

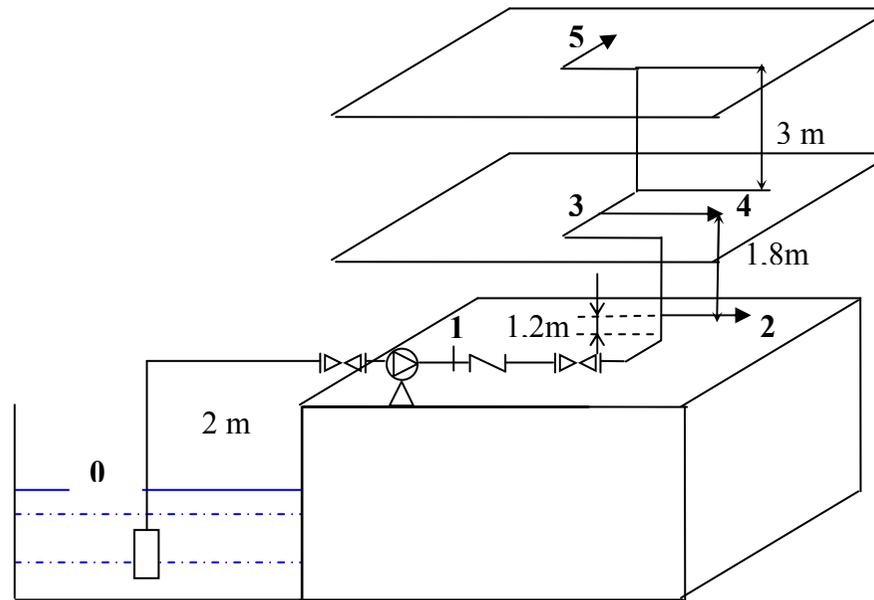
ESERCITAZIONE RETI IDRAULICHE

- Una azienda ha un fabbisogno di acqua per uso tecnologico pari a $300 \text{ m}^3/\text{h}$ medi.
A tale scopo, a seguito di indagini geologiche decide di ottenere tale portata dal prelievo in falda freatica scavando due pozzi ed inserendo delle canne cilindriche con elettropompe ad immersione, fino ad una profondità $H = 100 \text{ m}$ a partire dalla superficie impermeabile (livello statico); avendo valutato un coefficiente di permeabilità $k = 0,0002 \text{ m/s}$ si rappresenti lo schema del pozzo con l'indicazione delle grandezze fondamentali; si definisca il diametro di ciascun pozzo per ottenere la portata complessiva richiesta, nonché la distanza R al di sopra della quale distanziare le due perforazioni.
- In riferimento alla quantità di acqua prelevata giornalmente e al profilo di prelievo riportato nella seguente tabella:

ore	Volume erogati m^3
0-4	400
4-8	400
8-12	1700
12-16	1796
16-20	1900
20-24	800

- Si chiede di rappresentare l'andamento dei prelievi giornalieri (con istogramma), l'andamento della linea di compenso (andamento cumulato del valore medio della portata prelevata), l'andamento dei prelievi cumulati e di calcolare il volume minimo del serbatoio di accumulo.
- In riferimento allo schema sotto riportato relativo ad una rete di distribuzione acqua, effettuarne il dimensionamento, comprensivo della scelta della pompa centrifuga da installare, della verifica dell'NPSH richiesto e del calcolo della potenza assorbita (rendimento=0,53)

Per la scelta della pompa ed il calcolo delle perdite di carico si faccia riferimento agli allegati.



$$Q_2 = 5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_4 = 10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_5 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_0 = 0,0 \text{ bar} \quad L_{01} = 5 \text{ m} \quad Z_{01} = 2,0 \text{ m}$$

$$p_2 = 2,0 \text{ bar} \quad L_{12} = 20 \text{ m} \quad Z_{12} = 1,2 \text{ m}$$

$$p_4 = 2,0 \text{ bar} \quad L_{23} = 30 \text{ m} \quad Z_{23} = 1,8 \text{ m}$$

$$p_5 = 1,5 \text{ bar} \quad L_{34} = 5 \text{ m} \quad Z_{34} = 0,0 \text{ m}$$

$$L_{35} = 45 \text{ m} \quad Z_{35} = 3 \text{ m}$$

FORMULE UTILIZZATE PER LA SOLUZIONE

Portata di un pozzo freatico:

$$Q = \frac{\pi k s (2H - s)}{\ln(R/r)} \quad (1)$$

Q = portata del pozzo [m³/s]

k = coef di permeabilità del terreno [m/s]

s = abbassamento della falda [m]

