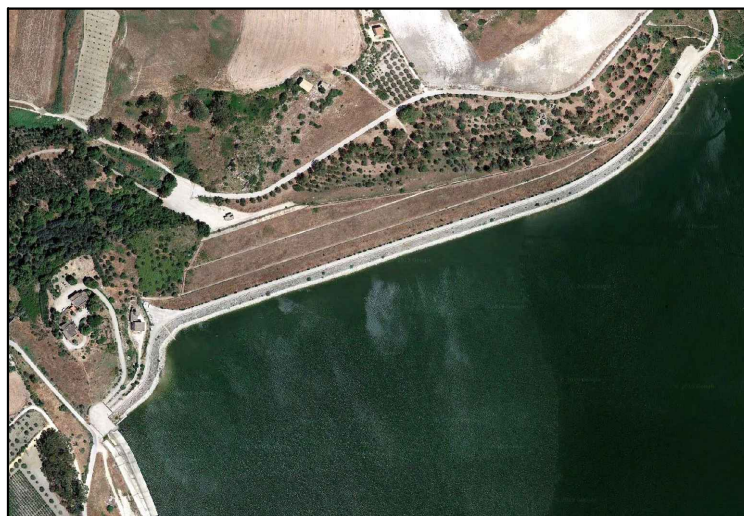




ASSESSORATO REGIONALE DELL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITÀ
DIPARTIMENTO REGIONALE DELL'ACQUA E DEI RIFIUTI
SERVIZIO 3 - PROGRAMMAZIONE ED ESECUZIONE INTERVENTI INFRASTRUTTURE PER LE ACQUE

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
SOCIETÀ 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 DRENAGGI

ELABORATO N° :

DRE.8.1.1

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

DATA :

DICEMBRE 2021

SCALA :



SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SOLLEVAMENTO ESISTENTE	3
3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE	5
3.1 Impianto di sollevamento Cunicolo Drenaggi.....	8
3.1.1 Funzioni implementate dal sistema di controllo dell'impianto.	10
3.1.2 Dati per il dimensionamento dell'Impianto	11
3.1.3 Dimensionamento dell'impianto di sollevamento	11
3.1.4 Stima speditiva delle sovrappressioni nella condotta premente	19



1. PREMESSA

Il presente documento riguarda l'impianto di sollevamento delle acque raccolte all'interno del cunicolo drenaggi della Diga San Giovanni di Naro.

Il cunicolo drenaggi, si estende quasi parallelamente al coronamento della diga – lato paramento di valle - per una lunghezza complessiva di circa 608,40 m. È dotato di un impianto di sollevamento, mirato ad allontanare le acque convogliate dall'interno del cunicolo sino ad una piccola vasca posta in asse al locale di accesso del cunicolo stesso, che necessita oggi di un revamping.

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.1), dettagliatamente descritte nella relazione tecnica allegata al presente progetto a cui si rimanda per tutte le specifiche, hanno mostrato che all'interno dei due cunicoli non sussiste alcuna atmosfera esplosiva né 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).



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

RISULTATI ANALITICI					
<u>Cunicolo d'ispezione</u>					
Parametro	Unità di misura	Tempo di campionamento (min)	Risultato	Limite TLV TWA ^{(1) (2)}	Limite TLV 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)}	Limite TLV 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

Don.ssa ACCURSO VINCENZA
N. 1086

Don. D'ARPA ALBERTO
N. 1193 - Sez. 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 1 – Risultati analitici delle misure e valori limite di riferimento

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SOLLEVAMENTO ESISTENTE

Il sistema di sollevamento ed allontanamento delle acque che si raccolgono all'interno del cunicolo drenaggi e da questo nella vasca drenaggi, posta in corrispondenza del locale di accesso al medesimo, è oggi composto da un impianto di sollevamento ubicato all'interno della vasca costituito da una pompa di drenaggio da 7.5 l/s e da una condotta premente DN 80 in PEAD. La premente, allo stato attuale, fissata con delle corde alle due gabbie di protezione delle scale alla marinara presenti nel locale di accesso, risale il pozzo drenaggi (cfr. figura 2), poi attraversa un foro di passaggio ubicato poco al di sotto della soletta del pianerottolo presente (cfr. figura 3) – sopra elevato di circa 11.50 m rispetto al piano di calpestio del cunicolo di ispezione – e recapita nel fosso di guardia nei pressi del locale di accesso.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

