



3^a Giornata sull'efficienza energetica nelle industrie

Sala Congressi FAST - Ple Morandi, 2 - Milano



Associazione Italiana
Economisti dell'Energia

20 Maggio 2008

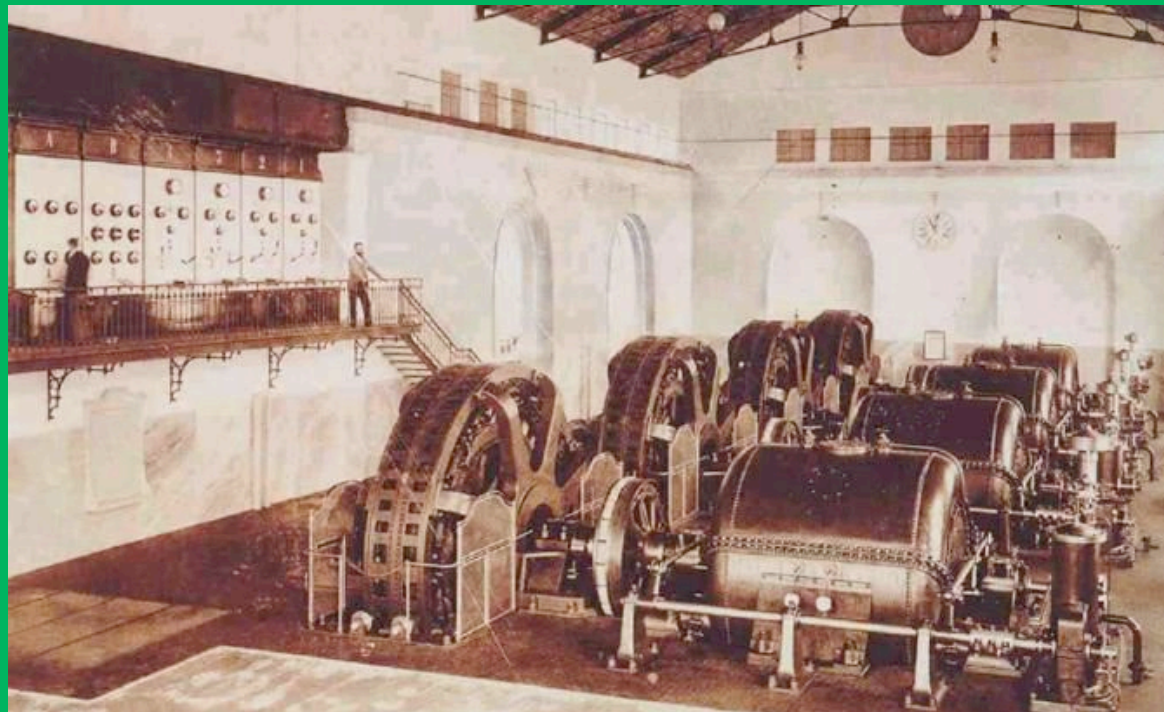
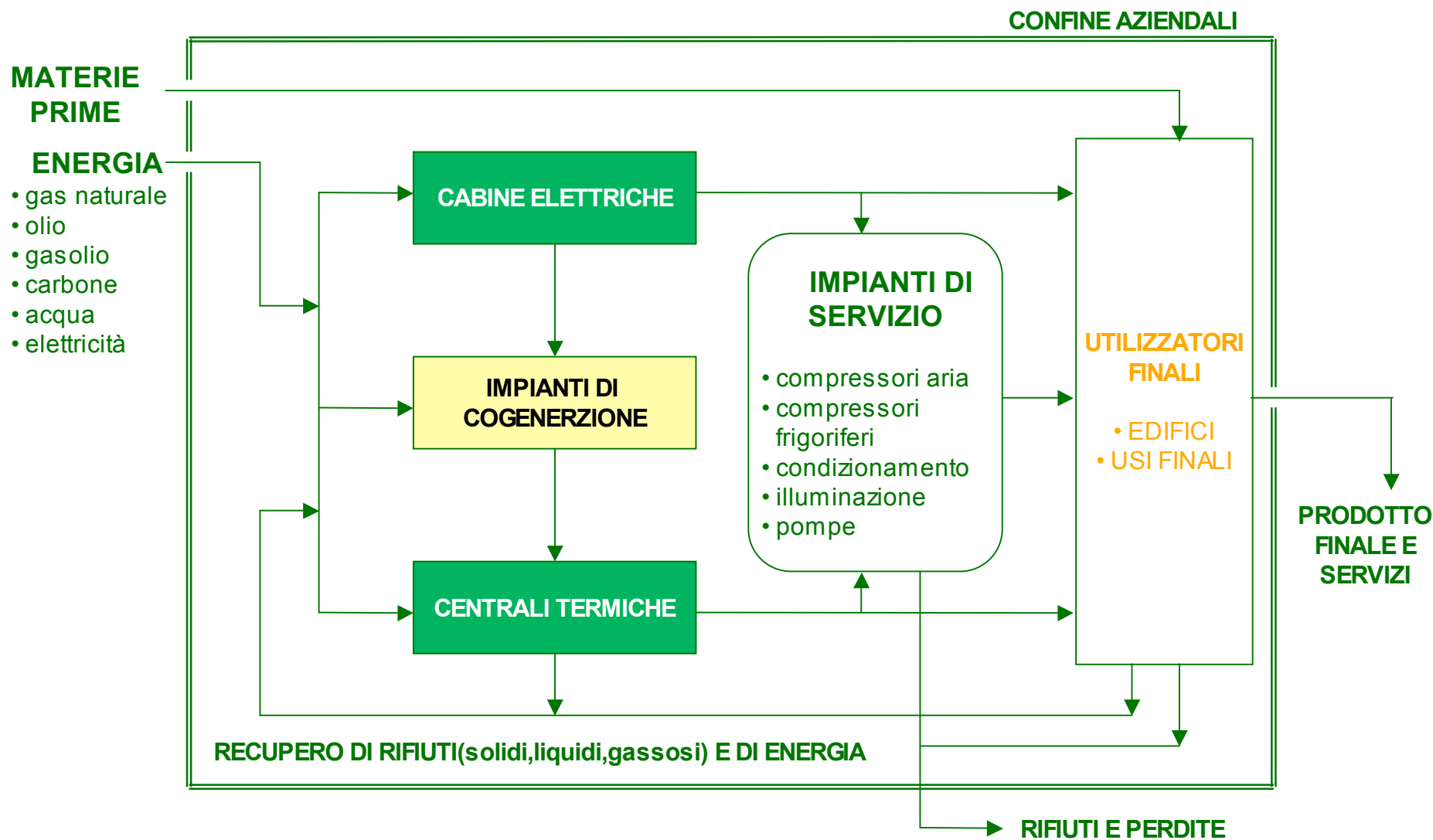


Foto Storica: Sala macchine della centrale Bertini (1898) sul fiume Adda
ancora oggi in funzione

INTERVENTI E SUGGERIMENTI PER MIGLIORARE L'EFFICIENZA NELL'INDUSTRIA

INQUADRAMENTO ENERGETICO DELL' UNITA' PRODUTTIVA



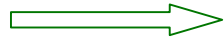
APPROCCIO GLOBALE PER L' UNITA' PRODUTTIVA

Viene raffigurato il processo di produzione dall'introduzione nel sito produttivo/terziario delle materie prime utili fino agli usi finali con tutte le relative trasformazioni.