H = altezza della falda freatica [m]

R = distanza alla quale la falda non risente del prelievo [m]

r = raggio del pozzo [m]

Portata di una condotta:

$$Q = wS \quad (2)$$

Q = portata [m³/s]

w = velocità del fluido nel condotto [m/s]

S = sezione del condotto [m²]

NPSH per una pompa centrifuga:

$$NPSH = \frac{p_1 - t_v}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g}$$
$$p_1 = \rho \left(\frac{p_0}{\rho} - \frac{w_1^2 - w_0^2}{2} - gH - R_{0-1} \right) \quad (3)$$

p₁ = pressione assoluta alla bocca di aspirazione della pompa [Pa]

p₀ = pressione assoluta nella sezione iniziale del circuito idraulico [Pa]

t_v = tensione di vapore del fluido [Pa]

w₁ = velocità del fluido alla bocca di aspirazione della pompa [m/s]

w₀ = velocità del fluido nella sezione iniziale del circuito idraulico [m/s]

H = dislivello tra presa del circuito e bocca di aspirazione della pompa [m]

ρ = densità del fluido [kg/m³]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

R = perdite del tratto 0-1 [J/kg]

ESERCITAZIONE IMPIANTI IDRAULICI

Equazione di Bernoulli (sono disponibili 3 scritture diverse ma del tutto equivalenti):

(Identifico con 1 la sezione iniziale e con 2 la sezione finale)

$$\frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho} + g(z_2 - z_1) + L_{1-2} = -R_{1-2} \quad [\text{J/kg}] = [\text{m}^2/\text{s}^2] \quad (4')$$

dividendo la (4') per g ottengo:

$$(Z_{tot,2} - Z_{tot,1}) + \Delta Z_{L,1-2} = -\Delta Z_{R,1-2} \quad [\text{m di colonna fluida}] \quad (4'')$$

moltiplicando la (4') per ρ ottengo:

$$\frac{\rho}{2}(w_2^2 - w_1^2) + (p_2 - p_1) + \rho g(z_2 - z_1) + \Delta p_{L,1-2} = -\Delta p_{R,1-2} \quad [\text{Pa}] \quad (4''')$$

p = pressione [Pa]

w = velocità del fluido [m/s]

Z = altezza della sezione [m]

ρ = densità del fluido [kg/m³]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

R = perdite del tratto 1-2 [J/kg]

L = lavoro specifico scambiato nel tratto 1-2 [J/kg]

(secondo la convenzione il lavoro L fatto da una pompa sul fluido del circuito è negativo, poiché fornito al sistema)

Perdite di carico R :

$$R_{tot} = J(l + l_{eq}) \quad (5)$$

J = cadente, perdite per unità di lunghezza comunemente espresse in [mm di colonna fluida/m] o in [Pa/m]

l = lunghezza del circuito [m]

l_{eq} = lunghezza equivalente dovute alle perdite concentrate [m]

Potenza assorbita dalla pompa:

$$P = \frac{gH\rho Q}{\eta_p} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

η_p = rendimento della pompa

gH = prevalenza della pompa [J/kg] = [m²/s²]

PROCEDIMENTO RISOLUTIVO DELL'ESERCITAZIONE

1) Distanza dei pozzi di approvvigionamento. Supponendo di realizzare due pozzi freatici uguali, la portata richiesta ad ognuno dei due pozzi è pari a $150 = [m^3/h]$

Utilizzando la formula (1) valida per i pozzi freatici

$$Q = \frac{\pi k s (2H - s)}{\ln(R/r)} \tag{1}$$

Dove:

Q = portata del pozzo $[m^3/s] = 150 \text{ m}^3/h$ dato del problema;

k = coef di permeabilità del terreno $[m/s] = 0,0002 \text{ m/s}$ dato del problema;

s = abbassamento della falda $[m] = 2,5 \text{ m}$ ricavato in base alla portata dal diagramma allegato;

H = altezza della falda freatica $[m] = 100 \text{ m}$ dato del problema;

Impongo un r = raggio del pozzo $[m] = 0,075 \text{ m}$. Dalla formula (1) si ricava:

R = distanza alla quale la falda non risente del prelievo $[m] = 128,38 \text{ m}$

La distanza minima a cui posso realizzare i due pozzi sarà pertanto di 2R, cioè circa 257 m.

