



Sede Legale:
Via Lamarmora 230, 25124 Brescia
Sede direzionale e amministrativa:
Corso di Porta Vittoria 4, 20122 Milano
A2A/DGE/BGT/IMI/SII/OIC

Pratica: 10320	Intervento di miglioramento sismico della diga di Trepidò
Documento:	10320-C-OR-DTR-S-PN-210-1
Note:	Rif. M_inf.digheidrel.registro ufficiale.u.0009203.11-04-2019

**IMPIANTO IDROELETTRICO DI:
ORICHELLA**

**DIGA DI:
TREPIDO'**

**OGGETTO: Progetto Definitivo per l'intervento di miglioramento sismico della Diga di Trepidò
PIANO DI INSTALLAZIONE STRUMENTALE**

CONSULENTE:



Il progettista:
Dott. Ing. Marco Braghini

CONCESSIONARIO:



Visto
L'ingegnere Responsabile:
Dott. Ing. Paolo Valgoi

Visto
Il Legale Rappresentante:
Roberto Scottoni

TIPO DOCUMENTO:

PIANO

			LOMBARDI			A2A		
REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
2								
1	27/10/2023	Prima emissione	C. Rossini	C. Crèmer	M. Braghini	-	P. Valgoi	R. Castellano
0	06/10/2023	Emissione per commenti	C. Rossini	C. Crèmer	M. Braghini	-	P. Valgoi	R. Castellano

IMPIANTI IDROELETTRICI DELLA SILA DIGA DI TREPIDÒ

PROGETTO DEFINITIVO INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO



PIANO DI INSTALLAZIONE STRUMENTALE

10320-C-OR-DTR-S-PN-210-1

1	27.10.2023	Ros	Cr
0	06.10.2023	Ros	Cr
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	Struttura della relazione	2
2.	RIFERIMENTI	3
3.	DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE	4
3.1	Generalità	4
3.2	Misure idrometeorologiche	4
3.2.1	Analisi delle misurazioni	5
3.3	Spostamenti piano-altimetrici	7
3.3.1	Generalità	7
3.3.2	Pendoli rovesci	7
3.3.3	Collimazione	7
3.3.4	Estensimetri	8
3.3.5	Analisi delle misurazioni	9
3.4	Movimenti dei giunti della diga	12
3.4.1	Analisi delle misurazioni	13
3.5	Temperatura del corpo murario	15
3.5.1	Analisi delle misurazioni	16
3.6	Sottopressioni	16
3.6.1	Analisi delle misurazioni	17
3.7	Perdite	20
3.7.1	Analisi delle misurazioni	22
4.	INTEGRAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE	24
4.1	Generalità	24
4.2	Misure idrometeorologiche	25
4.3	Misure accelerometriche	25
4.4	Spostamenti piano-altimetrici	25
4.4.1	Sbarramento principale	25
4.4.2	Rilevato	26
4.4.3	Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti	26

4.5	Movimenti dei giunti	27
4.5.1	Sbarramento principale	27
4.5.2	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio e nuovo cunicolo di acceso/scarico di fondo	27
4.5.3	Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti	27
4.6	Misura delle sottopressioni	27
4.6.1	Sbarramento principale e secondario	27
4.6.2	Rilevato	28
4.6.3	Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti	29
4.7	Perdite	29
4.7.1	Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti	30
4.8	Strumentazione di monitoraggio post-intervento e frequenza di lettura	30
4.9	Sistema di gestione delle misurazioni	32
5.	CONCLUSIONI	35

1. INTRODUZIONE

La diga di Trepidò (n. di archivio 85 – RID 39) si trova sul confine dei comuni di San Giovanni in Fiore (CS) e Cotronei (KR), ed è uno sbarramento a gravità in muratura di pietrame con fondazioni in calcestruzzo, di altezza massima di circa 32.50 m, formato da un corpo principale ad asse leggermente arcuato, collegato ad uno sbarramento secondario in calcestruzzo mediante un pilone di forma poligonale presente in sponda sinistra. Lo sbarramento genera il serbatoio dell'Ampollino nell'Altopiano della Sila ed è alla testa di un importante schema di impianti idroelettrici in cascata, di cui A2A è proprietaria e gestore. La diga è stata realizzata negli anni 1923-1927 quando ancora non esisteva una normativa nazionale specifica nel campo delle dighe ed il sito non era considerato zona sismica.

Nel dicembre 2015 la società CESI ha valutato, per conto di A2A, la vulnerabilità sismica della diga, ai sensi delle Norme Tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (DM 26/06/2014). Nell'aprile 2019 la DG DIGHE ha evidenziato la necessità di prevedere interventi principalmente finalizzati al miglioramento sismico dello sbarramento.

Nel settembre 2020 A2A trasmetteva alla DG DIGHE il progetto con l'analisi della fattibilità tecnica degli interventi di miglioramento sismico, redatto dalla società Lombardi, ed approvato dalla DG DIGHE stessa nel febbraio 2021. Il progetto prevedeva sia una serie d'interventi di rinforzo del corpo diga esistente, che la realizzazione di un rilevato in terra in adiacenza al paramento di valle dello sbarramento principale in muratura. Il progetto prevedeva anche una serie di attività propedeutiche al successivo livello di progettazione, finalizzate ad approfondire la conoscenza sia della diga che della roccia di fondazione, oltre alla conferma della geometria riportata negli elaborati progettuali storici. Tali approfondimenti si sono poi concretizzati in una campagna indagine in sito (agosto – novembre 2021) e successive prove di laboratorio sui campioni di materiale prelevato.

Nel presente documento, che è parte integrante del Progetto Definitivo degli interventi di miglioramento sismico della diga di Trepidò, si descrivono gli interventi finalizzati alla definizione della configurazione del nuovo sistema di monitoraggio della diga.

Le quote altimetriche indicate in progetto, ove non specificatamente indicato, sono quelle rilevate dal Politecnico di Milano nel 2019 che risultano essere traslate verso l'alto di 10,17 m rispetto a quelle riportate nella documentazione storica della diga ed usualmente utilizzate; tale differenza di quota sussiste per l'intera asta idroelettrica.

1.1 Struttura della relazione

La relazione è articolata nei seguenti capitoli:

- **Capitolo 2 - Riferimenti**

Sono elencati i principali documenti utilizzati come riferimento per la redazione della presente relazione.

- **Capitolo 3 – Descrizione del sistema di monitoraggio esistente**

Descrive il sistema di monitoraggio esistente della diga.

- **Capitolo 4 – Interventi di integrazione del sistema di monitoraggio esistente**

Descrive gli interventi di integrazione del sistema di monitoraggio esistente.

- **Capitolo 5 – Conclusioni**

Contiene una sintesi e le conclusioni del presente documento.

2. RIFERIMENTI

- [1] CESI - Diga di Trepido '-Verifica sismica ai sensi della Nuova normativa Dighe (DM 26-06-2014) - B3003891, Dicembre 2015.
- [2] Diga di Trepidò, Diagrammi delle misure Gennaio 2015 – Dicembre 2019, Asseverazione 21 Febbraio 2020.
- [3] Diga di Trepidò, Diagrammi delle misure Gennaio 2018 – Dicembre 2022, Asseverazione 22 Febbraio 2023.
- [4] Servizio Nazionale Dighe - Diga di Trepidò: Foglio di Condizioni per l'Esercizio e la Manutenzione, Luglio 1997.

3. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE

3.1 Generalità

Il sistema di monitoraggio attualmente installato nella diga consente la misura delle seguenti grandezze:

- Misure idrometeorologiche;
- Spostamenti plano-altimetrici;
- Movimenti dei giunti della diga;
- Temperatura del corpo murario;
- Sottopressioni;
- Perdite.

Nei seguenti paragrafi si descrive brevemente la strumentazione attualmente installata nel corpo diga. Inoltre, per le principali grandezze misurate, si riporta un'analisi sintetica dei dati di monitoraggio.

Si evidenzia che le quote altimetriche contenute negli estratti del documento [1] e nei grafici estratti dai documenti [2] e [3] riportati di seguito si riferiscono al sistema di riferimento del progetto originale (quota coronamento diga pari a 1274,10 m s.l.m.).

3.2 Misure idrometeorologiche

La Tabella 1 sintetizza le principali misure meteorologiche effettuate al sito diga.

Parametro	Strumentazione	Ubicazione	Frequenza di lettura
Temperatura dell'area (minima massima)	Termometro installato nella stazione meteorologica	Pilone destro	Giornaliera (A)
Pioggia	Pluviografo installato nella stazione meteorologica	Pilone destro	Giornaliera (A)
Manto nevoso	Palina metrica	-	Giornaliera (M)
Spessore del ghiaccio		-	Giornaliera (M)
Livello d'invaso	Sensore piezoresistivo	-	Giornaliera (A)
Temperatura dell'acqua	Termometro a immersione	Superficie 5 m di profondità	Giornaliera (M)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 1: Misure idrometeorologiche

3.2.1 *Analisi delle misurazioni*

Per il periodo precedente al 2015 si riporta un estratto delle considerazioni contenute nel documento [1] redatto da CESI:

La massima temperatura dell'aria è stata registrata il 22 Giugno 2002 (40°C), mentre la minima il 24 Febbraio 1992 (-22°C). La temperatura media giornaliera dell'aria (media tra le temperature massime e minime registrate giornalmente) presenta escursioni annue con massimi tra la seconda metà di Luglio e la prima metà di Agosto e minimi fra la seconda metà del mese di Gennaio e la prima metà di Febbraio. La temperatura dell'acqua in superficie e a -5 m varia stagionalmente tra 0°C e 20-22°C, con valori lievemente più contenuti (+/- 1°C / 2°C) in profondità. Generalmente i minimi vengono raggiunti nel bimestre Gennaio-Febbraio mentre i massimi vengono raggiunti nel mese di Luglio. L'invaso presenta una regolazione stagionale con massimi generalmente a cavallo tra la stagione primaverile e quella estiva e minimi generalmente nella stagione autunnale/invernale. L'oscillazione massima del livello d'invaso varia fra q. 1271,0 e 1255,0 m s.m.; negli ultimi 15 anni le oscillazioni sono risultate meno regolari e, negli ultimi cinque anni, l'oscillazione massima è contenuta fra q. 1271,0 e 1250,0 m s.m.

Per quanto riguarda gli ultimi 8 anni (2015-2022, Figura 1 e Figura 2) si riportano di seguito alcune considerazioni:

- Livello di invaso: oscillazione non regolare in un intervallo compreso tra circa 1251 e 1281 m s.l.m. Negli ultimi 3 anni il livello d'invaso è rimasto sempre al di sotto di circa 1276 m s.l.m;
- Temperatura dell'aria: La temperatura dell'aria presenta escursioni annue con massimi tra Luglio e Agosto (30/35°) e minimi tra Gennaio e Febbraio (0/-10°C);
- Temperatura dell'acqua: La temperatura dell'acqua segue le oscillazioni della temperatura dell'aria con valori più contenuti compresi generalmente tra 0 e 20°C.
- Pioggia: le massime piogge sono registrate solitamente nei mesi di Ottobre e Novembre con picchi dei valori dell'altezza di pioggia dell'ordine di 150-175 mm;
- Neve: le massime precipitazione nevose sono registrate nel periodo Gennaio-Marzo (spessore della neve generalmente inferiore a 25 cm);
- Ghiaccio: non si registrano spessori significativi del ghiaccio.

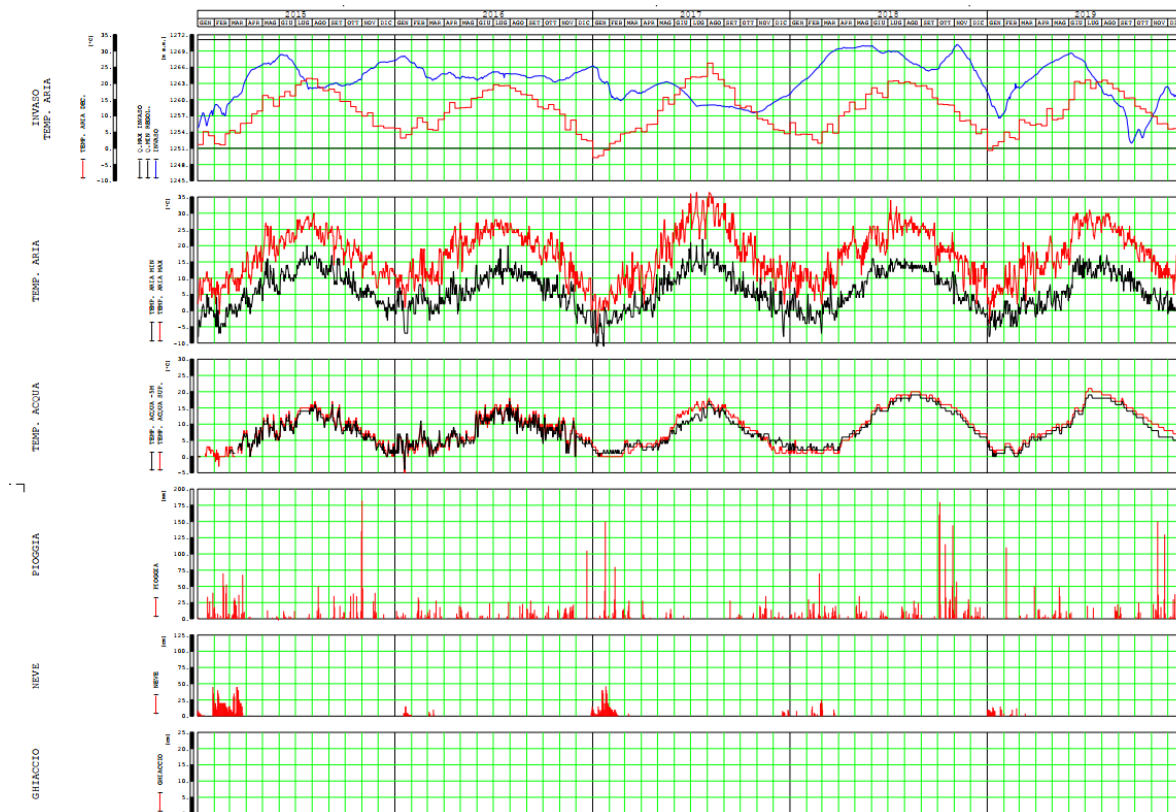


Figura 1 – Misure idrometeorologiche in funzione del tempo (anni 2015-2019) [2]