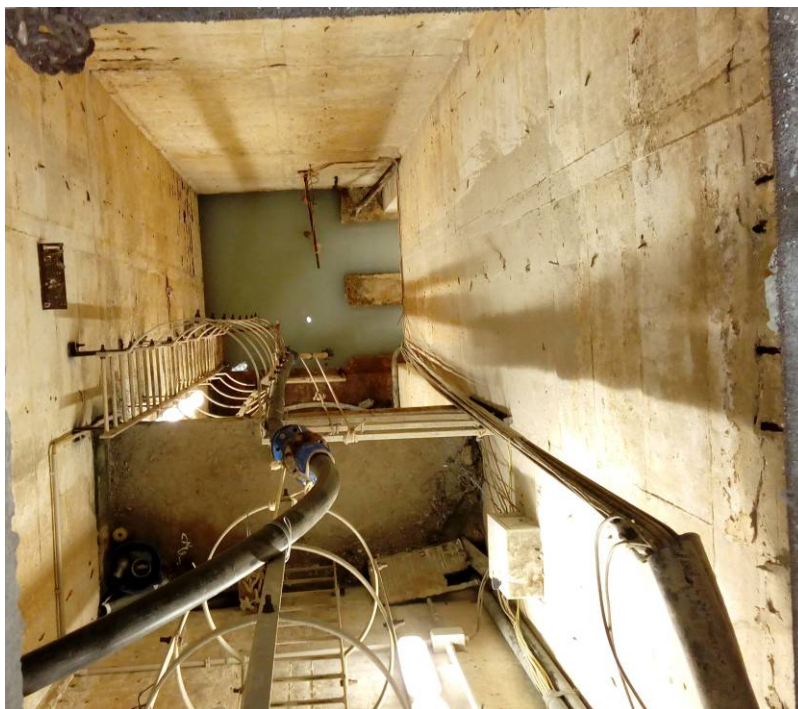


Figura 2 - Sollevamento Cunicolo Drenaggi



Figura 3 – Foro di passaggio condotta premente



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

Allo stato attuale come già rilevato in sede di studio di fattibilità il revamping del sollevamento delle acque del cunicolo drenaggi è di fondamentale importanza perché *"Il regolare ed efficace funzionamento di tale impianto di sollevamento garantisce un costante basso livello nella vasca di raccolta, consentendo le ordinarie operazioni di gestione, controllo e misura, e garantendo la sicurezza del cunicolo e degli impianti che altrimenti sarebbero completamente sommersi dalle acque"*.

A ciò si devono aggiungere gli interventi necessari per migliorare le condizioni operative del personale all'interno del cunicolo.

In relazione a questo ultimo aspetto si rileva che:

- il quadro elettrico di alimentazione del sollevamento, posto in prossimità dell'ingresso al locale di accesso e relativo cavidotto necessitano di manutenzione a causa dell'elevato tasso di umidità presente;
- l'accesso alle apparecchiature poste nella vasca di raccolta è reso difficoltoso dalla fatiscenza della esistente passerella posta lateralmente alla scala di accesso alla marinara.



Figura 4 - Passerella esistente in corrispondenza del sollevamento

3. DESCRIZIONE DELLA SOLUZIONE PROGETTUALE

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

- ottimizzare il sistema di eduazione delle acque dal cunicolo drenaggi;
- consentire il controllo da remoto del funzionamento dell'impianto;



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

- monitorare il livello delle acque raccolte all'interno del cunicolo in corrispondenza della vasca;
- migliorare le condizioni di lavoro degli operatori all'interno del cunicolo drenaggi.

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

1) *Rifacimento dell'impianto di sollevamento*

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni:

