

# fabbrica futuro

TECNOLOGIE, MODELLI ORGANIZZATIVI E PERSONE

TORINO

## LA GESTIONE DELL'ENERGIA NELL'INDUSTRIA MANIFATTURIERA TRA OBIETTIVI DI SVILUPPO SOSTENIBILE E STRUMENTI APPLICABILI

Marco Masoero

Dipartimento Energia «Galileo Ferraris»



**Politecnico  
di Torino**

## Riassunto

### ➤ Introduction

### ➤ Energy consumption

- Consumo di energia nell'industria
- Settori più energivori in ambito industriale
- Importanza dell'efficienza energetica nell'industria

### ➤ Energy management

- Obiettivi
- EN 16247-1:2012 - Energy Audits
- EN ISO 50001:2011 - Energy Management Systems

### ➤ Energy saving technologies

- Variable Speed Drive
- Motori elettrici ad alta efficienza
- Compressori d'aria ad alta efficienza
- Sistemi di illuminazione ad alta efficienza
- Recupero dell'energia termica
- Cogenerazione e trigenerazione

## Introduzione

- Il settore industriale consuma più energia rispetto a qualsiasi altro uso finale **circa il 37% dell'energia utilizzata a livello mondiale**[0].
- L'intensità del consumo varia notevolmente per i vari settori merceologici ed è dovuto sia alle **attività manifatturiere** in senso stretto, sia ai **servizi** richiesti da tali attività: illuminazione, climatizzazione, produzione di servomezzi, ecc.
- Anche se negli ultimi 4-5 decenni l'industria si è notevolmente impegnata nella riduzione del fabbisogno energetico, esistono ancora margini di miglioramento con l'applicazione di "energy saving technologies" che possono ridurre l'entità di **consumi, emissioni e bollette**
- L'esperienza indica che i tempi di ritorno degli investimenti in azioni di efficienza energetica sono **generalmente sostenibili in termini economici**.
- Nella relazione si affrontano gli interventi a livello di **gestione (management) e tecnologie**:
  - Interventi di **management**: diagnosi energetiche (energy audits), programmi di formazione, energy management systems (EMS), energy monitoring systems (SCADA)
  - Energy saving **technologies**, ad esempio, motori ad alta efficienza (HEMs), azionamenti a velocità variabile (VSDs), economizzatori, sistemi per controllare fughe e cadute di pressione, sistemi di recupero termico, lampade ad alta efficienza, ecc...

[0] E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef – A review on energy saving strategies in industrial sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 150–168.

## Summary

### ➤ Introduction

### ➤ Energy consumption

- Consumo di energia nell'industria
- Settori più energivori in ambito industriale
- Importanza dell'efficienza energetica nell'industria

### ➤ Energy management

- Obiettivi
- EN 16247-1:2012 - Energy Audits
- EN ISO 50001:2011 - Energy Management Systems

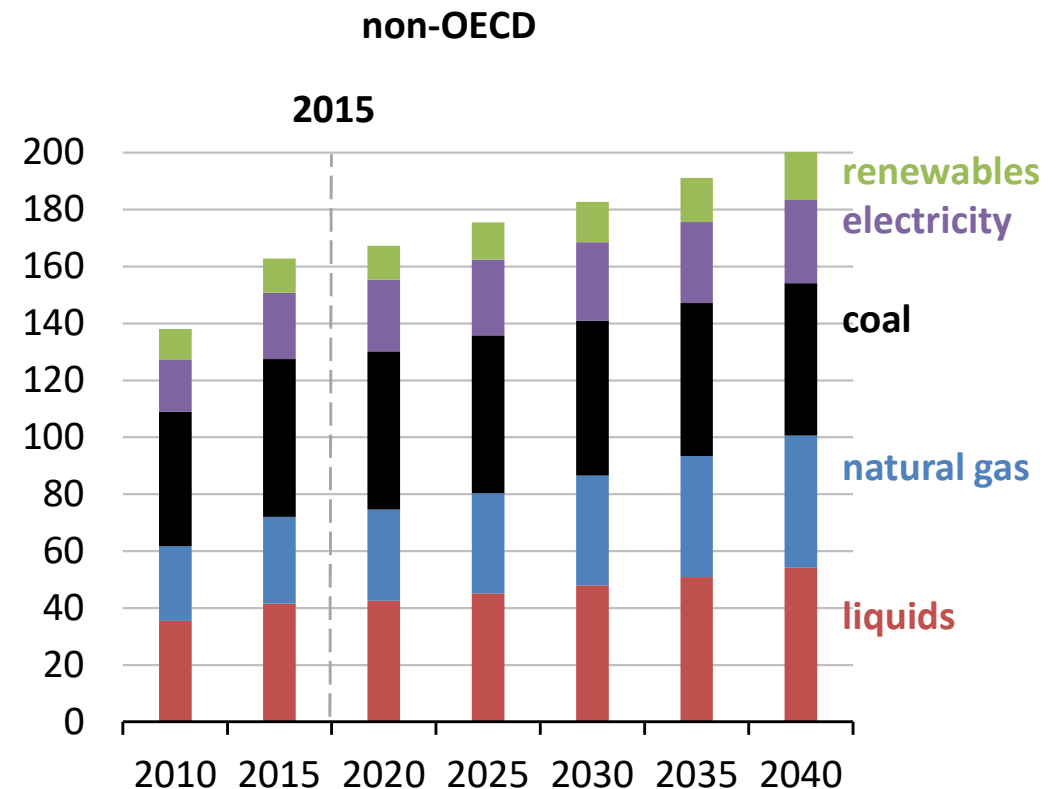
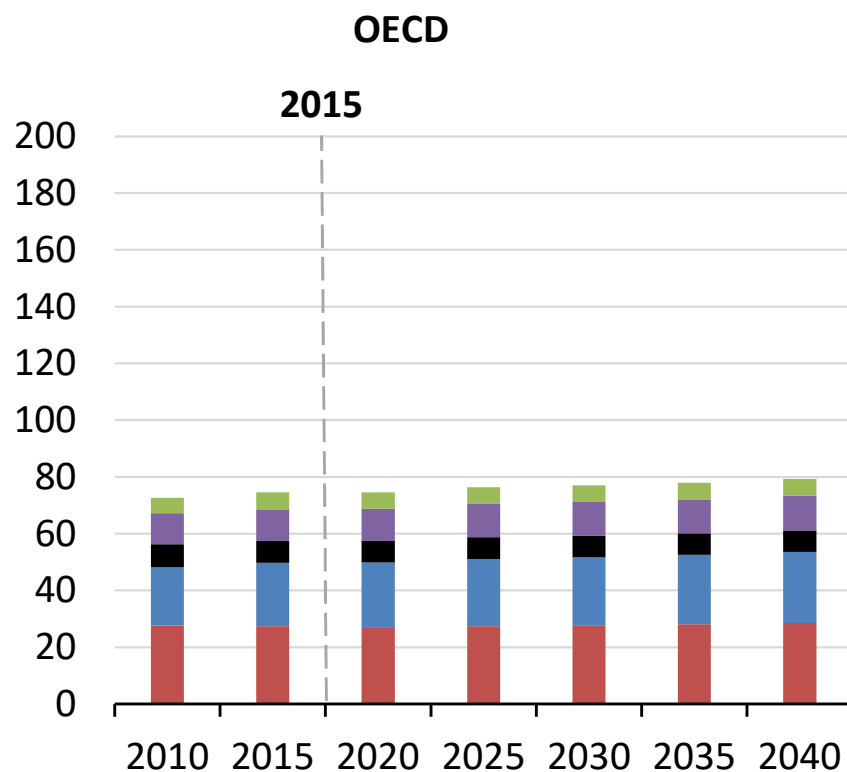
### ➤ Energy saving technologies

- Azionamenti a velocità variabile (Variable Speed Drive)
- Motori ad alta efficienza (High Efficiency Motors)
- Compressori d'aria ad alta efficienza (High efficiency air compressors)
- Sistemi di illuminazione ad alta efficienza (High efficiency lighting systems)
- Recupero del calore di scarto (Waste heat recovery)
- Cogenerazione/Trigenerazione (CHP-Cogeneration/Trigeneration)

## Consumo di energia nell'industria

1 quadrillion Btu = 0,293 PWh = 0,293 10<sup>9</sup> kWh = 25,2 Mtep

Industrial energy consumption by fuel  
quadrillion Btu



[1] U.S Energy Information Administration. International Energy Outlook 2009: World Energy and economic Outlook; 2017, Available Online at: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html> , <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/highlights.html> , <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/industrial.html> , <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/eh/total.html>

## Consumo di energia ::: *Settori più energivori in ambito industriale*

- Con riferimento ai dati del 2006, **cinque settori coprono il 68% del consumo energetico industriale totale** (Fig. 13): chimico (29%), siderurgico (20%), minerali non metallici (10%), cartario (6%), metallic non ferrosi (3%).

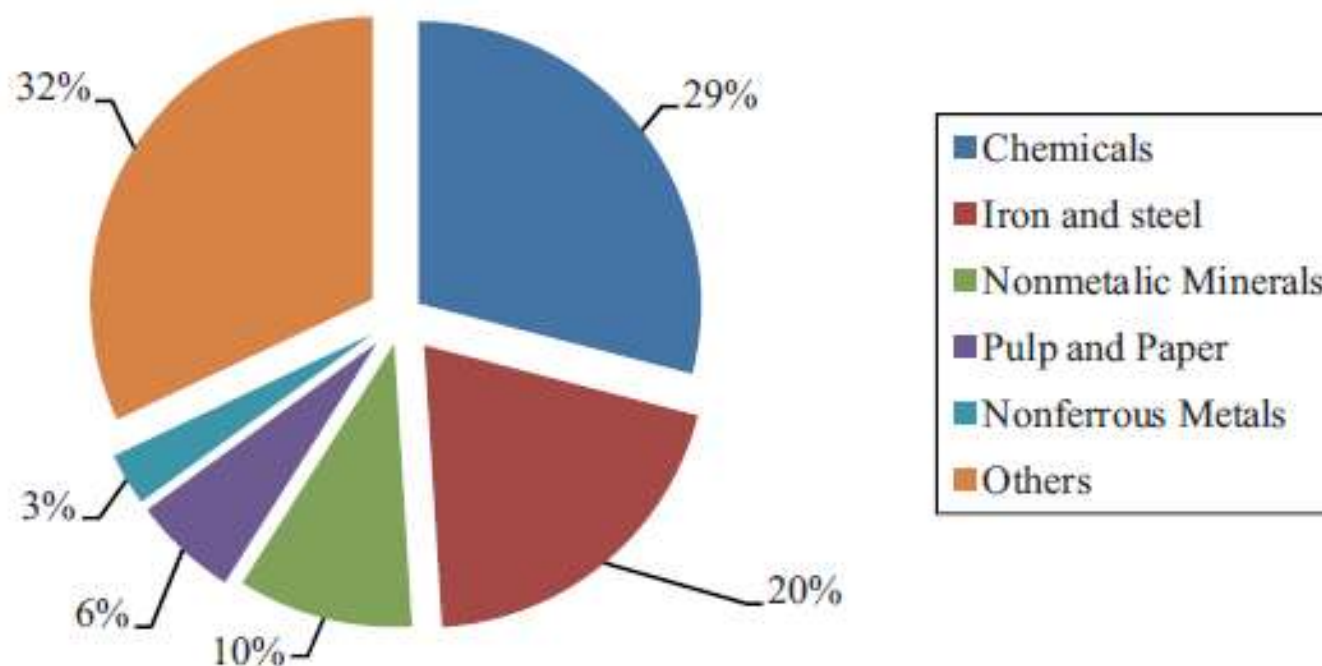


Fig. 13. World industrial sector energy consumption by major energy-intensive industry shares in 2006 [1].

## Consumo di energia ::: *Importanza dell'efficienza energetica nell'industria*

- Lo sviluppo industriale nel mondo determinerà un incremento del fabbisogno energetico che, se coperto con la combustione di fonti fossili, **determinerà un incremento della concentrazione di gas ad effetto serra** come il diossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) **e di altre emissioni** nocive per la qualità dell'aria: SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>n</sub> ....
- I rapporti dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) **prevedono che un incremento continuo delle emissioni potrà determinare un incremento della temperature dell'ambiente compreso fra 1.4°C e 5.8 °C nel periodo fra il 1990 e il 2100**
- Inoltre, il Department of Energy (USA) evidenzia che le emissioni globali di carbonio aumentano del 2% per anno e che nel 2015 tali emissioni supereranno del 50% il valore al 1997, **a causa dell'incremento della domanda e dell'uso inefficiente dell'energia** [9].
- Nell'industria, l'efficienza energetica può essere raggiunta seguendo due possibili approcci :
  - 1. Energy savings **by management**
  - 2. Energy saving **by technologies**

[9] Mahmoud A, Shuhaimi M, Abdel Samed M. A combined process integration and fuel switching strategy for emissions reduction in chemical process plants. Energy 2009;34:190–5

## Summary

### ➤ Introduzione

### ➤ Energy consumption

- Consumo di energia nell'industria
- Settori più energivori in ambito industriale
- Importanza dell'efficienza energetica nell'industria

### ➤ Energy management

- Obiettivi
- EN 16247-1:2012 - Energy Audits
- EN ISO 50001:2011 - Energy management systems

### ➤ Energy saving technologies

- Azionamenti a velocità variabile (Variable Speed Drive)
- Motori ad alta efficienza (High Efficiency Motors)
- Compressori d'aria ad alta efficienza (High efficiency air compressors)
- Sistemi di illuminazione ad alta efficienza (High efficiency lighting systems)
- Recupero del calore di scarto (Waste heat recovery)
- Cogenerazione/Trigenerazione (CHP-Cogeneration/Trigeneration)



## Energy management ::: *Obiettivi*

- Energy management è la **strategia per fornire energia quando e dove è richiesta dall'utenza**
- Obiettivo è **ridurre il fabbisogno energetico per unità di prodotto mantenendo costanti o riducendo i costi totali per ottenere lo stesso prodotto**
- Il ruolo dell'energy management è notevolmente cresciuto nell'industria. Il **Top Management partecipa alla pianificazione dei progetti di energy management.**
- I rendiconti annuali delle aziende **devono riportare in dettaglio obiettivi e risultati delle azioni intraprese in ambito energetico.**
- I pilastri di un efficace energy management sono:
  1. Energy Audits
  2. Energy Management System (ad es. EN 50001)
  3. Energy efficiency courses and training programs
  4. Energy Monitoring Systems (SCADA - *Supervisory Control And Data Acquisition*)

## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

- Energy audit is an **inspection, survey and analysis** of energy flows for energy conservation **to reduce the amount of energy input into the system without negatively affecting the output.**
- Energy audit is a systematic approach in the industrial sector. It helps any organization to:
  1. analyze its energy use and **discover areas where energy use can be reduced** and waste can occur
  2. **plan and practice feasible energy conservation methods** that will enhance their energy efficiency
  3. **identify all the energy streams in a facility**, quantify energy usage, in an attempt to balance the total energy input with its use
- The main benefits that can be achieved through an accurate Energy Audit are:
  1. **Reduction in specific energy consumption** and environmental pollution.
  2. **Reduction in operating costs** (approximately 20–30%) by systematic analysis.
  3. **Improvement in the overall performance of the total system** and its productivity.
  4. To avert **equipment failure.**

## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

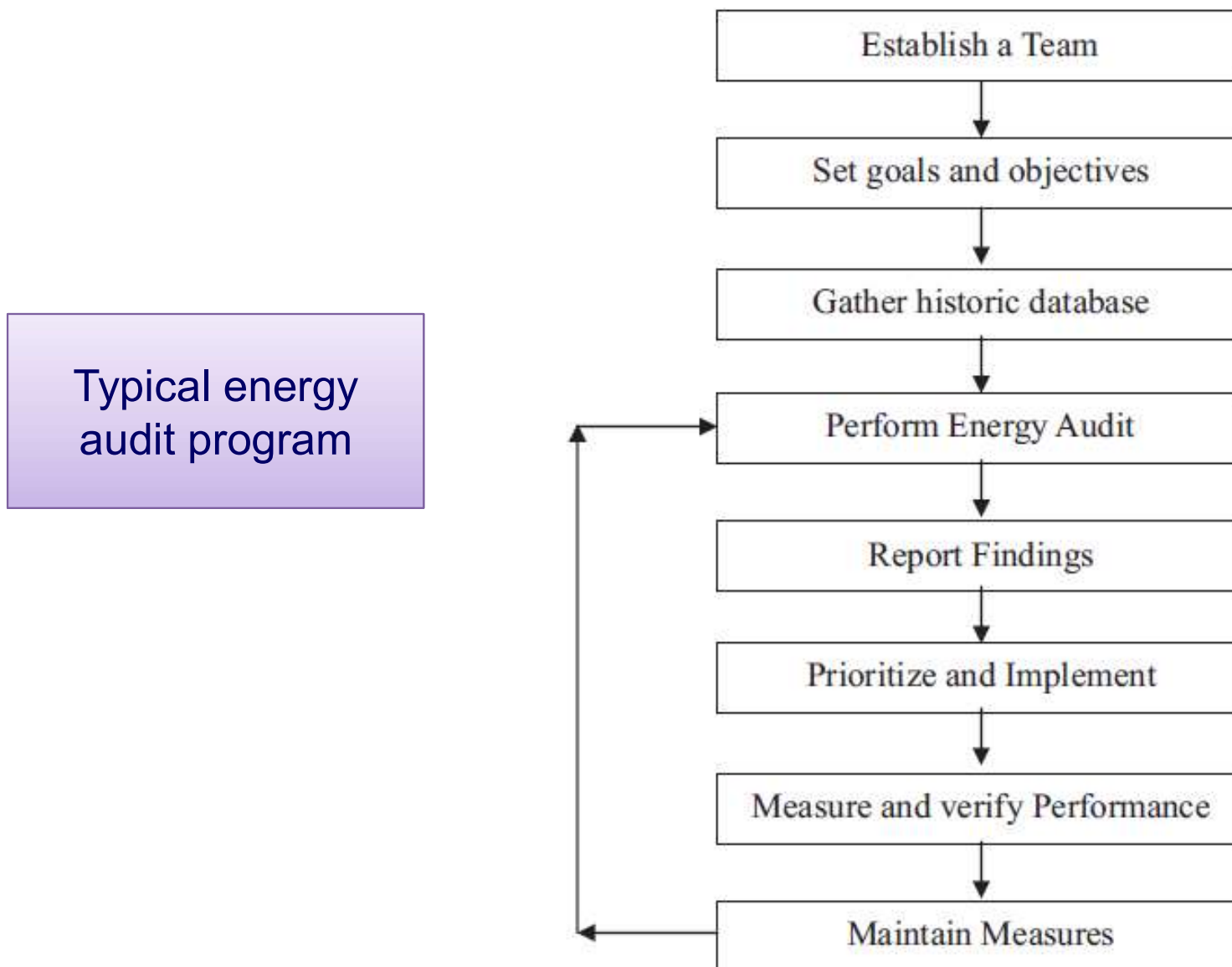


Fig. 15. Typical energy audit program [15].

