

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
***Soluzioni Tecniche per Impianti di Sollevamento delle Acque
Reflue: Dimensionamento Idraulico, Selezione delle Macchine,
Verifica della Cavitazione e Gestione degli Avviamenti***

Tutor universitario: Prof. Ing. Alberto Benato

Laureando: *Nicola Duse*

Padova, 15/11/2024

OBIETTIVI DEL LAVORO

L'obiettivo dell'esperienza era quello di fornire **soluzioni tecniche** per garantire il corretto funzionamento degli impianti di sollevamento, in linea con il progetto esecutivo.

Per ciascuno degli impianti si era previsto di analizzare:

- il **dimensionamento idraulico**;
- la **selezione delle macchine**;
- la **gestione degli avviamenti**;
- la **verifica della cavitazione**.



Figura: stazione di sollevamento prefabbricata tipo PS.G di Grundfos

PANORAMICA SUGLI IMPIANTI

- **Domanda delle utenze:** espressa in abitanti equivalenti; analizzata nei periodi di massima e minima stagionale; utilizzata per determinare la portata in ingresso nelle vasche.
- **Configurazione degli impianti:** numero di macchine richieste dal progetto; prevalenza geodetica e portata in uscita a cui le macchine devono far fronte.

Impianti di Sollevamento	N° di Installazioni	H_g (m)	Q_{in} (l/s) Bassa stagione	Q_{in} (l/s) Alta stagione	Q_{out} (l/s) Richiesta
IS01	2 + 1 di riserva	5,39	15,22	59,26	60
IS02	1 + 1 di riserva	23,13	0,46	1,97	2

Tabella: rappresentazione schematica delle macchine da installare, delle prevalenze geodetiche e delle portate in ingresso e uscita degli impianti di sollevamento.

TIPOLOGIE DI GIRANTE



- Girante a canale aperto **Vortex**: ottime caratteristiche anti-ostruzione; miglior passaggio libero; rendimento idraulico inferiore rispetto alle altre tipologie di girante; basso costo di sostituzione.
- Girante a canale semi-aperto **N**: tecnologia autopulente; buone caratteristiche anti-ostruzione; elevato passaggio libero; miglior rendimento idraulico; la rigenerazione spesso non è conveniente.
- Girante a canale chiuso **ContraBlock**: buone caratteristiche anti-ostruzione; elevato passaggio libero; rendimento idraulico maggiore rispetto alle giranti a vortice; la rigenerazione è spesso conveniente.

CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

Per selezionare correttamente una pompa è fondamentale conoscere la **prevalenza totale** del sistema, che si ottiene sommando la **prevalenza geodetica** e le **perdite di carico**. Queste ultime sono determinabili mediante le seguenti formule:

$$\Delta H_{distribuite} = \frac{\lambda \cdot v^2}{D \cdot 2 \cdot g} \cdot L$$

$$\Delta H_{concentrate} = \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot K_i$$

Le perdite di carico vengono influenzate:

- dalla **velocità** del flusso;
- dalle **scabrezza** della condotta;
- dalle **dimensioni** della condotta;
- dal n° di **raccordi/valvole**.

