



*Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara*

# Il riconoscimento della cogenerazione ad alto rendimento

**Prof. Pier Ruggero Spina**

**Dipartimento di Ingegneria - Università di Ferrara**

**Presidente SC 04**

**"Sistemi e macchine per la produzione di energia"**

**Comitato Termotecnico Italiano**

# **La cogenerazione: introduzione e concetti di base**

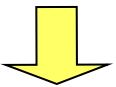
# La cogenerazione

*produzione combinata, in un unico processo,  
di energia elettrica/meccanica e calore*

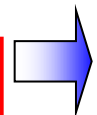
combustibile



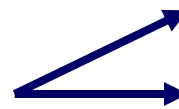
**SISTEMA  
COGENERATIVO**



calore di scarto

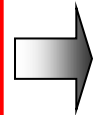


energia elettrica

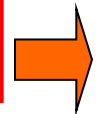


autoconsumo AT/MT/BT

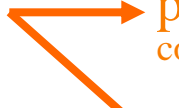
immissione in rete AT/MT/BT



energia meccanica ???



energia termica



per usi civili/terziari (riscaldamento,  
condizionamento, acqua sanitaria)

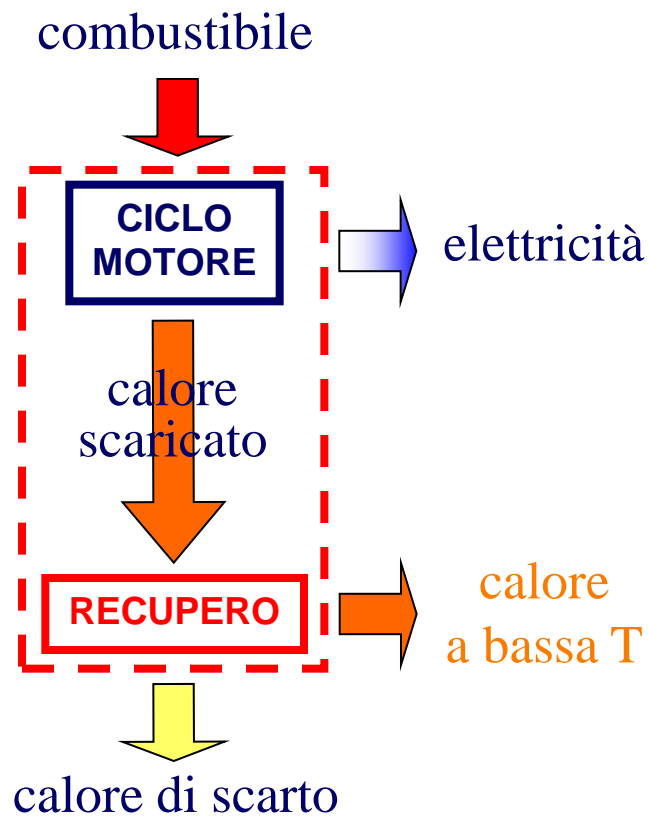
per usi industriali  
(sia calore che freddo per  
il processo produttivo)

# Cogenerazione “topping” o “bottoming”

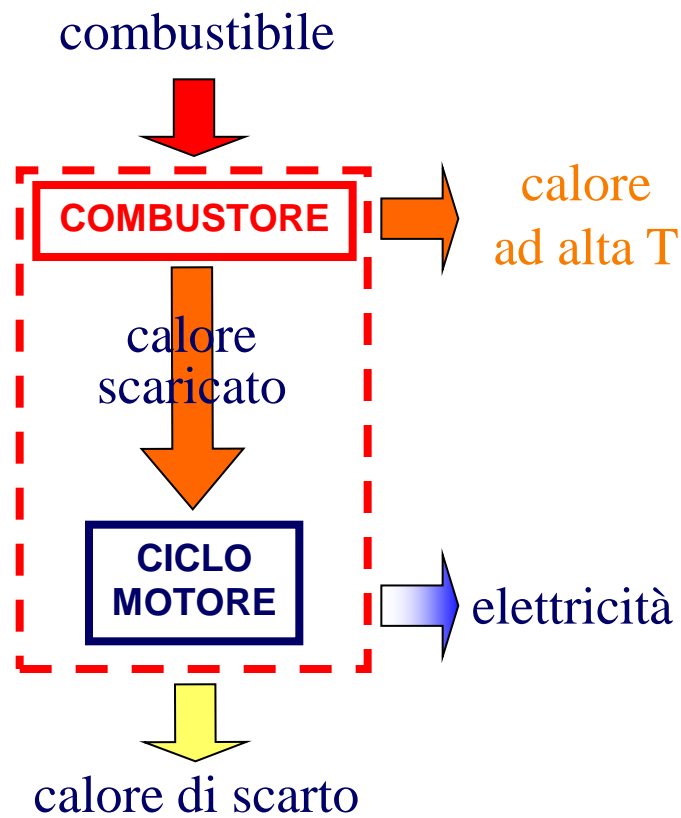


Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

## TOPPING



## BOTTOMING

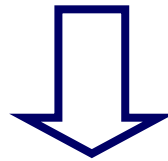


# Ubicazione del cogeneratore



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ I combustibili sono una fonte energetica “trasportabile” (anche se in taluni casi questo può risultare economicamente e/o energeticamente non conveniente)
- ✓ L’elettricità è un vettore energetico “trasportabile”
- ✓ Il calore non è trasportabile (se non a brevi distanze)



**IL COGENERATORE DEVE ESSERE UBICATO  
PRESSO L'UTENZA TERMICA**



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

# **Definizioni di generazione distribuita e di piccola e micro generazione**

*“Generazione distribuita: insieme degli impianti di generazione di potenza nominale inferiore ai 10 MVA” (Delibera AEEG 328/07)*

*“Impianto di piccola/micro generazione un impianto per la produzione di energia elettrica, anche in assetto cogenerativo, con capacità di generazione non superiore a 1 MW o a 50 kW” (D.Lgs. n°20 del 8/2/2007)*

# Direttiva 2012/27/UE



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Entro il 31/12/2015 ciascuno Stato membro deve effettuare una valutazione globale del potenziale di applicazione della CAR, nonché del teleriscaldamento e teleraffreddamento efficienti, e, in particolare, un'[analisi costi-benefici per valutare che i vantaggi superino i costi.](#)

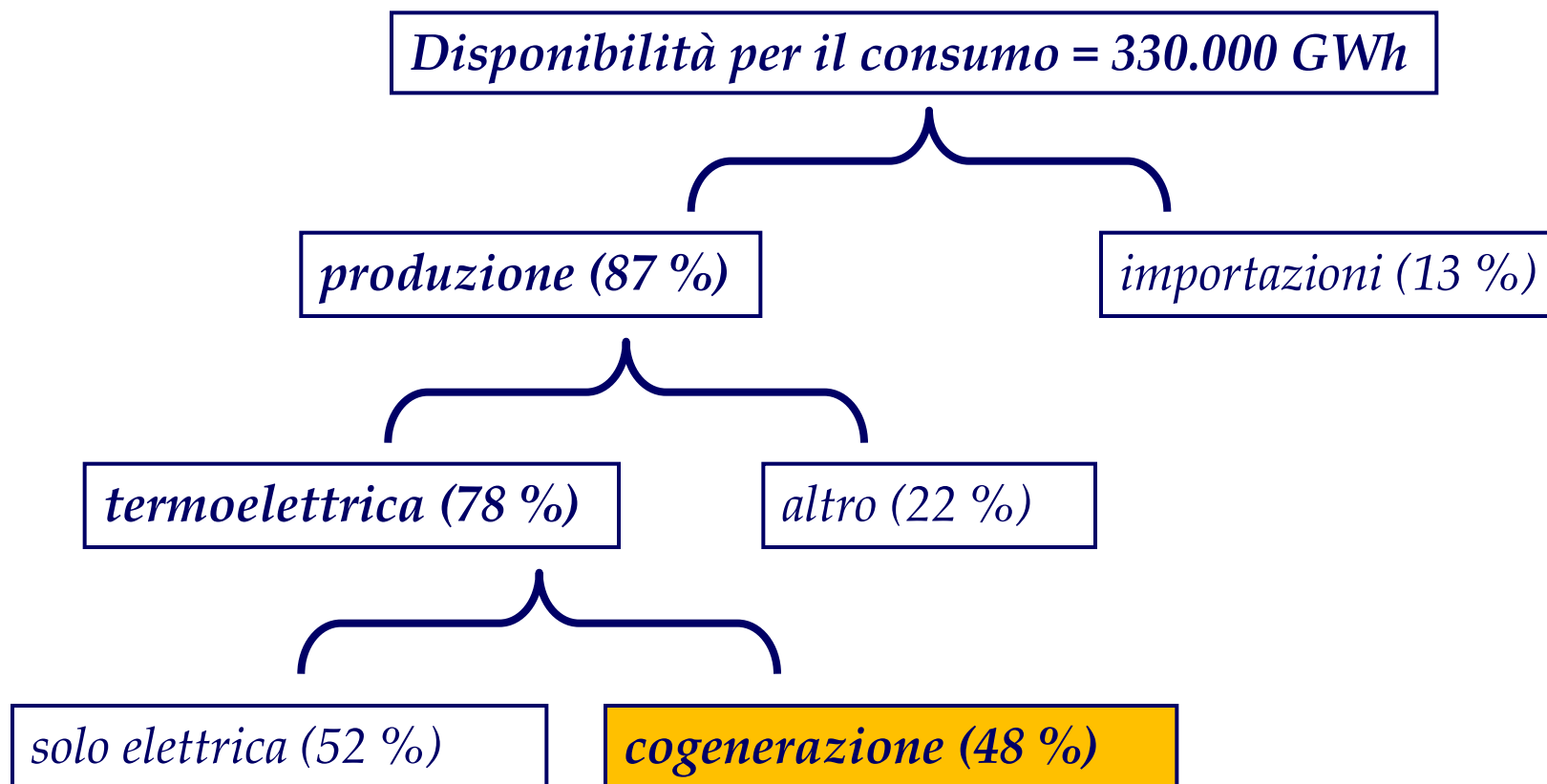
A partire dal 05/06/2014, qualora venga progettato, o sottoposto ad ammodernamento sostanziale, un impianto di generazione di energia termica (inclusi gli impianti industriali che generano calore di scarto) con potenza termica totale superiore a 20 MW, deve essere effettuata un'analisi costi-benefici per valutare la convenienza di:

- realizzare un impianto CAR
- connettere l'impianto a una rete di teleriscaldamento e teleraffreddamento
- utilizzare calore di scarto di impianti industriali situati nelle vicinanze

# I numeri italiani della produzione elettrica (2010)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara





# Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

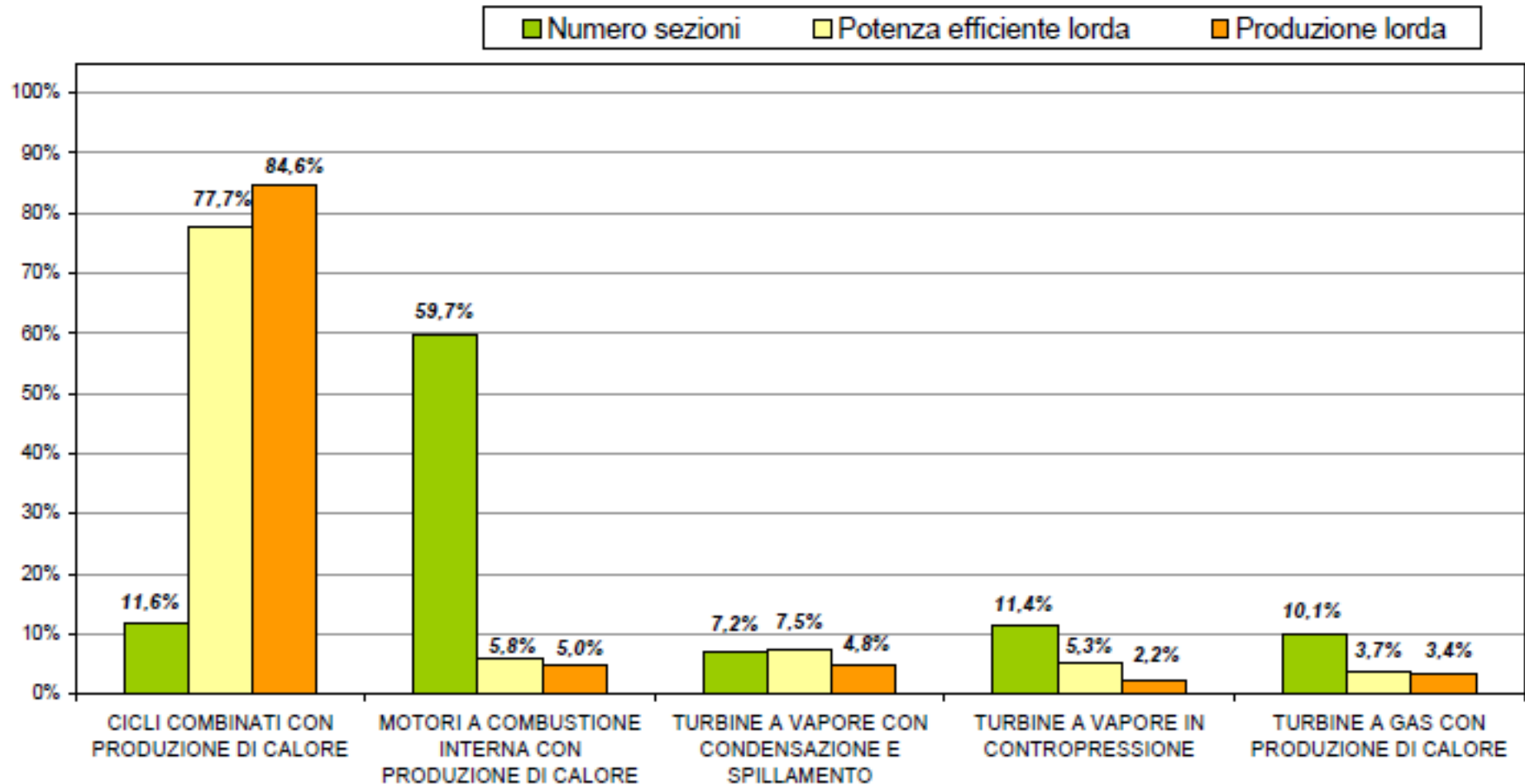


Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Numero totale sezioni: 1.391

Potenza efficiente lorda: 24.376 MW

Produzione lorda: 111.468 GWh



# Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione GD in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

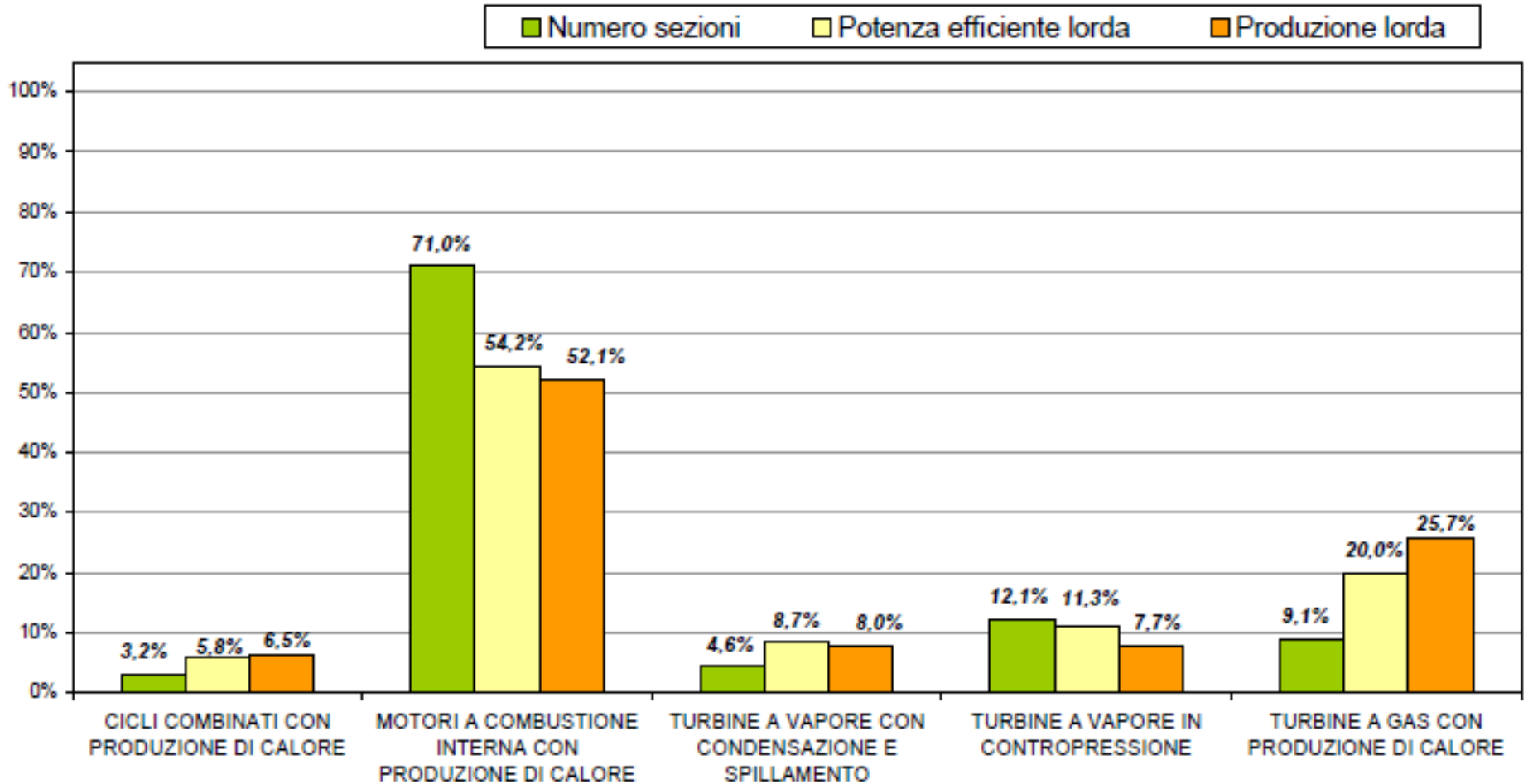


Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Numero totale sezioni: 1.038

