

Il miglioramento dell'efficienza energetica:  
il benessere dell'azienda e del Pianeta Terra

**"Azionamenti a velocità variabile per  
il risparmio energetico"**

Prof. Domenico Casadei  
Dipartimento di  
Ingegneria Elettrica-DIE  
Alma Mater Studiorum  
Università di Bologna



Aula Magna – Facoltà di Ingegneria, 26 ottobre 2009



**Azionamenti a velocità variabile**

- Consumi di energia elettrica nell'industria
- Potenziali risparmi di energia con:
  - Motori ad alta efficienza
  - Azionamenti a velocità variabile - VSD



**Azionamenti a velocità variabile**

**BILANCIO DELL'ENERGIA ELETTRICA – ITALIA**  
Dati in milioni di KWh (GWh) - PERIODO: 2001 - 2007  
Operatori del mercato elettrico - Produzione lorda

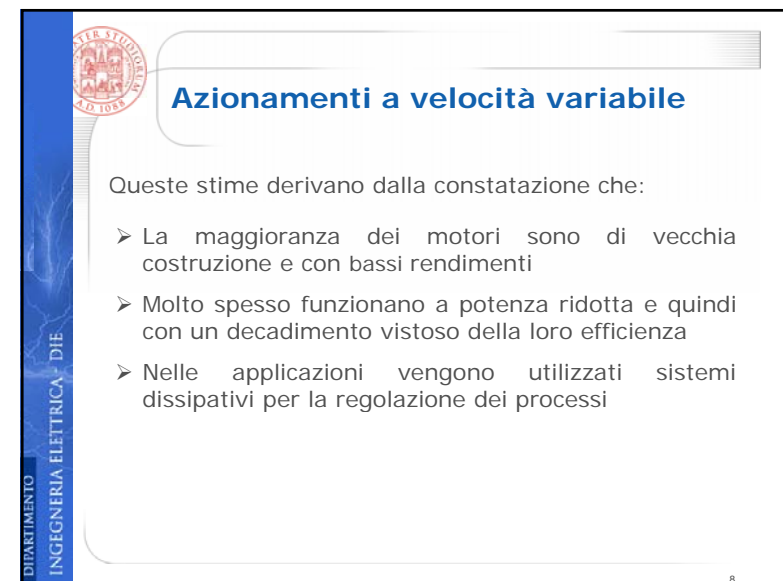
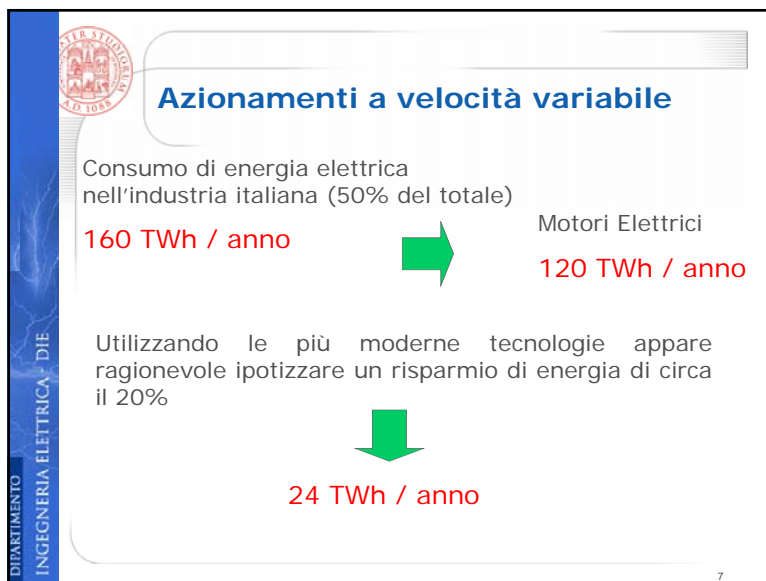