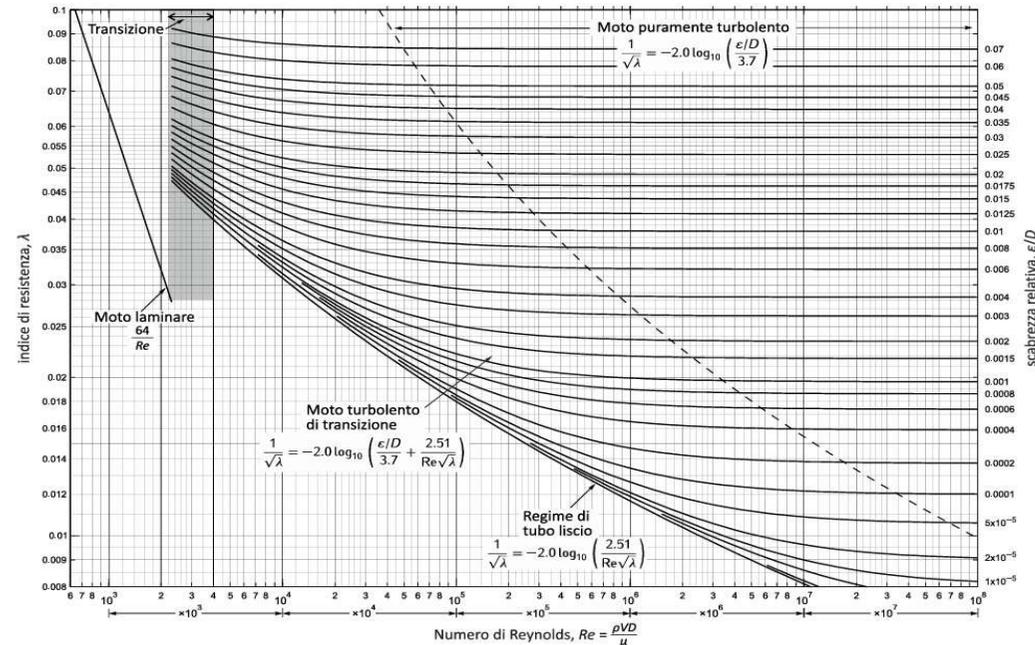


Diagramma di Moody: rappresentazione grafica del fattore d'attrito in funzione del numero di Reynolds e della scabrezza relativa, descritta dall'equazione di Colebrook-White.

SCOPO DELLA GESTIONE DEGLI AVVIAMENTI

La **gestione degli avviamenti** permette di ottimizzare l'operatività degli impianti di sollevamento, garantendo:

- **sicurezza;**
- **affidabilità** delle apparecchiature;
- **efficienza energetica.**

Lo studio è finalizzato a determinare il **livello di attacco** ottimale delle pompe, tale per cui:

- $T_c = T_r + T_{sv} \leq 2 \text{ ore};$
- $z_{att} > z_{att-min} (*)$

() Non troppo elevato al fine di contenere i consumi energetici.*

CAVITAZIONE

La **cavitazione** si verifica quando un fluido raggiunge una pressione inferiore alla tensione di vapore, fissata una certa temperatura.

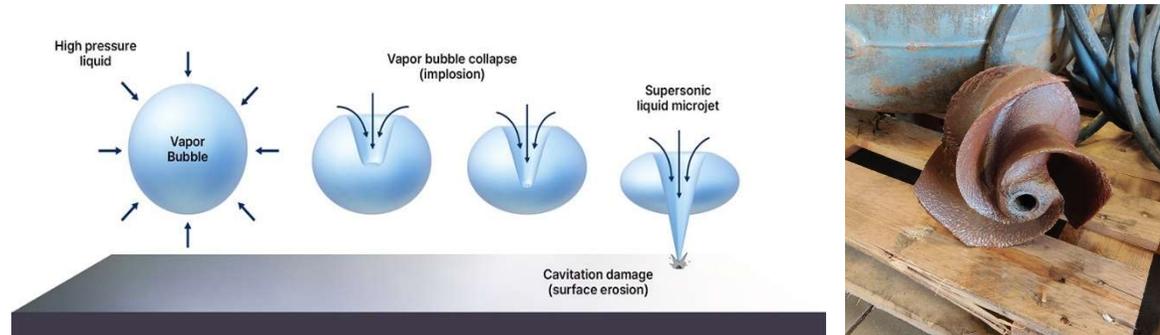


Figura: implosione di una bolla di vapore nel fenomeno della cavitazione

Girante N: pitting da cavitazione

Il fenomeno della cavitazione si sviluppa:

- all'ingresso della pompa;
- mediante la formazione di **bolle di vapore**.

Per prevenire la cavitazione si valuta l'**NPSH** (Net Positive Suction Head), in modo tale che, per ogni impianto, sia verificata la seguente condizione:

$$NPSH_D = \frac{p_{atm} - p_v}{\rho g} - z_b - h_{rb} > NPSH_R$$

L'ISO1 richiedeva l'installazione di due pompe in parallelo con portata di 60 l/s ed una prevalenza di 5,39 m.