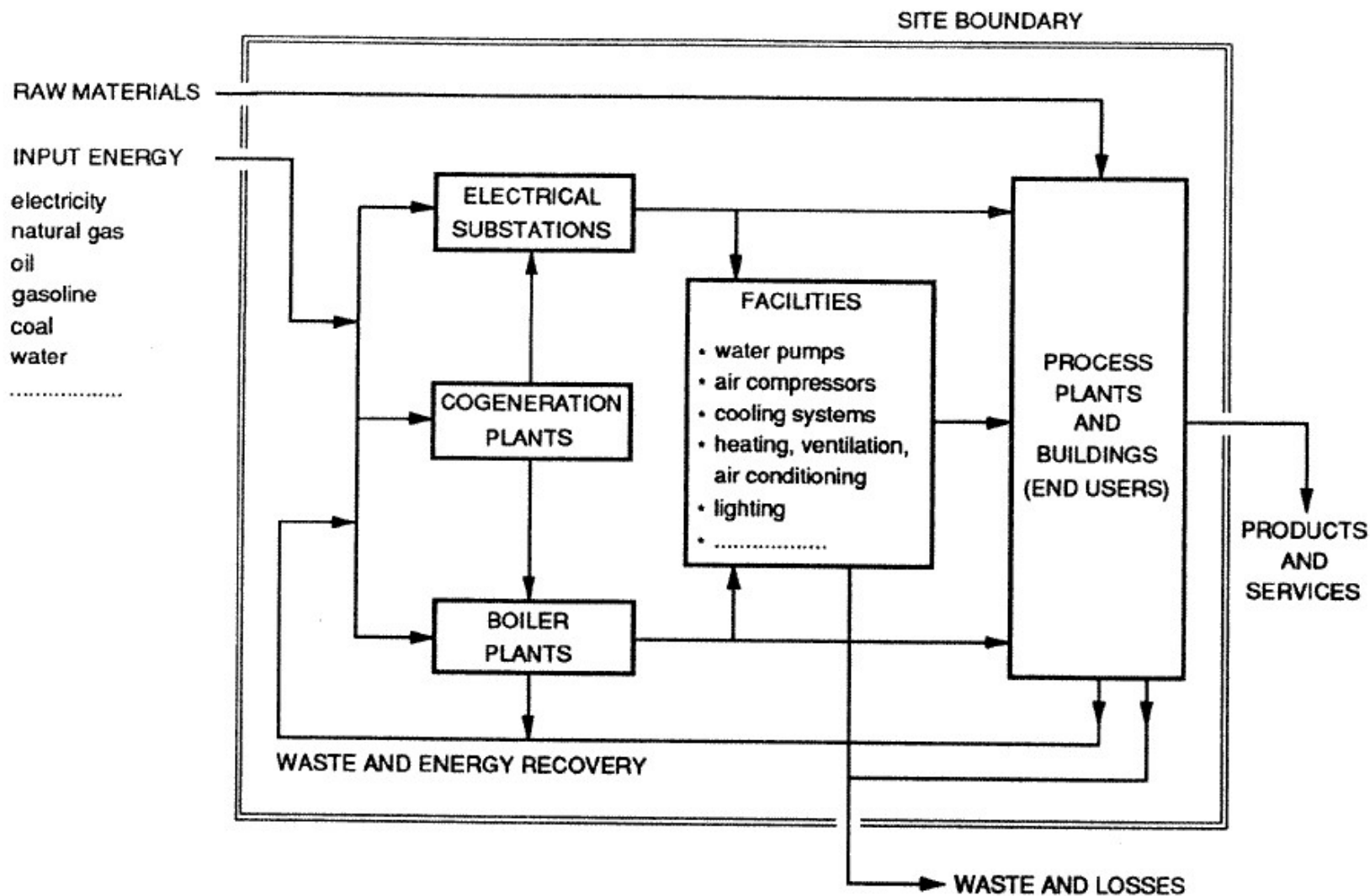
## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

- **The Analysis phase:** the energy auditor should establish the **existing energy performance situation** of the audited object (**baseline**).
- **The existing energy performance situation becomes a reference against which improvements can be measured.** It should include:
  - a) a **breakdown of the energy consumption by use and source**;
  - b) **energy flows and an energy balance** of the audited object;
  - c) **pattern of energy demand in time**;
  - d) relationships between **energy consumption and adjustment factors**;
  - e) one or more **Energy Performance Indicators (EnPis)** suitable to evaluate the audited object.
- Based on the existing energy performance situation of the audited object, the energy auditor should **identify energy efficiency improvement opportunities**.

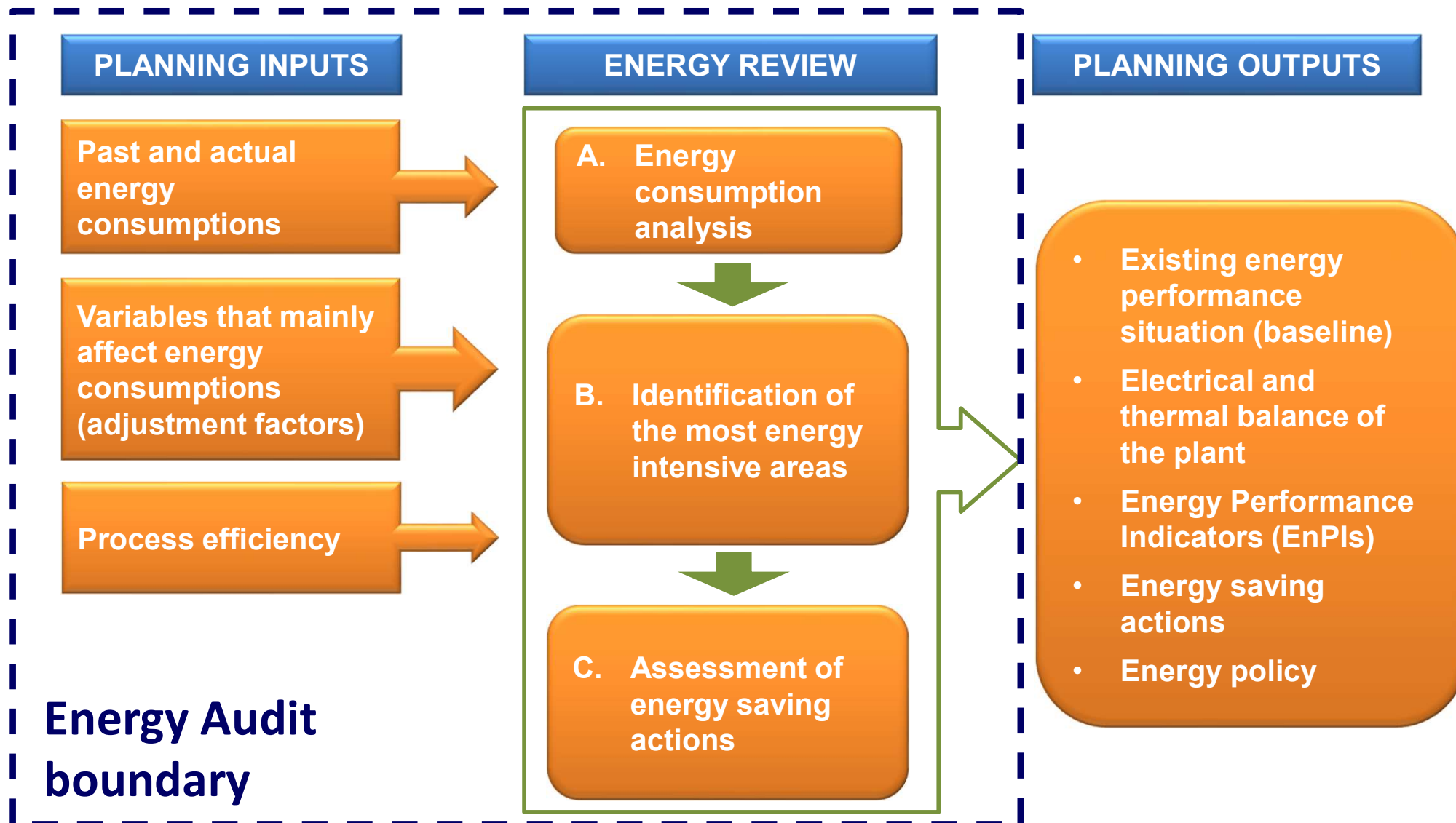
## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

- The energy auditor should evaluate the impact of each energy efficiency improvement opportunity on the existing energy performance situation based on:
  - a) the **financial savings** enabled by the energy efficiency improvement measures;
  - b) the **necessary investments**;
  - c) the **return on investment** or any other economical criteria agreed with the organization;
  - d) The **other possible non-energy gains** (such as productivity or maintenance)
  - e) A comparison in terms of both cost and energy consumption between alternative energy efficiency improvement measures
- Energy saving actions should be **ranked considering the agreed upon criteria (e.g: SPB, NPV, etc...)**.

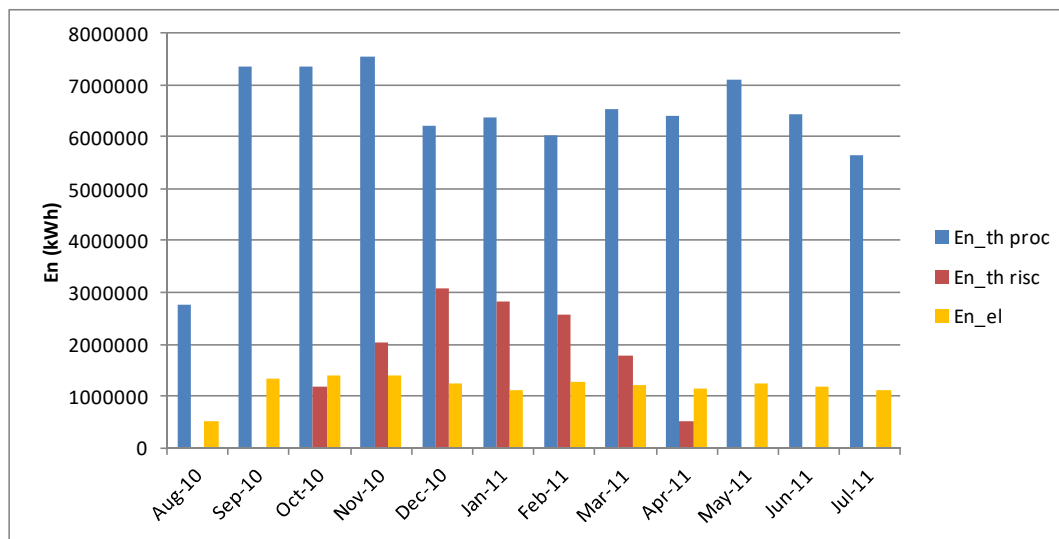
## Energy management ::: EN 16247-1:2012 - Energy Audits



## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

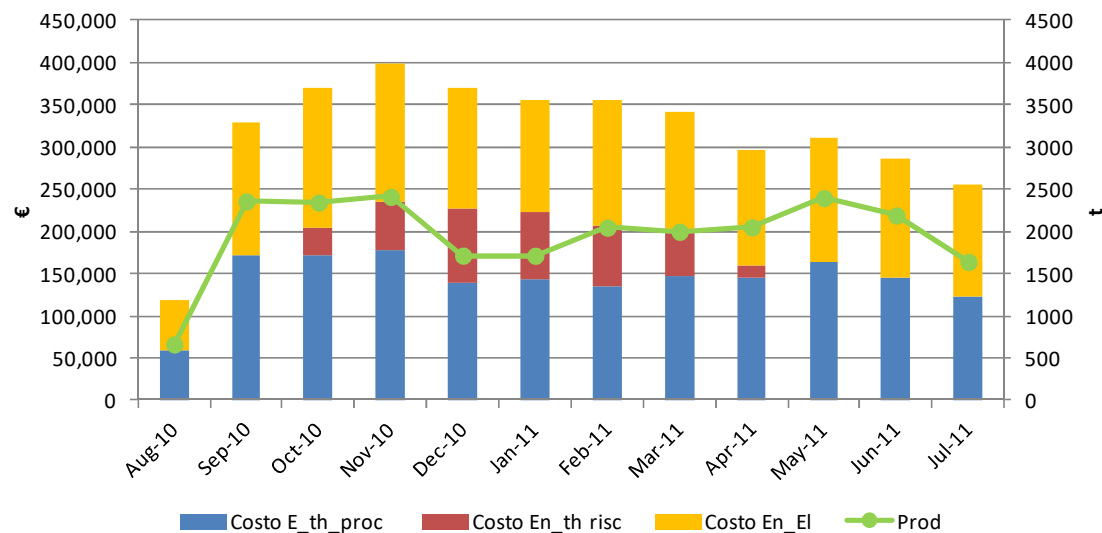


## Energy management ::: EN 16247-1:2012 - Energy Audits



Consumo di energia mensile

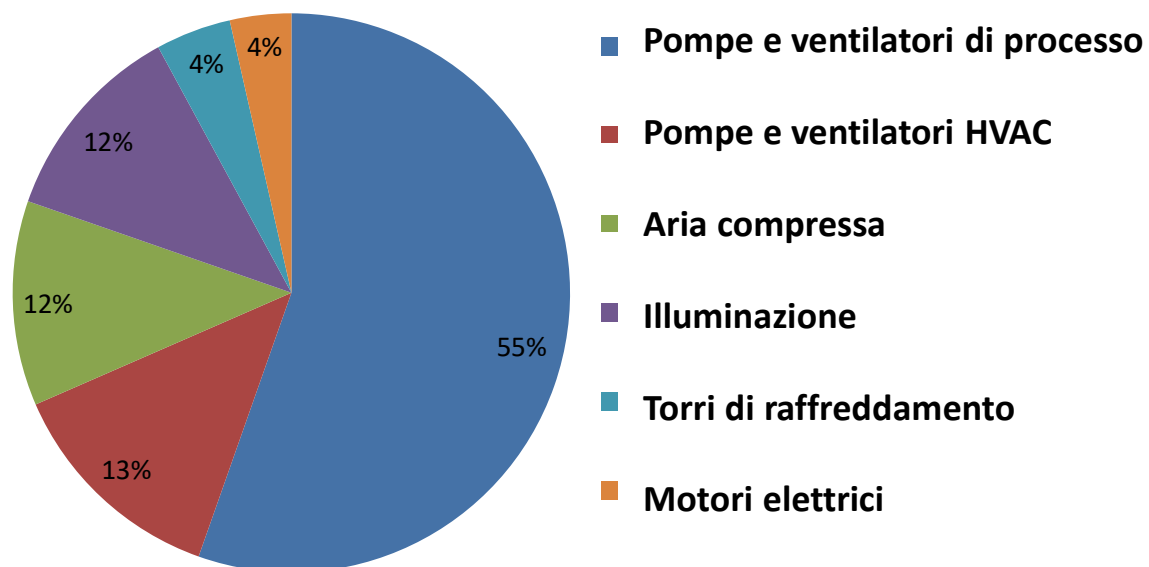
Costo dell'energia mensile



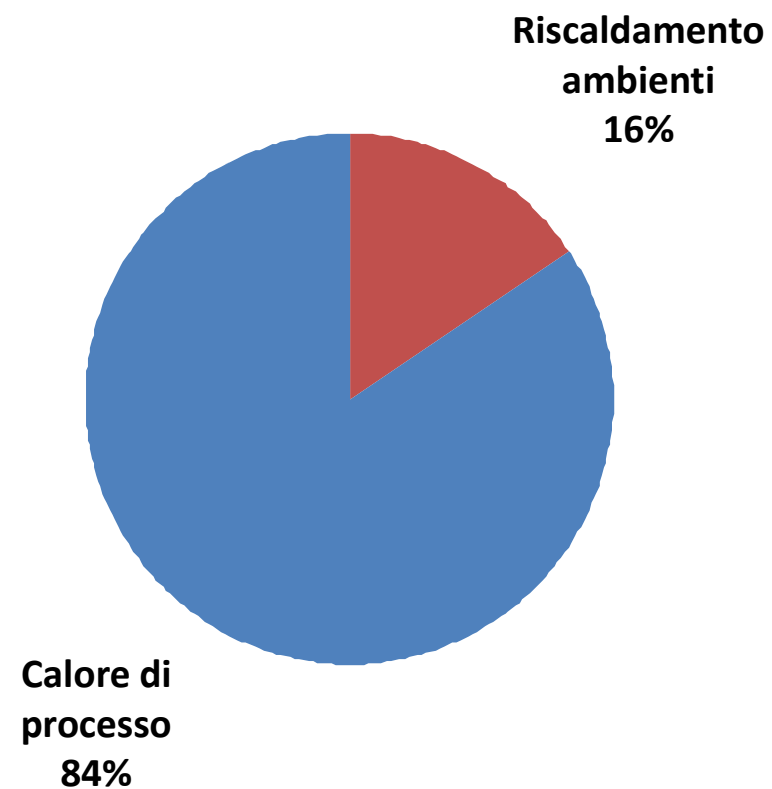


## Energy management ::: EN 16247-1:2012 - Energy Audits

### Disaggregazione consumo elettrico

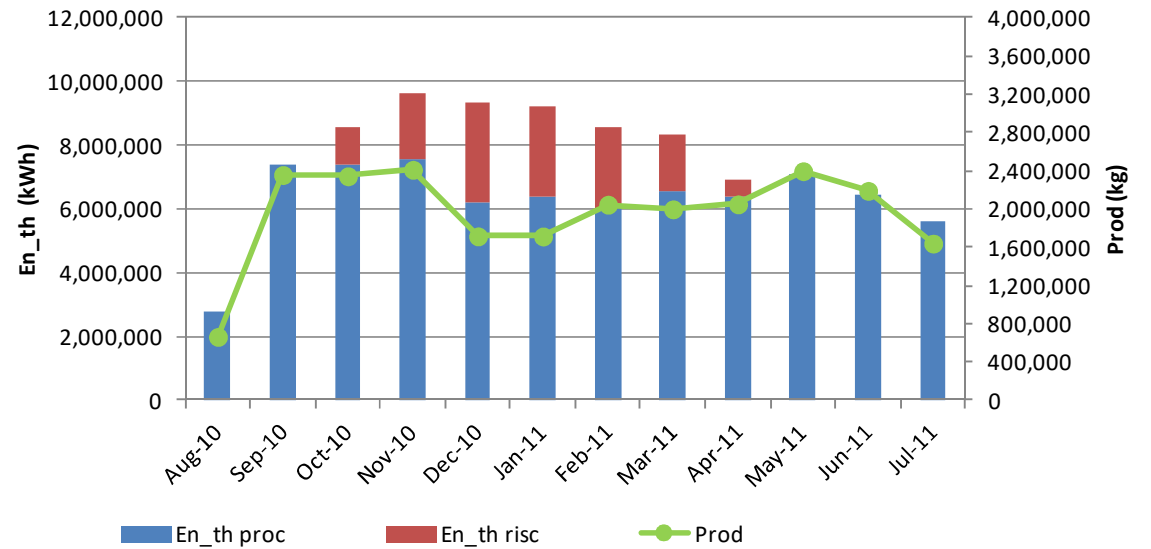


### Disaggregazione consumo termico

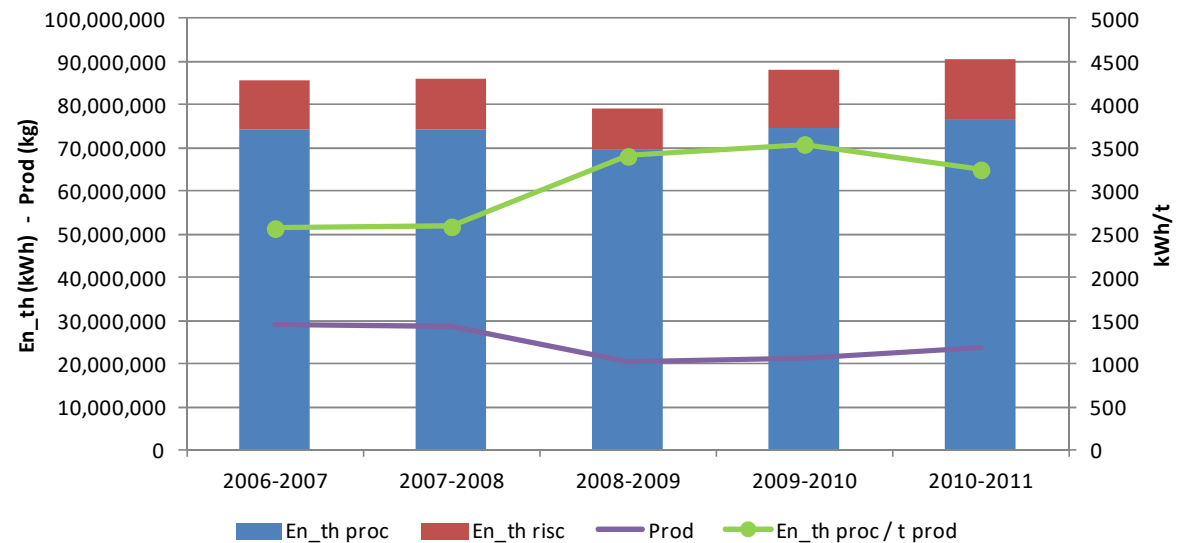


## Energy management ::: EN 16247-1:2012 - Energy Audits

Correlazione fra consumi termici e produzione ::: 1 anno

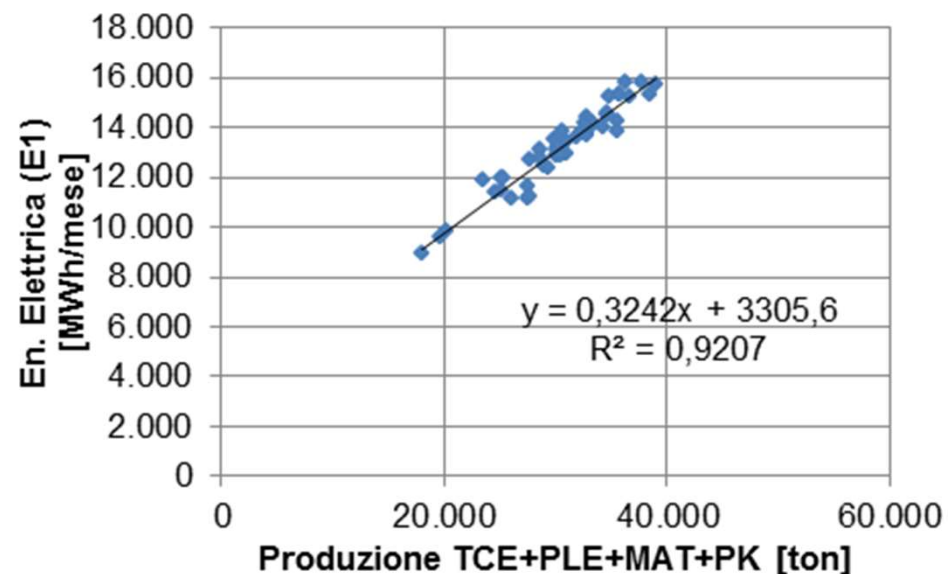


Consumo energetico specifico su 5 anni [kWh/t]

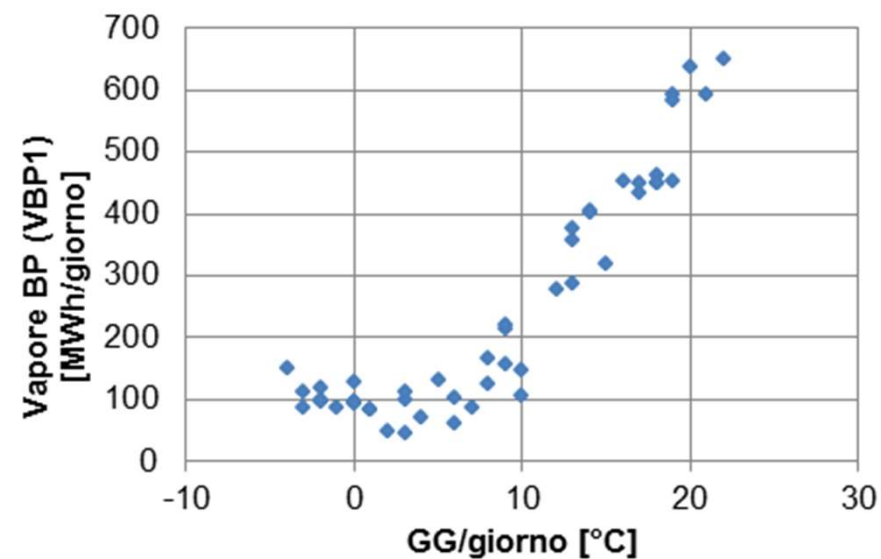


## Energy management ::: EN 16247-1:2012 - Energy Audits

Analisi di Regressione fra  
consumo di energia elettrica e  
produzione su base mensile



Analisi di Regressione fra  
consumo di energia termica e  
gradi-giorno su base  
giornaliera



## Energy management ::: *EN 16247-1:2012 - Energy Audits*

- Alcuni esempi di variabili indipendenti utilizzabili per la valutazione degli EnPIs (**Energy Performance Indicators**):
  - Fatturato
  - Numero di dipendenti
  - Produzione (t, m<sup>2</sup>, n° items)
  - Superfici, volume dei fabbricati
  
- Perché utilizzare gli EnPIs?
  1. Benchmark di prestazione energetica fra differenti aziende dello stesso comparto industriale
  2. Verifica dei risultati ottenuti nel tempo dalle azioni mirate ad una maggiore efficienza energetica

## Energy management ::: *Energy Audit*

➤ Alcuni esempi di EnPIs:

$$\text{EnPI}_{\text{El}} = \frac{\text{EnEl}[\text{kWh}]}{\text{Production}[\text{t}]}$$

Specific consumption of  
Electricity

$$\text{EnPI}_{\text{AC}} = \frac{\text{EnEl}[\text{kWh}]}{\text{AC}[\text{m}^3]} \times \frac{\text{AC}[\text{m}^3]}{\text{Production}[\text{t}]}$$

Specific consumption of  
Compressed air

$$\text{EnPI}_{\text{Th}_p} = \frac{\text{EnTh}_p[\text{kWh}]}{\text{Production}[\text{t}]}$$

Specific consumption of  
thermal energy for process

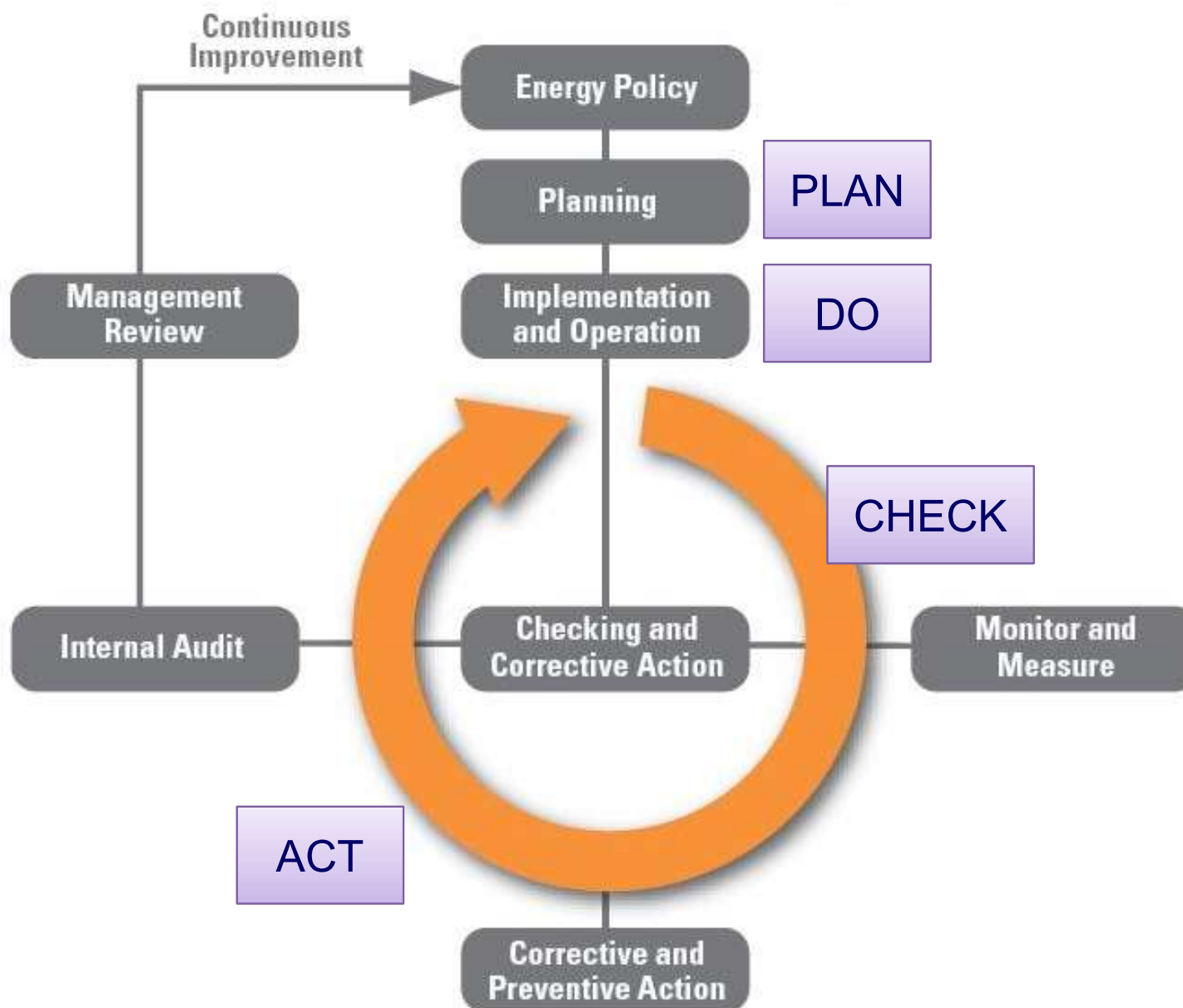
$$\text{EnPI}_{\text{Th}_h} = \frac{\text{EnTh}_h[\text{kWh}]}{\text{V}[\text{m}^3] * \text{DD}[\text{°C}]}$$

Specific consumption of  
thermal energy for heating

## Energy management ::: *EN 50001:2011 - Energy management systems*

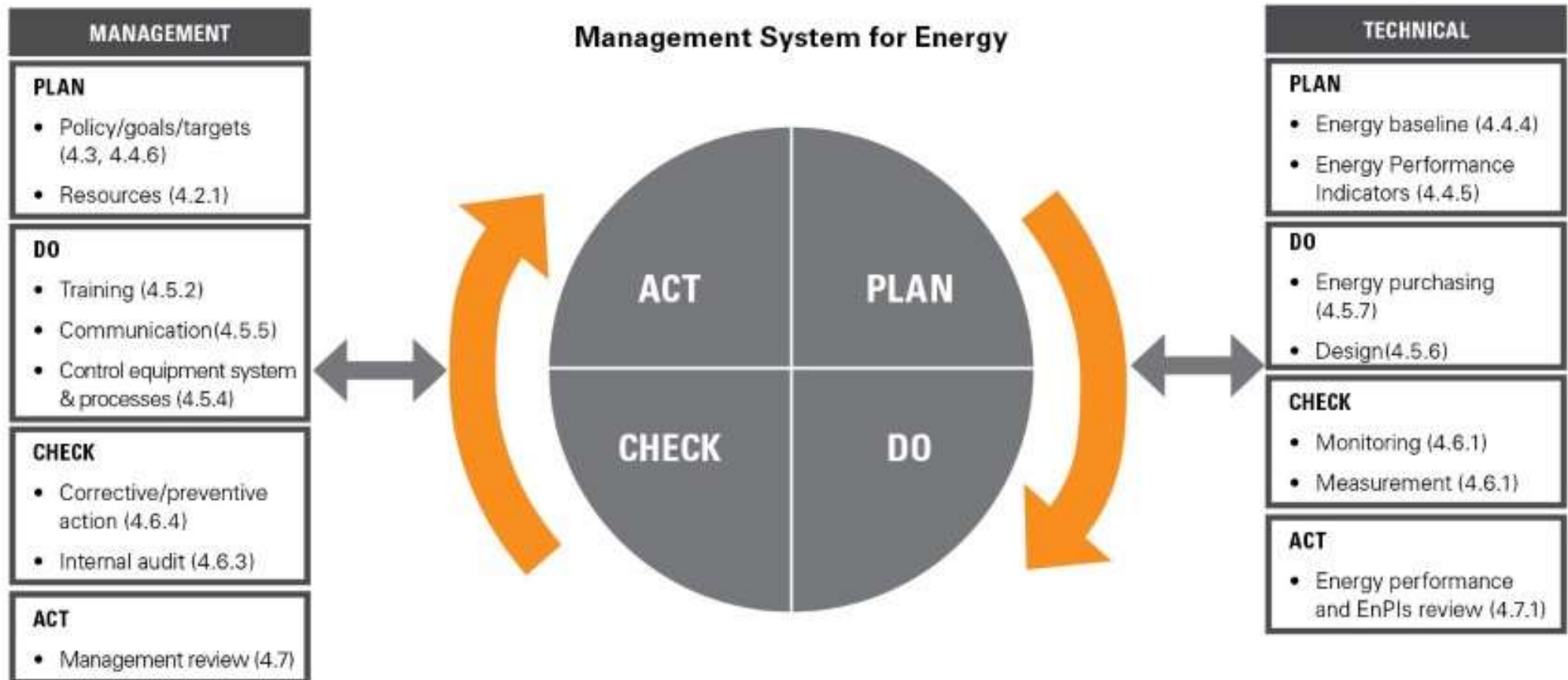
- **European Standard for Energy Management Systems (EnMS)**
- The purpose of this International Standard is **to enable organizations to establish the systems and processes necessary to improve energy performance**
- This International Standard is **applicable to all types and sizes of organizations**, irrespective of geographical, cultural or social conditions.
- An EnMS enables an organization to achieve its policy commitments, to improve its energy performance and demonstrate the conformity of the system to the this International Standard.
- EN 50001 is based on the **Plan - Do - Check - Act (PDCA) continual improvement framework**:
  - **Plan**: conduct the Energy Audit and establish the baseline, energy performance indicators (EnPIs), objectives, targets and action plans necessary to deliver results that will improve energy performance in accordance with the organization's energy policy;
  - **Do**: implement the energy management action plans;
  - **Check**: monitor and measure the achieved energy performance against the energy policy and targets, and report the results;
  - **Act**: take actions to continually improve energy performance and the EnMS

## Energy management ::: EN ISO 50001:2011 - Energy management systems



## Energy management ::: EN ISO 50001:2011 - Energy management systems

### ISO/DIS 50001 ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS





## Summary

### ➤ Introduzione

### ➤ Energy consumption

- Consumo di energia nell'industria
- Settori più energivori in ambito industriale
- Importanza dell'efficienza energetica nell'industria

### ➤ Energy management

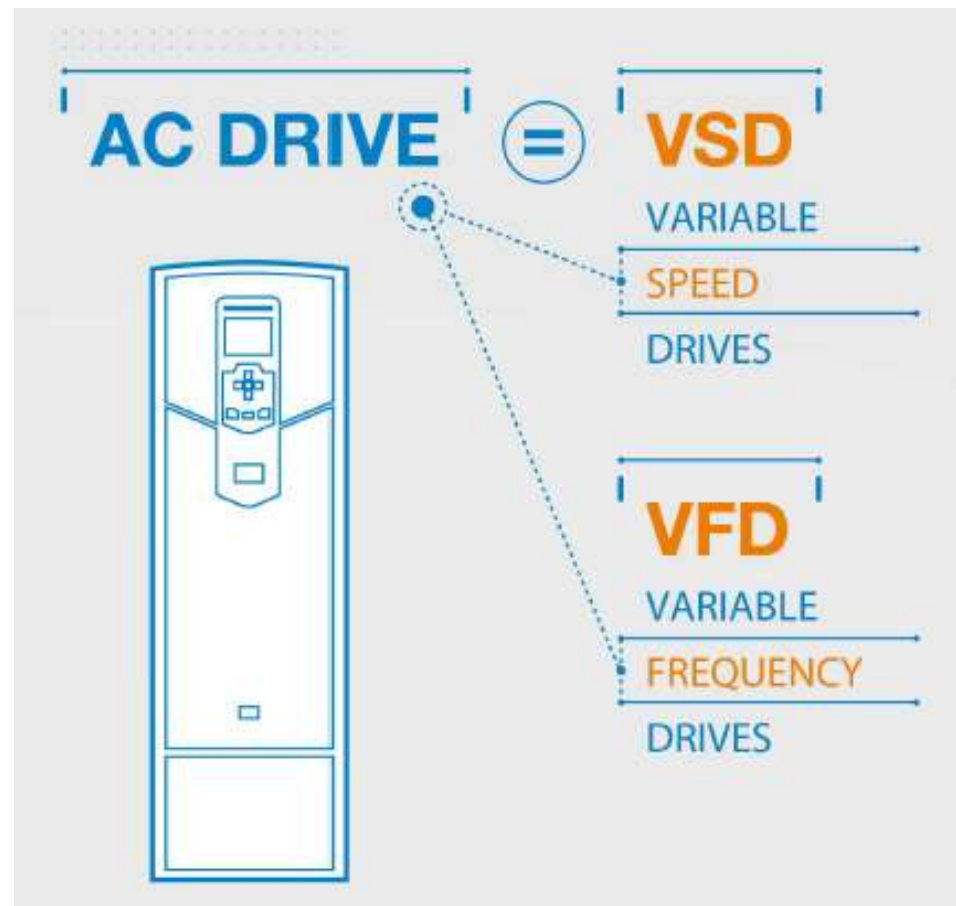
- Obiettivi
- EN 16247-1:2012 - Energy Audits
- EN ISO 50001:2011 - Energy management systems