1. l'energia (gas ed energia elettrica) è trasportata al sito produttivo/terziario; qui in parte trasformata in calore/freddo per le varie utilities e in parte utilizzata nei vari processi degli usi finali.
2. l'energia, sotto differenti forme, è distribuita in tutto il sito produttivo per far fronte ai vari processi ed usi. La distribuzione è oggetto di perdite che potrebbero essere ridotte, in maniera rilevante, da interventi di correzione e isolamento termico.
3. gli usi di energia sono significativi per la produzione del prodotto finale; nei vari processi produttivi esistono notevoli sprechi energetici che includono acqua, materiali solidi, liquidi e gas. L'energia può essere salvaguardata in diversi modi; ad esempio con l'efficienza, con i controlli monitorando e misurando i vari vettori. Il tutto può evitare sprechi e conseguente inquinamento.

FLUSSI DI MASSA E DI ENERGIA NELL' UNITA' PRODUTTIVA

Una maggiore
ENERGIA in
ingresso si traduce
in:



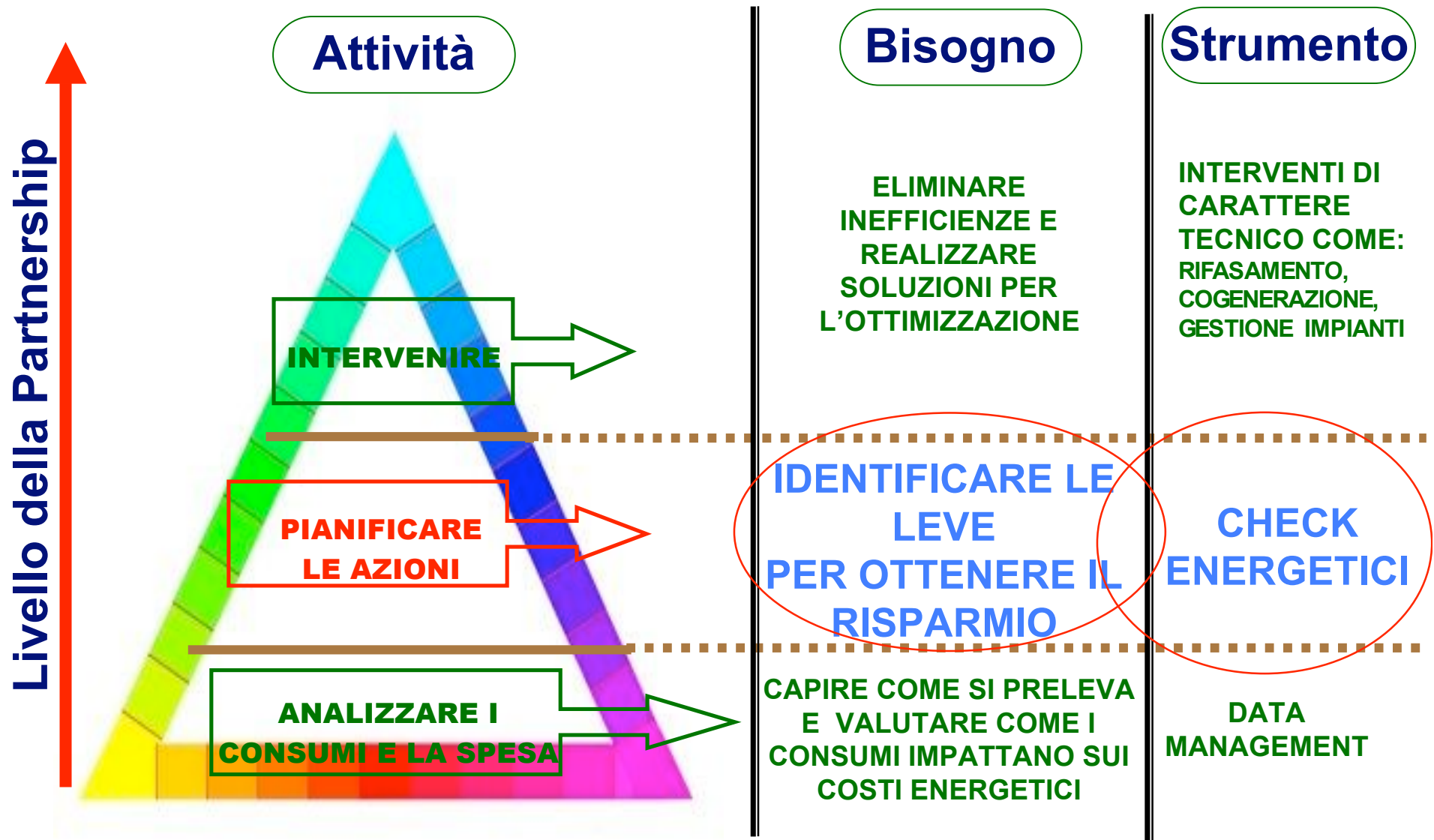
- + **Consumi singoli utilizzatori finali**
- - **Recuperi energetici da calore e da rifiuti**
- + **Differenza tra energia contenuta nelle materie prime e nei prodotti e servizi in uscita**
- + **Perdite energia (rifiuti, calore, linee distribuzione, trasformatori , etc**

La gestione dell'energia è strettamente correlata a quella dell'ambiente (legame combustione / emissioni inquinanti; legame riciclaggio prodotti intermedi all'interno del processo /consumi energetici del ciclo a partire da materie prime; legame tra consumi energetici per trattamenti rifiuti / natura materie prime, etc).

L'incidenza dei **costi energetici sul fatturato** possono variare da una quota del:

- 15% - 25% per laterizi, ceramiche, chimico, vetro
- 5% - 15% per tessile, materie plastiche, fonderia, legno
- 2% - 5% per alimentare
- < 2% per metalmeccanico, farmaceutico, etc

Percorso verso il RISPARMIO e l' EFFICIENZA ENERGETICA



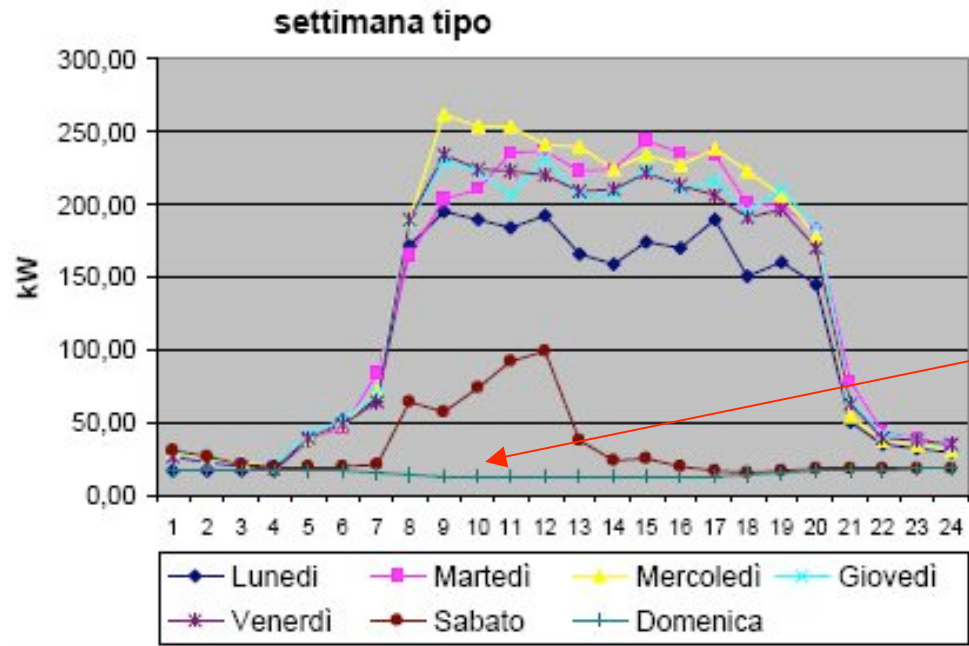
Strumento: IL CHECK ENERGETICO

Studio finalizzato ad identificare possibili aree di risparmio nell'uso dell'energia elettrica, termica e nel consumo dell'acqua in ambito industriale e relativa definizione di modelli energetici per la ripartizione di costi di processo e di servizio

