

An abstract graphic consisting of a large red sphere resting on a dark blue, three-dimensional geometric base that resembles a stylized cube or pyramid. The base is composed of several flat, triangular and quadrilateral faces in shades of blue and dark blue.

# Corso di Idraulica

Prof. A. Balzano

ESERCITAZIONE 7

PROGETTO E VERIFICA DI UN  
IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO



# Impianto di sollevamento

Il serbatoio di compenso giornaliero di un abitato costiero deve essere alimentato mediante un impianto di pompaggio. L'analisi preliminare dello stato dei luoghi, della condotta di adduzione esterna preesistente e della posizione del serbatoio di compenso, ha determinato la collocazione della stazione di pompaggio alla distanza di 200 m dal serbatoio. In relazione alla variabilità annuale e mensile dei consumi idropotabili della popolazione residente e alla distribuzione dei fabbisogni per usi turistici nella stagione estiva, sono stati determinati una portata media annua  $Q_{med} = 70 \text{ l/s}$  e una portata media giornaliera del giorno di massimo consumo  $Q_{max} = 130 \text{ l/s}$ , entrambe ipotizzate costanti lungo il periodo di vita utile dell'opera.

Si richiede di dimensionare l'impianto di pompaggio limitatamente alle condotte di aspirazione e di mandata, da realizzarsi con tubazioni di acciaio senza saldatura, e alla scelta della pompa (elettropompa). Più specificamente, si richiede di:

- 1) Determinare il diametro nominale DN delle condotte di aspirazione e di mandata;
- 2) Individuare il modello dell'unica elettropompa che si assume di destinare al servizio ordinario, all'interno di un catalogo di una ditta produttrice;
- 3) Eseguire la verifica della condotta nelle condizioni di funzionamento più gravose (tubi vecchi, portata massima)
- 4) Eseguire la verifica alle depressioni massime nella condotta di aspirazione e nella pompa;
- 5) Determinare la portata che la pompa solleverebbe a tubi nuovi e il carico  $\Delta H_L$  che dovrebbe essere assorbito da una valvola riduttrice di pressione affinché la portata resti uguale al valore di progetto.

Dati:

– $L_1 = 2 \text{ m}$ ;	– $\omega_0 = 10 \text{ €/anno m}$ ;
– $L_2 = 200 \text{ m}$ ;	– $\omega = 3000 \text{ €/anno m}^{2,48}$ ;
– $Q_{med} = 70 \text{ l/s}$ ;	– $\varepsilon = 1,48$ ;
– $Q_{max} = 130 \text{ l/s}$ ;	– $r = 0,15$ ;
– $h_A = 15,0 \text{ m}$ ;	– $H_{gb} = 1,0 \text{ m}$ ;
– $h_B = 71,0 \text{ m}$ ;	– $T = 10^\circ\text{C}$
– $k_{s_v} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (tubi vecchi);	– $\eta = 0,8$ ;
– $k_{s_n} = 100 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (tubi nuovi);	– $C_c = 0,61$ (imbocco);
– $\gamma = 9806 \text{ N m}^{-3}$ ;	– $C_{kWh} = 0,15 \text{ €/kWh}$



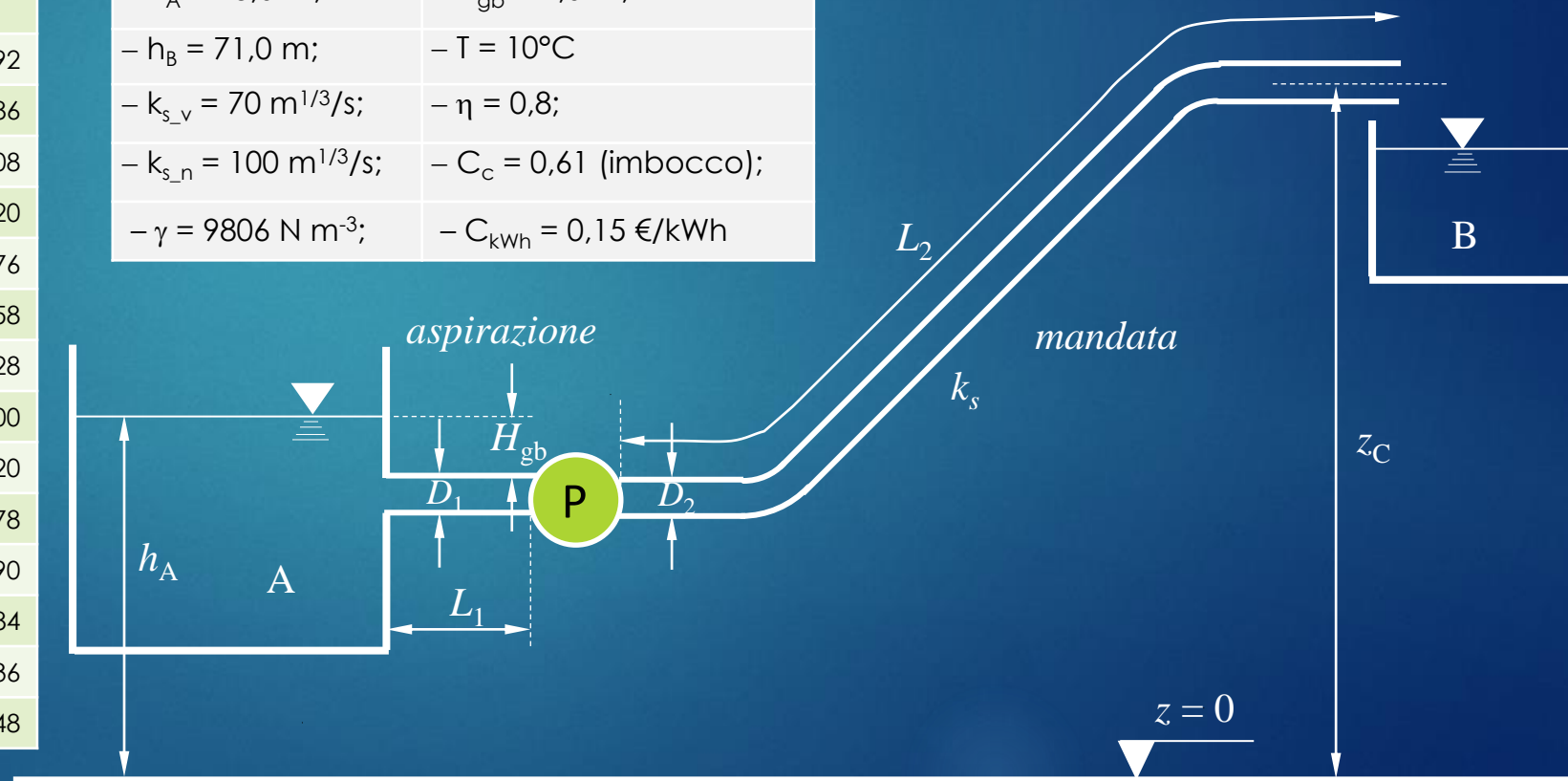
# Impianto di sollevamento

Dati:

– $L_1 = 2 \text{ m};$	– $\omega_0 = 10 \text{ €/anno m};$
– $L_2 = 200 \text{ m};$	– $\omega = 3000 \text{ €/anno m}^{2.48};$
– $Q_{\text{med}} = 70 \text{ l/s};$	– $\varepsilon = 1.48;$
– $Q_{\text{max}} = 130 \text{ l/s};$	– $r = 0,15;$
– $h_A = 15,0 \text{ m};$	– $H_{\text{gb}} = 1,0 \text{ m};$
– $h_B = 71,0 \text{ m};$	– $T = 10^\circ\text{C}$
– $k_{s_v} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s};$	– $\eta = 0,8;$
– $k_{s_n} = 100 \text{ m}^{1/3}/\text{s};$	– $C_c = 0,61 \text{ (imbocco)};$
– $\gamma = 9806 \text{ N m}^{-3};$	– $C_{\text{kWh}} = 0,15 \text{ €/kWh}$

