

# Efficienza energetica

Migliorare l'efficienza energetica dei processi è una attività fondamentale per lo sviluppo sostenibile.

Consumi annuali di energia elettrica (GWh) (fonte: TERNA)

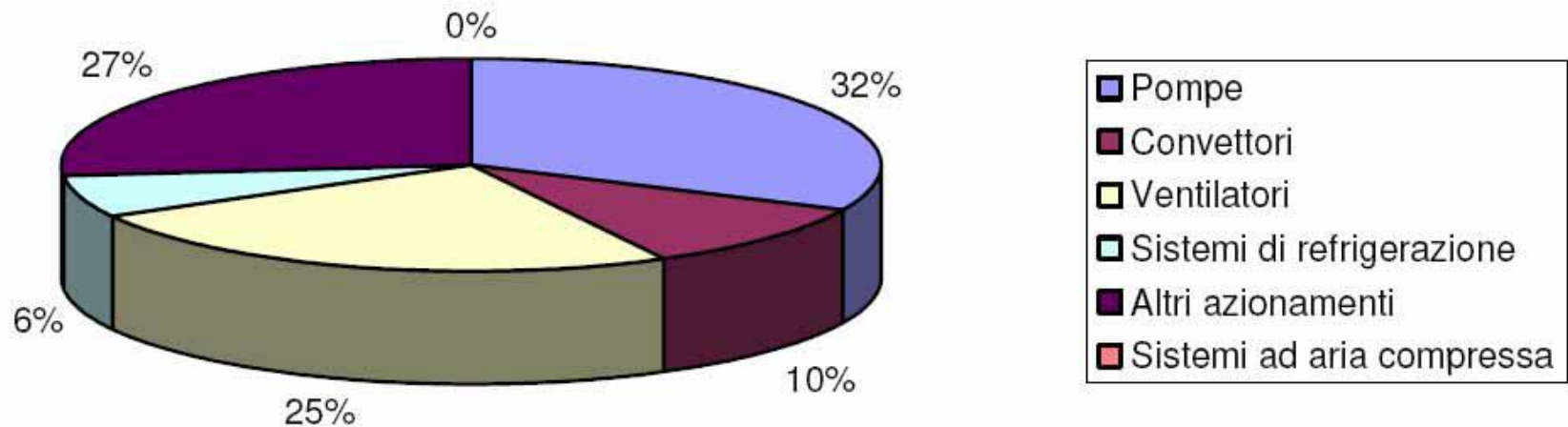
Settore	2016	2017	2018
Agricoltura	5567.5	5990.4	5843.3
Industria	122738.0	125524.6	126432.0
Terziario	102898.5	104874.8	106029.8
Domestico	64304.3	65490.7	65137.8
Totale	295508.3	301880.5	303443.0

Limitatamente all'uso della energia elettrica, i principali settori dove è possibile aumentare l'efficienza dei dispositivi e dei processi sono:

- Illuminazione
- Elettrodomestici
- Processi industriali

# Efficienza energetica – 2

- I motori elettrici sono utilizzati in molte applicazioni/processi
- Più dell' 80% dei motori sono motori asincroni trifase a gabbia di scoiattolo



- I motori elettrici sono responsabili del 46 % (50 %) del totale dell'energia elettrica consumata e di circa il 70 % (60 %) di quella consumata in applicazioni industriali
- E 'possibile aumentare del 30% l'efficienza degli azionamenti elettrici con investimenti che hanno un tempo di ritorno breve (3-5 anni, in molti casi < 1 anno)

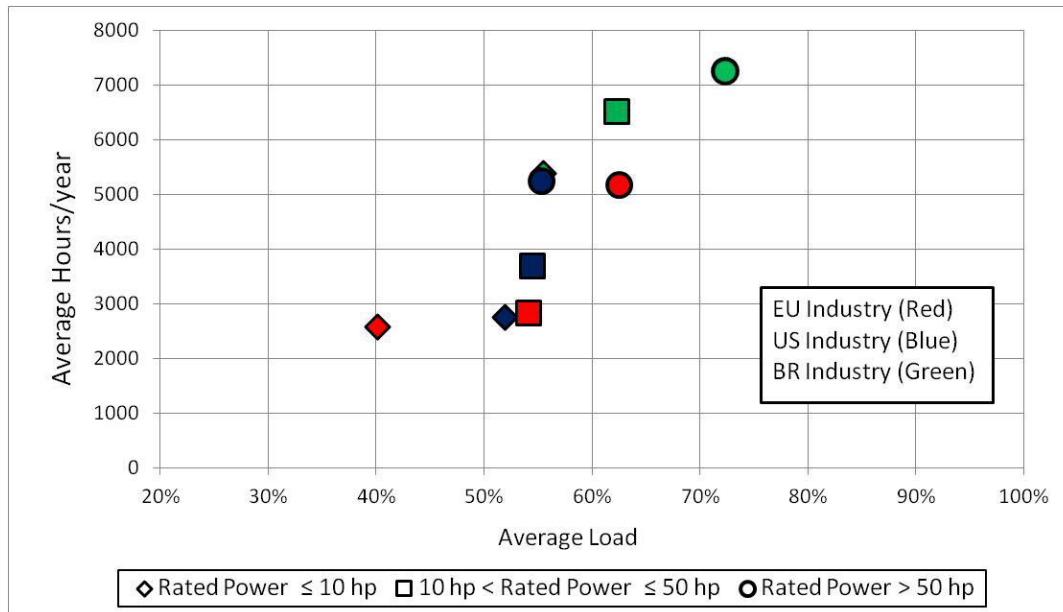
# Life Cycle Cost

$$LCC = I + E + O\&M + Res$$

$$E = \frac{P_{nom} \times L \times C \times H}{\eta}$$

$LCC$  = Life Cycle Cost,  $I$  = costo iniziale,  $E$  = costo della energia consumata dal motore,  $O\&M$  = Operation and Maintenance,  $Res$  = Costi residui,  $L$  = carico del motore (% della potenza nominale),  $P_{nom}$  = potenza nominale (in kW),  $H$  = ore di funzionamento del motore,  $\eta$  = rendimento,  $C$  = costo della energia (\$/kWh)

- Il costo iniziale incide per meno del 2% sul LCC di un azionamento elettrico
- Il costo dell'energia consumata incide per circa il 98% sul LCC; è quindi possibile ottenere importanti riduzioni del LCC aumentando il rendimento.



