

PROCEDURA PER LA SCELTA PRELIMINARE DI UNA POMPA NOTO IL PUNTO DI FUNZIONAMENTO  
RICHIESTO CON UN LIQUIDO VISCOSO NEWTONIANO DIFFERENTE DALL'ACQUA.

Dato il punto di funzionamento richiesto per una pompa operante con un liquido newtoniano, di massa volumica nota e di viscosità nota maggiore di quella dell'acqua, è possibile ricavare i fattori correttivi da applicare per poter ottenere il punto di funzionamento sulla curva caratteristica standard per acqua, operando secondo la seguente procedura mutuata dal rapporto tecnico *UNI ISO/TR 17766:2006*.

Nota: nel presente documento verrà usata la notazione seguente con la relativa unità di misura. Con il termine *fluido viscoso* si intenderà un fluido con viscosità maggiore di quella dell'acqua

$B$	parametro usato per la correzione della viscosità	
$C_Q$	fattore correttivo per la portata	
$C_H$	fattore correttivo per la prevalenza	
$C_\eta$	fattore correttivo per il rendimento	
$H$	prevalenza	[m]
$Q$	portata	[m <sup>3</sup> / h]
$P$	potenza	[kW]
$V$	viscosità cinematica	[cSt]
$\eta$	rendimento	
$\rho$	massa volumica	[kg / m <sup>3</sup> ]
Pedici		
$BEP$	grandezza riferita al punto di massimo rendimento	
$vis$	grandezza riferita al fluido viscoso	
$w$	grandezza riferita all'acqua	

### Procedura

1. Calcolare il parametro  $B$  definito come:

$$B = 2.80 \cdot \frac{V_{vis}^{0.5}}{Q_{vis}^{0.25} \cdot H_{vis}^{0.125}}$$

dove  $Q_{vis}$  [m<sup>3</sup> / h] è la portata richiesta,  $H_{vis}$  [m] la prevalenza totale richiesta del singolo stadio e  $V_{vis}$  [cSt] la viscosità del liquido.

2. A seconda del valore assunto da  $B$  si possono presentare diversi casi:

2.1.  $B \geq 40$

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.1	

Il calcolo presenta un'incertezza elevata e la correzione dovrebbe essere eseguita con altri metodi.

## 2.2. $B \leq 1$

Assumere i seguenti fattori di correzione della portata ( $C_Q$ ) e della prevalenza ( $C_H$ ):

$$C_Q = 1, C_H = 1$$

La selezione può essere eseguita come se fosse acqua.

## 2.3. $1 < B < 40$

Calcolare i fattori di correzione della portata ( $C_Q$ ) e della prevalenza totale ( $C_H$ ) come segue:

$$C_Q \approx C_H \approx 2.71^{-0.165 \cdot (\log B)^{3.15}} \quad (\text{in alternativa è possibile leggerli sul grafico allegato})$$

3. Calcolare la portata e la prevalenza approssimativa per il funzionamento previsto con acqua, applicando i fattori correttivi viscosi calcolati in precedenza:

$$Q_w = \frac{Q_{vis}}{C_Q} \quad [m^3/h], \quad H_w = \frac{H_{vis}}{C_H} \quad [m]$$

4. Scegliere la pompa che fornisca le prestazioni calcolate per acqua  $Q_w$  in  $[m^3/h]$  e  $H_w$  in  $[m]$  selezionando, tra le varie alternative, la pompa il cui punto di lavoro sia il più vicino possibile al punto di massima efficienza (BEP). Rilevare il rendimento della pompa  $\eta_w$  (non percentuale ma espresso come numero decimale compreso tra 0 e 1, es: 0,56 invece che 56) in corrispondenza di tale punto o la potenza assorbita dalla pompa  $P_w$   $[kW]$ . Se viene impiegata la potenza occorre calcolare il rendimento tramite la relazione:

$$\eta_w = \frac{Q_w \cdot H_w}{367 \cdot P_w}$$

5. Calcolare il fattore di correzione per il rendimento ( $C_\eta$ ). Anche qui si presentano diversi casi in funzione del parametro  $B$ .