Potenza efficiente lorda: 1.554 MW

Produzione lorda: 5,63 TWh



# Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione PG in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)



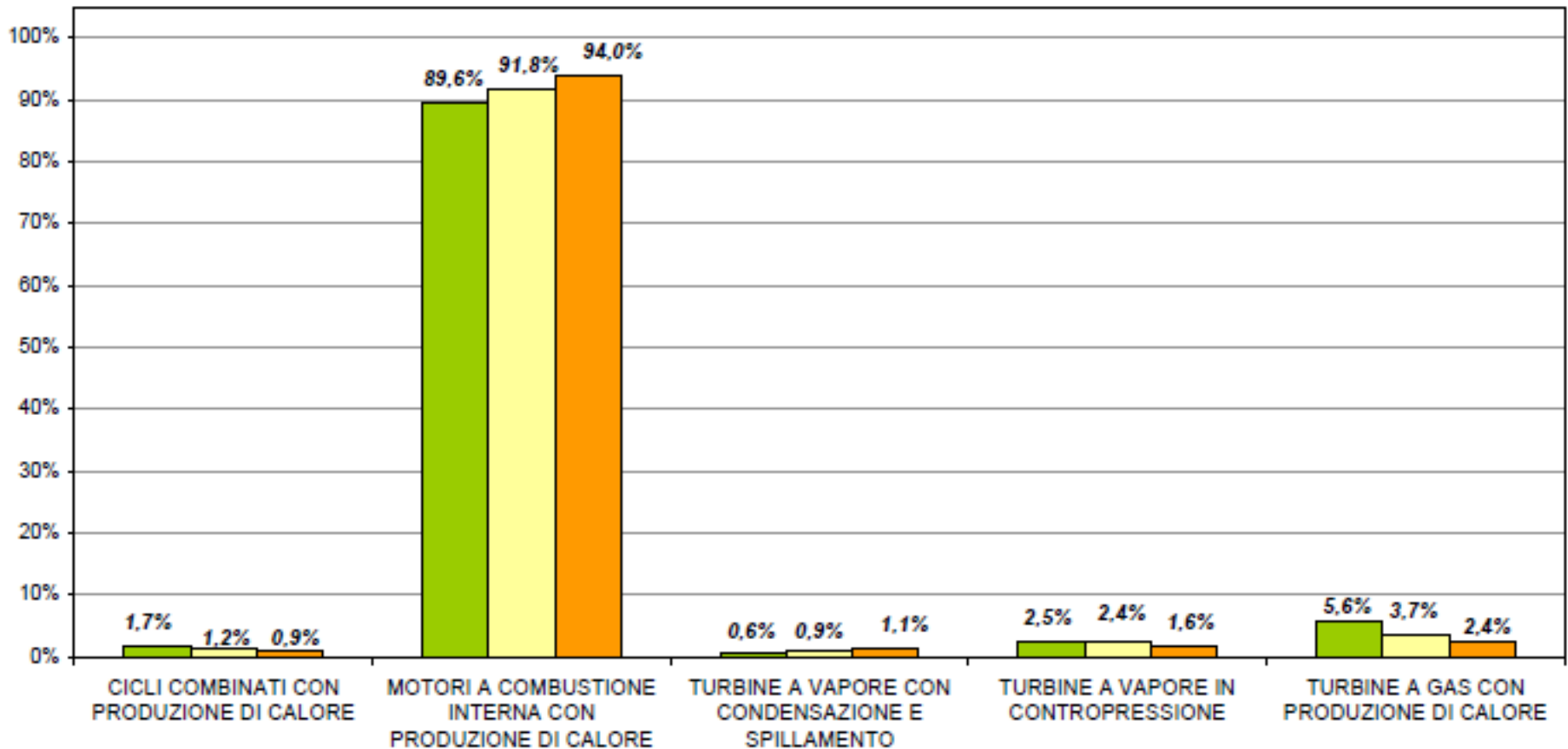
Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Numero totale sezioni: 355

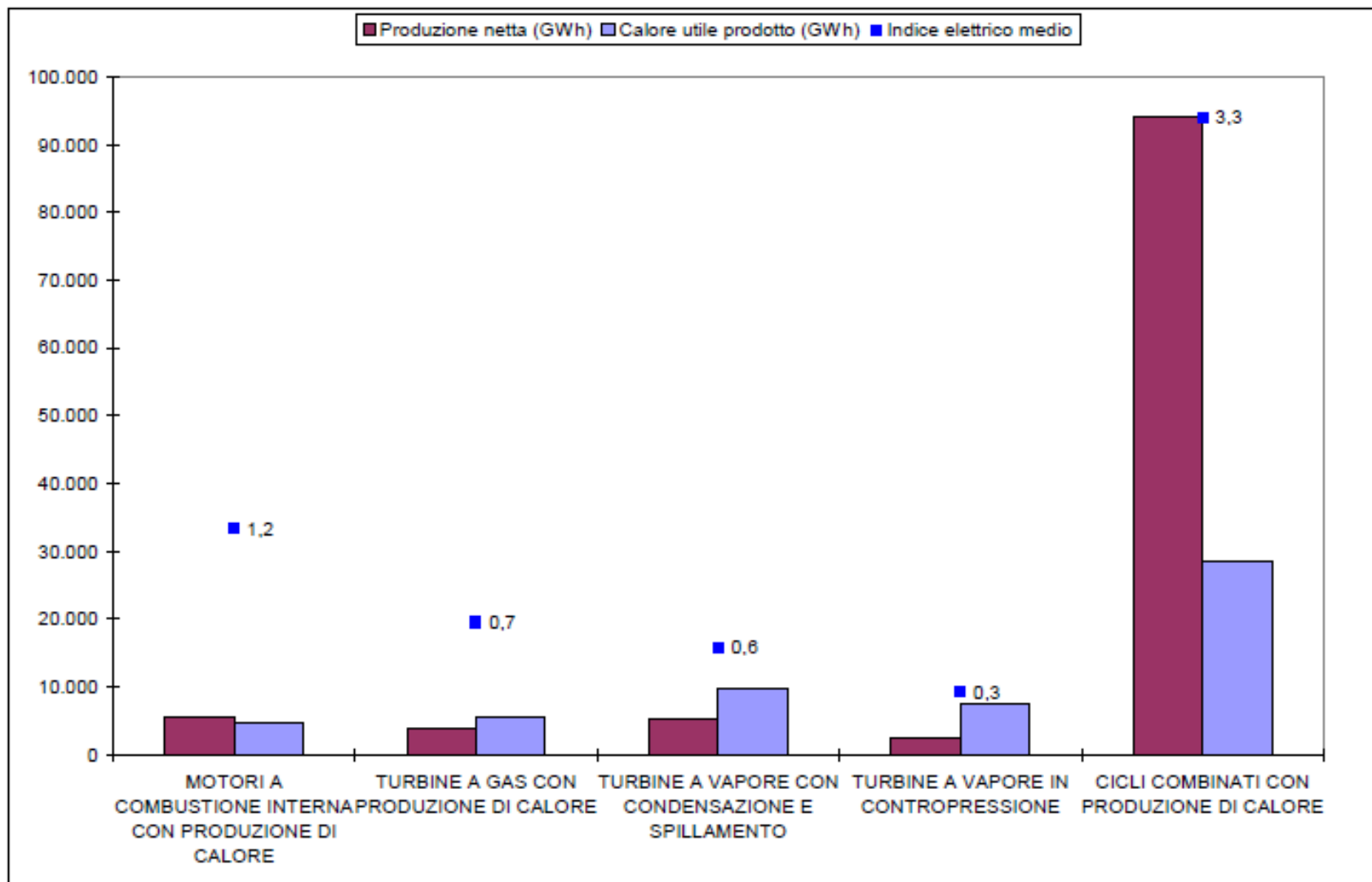
Potenza efficiente lorda: 170 MW

Produzione lorda: 549 GWh

■ Numero sezioni    ■ Potenza efficiente lorda    ■ Produzione lorda



## Produzione elettrica e termica e indice elettrico degli impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)



# Sezioni, potenza e produzione impianti di cogenerazione in funzione della tecnologia utilizzata (dati AEEG, anno 2010)

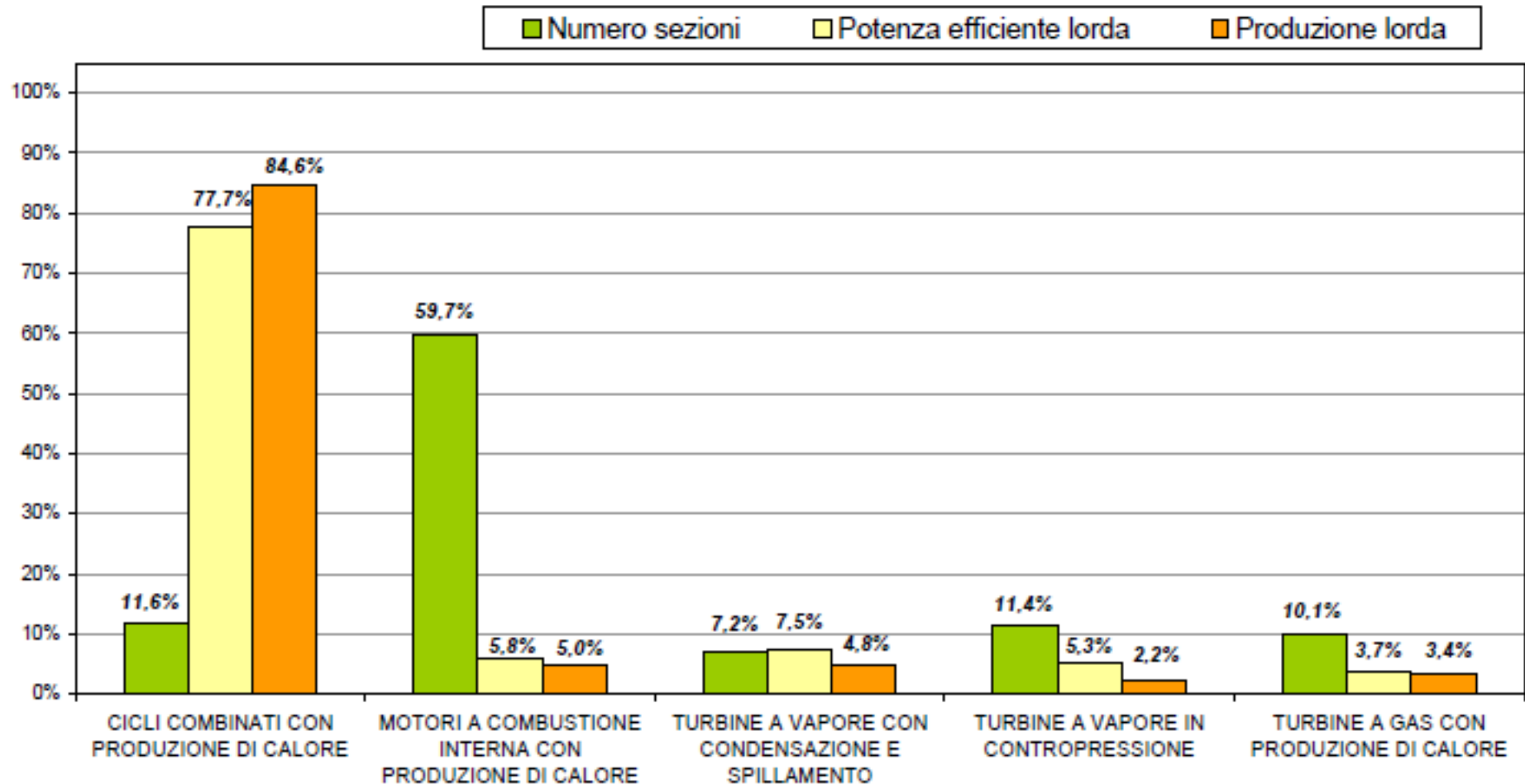


Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Numero totale sezioni: 1.391

Potenza efficiente lorda: 24.376 MW

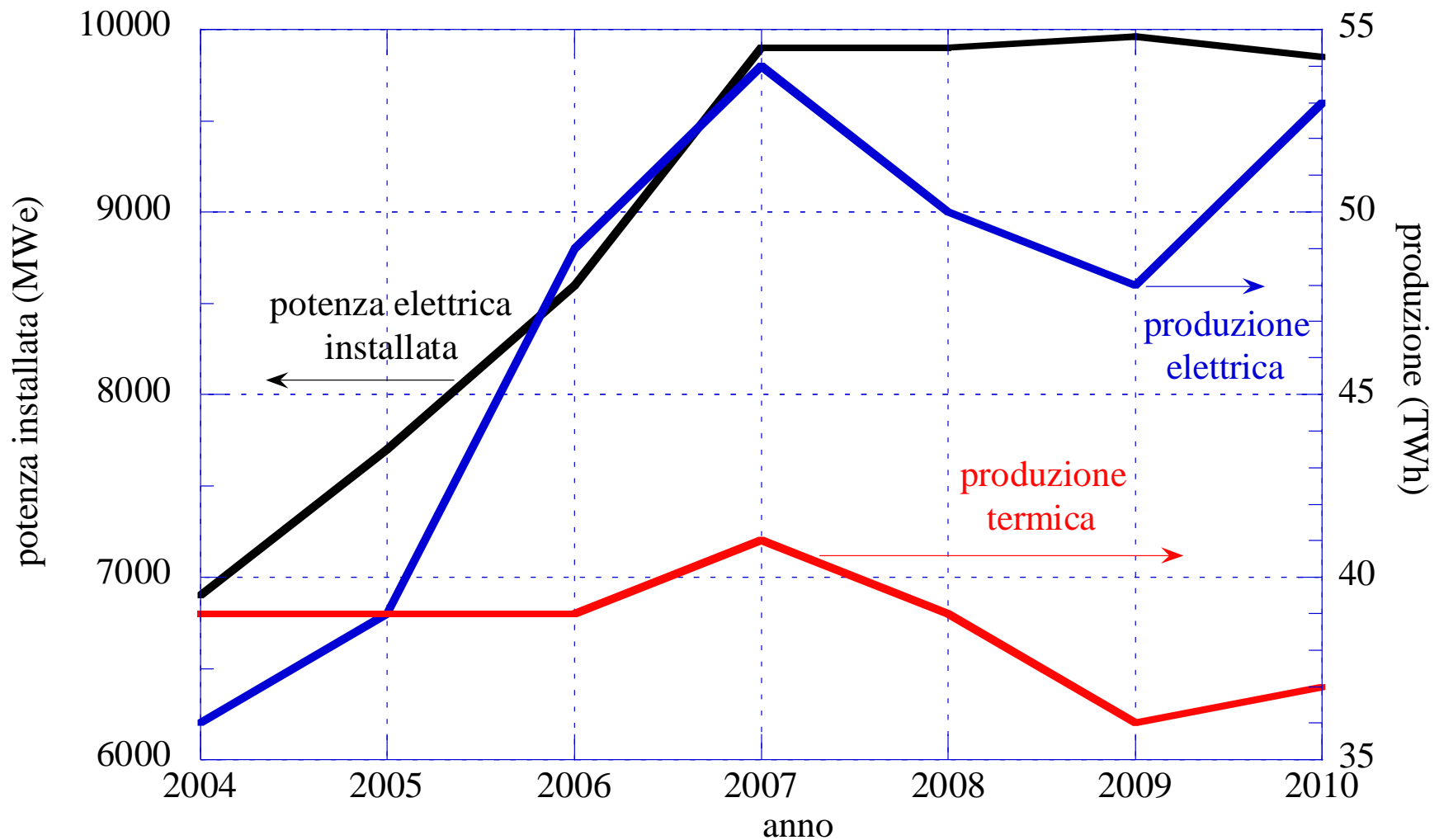
Produzione lorda: 111.468 GWh



# Energia prodotta riconosciuta CAR e relativa potenza installata (Relazione cogenerazione 2011 - MSE)



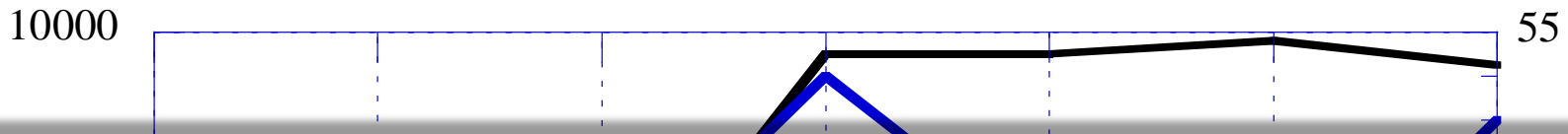
Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara



# Energia prodotta riconosciuta CAR e relativa potenza installata (Relazione cogenerazione 2011 - MSE)

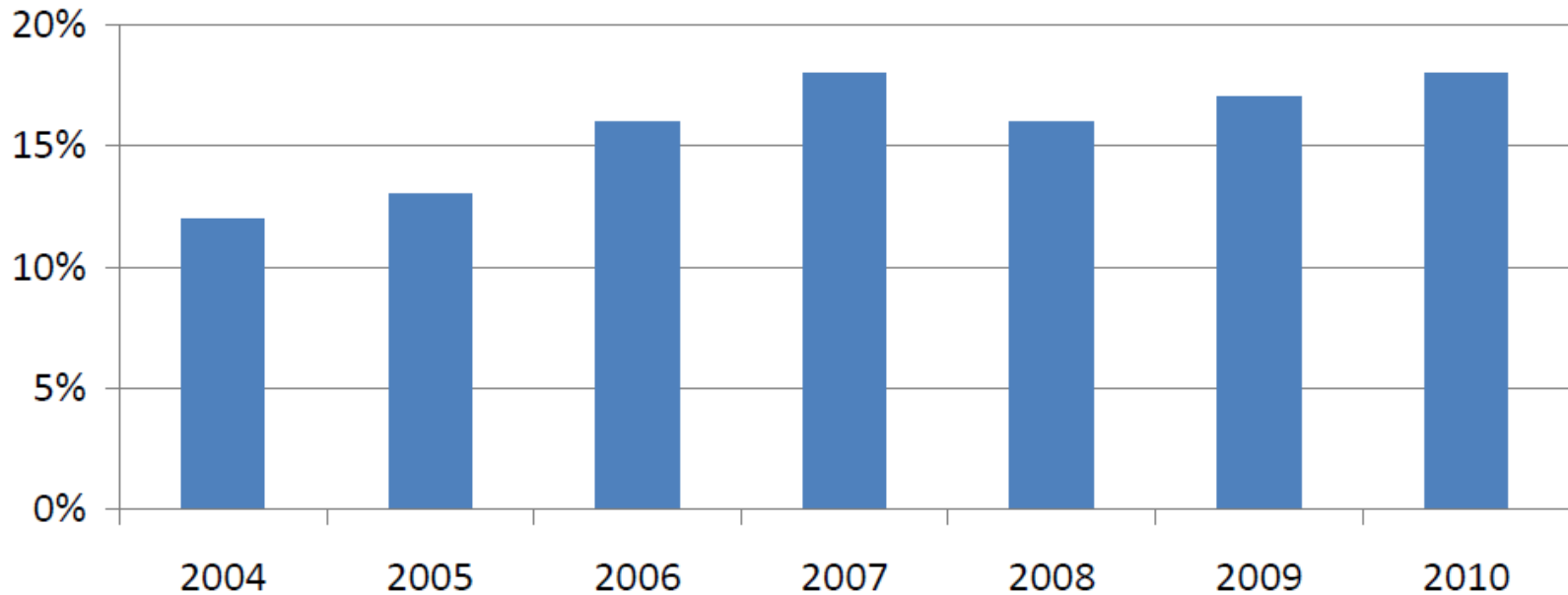


Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara



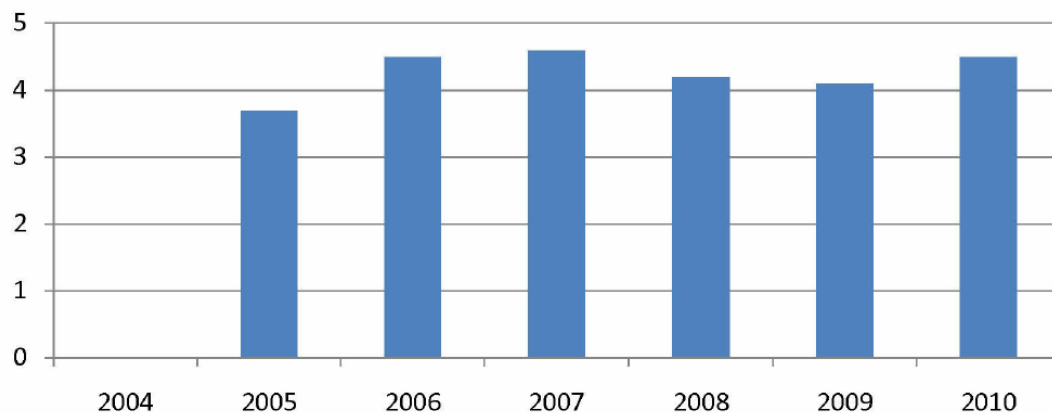
## Quota energia elettrica CAR su totale nazionale (%)

potenza installata (MWe)

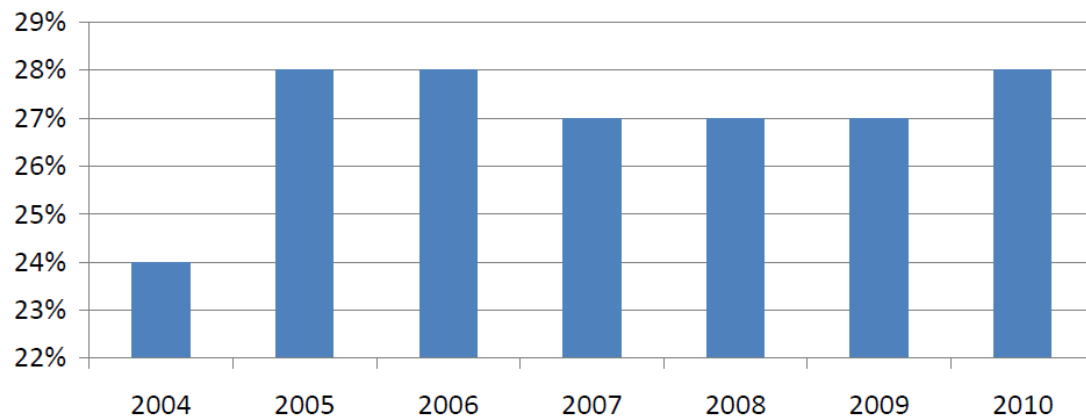


**Risparmio di energia primaria conseguito con la CAR  
rispetto alla produzione separata  
(Relazione cogenerazione 2011 - MSE)**

**Risparmio di energia primaria rispetto  
alla produzione separata (MTEP)**



**Risparmio di energia primaria rispetto  
alla produzione separata (%)**



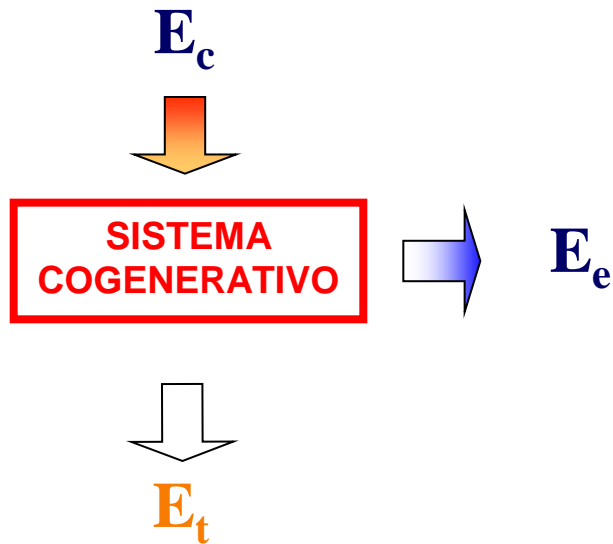


# Le applicazioni della cogenerazione

Potenza elettrica installata per settore di attività (dati GSE, anno 2006)

| Attività                                 | taglia media (MWe) | Potenza installata (MWe) |
|--|--------------------|--------------------------|
| Industria chimica e petrolchimica        | 114.3              | 2972                     |
| Raffinazione petrolio                    | 136.6              | 2459                     |
| Industria cartaria                       | 16.7               | 835                      |
| Industria siderurgica                    | 185.0              | 370                      |
| Industria alimentare                     | 11.9               | 202                      |
| Industria automobilistica                | 23.1               | 162                      |
| Industria ceramica                       | 3.9                | 74                       |
| Riscaldamento e teleriscaldamento        | 12.5               | 997                      |
| Impianti sportivi, alberghi e ristoranti | 0.1                |                          |
| Commercio                                | 0.5                |                          |
| Ospedali                                 | 1                  |                          |
| Case di riposo e simili                  | 1.5                |                          |
| Concerie                                 | 2.0                | 529                      |
| Industria tessile, gomma e plastiche     | 3.0                |                          |
| Industria elettronica                    | 9.0                |                          |
| Trasporti aerei                          | 30.5               |                          |

# Prestazioni di un cogeneratore



$$\eta_e = \frac{E_e}{E_c} \quad \text{rendimento elettrico}$$

$$\eta_t = \frac{E_t}{E_c} \quad \text{rendimento termico}$$

$$\eta_U = \eta_{tot} = \frac{E_e + E_t}{E_c} = \eta_e + \eta_t \quad \text{rendimento totale o coefficiente di utilizzo del combustibile}$$

# Coefficiente di utilizzo del combustibile



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

**Se calcolato con riferimento al potere calorifico inferiore (PCI)  
il limite superiore non è 100%**

| Combustibile          | PCS     | PCI     | PCS/PCI |
|-----------------------|---------|---------|---------|
| idrogeno              | 144 000 | 121 000 | 119%    |
| metanolo              | 22 513  | 19700   | 114%    |
| gas naturale          | 55 765  | 50140   | 111%    |
| gpl                   | 50 071  | 46100   | 109%    |
| gasolio               | 45 785  | 42860   | 107%    |
| carbone (antracite)   | 34 378  | 33500   | 103%    |
| olio vegetale (colza) | 40 033  | 37400   | 107%    |
| biodiesel             | 39 800  | 37100   | 107%    |
| olio vegetale (palma) | 39 133  | 36500   | 107%    |
| olio combustibile     | 43 700  | 41000   | 107%    |
| olio vegetale (soia)  | 39 343  | 36800   | 107%    |
| biogas                | 19 679  | 17699   | 111%    |
| gas d'altoforno       | 6 725   | 6050    | 111%    |

[valori di PCI e PCS in kJ/kg]

$$\eta_{tot} < \frac{PCS}{PCI}$$

# *Prestazioni di un cogeneratore*



*Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara*

**Primo principio termodinamica**

**CALORE = LAVORO**

**Secondo principio termodinamica**

**CALORE  $\neq$  LAVORO**

***1 kJ di ACQUA CALDA  $\neq$  1 kJ di VAPORE  $\neq$  1 kJ di ELETTRICITA'***

# Prestazioni di un cogeneratore



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

## Rendimento di primo principio

$$\eta_I = \eta_{tot} = \frac{\textit{produzione utile}}{\textit{energia immessa con il combustibile}}$$

## Rendimento di secondo principio

$$\eta_{II} = \frac{\textit{produzione utile pesata "termdinamicamente"}}{\textit{energia immessa con il combustibile}}$$

## Rendimento di secondo principio

$$\eta_{II} = \frac{\text{produzione utile pesata "termdinamicamente"}}{\text{energia immessa con il combustibile}}$$

$$\eta_{II} = \frac{E_E + \varepsilon E_T}{E_C}$$

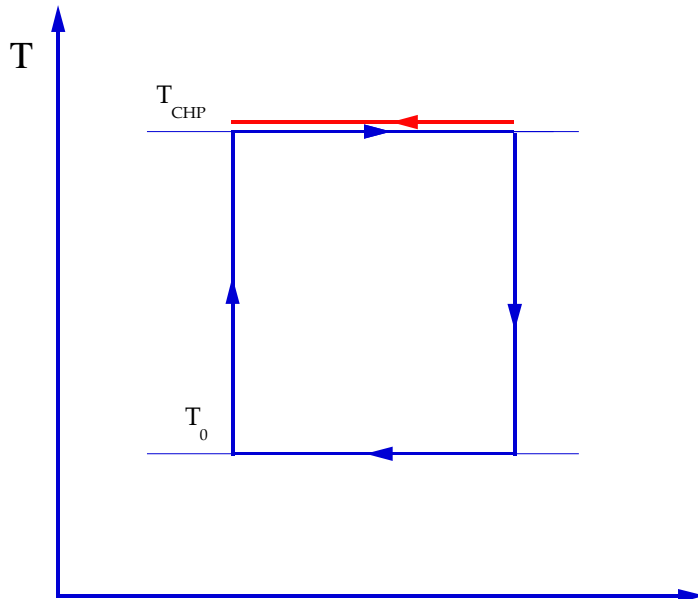
Equivalente elettrico del calore

$$\varepsilon = \eta_{em} \mu = \eta_{em} (\eta' \eta_{rev})$$

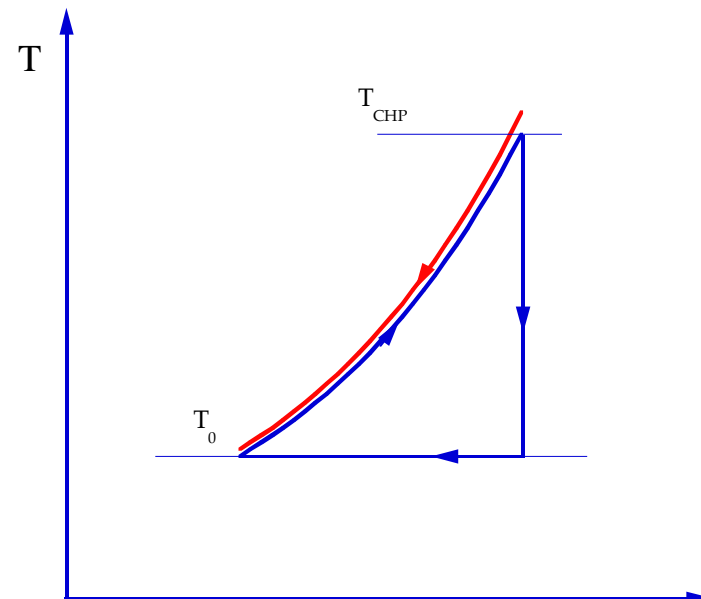
Equivalente meccanico del calore

# Rendimento di secondo principio

$$\varepsilon = f(T_{CHP}, \text{natura sorgente di calore})$$



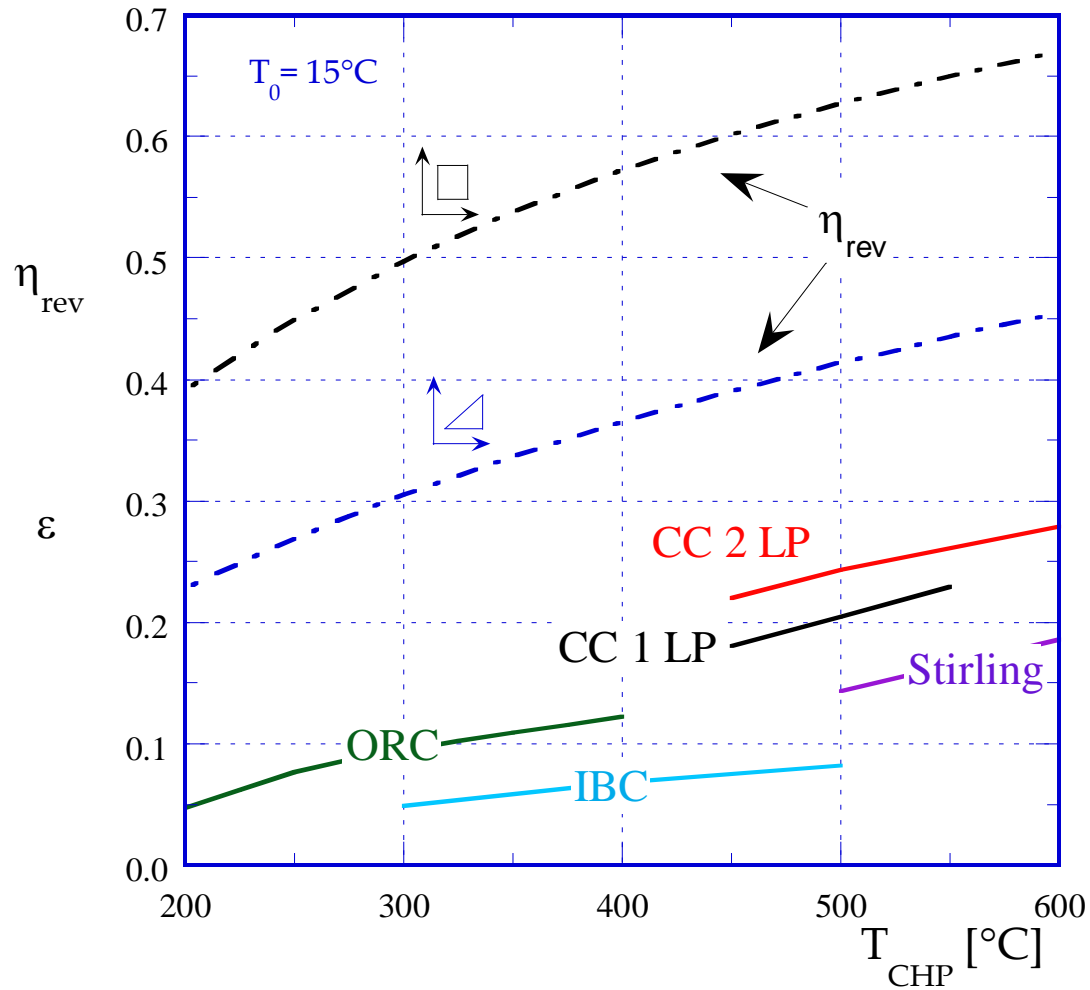
$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_0}{T_{CHP}}$$