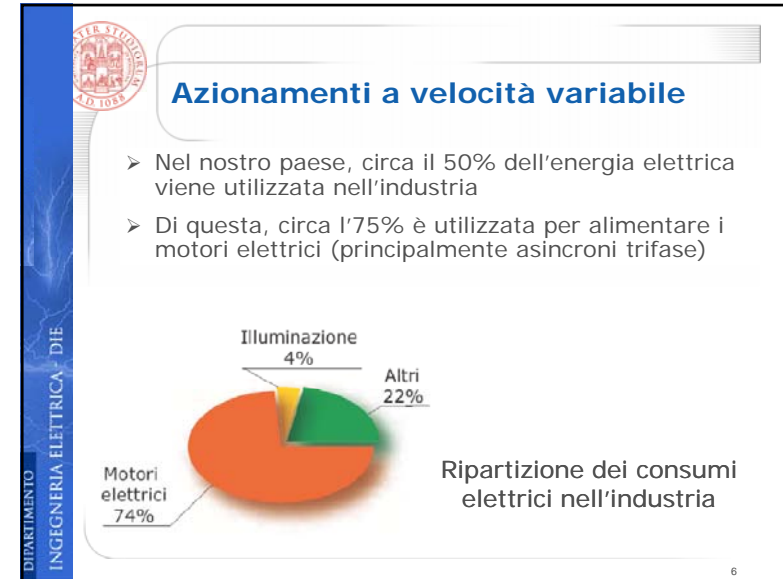
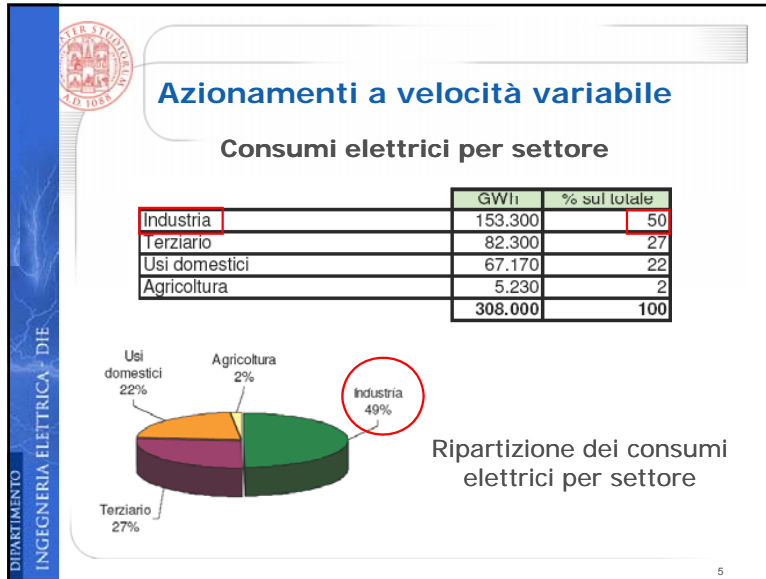
Anni	Idro-elettrica	Termo-elettrica tradizionale	Geotermo-elettrica	Eolica e fotovoltaica	Totale	Energia richiesta
2001	52.243,9	200.630,3	4.506,6	1.183,4	258.564,2	288.083,1
2002	45.799,8	212.280,6	4.662,3	1.408,3	264.151,1	294.708,6
2003	43.186,1	224.351,6	5.340,5	1.463,5	274.341,7	306.221,3
2004	48.915,8	228.081,3	5.437,3	1.847,9	284.282,3	310.508,3
2005	42.127,9	234.085,2	5.324,5	2.344,6	283.882,2	315.410,4
2006	42.565,8	244.670,4	5.527,4	2.970,2	295.733,7	322.890,6
2007	37.777,7	247.350,5	5.569,1	4.072,9	294.770,1	325.618,4



**Azionamenti a velocità variabile**

**BILANCIO DELL'ENERGIA ELETTRICA - EMILIA-ROMAGNA**  
Dati in milioni di KWh (GWh) - PERIODO: 2001 – 2007  
Operatori del mercato elettrico - Produzione lorda