### ➤ Energy saving technologies

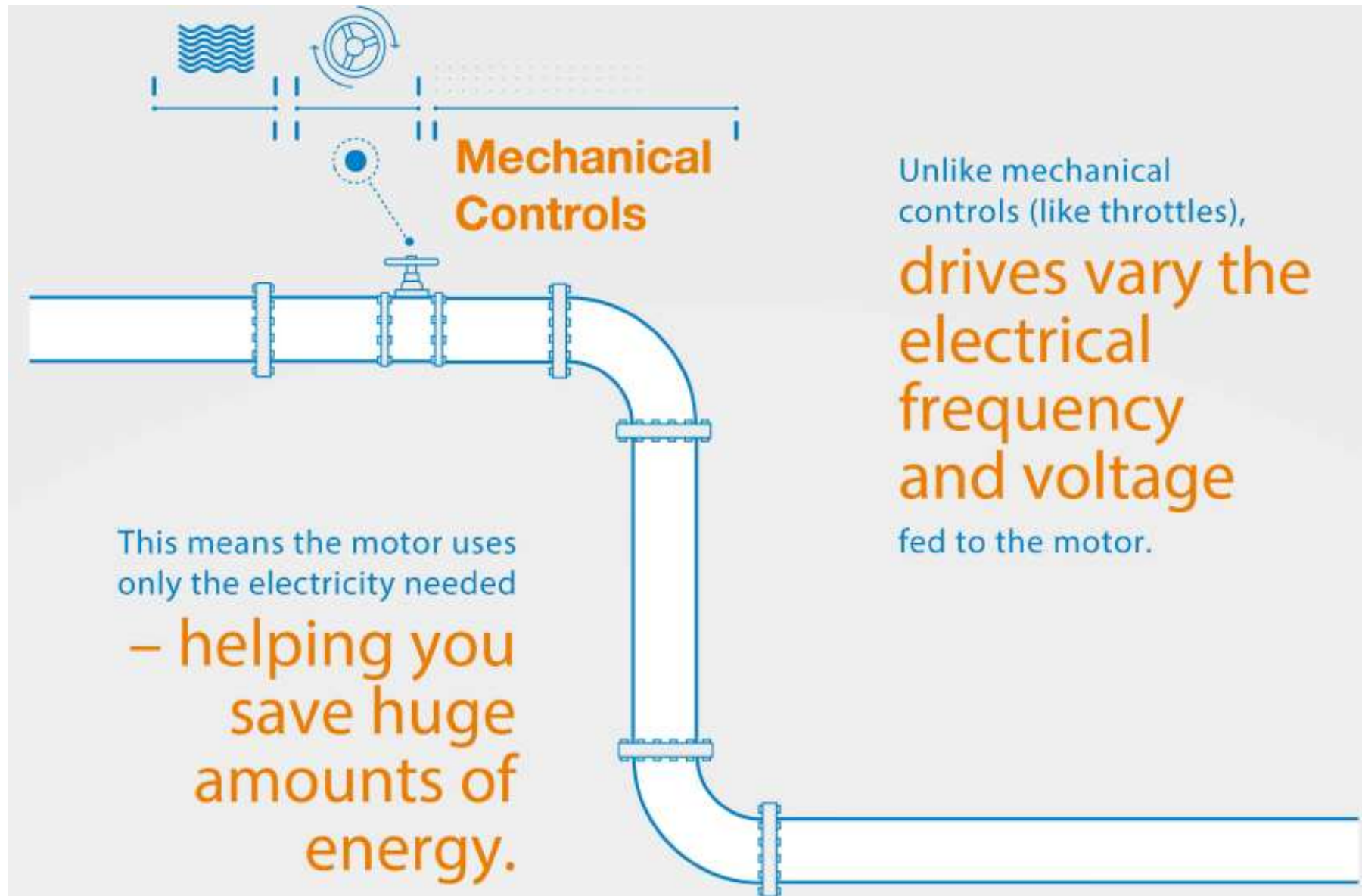
- Azionamenti a velocità variabile (Variable Speed Drive)
- Motori ad alta efficienza (High Efficiency Motors)
- Compressori d'aria ad alta efficienza (High efficiency air compressors)
- Sistemi di illuminazione ad alta efficienza (High efficiency lighting systems)
- Recupero del calore di scarto (Waste heat recovery)
- Cogenerazione/Trigenerazione (CHP-Cogeneration/Trigeneration)

## Energy saving technologies ::: Azionamenti a velocità variabile - Variable speed drives

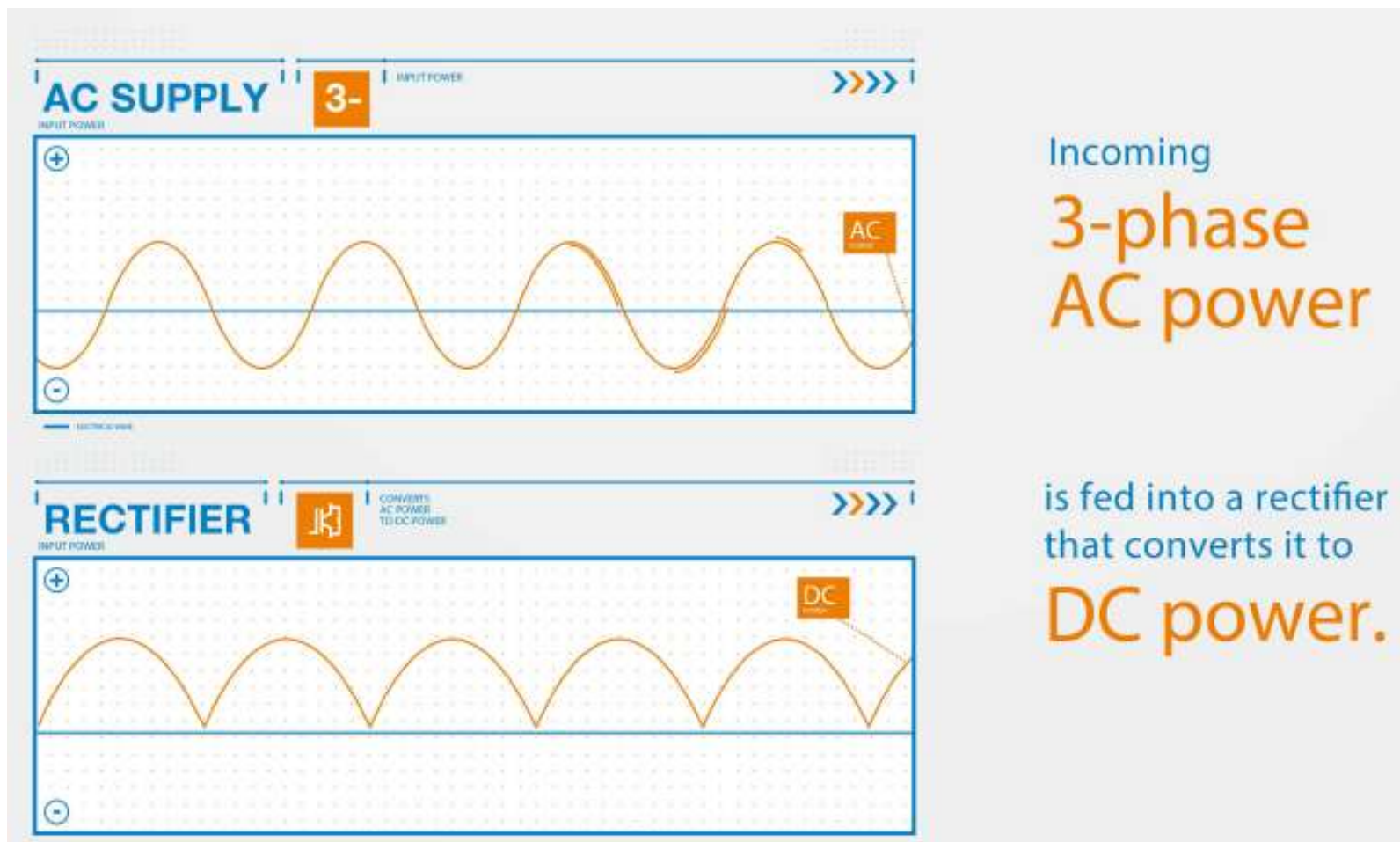
- Un azionamento a velocità variabile e un convertitore di potenza elettronico che genera un'uscita a frequenza variabile che può essere utilizzato per **modulare e controllare la velocità del motore**, la coppia e la **potenza meccanica in uscita**.
- Questa tecnologia produce **significativi risparmi di energia** in molte applicazioni industriali



## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*



## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*

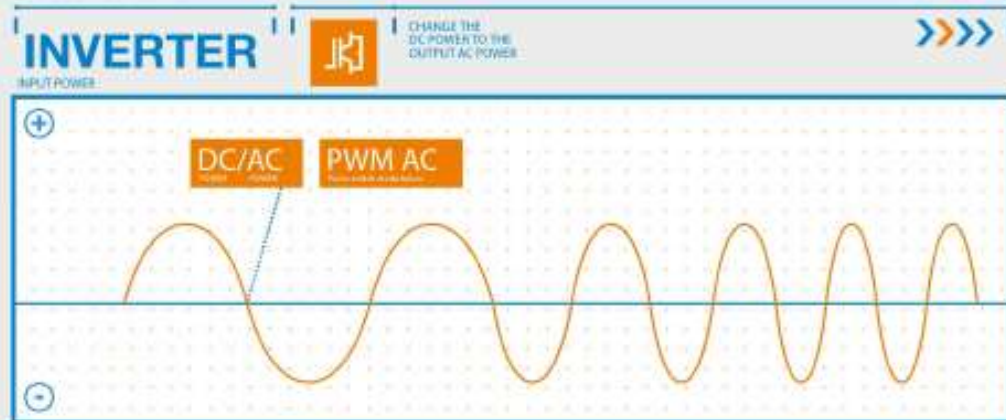
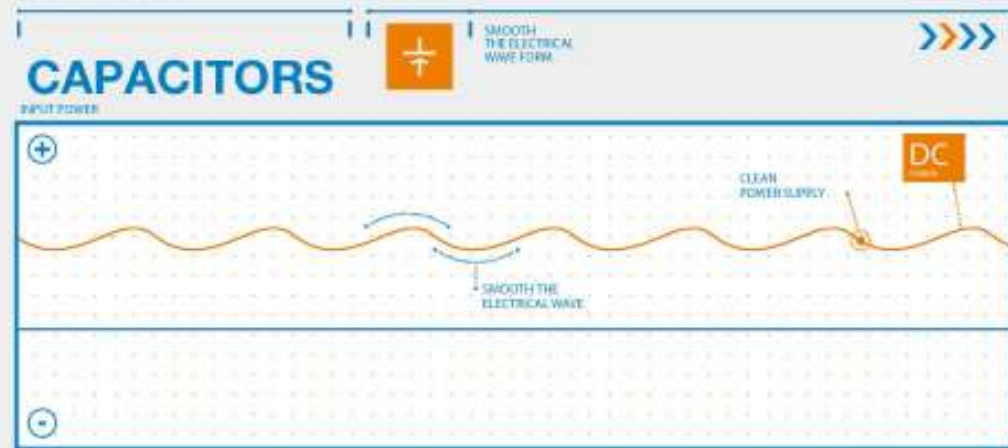


Incoming  
3-phase  
AC power

is fed into a rectifier  
that converts it to  
DC power.

## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*

DC power is fed into capacitors, smoothing the wave and producing a clean DC supply.



The drive calculates the motor's required voltage and current. DC power is then fed into an inverter producing AC power at the precise voltage and current needed.



## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*

The drive  
**continuously  
calculates  
and adjusts**  
the frequency and voltage  
providing only the power the  
motor needs.

This is how you can **save  
large amounts  
of energy.**

VARIABLE SPEED CONTROL  
1200 RPM

## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*



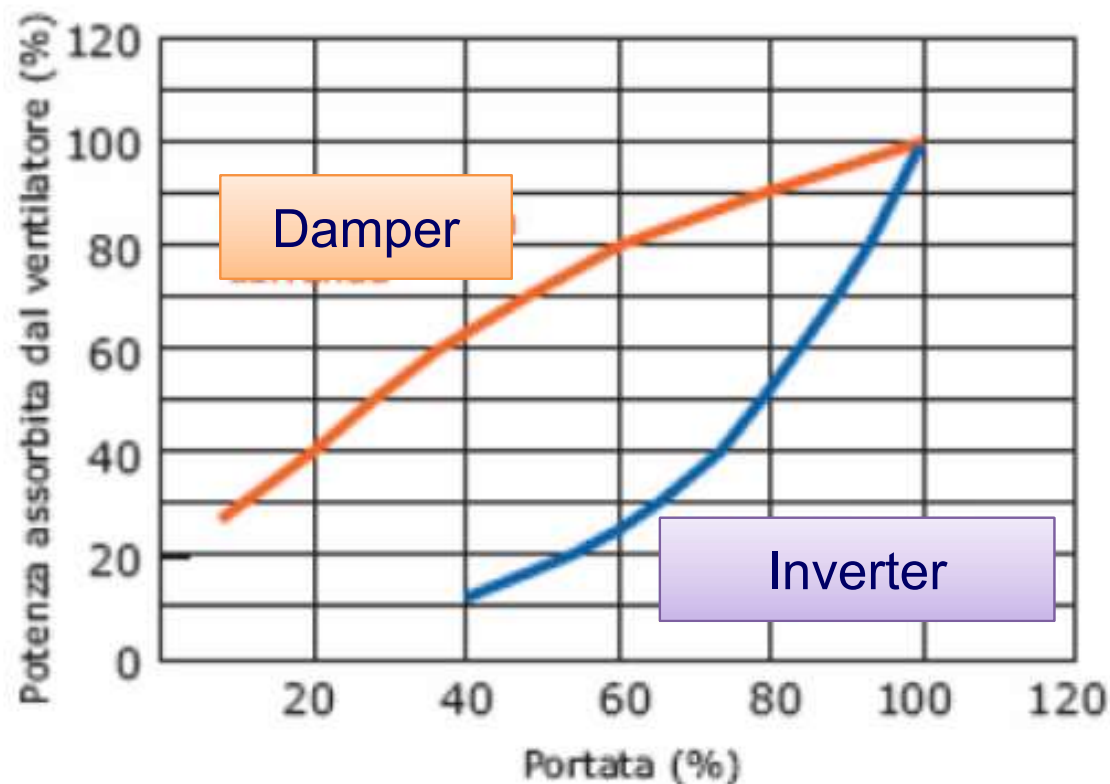
**Ventilatori azionati da VSD**



**Inverter che modula la  
velocità del motore**

## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*

- Due diverse tecniche per regolare la portata di un ventilatore:
  - Serranda (strozzamento)
  - Variable Speed Drive



**Si ottiene una riduzione  
far 80% e 25% per una  
portata del ventilatore  
pari al 60% del valore  
nominale**



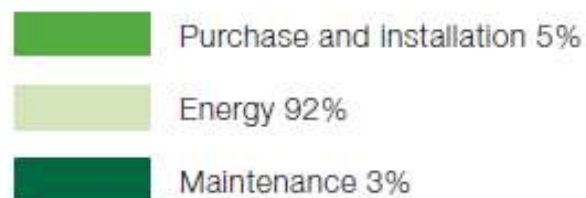
## Energy saving technologies ::: *Variable speed drives*

- Applicazioni tipiche che possono beneficiare di variable-speed drives:
  - Pompe
  - Ventilatori
  - Unità di Trattamento Aria (UTA)
  - Compressori
  - Chiller (refrigeratori d'acqua) e Pompe di calore
  - Torri di raffreddamento
  - Valvole di regolazione
  - ...

## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*

- **Life Cycle Cost Analysis:** coinvolge l'analisi dei costi di un impianto o di un componente per l'intero ciclo di vita. I costi tipici di un sistema possono includere:
  - Acquisto e installazione
  - Consumo di energia
  - Manutenzione
- **Il costo di acquisto di un motore è solo il 5% of del suo costo di ciclo di vita. La parte maggiore del costo è associata al consumo di energia**

Main elements of life cycle costs for a motor and drive \*



\* Typical life cycle cost when retrofitting a new motor and drive to an existing system

## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*

- Si è stimato che **i motori elettrici determinano il 65% circa dei consumi elettrici nelle applicazioni industriali**, quindi il potenziale risparmio è enorme.
- Il consumo di un motore (kWh) dipende dalla Potenza nominale (kW), dal fattore di carico, e dal tempo di funzionamento (h).

$$E = \frac{P * h * f}{\eta}$$

- La International Electrotechnical Commission (IEC) ha introdotto gli standard relativi ai motori elettrici ad alta efficienza
- IEC 60034-2-1 specifica i metodi di misura della prestazione energetica e **IEC 60034-30 definisce le classi di efficienza per un'ampia gamma di motori elettrici**

### 2.1.1 IEC efficiency classes

IEC 60034-30-1 defines four IE (International Efficiency) classes for all electric motors that are rated for sinusoidal voltage.