Condizioni di carico medie dei motori nelle industrie degli Stati Uniti, Europa e Brasile

Fonte: E.B.Agamloh et Al. EEMODS'2013

# Uso di azionamenti a velocità variabile

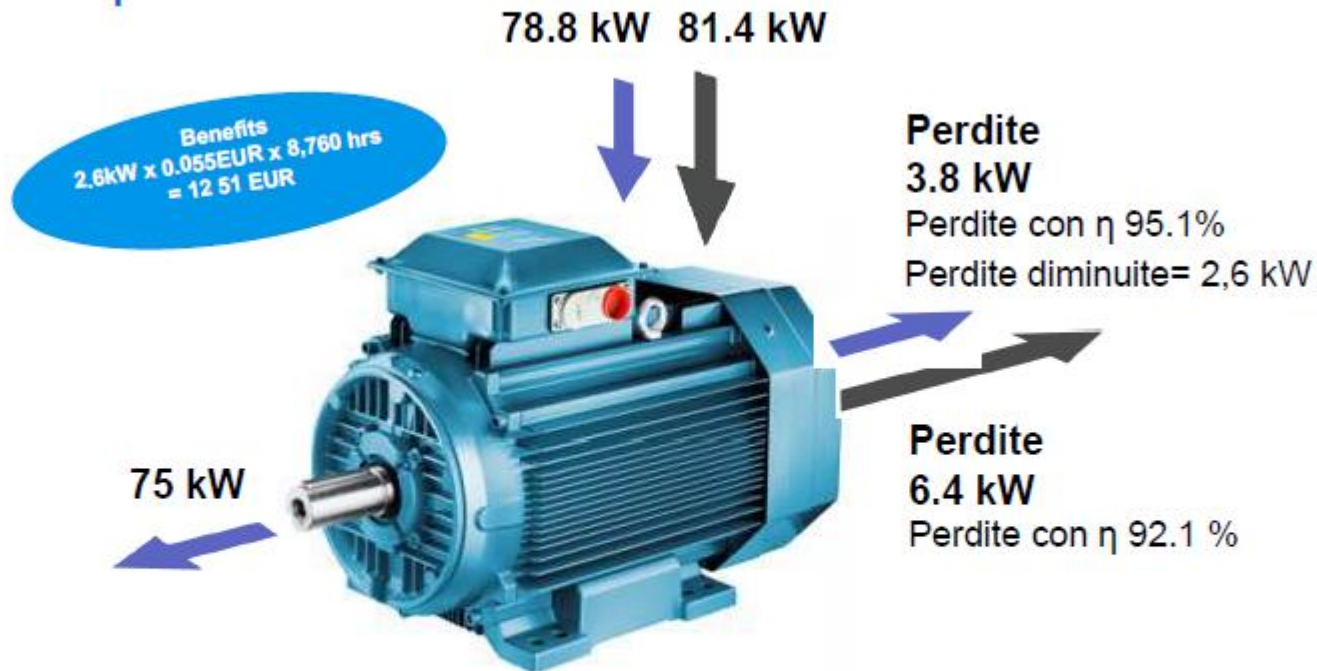
- In molti casi, nei sistemi dove vengono utilizzati motori elettrici (asincroni trifase) collegati direttamente alla rete e che quindi lavorano a velocità praticamente costante, si può ottenere un significativo incremento della efficienza del sistema semplicemente introducendo un convertitore di frequenza tra il motore elettrico e la rete in modo da controllare la velocità di rotazione del rotore.

Si consideri un impianto in cui la circolazione del fluido operatore avviene grazie ad una pompa alimentata da un motore elettrico.

- Se il motore è collegato direttamente alla rete, la portata viene controllata mediante una valvola, che introduce, per ridurre la portata, delle perdite di carico nel circuito idraulico.
- Sostituendo la valvola con un convertitore di frequenza, si può controllare la portata controllando la velocità del motore con una riduzione delle perdite, rispetto al caso precedente, che può arrivare fino al 40 %.

# Uso di motori ad alta efficienza

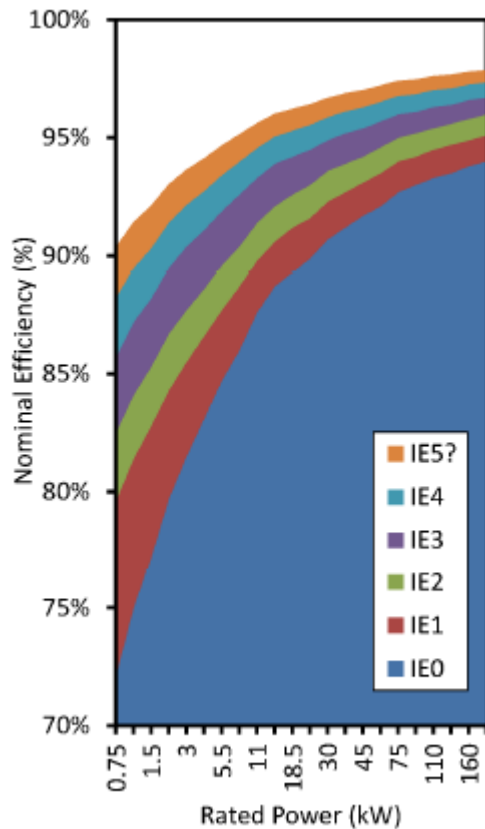
## Motori ad alta efficienza Un esempio



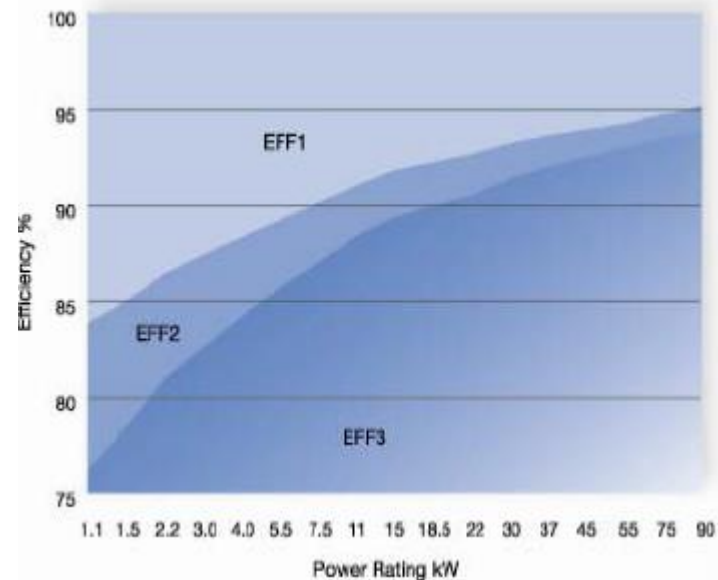
Se l'efficienza aumenta di 3 punti percentuali la riduzione delle perdite è del 40%