## 5.1. $B \leq 1$

Calcolare il fattore correttivo tramite l'espressione:

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.2	

$$C_{\eta} = \frac{1 - \left[ (1 - \eta_{BEP}) \cdot \left( \frac{V_{vis}}{V_w} \right)^{0.07} \right]}{\eta_{BEP}}$$

dove  $V_w$  [cSt] è la viscosità per l'acqua e  $V_{vis}$  [cSt] è la viscosità del liquido richiesto.

## 5.2. $1 < B < 40$

Calcolare il fattore correttivo per il rendimento tramite l'espressione:

$$C_{\eta} = B^{-(0.0547 \cdot B^{0.69})} \quad (\text{in alternativa è possibile leggerlo sul grafico allegato})$$

6. Calcolare la potenza approssimata per il funzionamento con il fluido di lavoro tramite la relazione:

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \cdot H_{vis} \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{367 \cdot \eta_{vis}} \quad [kW]$$

nel caso si voglia impiegare direttamente il rendimento, oppure le relazioni:

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \cdot H_{vis} \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{Q_w \cdot H_w \cdot C_{\eta}} \cdot P_w = \frac{C_Q \cdot C_H \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{C_{\eta}} \cdot P_w \quad [kW]$$

nel caso si voglia impiegare la potenza letta per la pompa nel funzionamento con acqua. Nelle relazioni precedenti si ha  $\eta_{vis} = C_{\eta} \cdot \eta_w$ ,  $Q_{vis}$  [ $m^3/h$ ] è la portata richiesta,  $H_{vis}$  [m] la prevalenza totale richiesta del singolo stadio,  $\rho_{vis}$  [ $kg/m^3$ ] è la massa volumica del fluido di lavoro e  $\rho_w$  [ $kg/m^3$ ] è la massa volumica dell'acqua (pari a  $1000 \text{ kg/m}^3$ ) e  $P_w$  [kW] la potenza nel funzionamento con acqua.

NOTA: Basandosi sulle prove eseguite sino ad ora questo metodo, rispetto alla selezione che si potrebbe fare conoscendo già una curva caratteristica per acqua e derivando da questa la curva caratteristica per un altro liquido, porta a fare una selezione generalmente cautelativamente abbondante. Tale scostamento aumenta se il punto selezionato non è prossimo al BEP. Per eventualmente valutare quanto si discostano i valori si può verificare a ritroso, partendo dal punto selezionato per acqua le reali prestazioni viscoso basandosi sulla specifica PRG.I.07.233.00 che mostra come determinare la curva caratteristica per liquido viscoso partendo da quella nota per acqua. **Si prega di valutare attentamente l'applicabilità del metodo per condizioni operative lontane dal BEP.**

### Esempio di calcolo:

Scelta di una pompa operante con un liquido di viscosità pari a 120 cSt, massa volumica di  $900 \text{ Kg/m}^3$  e che deve fornire una prevalenza di 70 m ad una portata di  $100 \text{ m}^3/h$

1. Calcolo del parametro  $B$ .

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.3	

$$B = 2.80 \cdot \frac{(120)^{0.5}}{(100)^{0.25} \cdot (70)^{0.125}} = 5.70$$

2. Essendo  $1 < B < 40$  (caso 2.3) risulta:

$$C_Q \approx C_H \approx 2.71^{-0.165(\log 5.70)^{3.15}} = 0.934$$

3. Calcolo delle condizioni per il funzionamento con acqua.

$$Q_w = \frac{100}{0.934} = 107.1 \text{ [m}^3/\text{h]}, \quad H_w = \frac{70}{0.934} = 74.9 \text{ [m]}$$

4. Scelta della pompa che garantisca i valori al punto 3 piu' vicini al BEP. Si assume, come esempio, che la pompa abbia una potenza al punto selezionato pari 32.14 kW per un rendimento  $\eta = 0.68$