Standard efficiency	IE1
High efficiency	IE2
Premium efficiency	IE3
Super premium efficiency	IE4



## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*

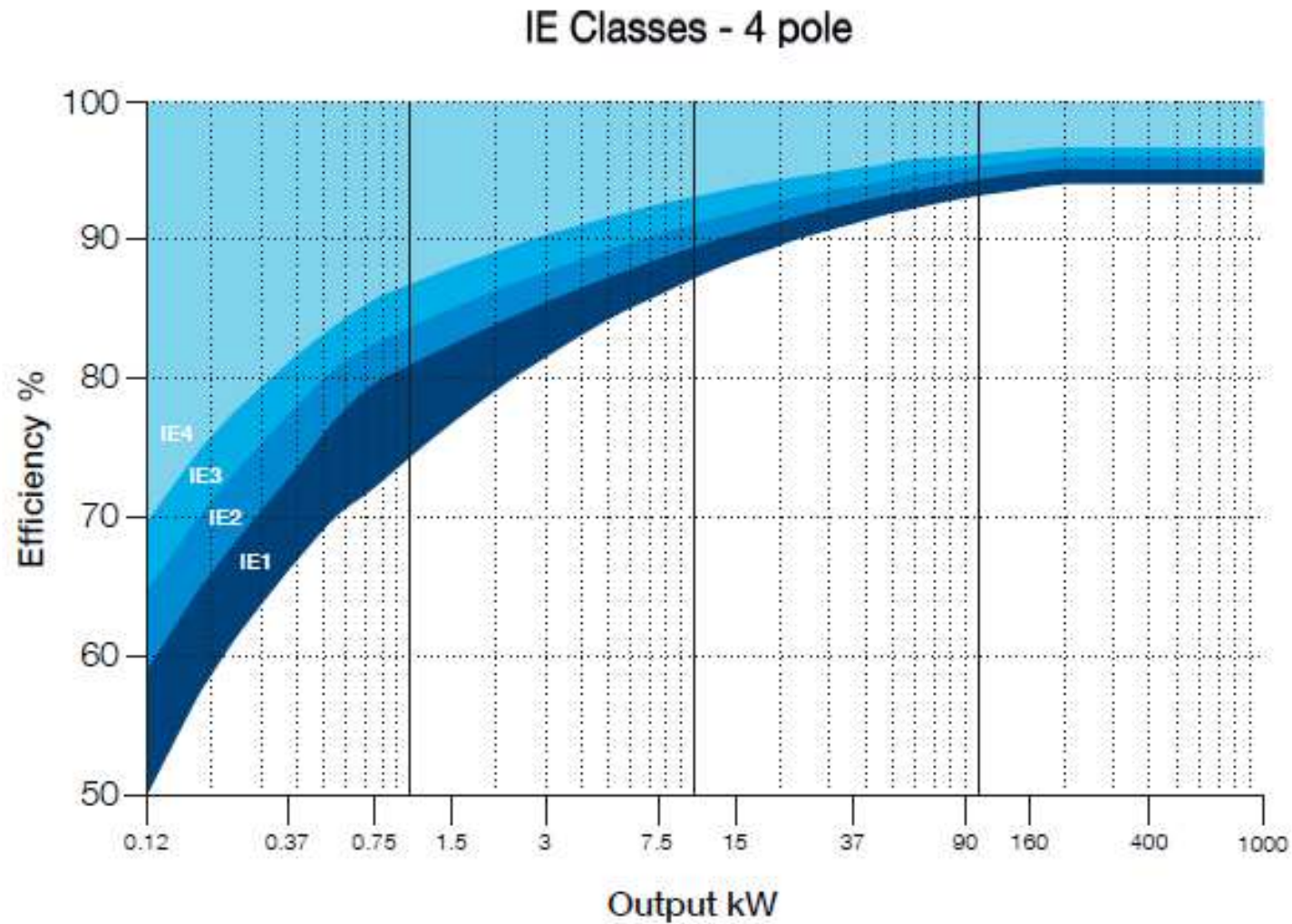
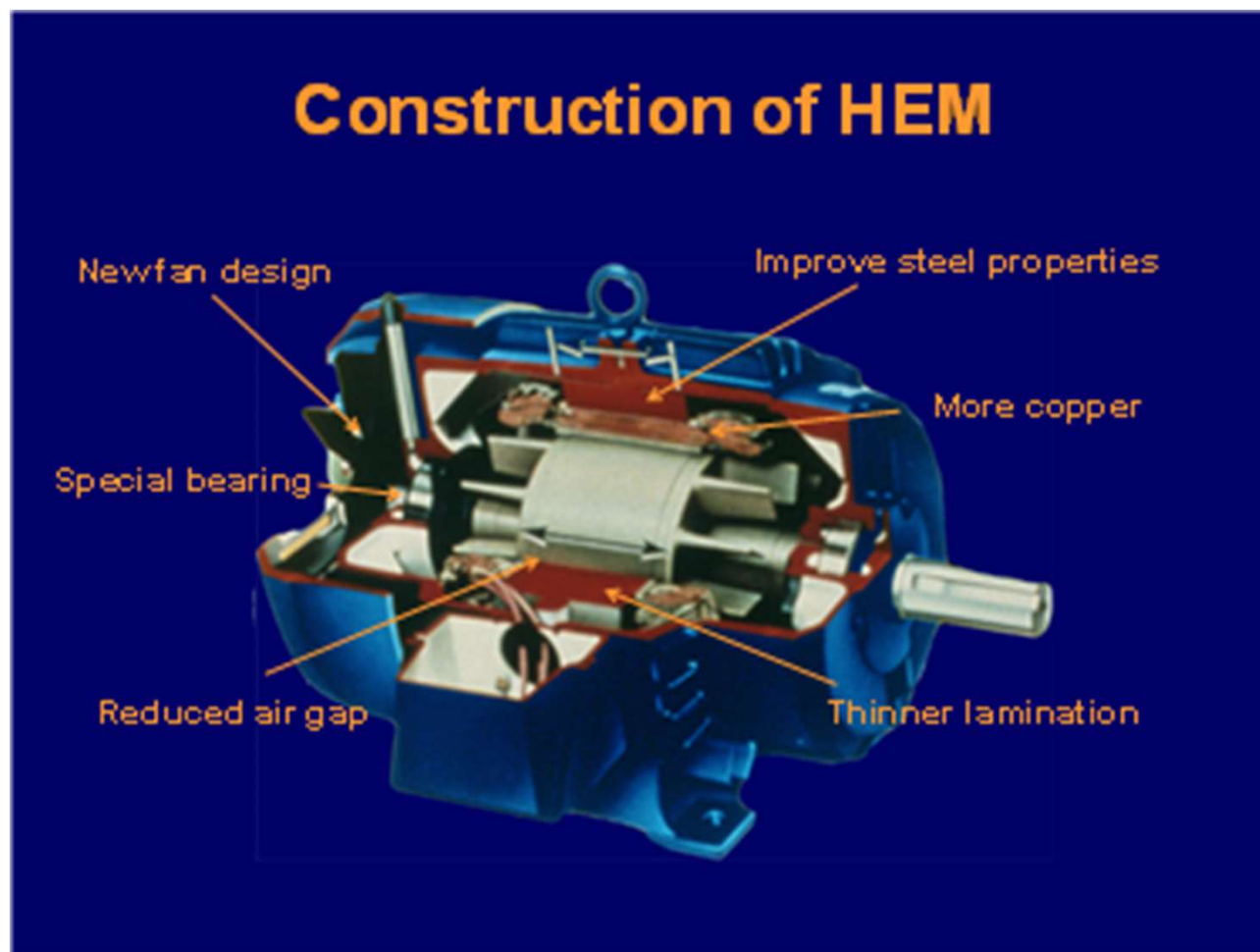
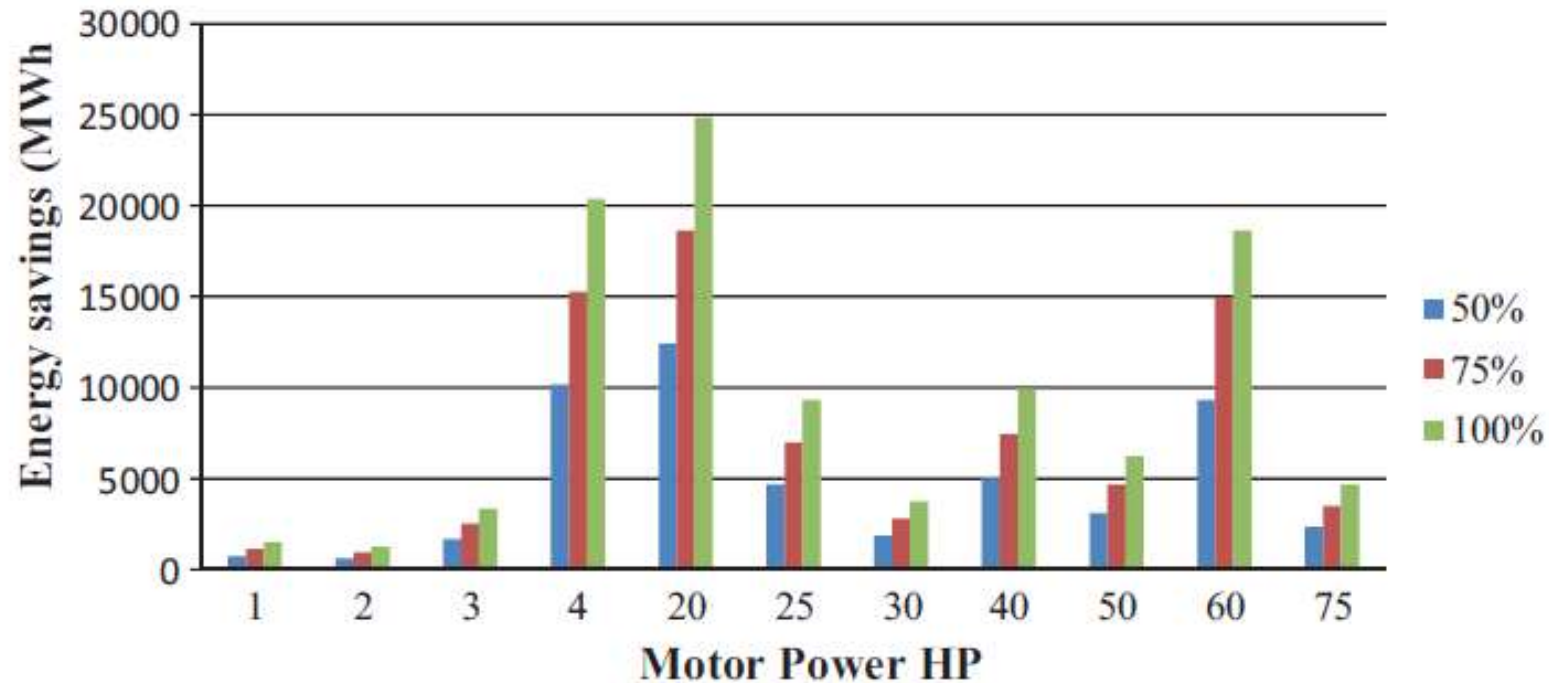


Figure 2.1 IE efficiency classes for 4-pole motors at 50 Hz

## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*



## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*



**Fig. 22.** Energy savings (MWh) for high efficient motor [30].

[30] Saidur R, Rahim NA, Masjuki HH, Mekhilef S, Ping HW, Jamaluddin MF. Enduse energy analysis in the Malaysian industrial sector. *Energy* 2009;34: 153–8.



## Energy saving technologies ::: *High Efficiency Motors*

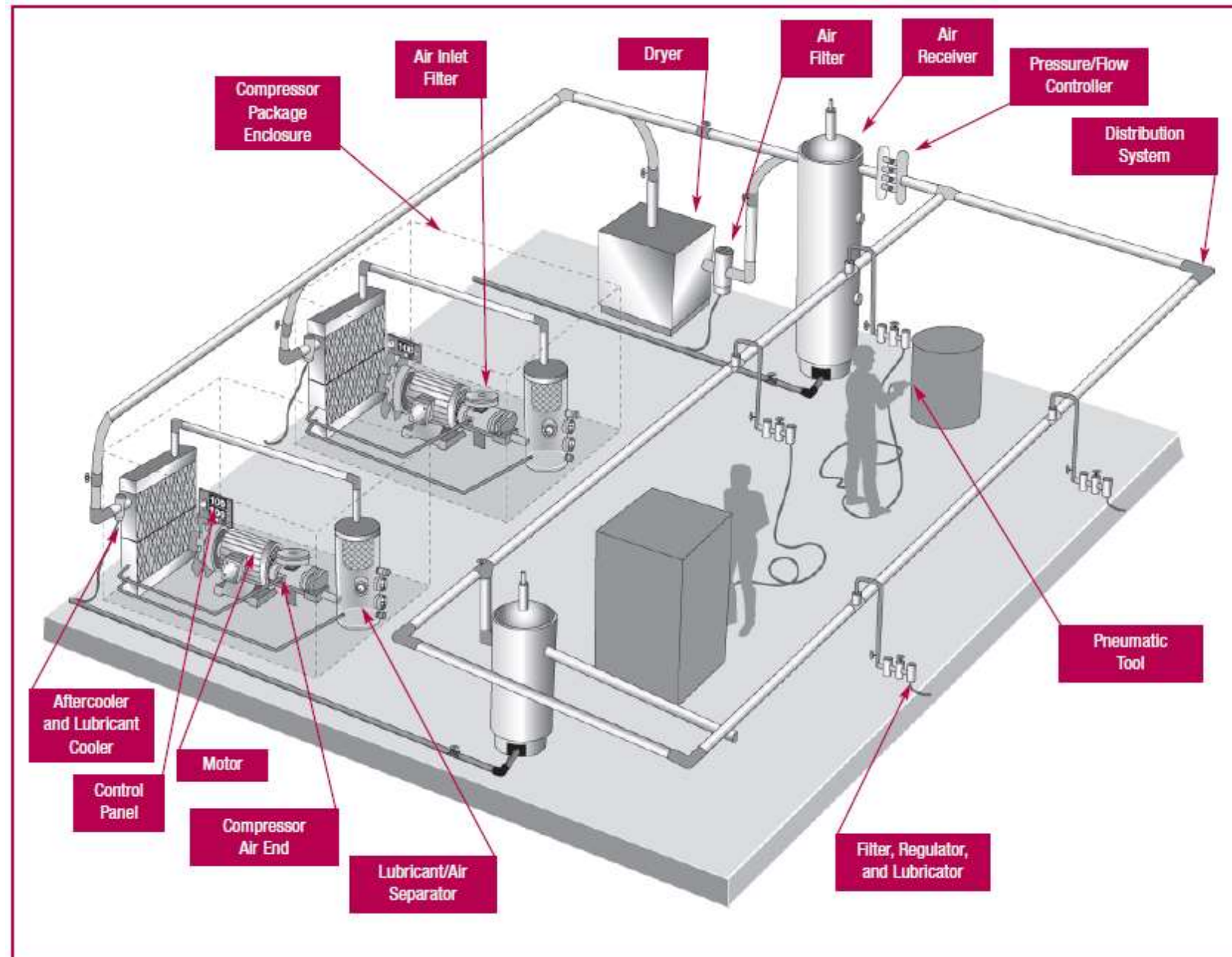
Payback period for  
high efficiency  
motors

**Table 7**  
Bill savings and payback period for high efficient motor [30].

Hp	Load (50%)		Load (75%)		Load (100%)	
	Bill savings (RM/year)	Payback (year)	Bill savings (RM/year)	Payback (year)	Bill savings (RM/year)	Payback (year)
0.25	43,469	7.89	65,203	5.26	86,937	3.95
0.5	21,734	5.1	32,601	3.4	43,469	2.55
0.75	37,259	3.48	55,888	2.32	74,518	1.74
1	149,035	2.9	223,553	1.94	298,070	1.45
1.5	18,629	1.94	27,944	1.29	37,259	0.97
2	124,196	1.71	186,294	1.14	248,392	0.86
3	335,329	1.06	502,994	0.7	670,658	0.53
4	2,036,814	1.67	3,055,222	1.12	4,073,629	0.84
5.5	68,308	2.08	102,462	1.39	136,616	1.04
7.5	186,294	1.98	279,441	1.32	372,588	0.99
15	93,147	1.77	139,721	1.18	186,294	0.88
20	2,483,920	1.45	3,725,880	0.97	4,967,840	0.73
25	931,470	1.62	1,397,205	1.08	1,862,940	0.81
30	372,588	1.47	558,882	0.98	745,176	0.74
40	993,568	1.32	1,490,352	0.88	1,987,136	0.66
50	620,980	1.11	931,470	0.74	1,241,960	0.56
60	1,862,940	1.17	2,794,410	0.78	3,725,880	0.59
75	465,735	1.18	698,603	0.78	931,470	0.59

[30] Saidur R, Rahim NA, Masjuki HH, Mekhilef S, Ping HW, Jamaluddin MF. Enduse energy analysis in the Malaysian industrial sector. Energy 2009;34: 153–8.

## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*





## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*

➤ L'aria compressa è utilizzata in svariate applicazioni da parte dell'industria manifatturiera.

Application	Air Usage Description
Aluminum Smelting Plants	Compressed air used on lifting gantry cranes.
Spray Finishing Equipment	Compressed air is used to vaporize paint so it can be applied to components and products.
Air Operated Lifting Equipment	Small and compact air hoists can be used for a multitude of lifting operations.
Shot Blasting	Blasting and cleaning operations use compressed air to propel grit.
Cooling & Heating	Compressed air is used in a vortex tube to create high volumes of cool air for industrial cooling processes. Vortex tubes can also be reverse flowed to produce high temperature air used in heating processes.
Cleaning	Compressed air is used for cleaning processes in manufacturing facilities.
Welding Equipment	Compressed air is used for cooling.
Robotics	Compressed air is used for controlling robotic machines on assembly lines.
Paper Pressing	Compressed air is used via cylinders for a variety of pressing applications.
Printing	Compressed air used for operation of printing pumps and equipment.
Roller Adjustment	Compressed air is used to precisely control the roller thickness which determines the paper thickness.

## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*

Compressore d'aria  
rotativo a vite 100 kW



- Azionamenti e attrezzature pneumatiche
- Lavorazioni
- Movimentazione dei prodotti

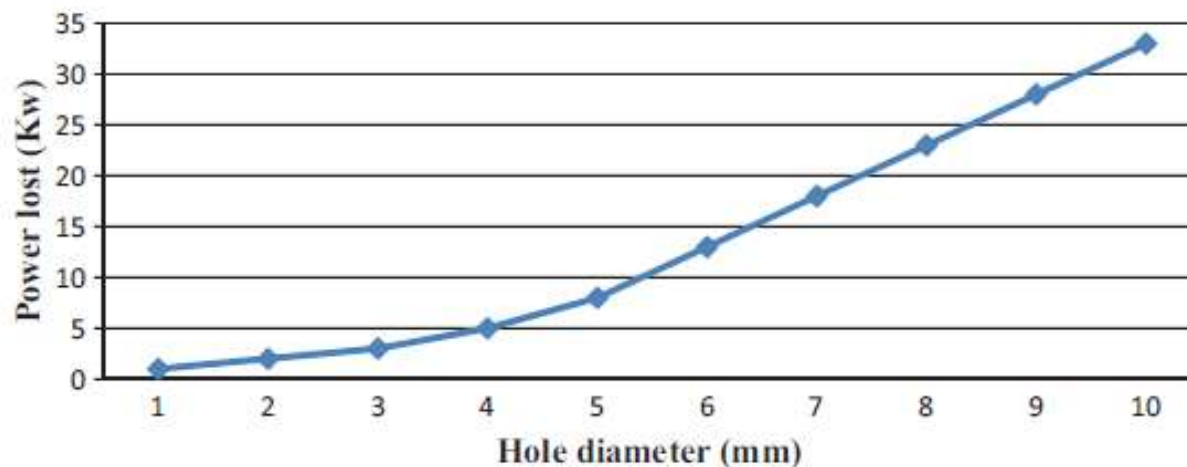
## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*

- Sostituire i motori con motori ad alta efficienza (HEM)
- Sostituire i compressori con unità ad alta efficienza
- Ridurre la pressione di mandata dell'impianto
- Ridurre il più possibile la temperature dell'aria
- Spegnerne il compressore quando non in uso
- Installare azionamenti a velocità variabile (VSD)
- Utilizzare filtri dell'aria e sistemi di deumidificazione efficienti
- Recuperare calore dal processo di compressione
- Prevenire le perdite / fughe di aria compressa

Azioni mirate  
all'efficienza energetica

## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*

- **Le fughe** determinano un notevole spreco di energia negli impianti di aria compressa.
- **Le fughe possono dissipare il 20–30% della quantità di aria prodotta da un compressore.**
- Le fughe si verificano in prevalenza in corrispondenza di giunti, connessioni, gomiti, variazioni repentine di sezione, tubi rigidi e flessibili, prolunghe, filtri, valvole di regolazione, di controllo e di sfiato, e componenti collegati alle linee di aria compressa.
- Tali **fughe possono causare una riduzione di pressione dell'impianto, parametro che influenza la produzione di aria compressa.**
- Le fughe causano un **incremento del consumo di energia del compressore e dei costi di manutenzione.**
- Le perdite di potenza crescono con legge esponenziale con il diametro della linea:



[31] Kaya D, Phelan P, Chau D, Sarac HI. Energy conservation in compressed-air systems. International Journal of Energy Research 2002;26:837–49.