2) Dimensionamento del serbatoio di accumulo.

Partendo dalla tabella fornita dal testo del problema relativa ai consumi idrici delle utenze durante le 24 h costruisco il grafico richiesto. Per prima cosa noto che la tabella si riferisce ai volumi d'acqua erogati alle utenze nel periodo indicato dalla prima colonna. Completo la tabella fornita aggiungendo una colonna relativa ai volumi erogati alle utenze cumulativi ed una ulteriore colonna indicante le portate richieste dalle utenze in ogni periodo.

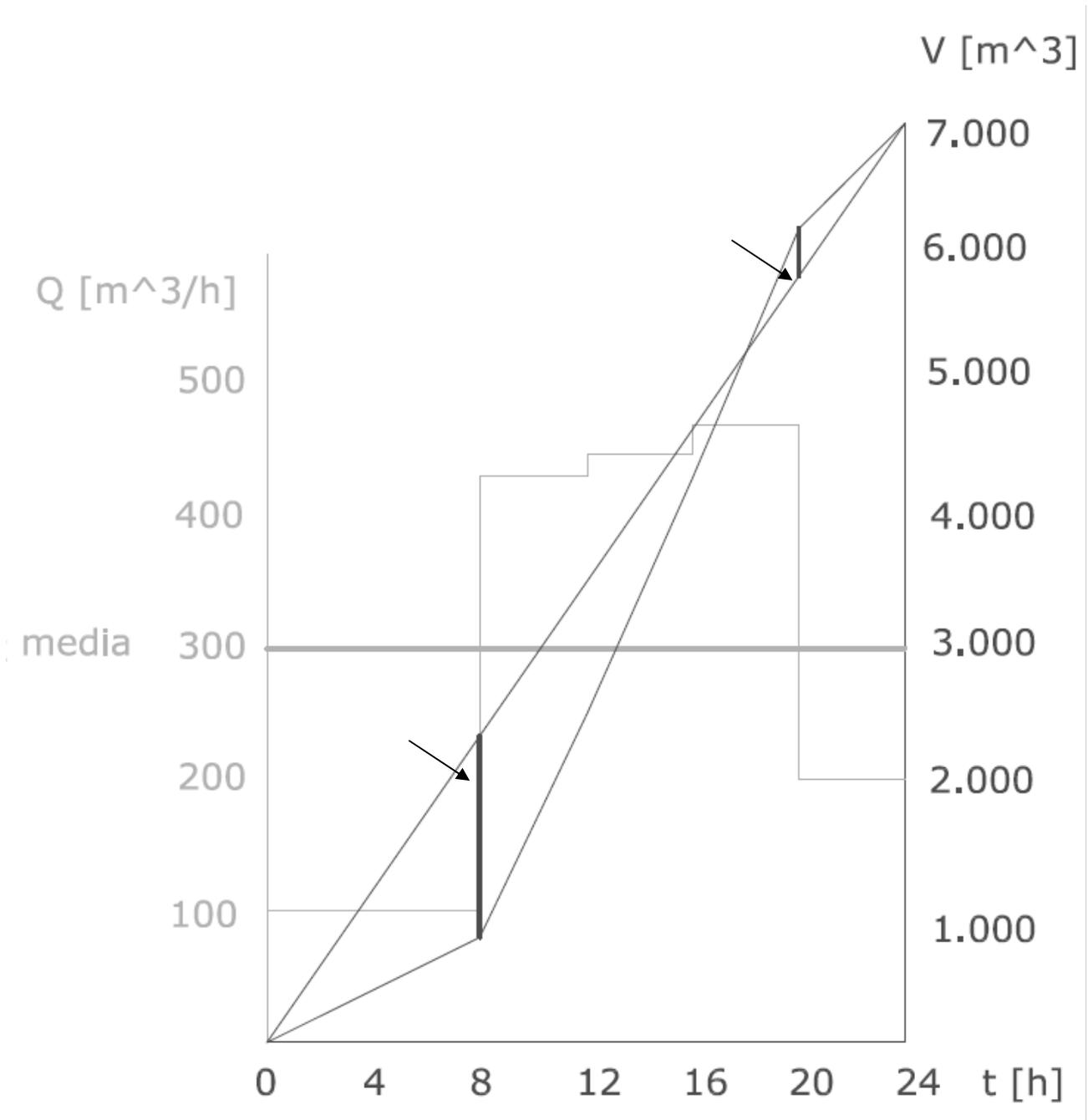
ore	Volume erogati alle utenze m^3	Volumi erogati alle utenze cumulativi m^3	Portate richiesta dalle utenze m^3/h
0-4	400	400	100
4-8	400	800	100
8-12	1700	2500	425
12-16	1796	4296	449
16-20	1900	6196	475
20-24	800	6996	200

Il volume totale di acqua da erogare alle utenze durante le 24 h risulta essere pari a 6996 m^3 .