**Risparmio 1251 EUR all'anno = 11 tonnellate di CO<sub>2</sub> (0,5kg/kwh)**

# Classi di efficienza - 1

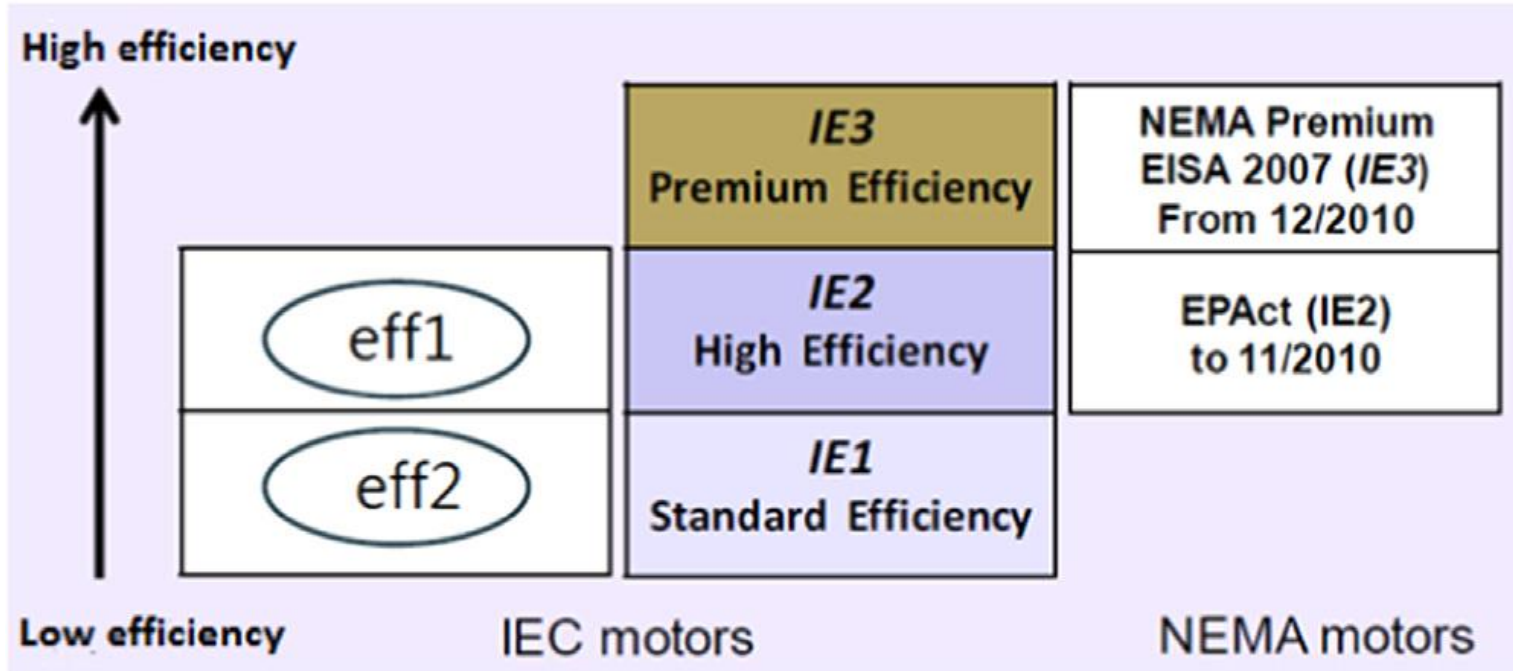


La normativa IEC60034-30-1 definisce 4 classi di rendimento (IE1, IE2, IE3, IE4 per i motori elettrici trifase a gabbia di scoiattolo, ad una singola velocità, aventi una potenza compresa tra 0.75 e 200 kW , con 4 poli ed operanti alla frequenza di 50 Hz).



Prima del 16.1.2011, sulla base di un accordo volontario basato sui metodi di prova definiti dalla IEC 60034-2 1996 si faceva riferimento alle classi di efficienza eff1, eff2, eff3

# Classi di efficienza - 2



NEMA = National (US) Electrical Manufacturers Association

EISA = Energy Independence and Security Act

EPACT = Energy Policy Act

# Direttiva Europea

Il Parlamento Europeo con la Direttiva 2005/32/CE ha istituito un quadro per l'elaborazione di specifiche in materia di progettazione eco-compatibile applicabile ai prodotti che consumano energia, specificando nel tempo i livelli di rendimento che le macchine vendute sul mercato europeo dovranno raggiungere.

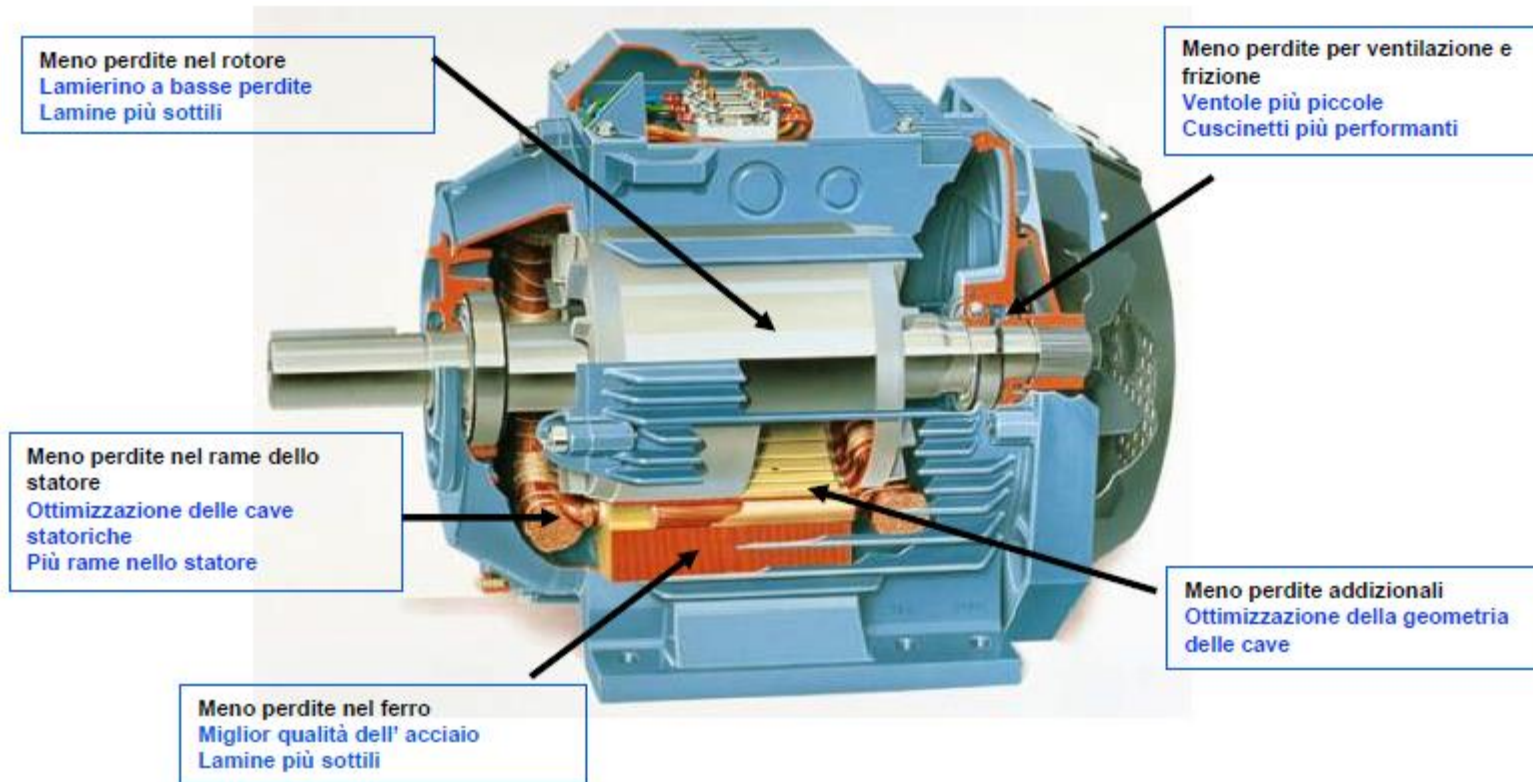
Per i motori elettrici il regolamento CE N. 640/2009 sancisce l'obbligo di mettere in commercio i motori ad alto rendimento secondo queste date:

- classe IE2 a partire dal 16 giugno 2011
- classe IE3 (o IE2 con variatore di velocità) a partire dal 1 gennaio 2015 per motori con potenza da 7.5 a 375 kW
- classe IE3 (o IE2 con variatore di velocità) a partire dal 1 gennaio 2017 per motori con potenza da 0.75 a 375 kW

La direttiva non si applica ai motori già in esercizio.



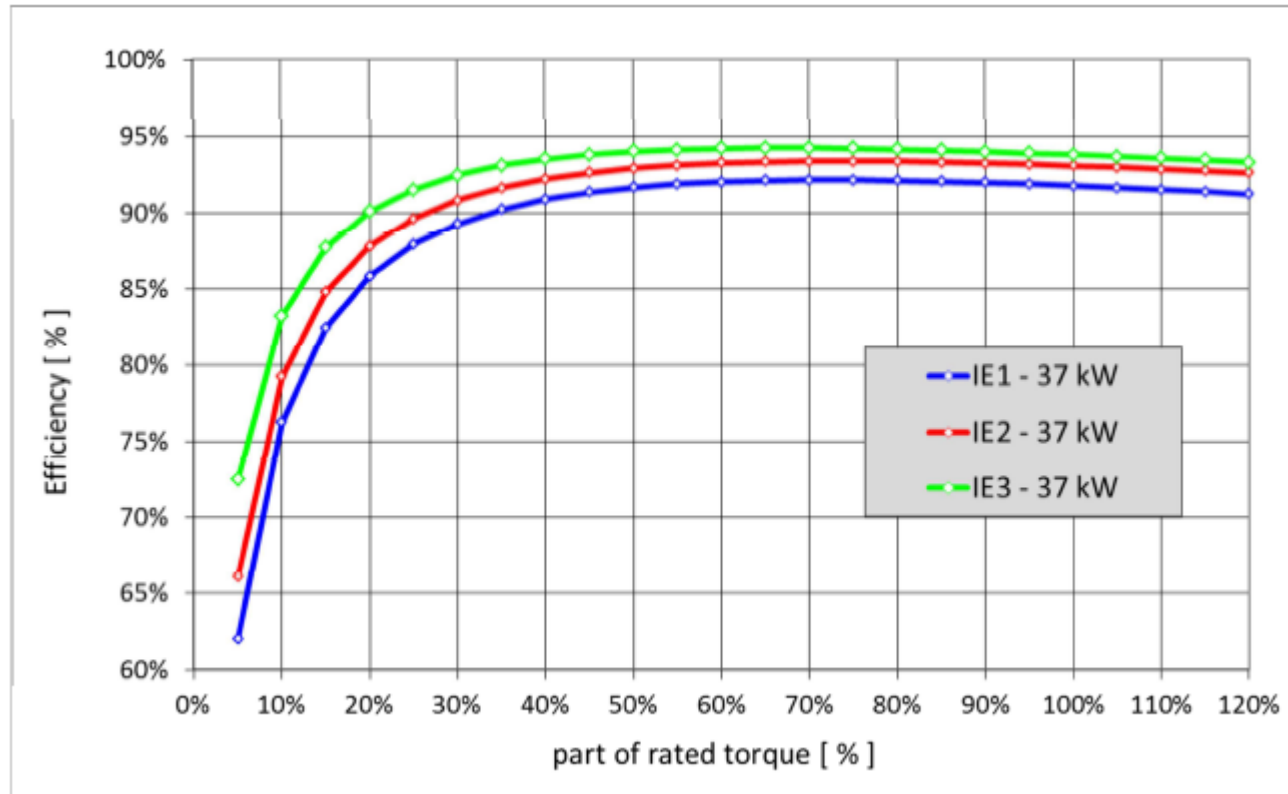
# Motori ad alta efficienza - 1



Se si controlla il motore con un convertitore di frequenza è inoltre possibile:

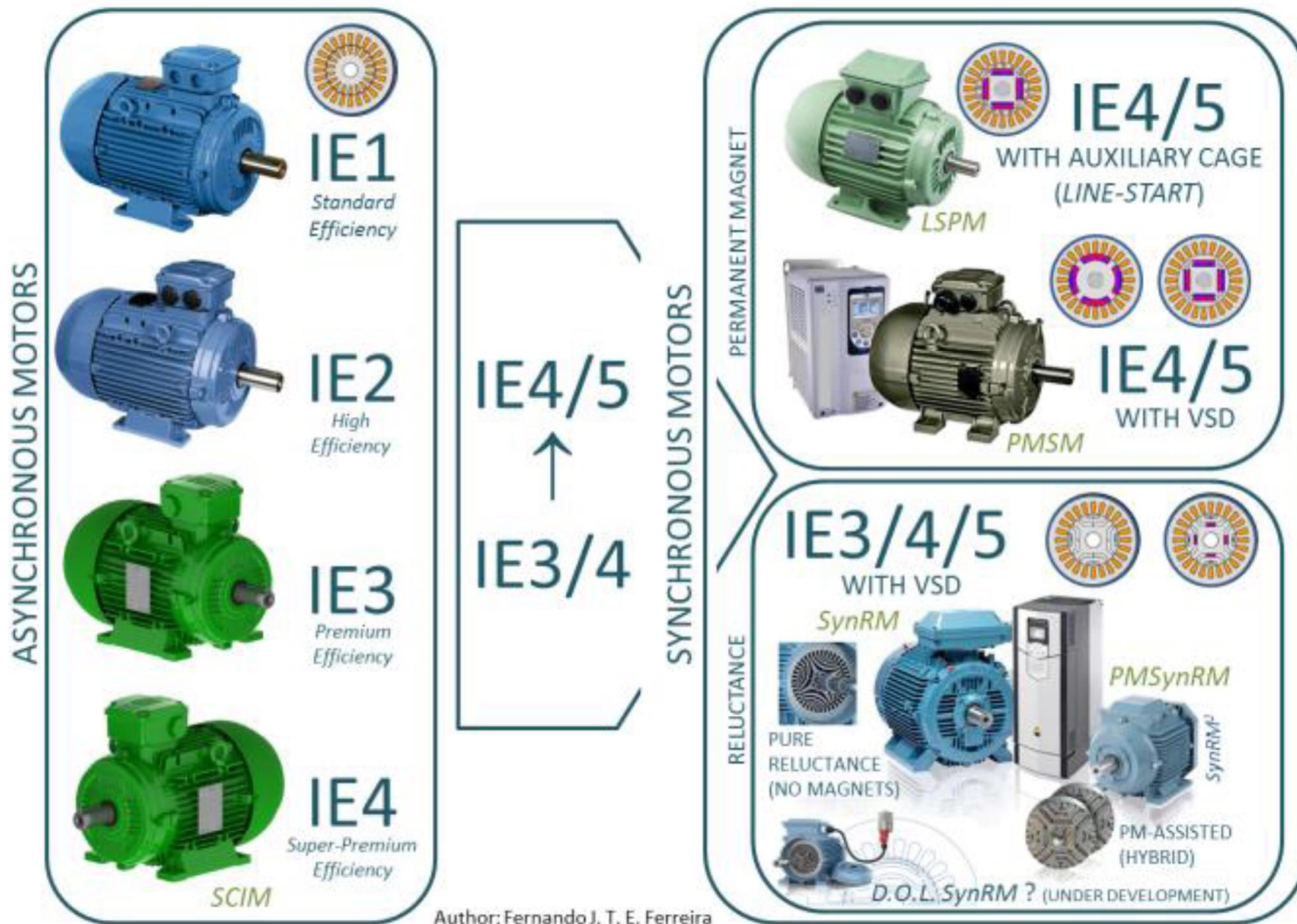
- Ridurre al minimo l'assorbimento di potenza reattiva (non è più necessario rifasare il motore)
- Massimizzare il rendimento del motore in presenza di carichi parziali (risparmio energetico)

## Motori ad alta efficienza - 2

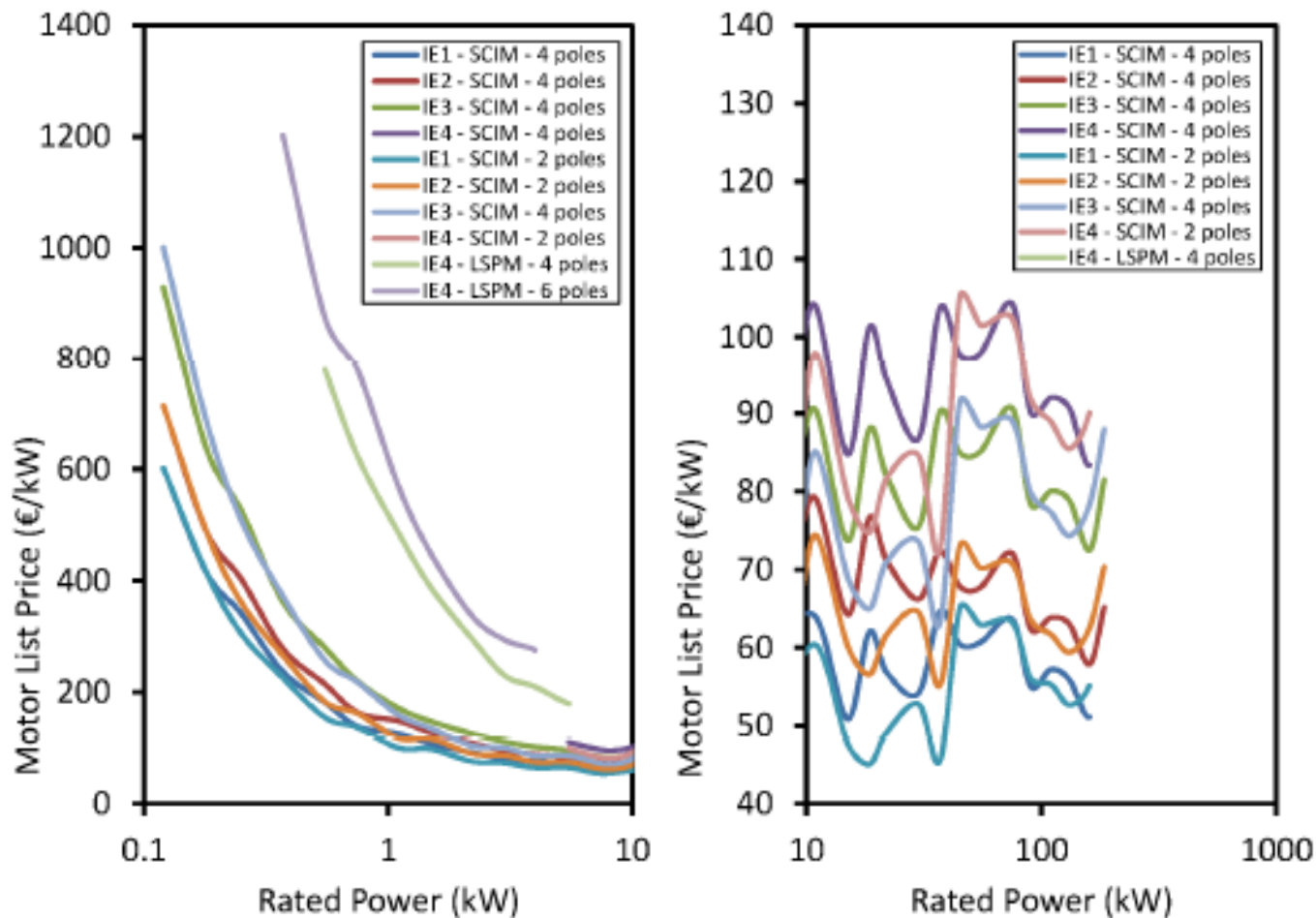


Il rendimento di un motore elettrico si riduce sensibilmente quando il motore lavora a carico parziale inferiore al 30%; è importante quindi che ogni motore lavori il più possibile in condizioni prossime a quelle del funzionamento nominale