Obiettivi:

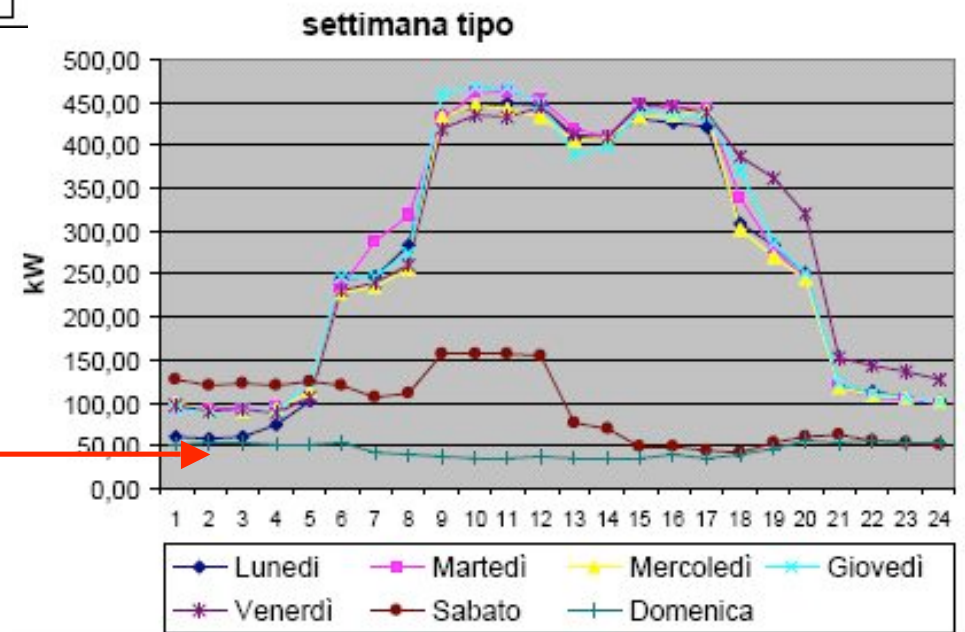
- fornire un inquadramento energetico dell'Azienda che sia la base per le valutazioni sugli investimenti di risparmio energetico;
- fornire un quadro preliminare dei possibili interventi di risparmio energetico significativi, da sviluppare, eventualmente (in considerazione del grado di complessità) con successivi ed approfonditi studi di fattibilità;
- ricostruire i “*Modelli Energetici*” a livello di stabilimento, reparto, centro di costo;
- individuare le aree critiche e i relativi costi operativi;
- verificare la compatibilità con le strutture aziendali e l'accettabilità degli interventi;
- fissare in modo chiaro una situazione di riferimento (confronto con valori medi di consumo specifico del settore);

ANALISI DEI CONSUMI QUARTO ORARI DELL' UNITA' PRODUTTIVA



caso 1: rappresentazione settimanale dei consumi; caso senza anomalia durante la domenica

caso 2: rappresentazione settimanale dei consumi; caso con anomalia durante la domenica – potenza quasi costante di 50 kW richiesta alla rete.

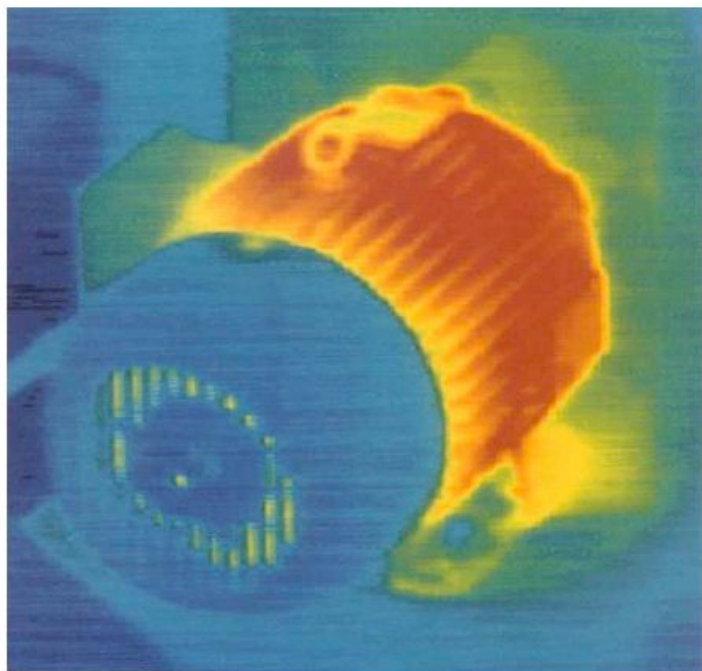


MOTORI AD ELEVATO RENDIMENTO

Nonostante l'elevato rendimento delle macchine elettriche e degli azionamenti, è possibile raggiungere miglioramenti di 2-3 punti percentuali ricorrendo a motori elettrici ad alto rendimento (EFF1). L'investimento in questi motori si giustifica per applicazioni con più di 4000-5000 ore anno di lavoro.

Inoltre una corretta gestione dei carichi elettrici consente di ridurre le punte di potenza assorbita, consentendo di migliorare lo sfruttamento degli impegni contrattuali. Si tratta di interventi di riduzione dei costi più che dei consumi; la corretta gestione dei carichi elettrici presuppone una conoscenza approfondita delle modalità operative e degli effettivi fabbisogni delle utenze elettriche. In particolare è possibile intervenire disinserendo i carichi degli impianti di servizio ogni volta esistano sistemi di accumulo quali aria compressa, freddo, acqua. Talvolta l'inerzia delle linee di distribuzione o degli utenti costituisce un sistema naturale di accumulo. E' possibile intervenire anche sulle linee di processo dove esista una fase di preparazione di materie prime o semilavorati con stoccaggi intermedi.

I MOTORI ELETTRICI AD ALTA EFFICIENZA



Perdite di un motore elettrico

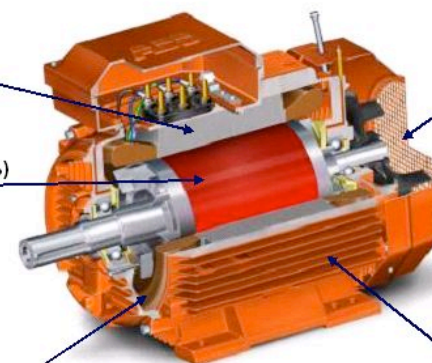
Differenze in un motore EFF 1

- Meno energia persa sotto forma di calore

Perdite nel ferro (18%)
- Migliore qualità acciaio
- lamine più sottili, pacchi più lunghi, minore traferro

Perdite nel rotore (24%)
- maggiore sezione barre di conduzione e degli anelli di cortocircuito

Perdite nel rame dello statore (34%)
- Ottimizzazione forma delle cave statoriche
- aumentando il volume del rame nello statore



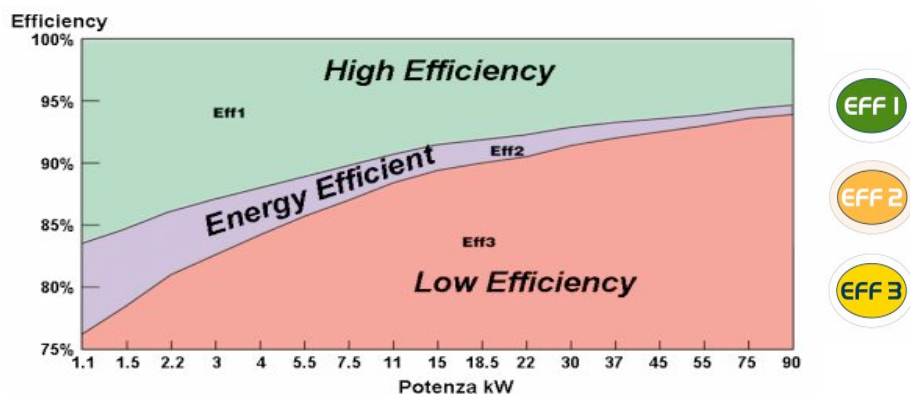
Perdite per ventilazione e frizione (10%)
- Ventole più piccole
- Migliori cuscinetti
- Rotore bilanciato dinamic.