Pertanto la portata media da assicurare sarà pari a $6996/24$.

Q media = $291,5 \text{ m}^3/h$.

Posso ora disegnare il grafico come segue.



L'istogramma (linea più sottile) rappresenta le portate richieste dalle utenze in ogni periodo, la linea orizzontale rappresenta la portata media da assicurare lungo le 24 ore; entrambe fanno riferimento alla scala di sinistra.

La spezzata (linea più spessa) rappresenta i volumi cumulati da erogare alle utenze (non è altro che l'integrale dell'istogramma prima citato), la linea obliqua rappresenta i volumi assicurati dalla portata media (ed è quindi l'integrale della Q media) ; entrambe fanno riferimento alla scala di destra.

Quando l'istogramma stà sotto alla linea orizzontale il serbatoio che dobbiamo dimensionare immagazzina acqua poiché la Q richiesta dalle utenze è inferiore alla Q media assicurata dall'approvvigionamento. Tale acqua immagazzinata verrà erogata quando l'istogramma stà sopra alla linea orizzontale, cioè quanto la portata richiesta dalle utenze è maggiore della portata assicurata dall'approvvigionamento.

Il volume minimo del serbatoio di accumulo si calcola riferendosi alle curve cumulative dei volumi erogati (spezzata e linea obliqua) e sarà pari alla somma del valore assoluto del massimo scostamento negativo con il massimo scostamento positivo tra le due curve. Nel nostro caso i 2 segmenti che rappresentano tali scostamenti sono quelli evidenziati dalle 2 frecce.

ESERCITAZIONE IMPIANTI IDRAULICI

La differenza tra volumi richiesti dalle utenze e volumi assicurati dall'approvvigionamento sono:

$$\begin{aligned} \text{per } t = 8 \text{ h} & \quad 800 - 291,5 \times 8 = 800 - 2332 = -1532 \text{ m}^3 \text{ (massimo scostamento negativo)} \\ \text{per } t = 20 \text{ h} & \quad 6196 - 291,5 \times 20 = 6196 - 5830 = + 366 \text{ m}^3 \text{ (massimo scostamento positivo)} \end{aligned}$$

Dalla somma del modulo dei due scostamenti ottengo un volume minimo del serbatoio pari a 1902 m^3
E' bene prevedere sempre una maggiorazione del 5-10% del volume del serbatoio per far fronte ad eventuali variazioni delle condizioni di progetto, pertanto il Volume del serbatoio sar  di almeno 2000 m^3

3) Dimensionamento della rete rappresentata in figura.

Per dimensionamento si intende la definizione dei diametri delle condotte dell'impianto rappresentato e la scelta della pompa da inserire.

Per prima cosa si deve individuare il ramo sfavorito del circuito, bench  non vi siano regole per l'identificazione dello stesso, di norma si prende il ramo pi  lungo, con la portata maggiore o con le pressione richiesta all'utenza maggiore e si effettua un primo tentativo di dimensionamento del circuito.

Scelgo come ramo sfavorito il tratto 0 – 4 :