## Energy saving technologies ::: High efficiency air compressors

- Il modo migliore per identificare le fughe è **utilizzare un rilevatore di fughe acustico ultrasonico**, che può riconoscere i sibili ad alta frequenza associati alle fughe.
- Lo strumento permette di identificare anche fughe minime, a prescindere dal livello di rumore ambientale presente in un impianto industriale



**Table 9**

Cost of waste energy due to leak prevention [34].

Diameter of leak (in.)	Cost per year
1/64	\$48.00
3/64	\$424.00
1/16	\$744.00
1/8	\$2981.00
1/4	\$11,904.00
5/16	\$18,721.00
3/8	\$27,036.00

[34] PS (Plant Support). Compressed air ultrasonic leak detection guide; 2010, Available online at:  
<http://www.plantsupport.com/download/UCAGuide.pdf>



## Energy saving technologies ::: *High efficiency air compressors*

- Minimizzare le **perdite di pressione** richiede un approccio sistemico al progetto e alla manutenzione. **E' consigliabile scegliere sistemi di trattamento dell'aria con le minime perdite di pressione** nelle condizioni nominali di funzionamento.
- Le raccomandazioni del costruttore sulla manutenzione devono essere seguite scrupolosamente, soprattutto per i componenti di filtrazione e deumidificazione dell'aria.
- **Operare l'impianto di aria compressa alla minima pressione operativa compatibile con la produzione richiesta riduce il consumo di energia.** Per esempio, diminuendo la pressione di 13 kPa si ridurrà il consumo di energia dell'1%.
- Maggiori riduzioni della pressione (70–84 kPa) possono determinare risparmi del 5–6% nel consumo elettrico per produrre aria compressa [32,36].
- Se possibile, **utilizzare circuiti di aria compressa che operano a differenti livelli di pressione**

[32] Galitsky C, Worrell E. Energy efficiency improvement and cost saving opportunities for the vehicle assembly industry. Lawrence Berkeley National Laboratory 2008 [LBNL-50939-Revision].

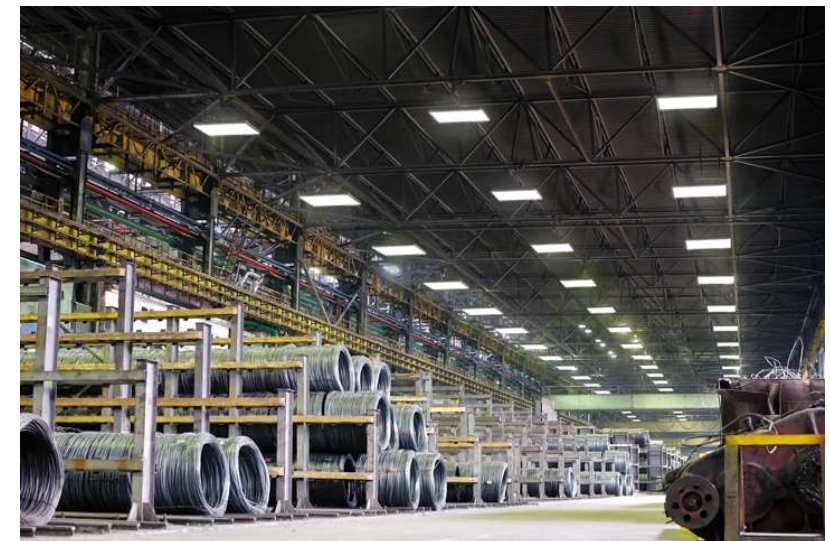
[36] D'Antonio M, Epstein G, Moray S, Schmidt C. Compressed air load reduction approaches and innovations. In: Proceedings of the twenty-seventh industrial energy technology conference; 2005

## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- Vi sono svariate modalità per ottimizzare i sistemi di illuminazione nella maggior parte degli impianti industriali.
- Sono elencate di seguito sette azioni per ridurre i consumi, convenienti dal punto di vista economico:
  - **Applicare la regolazione dell'impianto di illuminazione**
  - **Installare sorgenti luminose a LED**
  - Sostituire le lampade a **vapori di mercurio** con unità ad **Alogenuri metallici** oppure a **Vapori di sodio ad alta pressione**
  - Sostituire i **reattori (ballast) magnetici** con **ballast elettronici**
  - Ottimizzare il **layout dell'impianto** (Lux optimization) nei reparti produttivi e non
  - Ottimizzare l'uso della **luce naturale**

## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- **Sorgenti a LED:** I LED hanno molti punti di forza, ma non possono essere considerati come la soluzione ottimale per qualsiasi applicazione di illuminazione artificiale.
- **Lifetime:** I LED hanno una vita utile molto lunga (fino a 60.000 h) e sono in genere molto robusti.
- **Standardizzazione:** La mancanza di standardizzazione generale sui LED è un problema aperto.
- **Manutenzione ridotta:** La lunga durata dei LED riduce la necessità di sostituire le lampade guaste, e questo può determinare risparmi significativi, anche nel costo delle squadre di manutenzione.
- **Ridotto consumo elettrico:** Il ridotto fabbisogno di potenza dei LED determina significativi risparmi di energia (50-60% rispetto a normali lampade T8).
- **Costi:** Il costo di installazione dei LED è tuttora elevato rispetto ad altre tipologie di lampada.





## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- **Regolazione dell'illuminazione:** le luci possono essere **spente durante le ore non lavorative tramite controlli automatici**, come i **sensori di occupazione** che spengono le luci quando un ambiente non è occupato.
- Controlli manuali possono essere aggiunti a quelli automatici in spazi più piccolo per ottenere maggiori risparmi.
- **Il payback period per il controllo dell'illuminazione è in genere meno di due anni.**



Pannello di controllo  
dell'illuminazione

## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- La sostituzione delle lampade a vapori di mercurio e le lampade fluorescenti consente di ottenere risparmi energetici considerevoli
- Dove la resa cromatica è un fattore critico, si consigliano le lampade ad **alogenuri metallici** con **risparmio energetico fino al 50%**.
- Dove la resa cromatica non è un fattore critico, si consigliano le lampade a **vapori di sodio ad alta pressione** con **risparmio energetico del 50-60%**.



Lampade ad alogenuri  
metallici



## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- **Sostituire il ballast magnetico con il ballast elettronico:** Il ballast è il dispositivo che innesca e stabilizza l'emissione luminosa nelle lampade a scarica.
- **Il ballast elettronico riduce del 12 – 20% il consumo elettrico rispetto al ballast magnetico**
- Le lampade ad alta efficienza sono dotate di ballast elettronici



## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

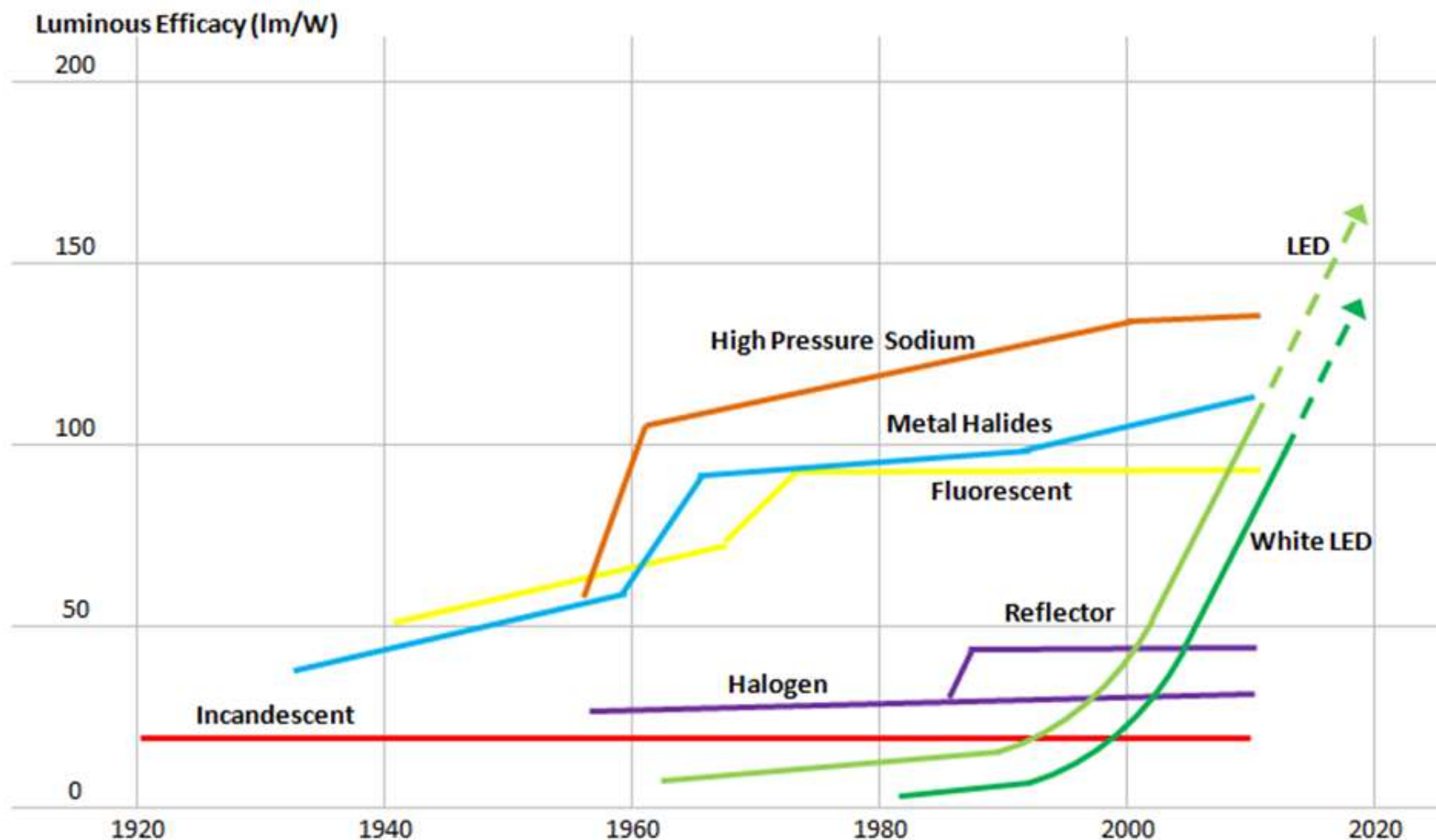
- **Ottimizzazione dell'illuminazione dell'impianto (Lux optimization):** In molti impianti il sistema di illuminazione non è progettato specificamente per il processo industriale. **Esistono standard di illuminazione per ciascun tipo di processo**
- Pertanto, occorre **ottimizzare il sistema di illuminazione in base all'illuminamento (lx) richiesto in ciascuna fase del processo produttivo**
- **Uso ottimale della luce naturale:** gli interventi possibili riguardano i serramenti verticali e i lucernari posti in copertura.
- **Sensori di luce diurna** possono essere utilizzati per ridurre automaticamente il flusso luminoso emesso dalle lampade





## Energy saving technologies ::: *High efficiency lighting systems*

- **Efficienza luminosa:** si esprime in lumen per watt [lm/W].
- Esprime **l'efficienza con cui la sorgente trasforma l'energia elettrica in luce visibile**



## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*

- Il calore di scarto (waste heat) è **calore generato in un processo e quindi “scaricato” in ambiente, pur potendo essere recuperato e utilizzato per finalità di interesse tecnico ed economico**
- Le sorgenti di calore di scarto comprendono **fumi caldi da combustione espulsi in atmosfera, prodotti caldi in uscita da processi industriali**, e scambio termico da superfici calde di componenti.
- Non sono disponibili dati precisi sull’entità del calore di scarto, ma diversi studi hanno stimato che tra il **20 e il 50% del consumo di energia nell’industria è attualmente dissipato come calore di scarto** [37].
- Sebbene una quota di calore dissipato sia inevitabile, tali perdite possono essere ridotte **migliorando l’efficienza dei dispositivi o installando tecnologie di recupero del calore di scarto**.
- Le strategie di recupero del calore di scarto dipendono dal livello di temperatura del calore di scarto e dagli importi economici coinvolti.

[37] Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. March 2008.

[http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste\\_heat\\_recovery.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf)

## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*

**Table 1 – Examples of Waste Heat Sources and End-Uses**

Waste Heat Sources	Uses for Waste Heat
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustion Exhausts:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Glass melting furnace</li> <li>Cement kiln</li> <li>Fume incinerator</li> <li>Aluminum reverberatory furnace</li> <li>Boiler</li> </ul> </li> <li>• Process off-gases:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Steel electric arc furnace</li> <li>Aluminum reverberatory furnace</li> </ul> </li> <li>• Cooling water from:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Furnaces</li> <li>Air compressors</li> <li>Internal combustion engines</li> </ul> </li> <li>• Conductive, convective, and radiative losses from equipment:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Hall-Hèroult cells <sup>a</sup></li> </ul> </li> <li>• Conductive, convective, and radiative losses from heated products:               <ul style="list-style-type: none"> <li>Hot cokes</li> <li>Blast furnace slags <sup>a</sup></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Combustion air preheating</li> <li>• Boiler feedwater preheating</li> <li>• Load preheating</li> <li>• Power generation</li> <li>• Steam generation for use in:               <ul style="list-style-type: none"> <li>power generation</li> <li>mechanical power</li> <li>process steam</li> </ul> </li> <li>• Space heating</li> <li>• Water preheating</li> <li>• Transfer to liquid or gaseous process streams</li> </ul> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">[37] Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. March 2008.  <a href="http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf">http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf</a></p>

a. Not currently recoverable with existing technology

## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*

**Table 2 - Furnace Efficiency Increases with Combustion Air Preheat -**

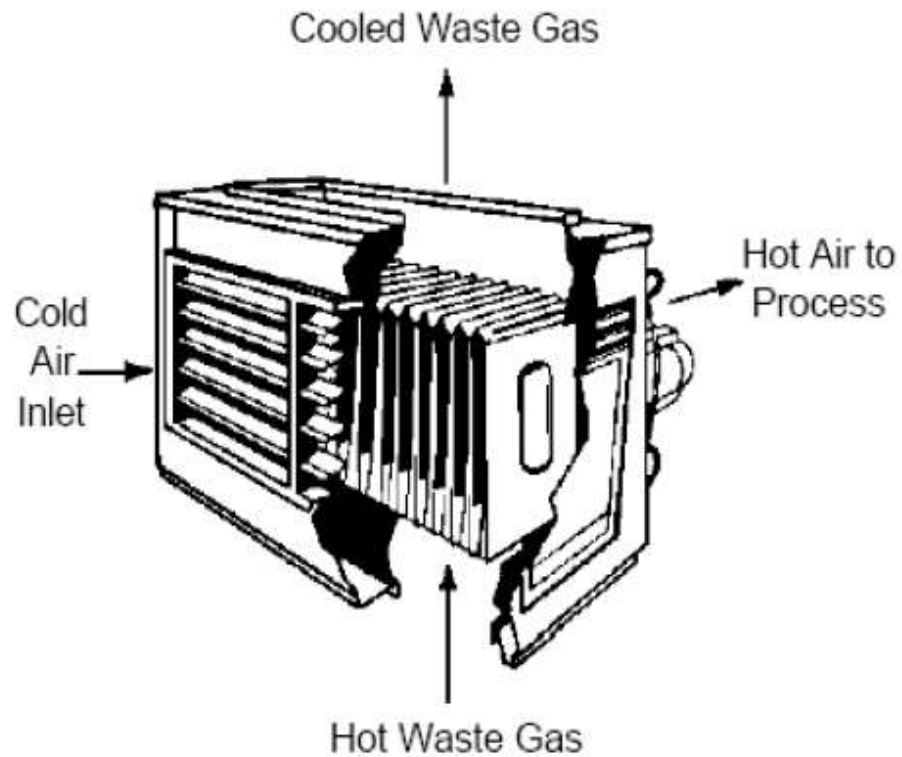
Furnace Outlet Temperature	Combustion Air Preheat Temperature				
	400°F [204°C]	600°F [316°C]	800°F [427°C]	1,000°F [538°C]	1,200°F [649°C]
2,600°F [1,427°C]	22%	30%	37%	43%	48%
2,400°F [1,316°C]	18%	26%	33%	38%	43%
2,200°F [1,204°C]	16%	23%	29%	34%	39%
2,000°F [1,093°C]	14%	20%	26%	31%	36%
1,800°F [982°C]	13%	19%	24%	29%	33%
1,600°F [871°C]	11%	17%	22%	26%	30%
1,400°F [760°C]	10%	16%	20%	25%	28%

Source: EPA 2003, Wise Rules for Energy Efficiency. Based on a natural gas furnace with 10% excess air.