# Motori commerciali

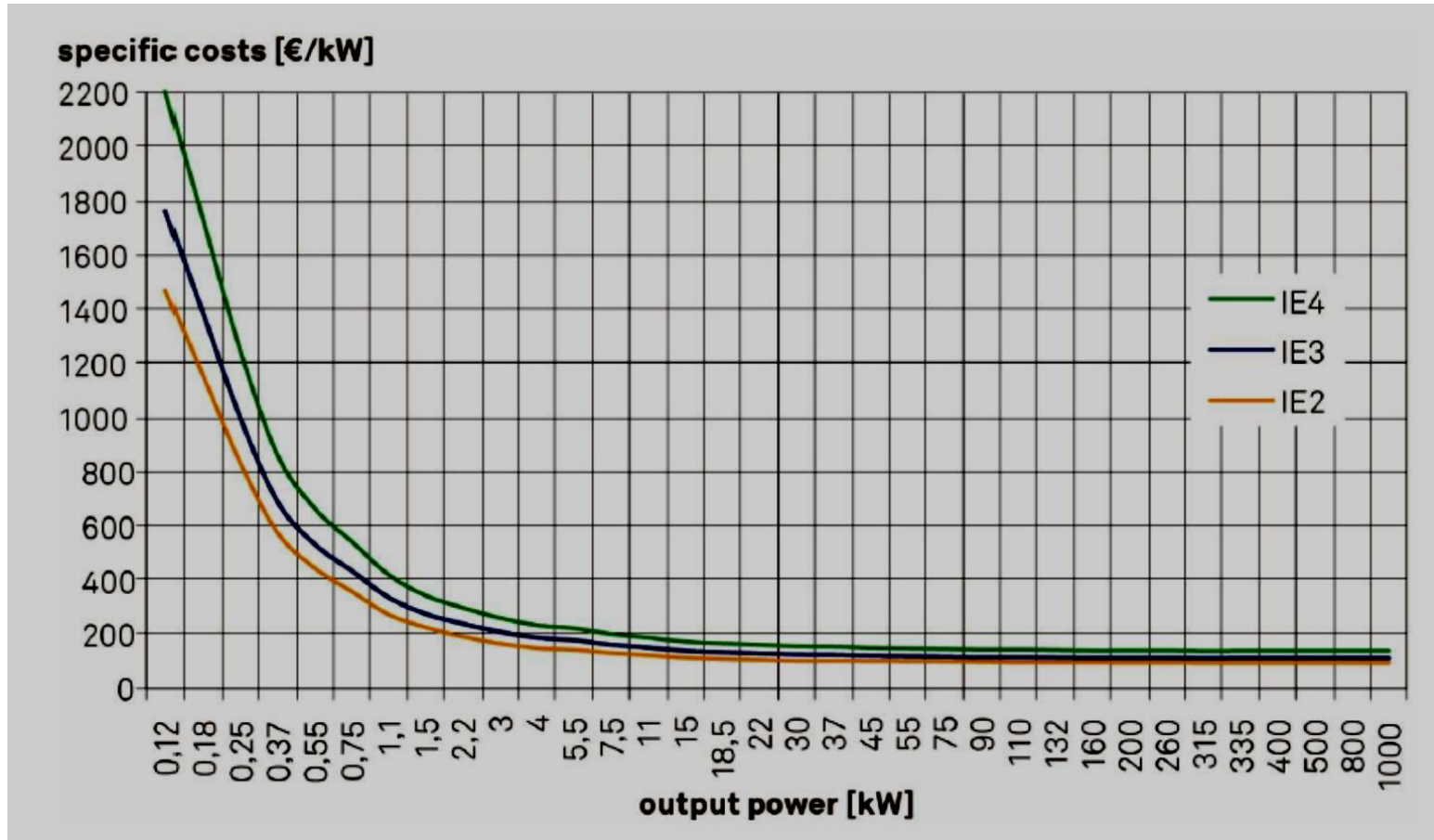


# Prezzo dei motori - 1



In generale il maggior costo dei motori ad alta efficienza viene ammortizzato in meno di un anno per potenze nominali fino a 10 kW. Il tempo di ritorno cresce al crescere della potenza a causa della minore differenza di rendimento

## Prezzo dei motori - 2

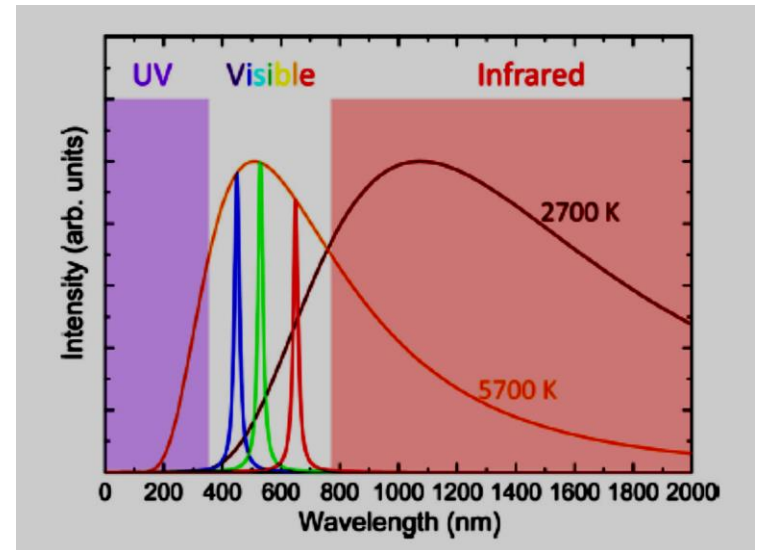
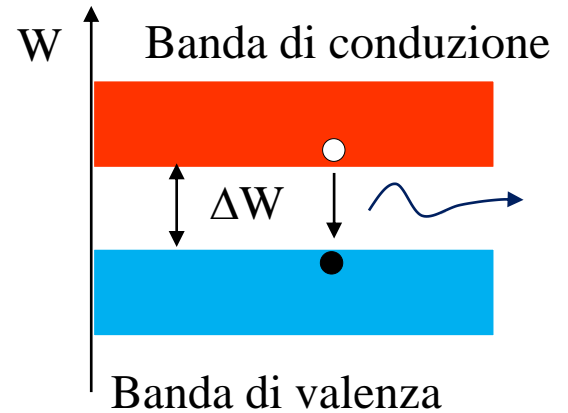


Fonte: R. Phillips, R. Tieben, "Improvement of electric motor system in industries", 10th EEMODS, 2017

# Light Emitting Diode (LED)

I LED sono diodi (giunzione p-n) in cui, al passaggio della corrente elettrica, avvengono ricombinazioni elettrone-lacuna che producono emissione di fotoni aventi lunghezza d'onda nella banda della radiazione visibile dall'occhio umano.