5. Calcolo del fattore di correzione  $C_\eta$

$$C_\eta = B^{-0.0547 \cdot (5.70)^{0.69}} = 0.729$$

6. Calcolo della potenza con  $\eta_{vis} = 0.729 \cdot 0.68 = 0.496$

$$P_{vis} = \frac{100 \cdot 70 \cdot 0.9}{367 \cdot 0.496} = 34.6 \text{ [kW]}$$

oppure, usando l'altra relazione:

$$P_{vis} = \frac{0.934 \cdot 0.934 \cdot 0.9}{0.729} \cdot 32.14 = 34.6 \text{ [kW]}$$

Riepilogando: la richiesta per fluido con viscosità di 120 cSt, massa volumica di 900 kg/m<sup>3</sup> con portata di 100 m<sup>3</sup>/h e prevalenza di 70 m, porta a selezionare una pompa che in acqua fornisce una prevalenza di 74.9 m ad una portata di 107.1 m<sup>3</sup>/h. La pompa assorbirà una potenza con fluido viscoso pari a 34.6 kW.

INSTRUCTIONS FOR PRELIMINARY PUMP SELECTION FOR GIVEN OPERATING CONDITIONS WITH A  
NEWTONIAN VISCOUS LIQUID DIFFERENT FROM WATER

Given the pump desired operating conditions, pumping Newtonian liquid with known density and viscosity greater than that of water, it is possible to obtain the applicable correction factors to estimate the operating conditions referred to the standard performance curve for water by following the listed below procedure which derives from technical standard *UNI ISO/TR 17766:2006*.

Note: in this document the following terminology and measure units will be used. The term *viscous fluid* is referred to a fluid with a viscosity greater than water

$B$	parameter used for the viscosity correction	
$C_Q$	flow rate correction factor	
$C_H$	head correction factor	
$C_\eta$	efficiency correction factor	
$H$	head	[m]
$Q$	flow rate	[m <sup>3</sup> / h]
$P$	power	[kW]
$V$	kinematic viscosity	[cSt]
$\eta$	efficiency	
$\rho$	density	[kg / m <sup>3</sup> ]

Subscripts

$BEP$	best efficiency point
$vis$	referred to viscous fluid
$w$	referred to water

Procedure

1. Calculate parameter  $B$  :

$$B = 2.80 \cdot \frac{V_{vis}^{0.5}}{Q_{vis}^{0.25} \cdot H_{vis}^{0.125}}$$

Where  $Q_{vis}$  [m<sup>3</sup> / h] is the desired flow rate,  $H_{vis}$  [m] is the desired single stage total head and  $V_{vis}$  [cSt] the kinematic viscosity of the fluid.

2. Depending on the  $B$  value it is possible to have three cases:

2.1.  $B \geq 40$

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.5	

This method shows a high uncertainty and should be avoided. Correction should be calculated using other methods.

### 2.2. $B \leq 1$

Set the flow rate correction factor ( $C_Q$ ) and the head correction factor ( $C_H$ ) as follows:

$$C_Q = 1, C_H = 1$$

Selection can be done as if the fluid were water.

### 2.3. $1 < B < 40$

Calculate the flow rate correction factor ( $C_Q$ ) and the head correction factor ( $C_H$ ) as follows:

$$C_Q \approx C_H \approx 2.71^{-0.165 \cdot (\log B)^{3.15}} \quad (\text{this data is also available from the attached chart})$$

3. Calculate the approximate water performance flow rate and total head, applying the correction factors previously calculated:

$$Q_w = \frac{Q_{vis}}{C_Q} \quad [m^3/h], \quad H_w = \frac{H_{vis}}{C_H} \quad [m]$$

4. Select a pump that provides the calculated water performance  $Q_w$  [ $m^3/h$ ] and  $H_w$  [ $m$ ] selecting from the possible choices the pump with the operating point as close as possible to the best efficiency point (BEP). Read the pump efficiency  $\eta_w$  (not as percentage but expressed in decimal point e.g. 0,56 instead of 56) corresponding to this point, or the pump-shaft input power  $P_w$  [ $kW$ ]. If power is used, the efficiency has to be calculated with the equation:

$$\eta_w = \frac{Q_w \cdot H_w}{367 \cdot P_w}$$

5. Calculate the efficiency corrector factor ( $C_\eta$ ). Again there are different cases depending on the parameter  $B$ .