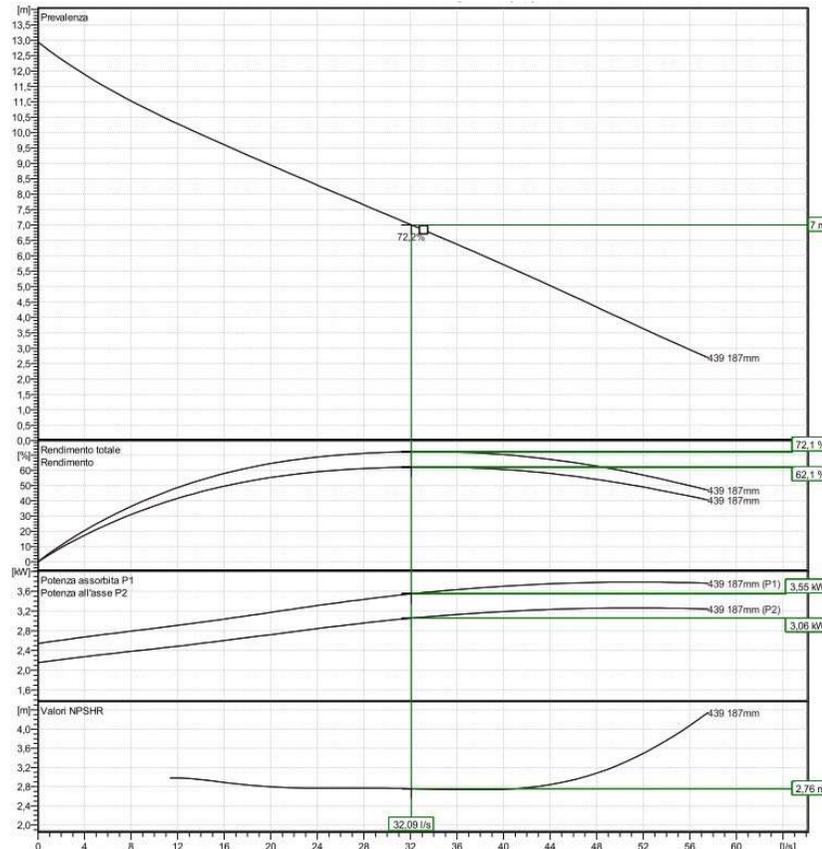


Figura: Curve prestazionali della Flygt NP 3127 MT3 Adaptive 439 di Xylem.

Motivazioni della scelta:

- La pompa rappresenta il miglior compromesso in termini di **affidabilità** ed **efficienza energetica**.

Risultati del dimensionamento idraulico:

Q_p ($\frac{m^3}{s}$)	v ($\frac{m}{s}$)	Re	$\frac{\epsilon}{D_i}$	λ	J	ΔH_d (m)	ΔH_c (m)	H_{tot} (m)
0,06418	2,08	411468	5,04E-05	0,1068	0,0118	0,83	0,64	6,70

Risultati della gestione degli avviamenti:

Periodo	$V_{attacco}$ (m^3)	T_r (min)	T_{sv} (min)	$z_{attacco}$ (m)	$\frac{n}{h}$ ($\frac{h}{h}$)	E (kWh)
AS	5,4	1,52	8,48	0,6	6	6,02
BS	7,65	8,38	1,62	0,85	6	1,15

Risultati della verifica della cavitazione

Periodo	$NPSH_R$ (m)	z_b (m)	$\frac{v_a}{s}$ ($\frac{m}{s}$)	h_{rb} (m)	$NPSH_D$ (m)
AS	2,73	-0,28	8,17	1,7	5,82
BS	2,73	-0,53	8,17	1,7	6,07

L'**IS02** richiedeva l'installazione di una pompa con portata di 2 l/s ed una prevalenza di 23,13 m.