- la portata nel tratto 0–1 sar  $Q_2 + Q_4 + Q_5 = Q_{tot} = 19 \text{ m}^3/\text{h}$
 - o impongo una velocit  del fluido nella condotta $w = 2 \text{ m/s}$
 - o mediante la formula (2) $Q = wS$ ricordando che la sezione di una condotta circolare   pari a $S = \pi \frac{d^2}{4}$ e che si devono utilizzare le unit  di misura del S.I calcolo il diametro interno di primo tentativo $d = 0,058 \text{ m}$.
 - o utilizzando l'abaco delle perdite distribuite riportato in allegato cerco il diametro unificato per il tipo di condotte scelto uguale o maggiore del diametro calcolato. Dall'abaco scelgo un $D = 0,065 \text{ m}$
 - o calcolo la w del fluido $w = 1,59 \text{ m/s}$ e verifico che sia effettivamente inferiore a 2 m/s
 - o sempre utilizzando il medesimo abaco avendo come dati in ingresso una portata $Q = 19 \text{ m}^3/\text{h}$ ed un $D = 0,065 \text{ m}$ trovo una cadente $J = 36 \text{ mm di acqua / m}$
 - o utilizzando l'abaco in allegato relativo alle perdite concentrate trovo che per una saracinesca aperta la lunghezza equivalente   pari a $0,425 \text{ m}$ di condotta e che per una curva larga a 90°   pari a $1,5 \text{ m}$ (ipotizzo di poter trascurare le perdite di carico al filtro di captazione)
 - o dai dati del problema la lunghezza del tratto 0 – 1   pari a 5 m
 - o utilizzando la formula (5) $R_{tot} = J(l + l_{eq})$ trovo una perdita di carico totale pari a $0,252 \text{ m}$ di colonna d'acqua.
- la portata nel tratto 1-2   sempre pari a $Q_{tot} = 19 \text{ m}^3/\text{h}$, pertanto posso mantenere lo stesso diametro scelto nel tratto precedente $D = 0,065 \text{ m}$
 - o sempre utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 19 \text{ m}^3/\text{h}$ ed un $D = 0,065 \text{ m}$ trovo una cadente $J = 36 \text{ mm di acqua / m}$
 - o utilizzando l'abaco in allegato relativo alle perdite concentrate trovo che per una saracinesca aperta la lunghezza equivalente   pari a $0,425 \text{ m}$ di condotta e che per ognuna delle 2 curve larghe a 90°   pari a $1,5 \text{ m}$ e che per una valvola di ritegno   pari a 5 m
 - o dai dati del problema la lunghezza del tratto 1 – 2   pari a 20 m
 - o utilizzando la formula (5) $R_{tot} = J(l + l_{eq})$ trovo una perdita di carico totale pari a $1,0233 \text{ m}$ di colonna d'acqua.
- la portata nel tratto 2-3   uguale a $Q_4 + Q_5 = 14 \text{ m}^3/\text{h}$, in seguito allo stacco dell'utenza 2.
 - o Procedo con un dimensionamento a $J = \text{costante}$, cio  impongo che anche nel tratto 2-3 sia $J = 36 \text{ mm di acqua / m}$
 - o sempre utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ ed una cadente $J = 36 \text{ mm di acqua / m}$ trovo un punto di intersezione che cade tra il diametro nominale pari a $0,050 \text{ m}$ e $0,065 \text{ m}$
 - o scelgo il diametro unificato maggiore $D = 0,065 \text{ m}$

ESERCITAZIONE IMPIANTI IDRAULICI

- sempre utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 14 \text{ m}^3/\text{h}$ ed un $D = 0,065 \text{ m}$ trovo una cadente $J = 21 \text{ mm}$ di acqua / m
 - utilizzando l'abaco in allegato relativo alle perdite concentrate trovo che per un raccordo a "T" attraversato la lunghezza equivalente è pari a $4,5 \times 0,7 = 3,15 \text{ m}$ di condotta e che per ognuna delle 2 curve larghe a 90° è pari a $1,5 \text{ m}$.
 - dai dati del problema la lunghezza del tratto 2-3 è pari a 30 m
 - utilizzando la formula (5) $R_{tot} = J(l + l_{eq})$ trovo una perdita di carico totale pari a $0,7592 \text{ m}$ di colonna d'acqua
 - calcolo anche la velocità dell'acqua $w = 1,17 \text{ m/s}$
- la portata nel tratto 3-4 è uguale a $Q_4 = 10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Procedo con un dimensionamento a $J = \text{costante}$, cioè impongo che anche nel tratto 3-4 sia $J = 21 \text{ mm}$ di acqua / m
 - sempre utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ed una cadente $J = 21 \text{ mm}$ di acqua / m trovo un punto di intersezione che cade tra il diametro nominale pari a $0,050 \text{ m}$ e $0,065 \text{ m}$
 - scelgo il diametro unificato maggiore $D = 0,065 \text{ m}$
 - sempre utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ ed un $D = 0,065 \text{ m}$ trovo una cadente $J = 11 \text{ mm}$ di acqua / m
 - utilizzando l'abaco in allegato relativo alle perdite concentrate trovo che per un raccordo a "T" la lunghezza equivalente è pari a $4,5 \text{ m}$ di condotta
 - dai dati del problema la lunghezza del tratto 3-4 è pari a 5 m
 - utilizzando la formula (5) $R_{tot} = J(l + l_{eq})$ trovo una perdita di carico totale pari a $0,1045 \text{ m}$ di colonna d'acqua
 - calcolo anche la velocità dell'acqua $w = 0,8378 \text{ m/s}$
- avendo concluso il dimensionamento del ramo principale cerco la prevalenza necessaria che dovrà essere assicurata dalla pompa centrifuga inserita nella sezione 1.
- Utilizzo la formula (4) $\frac{1}{2}(w_2^2 - w_1^2) + \frac{(p_2 - p_1)}{\rho} + g(z_2 - z_1) + L_{1-2} = -R_{1-2}$ andando a dividere tutto per g in modo da avere la prevalenza in metri di colonna di fluido.
 - $\Delta H_p = \frac{1}{2g}(w_4^2 - w_0^2) + \frac{(p_4 - p_0)}{\rho g} + (z_4 - z_0) + R_{0-4}$ dove le perdite di carico R sono pari alla somma delle perdite di carico calcolate su ogni tratto del ramo 0-4
 - Sostituendo