### 5.1. $B \leq 1$

Calculate the efficiency correction factor using the equation:

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.6	

$$C_{\eta} = \frac{1 - \left[ (1 - \eta_{BEP}) \cdot \left( \frac{V_{vis}}{V_w} \right)^{0.07} \right]}{\eta_{BEP}}$$

where  $V_w$  [cSt] is the water kinematic viscosity and  $V_{vis}$  [cSt] is the kinematic viscosity of handled fluid.

## 5.2. $1 < B < 40$

Calculate the efficiency correction factor using the equation:

$$C_{\eta} = B^{-(0.0547 \cdot B^{0.69})} \quad (\text{also available from attached chart})$$

6. Calculate the approximate pump-shaft input power for the operating fluid using the equation:

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \cdot H_{vis} \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{367 \cdot \eta_{vis}} \quad [kW]$$

if efficiency is used, or the equation:

$$P_{vis} = \frac{Q_{vis} \cdot H_{vis} \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{Q_w \cdot H_w \cdot C_{\eta}} \cdot P_w = \frac{C_Q \cdot C_H \cdot \rho_{vis} / \rho_w}{C_{\eta}} \cdot P_w \quad [kW]$$

if pump shaft power for water is used.

In the previously equations  $\eta_{vis} = C_{\eta} \cdot \eta_w$ ,  $Q_{vis}$  [ $m^3/h$ ] is the flow rate,  $H_{vis}$  [m] is the single stage total head,  $\rho_{vis}$  [ $kg/m^3$ ] is the density of the operating fluid,  $\rho_w$  [ $kg/m^3$ ] is the water density (1000  $kg/m^3$ ) and  $P_w$  [kW] the pump-shaft power for water.

NOTE: Generally this method, compared to the selection that could be made knowing the water performance curve and deriving the performance curve for a different liquid, leads us to make pump selections conservatively close to the BEP. This difference increases when the selected point is not near the BEP. If it becomes necessary to evaluate this difference it is possible to make the backward verification, starting from the point on the water performance curve and working out the performance for viscous liquid following the document PRG.I.07.233.00 which shows how to calculate the viscous performance curve starting from the water performance curve. **Please, consider carefully the applicability of the method for operating conditions distant from BEP.**

### Calculation example:

Select a pump operating with a liquid having viscosity of 120 cSt, density of 900  $Kg/m^3$  and to deliver 100  $m^3/h$  of flow rate with 70 m total head

1. Parameter  $B$ .

$$B = 2.80 \cdot \frac{(120)^{0.5}}{(100)^{0.25} \cdot (70)^{0.125}} = 5.70$$

2. Since  $1 < B < 40$  (case 2.3) :

RIF. - Ref.:	E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces:	--
DATA - Date:	aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.7	

$$C_Q \approx C_H \approx 2.71^{-0.165 \cdot (\log 5.70)^{3.15}} = 0.934$$

3. Water performance calculation.

$$Q_w = \frac{100}{0.934} = 107.1 \text{ [m}^3 \text{ / h]} , H_w = \frac{70}{0.934} = 74.9 \text{ [m]}$$

4. Pump selection that gives the performance values at step 3 as close as possible to BEP. As an example it is assumed that the selected pump has an input power of 32.14 kW at the corresponding selected point, with an efficiency  $\eta = 0.68$

