



ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ
 DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
 SERVIZIO 3 - PROGRAMMAZIONE ED ESECUZIONE INTERVENTI INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

PROGETTO DEI LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL SISTEMA
 DI TENUTA DELLA DIGA SAN GIOVANNI NEL TERRITORIO
 DEL COMUNE DI NARO (AG) (SCHEDA INTERVENTO N. 080)

CUP: G29E18000040001 - CIG: 7725373B77



RTP

mandatario

mandanti

PRO-GEO
 progettazione geotecnica

S P A I
 SOCIETA' DI INGEGNERIA

s.i.a.

STUDIO INGEGNERI ASSOCIATI

Studio di Geologia

G. Graziano e M. Masi

Studio di Ingegneria

Ing. E. Giannone Codiglione



PROGETTO ESECUTIVO

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO (R.U.P.):

Dott. Ing. Salvatore Stagno

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
 TRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Pietro Umiltà

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE IDRAULICA IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO
 CUNICOLO DI ISPEZIONE

ELABORATO N°:

ISP.7.1.1

		ELABORATO	CONTROLLATO	APPROVATO		
SIGLA		V. Lupo	G. Lusco	F. Lusco		
REVISIONE	N.	DATA	DESCRIZIONE			
	0	DIC 2021	Emissione elaborati progetto esecutivo			
	1					
	2					

DATA:

DICEMBRE 2021

SCALA:



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SOLLEVAMENTO ESISTENTE	2
3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE	7
3.1 Impianto di sollevamento n°2 cunicolo di ispezione.....	11
3.1.1 Funzioni implementate dal sistema di controllo dell'impianto.	13
3.1.2 Dati per il dimensionamento dell'Impianto	14
3.1.3 Dimensionamento dell'impianto di sollevamento	14
3.1.4 Stima speditiva delle sovrappressioni nella condotta premente	22
3.1.5 Calcolo della distanza tra le mensole di appoggio della tubazione	24
3.2 Impianto di sollevamento n°1 cunicolo di ispezione.....	27
4. STUDIO DELLE POSSIBILI CORRELAZIONI TRA PERDITE RILEVATE, VOLUMI DI INVASO E PRECIPITAZIONI.....	29



1. PREMESSA

Il presente documento riguarda gli impianti di sollevamento delle acque raccolte all'interno del cunicolo di ispezione della Diga San Giovanni sul F. Naro.

Il cunicolo di ispezione, che si estende quasi parallelamente al coronamento della diga per una lunghezza complessiva pari a 636,45 m, è dotato di due impianti di sollevamento volti ad allontanare le acque drenate all'interno del cunicolo che necessitano oggi di un revamping.

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SOLLEVAMENTO ESISTENTE

Il sistema di sollevamento ed allontanamento delle acque che si raccolgono all'interno del cunicolo di ispezione è oggi composto da due distinti impianti di sollevamento: uno posto alla progressiva 567.64 (Sollevamento n°1) ed uno posto alla progressiva 407.19 (Sollevamento n°2).

Il Sollevamento n°1 è dotato di una pompa di drenaggio di modeste dimensioni (0.5 kW) alloggiata all'interno di un piccolo pozzetto avente profondità pari a circa 20 cm che solleva le acque mediante una condotta DN 50 nel tratto del cunicolo dove si raccolgono le acque sollevate dal Sollevamento n°2.

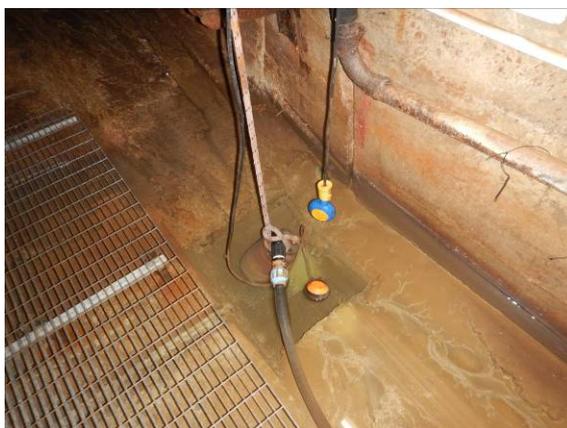


Figura 1 - Sollevamento n°1

L'Impianto di sollevamento n°2 è quindi l'impianto di maggior importanza perché di fatto allontana dal cunicolo tutte le acque che in esso si raccolgono.

Il sollevamento n°2 è stato oggetto nel tempo di diversi interventi e modifiche ed è al momento dotato di n° 4 pompe due sommergibili e due definite di emergenza del tipo sommerse normalmente utilizzate nei pozzi.

Dal sollevamento n°2 parte la premente (Pead De 110 PN6) che porta le acque al di fuori del cunicolo in una canaletta adiacente la cabina di ingresso al cunicolo. La premente è allo stato attuale poggiata per terra all'interno del cunicolo assieme al collettore che raccoglie le perdite e le



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

convoglia verso l'impianto di Sollevamento n°2 il quale risulta parzialmente ostruito. Si segnala che oltre le tubazioni di cui sopra sono altresì presenti altre due condotte De 90 di mandata ormai in disuso.

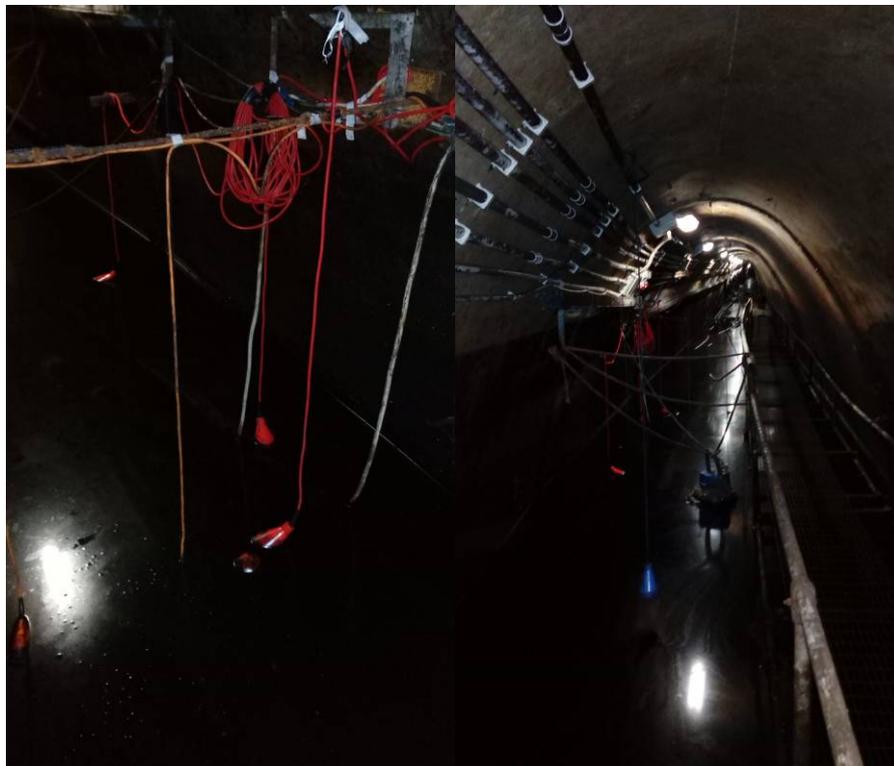


Figura 2 - Sollevamento n°2

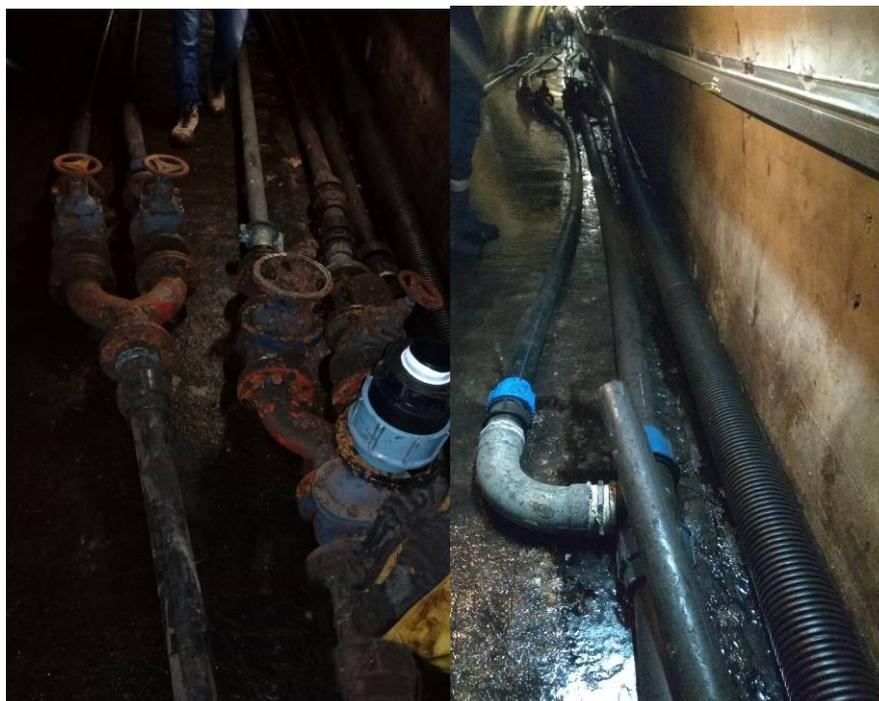


Figura 3 - Piping Sollevamento n°2



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

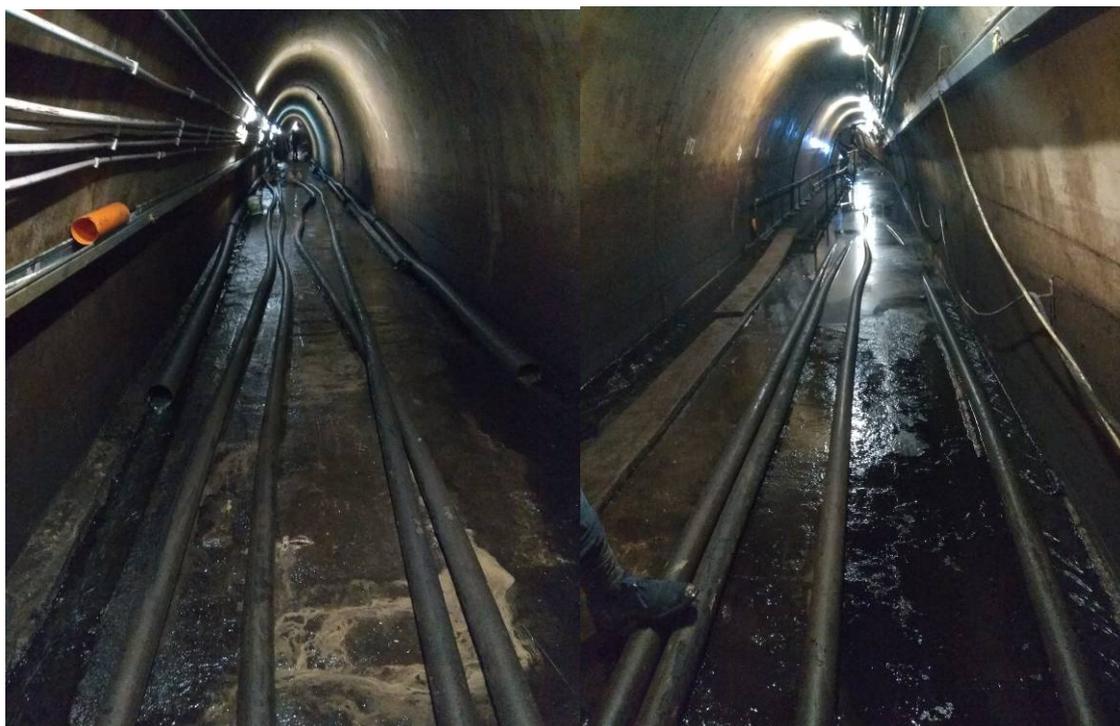


Figura 4 - Collettori raccolta perdite e tubazioni di mandata

Allo stato attuale come già rilevato in sede di studio di fattibilità il revamping del sollevamento n°2 è di fondamentale importanza perché *"La presenza di queste acque, se non adeguatamente regimate ed edotte, oltre ad arrecare potenziali danni agli impianti elettrici presenti all'interno del cunicolo, non permette la regolare gestione, in termini di controllo, monitoraggio e sicurezza, e quindi per tale motivazione vi è l'esigenza di realizzazione di un intervento importante in sottosuolo che possa assicurare nel tempo la perfetta gestione dell'impianto"*.

A seguito del parere prot. n. 9482 del 06.05.2021 con il quale la Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ha approvato sotto il profilo tecnico il progetto definitivo ed ha richiesto nella fase progettuale esecutiva di: *"prevedere, previa adeguata campagna di analisi della qualità dell'aria, che i gradi di protezione previsti in progetto per gli impianti elettrici e di illuminazione all'interno dei cunicoli siano adeguati agli ambienti umidi con presenza di gas sulfurei, motivo per il quale l'accesso ai cunicoli è subordinato alla preventiva aerazione tramite impianto di ventilazione installato nel piazzale a valle della diga"* il D.R.A.R. - in qualità di concessionario e gestore della diga - ha dato incarico al laboratorio "Lacerc s.r.l. Laboratorio analisi chimiche, ricerche, consulenze" di effettuare idonea campagna di analisi dell'aria nei due cunicoli della diga al fine di stabilire - in funzione dei valori ottenuti - l'adeguatezza del grado di protezione degli impianti elettrici e di illuminazione previsto nella fase di progetto definitivo.

I risultati delle analisi effettuate dal laboratorio (fig.5), dettagliatamente descritte nella relazione tecnica allegata alla presente relazione a cui si rimanda per tutte le specifiche, hanno mostrato che all'interno dei due cunicoli non sussiste alcuna atmosfera esplosiva né



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

delle condizioni di atmosfera aggressiva tali da dover adottare un grado di protezione per le apparecchiature elettriche e per gli impianti elettrici in genere superiore a quello già previsto nel progetto definitivo (IP65).

RISULTATI ANALITICI					
<u>Cunicolo d'ispezione</u>					
Parametro	Unità di misura	Tempo di campionamento (min)	Risultato	Limite TLV	
				TWA ⁽¹⁾⁽²⁾	STEL ⁽¹⁾⁽³⁾
O ₂	%	15	20,9	*	*
CO	mg/m ³	15	-	23	117
H ₂ S	mg/m ³	15	-	7	14
LeL (livello di esplosività)	% vol. CH ₄ **	15	-	5	5

<u>Cunicolo drenante</u>					
Parametro	Unità di misura	Tempo di campionamento (min)	Risultato	Limite TLV	
				TWA ⁽¹⁾⁽²⁾	STEL ⁽¹⁾⁽³⁾
O ₂	%	15	20,9	*	*
CO	mg/m ³	15	-	23	117
H ₂ S	mg/m ³	15	23	7	14
LeL (livello di esplosività)	% vol. CH ₄ **	15	-	5	5

⁽¹⁾ TLV: Threshold Limit Value / Valore Limite di Soglia (allegato ALLEGATO XXXVIII, D.Lgs. 81/08)

⁽²⁾ TLV-TWA: (Time Weighted Average/Concentrazione Media Ponderata) esprime la concentrazione media ponderata per giornata lavorativa di 8 ore e 40 ore settimanali (esposizione cronica)

⁽³⁾ TLV-STEL: (Short Term Exposure Limit/Concentrazione Massima per breve Periodo) esprime la concentrazione massima per breve periodo (di punta)

* Concentrazione atmosferica.

** Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles, Elsevier

14 Dott. ssa
ACCURSO VINCENZA
CHIMICO
N. 1088 - 34

Dott.
D'ARPA ALBERTO
CHIMICO
N. 1193 - 347 - A

Via Pignatelli Aragona, 86 - 90141 Palermo (PA)
Tel. 091.393088 Capitale Sociale 26.800 euro i.v.

www.lacerc.it
email: info@lacerc.it

P.IVA e C.F. 05239590820
Reg. Imprese di Palermo N. REA 243496

Figura 5 – Risultati analitici delle misure e valori limite di riferimento

Attualmente le condizioni operative degli addetti all'interno del cunicolo sono rese difficoltose dall'elevata umidità presente nell'aria e dalla presenza di un discreto tirante idrico nella parte più depressa del cunicolo di ispezione.

In relazione a questo ultimo aspetto si rileva che:

- il quadro elettrico di alimentazione del sollevamento n°2, posto in prossimità del sollevamento, è alimentato mediante un cavidotto che entra nel cunicolo dalla parte opposta rispetto alla scala di accesso al cunicolo stesso. Questo approntamento non consente agli operatori, in caso di guasto, di poter disalimentare il quadro prima di accedere al cunicolo con tutte le problematiche legate alla sicurezza. A ciò si aggiunge che l'elevato livello di umidità presente all'interno del cunicolo spesso manda in crisi il quadro stesso facendo saltare le protezioni elettriche;



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE



Figura 6 - Quadro elettrico sollevamento n°2

- in corrispondenza del Sollevamento n°2 per poter passare al di sopra del livello idrico formato dalle acque che qui si accumulano prima di essere allontanate è stata realizzata una precaria passerella dotata di un parapetto formato con elementi da ponteggio e prolungata con delle tavole.

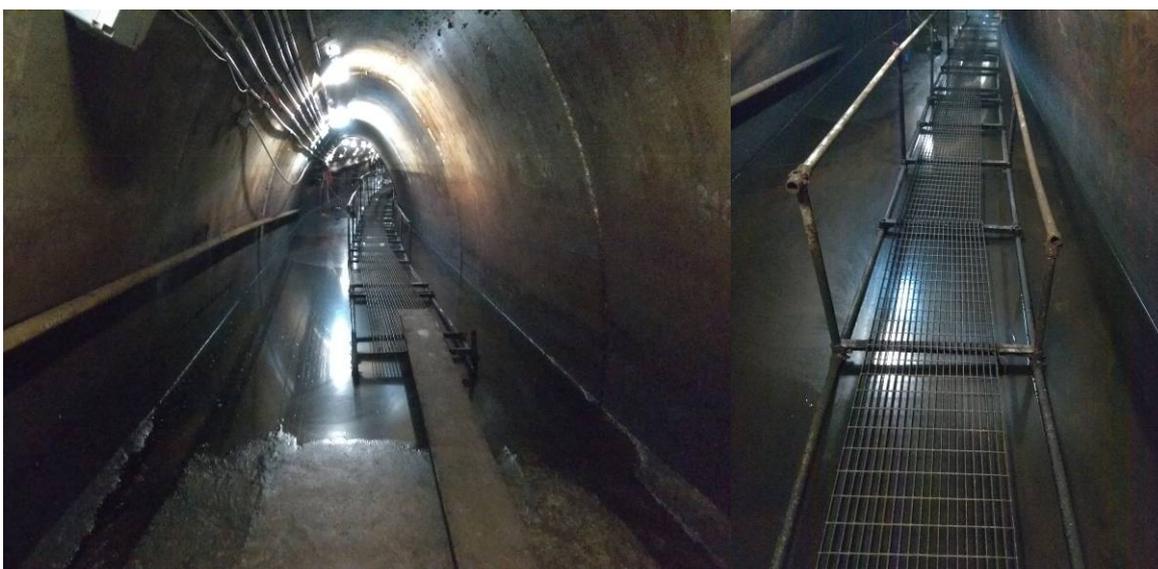


Figura 7 - Passerella esistente in corrispondenza del Sollevamento n°2



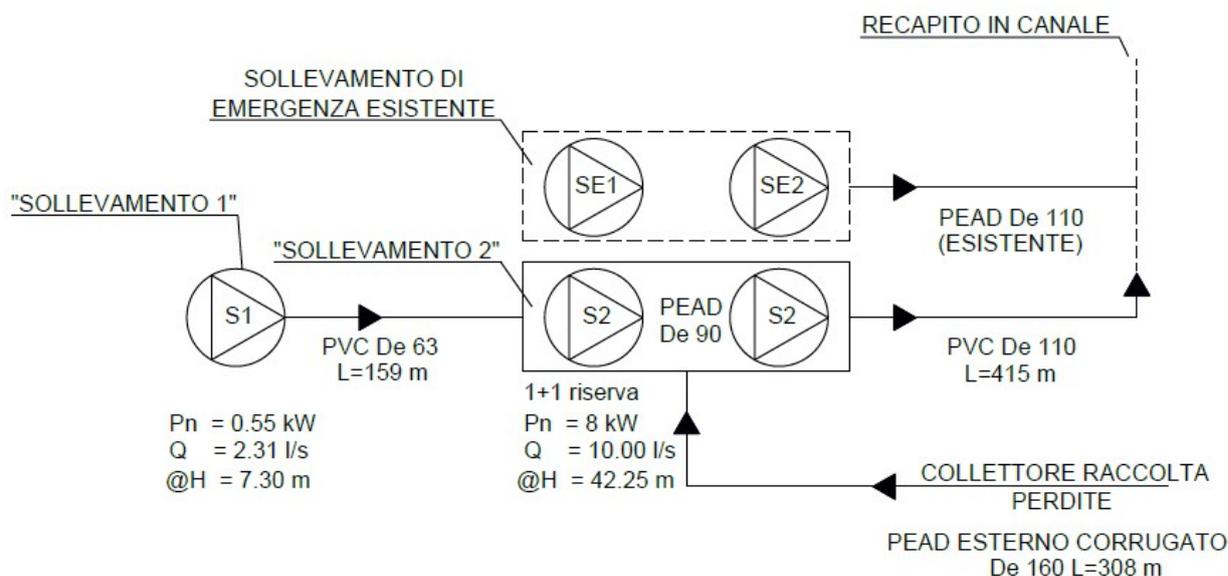
3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

Il progetto in argomento è stato sviluppato al fine di perseguire essenzialmente i seguenti obiettivi:

- ottimizzare il sistema di eduazione delle acque dal cunicolo di ispezione;
- consentire il controllo da remoto del funzionamento dell'impianto;
- monitorare il livello delle acque raccolte all'interno del cunicolo in corrispondenza del Sollevamento n°2;
- migliorare le condizioni di lavoro degli operatori all'interno del cunicolo di ispezione.

Al fine di raggiungere gli obiettivi sopra elencati il presente progetto prevede i seguenti interventi

SCHEMA IDRAULICO



1) Rifacimento dell'impianto di sollevamento n°2

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni

- smontaggio e ricovero in locale indicato dall'amministrazione di 2 della 4 pompe esistenti lasciando così due delle 4 pompe esistenti con il relativo piping in PEAD De 110 come impianto di sollevamento di emergenza;
- fornitura e posa in opera di n°2 elettropompe sommergibili drenanti (1+1 riserva) aventi le seguenti caratteristiche:



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- Portata : 10,0 l/s
- Prevalenza : 42,25 m
- Potenza nominale : 8,0 kW
- installazione di misuratore di livello idrostatico e galleggianti di emergenza;
- dismissione della condotta di mandata esistente DN 90 non in esercizio;
- fornitura e posa in opera delle seguenti apparecchiature idrauliche;
 - n°2 valvole di non ritorno in ghisa sferoidale DN 80 PN 16
 - n°2 saracinesche in ghisa sferoidale DN 80 PN 16
 - n°1 saracinesca in ghisa sferoidale DN 100 PN 16
- rifacimento del piping di collegamento tra le pompe di drenaggio e la condotta di mandata;
- rifacimento della condotta di mandata con tubazione in PVC De 110 PN 16 staffata a parete con supporti e collari in acciaio inox per uno sviluppo complessivo L= 415 m;



Figura 8 - Staffa di ancoraggio condotta di mandata Sollevamento n°2

- dismissione del quadro elettrico esistente;



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- fornitura e posa in opera di nuovo quadro elettrico di alimentazione e controllo delle pompe da posizionare in prossimità dell'accesso alla galleria di ispezione.

2) Sostituzione sollevamento n°1 e premente dal Sollevamento n°1 al Sollevamento n°2

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni:

- dismissione delle condotte esistenti funzionanti e non;
- dismissione della pompa esistente e suo ricovero in locale indicato dall'Amministrazione;
- fornitura e posa in opera di n°1 elettropompa sommergibile drenante avente le seguenti caratteristiche:
 - Portata : 2.31 l/s
 - Prevalenza : 7.30 m
 - Potenza nominale : 0.55 kW
- posa in opera di nuova condotta di mandata in PVC De 63 PN10 ancorata alla parete mediante collari in nylon PA 6.6 vitone in acciaio inox e tassello in PP per uno sviluppo complessivo di 159 m

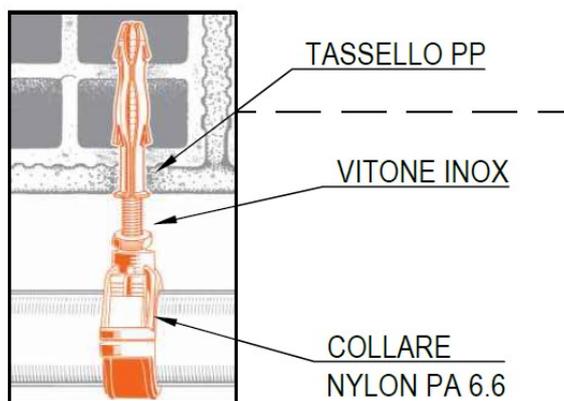


Figura 9 - Staffa di ancoraggio condotta di mandata Sollevamento n°1

3) Sostituzione collettori raccolta perdite

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni:

- dismissione dei collettori esistenti;



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- posa in opera di due nuovi collettori in PEAD De 160 dotati di T e raccordo De 63 da collegare al punto di raccolta delle perdite. I due collettori saranno collocati sui due lati della galleria per una lunghezza pari a 308 m

4) *Realizzazione di pavimento flottante in PRFV*

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni:

- dismissione della passerella esistente;
- realizzazione di un pavimento flottante in PRFV a tutta sezione in corrispondenza della concavità esistente dove si raccolgono le acque poi sollevate dall'impianto n°2. La passerella sarà costituita dai seguenti elementi principali:
 - un grigliato stampato autoportante maglia 13x13 mm in PRFV antiscivolo delle dimensioni complessive di 2.40x46.0 m;
 - piedi di supporto in PP regolabili in altezza posti ad interasse di 1.2 m fissati alla base del cunicolo di ispezione mediante tasselli di ancoraggio ad espansione M8.

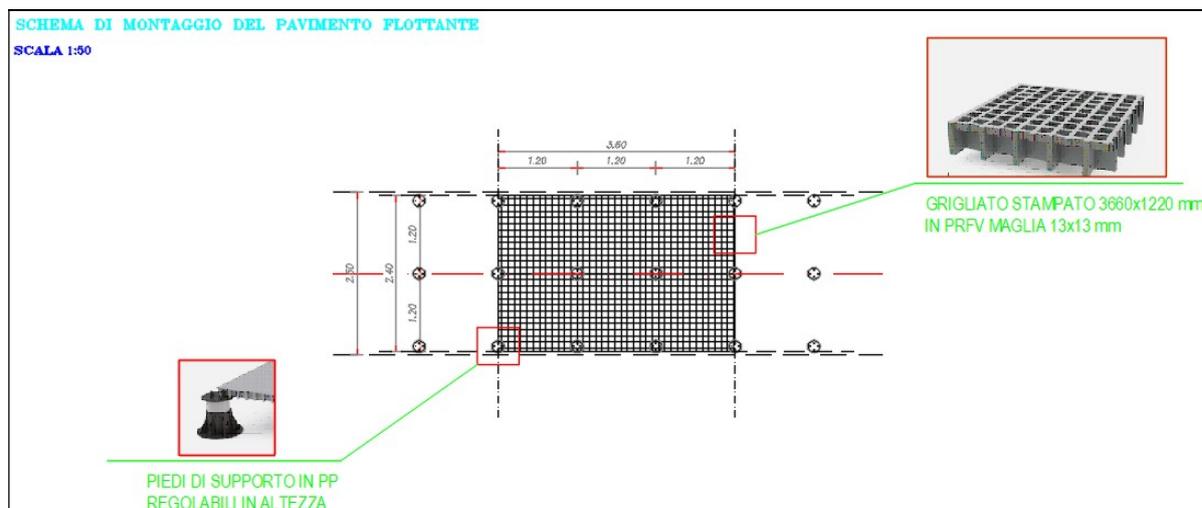


Figura 9 – Schema di montaggio del pavimento flottante – dettaglio elaborato ISP 7.5.3

La scelta del PRFV che ha come peculiarità:

- ottima resistenza alla corrosione ed agli agenti chimici;
- elevate prestazioni meccaniche;
- isolamento elettrico;
- non richiede interventi di manutenzione.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

risponde alle molteplici problematiche rilevate quali: ambiente con un elevato tasso di umidità e rischio di elettrocuzione.

3.1 Impianto di sollevamento n°2 cunicolo di ispezione

L'intervento di revamping dell'impianto di sollevamento prevede l'installazione di 2 pompe centrifughe (1+1 riserva) con girante radiale multipale aperta in hard iron, diffusore e griglia.

Si evidenzia che date le caratteristiche dell'acqua sollevata caratterizzata da un elevato indice di aggressività e dalla presenza di sedimenti sono stati adottati accorgimenti specifici al fine di aumentare la durabilità delle pompe quali:

- adozione di giranti in hard iron (elevata resistenza all'usura da erosione e corrosione) ;
- protezione dalle correnti galvaniche mediante kit di anodi di zinco;
- protezione speciale esterna del corpo pompa mediante verniciatura epossidica per acque salmastre.

Di seguito le principali caratteristiche delle pompe:

- Portata : 10,0 l/s
- Prevalenza : 42,25 m
- Potenza nominale : 8,0 kW
- Rendimento idraulico : 46 %
- Rendimento totale : 54 %
- Motore elettrico, asincrono trifase, rotore a gabbia, 400 Volt 50 Hz 2 poli
 - Isolamento/protezione : classe H (+180°C) IEC 85/IP 68
 - Potenza nominale : 8,0 kW
 - Corrente nominale : 15 A
 - Avviamento : diretto
 - Raffreddamento : in tutto o in parte ottenuto dal liquido pompato
- Materiali
 - Fusioni principali : alluminio
 - Girante : ghisa ad alto tenore di cromo
 - Albero : acciaio inox
 - Griglia : acciaio galvanizzato



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- Tenuta meccanica : in WCCR
- Protezione dalle correnti galvaniche : kit anodi di zinco
- Protezione speciale esterna : Verniciatura epossidica per acque salmastre
- Dotazioni
 - Curva di mandata predisposta per il fissaggio di un tubo filettato con Ø interno 75 mm
 - Salvamotore incorporato
 - Cavo elettrico sommergibile

Il piping della stazione di sollevamento sarà realizzato in PEAD De 90 PN 16 e sulla mandata di ogni pompa sarà installata:

- saracinesca a cuneo gommato a corpo piatto DN 80 PN 16 con corpo, cappello cuneo e volantino in ghisa, anelli di tenuta del corpo e del cuneo in ottone, albero in acciaio inox, madrevite in bronzo;
- valvola di ritegno a palla DN 80 PN 16 con corpo in ghisa sferoidale palla in acciaio rivestita in gomma vulcanizzata.