- smontaggio e ricovero in locale indicato dall'amministrazione delle pompe esistenti;
- fornitura e posa in opera di n° 2 pompe sommergibili drenanti (1+1 riserva) aventi le seguenti caratteristiche:
 - Portata : 10,0 l/s
 - Prevalenza : 12,39 m
 - Potenza nominale : 2,2 kW
- installazione di misuratore di livello idrostatico e galleggianti di emergenza;
- dismissione del piping esistente ivi comprese tutte la condotta di mandata esistente;
- fornitura e posa in opera delle seguenti apparecchiature idrauliche:
 - n°2 valvole di non ritorno in ghisa sferoidale DN 80 PN 10
 - n°2 saracinesche in ghisa sferoidale DN 80 PN 10
 - n°1 misuratore di portata elettromagnetico DN 100 PN 10
 - n°1 saracinesca in ghisa sferoidale DN 100 PN 10 a presidio del misuratore di portata
- rifacimento del piping di collegamento tra le pompe di drenaggio e la condotta di mandata in PEAD De 90 PN 10;
- rifacimento della condotta di mandata con tubazione in PEAD De 110 PN 10 avente sviluppo complessivo di circa 25 m; al fine di rendere agevole la sua manutenzione lungo il suo percorso di risalita (di circa 11 m) all'interno della vasca/locale di accesso sarà staffata a parete mediante collari pesanti in acciaio inox con gomma EPDM, vitoni in acciaio inox e tasselli in PP;
- dismissione del quadro elettrico esistente;


RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

- fornitura e posa in opera di nuovo quadro elettrico (potenza pari a 2.2 kW) di alimentazione e controllo delle pompe da posizionare in prossimità dell'ingresso del locale di accesso al cunicolo drenaggi e quadro locale di sezionamento.

2) Realizzazione di piattaforma in PRFV

L'intervento si compone delle seguenti lavorazioni:

- dismissione della passerella esistente;
- realizzazione di una nuova piattaforma in PRFV al di sopra del tirante idrico della vasca drenaggi posta in corrispondenza della scala di accesso alla marinara in modo tale da poter accedere agevolmente alle apparecchiature idrauliche presenti.

La piattaforma sarà composta dai seguenti elementi principali: un grigliato stampato autoportante maglia 13x13 mm in PRFV antiscivolo delle dimensioni di 3.0x1.2 m; un sistema di travi composte da profili-H in PRFV aventi sezione trasversale delle dimensioni di 150x75x8 mm; un angolare in PRFV delle dimensioni 40x40x3 mm posto lungo il lato libero del grigliato al fine di bloccare ulteriormente il grigliato; piastre di supporto, fissate alle pareti ai quattro angoli del telaio, in acciaio inox 200x200x200 mm e spessore 10 mm.

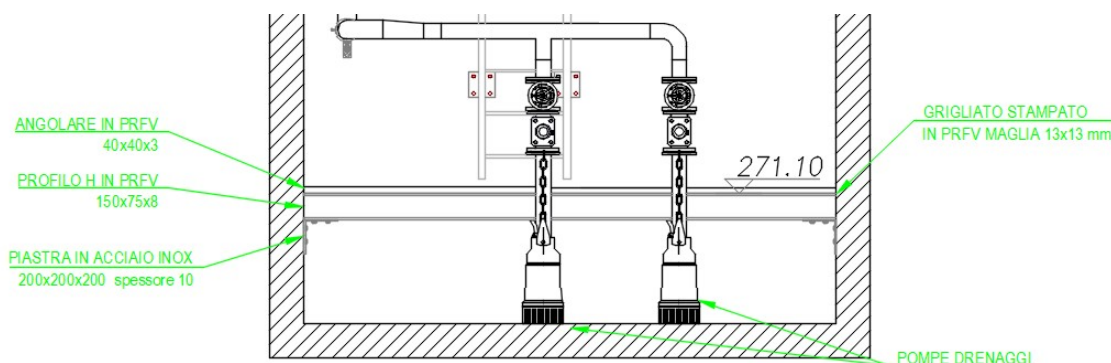


Figura 4 – Piattaforma in PRFV – dettaglio elaborato DRE 8.4.1

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 DRENAGGI

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

3.1 Impianto di sollevamento Cunicolo Drenaggi

Si prevede l'installazione di 2 pompe centrifughe (1+1 riserva) con girante aperta antintasamento 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 : 12,39 m
- Potenza nominale : 2,2 kW
- Rendimento idraulico : 63 %
- Rendimento totale : 50 %
- Motore elettrico, asincrono trifase, rotore a gabbia, 400 Volt 50 Hz 2 poli
 - Isolamento/protezione : classe F (+155°C) IEC 85/IP 68
 - Potenza nominale : 2,2 kW
 - Corrente nominale : 4,7 A
 - Avviamento : diretto
 - Raffreddamento : in tutto o in parte ottenuto dal liquido pompato
- Materiali
 - Campana esterna : alluminio
 - Girante : hard-iron


RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

- Parti di usura : hard-iron/gomma nitrilica
- Albero : acciaio inox
- Griglia : acciaio inox
- Tenuta meccanica : plug-in in carburo di silicio
- 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 flessibile con Ø interno 75 mm
 - Salvamotore incorporato
 - Cavo elettrico sommergibile

Il piping della stazione di sollevamento sarà realizzato in PEAD De 90 PN 10; sulla mandata di ogni pompa saranno installate:

- saracinesca a cuneo gommato a corpo piatto DN 80 PN 10 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 10 con corpo in ghisa sferoidale palla in acciaio rivestita in gomma vulcanizzata.

