio di Provvidenza	19
3.2.1	Dati FCEM	20
3.2.2	Dati contenuti nel Piano di Gestione dei Sedimenti e batimetrie	23
3.2.3	Dati storici di livello	24
4.	PROGETTO DEI NUOVI GRUPPI REVERSIBILI	25
4.1	Generalità	25
4.2	Descrizione dell'intervento	25
4.2.1	Obiettivi del Progetto	25
4.2.2	Criteri di scelta dell'alternativa	25
4.2.3	Descrizione delle opere a progetto	27
4.3	Calcolo delle Perdite di Carico	28

4.3.1	Introduzione	28
4.3.2	Perdite tipologiche distribuite	28
4.3.3	Perdite tipologiche concentrate	29
4.4	Valutazione analitica delle perdite di carico	34
4.4.1	Derivazione Campotosto	35
4.4.2	Derivazione Provvidenza	36
4.4.3	Sintesi sulle perdite calcolate	37
4.5	Perdite idrauliche	37
4.5.1	Valutazione delle Perdite di carico in fase di turbinaggio	38
4.5.2	Valutazione delle Perdite di carico in fase di pompaggio	38
4.6	Perdite di carico con un solo gruppo in funzione	38
4.7	Potenza dell'impianto	41
4.8	Verifiche idrauliche	42
4.8.1	Introduzione	42
4.8.2	Sommergenza dell'Opera di Presa della nuova galleria forzata di alimentazione/scarico (Provvidenza)	43
4.8.3	Transitori nel pozzo piezometrico di monte nelle condizioni di progetto	43
4.8.4	Transitori nel pozzo piezometrico di valle nelle condizioni di progetto	47
4.8.5	Sollecitazioni dovute al Colpo d'Ariete	51
4.8.6	Stato tensionale nelle Gallerie e nelle Condotte Forzate	52
4.8.7	Considerazioni sulla fatica strutturale nelle condotte forzate	53
5.	CONCLUSIONI	57

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1:	Impianto di Provvidenza - Schema planimetrico dell'impianto esistente.....	3
Figura 2:	Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedicate (3).....	3
Figura 3:	Diga di Rio Fucino - vista da monte.....	4
Figura 4:	Diga di Rio Fucino - planimetria generale (fonte: FCEM).....	5
Figura 5:	Diga di Poggio Cancelli - vista da valle.	6
Figura 6:	Diga di Poggio Cancelli - planimetria generale.....	6
Figura 7:	Diga di Sella Pedicate - vista da monte.	7

Figura 8:	Diga di Provvidenza – vista da valle.	8
Figura 9:	Diga di Provvidenza– planimetria generale.	8
Figura 10:	Impianto di Provvidenza - galleria di adduzione, pozzo piezometrico e pozzo forzato	9
Figura 11:	Impianto di Provvidenza - Pozzo piezometrico di valle e galleria forzata di scarico.....	9
Figura 12:	Centrale di Provvidenza esistente – planimetria generale.	10
Figura 13:	Serbatoio di Campotosto - vista aerea.	12
Figura 14:	Serbatoio di Campotosto: diagramma delle aree e dei volumi	15
Figura 15:	Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di superficie	16
Figura 16:	Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di alleggerimento.....	16
Figura 17:	Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di fondo.....	17
Figura 18:	Diga del serbatoio Campotosto- diagramma delle aree (2006).....	17
Figura 19:	Diga di Campotosto - serie storica del livello nel serbatoio (2011-2021)	19
Figura 20:	Serbatoio di Provvidenza.....	19
Figura 21:	Diga di Provvidenza- diagramma delle aree.....	21
Figura 22:	Diga di Provvidenza- diagramma dei volumi	21
Figura 23:	Diga di Provvidenza - curva di portata dello scarico di superficie	22
Figura 24:	Diga di Provvidenza - curva di portata dello scarico di fondo.....	22
Figura 25:	Diga di Provvidenza - diagramma delle aree (2006)	23
Figura 26:	Diga di Provvidenza - serie storica del livello nel serbatoio (2013-2021).....	24
Figura 27:	Perdita localizzata per imbocco a spigolo vivo.	30
Figura 28:	Rappresentazione tipica di un restringimento di sezione.	30
Figura 29:	Determinazione del coefficiente di perdita per restringimento graduale.	30
Figura 30:	Rappresentazione tipica di un restringimento di sezione secondo [2].	31
Figura 31:	Schematizzazione per il calcolo delle perdite in curva secondo [1].	32
Figura 32:	Rappresentazione transizione da sezione circolare a sezione quadrata [1]. ...	32
Figura 33:	Rappresentazione transizione da sezione quadrata a sezione circolare [1]. ...	32
Figura 34:	Determinazione del coefficiente di perdita K in caso di paratoie e stoplogs secondo [3].	33
Figura 35:	Coefficiente di forma della griglia [1].....	33
Figura 36:	Coefficiente di perdita valvola a farfalla.	34

Figura 37: Derivazione Campotosto – perdite di carico con un solo gruppo in funzione	39
Figura 38: Derivazione Provvidenza – perdite di carico con un solo gruppo in funzione	40
Figura 39: Determinazione dei fattori di spessore e di contrazione α e β per diverse forme di strozzature [6].....	44
Figura 40: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di avviamento generazione con serbatoio di Campotosto alla quota di minima regolazione.	45
Figura 41: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di avviamento pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.....	45
Figura 42: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di commutazione generazione – pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.....	46
Figura 43: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di brusco arresto generazione con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.....	46
Figura 44: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di brusco arresto pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di minima regolazione.	47
Figura 45: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di avviamento pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.	48
Figura 46: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di brusco arresto pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.	48
Figura 47: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra avviamento generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.	49
Figura 48: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di brusco arresto generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.	49
Figura 49: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di commutazione pompaggio – generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.	50
Figura 50: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di commutazione generazione – pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.	50
Figura 51: Diagramma di Wohler della resistenza a fatica.....	55

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Impianto esistente di Provvidenza – Dati di targa	11
Tabella 2: Impianto esistente di Provvidenza – Dati di Collaudo (1963).....	11
Tabella 3: Serbatoio di Campotosto – curva di invaso da batimetria 2020	18

Tabella 4:	Serbatoio di Campotosto – cronologia dei valori di volume e volume utile.	18
Tabella 5:	Serbatoio di Provvidenza – curva di invaso da batimetria 2020.....	23
Tabella 6:	Volume del Serbatoio di Provvidenza.....	24
Tabella 7:	Valori di scabrezza assoluta per il calcolo delle perdite di carico distribuite.	29
Tabella 8:	Perdite di carico – Campotosto – Galleria - Turbinaggio.....	35
Tabella 9:	Perdite di carico – Campotosto – Condotta - Turbinaggio.	35
Tabella 10:	Perdite di carico – Campotosto – Galleria - Pompaggio.....	36
Tabella 11:	Perdite di carico – Campotosto – Condotta - Pompaggio.	36
Tabella 12:	Perdite di carico – Provvidenza – Condotta e Galleria - Turbinaggio.....	36
Tabella 13:	Perdite di carico – Provvidenza – Condotta e Galleria - Pompaggio.	37
Tabella 14:	Nuovi gruppi reversibili – Perdite di carico della derivazione Campotosto.....	37
Tabella 15:	Nuovi gruppi reversibili – Perdite di carico della derivazione Provvidenza.	37
Tabella 16:	Perdite di carico complessive con un solo gruppo in funzione – valori espressi come DH/Q^2	40
Tabella 17:	Perdite di carico complessive con un solo gruppo in funzione – valori espressi come mH ₂ O	40
Tabella 18:	Potenze elettriche dei nuovi gruppi reversibili.	41
Tabella 19:	Caratteristiche della galleria e delle condotte forzate.....	42
Tabella 20:	Caratteristiche dei gruppi 1 e 2 di Provvidenza.	43
Tabella 21:	Tempi di manovra concordati con Enel GP per le verifiche dei transistori nel pozzo piezometrico di monte.	43
Tabella 22:	Tempi di manovra concordati con Enel GP per le verifiche dei transistori nel pozzo piezometrico di valle.....	47
Tabella 23:	Derivazione Campotosto – piezometriche – pompaggio con $Q_{tot} = 72.0 \text{ m}^3/\text{s}$	52
Tabella 24:	Galleria di adduzione – piezometriche – turbinaggio con $Q_{tot} = 86.0 \text{ m}^3/\text{s}$	53
Tabella 25:	Condotta Forzata Campotosto – pompaggio – verifica di resistenza per i nuovi gruppi reversibili.	53

1. INTRODUZIONE

1.1 Contesto generale e scopo del lavoro

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 reversibili 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 sostituendo le macchine esistenti con n.2 nuovi gruppi reversibili da 110 MW cadauno. 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.

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

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.

1.2.2 Completezza dei dati

Alla data di redazione della presente relazione, si riscontra che la documentazione tecnica presente in Dataroom non consente l'individuazione completa degli elementi tecnici che sono necessari allo sviluppo della progettazione.

Nel testo sono indicate in rosso oppure evidenziate in giallo tutte quelle parti che necessitano di chiarimenti o integrazioni documentali.

1.2.3 Riferimenti bibliografici

[1] State Development and Reform Commission – Specification for Design of Hydraulic Tunnels, 2004.

- [2] Sinniger, Hager – Constructions Hydrauliques, EPFL Traité de Génie civil.
- [3] D.S. Miller – Internal Flow systems, BHR Group Limited 1996.
- [4] ASCE – Civil Engineering Guidelines for Planning and Designing Hydroelectric Developments, 1989.
- [5] Boes, R. M. (2017). Wasserbau I – Vorlesungsmanuskript, Professur für Wasserbau, Fassung FS 2017
- [6] Adam, N., (2017). Characterization of hydraulic behavior of orifices in conduits. Thèse N° 8090, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

2. DESCRIZIONE DELLE OPERE ESISTENTI

2.1 Lo schema idraulico degli impianti di Provvidenza

La centrale idroelettrica di Provvidenza collega idraulicamente, con derivazioni e restituzioni distinte, i serbatoi di:

- Campotosto, realizzato sbarrando il Rio Fucino in comune di Campotosto (AQ) con tre dighe.
- Provvidenza, realizzato sbarrando il Fiume Vomano in comune di L'Aquila (AQ), località Ortolano, con una diga ad arco.



Figura 1: Impianto di Provvidenza - Schema planimetrico dell'impianto esistente.

2.2 Dighe del serbatoio di Campotosto e gallerie di derivazione di Provvidenza

Per creare il serbatoio di Campotosto sono state costruite tre dighe. Le posizioni sono indicate nella **Figura 2**.

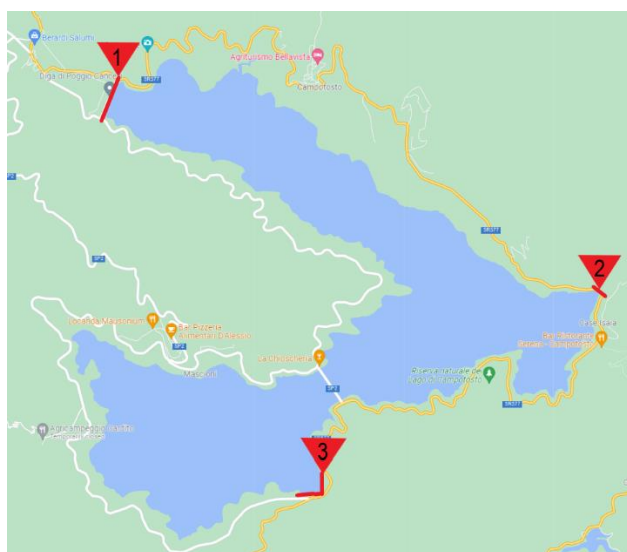


Figura 2: Posizione delle dighe del serbatoio di Campotosto: diga di Poggio Cancelli (1), diga di Rio Fucino (2), diga di Sella Pedicate (3).

Le opere di scarico dell'invaso sono ubicate alla diga di Rio Fucino.

Diga di Rio Fucino

La diga di Rio Fucino, costruita nel periodo 1940-1951 e sopralzata tra il 1964 e il 1971, è una diga a gravità massiccia in calcestruzzo. Il piano di Coronamento si trova a quota 1318.25 m slm e si sviluppa per 154.0 m. Il corpo diga ha un volume pari a 77.200 m³.



Figura 3: Diga di Rio Fucino - vista da monte.

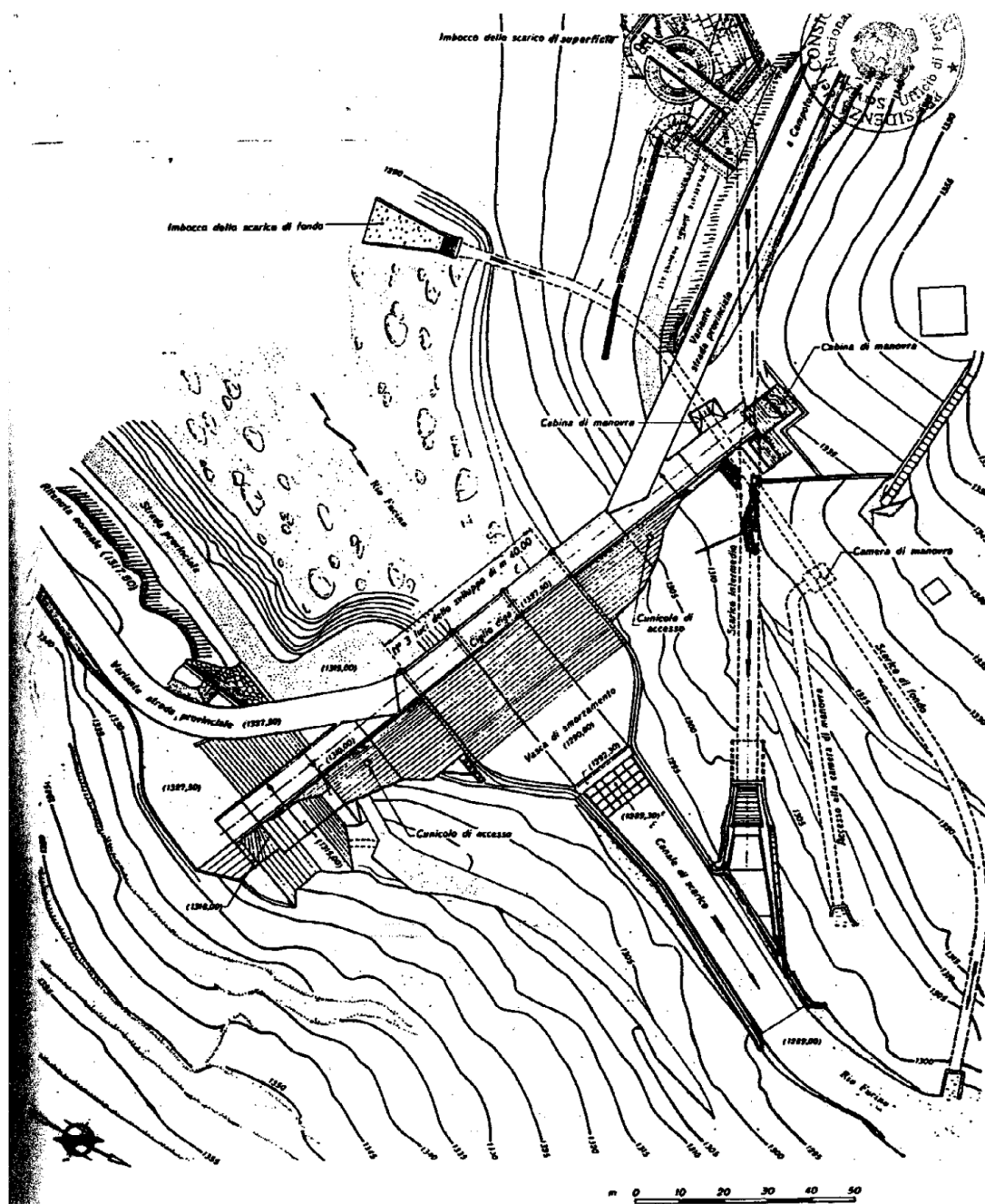


Figura 4: Diga di Rio Fucino - planimetria generale (fonte: FCEM).

Lo sbarramento dispone di tre opere di scarico: uno scarico di superficie (uno sfioratore a calice con soglia fissa ad el. 1317.50 m s.l.m. e di una portata massima di 55.48 m³/s), uno scarico di alleggerimento (2,00x2,50 m con sogli ad el. 1322.10 m s.l.m. e una portata massima di 45.95 m³/s) ed uno scarico di fondo (galleria circolare DI 2.60 m con soglia imbocco ad el. 1289.45 m s.l.m. e intercettata da una paratoia piana di 2.00x2.00 m con quota di soglia 1'288.61 m s.l.m., installata alla base di un pozzo verticale e comandabile dalla soprastante cabina di manovra e, più a valle, da una saracinesca di 0.96x1.60 m con soglia a quota 1'287.96 m s.l.m., azionata da servomotore oleodinamico installato in camera di manovra sotterranea).

Diga di Poggio Cancelli

La diga di Poggio Cancelli, non oggetto di interventi, costruita nel periodo 1940-1951 e sopralzata tra il 1964 e il 1971, è una diga in terra con nucleo centrale di tenuta e sottostante diaframma in calcestruzzo.



Figura 5: Diga di Poggio Cancelli - vista da valle.

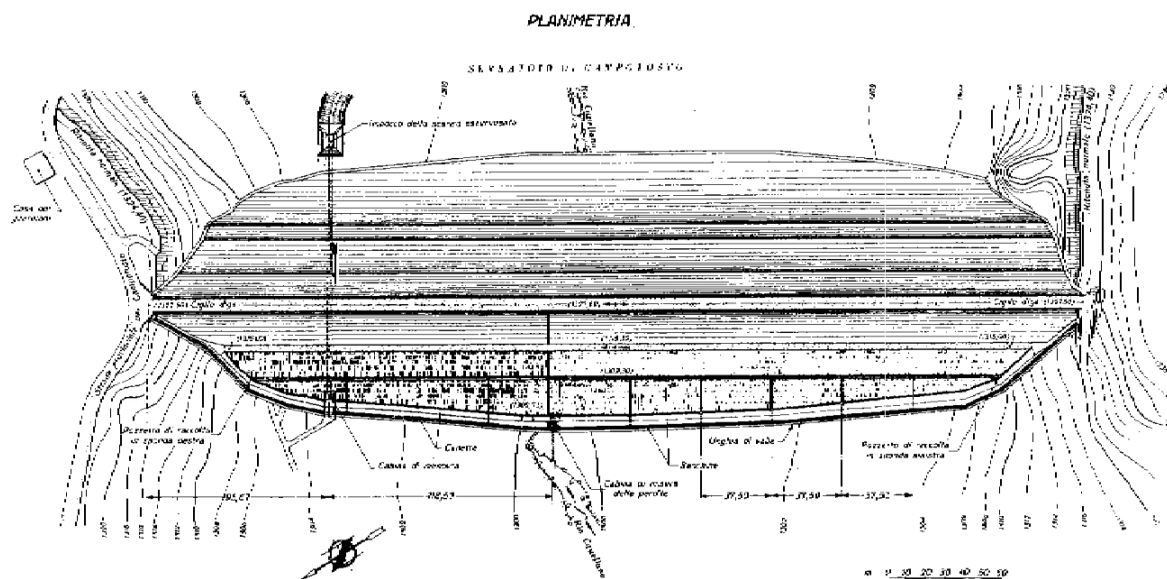


Figura 6: Diga di Poggio Cancelli - planimetria generale.

Diga di Sella Pedicate

La diga di Sella Pedicate, non oggetto di interventi, costruita nel periodo 1940-1951 e sopralzata tra il 1964 e il 1971, è una diga muraria.



Figura 7: Diga di Sella Pedicate - vista da monte.

2.3 Diga di Provvidenza e derivazione 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 8: Diga di Provvidenza – vista da valle.

