



---

## Misura standardizzata PU-01

# Sostituzione di sistemi di pompe per acqua fino a 75 kW

## Documentazione

Numero della misura

PU-01

Versione

1.0 (11.2024)

---



## 1 Introduzione

Con la legge federale su un approvvigionamento elettrico sicuro con le energie rinnovabili, nella sessione autunnale del 2023 il Parlamento ha fissato l'obbligo per i fornitori di elettricità di adottare misure di miglioramento dell'efficienza energetica. Secondo l'articolo 46b della legge sull'energia (LEne; RS 730.0), i fornitori di elettricità devono realizzare gli obiettivi mediante misure volte a migliorare l'efficienza energetica applicate ad apparecchi, impianti e veicoli elettrici esistenti presso i consumatori finali svizzeri oppure, se le misure vengono realizzate da terzi, devono fornire le relative prove. L'Ufficio federale dell'energia (UFE) definisce ogni anno un elenco di misure standardizzate e i relativi risparmi di elettricità computabili. Le misure non incluse nel catalogo delle misure standardizzate possono essere sottoposte all'UFE per approvazione come cosiddette misure non standardizzate.

Per ogni misura standardizzata, l'UFE fornisce un protocollo di risparmio con cui i fornitori di elettricità possono notificare le misure adottate. Nella documentazione accompagnatoria viene illustrata in modo chiaro la metodologia utilizzata per determinare il risparmio di elettricità computabile. Questa metodologia fornisce una stima generale del risparmio cumulativo di elettricità (energia finale) che può essere generato dall'adozione della corrispondente misura di efficienza elettrica per la durata dell'effetto. Si basa su un calcolo ex ante e utilizza ipotesi e fattori che sono stati definiti in base a norme attuali, studi di mercato, letteratura scientifica e contributi di esperti.

La documentazione si rivolge ai fornitori di elettricità, a coloro che adottano misure di risparmio energetico ed anche a chiunque altro sia interessato al risparmio di elettricità nell'ambito del miglioramento dell'efficienza energetica in base all'articolo 46b LEne.

## 2 Obiettivo

L'obiettivo del presente documento è quello di fornire una stima generale del risparmio di elettricità associato alla sostituzione di un sistema di pompe per acqua a regime costante nei seguenti casi standard:

- i. sostituzione senza analisi del fabbisogno;
- ii. sostituzione con analisi del fabbisogno.

## 3 Simboli, termini e unità di misura

### Lettere latine

Simbolo	Termine	Unità
$E$	Consumo annuo di elettricità	kWh/a
$\Delta E_{eco}$	Risparmio di elettricità computabile	MWh
$f$	Fattore	-
$H$	Prevalenza	m
$N_s$	Durata standard dell'effetto	a
$\Delta p$	Differenziale di pressione ai morsetti della pompa	kPa
$P_h$	Potenza idraulica	kW
$P_m$	Potenza meccanica	kW
$t$	Ore annuali di funzionamento	h/a
$Q$	Portata	m <sup>3</sup> /h
$x, y, C$	Parametri	-

### Lettere greche

Simbolo	Termine	Unità
$\tau$	tasso di carico	%
$\eta$	rendimento	-
$\rho$	densità	kg/m <sup>3</sup>



#### Coefficienti

$x$	stato (attuale, nuovo)
$P$	pompa
$M$	motore
$CF$	variante di velocità

## 4 Descrizione del calcolo ex ante

### 4.1 Risparmio di elettricità computabile

Il risparmio di elettricità computabile  $\Delta E_{eco}$  della misura è determinato dalla differenza fra il consumo di elettricità attuale (stato attuale)  $E_{alt}$  e quello nuovo (stato dopo il rinnovamento)  $E_{neu}$ , moltiplicata per la durata standard dell'effetto  $N_s$ .