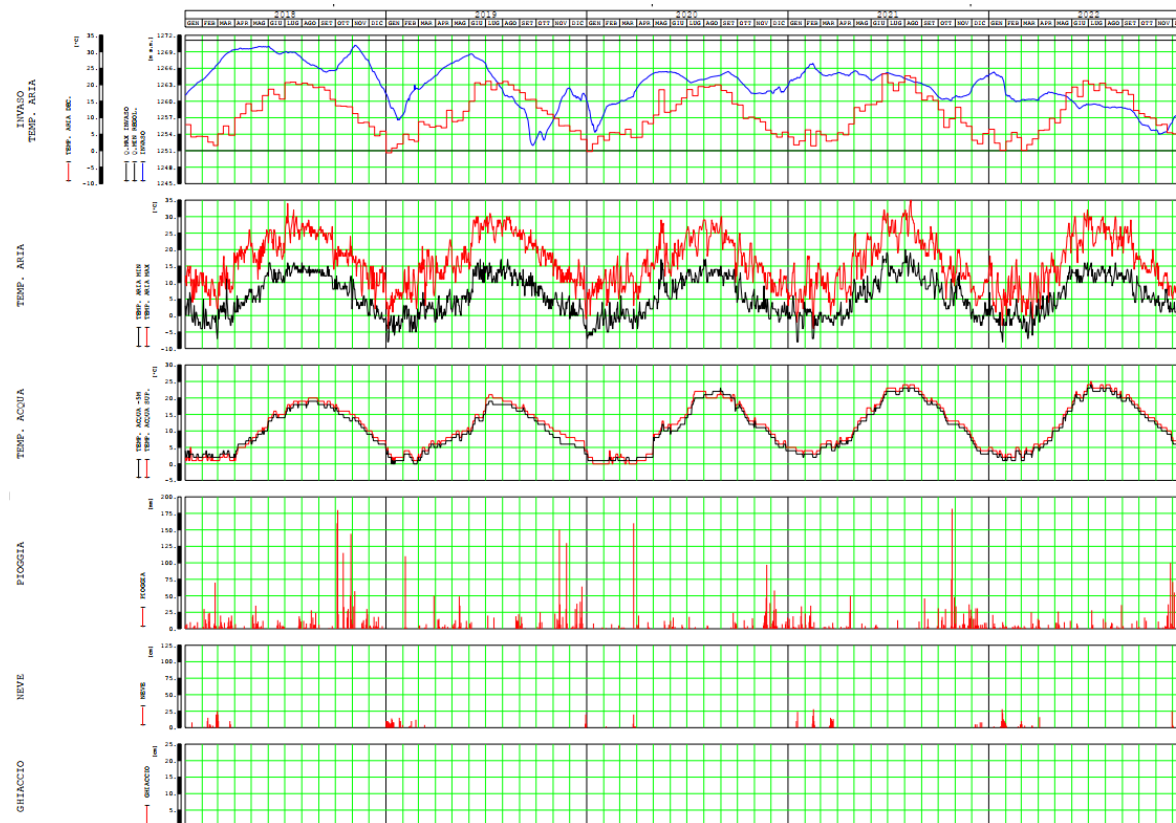


Figura 2 – Misure idrometeorologiche in funzione del tempo (anni 2018-2022) [3]

3.3 Spostamenti plano-altimetrici

3.3.1 Generalità

Gli spostamenti plano-altimetrici della diga sono monitorati attraverso la seguente strumentazione:

- n. 2 pendoli rovesci per la misura degli spostamenti planimetrici;
- n. 2 mire mobili per la misura degli spostamenti plano-altimetrici;
- n. 2 estensimetri per la misura degli spostamenti altimetrici del piano d'imposta della diga;

3.3.2 Pendoli rovesci

Come illustrato nella Figura 3, nel corpo diga sono installati due pendoli rovesci ubicati rispettivamente nel concio centrale della diga (denominato **R101K**) e nel pilone in calcestruzzo in spalla sinistra (denominato **R201K**). Entrambi i pendoli misurano gli spostamenti radiali (monte-valle) e tangenziali (sinistra-destra) dell'arco di coronamento. Le caratteristiche geometriche dei pendoli e le informazioni sulla frequenza di lettura degli strumenti sono sintetizzate nella Tabella 2.

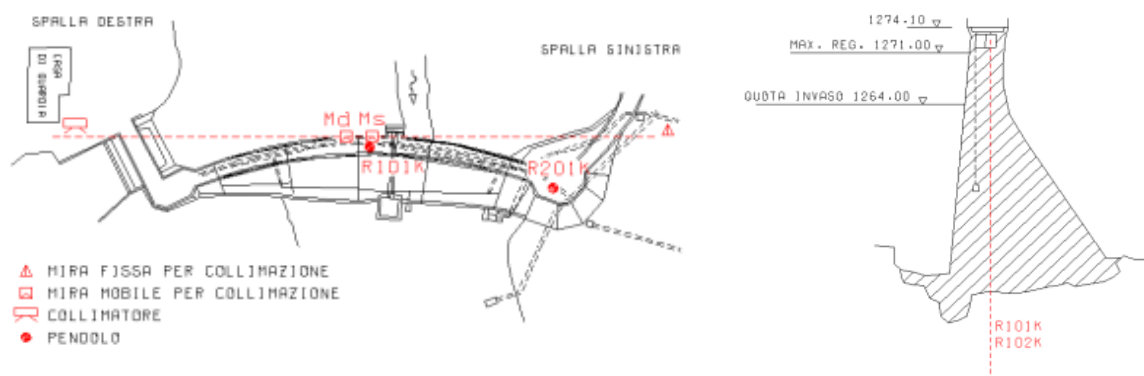


Figura 3 – Planimetria e sezione con l'indicazione dell'ubicazione delle mire e dei pendoli rovesci [1]

Pendolo	Parametri misurati	Ubicazione	Quota di ancoraggio/ Quota di lettura [m s.l.m.]	Frequenza di lettura
R101K	Spostamenti planimetrici radiali (M-V) e tangenziali (S-D)	Concio centrale (tra giunti 2 e 3)	1234,17/1282,17	Mensile dal 1993 al 2011 (M)
R201K		Pilone spalla sinistra	1241,17/1282,17	Settimanale dopo il 2011 (M) Plurigioraliera dal 1999 (A)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Note: Lettura eseguita in appositi locali situati a fianco del cunicolo di ispezione in prossimità del coronamento diga.

Tabella 2: Pendoli rovesci, ubicazione e frequenza di lettura

3.3.3 Collimazione

Come illustrato nella Figura 3, la misura degli spostamenti plano-altimetrici della diga tramite collimazione comprende:

- punto di stazione del collimatore ubicato in prossimità della casa di guardia in spalla destra;
- una mira fissa ubicata in sponda sinistra;
- una mira mobile (denominata **Ms**) ubicata sul coronamento del concio n. 2 della diga compreso tra i giunti 2 e 3;
- una mira mobile (denominata **Md**) ubicata sul coronamento del concio n. 3 della diga compreso tra i giunti 3 e 4.

Mira mobile	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
Ms	Spostamenti planimetrici M-V e altimetrici	Concio centrale (tra giunti 2 e 3)	Mensile (M)
Md		Concio tra giunti 3 e 4	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 3: Mire mobili, ubicazione e frequenza di lettura

3.3.4 Estensimetri

Come illustrato in Figura 4, lo spostamento altimetrico del concio centrale (compreso tra i giunti 2 e 3) è misurato da un estensimetro a lunga base con due punti di misura ubicati in corrispondenza del piano di imposta della diga (denominato **E1C1K**) e nell'ammasso roccioso di fondazione (denominato **E1R2K**).

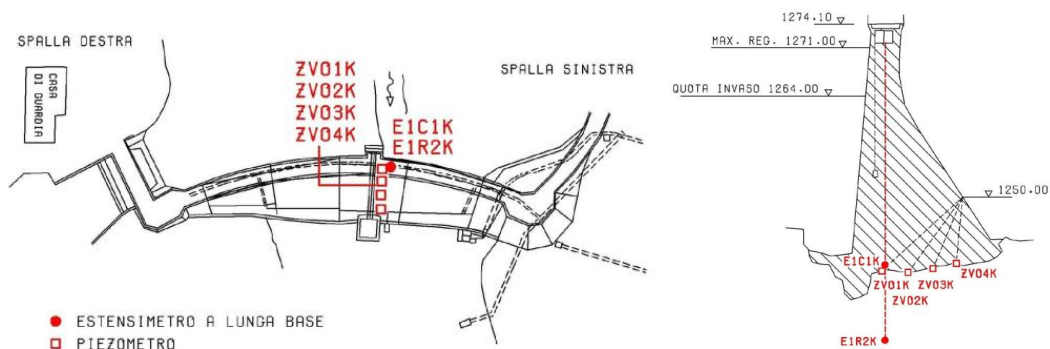


Figura 4 – Planimetria e sezione con l'indicazione dell'ubicazione degli estensimetri [2][3]

Punto di misura	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
E1C1K	Spostamenti altimetrici	Concio centrale Piano di imposta	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
E1R2K		Concio centrale Fondazione	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 4: Estensimetri, ubicazione e frequenza di lettura

3.3.5 *Analisi delle misurazioni*

Per il periodo precedente al 2015 si riporta un estratto delle considerazioni contenute nel documento [1] redatto da CESI:

Le misure manuali dello spostamento radiale evidenziano, in genere, spostamenti ciclici stagionali con escursioni di 2-3 mm per il pendolo centrale (R101) e 1-1,5 mm per il pendolo laterale (R201).

Le misure automatiche risultano in buon accordo con le manuali fino al 2003, dopodiché risultano affette da interruzioni probabilmente a causa di malfunzionamenti della strumentazione; si riallineano con le manuali a partire dal 2013.

Le misure manuali di spostamento tangenziale (D-S) per il pendolo centrale presentano un andamento irregolare, con escursioni massime comprese entro 1 mm.

Le stesse misure del pendolo laterale presentano escursioni cicliche più regolari, con escursioni massime di 2 mm ben correlate con le escursioni termiche stagionali.

Gli spostamenti M-V rilevati con le tradizionali collimazioni sono misurate con cadenza mensile. Il decorso cronologico, disomogeneo e irregolare in alcuni periodi, indica escursioni annue dell'ordine dei 3-4 mm lievemente superiori a quanto misurato dal pendolo.

Per quanto riguarda gli ultimi 8 anni (2015-2022, Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8) si riportano di seguito alcune considerazioni:

- **Collimazione:** l'andamento degli spostamenti è abbastanza irregolare con oscillazioni annue dell'ordine di 4-5 mm in direzione monte-valle e 1-2 mm in direzione verticale. Si evidenzia una dipendenza dalle variazioni di temperatura stagionale, mentre appare meno evidente la dipendenza dalla variazione del livello di invaso.
- **Pendoli:** il pendolo centrale (R101K) mostra andamenti degli spostamenti piuttosto irregolari ma comunque correlabili alla variazione del livello dell'invaso. Gli spostamenti massimi in direzione monte-valle sono dell'ordine di 5-6 mm. Gli spostamenti in direzione destra-sinistra sono dell'ordine di 2 mm.
Il pendolo laterale installato nel pilone sinistro (R201K) mostra in generale oscillazioni monte valle dell'ordine di 2-3 mm. Gli spostamenti registrati negli ultimi anni (dal 2020 e sino alla metà del 2022) sono meno regolari ed affetti da andamenti più casuali prevalentemente imputabili a problematiche riscontrate in tale periodo allo strumento di misura.
- **Estensimetri:** gli spostamenti verticali sono dell'ordine di 1-2 mm. Si evidenzia una dipendenza dalle variazioni di temperatura stagionale (nei mesi caldi gli spostamenti sono diretti verso l'alto, mentre nei mesi freddi verso il basso).

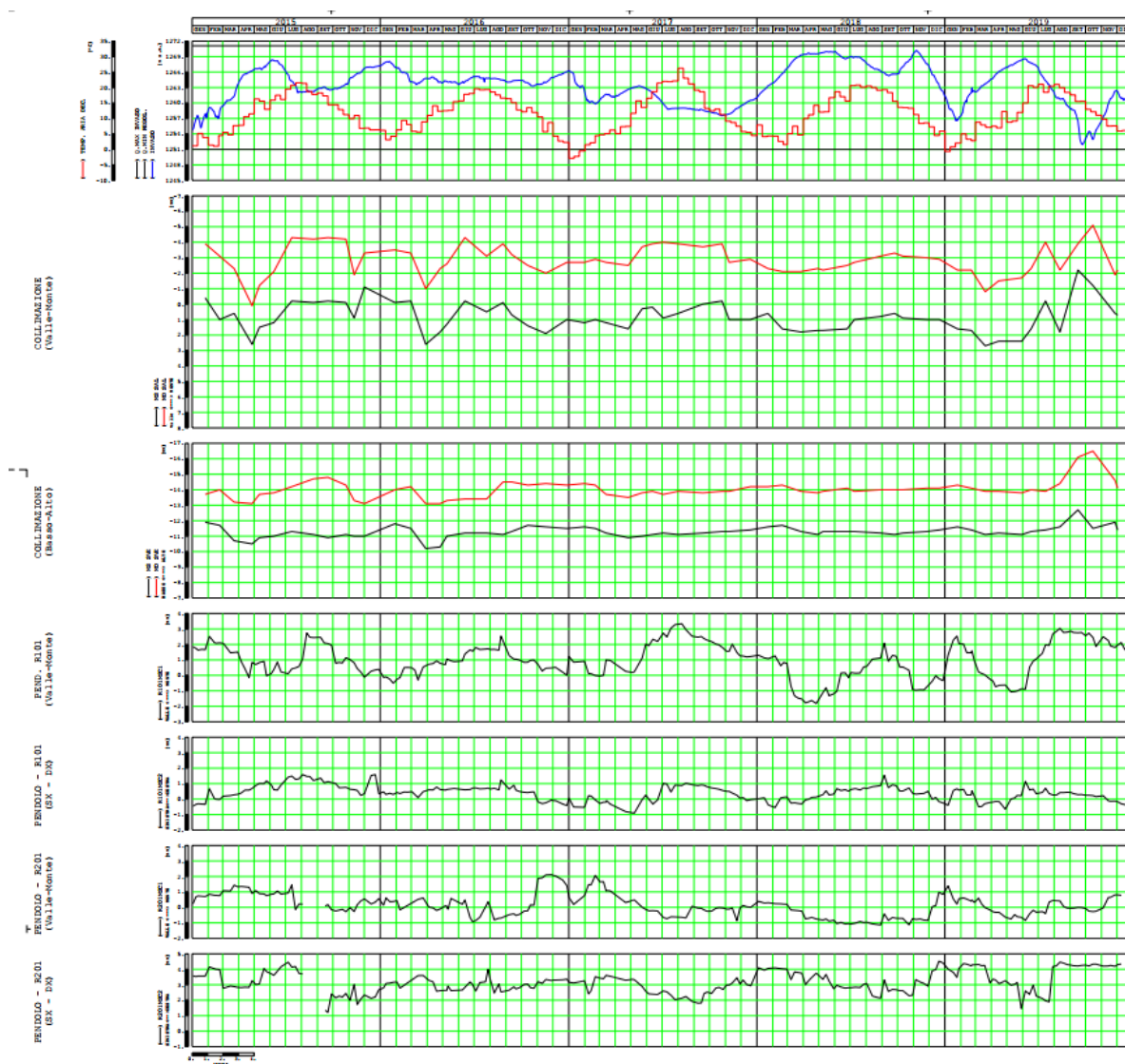


Figura 5 – Misure di spostamento tramite pendoli e collimazione in funzione del tempo(anni 2015-2019) e delle grandezze causa [2]