Lungo la condotta premente saranno altresì installati una saracinesca a cuneo gommato a corpo piatto DN 100 PN 16 ed un misuratore di portata elettromagnetico con totalizzatore in modo tale da poter registrare sia i valori istantanei delle portate che i volumi totali sollevati.

Le due elettropompe pompe da 8 kW saranno alimentate e gestite da un Quadro elettrico (400V, 50 Hz) istallato in armadio in poliestere a doppia porta cieca, posato a pavimento, con grado di protezione minimo IP 65 (Totalmente protetto dalla polvere e dai getti d'acqua - 10 l/min).

La tipologia di avviamento delle pompe sarà diretta; per il comando delle pompe sarà previsto un controller dotato di funzioni specifiche per la gestione del pompaggio dei dreni.

La logica di funzionamento principale del pompaggio sarà gestita in base al segnale analogico proveniente da un sensore di livello a pressione idrostatica da installare nell'area di raccolta delle acque, l'impianto di pompaggio sarà inoltre dotato di un sistema di automazione d'emergenza basato su interruttori di livello a galleggiante che attiveranno le pompe in maniera automatica anche in caso di guasto del controller di gestione e/o del sensore di livello principale, garantendo così la continuità del servizio.

Il quadro elettrico sarà anche dotato di un pannello operatore Touch Screen da 7" che permette la visualizzazione locale dei parametri di funzionamento, nonché la possibilità per l'operatore di effettuare la parametrizzazione del sollevamento (quote di avvio, ritardi, ecc.).



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

Per consentire il controllo remoto dell'impianto di pompaggio, il controller di automazione disporrà di un modem integrato GSM/GPRS che permetterà sia l'invio di SMS di allarme che l'interfaccia con uno SCADA tramite il protocollo Modbus RTU slave o Aquacom.

3.1.1 Funzioni implementate dal sistema di controllo dell'impianto.

I controller di gestione dell'impianto di sollevamento avrà le seguenti funzioni

- controllo mancanza alimentazione da rete con blocco pompe e riavvio temporizzato;
- gestione completa delle pompe (alternanza, numero max di pompe in funzione, ritardo di avvio/arresto);
- possibilità di impostare dei cicli di pompaggio sotto soglia per eliminare i surnatanti;
- funzione di spostamento set-point di marcia-arresto in periodi selezionati;
- possibilità di gestire il pompaggio con convertitori di frequenza;
- allarme di disfunzione per ogni pompa (protezione termica, sensori pompe, mancata risposta);
- memorizzazione numero degli avviamenti e ore di funzionamento per ciascuna pompa;
- monitoraggio correnti pompe con soglie di allarme;
- misura continua del livello con possibilità di impostare le soglie di intervento pompe e **le soglie di allarme altissimo e bassissimo livello;**
- acquisizione segnale da misuratore di portata;
- possibilità di monitorare il numero di sfiori e la portata di sfioro;
- datalogger integrato;
- comunicazione tramite modem GPRS integrato;
- trasmissione dati a SCADA tramite il protocollo Modbus RTU slave o Aquacom.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

3.1.2 Dati per il dimensionamento dell'Impianto

Il dimensionamento dell'impianto è stato effettuato partendo dai dati registrati dal 1 Gennaio 2009 al 31 Dicembre 2019 dai Tecnici responsabili della Diga di San Giovanni sul F. Naro.

Da detti dati si evince che il questo ultimo decennio, come si evince dal grafico riportato di seguito, è stata registrata una portata massima (Q_{max-in}) pari a **6.24 l/s** in data 10.06.2014

Partendo da questo dato è stato effettuato il dimensionamento dell'impianto, fissando la portata massima sollevabile dalla singola pompa al valore di **10 l/s pari a circa $1.5 * Q_{max-in}$** .

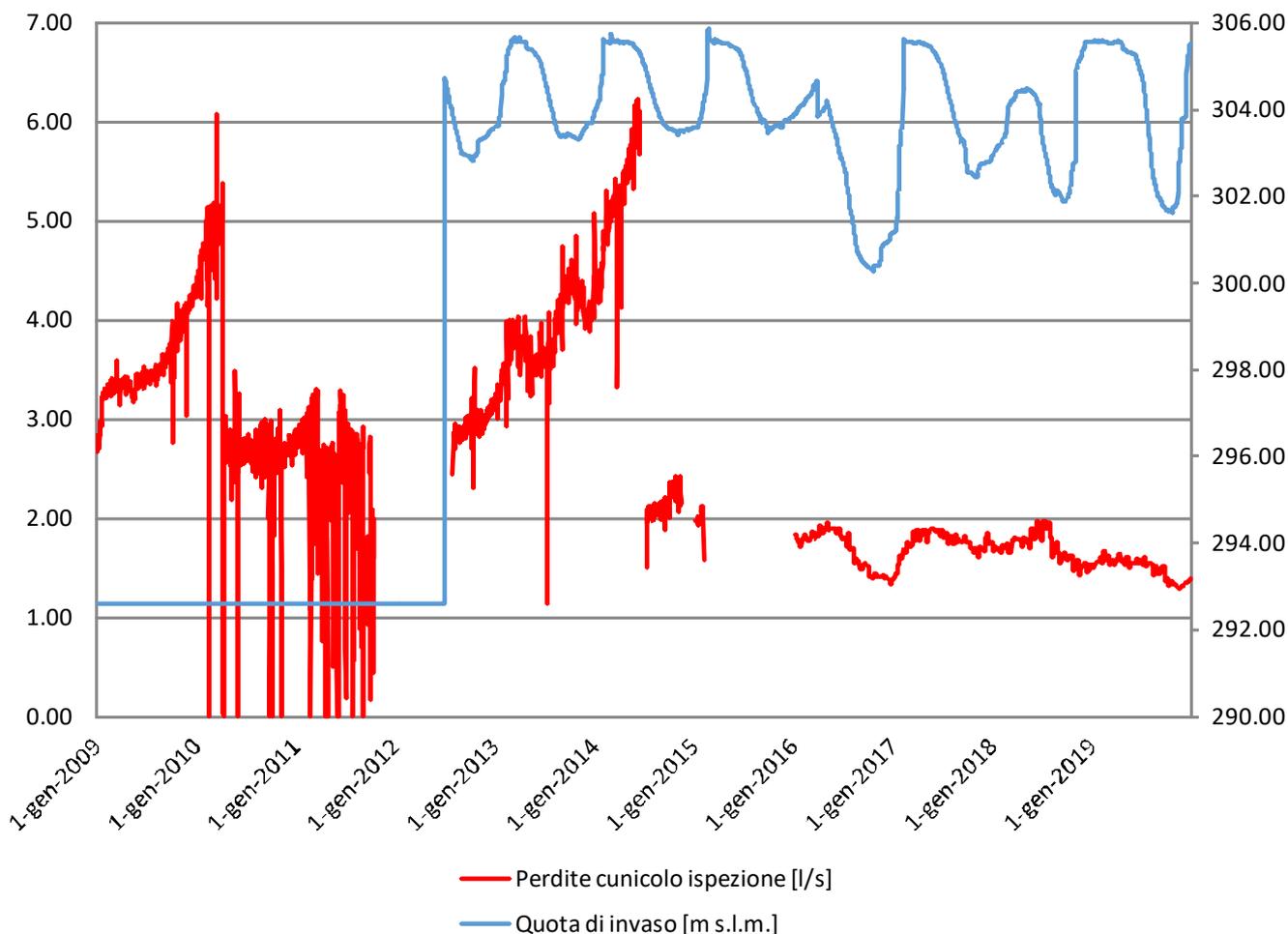


Figura 10 - Andamento delle perdite nel cunicolo di ispezione nell'ultimo decennio

3.1.3 Dimensionamento dell'impianto di sollevamento

L'equazione del moto utilizzata per la determinazione delle perdite di carico lungo la condotta in progetto è quella di Hazen-Williams:



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

$$H = \frac{10.675 \times C^{-1.852} \times q^{1.852} \times L}{D^{4.871}}$$

dove:

- H è il dislivello piezometrico
- q è la portata che transita in condotta
- L è la lunghezza della condotta
- D è il diametro interno della
- C è il coefficiente di scabrezza di Hazen-Williams che per le condotte di PVC è stato posto pari a 130 tenendo conto delle caratteristiche del liquido pompato

A valle delle pompe sono presenti perdite di carico localizzate che si determinano ogni volta che il moto della corrente è ostacolato, oppure è soggetto a repentine variazioni di velocità o direzione; il valore delle perdite dipende dall'altezza cinetica della corrente e da un coefficiente (k) che tiene conto del tipo di variazione imposta, la relazione di calcolo è:

$$\lambda = k \frac{V^2}{2g}$$

in cui:

- λ è la perdita di carico localizzata [m];
- k è il coefficiente di forma;
- g è l'accelerazione di gravità, pari a 9.8 m/s².

I coefficienti scelti per le varie tipologie di ostacoli sono:



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- saracinesca: $k = 0,3$
- valvola a farfalla o di non ritorno: $k = 0,9$
- gomito sagomato a 90°: $k = 0,3$
- T: $k = 0,7$

Le perdite di carico localizzate totali (Δ), che si determinano in un collegamento idraulico, si ottengono come somma delle perdite generate dai singoli ostacoli che la corrente trova lungo il suo cammino secondo la relazione:

$$\Delta = \sum_i \lambda_i$$

con l'ovvio significato dei simboli.

Il calcolo è stato eseguito per diversi diametri della condotta premente determinando la prevalenza totale delle pompe ed i relativi costi di impianto e consumi energetici.

I costi così determinati sono stati attualizzati per la vita utile dell'impianto (25 anni) con un tasso di interesse pari a 3.5% al fine di determinare il costo minimo, somma del costo totale di costruzione e del costo annuo di gestione, individuando così il diametro ottimale in corrispondenza del quale la somma di tutti i costi per l'intera vita utile dell'impianto è minima.

D _e	63	75	90	110	125	140	160	mm	diametro ext premente
V	94 608	94 608	94 608	94 608	94 608	94 608	94 608	m ³ /anno	Volume annuo sollevato
Q _{max-out}	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	l/s	portata massima sollevata
H _m	276.02	276.02	276.02	276.02	276.02	276.02	276.02	m	Quota di monte
H _v	310.20	310.20	310.20	310.20	310.20	310.20	310.20	m	Quota di valle
H_g	34.18	34.18	34.18	34.18	34.18	34.18	34.18	m	dislivello geodetico
C	140	140	140	140	140	140	140		scabrezza (Hazen-Williams)
D _{e-p}	63	75	90	110	125	140	160	mm	diametro ext premente
D _{i-p}	54	64	77	97	110	123	141	mm	diametro int premente
V _p	4.43	3.13	2.17	1.36	1.05	0.84	0.64	m/s	velocità premente
J _p	346.11	148.16	60.81	19.45	10.34	5.96	3.11	m/km	perdita premente
L _p	415	415	415	415	415	415	415	m	Lunghezza premente
Y_p	143.64	61.49	25.24	8.07	4.29	2.47	1.29	m	perdite di carico premente

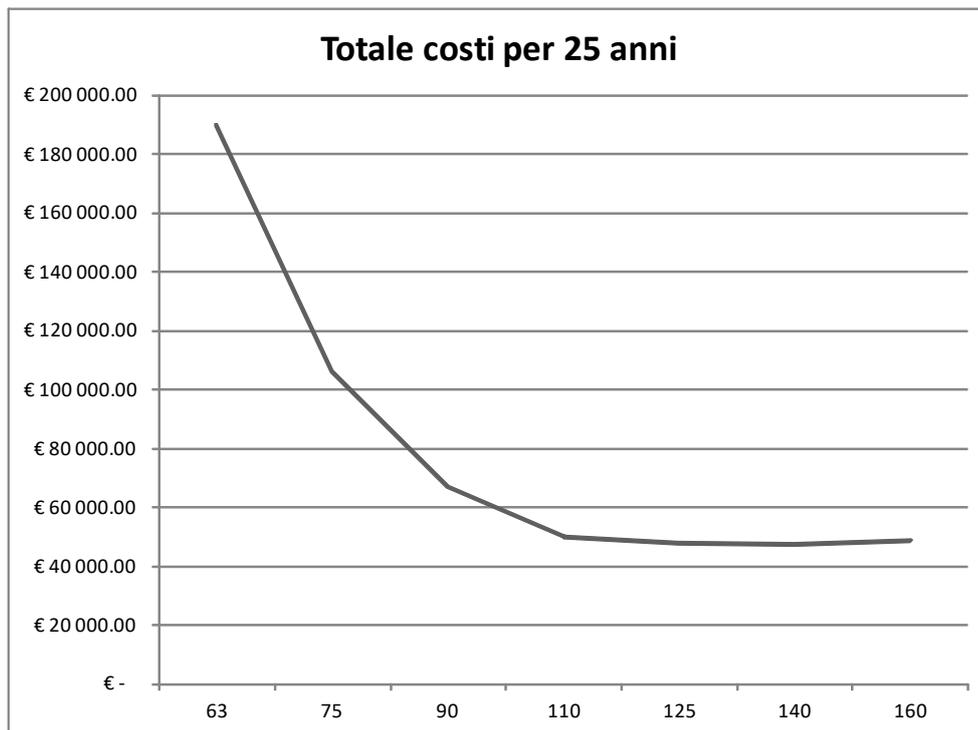


RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

D _e	63	75	90	110	125	140	160	mm	diametro ext premente
D _{e-pip}	63	63	90	90	90	110	110	mm	diametro esterno piping pompa
D _{i-pip}	54	54	77	77	77	97	97	mm	diametro int piping pompa
V _{pip}	4.43	4.43	2.17	2.17	2.17	1.36	1.36	m/s	velocità piping pompa
K ₂	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		perdita curva
K ₃	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		perdita valvola di non ritorno
K ₄	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70		perdita T
K ₅	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		perdita valvola
J _{pip}	346.11	346.11	60.81	60.81	60.81	19.45	19.45	m/km	perdite piping
Y _{pip}	1.21	1.21	0.21	0.21	0.21	0.07	0.07	m	perdite distribuite piping
Y _{pip-tot}	3.72	3.72	0.81	0.81	0.81	0.30	0.30	m	totale perdite piping
Y _{tot}	147.35	65.20	26.05	8.89	5.11	2.78	1.60	m	Perdite di carico totali
H _{tot max}	181.53	99.38	60.23	43.07	39.29	36.96	35.78	m	Prevalenza totale massima
P _{idr}	17.81	9.75	5.91	4.22	3.85	3.63	3.51	kW	Potenza idraulica
η	53.30%	53.30%	53.30%	53.30%	53.30%	53.30%	53.30%		rendimento
P _{el}	33.41	18.29	11.09	7.93	7.23	6.80	6.58	kW	Potenza elettrica
h	2 628	2 628	2 628	2 628	2 628	2 628	2 628	h	ore medie di funzionamento
E	87 805	48 071	29 133	20 830	19 002	17 876	17 305	kWh	Energia consumata
E	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	€/kWh	
Ce	€ 13 170.81	€ 7 210.68	€ 4 369.94	€ 3 124.55	€ 2 850.36	€ 2 681.42	€ 2 595.68		costo annuo energia
Ct	€ 6.09	€ 8.63	€ 11.31	€ 13.88	€ 17.70	€ 22.22	€ 29.01		Costo tubazione
Ctot	€ 2 526.73	€ 3 580.00	€ 4 694.90	€ 5 759.37	€ 7 344.88	€ 9 221.72	€ 12 039.77		Costo totale tubazione
Ct	€ 2 526.73	€ 3 580.00	€ 4 694.90	€ 5 759.37	€ 7 344.88	€ 9 221.72	€ 12 039.77		Costo totale di impianto



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE


Figura 11 - Costi totali (impianto + energia)

Dal grafico si evince che i costi totali decrescono in maniera evidente all'aumentare del diametro diventando pressoché costanti per i diametri compresi tra il De 110 e De 160.