Per tenere conto del tasso di rinnovamento e ottimizzazione naturale di apparecchi e impianti, che porta a una riduzione del consumo energetico non dovuto a obblighi di legge, il risparmio di elettricità computabile viene ridotto mediante un fattore di riduzione  $f_{eco}$  pari a 0.75.

$$\Delta E_{eco} = 0.001 \cdot (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

$\Delta E_{eco}$	Risparmio di elettricità computabile in kWh
$E_{alt}$	Consumo annuo di elettricità nel vecchio stato in kWh/a
$E_{neu}$	Consumo annuo di elettricità nel nuovo stato in kWh/a
$f_{eco}$	Fattore di riduzione
$N_s$	Durata standard dell'effetto in anni

### 4.2 Consumo annuo di elettricità

#### 4.2.1 Sostituzione di un sistema senza analisi del fabbisogno

In questo caso, la sostituzione viene effettuata senza analisi e la pompa viene semplicemente sostituita da una nuova pompa dimensionata per lo stesso punto di funzionamento nominale. A seconda dei casi, il motore viene anch'esso sostituito con uno di pari dimensioni ma di massima classe di efficienza. Le informazioni disponibili e considerate sono: la potenza del motore (targhetta), il punto di dimensionamento (differenziale di pressione  $\Delta p$  e portata  $Q$ ) della pompa (targhetta) e le ore di funzionamento annue  $t$ . L'aumento di efficienza deriva dal cambio di generazione della pompa (migliore MEI) e, se del caso, da un nuovo motore.

In caso di sostituzione, la grandezza che rimane costante è la potenza idraulica  $P_{h,nom}$  poiché il punto di dimensionamento non viene messo in discussione. Successivamente, l'indice  $x$  designa lo stato attuale (*alt*) o lo stato dopo il risanamento (*neu*).

$$P_{h,nom} = \frac{\Delta p_x \cdot Q_x}{3600} = \frac{9,81 \cdot H_x \cdot \rho \cdot Q_x}{3600 \cdot 1000}$$

$\Delta p_x$	differenziale di pressione ai morsetti della pompa in kPa
$P_{h,nom}$	potenza idraulica nominale in kW
$H_x$	prevalenza in m
$\rho$	densità dell'acqua in kg/m <sup>3</sup>
$Q_x$	portata in m <sup>3</sup> /h

In questo caso, senza analisi del fabbisogno né misurazioni, non si considererà il rendimento effettivo della pompa esistente, ma quello dell'attuale standard minimo legale, ossia un MEI pari a 0.4, espresso secondo [2]. I parametri  $x$  e  $y$  rappresentano rispettivamente il logaritmo neperiano della velocità specifica e della portata nominale della pompa. Il valore del fattore  $C_{type}$  dipende dal tipo di pompa, dalla sua velocità specifica e dal valore del MEI [2].



$$\eta_{P,x} = 88.59 \cdot x + 13.46 \cdot y - 11.48 \cdot x^2 - 0.85 \cdot y^2 - 0.38 \cdot x \cdot y - C_{type}$$

$x$	logaritmo neperiano della velocità specifica = $\ln(n_s)$
$y$	logaritmo neperiano della portata nominale = $\ln(Q)$
$C_{type}$	fattore secondo [2]
$\eta_{P,x}$	rendimento nominale della pompa

Il tasso medio di carico del motore è espresso in funzione della potenza idraulica nominale della pompa e della potenza nominale (all'albero) del motore.

$$\tau_x = \frac{P_{h,nom}}{\eta_{P,x}} \cdot \frac{1}{P_{m,nom}}$$

$P_{m,nom}$	potenza nominale del motore in kW
$P_{h,nom}$	potenza idraulica nominale della pompa in kW
$\eta_{P,x}$	rendimento nominale della pompa
$\tau_x$	tasso di carico medio annuo

Il consumo elettrico annuo è infine espresso in funzione della potenza idraulica nominale  $P_{h,nom}$ , delle ore annuali di funzionamento  $t$  e del rendimento nominale della pompa  $\eta_{P,x}$  e del motore  $\eta_{M,x}$ .

$$E_x = \frac{P_{h,nom} \cdot t}{\eta_{P,x} \cdot \eta_{M,x}}$$

$t$	ore annuali di funzionamento in h/a
$P_{h,nom}$	potenza idraulica nominale in kW
$\eta_{P,x}$	rendimento nominale della pompa
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a

#### 4.2.2 Sostituzione di un sistema con analisi del fabbisogno

Sulla base dei rilevamenti e delle analisi, si prenderanno in considerazione le seguenti ottimizzazioni:

- A. Il fabbisogno effettivo necessario è inferiore alla portata attuale: correzione della portata mediante:
  - i. l'aggiunta di un variatore di velocità;
  - ii. il ridimensionamento della pompa.
- B. La pressione effettiva necessaria è inferiore alla pressione attuale: correzione della pressione.