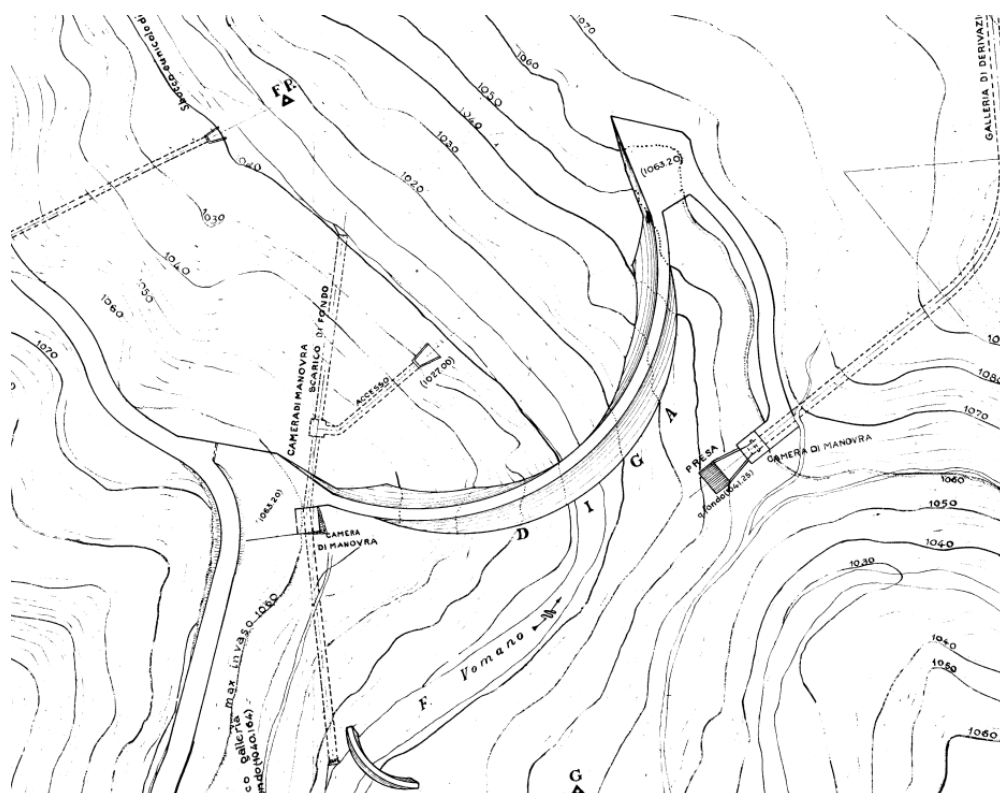


Figura 9: Diga di Provvidenza– planimetria generale.

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).

2.4 Gallerie e condotte di adduzione e restituzione

Galleria di adduzione, Pozzo piezometrico di monte e pozzo forzato

La galleria di derivazione dalla Diga Rio Fucino del serbatoio di Campotosto è rettilinea e si sviluppa per un totale di 1'102.65 m con un diametro interno pari a 5.6 m per i primi 130 m, e con un diametro interno pari a 4.5 m per il resto della tratta. Il gradiente è di 0.35% per i primi 130 m, e di 0.75% per la lunghezza rimanente. L'opera di presa ha uno sviluppo complessivo di 225.44 m.

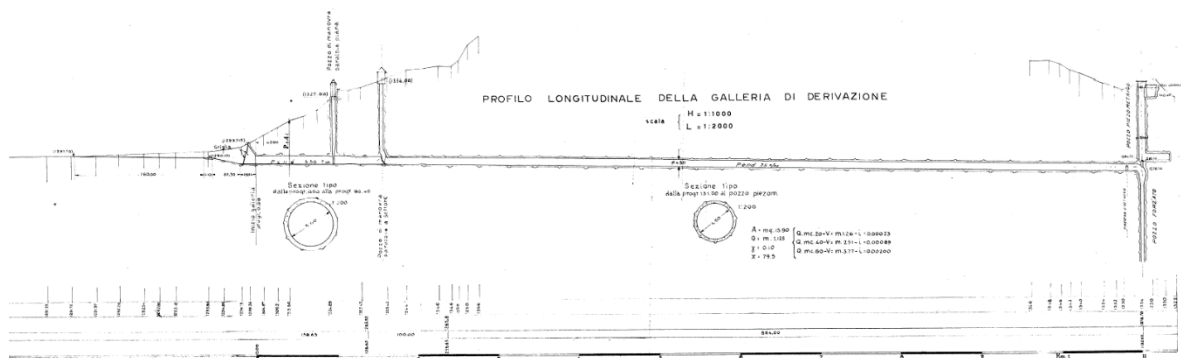


Figura 10: Impianto di Provvidenza - galleria di adduzione, pozzo piezometrico e pozzo forzato

Il pozzo piezometrico di monte esistente si stacca dalla galleria forzata e, dopo una strozzatura, si sviluppa in una sezione circolare con DI = 8 m, che dalla quota 1'284.70 sale fino alla quota 1'332.50 m s.l.m.. Sono presenti una galleria di accumulazione dalla lunghezza di 30 m alla quota di fondo di 1'285.70 m s.l.m. e una vasca di espansione alla quota di fondo di 1'325.00 m s.l.m. e protetta in entrata da una griglia (vedasi §4.8.1 per una descrizione).

Il pozzo forzato scende all'incirca a partire dallo stacco del pozzo piezometrico fino alla quota di 1'039.00 m s.l.m., dove vi è la diramazione per la centrale esistente. La sezione è circolare, e il diametro si riduce gradualmente dai 4.5 m della galleria forzata fino a 2.5 m in corrispondenza della biforcazione.

Galleria di scarico e Pozzo piezometrico di valle

La galleria forzata di scarico esistente è rettilinea e si sviluppa per una lunghezza totale pari a 687.10 m con un diametro interno di 4.5 m e un gradiente dello 0.05%.

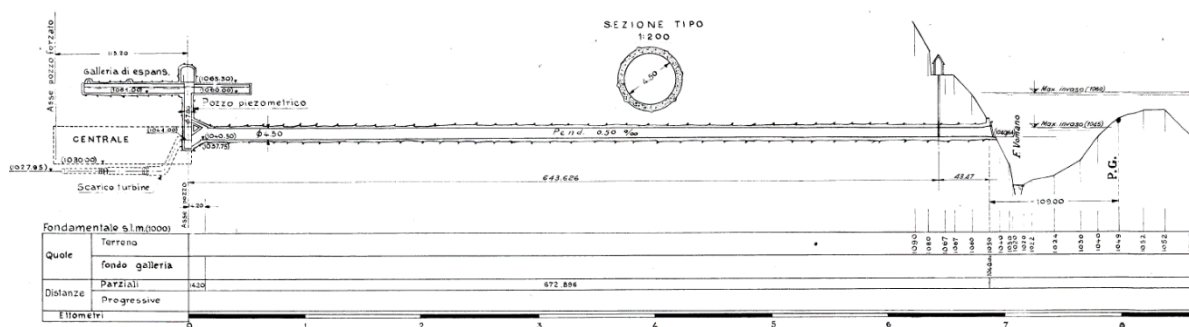


Figura 11: Impianto di Provvidenza - Pozzo piezometrico di valle e galleria forzata di scarico

Il pozzo piezometrico di valle parte alla quota di fondo di 1'037.75 m s.l.m. e si sviluppa fino alla quota di 1'065.30 m s.l.m. (max. sopralzo alla quota di 1'064.34 m s.l.m.). Sopra questa quota vi è una galleria di accesso. Il pozzo possiede due gallerie di espansione. La prima parte dalla quota di fondo di 1'060.00 m s.l.m. per una lunghezza di 50 m, mentre la seconda parte dalla quota 1'061.00 m s.l.m. per una lunghezza di 83 m e una pendenza dello 0.6%.

2.5 Centrale di Provvidenza

La centrale di Provvidenza, sita in comune di Campotosto (AQ), è stata costruita nel 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

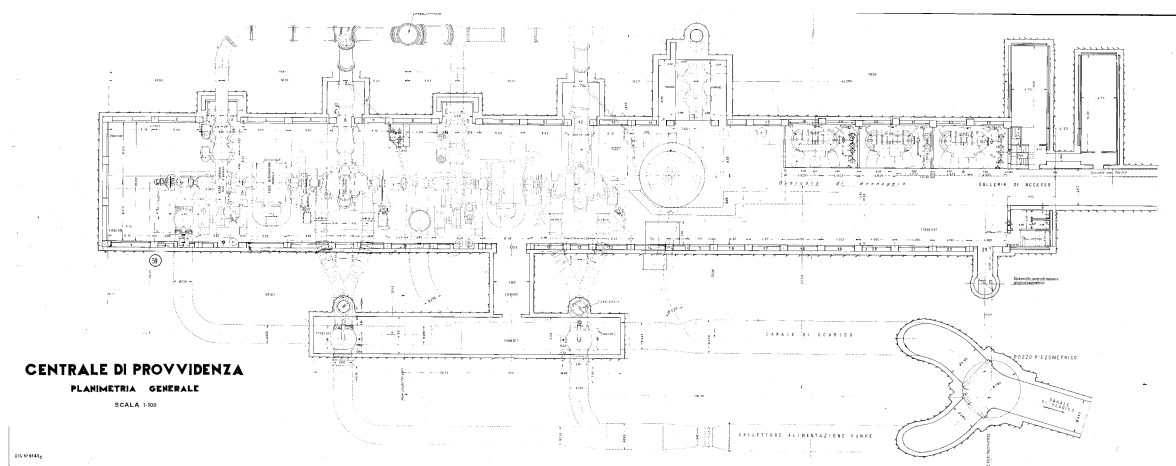


Figura 12: Centrale di Provvidenza esistente – planimetria generale.

La centrale di Provvidenza presenta un ingombro complessivo (totale delle opere visibili in **Figura 12**) BxLxH di circa 54x120x29 m.

2.6 Gruppi di produzione

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

2.6.1 Dati di Targa

	generatore		turbina		Salto motore in generazione (m)	Pompa	Salto motore in pompaggio (m)
	MVA	$\cos \varphi$	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

2.6.2 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)

3. CARATTERISTICHE DEI SERBATOI

3.1 Serbatoio di Campotosto



Figura 13: Serbatoio di Campotosto - vista aerea.

3.1.1 Dati FCEM

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
Portata di massima piena di progetto	89.00 m ³ /s
Tempo di ritorno (ultimo anno di riferimento: 1986)	5000 anni

3.1.1.1 Diga di Rio Fucino

Dati principali della diga desunti dal Progetto approvato:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	49.00 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94)	36.70 m
Altezza di massima ritenuta	39.00 m
Quota coronamento	1327.50 m slm
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	9.254 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.'82)	-
Sviluppo del coronamento	154.00 m
Volume della diga	77.200 m ³
Grado di sismicità assunto nel Progetto	S=9
Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82	muraria, a gravità ordinaria (Aa1)

Dati principali delle opere di scarico

Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 1318,25 m slm.

Dallo scarico di superficie	55.48 m ³ /s
Dallo scarico di fondo	27.70 m ³ /s

Portata esitata con livello nel serbatoio alla quota 1317,50 m slm.

Dallo scarico di alleggerimento	45.95 m ³ /s
Dallo scarico di fondo	27.35 m ³ /s

3.1.1.2 Diga di Poggio Cancelli

Dati principali della diga desunti dal Progetto approvato:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	28.20 m
--	---------

Altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94)	27.30 m
Altezza di massima ritenuta	18.20 m
Quota coronamento	1327.50 m slm
Franco (ai sensi del D.M. n° 44 del 24.03.'82)	9.254 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.'82)	-
Sviluppo del coronamento	500.00 m
Volume della diga	720.000 m ³
Grado di sismicità assunto nel Progetto	S=9
Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82	diga in materiali sciolti, di terra, zonata, con nucleo di terra per la tenuta (Bb)

3.1.1.3 Diga di Sella Pedicate

Dati principali della diga desunti dal Progetto approvato:

Altezza della diga (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	
• In terra	17.00 m
• In calcestruzzo	26.50 m
Altezza della diga (ai sensi della L. 584/'94)	
• In terra	14.00 m
• In calcestruzzo	20.75 m
Altezza di massima ritenuta	
• In terra	7.00 m
• In calcestruzzo	17.75 m
Quota coronamento	1327.50 m slm
Franco (ai sensi del D.M. 24.03.'82)	
• In terra	9.254 m
• In calcestruzzo	8.754 m
Franco netto (ai sensi del D.M. n°44 del 24.03.'82)	-
Sviluppo del coronamento	
• In terra	178.25 m
• In calcestruzzo	638.28 m
Volume complessivo del corpo diga	

- In terra 22.000 m³
- In calcestruzzo 120.000 m³

Grado di sismicità assunto nel Progetto S=9

Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82

diga in terra: materiali sciolti, di terra, zonata, con nucleo di terra per la tenuta (Bb).

diga in cls: muraria a gravità ordinaria (Aa1)

3.1.1.4 Diagrammi aree-volumi del serbatoio Campotosto

Si riportano i diagrammi rilevanti contenuti all'interno del FCEM Rio Fucino:

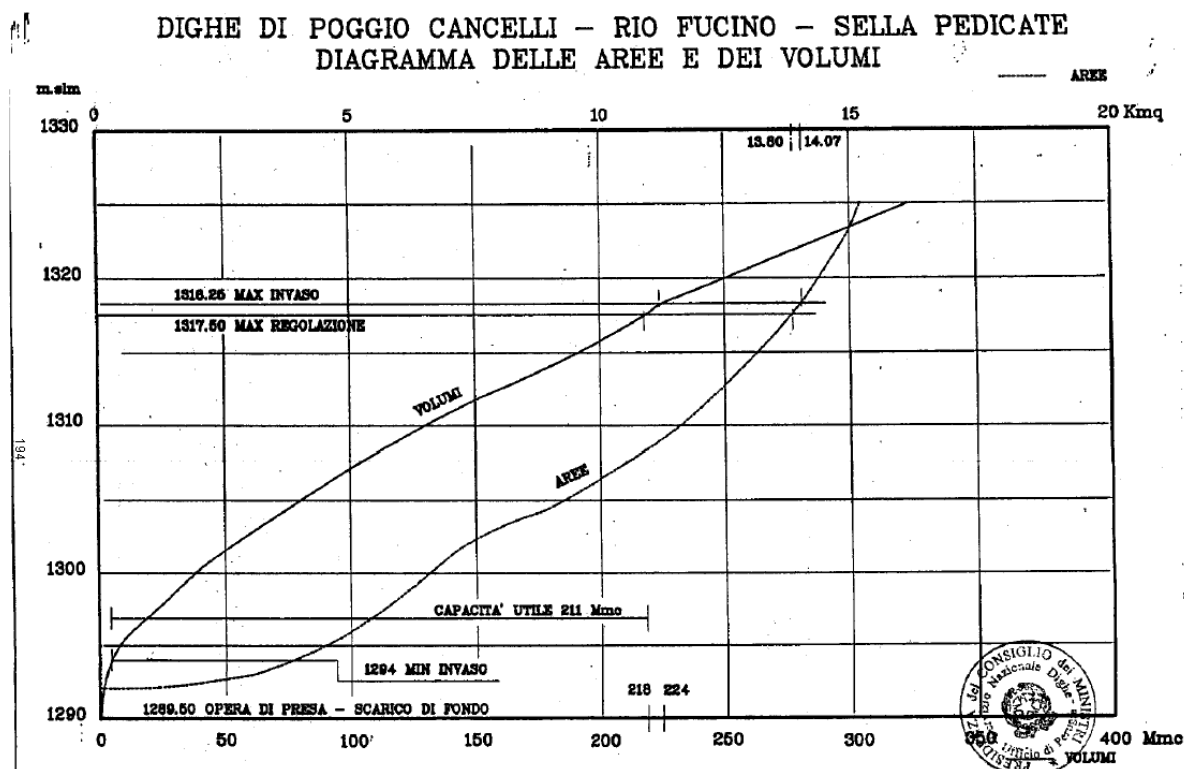


Figura 14: Serbatoio di Campotosto: diagramma delle aree e dei volumi

3.1.1.5 Diagrammi delle opere di scarico di Rio Fucino

Si riportano i diagrammi rilevanti contenuti all'interno del FCEM:

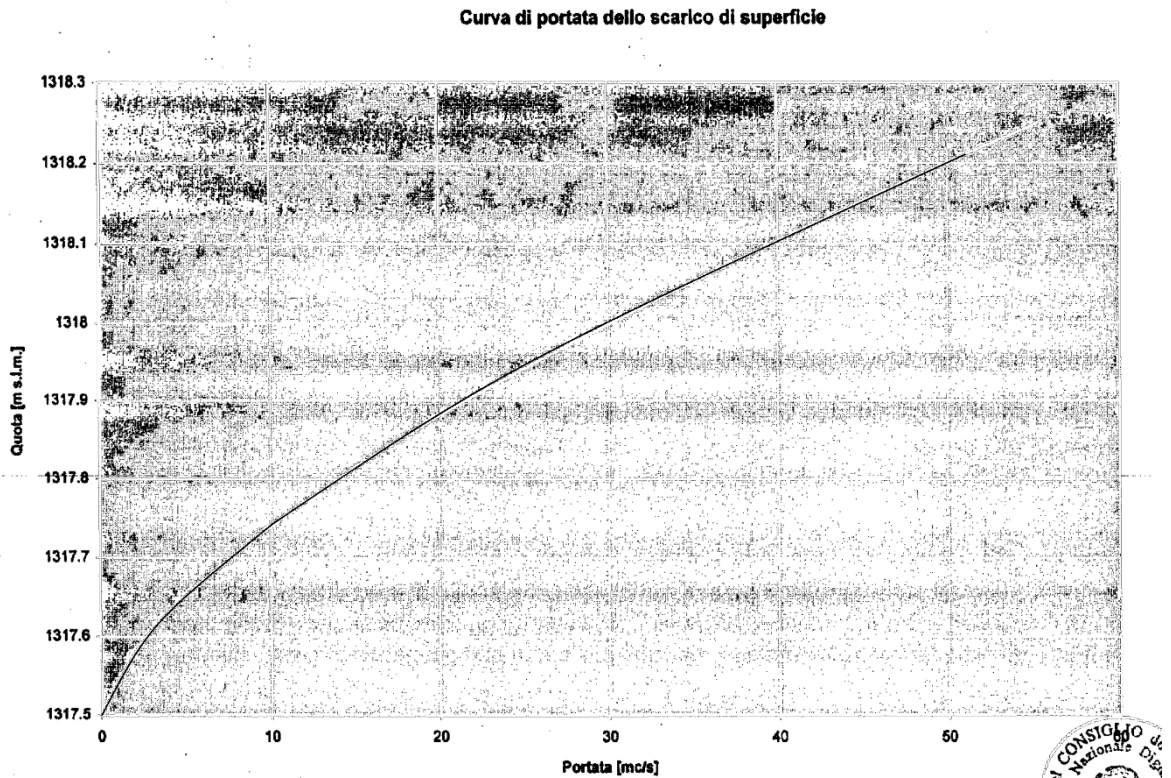


Figura 15: Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di superficie

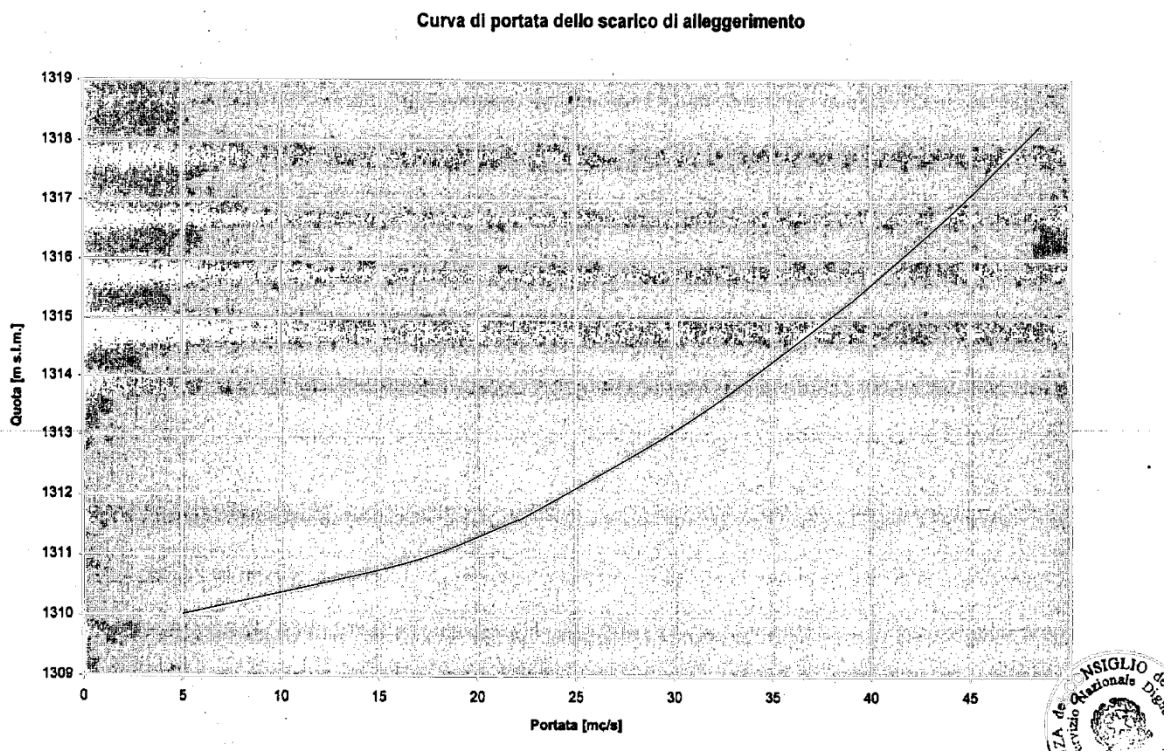


Figura 16: Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di alleggerimento

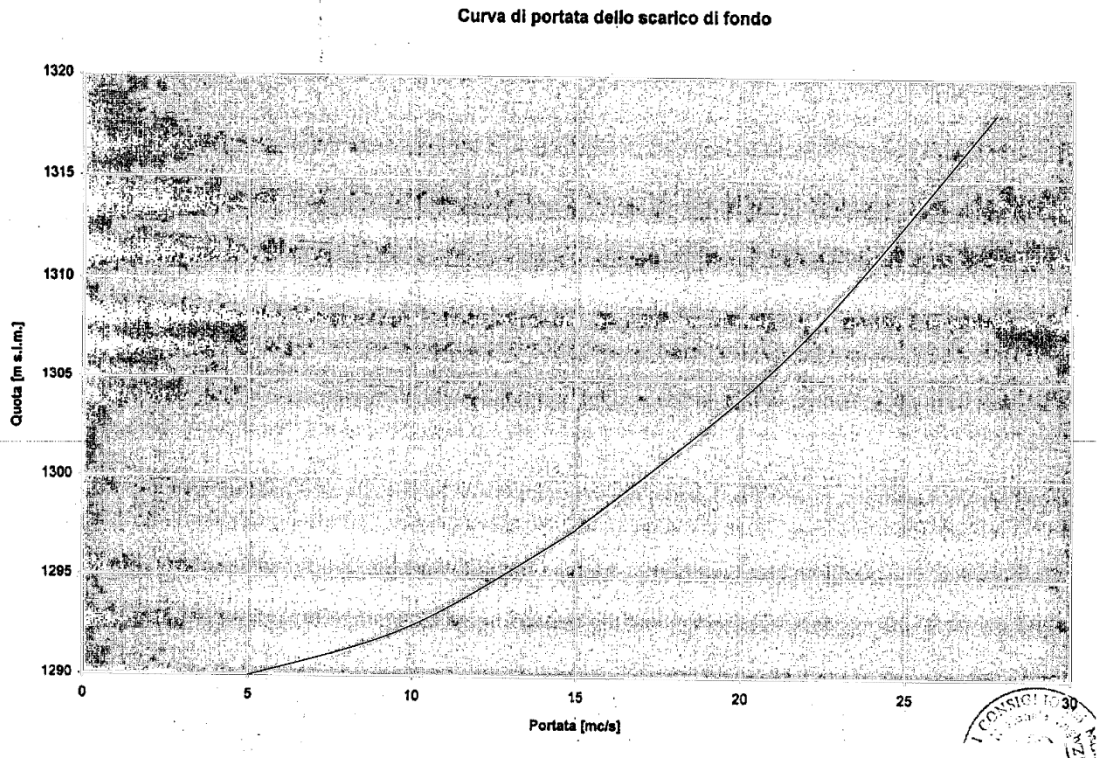


Figura 17: Diga di Rio Fucino - curva di portata dello scarico di fondo

3.1.2 *Dati contenuti nel Piano di Gestione dei Sedimenti e batimetrie*

Nel 2006 è stata effettuato un rilievo topo-batimetrico del serbatoio che ha aggiornato le curve batimetriche rispetto a quelle originali, mostrando un lieve decremento di capacità utile.

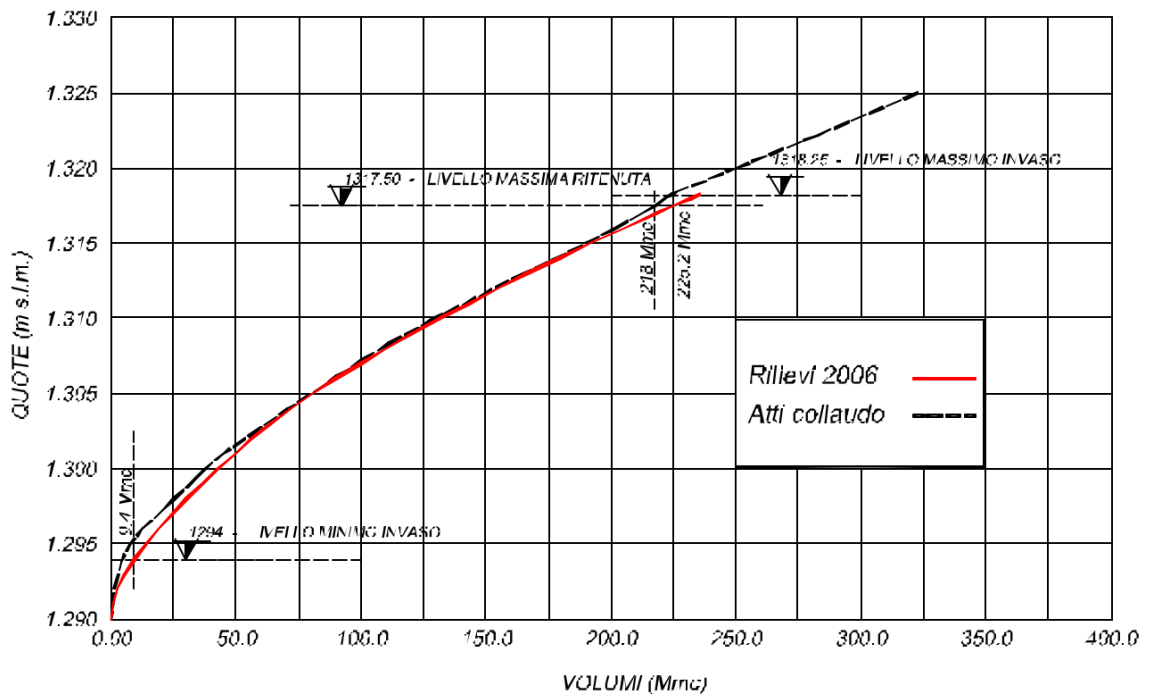


Figura 18: Diga del serbatoio Campotosto- diagramma delle aree (2006)

Nel 2020 è stato effettuato nuovo rilievo batimetrico, che mostra la seguente curva d'invaso, espressa in forma tabellare:

Quota di invaso	Superficie invaso (2D) [10 ⁶ m ²]	Superficie invaso (3D) [10 ⁶ m ²]	Volume di invaso [10 ⁶ m ³]
1290	0.07	0.07	0.01
1291	1.14	1.14	0.61
1292	2.51	2.51	2.39
1293	3.54	3.54	5.48
1294	4.27	4.27	9.41
1295	4.81	4.82	13.96
1296	5.25	5.25	19.01
1297	5.60	5.60	24.44
1298	5.92	5.93	30.20
1299	6.23	6.24	36.29
1300	6.53	6.54	42.67
1301	6.87	6.88	49.38
1302	7.23	7.24	56.43
1303	7.68	7.69	63.89
1304	8.23	8.24	71.82
1305	8.95	8.97	80.42
1306	9.59	9.61	89.71
1307	10.07	10.09	99.55
1308	10.47	10.49	109.82
1309	10.82	10.84	120.48
1310	11.17	11.20	131.48
1311	11.52	11.55	142.83
1312	11.86	11.90	154.53
1313	12.25	12.29	166.59
1314	12.63	12.67	179.03
1315	13.00	13.04	191.87
1316	13.28	13.32	205.01
1317	13.51	13.56	218.41
1317.50	13.62	13.67	225.20
1318.00	13.72	13.77	232.04
1318.25	13.77	13.82	235.47

Tabella 3: Serbatoio di Campotosto – curva di invaso da batimetria 2020

Come si può notare, vi sono differenze tra i volumi originali e quelli rilevati nel 2006 e 2020. In particolare, secondo il rilievo 2020 i volumi complessivi disponibili risulterebbero maggiori rispetto a quanto rilevato in precedenza, probabilmente per la maggiore precisione degli strumenti utilizzati per i rilievi. Nelle batimetrie recenti il volume utile rimane sostanzialmente il medesimo, maggiore di circa 4.8 Mm³ rispetto a quanto valutato nel FCEM.

	FCEM Originale			Batimetria 2006		Batimetria 2020	
	livelli m slm	Volume Mm ³	V. utile Mm ³	Volume Mm ³	V. utile Mm ³	Volume Mm ³	V. utile Mm ³
MAX.INVASO	1'318.25	224.00	-	231.00		235.47	-
MAX.REG.	1'317.50	218.00	211.00	225.00	215.80	225.20	215.79
MIN.REG.	1'294.00	7.00		9.20		9.41	
FONDO	1'290.00	-				-	-

Tabella 4: Serbatoio di Campotosto – cronologia dei valori di volume e volume utile.

Allo stato attuale il serbatoio di Campotosto non risulta affetto da interrimento in misura significativa. Il rilievo del 2006 ha mostrato una diminuzione della capacità utile pari a circa 2.2 Mm³ corrispondenti a circa l'1%.

3.1.3 Dati storici di livello

Enel GP ha fornito i dati storici disponibili del livello nel serbatoio, per il periodo 2011-2021.

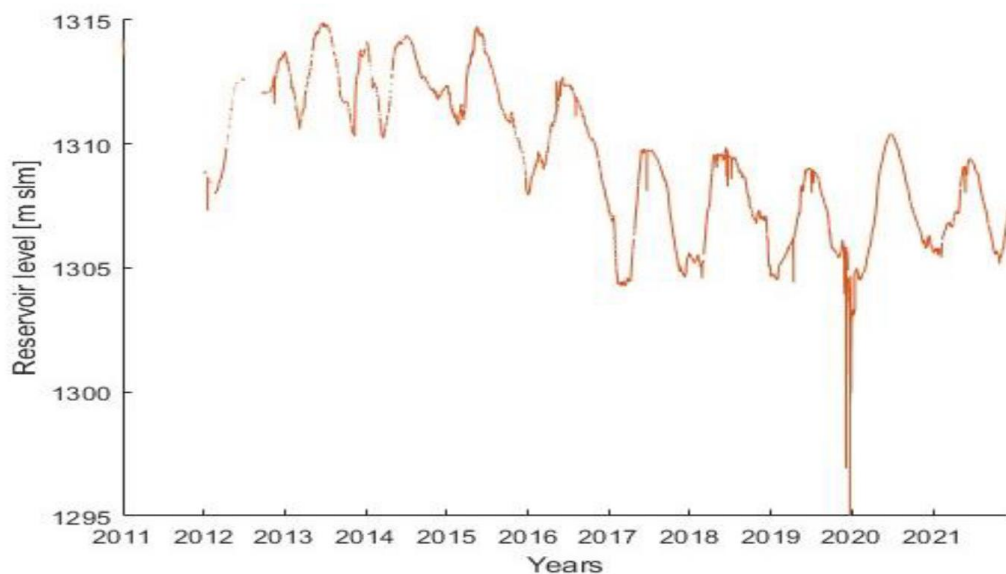


Figura 19: Diga di Campotosto - serie storica del livello nel serbatoio (2011-2021)

3.2 Serbatoio di Provvidenza



Figura 20: Serbatoio di Provvidenza

3.2.1 Dati FCEM

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 dismiciità assunto nel Progetto	S=9
Classifica ai sensi del D.M: 24.03.'82	diga muraria ad arco (Abl)

Dati principale del serbatoio desunti dal Progetto approvato

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 m³/s

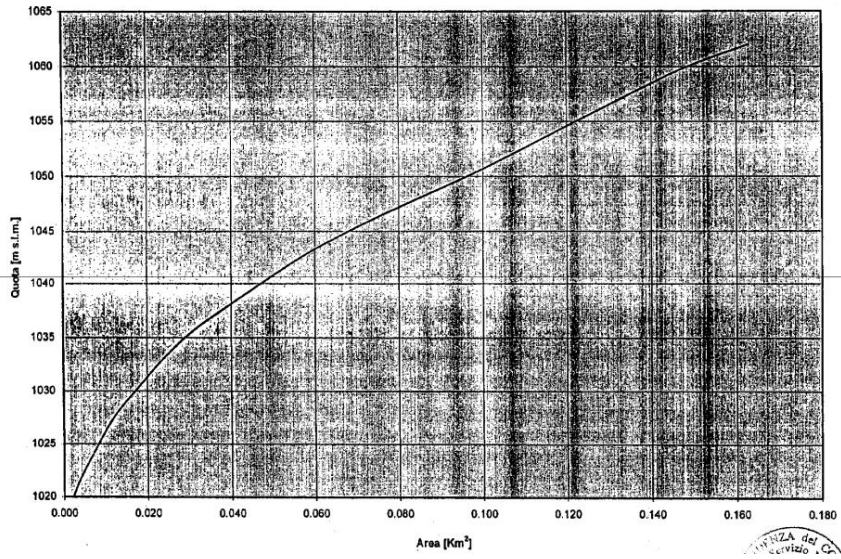


Figura 21: Diga di Provvidenza- diagramma delle aree

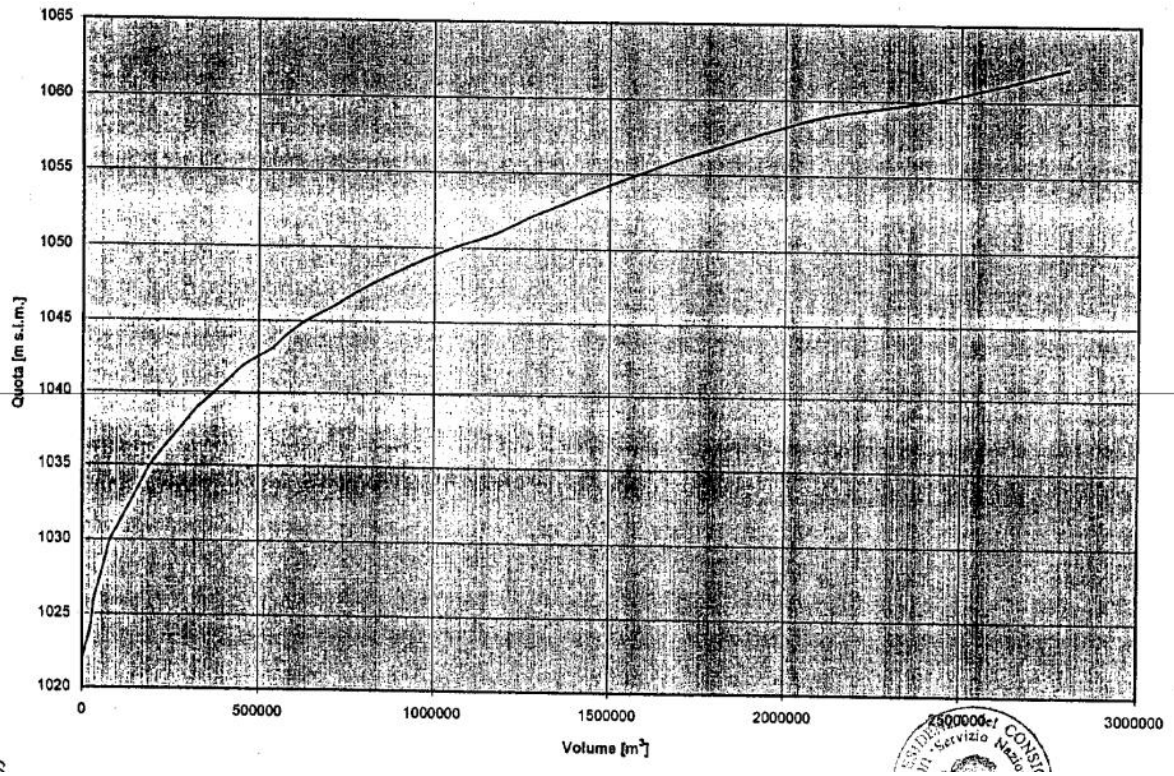


Figura 22: Diga di Provvidenza- diagramma dei volumi

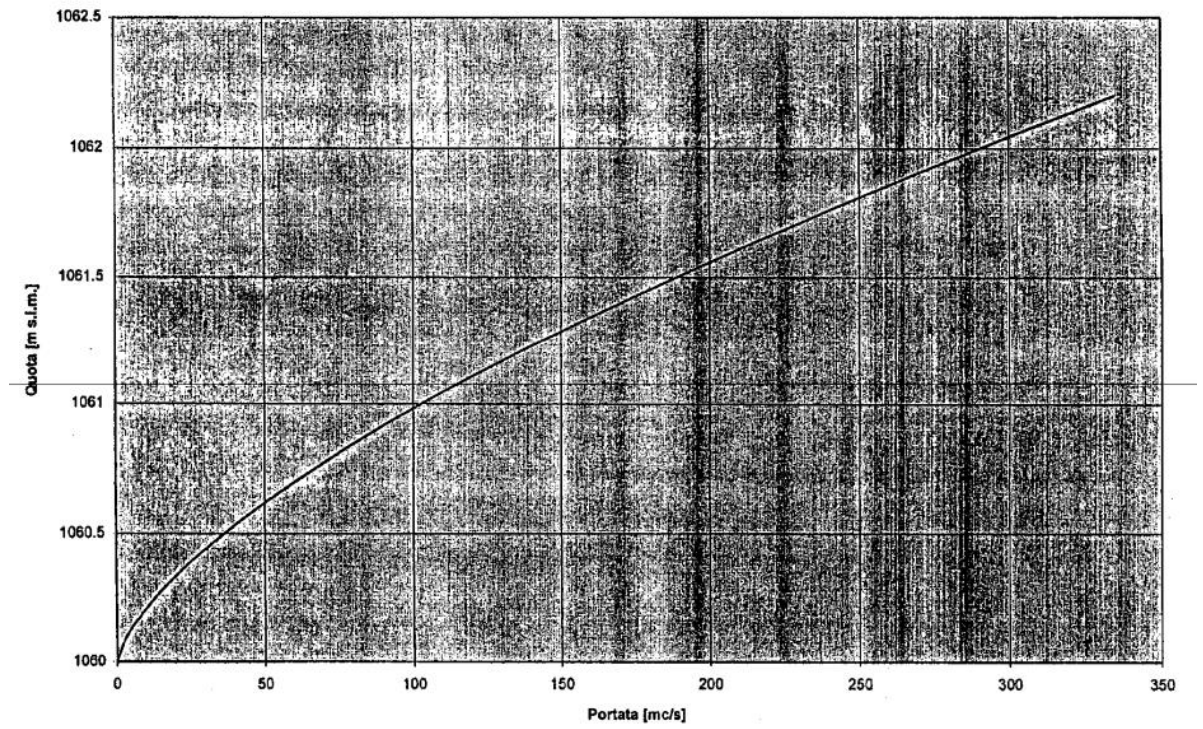


Figura 23: Diga di Provvidenza - curva di portata dello scarico di superficie

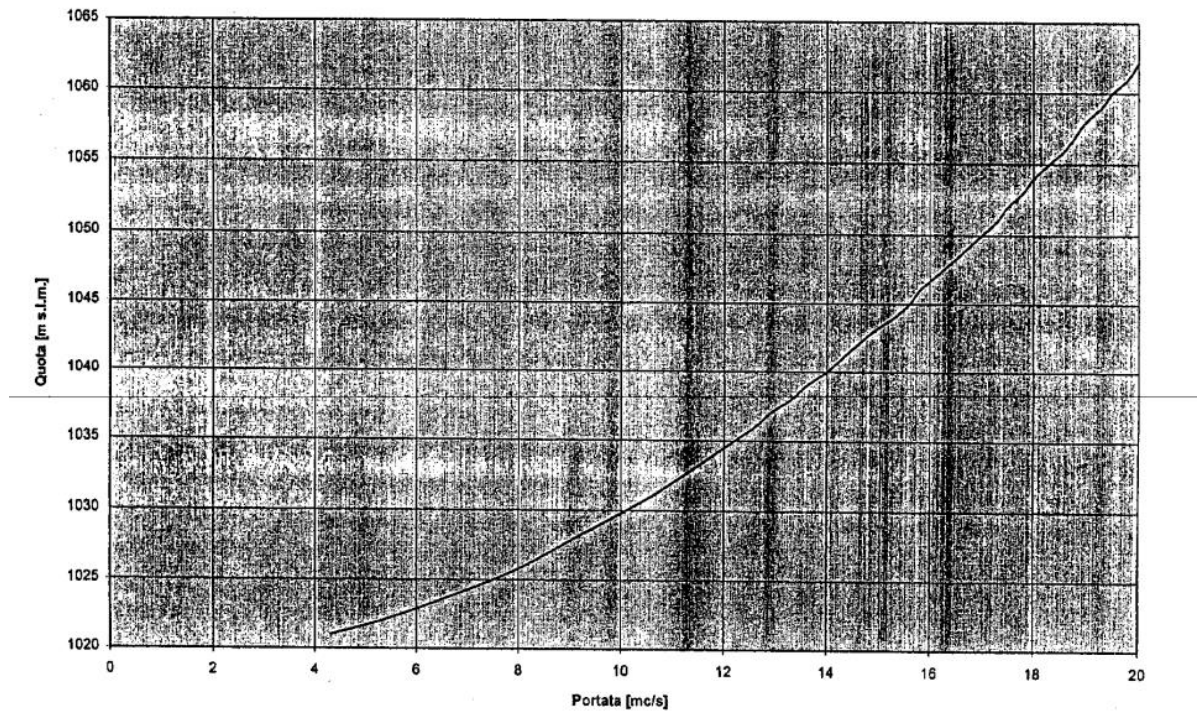


Figura 24: Diga di Provvidenza - curva di portata dello scarico di fondo

3.2.2 *Dati contenuti nel Piano di Gestione dei Sedimenti e batimetrie*

Nel 2006 è stata effettuato un rilievo topo-batimetrico del serbatoio che ha aggiornato le curve caratteristiche rispetto a quelle originali:

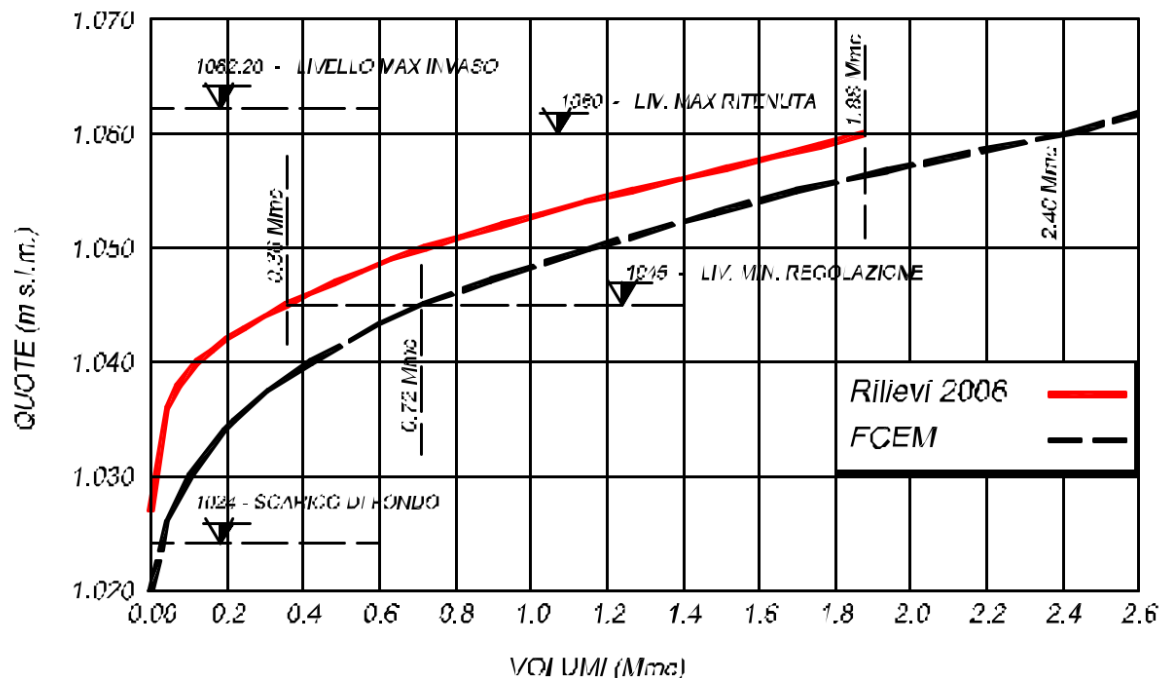


Figura 25: Diga di Provvidenza - diagramma delle aree (2006)

Nel 2020 è stato effettuato nuovo rilievo batimetrico, che mostra la seguente curva d'invaso, espressa in forma tabellare:

DIGA DI PROVVIDENZA - ENEL GREEN POWER			
Descrizione	LIVELLO ACQUA (m slm)	Superficie specchio (mq)	Volume invaso (mc)
massimo invaso	1062.00	131300.00	2020928.00
massima regolazione	1060.00	124981.00	1765406.00
	1058.00	118270.00	1523012.00
	1056.00	112461.00	1293083.00
	1054.00	106730.00	1074774.00
	1052.00	100150.00	868604.00
	1050.00	88767.00	680926.00
	1048.00	73419.00	521568.00
	1046.00	59764.00	394105.00
minima regolazione	1045.00	56533.00	336726.00

Tabella 5: Serbatoio di Provvidenza – curva di invaso da batimetria 2020

La cronistoria delle variazioni di volume nel serbatoio di Provvidenza è riassunta nella seguente tabella:

	Dati originali FCEM			Batimetria 2006		Batimetria 2020	
	livelli m slm	Volume Mm ³	V. utile Mm ³	Volume Mm ³	V. utile Mm ³	Volume Mm ³	V. utile Mm ³
MAX.INVASO	1'062.20	2.76		No info		2.02	
MAX.REG.	1'060.00	2.40	1.68	1.88	1.52	1.77	1.43
MIN.REG.	1'045.00	0.72	-	0.36	-	0.34	-
FONDO	1'013.80	-	-	-	-		

Tabella 6: Volume del Serbatoio di Provvidenza.

Come si può notare confrontando le batimetrie più recenti, la capacità utile d'invaso rispetto a quella originale si è ridotta di circa di 26 punti percentuali ed il tasso di interrimento dell'ultimo periodo risulta essere pari a $0.11 \text{ Mm}^3/14 \text{ anni} = \text{circa } 8'000 \text{ m}^3/\text{anno}$.

Già con i rilievi batimetrici effettuati nel 2006, dall'esame dei valori di profondità misurati in prossimità delle opere di scarico e di derivazione, è risultato che le quote dei sedimenti sono prossime o superiori alle quote di soglia dei manufatti esistenti.

Tuttavia, si deve considerare che i moti idraulici dovuti alla captazione dell'acqua o alle aperture periodiche degli organi di manovra mantengono generalmente libero da materiale un volume a forma conica ubicato in prossimità delle opere stesse.

Infine, è richiesta la riserva dei volumi fino a 1'047.50 m slm, per black-start per San Giacomo.

3.2.3 Dati storici di livello

Enel GP ha fornito i dati storici disponibili del livello nel serbatoio, per il periodo 2013-2021.

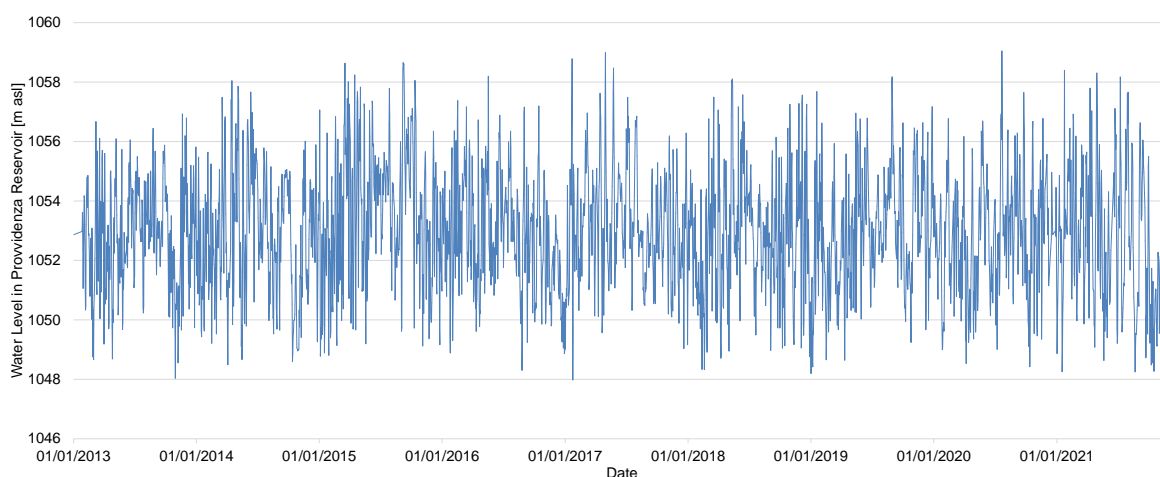


Figura 26: Diga di Provvidenza - serie storica del livello nel serbatoio (2013-2021)

4. PROGETTO DEI NUOVI GRUPPI REVERSIBILI

4.1 Generalità

Enel GP intende incrementare la potenza complessiva disponibile in pompaggio per i propri impianti siti in centro e sud Italia.

4.2 Descrizione dell'intervento

4.2.1 Obiettivi del Progetto

Enel GP ritiene opportuno potenziare l'impianto di Provvidenza con l'installazione due nuovi gruppi reversibile per potenziare l'impianto anche alla luce della maggiore flessibilità operativa. È previsto di aumentare la potenza totale in pompaggio con il rifacimento completo della Centrale con due nuovi gruppi reversibili aventi potenza elettrica pari a circa 110 MVA ciascuno.

Le caratteristiche preliminari dei nuovi gruppi sono le seguenti:

- Portata massima pompata pari a $2 \times 36 = 72 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Portata massima turbinata pari a $2 \times 43 = 86 \text{ m}^3/\text{s}$;

4.2.2 Criteri di scelta dell'alternativa

Gli elementi tecnici di riferimento preliminarmente condivisi con Enel sono:

- due nuovi gruppi di prevista installazione in una nuova caverna, collegati all'adduzione ed alla restituzione esistenti, sfruttando auspicabilmente con minime modifiche i pozzi piezometrici esistenti;
- abbandono della centrale esistente, con possibile uso dei volumi per cabina AT compatta in SF6 (da rivalutare secondo sviluppo progetto);
- dimensionamento del pompaggio su una durata di 8 ore;
- dimensionamento delle portate pompate in base al volume utile minore tra serbatoio di monte e quello di valle, considerando tutti i gruppi in esercizio;

Occorre fare una premessa sullo schema idraulico dell'alto Vomano, che comprende Provvidenza come impianto di testa e San Giacomo I e II come secondo impianto.

Attualmente, San Giacomo II è in grado di pompare circa $9 \text{ m}^3/\text{s}$ verso Provvidenza, e la capacità di pompaggio di Provvidenza è stata incrementata a circa $45 \text{ m}^3/\text{s}$, per tenere in conto la gestione degli eventi di piena.

Lo schema attuale prevede dunque un differenziale di portata pompata di circa 35 m³/s, che si vorrebbe auspicabilmente mantenere anche con gli incrementi di potenza in pompaggio auspicati.

Dal punto di vista della valutazione della massima portata pompabile, sono stati valutati diversi criteri idraulici di dimensionamento:

CRITERIO N.1		CONSIDERANDO I VOLUMI ATTUALMENTE TURBINABILI E IL CONTRIBUTO IN POMPAGGIO DELLA POMPA ESISTENTE			
	Portata massima turbinabile (GR1+GR2+GR3):		67.2 m3/s		
	Durata turbinaggio		8 ore		
	Volume giornaliero turbinato		1935360 m3		
	Portata minima pompabile (GR3):		17 m3/s		
			10 ore		
			612000 m3		
	Volume da pompare per chiudere il bilancio:		1323360 m3		
	Portata da pompare (nuovo GR4+GR5) su 10 ore:		36.76 m3/s		
	Portata totale in pompaggio (GR3+GR4+GR5):		53.76 m3/s		

Il primo criterio è risultato non più attuale, in quanto le considerazioni di fattibilità hanno portato a scartare la soluzione di revamping dell'impianto esistente per via dei lunghi tempi di fuori servizio,

CRITERIO N.2		CONSIDERANDO I VOLUMI ATTUALMENTE TURBINABILI E IL POMPAGGIO SOLO CON LE NUOVE POMPE			
	Portata massima turbinabile (GR1+GR2+GR3):		67.2 m3/s		
	Durata turbinaggio		8 ore		
	Volume giornaliero turbinato		1935360 m3		
	Volume da pompare per chiudere il bilancio:		1935360 m3		
	Durata pompaggio		10 ore		
	Portata da pompare (nuovo GR4+GR5) su 10 ore:		53.76 m3/s		

Rispetto a questo secondo criterio, è risultato più limitante il terzo criterio, che effettuava considerazioni sui volumi disponibile nei serbatoi, in particolare quello di Provvidenza:

CRITERIO N.3		CONSIDERANDO I VOLUMI UTILI NETTI DEI SERBATOI	
	SERBATOIO DI CAMPOTOSTO:	teorico	attuale
	V utile di regolazione (m3):	218000000	217000000
	Utilizzi diversi (irrig+pot):	0	0
	V utile netto di regolazione (m3):	218000000	217000000
	SERBATOIO DI PROVVIDENZA:	teorico	attuale
	V utile di regolazione (m3):	1680000	1430000
	Utilizzi diversi (irrig+pot):	0	0
	V utile netto di regolazione (m3):	1680000	1430000
	VOLUME UTILE MINIMO VINCOLANTE:	teorico	attuale
		1680000	1430000
	VOLUME CONSIDERATO:	1680000	1430000 m3
	VALUTAZIONE PORTATE NUOVI GRUPPI REVERSIBILI IN BASE AL VOLUME UTILE		
	Durata turbinaggio	8	8 ore
	Portata massima turbinabile (GR3+GR4+GR5):	58.33	49.65 m3/s

Quindi, seguendo il criterio di pompaggio su 8 ore, considerando il volume attuale, la portata pompabile su 8 ore corrispondente al trasferimento del volume utile del serbatoio risulterebbe pari a circa 50 m³/s.

Questo al lordo delle eventuali necessità di rilascio come il DMV o rilasci per altri usi, che si dovranno garantire, una volta note le effettive condizioni al contorno del bando Terna e le effettive modalità di rilascio del DMV al termine del periodo sperimentale.

Oltre a questa portata, è stata valutata l'opportunità di un funzionamento in cascata con il nuovo pompaggio di San Giacomo III, che a sua volta è in grado di trasferire fino a 42 m³/s verso Provvidenza.

Per questi motivi si è scelto di prevedere la possibilità di trasferire in pompaggio da Provvidenza a Campotosto una portata superiore, circa pari a 72 m³/s, portata che è stata valutata come quella limite per non dover prevedere anche il rifacimento della galleria di adduzione, come mostrato nei successivi paragrafi.

Questo incremento di portata in pompaggio porta ad una nuova potenza della macchina elettrica di circa 110 MVA, per un totale di 220 MVA installati contro i 160 MVA precedenti.

Per limitare al minimo tecnico i fuori servizio, è stata prevista la realizzazione di nuove opere da interconnettere a quelle esistenti in pochissimi punti localizzati. Queste opere sono descritte sommariamente qui di seguito.

4.2.3 *Descrizione delle opere a progetto*

Le nuove opere civili a progetto includono:

- una nuova centrale in caverna, che ospita i due nuovi gruppi reversibili da 110 MVA;
- un nuovo pozzo piezometrico di monte ed il suo collegamento alla esistente galleria di adduzione ed all'esistente vasca di espansione, eliminando i collegamenti idraulici con il vecchio pozzo, che potrà eventualmente essere utilizzato come camino di aerazione;
- una nuova condotta forzata, che consiste nel collegamento al nuovo pozzo piezometrico, una discenderia in pozzo forzato con biforcazione per l'alimentazione dei due nuovi gruppi reversibili;
- una nuova galleria piezometrica di valle;
- una nuova galleria forzata di scarico/aspirazione verso valle (serbatoio Provvidenza), una camera paratoie ed una nuova presa dal serbatoio di Provvidenza;
- Sistemi elettrici di potenza e controllo;
- Connessione alle linee sbarre AT che si collegano alla esistente sottostazione all'aperto, con l'opzione di dismettere questa ad eccezione degli stacchi per la partenza delle linee esistenti, realizzando all'interno della esistente caverna di centrale una eventuale nuova cabina AT con tecnologia GIS.

4.3 Calcolo delle Perdite di Carico

4.3.1 Introduzione

L'obiettivo del presente capitolo è quello di illustrare la metodologia utilizzata per la stima delle perdite di carico lungo il sistema idraulico, sia in fase di generazione che di pompaggio.

I calcoli effettuati considerano le perdite di carico distribuite che si sviluppano, per effetto dell'attrito, lungo la galleria di derivazione, la condotta forzata e la galleria di restituzione e quelle concentrate legate a variazioni nella geometria e a singolarità del sistema. Queste ultime si manifestano in corrispondenza dei seguenti elementi:

- imbocco dell'opera di presa;
- griglie;
- paratoie e panconi (stoplogs)
- curve;
- allargamenti;
- restringimenti;
- sbocco dell'opera di scarico.

Ai fini dell'analisi, sono state assunte ipotesi di calcolo (scelta della scabrezza, coefficienti di perdita locale, ecc.) tendenzialmente conservative. In altri termini, ci si aspetta che le perdite di carico descritte e stimate nel presente rapporto siano leggermente superiori rispetto alle perdite reali del sistema in operazione.

In questa fase preliminare, non disponendo di tutte le necessarie informazioni, ed in particolare la mancanza di prove di rendimento da cui poter risalire alle perdite di carico, queste sono state valutate in modo grossolano e speditivo.

4.3.2 Perdite tipologiche distribuite

Le perdite distribuite o per attrito si verificano in modo uniforme in tutto il sistema idraulico e si devono principalmente alla rugosità dell'elemento (tubo, tunnel con o senza rivestimento, etc.) e alla viscosità dell'acqua. Il calcolo delle perdite distribuite prevede l'applicazione dell'equazione di Darcy-Weisbach:

$$\Delta H_d = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

dove:

f	coefficiente di attrito secondo Colebrook-White [-]
L	larghezza del tratto del sistema idraulico [m]
g	accelerazione di gravità [m/s ²]
D	diametro della sezione considerata [m]

v velocità media dell'acqua [m/s]

Il coefficiente di attrito si calcola mediante la seguente formula di Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.71 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

dove:

ε Scabrezza assoluta, riportata in **Tabella 7**
 Re Numero di Reynolds [-], calcolato come $(V \cdot D)/\nu$
 V Velocità media dell'acqua
 D Diametro della sezione
 ν Viscosità cinematica dell'acqua (1.31 E-06 Pa s)

I valori di scabrezza assoluta considerati per i materiali costituenti il sistema sono riportati nella successiva tabella:

Materiale	Scabrezza assoluta ε [mm]	n Manning [s/m ^{1/3}]
Acciaio	0.50	0.011
Calcestruzzo	1.50	0.013

Tabella 7: Valori di scabrezza assoluta per il calcolo delle perdite di carico distribuite.

4.3.3 Perdite tipologiche concentrate

Le perdite concentrate si verificano nei raccordi e nelle singolarità del sistema idraulico e sono proporzionali all'altezza cinetica secondo la seguente equazione:

$$\Delta H = \xi \frac{v^2}{2g}$$

dove:

ΔH perdita di carico [m]
 ξ coefficiente di perdita [-]
 v velocità media dell'acqua nella sezione [m/s]
 g accelerazione di gravità [m/s²]

Il coefficiente di perdita ξ è stimato, caso per caso, come descritto nei successivi paragrafi.

