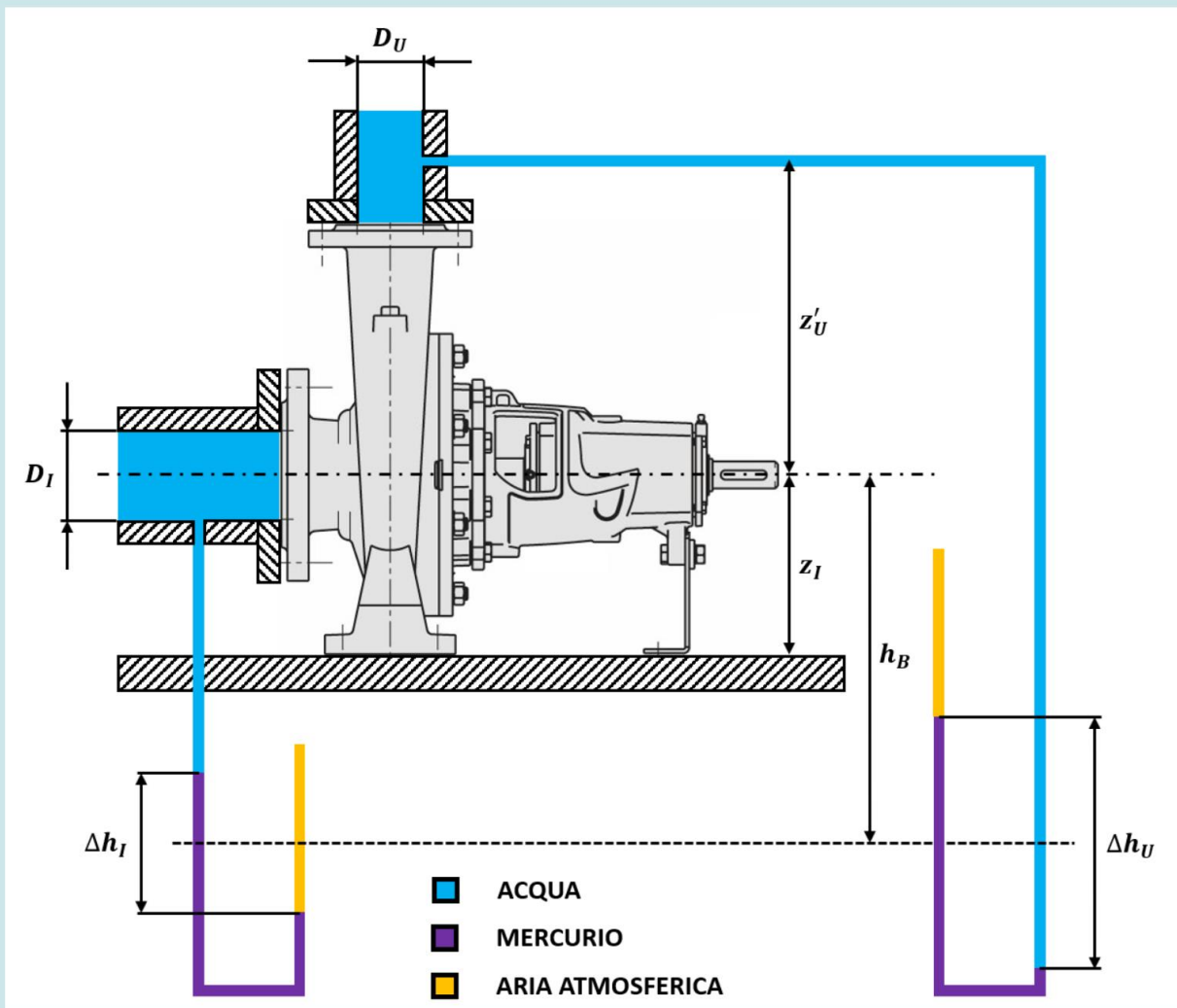


Esercizio 1



Un'azienda produttrice di pompe centrifughe si appresta ad eseguire una serie di prove sperimentali per determinare le curve caratteristiche dell'ultimo modello di pompa da lanciare sul mercato.

Per procedere in tale direzione, i tecnici di laboratorio hanno a disposizione l'impianto di prova schematizzato in figura, il quale si avvale dell'utilizzo di manometri a mercurio per la misurazione delle pressioni statiche all'ingresso (pedice I) e all'uscita (pedice U) della macchina.

La portata elaborata dalla macchina, invece, viene determinata tramite l'utilizzo di un misuratore di portata elettromagnetico posizionato a valle della macchina in esame, mentre informazioni relative a coppia M e regime di rotazione n sono rese disponibili, per ogni punto misurato, da misurazioni condotte tramite torsiometro e misuratore di giri rispettivamente.

Il punto di lavoro in esame è caratterizzato dai seguenti dati:

- Portata volumetrica $Q_V = 13.33 \text{ L/s}$
- Coppia all'albero $M_{alb} = 17.06 \text{ Nm}$
- Regime di rotazione $n = 1450 \text{ giri/min}$

Mentre la sezione d'ingresso risulta essere definita dalle seguenti caratteristiche:

- Diametro del tubo d'ingresso della macchina: $D_I = 125 \text{ mm}$

- Quota d'installazione del tubo d'ingresso rispetto al pavimento: $z_I = 200$ mm (coincidente con la quota a cui si trova l'asse della macchina, sempre prendendo come riferimento il pavimento)
- Distanza tra l'asse della macchina e lo zero barometrico dei due manometri a mercurio: $h_B = 750$ mm
- Dislivello tra i due menischi – lato aspirazione: $\Delta h_I = 50$ mm

I rilievi ottenuti in corrispondenza della sezione di uscita della macchina, invece, sono risultati essere i seguenti:

- Diametro del tubo d'uscita della macchina: $D_U = 100$ mm
- Quota d'installazione della presa di pressione in corrispondenza del tubo d'uscita rispetto all'asse della macchina: $z'_U = 280$ mm
- Pressione statica misurata dal manometro a mercurio all'uscita della macchina: $p_U = 201700$ Pa

Considerando:

- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000$ kg/m³
- Densità del mercurio: $\rho_M = 13600$ kg/m³
- Densità dell'aria a 15°C: $\rho_{aria} = 1.225$ kg/m³
- Pressione atmosferica: $p_{atm} = 101325$ Pa
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Determinare:

La velocità dell'acqua in aspirazione alla pompa c_I in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La velocità dell'acqua in uscita dalla pompa c_U in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

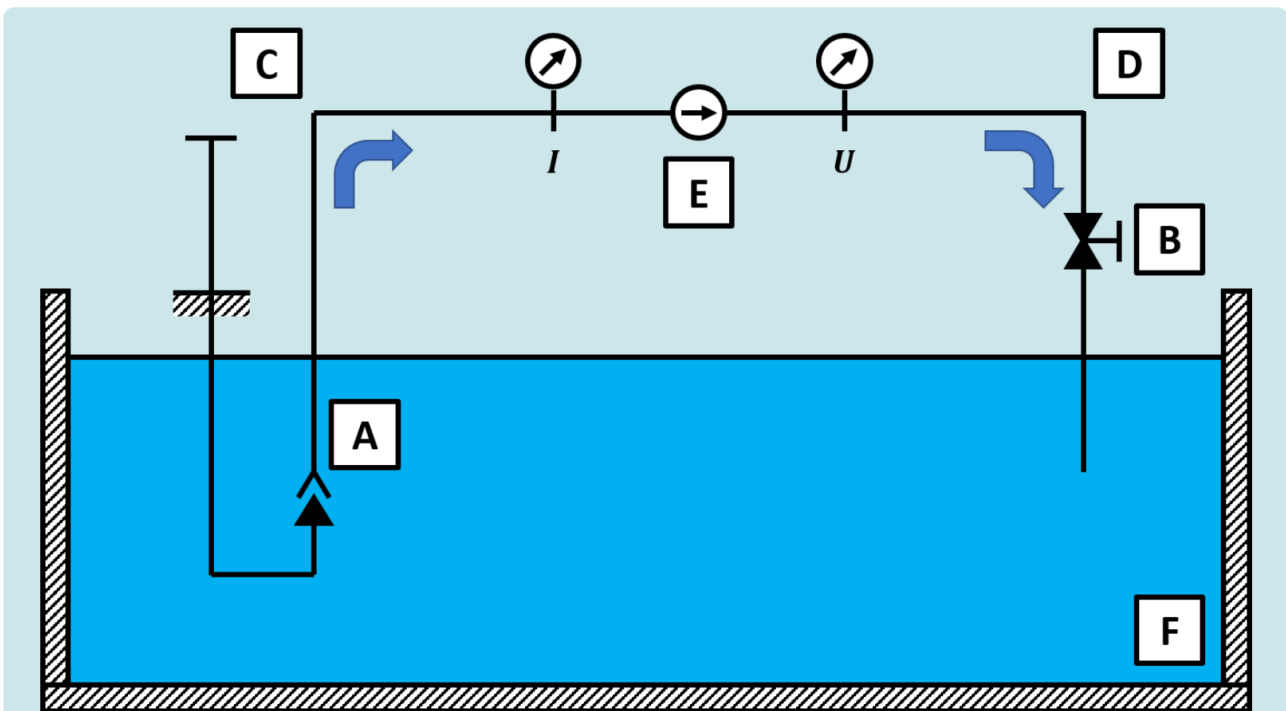
La pressione statica all'ingresso della pompa a partire dalla lettura del manometro a mercurio p_I in [Pa] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 0 cifre significative dopo la virgola)

La prevalenza erogata dalla pompa del punto di lavoro in esame h_p in [m] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il rendimento totale della pompa nel punto di lavoro in esame η_{TOT} in [%] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 1.09, 1.7, 87542, 12, 60.6

Esercizio 2



Un'azienda produttrice di pompe centrifughe si appresta ad eseguire una serie di prove sperimentali per determinare quanto l'ultimo modello di pompa centrifuga progettato risulti incline alla cavitazione, definendo, di conseguenza, anche le sue curve caratteristiche di NPSH.