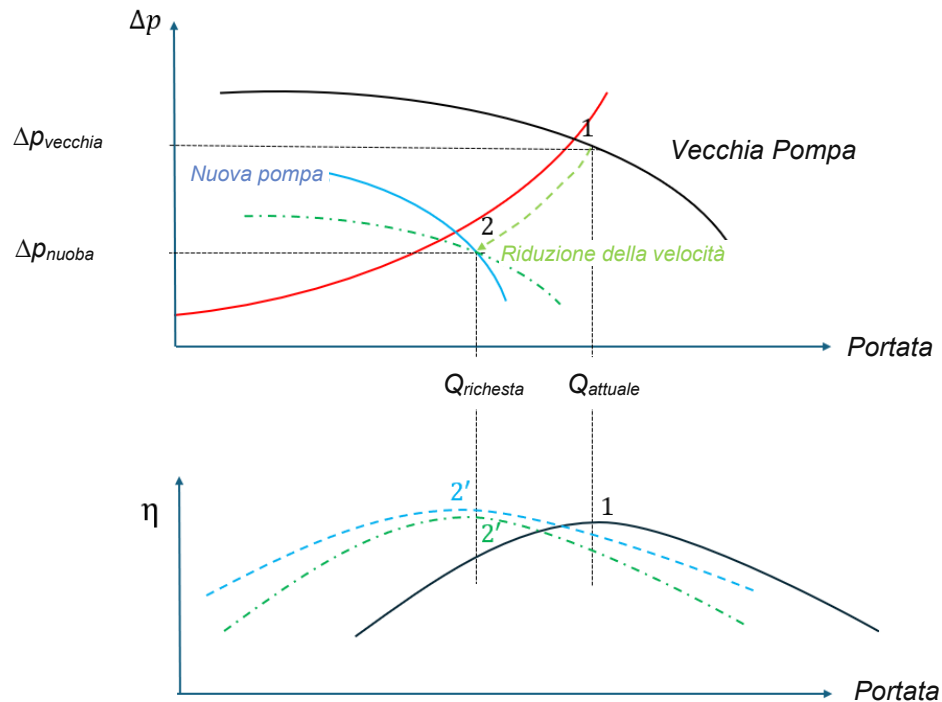
##### A. Ottimizzazione con correzione della portata

Se le analisi confermano che il fabbisogno di portata è costante ma il valore attuale è troppo elevato, esistono diverse opzioni per correggere tale situazione. Nella figura 1 qui di seguito (diagrammi  $\Delta p - Q$  e  $\eta - Q$ ), il punto di funzionamento attuale è 1 e la portata attuale è  $Q_{alt}$ . La portata necessaria nella rete (consumatore) è tuttavia inferiore  $Q_{min}$ . Le due opzioni standardizzate per ridurre la portata sono:

- i. **aggiunta di un variatore di velocità:** la portata desiderata viene raggiunta con una pressione ridotta. Il rendimento della pompa è lo stesso di cui al punto 1. Se il calo di regime è notevole, il rendimento del convertitore e del motore può essere ridotto. Il risparmio è associato alla diminuzione della portata e della pressione. Questa è la prima variante di misurazione standard;
- ii. **ridimensionamento della pompa:** nel caso in cui il rendimento attuale della pompa sia intrinsecamente modesto o il rendimento ottimale non corrisponda affatto alla portata attuale (come nel caso 2' della figura), il cambio di velocità non risolverà questo problema. Una nuova pompa ridimensionata al nuovo punto di funzionamento (3) può essere una valida opzione. La



portata e la pressione sono minime mentre il rendimento è massimizzato. Questa è la seconda variante di misurazione standard.



