

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI

*FEDERICO II*

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

Classe delle Lauree Specialistiche in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

N° 38/S

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,

GEOTECNICA ED AMBIENTALE

LA PROGETTAZIONE ECOCOMPATIBILE DELLE POMPE PER ACQUA

SECONDO LA DIRETTIVA 2009/125/EC

Relatori

Prof. Ing. Armando CARRAVETTA

Dott. Ing. Oreste FECAROTTA

Correlatori

Prof. Ing. Riccardo MARTINO

Ing. Lauro ANTIPODI

Candidato

Pasquale SORRENTINO

Matricola 324/144

Anno Accademico 2010 – 2011

Ai prodotti legati all'utilizzo energetico è attribuibile una aliquota significativa dei consumi di risorse naturali e di energia; il loro utilizzo e funzionamento genera forti impatti ambientali. Con opportune politiche di miglioramento dell'efficienza è possibile, per la maggior parte dei prodotti disponibili sul mercato, conservare le prestazioni riducendo consumi ed impatti ambientali. Nell'interesse dello sviluppo sostenibile, dovrebbe essere incoraggiata la realizzazione e commercializzazione di tali prodotti.

Queste considerazioni hanno spinto la Comunità Europea a legiferare in materia di progettazione ecocompatibile.

La Direttiva quadro Energy related Products, (ErP) 2009/125/CE, riguarda tutti i prodotti che consumano energia e quei prodotti che influiscono sulle prestazioni energetiche e il cui valore aggiunto può contribuire significativamente al risparmio energetico. La direttiva individua le categorie di prodotti interessate e indica per essi la stesura di normative complementari volte al miglioramento dei prodotti indicando requisiti generici e specifici allo scopo di migliorare le prestazioni dei prodotti (artt.15, 16)

È in attesa di emanazione il regolamento "Water pumps". Con questo regolamento la Commissione Europea individua le pompe rotodinamiche per acqua come Energy related Product.

- definisce e classifica i tipi di pompe che rientrano come ErP nell'obiettivo della direttiva 2009/125/EC (artt. 1, 2);
- definisce un indice di rendimento minimo (Minimum Efficiency Index MEI) quale parametro adimensionale (compreso tra 0 e 1) che consente la valutazione di differenti tipologie e taglie di pompe confrontandole su una stessa base;
- stabilisce un calendario per la messa sul mercato delle pompe che rispettano particolari requisiti (art. 3).

Con il documento M/498 EN del 21 ottobre 2011 la Commissione Europea da mandato Comitato Europeo di Normalizzazione (CEN) di produrre un testo tecnico in materia di pompe. Il testo CEN/TC 197 N° 464 in materia di pompe rotodinamiche per acqua.

Nel corso del tirocinio tramite un periodo di permanenza alla Caprari S.P.A. si è approfondito lo studio delle procedure di qualifica e verifica dei prodotti derivanti dalla direttiva 2009/125 CE, dal regolamento "Water pumps" e dal testo tecnico CEN/TC 197 N° 464.

Poiché i rendimenti medi delle pompe, così come i valori del MEI vengono valutati a partire dai test prestazionali condotti sulle macchine, essi sono soggetti ad errori dovuti:

- alle imperfezioni dovute al processo di fabbricazione delle pompe ;
- agli errori casuali e sistematici dovuti alla misurazione.

Per tale motivo la normativa indica degli intervalli di confidenza per le l'efficienza delle macchine e delle tolleranze per il MEI ed impone che il confronto sia effettuato tenendo conto dei rispettivi errori per i due rendimenti.

#### Attribuzione del MEI in fase di Qualifica

La norma consente che la valutazione del MEI venga condotta secondo due modalità:

1. le curve di prestazione vengono tracciate a partire da test prestazionali condotti su un singolo esemplare di pompa estratto a caso dalla produzione, applicando un intervallo di confidenza  $e_1$ ;
2. le curve di prestazione vengono tracciate a partire da test prestazionali condotti su un campione costituito da  $M \geq 5$  esemplari di pompe estratti a caso dalla produzione, applicando un intervallo di confidenza  $e_2 < e_1$

#### Attribuzione del MEI in fase di verifica

La valutazione del MEI viene condotta su un esemplare di pompa confrontando la curva di prestazione stavolta non tenendo conto dell'intervallo di confidenza. Da questo punto di vista la verifica risulta meno gravosa rispetto alla qualifica.