Tubazioni in acciaio senza saldatura

DN	$\varnothing_{\text{est}}$	$\varnothing_{\text{int}}$	spessore	Prezzo tubo	Costo in opera	Costo in opera
mm	mm	mm	mm	€/m	€/m	€
40	48.3	43.1	2.6	15.5	39.96	7 992
50	60.3	54.5	2.9	16.8	48.43	9 686
65	76.1	70.3	2.9	21.3	69.04	13 808
80	88.9	82.5	3.2	24.6	84.60	16 920
100	114.3	106.3	4.0	31.7	115.38	23 076
125	139.7	130.7	4.5	42.0	166.79	33 358
150	168.3	159.3	4.5	54.5	211.64	42 328
200	219.1	207.9	5.6	87.5	309.00	61 800
250	273.0	260.4	6.3	154.1	422.10	84 420
300	323.9	309.7	7.1	233.9	523.89	104 778
350	355.6	341.4	7.1	247.8	600.45	120 090
400	406.4	390.4	8.0	284.1	686.92	137 384
450	457.2	441.2	8.0	334.0	764.68	152 936
500	508.0	490.4	8.8	405.7	842.74	168 548



# Analisi idraulica dell'impianto - 1

## ► Equazione caratteristica della condotta

$$H_A - H_C = 0,5 \frac{U_1^2}{2g} + \frac{U_1^2}{\chi_1^2 \mathfrak{R}_1} L_1 + \xi_1 \frac{U_1^2}{2g} - \Delta H + \xi_2 \frac{U_2^2}{2g} + \frac{U_2^2}{\chi_2^2 \mathfrak{R}_2} L_2$$

– Formula di Chezy

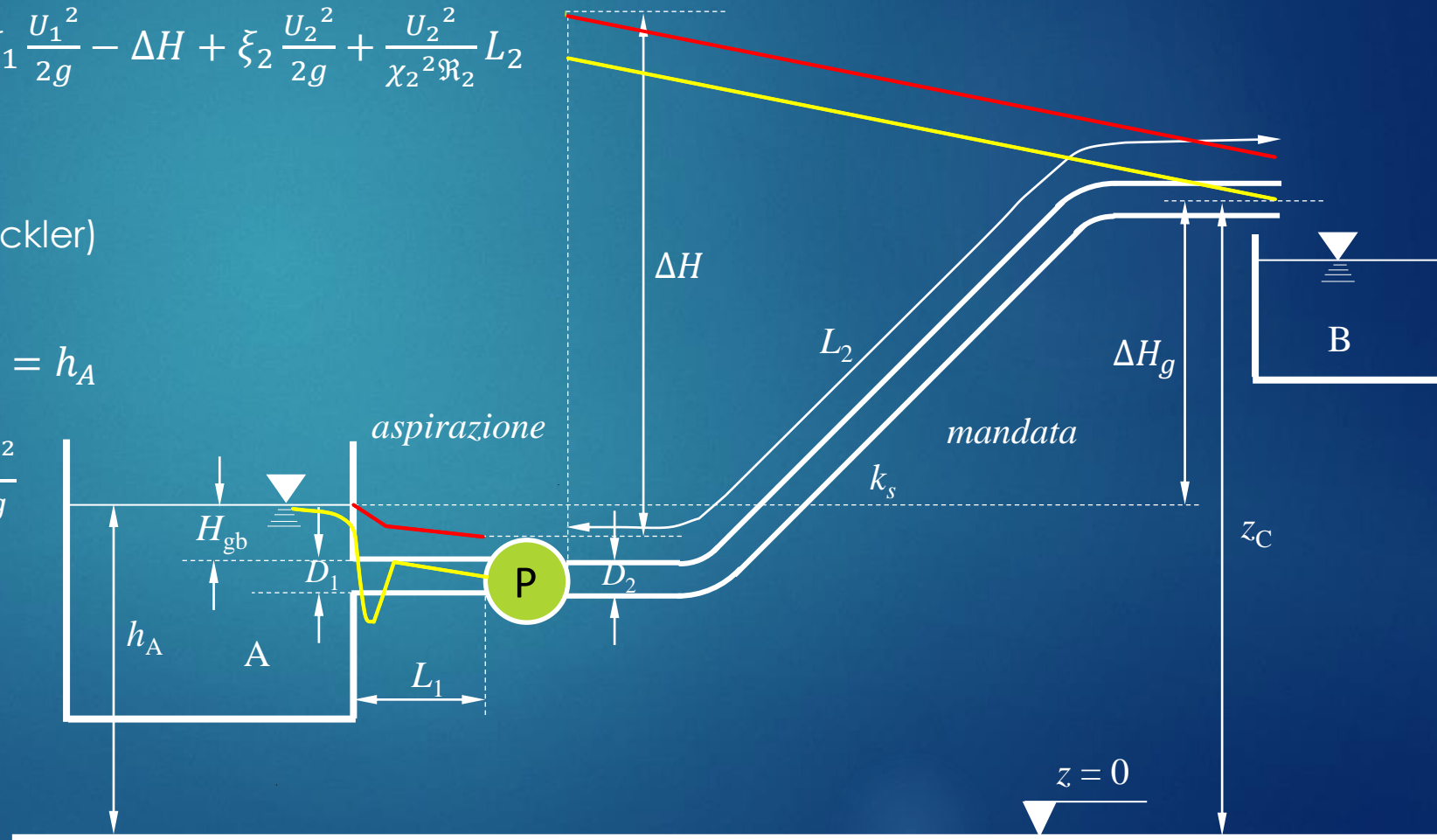
$$j = \frac{U^2}{\chi^2 \mathfrak{R}} \quad ; \quad \chi = k_s \mathfrak{R}^{1/6} \quad (\text{Strickler})$$

$$H_A = z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{U_A^2}{2g} \cong z_A + \frac{p_A}{\gamma} = h_A$$

$$H_C = z_C + \frac{p_C}{\gamma} + \frac{U_C^2}{2g} = z_C + \frac{U_C^2}{2g}$$

– Sostituendo  $U_i = \frac{Q}{\Omega_i}$

$$\begin{aligned} \Delta H &= z_C - h_A + KQ^2 \\ &= \Delta H_g + KQ^2 \end{aligned}$$