**Figura 1** Esempio di ottimizzazione della portata in un diagramma  $\Delta p - Q$  (in alto) e  $\eta - Q$  (in basso)

Il consumo elettrico della pompa attuale è calcolato in base alla misurazione della potenza elettrica assorbita  $\dot{E}_{alt}$  dal sistema:

$$E_{alt} = \dot{E}_{alt} \cdot t$$

$t$	ore annuali di funzionamento in h/a
$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a
$\dot{E}_x$	potenza elettrica assorbita media annua in kW

Il consumo elettrico dopo il risanamento è calcolato sulla base della portata effettivamente necessaria  $Q_{neu}$  e delle perdite supplementari a seconda dell'opzione di risanamento scelta:

$$E_{neu} = \frac{\Delta p_{neu} \cdot Q_{neu} \cdot t}{\eta_{P,neu} \cdot \eta_{M,neu} \cdot \eta_{CF,neu}}$$

$t$	ore annuali di funzionamento in h/a
$Q_{neu}$	nuova portata necessaria in m <sup>3</sup> /h
$\Delta p_{neu}$	nuovo differenziale di pressione ai morsetti della pompa in kPa
$\eta_{P,x}$	rendimento nominale della pompa
$\eta_{M,x}$	rendimento nominale del motore
$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$E_x$	consumo annuo di elettricità in kWh/a

Il tasso medio di carico del motore è espresso in funzione della potenza nominale (all'albero) e della potenza idraulica necessaria.



$$\tau_{neu} = \frac{\Delta p_{neu} \cdot Q_{neu}}{\eta_{P,neu}} \cdot \frac{1}{P_{m,nom,neu}}$$

$P_{m,nom}$	potenza nominale del motore in kW
$Q_{neu}$	nuova portata necessaria in m <sup>3</sup> /h
$\Delta p_{neu}$	nuovo differenziale di pressione ai morsetti della pompa in kPa
$\eta_{P,neu}$	rendimento nominale della pompa
$\tau_{neu}$	nuovo tasso di carico medio annuo

Le perdite supplementari generate da un variatore di velocità  $\eta_{CF,x}$  possono essere espresse in funzione della potenza nominale del motore (all'albero) come segue [4]:

$$\eta_{CF,x} = 0.79 + 0.22 \cdot \left( 1 - \frac{1}{\log_{10}(40 \cdot P_{m,nom,x})} \right)$$

$\eta_{CF,x}$	rendimento del variatore di velocità
$\tau_x$	tasso di carico medio annuo
$P_{m,nom,x}$	potenza meccanica nominale (all'albero) in kW

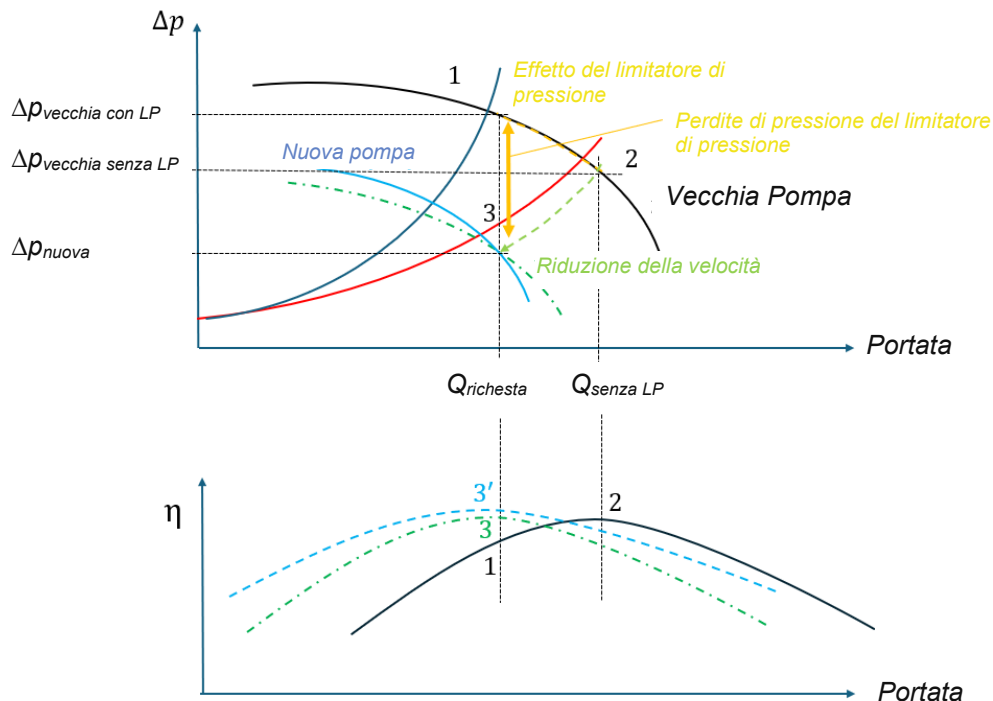
#### B. Ottimizzazione con correzione della pressione