I tecnici di laboratorio hanno a disposizione l'impianto di prova schematizzato in figura, il quale si avvale dell'utilizzo di trasduttori di pressione per la misurazione delle pressioni statiche assolute all'ingresso (pedice I) e all'uscita (pedice U) della macchina.

I serbatoi di aspirazione e mandata (entrambi atmosferici) coincidono (F), con la macchina (E) installata in modo tale che l'asse di rotazione e la sezione di aspirazione risultino posizionati ad una quota pari a $z_I = 1.5$ m rispetto al pelo libero del serbatoio. Le prestazioni della macchina, invece, vengono regolate tramite l'utilizzo di due valvole poste rispettivamente a monte e a valle della pompa. La prima (quella a monte) è una valvola conica (A), mentre la seconda (quella a valle) è una valvola a saracinesca (B). Durante l'intera prova, il punto di lavoro in esame rimane costante e definito dai seguenti dati:

- Regime di rotazione $n = 1450$ giri/min
- Prevalenza $h_P = 10$ m

per i quali ci si aspetta di ottenere un valore di $NPSH_R$ pari a 1.91 m.

La sezione d'ingresso della pompa in esame risulta caratterizzata da un diametro pari a $D_I = 125$ mm, pari anche al diametro (costante) delle condotte che collegano il serbatoio alla pompa (C) e la pompa al serbatoio (D).

All'inizio della prova, a completa apertura della valvola conica, le perdite di carico totali nel tratto di aspirazione (C) sono pari a $K_I = 3$ quote cinetiche e la pressione all'aspirazione è pari a $p_I = 84250$ Pa.

Si considerino inoltre le seguenti proprietà:

- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000$ kg/m³
- Densità dell'aria a 15°C: $\rho_{aria} = 1.225$ kg/m³
- Pressione atmosferica: $p_{atm} = 101325$ Pa
- Pressione di vapore: $p_v = 2340$ Pa
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

A partire da questi dati, si determinino:

La portata d'acqua Q_V fluente nell'impianto in [m³/h] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

La pressione statica all'ingresso della pompa $p_{I,CAV}$ in [Pa] tale da provocare l'insorgenza di cavitazione alla portata di test, nell'ipotesi che la stima di $NPSH_R$ fatta in fase progettuale venga confermata dall'esperimento - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 0 cifre significative dopo la virgola)

Il margine di sicurezza x in [m] con cui la pompa centrifuga in esame è installata nella configurazione di prova - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La riduzione di perdite di carico totali (espressa in valore assoluto come numero di quote cinetiche - unità di misura [-]) che si deve imprimere (tramite la valvola a saracinesca) nel ramo di mandata dell'impianto al raggiungimento delle condizioni di cavitazione della pompa secondo normativa (pressione all'aspirazione determinata al secondo quesito di questo esercizio) a partire dalle condizioni di prova iniziali - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Nota: i diametri dei tubi sono costanti e pari a D_I in tutto l'impianto.

Suggerimento: si consiglia di ragionare approfonditamente sulle modalità secondo cui viene condotta la prova a cavitazione, ponendo particolare attenzione sul come deve essere effettuata la regolazione di entrambe le valvole per garantire la corretta procedura di effettuazione della prova.

Sommario risposta corretta: 48, 20487, 6.5, 108.028

Esercizio 3

Un'azienda produttrice di pompe centrifughe viene contattata per la progettazione di una pompa da installare all'interno di un grande impianto di pompaggio, caratterizzato dai seguenti dati di progetto:

- Prevalenza totale da erogare $h_{TOT} = 900$ m
- Portata totale da elaborare $Q_{V,TOT} = 125600$ L/s

In fase progettuale, per ottenere rendimenti più elevati, i progettisti hanno convenuto di suddividere la portata totale su più pompe centrifughe multistadio operanti in parallelo, proponendo un layout d'impianto con le seguenti caratteristiche:

- Numero totale di pompe da installare: $N_P = 8$ pompe
- Numero di stadi per singola pompa: $N_{ST} = 4$ stadi

Si considerino inoltre le seguenti proprietà:

- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000$ kg/m³
- Densità dell'aria a 15°C: $\rho_{aria} = 1.225$ kg/m³
- Pressione atmosferica: $p_{atm} = 101325$ Pa
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Prima di procedere alla realizzazione effettiva del progetto, però, si vogliono condurre delle prove sperimentali su un modello in scala per verificare che le ipotesi avanzate in fase di progetto siano in linea con le prestazioni attese. Per farlo, si decide di realizzare e testare una pompa a singolo stadio, dimensionata secondo i criteri della similitudine meccanica, avendo a disposizione un circuito di prova il cui motore elettrico può erogare una potenza all'albero pari a $P' = 25$ kW ad un regime di rotazione pari a $n' = 1500$ giri/min. Determinare:

Il numero tipico di macchina K_{1ST} del singolo stadio della pompa originale, sapendo che per l'applicazione in esame è stato scelto un generatore sincrono con un numero di coppie polari pari a $p = 5$ e frequenza di rete $f = 50$ Hz - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Il rendimento totale del singolo stadio η_{TOT1ST} in [%], sapendo che per ognuna delle pompe multistadio installate la potenza totale all'albero prevista è pari a $P_{1P} = 153.6$ MW - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

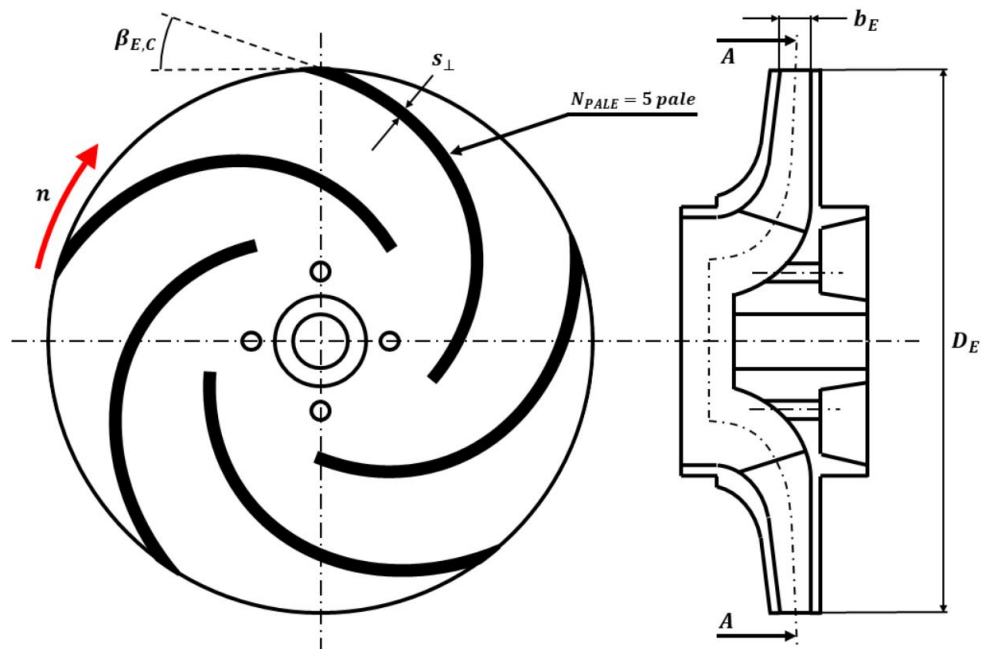
Il rapporto di scala $\frac{D}{D'}$ tra il diametro esterno della singola girante della pompa originale (D) e il diametro esterno della girante della pompa scalata (D'), nell'ipotesi che il rendimento totale della pompa scalata η'_{TOT} sia uguale a quello del singolo stadio della pompa multistadio originale (η_{TOT1ST}) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La prevalenza erogata dal modello di pompa in scala h' in [m] in ipotesi di perfetta similitudine tra macchina reale e macchina in scala - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

La portata elaborata dal modello di pompa in scala $Q'_{V'}$ in [L/s] in ipotesi di perfetta similitudine tra macchina reale e macchina in scala. - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 0.7731, 90.24, 7.52, 24.9, 92.4