$$\eta_{rev} = 1 - \frac{T_0}{T_{ml,CHP}}$$

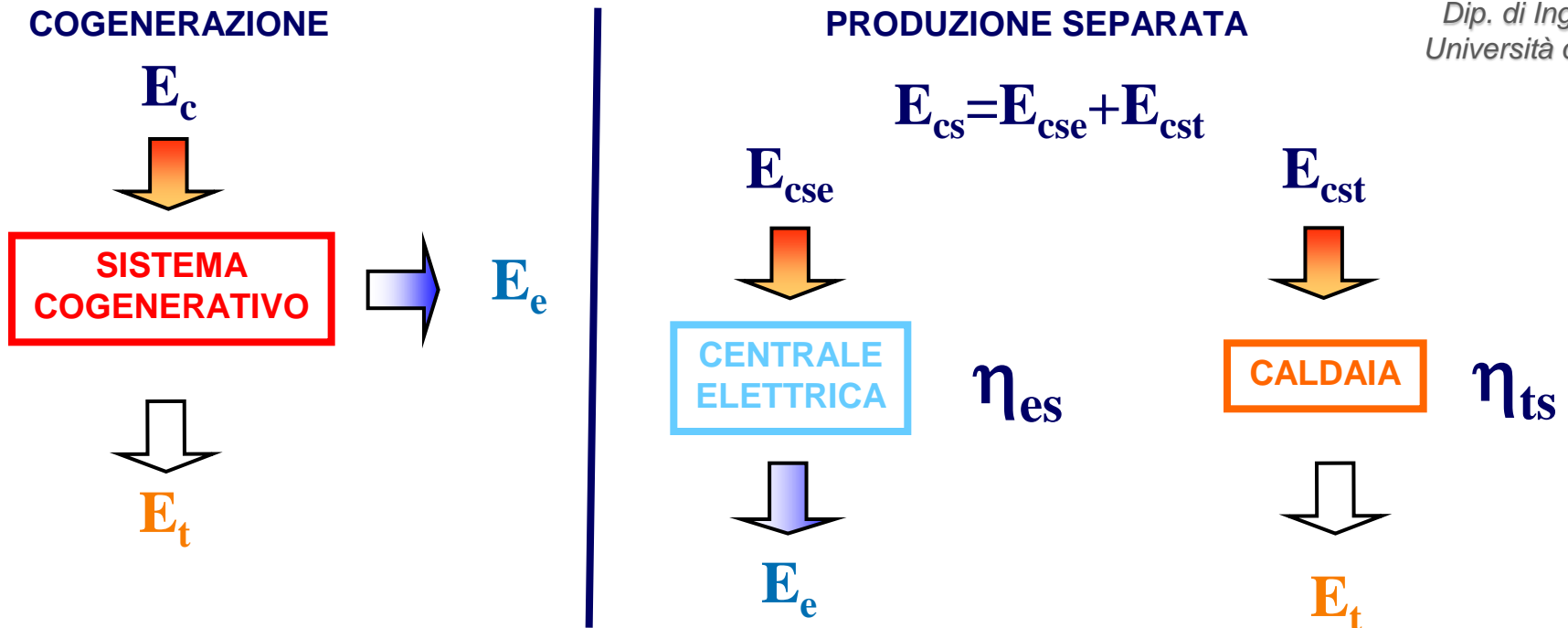
$$T_{ml,CHP} = \frac{T_{CHP} - T_0}{\ln(T_{CHP}/T_0)}$$

# Rendimento di secondo principio





# Confronto con la produzione separata



$$IRE = PES = \frac{E_{cs} - E_c}{E_{cs}} = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es}} + \frac{E_t}{\eta_{ts}}} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_e}{\eta_{es}} + \frac{\eta_t}{\eta_{ts}}}$$

## Confronto con la produzione separata

$$\begin{aligned}
 IRE = PES &= \frac{E_{cs} - E_c}{E_{cs}} = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es}} + \frac{E_t}{\eta_{ts}}} = \\
 &= 1 - \frac{1}{\frac{E_e + \frac{\eta_{es}}{\eta_{ts}} E_t}{E_c}} \eta_{es} = 1 - \frac{1}{\frac{E_e + \varepsilon' E_t}{E_c}} \eta_{es} = 1 - \frac{1}{\eta_{II}} \eta_{es}
 \end{aligned}$$

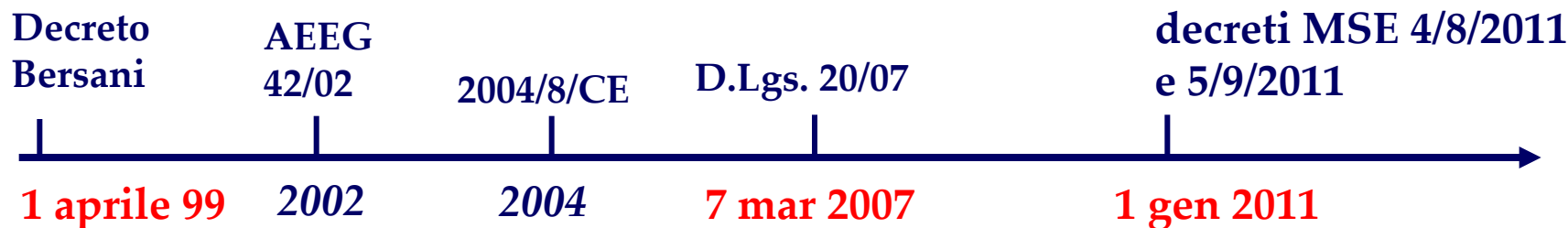
$$\varepsilon' = \frac{\eta_{es}}{\eta_{ts}} = \frac{0.525}{0.900} = 0.583 \gg \varepsilon_{reale}$$

# **Quadro normativo nazionale per la Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR)**

# Cogenerazione ad Alto Rendimento (CAR)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara



- Le unità di cogenerazione entrate in esercizio dopo il 1 gennaio 2011 sono considerate CAR se rispondono ai requisiti del decreto 4 agosto 2011
- Le unità di cogenerazione entrate in esercizio tra il 7 marzo 2007 e il 31 dicembre 2010 sono ammesse ai benefici del decreto 5 settembre 2011 se CAR oppure se riconosciute *cogenerative* secondo la delibera AEEG 42/02 e successive modifiche ed integrazioni
- Le unità di cogenerazione entrate in esercizio tra il 1 aprile 1999 e il 7 marzo 2007 sono ammesse ai benefici del decreto 5 settembre 2011 se riconosciute *cogenerative* ai sensi delle norme applicabili alla data di entrata in esercizio

# Condizioni energetiche per la CAR



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

**Delibera AEEG 42/02**

**D.Lgs. 20/07**

(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )

**soddisfare una richiesta di calore utile ...**

$$LT > LT_{lim}$$

*energia elettrica  
da cogenerazione*

**... e risparmiare combustibile**

$$IRE > IRE_{lim}$$

$$PES > PES_{lim}$$

# Soddisfacimento di una richiesta di calore utile



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

**Delibera AEEG 42/02**

$$LT = \frac{E_t}{E_e + E_t} \geq LT_{\min}$$

**Limiti sul  $LT_{\min}$**

**(aggiornati dalla delibera 196/05 AEEG)**

|                               | <b>&lt; 10 MWe</b> | <b>Tra i 10 e i 25 MWe</b> | <b>&gt; 25 MWe</b> |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| impianti a gas, gpl e gasolio | <b>0,33</b>        | <b>0,22</b>                | <b>0,15</b>        |
| Tutti gli altri               | <b>0,15</b>        |                            |                    |

**D.Lgs. 20/07**

**(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )**

**Solo parte dell'energia elettrica prodotta viene riconosciuta come ELETTRICITA' DA COGENERAZIONE:**

*"l'elettricità generata in un processo abbinato alla produzione di calore utile"*

## Calore utile

(secondo D.M. 4/8/11)

### Esempi di calore utile:

- calore utilizzato in processi industriali
- calore utilizzato per riscaldamento o raffrescamento di ambienti
- gas di scarico utilizzati direttamente per essiccare

### Esempi di calore NON utile:

- calore disperso da camini o dissipato in condensatori o altri dispositivi di smaltimento
- **calore utilizzato per il funzionamento dell'impianto di cogenerazione**
- calore esportato verso altri siti e ivi utilizzato per produrre energia elettrica
- calore di ritorno all'impianto di cogenerazione che produce acqua calda

## Calore utile

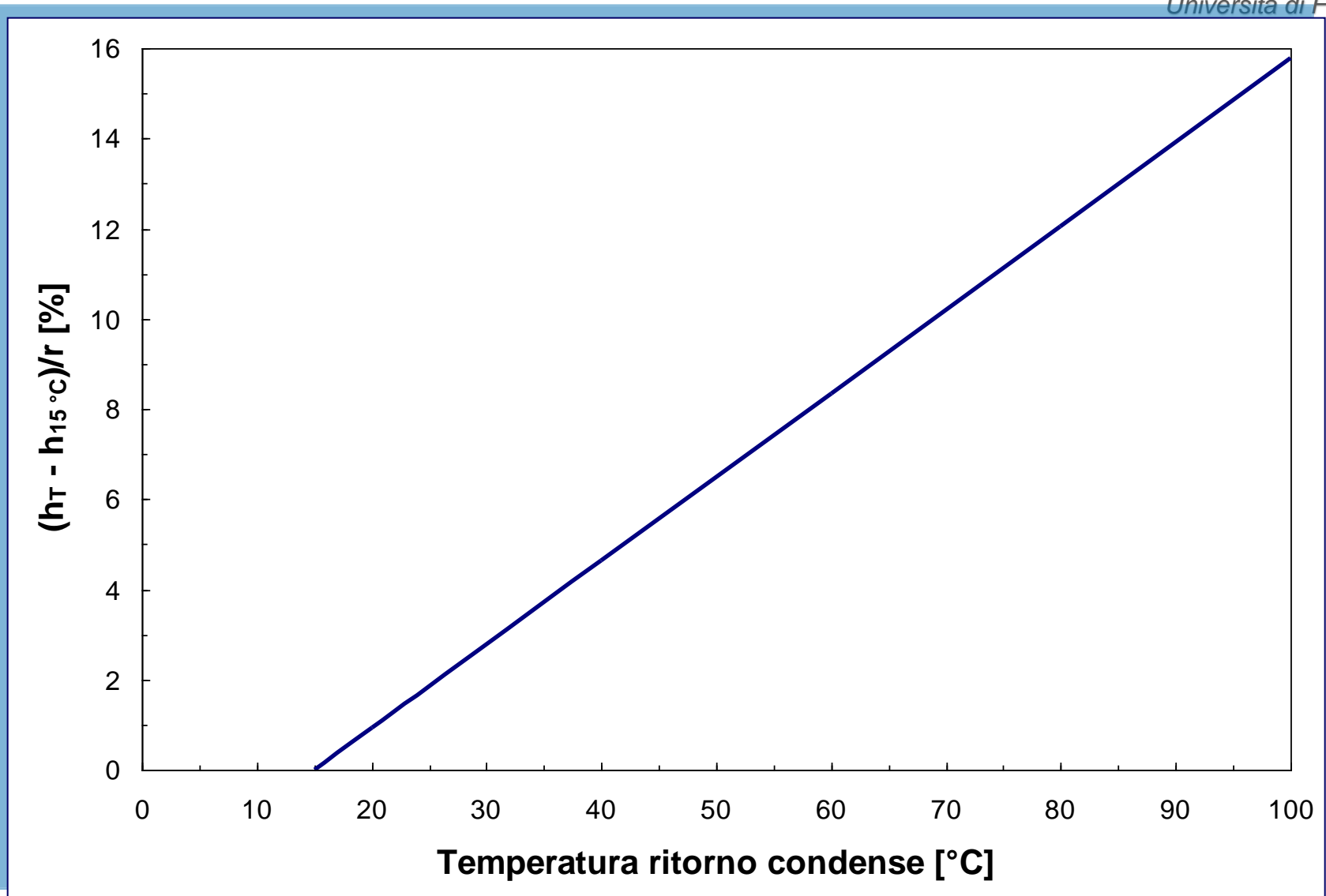
(secondo D.M. 4/8/11)

*Nel caso di impianto di cogenerazione che produce vapore, il calore delle condense di ritorno è considerato calore utile, e **può** essere incluso nel calcolo degli indici energetici: da tale calcolo va esclusa, in questo caso, la quantità di calore corrispondente ad una portata massica di acqua che si trovi alla temperatura di  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alla pressione di  $1,013\text{ bar}$ , e sia pari alla portata massica del vapore*



## Calore utile

(secondo D.M. 4/8/11)



## Calore utile

(secondo D.M. 4/8/11)

*Nel caso di impianto di cogenerazione che produce vapore, il calore delle condense di ritorno è considerato calore utile, e **può** essere incluso nel calcolo degli indici energetici: da tale calcolo va esclusa, in questo caso, la quantità di calore corrispondente ad una portata massica di acqua che si trovi alla temperatura di 15 °C , alla pressione di 1,013 bar, e sia pari alla portata massica del vapore.*

*Per le sole sezioni di micro cogenerazione senza circuiti dissipativi è consentito sostituire le misura della quantità di calore con una stima della stessa. La stima deve basarsi sui dati di potenza certificati e sulla misura, anche indiretta, del numero di ore di funzionamento **equivalenti** dell'unità durante il periodo di riferimento.*

# Calcolo dell'elettricità da cogenerazione

(secondo D.M 4/8/11)



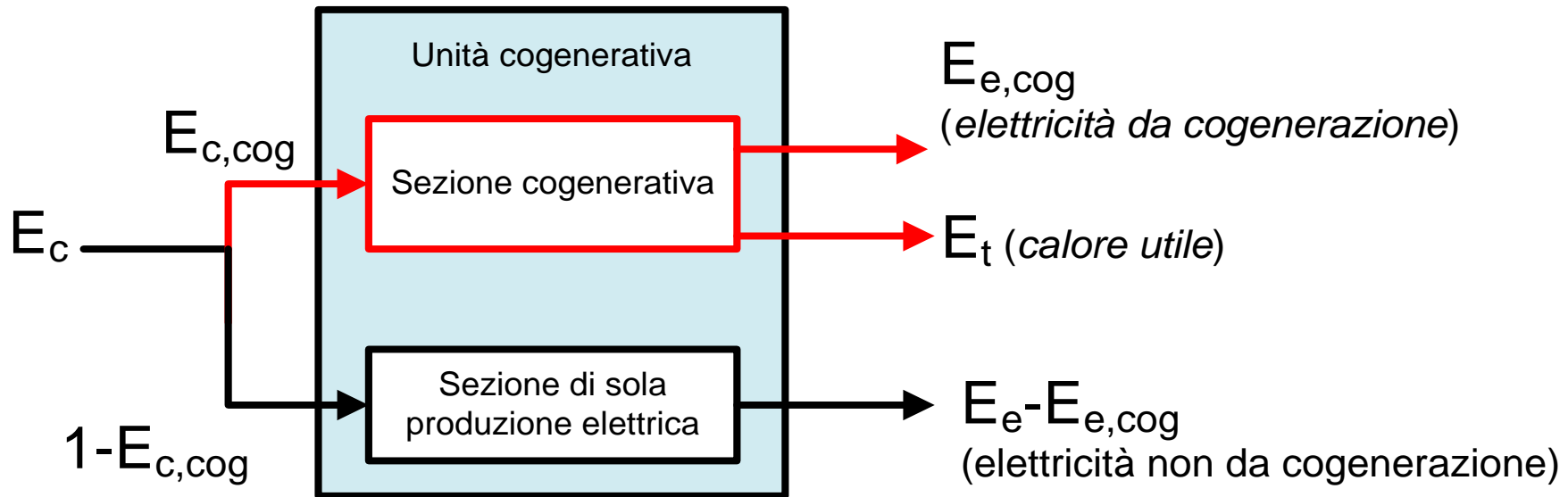
Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

$$\eta_{tot} = \eta_e + \eta_t \begin{cases} \geq \eta_{lim} \Rightarrow E_{e,cog} = E_e \\ < \eta_{lim} \Rightarrow E_{e,cog} = CE_t \end{cases}$$

$$\eta_{lim} = \begin{cases} 0,80 & \text{cicli combinati e TV a condensazione} \\ 0,75 & \text{tutti gli altri} \end{cases}$$

## Elettricità da cogenerazione (secondo D.M 4/8/11)

Il mancato rispetto della condizione  $\eta_e + \eta_t \geq \eta_{lim}$  comporta la virtuale divisione del sistema in due sezioni: una cogenerativa e l'altra di sola produzione elettrica



$$E_{c,cog} = \frac{E_{e,cog}}{\eta_e} \quad , \quad \eta_e = \frac{E_e}{E_c}$$

## Il fattore “C”

(secondo D.M. 4/8/11)