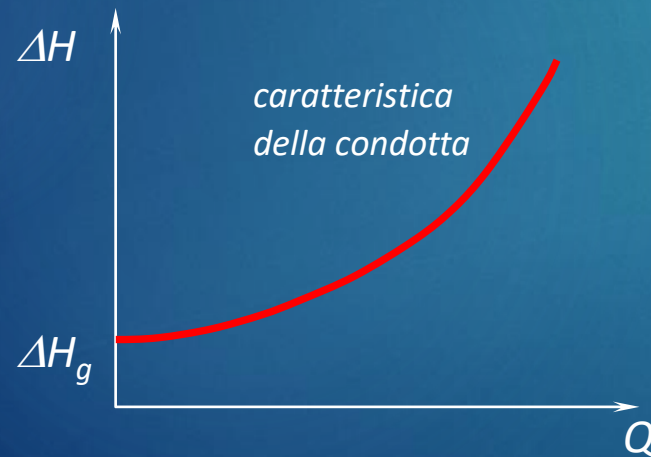
# Analisi idraulica dell'impianto - 2

## ► Equazione caratteristica della condotta

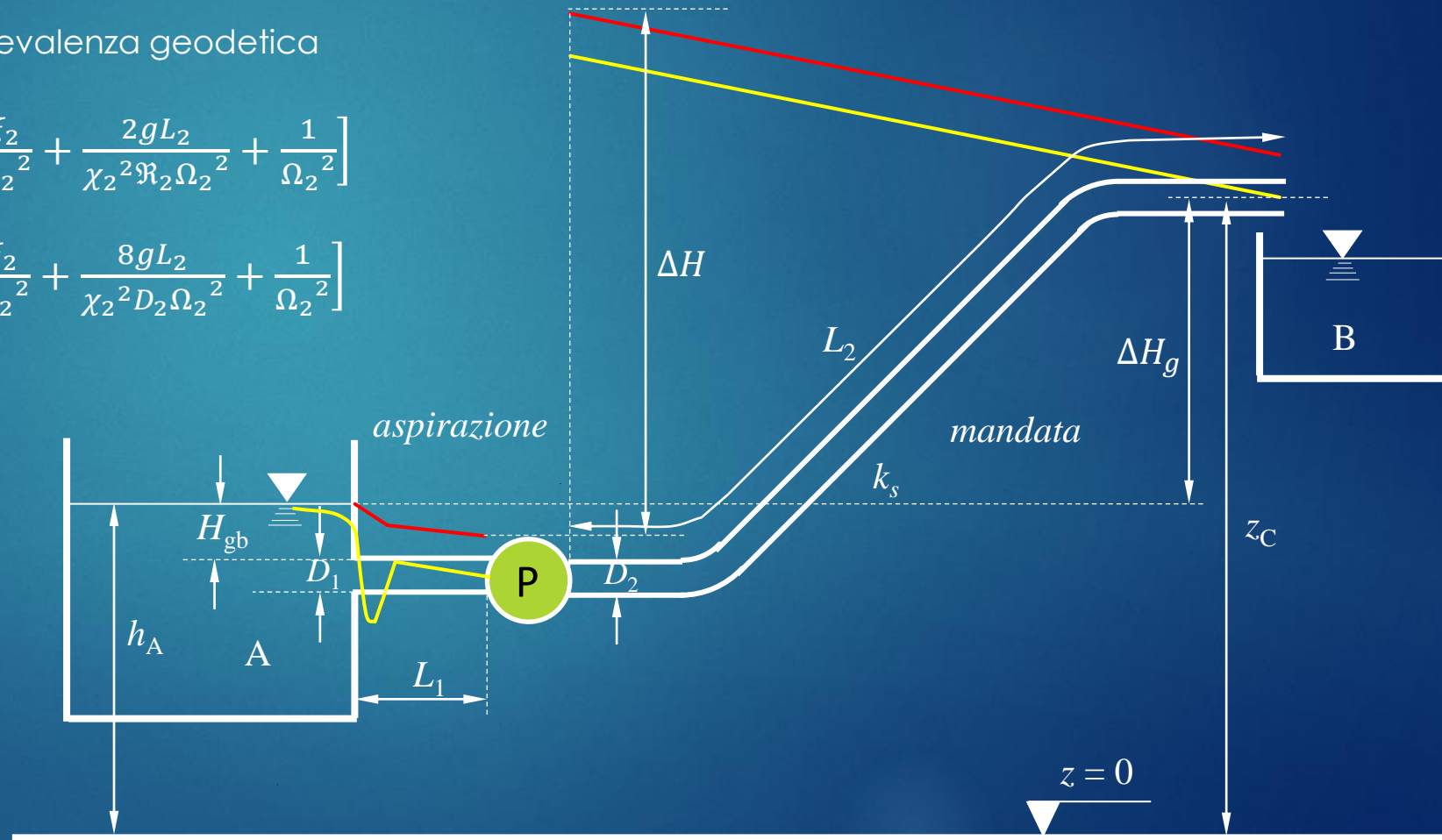
$$\Delta H = \Delta H_g + KQ^2 \quad ; \quad \Delta H_g = \text{prevalenza geodetica}$$

$$K = \frac{1}{2g} \left[ \frac{0,5}{\Omega_1^2} + \frac{2gL_1}{\chi_1^2 \Re_1 \Omega_1^2} + \frac{\xi_1}{\Omega_1^2} + \frac{\xi_2}{\Omega_2^2} + \frac{2gL_2}{\chi_2^2 \Re_2 \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} \right]$$

$$= \frac{1}{2g} \left[ \frac{0,5}{\Omega_1^2} + \frac{8gL_1}{\chi_1^2 D_1 \Omega_1^2} + \frac{\xi_1}{\Omega_1^2} + \frac{\xi_2}{\Omega_2^2} + \frac{8gL_2}{\chi_2^2 D_2 \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} \right]$$



✓ Parabola ad asse verticale con concavità verso l'alto





# Problema di progetto (D ottimale) - 1

## ► Semplificazioni

- $D_1 = D_2 = D \longrightarrow L_1 + L_2 = L$
- Schema di lunga condotta, forma monomia cadente

$$j = k Q^2 D^{-n} ; \quad k = \frac{4^{10/3}}{\pi^2 k_s^2} ; \quad n = 16/3$$

$$\Delta H = \Delta H_g + k Q^2 D^{-n} L$$

## ► Diametro massimo tornaconto

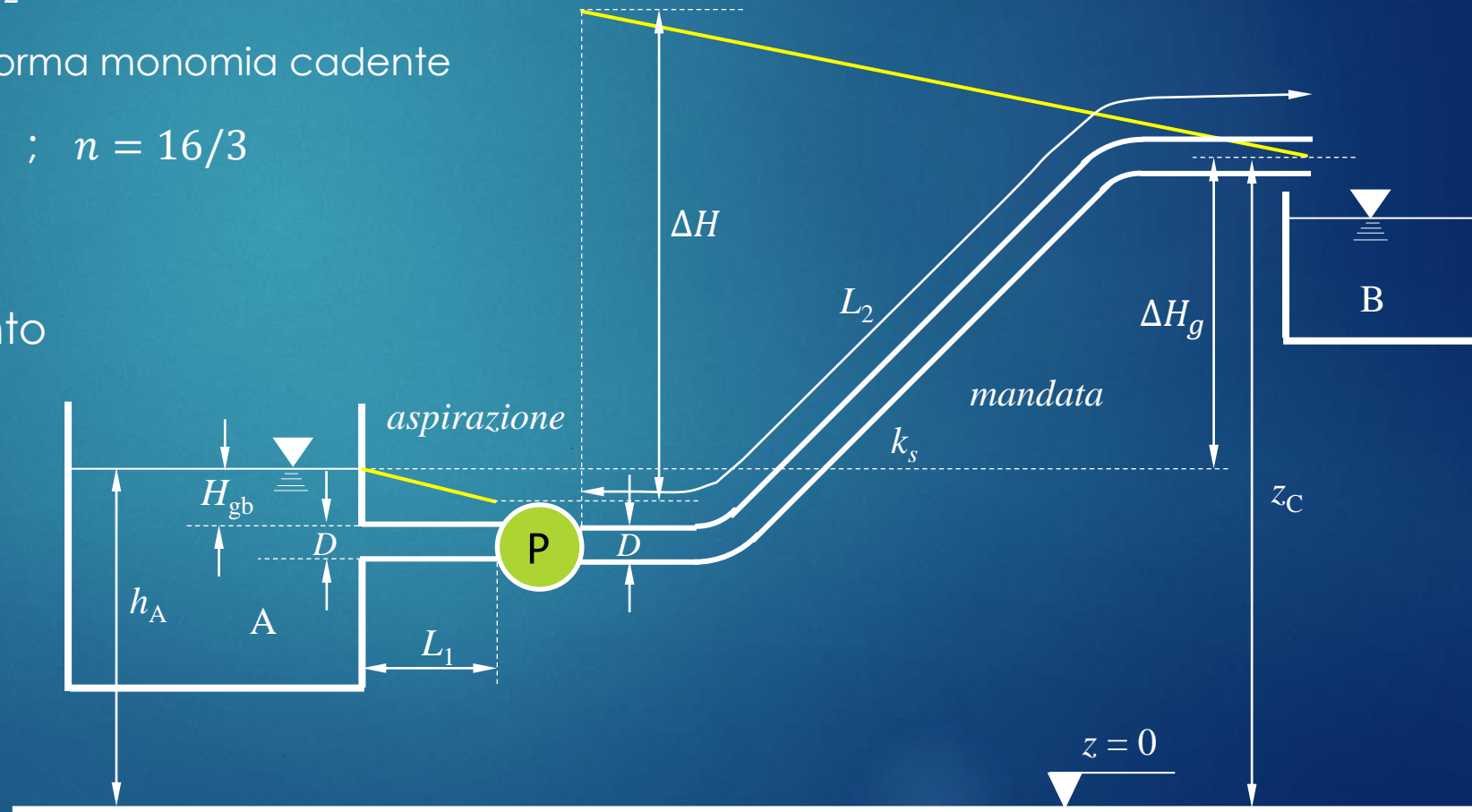
- $D_t = \left( \frac{n \psi \overline{Q^3}}{\epsilon r \omega} \right)^{\frac{1}{n+\epsilon}}$  (teorico)

- $\overline{Q^3} = \frac{1}{T_a} \int_0^{T_a} Q^3 dt$

- $\psi = c_{kWh} \frac{\gamma k}{1000 \eta} T_a$

- $r = r_a + r_m$

- $c_i = \omega_0 + \omega D^\epsilon$





# Problema di progetto (D ottimale) - 2

## ► Implementazione pratica del metodo della minima passività

$$D_t = \left( \frac{n \psi \overline{Q^3}}{\varepsilon r \omega} \right)^{\frac{1}{n+\varepsilon}} \quad (\text{diametro teorico})$$

- Scelta operativa: pompaggio portata  $Q = Q_{max}$  per un tempo  $T'_a < T_a$  ( $\frac{ore}{anno}$ )

- $Q_{max}$  portata media del giorno di massimo consumo ;  $T_a = 24 \times 365 = 8760 \frac{ore}{anno}$