Lungo la condotta premente, in corrispondenza del pianerottolo presente, saranno altresì installati un misuratore di portata elettromagnetico con totalizzatore in modo tale da poter registrare sia i valori istantanei delle portate che i volumi totali sollevati ed una saracinesca di presidio a cuneo gommato a corpo piatto DN 100 PN 10.

Le elettropompe da 2,2 kW cadauna saranno alimentate e gestite da un Quadro elettrico (400V, 50 Hz) installato 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 in vasca, 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.



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

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.).

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



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 in questo ultimo decennio, come si evince dal grafico riportato di seguito, è stata registrata una portata massima ($Q_{\max-in}$) pari a 6.2 l/s in data 03.05.2015

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 $1.5 \cdot Q_{\max-in}$.

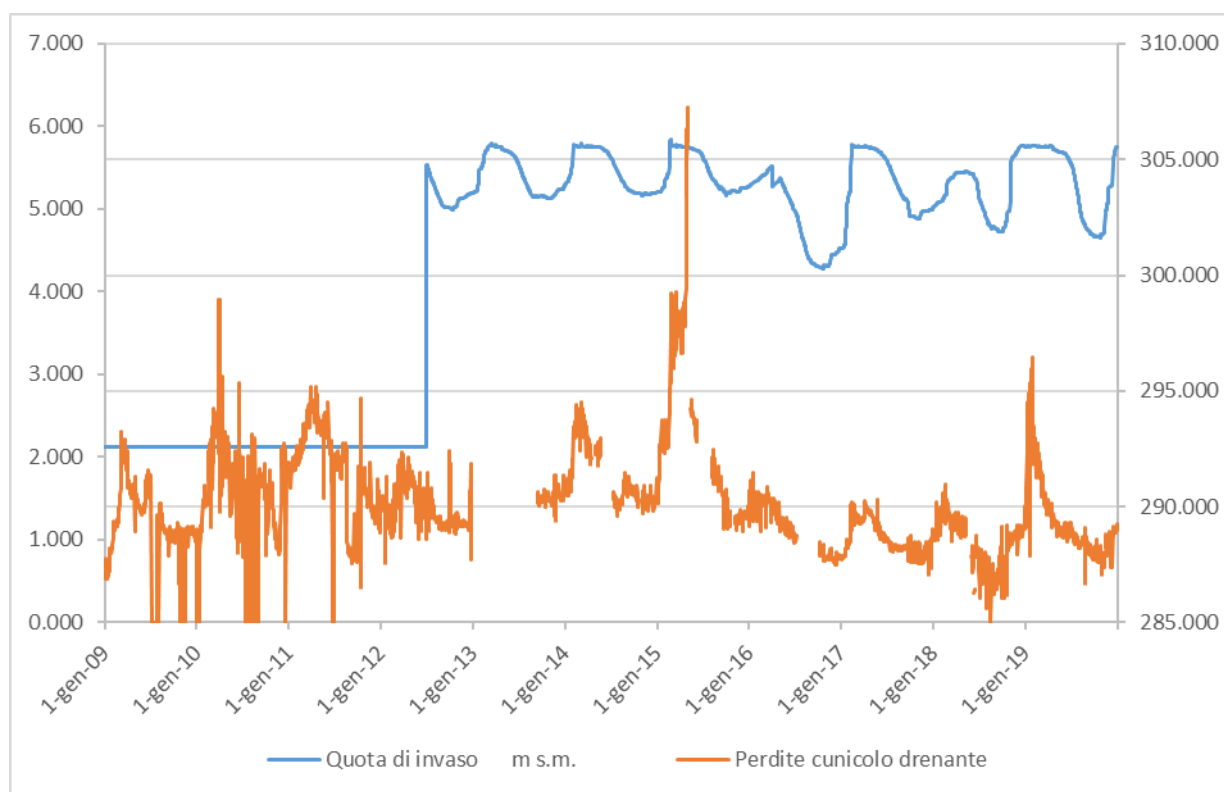


Figura 5 - Andamento delle perdite nel cunicolo di ispezione nell'ultimo decennio

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 DRENAGGI

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

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 PEAD 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 DRENAGGI

- 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.