Analizzando un sistema di pompaggio, si notano talvolta degli elementi specifici nel circuito idraulico che servono a limitare la pressione (tipicamente un diaframma). Senza tali elementi, la pressione generata dalla pompa risulta superiore a quella necessaria. Ciò si traduce in portate troppo elevate, pressioni eccessive per gli utenti ecc. Il «limitatore di pressione» del circuito consente dunque di ridurre la portata e la pressione per alcuni utenti. Questi elementi specifici non vanno confusi con le valvole di bilanciamento, spesso necessarie su circuiti con diverse derivazioni in parallelo. Tali «limitatori di pressione» costituiscono un modo semplice ma poco efficace di risolvere il problema.

Il caso standard illustrato nella figura 2 qui di seguito consiste nella scelta di una soluzione migliore sulla base di una serie di parametri. Occorre prima valutare se il rendimento della pompa sia migliore senza o con il limitatore di pressione (cfr. figura di seguito). Se il rendimento è scarso nel punto di funzionamento senza limitatore di pressione, la soluzione di rimuovere l'elemento e ridurre la velocità<sup>1</sup> non sarà molto efficace (il rendimento della pompa rimarrà scarso e la velocità ridotta comprometterà il rendimento del motore e del convertitore). In questo caso, ridimensionare la pompa per il punto di funzionamento desiderato sarebbe una soluzione di gran lunga migliore.

Se il punto di funzionamento senza limitatore di pressione è vicino al rendimento ottimale della pompa, l'alternativa di integrare un convertitore di frequenza può essere sensata. Si tratta quindi di determinare il rendimento effettivo del motore e del convertitore tenendo conto della velocità ridotta.

<sup>1</sup> Con l'aggiunta di un convertitore di frequenza



Per selezionare la variante di ottimizzazione migliore, è necessario conoscere il punto di funzionamento senza il «limitatore di pressione». Una particolare difficoltà risiede nel fatto che non si può semplicemente rimuovere l'elemento per trovare tale punto di funzionamento. Tuttavia, con il limitatore di pressione si conosce la portata e, dalle caratteristiche dell'elemento, è possibile determinare la perdita di carico ad esso associata. Si può quindi determinare graficamente il punto 3 e poi il punto 2. I risparmi cumulati sono calcolati in modo analogo all'ottimizzazione dall'inizio al punto A.

*In generale*

- Anno di costruzione del motore (*scelta multipla*)
- Potenza meccanica nominale (all'albero) del motore in kW (*numero*)
- Numero di poli del motore (*selezione multipla*)
- Ore annuali di funzionamento in h/a (*numero intero*)
- Tipo di pompa (*selezione multipla*)
- Portata nominale in m<sup>3</sup>/h (*numero intero*)
- Differenziale di pressione nominale in kPa (*numero intero*)