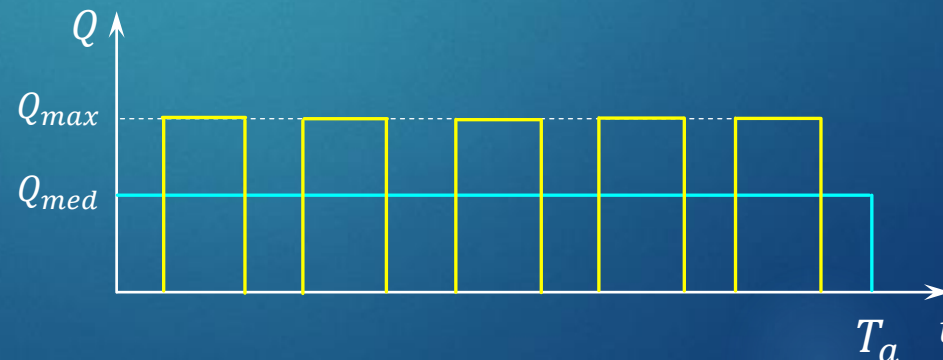
- $V_{annuo} = Q_{med} T_a \times 3600 = Q_{max} T'_a \times 3600 \quad \longrightarrow \quad T'_a = \frac{Q_{med}}{Q_{max}} T_a = \frac{Q_{med}}{Q_{max}} \times 8760$

✓ Alternative: regolazione con valvola, variazione giri motore, pompe in parallelo, ricircolo

- $\overline{Q^3} = \frac{1}{T_a} \int_0^{T_a} Q^3 dt = \frac{T'_a}{T_a} Q_{max}^3$

- $\psi = c_{kWh} \frac{\gamma k}{1000 \eta} T_a$

- $k = \frac{4^{10/3}}{\pi^2 k_s^2} \quad k_s \text{ medio in vita utile impianto}$



- $L_1 = 2 \text{ m};$
- $L_2 = 200 \text{ m};$
- $Q_{med} = 70 \text{ l/s};$
- $Q_{max} = 130 \text{ l/s};$
- $h_A = 15,0 \text{ m};$
- $h_B = 71,0 \text{ m};$
- $k_{s_v} = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s};$
- $k_{s_n} = 100 \text{ m}^{1/3}/\text{s};$
- $\gamma = 9806 \text{ N m}^{-3};$
- $\omega_0 = 10 \text{ €/anno m};$
- $\omega = 3000 \text{ €/anno m}^{2,48};$
- $\varepsilon = 1,48;$
- $r = 0,15;$
- $H_{gb} = 1,0 \text{ m};$
- $T = 10^\circ\text{C}$
- $\eta = 0,8;$
- $C_c = 0,61 \text{ (imbocco)};$
- $C_{kWh} = 0,15 \text{ €/kWh}$



# Problema di progetto (D ottimale) - 3

## ► Diametri commerciali

- Condotta di aspirazione: DN bocca aspirazione pompa + verifica depressioni
- Condotta di mandata:  $D'_2 < D_t < D''_2$

$$\begin{cases} J' L_2' + J'' L_2'' = J L_2 \\ L_2' + L_2'' = L_2 \end{cases} \quad j = k Q^2 D_t^{-n} ; j' = k Q^2 D'_2{}^{-n} ; j'' = k Q^2 D''_2{}^{-n}$$

- ✓ risultato indipendente dai valori di portata  $Q$  e scabrezza  $k_s$
- Verifica velocità in condotta:  $0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} < U < 2 \div 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 
  - ✓ L'esito della verifica può suggerire l'uso di un solo diametro
  - ✓ Modeste deviazioni dalla condizione di minima passività
  - ✓ Migliore gestione delle scorte di magazzino con un solo diametro

DN	$\varnothing_{\text{est}}$	$\varnothing_{\text{int}}$	spessore
mm	mm	mm	mm
40	48.3	43.1	2.6
50	60.3	54.5	2.9
65	76.1	70.3	2.9
80	88.9	82.5	3.2
100	114.3	106.3	4.0
125	139.7	130.7	4.5
150	168.3	159.3	4.5
200	219.1	207.9	5.6
250	273.0	260.4	6.3
300	323.9	309.7	7.1
350	355.6	341.4	7.1
400	406.4	390.4	8.0
450	457.2	441.2	8.0
500	508.0	490.4	8.8





# Scelta della pompa - 1

## ► Specifiche della pompa

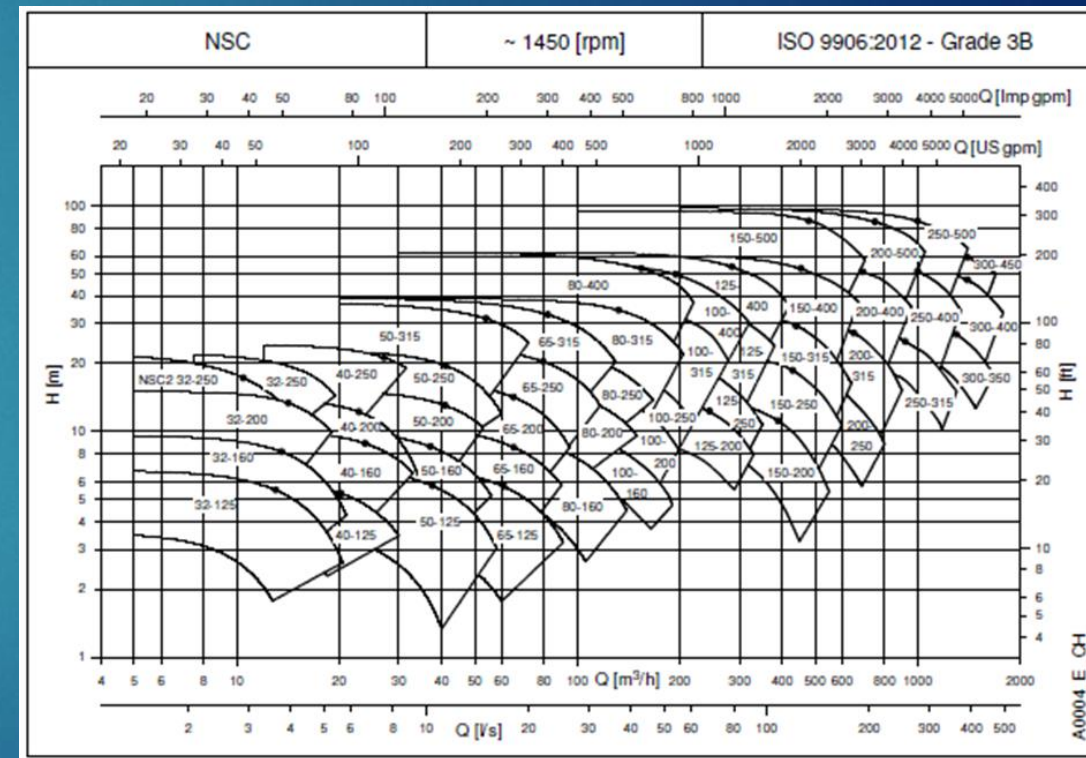
- Portata:  $Q = Q_{max}$
- Prevalenza totale:  $\Delta H = \Delta H_g + K_v Q^2$
- ✓ Equazione caratteristica condotta completa

$$K_v = \frac{1}{2g} \left[ \frac{0,5}{\Omega_1^2} + \frac{8gL_1}{\chi_1^2 D_1 \Omega_1^2} + \frac{\xi_1}{\Omega_1^2} + \frac{\xi_2}{\Omega_2^2} + \frac{8gL_2}{\chi_2^2 D_2 \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} \right]$$

## ► Condizioni di funzionamento di riferimento

- Portata media giorno di massimo consumo:  $Q = Q_{max}$
- Mandata come da calcolo (ipotesi  $D_2 = D''_2$  unico )
- DN aspirazione = DN bocca pompa (provvisorio)
- Tubi vecchi:  $k_s = k_{s_v}$
- inclusi eventuali raccordi e valvole ( $\xi_1, \xi_2$ )