Esercizio 4



La girante di una pompa centrifuga è caratterizzata dai seguenti parametri geometrici:

- Diametro esterno della girante: $D_E = 206 \text{ mm}$
- Larghezza del condotto interpalare all'uscita della girante: $b_E = 18 \text{ mm}$
- Spessore delle pale in vista circonferenziale: $s_{\perp} = 3 \text{ mm}$
- Numero di pale: $N_{PALE} = 5 \text{ pale}$
- Angolo costruttivo della pala all'uscita della girante: $\beta_{E,C} = 22^\circ$

Della macchina sono inoltre noti:

- Numero di pressione: $\psi = 0.4826$
- Numero di flusso: $\phi = 0.1126$
- Rendimento idraulico: $\eta_{ID} = 85.5 \%$
- Rendimento volumetrico: $\eta_V = 93.5 \%$
- Rendimento meccanico e per ventilazione: $\eta_{MV} = 97.5 \%$

La macchina è accoppiata con un motore elettrico che presenta le seguenti caratteristiche:

- Numero di coppie polari: $p = 1$
- Frequenza della rete di alimentazione: $f = 50 \text{ Hz}$
- Scorrimento: $s = 3.33 \%$

Assumendo

- l'accelerazione di gravità $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- la densità dell'acqua $\rho_A = 1000 \text{ kg/m}^3$

Determinare:

La prevalenza della pompa h_p espressa in metri [m] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

La portata elaborata dalla pompa Q_V espressa in [L/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

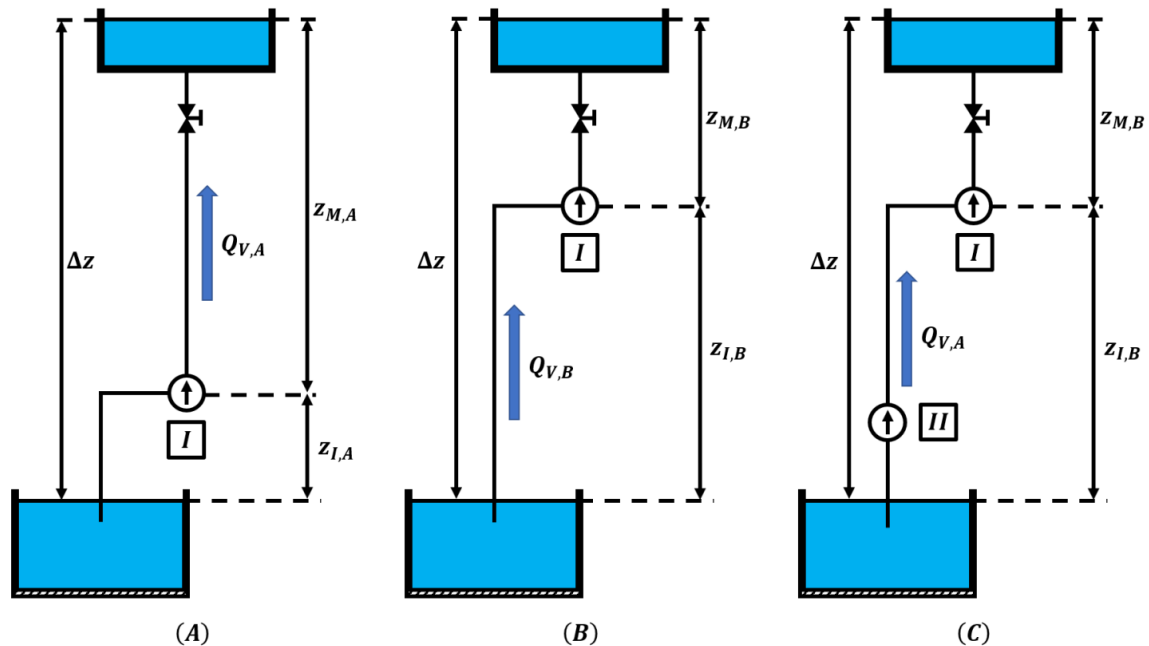
Il numero tipico di macchina K, nell'ipotesi che i valori di prevalenza e portata determinati ai punti precedenti coincidano con le condizioni di progetto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

La componente tangenziale della velocità assoluta in uscita dalla girante $c_{U,E}$ espressa in [m/s], nell'ipotesi di assenza di pre-rotazione della corrente in ingresso alla girante ($c_{U,IN} = 0$ m/s) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il rapporto $\frac{\Delta c_{U,E}}{u_E}$ tra lo scorrimento della corrente all'uscita della girante $\Delta c_{U,E}$ e la velocità periferica della girante u_E stessa - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 48.13, 36, 0.5689, 17.65, 0.1568

Esercizio 5



In un impianto di sollevamento i cui serbatoi di aspirazione e mandata sono entrambi atmosferici, con un dislivello tra i rispettivi peli liberi pari a $\Delta z = 80 \text{ m}$, si vuole installare una pompa centrifuga (I) caratterizzata dai seguenti dati di targa:

- Portata di progetto $Q_{V,A} = 20 \frac{\text{L}}{\text{s}}$
- Prevalenza $h_{P,I} = 88.5 \text{ m}$
- Regime di rotazione $n_I = 1450 \text{ giri/min}$
- Diametro del tubo di aspirazione e del tubo di mandata: $D_I = 100 \text{ mm}$

Vengono prese in considerazione diverse opzioni di layout di impianto, riportate in Figura come opzioni (A), (B) e (C), caratterizzate da un diverso posizionamento della pompa (I) rispetto al pelo libero del serbatoio di aspirazione e nell'ultimo caso dall'inserimento di una seconda pompa (II). Il comportamento a cavitazione della pompa (I), definito dal parametro $NPSH_{R,I}$ in funzione della portata elaborata dalla macchina è data dalla seguente equazione in cui la portata Q_V è espressa in $[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}]$:

$$NPSH_{R,I} = A \cdot Q_V^2 + B$$

con $A = 2400 \frac{\text{s}^2}{\text{m}^5}$ e $B = 1.75 \text{ m}$

Sapendo che:

- Pressione atmosferica: $p_{atm} = 101325 \text{ Pa}$
- Pressione di vapore: $p_v = 2400 \text{ Pa}$
- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Si determini:

Con riferimento al layout di Figura A, il valore di $NPSH_{R,I}^A$ della pompa (I), alla portata volumetrica di progetto d'impianto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

Con riferimento al layout di Figura A, la quota di installazione $z_{I,A}$ della pompa (I) per evitare l'insorgenza di cavitazione, nel caso in cui la portata elaborata dalla pompa sia pari a quella di progetto d'impianto. Si adotti un coefficiente di sicurezza pari a 2.0 m.

Per la stima delle perdite di carico lungo il tratto di aspirazione si considerino solamente perdite di tipo distribuito secondo la formula di Darcy-Weisbach:

$$h_{LOSS,I} = \lambda \cdot \frac{L_{I,EQ}}{D_H} \cdot \frac{c^2}{2g}$$

con un coefficiente di attrito $\lambda = 0.0025$ ed una lunghezza equivalente di condotta pari a $L_{I,EQ} = 30 \text{ m}$.

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

Con riferimento al layout di Figura B, la portata massima $Q_{V,B}$ (espressa in [L/s]) che potrebbe elaborare la pompa (I) senza insorgenza di cavitazione se fosse installata ad una quota $z_{I,B} = 6.0 \text{ m}$ dal pelo libero del serbatoio di aspirazione e considerando un margine di sicurezza pari a 2.0 m.

Per il calcolo di $NPSH_{R,I}$ in queste condizioni si utilizzi l'equazione fornita in precedenza. Si stimino le perdite di carico utilizzando le medesime caratteristiche riportate al punto precedente per il tratto di aspirazione.

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Con riferimento al layout di Figura C, la prevalenza $h_{P,II}$ che la pompa (II) dovrebbe garantire per far sì che la pompa (I), installata sempre ad una quota $z_{I,B} = 6.0 \text{ m}$ rispetto al pelo libero del serbatoio di aspirazione, non cavi elaborando la portata di progetto dell'impianto. Per il calcolo di $NPSH_{R,I}$ in queste condizioni si utilizzi l'equazione fornita in precedenza. Si adotti un margine di sicurezza pari a 2.0 m. Si stimino le perdite di carico utilizzando le medesime caratteristiche descritte ai punti precedenti.