4.3.4 Perdite all'imbocco

Le perdite localizzate all'imbocco sono calcolate considerando che l'ingresso avvenga con un angolo di 90° , si adotta pertanto un coefficiente di perdita $K = 0,5$ come suggerito da [1].

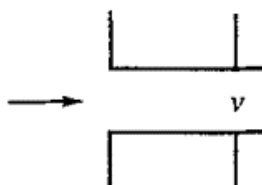


Figura 27: Perdita localizzata per imbuco a spigolo vivo.

4.3.5 Perdita per restringimento o allargamento di sezione

In caso di restringimento di sezione il coefficiente di perdita, come suggerito da [1], è calcolato in funzione del diametro di ingresso D_1 , del diametro di uscita D_2 e dell'angolo di deviazione θ come osservabile nella figura successiva:

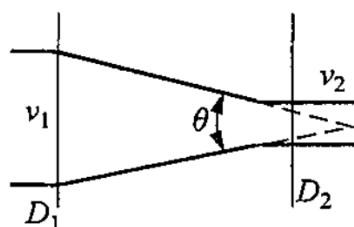


Figura 28: Rappresentazione tipica di un restringimento di sezione.

Noti i parametri appena descritti è possibile ricavare il coefficiente di perdita ξ attraverso l'abaco di

Figura 29:

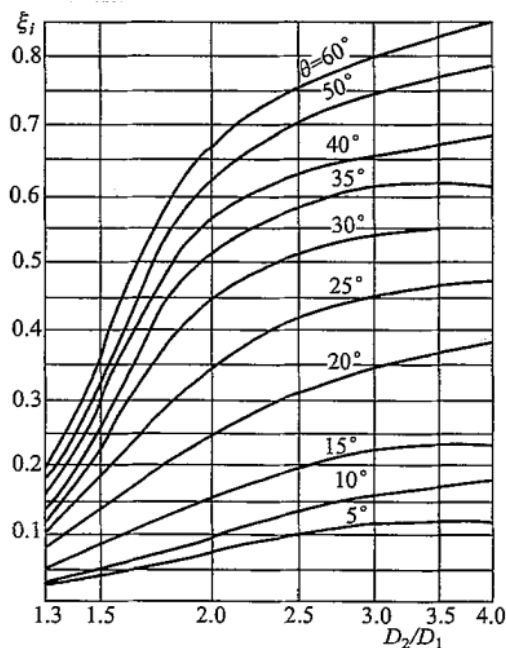


Figura 29: Determinazione del coefficiente di perdita per restringimento graduale.

Gli allargamenti di sezione sono definiti, secondo [2], in funzione del diametro di ingresso D_1 , del diametro di uscita D_2 e dell'angolo di apertura δ come rappresentato nella figura successiva:

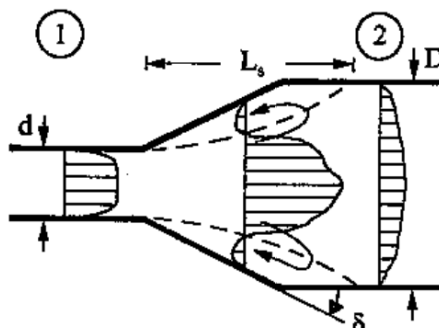


Figura 30: Rappresentazione tipica di un restringimento di sezione secondo [2].

La transizione tra le due sezioni genera una ripartizione non uniforme delle velocità con conseguente distacco della vena fluida per una lunghezza L_s . Di conseguenza, il coefficiente di perdita può essere calcolato analiticamente con la seguente formula:

$$\xi = \Phi_e \left(1 - \frac{A_e}{A_s} \right)^2$$

dove:

$$\Phi_e = E \left(\frac{2\delta}{\pi} + \text{sen}(2\delta) \right) \quad , \text{ per } \delta < 30^\circ$$

$$\Phi_e = E \left(\frac{5}{\pi} - \frac{\delta}{2\pi} \right), \text{ per } 30^\circ < \delta < 90^\circ$$

δ angolo di amplificazione

E coefficiente adimensionale pari a 0.75

4.3.6 Perdite in curva

Nel caso di curve circolari il coefficiente di perdita, sempre secondo [1], si calcola con la seguente formula:

$$\xi = \left(0.131 + 0.1632 \cdot \left(\frac{D}{R} \right)^{7/2} \right) \cdot \frac{\theta}{90^\circ}$$

dove:

θ angolo di curvatura [°]

R raggio di curvatura [m]

D diametro della sezione considerata [m]

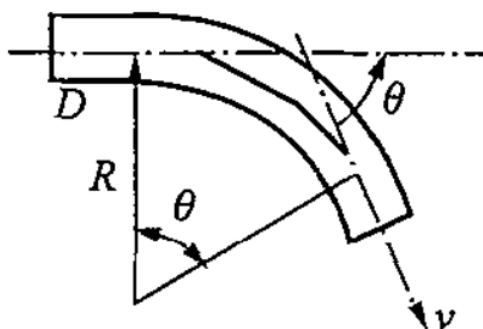


Figura 31: Schematizzazione per il calcolo delle perdite in curva secondo [1].

4.3.7 Perdita per transizione da sezione circolare a quadrata

In caso di transizione da sezione circolare a quadrata si assume che la velocità tra i due tratti sia pari alla media delle velocità in ingresso e in uscita. Il coefficiente di perdita è assunto pari a 0.10 [1]:

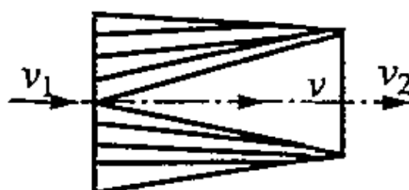


Figura 32: Rappresentazione transizione da sezione circolare a sezione quadrata [1].

4.3.8 Perdita per transizione da sezione quadrata a circolare

In caso di transizione da sezione quadrata a circolare, analogamente a quanto esposto al paragrafo precedente, si assume che la velocità tra i due tratti sia pari alla media delle velocità in ingresso e in uscita. Il coefficiente di perdita è assunto pari a 0.05 [1]:

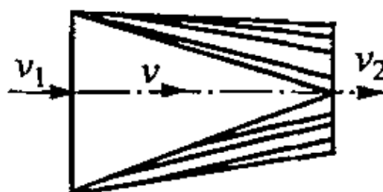


Figura 33: Rappresentazione transizione da sezione quadrata a sezione circolare [1].

4.3.9 Perdita in corrispondenza di paratoie e stoplogs

Le perdite localizzate in corrispondenza di paratoie e stoplogs dipendono dalla forma e dal grado d'apertura delle stesse. Il coefficiente di perdita K si calcola attraverso l'abaco riportato nell'immagine successiva [3]:

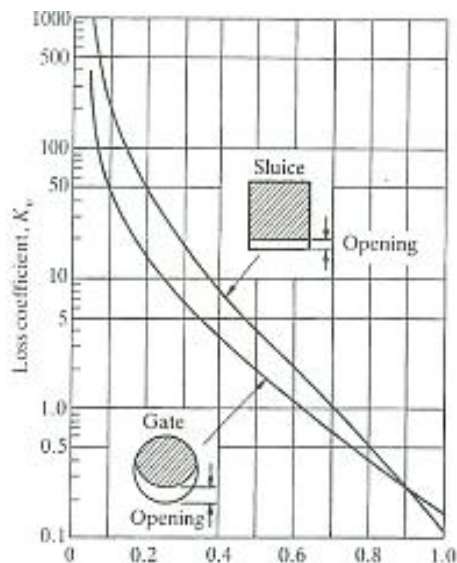


Figura 34: Determinazione del coefficiente di perdita K in caso di paratoie e stoplogs secondo [3].

4.3.10 Perdita dovuta alla presenza di griglie

Per il calcolo delle perdite in corrispondenza delle griglie viene adottata la formula semplificata che consente il calcolo del coefficiente di perdita K attraverso la seguente formula [1]:

$$\xi = \beta \cdot \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \text{sen}(\alpha)$$

dove:

- s spessore della griglia [m]
- b spaziatura della griglia [m]
- α angolo di inclinazione della griglia [rad]
- β coefficiente di forma della griglia [-], (v. **Figura 35**)

Rack shape							
β	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Figura 35: Coefficiente di forma della griglia [1].

4.3.11 Perdita in corrispondenza di valvole

Le perdite localizzate in presenza di valvole dipendono dalla natura della valvola e dal grado di apertura della stessa.

Nel caso di valvole a farfalla di larghezza t inserita su condotta di diametro D , il coefficiente di perdita ξ è dato dalla seguente tabella [1]:

t/D	0.10	0.15	0.20	0.25
ξ	0.05–0.10	0.10–0.16	0.17–0.24	0.25–0.35

Figura 36: Coefficiente di perdita valvola a farfalla.

Non essendo disponibili dati precisi sulle valvole a farfalla si assume $\xi=0.20$.

Nel caso invece delle valvole rotative si assume, conservativamente, un coefficiente di perdita $\xi=0.10$.

4.4 Valutazione analitica delle perdite di carico

Le perdite di carico sono calcolate considerando la presenza dei due nuovi gruppi ed i tratti di collegamento alle condotte forzate esistenti.

Le perdite sono calcolate in base all'esperienza con assunzioni conservative. I valori potranno essere rivalutati nelle fasi progettuali successive in base ai rapporti di ispezione o da prove di rendimento resi disponibili dal Cliente oppure tramite nuovi rilievi ed ispezioni.

Per ciascuna derivazione si calcola il coefficiente $K=DH/Q^2$ prendendo a riferimento la perdita di carico alla portata nominale.

Le tabelle mostrano i valori calcolati per le gallerie di adduzione e per le condotte forzate, sia in fase di turbinaggio (da Campotosto verso Provvidenza) che di pompaggio (da Provvidenza verso Campotosto).

Le perdite sono calcolate con assunzioni conservative sui coefficienti di scabrezza.

DERIVAZIONE CAMPOTOSTO									
VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN POMPAGGIO									
GALLERIA FORZATA									
PERDITE DISTRIBUITE - tratto in CLS									
Length (m)		1100		Q=		72			
diameter (m)		4.5		A=		15.90			
roughness (m)		0.0030		V=		4.53			
eps/d		0.0007		V^2/2G=		1.045			
lambda		0.0178		DH=J*L		DH TOTALI			
J=lam*V^2/2gD		0.0041				4.55		4.551	
PERDITE CONCENTRATE									
				K		V^2/2G		DH	
BOCCA DI PRESA				1		1.045		1.045054	
CAMERA PARATOIE				0.15		1.045		0.156758 1.20181259	
								DH	DH/Q^2
PERDITE TRA SERBATOIO E POZZO:								5.752	0.00078
PERDITE TOTALI TRA SERBATOIO E CAMERA VALVOLE								5.752	0.00111

Tabella 10: Perdite di carico – Campotosto – Galleria - Pompaggio.

VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN POMPAGGIO										Q= 72 m3/s		Espansione				
										scabrezza 0.0002 m		Alpha		20		
CONDOTTA																
NUOVA	TRATTO	L	DI	A	V	V^2/2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)	
	1	0	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0000	0.0103	0.0024	0.000	DIV90	0.166	0.173	0.173	0.173	
	2	140	4	12.57	5.730	1.674	0.0001	0.0105	0.0044	0.617			0.000	0.617	0.791	
	3	110	4	12.57	5.730	1.674	0.0001	0.0105	0.0044	0.485			0.000	0.485	1.276	
	4		4	12.57	5.730	1.674	0.0001	0.0105	0.0044	0.000	C90	0.1	0.167	0.167	1.443	
Gr4&5	5	230	4	12.57	5.730	1.674	0.0001	0.0105	0.0044	1.014			0.000	1.014	2.457	
	6		4	12.57	5.730	1.674	0.0001	0.0105	0.0044	0.000	BIFORC	0.3	0.502	0.502	2.959	
Gr4/Gr5	7	30	2.8	6.16	5.847	1.743	0.0001	0.0112	0.0070	0.210			0.000	0.210	3.169	
	8		2.8	6.16	5.847	1.743	0.0001	0.0112	0.0070	0.000	C45	0.160	0.279	0.279	3.448	
	9		2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	0.000	C45	0.100	0.383	0.383	3.831	
	10	30	2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	0.582	DIV90	0.166	0.636	1.218	5.049	
	11		2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	0.000	1xRotativa	0.1	0.383	0.383	5.431	
															DH/Q^2	0.00105

Tabella 11: Perdite di carico – Campotosto – Condotta - Pompaggio.

4.4.2 Derivazione Provvidenza

VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN TURBINAGGIO										Q= 86 m3/s							
										scabrezza_ac 0.0003 m							
										scabrezza_cal 0.0030 m							
CONDOTTA & GALLERIA																	
NUOVA	TRATTO	L	DI	A	V	V^2/2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)		
CF	1	0	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.000	DT	0.1	0.288	0.288	0.288		
	1	0	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.000	1xParatoia	0.3	0.863	0.863	1.150		
	1	30	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.390	CONV	0.005	0.014	0.405	1.555		
	2	150	4.5	15.90	5.407	1.491	0.0007	0.0178	0.0059	0.885	2xC45	0.1	0.149	1.034	2.590		
GALLERIA	3	500	4.5	15.90	5.407	1.491	0.0007	0.0178	0.0059	2.951			0.000	2.951	5.541		
	3	0	4.5	15.90	5.407	1.491	0.0007	0.0178	0.0059	0.000	PARATOIA	0.15	0.224	0.224	5.764		
	4	44	4.5	15.90	5.407	1.491	0.0007	0.0178	0.0059	0.260			0.000	0.260	6.024		
	4	0	4.5	15.90	5.407	1.491	0.0007	0.0178	0.0059	0.000	SBOCCO	1	1.491	1.491	7.515		
															tot	DH/Q^2	0.00102

Tabella 12: Perdite di carico – Provvidenza – Condotta e Galleria - Turbinaggio.

VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN POMPAGGIO								Q=	72 m ³ /s	Espansione					
								scabrezza	0.0003 m						
								scabrezza_cal	0.0030 m	Alpha 10					
CONDOTTA & GALLERIA															
NUOVA	TRATTO	L	DI	A	V	V ² /2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)
CF	1	0	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.000	DT	0.1	0.202	0.202	0.202
	1	0	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.000	1xParatoia	0.3	0.605	0.605	0.806
	1	30	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.274	DIV	0.14	0.281	0.554	1.361
	2	150	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0007	0.0178	0.0041	0.621	2xC45	0.1	0.105	0.725	2.086
GALLERIA	3	500	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0007	0.0178	0.0041	2.068			0.000	2.068	4.154
	3	0	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0007	0.0178	0.0041	0.000	PARATOIA	0.15	0.157	0.157	4.311
	4	44	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0007	0.0178	0.0041	0.182			0.000	0.182	4.493
	4	0	4.5	15.90	4.527	1.045	0.0007	0.0178	0.0041	0.000	SBOCCO	0.3	0.314	0.314	4.806
															DH/Q ²
															0.00093

Tabella 13: Perdite di carico – Provvidenza – Condotta e Galleria - Pompaggio.

4.4.3 Sintesi sulle perdite calcolate

Considerato che tra la condizione di turbinaggio e pompaggio la differenza riscontrata tra i valori delle perdite di carico è modestissima, si ritiene di utilizzare ai fini dei calcoli successivi la seguente tabella unica delle perdite di carico.

DERIVAZIONE CAMPOTOSTO			
DH/Q ² (m/(m ³ /s) ²)	Galleria	Condotta forzata	Totale
Pompaggio	0.00111	0.00105	0.00216
Turbinaggio	0.00101	0.00100	0.00200

Tabella 14: Nuovi gruppi reversibili – Perdite di carico della derivazione Campotosto.

DERIVAZIONE PROVVIDENZA			
DH/Q ² (m/(m ³ /s) ²)	Galleria	Condotta forzata	Totale
Pompaggio	0.00026	0.00066	0.00093
Turbinaggio	0.00081	0.00021	0.00102

Tabella 15: Nuovi gruppi reversibili – Perdite di carico della derivazione Provvidenza.

I valori sono utilizzati nelle verifiche idrauliche effettuate nei paragrafi successivi.

4.5 Perdite idrauliche

Considerati tutti i limiti tecnici espressi dalle precedenti valutazioni, le massime portate di progetto relative al funzionamento dell'impianto di Provvidenza sono:

- **Turbinaggio da Campotosto verso Provvidenza:** 86.0 m³/s
- **Pompaggio da Provvidenza verso Campotosto:** 72.0 m³/s

In funzione delle valutazioni degli specialisti elettromeccanici, nelle fasi progettuali successive verranno utilizzati i dati ottimali.

Il progetto prevede la possibilità di:

- Utilizzare unicamente i due nuovi gruppi reversibili sia in turbinaggio (circa 86 m³/s) o in pompaggio (circa 72 m³/s).

4.5.1 Valutazione delle Perdite di carico in fase di turbinaggio

In fase di turbinaggio dei nuovi gruppi reversibili, e pertanto considerando il massimo salto lordo pari a circa 272.5 m, si ottiene un salto netto pari a:

$$\begin{aligned} H_{\text{netto}} &= H_{\text{lordo}} - (K_{\text{Campotosto}} + K_{\text{Provvidenza}}) \cdot Q^2_{\text{turbinata}} = \\ &= 272.5 - (0.002 + 0.00102) \cdot 86^2 = 272.5 - 22.3 = 250.2 \text{ m}; \end{aligned}$$

viceversa, con il minimo salto lordo pari a 234.0 m circa, si ottiene:

$$\begin{aligned} H_{\text{netto}} &= H_{\text{lordo}} - (K_{\text{Campotosto}} + K_{\text{Provvidenza}}) \cdot Q^2_{\text{turbinata}} = \\ &= 234.0 - (0.002 + 0.00102) \cdot 86^2 = 234.0 - 22.3 = 211.7 \text{ m}; \end{aligned}$$

4.5.2 Valutazione delle Perdite di carico in fase di pompaggio

In fase di pompaggio dei nuovi gruppi reversibili, e pertanto considerando il massimo salto lordo pari a circa 272.5 m, si ottiene un salto netto pari a

$$\begin{aligned} H_{\text{netto}} &= H_{\text{lordo}} + (K_{\text{Campotosto}} + K_{\text{Provvidenza}}) \cdot Q^2_{\text{pompata}} = \\ &= 272.5 + (0.00216 + 0.00093) \cdot 72^2 = 272.5 + 16.0 = 288.5 \text{ m}; \end{aligned}$$

viceversa, con il minimo salto lordo pari a 234.0 m circa, si ottiene:

$$\begin{aligned} H_{\text{netto}} &= H_{\text{lordo}} + (K_{\text{Campotosto}} + K_{\text{Provvidenza}}) \cdot Q^2_{\text{pompata}} = \\ &= 234.0 + (0.00216 + 0.00093) \cdot 72^2 = 234.0 + 16.0 = 250.0 \text{ m} \end{aligned}$$

4.6 Perdite di carico con un solo gruppo in funzione

Il presente paragrafo illustra il calcolo delle perdite in caso di un solo gruppo funzionante. Queste sono sostanzialmente analoghe per i tratti di adduzione, mentre tra le biforcazioni e la centrale, tutte la portata passa attraverso una sola delle condotte, provocando dunque un incremento relativo del valore delle perdite.

Le successive tabelle e figure illustrano i conteggi effettuati in analogia con quanto sviluppato in precedenza.