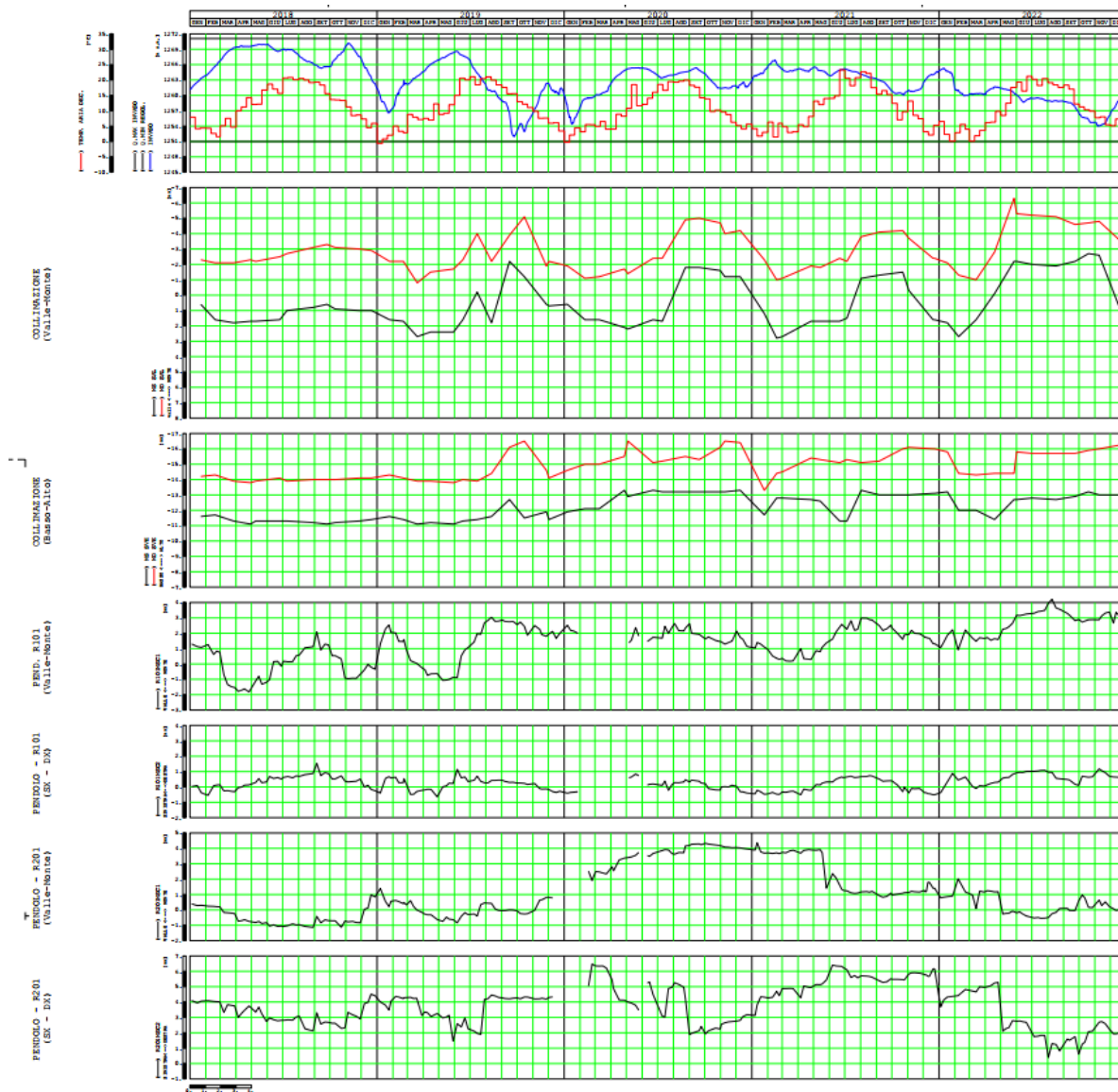


Figura 6 – Misure di spostamento tramite pendoli e collimazione in funzione del tempo (anni 2018-2022) e delle grandezze causa [3]

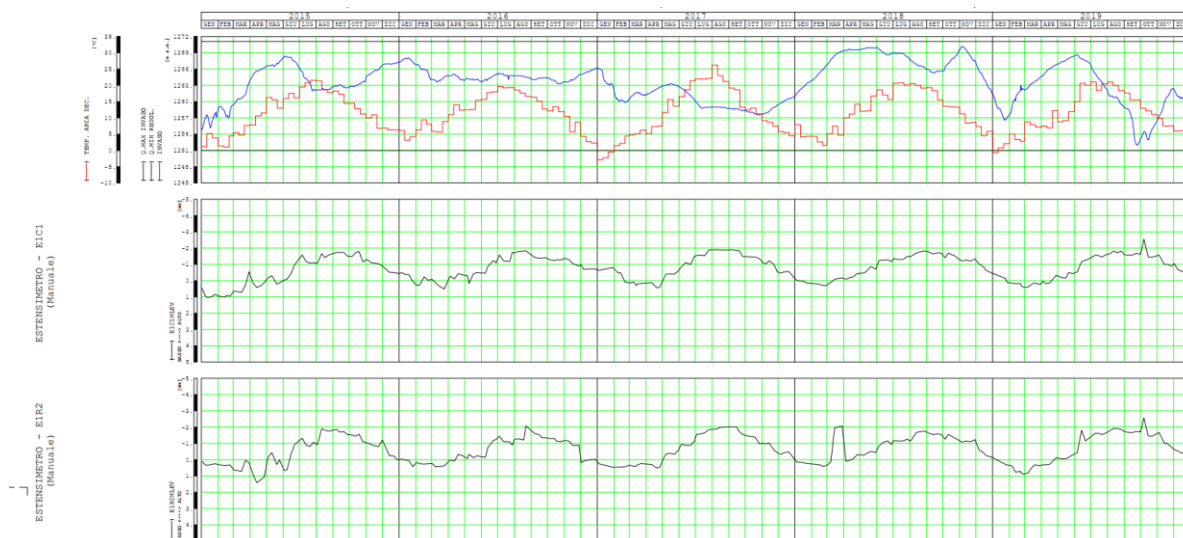


Figura 7 – Misure estensimetriche in funzione del tempo (anni 2015-2019) e delle grandezze causa [2]

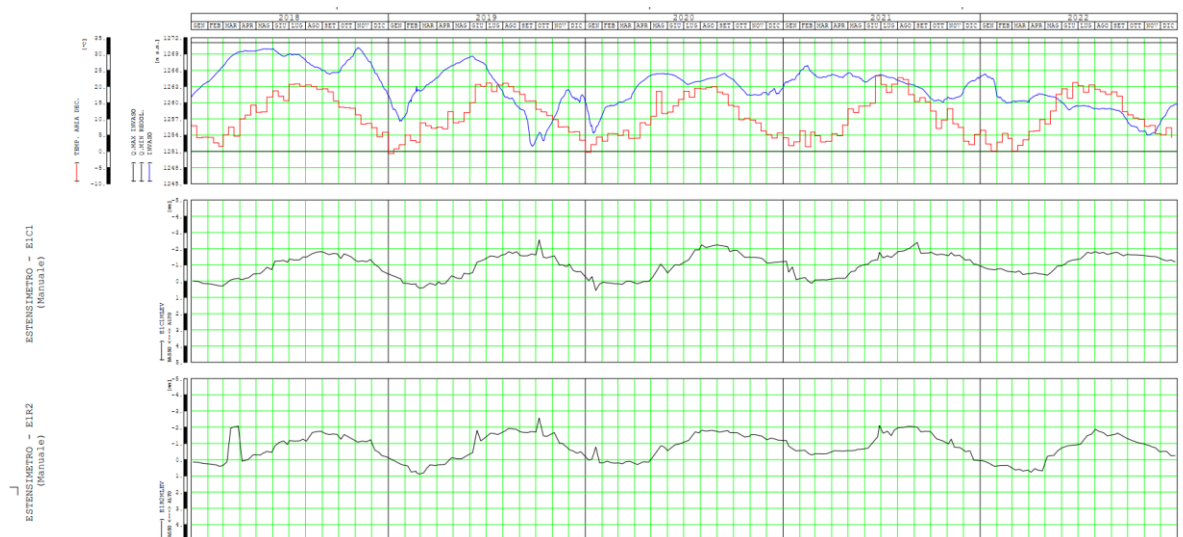


Figura 8 – Misure estensimetriche in funzione del tempo (anni 2018-2022) e delle grandezze causa [3]

3.4 Movimenti dei giunti della diga

Il movimento dei giunti radiali viene monitorato mediante quattro teledilatometri biassiali installati sulla parete di monte del cunicolo superiore in corrispondenza dei giunti radiali.

Gli strumenti misurano sia i movimenti di apertura/contrazione dei giunti, sia gli scorrimenti relativi in direzione monte-valle.

La Figura 9 e la Tabella 5 illustrano l'ubicazione e la frequenza di lettura degli strumenti.

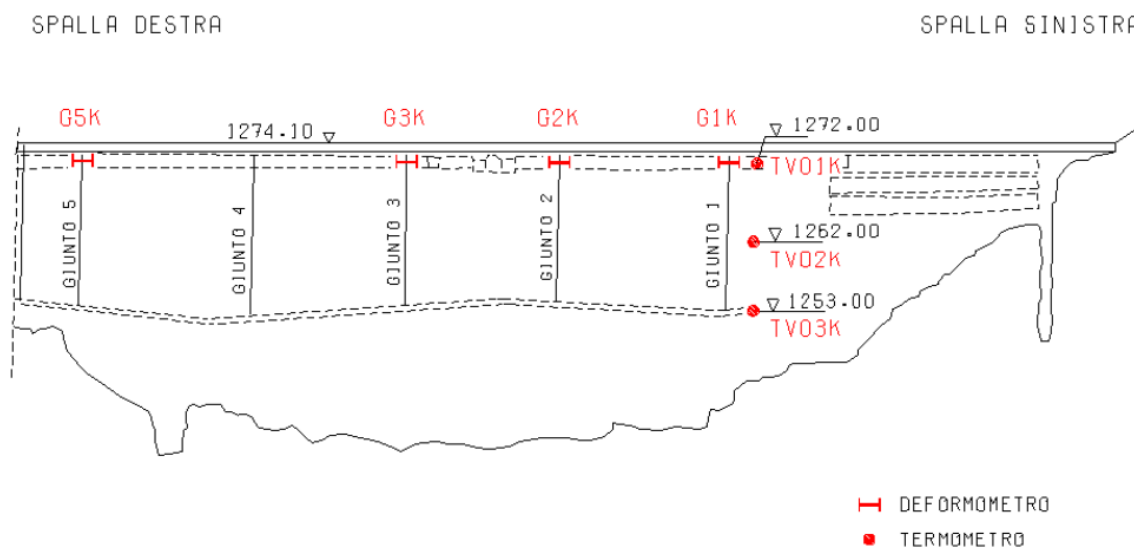


Figura 9 – Ubicazione dei teledilatometri e dei termometri nella muratura [1]

Teledilatometro	Parametri misurati	Ubicazione	Frequenza di lettura
G1K	Movimenti apertura/chiusura (S-D) Movimenti relativi M-V	Giunto 1	Mensile dal 1993 al 2011 (M) Settimanale dopo il 2011 (M) Plurigioraliera dal 1999 (A)
G2K		Giunto 2	
G3K		Giunto 3	
G5K		Giunto 5	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 5: Teledilatometri, ubicazione e frequenza di lettura

3.4.1 Analisi delle misurazioni

Per il periodo precedente al 2015 si riporta un estratto delle considerazioni contenute nel documento [1] redatto da CESI:

Il diagramma del movimento in apertura/chiusura evidenzia un respiro termico molto marcato con massime aperture concomitanti con le situazioni di minimo termico; l'ampiezza dell'oscillazione annua è pari a circa 3-4 mm sia con le misure manuali che con le automatiche.

Le misure automatiche di apertura/chiusura del giunto 1, nel periodo 1998-2009, non sono attendibili a causa di un probabile malfunzionamento dello strumento. Le misure manuali dei giunti 2 e 5 mostrano la tendenza ad un parziale serraggio dei rispettivi giunti che, tuttavia, non trova conferma nelle letture automatiche.