Anni	Idro-elettrica	Termo-elettrica tradizionale	Geotermo-elettrica	Eolica e fotovoltaica	Totale	Energia richiesta
2001	1.394,7	8.631,8	0,0	4,5	10.031,1	23.758,5
2002	1.374,0	11.955,2	0,0	1,4	13.330,6	24.743,8
2003	1.248,0	21.725,8	0,0	3,2	22.977,0	26.096,7
2004	1.357,0	23.833,0	0,0	3,7	25.193,8	26.601,6
2005	1.182,8	22.351,5	0,0	2,2	23.536,5	27.294,3
2006	1.139,4	22.653,4	0,0	3,0	23.795,7	28.031,5
2007	1.150,0	24.302,3	0,0	7,4	25.459,8	28.244,4



**Azionamenti a velocità variabile**

Miglioramenti significativi dell'efficienza si possono ottenere:

1. Aumentando l'efficienza del motore
2. Migliorando l'efficienza dei sistemi azionati dai motori

Motore ad alta efficienza

Convertitori di frequenza - Inverter

9

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

Perdite nel ferro (18-20 %)

Perdite nel rame dello statore (30-36%)

Perdite per attrito e ventilazione (10-12%)

Perdite nel rotore (20-26%)

Perdite addizionali a pieno carico (12-14%)

10

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

Perdite nel ferro dello statore

Migliore qualità lamierini  
Lamierini più sottili  
Pacchi più lunghi  
Minore traferro

8050 lamierini standard

5350, 3150 lamierini standard a basse perdite

5350H, 8050H "premium steel"

11

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

Perdite nel rame dello statore

Ottimizzazione forma delle cave statoriche  
Aumento del volume del rame nello statore

12


**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

↓ Perdite nel rotore

- Maggiore sezione delle barre e degli anelli di cortocircuito
- Ottimizzazione forma delle cave rotoriche
- Rotori in rame

Riduzione delle perdite rispetto alluminio 15% - 30%



DIPARTIMENTO INGEGNERIA ELETTRICA - DIE

13

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

↓ Perdite per attrito e ventilazione

- Ventole più piccole
- Migliori cuscinetti
- Bilanciamento rotore

DIPARTIMENTO INGEGNERIA ELETTRICA - DIE

14

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

La riduzione delle perdite in un motore comporta in generale, oltre al vantaggio del risparmio energetico, anche una riduzione delle sovratemperatura e quindi:

- un aumento della vita degli isolanti (a parità del sistema di isolamento) e del grasso di lubrificazione
- la possibilità di ridurre la ventilazione e la rumorosità ad essa collegata

DIPARTIMENTO INGEGNERIA ELETTRICA - DIE

15

**Azionamenti a velocità variabile**

**Efficienza di un motore asincrono**

L'aumento del rendimento di un motore comporta inevitabilmente un aumento delle parti attive (lamierini magnetici, rame, alluminio) e quindi anche maggiori costi.

Il costo totale (acquisto, manutenzione e consumi) legato al ciclo di vita di un motore asincrono è composto:

- 98% costo del consumo d'energia elettrica,
- 2% costo iniziale e manutenzione.

Si deve quindi prestare particolare attenzione al rendimento del motore piuttosto che concentrarsi prevalentemente sull'incidenza dei costi d'acquisto.

DIPARTIMENTO INGEGNERIA ELETTRICA - DIE

16

**Azionamenti a velocità variabile**

Efficienza dei sistemi azionati da motori elettrici


↓

Può essere notevolmente migliorata impiegando azionamenti elettrici a velocità variabile ....