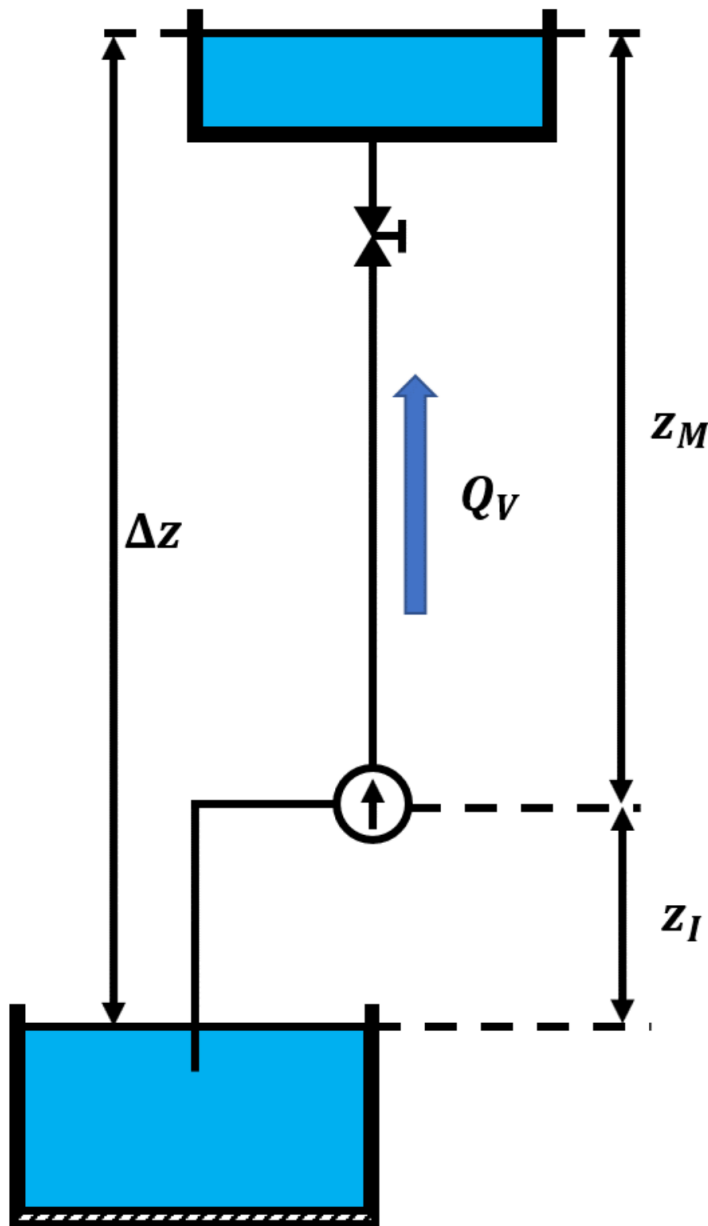
(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Con riferimento al layout di Figura C, il numero tipico di macchina K_{II} relativo alla pompa (II) nel caso in cui il suo regime di rotazione sia pari a $n_{II} = 1200 \text{ giri/min}$, verificando come la configurazione migliore per la scelta di tale macchina sia quella assiale.

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

Sommario risposta corretta: 2.71, 5.126, 10.52, 0.874, 3.55

Esercizio 6



Una pompa centrifuga, funzionante a $n = 2900$ giri/min e caratterizzata dalle seguenti curve di prevalenza h_P (espressa in metri [m]) e rendimento totale η_{TOT} (espresso in percentuale %) in funzione della portata (espressa in [L/s]):

$$h_P = A \cdot Q_V^2 + B$$

$$\text{con } A = -0.0075 \frac{\text{m} \cdot \text{s}^2}{\text{L}^2} \text{ e } B = 57 \text{ m}$$

$$\eta_{TOT}[\%] = C \cdot Q_V^2 + D \cdot Q_V$$

$$\text{con } C = -0.1144 \frac{\text{s}^2}{\text{L}^2} \text{ e } D = 5.9745 \frac{\text{s}}{\text{L}}$$

Viene installata nell'impianto di sollevamento riportato in figura. Esso presenta le seguenti caratteristiche:

- Quota di installazione dell'asse della macchina rispetto al pelo libero del bacino di aspirazione (atmosferico): $z_I = 1$ m sopra battente
- Quota del pelo libero del bacino di mandata (atmosferico) rispetto all'asse della macchina: $z_M = 14$ m

Le perdite di carico lungo l'impianto, per il grado di apertura impostato alla valvola a saracinesca posta a valle della pompa, risultano direttamente proporzionali al quadrato della portata Q_V (sempre espressa in [L/s]) con costante di proporzionalità pari a

$$K_{LOSS} = 0.05 \frac{m \cdot s^2}{L^2}.$$

Determinare:

La portata Q_V (espressa in [L/s]) che circola nell'impianto di sollevamento - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il numero tipico di macchina K che caratterizza la pompa, nell'ipotesi in cui il punto di lavoro della macchina risulti coincidere con quello di progetto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

La potenza all'albero P_{ALB} (espressa in [kW]) richiesta alla macchina per garantire il funzionamento nelle condizioni di progetto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il valore che dovrebbe assumere la costante di proporzionalità K'_{LOSS} per il calcolo delle perdite di carico nel caso in cui la portata cali del 30% rispetto a quella di progetto dell'impianto Q_V e si decida di effettuare la regolazione di portata tramite valvola a saracinesca, mantenendo la pompa in rotazione a n . - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Il regime di rotazione n'' a cui deve ruotare la pompa nel caso in cui si voglia elaborare una portata pari al 30% di quella di progetto dell'impianto Q_V , effettuando la regolazione tramite inverter. Si ricorda che in questo caso, la regolazione della portata avviene unicamente cambiando la velocità di rotazione della macchina mentre il grado di apertura della valvola a saracinesca rimane pari a quello delle condizioni di progetto dell'impianto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 0 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 27.03, 0.4683, 17.54, 0.1098, 2291

Esercizio 7

Una pompa centrifuga presenta le seguenti caratteristiche

- Portata nominale $Q_v = 50$ l/s
- Prevalenza nominale $h = 47$ m
- Regime di rotazione nominale $n = 3000$ rpm
- Diametro esterno della girante $D_2 = 202.5$ mm
- Larghezza della bocca d'uscita $b_2 = 20.0$ mm

Si determini il triangolo delle velocità all'uscita della girante in condizioni euleriane monodimensionali. Si consideri il moto ideale, trascurando perdite idrauliche, perdite di trafilamento e ostruzione palare. Si consideri infine moto assiale all'ingresso ($C_{u1}=0$).

Si ricordi che

- Densità dell'acqua $\rho = 998$ kg/m³
- Accelerazione di gravità $g = 9.81$ m/s²

Velocità periferica della girante all'uscita u_2 in m/s. Si ricordi che il separatore decimale è il punto (.)

Velocità assoluta della corrente all'uscita della girante c_2 in m/s. Si ricordi che il separatore decimale è il punto (.)

Velocità relativa della corrente all'uscita della girante w_2 in m/s. Si ricordi che il separatore decimale è il punto (.)

Angolo costruttivo della pala all'uscita $\beta_{2,costruttivo}$ in ° rispetto alla direzione tangenziale. Si ricordi che il separatore decimale è il punto (.)

Sommario risposta corretta: 31.8, 15, 17.7, 12.8

Esercizio 8

Il comportamento a cavitazione di una pompa centrifuga, fissato il regime di rotazione della macchina ($n=1450$ giri/min), è definito dalla seguente equazione di $NPSH_R$ in funzione della portata circolante nel circuito Q_V .

$$NPSH_R[m] = 2400\left[\frac{s^2}{m^5}\right] \cdot Q_V^2 + 1.75[m] \quad (\text{con } Q_V \text{ espressa in } [m^3/s])$$

Il circuito idraulico a monte della pompa presenta i seguenti dati caratteristici:

- Diametro del tubo di aspirazione: $D_{IN} = 100$ mm
- Lunghezza equivalente del tubo di aspirazione: $L_{EQ} = 10$ m (è una lunghezza maggiorata che consente di conteggiare anche le perdite idrauliche concentrate utilizzando la formulazione del calcolo delle perdite continue)
- Coefficiente di attrito della condotta: $\lambda = 0.00681$
- Pressione insistente sul pelo libero del bacino di aspirazione: $p_{ATM} = 101325$ Pa

Ipotizzando che tale impianto debba elaborare una portata pari a $Q_V = 33.33$ l/s e ricordando che:

- Pressione di vapore o tensione di vapore: $p_v = 2400$ Pa
- Densità dell'acqua: $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

La velocità C_1 (espressa in [m/s]) con cui l'acqua scorre all'interno della condotta di aspirazione. - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

Il valore di $NPSH_R$ (espresso in metri di colonna d'acqua [m]) corrispondente alla portata Q_V e al regime di rotazione n . - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

Il valore di $NPSH_D$ (espresso in metri di colonna d'acqua [m]) corrispondente alla portata Q_V e al regime di rotazione n nel caso in cui si preveda un margine di sicurezza x pari a 2.0 m. - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

La perdita di carico $h_{(L,IN)}$ (espressa in metri di colonna d'acqua [m]) corrispondente al tratto di condotta di aspirazione dell'impianto, ricordando che le perdite di pressione attraverso una condotta possono essere stimate mediante l'equazione di Darcy – Weisbach:

$$\Delta p_L = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho \cdot c^2}{2}$$

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

La quota limite di installazione (espressa in [m]) della macchina operante alla portata Q_V e alla velocità n , considerando sempre un margine di sicurezza x pari a 2.0 m e le perdite di carico $h_{(L,IN)}$ determinate al punto precedente. - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

Sommario risposta corretta: 4.24, 4.42, 6.42, 0.625, 3.04

Esercizio 9

Un'azienda produttrice di pompe centrifughe vuole ampliare la propria gamma di macchine partendo da un modello disponibile a catalogo e caratterizzato dai seguenti dati di targa.