Involuppi delle **curve caratteristiche** delle pompe in catalogo



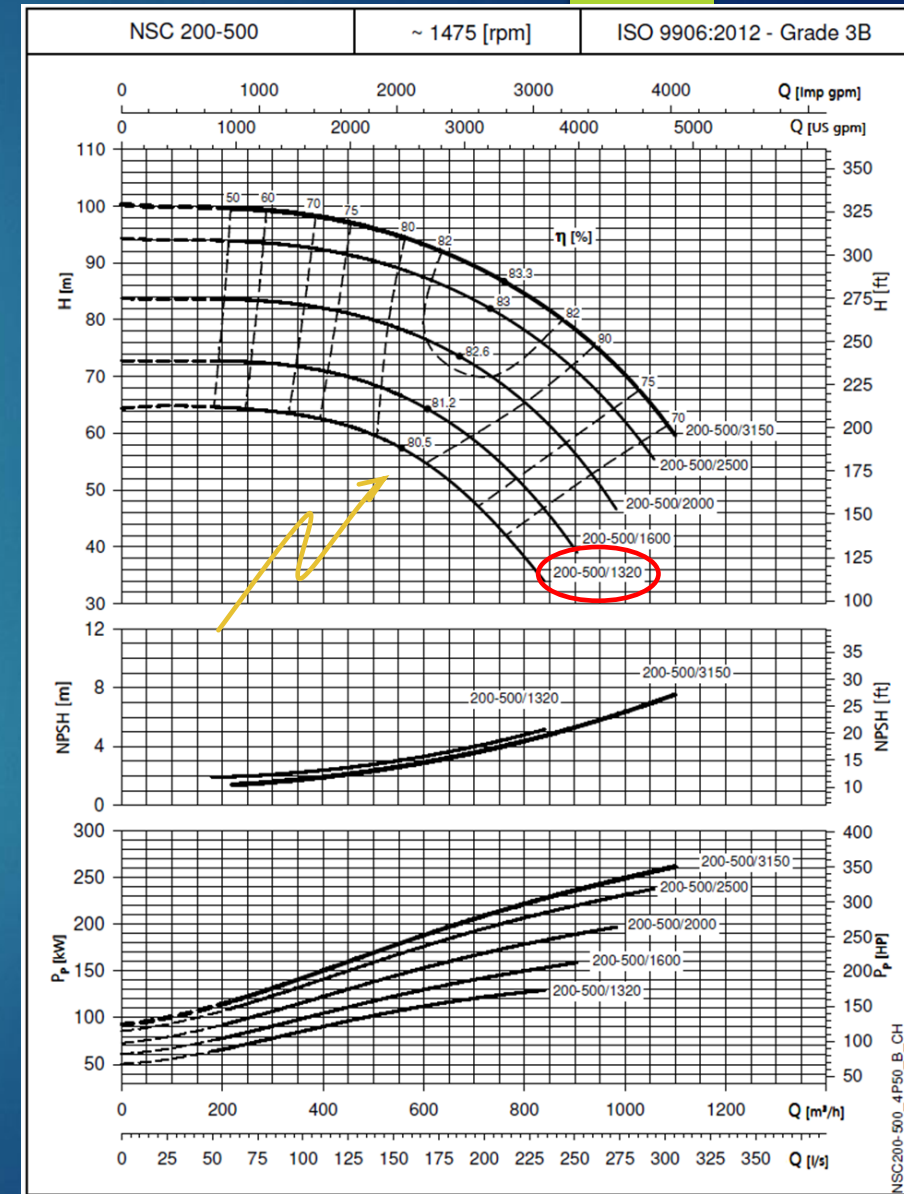
- ✓ Utile per individuazione di massima del modello di pompa



# Scelta della pompa - 2

- Selezione del modello specifico di pompa
  - Riferimento a prevalenza e portata in **zona massimo rendimento** della **curva caratteristica della pompa** (concavità verso il basso)
  - Opzione su dimensioni girante in identico involucro
  - ✓ Codifica tipo:  $D_{\text{mandata}} - D_{\text{alloggiamento}} / P_{x10}$

POMPA TIPO	P <sub>N</sub>  kW	Ø Girante (mm)				Q = PORTATA														
		STD	B	Ø	η <sub>p</sub> %	Vs	0	38,1	62,4	86,7	111,0	135,3	159,6	184,0	208,3	232,6	256,9	281,2	305,6	
						m³/h	0	137	225	312	400	487	575	662	750	837	925	1012	1100	
						H = PREVALENZA TOTALE IN METRI COLONNA ACQUA														
200-250/185	18,5	228	228	○	78,6	15,7	15,3	14,8	13,7	12,2	10,6	8,9	6,8							
200-250/220	22	245	245	○	81,6	18,5		17,2	16,2	14,8	13,1	11,1	8,7							
200-250/300A	30	260	260	○	83,9	21,2		19,7	18,7	17,4	15,8	13,7	11,2	8,4						
200-250/300	30	271	271	●	85,0	23,1		21,5	20,5	19,4	17,9	16,0	13,6	10,8						
200-315/300	30	268	268	○	80,7	22,1	21,7	21,3	20,7	19,6	17,7	14,9	11,3							
200-315/450	37	287	287	○	82,9	25,3		24,6	24,2	23,3	21,7	19,3	15,9	11,8						
200-315/370	45	306	306	○	84,8	29,0		28,3	28,1	27,4	26,1	23,9	20,8	16,8	12,3					
200-315/550	55	328	328	○	86,1	34,1		33,2	32,8	32,1	30,9	28,8	26,0	22,2	17,8					
200-315/750	75	333	333	●	86,3	35,1		34,3	34,0	33,3	32,0	29,9	27,1	23,4	19,1					
200-400/750A	75	328	328	○	83,4	37,2		37,0	36,7	35,7	33,8	31,0	27,0	22,0						
200-400/750	75	342	342	○	83,5	41,0		40,6	40,3	39,4	37,7	35,0	31,3	26,5						
200-400/900	90	362	362	○	84,2	46,5		46,0	45,7	44,9	43,4	41,1	37,7	33,3	27,9					
200-400/1100	110	383	383	○	85,4	52,4		52,2	51,9	51,2	50,0	48,0	45,1	41,2	36,2					
200-400/1320	132	409	409	●	85,5	60,1		59,8	59,6	59,0	57,9	56,1	53,5	50,0	45,4	39,6				
200-500/1320	132	425	425	○	80,5	64,3		64,4	63,7	62,5	60,2	56,4	50,8	43,3	34,2					
200-500/1600	160	450	450	○	81,2	72,8		72,7	72,2	71,0	69,0	65,8	61,2	55,0	46,9					
200-500/2000	200	480	480	○	82,6	83,8		83,6	83,1	82,1	80,3	77,7	74,0	69,1	62,5	53,8				
200-500/2500	250	508	508	○	83,0	94,3		93,8	93,3	92,3	90,7	88,3	85,1	81,0	75,8	69,2	60,7			
200-500/3150	315	523	523	●	83,3	100,3		99,6	99,1	98,1	96,4	94,1	91,0	87,2	82,5	76,6	69,1	59,6		



I valori di NPSH sono di laboratorio; nell'impiego pratico si consiglia di aumentare il valore di 0,5 m.  
Le prestazioni valgono per liquidi con densità  $\rho = 1.0 \text{ kg/dm}^3$  ed una viscosità cinematica  $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$ .



The diagram illustrates a pump system with two main sections: *aspirazione* (aspiration) and *mandata* (discharge). The system is connected to two reservoirs, A and B, and a pump P.

**Aspiration Section:** The pump P draws fluid from reservoir A. The vertical distance from the free surface of A to the pump centerline is  $h_A$ . The horizontal distance from the pump to the start of the discharge pipe is  $L_1$ . The diameter of the suction pipe is  $D_1$ . The head loss in the suction pipe is  $H_{gb}$ . The total head loss in the aspiration section is  $\Delta H$ .

**Mandata Section:** The fluid is discharged from the pump into reservoir B. The horizontal distance from the pump to the end of the discharge pipe is  $L_2$ . The diameter of the discharge pipe is  $D_2$ . The head loss in the discharge pipe is  $H_{gb}$ . The total head loss in the mandata section is  $\Delta H_g$ .

**Energy Grade Line (EGL):** The EGL is shown as a solid line. It starts at the free surface of reservoir A, drops due to friction losses in the suction pipe, rises at the pump P, and then drops again due to friction losses in the discharge pipe. The EGL ends at the free surface of reservoir B. The total head added by the pump is  $\Delta H$ .

**Hydraulic Grade Line (HGL):** The HGL is shown as a dashed line. It starts at the free surface of reservoir A, drops due to friction losses in the suction pipe, and then drops again due to friction losses in the discharge pipe. The HGL ends at the free surface of reservoir B. The total head loss in the mandata section is  $\Delta H_g$ .