**Il rapporto  $E_e/E_t$  effettivo “ $C_{\text{eff}}$ ”:** valore misurato nel periodo di riferimento, con riferimento al funzionamento reale dell’impianto nei periodi in cui lo stesso opera in regime di cogenerazione

**Il rapporto  $E_e/E_t$  di progetto “ $C_{\text{prog}}$ ”:** per le unità cogenerative entrate in servizio da meno di un anno, per le quali non siano disponibili dati misurati

**Il rapporto  $E_e/E_t$  di base “ $C_{\text{default}}$ ”** come da tabella:

| tipo di unità                        | C<br>(direttiva 2004/8/CE) | C<br>(valori GSE) |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Ciclo combinato gas-vapore           | 0,95                       | 0,32 ÷ 2,46       |
| turbina a vapore a contropressione   | 0,45                       | 0,18 ÷ 0,25       |
| turbina a vapore a condensazione     | 0,45                       |                   |
| turbina a gas con recupero di calore | 0,55                       | 0,49 ÷ 1,27       |
| motore a combustione interna         | 0,75                       | 1,05 ÷ 1,73       |

# Risparmio di combustibile



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

Delibera AEEG 42/02

D.Lgs. 20/07

(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )

$$IRE = PES = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es}} + \frac{E_t}{\eta_{ts}}}$$

$$IRE > 0,1$$

$$PES > \begin{cases} 0,1 \\ 0 \end{cases}$$

← **per la piccola  
cogenerazione  
( $P_e < 1 \text{ MW}$ )**

# La produzione elettrica separata nella 42/02 AEEG

(aggiornata dalla delibera 296/05 AEEG)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

%

$\eta_{es}$

Rendimenti elettrici di riferimento in funzione di combustibile e taglia

| Taglia di riferimento      | Gas naturale, gpl, gasolio | Olio combustibile, nafta | Combustibili solidi fossili petrolcoke, orimulsion | Rifiuti solidi organici, inorganici e biomasse | TAR di raffineria |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|--|-------------------|
| $\leq 1$ MWe               | <b>(38) 40</b>             | 35                       | 33   | 23   | 35                |
| <b>&gt;1 fino a 10 MWe</b> | <b>(40) 41</b>             | 36                       | 34   | 25   | 35                |
| >10 fino a 25 MWe          | (43) 44                    | 38                       | 36   | 27   | 35                |
| >25 fino a 50 MWe          | (46) 48                    | 39                       | 37   | (27) 28  | 35                |
| >50 fino a 100 MWe         | (49) 50                    | 39                       | 37   | (27) 28  | 35                |
| >100 fino a 200 MWe        | 51                         | 39                       | 37   | (27) 28  | 35                |
| >200 fino a 300 MWe        | 53                         | 39                       | 37   | (27) 28  | (35) 40           |
| >300 fino a 500 MWe        | 55                         | 41                       | 39   | (27) 28  | (35) 40           |
| >500 MWe                   | 55                         | 43                       | (41) 43  | (27) 28  | (35) 40           |

**Nel caso di utilizzo di biogas, gas naturale da giacimenti minori isolati, combustibili di processo e residui (ad eccezione del TAR di raffineria),  $\eta_{es} = 35$  % per tutte le taglie di riferimento**





# La produzione elettrica separata nel D.Lgs. 20/07 (secondo D.M. 4/8/11)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

$\eta_{es}$

Rendimenti elettrici di riferimento in funzione solo del combustibile

|   |  | <b>Anno costruzione:<br/>2006-2011</b> |
|---|--|--|
| Solido  | <b>Tipo di combustibile</b>                            |  |
|   | CARBONE FOSSILE  | 44,2                                   |
|   | COMBUSTIBILI A BASE DI LEGNO                           | 33,0                                   |
|   | BIOMASSE AGRICOLE                                      | 25,0                                   |
|   | .....  | ...                                    |
| Liquido   | PETROLIO, GPL  | 44,2                                   |
|   | BIOCARBURANTI  | 44,2                                   |
|   | ...  | ...                                    |
|   | <b>GAS NATURALE</b>                                    | <b>52,5</b>                            |
| Gassoso   | GAS DI RAFFINERIA/IDROGENO                             | 44,2                                   |
|   | BIOGAS   | 42,0                                   |
|   | ...  | ...                                    |
|   | da correggere in funzione delle condizioni climatiche: |  |
| Zona A ( $T_{med} = 11,325 \text{ °C}$ ): + 0,369 punti percentuali |  |  |
| Zona B ( $T_{med} = 16,043 \text{ °C}$ ): - 0,104 punti percentuali |  |  |

# La produzione elettrica separata nel D.Lgs. 20/07 (secondo D.M. 4/8/11)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

$\eta_{es}$

| <b>Tipo di combustibile</b>  | <b>Anno costruzione:<br/>2006-2011</b> |
|------------------------------|--|
| CARBONE FOSSILE              | 44,2                                   |
| COMBUSTIBILI A BASE DI LEGNO | 33,0                                   |
| BIOMASSE AGRICOLE            | 25,0                                   |

Rendimenti e  
riferimento in  
solo del com

| Zona climatica  | Temperatura media (°C) | Fattore di correzione in punti percentuali |
|---|------------------------|--|
| Zona A: Valle d'Aosta; Trentino Alto-Adige; Piemonte; Friuli-Venezia Giulia; Lombardia; Veneto; Abruzzo; Emilia-Romagna; Liguria; Umbria; Marche; Molise; Toscana | 11,315                 | +0,369                                     |
| Zona B: Lazio; Campania; Basilicata; Puglia; Calabria; Sardegna; Sicilia  | 16,043                 | -0,104                                     |

da correggere in funzione delle condizioni climatiche:  
**Zona A ( $T_{med} = 11,325$  °C): + 0,369 punti percentuali**  
**Zona B ( $T_{med} = 16,043$  °C): - 0,104 punti percentuali**

# La produzione elettrica separata nel D.Lgs. 20/07 (secondo D.M. 4/8/11)



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

%

| Anno di costruzione:<br>Tipo di combustibile: | 1996 e<br>antece-<br>denti | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006-<br>2011 |
|---|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| Carbone fossile/coke                          | 39.7                       | 40.5 | 41.2 | 41.8 | 42.3 | 42.7 | 43.1 | 43.5 | 43.8 | 44.0 | 44.2          |

$\eta_{es}$

Rendimenti elettrici di  
riferimento in funzione  
solo del combustibile

- I valori di  $\eta_{es}$  si applicano per 10 anni dall'anno di costruzione dell'unità di cogenerazione
- A partire dall'undicesimo anno, si applicano, anno per anno, i valori di  $\eta_{es}$  relativi a unità di cogenerazione di 10 anni d'età
- Interventi di ammodernamento di costo superiore al 50 % del costo di investimento di una nuova unità analoga, ai fini di  $\eta_{es}$ , aggiornano l'anno di costruzione all'anno in cui è iniziata la produzione dell'unità ammodernata

# Sconto per l'autoconsumo e per la produzione elettrica in media/bassa tensione

Delibera AEEG 42/02

D.Lgs. 20/07

(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )

$$p = \frac{p_{im} E_{e,im} + p_{ac} E_{e,ac}}{E_{e,im} + E_{e,ac}}$$

|           | $P_{im}$ | $P_{ac}$ |
|-----------|----------|----------|
| <b>BT</b> | 0,957    | 0,935    |
| <b>MT</b> | 0,972    | 0,957    |
| <b>AT</b> | 1        | 0,972    |

|                   | $P_{im}$ | $P_{ac}$     |
|-------------------|----------|--------------|
| <b>&lt;0,4 kV</b> | 0,925    | <b>0,860</b> |
| <b>0,4-50 kV</b>  | 0,945    | 0,925        |
| <b>50-100 kV</b>  | 0,965    | 0,945        |
| <b>100-200 kV</b> | 0,985    | 0,965        |
| <b>&gt;200 kV</b> | 1        | 0,985        |

# La produzione termica separata: *rendimenti di riferimento*



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

**Delibera AEEG 42/02**

**D.Lgs. 20/07**

**(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )**

$$\eta_{ts,civ} = 80 \%$$

$$\eta_{ts,ind} = 90 \%$$

**differenziato tra  
civile e  
industriale**

|         | Tipo di combustibile:                                    | Vapore (*) /acqua calda | Utilizzo diretto dei gas di scarico (!) |
|---------|--|-------------------------|---|
| Solido  | Carbone fossile/coke                                     | 88                      | 80                                      |
|         | Lignite/mattonelle di lignite                            | 86                      | 78                                      |
|         | Torba/mattonelle di torba                                | 86                      | 78                                      |
|         | Combustibili a base di legno                             | 86                      | 78                                      |
|         | Biomasse di origine agricola                             | 80                      | 72                                      |
|         | Rifiuti (urbani) biodegradabili                          | 80                      | 72                                      |
|         | Rifiuti (urbani e industriali) non rinnovabili           | 80                      | 72                                      |
|         | Scisti bituminosi  | 86                      | 78                                      |
| Liquido | Petrolio (gasolio + olio combustibile residuo), GPL      | 89                      | 81                                      |
|         | Biocarburanti  | 89                      | 81                                      |
|         | Rifiuti biodegradabili                                   | 80                      | 72                                      |
|         | Rifiuti non rinnovabili                                  | 80                      | 72                                      |
| Gassoso | Gas naturale   | 90                      | 82                                      |
|         | Gas di raffineria/idrogeno                               | 89                      | 81                                      |
|         | Biogas   | 70                      | 62                                      |
|         | Gas di cokeria, gas di altoforno + altri rifiuti gassosi | 80                      | 72                                      |

# La produzione termica separata: *rendimenti di riferimento*



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

**Delibera AEEG 42/02**

**D.Lgs. 20/07**

**(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )**

$$\eta_{ts,civ} = 80 \%$$

$$\eta_{ts,ind} = 90 \%$$

**differenziato tra  
civile e  
industriale**

|         | Tipo di combustibile:                                    | Vapore (*) /acqua calda | Utilizzo diretto dei gas di scarico (!) |
|---------|--|-------------------------|---|
| Solido  | Carbone fossile/coke                                     | 88                      | 80                                      |
|         | Lignite/mattonelle di lignite                            | 86                      | 78                                      |
|         | Torba/mattonelle di torba                                | 86                      | 78                                      |
|         | Combustibili a base di legno                             | 86                      | 78                                      |
|         | Biomasse di origine agricola                             | 80                      | 72                                      |
|         | Gas naturale con produzione di vapore o acqua calda      | 90                      | 72                                      |
| Liquido |  | 96                      | 78                                      |
|         |  | 99                      | 81                                      |
|         |  | 99                      | 81                                      |
|         |  | 100                     | 72                                      |
| Gassoso |  | 100                     | 72                                      |
|         | Gas naturale   | 90                      | 82                                      |
|         | Gas di raffineria/idrogeno                               | 89                      | 81                                      |
|         | Biogas   | 70                      | 62                                      |
|         | Gas di cokeria, gas di altoforno + altri rifiuti gassosi | 80                      | 72                                      |

**Gas naturale con  
produzione di vapore  
o acqua calda  
 $\eta_{ts} = 90 \%$**

... e inoltre



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

## Delibera AEEG 42/02

“Produzione di energia elettrica netta di una sezione di produzione combinata di energia elettrica e calore  $E_e$  è la quantità di energia elettrica lorda prodotta dalla sezione nell'anno solare, diminuita dell'energia elettrica destinata ai servizi ausiliari della sezione e delle perdite nei trasformatori principali.”

Periodo di rendicontazione: anno solare

## D.Lgs. 20/07

(in vigore dal 01/01/2011, secondo D.M. 4/8/11 )

“La quantità di energia elettrica prodotta in cogenerazione è misurata ai morsetti del generatore. Da tale quantità non deve essere sottratta l'energia elettrica usata internamente dell'unità di cogenerazione per il proprio funzionamento.”

Periodo di rendicontazione: anno solare o di durata inferiore per utenze stagionali

# Peso dei consumi degli ausiliari



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

|                                       | 2009    | 2010 <sup>(A)</sup> | VARIAZIONE % |
|---------------------------------------|---------|---------------------|--------------|
| Produzione lorda                      | 292.642 | 298.208             | 1,9%         |
| Servizi ausiliari                     | 11.535  | 11.677              | 1,2%         |
| Produzione netta                      | 281.107 | 286.531             | 1,9%         |
| Ricevuta da fornitori esteri          | 47.071  | 45.761              | -2,8%        |
| Ceduta a clienti esteri               | 2.111   | 1.817               | -13,9%       |
| Destinata ai pompaggi                 | 5.798   | 4.310               | -25,7%       |
| Disponibilità per il consumo          | 320.268 | 326.165             | 1,8%         |
| Perdite                               | 20.353  | 20.665              | 1,5%         |
| Consumi al netto delle perdite        | 299.915 | 305.500             | 1,9%         |
| Mercato tutelato                      | 84.454  | 80.000              | -5,3%        |
| Mercato libero (inclusa salvaguardia) | 197.931 | 208.200             | 5,2%         |
| Autoconsumi                           | 17.531  | 17.300              | -1,3%        |

(A) Dati provvisori.

Fonte: Elaborazione AEEG su dati provvisori di Terna.

Dati in GWh



# Peso dei consumi degli ausiliari



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

|   | 2009     | 2010 <sup>(A)</sup> | VARIAZIONE % |
|---|----------|---------------------|--------------|
| Produzione lorda                              | 292.642  | 298.208             | 1,9%         |
| Servizi ausiliari                             | 11.535   | 11.677              | 1,2%         |
| Produzione netta                              | 281.107  | 286.531             | 1,9%         |
| <b>Servizi ausiliari/Produzione lorda [%]</b> | <b>4</b> | <b>4</b>            |              |
| Destinata ai pompaggi                         | 5.730    | 4.310               | -25,7%       |
| Disponibilità per il consumo                  | 320.268  | 326.165             | 1,8%         |
| Perdite                                       | 20.353   | 20.665              | 1,5%         |
| Consumi al netto delle perdite                | 299.915  | 305.500             | 1,9%         |
| Mercato tutelato                              | 84.454   | 80.000              | -5,3%        |
| Mercato libero (inclusa salvaguardia)         | 197.931  | 208.200             | 5,2%         |
| Autoconsumi                                   | 17.531   | 17.300              | -1,3%        |

(A) Dati provvisori.

Fonte: Elaborazione AEEG su dati provvisori di Terna.

Dati in GWh

# Peso dei consumi degli ausiliari



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

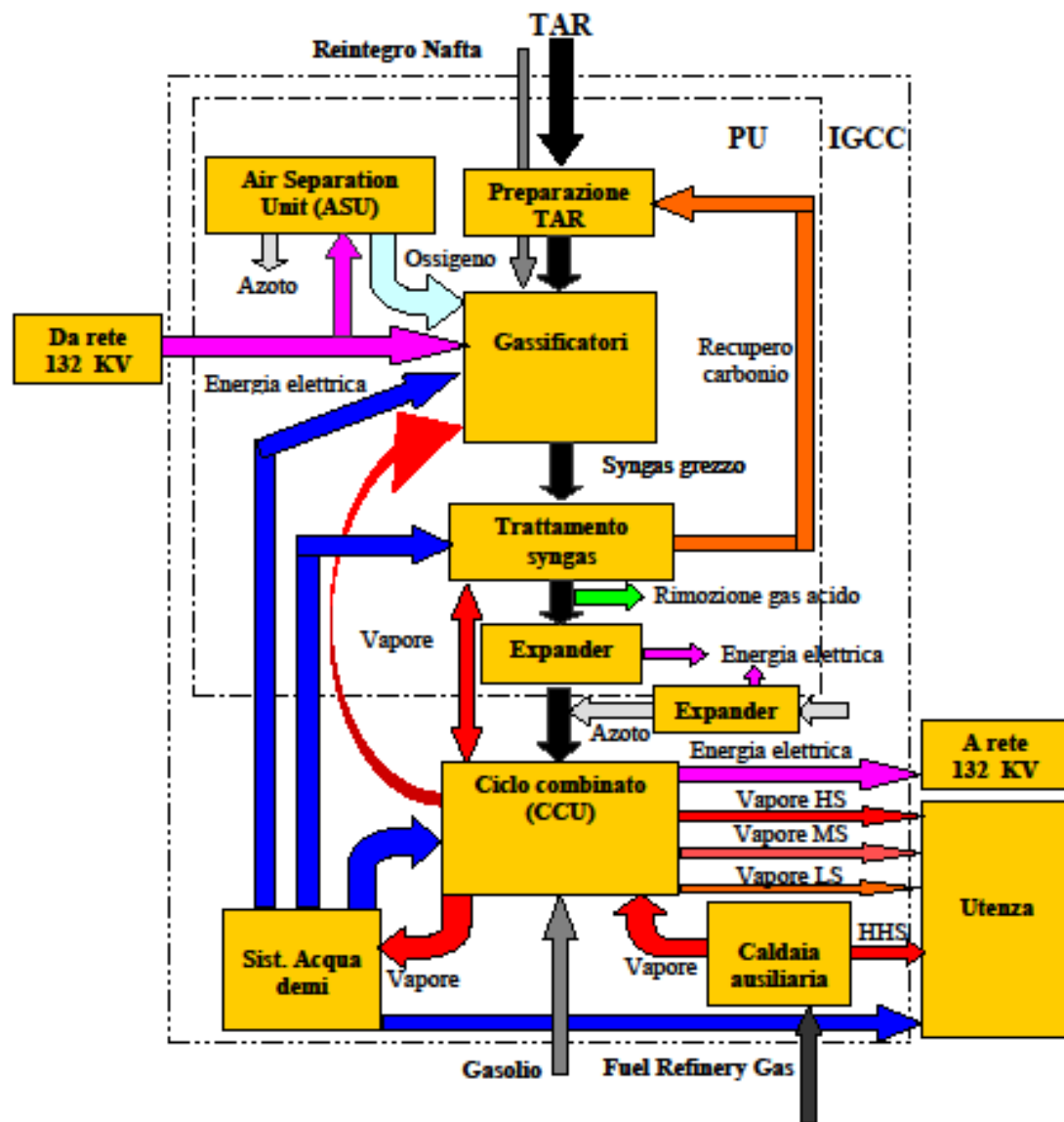
|  | 2009    | 2010(A) | VARIAZIONE % |
|--|---------|---------|--------------|
| Produzione lorda                       | 292.642 | 298.208 | 1,9%         |
| Servizi ausiliari                      | 11.535  | 11.677  | 1,2%         |
| Produzione netta                       | 281.107 | 286.531 | 1,9%         |
| Servizi ausiliari/Produzione lorda [%] | 4       | 4       |              |
| Destinata ai pompaggi                  | 9.790   | 4.310   | -55,7%       |
| Disponibilità per il consumo           | 320.268 | 326.165 | 1,8%         |