[37] Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in U.S. Industry. March 2008.  
[http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste\\_heat\\_recovery.pdf](http://www1.eere.energy.gov/manufacturing/intensiveprocesses/pdfs/waste_heat_recovery.pdf)



## Energy saving technologies ::: Waste heat recovery



**Figure 8 - Passive Gas to Gas Air Preheater**  
(Source, PG & E, 1997)

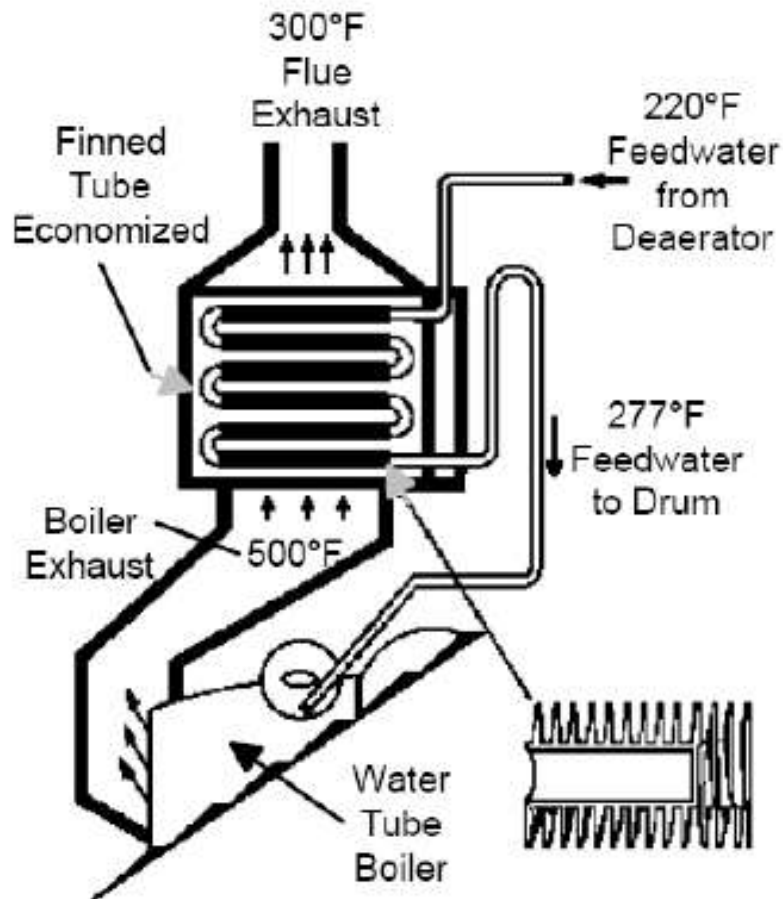


Insulated steam pipe

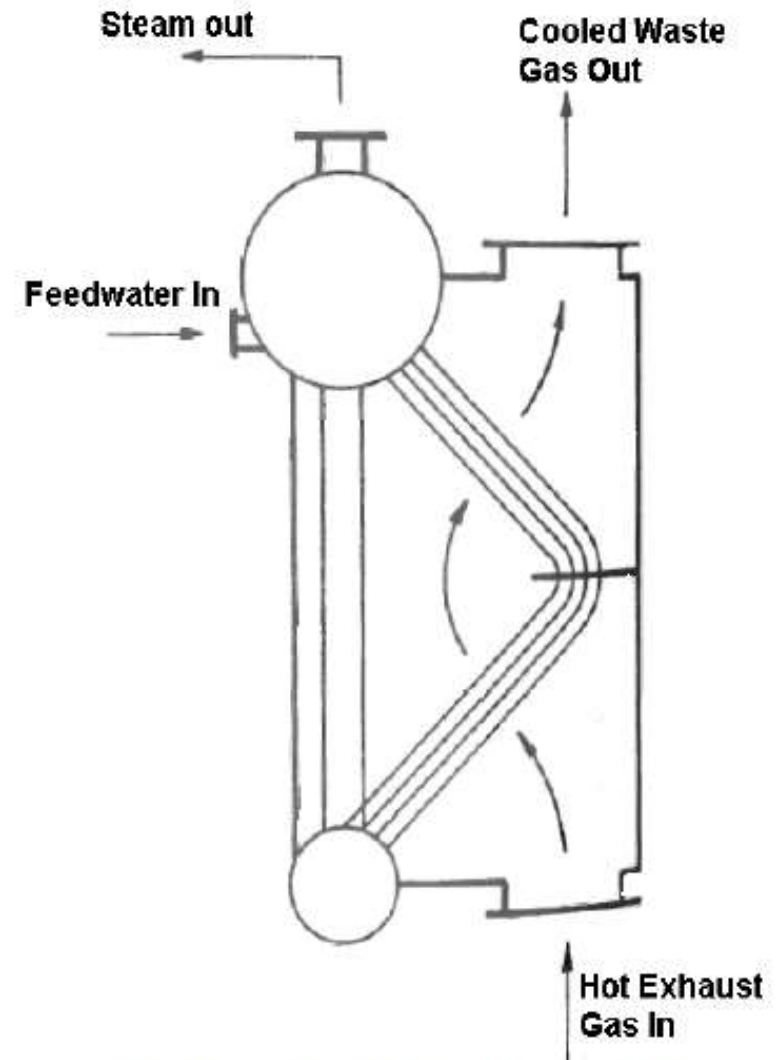


Economizer on flue gases  
(+ 3-4% efficiency increase)

## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*

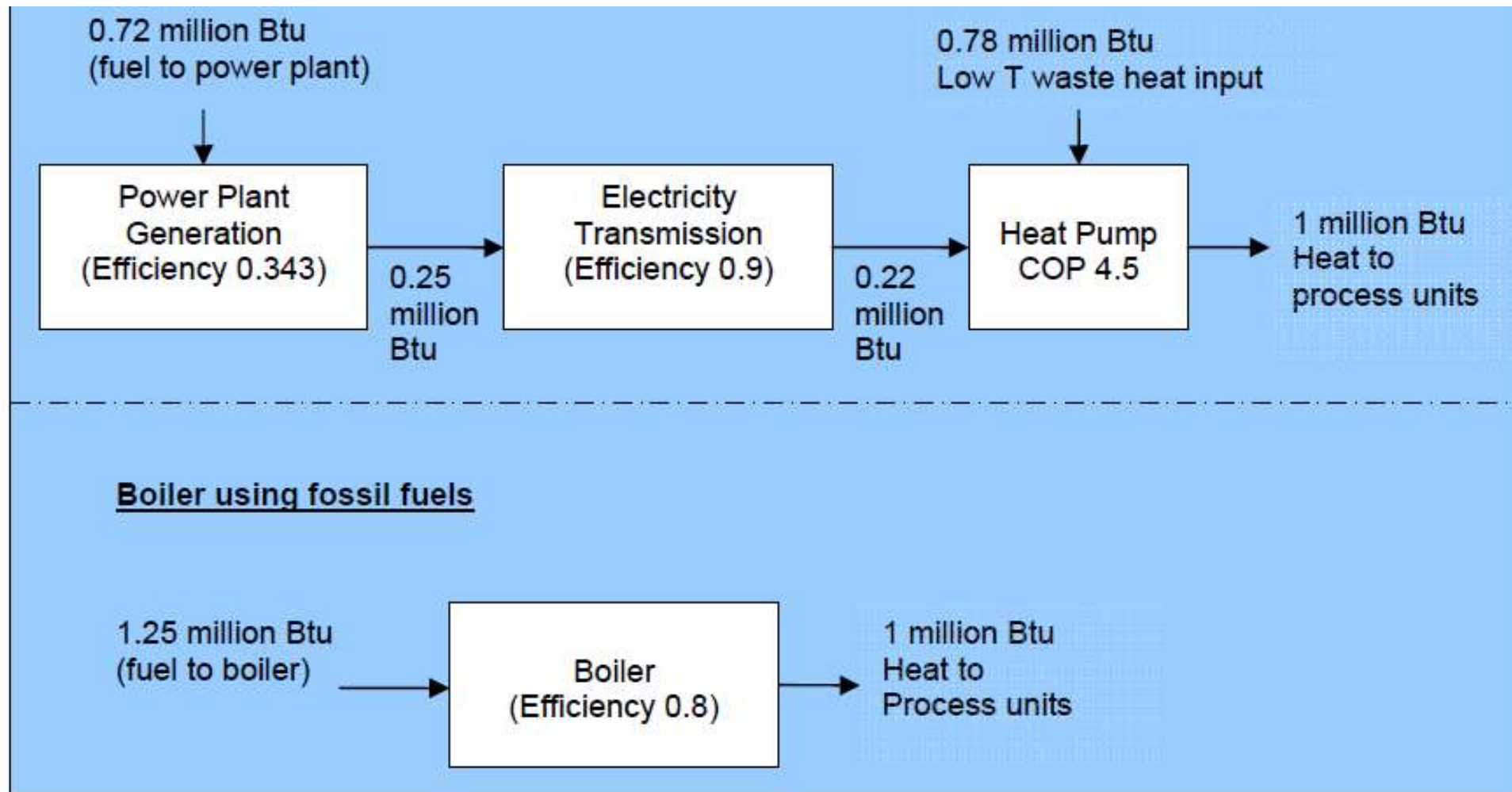


**Figure 10 - Finned Tube Exchanger/ -  
Boiler Economizer (Source: PG&E 2007) -**



**Figure 11 - Waste Heat Boiler**

## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*



**Figure 16 - Energy Losses from a Boiler versus a Heat Pump.**

*Note: The heat pump receives heat from a low-temperature source and rejects it at a higher temperature. The heat pump uses waste heat plus an additional 0.22 million Btu of electrical energy to provide 1 million Btu of useful heat, while the boiler requires an input of 1.25 million Btu to provide 1 million Btu of steam heat.*

## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*

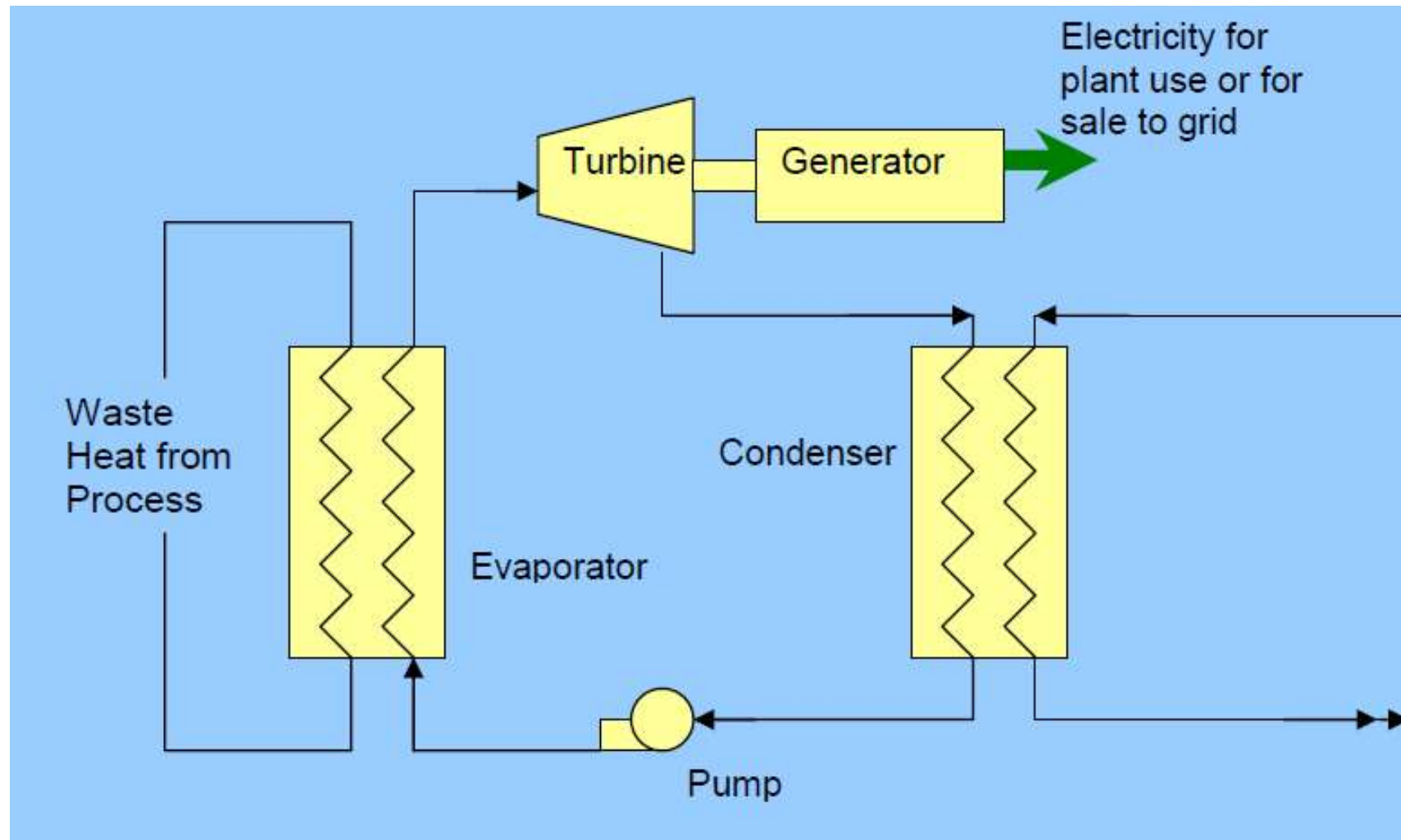
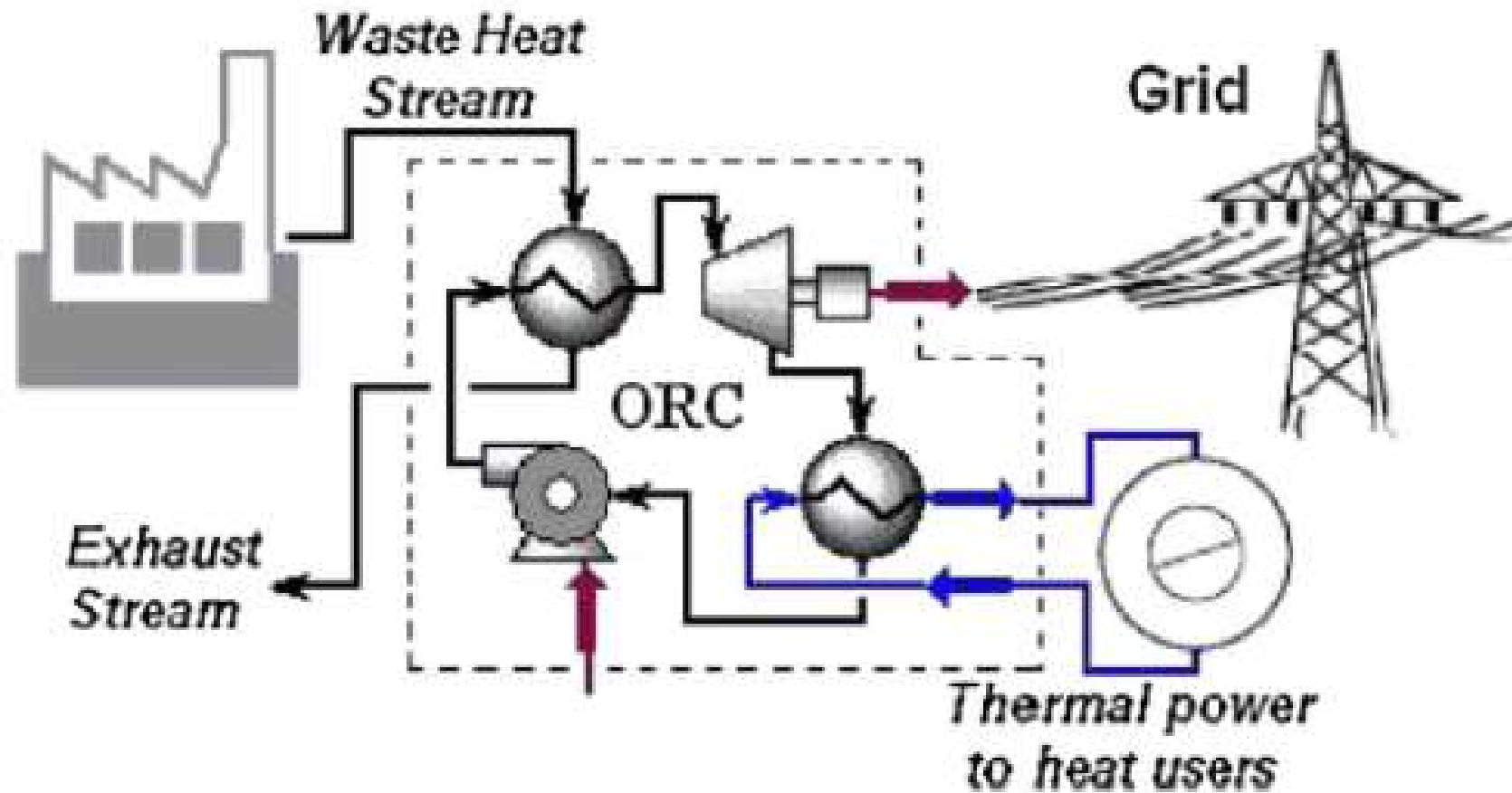


Figure 18 - Waste Heat Recovery with Rankine Cycle -



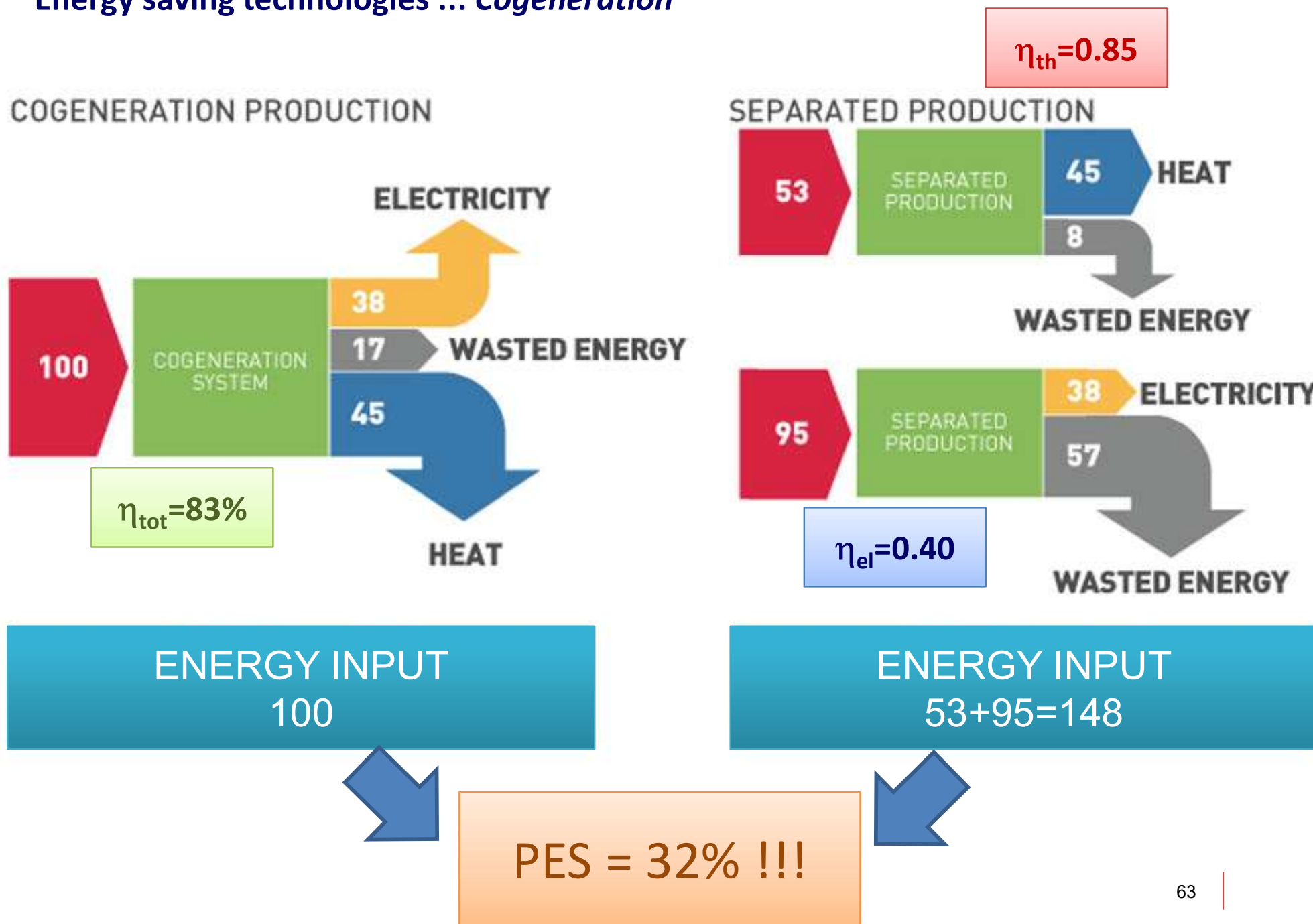
## Energy saving technologies ::: *Waste heat recovery*