5. Efficiency correction factor  $C_\eta$  calculation

$$C_\eta = B^{-0.0547 \cdot (5.70)^{0.69}} = 0.729$$

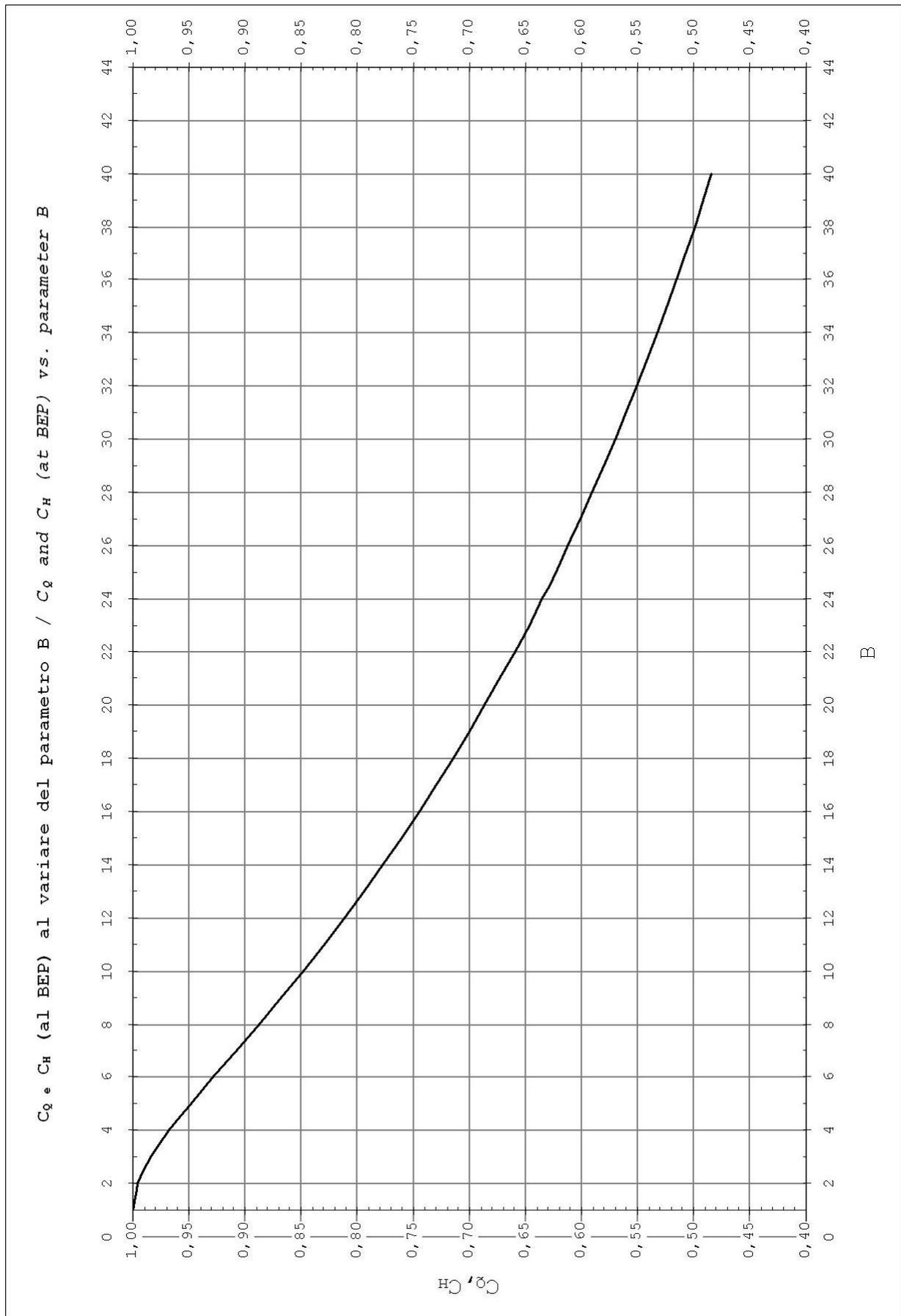
6. Power calculation with  $\eta_{vis} = 0.729 \cdot 0.68 = 0.496$