Perdite aggiuntive a pieno carico (14%)
- Ottimizzazione geometria delle cave

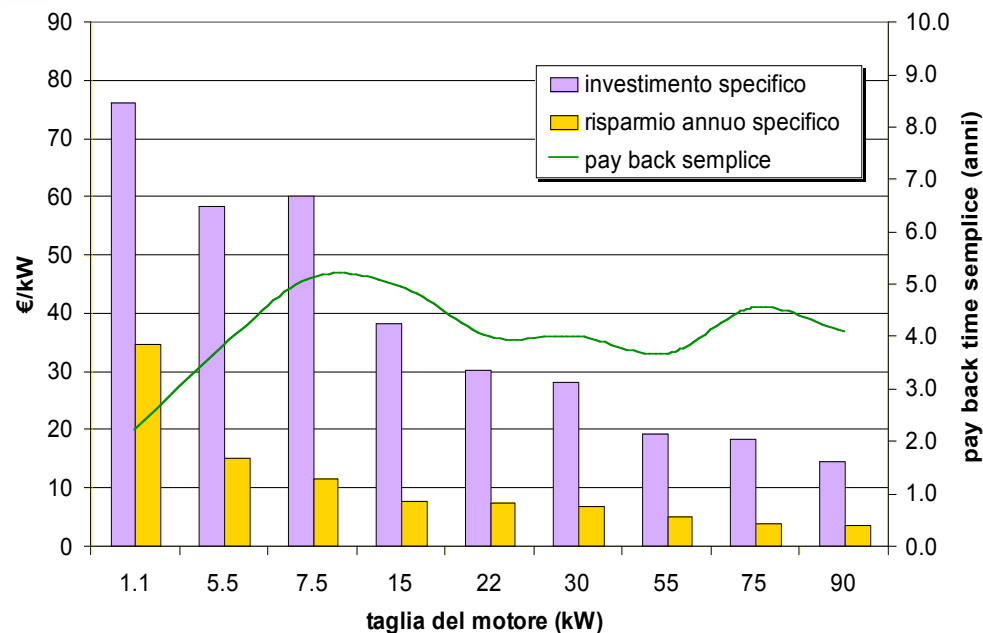
CLASSI DI RISPARMIO DEI MOTORI ELETTRICI

	Consuntivo 2005				Potenziale risparmio 2015 o dintorni CONFINDUSTRIA			
	TOTALE Mtep	consumi elettricità Mtep	altri usi TWh	altri usi Mtep	consumi elettricità Mtep	altri usi TWh	altri usi Mtep	TOTALE Mtep
terziario	16	6,4	74,9	9,3	2,2	25,1	1,91	4,1
industria	41	11,89	158,10	29,11	0,4	4,6 - 11,3*	1,27	1,7
residenziale	30,7	5,73	66,66	24,97	1,07	12,43	3,29	4,4
TOTALE	87,7	24,1	299,6	63,3	3,6	42,2	6,5	10,1

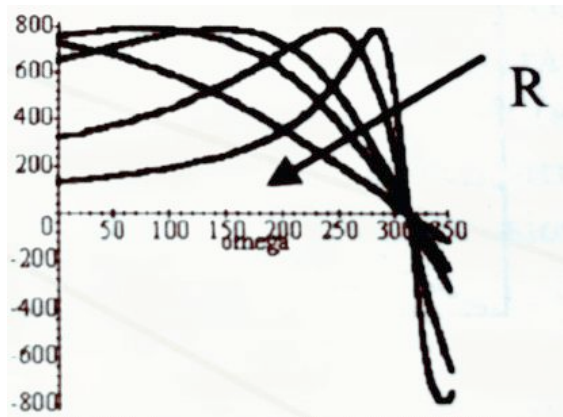
	Potenziale risparmio 2016 Ministero dello Sviluppo Economico			TOTALE
	consumi elettricità Mtep	altri usi TWh	altri usi Mtep	Mtep
terziario	0,7	8,1	1,43	2,1
industria	1,0	12,0	0,82	1,9
residenziale	1,11	12,87	3,78	4,9
TOTALE	2,8	33,0	6,0	8,9



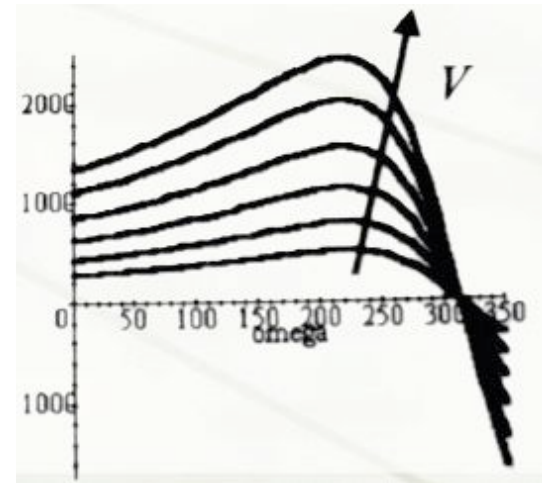
Vengono riportati i costi di installazione specifici differenziali del motore EFF1 rispetto ad EFF2 ed i relativi risparmi annui considerando 3000h/y di funzionamento e 0,12 €/kWh



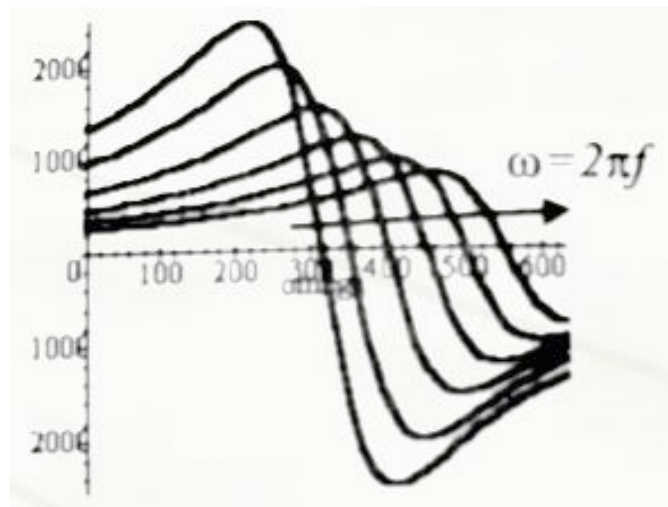
MOTORE ASINCRONO - REGOLAZIONI



Variazione con **Resistenza** interna al rotore (reostato di avviamento)



Variazione della **Coppia** in base alla tensione; la coppia è proporzionale al quadrato della tensione