Negli anni 2007-2008 le misure automatiche presentano un'interruzione. Gli scorrimenti in direzione monte-valle indicano valori massimi di circa 1 mm per i giunti più laterali (contatti muratura-cls); i valori sono molto più contenuti per i giunti tra i conci interni. Pertanto la presenza della chiave di taglio lungo l'interfaccia tra i conci non impedisce, di fatto, lo scorrimento relativo; ciò è dovuto al fatto che la

distanza tra le superfici dei due conci affacciati è pari a circa 1,5 cm mentre il movimento registrato è un ordine di grandezza inferiore e, quindi, avviene senza mobilitare la chiave.

Per quanto riguarda gli ultimi 8 anni (2015-2022, Figura 10 e Figura 11) si riportano di seguito alcune considerazioni:

- Apertura-chiusura: l'ampiezza annuale di apertura-chiusura dei giunti è dell'ordine di 3-4 mm, funzione dalle variazioni di temperatura stagionale (apertura dei giunti nei mesi freddi e chiusura nei mesi caldi).
- Monte-valle: gli scorrimenti in direzione monte-valle indicano oscillazioni dell'ordine di 1 mm in entrambe le direzioni per i giunti tra piloni e corpo murario (G1K e G5K). Oscillazioni più contenute si registrano per i giunti tra i conci della diga (G2K 3 G3K).

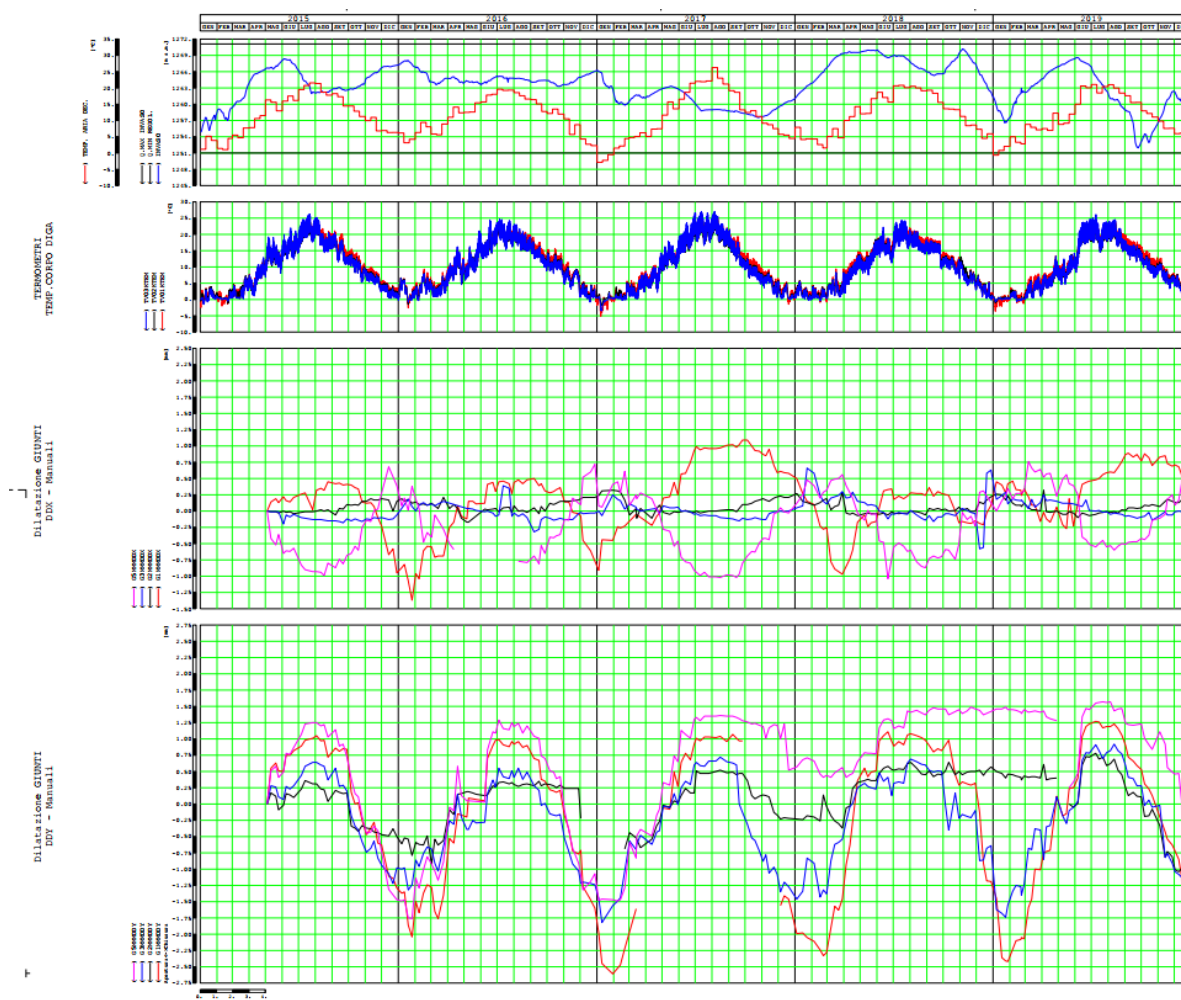


Figura 10 – Movimento dei giunti della diga in funzione del tempo (anni 2015-2019) e delle grandezze causa [2]

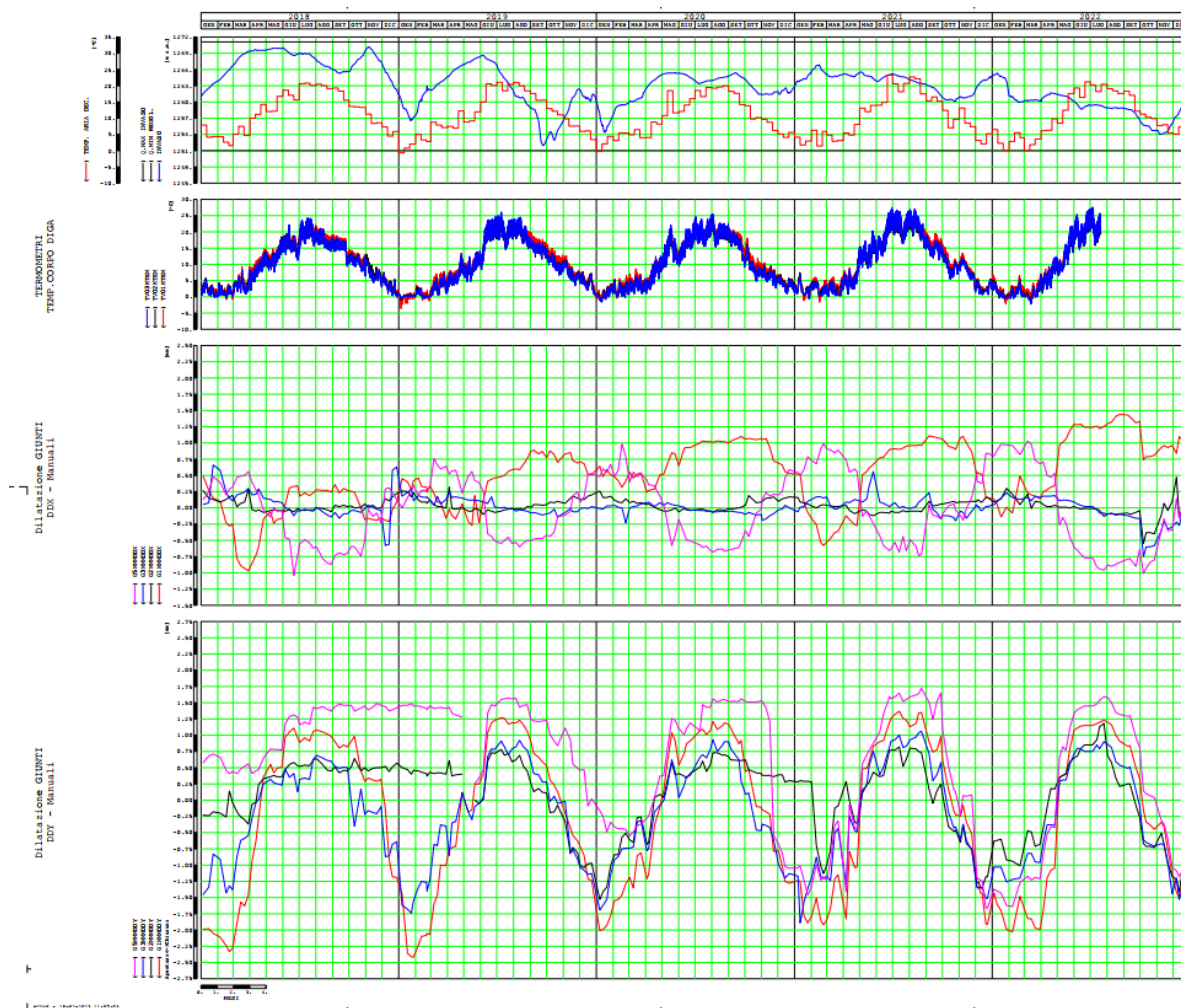


Figura 11 – Movimento dei giunti della diga in funzione del tempo (anni 2018-2022) [3]

3.5 Temperatura del corpo murario

Come illustrato nella Figura 9, nel corpo diga sono installati n. 3 termometri elettrici per il controllo della temperatura del corpo murario. I tre termometri sono installati sul paramento di valle alle quote 1263,17 1272,17 e 1282,17 m s.m.; non è nota l'ubicazione dei sensori in direzione monte-valle all'interno del corpo diga.

Termometro	Parametri misurati	Ubicazione	Letture
TV01K	Temperatura del corpo murario	Paramento di valle 1282,17 m s.l.m.	Plurigiornaliera (A)
TV02K		Paramento di valle 1272,17 m s.l.m.	
TV02K		Paramento di valle 1263,17 m s.l.m.	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 6: Termometri elettrici, ubicazione e frequenza di lettura

3.5.1 *Analisi delle misurazioni*

Per il periodo precedente al 2015 si riporta un estratto delle considerazioni contenute nel documento [1] redatto da CESI:

Il confronto mostra la quasi sovrapponibilità delle misure alle tre quote, a dimostrazione del fatto che i termometri sono stati installati alla stessa profondità dal paramento di valle. L'escursione termica nel calcestruzzo varia tra 20-21 °C e 0-1°C ed è in linea con il decorso cronologico della temperatura media dell'aria.

Le stesse considerazioni possono essere fatte per gli ultimi 8 anni di misurazioni (2015-2022, Figura 10 e Figura 11).

3.6 **Sottopressioni**

Come illustrato nella Figura 12, nel concio centrale dello sbarramento principale in corrispondenza del contatto diga-fondazione sono stati installati n. 4 piezometri (PZV01, PZV02, PZV03 e PZV04). Le perforazioni sono state eseguite dal paramento di valle della diga a circa quota 1260 m s.l.m. Le misure delle quote piezometriche sono disponibili, in formato digitale, per tutti i piezometri a partire dal Dicembre 2000. Le misure manuali sono effettuate a mezzo di sonda freaticometrica e/o di lettura manometrica a seconda dell'altezza di colonna d'acqua rispetto a testa foro piezometrico.

Termometro	Parametri misurati	Ubicazione	Letture
PZV01	Temperatura del corpo murario	Concio n. 2, zona di monte 1248,87 m s.l.m.	Settimanali (M) Plurigiornaliera (A)
PZV02		Concio n. 2, zona centrale 1249,37 m s.l.m.	
PZV03		Concio n.2, zona centrale 1250,27 m s.l.m.	
PZV04		Concio n. 2, zona di valle 1251,07 m s.l.m.	

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 7: Piezometri, ubicazione e frequenza di lettura

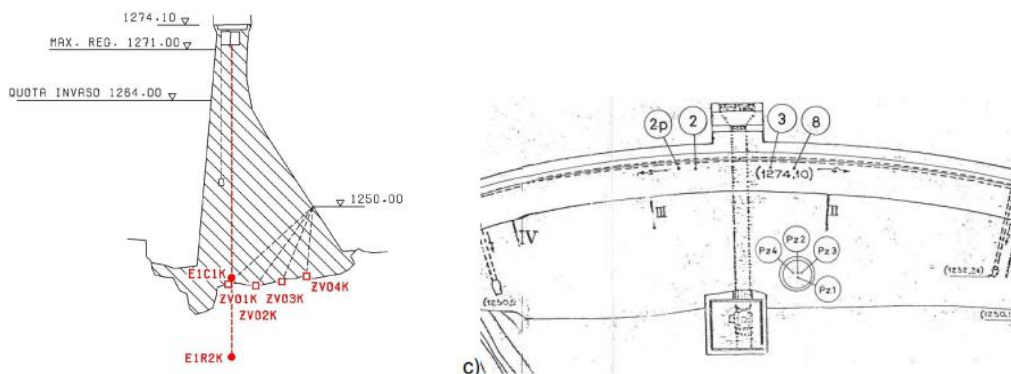


Figura 12 – Ubicazione e caratteristiche dei piezometri elettrici [2][3]

3.6.1 Analisi delle misurazioni

Per il periodo precedente al 2015 si riporta un estratto delle considerazioni contenute nel documento [1] redatto da CESI:

L'esame di tutte le misure mostra livelli piezometrici piuttosto regolari, privi di significative variazioni e/o derive e ben correlati con le oscillazioni del livello d'invaso; fanno eccezione le misure del piezometro PZV04, posto più a valle, che mostra un livello quasi costante intorno a q. 1246,0 m s.m. Si osserva che i piezometri PZV01 e PZV02 registrano andamenti pressoché coincidenti.

..... Il battente misurato risulta sempre inferiore al valore teorico richiesto da DM 2014; la risultante delle sottopressioni misurate risulta pari a 267 t/m e pari a 340 t/m con la distribuzione teorica.....

La base della diga è incassata in roccia (circa 3 m, considerando la sezione di calcolo). Se si considerasse la presenza dell'incasso a monte, il battente teorico in questa zona sarebbe pari all'altezza di massima ritenuta (29,5 m).... In questa condizione il profilo di sottopressioni teoriche lungo il piano inclinato di contatto diga-roccia coinciderebbe con il profilo di sottopressioni misurate. Queste considerazioni dimostrano che le perdite di carico cominciano dalla quota di spiccato di monte (1241,5 m s.m.) e variano linearmente da monte a valle; pertanto il valore del battente idrico effettivo di monte coincide quasi certamente con l'altezza di massima ritenuta (H=29,5m).