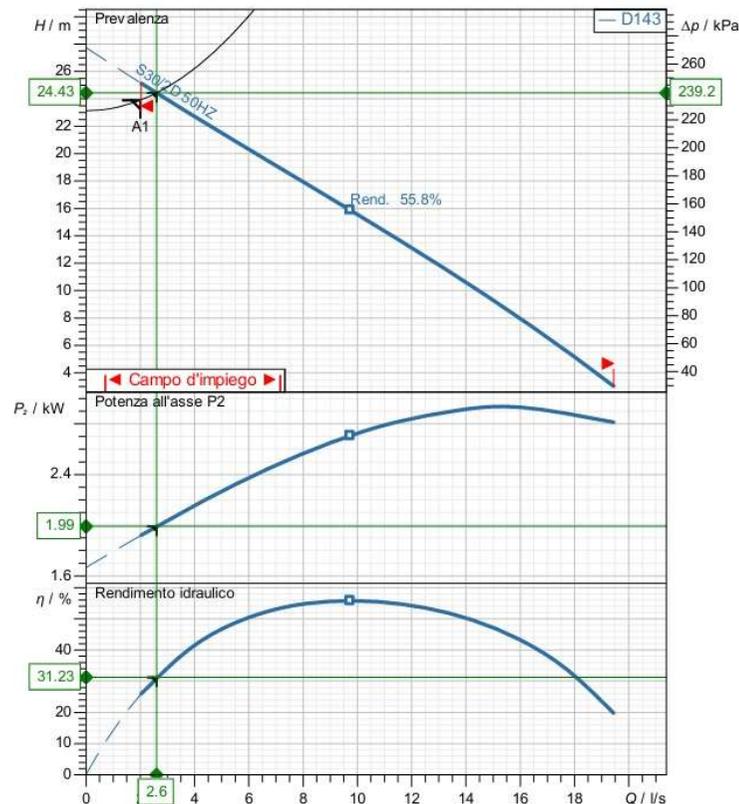


Figura: Curve prestazionali della AS 0641 D 50Hz di Sulzer.

La macchina individuata presenta un punto di funzionamento al limite della propria curva prestazionale, comportando:

- **inaffidabilità;**
- **rendimento idraulico ridotto.**

Le difficoltà nell'individuazione di una pompa sono dovute all'**elevata prevalenza geodetica** e alla **ridotta portata** richieste dall'impianto di progetto.

La soluzione che si è deciso di adottare:

- garantire una **portata maggiore;**
- **aumentare la sezione dei tubi di mandata:**

PEAD DN 90 → PEAD DN 125

Il dimensionamento è stato svolto assumendo una portata richiesta di 10 l/s.

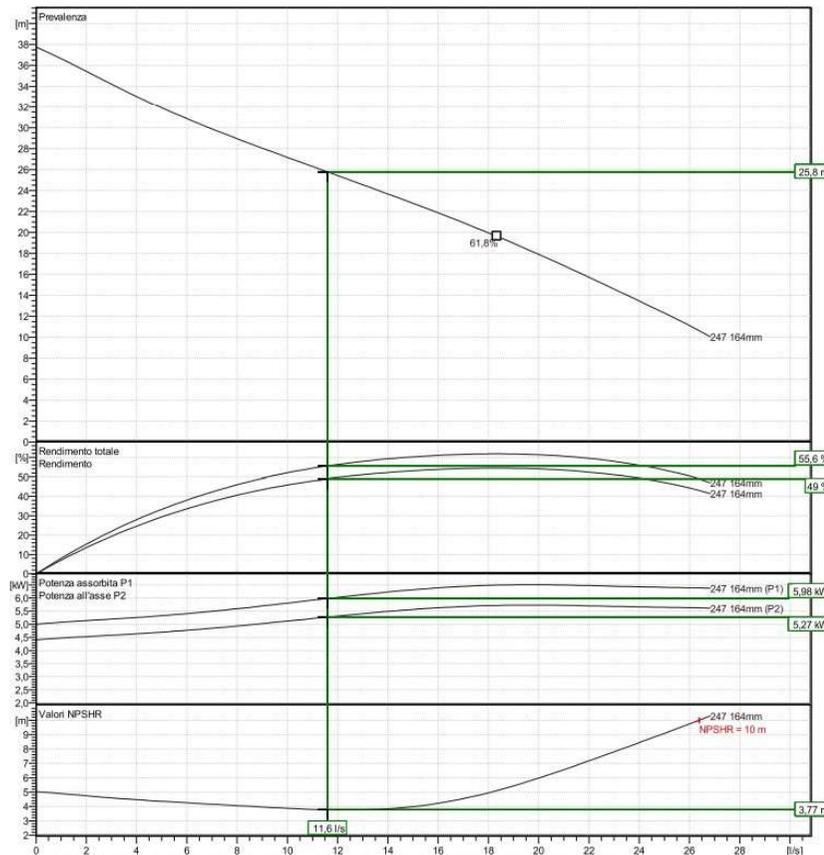


Figura: Curve prestazionali della Flygt NP 3127 SH3 Adaptive 247 di Xylem.