- Potenza elettrica media assorbita (*numero*)
- Portata necessaria nella rete idraulica in m<sup>3</sup>/h (*numero*)
- Differenziale di pressione statica della rete idraulica in kPa (*numero intero*)
- Differenziale di pressione al nuovo punto di funzionamento in kPa (*numero intero*)
- Rendimento della nuova pompa e del nuovo motore (*numero decimale*)
- Portata nominale della nuova pompa (*numero intero*)
- Differenziale di pressione statica e nominale della nuova pompa (*numero intero*)

*In generale*



- i. Per le pompe azionate da un motore di potenza nominale (all'albero) inferiore a 20 kW, la durata standard dell'effetto  $N_s$  è di 15 anni. Per i motori di potenza nominale pari o superiore a 20 kW, la durata standard dell'effetto è di 25 anni.
- ii. Il numero di ore di funzionamento della pompa rimane invariato  $t_{neu} = t_{alt}$ .
- iii. Le pompe sono collegate direttamente ai motori, senza sistemi di trasmissione intermedi.
- iv. Il rendimento della pompa attuale soddisfa i requisiti minimi secondo il regolamento europeo 547/2012 con un valore MEI di 0,4 [2].
- v. Il rendimento dei motori soddisfa i requisiti minimi secondo la classe di efficienza IE del regolamento europeo 2019/1781 [1]. La classe di efficienza del motore vecchio è determinata in base all'anno di costruzione dell'apparecchio, secondo la tabella 1.

**Tabella 1** Classe di efficienza secondo l'anno di costruzione [4]

Anno di costruzione	Classe
<1999	IE1
1999–2008	IE2
2008–2016	IE3
≥ 2016	IE4

#### *Senza analisi del fabbisogno*

- vi. La potenza idraulica richiesta rimane invariata dopo la sostituzione della pompa e del motore  $P_{h,neu} = P_{h,alt}$ .

#### *Con analisi del fabbisogno*

- vii. I parametri del nuovo regime della pompa (portata, differenziale di pressione o prevalenza e rendimento) sono ricavati graficamente dalle caratteristiche della pompa vecchia/nuova e dalla curva di perdita di carico della rete (cfr. figura 1). In alternativa, è possibile utilizzare un software di dimensionamento del fornitore. In caso di ottimizzazione della pressione necessaria, la portata dopo il risanamento è pari alla portata attuale  $Q_{neu} = Q_{alt}$  (cfr. figura 2).

## **7 Risultati**

Tenuto conto delle ipotesi e dei dati sopra riportati, il risparmio energetico computabile è determinato in base alle variabili di ingresso succitate avvalendosi della lista di monitoraggio PU-01a.

## **8 Esempio**

Scenario A: sostituzione di due sistemi di pompe (ESOB, a uno stadio) con portata costante di 400 m<sup>3</sup>/h per una prevalenza di 15 m funzionanti 18 ore al giorno. I motori di trasmissione a 4 poli hanno una potenza nominale di 22.5 kW e risalgono al 2002. Non si dispone di alcuna misura del profilo di carico o del consumo elettrico. Le nuove pompe e i nuovi motori hanno un rendimento rispettivamente dell' 88.1 % e del 98.9 %.

Modello	Durata di esercizio	Risparmio di elettricità computabile	
	[h/a]	[MWh/unità]	[MWh]
Senza profilo di consumo	6'570	360.4	720.8
<b>Totale</b>			<b>720.8</b>