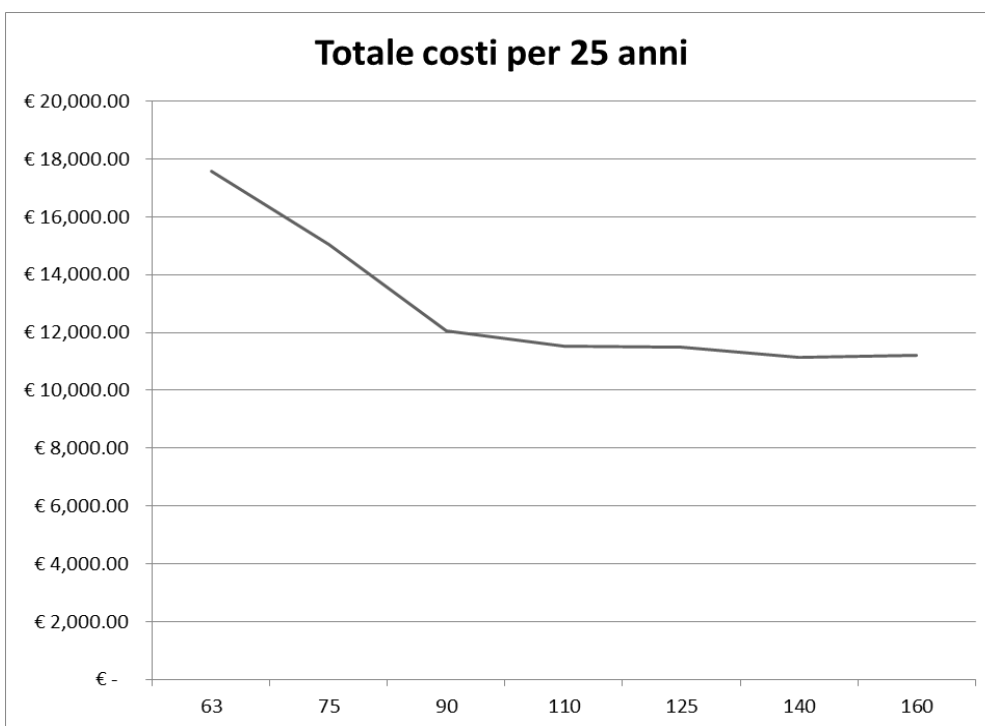
D _e	63	75	90	110	125	140	160	mm	diametro ext premente
V	94,608	94,608	94,608	94,608	94,608	94,608	94,608	m³/anno	Volume annuo sollevato
q _{max-out}	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	l/s	portata massima sollevata
H _m	270.40	270.40	270.40	270.40	270.40	270.40	270.40	m	Quota di monte
H _v	282.50	282.50	282.50	282.50	282.50	282.50	282.50	m	Quota di valle
H _g	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	12.10	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	15	15	15	15	15	15	15	m	Lunghezza premente
Y _p	5.19	2.22	0.91	0.29	0.16	0.09	0.05	m	perdite di carico premente
D _{e-pip}	63	63	90	90	90	110	110	mm	diametro esterno piping pompa



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

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 ₁	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30		perdita piede di accoppiamento
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}	0.35	0.35	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	m	perdite distribuite piping
Y _{pip-tot}	2.85	2.85	0.66	0.66	0.66	0.25	0.25	m	totale perdite piping
Y _{tot}	8.04	5.07	1.57	0.95	0.82	0.34	0.30	m	Perdite di carico totali
H _{tot max}	20.14	17.17	13.67	13.05	12.92	12.44	12.40	m	Prevalenza totale massima
P _{idr}	1.98	1.68	1.34	1.28	1.27	1.22	1.22	kW	Potenza idraulica
h	63.30%	63.30%	63.30%	63.30%	63.30%	63.30%	63.30%		rendimento
P _{el}	3.12	2.66	2.12	2.02	2.00	1.93	1.92	kW	Potenza elettrica
h	2,628	2,628	2,628	2,628	2,628	2,628	2,628	h	ore medie di funzionamento
E	8,204	6,994	5,569	5,316	5,261	5,068	5,051	kWh	Energia consumata
E	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	€/kWh	
Ce	€ 1,230.57	€ 1,049.17	€ 835.34	€ 797.44	€ 789.10	€ 760.25	€ 757.64		costo annuo energia
Ct	€ 6.09	€ 8.63	€ 11.31	€ 13.88	€ 17.70	€ 22.22	€ 29.01		Costo tubazione
Ctot	€ 91.33	€ 129.40	€ 169.70	€ 208.17	€ 265.48	€ 333.32	€ 435.17		Costo totale tubazione
Ct	€ 91.33	€ 129.40	€ 169.70	€ 208.17	€ 265.48	€ 333.32	€ 435.17		Costo totale di impianto