$$P_{vis} = \frac{100 \cdot 70 \cdot 0.9}{367 \cdot 0.496} = 34.6 \text{ [kW]}$$

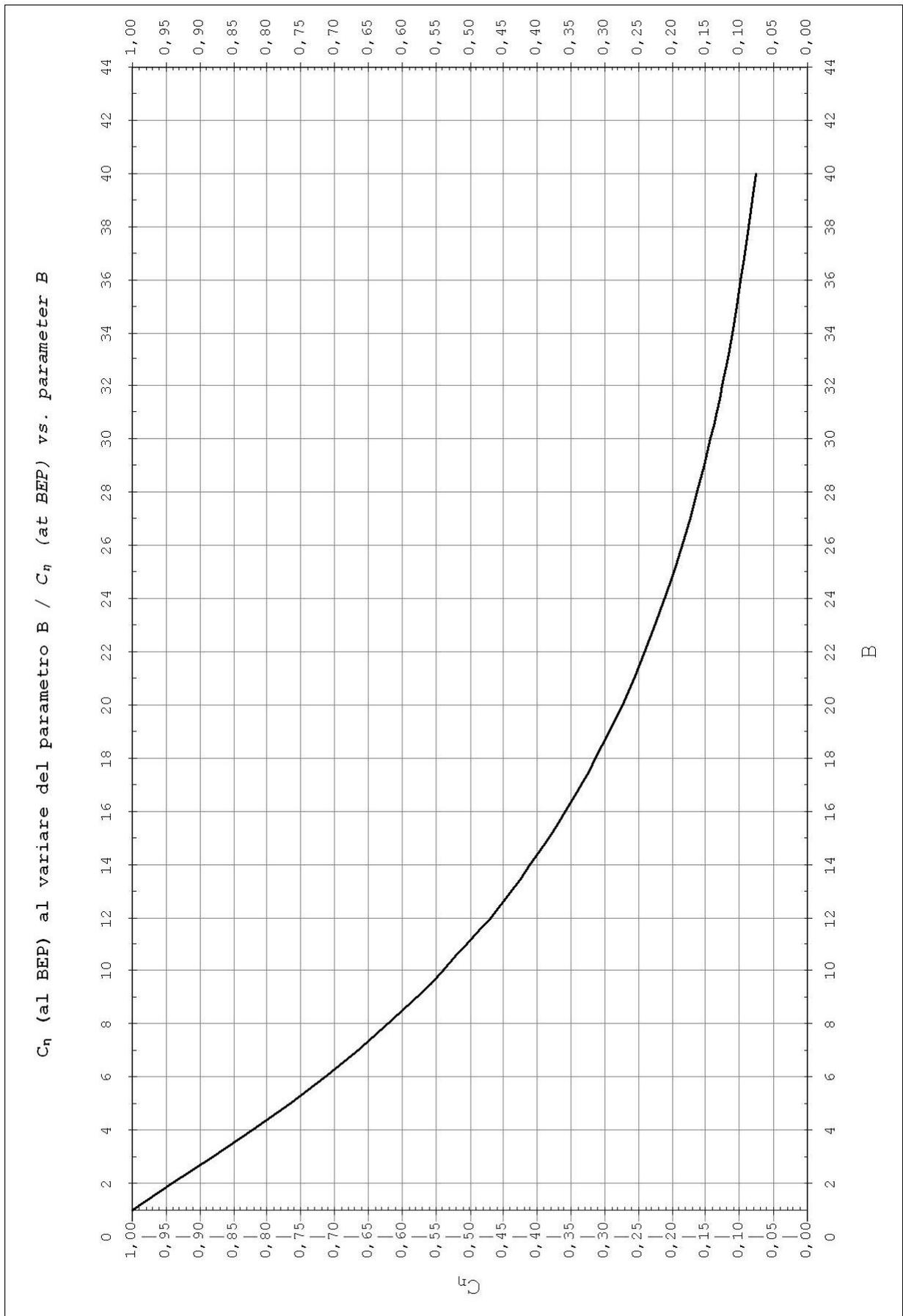
or, using the second equation:

$$P_{vis} = \frac{0.934 \cdot 0.934 \cdot 0.9}{0.729} \cdot 32.14 = 34.6 \text{ [kW]}$$