$$\Delta H_p = \frac{1}{2g}(0,8378^2 - 0^2) + \frac{(2 - 0) \times 10^5}{1000 \times g} + (3 + 2) + (0,2520 + 1,0233 + 0,7592 + 0,1045)$$
 Ottengo che è necessaria una prevalenza pari a $27,215 \text{ m}$ di colonna d'acqua.
- Calcolo quindi gli stacchi secondari (se durante questo calcolo trovo che non ho sufficiente prevalenza per alimentare le utenze secondarie significa che il ramo preso come ramo sfavorito non era quello più sfavorito, dovrò quindi ripetere la procedura scegliendo un ramo sfavorito diverso)
- Calcolo per prima l'utenza 5 essendo più critica dell'utenza 2
 - Calcolo la prevalenza disponibile al nodo 3, da dove si dirama lo stacco secondario che alimenta l'utenza 5: $\Delta H_{Disp_in_3} = \Delta H_p - \frac{1}{2g}(w_3^2 - w_0^2) - (z_3 - z_0) - R_{0-3}$ sostituendo

$$\Delta H_{Disp_in_3} = 27,215 - \frac{1}{2g}(1,17^2 - 0^2) - (3 + 2) - (0,252 + 1,0233 + 0,75195)$$
 trovo che in 3 ho una prevalenza disponibile pari a $20,11 \text{ m}$
 - Sottraggo dalla prevalenza disponibile calcolata il dislivello da 3 a 5 e la pressione da avere all'utenza 5 in modo da trovare la prevalenza che devo dissipare lungo il tratto 3-5:

$$\Delta H_{Disp_in_3} - \frac{p_5}{\rho g} - (z_5 - z_3) = \Delta H_{da_dissipare}$$
 sostituendo $20,11 - \frac{1,5 \times 10^5}{1000g} - 3 = 1,8 \text{ m}$ di