Totale costi per 25 anni





RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

Figura 6 - 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		
$q_{\max-in}$	6.23	6.23 l/s		portata massima in ingresso
n	1	2		numero pompe in funzione
q	10.00	9.00 l/s		portata singola pompa
$q_{\max-out}$	10.00	18.00 l/s		portata massima sollevata
H_m	270.40	270.40 m		Quota di monte
H_v	282.50	282.50 m		Quota di valle
H_g	12.10	12.10 m		dislivello geodetico
C	140	140		scabrezza (Hazen-Williams)
D_{e-p}	110	110 mm		diametro esterno premente
D_{i-p}	96.8	96.8 mm		diametro interno premente
D_{e-pip}	110	110 mm		diametro esterno piping pompa
D_{i-pip}	90.0	90.0 mm		diametro int piping pompa
V_{pip}	1.57	1.41 m/s		velocità piping pompa
K_1	0.30	0.30		perdita piede di accoppiamento
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}	27.73	22.82		perdite collettore
Y_{pip}	0.03	0.02 m		perdite totale distribuita piping
$Y_{tot-pip}$	0.34	0.28 m		totale perdite piping camera di manovra
V_p	1.36	2.45 m/s		velocità premente con n pompe in funzione
J_p	19.45	57.77 m/km		perdite premente con n pompe in funzione
L_p	15	15 m		Lunghezza premente
Y_p	0.29	0.87 m		perdite di carico premente



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

CALCOLI IDRAULICI				
Configurazione	1+1	2		
Y_{tot}	0.63	1.14	m	perdite di carico totali impianto
H_{tot}	12.39	12.97	m	Prevalenza totale
P_{idr}	1.22	1.14	kW	Potenza idraulica
η	63.30%	63.30%		rendimento
P_{el}	1.92	1.81	kW	Potenza elettrica
z	3	3		numero di attacchi ora
T	1200	1200	s	tempo di esercizio
<i>avvio in sequenza</i>				
w₁	3.0	2.7	m³	Volume utile per una pompa
DH	0.34	0.45	m	differenza di livello per avvio e arresto pompe
L	3.13	3.1	m	Lunghezza vasca
B	2.82	2.8	m	Larghezza vasca
w_{tot}	3.0	6.7	m³	Volume totale della vasca
H_{tot}	0.34	0.76	m	Altezza totale della vasca
Tr	0.13	0.30	h	tempo di riempimento a pompe spente
Tr	8.0	17.9	min	tempo di riempimento a pompe spente
Tr	482	1072	sec	tempo di riempimento a pompe spente
Ts	0.22	0.16	h	tempo di svuotamento con portata massima in ingresso
Ts	13.2	9.4	min	tempo di svuotamento con portata massima in ingresso
Ts	795	567	sec	tempo di svuotamento con portata massima in ingresso
Tav	0.4	0.5	h	intervallo tra due avviamenti
Tav	21.3	27.3	min	intervallo tra due avviamenti
Tav	1277	1638	sec	intervallo tra due avviamenti
n	2.8	2.2		numero di avviamenti

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

La verifica del volume utile della vasca di accumulo è stato effettuato fissando in 3 il numero di attacchi l'ora delle pompe utilizzando la formula¹

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

¹ Sistemi di fognatura - Manuale di progettazione Hoepli



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

dove

- $V = Q_p / (4 \cdot z)$
- Q_p = portata della singola pompa
- z = numero di attacchi l'ora
- n = numero di pompe installate
- ΔH = 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 75 cm.