Per la premente, anche in considerazione delle problematiche connesse alla posa ed alla movimentazione dei materiali, è stato scelto il De 110. Si riportano di seguito i calcoli idraulici per due diverse configurazioni di funzionamento dell'impianto:

- configurazione 1+1 (standard) con una pompa in servizio e la seconda scorta attiva;
- configurazione 2 (eccezionale) con due pompe in servizio attive in caso di emergenza per livelli all'interno del cunicolo maggiori del livello di allarme preimpostato.

CALCOLI IDRAULICI			
Configurazione	1+1	2	
q_{max-in}	6.24	6.24 l/s	portata massima in ingresso
n	1	2	numero pompe in funzione
q	10.00	7.00 l/s	portata singola pompa
q_{max-out}	10.00	14.00 l/s	portata massima sollevata
H_m	276.02	276.02 m	Quota di monte
H_v	310.20	310.20 m	Quota di valle
H_g	34.18	34.18 m	dislivello geodetico
C	140	140	scabrezza (Hazen-Williams)



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

CALCOLI IDRAULICI			
Configurazione	1+1	2	
D_{e-p}	110	110 mm	diametro esterno premente
D _{i-p}	96.8	96.8 mm	diametro interno premente
D_{e-pip}	90	90 mm	diametro esterno piping pompa
D _{i-pip}	76.6	76.6 mm	diametro int piping pompa
V _{pip}	2.17	1.52 m/s	velocità piping pompa
K ₂	0.30	0.30	perdita curva
K ₃	0.90	0.90	perdita valvola di non ritorno
K ₄	0.70	0.70	perdita T
K ₅	0.30	0.30	perdita valvola
J _{pip}	60.81	31.41	perdite collettore
Y _{pip}	0.21	0.11 m	perdite totale distribuita piping
Y_{tot-pip}	0.81	0.40 m	totale perdite piping camera di manovra
V _p	1.36	1.90 m/s	velocità premente con n pompe in funzione
J _p	19.45	36.27 m/km	perdite premente con n pompe in funzione
L_p	415	415 m	Lunghezza premente
Y_p	8.07	15.05 m	perdite di carico premente
Y_{tot}	8.89	15.46 m	perdite di carico totali impianto
H_{tot}	42.25	49.23 m	Prevalenza totale
P_{idr}	4.14	6.76 kW	Potenza idraulica (tot)
η	53.30%	46.40%	rendimento
P_{el}	7.78	14.57 kW	Potenza assorbita (tot)
Z	1	1	numero di attacchi ora
T	3600	3600 s	tempo di esercizio
<i>avvio in sequenza</i>			
w ₁	9.00	6.3 m ³	Volume utile per una pompa
DH	0.33	0.30 m	differenza di livello per avvio e arresto pompe
L	22.4	20.1 m	Lunghezza area allagata
B	2.4	2.4 m	Larghezza area allagata
w_{tot}	9.00	13.53 m³	Volume totale accumulato
H_{tot}	0.33	0.56 m	Altezza totale tirante idrico
Tr	24.0	36.1 min	tempo di riempimento a pompe spente
Ts	39.9	29.1 min	tempo di svuotamento con portata massima in ingresso
Tav	63.9	65.2 min	intervallo tra due avviamenti
n	0.9	0.9	numero di avviamenti

La tabella riporta sia i calcoli di dimensionamento delle pompe dell'impianto di sollevamento che i calcoli di verifica della zona di accumulo.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

La verifica del volume utile della zona di accumulo è stato effettuato fissando in 1 il numero di attacchi l'ora delle pompe utilizzando la formula¹

$$V_{tot} = V + (n-1) \cdot \Delta H \cdot S$$

dove

- $V = Q_p / (4 \cdot z)$
- $Q_p =$ portata della singola pompa
- $z =$ numero di attacchi l'ora
- $n =$ numero di pompe installate
- $\Delta H =$ valore che differenzia i livelli di avvio e di arresto di tutte le pompe
- $S =$ superficie della vasca

Il calcolo effettuato consente di affermare che in condizioni normali il livello massimo dell'acqua nel punto più depresso del cunicolo si manterrà al di sotto di 33 cm.

Di seguito le curve caratteristiche di pompe avente caratteristiche analoghe a quelle di progetto nelle due configurazioni di lavoro

¹ Sistemi di fognatura - Manuale di progettazione Hoepli



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

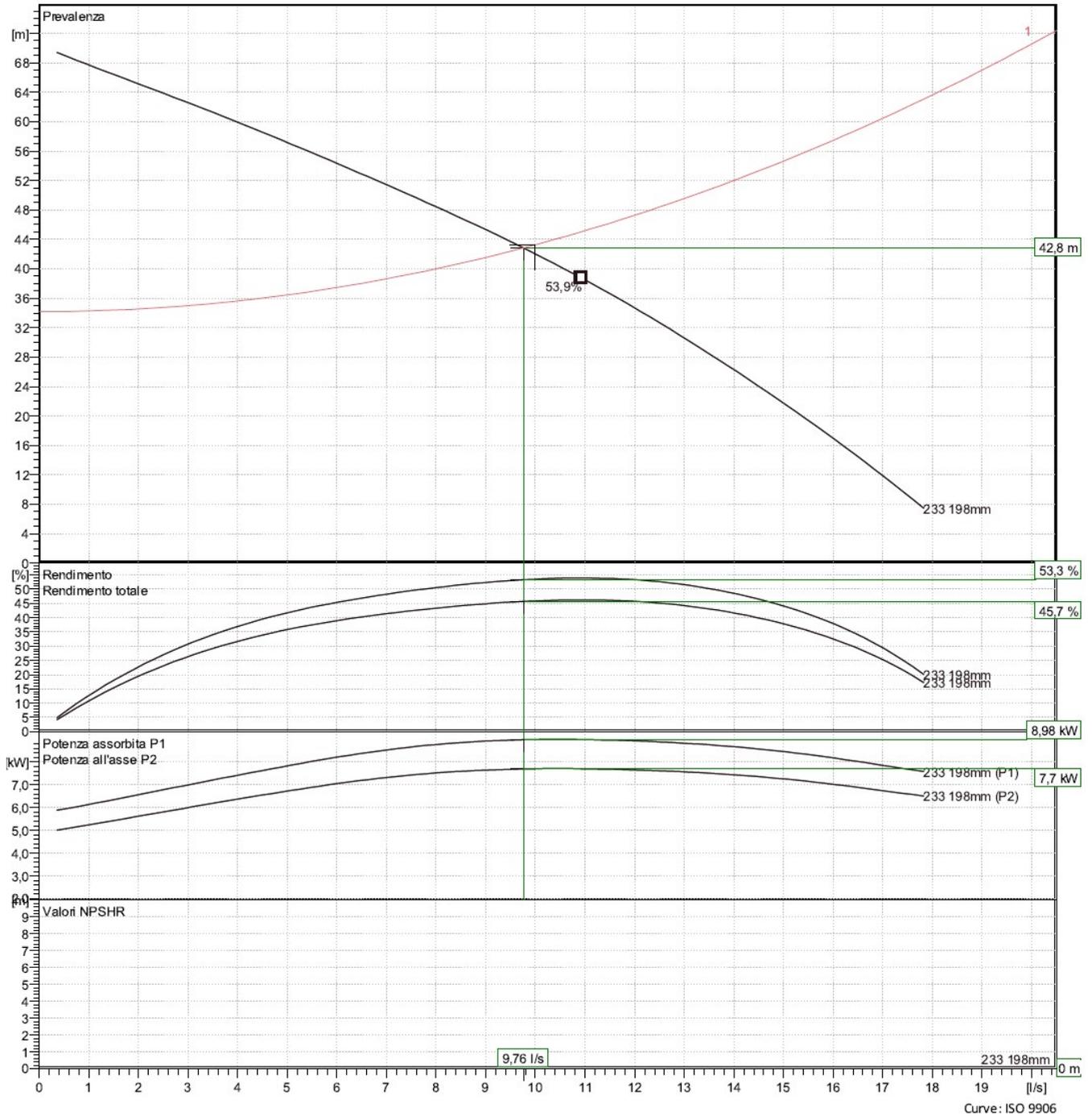
 Curves according to: Acqua [100%], 4 °C, 999,9 kg/m³, 1,569 mm²/s


Figura 12 - Curve caratteristiche pompa di progetto (configurazione 1)

RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

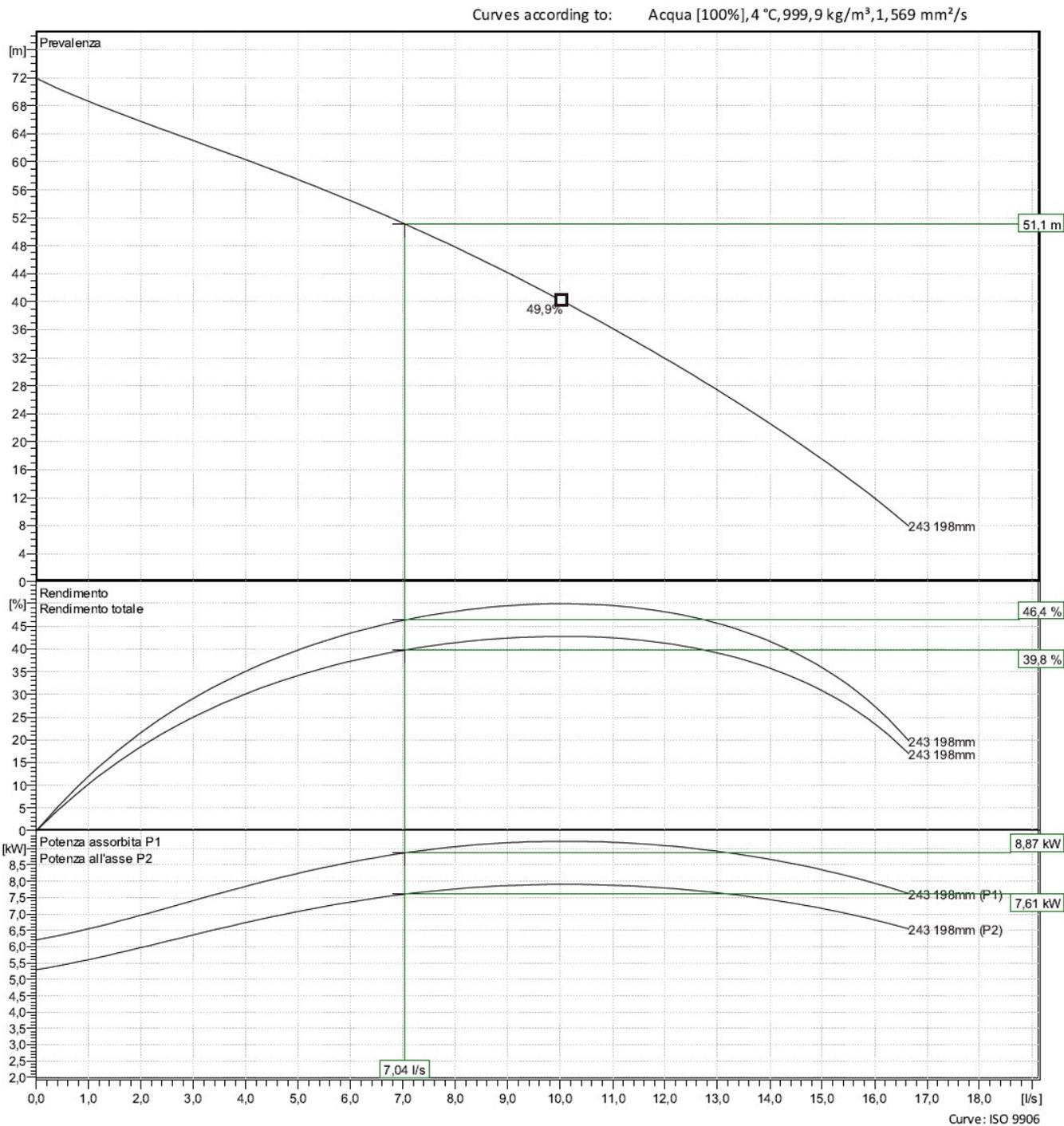


Figura 13 - Curve caratteristiche pompa di progetto (configurazione 2)

3.1.4 Stima speditiva delle sovrappressioni nella condotta premente

Numerosi studi effettuati su impianti sperimentali hanno evidenziato che la manovra di chiusura non è istantanea, in quanto la girante della pompa continua, per un breve tempo, a



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

sollevare l'acqua e che la pompa cessa di erogare portata quando il numero di giri scende a circa il 50% di quello di regime; pertanto è stata definita un'espressione analitica per la determinazione del tempo che intercorre tra lo stacco di energia ed il termine di erogazione della portata ($V=0$)

$$T_c = C + k * \frac{V_0 * L}{g * H_m} \text{ (secondi)}$$

Dove:

- V_0 = velocità media nel funzionamento a regime
- H_m = prevalenza in m nel funzionamento a regime
- L = lunghezza della condotta
- C e k sono due costanti:
- C è dato in funzione del rapporto H_m/L come da tabella seguente:

H_m/L	0 – 0,20	0,21 – 0,28	0,29 – 0,32	0,33 – 0,37	0,38 – 0,40
C	1	0,75	0,50	0,25	0

Per $H_m/L > 0,4$ l'arresto della pompa si considera istantaneo.

k dipende dalla lunghezza della condotta L :

- $K=1$ per $L > 2000$ m
- $K= 2 - 0,0005*L$ per $L < 2000$ m

Per la determinazione della massima sovrappressione in m di colonna d'acqua di carico si utilizza la formula di Micheaud

$$\text{Chiusura lenta } T_c > \tau \quad \Delta_{y_{\max}} = \frac{2 * L_0 * V_0}{g * T_c} \text{ (m)}$$

$$\text{Chiusura rapida } T_c \leq \tau \quad \Delta_{y_{\max}} = \frac{c * V_0}{g} \text{ (m)}$$

essendo

- $\tau = 2L/c$



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

$$c = \frac{\sqrt{\frac{\varepsilon}{\rho}}}{\sqrt{1 + \lambda \cdot \frac{\varepsilon}{E} \cdot \frac{D}{e}}}$$

Nel caso in specie essendo:

PVC De 110 PN16		
De	110 mm	diametro (esterno)
Di	96.80 mm	diametro (interno)
s	6.60 mm	spessore della condotta
Q	10.00 l/s	portata
V	1.36 m/s	
L	415.00 m	lunghezza condotta
Hm	42.25	prevalenza pompe
Hm/L	0.10	
C	1	
k	1.7925	
T _c	3.44 s	
E	3.00E+08 kgf/m ²	modulo di elasticità del PVC
ρ	103 kg*s ² /m ⁴	densità dell'acqua
ε	2.05E+08 kgf/m ²	modulo di elasticità a compressione cubica dell'acqua
c	425 m/s	celerità dell'onda
τ	1.95 s	
	lenta	
Dp	33.43 m	massima sovrappressione

Sommando alla sovrappressione determinata la prevalenza delle pompe (42.25 m) si ottiene

$$P_{\max} = 75.69 \text{ m}$$

$$P_{\text{es}} = 1.5 * P_{\max} = 113.53 \text{ m}$$

3.1.5 Calcolo della distanza tra le mensole di appoggio della tubazione

Come precedentemente descritto la condotta di mandata sarà ancorata alla parete della galleria mediante delle mensole in acciaio inox.