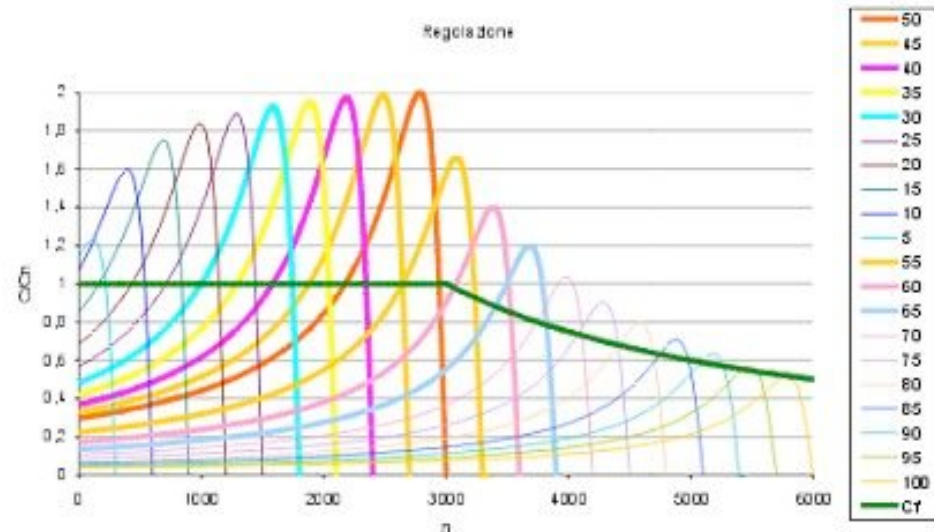


Variazione della **Coppia** alla Frequenza

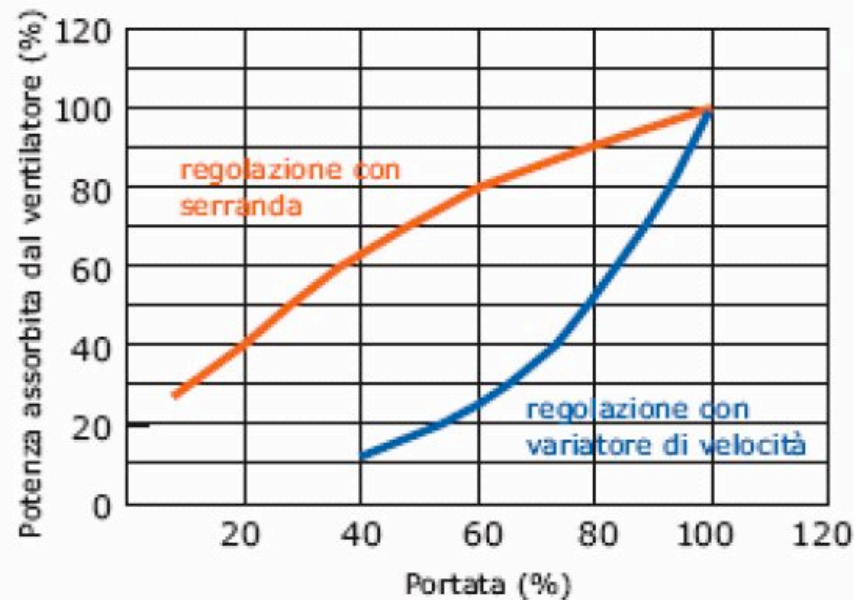
INVERTER

Il motore asincrono è, a grandi linee, un motore a velocità praticamente costante se la frequenza è costante. Nella zona di stabilità, che va dalla velocità di sincronismo alla velocità cui si ha la coppia massima, la caratteristica meccanica è in genere ripida e la variazione di velocità è grossomodo del 10%. Se poi si tiene conto che la corrente non può superare il valore nominale che si ha alla velocità nominale l'intervallo di variazione si riduce drasticamente, non potendo il motore sostenere per lungo tempo una velocità inferiore, per il surriscaldamento che l'intensità di corrente, superiore al valore nominale, determina. Si può variare la velocità variando il numero di poli, ma questo comporta complicazioni costruttive degli avvolgimenti e consente un numero limitato di velocità. La regolazione migliore si ottiene invece variando la frequenza, quindi la velocità del campo rotante o di sincronismo che è data da $n_0=60*f/p$ in giri/min (rpm) con f frequenza di alimentazione e p coppie polari dell'avvolgimento.

La coppia, con il motore che assorbe la corrente nominale, è inferiore alla coppia nominale. Essa diminuisce proporzionalmente all'aumento della frequenza, quindi della velocità. La potenza che il motore può erogare rimane costante e pari al valore nominale è il funzionamento a potenza costante



AZIONAMENTI A VELOCITÀ VARIABILE - INVERTER



Gli azionamenti a velocità variabile (inverter) servono per modificare la velocità di un motore elettrico, che di regola è fissa e dipende dal numero di poli del motore. Essi consistono essenzialmente nel dispositivo inverter che modula la frequenza di alimentazione del motore e quindi la sua velocità in funzione del carico.

Tasso di applicabilità e risparmio potenziale ottenibile con i variatori di velocità

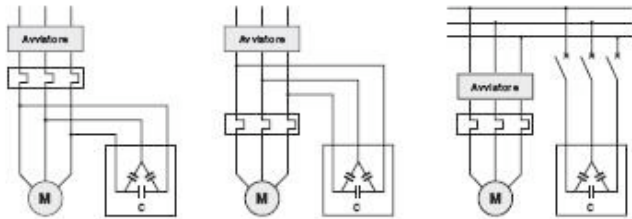
Applicazione	Applicabilità (%)	Risparmio Medio (%)
Pompe	60	35
Ventilatori	60	35
Compressori d'aria	30	15
Compressori frigoriferi	40	15
Trasportatori	60	15
Altro	60	15

Fonte: European Commission. Improving the penetration of Energy-Efficient motors and drivers

PROVVEDIMENTI PER RIDURRE L'ENERGIA REATTIVA

Ad assorbimenti di potenza reattiva superiori al 50% della potenza attiva corrisponde un fattore di potenza inferiore a 0,9.

I provvedimenti per ridurre la potenza assorbita consistono nell'installazione, in parallelo alle utenze, di batterie di rifasamento costituite da condensatori che erogano potenza reattiva in loco in modo tale da ridurre la potenza reattiva assorbita a valori inferiori a $0,5 \times P$.

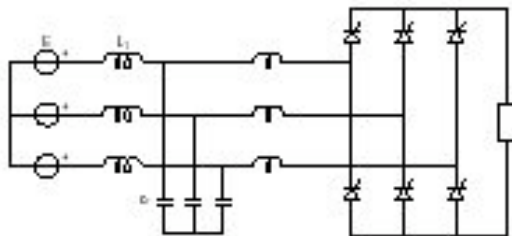


$$Q - Q_C = 0,5 \times P \text{ [kvar]} \text{ dove con}$$

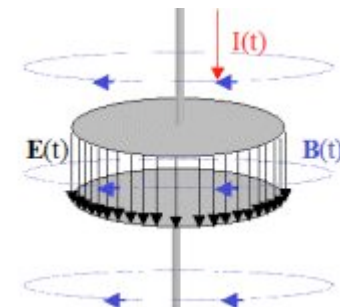
Q : indica la potenza reattiva del sistema;

Q_C : indica la potenza reattiva capacitiva che i condensatori immettono nel circuito

Le batterie di condensatori possono essere collegate al carico sia con una configurazione a triangolo (vedi figura in alto) che a stella (vedi immagine in basso).