- Portata di design: $Q'_V = 20$ l/s
- Prevalenza di design: $h' = 45$ m
- Regime di rotazione: $n' = 2900$ giri/min
- Rendimento idraulico: $\eta'_{IDR} = 84.22\%$
- Rendimento volumetrico: $\eta'_V = 94.67\%$
- Rendimento meccanico e di ventilazione: $\eta'_{MV} = 96.73\%$
- Diametro esterno della girante: $D'_2 = 195$ mm
- Larghezza della bocca d'uscita della girante: $b'_2 = 12$ mm
- Coefficiente di ostruzione palare nella sezione esterna della girante: $\xi_2 = 0.95$

L'obiettivo è realizzare una nuova macchina simile con le seguenti specifiche:

- Rendimento idraulico: $\eta''_{IDR} = 84.22\%$
- Rendimento volumetrico: $\eta''_V = 94.67\%$
- Rendimento meccanico e di ventilazione: $\eta''_{MV} = 96.73\%$
- Regime di rotazione: $n'' = 970$ giri/min
- Diametro esterno della girante: $D''_2 = 500$ mm

L'obiettivo è realizzare una nuova macchina simile con le seguenti specifiche:

- Densità dell'acqua: $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il valore del numero tipico di macchina k. - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

Il valore del numero di flusso ϕ . - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

Il valore da attribuire alla larghezza della bocca d'uscita della nuova girante b''_2 (espresso in [mm]). - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

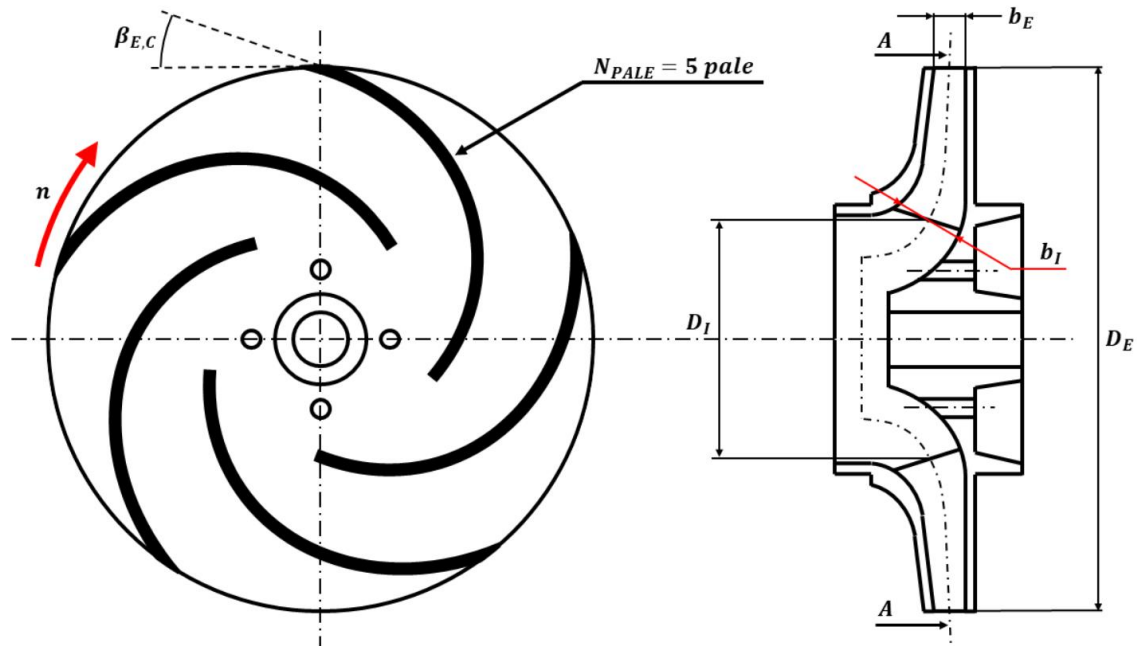
La portata elaborata dalla nuova macchina Q''_V (espressa in [m³/s]). - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

La prevalenza elaborata dalla nuova macchina h'' (espressa in [m]). - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

La potenza all'albero necessaria per movimentare la nuova macchina P'' (espressa in [kW]). - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

Sommario risposta corretta: 0.4459, 0.1022, 30.8, 0.1128, 33.1, 47.48

Esercizio 10



La girante di una pompa centrifuga è caratterizzata dai seguenti parametri geometrici:

- Diametro esterno della girante: $D_E = 206 \text{ mm}$
- Larghezza del condotto interpalare all'uscita della girante: $b_E = 18 \text{ mm}$
- Coefficiente di ostruzione palare in corrispondenza della sezione di scarico della girante: $\xi_E = 0.95$
- Diametro della linea media in corrispondenza del bordo d'ingresso della girante: $D_I = 90 \text{ mm}$
- Larghezza del condotto meridiano all'ingresso della girante: $b_I = 40 \text{ mm}$
- Coefficiente di ostruzione palare in corrispondenza della sezione d'ingresso della girante: $\xi_I = 0.80$
- Numero di pale: $N_{PALE} = 5 \text{ pale}$
- Angolo costruttivo della pala all'uscita della girante: $\beta_{E,C} = 22^\circ$

Della macchina si conoscono anche i seguenti dati operativi:

- Portata di progetto: $Q_V = 36 \text{ l/s}$
- Rendimento idraulico: $\eta_{ID} = 85.5 \%$
- Rendimento volumetrico: $\eta_V = 93.5 \%$
- Rendimento meccanico e per ventilazione: $\eta_{MV} = 97.5 \%$

Sono inoltre note le caratteristiche del motore elettrico asincrono con cui la macchina viene accoppiata:

- Numero di coppie polari: $m = 1$
- Frequenza della rete di alimentazione: $f = 50 \text{ Hz}$
- Scorrimento: $s = 3.333 \%$

Assumendo i seguenti valori per:

- accelerazione di gravità: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- densità dell'acqua: $\rho_A = 1000 \text{ kg/m}^3$

Determinare:

La velocità periferica all'uscita della girante U_E in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

La componente meridiana della velocità assoluta in uscita dalla girante $C_{m,E}$ in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La prevalenza (espressa in [m] di colonna d'acqua) erogata dalla pompa per le condizioni di portata e regime di rotazione indicate, in assenza di pre-rotazione della corrente assoluta in ingresso alla girante ($C_{U,IN} = 0$ m/s)

Per determinare il valore dello scorrimento della corrente relativa all'uscita della girante $U_{S,E}$ si utilizzi la correlazione di Wiesner, ovvero:

$$\frac{U_{S,E}}{U_E} = \frac{\sqrt{\sin \beta_{E,C}}}{N_{PALE}^{0.7}}$$

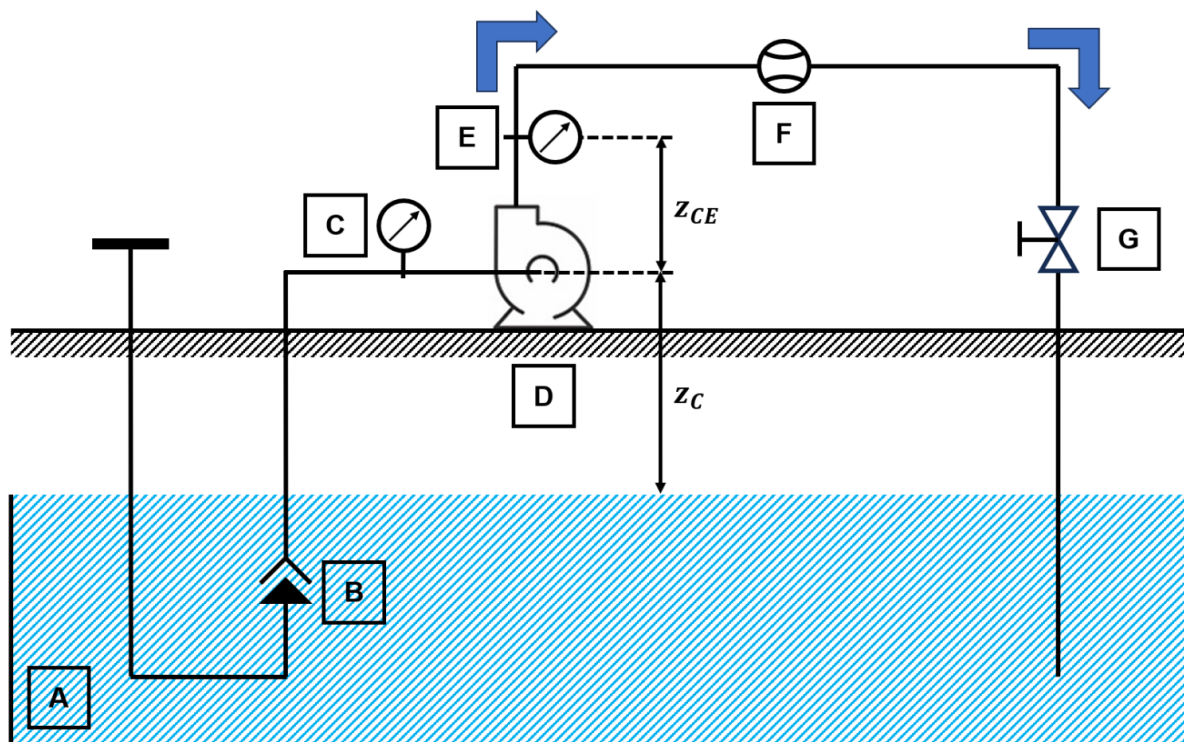
(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il valore della velocità relativa W_{IN} in ingresso alla girante (in [m/s]), nell'ipotesi in cui la pre-rotazione della corrente assoluta in ingresso alla macchina sia nulla ($C_{U,IN} = 0$ m/s) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