Di seguito si riporta il dimensionamento della distanza tra gli appoggi della tubazione sospesa in accordo con la normativa ANSI B36.10.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

La distanza massima tra due appoggi consecutivi per tubazioni sospese affinché non si superi una freccia prestabilita (a metà tra questi due) è ricondotta allo studio della deformazione di una trave (nel caso specifico a sezione circolare cava) appoggiata, sottoposta a carico uniformemente distribuito cioè al peso proprio e a quello del liquido (acqua) in esso contenuto.

Essendo

$$L = \sqrt[4]{\frac{384 \cdot f \cdot E \cdot J}{5 \cdot q}}$$

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4)$$

$$d = D - 2 \cdot s$$

$$q = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 \cdot \rho_{tu} - d^2 \cdot (\rho_{tu} - \rho_l)] \cdot g$$

con

- L [mm] = distanza tra due appoggi consecutivi
- f [mm] = freccia massima in mezzeria tra i due appoggi
- E [MPa] = modulo elastico del materiale della tubazione
- J [mm⁴] = momento di inerzia della sezione della tubazione
- D [mm] = diametro esterno della tubazione
- d [mm] = diametro interno della tubazione
- s [mm] = spessore della tubazione
- q [N/mm] = carico distribuito
- ρ_{tu} [kg/mm³] = densità del materiale della condotta
- ρ_l [kg/mm³] = densità del liquido
- g [m/s²] = accelerazione di gravità



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

Il calcolo è stato eseguito a breve e lungo termine, considerando la variazione del modulo di elasticità del PVC nel tempo e verificando che la freccia massima risulti inferiore a 1/400 della luce.

Come di evince dalla tabella di calcolo sotto riportata, nel rispetto della freccia massima imposta, l'interasse tra gli appoggi sarà pari a 2.00 m

Calcolo freccia massima per tubazioni su appoggi

	<i>breve termine</i>	<i>lungo termine</i>	
L	2.00	2.00	m distanza tra due appoggi
D_e	110	110	mm diametro esterno della tubazione
s	6.6	6.6	mm spessore della tubazione
D_i	96.8	96.8	mm diametro interno della tubazione
ρ_t	1.55E-06	1.55E-06	kg/mm ³ densità materiale della tubazione
ρ_a	1.00E-06	1.00E-06	kg/mm ³ densità dell'acqua
E	300	1.75E+02	kg/mm ² modulo di elasticità della tubazione
q_{tub}	3.32	3.32	kg/m peso tubazione
q_{h2o}	7.36	7.36	kg/m peso acqua
q	10.68	10.68	kg/m peso totale
J	2.88E+06	2.88E+06	mm ⁴ momento di inerzia
L/400	5.00	5.00	mm freccia massima ammissibile
f	2.58	4.42	mm freccia massima
Q	21.36	21.36	kg peso totale tratto tra due appoggi
Q_{ap}	10.68	10.68	kg sollecitazione appoggio terminale
Q_{ap}	21.36	21.36	kg sollecitazione appoggio intermedio

Le mensole di ancoraggio, poste a interasse pari a 2.00 m, dovranno quindi sopportare un carico pari a circa 22 kg.

Si riporta di seguito l'estratto della scheda tecnica di una mensola analoga a quella adottata in progetto dalla quale si evince la compatibilità tra il carico ammissibile della mensola ed il carico di progetto.



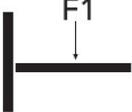
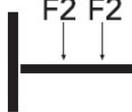
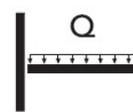
RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

DATI TECNICI MATERIALI

MATERIALE

Acciaio INOX AISI 304 - EN 10088

CARICHI AMMISSIBILI

TIPO	Lunghezza mm	 F1 = daN	 F1 = daN	 F2 = daN	 Q = daN
PF INOX	200	44	22	22	44
	300	30	15	15	30
PF1 INOX	200	104	52	52	104
	350	60	30	30	60
	450	48	24	24	48

F = carico concentrato in daN. Q = carico uniformemente distribuito in daN.
Tensione ammissibile 140 N/mm². Freccia ammissibile L/125.

Per il fissaggio a muro attenersi alle caratteristiche di tenuta del tassello o del supporto di raccordo.

3.2 Impianto di sollevamento n°1 cunicolo di ispezione

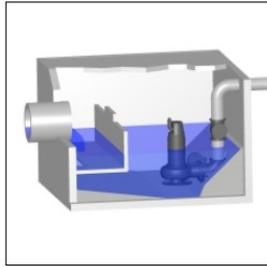
L'intervento di revamping dell'impianto di sollevamento n°1 prevede la sostituzione della condotta premente e della pompa esistente.

Il tratto di galleria drenato dal Sollevamento 1 è pari a circa 130 m (20% della lunghezza totale del cunicolo di ispezione) e la portata sollevata dall'impianto sarà pari a 2 l/s (20% della portata totale), il dislivello geodetico tra il punto di posizionamento della pompa ed il punto più alto (picc. 56 del profilo) è pari a 4.76, la condotta premente che solleva le portate del Sollevamento 1 sino al Sollevamento 2 sarà realizzata in PVC De 63 PN 10 e avrà uno sviluppo complessivo pari a 159 m.

Si riporta di seguito il calcolo sintetico delle perdite di carico dell'impianto e quindi della prevalenza totale che deve avere la pompa



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE



Calcolo perdite di carico

Fluido pompato Acqua, pulita	Prevalenza geodetica 5	Opzioni di presentazione Wet well installation
Portata 2 l/s	Numero pompe 1	Modello di calcolo Colebrook-White
Viscosità 1,569 mm ² /s	Tipo impianto Pompa singola	

Tipo	Ø (mm)	l oppure L	Q.tà	v (m/s)	k (mm)	ΔH (m)
Ø = Diametro v = Velocità k = Scabrezza tubazione ΔH = Perdite di carico						
Comune tubo di mandata - Plastic / PVC PN 10 / DN 50 (63x3,0 mm) / DIN 8061/62						
Lunghezza tubazione	57	159 m	1	0,7838	0,04	2,228
Perdite di carico totali						2,228
Perdite di carico						2,228 m
Prevalenza geodetica totale						5 m
Prevalenza totale						7,228 m

Figura 13 – Calcolo sintetico delle perdite di carico impianto di sollevamento n.1

Di seguito le principali caratteristiche della pompa:

- Portata : >2,00 l/s l/s
- Prevalenza : 7,3 m
- Potenza nominale : 0,55 kW
- Rendimento totale : 39.80 %
- Motore elettrico 400 Volt 50 Hz 2 poli
 - Isolamento/protezione : classe H (+180°C) IEC 85/IP 68
 - Potenza nominale : 0,55 kW
 - Corrente nominale : 1,63 A
 - Avviamento : diretto
 - Raffreddamento : in tutto o in parte ottenuto dal liquido pompato
- Materiali
 - Corpo pompa : PPO resin + 20 % GF
 - Filtro di aspirazione : PPO resin + 20 % GF
 - Girante : PA 66 + 30 % GF
 - Corpo esterno : Acciaio inox
 - Corpo interno motore : Acciaio inox



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

- Shaft	:	Acciaio inox
- Testata	:	PPO resin + 20 % GF
- Coperchio inferiore	:	Acciaio inox
- Elastomeri	:	NBR
- Tiranti e viti	:	Acciaio inox
- Doppio anello di usura	:	Acciaio inox
- Anello fissaggio girante	:	Acciaio inox

- Dotazioni
 - galleggianti elettrici
 - Cavo elettrico sommergibile

4. STUDIO DELLE POSSIBILI CORRELAZIONI TRA PERDITE RILEVATE, VOLUMI DI INVASO E PRECIPITAZIONI

Così come richiesto dalla Direzione Generale per le Dighe in sede di approvazione del Progetto di fattibilità tecnica ed economica, è stato prodotto uno studio delle possibili correlazioni tra le misure storiche disponibili relative a perdite, dati di pioggia e livelli di invaso, al fine di valutare se sussistono connessioni oggettive tra i suddetti parametri.

Il gestore ha fornito i dati delle misure delle perdite registrate dal 01.01.2009 al 31.12.2019. In particolare i dati trasmessi sono i seguenti:

- Quota d'invaso del serbatoio m s.l.m.
- Stato atmosferico
- Temperatura aria (max e min)
- Temperatura acqua (max e min)
- Pioggia nelle 24 h precedenti (mm)
- Perdite totali l/s
- Perdite cunicolo di ispezione l/s
- Perdite cunicolo drenaggi l/s

Tali dati sono visualizzati nel grafico in figura 14.

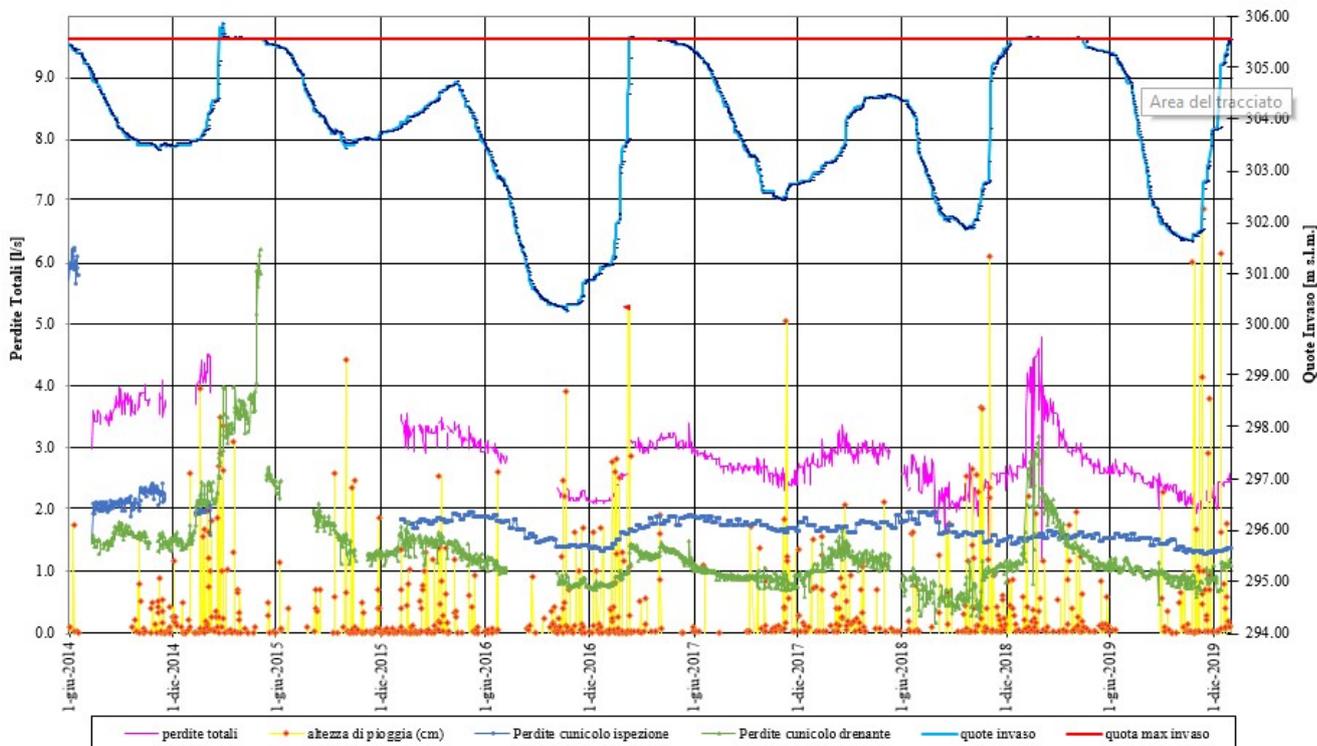


Figura 14 – Valori riscontrati nel periodo 2014-2019 per i parametri: perdite totali, altezze di pioggia, perdite nel cunicolo di ispezione, perdite nel cunicolo drenante, quota di invasore.

Ogni parametro di influenza:

- Altezza di pioggia: espressa come pioggia cumulata nelle 24h;
- Volume invasato: espresso indirettamente mediante misura della quota di invasore;

è stato separatamente correlato alle perdite registrate globalmente e nei due cunicoli (esprese in l/s), inoltre per ogni parametro si è calcolata la tendenza. L'analisi dei trend per i diversi parametri è riportata nei seguenti grafici.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

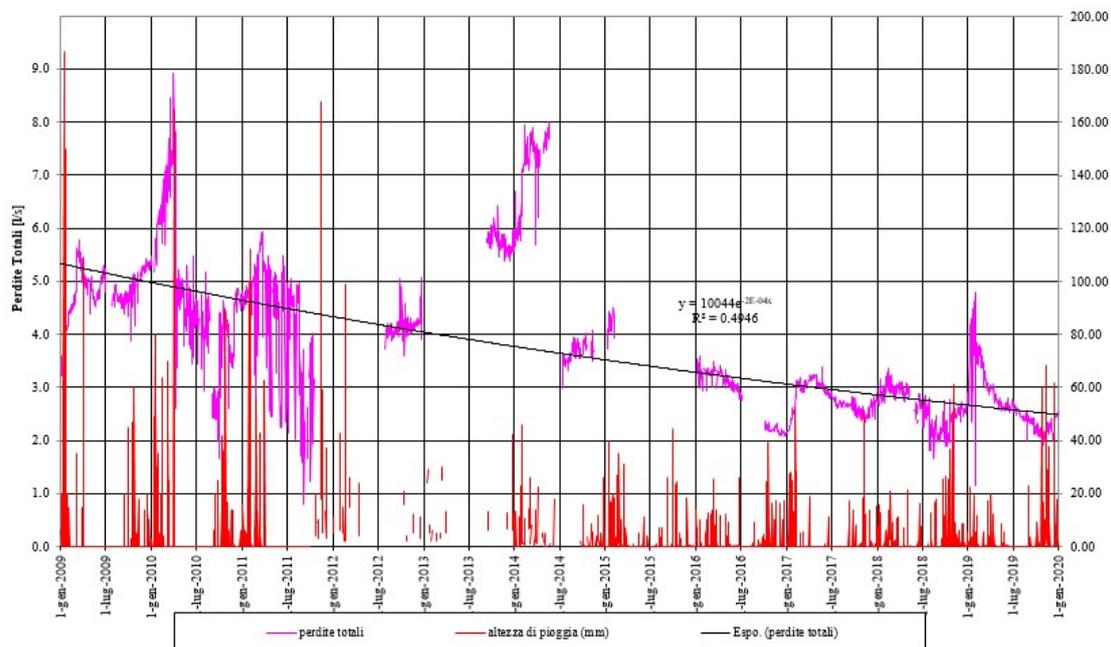


Figura 15 – Valori riscontrati nel periodo 2009-2019 per i parametri: perdite totali (l/s) ed altezze di pioggia (mm).