I consumi degli ausiliari e le perdite di trasformazione di una centrale di cogenerazione a ciclo combinato standard sono circa il

**2 ÷ 3 %**

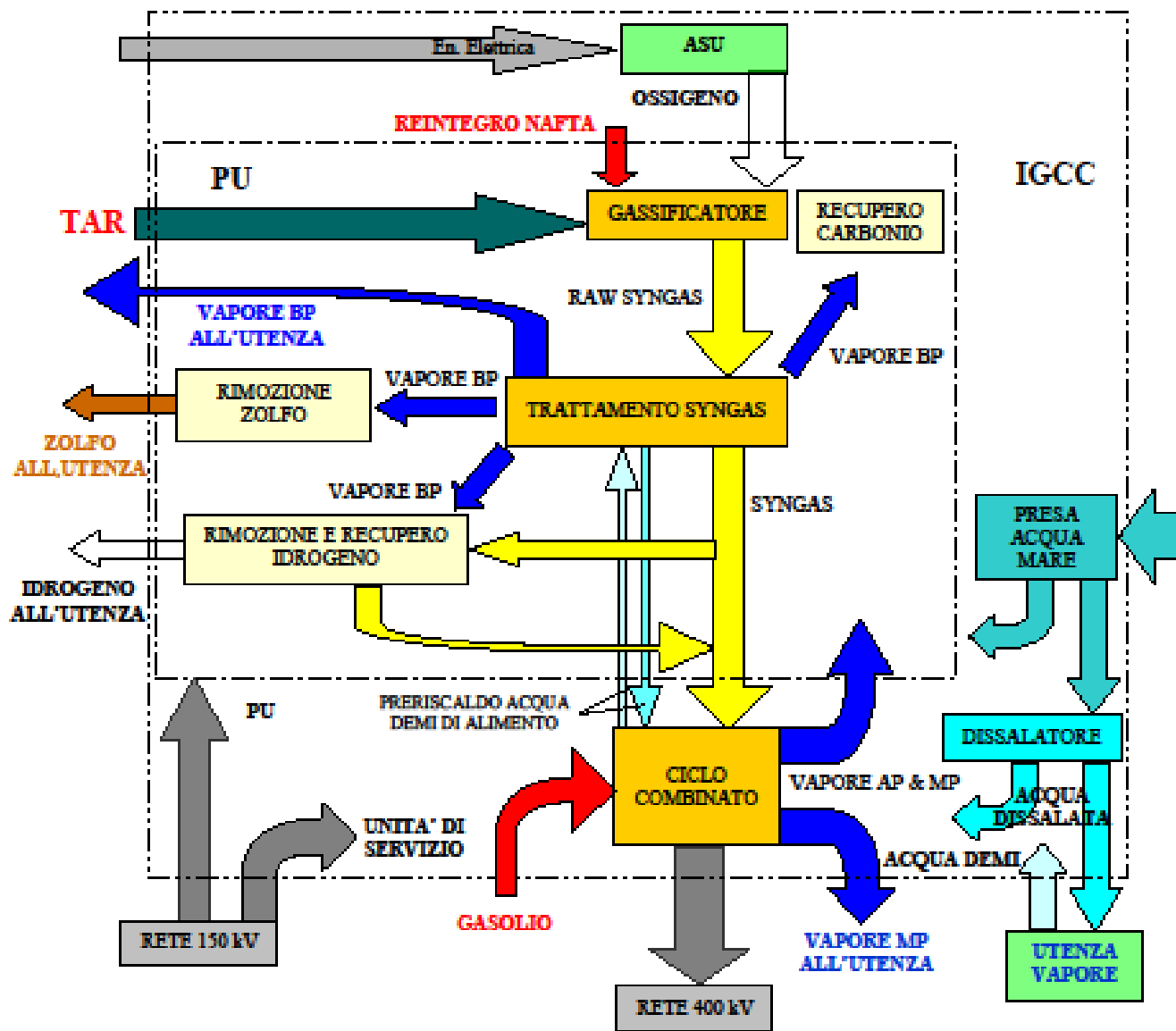
dell'energia elettrica lorda prodotta

# Peso dei consumi degli ausiliari



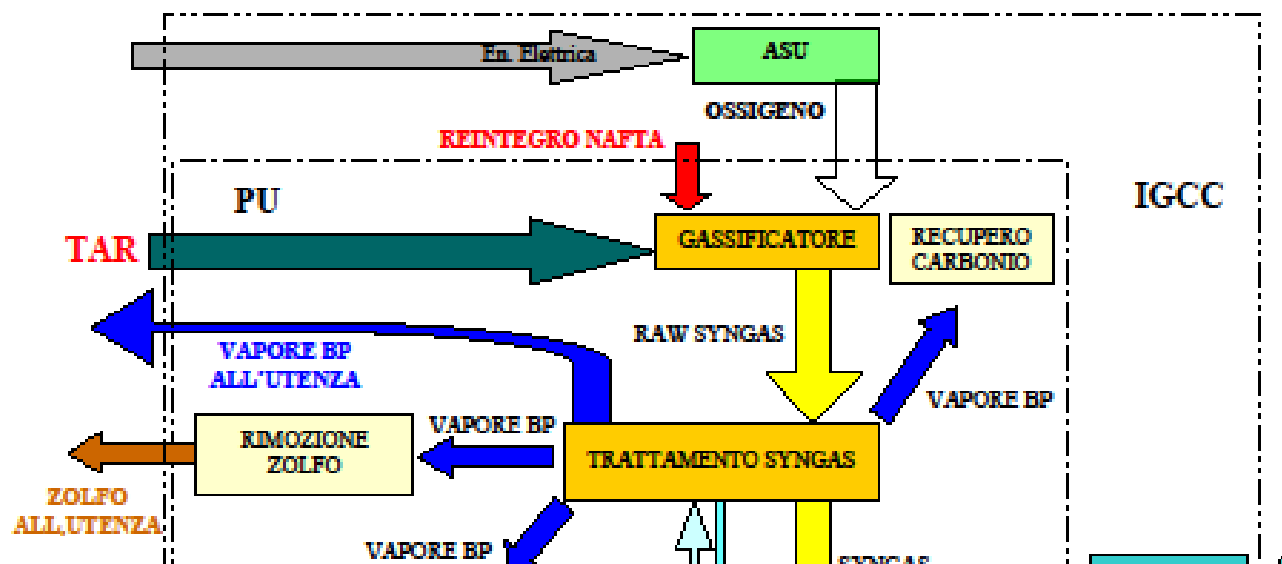
IGCC - 1

# Peso dei consumi degli ausiliari



**IGCC - 2**

# Peso dei consumi degli ausiliari

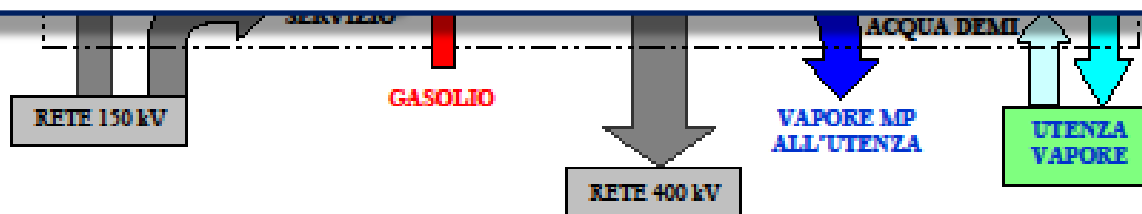


**IGCC - 2**

I consumi degli ausiliari e le perdite di trasformazione di una centrale di cogenerazione IGCC sono circa il

**15 ÷ 20 %**

dell'energia elettrica lorda prodotta

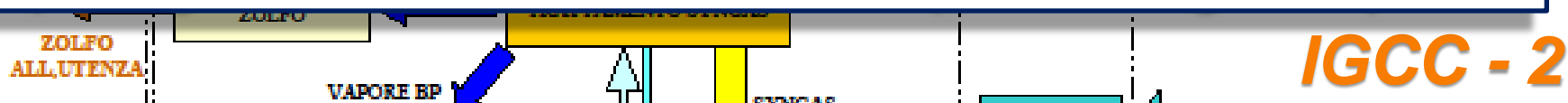


## Peso dei consumi degli ausiliari



**La potenza installata in Italia in impianti IGCC è pari a circa 1600 MW**

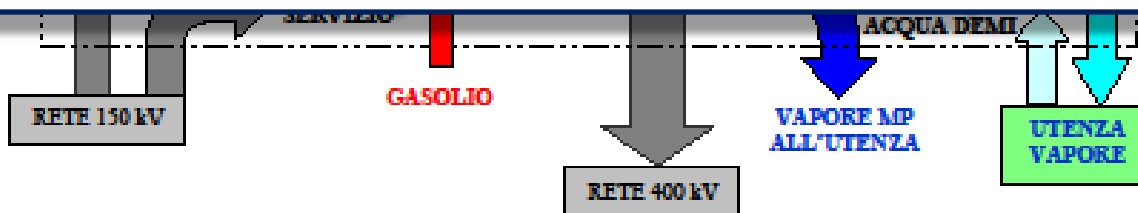
**(7 ÷ 8 % della potenza del parco cogenerativo, paragonabile alla potenza del parco cog. GD)**



I consumi degli ausiliari e le perdite di trasformazione di una centrale di cogenerazione IGCC sono circa il

**15 ÷ 20 %**

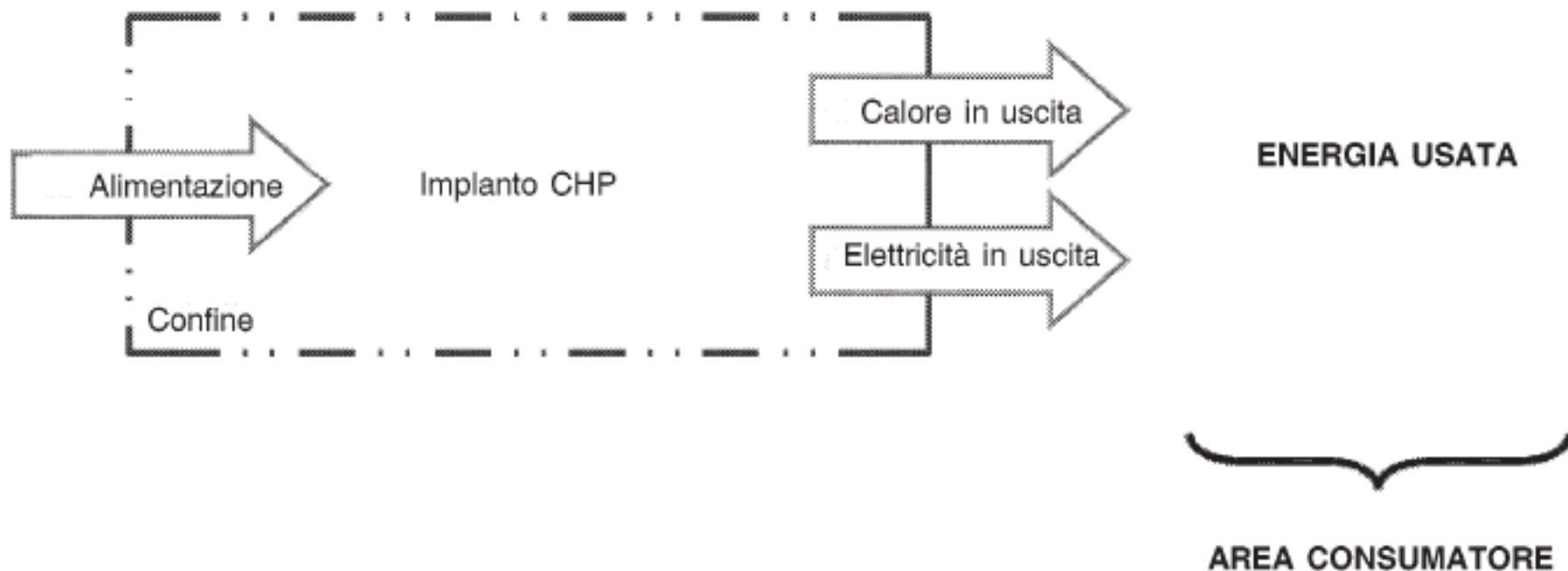
del'energia elettrica lorda prodotta



# Confini del sistema di cogenerazione

(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)

Area dell'unità di cogenerazione

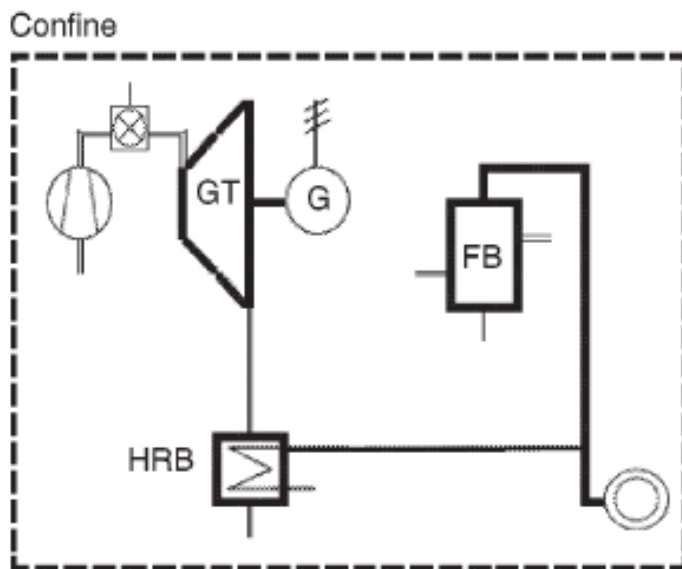


# Confini del sistema di cogenerazione

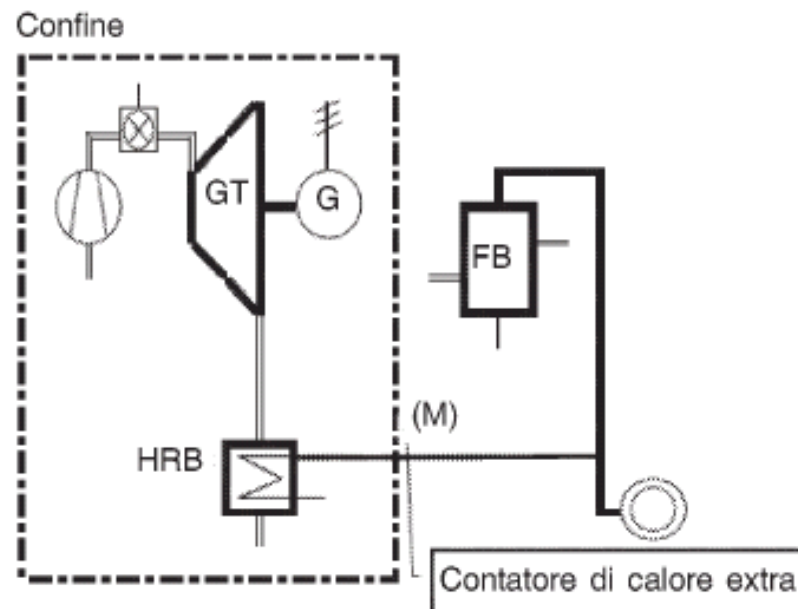
(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)

Selezione dei limiti di sistema corretti in caso di caldaia ausiliaria/di riserva (GT: turbina a gas; G: generatore; FB: caldaia a combustibile; HRB: caldaia a recupero di calore)