L'angolo costruttivo della pala in ingresso alla girante $\beta_{I,C}$ (in [°]) calcolato rispetto alla direzione tangenziale, sempre assumendo l'ipotesi di assenza di pre-rotazione della corrente assoluta in ingresso alla macchina ($C_{U,IN} = 0$ m/s) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 31.28, 3.479, 44.88, 14.31, 17.3

Esercizio 11



Un'azienda vuole determinare le curve caratteristiche di NPSH (secondo normativa) di una pompa centrifuga. L'azienda ha disposizione l'impianto di prova schematizzato in figura.

Le condizioni operative della prova sono:

- Regime di rotazione della pompa: $n = 2900$ rpm
- Portata elaborata dalla pompa: $Q_V = 30$ l/s
- Prevalenza erogata dalla pompa alla portata Q_V in assenza di fenomeni di cavitazione: $h = 81.35$ m

La condizione di cavitazione valutata secondo normativa (ovvero tramite il parametro $NPSH_R$ determinato in corrispondenza di un calo del 3% della prevalenza della macchina alla portata e al regime di rotazione di prova) viene raggiunta quando il trasduttore di pressione (C) rileva una pressione statica pari a $p_C = 35500$ Pa.

Sapendo che:

- Il diametro delle condotte in cui sono installati i trasduttori di pressione (C) ed (E) è pari a: $D_C = D_E = 100$ mm
- La quota a cui è installato il trasduttore di pressione (C) rispetto al pelo libero del bacino (A) è pari a: $z_C = 2$ m
- La quota a cui è installato il trasduttore di pressione (E) rispetto all'asse della macchina è pari a: $z_{CE} = 800$ mm

E assumendo:

- Pressione atmosferica: $p_{ATM} = 101325$ Pa
- Pressione di vapore o tensione di vapore: $p_v = 2400$ Pa
- Densità dell'acqua: $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il valore della velocità dell'acqua in ingresso alla pompa in [m/s] nelle condizioni di test - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Il valore di $NPSH_R$ secondo normativa (espresso in metri di colonna d'acqua [m]) ottenuto durante il test della macchina alla portata Q_V e al regime di rotazione n - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Il valore delle perdite di carico totali lungo l'intero tratto di condotta in ingresso alla pompa $h_{L,IN}$ (in [m] di colonna d'acqua) che garantiscono l'insorgenza di cavitazione secondo normativa - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

Il valore di pressione statica p_E (in [bar]) misurato dal trasduttore di pressione (E) in condizioni di cavitazione secondo normativa alla portata Q_V e al regime di rotazione n - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

La quota limite di installazione z'_{lim} (espressa in [m]) della pompa nel caso in cui la stessa macchina si trovi ad operare nelle medesime condizioni di portata (Q_V) e regime di rotazione (n) del test, assumendo però perdite di carico totali relative al tratto in ingresso della pompa pari a $h'_{L,IN} = 0.35$ m e un margine di sicurezza $x = 0.6$ m - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Sommario risposta corretta: 3.82, 4.118, 3.9663, 8.018, 5.016

Esercizio 12

Una pompa centrifuga presenta i seguenti dati di targa:

- Portata di design: $Q_V = 20.0$ l/s
- Prevalenza di design: $h = 45$ m
- Regime di rotazione: $n = 2900$ giri/min
- Diametro esterno della girante: $D_E = 195$ mm
- Larghezza della bocca d'uscita della girante: $b_E = 12$ mm
- Coefficiente di ostruzione palare in corrispondenza della sezione di uscita della girante: $\xi_E = 0.95$
- Numero di pressione: $\psi = 0.5035$
- Numero di flusso: $\phi = 0.1022$

Dal test di laboratorio, condotto alle condizioni nominali, sono state misurate e determinate le seguenti grandezze:

- Coppia all'albero: $M = 37.70$ Nm
- Componente tangenziale della velocità assoluta in uscita dalla girante $C_{U,E} = 17.70$ m/s
- Portata di trafilamento totale attraverso le tenute: $Q_{V,f} = 67.56$ l/min

Noto che:

- Densità dell'acqua: $\rho = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il valore del numero tipico di macchina K - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Il valore del rendimento volumetrico η_V (espresso in [%]) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il valore del rendimento idraulico η_{IDR} (espresso in [%]) in condizioni di progetto, nell'ipotesi di componente tangenziale della velocità assoluta in ingresso alla girante nulla ($C_{U,IN} = 0$ m/s) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il valore del rendimento totale η_{TOT} (espresso in [%]) in condizioni di progetto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il valore del rendimento meccanico e per ventilazione $\eta_{M,V}$ (espresso in [%]) in condizioni di progetto - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 0.4459, 94.67, 84.22, 77.12, 96.73

Esercizio 13

Una girante di una pompa centrifuga è caratterizzata dai seguenti parametri geometrici:

- Diametro esterno della girante: $D_E = 210$ mm
- Larghezza del condotto interpalare all'uscita della girante: $b_E = 30$ mm
- Diametro della linea media in corrispondenza del bordo d'ingresso della girante: $D_I = 90$ mm
- Larghezza del condotto meridiano all'ingresso della girante: $b_I = 40$ mm
- Angolo costruttivo della pala all'uscita della girante: $\beta_{E,C} = 21^\circ$

Della medesima girante si conoscono anche i seguenti dati di progetto:

- Portata volumetrica: $Q_V = 70.0$ l/s
- Velocità angolare di rotazione $\omega = 303.69$ rad/s
- Assenza di prerotazione della corrente assoluta in ingresso alla girante: $C_{U,IN} = 0$ m/s

Considerando i seguenti valori per:

- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²
- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000$ kg/m³

E assumendo l'ipotesi di girante operante in condizioni euleriane, determinare:

La velocità periferica all'ingresso della girante U_{IN} in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

La velocità relativa in uscita dalla girante W_E in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La componente tangenziale della velocità assoluta in uscita dalla girante $C_{U,E}$ in [m/s] - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

L'incremento di pressione statica $p_E - p_{IN}$ (espresso in [bar]) che la girante impartisce al fluido in condizioni euleriane ed ideali (*Suggerimento*: si ricorda che, in tali condizioni, vale il principio di conservazione dell'energia della corrente relativa) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

Il grado di reazione ϵ_R della macchina (*Suggerimento*: si ricorda che il grado di reazione, per una pompa, è definito come il rapporto tra l'incremento di energia statica operato dalla sola girante e l'incremento di energia totale impartito al fluido dall'intera macchina) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 13.67, 9.869, 22.67, 4.788, 0.6623

Esercizio 14

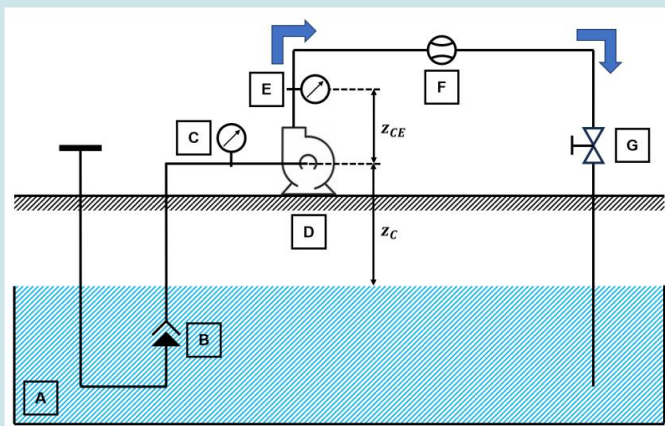


Figura A - Schema dell'impianto di collaudo a cavitazione

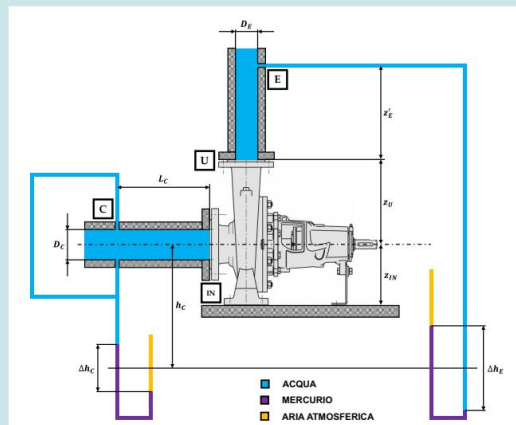


Figura B - Schema riportante le indicazioni riguardanti prese statiche e relative quote

In Figura A è riportata la rappresentazione schematica di un circuito utilizzato per il collaudo a cavitazione di una pompa centrifuga, mentre in Figura B è rappresentata la pompa centrifuga da collaudare con evidenziate le prese statiche di pressione collegate a manometri a mercurio e le loro relative quote.