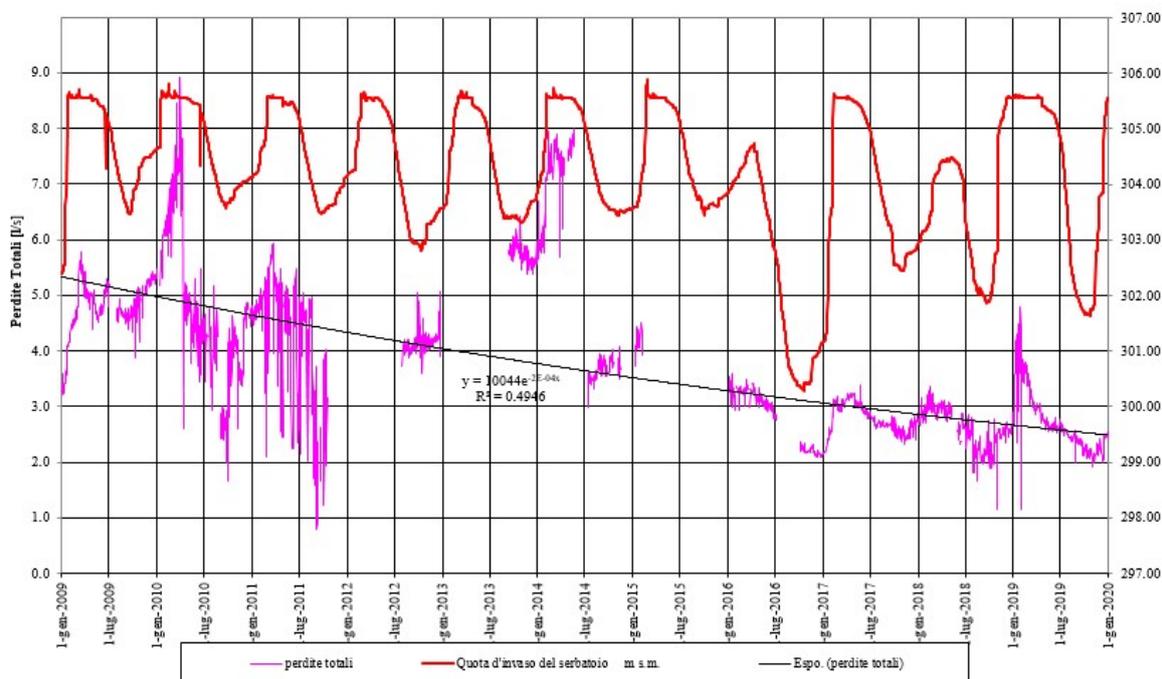


Figura 16 – Valori riscontrati nel periodo 2009-2019 per i parametri: perdite totali (l/s) e quota di invaso (m s.l.m.).

RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

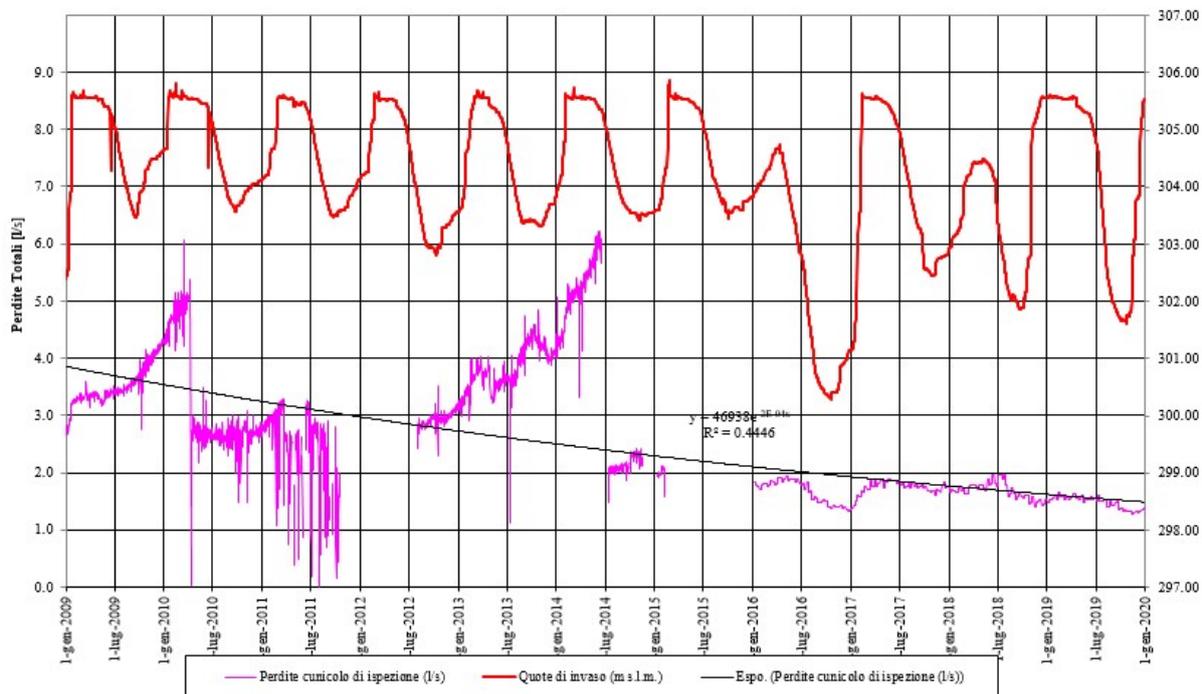


Figura 17 – Valori riscontrati nel periodo 2009-2019 per i parametri: perdite cunicolo di ispezione (l/s) e quota di invaso (m s.l.m.).

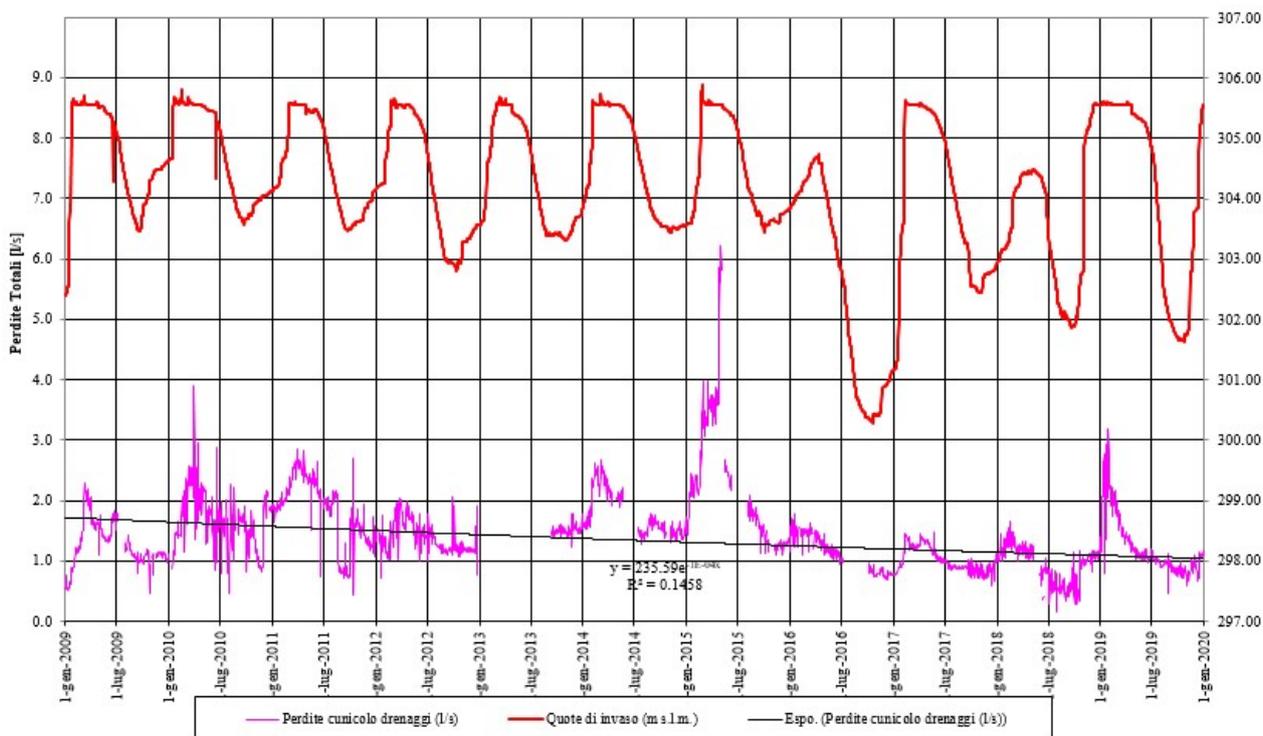


Figura 18 – Valori riscontrati nel periodo 2009-2019 per i parametri: perdite cunicolo drenaggi (l/s) e quota di invaso (m s.l.m.).

RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

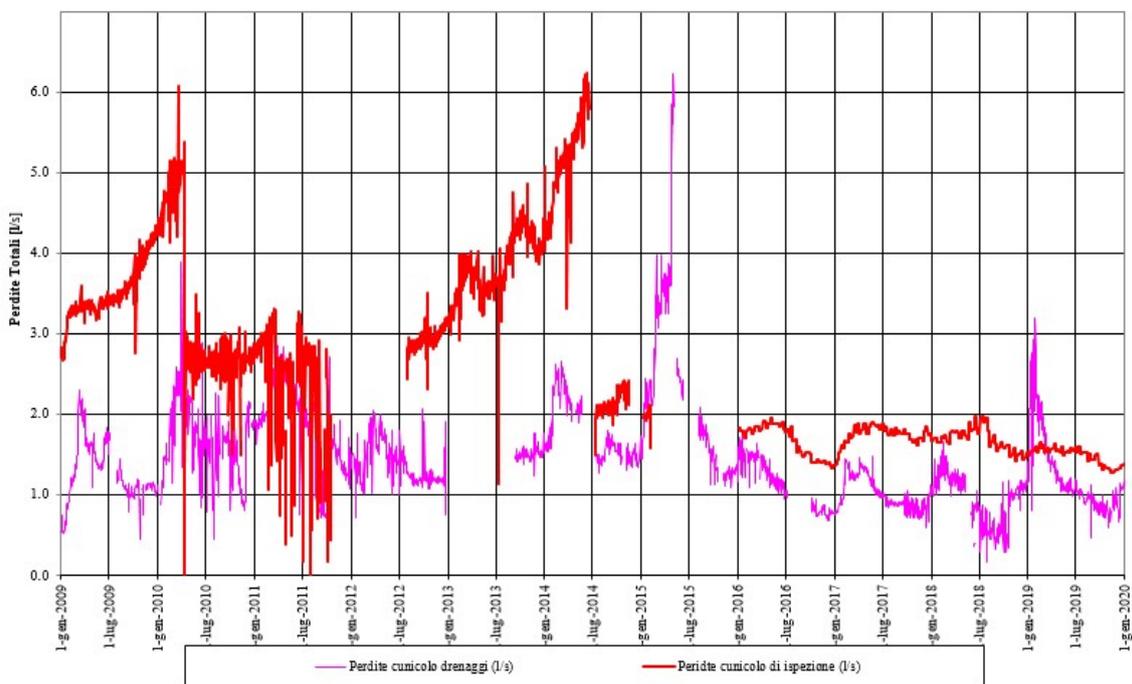


Figura 19 – Valori riscontrati nel periodo 2009-2019 per i parametri: perdite cunicolo drenaggi (l/s) e perdite cunicolo di ispezione (l/s)

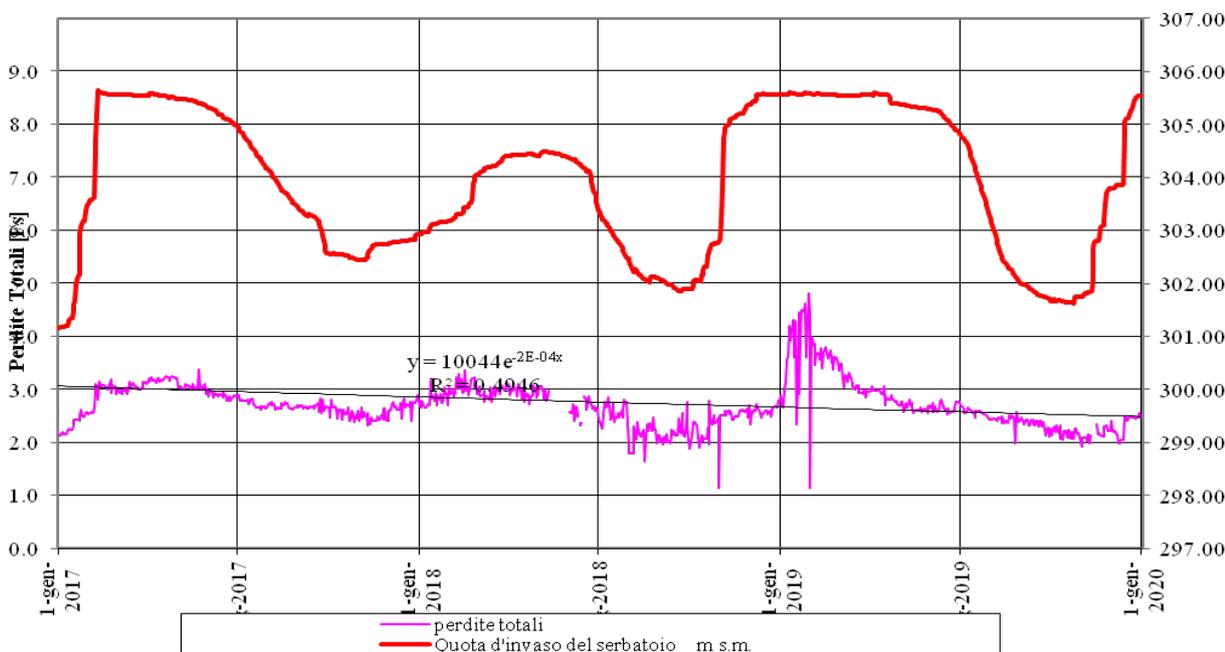


Figura 20 – Valori riscontrati nel periodo 2017-2019 per i parametri: perdite totali (l/s) e quote di invaso (m s.l.m.)



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

I grafici su riportati evidenziano un trend di riduzione delle perdite registrate ma con notevoli scostamenti puntuali che non sembrano essere correlabili con le altezze di invaso e con le piogge.

Solo a titolo esemplificativo si evidenzia che il valore massimo registrato per le perdite totali pari a 8,934 l/s in data 31/03/2010 è stato registrato in corrispondenza di un evento meteorico rilevante (165 mm/24h registrate in data 01.04.2010 ma relative al giorno precedente) e quota di invaso 305,55 m s.l.m. ma di contro tra il 12 e 13 gennaio 2009 quando è stato registrato il dato maggiore relativo alle piogge (63+187 mm) le perdite totali si sono attestati su valori pari a 3,4 l/s e la quota di invaso era pari a 302,69 m s.l.m.