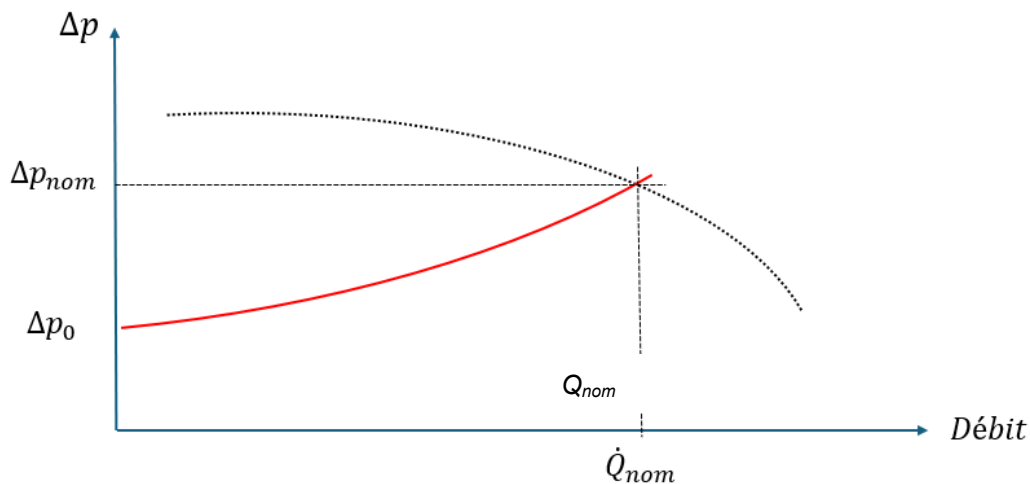
## 9 Fonti

- [1] Commissione europea, *Regolamento (UE) 2019/1718 della Commissione del 1° ottobre 2019 che stabilisce specifiche per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici e dei variatori di velocità in applicazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio recante modifica del regolamento (CE) n. 641/2009 della Commissione per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile dei circolatori senza premistoppa indipendenti e dei circolatori senza premistoppa integrati in prodotti e abroga il regolamento (CE) n. 640/2009 della Commissione*, Bruxelles, 2019.
- [2] Commissione europea, *Regolamento (UE) n. 547/2012 della Commissione del 25 giugno 2012 recante modalità di applicazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile delle pompe per acqua*, Bruxelles, 2012.
- [3] C. Burt, X. Piao, F. Gaudi, B. Busch, and N. Taufik, *Electric Motor Efficiency under Variable Frequencies and Loads*, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 134 (2), pagg. 129–136, aprile 2008.
- [4] *Remplacement d'un entraînement électrique*, Programma PEIK, Berna, 2019.
- [5] *Remplacement d'une pompe à moteur ventilé*, Programma PEIK, Berna, 2019.



### Allegato I Caratteristica della curva di perdita di carico della rete

L'equazione della perdita di carico in un circuito idraulico in funzione della portata segue una legge quadratica [5].



Per tracciare la caratteristica della rete idraulica con una prevalenza statica, i tre parametri sono la portata nominale  $Q_{nom}$ , il differenziale di pressione corrispondente alla prevalenza statica  $\Delta p_0$  (ossia il punto iniziale della caratteristica della rete a portata zero) e il differenziale di pressione alla portata nominale  $\Delta p_{nom}$  (questa grandezza è indicata ad esempio sulla pompa). L'equazione della curva di perdita di carico della rete è quindi la seguente:

$$\Delta p = a_k \cdot Q^2 + c_k$$

con i coefficienti  $a_k$  e  $c_k$  :

$$a_k = \frac{\Delta p_{nom} - \Delta p_0}{Q_{nom}^2} \qquad c_k = \Delta p_0$$



## Allegato II Caratteristica della pompa a velocità nominale

In questo modello di calcolo, la caratteristica della pompa (evoluzione della differenza di pressione all'interno della pompa in funzione della portata) è stata approssimata da una parabola inversa il cui massimo ha luogo a portata zero [5]. Di seguito è riportata la caratteristica alla velocità nominale e, a titolo esemplificativo, al 75% della velocità (adattata per analogia).