La velocità può esser variata tramite dispositivi ad alto rendimento

↓

**Inverter**



17

**Azionamenti a velocità variabile**

Efficienza dei sistemi azionati da motori elettrici

L'impiego degli inverter consente di:

- ridurre le perdite nei motori
- aumentare l'efficienza nei processi di regolazione


18

**Azionamenti a velocità variabile**

3 AC, 400 V, 50 Hz

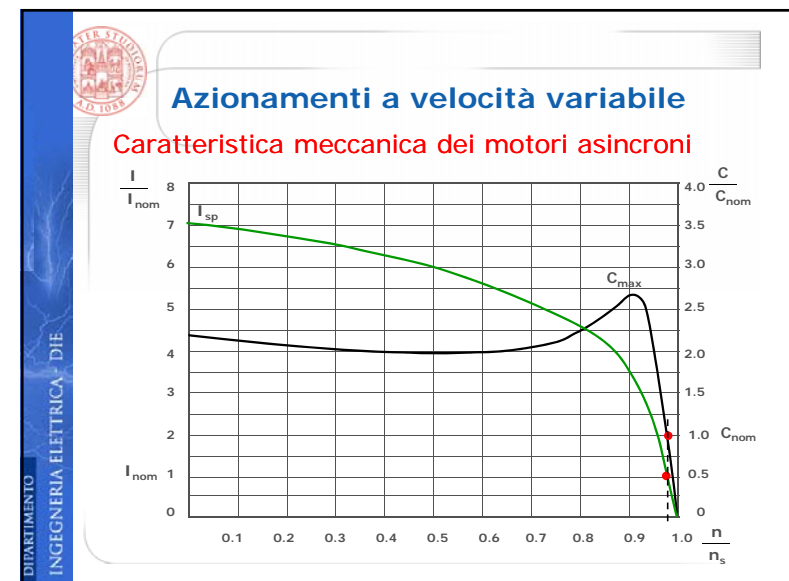
**Inverter**

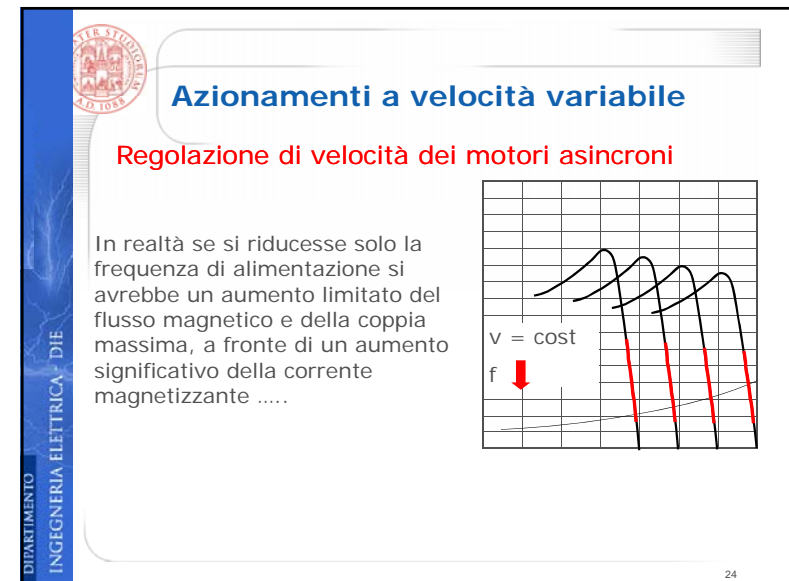
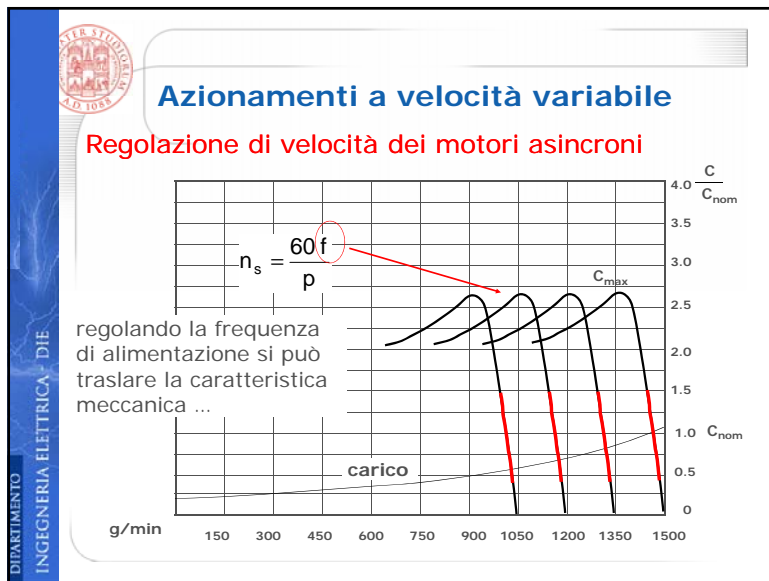
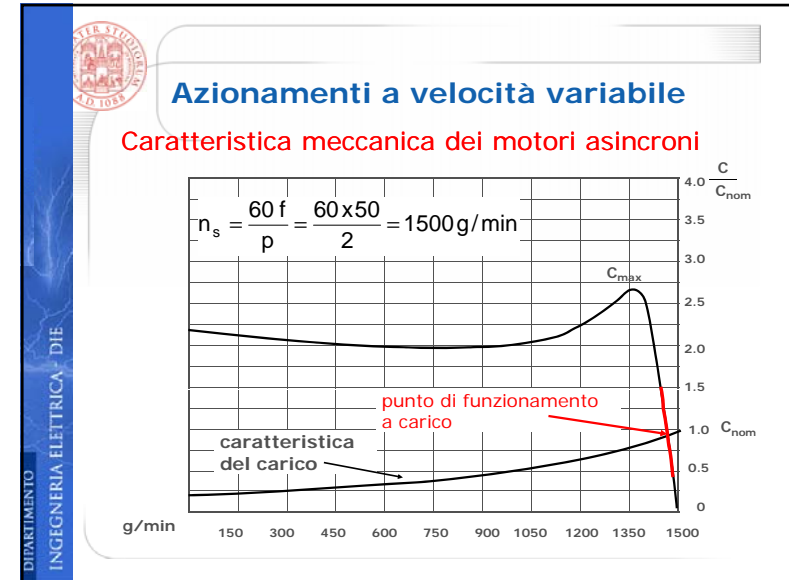
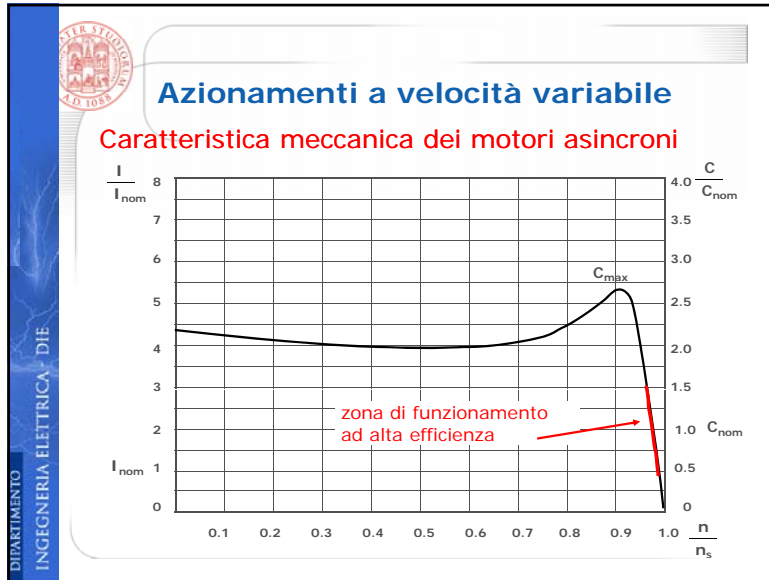
**velocità variabile**



**Sistema di regolazione della velocità ad alta efficienza**

19





**Azionamenti a velocità variabile**

**Regolazione di velocità dei motori asincroni**

Per traslare le caratteristiche parallelamente a sé stesse non è sufficiente regolare sola la frequenza di alimentazione, ma si deve cambiare anche l'ampiezza della tensione di alimentazione ...

**v**

**f**

**Azionamenti a velocità variabile**

**Regolazione di velocità dei motori asincroni**

Avviando il motore a bassa frequenza si ottiene una notevole riduzione della corrente di spunto .....