Motivazioni della scelta:

- Erogando una **portata maggiore**, si è individuata una pompa con un **punto di lavoro** al centro della sua curva prestazionale.

Risultati del dimensionamento idraulico:

Q_p ($\frac{m^3}{s}$)	v ($\frac{m}{s}$)	Re	$\frac{\epsilon}{D_i}$	λ	J	ΔH_d (m)	ΔH_c (m)	H_{tot} (m)
0,0116	1,12	128622	8,73E-05	0,0119	0,0067	2	0,19	25,32

Risultati della gestione degli avviamenti:

Periodo	$V_{attacco}$ (m^3)	T_r (min)	T_{sv} (min)	$z_{attacco}$ (m)	$\frac{n}{(avv.)}$ ($\frac{h}{h}$)	E (kWh)
AS	7,53	63,7	11,3	1,88	0,8	0,88
BS	2,03	73,5	1,5	0,51	0,8	0,12

Risultati della verifica della cavitazione

Periodo	$NPSH_R$ (m)	z_b (m)	$\frac{v_a}{s}$ ($\frac{m}{s}$)	h_{rb} (m)	$NPSH_D$ (m)
AS	3,77	-1,63	1,48	0,06	10,52
BS	3,77	-0,25	1,48	0,06	9,14

Le principali difficoltà riscontrate riguardavano la selezione delle macchine, poiché le richieste di progetto non sempre venivano soddisfatte in maniera efficace, a causa della **mancanza di prodotti specifici** nel mercato.

Le modifiche ai parametri di sistema, come la **portata**, la **velocità del fluido** e le **perdite di carico**, comportavano uno **spostamento del punto di lavoro** lungo le curve prestazionali, talvolta rendendo necessaria la ricerca di una nuova macchina, oppure richiedendo modifiche strutturali all'impianto.

Attraverso l'ottimizzazione dei parametri di progetto, è stato possibile identificare delle pompe con delle **curve prestazionali** in grado di intersecare quelle **caratteristiche degli impianti** con un miglior rendimento.

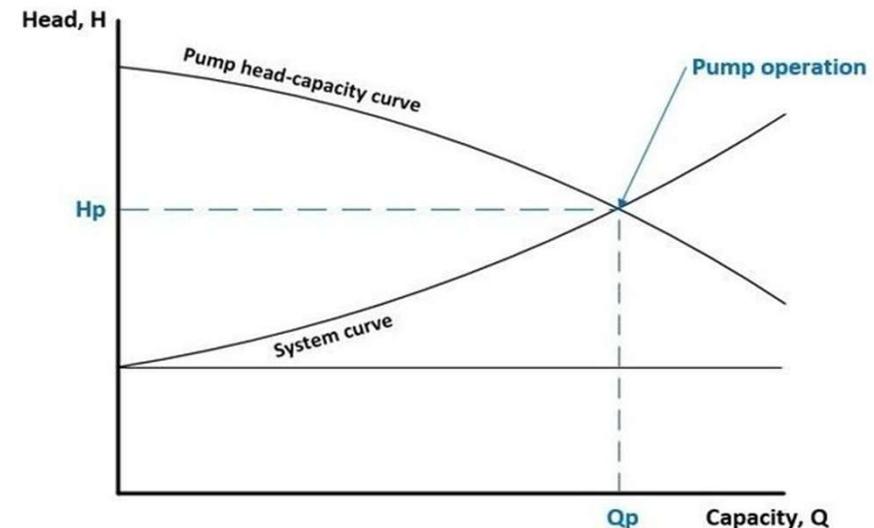


Figura: curva prestazionale di una pompa e curva caratteristica di un sistema.

Grazie per l'attenzione!