Tratto di monte (tra Campotosto e la Centrale)

Le perdite nella galleria di adduzione fino al pozzo piezometrico di monte sono le stesse riportate in **Tabella 8 e Tabella 10**. Tra P.P. e Centrale, lungo il tratto di nuova condotta forzata, si ha:

CONDOTTA FORZATA NUOVA CAMPOTOSTO										UN GRUPPO SOLO										
VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN TURBINAGGIO										Q=	43 m ³ /s									
										Q3	0.00 m ³ /s									
										Q4/Q5	43.00 m ³ /s									
										scabrezza	0.0002 m									
CONDOTTA NUOVA																				
TRATTO	L	DI	A	V	V ² /2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)						
1	0	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0000	0.0103	0.0009	0.000	CONV90	0.15	0.056	0.056	0.056						
2	140	4	12.57	3.422	0.597	0.0001	0.0105	0.0016	0.220			0.000	0.220	0.276						
3	110	4	12.57	3.422	0.597	0.0001	0.0105	0.0016	0.173			0.000	0.173	0.449						
4		4	12.57	3.422	0.597	0.0001	0.0105	0.0016	0.000	C90	0.1	0.060	0.060	0.509						
Gr4&5	5	230	4	12.57	3.422	0.597	0.0001	0.0105	0.362			0.000	0.362	0.870						
	6		4	12.57	3.422	0.597	0.0001	0.0105	0.000	BIFORC	0.3	0.179	0.179	1.050						
Gr4/Gr5	7	30	2.8	6.16	6.984	2.487	0.0001	0.0112	0.0100			0.000	0.299	1.349						
	8		2.8	6.16	6.984	2.487	0.0001	0.0112	0.0100	C45	0.16	0.398	0.398	1.747						
	9		2.3	4.15	10.350	5.462	0.0001	0.0117	0.0277	C45	0.10	0.546	0.546	2.293						
	10	30	2.3	4.15	10.350	5.462	0.0001	0.0117	0.0277	CONV90	0.10	0.546	1.377	3.670						
	11		2.3	4.15	10.350	5.462	0.0001	0.0117	0.0277	1xRotativa	0.1	0.546	0.546	4.216						
														DH/Q ²	0.00228					
VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN POMPAGGIO										Q=	36 m ³ /s		Espansione							
										Q1GR	36		Alpha							
										scabrezza	0.0002 m		20							
CONDOTTA NUOVA																				
TRATTO	L	DI	A	V	V ² /2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)						
1	0	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0000	0.0103	0.0006	0.000	DIV90	0.166	0.043	0.043	0.043						
2	140	4	12.57	2.865	0.418	0.0001	0.0105	0.0011	0.154			0.000	0.154	0.198						
3	110	4	12.57	2.865	0.418	0.0001	0.0105	0.0011	0.121			0.000	0.121	0.319						
4		4	12.57	2.865	0.418	0.0001	0.0105	0.0011	0.000	C90	0.1	0.042	0.042	0.361						
Gr4&5	5	230	4	12.57	2.865	0.418	0.0001	0.0105	0.0011			0.000	0.254	0.614						
	6		4	12.57	2.865	0.418	0.0001	0.0105	0.0011	BIFORC	0.3	0.126	0.126	0.740						
Gr4/Gr5	7	30	2.8	6.16	5.847	1.743	0.0001	0.0112	0.0070			0.000	0.210	0.950						
	8		2.8	6.16	5.847	1.743	0.0001	0.0112	0.0070	C45	0.160	0.279	0.279	1.229						
	9		2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	C45	0.100	0.383	0.383	1.611						
	10	30	2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	DIV90	0.166	0.636	1.218	2.829						
	11		2.3	4.15	8.665	3.828	0.0001	0.0117	0.0194	1xRotativa	0.1	0.383	0.383	3.212						
														DH/Q ²	0.00248					

Figura 37: Derivazione Campotosto – perdite di carico con un solo gruppo in funzione

Tratto di valle (tra la Centrale e Provvidenza)

CONDOTTA FORZATA PROVVIDENZA							UN GRUPPO SOLO										
VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN TURBINAGGIO							Q=	43 m ³ /s									
							scabrezza_ac	0.0003 m									
							scabrezza_cal	0.0030 m									
CONDOTTA & GALLERIA																	
NUOVA	TRATTO	L	DI	A	V	V ² /2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)		
CF	1	0	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.000	DT	0.1	0.288	0.288	0.288		
	1	0	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.000	1xParatoia	0.3	0.863	0.863	1.150		
	1	30	2.7	5.73	7.510	2.876	0.0001	0.0122	0.0130	0.390	CONV	0.005	0.014	0.405	1.555		
	2	150	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0007	0.0178	0.0015	0.221	2xC45	0.1	0.037	0.259	1.814		
GALLERIA	3	500	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0007	0.0178	0.0015	0.738			0.000	0.738	2.551		
	3	0	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0007	0.0178	0.0015	0.000	PARATOIA	0.15	0.056	0.056	2.607		
	4	44	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0007	0.0178	0.0015	0.065			0.000	0.065	2.672		
	4	0	4.5	15.90	2.704	0.373	0.0007	0.0178	0.0015	0.000	SBOCCO	1	0.373	0.373	3.045		
														tot	DH/Q ²		
															0.00165		
VALUTAZIONE DELLE PERDITE IN POMPAGGIO							Q=	36 m ³ /s			Espansione						
							scabrezza	0.0003 m			Alpha						
							scabrezza_cal	0.0030 m			10						
CONDOTTA & GALLERIA																	
NUOVA	TRATTO	L	DI	A	V	V ² /2G	eps/D	lam	J	Dhdist	tipo	Kconc	Dhconc	Dhtot (m)	DH cumul (m)		
CF	1	0	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.000	DT	0.1	0.202	0.202	0.202		
	1	0	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.000	1xParatoia	0.3	0.605	0.605	0.806		
	1	30	2.7	5.73	6.288	2.016	0.0001	0.0122	0.0091	0.274	DIV	0.14	0.281	0.554	1.361		
	2	150	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0007	0.0178	0.0010	0.155	2xC45	0.1	0.026	0.181	1.542		
GALLERIA	3	500	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0007	0.0178	0.0010	0.517			0.000	0.517	2.059		
	3	0	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0007	0.0178	0.0010	0.000	PARATOIA	0.15	0.039	0.039	2.098		
	4	44	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0007	0.0178	0.0010	0.046			0.000	0.046	2.144		
	4	0	4.5	15.90	2.264	0.261	0.0007	0.0178	0.0010	0.000	SBOCCO	0.3	0.078	0.078	2.222		
														DH/Q ²			
														0.00171			

Figura 38: Derivazione Provvidenza – perdite di carico con un solo gruppo in funzione

Riassumendo, le perdite ottenute in termini di DH/Q² valgono:

DH/Q ² (m/(m ³ /s) ²)	DERIVAZIONE CAMPOTOSTO		DERIVAZIONE PROVVIDENZA	TOTALE
	Galleria	Condotta forzata	Totale	
Pompaggio	0.00111	0.00248	0.00171	0.00530
Turbinaggio	0.00101	0.00228	0.00165	0.00494

Tabella 16: Perdite di carico complessive con un solo gruppo in funzione – valori espressi come DH/Q²

Con le portate di progetto del singolo gruppo, le perdite complessive espresse in mH₂O risultano:

DH/Q ² (m/(m ³ /s) ²)	Q progetto (m ³ /s)	K totale	DH (m)
Pompaggio	36.0	0.00530	6.87
Turbinaggio	43.0	0.00494	9.13

Tabella 17: Perdite di carico complessive con un solo gruppo in funzione – valori espressi come mH₂O

4.7 Potenza dell'impianto

Assumendo preliminarmente i seguenti valori di rendimento alla massima potenza

- girante in pompaggio: 0.915
- girante in turbinaggio: 0.92
- alternatore/motore: 0.965
- trasformatore/convertitore: 0.96

si ottengono i seguenti rendimenti di gruppo alla massima potenza:

- gruppi in pompaggio: 0.848
- gruppi in turbinaggio: 0.852

Le massime potenze idrauliche complessive che i nuovi gruppi reversibili devono gestire nel processo di trasferimento dell'acqua tra i due serbatoi sono le seguenti:

La potenza è calcolata con la formula:

$$P_{\max, \text{idraulica}} = \gamma Q \Delta H$$

Più in dettaglio:

$$P \text{ idraulica pompaggio} = \gamma Q \Delta H = 0.00981 \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} * 67 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 281.1 \text{ m} = 184.8 \text{ MW} \quad (*)$$

$$P \text{ idraulica generazione} = \gamma Q \Delta H = 0.00981 \frac{\text{MN}}{\text{m}^3} * 86 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 250.2 \text{ m} = 211.1 \text{ MW}$$

(*) Valori di portata e salto netto di design.

Le massime potenze elettriche erogate/richieste (esclusi i consumi degli ausiliari) si possono ottenere dividendo/moltiplicando per 0.848 e 0.852. I valori sono riferiti alla somma dei due gruppi.

- gruppi in pompaggio: $184.8 / 0.848 = 218 \text{ MVA}$
- gruppi in turbinaggio: $211.1 * 0.852 = 180 \text{ MVA}$

Potenza elettrica massima	Gruppi 1 + 2
Assorbita in pompaggio	218 MVA
Erogata in generazione	180 MVA

Tabella 18: Potenze elettriche dei nuovi gruppi reversibili.

4.8 Verifiche idrauliche

4.8.1 Introduzione

Le verifiche preliminari per i transitori sono state svolte con il software “Hydraulic Systems”, sviluppato dal Politecnico di Losanna EPFL. Il modello è stato allestito per la nuova configurazione dell’impianto, ovvero con i nuovi gruppi reversibili. Le caratteristiche sono riassunte nelle tabelle seguenti. Per i tratti 1.1 e 1.2, ovvero i rami della biforcazione, vengono indicati i diametri vicino all’otturatore.

Nome	Lunghezza [m]	Diametro [m]	Scabrezza [m]
Galleria	1'100	4.5	0.003
Condotta Forzata 1	290.7	3.0	0.0003
Condotta Forzata 1.1	15.9	2.0	0.0003
Condotta Forzata 1.2	23.1	2.0	0.0003

Tabella 19: Caratteristiche della galleria e delle condotte forzate.

I valori delle scabrezze assunti alla base dei calcoli derivano dall’esperienza, in mancanza di prove specifiche effettuate sulle condotte stesse.

Il nuovo pozzo piezometrico di monte parte alla quota 1'279.16 m s.l.m. staccandosi dalla galleria di derivazione tramite una strozzatura di diametro 3.0 m. A questo punto vi è una camera d’interconnessione dalla forma a “D” (BxH = 8.00x12.00 m). Dalla camera, il pozzo si sviluppa con sezione circolare (DI = 5.0 m) per 659.30 m e gradiente pari al 6.95%. Il pozzo si raccorda con la vasca di espansione esistente alla quota di fondo di 1'325.00 m s.l.m. Questa camera ha una larghezza alla quota di fondo pari a 7.00 m, per poi espandersi planimetricamente fino a raggiungere una forma circolare con diametro 11.90 m, e le pareti che si sviluppano con pendenza v:h 2:1 fino alla quota 1'332.50 m s.l.m..

Il nuovo pozzo piezometrico di valle parte alla quota 1'004.56 m s.l.m. tramite uno stacco (galleria d’interconnessione) dal diametro 2.0 m dalla galleria di scarico. Il pozzo è composto da una galleria dal diametro di 3 m e gradiente 15.57 %, e arriva dopo una lunghezza complessiva inclinata di 506.93 m alla quota di 1'085.00 m s.l.m..

		Gruppi 1&2
Asse Macchine	[m slm]	1'005.00
Turbinaggio		
Portata	[m ³ /s]	86.0
Potenza	[MW]	180
Pompaggio		

		Gruppi 1&2
Portata di design (rated)	[m ³ /s]	67.0
Portata massima	[m ³ /s]	72.0
Potenza	[MW]	218

Tabella 20: Caratteristiche dei gruppi 1 e 2 di Provvidenza.

4.8.2 Sommergenza dell'Opera di Presa della nuova galleria forzata di alimentazione/scarico (Provvidenza)

Per la derivazione Provvidenza è stata calcolata la sommergenza minima con la formula di Knauss (1987). (ref. [5])

$$\left(\frac{h}{d}\right)_{cr} = \frac{1}{2} + 2 \cdot F$$

Con

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot d}}$$

Dove:

- h sommergenza dell'opera [m]
- d diametro della galleria [m]
- F Numero di Froude [-] (secondo [5], deve essere maggiore di 0.25)

Con i parametri della galleria di aspirazione di Provvidenza (D=4.5 m, Q=72 m³/s) risulta una sommergenza h minima pari a 8.4 m nel serbatoio di Provvidenza. Viene dunque scelto un valore pari a 8.5 m, così da avere una quota di 1'036.50 m s.l.m. in asse.

4.8.3 Transitori nel pozzo piezometrico di monte nelle condizioni di progetto

Manovra	Tempo necessario [s]
Avviamento pompa	160
Avviamento turbina	70
Turbinaggio – pompaggio	420
Pompaggio – turbinaggio	190
Arresto brusco	20

Tabella 21: Tempi di manovra concordati con Enel GP per le verifiche dei transitori nel pozzo piezometrico di monte.

Il pozzo piezometrico in galleria ha un diametro di 5 m e una pendenza del 6.95% (vedasi §4.8.1).

Nelle seguenti figure si illustrano i transitori con i tempi di regolazione elencati in **Tabella 21** e le portate riportate in **Tabella 20**. Le quote inferiore e superiore del pozzo corrispondono a 1'284 rispettivamente a 1'330 m s.l.m., mentre quelle di minima e massima regolazione del serbatoio di Campotosto corrispondono a 1'294 rispettivamente 1'317.5 m s.l.m..

Onde quantificare le perdite nella strozzatura del pozzo si fa riferimento in particolare al procedimento riportato in [6]. Nello specifico, la strozzatura viene caratterizzata da due fattori principali:

- $\alpha = t/D = 4.5/4.5 = 1$;
- $\beta = d/D = 3.0/5.0 = 0.6$.

Questi fattori sono schematizzati in **Figura 39**.

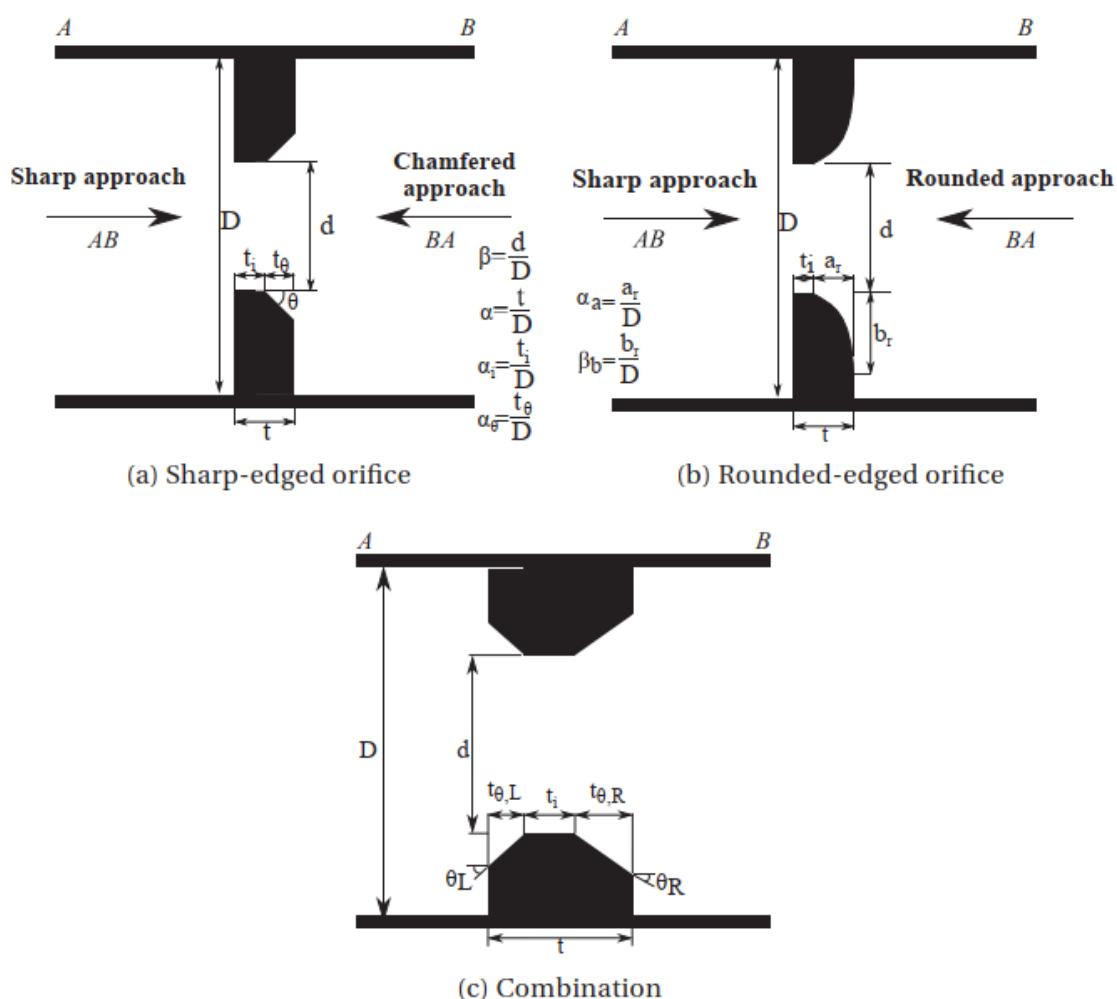


Figura 39: Determinazione dei fattori di spessore e di contrazione α e β per diverse forme di strozzature [6]

Con questi parametri si ottiene un valore della perdita espressa in termini di DH/Q^2 pari a 0.000102.

Avviamento generazione (70 s) fino a regime, alla minima regolazione

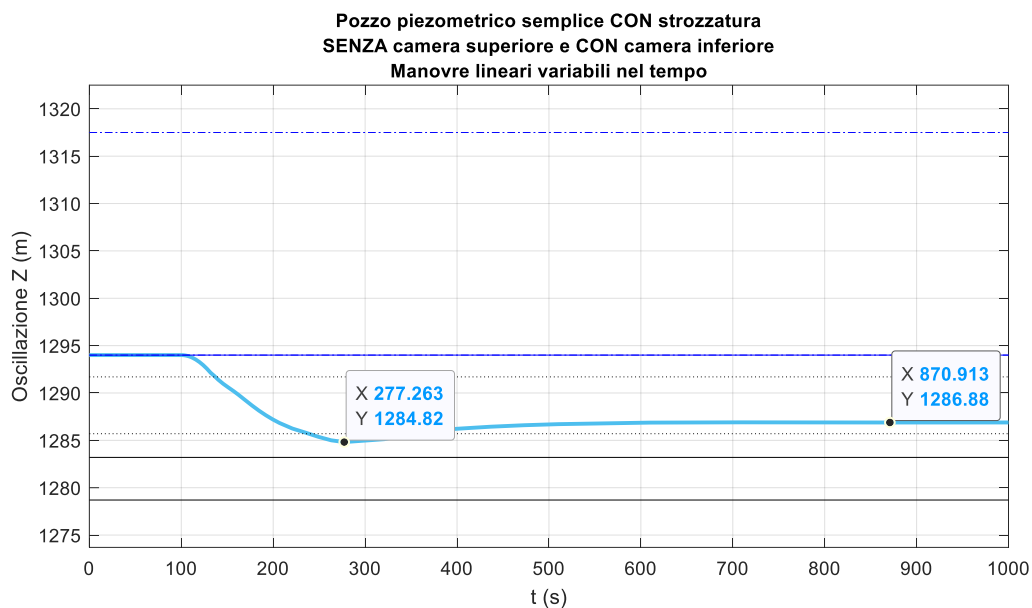


Figura 40: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di avviamento generazione con serbatoio di Campotosto alla quota di minima regolazione.

Avviamento pompaggio (160 s) fino a regime alla massima regolazione

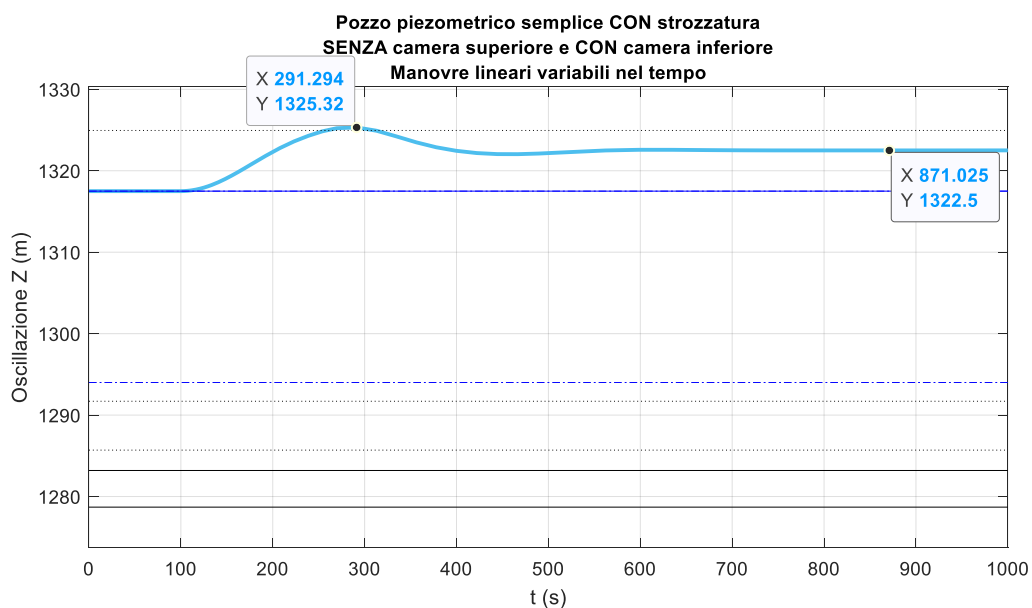


Figura 41: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di avviamento pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.