Per quanto riguarda gli ultimi 8 anni (2015-2022, Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16) si riportano di seguito alcune considerazioni:

- i livelli piezometrici sono piuttosto regolari, ben correlati con le oscillazioni del livello d'invaso; fanno eccezione le misure del piezometro PZV04, posto più a valle, che mostra un livello quasi costante intorno alle quote 1256,00-1257,00 m s.l.m.;
- si osserva una leggera tendenza di incremento delle pressioni in funzione del tempo in particolare per i piezometri PZV01 e PZV02.
In particolare, il carico piezometrico stimato in corrispondenza del livello di massima regolazione (q. 1281,17 m s.l.m.) per le postazioni PZV01 e PZV02 risulta pari a:
 - circa 1267,7 m s.l.m. per il periodo 2000-2015
 - circa 1269,2 m s.l.m. per il periodo 2015-2022
- le quote piezometriche (ad eccezione della postazione PZV04) hanno subito una riduzione di 2-4 metri a partire dall'estate del 2021 a seguito dell'esecuzione dei sondaggi dal coronamento nell'ambito delle indagini conoscitive sui materiali costituenti la diga;
- le quote piezometriche alle postazioni PZV03 e PZV04 risultano "piatte" per quote di invaso superiori a circa 1278 m s.l.m. ad indicazione di una probabile necessità di interventi manutentivi/sostitutivi/correttivi a dette postazioni di controllo da effettuarsi nell'ambito degli interventi di miglioramento sismico della diga;

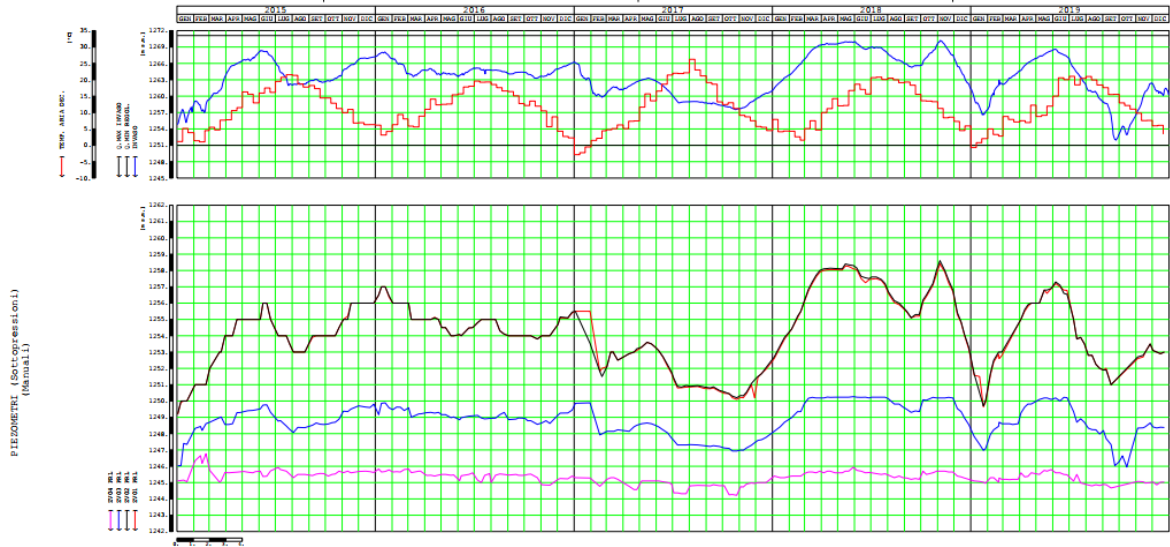


Figura 13 – Misure piezometriche in funzione del tempo (anni 2015-2019) e delle grandezze causa [2]

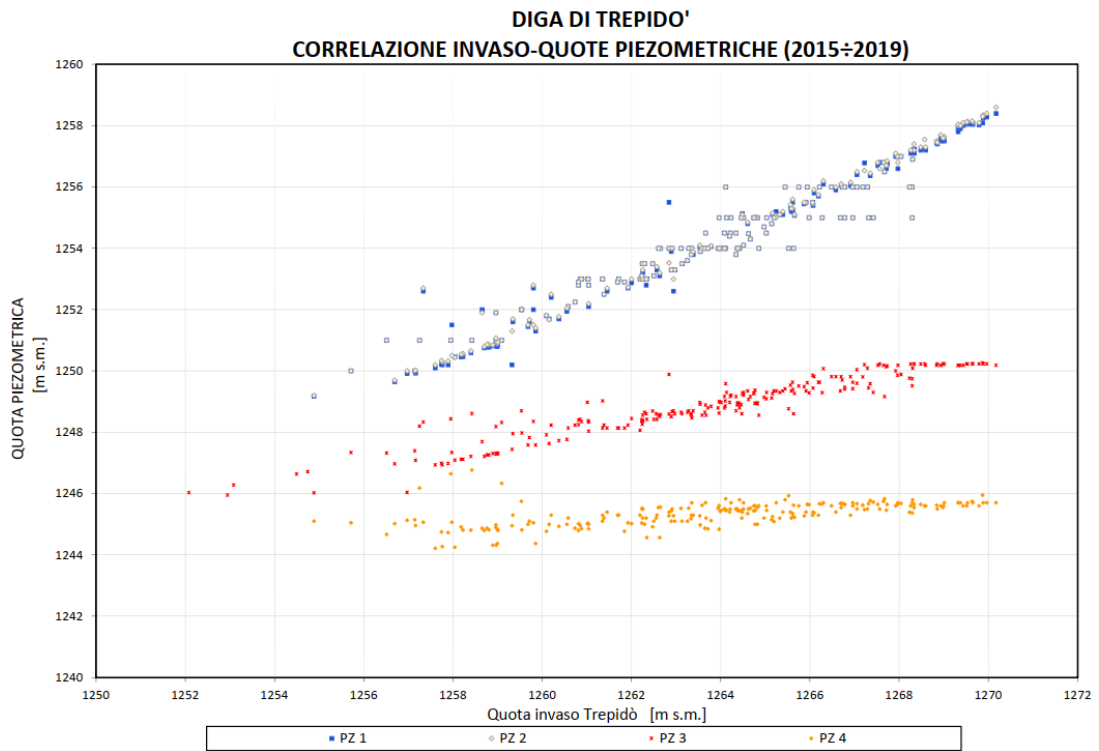


Figura 14 – Misure piezometriche in funzione del livello d'invaso (sotto) (anni 2015-2019) [2]

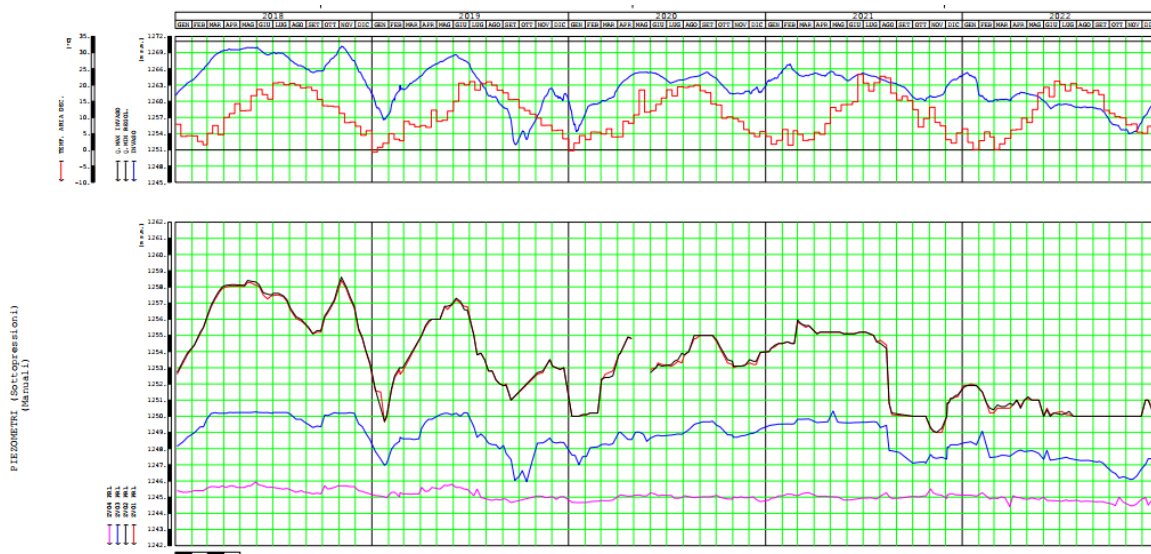


Figura 15 – Misure piezometriche in funzione del tempo (anni 2018-2022) e delle grandezze causa [3]

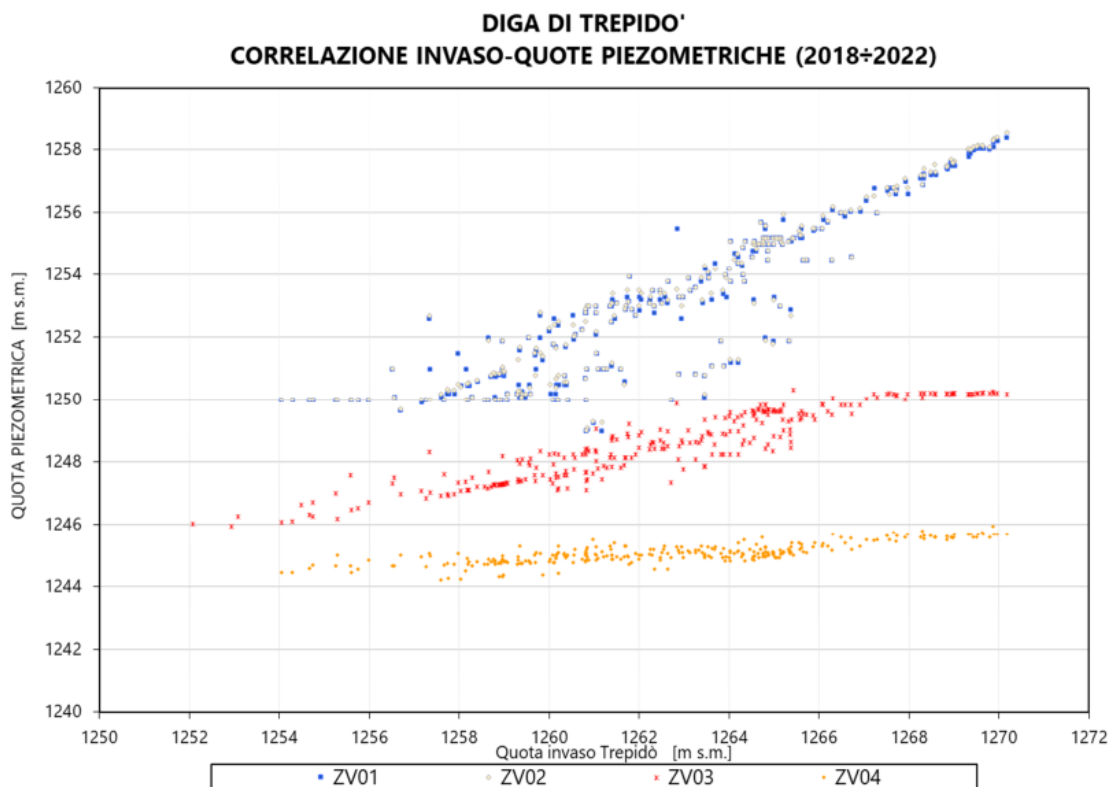


Figura 16 – Misure piezometriche in funzione del livello d’invaso (anni 2018-2022) [3]

3.7 Perdite

Come illustrato nello schema di Figura 17, la misurazione delle perdite della diga è eseguita in n. 8 punti, distribuiti come segue:

Punto di misura		Parametri misurati	Ubicazione	Letture
GI23	PDD4	Perdite giunti + sistema di drenaggio	Piede diga, zona centrale 1256,57 m s.l.m.	Giornaliere (M) Plurigiornaliere (A)
	PDD0	Perdite paramento porzione destra	Piede diga, zona centrale 1256,17 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
	PDD7	Perdite paramento porzione sinistra	Piede diga, zona centrale 1255,67 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
GI24	PDS1	Perdite spalla sinistra – filtrazioni roccia	Uscita cunicolo drenaggio spalla sinistra 1258,17 m s.l.m.	Giornaliere (M) Plurigiornaliere (A)
	PDM2	Perdite taglione lato lago	Piede diga, sinistra 1259,97 m s.l.m.	Giornaliere (M) Plurigiornaliere (A)
	PDM3	Perdite taglione lato fondazione		
	PDS5	Perdite sponda sinistra	Piede pilone sinistro 1260,32 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)
	PDS6	Perdite roccia in sponda destra	Sponda destra 1251,67e 1253,67 m s.l.m.	Giornaliere (M, A)