INCORRETTO



CORRETTO



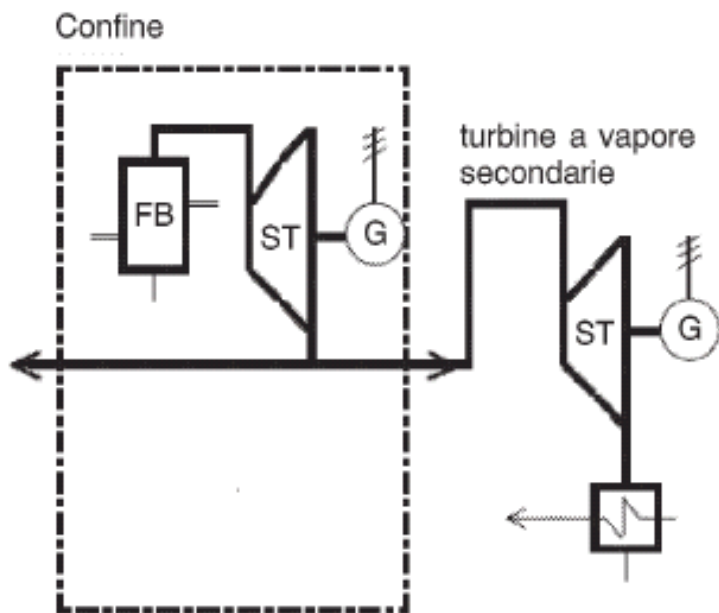


# Confini del sistema di cogenerazione

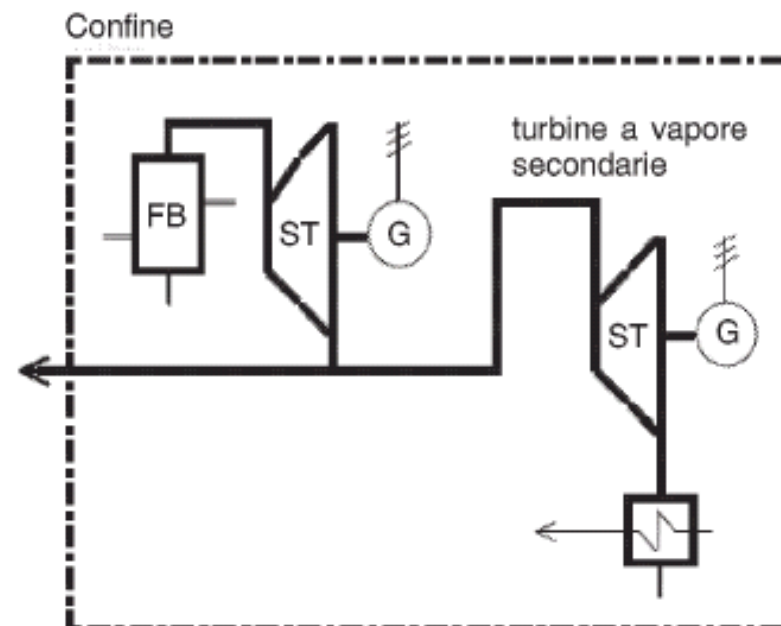
(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)

Selezione dei limiti di sistema corretti in caso di turbine a vapore secondarie (ST: turbina a vapore)

INCORRETTO



CORRETTO

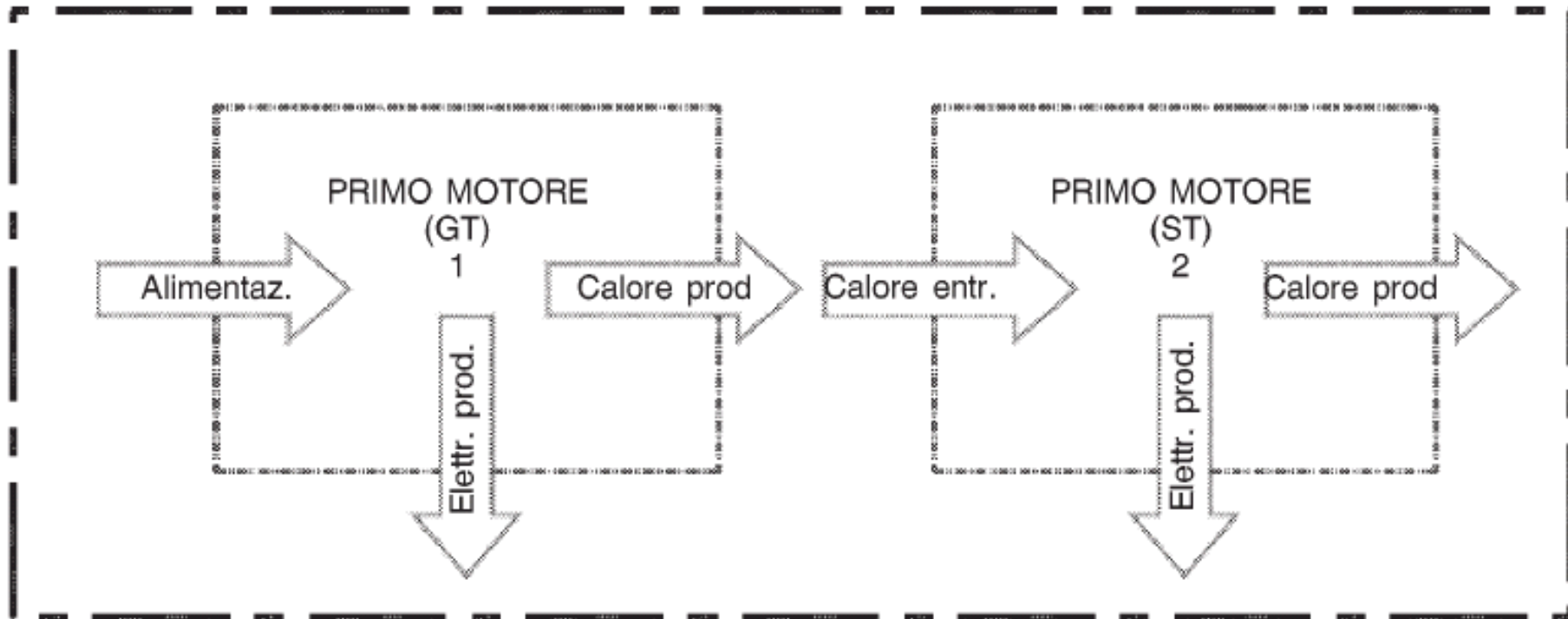


# Confini del sistema di cogenerazione

(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)

Confine dell'unità di cogenerazione per generatori di forza motrice collegati

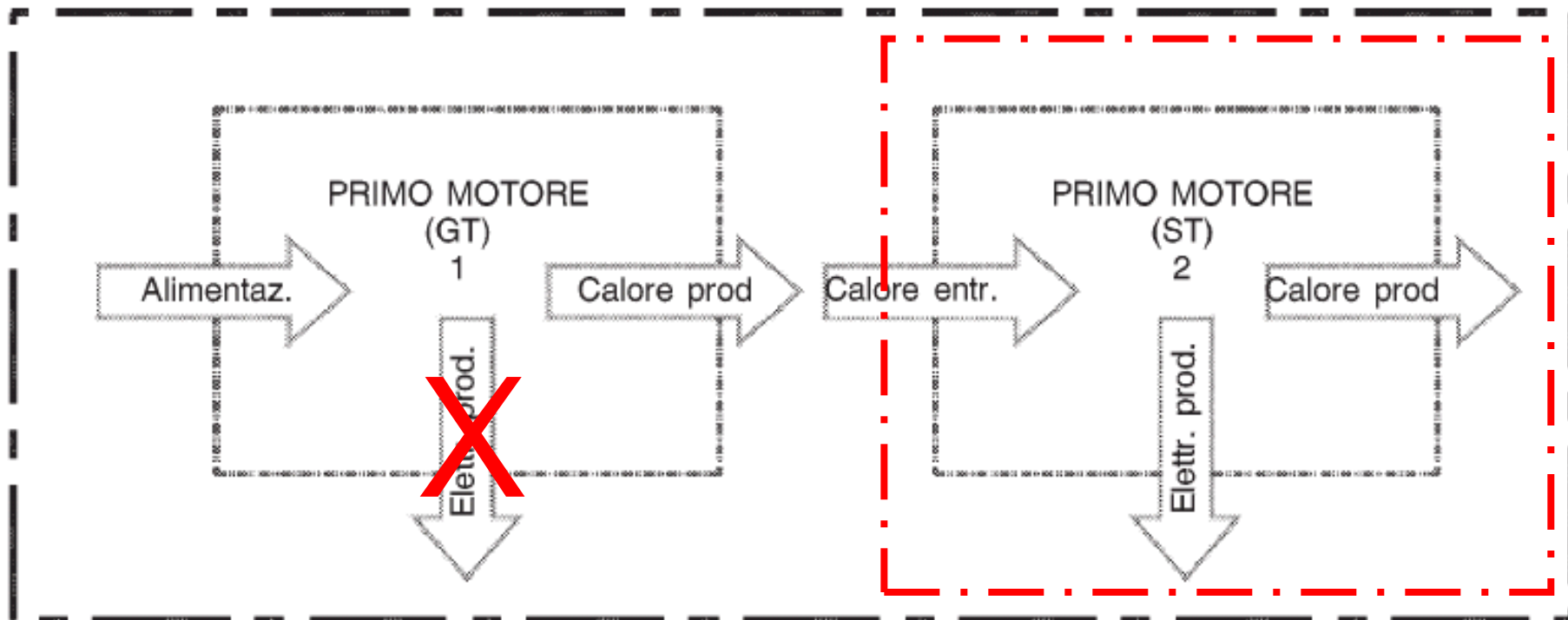
Confine impianto CHP



# Confini del sistema di cogenerazione

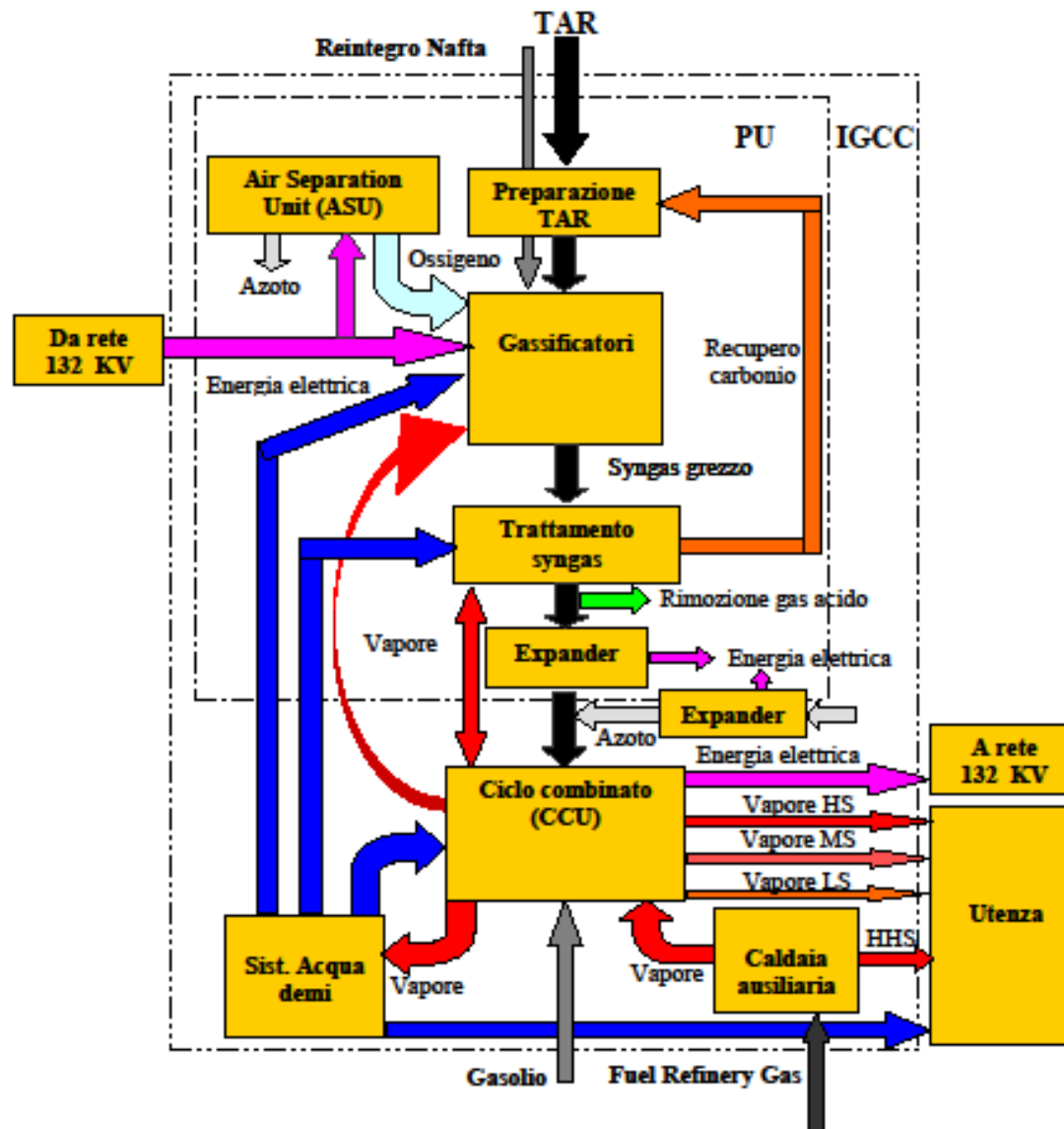
(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)

*Quando il motore primo posto a monte non produce energia elettrica o energia meccanica, i limiti dell'unità di cogenerazione sono fissati attorno al motore primo a valle. L'energia di alimentazione per tale motore primo è il calore prodotto dal motore primo a monte.*



# Confini del sistema di cogenerazione

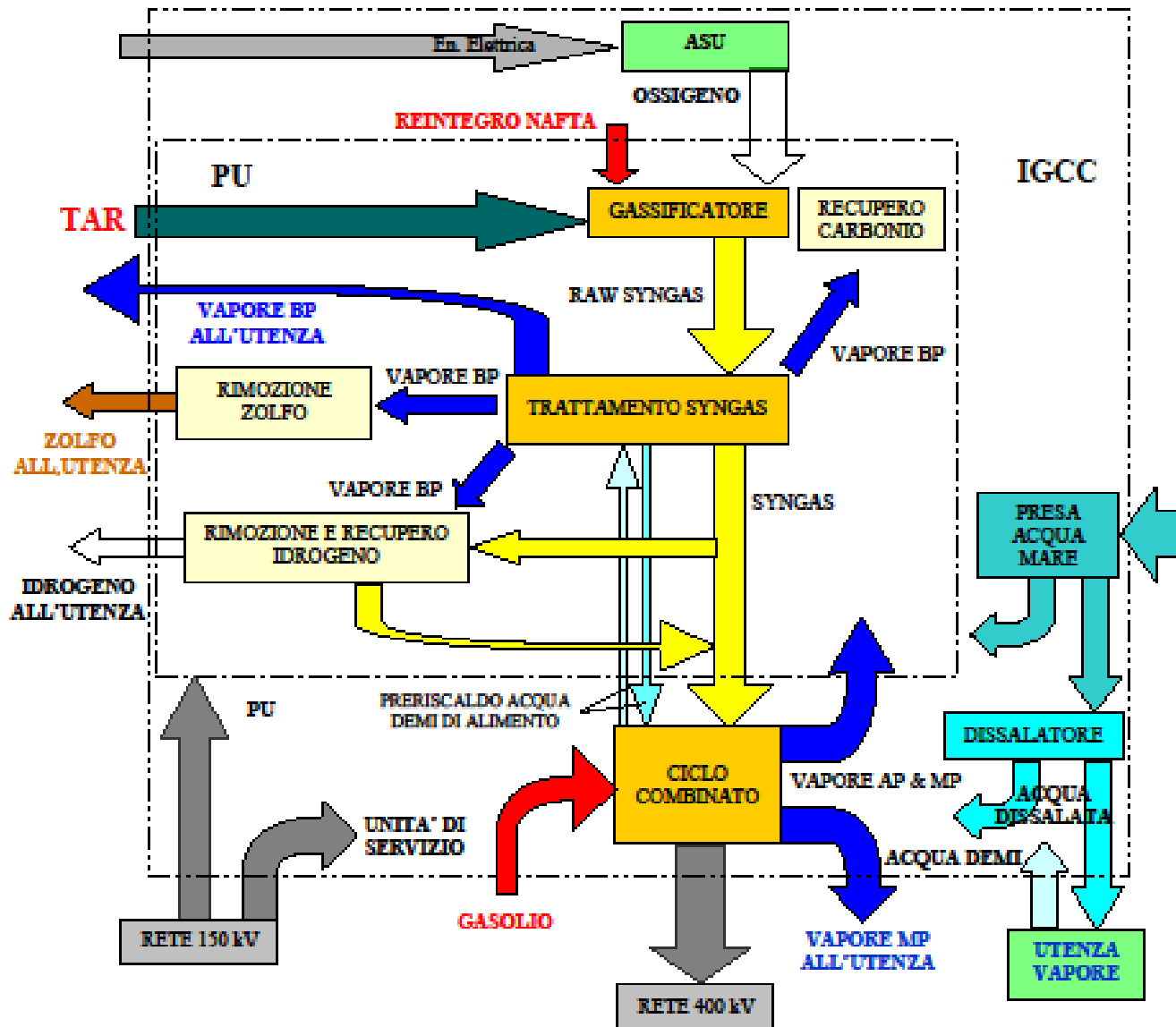
(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)