Commutazione generazione → pompaggio (420 s), alla massima regolazione

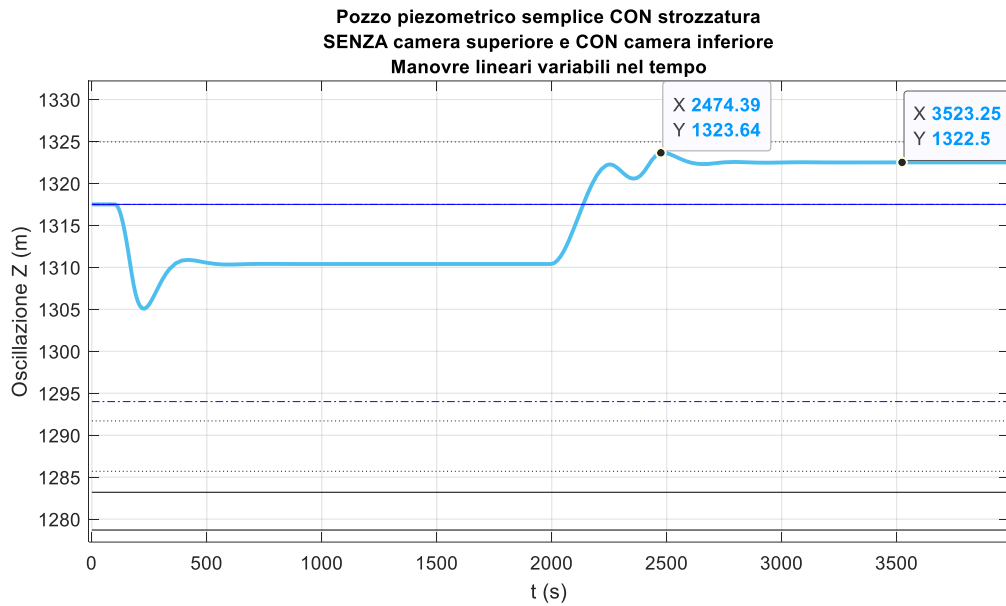


Figura 42: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di commutazione generazione – pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.

Brusco arresto generazione (20 s), alla massima regolazione

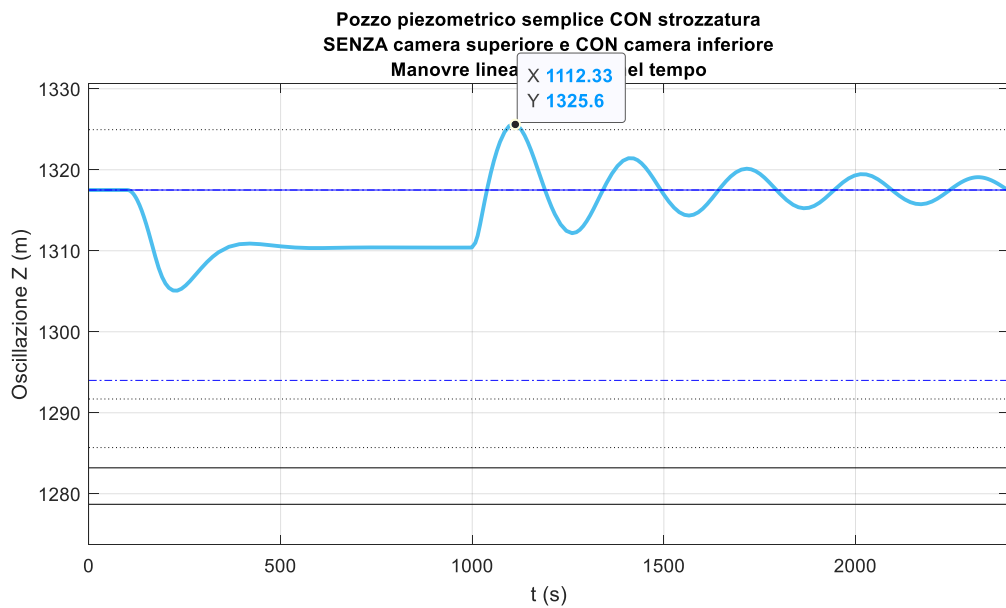


Figura 43: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di brusco arresto generazione con serbatoio di Campotosto alla quota di massima regolazione.

Brusco arresto pompaggio (20 s), alla minima regolazione

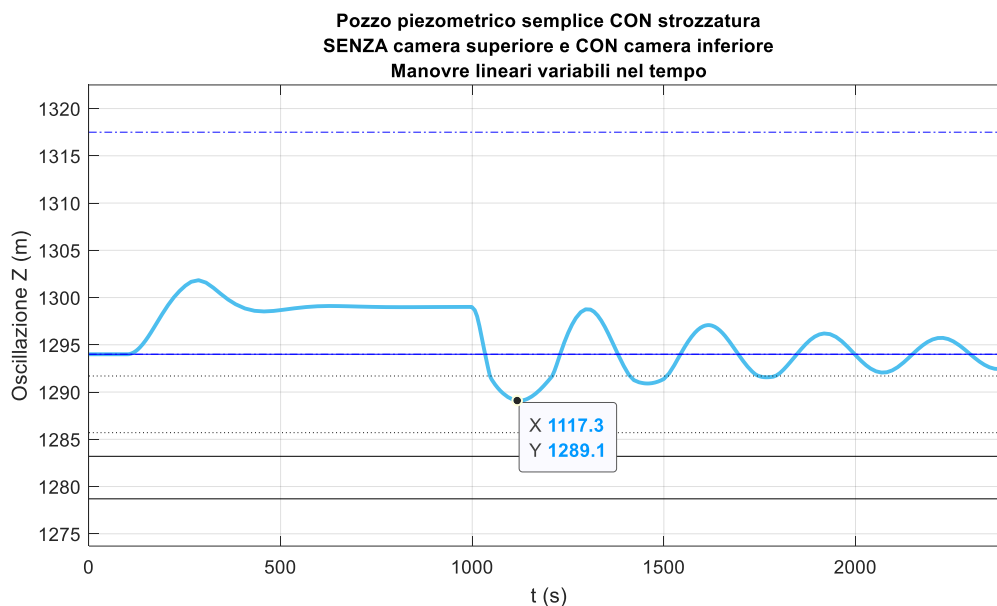


Figura 44: Nuovo pozzo piezometrico di monte: manovra di brusco arresto pompaggio con serbatoio di Campotosto alla quota di minima regolazione.

4.8.4 *Transitori nel pozzo piezometrico di valle nelle condizioni di progetto*

Manovra	Tempo necessario [s]
Avviamento pompa	160
Avviamento turbina	70
Turbinaggio – pompaggio	420
Pompaggio – turbinaggio	190
Arresto brusco	20

Tabella 22: Tempi di manovra concordati con Enel GP per le verifiche dei transitori nel pozzo piezometrico di valle.

Il pozzo piezometrico in galleria ha un diametro equivalente di 7.6 m e una pendenza del 15.57% (vedasi §4.8.1).

Onde quantificare le perdite nella strozzatura del pozzo si fa riferimento in particolare al procedimento riportato in [6]. Nello specifico, la strozzatura viene caratterizzata da due fattori principali:

- $\alpha = t/D = 3.0/3.0 = 1$;
- $\beta = d/D = 2.0/3.0 \approx 0.6$.

Ricavando il valore di perdita della strozzatura pari a $DH/Q^2 = 0.000618$ in entrambe le direzioni.

Nelle seguenti figure si illustrano i transitori con i tempi di regolazione elencati in **Tabella 22** e le portate riportate in **Tabella 20**.

Le quote inferiore e superiore del pozzo corrispondono a 1'004.56 rispettivamente a 1'085.00 m s.l.m., mentre quelle di minima e massima regolazione del serbatoio di Provvidenza corrispondono a 1'045.00 rispettivamente 1'060.00 m s.l.m..

Avviamento pompaggio (160 s) fino a regime, alla minima regolazione

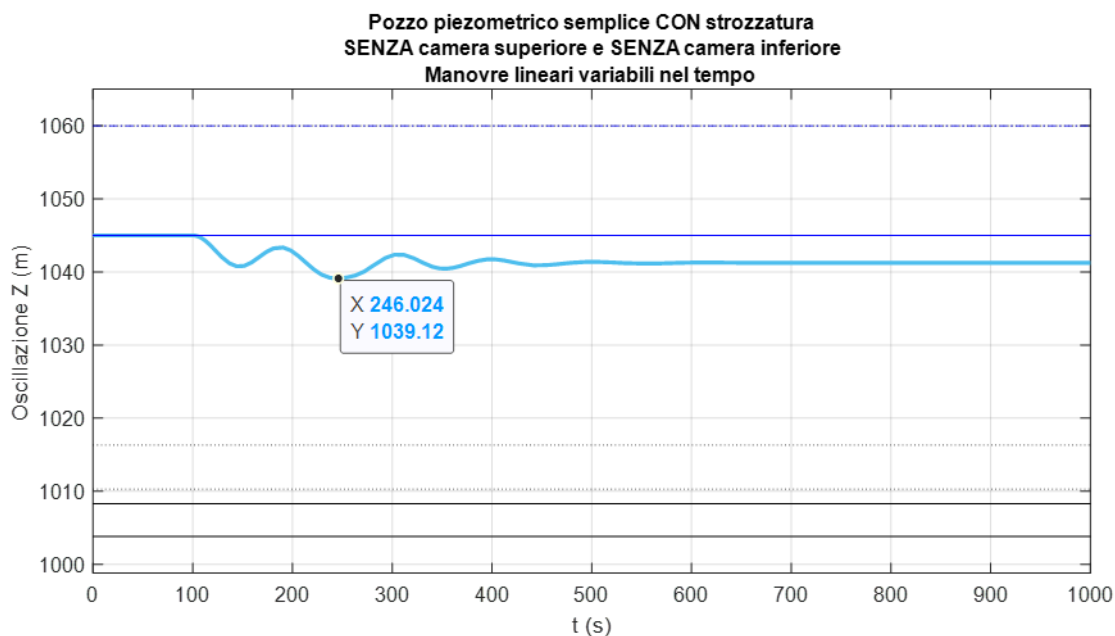


Figura 45: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di avviamento pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.

Brusco arresto pompaggio (20 s), alla massima regolazione

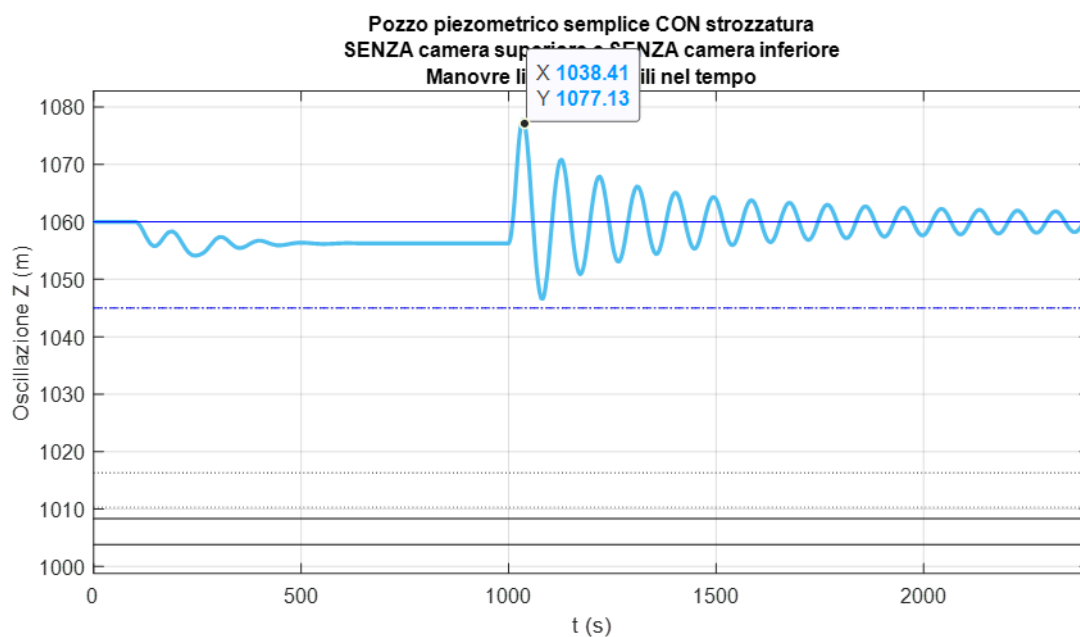


Figura 46: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di brusco arresto pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.

Avviamento generazione (70 s), alla massima regolazione

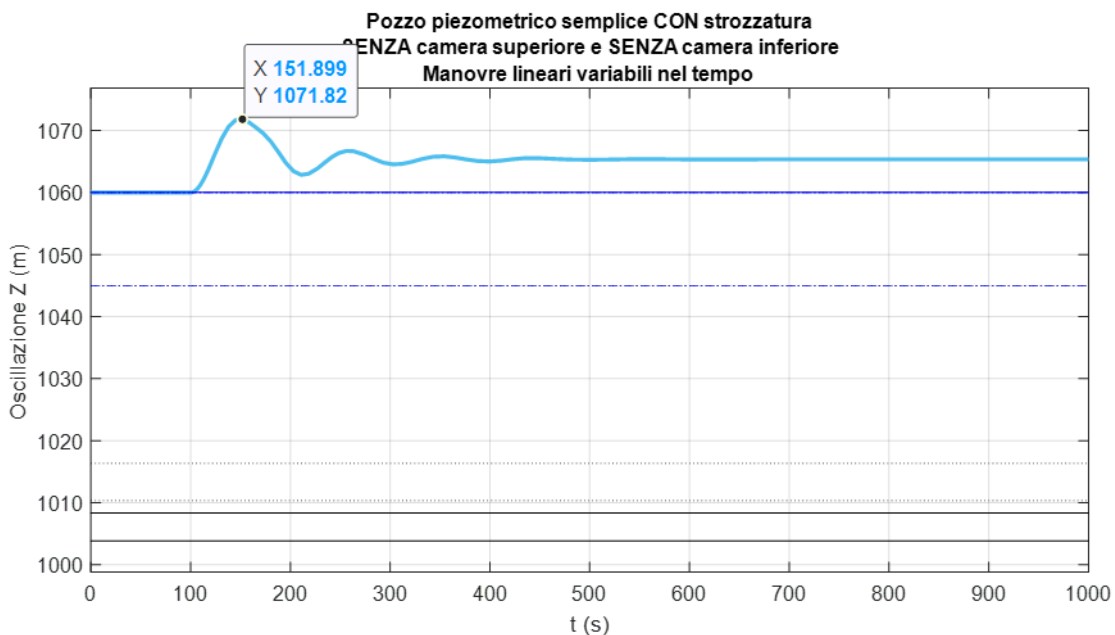


Figura 47: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra avviamento generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.

Brusco arresto generazione (20 s), alla massima regolazione

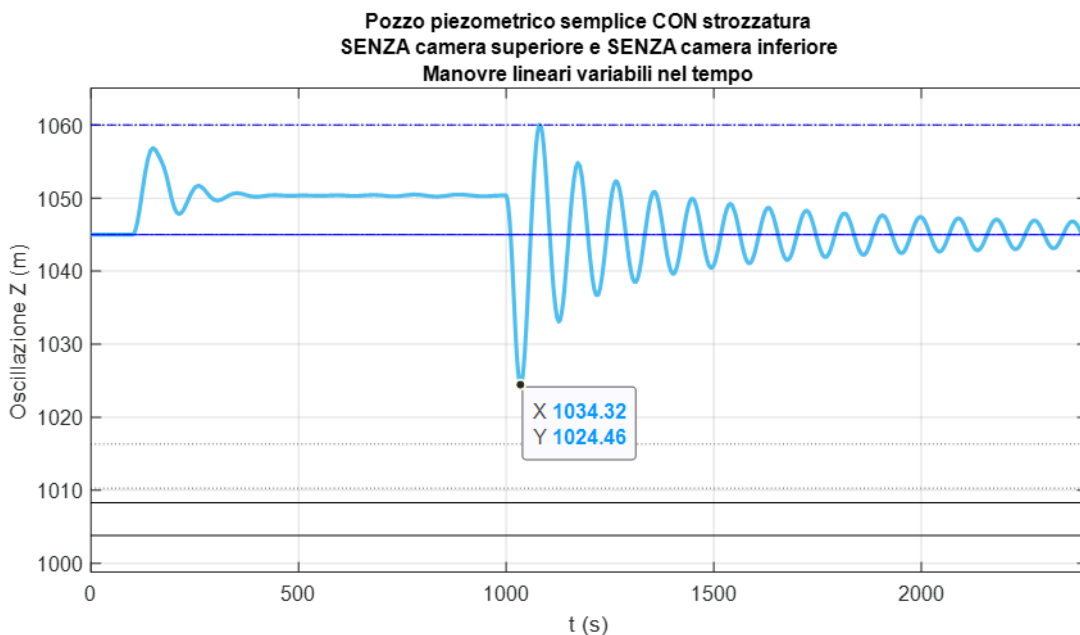


Figura 48: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di brusco arresto generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.

Commutazione pompaggio → generazione (190 s), alla minima regolazione

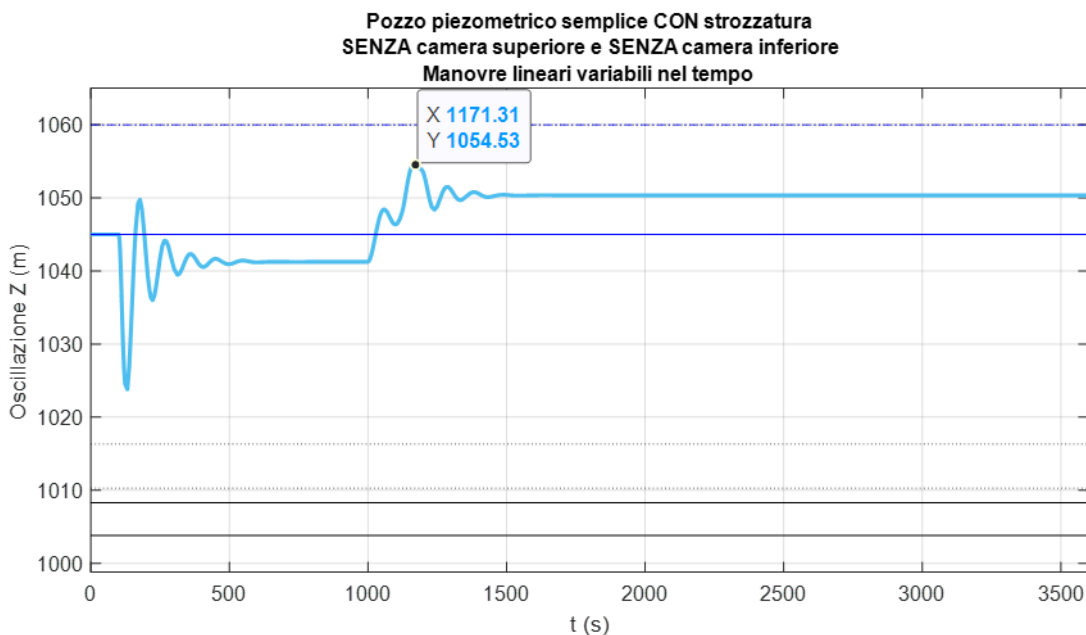


Figura 49: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di commutazione pompaggio – generazione con serbatoio di Provvidenza alla quota di minima regolazione.