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



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

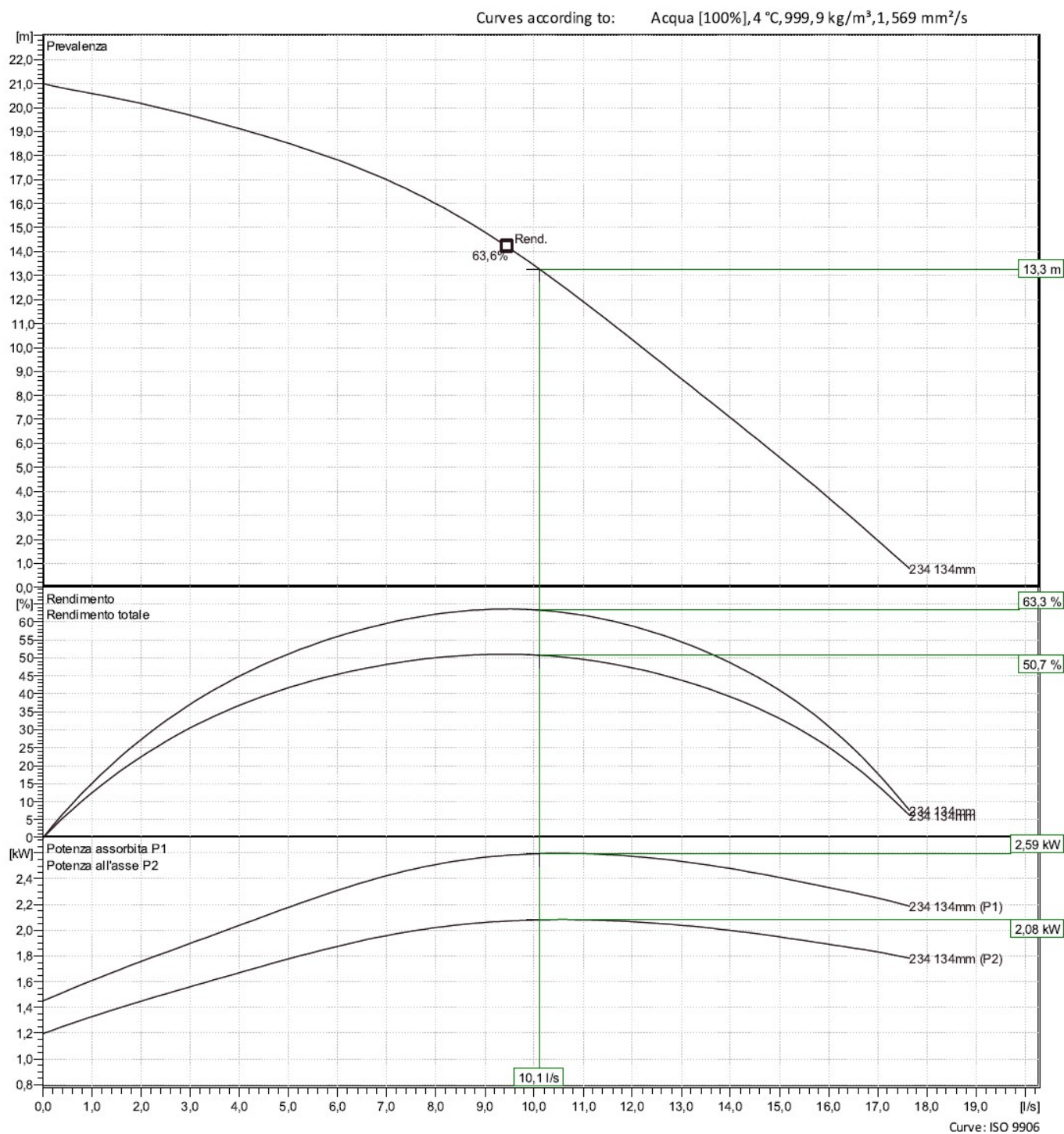


Figura 7 - Curve caratteristiche pompa di progetto (configurazione 1)