In sede di qualifica il costruttore è tenuto a fornire una documentazione tecnica che riporti le procedure e le valutazioni effettuate per la dichiarazione del MEI relativamente ai propri prodotti.

In sede di verifica da parte di una istituzione indipendente, viene esaminata la documentazione fornita dal costruttore, se ritenuta valida, viene confermata la dichiarazione del costruttore; in caso di rifiuto si passa alla indagine diretta sulle pompe attraverso i test prestazionali.

La procedura segue il flusso logico riportato in figura 1.

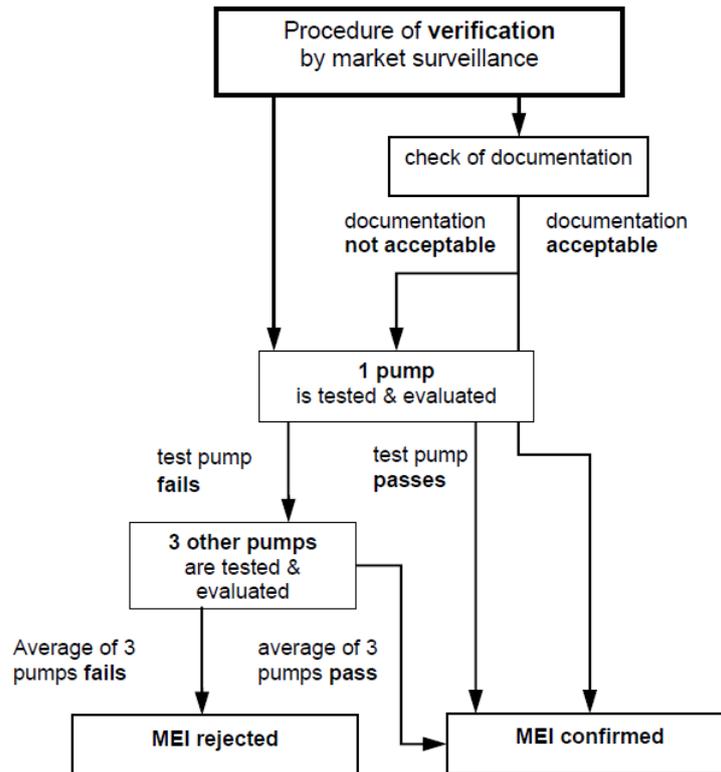


Figura 1

### Valutazione del MEI

Considerando la grande variabilità delle soluzioni tecnologiche e delle componenti idrauliche impiegate nella realizzazione delle pompe rotodinamiche, è possibile operare una loro differenziazione secondo le seguenti categorie:

- Tipologia, nel caso in cui è differente la soluzione tecnologica adottata;
- Serie, nel caso in cui, all'interno della stessa tipologia è vi è una differenza delle componenti idrauliche;
- Taglia, nel caso in cui, all'interno della stessa serie sono differenti le dimensioni geometriche della macchina.

Una pompa è caratterizzata dalle curve di prestazione che mostrano come variano la prevalenza  $H$  ed il rendimento  $\eta$  con la portata  $Q$  (figura 2). Individuato il punto di lavoro a rendimento massimo detto Best Efficiency Point (BEP) tali grandezze caratterizza no la pompa.

$$(\eta_{BEP}) ; (Q_{BEP}) ; (H_{BEP})$$

Nota la velocità di rotazione  $n$ , da tali grandezze viene calcolato il numero di giri specifico  $n_s$  della pompa mediante la relazione

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q_{BEP}}}{H_{BEP}^{3/4}}$$

Tale parametro individua anche, in fase di progetto, la geometria delle parti idrauliche che differenzia una taglia di pompe da un'altra all'interno della stessa serie.