Legenda: M = Manuale, A = Automatica

Tabella 8: Perdite, ubicazione e frequenza di lettura

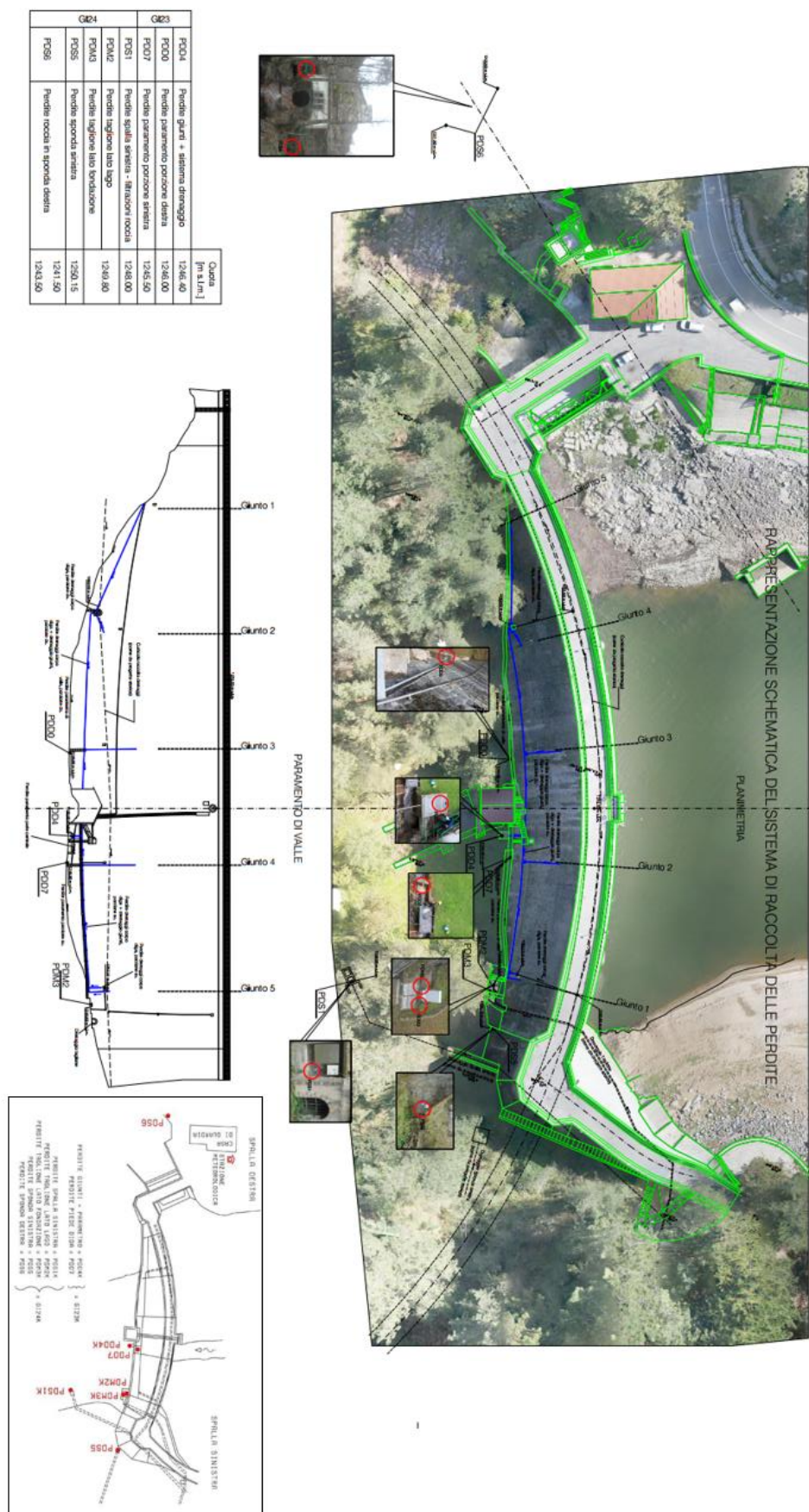


Figura 17 – Ubicazione dei punti di misura delle perdite della diga

3.7.1 Analisi delle misurazioni

Come illustrato nella Figura 18 e nella Figura 19, le massime perdite misurate negli ultimi 8 anni in corrispondenza approssimativamente della massima regolazione sono pari a:

- circa 8 l/s fondazione (GI24)
- circa 3 l/s diga (GI23)

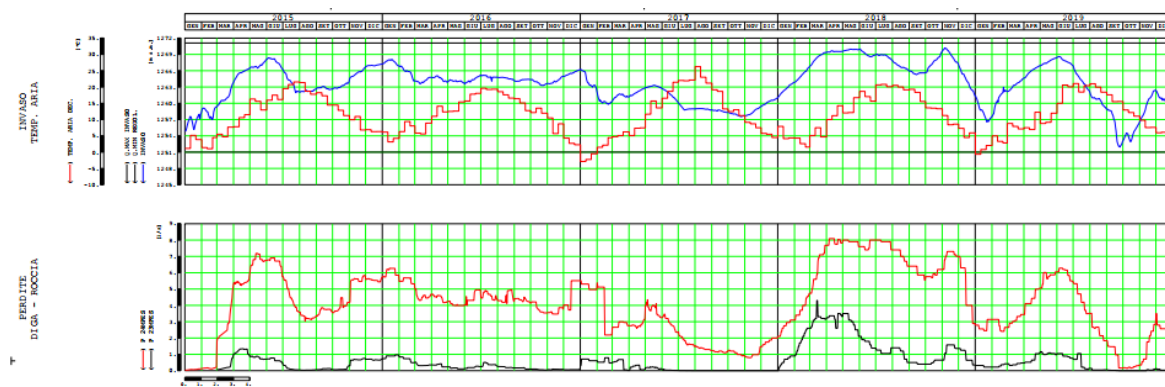


Figura 18 – Perdite totali in funzione del tempo (anni 2015-2019) [2]

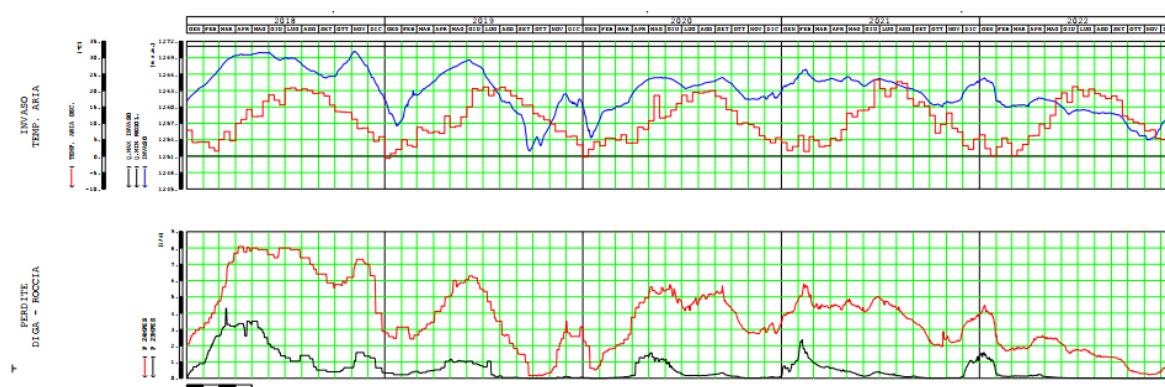


Figura 19 – Perdite totali in funzione del tempo (anni 2018-2022) [3]

Per quanto riguarda le perdite misurate al punto di controllo GI24 (fondazione) i contributi più rilevanti sono quelli dovuti alle perdite misurate all'uscita del cunicolo di drenaggio in spalla sinistra (PDS1) e dal cunicolo di drenaggio del taglione (PDM2).

Per quanto riguarda le perdite misurate al punto di controllo GI23 (diga) il contributo più rilevante risulta quello dovuto alle perdite raccolte dai drenaggi nel corpo diga e in corrispondenza dei giunti (PDD4).

La Figura 20 illustra le perdite misurate al punto di controllo GI24 (fondazione) in funzione del livello dell'invaso. Le perdite mostrano una dipendenza sostanzialmente lineare o poco più che lineare con il livello dell'invaso; non si evidenziano variazioni significative nel tempo.

La Figura 21 illustra le perdite misurate al punto di controllo GI23 (diga) in funzione del livello dell'invaso. A parità di valore del livello di invaso si osserva una significativa dispersione dei valori

delle perdite. Si osserva inoltre un progressivo incremento delle perdite nel tempo soprattutto per quanto riguarda gli ultimi anni di misurazioni.

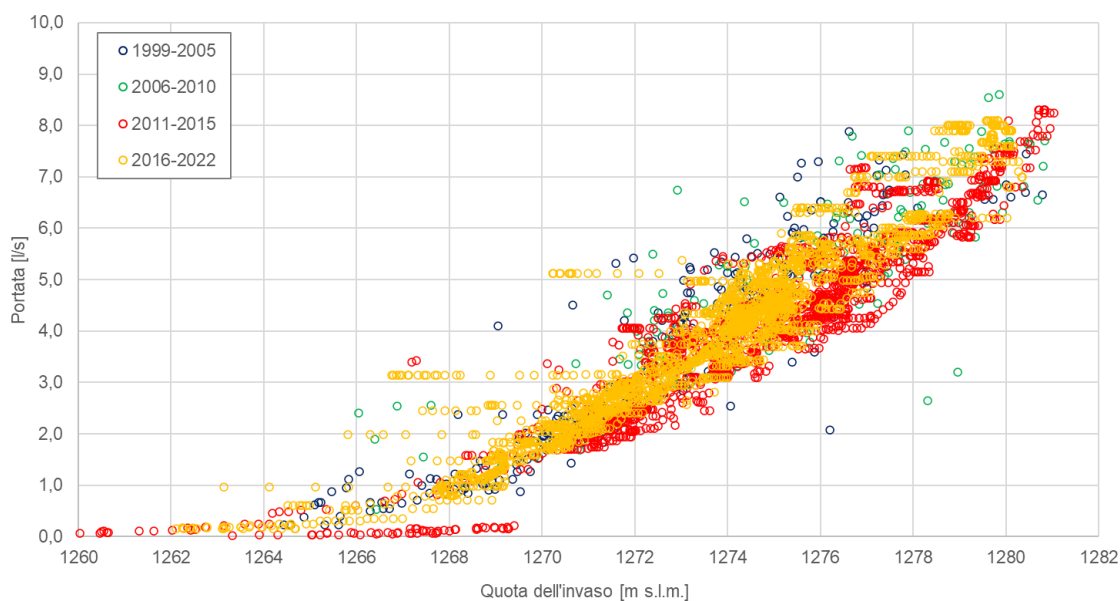


Figura 20 – Punto di controllo GI24 (fondazione). Perdite in funzione del livello di invaso (anni 1999 – 2022)

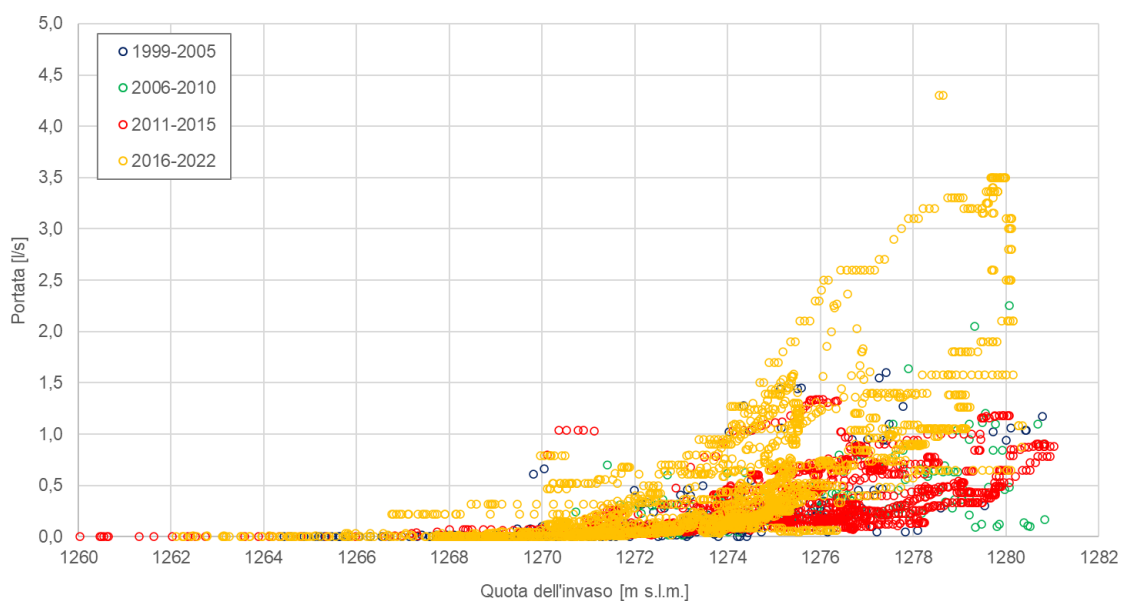


Figura 21 – Punto di controllo GI23 (diga). Perdite in funzione del livello di invaso (anni 1999 – 2022)

4. INTEGRAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO ESISTENTE

4.1 Generalità

La Figura 22 e la Figura 23 illustrano la planimetria con indicazione della tipologia e dell'ubicazione della strumentazione di monitoraggio post-intervento di ripristino (strumenti esistenti e di nuova installazione).

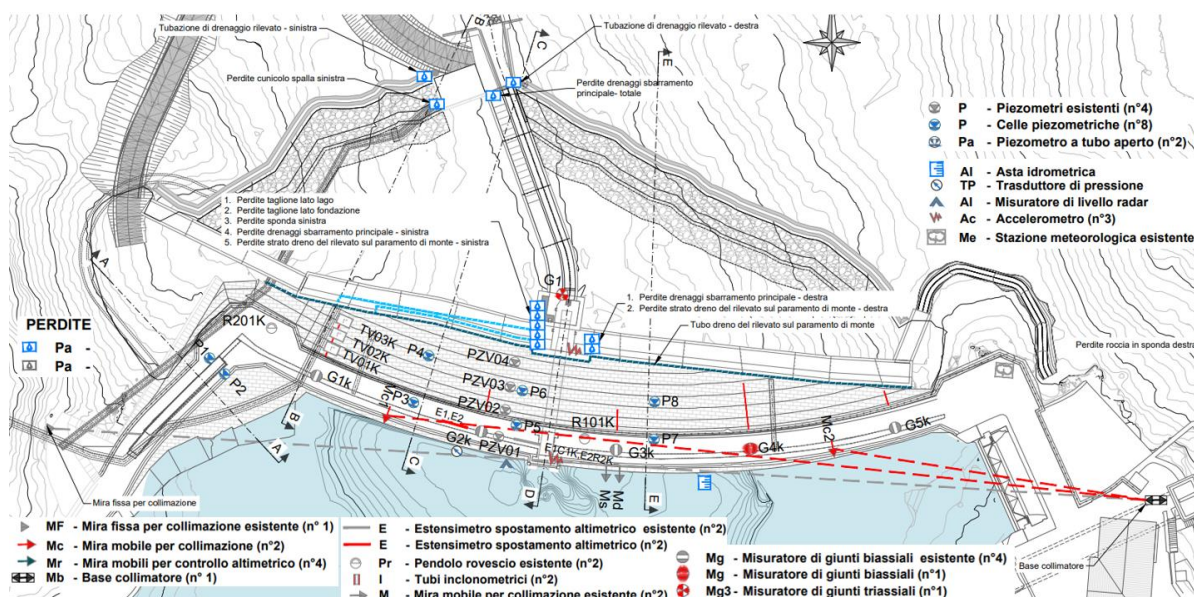


Figura 22 – Sbarramenti principale e secondario: planimetria con indicazione della tipologia dell'ubicazione della strumentazione di monitoraggio (esistente e di nuova installazione)