RELAZIONE IDRAULICA - CUNICOLO DRENAGGI

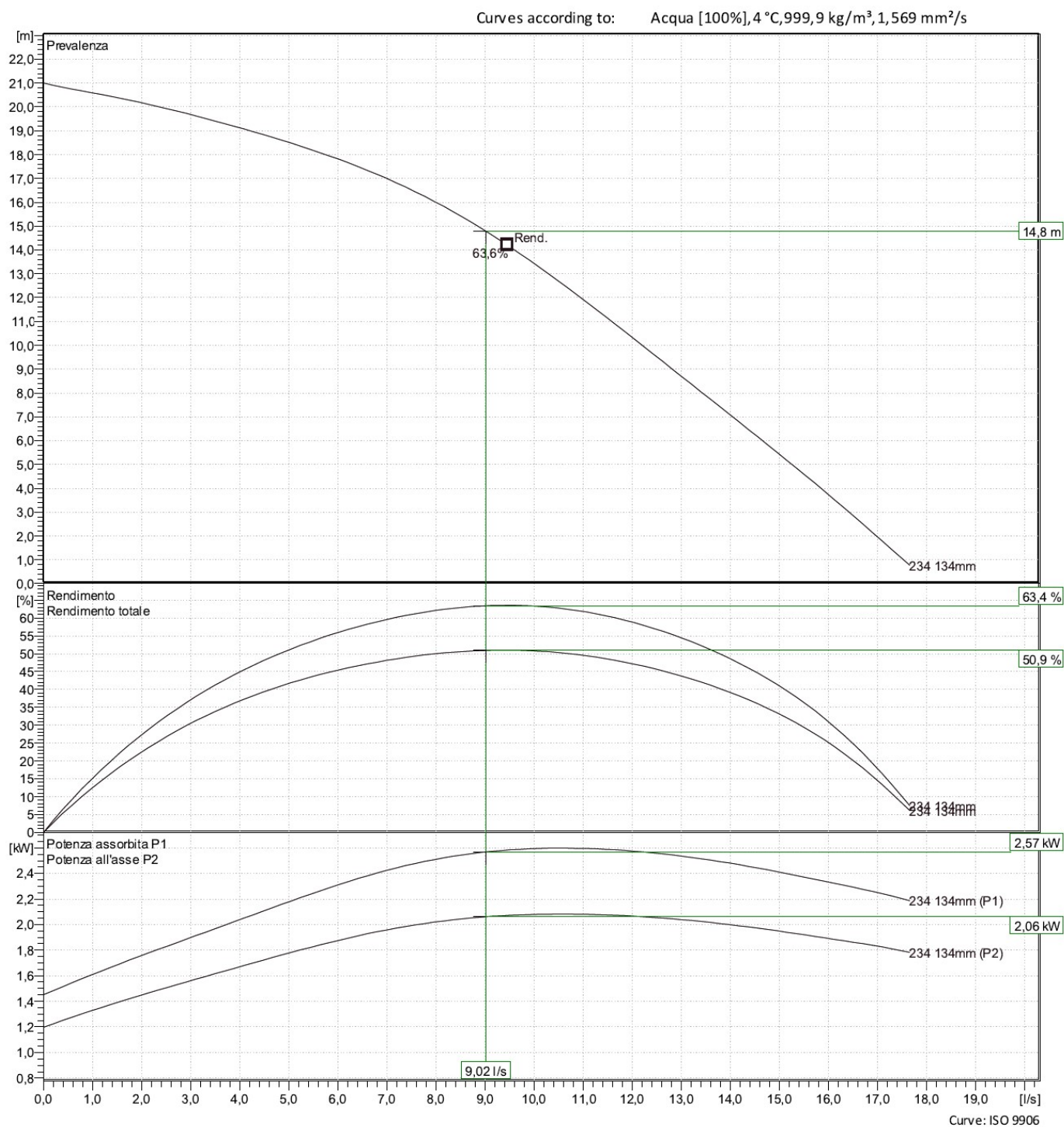


Figura 8 - Curve caratteristiche pompa di progetto (configurazione 2)

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 DRENAGGI

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 DRENAGGI

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

Nel caso in specie essendo:

PEAD De 110 PN10		
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	15.00 m	lunghezza condotta
Hm	12.39	prevalenza pompe
Hm/L	0.83	
C	1	
k	1.9925	
T _c	0.00 s	
E	9.70E+07 kgf/m ²	modulo di elasticità del PEAD
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	249 m/s	celerità dell'onda
τ	0.10 s	
	veloce	
Dp	34.55 m	massima sovrappressione

Sommando alla sovrappressione determinata la prevalenza delle pompe (12.39 m) si ottiene

$$P_{\max} = 46.94 \text{ m}$$

$$P_{\text{es}} = 1.5 * P_{\max} = 70.41 \text{ m}$$