**Other Parameters:** The vertical distance from the free surface of reservoir B to the pump centerline is  $z_C$ . The vertical distance from the free surface of reservoir B to the end of the discharge pipe is  $z = 0$ .

**Equation:** The equation for the head loss in the aspiration section is given as:

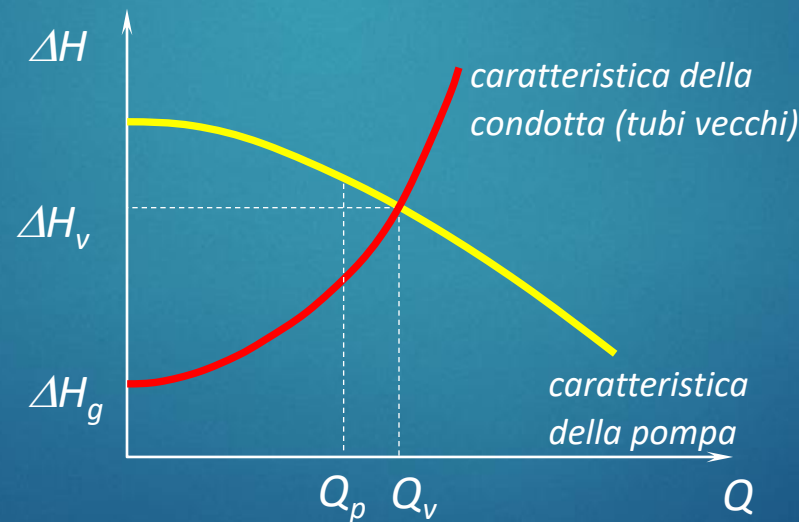
$$\frac{\xi_2}{\Omega_2^2} + \frac{8gL_2}{\chi_2^2 D_2 \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} \Big]$$



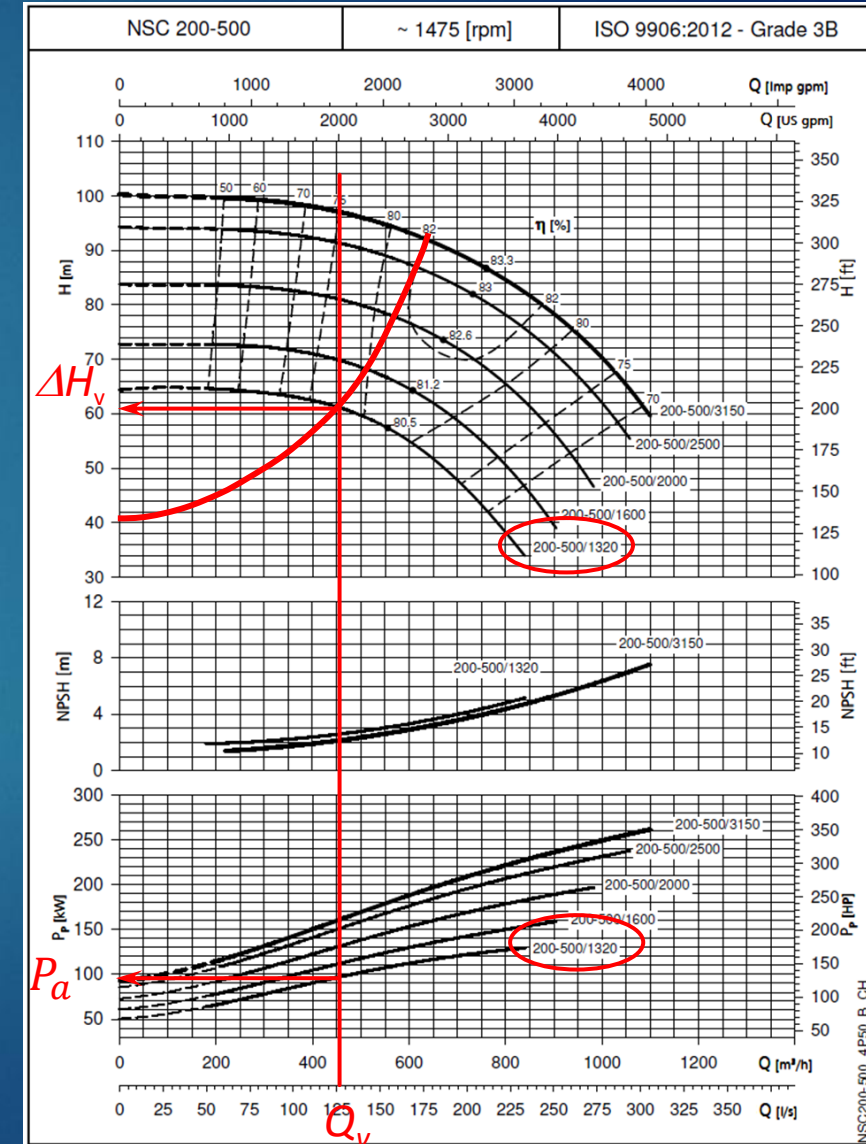
# Verifica dell'impianto (tubi vecchi)

- Equazione (curva) caratteristica della condotta  
 $\Delta H = \Delta H_g + K_v Q^2$  - concavità verso l'alto
- Curva caratteristica della pompa  
 $\Delta H = f(Q)$  - concavità verso il basso
- Punto di funzionamento: intersezione delle due curve caratteristiche

- $P_u = \gamma Q \Delta H$  potenza utile
- $P_a = \frac{P_u}{\eta}$  potenza assorbita
- $\eta$  rendimento della pompa
- ✓ curve  $\eta = \text{cost}$  tratteggiate sovrapposte a curva caratteristica della pompa
- Prevalenza manometrica



$$\Delta H_M = h_v - h_m = \left( H_v - \frac{U_v^2}{2g} \right) - \left( H_m - \frac{U_m^2}{2g} \right) = \Delta H + \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g}$$



I valori di NPSH sono di laboratorio, nell'impiego pratico di condiglia di aumentare il valore di 0,5 m.  
 Le prestazioni valgono per liquidi con densità  $\rho = 1.0 \text{ kg/cm}^3$  ed una viscosità cinematica  $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$ .





# Verifica alle depressioni - 1

## ► Obiettivo: prevenire la cavitazione

- ✓ La cavitazione induce sollecitazioni meccaniche e aggressione chimica (ossidazione) sulla macchina

## ► Sezione contratta all'imbocco

- Espressioni del dislivello fra le quote piezometriche nel serbatoio di monte e nella sezione contratta

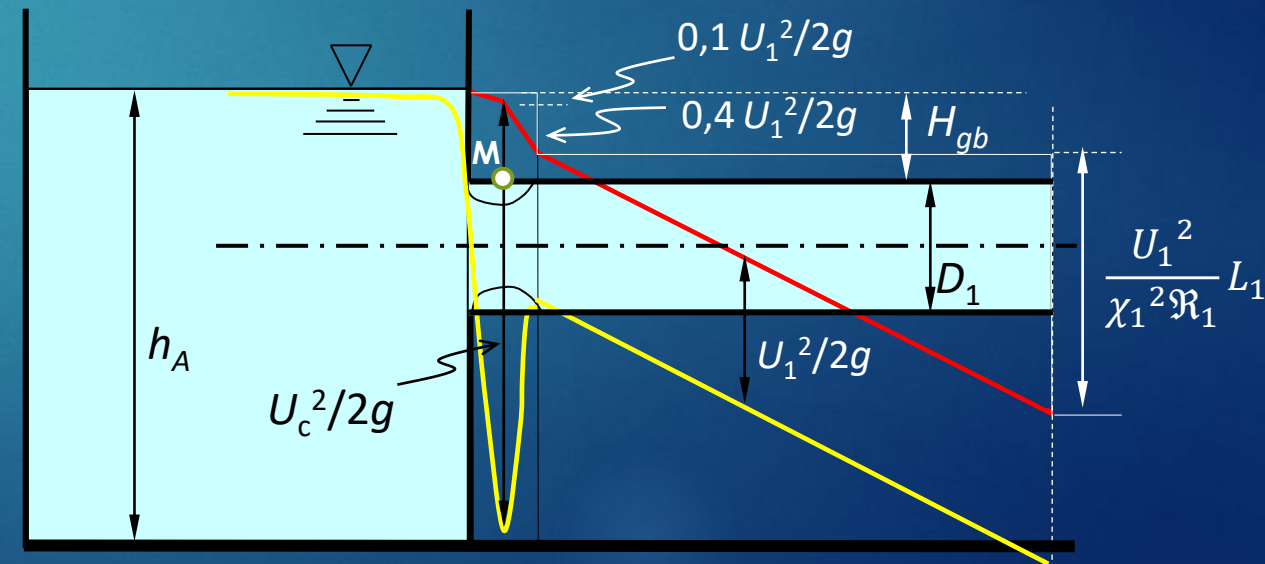
$$0,1 \frac{U_1^2}{2g} + \frac{U_c^2}{2g} = H_{gb} - \frac{p_{cmin}}{\gamma} \longrightarrow \frac{p_{cmin}}{\gamma} = H_{gb} - 0,1 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_c^2}{2g}$$