**Azionamenti a velocità variabile**

**Regolazione di velocità dei motori asincroni**

Durante le fermate se si riduce progressivamente la frequenza di alimentazione si possono effettuare frenature a recupero di energia.....

**Azionamenti a velocità variabile**

**Regolazione di velocità dei motori asincroni**

Per generare un sistema trifase di tensioni regolabili in ampiezza e frequenza occorre un inverter

3 AC, 400 V, 50 Hz

**Inverter**

tensioni in ingresso

tensioni in uscita filtrate

**Azionamenti a velocità variabile**

**Regolazione di velocità dei motori asincroni**

alimentazione  
3 AC, 400 V

dc link  
 $1.35 \times 400 = 540$  V

tensioni di uscita  
f, V variabili

29

**Azionamenti a velocità variabile**

**Modulazione dell' ampiezza degli impulsi (PWM)**

tensione prodotta dall'inverter

La frequenza di commutazione della PWM può variare in genere da alcuni kHz a 15-20 kHz (all'aumentare diminuisce la rumorosità del motore ma aumentano le perdite di commutazione degli IGBT)

**Azionamenti a velocità variabile**

**Vantaggi con l'impiego degli inverter**

- ✓ avviamento "soft" dei motori (eliminazione di elevate correnti di spunto, stress meccanici come colpi d'ariete e sovrappressioni...)
- ✓ frenatura a recupero di energia
- ✓ controllo di coppia e potenza in un ampio range di velocità
- ✓ miglioramento del fattore di potenza
- ✓ migliori risposte dinamiche del sistema
- ✓ possibilità di by-pass del sistema (in caso di guasto)
- ✓ ulteriori risparmi energetici con funzionalità specifiche (riduzione del flusso ai bassi carichi...)

31

**Azionamenti a velocità variabile**

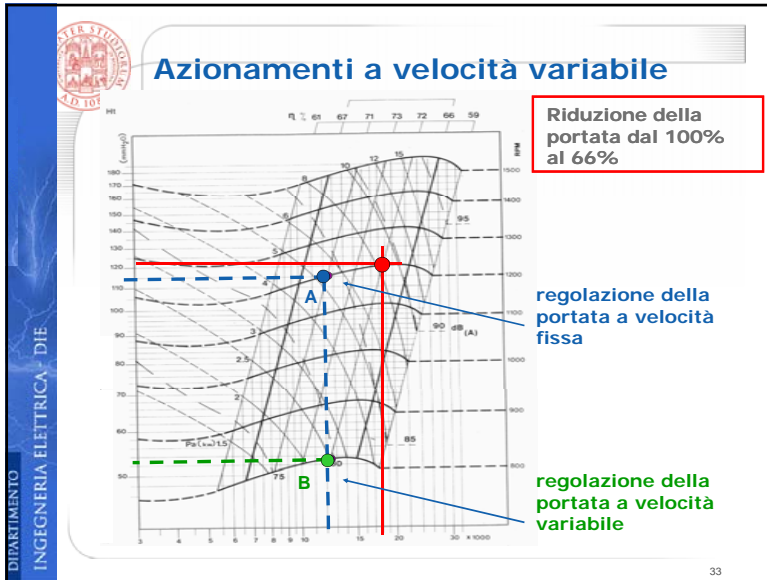
**Miglioramento dell'efficienza nei processi di regolazione**

Regolazione di portata per ventilatori centrifughi

% della portata nominale	numero di ore per anno
50	500
60	2000
70	2500
80	1000
90	500
100	0