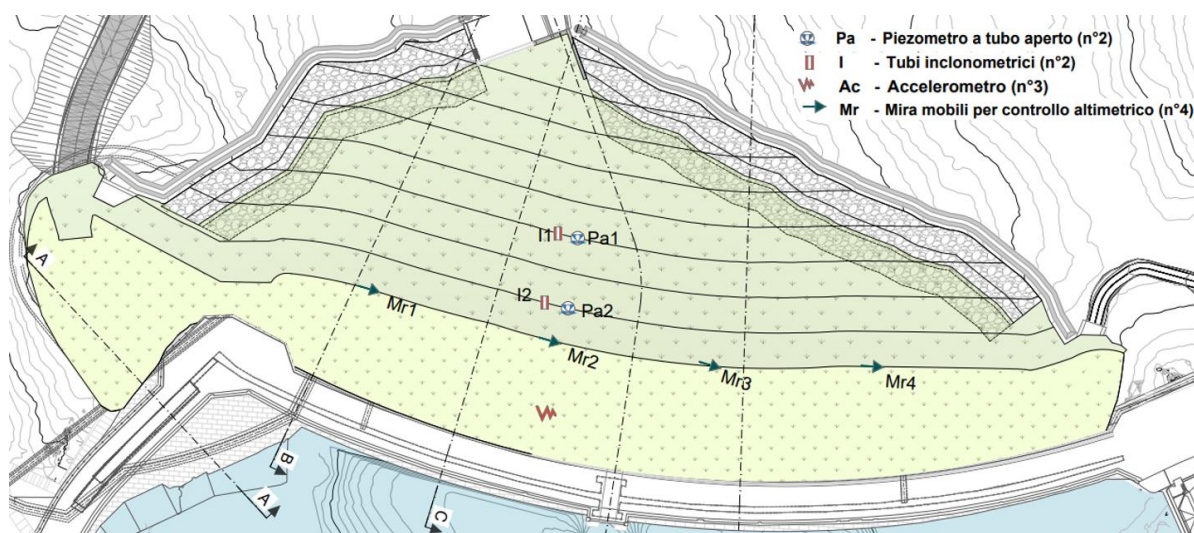


Figura 23 – Rilevato: planimetria con indicazione della tipologia dell'ubicazione della strumentazione di monitoraggio (esistente e di nuova installazione)

Nei seguenti paragrafi viene descritta in dettaglio la nuova strumentazione prevista per integrare il sistema di monitoraggio dell'opera.

4.2 Misure idrometeorologiche

Per quanto riguarda le misure idrometeorologiche si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con la seguente strumentazione per la misurazione del livello dell'invaso:

- un'asta idrometrica con targa ubicata sul paramento di monte del concio centrale;
- Sostituzione o reinstallazione del trasduttore di pressione alloggiato in una tubazione adeguatamente predisposta in corrispondenza del concio centrale alla quota 1258,00 m s.l.m.;
- un misuratore di livello radar posizionato sul coronamento in corrispondenza del concio centrale.

4.3 Misure accelerometriche

Il progetto prevede l'installazione di un sistema di misura delle accelerazioni indotte dagli eventi sismici.

Sono stati previsti, nello specifico, n°3 accelerometri:

- n. 1 ubicato sul coronamento del concio centrale dello sbarramento principale;
- n. 1 ubicato nel nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio in corrispondenza della nuova camera paratoie dello scarico di fondo;
- n. 1 ubicato sulla berma del rilevato a quota 1275,00 m s.l.m. in corrispondenza del concio centrale dello sbarramento principale.

4.4 Spostamenti plano-altimetrici

4.4.1 Sbarramento principale

Per quanto riguarda la misura degli spostamenti plano-altimetrici dello sbarramento principale si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con n. 2 mire mobili e n. 2 mire fisse per la misura degli spostamenti tramite collimazione:

- n. 1 mira mobile (Mc1) ubicata sul coronamento del concio 1;
- n. 1 mira mobile (Mc2) ubicata sul coronamento del concio 4.
- n. 2 mire fisse ubicate in sinistra a valle dello sbarramento.

Inoltre, si prevede per la misura dello spostamento altimetrico del primo concio (compreso tra i giunti 1 e 2) l'installazione di un estensimetro a lunga base con due punti di misura ubicati in corrispondenza del piano di imposta della diga (approssimativamente 1 m al di sotto del contatto diga-fondazione,

denominato E1) e nell'ammasso roccioso di fondazione (approssimativamente 10 m al di sotto del contatto diga-fondazione, denominato E2).

4.4.2 Rilevato

Per il monitoraggio di eventuali spostamenti/cedimenti del rilevato, in particolar modo nel caso di un evento sismico e a seguito dello stesso, si prevede di installare la seguente strumentazione:

- livellazione di n. 4 punti di misura installati sulla berma superiore del rilevato per la misurazione degli spostamenti verticali. Si prevede in particolare l'installazione di una base fissa per il livello digitale in spalla destra a valle dello sbarramento e n. 4 basi di appoggio per la stadia invar sulla berma del rilevato stesso;
- n. 2 tubi inclinometrici allineati su una sezione di misura ubicata nella porzione di maggiore altezza del rilevato rispettivamente sulla sinistra del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo. Gli inclinometri si estenderanno dalla superficie del rilevato (quote 1272,50 m s.l.m. e 1267,50 m s.l.m.) fino alla fondazione (Figura 24).

4.4.3 Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti

Le n. 4 basi installate per il controllo altimetrico del rilevato dovranno essere di dimensione e fattura adeguati a consentire il preciso posizionamento dello strumento. Dovranno essere robusti e realizzati con materiali di alta qualità, per consentire la ripetizione delle misurazioni. Ogni alloggiamento dovrà essere numerato per consentirne l'individuazione, e dovrà essere adeguatamente installato in profondità nel rilevato e protetto al fine di evitarne il danneggiamento.

Il sistema di livellazione dovrà garantire una precisione minima di 0,1mm.

Per quanto riguarda le misure inclinometriche si prevede la misurazione periodica dell'inclinazione dei tubi installati all'interno del rilevato tramite sonda inclinometrica. Le caratteristiche minime della sonda inclinometrica sono elencate di seguito:

- Tipo di sensore: biassiale
- Passo sonda: 0,5 m
- Campo di misura: $\pm 30^\circ$
- Risoluzione: 0,01 mm
- Temperatura di esercizio: $-20^\circ \div +70^\circ$

4.5 Movimenti dei giunti

4.5.1 Sbarramento principale

Per quanto riguarda la misura dei movimenti dei giunti di contrazione dello sbarramento principale si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso con n. 1 misuratore di giunto biassiale in corrispondenza del giunto n. 4.

4.5.2 Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio e nuovo cunicolo di acceso/scarico di fondo

Si prevede l'installazione di un misuratore di giunto triassiale in corrispondenza del giunto tra la nuova camera paratoie ed il nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo (G1) al fine di monitorare eventuali movimenti differenziali tra le due strutture.

4.5.3 Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti

I misuratori di giunti, sia biassiali che triassiali, sono di tipo automatico. In ogni punto di misura dovranno essere installate anche le predisposizioni per eseguire le misure di controllo con estensimetro manuale.

Le caratteristiche minime dei misuratori di giunto automatici sono le seguenti:

- Campo di misura: 0-100mm;
- Precisione: $< \pm 0,30\%$ FS;
- Risoluzione: 0,02% FS;
- Campo operativo di temperatura: $-20^{\circ}\text{C}+80^{\circ}\text{C}$

4.6 Misura delle sottopressioni

4.6.1 Sbarramento principale e secondario

Per quanto riguarda la misura delle sottopressioni si prevede di integrare il sistema di monitoraggio attualmente in uso, installando n. 8 celle piezometriche in corrispondenza di n. 4 sezioni:

1. Sbarramento secondario in spalla sinistra: n. 2 piezometri installati dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. La base dei due piezometri (punto più depresso) si troverà rispettivamente a valle del taglione (P2) e in corrispondenza dell'asse dello sbarramento (P1);
2. Sbarramento principale, concio n. 1: n. 2 piezometri installati dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. La base dei due piezometri (punto più depresso) si troverà rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali (P3) e nella zona centrale della sezione trasversale dello sbarramento (P4);
3. Sbarramento principale, concio n. 2: n. 2 piezometri installati in prossimità dei piezometri esistenti dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-

fondazione. La base dei due piezometri (punto più depresso) si troverà rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali (P5) e nella zona centrale della sezione trasversale dello sbarramento (P6);

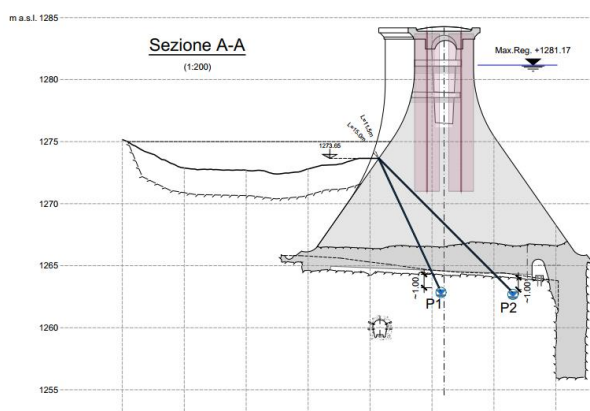
4. Sbarramento principale, concio n. 3: n. 2 piezometri installati dal paramento di valle e posizionati in fondazione in prossimità del contatto diga-fondazione. La base dei due piezometri (punto più depresso) si troverà rispettivamente a valle delle nuove canne di drenaggio verticali (P7) e nella zona centrale della sezione trasversale dello sbarramento (P8);

Per i piezometri installati nello sbarramento secondario, le perforazioni potranno essere condotte sia prima della realizzazione del rilevato che a seguito della posa del rilevato stesso. L'installazione delle celle piezometriche e dei relativi cavi potrà essere eseguita anche a seguito della realizzazione del rilevato. Un opportuno sistema di tubazioni o di canalette dovrà essere predisposto al fine poter garantire l'installazione degli strumenti dalla berma a quota 1275,00 m s.l.m. del rilevato e la successiva connessione al cablaggio generale del sistema di monitoraggio.

Le perforazioni per l'installazione dei piezometri nello sbarramento principale dovranno essere eseguite prima della realizzazione del nuovo cunicolo di drenaggio/ispezione. La testa delle perforazioni è stata prevista alla quota del cunicolo in modo da garantire la manutenzione della strumentazione nel corso della vita dell'opera e facilitare le operazioni di cablaggio e connessione della strumentazione.

4.6.2 Rilevato

Si prevede di monitorare il livello piezometrico all'interno del rilevato attraverso l'installazione di n. 2 celle piezometriche allineate, in analogia con i tubi inclinometrici, su una sezione di misura ubicata nella porzione di maggiore altezza del rilevato sulla sinistra del nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo. Le due coppie di piezometri si estenderanno dalla superficie del rilevato (quote 1272,50 m s.l.m. e 1267,50 m s.l.m.) fino alla fondazione (**Figura 24**).



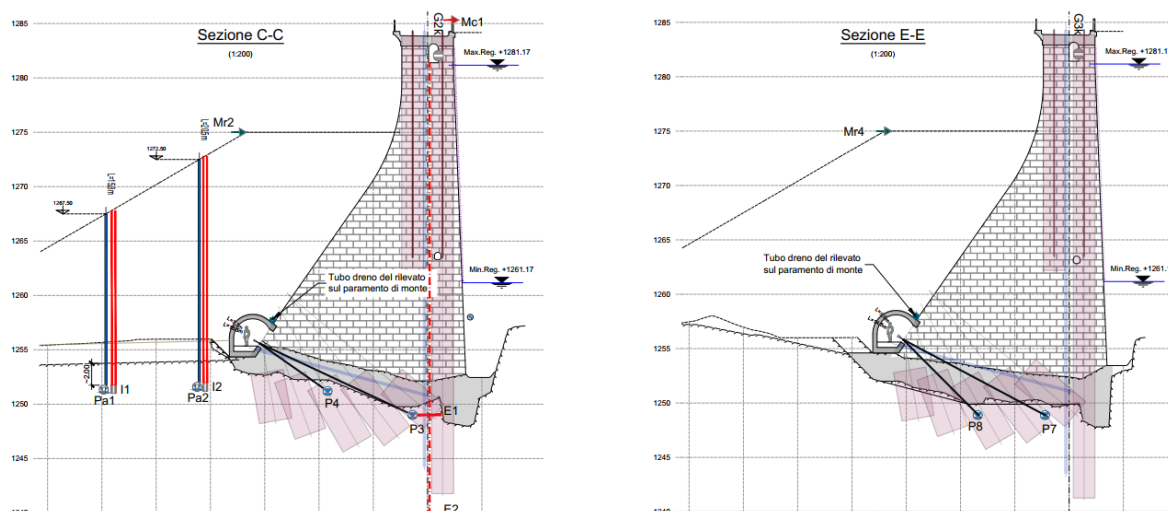


Figura 24 – Nuove sezioni strumentate con i piezometri.

4.6.3 Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti

Le caratteristiche minime delle n. 10 celle piezometriche previste sono elencate di seguito:

- Campo di misura: 0-3,5 Mpa;
- Precisione: $\lt; \pm 0,25\% \text{ FS}$;
- Campo operativo delle temperature: $-20^{\circ}\text{C} +80^{\circ}\text{C}$.

4.7 Perdite

I punti di misura delle perdite attualmente installati a valle dello sbarramento principale saranno rimossi e riposizionati all'interno delle nuove opere. Saranno mantenuti invariati solo i punti di controllo delle perdite in fondazione in spalla destra (PDS6).

Si prevede in particolare l'installazione di n. 11 nuovi punti di misura delle perdite (Tabella 9).