- $0,1 U_1^2/2g$  perdite viscosse in imbocco (prima parte perdite per brusco restringimento)
- $p_{cmin}$  minimo valore di pressione nel punto M di quota massima della sezione

- Assenza di cavitazione se

$$\frac{p_{cmin}^*}{\gamma} = \frac{p_{cmin}}{\gamma} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} > \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta$$

- $p_v^*$  tensione di vapore del liquido
- $\delta \approx 0,5$  m franco di sicurezza





# Verifica alle depressioni - 2

## ► Sezione contratta all'imbocco

- Assenza di cavitazione se

$$\frac{p_{Cmin}^*}{\gamma} = \frac{p_{Cmin}}{\gamma} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} > \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta \quad \text{con}$$

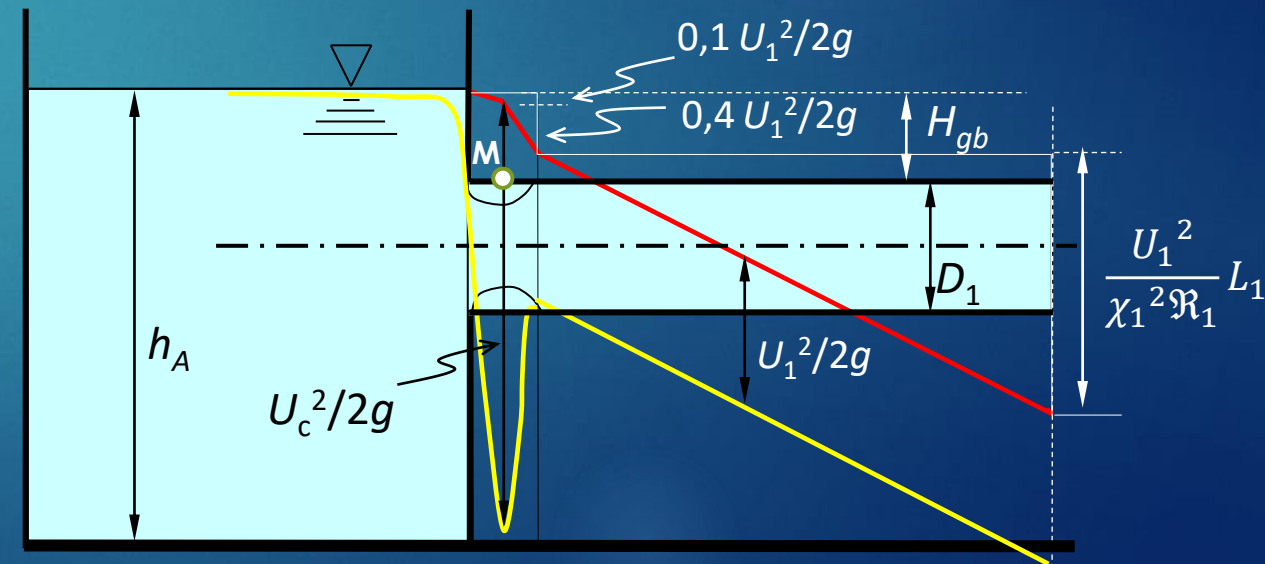
$$\frac{p_{Cmin}}{\gamma} = H_{gb} - 0,1 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_C^2}{2g}$$



$$H_{gb} - 0,1 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_C^2}{2g} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} > \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta$$

- $p_v^*$  tensione di vapore del liquido;  $p_v^* = p_v^*(T)$
- $\delta \approx 0,5$  m franco di sicurezza
- $\frac{p_{atm}^*}{\gamma} = 10,33$  m per l'acqua
- ✓ Esito negativo della verifica impone adeguamento condotta di aspirazione
- ✓ Sostituzione della pompa inutile

T (°C)	$p_v^*$ (atm)	T (°C)	$p_v^*$ (atm)	T (°C)	$p_v^*$ (atm)
-25	$6,26 \times 10^{-4}$	10	$1,21 \times 10^{-2}$	90	$6,92 \times 10^{-1}$
-15	$1,63 \times 10^{-3}$	30	$4,19 \times 10^{-2}$	100	1,00
-5	$3,95 \times 10^{-3}$	50	$1,22 \times 10^{-1}$	150	4,70
0,01	$6,03 \times 10^{-3}$	70	$3,08 \times 10^{-1}$	200	39,24



- Come specificare  $\Delta w + \frac{U_g^2}{2g}$  ?
  - $\Delta w + \frac{U_g^2}{2g}$  viene fornito dal costruttore in funzione di Q
  - $\Delta w + \frac{U_g^2}{2g}$  è detto NPSH (net positive suction head = carico positivo netto di aspirazione)





# Verifica alle depressioni - 4

## ► Ingresso girante pompa

- Assenza di cavitazione se

$$H_{gb} - \Delta y - \Delta w - \frac{U_g^2}{2g} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} > \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta$$

- La condizione si riscrive nella forma

$$H_{gb} - \Delta y + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} - \frac{p_v^*}{\gamma} - \delta > \Delta w + \frac{U_g^2}{2g}$$

- ✓  $\Delta w + \frac{U_g^2}{2g}$  valore minimo richiesto di NPSH ( $NPSH_R$ )

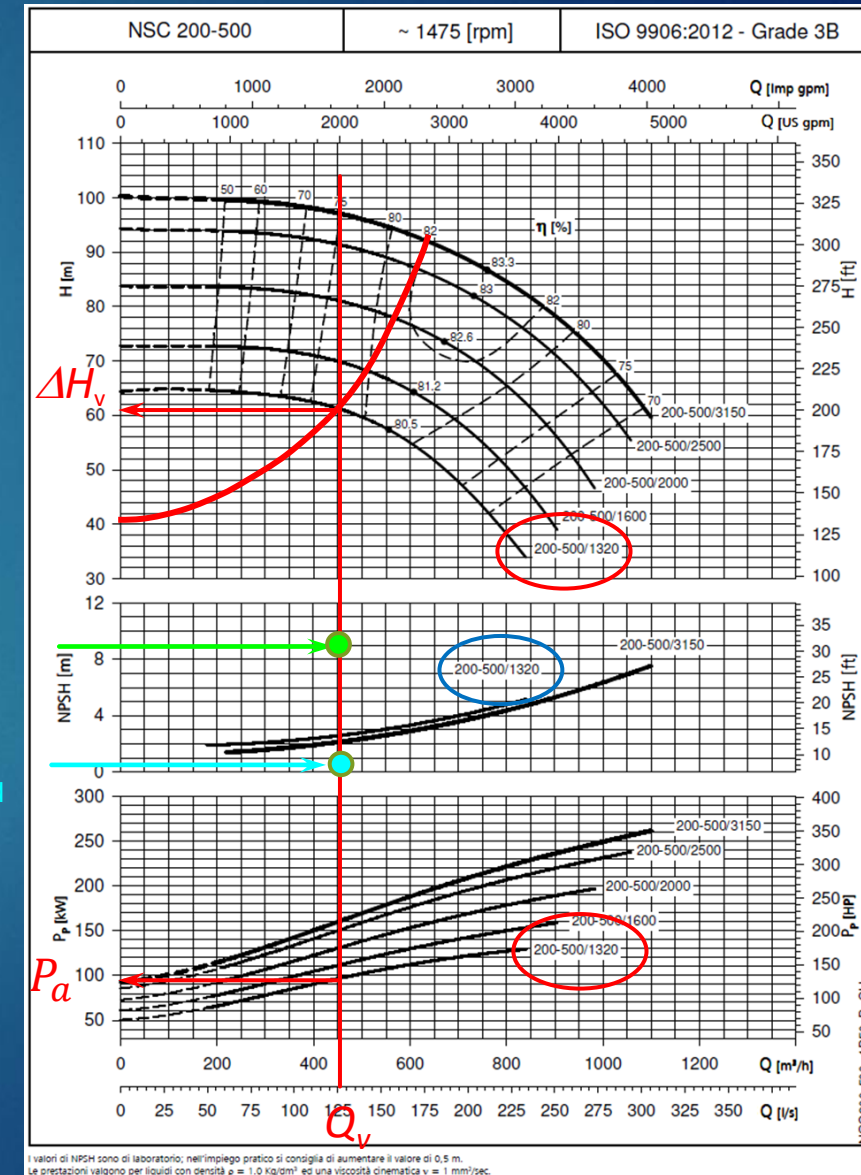
- ✓ A primo membro solo quantità note ( $NPSH$  disponibile,  $NPSH_a$ )