**Raffigurazione fisica
di un condensatore
Maxwelliano**



ESEMPIO DI EFFICIENTAMENTO SEMPLICE – “IL RIFASAMENTO”



Trasformatore MT/bt (tipico trasformatore da cabina)

Dati:	P (trafo)	=	1600 kVA
	Carico attuale	=	1000 kW
	Cos fi	=	0,78

PRIMA DEL RIFASAMENTO $\cos \phi = 0,78$

•Perdite nel ferro: **2600 W** (desunto dalle tabelle del costruttore)

•Perdite nel rame al carico nominale: **17 kW**

•Perdite nel rame al carico attuale :
 $17 \cdot (\text{carico attuale} / \cos \phi \cdot P \text{ trafo})^2 = 11 \text{ kW}$

Perdite totale: $2,6 + 11 = 13,6 \text{ kW}$

DOPO IL RIFASAMENTO $\cos \phi = 0,95$

•Perdite nel ferro: **2600 W** (desunto dalle tabelle del costruttore)

•Perdite nel rame al carico nominale: **17 kW**

•Perdite nel rame al carico attuale :
 $17 \cdot (\text{carico attuale} / \cos \phi \cdot P \text{ trafo})^2 = 7,4 \text{ kW}$

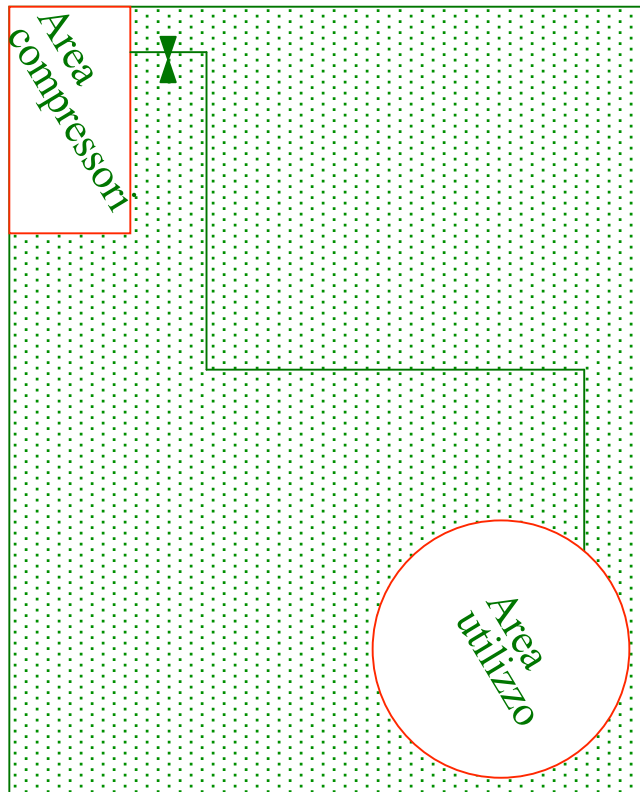
Perdite totale: $2,6 + 7,4 = 10 \text{ kW}$

RISPARMIO : $13,6 - 10 = 3,6 \text{ kW}$

Ossia su base annua: $3,6 \cdot 8700 = 31320 \text{ kWh}$ \rightarrow * 0,14 €/kWh **4.385 €**

ESEMPIO – PERDITE NELLE CONDOTTE DELL' ARIA COMPRESSA

L'ARIA COMPRESSA



Principali cause di NON ottimizzazione:

- Perdite per trafiletti nei giunti, gomiti, ...
- Perdite dinamiche (per attriti)

Valutazione delle perdite e impatto sul “ kWh”:

Dati:

- Potenza assorbita dalla rete: 450 kW (costante su 2 turni)
- Potenza compressori: 90 kW (funz. simultaneo)
- % potenza assorbita Max dai compress: $90/450 = 0.2$ (20%)
- Carico medio dei compressori: 60% ossia 54 kW compl.
- Incidenza sulla tot. Potenza : $54/450 = 0.12$ (12%)

- Perdite valutate attorno al 20% (da CHECK)
- $0.2 \times 12 = 2.4\%$ rappresenta l'incidenza in kW delle perdite sul totale dei kW assorbiti (valore medio su base annua)

Allora: se il Cliente consuma 1.600.000 kWh/anno

2.4% di 1.600.000 = 38.400 kWh ossia $38.400 \text{ kWh} \times 0,14 \text{ €/kWh} = 5.376 \text{ €}$

Efficientamento – IMPIANTO DI COGENERAZIONE A BIOMASSA

IMPIANTO PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA A BIOMASSA		
CASO		C
DESCRIZIONE	UNITA' DI MISURA	IMPIANTO BIOMASSA
POTENZA IN INGRESSO IMPIANTO	kW	1.000
RENDIMENTO ELETTRICO	%	30
POTENZA ELETTRICA IMPIANTO	kW	300
ORE DI FUNZIONAMENTO	ore/anno	3.000
PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA	kWh/anno	900.000
CONSUMO ENERGIA ELETTRICA (2006)	kWh/anno	2.405.766
VENDITA ENERGIA IN RETE	kWh/anno	0
TIPO DI IMPIANTO		caldaia +turbina (ciclo organico)
ALIMENTAZIONE		materiale legnoso
A costo evitato per acquisto energia elettrica o ricavi per vendita energia elettrica	€/anno	126.000
B benefici da certificati verdi	€/anno	108.000
C costo evitato per smaltimento polverino	€/anno	20.590
D costo annuo per manutenzione	€/anno	37.500
E=A+B+C-D risparmio	€/anno	217.090
F Costo impianto	€/kW	5.000
G Costo globale d'investimento	€	1.500.000
H Payback	anni	6,9

Nota: i certificati verdi hanno validità 12 anni, i titoli di efficienza energetica 5 anni

SISTEMI DI ILLUMINAZIONE/DEFINIZIONI

Principali definizioni per la comprensione dei fenomeni che avvengono nei sistemi di illuminazione, tabelle con valori medi raccomandati per diverse situazioni di lavoro, caratteristiche di alcune tipologie di lampade.

CROMATICITA': o **temperatura di colore** rappresenta un indice della luce colorata che include informazioni rispetto alla lunghezza d'onda dominante e la sua purezza; si esprime in temperatura Kelvin. Ad alte temperature corrispondono luce fredda (valori tipici: 4100K per la luna; 5000K per il sole; 10000-25000K per il cielo azzurro). La cromaticità è definita come la temperatura del corpo nero che irraggia luce con lo stesso colore della sorgente luminosa.



Bassa Temperatura di Colore
Sensazione di "caldo"



Alta Temperatura di Colore
Sensazione di "freddo"

SISTEMI DI ILLUMINAZIONE/DEFINIZIONI

RESA DI COLORE: è un indice dell'effetto della sorgente di luce sull'aspetto del colore dell'oggetto comparato con l'aspetto del colore di una sorgente luminosa di riferimento (il valore delle resa di colore della sorgente luminosa di riferimento è pari a 100).