Commutazione generazione → pompaggio (420 s), alla massima regolazione

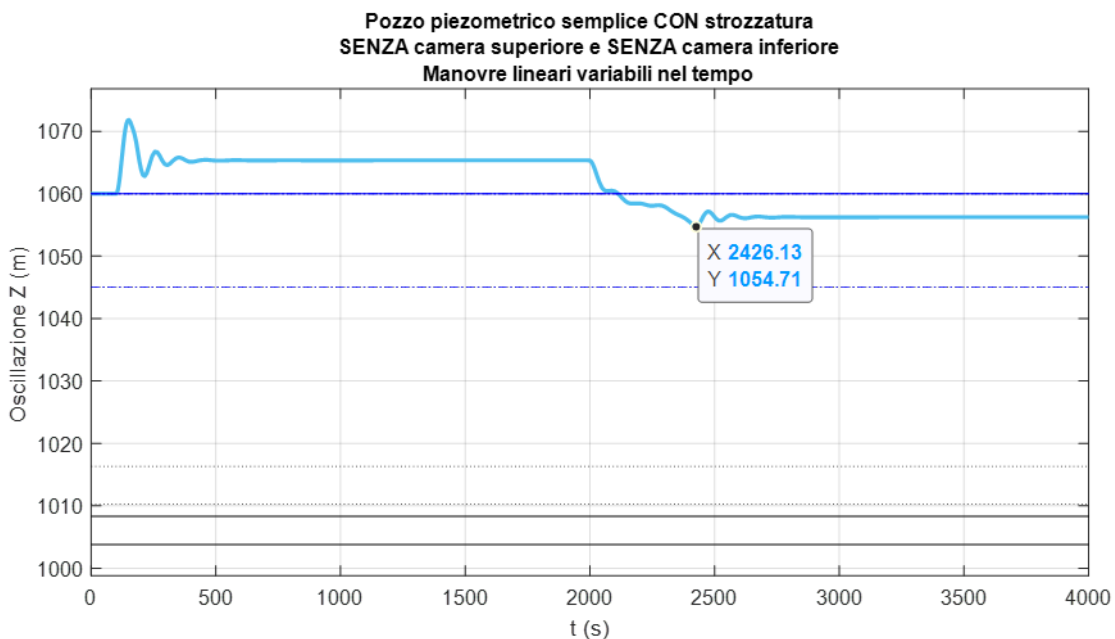


Figura 50: Nuovo pozzo piezometrico di valle: manovra di commutazione generazione – pompaggio con serbatoio di Provvidenza alla quota di massima regolazione.

4.8.5 Sollecitazioni dovute al Colpo d'Ariete

Si considerano gli effetti indotti dall'introduzione dei due nuovi gruppi reversibili.

Le massime sovrappressioni e sottopressioni causate dal colpo d'ariete vengono in questa fase calcolate con la formula semplificata di Allievi-Michaud, che a seconda del tipo di manovra, definisce le massime sovrappressioni riscontrabili all'otturatore:

Per manovre brusche ($T_M > T_{CR}$) si ha:

$$\Delta h = c \cdot \frac{\Delta V}{g}$$

Per manovre lente ($T_M \leq T_{CR}$) si ha:

$$\Delta h = \frac{2L}{T_M} \cdot \frac{\Delta V}{g}$$

dove:

- ΔV la variazione di velocità in condotta (m/s)
- L lunghezza della condotta (m)
- c celerità di propagazione delle onde (m/s)
- g accelerazione di gravità (m/s²)
- T_M tempo di manovra (s)
- T_{CR} tempo critico della condotta forzata, pari a $T_{cr} = 2L/c$.

CF Campotosto

La C.F. nuova lunga circa 313.6 m (considerando una lunghezza media in corrispondenza della biforcazione) ha diametro interno 2'000 mm. La verifica viene condotta sulla sezione vicina all'otturatore.

Tempo di manovra $T_m = 20$ s;

Celerità onde: $c = 1000$ m/s (stima);

$T_{cr} = 2L/c = 2 \cdot 313.6 / 1000 = 0.63$ secondi.

Dato che $T_{cr} < T_m$, la manovra è lenta.

Fase di turbinaggio:

Massima portata transitante: 43.0 m³/s per gruppo;

Massima velocità in C.F. 13.69 m/s;

La massima sovrappressione per effetto del colpo d'ariete risulta:

$$\Delta H_{max} = \pm 2 \cdot 313.6 / 20 \cdot 13.69 / 9.81 = \pm 43.78 \text{ mH}_2\text{O}$$

Fase di pompaggio:

Massima portata transitante: 36.0 m³/s per gruppo;

Massima velocità in C.F. 11.46 m/s;

La massima sovrappressione per effetto del colpo d'ariete risulta:

$$\Delta H_{\max} = \pm 2 \cdot 313.6 / 20 \cdot 11.46 / 9.81 = \pm 36.65 \text{ mH}_2\text{O}$$

4.8.6 Stato tensionale nelle Gallerie e nelle Condotte Forzate

Inversione di piezometrica lungo la derivazione Campotosto (fase di pompaggio)

Serbatoio Campotosto:	Quota di massimo invaso originario:	1'318.25 m slm;
	Quota di massima regolazione:	1'317.50 m slm;
Portata del pompaggio:		72.0 m ³ /s;
Perdite di carico:	Galleria forzata:	0.00111*72.0 ² = 5.75 m
	Condotta forzata:	0.00105*72.0 ² = 5.44 m
Quote piezometriche:	Pozzo piezom.:	1'318.25+5.75 = 1'324.00 m slm
	Base C.F.:	1'324.00 + 5.44 = 1'329.44 m slm
Quote asse condotta:	Galleria @pozzo:	1'281.41 m slm
	C.F. @ base:	1'005.00 m slm (asse nuovi gruppi reversibili)

Le sovrappressioni dovute all'inversione della piezometrica vengono espresse in metri di colonna d'acqua e confrontate con i rispettivi valori statici:

Oggetto	Pressione Statica (mH ₂ O) @ max. invaso originario	Pressione in moto stazionario con piezometrica invertita (mH ₂ O)
Galleria, al pozzo piezometrico	36.84	48.03 (+30.4%)
Condotta Forzata, alla base	313.25	324.44 (+3.6%)

Tabella 23: Derivazione Campotosto – piezometriche – pompaggio con Q_{tot} = 72.0 m³/s.

Inversione di piezometrica lungo la galleria di adduzione (fase di turbinaggio)

Serbatoio Campotosto:	Quota di massimo invaso originario:	1'318.25 m slm;
	Quota di massima regolazione:	1'317.50 m slm;
Portata del turbinaggio:		86.0 m ³ /s;
Perdite di carico:	Galleria forzata:	0.00101*86.0 ² = 8.21 m

	Condotta forzata:	$0.00010 \cdot 86.0^2 = 7.76 \text{ m}$
Quote piezometriche:	Pozzo piezom.:	$1'318.25 + 8.21 = 1'326.46 \text{ m slm}$
	Base C.F.:	$1'326.46 + 7.76 = 1'334.22 \text{ m slm}$
Quote asse condotta:	Galleria @pozzo:	$1'281.41 \text{ m slm}$
	C.F. @ base:	$1'005.00 \text{ m slm}$ (asse nuovi gruppi reversibili)

Le sovrappressioni dovute all'inversione della piezometrica vengono espresse in metri di colonna d'acqua e confrontate con i rispettivi valori statici:

Oggetto	Pressione Statica (mH2O) @ max. invaso originario	Pressione in moto stazionario con piezometrica invertita (mH2O)
Galleria, al pozzo piezometrico	36.84	52.81 (+43.3%)
Condotta Forzata, alla base	313.25	329.22 (+5.1%)

Tabella 24: Galleria di adduzione – piezometriche – turbinaggio con $Q_{tot} = 86.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si procede ora alla valutazione dello spessore della condotta forzata Campotosto secondo il caso di carico più sfavorevole (pompaggio).

Viene imposto un valore massimo tensionale nella condotta pari a 120 N/mm^2 , inferiore alla massima tensione ammissibile di 156 N/mm^2 . Lo spessore necessario risulta dalla formula di Mariotte.

Per il modo pompaggio lungo la derivazione Campotosto, si ottengono i valori riportati in **Tabella 25**.

Carico Statico +Pozzo +Colpo Ariete (mH2O)	Pressione (MPa)	Diametro (mm)	σ (N/mm ²)	σ ammissibile (N/mm ²)	Spessore (mm)
$313.25 + 7.82 + 36.65 =$ 357.72	3.51	2'000	120.00	156.00	29

Tabella 25: Condotta Forzata Campotosto – pompaggio – verifica di resistenza per i nuovi gruppi reversibili.

Lo spessore della condotta forzata viene aumentato di 2 mm per protezione dalla corrosione. Si ottiene dunque un valore pari a 31 mm.

4.8.7 Considerazioni sulla fatica strutturale nelle condotte forzate

Durante l'intera vita utile, le condotte forzate sono soggette a fenomeni ciclici di variazioni di tensione, che possono essere a grandi linee classificabili come segue:

- Variazioni dovute alle oscillazioni stagionali di livello nel serbatoio, che dipendono sia dal regime idrologico che dalla capacità propria di regolazione e dalle modalità di gestione in funzione delle necessità di produzione;
- Variazioni dovute ai transitori idraulici, con particolare riferimento:

- Alle oscillazioni nel pozzo piezometrico a seguito di manovre;
- Alle sovrappressioni generate dal colpo d'ariete.

Storicamente, la resistenza a fatica dei materiali e dei collegamenti non veniva valutata, in quanto le tensioni ammissibili nella sezione venivano calcolate utilizzando le pressioni di collaudo, del 150% superiori a quelle massime di esercizio, verifica ritenuta in generale sufficiente a garantire l'integrità strutturale delle opere nel corso della vita utile dell'impianto.

Inoltre, le sezioni venivano poi dotate di un sovrappessore di corrosione generalmente pari ad un paio di millimetri.

Molteplici studi hanno dimostrato che, al superamento dello stato tensionale minimo al di sotto del quale il fenomeno non si presenta, la resistenza a fatica non dipende dallo stato tensionale in cui il materiale si trova, ma dalla frequenza dei cicli di variazione.

L'introduzione all'interno di uno schema esistente di un nuovo gruppo di pompaggio modifica tale frequenza, incrementandola e riducendo conseguentemente il campo delle variazioni di tensione ammissibili.

Qui di seguito si considera un approccio semplificato, al fine di ottenere una sensibilità sulla problematica per l'impianto oggetto di studio.

Si assume che le azioni taglianti siano trascurabili rispetto a quelle flessionali.

Secondo l'EC3 Parte 9, deve valere la disuguaglianza:

$$\gamma_F \cdot \Delta\sigma_{NOM} \leq \Delta\sigma_{RES} / \gamma_M$$

Dove

- $\Delta\sigma_{NOM}$ sono le variazioni cicliche applicate, moltiplicate per un eventuale fattore di sicurezza γ_F , che può assumersi pari ad 1.0;
- $\Delta\sigma_{RES}$ sono le variazioni cicliche ammissibili, divise per il fattore di sicurezza γ_M , che in caso di collegamenti importanti può assumersi pari ad 1.25;

Considerando tubazioni circolari con giunzioni saldate (cfr. EC3 Parte 9 tabella 8.3 fig. 14), viene definita la cosiddetta "categoria di dettaglio", pari a

$$\Delta\sigma_C = k_s \cdot 71 \quad \text{N/mm}^2, \quad \text{con } k_s = \left(25/t\right)^{0.2} \quad \text{e "t" spessore in mm del tubo,}$$

dove k_s è un fattore di riduzione legato allo spessore, da applicare per spessori maggiori di 25 mm.

La categoria di dettaglio in pratica definisce la curva di riferimento in base alla quale calcolare $\Delta\sigma_{RES}$, detta anche curva di Wohler, che nell'EC viene espressa come curva segmentata in scala bilogarithmica:

$$\log(N) = \log(a) - m \cdot \log(\Delta\sigma_{RES})$$

Dove

- N è il numero di cicli
- $a = 2 \cdot 10^6 \cdot (\Delta\sigma_c)^m$ è una costante che dipende dalla “detail category”
- m è la pendenza dei tratti, avente valore 3 e/o 5
- $\Delta\sigma_{RES}$ è la risultante resistenza a fatica, funzione del N. cicli

Sono inoltre definiti i seguenti $\Delta\sigma$ notevoli:

- per $N=2 \cdot 10^6$ $\Delta\sigma_c$
- per $N=5 \cdot 10^6$ $\Delta\sigma_D = 0.737 \cdot \Delta\sigma_c$ rappresenta il punto di cambio pendenza
- per $N=1 \cdot 10^8$ $\Delta\sigma_L = 0.549 \cdot \Delta\sigma_D$ rappresenta il punto di “cutoff”

Nel caso in esame si ottengono dunque la curva caratteristica di riferimento della resistenza a fatica, quella caratteristica ridotta e quella di progetto:

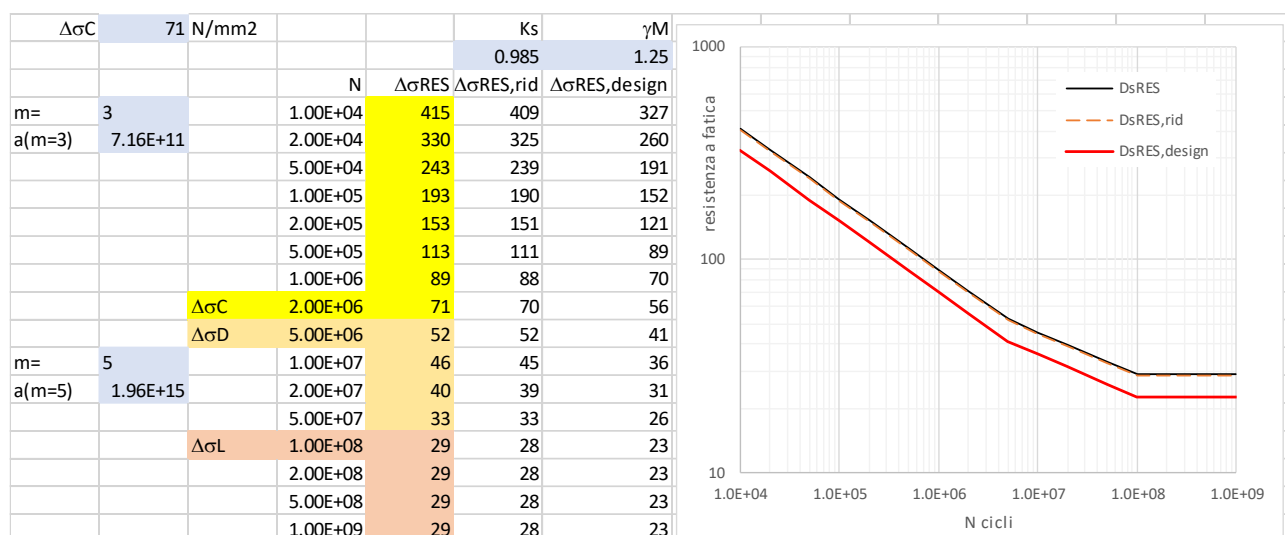


Figura 51: Diagramma di Wohler della resistenza a fatica.

Definizione delle azioni di progetto

Condotta forzata di monte durante il pompaggio:

La condotta forzata ha diametro pari a 2'000 mm e spessore 31 mm circa ad elev. 1'005.00 m slm.

La resistenza di design dell'acciaio non è nota. Si ipotizza che sia pari a 156 N/mm².

La quota di massimo invaso si pone ad elev. 1'318.25 m slm, esercitando sulla condotta una pressione statica pari a 3.51 Mpa, a cui corrisponde, utilizzando la formula di Mariotte, una tensione pari a $\sigma = 120.0$ N/mm².

- il massimo sopralzo nel pozzo piezometrico durante le manovre pari a ± 7.82 m, si ottiene una variazione di pressione pari a $\Delta p_{NOM,PP} = 0.077$ MPa.
- la sovrappressione del colpo d'ariete pari al massimo consentito dalla normativa vigente ovvero $\Delta p_{NOM,CA} = 0.36$ MPa.

Si ottiene la massima $\Delta p_{NOM} = 0.44 \text{ MPa}$, a cui corrisponde il valore di progetto dell'ampiezza di un ciclo, pari a:

$$\Delta \sigma_{NOM} = 14.2 \text{ N/mm}^2$$

Occorre ora individuare il numero di cicli a cui tale valore si riferisce.

Nel caso di impianto "di punta" tradizionale con sola generazione, si ipotizza che vengano effettuate 4 manovre al giorno e che all'interno di ciascuna manovra il valore di massima ampiezza sopra calcolato si ripresenti per almeno 10 volte.

Supponendo la vita passata pari a 70 anni, il numero di cicli già effettuato risulta pari a:

$$N(70) = 70 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 10 \approx 1.0 \cdot 10^6 \quad \text{cicli.}$$

La resistenza a fatica di design corrisponde a 70.0 N/mm^2 , e pertanto risulta verificata la disuguaglianza, con un fattore di sicurezza pari a $70/14.2 = 4.9$.

Introducendo i nuovi gruppi reversibili, e supponendo una vita utile di 30 anni, si effettueranno almeno 40 manovre al giorno, e pertanto il numero di cicli aggiuntivo risulterebbe essere:

$$\Delta N(30) = 30 \cdot 365 \cdot 40 \cdot 10 \approx 4.4 \cdot 10^6 \quad \text{cicli.}$$

Pertanto, al nuovo traguardo di vita si avrà un numero di cicli pari a:

$$N'(100) = N + \Delta N \approx 5.4 \cdot 10^6 \quad \text{cicli.}$$

La resistenza a fatica di design corrisponderà dunque a 41.0 N/mm^2 , e pertanto risulta verificata la disuguaglianza, con un fattore di sicurezza pari a $41/14.2 = 2.89$.

5. CONCLUSIONI

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 reversibili nell'impianto idroelettrico di Provvidenza, di proprietà Enel Produzione SpA, sito nel Comune di L'Aquila (AQ).

L'intervento in progetto prevede il rifacimento completo dell'impianto di generazione e pompaggio esistente al fine di ottenere una nuova potenza elettrica installata di circa 2x110 MVA. L'idea di potenziamento nasce per iniziativa delle strutture Tecniche di Enel Green Power. Le nuove portate massime d'impianto sono: 72.0 m³/s in pompaggio e 86.0 m³/s in generazione.

Nel presente rapporto si sono valutati tutti gli aspetti idraulici più significativi quali il calcolo delle perdite di carico, la verifica della sommergenza e le sovrappressioni (positive e negative) generate dal colpo d'ariete. Sono state eseguite inoltre delle simulazioni idrauliche per la verifica dei fenomeni transitori all'interno della galleria di derivazione e di scarico.

I valori di scabrezza delle condotte sono stati valutati sulla base dell'esperienza, non essendo al momento disponibili resoconti di visite ispettive delle condotte e gallerie o prove di rendimento delle macchine che includessero valutazioni sulle condotte, dati che sono stati richiesti al Cliente.

Lo schema progettuale è stato sviluppato cercando di minimizzare l'impatto ambientale e preservando, per quanto possibile, le strutture esistenti. La soluzione individuata ed idraulicamente verificata prevede:

- una nuova centrale in caverna, che ospita i due nuovi gruppi reversibili da circa 110 MVA;
- un nuovo pozzo piezometrico di monte ed il suo collegamento alla esistente galleria di adduzione;
- una nuova condotta forzata, che consiste nel collegamento al nuovo pozzo piezometrico, una discenderia in pozzo forzato con biforcazione per l'alimentazione dei due nuovi gruppi reversibili;
- una nuova galleria forzata di scarico/aspirazione verso valle (serbatoio Provvidenza), una camera paratoie ed una nuova presa dal serbatoio di Provvidenza;
- Sistemi elettrici di potenza e controllo;
- Una eventuale nuova sottostazione GIS da realizzarsi all'interno della esistente caverna di centrale con l'eliminazione di quella all'aperto ad eccezione degli stacchi per la partenza delle linee esistenti.

I risultati ottenuti, in termini generali, dimostrano che il sistema idraulico esistente con le modifiche previste a progetto risulta correttamente dimensionato dal punto di vista idraulico e tale da favorire lo smorzamento delle oscillazioni di massa durante le manovre ipotizzate.

È importante sottolineare, comunque sia, che uno studio più approfondito del moto transitorio potrà essere effettuato solo una volta note le caratteristiche esatte della turbina reversibile.