Se invece confrontiamo i livelli di invaso con le perdite totali registrate troviamo che a fronte di una quota di invaso maggiore di 305.50 m s.l.m. (quota di massimo invaso 305.55 m s.l.m.) e inferiore a 305.88 m s.l.m. (valore massimo registrato nel decennio) i valori registrati per le perdite sono i seguenti:

- Perdite totali comprese tra 1,146 e 8,934 l/s
- Perdite ispezione comprese tra 0,027 e 6,076 l/s
- Perdite cunicolo drenante tra 0,810 l/s e 6,226 l/s

come si può comprendere l'elevata variabilità delle portate registrate non consente di determinare una corretta correlazione tra le perdite e i livelli di invaso.

Dall'analisi dell'ultimo grafico si può comunque osservare che l'andamento delle perdite totali segue con buona approssimazione il livello di invaso, osservazione che non può essere fatta in linea generale per il decennio visto l'elevata variabilità e discontinuità dei dati registrati

Per comprendere una delle cause che rende difficile la definizione di correlazioni corrette tra le varie grandezze in gioco di seguito si riporta una tabella di sintesi dei dati registrati nell'ultimo decennio.

Si riportano sia in forma tabellare che grafica le piogge cumulate nell'anno (mm/anno), il livello medio di invaso (m s.l.m.) ed i volumi annuali e mediati sul numero di misurazioni annuali delle perdite totali e nei due cunicoli.

	piogge cumulate	Livello medio di invaso	perdite totali			Perdite ispezione			Perdite drenaggi		
			[mm/anno]	[m s.l.m.]	[mc/anno]	numero misure	[mc/g]	[mc/anno]	numero misure	[mc/g]	[mc/anno]
2009	1,177	304.716	135,486	327	414	110,910	365	304	36,474	327	112
2010	1,246	304.746	131,929	317	416	99,291	354	280	47,993	325	148
2011	954	304.550	94,335	257	367	51,013	241	212	56,456	356	159
2012	533	304.278	52,781	147	359	39,257	154	255	42,935	358	120
2013	438	304.363	55,192	111	497	120,537	365	330	14,531	111	131



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

	piogge cumulate	Livello medio di invaso	perdite totali			Perdite ispezione			Perdite drenaggi		
			[mm/anno]	[m s.l.m.]	[mc/anno]	numero misure	[mc/g]	[mc/anno]	numero misure	[mc/g]	[mc/anno]
2014	507	304.566	111,661	231	483	97,977	290	338	43,973	283	155
2015	670	304.489	10,494	29	362	5,006	29	173	54,742	276	198
2016	529	302.492	63,711	259	246	52,521	362	145	26,119	262	100
2017	561	304.005	87,654	365	240	55,370	365	152	32,284	365	88
2018	788	303.634	77,455	343	226	53,494	365	147	27,510	336	82
2019	711	304.173	85,025	360	236	47,102	365	129	38,725	360	108

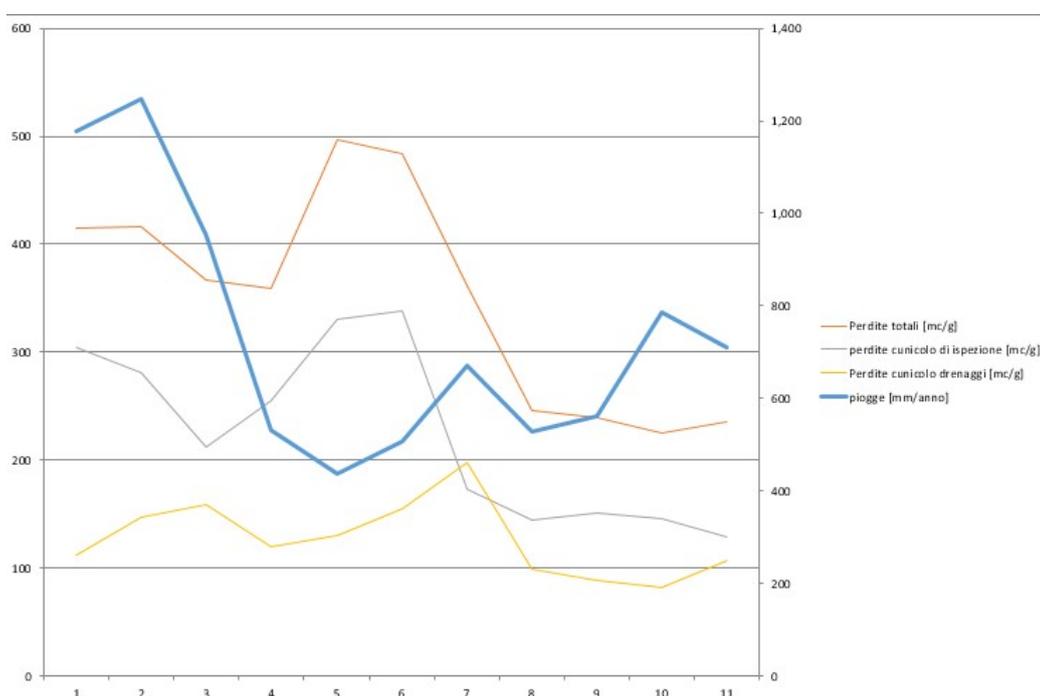


Figura 21 – Confronto tra: perdite totali medie (mc/g), perdite medie nel cunicolo di ispezione (mc/g), perdite medie nel cunicolo drenaggi (mc/g) e piogge cumulate annuali (mm/anno)

Il primo dato che emerge è che il numero di misurazioni per anno è notevolmente variabile, raggiungendo una buona copertura in termini di misurazioni per anno negli ultimi 4 anni e registrando un numero di misurazioni altamente variabile e in alcuni casi notevolmente ridotto negli anni precedenti.

L'analisi quindi potrà sicuramente farsi, attingendo a dati più significativi, nei prossimi anni facendo tesoro delle misure acquisite nell'ultimo periodo, dove si registra una buona costanza nel numero delle misurazioni, e dei rinnovati impianti dotati di strumenti di misura nuovi e maggiormente efficienti.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DI ISPEZIONE

In conclusione, in relazione ai dati analizzati, i fattori che possono influenzare l'analisi sono molteplici e di diversa natura, sicuramente si è riscontrata una difficoltà a dettagliare il dato per la differente numerosità di registrazioni annuali delle perdite, probabilmente a causa di problemi legati sia alla manutenzione dei cunicoli che ai malfunzionamenti degli strumenti di misura.

Dallo studio emerge che:

- generalmente le perdite registrate nel cunicolo di ispezione sono preponderanti rispetto a quelle registrate nel cunicolo drenante, mediamente risultano pari al 69% delle perdite totali;
- il valore massimo delle perdite totali registrato (in data 31.03.2010) è pari a 8,934 l/s, corrispondente ad una perdita nel cunicolo di ispezione pari a 5,034 l/s e 3,9 l/s nel cunicolo drenaggi;
- Il valore massimo delle perdite nel cunicolo di ispezione registrato in data 10.06.2014 è pari a 6.24 l/s, in pari data non è stato registrato il valore delle perdite del cunicolo drenaggi;
- Il valore massimo delle perdite nel cunicolo drenaggi registrato in data 03.05.2015 è pari a 6.23 l/s, in pari data non è stato registrato il valore delle perdite del cunicolo di ispezione;
- vi è un possibile nesso nel primo triennio delle registrazioni (2009, 2010, 2011) tra piogge cumulate nell'anno – volumi invasati – perdite, in quanto ad un volume notevole di piogge corrisponde un aumento anche delle perdite registrate nei due cunicoli;
- nell'ultimo triennio (2017, 2018, 2019) in generale il trend delle perdite è negativo ma segue con buona approssimazione l'andamento del livello di invaso.



5. ALLEGATO: RELAZIONE TECNICA “RILEVAZIONE ARIA PRESSO I CUNICOLI DI DRENAGGIO ED ISPEZIONE DELLA DIGA SAN GIOVANNI (NARO)”



RELAZIONE TECNICA

RILEVAZIONE ARIA PRESSO CUNICOLI DI DRENAGGIO ED ISPEZIONE DELLA DIGA SAN GIOVANNI (NARO)



COMMITTENTE: Regione Siciliana

Assessorato dell'Energia e dei Servizi di Pubblica Utilità
Dipartimento dell'Acqua e dei Rifiuti
SERVIZIO 4 - Gestione Infrastrutture per le Acque
viale Campania 36/a - 90144 Palermo (PA)

VINCOLI DI RISERVATEZZA

Ogni riproduzione, anche parziale, della presente Relazione Tecnica deve essere esplicitamente autorizzata da "Lacerc s.r.l." e dalla Dott.ssa Vincenza Accurso e dal Dott. Alberto D'Arpa.

I risultati riportati nella presente Relazione Tecnica si riferiscono esclusivamente al campionamento eseguito al momento del sopralluogo.

Estrapolazioni dei suddetti risultati esulano dallo scopo di questo documento.



QUESITO POSTO TRAMITE L'INCARICO

Valutazione complessiva dell'aria presente nei due cunicoli di cui è dotata la Diga, mediante misure di breve durata (15 minuti a punto) con analizzatore a sensori di tipo elettrochimico e sensore catalitico a combustione volte alla determinazione delle concentrazioni nel periodo di misura dei seguenti gas: O₂ - H₂S - CO - Livello di esplosività (LEL).

PROFESSIONISTA CHE HA LA RESPONSABILITA' DELL'INCARICO E TECNICO CHE HANNO EFFETTUATO IL CAMPIONAMENTO

Dott.ssa Vincenza Accurso professionista iscritto all'Ordine Interprovinciale dei Chimici e dei Fisici della Sicilia con n.1088/A

Dott. Alberto D'Arpa professionista iscritto all'Ordine Interprovinciale dei Chimici e dei Fisici della Sicilia con n. 1193/A.



LABORATORIO/STRUTTURA PRESSO LA QUALE SI È SVOLTO L'INCARICO

Campionamento eseguito a cura del professionista incaricato, presso la sede del cliente. Analisi eseguite presso LACERC s.r.l.



INQUADRAMENTO DEL QUESITO DAL PUNTO DI VISTA CHIMICO

Il lavoro nei cunicoli di una diga porta l'operatore ad avere una esposizione più o meno prolungata a sostanze di natura gassosa che possono procurare un rischio per la salute umana.

Queste sostanze costituiscono inquinanti da monitorare negli ambienti di lavoro a fini prevenzionistici e protezionistici.

MISURAZIONI E DETERMINAZIONE DEI GAS

In data 7/10/2021 il laboratorio di analisi chimiche Lacerc, nella persona della Dott.ssa Vincenza Accurso e del Dott. Alberto D'Arpa, a seguito di contatti telefonici intercorsi con l'Ing. Lusco responsabile del procedimento e dell'esecuzione dei lavori presso la Diga di San Giovanni sulle rive del lago Naro, si sono recati in provincia di Agrigento, per le operazioni di consulenza tecnica. In quell'occasione in presenza anche dell'Ing. Lupo, collaboratore dell'Ing. Lusco e del Responsabile



dell'Impianto, il Sig. Cavarretta, sono stati ispezionati i due cunicoli di cui è dotata la Diga, il cunicolo di ispezione ed il cunicolo di drenaggio rispettivamente lunghi circa 636 metri e 604 metri come da planimetria presente nell'Allegato 1.

La rilevazione dei gas, O_2 - H_2S - CO e livello di esplosività (LEL) è stata effettuata mediante unico analizzatore dotato di sensore elettrochimico e sensore catalitico a combustione a cui è stato collegato opportuna pompa, per la determinazione delle relative concentrazioni.

Prima delle misurazioni è stata controllata la risposta dello strumento in aria pulita, e in presenza di metano al 10% LIE (Tecocontrol Cod. BO205 metano 0,44%), solfuro di idrogeno 20 ppm (Drager cod. 6810393) e monossido di carbonio 50 ppm (Drager cod. 6811117).

Mediante una scala a chiocciola scendendo ad una profondità di circa meno dieci metri come è possibile vedere in Figura 1, si accede direttamente al primo cunicolo che è quello di ispezione.

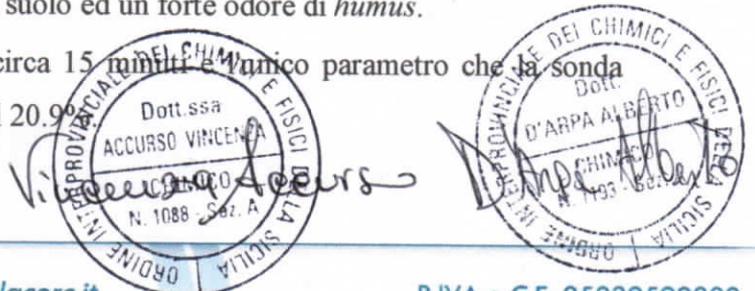


Figura 1. Ingresso ai cunicoli e cunicolo di ispezione.

Il cunicolo lungo circa 636 m e alto 2 m, che presenta una scarsa illuminazione lungo tutto il percorso e una forte umidità con una temperatura media di circa $18^{\circ}C$, è costituito da giunti in cemento uniti tra di loro, dai quali si osservano a tratti perdite in gocce d'acqua.

Il primo tratto che si estende in salita per alcuni metri, alternando poi tratti in pianura e in discesa, presenta una copiosa quantità di acqua e fango sul suolo ed un forte odore di *humus*.

La rilevazione dei gas avviene in continuo per circa 15 minuti e l'unico parametro che la sonda rileva è la presenza di ossigeno atmosferico pari al 20,9%.



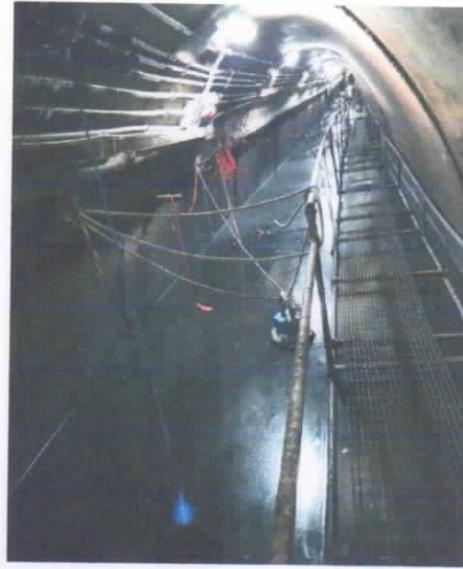
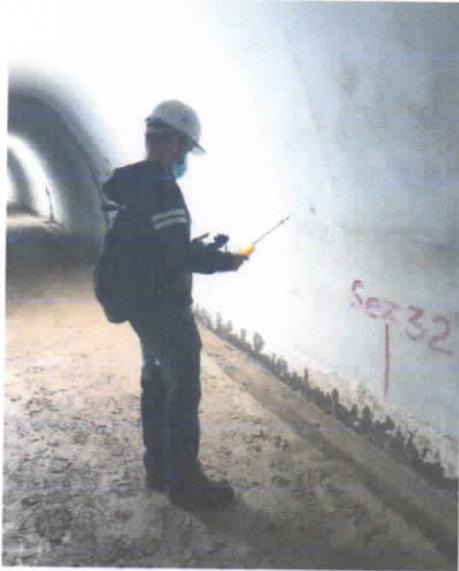


Figura 2. Rilevazione parametri e presenza di passerelle in metallo nel punto di massima depressione del cunicolo.