32



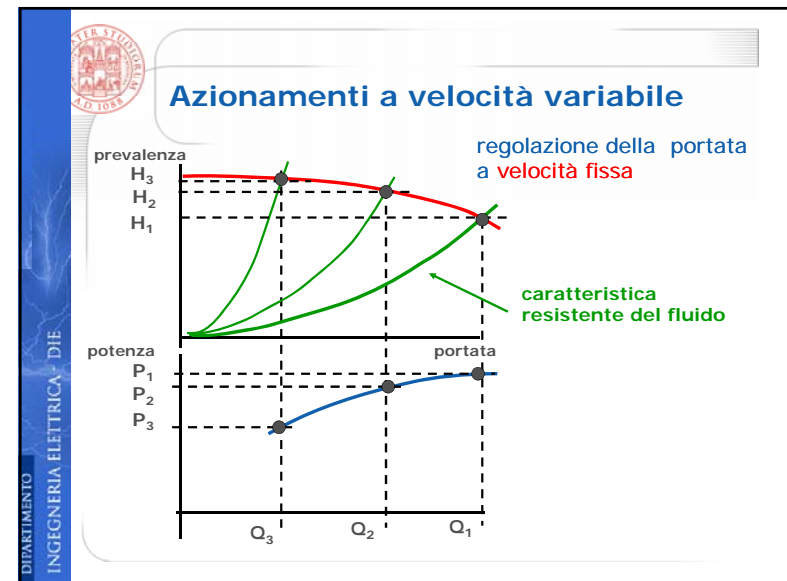


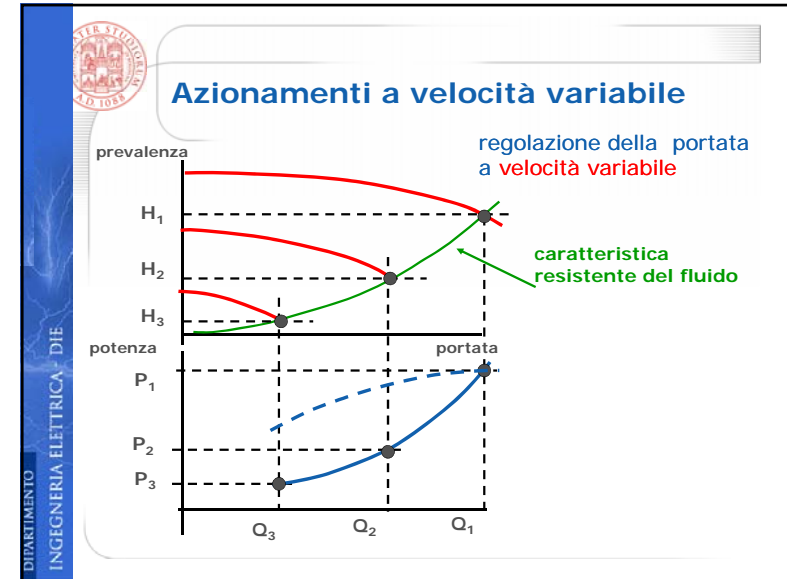
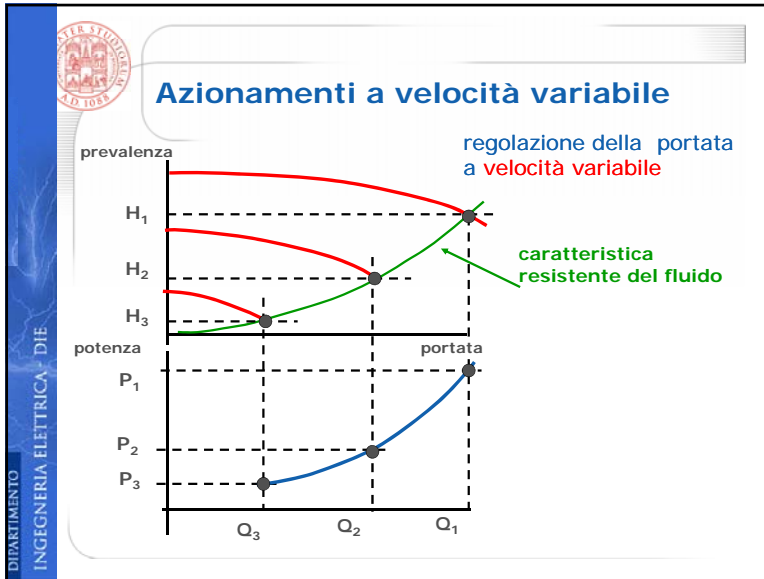
### Azionamenti a velocità variabile

regolazione	portata	potenza ventilatore	%P <sub>0</sub>
velocità fissa	66%	5.500 [W]	0.64 P <sub>0</sub>
velocità variabile	66%	2.500 [W]	0.29 P <sub>0</sub>
risparmio			0.35 P <sub>0</sub>