Summarizing: the desired operating condition for a liquid with viscosity of 120 cSt, density of 900 kg/m<sup>3</sup>, flow rate of 100 m<sup>3</sup>/h and total head 70 m, requires a pump capable of 74.9 m total head at a flow rate of 107.1 m<sup>3</sup>/h when operating with water. Pump-shaft input power will be 34.6 kW, with the viscous liquid.



RIF. - Ref.: E.Z./C.T.	SOSTITUISCE - Replaces: --
DATA - Date: aprile '09 - April 09	N°.: 9000.578.01.9



**Unità di misura delle viscosità / Viscosity measure units**

 Viscosità dinamica / *Dynamic viscosity* ( $\mu$ )

L'unità di misura della viscosità dinamica nel SI è il pascal per secondo [ $Pa \cdot s$ ]. Tuttavia è possibile trovare valori espressi in altre unità quali poise [ $P$ ] e centipoise [ $cP$ ]. I fattori di conversione sono riportati nella tabella sottostante.

*Measure units of the dynamic viscosity in the SI units is pascal-seconds [ $Pa \cdot s$ ]. Anyway it is possible to find values expressed in other units as poise [ $P$ ] and centipoises [ $cP$ ]. The conversion factors are listed in the table below*

Da/ From	a/to:	$Pa \cdot s$	$P$	$cP$
$Pa \cdot s$	Moltiplicare per / multiply by	1	10	$10^3$
$P$	Moltiplicare per / multiply by	$10^{-1}$	1	$10^2$
$cP$	Moltiplicare per / multiply by	$10^{-3}$	$10^{-2}$	1

 Viscosità cinematica / *Kinematic viscosity* ( $\nu$ )

L'unità di misura della viscosità cinematica nel SI è il metro quadro su secondo [ $m^2 / s$ ]. Tuttavia è possibile trovare valori espressi in altre unità quali stokes [ $St$ ] e centistokes [ $cSt$ ]. I fattori di conversione sono riportati nella tabella sottostante.

*Measure units of the kinematic viscosity in the SI units is square meters per second [ $m^2 / s$ ]. Anyway it is possible to find values expressed in other units as stokes [ $St$ ] and centistokes [ $cSt$ ]. The conversion factors are listed in the table below*

Da/ From	a/to:	$m^2 / s$	$St$	$cSt$
$m^2 / s$	Moltiplicare per / multiply by	1	$10^4$	$10^6$
$St$	Moltiplicare per / multiply by	$10^{-4}$	1	$10^2$
$cSt$	Moltiplicare per / multiply by	$10^{-6}$	$10^{-2}$	1

La relazione tra la viscosità dinamica la viscosità cinematica è:

*Relation between kinematic viscosity and dynamic viscosity is:*

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{dove } \rho \text{ è la massa volumica / where } \rho \text{ is the density}$$

Nell'utilizzare questa relazione occorre fare attenzione alle unità di misura. L'approccio suggerito è utilizzare le unità di misura del SI: la viscosità dinamica in [ $Pa \cdot s$ ], la viscosità cinematica in [ $m^2 / s$ ], la massa volumica in [ $kg / m^3$ ] e convertire poi il risultato nell'unità di misura desiderata.

*It is necessary to pay attention using this relation as far as units concerned. The suggested way is to use the SI units: dynamic viscosity [ $Pa \cdot s$ ], kinematic viscosity [ $m^2 / s$ ], density [ $kg / m^3$ ] and than convert the result to the desired units.*