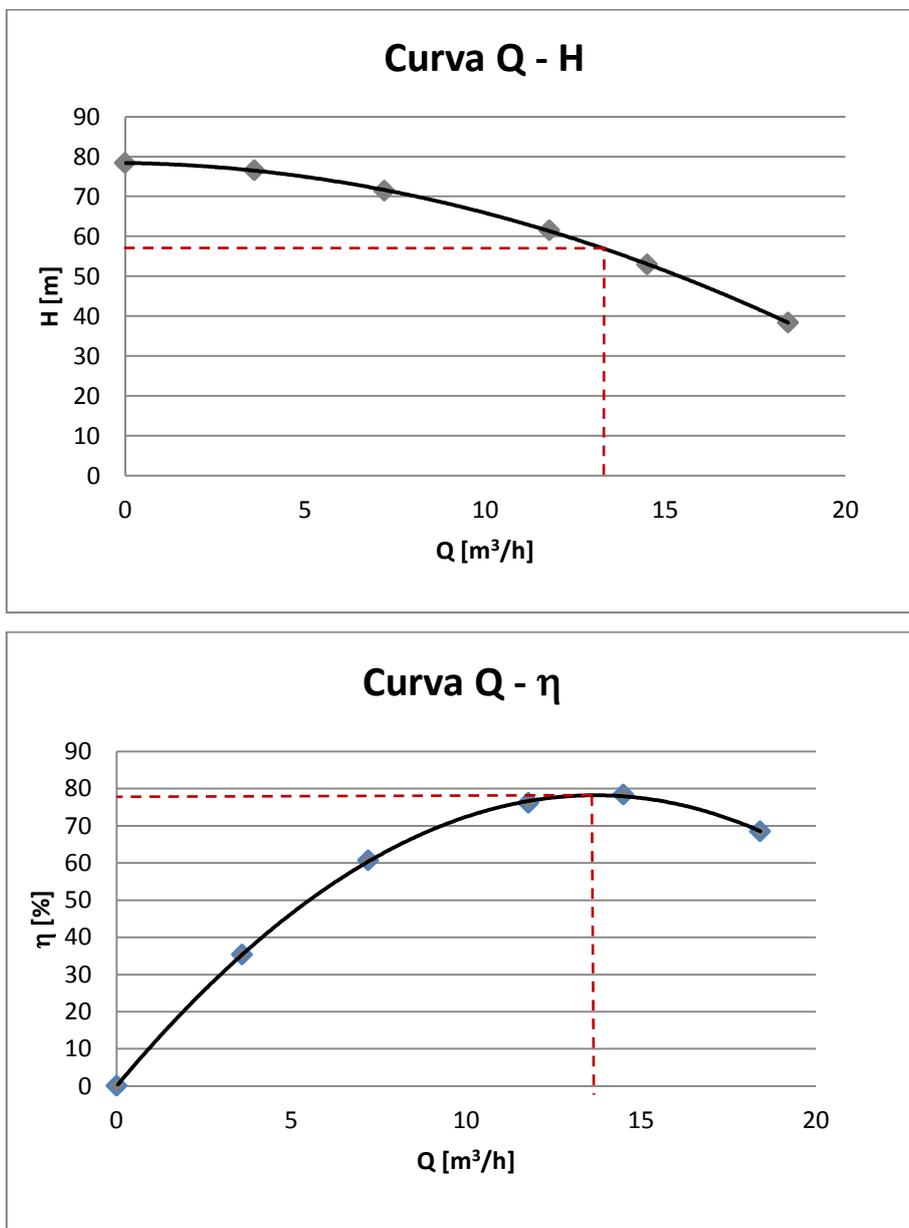


Figura 2

Uno studio condotto dalla Università di Damstadt, ha raccolto, per ciascun tipo, serie e taglia di pompa presenti sul mercato europeo, il valore delle grandezze:

$$(\eta_{BEP}) ; (Q_{BEP}) ; n_s = n \frac{\sqrt{Q_{BEP}}}{H_{BEP}^{3/4}} ;$$

i dati sono stati forniti dai costruttori europei. Diagrammando in uno spazio tridimensionale (figura 3) tali terne di valori si è ottenuta una nube di punti che è stata approssimata da una superficie matematica del tipo:

$$\eta_{BEP} = f(n_s, Q_{BEP})$$

La cui espressione matematica ricavata è la seguente:

$$\eta_{BEP} = -11,48x^2 - 0,85y^2 - 0,38xy + 88,59x + 13,46y - C$$

Dove:

- $\eta_{BEP}$  espresso in percentuale [%]
- $x = \ln n_s$  espresso in [ $\text{min}^{-1}$ ] ( $x$  è il logaritmo naturale di  $n_s$ )
- $y = \ln Q_{BEP}$  espresso in [ $\text{m}^3/\text{h}$ ] ( $y$  è il logaritmo naturale di  $Q_{BEP}$ )
- $C$  costante espressa in [%] che dipende dal Minimum Efficiency Index (MEI)

Il campo di validità matematico di questa equazione è:

$$6 \text{ min}^{-1} \leq n_s \leq 120 \text{ min}^{-1}$$

$$2 \text{ m}^3/\text{h} \leq Q_{BEP} \leq 1000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Il campo di validità fisico di questa equazione è:

$$\eta_{BEP} \leq 88 \%$$

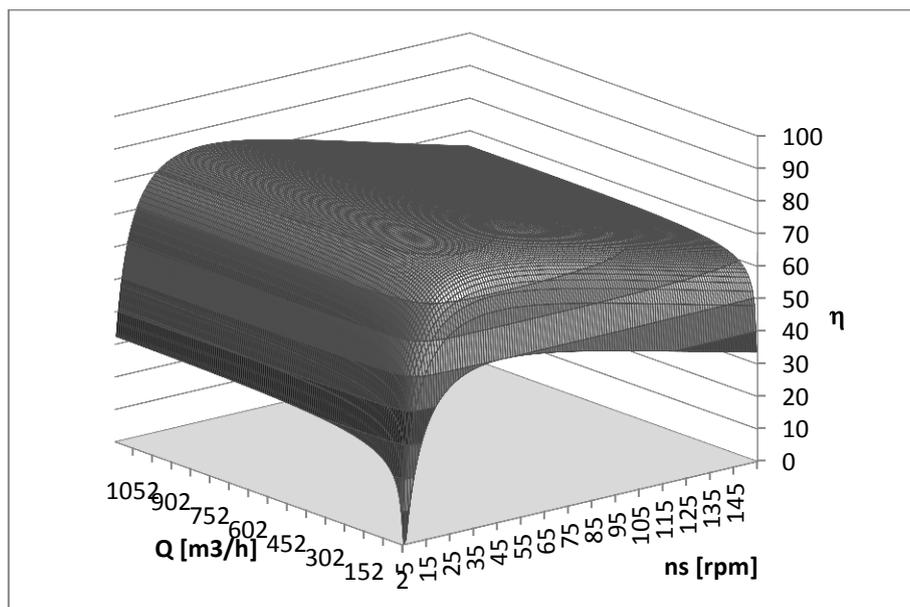


Figura 3

Al variare del parametro  $C$  la superficie trasla verticalmente, le pompe nel mercato risultano suddivise in due gruppi localizzati parte al di sopra, parte al di sotto della superficie. Al valore di  $C$  viene, quindi, associato un valore di MEI che rappresenta la percentuale di pompe presenti sul mercato che si trovano al disotto della superficie di approssimazione. Vale a dire ad esempio che se una taglia pompa viene qualificata con  $MEI = 0,4$  significa che il suo rendimento è tale da superare i rendimenti del 40% delle pompe con le stesse caratteristiche presenti sul mercato europeo.

L'attribuzione del valore di MEI avviene confrontando la curva di prestazione della pompa da valutare con i valori di rendimento di riferimento calcolati mediante espressione della superficie di approssimazione, cui corrispondono i diversi valori di MEI.

Quindi la qualifica di una taglia di pompe secondo il criterio del minimo rendimento richiesto è basata sul cosiddetto concetto di "tetto di rendimento" che si può formalizzare come segue:

Minimo rendimento richiesto al punto di massimo rendimento (Best Efficiency Point).

$$(\eta_{BEP})_{mean} \geq (\eta_{BEP})_{min,req}$$

Minimo rendimento richiesto a particolari punti di lavoro della pompa: *part load* (PL) e *overload* (OL).

$$(\eta_{PL})_{mean} \geq (\eta_{PL})_{min,req}$$

$$(\eta_{OL})_{mean} \geq (\eta_{OL})_{min,req}$$

I punti di lavoro ritenuti rappresentativi per il rendimento al *part load* ed all'*overload* sono fissati dalla normativa a:

$$Q_{PL} = 0,75 \cdot Q_{BEP}$$

$$Q_{OL} = 1,10 \cdot Q_{BEP}$$

In quanto si ritiene che una, pompa nel corso della sua vita utile, non lavori esattamente al punto di migliore efficienza ma in un suo intorno.