- In un LED gran parte della potenza elettrica assorbita viene convertita in potenza della radiazione visibile
- Al contrario, in una lampada ad incandescenza, lo spettro della radiazione elettromagnetica emessa è quello di un corpo nero a una temperatura tale che la maggior parte della potenza trasmessa si trova nella regione dell'infrarosso e quindi non contribuisce alla illuminazione dell'ambiente ma solo al suo riscaldamento.



# Dispositivi che utilizzano i LED

- Affinché il fotone emesso nella ricombinazione di un elettrone con una lacuna possa essere utilizzato per illuminare l'ambiente è necessario trattare opportunamente la superficie del dispositivo, altrimenti, a causa del valore elevato dell'indice di rifrazione del semiconduttore, rispetto a quello dell'aria, si avrebbe la riflessione verso il semiconduttore, fino al riassorbimento, di gran parte dei fotoni emessi.

Per utilizzare, ai fini della illuminazione degli ambienti, la luce emessa da un dispositivo a LED è necessario che tale luce risulti bianca; ci sono due tipologie di dispositivi LED che emettono luce bianca:

- Nel dispositivo è presente un LED (InGaN) che emette luce blu che produce la fluorescenza di un materiale (fosforo) presente nel dispositivo, che a sua volta emette luce bianca (phosphor-converted).
- Nel dispositivo sono presenti più LED che emettono luce con diverse lunghezze d'onda; la luce risultante risulta bianca (color-mixed).
  
- I dispositivi a LED devono essere alimentati in corrente continua; vengono collegati alla rete in corrente alternata mediante un convertitore (raddrizzatore controllato) che è in grado di controllarne il funzionamento. La tecnologia si presta molto bene ad essere integrata in sistemi automatici.

# Efficienza luminosa

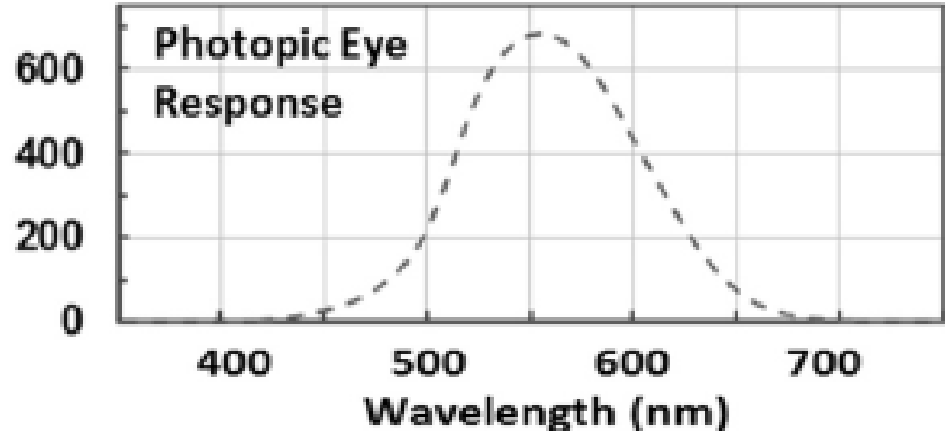
$\eta$  = efficienza luminosa di un dispositivo

$$\eta = \frac{\text{Flusso luminoso emesso (lm)}}{\text{Potenza assorbita (W)}}$$

Il lm (lumen) è l'unità di misura del flusso luminoso.

Se  $p(\lambda)$  è lo spettro della radiazione per unità di lunghezza d'onda ( $\text{W}/\mu\text{m}$ ), e  $V(\lambda)$  è la sensibilità dell'occhio umano in corrispondenza del generico valore  $\lambda$  della lunghezza d'onda, risulta:

$$\phi = \int_0^{\infty} p(\lambda)V(\lambda)d\lambda \quad (\text{lm})$$



1 W di potenza luminosa con lunghezza d'onda di 556 nm, corrispondente alla massima sensibilità dell'occhio umano, corrisponde a 683 lm

- Il massimo valore dell'efficienza di un dispositivo luminoso è quindi di 683 lm/W; per un dispositivo luminoso che emetta luce bianca (non monocromatica) è di 414 lm/W (l'efficienza luminosa di una lampada a petrolio è 1 lm/W)



# Efficienza luminosa

- L'efficienza luminosa dei LED risulta più elevata di quella degli altri dispositivi oggi disponibili; lampadine ad incandescenza, dispositivi a fluorescenza (CFL = compact Fluorescent Lamp), lampade alogene.
- I dispositivi a LED hanno anche la durata di vita maggiore.

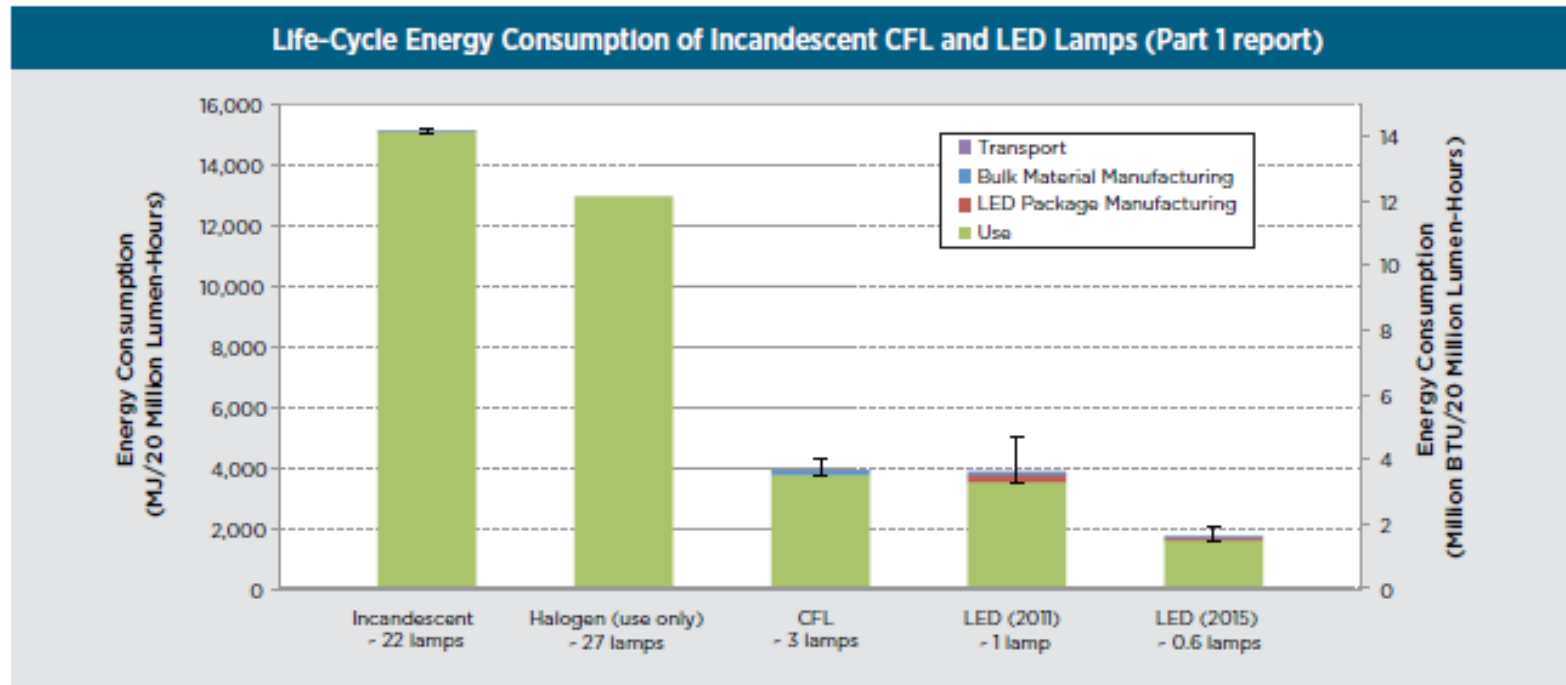
2016 Top performing LED products*	Luminous efficacy (lm/W)	Usable life (L70) <sup>†</sup> (h)
LED A19 lamp (dimmable, 2700 K)	100	25,000
LED PAR38 lamp (3000 K)	88	25,000
LED T8 tube (4000 K)	149	50,000
LED 6" downlight (3000 K)	86	50,000
LED troffer 2' x 4' (3500 K)	129	50,000
LED high/low-bay fixture (4000 K)	136	60,000
LED street light (5000 K)	118	60,000
Conventional lighting products	Luminous efficacy (lm/W)	Usable life (h)
Incandescent A19	15	1,000
Halogen A19	20	8,400
CFL A19 replacement	70	12,000
CFL (dimmable) A19 replacement	70	12,000
Linear fluorescent system <sup>+</sup>	108	25,000
HID (high-watt) system <sup>+</sup>	115	15,000
HID (low-watt) system <sup>+</sup>	104	15,000