ESERCITAZIONE IMPIANTI IDRAULICI

- colonna d'acqua. (Se avessi trovato un valore negativo significa che il ramo sfavorito era quello 0-5 e dovevo rifare della rete dall'inizio).
- Pongo quindi che lungo il tratto 3-5 le perdite concentrate siano pari al 90% di quelle distribuite, pertanto utilizzo la formula $R_{tot} = J(1 + \alpha_{eq})$ ponendo $\alpha = 0,9$. [La prassi prevede che il primo tentativo venga effettuato ponendo un $\alpha = 0,1$ per poi aumentarlo progressivamente, in questo caso è stato fornito subito il valore corretto.]
 - La lunghezza 3-5 è data dal problema uguale a 45 m sostituendo i valori nell'equazione $1,8 = J \times 45 \times (1 + 0,9)$
 - Trovo che mi serve una cadente $J = 19,78$ mm di acqua / m
 - utilizzando l'abaco delle perdite distribuite avendo come dati in ingresso una portata $Q = 4$ m³/h ed una cadente $J = 19,78$ mm di acqua / m trovo che mi serve un $D = 0,040$ m (è un processo iterativo, pongo un valore di α e vedo quale valore di diametro trovo, finché non ho come risultato uno dei diametri unificati)
 - calcolo per verifica la velocità in 5: $w = 0,8833$ m/s che deve comunque essere al massimo di 2 – 2,5 m/s.
- Avendo verificato che la scelta del ramo sfavorito è corretta vado a scegliere la pompa da inserire nel circuito dai grafici delle curve caratteristiche in allegato.
- Scelgo la pompa 32-200/30 che fornisce alla portata di $Q = 19$ m³/h una prevalenza $H = 31$ m di colonna d'acqua, superiore a quella richiesta di 27,215 m.
 - Dovrò pertanto prevedere una perdita concentrata (valvola di regolazione) da porre immediatamente a valle della pompa in grado di dissipare 3,785 m di colonna d'acqua. In questo modo mantengo una riserva di prevalenza da usare nel caso in cui le condizioni di reale funzionamento siano peggiori di quelle di progetto.
 - Verifico se l'NPSH della pompa scelta è compatibile con il circuito:
 - Utilizzo le formule (3):
- $$NPSH = \frac{p_1 - t_v}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g}$$
- $$p_1 = \rho \left(\frac{p_0}{\rho} - \frac{w_1^2 - w_0^2}{2} - gH - gR_{0-1} \right)$$
- p_1 = pressione assoluta alla bocca di aspirazione della pompa [Pa]
 p_0 = pressione assoluta nella sezione iniziale del circuito idraulico [Pa] = 100.000 Pa
 t_v = tensione di vapore del fluido [Pa] = 0,03169 x 100.000 Pa (per l'acqua a 25°C)
 w_1 = velocità del fluido alla bocca di aspirazione della pompa [m/s] = 1,59 m/s
 w_0 = velocità del fluido nella sezione iniziale del circuito idraulico [m/s] = 0 m/s
 H = dislivello tra presa del circuito e bocca di aspirazione della pompa [m] = 2 m
 ρ = densità del fluido [kg/m³] = 1.000 kg/m³
 g = accelerazione di gravità [m/s] = 9,81 m/s
 R = perdite del tratto 0-1 [m di colonna fluida] = 0,252 m di colonna d'acqua
- Sostituendo trovo $p_1 = 76646$ [Pa] e un NPSH(limite) = 7,62 m e verifico dal diagramma in allegato che l'NPSH della pompa scelta è inferiore.
- Calcolo anche la potenza assorbita dalla pompa con la formula:
- $$P = \frac{gH\rho Q}{\eta_p}$$
- Sostituendo trovo una potenza di 3.000 W che corrisponde a quanto riportato nei diagrammi relativi alla pompa in allegato.
- Per dimensionare lo stacco dell'utenza 2 si procede in modo del tutto analogo a quanto visto per lo stacco dell'utenza 5.

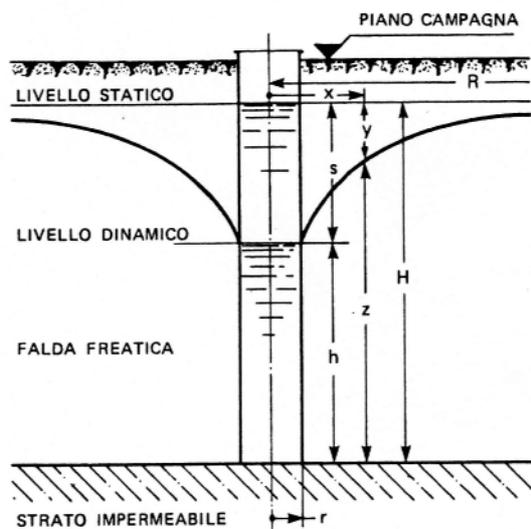


Fig. 34.13 – Captazione di acqua da una falda freatica.

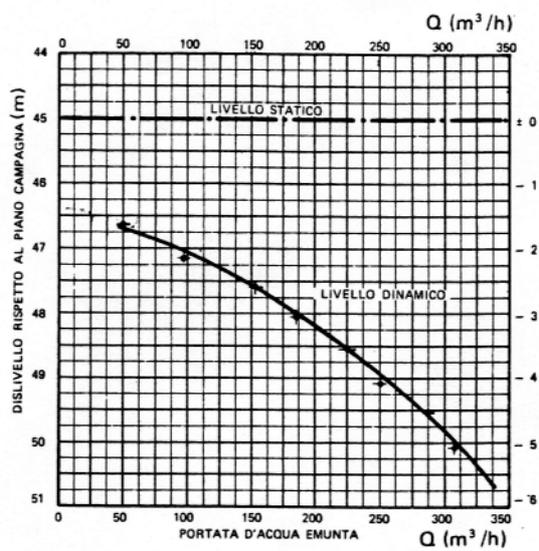


Fig. 34.12 – Diagramma portate-abbassamenti dinamici un pozzo.