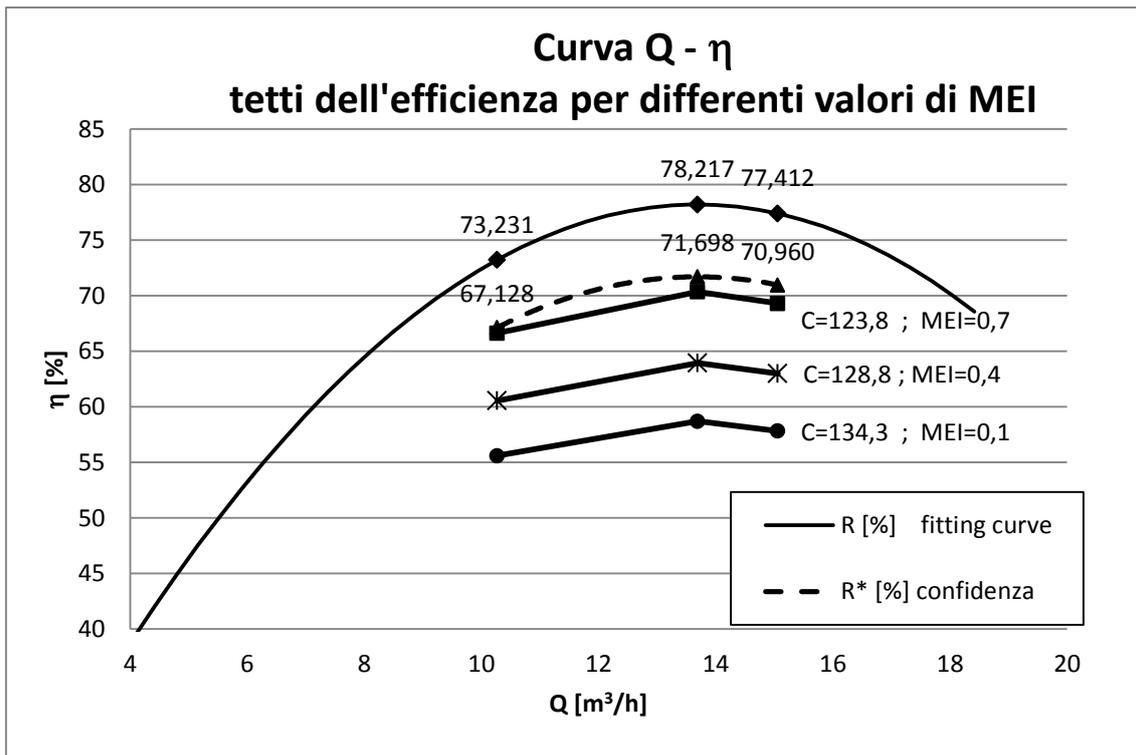


Figura 4

In figura 4 sono riportati la curva media di rendimento relativa alla pompa, ed il relativo intervallo di confidenza valutato ai punti di lavoro BEP, Part Load ed Over Load. Sono inoltre riportati i tetti del rendimento per diversi valori del MEI al variare del parametro C. si osserva che la pompa riportata ad esempio si attesta ad un valore di MEI = 0,7.

Nell'ambito della tesi si è proceduto alla raccolta e analisi dei dati provenienti dalle prove prestazionali. Le procedure di qualifica e verifica descritte nel testo tecnico CEN/TC 197 N° 464 sono state assimilate e sviluppate mediante la realizzazione di un algoritmo di calcolo che restituisce il valore di MEI una volta assegnate, come dati di input, le misure di portata e le corrispondenti misure di prevalenza e rendimento ottenute dai test sulle macchine. In modo si è ottenuto uno strumento di rapida valutazione dei prodotti. Tale strumento ha consentito l'applicazione della procedura di qualifica e verifica a numerose macchine prodotte dalla Caprari S.P.A. di cui l'azienda ha messo a disposizione i dati.