Nel secondo tratto, come si evince dalla Figura 2, si nota la presenza di passerelle in metallo e di varie pompe ad immersione. Queste ultime vengono utilizzate per pompare fuori l'acqua che si accumula nel cunicolo, a causa delle perdite dai giunti che diventano via via sempre più copiose quando la Diga è nella fase di massima piena. Infatti, in questo punto del cunicolo, a circa 310 m dall'ingresso ci si trova nel punto di massima depressione con la presenza di circa 1 - 1,5 metri d'acqua dal suolo.

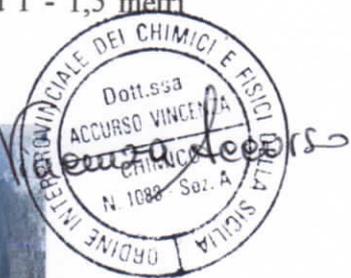
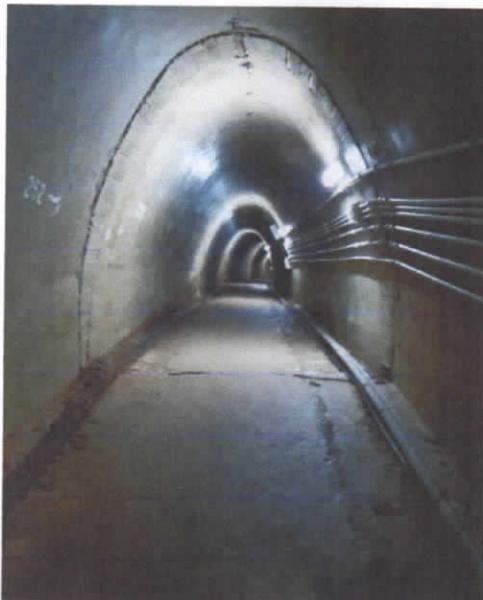


Figura 3. Parte finale del cunicolo d'ispezione con muro in cemento.



Infine, come visibile dalla Figura 3, la terza parte del cunicolo d'ispezione che è per lo più pianeggiante, termina con un tratto in salita alla fine del quale si ha di fronte un muro in cemento, illuminato. Anche in questo caso le misure sono state eseguite in continuo per 15 minuti.

Ripercorrendo a ritroso il cunicolo d'ispezione, giunti nuovamente all'ingresso, girando a sinistra si accede al cunicolo drenante lungo 604 metri, parzialmente illuminato anch'esso, percorso su una passerella in cemento posta al centro del corridoio, che è sopraelevata di circa 40 cm rispetto al suolo. Ai due lati è presente a tratti del fango sedimentato, a tratti dell'acqua più o meno torbida.

Anche in questo caso le rilevazioni sono state eseguite in continuo per gli altri tre punti per un tempo massimo di 15 minuti a punto.

Il primo e il secondo tratto, presenta su entrambi i bordi del corridoio un fango sedimentato di colore giallastro con delle venature rossastre (Figura 4), si avverte inoltre un elevato tasso di umidità ed una temperatura di circa 14°C, molto più bassa rispetto al cunicolo di ispezione.

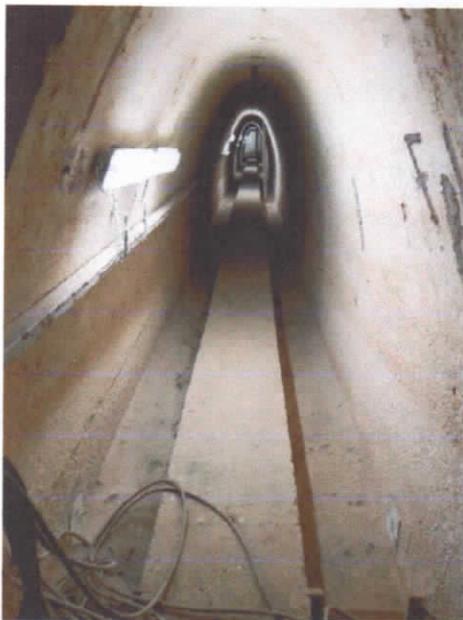


Figura 4. Ingresso cunicolo drenante con presenza di fanghi sedimentati di colore giallo.

Nell'ultima parte, il cunicolo drenante è caratterizzato da una maggiore illuminazione ed ai lati della passerella in cemento, come si può vedere dalla Figura 5 presenta acqua con incrostazioni biancastre seguite da acqua molto torbida.



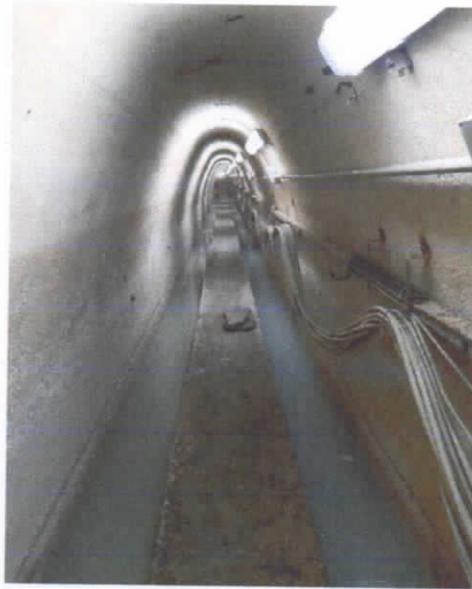
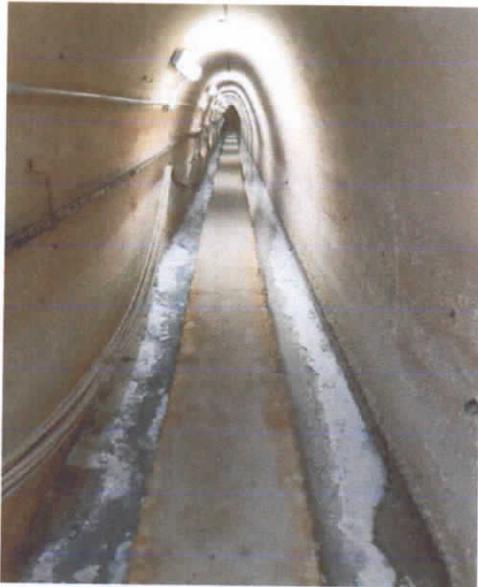


Figura 5. Acqua con incrostazioni biancastre e acqua molto torbida

Alla fine del corridoio, al di là del gomito prima del quale in una rientranza è presente un aspiratore che si aziona manualmente tramite un computer, si avverte un intenso odore di uova marce riconducibile alla presenza di H₂S nell'aria. L'acqua lungo il corridoio diventa più torbida rispetto al tratto precedente, fino ad arrivare alla fine del cunicolo dove è presente una scala a pioli che porta all'esterno. La concentrazione di H₂S rilevata oscilla in un range compreso tra 16 ppm e 30 ppm (Figura 6). L'acqua in questo tratto presenta un valore di pH intorno a 6 ed una conducibilità appena superiore ai 2000 uS/cm ma a detta dell'operatore danneggia le tubazioni presenti, che vengono sostituite periodicamente con materiale zincato.

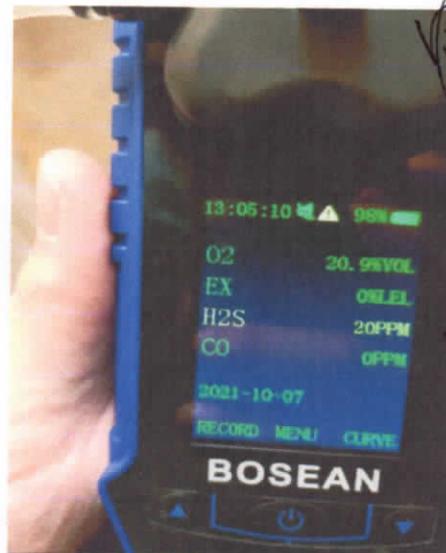


Figura 6. Particolare delle incrostazioni biancastre e concentrazione di H₂S rilevata.





La presenza dell'aspiratore è dovuta al fatto che i responsabili dell'impianto della Diga sono consapevoli della presenza dell'inquinante chimico nell'aria in quel tratto di cunicolo poiché lì confluiscono delle acque sulfuree provenienti da una zona limitrofa al lago.

Pertanto, l'installazione di questo dispositivo, quando azionato, dovrebbe cercare di diluire nel tempo la concentrazione di idrogeno solforato presente nell'ambiente, permettendo così il ricircolo dell'aria all'interno del cunicolo stesso, rispetto a quando l'aspiratore è spento.

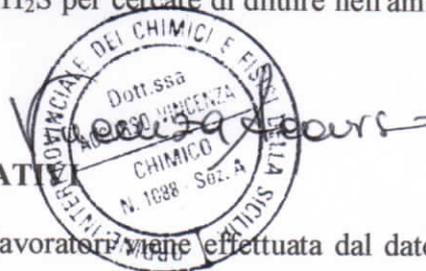
La rilevazione del gas è stata eseguita sia ad aspiratore acceso che ad aspiratore spento nei 15 minuti di misura, ma in entrambi i casi la concentrazione di idrogeno solforato si è mantenuta costante. Ciò è indice del fatto che il tempo di accensione dell'aspiratore deve essere sicuramente maggiore rispetto al tempo di esposizione dell'operatore all'H₂S per cercare di diluire nell'ambiente lavorativo la concentrazione dell'inquinante.

RIFERIMENTI NORMATIVI

La valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori viene effettuata dal datore di lavoro come richiesto dall'art. 17, comma 1, lett. a, (e redatta ai sensi dell'art. 28) del D.Lgs. 81/08 e s.m.i.. La parte dedicata alla valutazione dell'esposizione ad agenti chimici sul luogo di lavoro è specificatamente disciplinata dal titolo IX del D.Lgs. 81/08. In particolare, ai sensi dell'art. 223, il datore di lavoro, valuta tutti i rischi associati alla presenza di tutti gli agenti chimici sul luogo di lavoro ed in base al secondo comma dell'art. 225 *"salvo che possa dimostrare con altri mezzi il conseguimento di un adeguato livello di prevenzione e di protezione, il datore di lavoro, periodicamente ed ogni qualvolta sono modificate le condizioni che possono influire sull'esposizione, provvede ad effettuare la misurazione degli agenti che possono presentare un rischio per la salute ..."*.

Le predette misurazioni vanno effettuate secondo i criteri contenuti nelle norme UNI-EN di cui all'Allegato XLI, D.Lgs. 81/08 e s.m.i., in particolare la UNI-EN 689:1997 che stabilisce che quanto più la concentrazione rilevata si avvicina al Valore Limite, tanto più frequentemente dovrebbero essere eseguite le misurazioni, ad esempio, prendendo gli intervalli di misurazione riportati nell'appendice F della citata norma:

- la prima serie di ripetizioni delle misure si esegue entro 16 settimane (dalla valutazione dell'esposizione professionale indicante la necessità dell'esecuzione delle misurazioni periodiche);





- l'intervallo massimo fino alla successiva misurazione è di 64 settimane se l'esposizione è inferiore al 25% del TLV;
- l'intervallo massimo fino alla successiva misurazione è di 32 settimane se l'esposizione è compresa tra il 25% e il 50% del TLV;
- l'intervallo massimo fino alla successiva misurazione è di 16 settimane se l'esposizione è superiore al 50% del TLV.

RISULTATI ANALITICI

Cunicolo d'ispezione

Parametro	Unità di misura	Tempo di campionamento (min)	Risultato	Limite TLV	
				TWA ⁽¹⁾⁽²⁾	STEL ⁽¹⁾⁽³⁾
O ₂	%	15	20,9	*	*
CO	mg/m ³	15	-	23	117
H ₂ S	mg/m ³	15	-	7	14
LeL (livello di esplosività)	% vol. CH ₄ **	15	-	5	5

Cunicolo drenante

Parametro	Unità di misura	Tempo di campionamento (min)	Risultato	Limite TLV	
				TWA ⁽¹⁾⁽²⁾	STEL ⁽¹⁾⁽³⁾
O ₂	%	15	20,9	*	*
CO	mg/m ³	15	-	23	117
H ₂ S	mg/m ³	15	23	7	14
LeL (livello di esplosività)	% vol. CH ₄ **	15	-	5	5

⁽¹⁾ TLV: Threshold Limit Value / Valore Limite di Soglia (allegato ALLEGATO XXXVIII, D.Lgs. 81/08)

⁽²⁾ TLV-TWA: (Time Weighted Average/Concentrazione Media Ponderata) esprime la concentrazione media ponderata per giornata lavorativa di 8 ore e 40 ore settimanali (esposizione cronica)

⁽³⁾ TLV-STEL: (Short Term Exposure Limit/Concentrazione Massima per breve Periodo) esprime la concentrazione massima per breve periodo (di punta)

* Concentrazione atmosferica.

** Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles, Elsevier





GIUDIZIO

Alla luce dei risultati delle misurazioni effettuate, si evidenzia che l'impianto di aspirazione installato nella struttura non rappresenta una misura protezionistica sufficiente, poiché il valore medio di H₂S registrato nella parte finale del cunicolo drenante, è risultato pari a 32 mg/m³ corrispondenti a 23 ppm, dunque superiore anche al limite previsto per le esposizioni di breve periodo (STEL). Pertanto, l'attuazione della sorveglianza sanitaria è da ritenersi consigliabile dato che il valore della concentrazione dell'inquinante è superiore al limite di legge e dato che non esiste garanzia circa l'assenza di possibilità che alcuni soggetti particolarmente sensibili, lavorando in questo ambiente confinato, possano andare incontro a malattie professionali di natura respiratoria. Poiché il problema non è definitivamente eliminabile, in quanto la sostanza chimica in esame proviene anche dalle acque sulfuree che sono presenti nella zona geografica limitrofa al lago, è necessario prendere adeguati provvedimenti per tutelare la salute dell'operatore esposto all'inquinante. Ad esempio l'uso di particolari DPI come maschere antigas o l'utilizzo di sensori a parete che, segnalando la concentrazione istantanea, possano limitare la permanenza nel cunicolo. Inoltre, al fine di confermare i valori ottenuti e costruire una serie storica capace di rendere possibili ragionamenti fondati su una base statistica si ritiene che, anche con riferimento alla frequenza prevista dalla norma UNI EN 689, sarebbe opportuno effettuare successive misurazioni.

AVVERTENZE

Il presente documento non costituisce valutazione dei rischi (ma solo, limitatamente agli inquinanti riportati, misurazione ambientale richiesta dal datore di lavoro) di cui all'art. 17, comma 1, lett. a) eventualmente redatta ai sensi dell'art. 28 del D.Lgs. 81/08 con riferimento all'esposizione ad agenti chimici pericolosi sul luogo di lavoro (compresi quelli cancerogeni), in ottemperanza a quanto richiesto dagli artt. 223 e 236 del medesimo decreto.


Dott.ssa
ACCURSO VINCENZA
CHIMICO
N. 10880/90
Dr. ssa Vincenza Accurso

I tecnici

Dott. D'ARPA ALBERTO
CHIMICO
N. 1193
Dr. Alberto D'Arpa



ALLEGATO 2

APPARECCHIATURE E ACCESSORI UTILIZZATI PER IL CAMPIONAMENTO

- Sonda dotata di sensore elettrochimico e di sensore a combustione
- Pompa campionatrice
- Tecnocontrol Cod. BO205 metano 0,44% 10%LIE
- Drager cod. 6810393 solfuro di idrogeno 20 ppm
- Drager cod. 6811117 monossido di carbonio 50 ppm