ID	Descrizione	Origine delle perdite	Ubicazione
1	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale, parte sinistra	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
2	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale, parte destra	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
3	Perdite dei nuovi drenaggi nello sbarramento principale, totale	Filtrazioni in fondazione e nel corpo diga	Nuovo cunicolo di accesso in prossimità dell'uscita nel piazzale a valle della cabina di controllo
4	Perdite del taglione, lato lago	Filtrazioni in fondazione	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra

5	Perdite del taglione, lato fondazione	Filtrazioni in fondazione	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
6	Perdite sponda sinistra	Filtrazione in sponda sinistra	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
7	Perdite raccolte dal tubo drenante al piede dello strato dreno del rilevato sul paramento di monte, parte sinistra	Perdite del paramento di valle dello sbarramento principali, possibili infiltrazioni durante gli eventi meteorici	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
8	Perdite raccolte dal tubo drenante al piede dello strato dreno del rilevato sul paramento di monte, parte destra	Perdite del paramento di valle dello sbarramento principali, possibili infiltrazioni durante gli eventi meteorici	Nuovo cunicolo di ispezione/drenaggio in prossimità della nuova cabina di manovra
9	Perdite cunicolo spalla sinistra	Filtrazioni in fondazione	Sezione terminale del cunicolo in spalla sinistra in corrispondenza del piazzale a valle della cabina di controllo
10	Tubazione di drenaggio del rilevato, sinistra	Filtrazioni all'interno del rilevato	Piazzale a valle della cabina di controllo
11	Tubazione di drenaggio del rilevato, destra	Filtrazioni all'interno del rilevato	Piazzale a valle della cabina di controllo

Tabella 9: Punti di misura delle perdite

Si precisa che nei punti di misura n. 7 e n. 8 confluiranno anche le attuali perdite dei giunti verticali dello sbarramento principale in muratura.

4.7.1 Specifiche e caratteristiche minime degli strumenti

La misura delle perdite sarà effettuata tramite stamazzi opportunamente strumentati con trasduttori di pressione per la misura automatica. Le caratteristiche minime dei sensori di pressione sono elencate di seguito:

- Campo di misura: 500 mm/1000mm di colonna d'acqua;
- Precisione : < $\pm 0,2\%$ FS;
- Campo operativo delle temperature: -20°C $+80^{\circ}\text{C}$.

4.8 Strumentazione di monitoraggio post-intervento e frequenza di lettura

La Tabella 10 riporta l'elenco sintetico degli strumenti previsti, la loro ubicazione, la quantità prevista per ciascuna tipologia di misura e la frequenza di lettura. L'indicazione temporale delle misure è relativa sia alla strumentazione manuale che a quella automatica; in quest'ultimo caso essa è da intendersi come riferita all'archiviazione dei dati.

Parametro	Strumentazione	Numero	Ubicazione	Letture
MISURE IDROMETEOROLOGICHE				
Temperatura dell'aria (minima massima)	Termometro installato nella stazione metereologica	1	Pilone destro	Plurigiornaliera (A)
Pioggia	Pluviografo installato nella stazione metereologica	1	Pilone destro	Plurigiornaliera (A)
Manto nevoso	Palina metrica	-	-	Giornaliera (M)
Spessore del ghiaccio		-	-	Giornaliera (M)
Livello d'invaso	Asta idrometrica con targa	1	paramento di monte del concio n. 2	Giornaliera (M)
	Sensore piezoresistivo	1	paramento di monte del concio n. 2 quota 1258,00 m s.l.m.	Plurigiornaliera (A)
	Misuratore di livello radar	1	coronamento del concio n. 2	Plurigiornaliera (A)
Temperatura dell'acqua	Termometro a immersione	1	Superficie 5 m di profondità	Giornaliera (M)
MISURE SISMICHE				
Accelerazione	Accelerometro	3	n. 1 sul coronamento del concio n. 2 dello sbarramento principale. n. 1 all'interno del nuovo cunicolo di ispezione e drenaggio n. 1 sulla berma del rilevato a quota 1275,00 m s.l.m. in corrispondenza del concio centrale dello sbarramento principale.	(A)
SPOSTAMENTI PLANO-ALTIMETRICI DELLO SBARRAMENTO PRINCIPALE				
Spostamenti planimetrici radiali (M-V) e tangenziali (S-D)	Pendoli rovesci	2	Concio n. 2, Pilone sinistro	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
Spostamenti planimetrici M-V e altimetrici	Collimazione, mire mobili	2	Conci n. 2 e n. 3	Mensile (M)
	Collimazione, mire mobili	2	Conci n. 1 e n.4	Mensile (M)
Spostamenti altimetrici	Estensimetri	2	Concio n. 2, piano di fondazione e fondazione	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
Spostamenti altimetrici	Estensimetri	2	Concio n. 1, piano di fondazione e fondazione	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
SPOSTAMENTI PLANO-ALTIMETRICI DEL RILEVATO				
Spostamenti verticali	Livellazione topografica	4	Berma superiore del rilevato	Mensile (M)

Movimenti orizzontali	Inclinometri	2	Rilevato	Semestrale (M)
MOVIMENTO DEI GIUNTI DEI CONCI DELLA DIGA E DELLE OPERE IN CALCESTRUZZO				
Movimento dei giunti	Misuratore di giunto biassiale	4	Sbarramento principale Giunti n. 1, 2, 3 e 4	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
	Misuratore di giunto biassiale	1	Sbarramento principale Giunto n. 5	Settimanale (M) Plurigiornaliera (A)
	Misuratore di giunto triassiale	1	Giunto tra nuova camera paratoie e nuovo cunicolo di accesso/scarico di fondo	Mensile (M) Plurigiornaliera (A)
TEMPERATURE DEL CORPO MURARIO				
Temperatura del corpo murario	Termometro	3	Paramento di valle	Settimanale (M)
SOTTOPRESSIONI				
Sottopressioni	Piezometri a tubo aperto	4	Sbarramento principale Concio n. 2	Plurigiornaliera (A)
	Celle piezometriche	6	Sbarramento principale Conci n. 1, 3 e 4	Plurigiornaliera (A)
	Celle piezometriche	2	Sbarramento secondario	Plurigiornaliera (A)
	Celle piezometriche	2	Rilevato	Mensile (M) Settimanale (A)
PERDITE				
Portata	Stramazzo	11	Nuovi cunicoli, area di valle del rilevato	Giornaliera (M) Plurigiornaliera (A)
	Stramazzo	2	Spalla destra	Giornaliera (M) Plurigiornaliera (A)
Nota: La strumentazione esistente è evidenziata in giallo.				

Tabella 10: Strumentazione prevista per il monitoraggio

4.9 Sistema di gestione delle misurazioni

Il sistema attuale di controllo e archiviazione delle misurazioni dovrà essere integrato e aggiornato al fine di consentire la gestione della strumentazione di monitoraggio descritta nei paragrafi precedenti (strumenti esistenti che verranno mantenuti in uso e nuova strumentazione).

Sarà confermato e implementato l'attuale sistema di monitoraggio che consente il controllo di tutte le apparecchiature automatiche e anche l'integrazione delle misure raccolte con modalità di lettura manuale al fine di gestire il tutto in un database unico.

L'applicativo INDACO, robusto e consolidato sistema di raccolta dati, già in utilizzo presso la diga di Trepidò e molte altre dighe del gruppo A2A, sarà implementato per accogliere e gestire le misure acquisite dai nuovi sensori descritte nel capitolo 4.

INDACO consente mediante unità periferiche di acquisizione, la raccolta dei dati, la loro visualizzazione cronologica e prima validazione mediante confronto fra più grandezze (causa ed effetto) e l'impostazione di soglie sulla variazione della misura rispetto a determinati range o escursioni in determinati lassi temporali. INDACO sarà presente sia presso la casa di guardia della diga che presso le strutture di trattamento e gestione dei dati di A2A.

Le unità periferiche di acquisizione dati saranno opportunamente dislocate all'interno delle opere strumentate.

Indicativamente si prevede di installare n. 3 unità di acquisizione dati dislocate approssimativamente come segue: n. 1 nel cunicolo di ispezione esistente in prossimità della camera di manovra, n. 1 nel nuovo cunicolo di drenaggio/ispezione in prossimità della camera paratoie e n. 1 nella nuova cabina di controllo o all'interno del nuovo cunicolo di accesso.

A tali unità sopracitate sarà collegata sia la strumentazione esistente che quella di nuova installazione. Le unità di acquisizione dati avranno il compito di interrogare i sensori ad esse collegate con la frequenza desiderata e di trasmettere a loro volta le misure ad INDACO.

Le unità di acquisizione dati dovranno essere sufficientemente versatili da poter leggere i segnali provenienti dalle differenti tipologie di sensori installati e da poterne prevedere di nuovi od integrativi. Compito cruciale delle unità di acquisizione dati automatiche sarà anche la salvaguardia delle informazioni in caso di mancanza di comunicazione con INDACO mediante l'impiego di memorie non volatili.

Il buon funzionamento delle unità di acquisizione è cruciale quanto quello dei sensori stessi. Per questo motivo esse dovranno presentare ottime caratteristiche di affidabilità e referenze di impiego in simili condizioni di lavoro. Per consentire future manutenzioni saranno installate avendo cura di scegliere ubicazioni protette, funzionali al cablaggio ma anche facilmente accessibili.

Questi sistemi dovranno avere un bassissimo consumo intrinseco. Tutta la parte elettronica di acquisizione e memorizzazione dovrà essere normalmente disalimentata e l'attivazione delle varie funzioni verrà effettuata solo in corrispondenza del momento e della frequenza di acquisizione impostate.

Le misure raccolte in INDACO saranno trasferite direttamente al database MIDAS, già in utilizzo per le dighe del gruppo A2A.

Il database raccoglierà anche le letture manuali di controllo, i dati provenienti dai sensori degli strumenti geotecnici e le misure topografiche, li uniformerà e li renderà confrontabili su base spaziale e temporale.

Attraverso un'interfaccia grafica di semplice utilizzo si accederà ai diagrammi delle misure aggiornati, così come ai dati raccolti in forma tabellare ed ai datasheets dei singoli strumenti.

La piattaforma conterrà al suo interno e renderà immediatamente disponibili note di manutenzione specifiche per ogni strumento e permetterà la creazione di diagrammi personalizzati.

Gli output di MIDAS saranno facilmente condivisibili su web all'interno di siti dedicati. Attraverso l'impiego di appositi tools sarà possibile la redazione dei rapporti periodici mensili e semestrali in modo veloce e semplice.

5. CONCLUSIONI

La presente relazione descrive gli interventi di integrazione del sistema di monitoraggio della diga.

Nella **prima parte** della relazione è stato descritto il sistema di monitoraggio esistente della diga ed è stata fornita una breve analisi dei dati provenienti dalle misurazioni.

Il sistema di monitoraggio attualmente installato nella diga consente la misura delle seguenti grandezze:

- misure idrometeorologiche (livello dell'invaso, temperature di aria e acqua, stima del manto nevoso, precipitazioni, spessore del ghiaccio);
- spostamenti plano-altimetrici;
- movimenti dei giunti della diga;
- temperatura del corpo murario;
- sottopressioni;
- perdite.

La strumentazione esistente sarà tutta attentamente verificata e, qualora necessario, sarà revisionata/manutenuta/sostituita.

Gli spostamenti plano-altimetrici misurati per lo sbarramento principale dai diversi strumenti indicano componenti millimetriche nelle tre dimensioni (monte-valle, destra-sinistra, alto-basso) influenzati principalmente dalle variazioni stagionali della temperatura e secondariamente dalle variazioni del livello dell'invaso. Delle modeste anomalie sono state evidenziate nelle misure registrate dai pendoli. Non si evidenziamo criticità e derive nell'andamento degli spostamenti.

Per quanto riguarda le sottopressioni misurate nell'unica sezione strumentata (concio centrale dello sbarramento principale) si osserva che i livelli piezometrici sono piuttosto regolari e ben correlati con le oscillazioni del livello d'invaso (ad eccezione del piezometro più a valle che risulta scarsamente influenzato dal livello di invaso). Il valore delle pressioni è coerente con l'andamento teorico atteso nel caso di dighe prive di sistema di drenaggio in fondazione. Si segnala una leggera tendenza di incremento delle pressioni in funzione del tempo in particolare per i piezometri ubicati più vicini al paramento di monte.

Le massime perdite misurate sono pari a circa 8 l/s in fondazione e circa 3 l/s in diga.

Per quanto riguarda le perdite in fondazione i contributi più rilevanti sono quelli dovuti alle perdite misurate all'uscita del cunicolo di drenaggio in spalla sinistra e dal cunicolo di drenaggio del taglione. Le perdite in fondazione mostrano una dipendenza sostanzialmente lineare o poco più che lineare con il livello dell'invaso; non si evidenziano variazioni significative nel tempo.

Per la diga il contributo più rilevante risulta quello dovuto alle perdite raccolte dai drenaggi nel corpo diga e in corrispondenza dei giunti. Per le perdite della diga si osserva una significativa dispersione

dei valori a parità del livello dell'invaso. Si osserva inoltre un progressivo incremento delle perdite nel tempo soprattutto per quanto riguarda le misurazioni degli ultimi anni.

Nella **seconda parte** della relazione sono stati descritti gli interventi progettuali di miglioramento previsti per il sistema di monitoraggio dell'opera, che comprendono in sintesi:

- integrazione del sistema di misure idrometeorologiche;
- installazione di un sistema di misura per la sorveglianza sismica (n. 3 accelerometri);
- integrazione del sistema di monitoraggio degli spostamenti plano-altimetrici dello sbarramento principale (mire mobili, misuratore di giunto);
- installazione di un sistema di monitoraggio degli spostamenti del nuovo rilevato in materiale sciolto (livellazione topografica, misure inclinometriche);
- integrazione del sistema di monitoraggio delle sottopressioni dello sbarramento principale (n. 6 celle piezometriche su due sezioni di misura);
- installazione di n. 2 piezometri per la misura delle sottopressioni dello sbarramento secondario;
- installazione di n. 2 piezometri per la misura del livello piezometrico all'interno del nuovo rilevato;
- parziale sostituzione e integrazione del sistema di monitoraggio delle perdite della diga e del rilevato (n. 11 punti di controllo).

Per ogni strumento sono stati descritti i seguenti aspetti principali:

- funzione e obiettivi;
- ubicazione;
- quantità;
- tipologia e caratteristiche minime;
- tipologia e frequenza di lettura.