## Energy saving technologies ::: *Cogeneration*

- La cogenerazione (Combined Heat and Power o CHP) è **la produzione simultanea di energia elettrica e termica, che vengono entrambe utilizzate**
- Nella **trigenerazione**, parte dell'energia termica è utilizzata per **produrre il freddo** con macchine ad assorbimento
- Per massimizzare i benefici della cogenerazione, **questa tecnologia dovrebbe essere utilizzata in presenza di carichi elettrici e termici simultanei**
- Inoltre, per garantire l'efficienza e la sostenibilità economica dell'impianto, **si deve puntare all'autoconsumo pressoché totale dell'energia elettrica e termica prodotta**
- Ottimizzando l'utilizzo dell'energia termica, **l'efficienza complessiva dell'impianto di cogenerazione può raggiungere il 90% o più**

## Energy saving technologies ::: Cogeneration



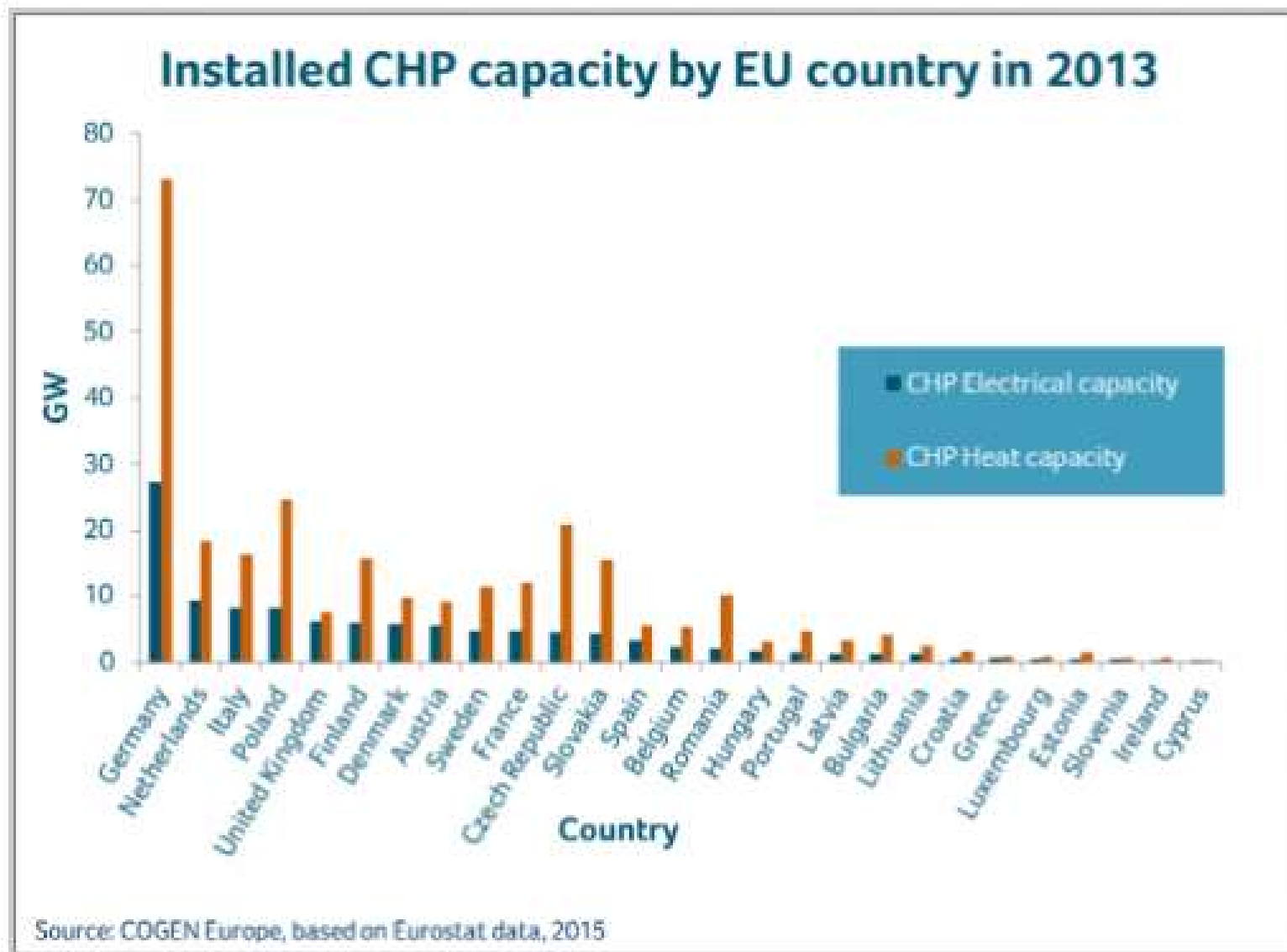


## Energy saving technologies ::: *Cogeneration*

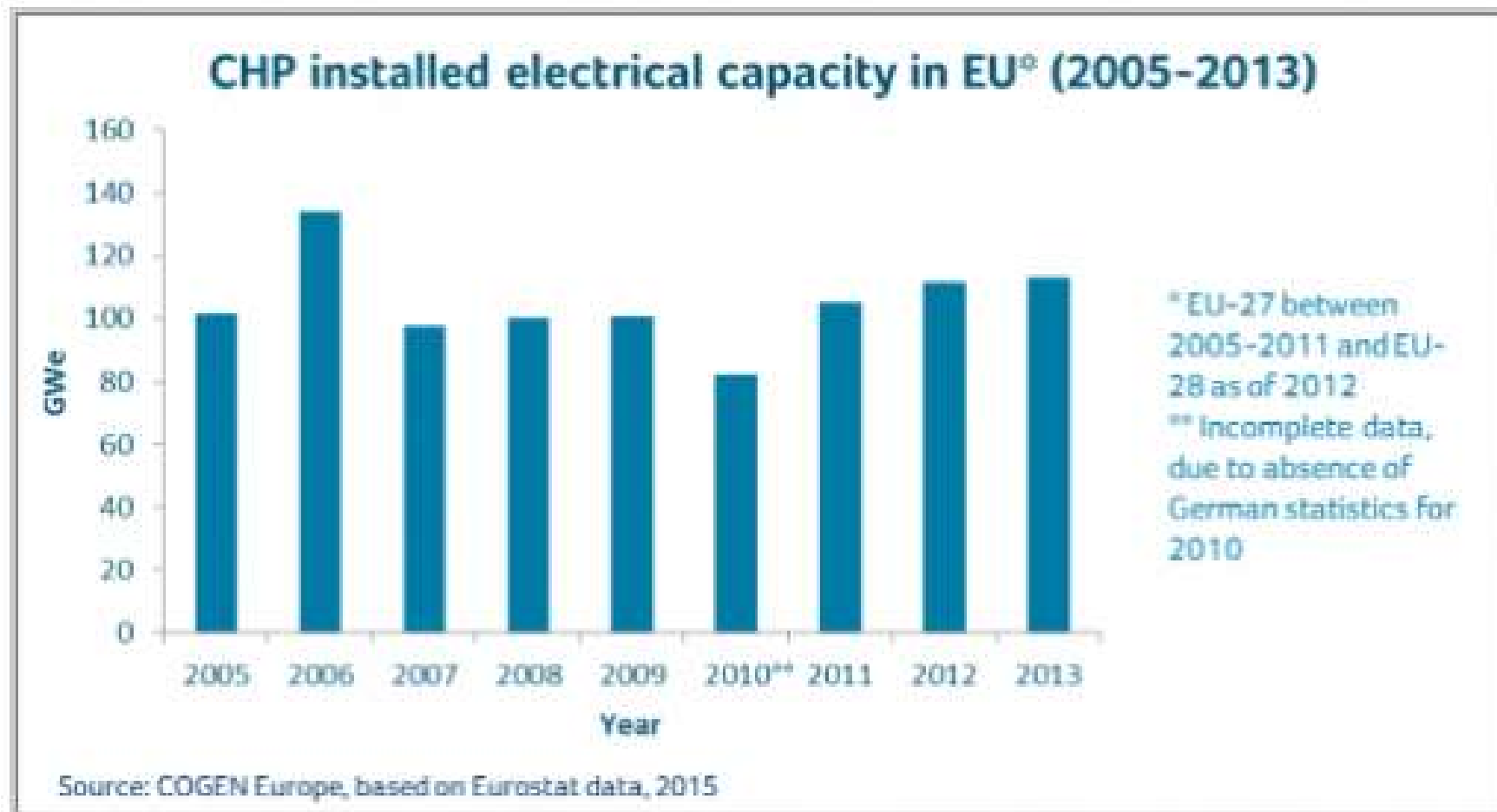
➤ Benefici della cogenerazione:

- **Maggiore efficienza della conversione dell'energia** rispetto alla generazione separata (*PES, Primary Energy Savings*)
- **Minori emissioni di CO2 in ambiente**
- **Riduzione dei costi**
- Miglioramento della sicurezza di approvvigionamento energetico locale e globale

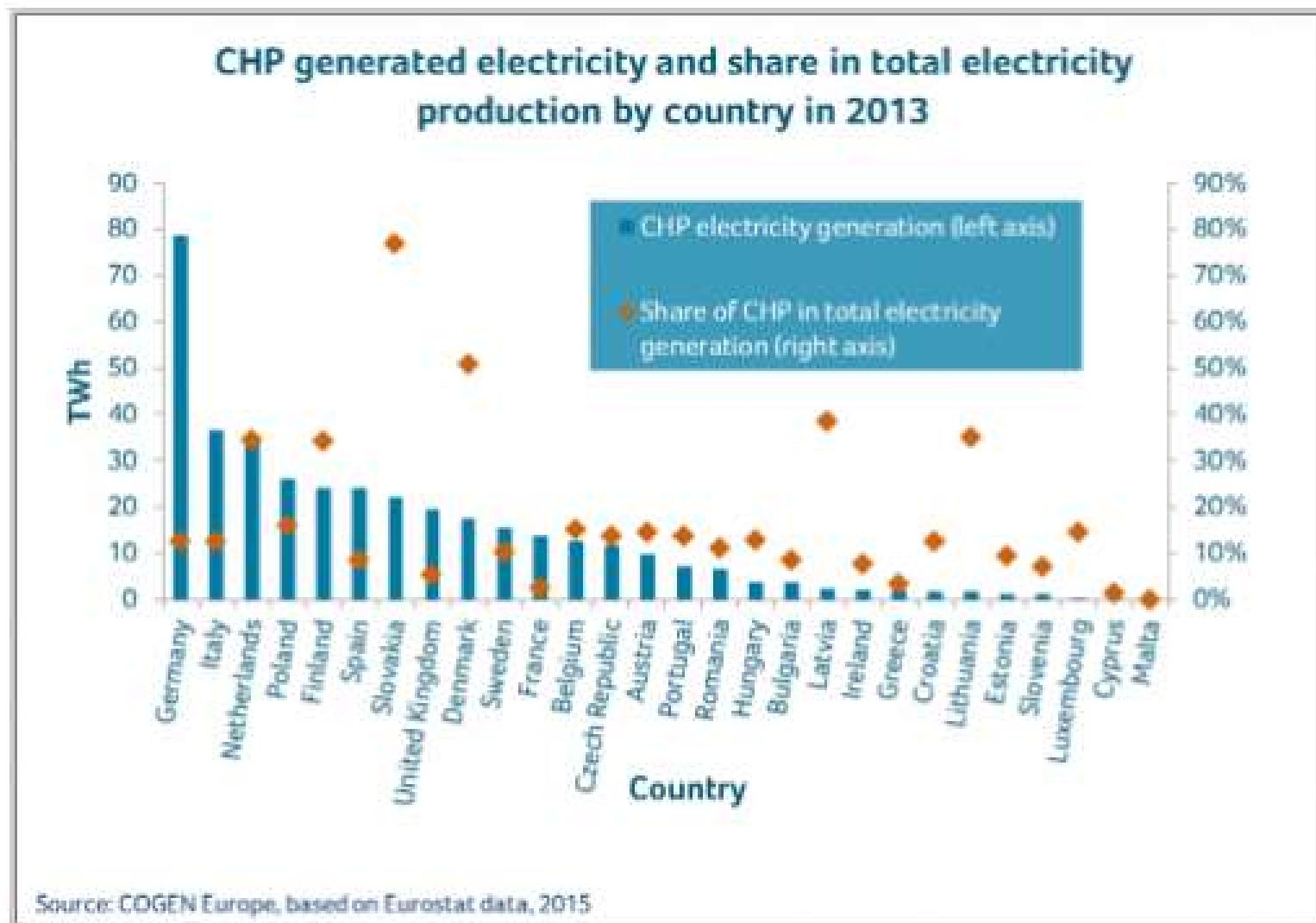
## Energy saving technologies ::: Cogeneration



## Energy saving technologies ::: *Cogeneration*



## Energy saving technologies ::: Cogeneration



## Energy saving technologies ::: *Cogeneration*

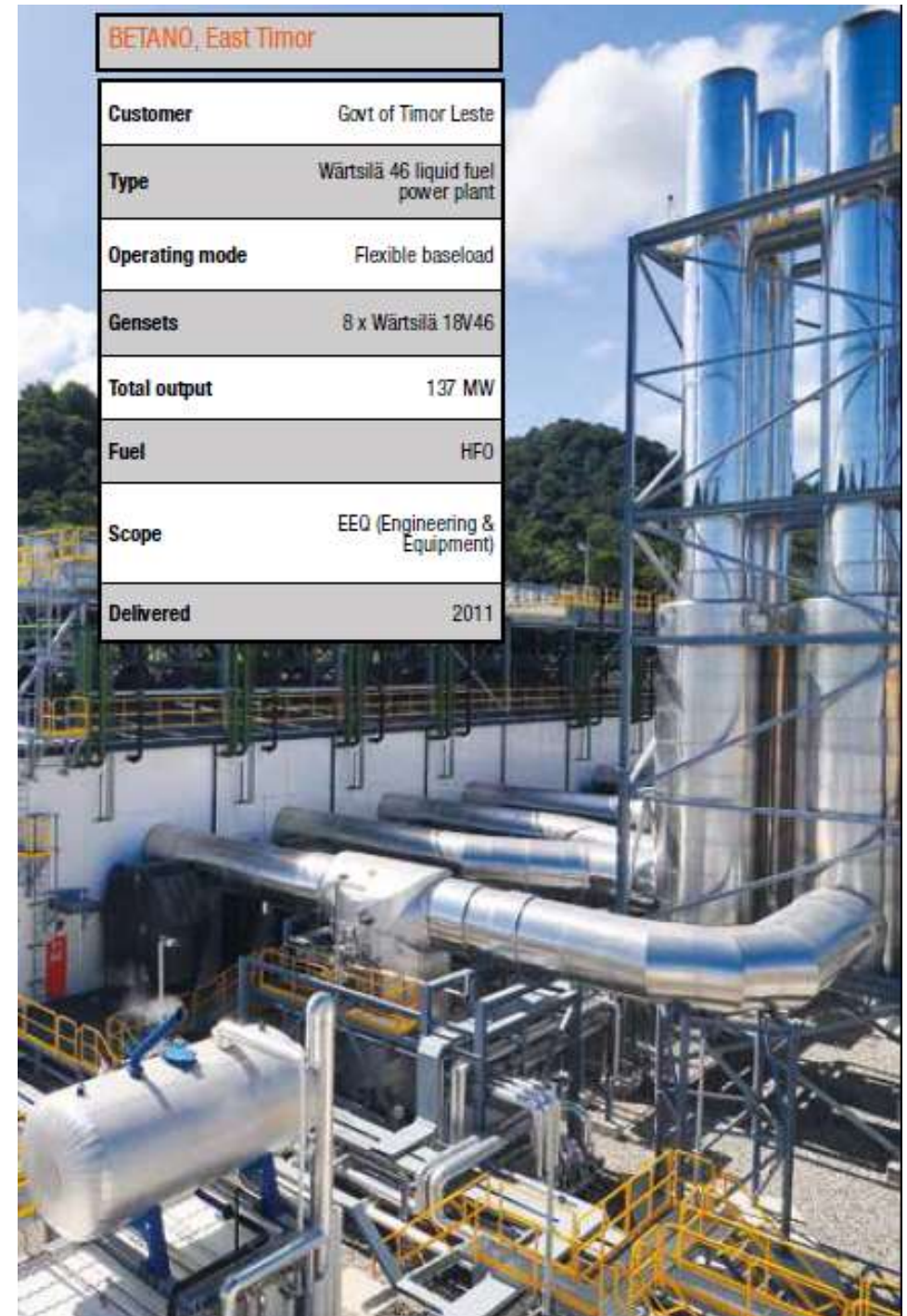
- Gli impianti CHP di maggiore taglia sono generalmente presenti nell'industria.
- La taglia di tali impianti è generalmente compresa nel campo 1-800 MWe
- In alcuni casi il calore prodotto in eccesso può essere utilizzato per riscaldare abitazioni situate in prossimità dell'impianto (reti di teleriscaldamento)
- Le applicazioni CHP sono concentrate in pochi settori: **Carta (20%), Prodotti chimici (40%) Raffinazione del petrolio e derivati (15%) rappresentano più di due terzi della produzione di energia elettrica e termica da impianti CHP.**
- Impianti CHP sono adottati in quanto **tali settori richiedono quantità di calore di processo elevate e non soggette a fluttuazioni giornaliere o stagionali correlate al clima**
- Tipici motori primi per applicazioni CHP industriali sono **turbine a vapore, turbines a gas, motori a combustion interna e cicli combinati gas-vapore (impianti di grande taglia).**

## Energy saving technologies ::: *Cogeneration*





## Energy saving technologies ::: Cogeneration







**Politecnico  
di Torino**

**Dipartimento Energia «Galileo Ferraris»**

Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino (TO) – ITALY

---

**Grazie per l'attenzione**