Il punto di lavoro della macchina in esame è caratterizzato dai seguenti dati:

- Regime di rotazione della pompa: $n = 2900$ rpm
- Portata elaborata dalla pompa: $Q_V = 41.67$ l/s

La sezione di misurazione a monte della macchina (C) risulta essere definita dalle seguenti caratteristiche:

- Diametro del tubo d'ingresso della macchina: $D_C = D_{IN} = 125$ mm
- Distanza orizzontale tra la presa di pressione (C) e la flangia d'ingresso della pompa (IN): $L_C = 5 \cdot D_C$
- Quota d'installazione della sezione d'ingresso della macchina (IN) rispetto al pavimento (coincidente con quella dell'asse della pompa): $z_{IN} = 200$ mm
- Distanza tra l'asse della macchina e lo zero barometrico dei due manometri a mercurio: $h_C = 750$ mm

I rilievi ottenuti in corrispondenza della sezione di uscita della macchina, invece, sono risultati essere i seguenti:

- Diametro del tubo d'uscita della macchina: $D_E = D_U = 100$ mm
- Quota d'installazione della sezione di uscita della voluta (U) rispetto all'asse della macchina: $z_U = 280$ mm
- Quota d'installazione della presa di pressione (E) rispetto alla sezione di uscita della voluta (U): $z'_E = 5 \cdot D_E$

In condizioni di cavitazione secondo normativa (calo del 3% della prevalenza erogata in condizioni nominali di funzionamento alla portata e al regime di rotazione di prova), alla portata Q_V e al regime di rotazione n , si sono registrate le seguenti misurazioni:

- Dislivello tra i due menischi del manometro (C): $\Delta h_C = 425$ mm
- Pressione statica misurata dal manometro a mercurio in (E): $p_E = 5.24$ bar

A partire da questi dati e assumendo i seguenti valori per le costanti indicate di seguito:

- Pressione atmosferica: $p_{ATM} = 101325$ Pa
- Pressione di vapore o tensione di vapore: $p_v = 2400$ Pa
- Densità dell'acqua: $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³
- Densità del mercurio: $\rho_M = 13600$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il valore della velocità dell'acqua in uscita dalla pompa C_U in [m/s] nelle condizioni di test - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

La pressione statica misurata in condizioni di cavitazione all'ingresso della pompa p_{IN} (in [kPa]) dal manometro a mercurio installato in (C). Si trascurino le perdite di carico relative al tratto (C) - (IN) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

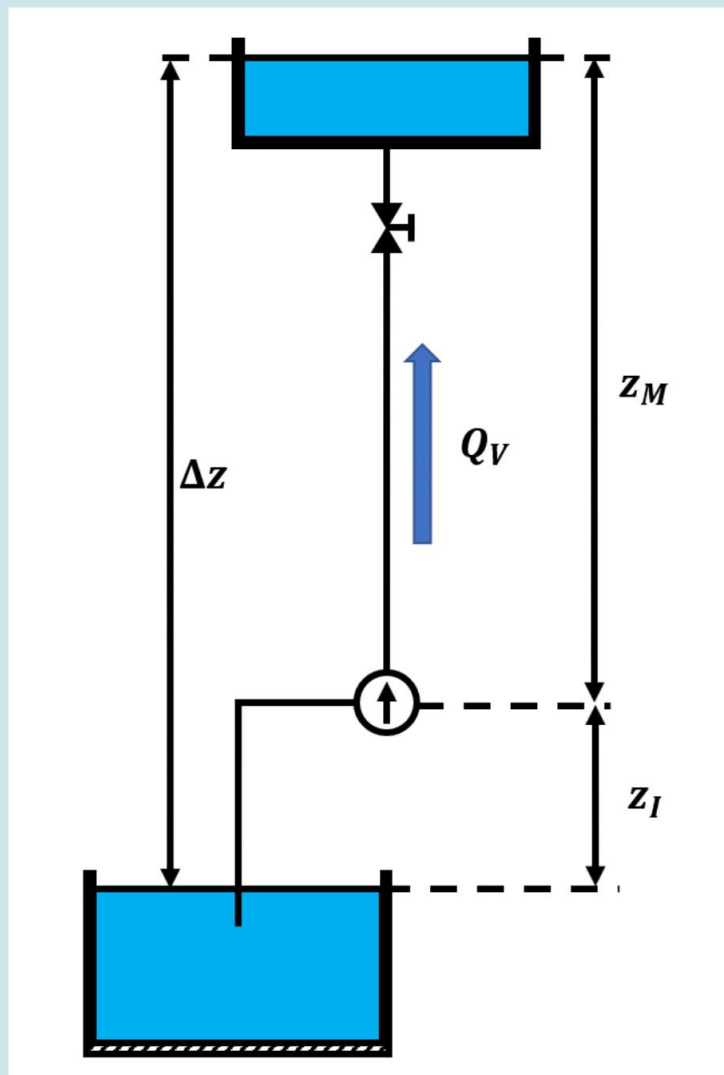
Il valore di $NPSH_R$ relativo al punto di lavoro in esame, espresso in [m] di colonna d'acqua - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

La prevalenza (in [m] di colonna d'acqua) che la pompa eroga in condizioni nominali, ossia in assenza di cavitazione. Si trascurino le perdite di carico relative al tratto (U) - (E) - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

La quota limite di installazione z_{lim} (espressa in [m]) a cui dovrebbe essere posizionato l'asse della pompa nel caso in cui la stessa macchina, operante nelle medesime condizioni di portata (Q_V) e regime di rotazione (n) del test, dovesse essere installata a valle del pozzetto caldo del condensatore di un impianto a ciclo Rankine. Si assuma una perdita di carico totale pari a $h_L = 1.25$ m e un margine di sicurezza $x = 0.25$ m - (Suggerimento: si ricorda che il pelo libero del pozzetto caldo del condensatore, da cui la pompa attinge, è in equilibrio termodinamico con il vapore) (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola. Si faccia anche attenzione ad indicare correttamente il segno, utilizzando il segno negativo "-" per indicare quote di installazione più basse del pelo libero del pozzetto caldo).

Sommario risposta corretta: 5.305, 39.35, 4.354, 52.61, -5.854

Esercizio 15



Una pompa centrifuga viene installata nell'impianto di sollevamento riportato in figura e opera in condizioni di progetto secondo i seguenti parametri operativi:

- Portata di progetto: $Q_V = 1800 \text{ l/min}$
- Regime di rotazione di progetto: $n = 1450 \text{ rpm}$
- Quota d'installazione dell'asse della macchina rispetto al pelo libero del bacino di aspirazione (atmosferico): $z_I = 2.2 \text{ m}$ sopra battente
- Quota del pelo libero del bacino di mandata (atmosferico) rispetto all'asse della macchina: $z_M = 12.8 \text{ m}$

La macchina, per il regime di rotazione n definito in precedenza, presenta la seguente curva di rendimento totale η_{TOT} (espresso in percentuale [%]) in funzione della portata volumetrica elaborata (**espressa in [l/s]**):

$$\eta_{TOT} [\%] = -A \cdot Q_V^2 + B \cdot Q_V$$

$$\text{con } A = 0.09044 \frac{\text{s}^2}{\text{L}^2} \text{ e } B = 5.4267 \frac{\text{s}}{\text{L}}$$

Per il calcolo delle perdite di carico distribuite (secondo Darcy - Weisbach) nel tratto di aspirazione dell'impianto si hanno a disposizione i seguenti dati:

- Lunghezza della condotta in aspirazione: $L_A = 5.0 \text{ m}$

- Diametro della condotta di aspirazione: $D_A = 90 \text{ mm}$
- Coefficiente di attrito della condotta di aspirazione: $f_A = 0.030$

Mentre per per il calcolo delle perdite di carico distribuite (sempre secondo Darcy - Weisbach) lungo il tratto di impianto a valle della pompa si hanno a disposizione i seguenti dati:

- Lunghezza della condotta in mandata: $L_B = 25.0 \text{ m}$
- Diametro della condotta di mandata: $D_B = 100 \text{ mm}$
- Coefficiente di attrito della condotta di mandata: $f_B = 0.025$

Assumendo:

- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Pressione atmosferica: $p_{ATM} = 101325 \text{ Pa}$

E trascurando la perdite di carico concentrate lungo l'intero impianto, determinare:

La prevalenza h (espressa in [m] di colonna d'acqua) erogata dalla pompa - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il numero tipico di macchina K che caratterizza la pompa - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

La coppia all'albero M_{ALB} (espressa in [Nm]) richiesta alla macchina per garantire il funzionamento nelle condizioni di portata Q_V e regime di rotazione n indicate - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il numero di pressione teorico ψ_t nell'ipotesi in cui la girante installata sia caratterizzata da un diametro esterno pari a $D_E = 250 \text{ mm}$ e da un rendimento idraulico pari a $\eta_{IDR} = 88.0 \%$ - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Mantenendo la stessa caratteristica resistente, il regime di rotazione della macchina viene abbassato ad un valore pari a $n' = 950 \text{ rpm}$ con conseguente riduzione della portata Q'_V ad un valore pari al 50% di quella di progetto Q_V . Si determini il rendimento totale η'_{TOT} (espresso in [%]) della pompa in queste nuove condizioni di funzionamento - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 21.54, 0.4746, 51.28, 0.6664, 76.83

Esercizio 16

Il progettista di una pompa centrifuga deve eseguire una stima preliminare del comportamento a cavitazione di una macchina caratterizzata dai seguenti dati di progetto:

- Regime di rotazione della pompa: $n = 2900$ rpm
- Portata elaborata dalla pompa in condizioni nominali: $Q_V = 20.0$ l/s
- Prevalenza erogata dalla pompa in condizioni nominali: $h = 20.0$ m

Un parametro utile per la stima di tali prestazioni risulta solitamente essere il numero di Thoma σ_C , la cui formulazione è riportata di seguito:

$$\sigma_C = \frac{NPSH_R}{h}$$

Tale parametro può essere determinato, in fase di progettazione, facendo ricorso a correlazioni empiriche come quella riportata di seguito e valida per le pompe centrifughe:

$$\sigma_C = 0.25 \cdot K^{1.4}$$

Dove K rappresenta il numero tipico di macchina della pompa.

Assumendo i seguenti valori per le costanti indicate di seguito:

- Pressione atmosferica: $p_{ATM} = 101325$ Pa
- Pressione di vapore o tensione di vapore: $p_v = 2400$ Pa
- Densità dell'acqua: $\rho_{H_2O} = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il numero di Thoma σ_C nelle condizioni di progetto della macchina - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola).

La stima di $NPSH_R$ (in [m]) della pompa relativa alle condizioni di progetto della macchina - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Il valore di pressione all'ingresso della pompa p_{IN} (in [kPa]) associato all'insorgenza di cavitazione secondo normativa nelle condizioni di progetto. Si consideri una condotta di ingresso di diametro pari a $D_{IN} = 70$ mm (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Nell'ipotesi in cui la macchina venga inserita in un impianto di sollevamento, il valore di $NPSH_D$ (in [m]) dell'impianto nelle condizioni di progetto nel caso in cui venga considerato un margine di sicurezza pari a $x = 0.5$ m - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola).

Sempre con riferimento all'impianto del punto precedente e a condizioni operative di progetto della pompa, la quota limite $z_{i,lim}$ (in [m]) a cui può essere installata la pompa. Si consideri per l'impianto che:

- Il bacino di aspirazione sia atmosferico
- Le perdite di carico totali relative al tratto tra il serbatoio di aspirazione e l'ingresso della macchina siano pari a $h_{L,i} = 1.0$ m
- Il margine di sicurezza sia pari a quello definito al punto (c)

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola).

Sommario risposta corretta: 0.1891, 3.782, 26, 4.282, 4.802

Esercizio 17

Un'azienda produttrice di pompe centrifughe possiede a catalogo una macchina (denominata "A") con le seguenti caratteristiche:

- Portata di progetto della macchina A: $Q_{V,A} = 40.0$ l/s
- Prevalenza di progetto della macchina A: $h_A = 25.0$ m
- Regime di rotazione della macchina A: $n_A = 1450$ rpm
- Rendimento totale della macchina A in condizioni nominali: $\eta_A = 83.0\%$
- Spinta assiale agente sulla girante della macchina A in condizioni nominali: $F_{AX,A} = 4.5$ kN

A partire da questa macchina, l'azienda vuole costruire altre 5 macchine "B", "C", "D", "E" ed "F" sfruttando la teoria della similitudine meccanica. Assumendo:

- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000$ kg/m³
- Accelerazione di gravità: $g = 9.81$ m/s²

Si determini:

Il regime di rotazione n_B (in [rpm]) a cui dovrebbe ruotare la macchina "B" nel caso in cui:

- La macchina "B" sia meccanicamente simile alla macchina "A"
- La macchina "B" sia dotata di una girante con diametro pari a quello della macchina "A" ($D_B = D_A$)
- La macchina "B" elabori una portata d'acqua pari a $Q_{V,B} = 1800$ l/min

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

La prevalenza h_C (in [m]) erogata in condizioni di progetto dalla macchina "C" nel caso in cui:

- La macchina "C" sia meccanicamente simile alla macchina "A"
- La macchina "C" elabori una portata d'acqua pari a $Q_{V,C} = 27000$ l/h
- La macchina "C" sia caratterizzata da un regime di rotazione pari a $n_C = 2900$ rpm

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 2 cifre significative dopo la virgola)

Il rapporto di scala $\frac{D_D}{D_A}$ tra il diametro della girante della macchina "D" e il diametro della girante della macchina "A" nel caso in cui:

- La macchina "D" sia meccanicamente simile alla macchina "A"
- La macchina "D" eroghi una prevalenza $h_D = 60$ m
- La macchina "D" funzioni ad un regime di rotazione pari a $n_D = 1000$ rpm

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

La coppia M_E in [Nm] da applicare all'albero della macchina "E" nel caso in cui:

- La macchina "E" sia meccanicamente simile alla macchina "A"
- La girante della macchina "E" sia caratterizzata da un rapporto di scala rispetto alla macchina "A" pari a $\frac{D_E}{D_A} = 3.0$
- Le due macchine abbiano gli stessi rendimenti totali ($\eta_E = \eta_A$)
- La macchina "E" operi ad un regime di rotazione $n_E = 800$ rpm

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

La spinta assiale $F_{AX,F}$ in [kN] che dovrebbero sostenere i cuscinetti della macchina "F" nel caso in cui:

- La macchina "F" sia meccanicamente simile alla macchina "A"

- La macchina "F" eroghi una prevalenza pari a quella della macchina "A" ($h_F = h_A$)
 - Il diametro della girante della macchina "F" D_F sia il 25% più grande rispetto al diametro della girante installata sulla macchina "A"
- (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 3 cifre significative dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 1087.5, 20.64, 2.246, 5757.6, 7.031

Esercizio 18

Il progettista di una pompa centrifuga deve determinare le dimensioni principali di una macchina caratterizzata dai seguenti dati di progetto:

- Portata elaborata dalla pompa in condizioni nominali: $Q_V = 15 \text{ l/s}$
- Prevalenza erogata dalla pompa in condizioni nominali: $h = 60 \text{ m}$

La macchina elettrica, invece, presenta i seguenti parametri di targa:

- Numero di coppie polari: $m = 1$
- Frequenza di rete: $f = 50 \text{ Hz}$
- Scorrimento: $s = 3.333 \%$

Considerando poi i seguenti valori per le costanti:

- Accelerazione di gravità: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Densità dell'acqua: $\rho_A = 1000 \text{ kg/m}^3$

Determinare:

Il numero tipico di macchina K - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 4 cifre significative dopo la virgola)

Il diametro esterno della girante D_E (in [mm]) sapendo che, per il valore di numero tipico di macchina K determinato al punto (a), i diagrammi statistici forniscono i seguenti valori per i parametri riportati di seguito:

- Numero di pressione: $\psi = 0.5309$
- Numero di flusso: $\phi = 0.0894$
- Rendimento idraulico atteso: $\eta_{IDR} = 74.56\%$
- Rendimento volumetrico atteso: $\eta_V = 93.42\%$
- Rendimento meccanico e di ventilazione atteso: $\eta_{M,V} = 95.17\%$

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

La larghezza della bocca di uscita della girante b_E (in [mm]), assumendo un coefficiente di ostruzione palare in corrispondenza della sezione di scarico della girante pari a $\xi_E = 0.95$ - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

La coppia all'albero M_{ALB} (in [Nm]) in condizioni nominali - (Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

L'angolo costruttivo della pala in corrispondenza della sezione di scarico della girante $\beta_{E,C}$ (in [°]), ipotizzando che:

- La corrente in entrata alla girante sia priva di pre-rotazione ($C_{U,IN} = 0 \text{ m/s}$)
- Lo scorrimento della corrente relativa all'uscita dalla girante sia trascurabile ($U_{S,E} = 0 \text{ m/s}$)

(Si utilizzi il punto "." come separatore decimale e si esprima il risultato utilizzando 1 cifra significativa dopo la virgola)

Sommario risposta corretta: 0.3112, 219.3, 8.2, 43.9, 17.3