Fonte: P. Morgan Pattison et Al., "LED lighting efficiency: status and directions, C. R. Physique (2017)  
<http://doi.org/10.1016/j.crhy.2017.10.013>

- Le prestazioni dei sistemi a LED degradano col tempo; per il loro fine vita si considera il tempo necessario a ridurre l'efficienza al 70% del valore iniziale

# Efficienza luminosa - 2

- Il risparmio energetico derivante dall'utilizzo dei dispositivi a LED si ottiene non solo considerando il periodo di funzionamento, ma anche analizzando tutto il ciclo di vita del dispositivo



Fonte: DOE SSL Program, "Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products," April 2013. [Online]. Available: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lca\\_factsheet\\_apr2013.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/lca_factsheet_apr2013.pdf).

# Risparmio energetico

- Il risparmio energetico derivante dall'utilizzo dei dispositivi a LED può essere rilevante
- Numero di installazioni LED negli Stati Uniti nel 2014/2015 e corrispondente risparmio energetico

Application <sup>1</sup>	2014 LED Installed Penetration (%)	2015 LED Installed Penetration (%)	2015 LED Units Installed <sup>2</sup> (Millions)	2015 Energy Savings (tBtu)	Estimated Saving Potential <sup>3</sup> (tBtu)
A-Type	2.4	6.0	202	42.7	542
Directional	5.8	11.0	127	55.3	321
Small Directional	21.8	32.1	16.3	24.5	34
Decorative	1.5	3.0	36.9	5.0	190
Linear Fixture	1.3	3.2	31.5	59.3	1,819
Low/High Bay	2.2	3.7	5.4	40.5	1,192
<b>Total Indoor</b>	<b>2.8</b>	<b>6.1</b>	<b>419</b>	<b>227</b>	<b>4,097</b>
Area/Roadway	12.7	20.0	9.1	10.0	210
Parking Garage	5.0	13.0	5.0	6.4	140
Parking Lot	9.7	13.9	4.0	10.2	253
Building Exterior	11.5	21.2	14.7	10.5	71
<b>Total Outdoor</b>	<b>10.1</b>	<b>17.9</b>	<b>32.7</b>	<b>37.1</b>	<b>674</b>
Other	3.3	8.0	21.4	13.3	196
<b>Total All<sup>4</sup></b>	<b>3.0</b>	<b>6.4</b>	<b>473</b>	<b>278</b>	<b>4,967</b>

Fonte: DOE SSL Program, "Solid-State Lighting R&D Plan", June 2016 [Online]. Available: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/ssl\\_rd-plan\\_may2015\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/06/f22/ssl_rd-plan_may2015_0.pdf).

# Costo delle lampade a LED

Table 2.1 Typical 2015 Price and Performance of SSL Compared to Best-in-Class Conventional Lighting Technologies

2015 Product Type	Luminous Efficacy (lm/W)	Correlated Color Temperature (CCT) (K)	Usable Life <sup>1</sup> (hours)	Price (\$/klm)
LED A19 Lamp (Dimmable, Warm White) <sup>2</sup>	78	2700	25,000	\$10
LED PAR38 Lamp (Warm White) <sup>2</sup>	70	3000	28,000	\$19
LED T8 Tube (Neutral White) <sup>2</sup>	107	4100	50,000	\$10
LED 6" Downlight (Warm White) <sup>2</sup>	64	3000	40,000	\$29
LED Troffer 2' x 4' (Warm White) <sup>2</sup>	94	3500	56,000	\$29
LED High/Low-Bay Fixture (Warm White) <sup>2</sup>	102	4000	90,000	\$23
LED Street Light <sup>2</sup>	96	5000	50,000	\$49
OLED Luminaire <sup>3</sup>	43	3000	40,000	\$870
HID (High Watt) System <sup>4</sup>	115	3100	15,000	\$3
Linear Fluorescent System <sup>4</sup>	108	4100	25,000	\$4
HID (Low Watt) System <sup>4</sup>	104	3000	15,000	\$4
CFL A19 Replacement	70	2700	12,000	\$2
CFL (Dimmable) A19 Replacement	70	2700	12,000	\$10
Halogen A19	20	2750	8,400	\$2.50
Incandescent A19	15	2760	1,000	\$0.63

- Il costo delle lampade a LED è ancora superiore a quello delle lampade alogene, ma per valutare la convenienza economica bisogna considerare il risparmio dovuto al minore consumo di energia durante il funzionamento

Fonte: DOE SSL Program, "Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products," April 2013. [Online]. Available: [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/09/f56/ssl\\_rd-plan\\_jun2016.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2018/09/f56/ssl_rd-plan_jun2016.pdf).