- ✓ Anche in questo caso:

- Esito negativo della verifica impone adeguamento condotta di aspirazione
- Sostituzione della pompa inutile

$NPSH_A > NPSH_R$   
Verifica positiva

$NPSH_A < NPSH_R$   
Verifica negativa





# Portata massima sollevabile

## ► Portata massima corrispondente a condizioni limite

- Nella sezione contratta all'imbocco (punto M di quota massima)

$$H_{gb} - 0,1 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_C^2}{2g} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} = \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta$$

si riscrive  $H_{gb} - 0,1 \frac{Q_{limC}^2}{2g\Omega_1^2} - \frac{Q_{limC}^2}{2gC_C^2\Omega_1^2} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} = \frac{p_v^*}{\gamma} + \delta$ , da cui

$$Q_{limC} = \Omega_1 \sqrt{\frac{2g \left( \zeta_a - \frac{D_1}{2} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} - \frac{p_v^*}{\gamma} - \delta \right)}{0,1 + 1/C_C^2}}$$

$NPSH_A > NPSH_R$   
Verifica positiva

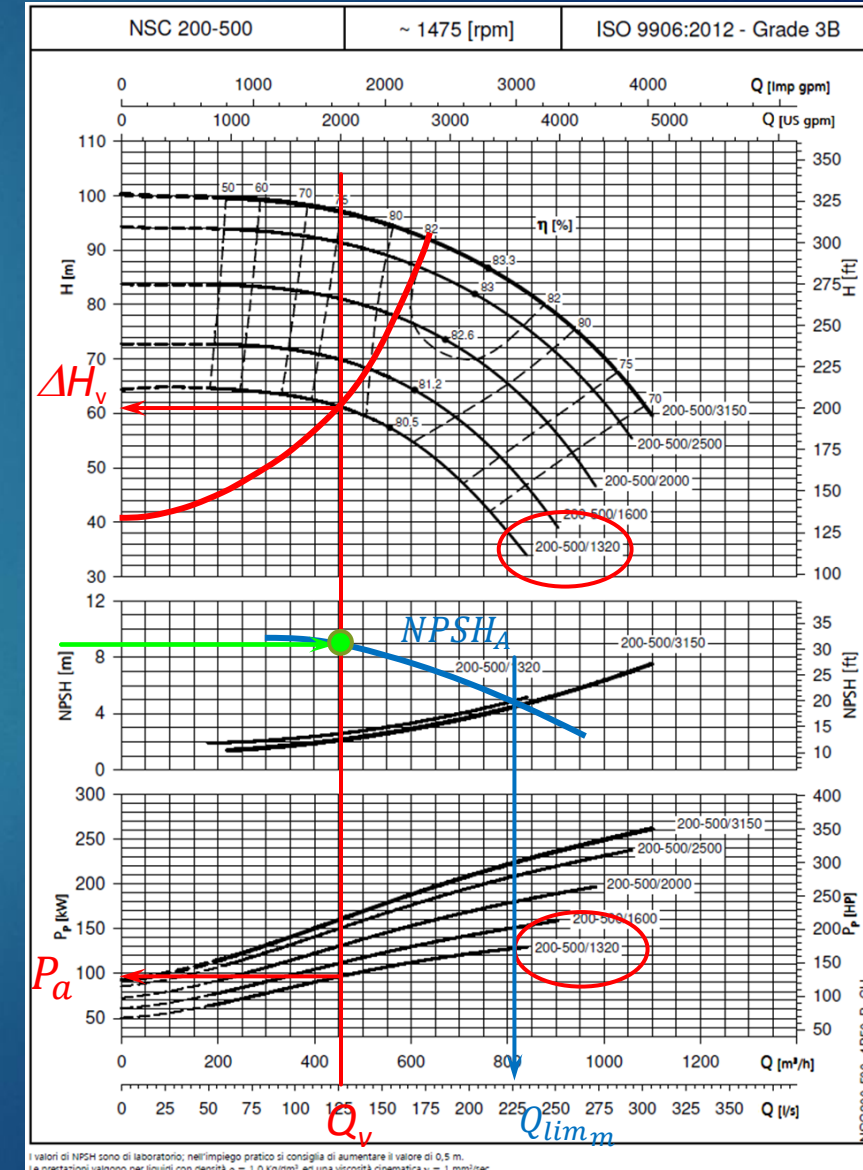
- Nella pompa

$$H_{gb} - 0,5 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_1^2 L_1}{\chi_1^2 \mathcal{R}_1} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} - \frac{p_v^*}{\gamma} - \delta = \Delta w + \frac{U_g^2}{2g} = NPSH_R \text{ con}$$

$$H_{gb} - 0,5 \frac{U_1^2}{2g} - \frac{U_1^2 L_1}{\chi_1^2 \mathcal{R}_1} + \frac{p_{atm}^*}{\gamma} - \frac{p_v^*}{\gamma} - \delta = NPSH_A = a - bQ^2$$

–  $Q_{limm}$  da punto di intersezione curve  $NPSH_A$  e  $NPSH_R$

- $Q_{lim} = \min\{Q_{limC}, Q_{limm}\}$



# Punto di funzionamento (tubi nuovi)

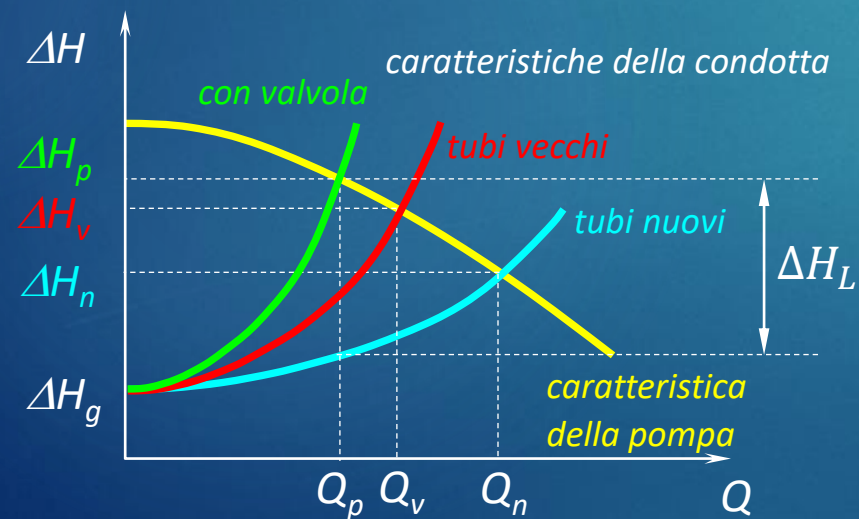
- Equazione (curva) caratteristica della condotta

$$\Delta H = \Delta H_g + K_n Q^2 \quad ; \quad k = k_{s\_n} \text{ in } \chi = k_s \mathcal{R}^{1/6} \longrightarrow K_n < K_v$$

$$K_n = \frac{1}{2g} \left[ \frac{0,5}{\Omega_1^2} + \frac{8gL_1}{\chi_1^2 D_1 \Omega_1^2} + \frac{\xi_1}{\Omega_1^2} + \frac{\xi_2}{\Omega_2^2} + \frac{8gL_2}{\chi_2^2 D_2 \Omega_2^2} + \frac{1}{\Omega_2^2} \right]$$

- Punto di funzionamento: intersezione delle due curve caratteristiche

- $\Delta H_L = K_L Q^2$  perdita di carico nella valvola riduttrice di pressione



- Caratteristica con valvola:  

$$\Delta H = \Delta H_g + K_n Q^2 + K_L Q^2$$

$$= \Delta H_g + (K_n + K_L) Q^2$$

in modo che risulti

$$\Delta H_p = \Delta H_g + (K_n + K_L) Q_p^2$$

$$K_n + K_L = K_p$$