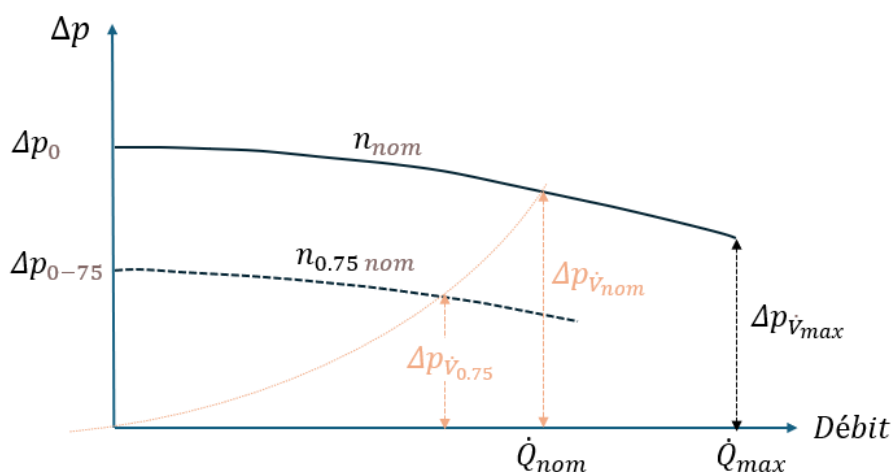
Per tracciare la caratteristica della pompa a velocità nominale, sono necessari due punti di questa curva. A seconda che si disponga della caratteristica con il differenziale di pressione a portata zero e il differenziale di pressione a portata massima (il punto più a destra della caratteristica), si possono utilizzare entrambi i punti. Se si dispone della portata nominale, si possono usare le coordinate di questo punto oltre al punto di portata zero. Le equazioni seguenti corrispondono a questa situazione. I tre parametri utilizzati sono quindi la portata nominale  $Q_{nom}$ , il differenziale di pressione a portata zero  $\Delta p_0$  e il differenziale di pressione a portata nominale  $\Delta p_{nom}$  (questa grandezza è indicata ad esempio sulla pompa). L'equazione della caratteristica della pompa è quindi la seguente:

$$\Delta p = a_p \cdot Q^2 + c_p$$

con i coefficienti  $a_p$  e  $c_p$  :

$$a_p = \frac{\Delta p_{nom} - \Delta p_0}{Q_{nom}^2}$$

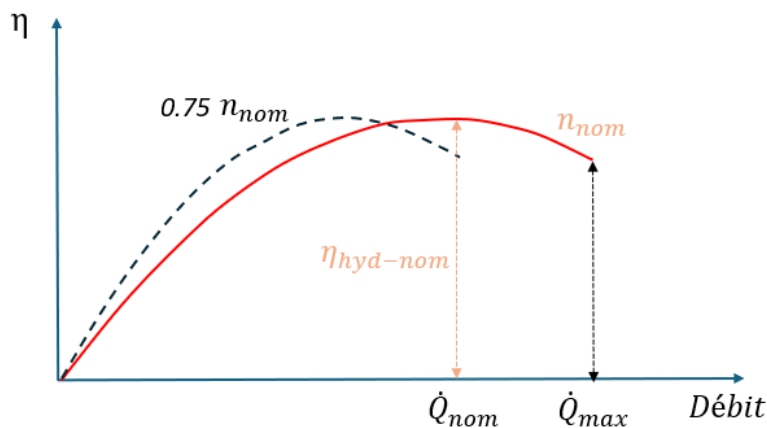
$$c_p = \Delta p_0$$





### Allegato III Caratteristica rendimento – portata della pompa

In questo modello di calcolo, l'evoluzione del rendimento idraulico della pompa in funzione della portata è stata approssimata da una parabola inversa la cui portata massima corrisponde alla portata massima consentita per la pompa. Il punto di funzionamento nominale (rendimento massimo) è spesso vicino al 75% di tale portata massima. La parabola passa da 0 a portata zero. Di seguito è rappresentato il rendimento per la velocità nominale e per una velocità pari al 75% della velocità nominale.



I tre parametri,  $Q_{max}$  portata massima della pompa,  $\eta_{P,nom}$  rendimento idraulico nominale della pompa e  $f_{nom}$  frazione della portata massima della pompa corrispondente al rendimento idraulico massimo consentono di definire l'equazione della caratteristica di rendimento a velocità nominale:

$$\eta_{P,nom} = a_{\eta} \cdot Q^2 + b_{\eta} \cdot Q$$

con i coefficienti  $a_{\eta}$  e  $b_{\eta}$

$$a_{\eta} = - \frac{\eta_{P,nom}}{\left( \frac{f_{nom}}{100} \cdot Q_{max} \right)^2}$$

$$b_{\eta} = - \frac{2 \cdot \eta_{P,nom}}{\frac{f_{nom}}{100} \cdot Q_{max}}$$