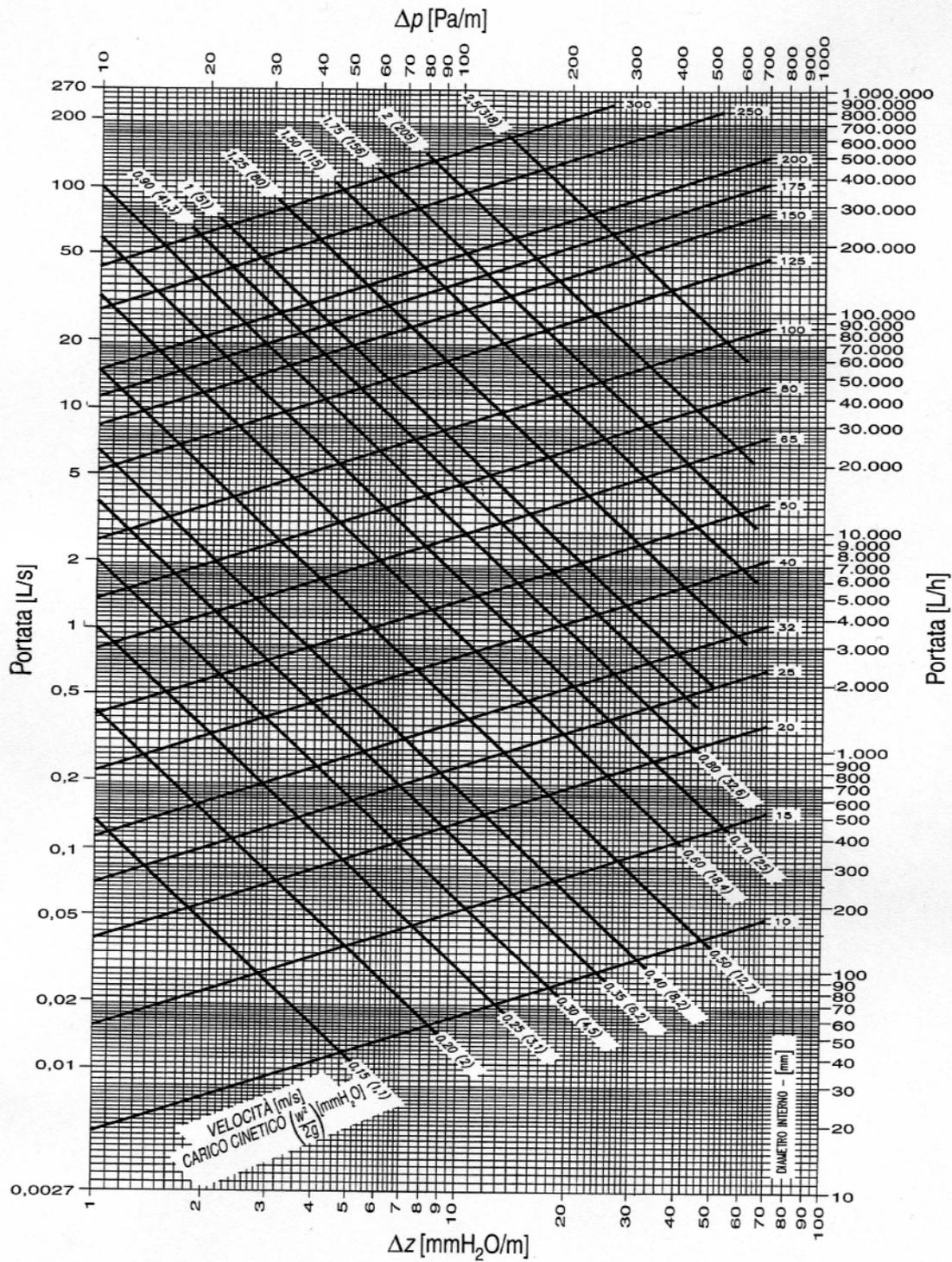


Figura 20 - Diagramma generale portate/perdite di carico acqua