Resa pari a 100, luce con effetto della sorgente luminosa di riferimento

Resa pari a 80, luce con effetto della sorgente luminosa minore di quella di riferimento

SISTEMI DI ILLUMINAZIONE/DEFINIZIONI

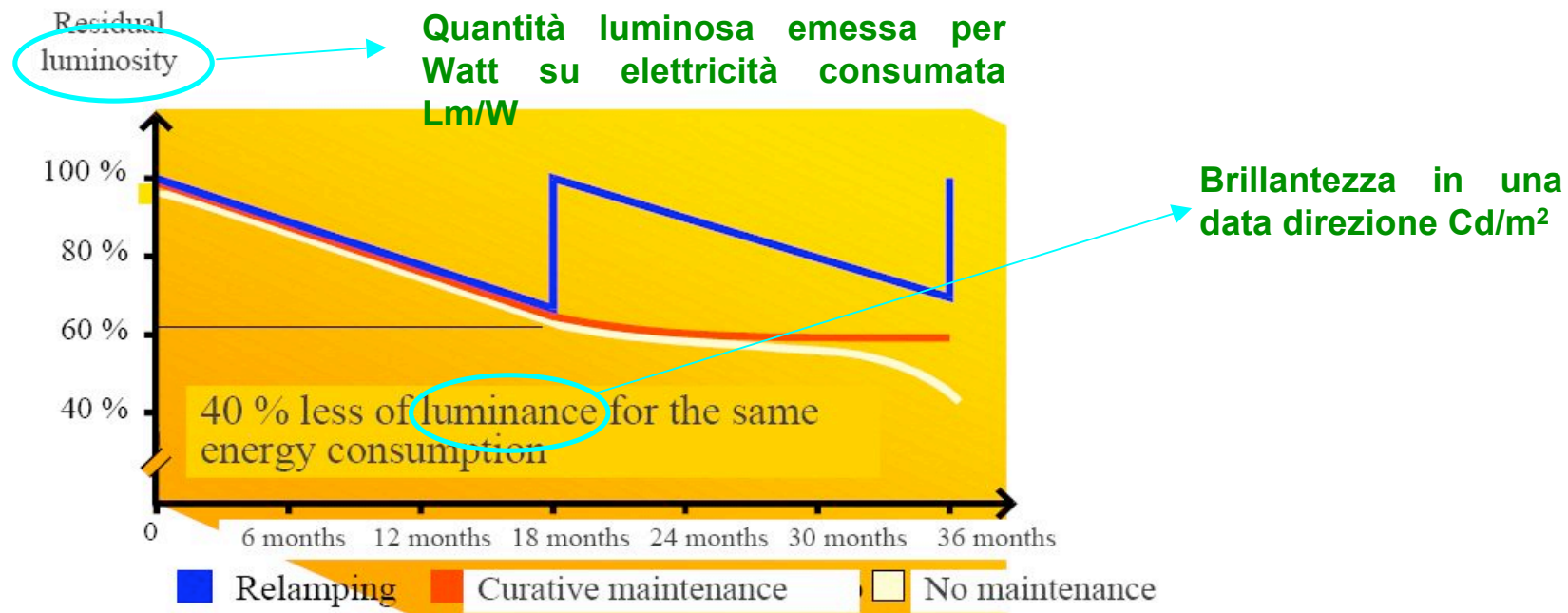
DIAGRAMMA DELLA DISTRIBUZIONE SPAZIALE: identifica la luce emessa da una lampada o impianto illuminante variante in intensità luminosa a seconda della direzione. I diagrammi sono generalmente costruiti su di una sezione piana e riportano il valore della **intensità luminosa in Cd (candela)** riferito ad un flusso di 1000 Lm per comparare i diversi sistemi di illuminazione.

APPARECCHIO ILLUMINANTE: è definito come l'unità di illuminazione formata da una o più lampade ed i componenti necessari per distribuire la luce (diffusori, riflettori, lenti).

COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE (CU): o rendimento dell'apparecchio illuminante è definito come rapporto tra il flusso luminoso (lumen) che raggiunge il piano di lavoro ed il totale flusso generato dalla lampada. Questo coefficiente considera la luce assorbita o riflessa dalle pareti, soffitto e dall'apparecchio stesso. I valori sono generalmente riportati nei cataloghi dei costruttori e permettono una rapida stima dell'illuminazione richiesta da un impianto.

FATTORE DI DEPREZZAMENTO DELLE LAMPAD E DEGLI APPARECCHI: è definito come rapporto tra la resa iniziale dell'apparecchio con lampade nuove e pulite e la resa in un dato tempo con lampade sporche e deprezzate.

MANUTENZIONE ILLUMINAZIONE



Le possibili piste di risparmio relative all'illuminazione sono:

- **Controlli Preventivi:** programmare una serie di manutenzioni e sostituzioni di lampade, pulizia delle lampade stesse e la possibile sostituzione di tutte le superfici che compongono le lampade stesse in modo da rendere massima la luminosità.
- **Controlli di Routine:** periodici controlli per manutenzione in base a probabili malfunzionamenti
- **Controlli Curativi:** manutenzioni ad-hoc in base a malfunzionamenti

ESEMPIO ILLUMINAZIONE 1

CONFRONTO TRA CONSUMI E COSTI ENERGETICI DEGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE

FLUORESCENTI TRADIZIONALI			FLUORESCENTI ALTA EFFICIENZA		
ore/giorno		10 h/gg	ore/giorno		10 h/gg
giorni anno		220 gg/anno	giorni anno		220 gg/anno
ore/anno		2200 h/anno	ore/anno		2200 h/anno
luminanza media richiesta		350 lx	luminanza media richiesta		350 lx
superficie illuminata		10.000 m ²	superficie illuminata		10.000 m ²
flusso luminoso totale richiesto		3500000 lm	flusso luminoso totale richiesto		3500000 lm
flusso luminoso nominale per lampada		3100 lm	flusso luminoso nominale per lampada		3200 lm
potenza elettrica per lampada		36 W	potenza elettrica per lampada		32 W
efficienza della lampada		86,1 lm/W	efficienza della lampada		100,0 lm/W
potenza elettrica per ausiliari		10 W	potenza elettrica per ausiliari		4 W
potenza elettrica per lampada e ausiliari		46 W	potenza elettrica per lampada e ausiliari		36 W
efficienza della lampada e ausiliari		67,4 lm/W	efficienza della lampada e ausiliari		88,9 lm/W
coefficiente di utilizzo		100%	coefficiente di utilizzo		100%
fattore di deprezzamento		75%	fattore di deprezzamento		75%
efficienza effettiva		50,5 lm/W	efficienza effettiva		66,7 lm/W
flusso luminoso effettivo		2325 lm	flusso luminoso effettivo		2400 lm
numero di lampade necessarie		1506 unità	numero di lampade necessarie		1460 unità
potenza elettrica totale assorbita	TOTALE	69 kW	potenza elettrica totale assorbita	TOTALE	53 kW
percentuale di carico		100%	percentuale di carico		100%
consumo energia elettrica annuo	TOTALE	152 MWh/anno	consumo energia elettrica annuo	TOTALE	116 MWh/anno
costo energia elettrica		9,24 c€/kWh	costo energia elettrica		9,24 c€/kWh
costo annuo energia elettrica		14.082 €/anno	costo annuo energia elettrica		10.676 €/anno
			risparmio annuo		37 MWh/anno
					3.406 €/anno
					24%



LINEE DI DISTRIBUZIONE DELL' ENERGIA TERMICA

L'energia termica all'interno dello stabilimento viene distribuita utilizzando fluidi termovettori quali:

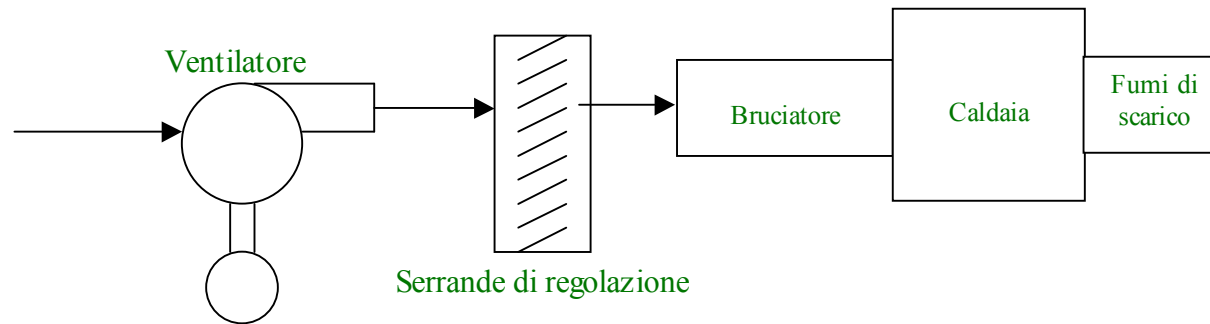
- Acqua/acqua surriscaldata (acqua in pressione)
- vapore d'acqua
- olio termodinamico
- aria

L'energia termica distribuita è utilizzata per fornire calore alle utenze oppure per sottrarre calore alle utenze stesse.