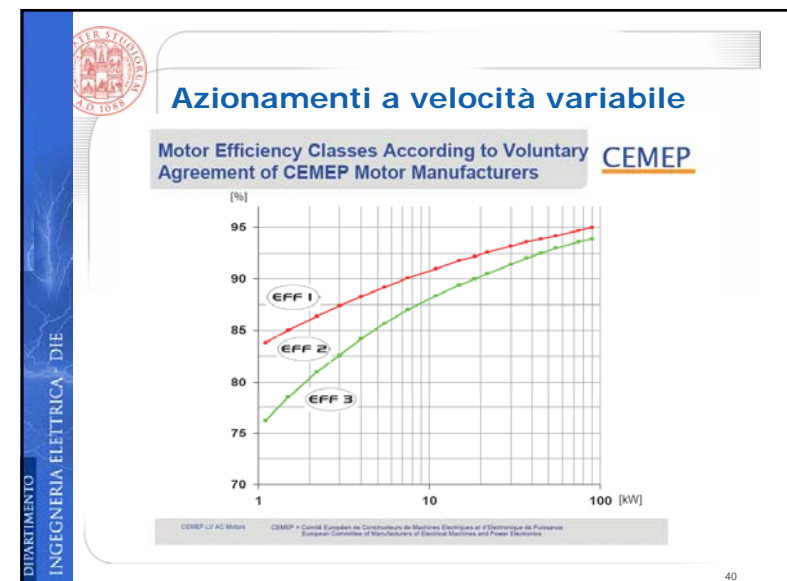
P<sub>0</sub> = 8.600 W

34





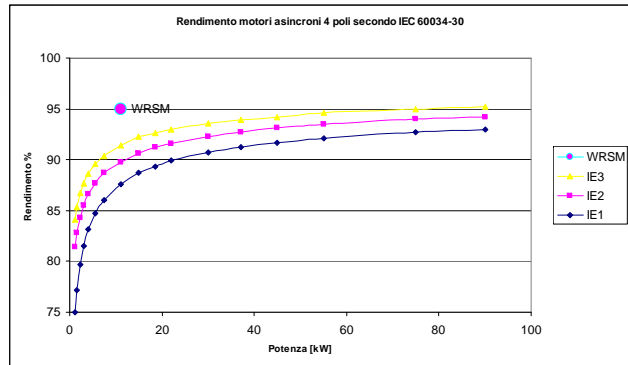
- ### Azionamenti a velocità variabile
- #### Conclusioni
- ✓ L'impiego di motori ad alta efficienza e di inverter per la regolazione di velocità comportano maggiori costi iniziali
  - ✓ Questi sistemi consentono, tuttavia, di risparmiare notevoli quantità di energia
  - ✓ Calcoli economici dimostrano che il tempo di ritorno degli investimenti è molto breve rispetto al tempo di vita
  - ✓ Gli interventi successivi metteranno in evidenza questi aspetti con alcuni esempi pratici





## Azionamenti a velocità variabile

La recente Norma IEC 60034-30:2008 prevede inoltre una nuova definizione delle classi di efficienza energetica con denominazioni del tipo: IE-1, IE-2, IE-3.



41



## Azionamenti a velocità variabile

La recente Norma IEC 60034-30:2008 prevede inoltre una nuova definizione delle classi di efficienza energetica con denominazioni del tipo: IE-1, IE-2, IE-3.

Potenza [kW]	Rendimento Motore standard	Rendimento IE-1	Rendimento IE-2 (anno 2011)	Rendimento IE-3 (anno 2015)	Rendimento WRSM
11	86.8 %	87.6 %	89.8 %	91.4 %	95 %

42