Le temperature di funzionamento di fluidi termovettori vanno da 70°C a oltre 250°C sino a oltre 400°C rispettivamente con acqua calda, olio termodinamico e vapore surriscaldato (per il caldo) e sino a -40°C per il (freddo).

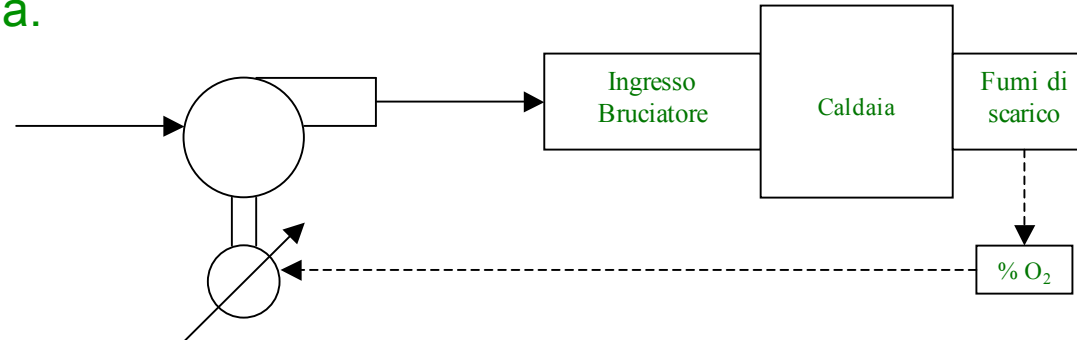
I fluidi vengono riportati alle condizioni termodinamiche desiderate (temperatura, pressione, contenuto entalpico) in centrali termiche dotate di generatori di calore o centrali frigorifere dotate di impianti frigoriferi con compressori o ad assorbimento. Per ridurre la portata del fluido è possibile utilizzare la **regolazione dissipativa** o **quella non dissipativa**. Nel caso della dissipativa, a pari velocità all'albero, si deve introdurre una strozzatura o una serranda; nel caso di quella non dissipativa si regola il tutto mediante azionamenti a velocità variabile.

ESEMPIO - SISTEMA DI GESTIONE DELL'ARIA COMBURENTE



Motore elettrico a giri fissi

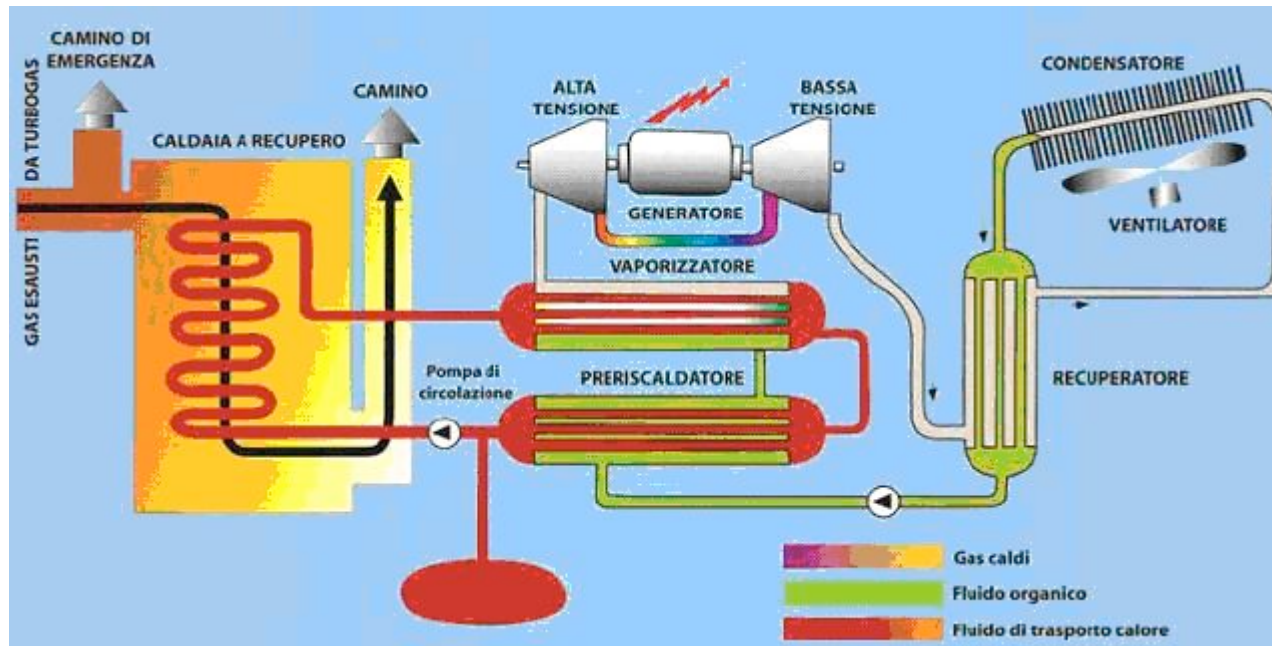
Tale soluzione comporta tuttavia un assorbimento di potenza elettrica dal ventilatore pressoché costante con il variare della portata d'aria necessaria.



Motore elettrico con inverter

Installando un inverter sul motore elettrico del ventilatore, regolato sulla percentuale di O_2 incombusto presente nei fumi, si riesce a regolare la portata d'aria in maniera più efficace e diminuendo nettamente i consumi elettrici. In figura riportiamo lo schema della nuova soluzione.

ESEMPIO DI RECUPERO DI CALORE



Sistema studiato per essere alimentato da fonti di calore, con temperature comprese tra 350 e 1300 °C, che vengono scarsamente riutilizzate o addirittura disperse.

Il modulo base è costituito principalmente da un sistema di recupero calore con vaporizzazione del fluido organico, da una turbina direttamente collegata al generatore, da un condensatore ad aria o ad acqua.

ESEMPIO DI RECUPERO DI CALORE

Il sistema è interfacciabile a fonti di calore provenienti da molteplici processi industriali quali cementifici, vetrerie, forni in genere (fusori, di riscaldamento, per trattamenti termici), acciaierie, impianti di termodistruzione biomasse ed RSU, centrali geotermiche, stazioni di compressione gas, raffinerie, motori endotermici, microturbine a gas, ed ogni altro processo industriale che presenti la possibilità di recupero su cascami termici altrimenti non valorizzabili.

BENEFICI

- Rendimenti pressoché costanti per variazioni di carico energetico in ingresso dal 50% sino al 120%
- Maggiore flessibilità di funzionamento a regime e nei transitori rispetto ai cicli con turbine a vapor d'acqua
- Pressioni di lavoro nettamente inferiori a quelle del ciclo a vapore
- Costi di manutenzione notevolmente inferiori rispetto a tecnologie alternative
- Accesso ai benefici economici di legge (T.E.E.) nel caso di recuperi su processi derivanti dalla combustione di combustibili convenzionali, mentre si ha diritto ai Certificati Verdi (CV) nel caso di recuperi su cascami termici provenienti da fonti rinnovabili.

3a Giornata sull'efficienza energetica nelle industrie

Milano, 20 Maggio 2008



Centrale Bertini a Paderno D'Adda (1898)

GRAZIE