IGCC - 1

# Confini del sistema di cogenerazione

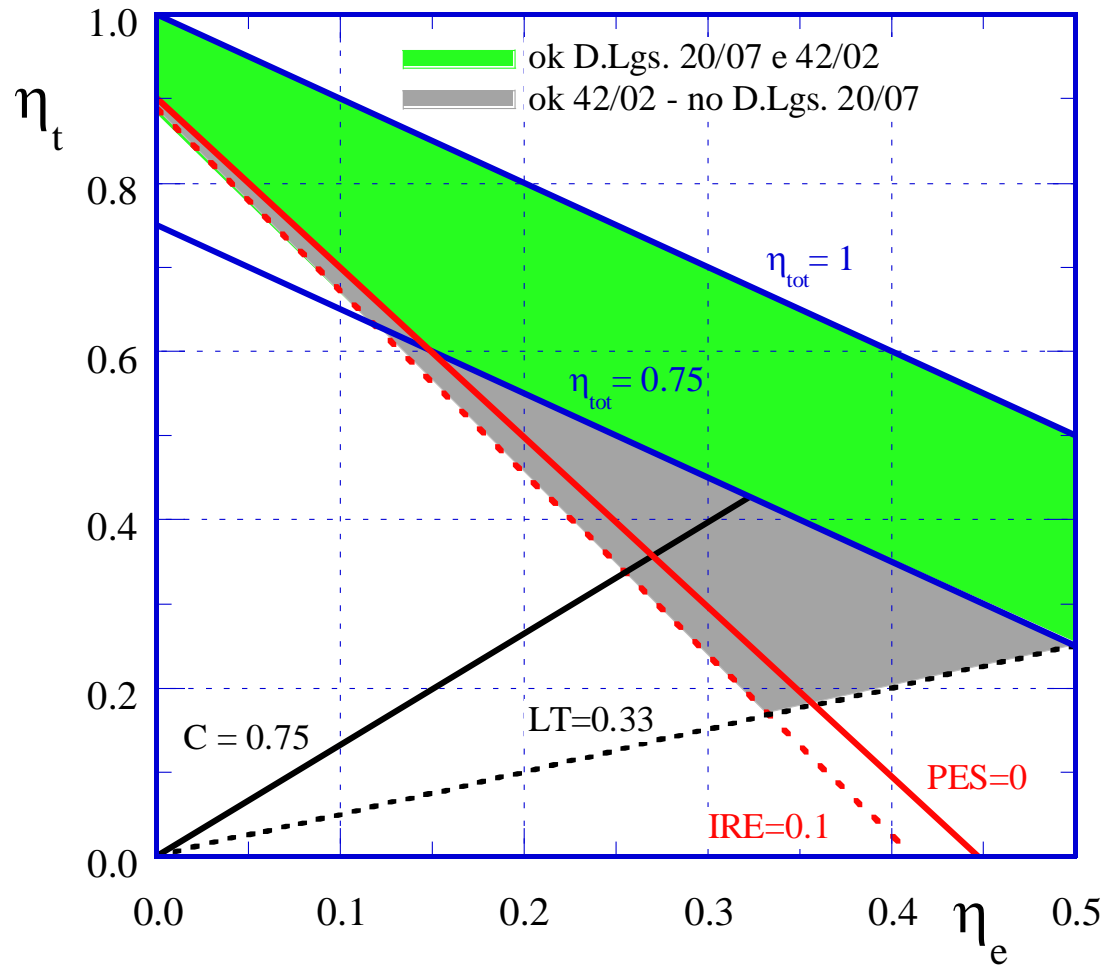
(D.Lgs. 20/07, secondo D.M. 4/8/11)



**IGCC - 2**

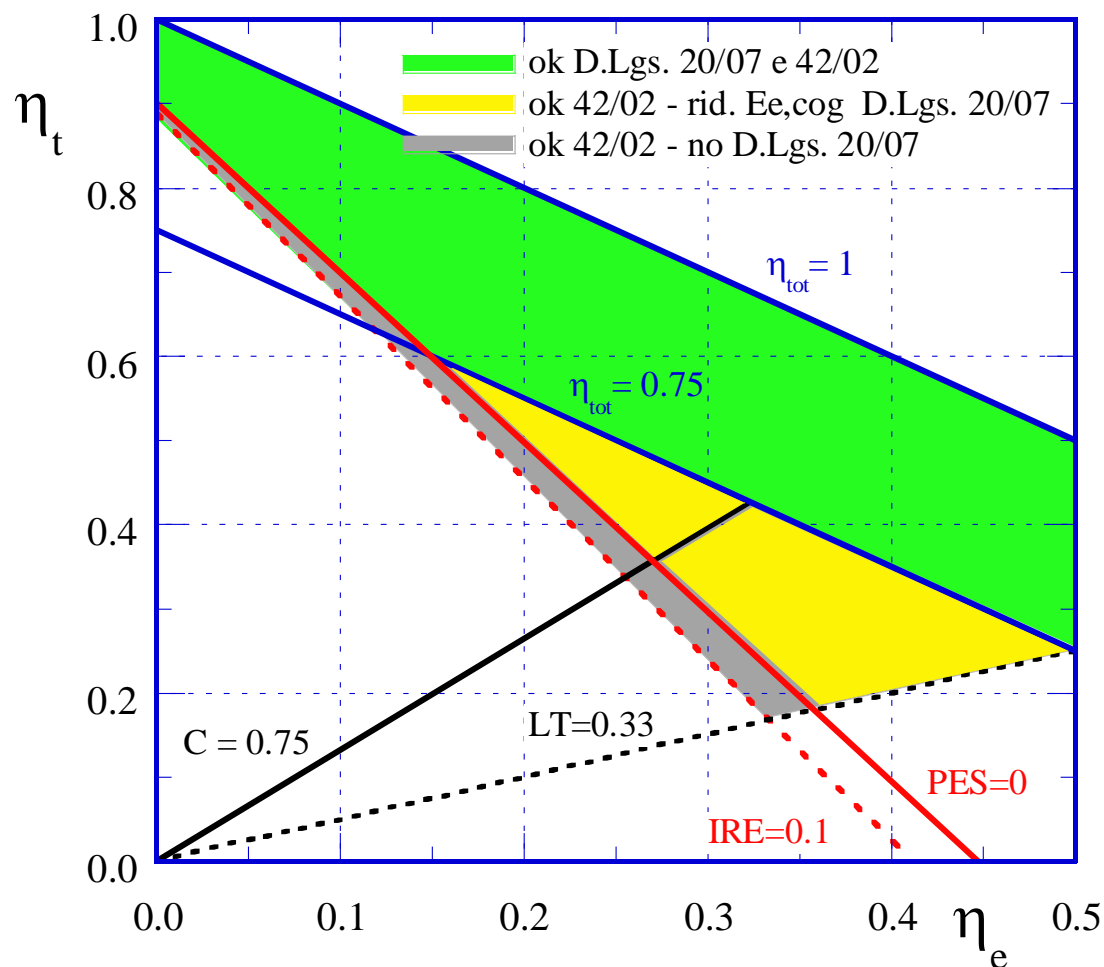
# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT



# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

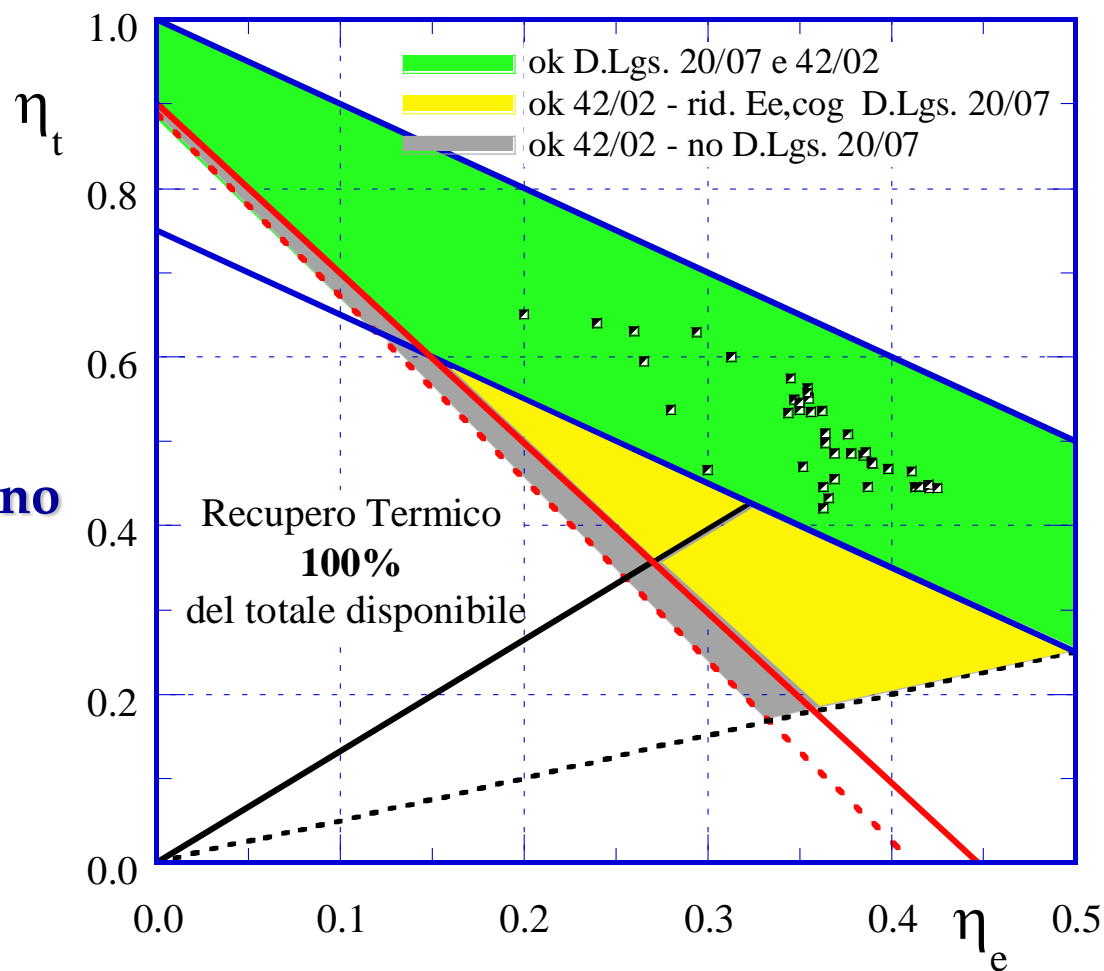


# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

**Recupero termico  
totale**



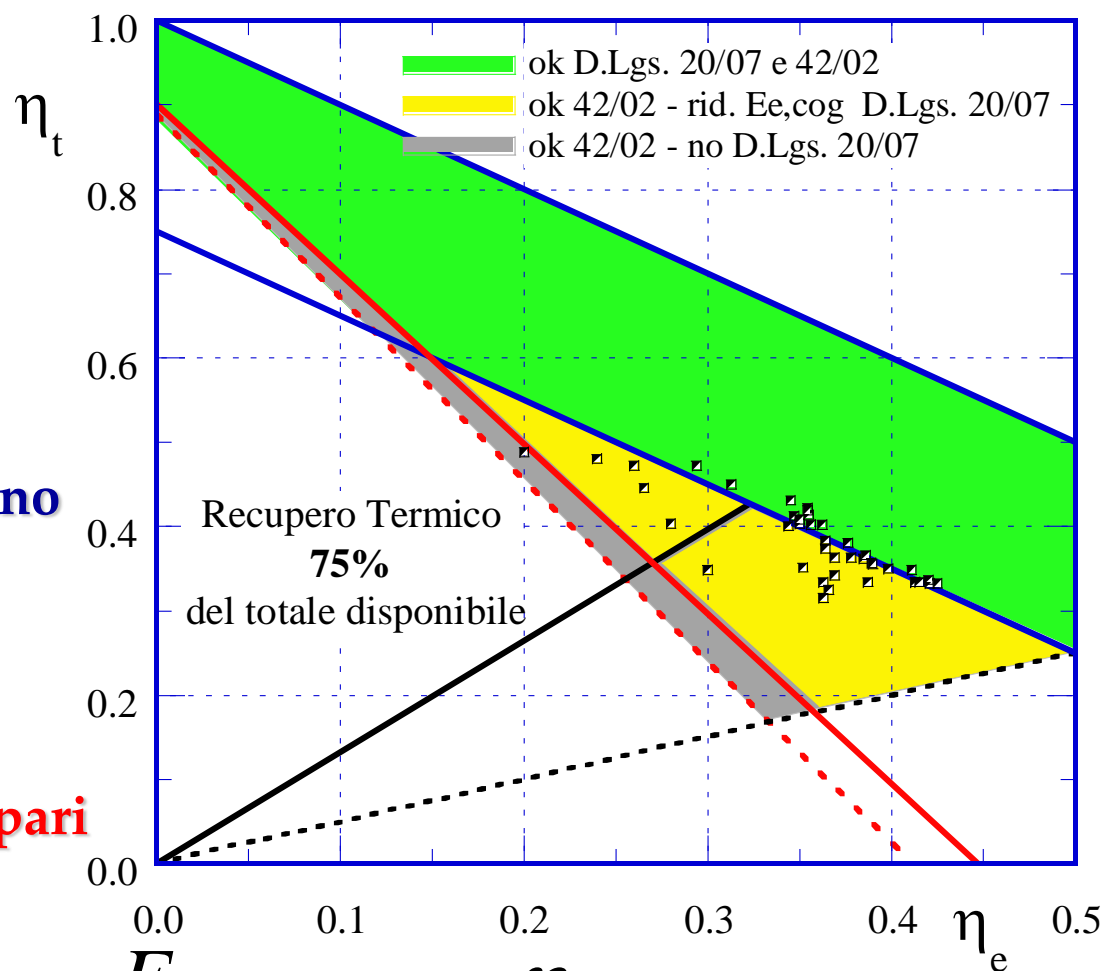


# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

Recupero termico pari  
al 75 % del totale



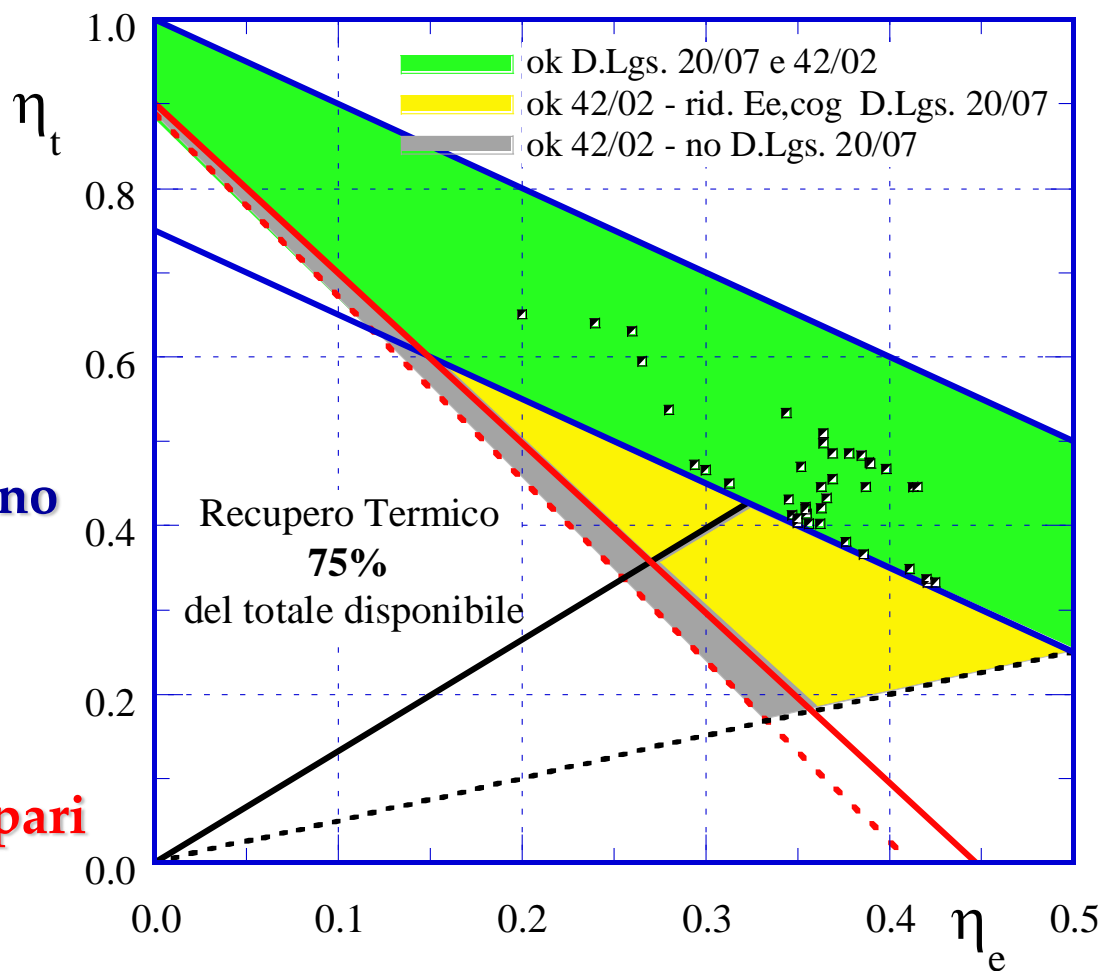
$$\eta_t = \frac{E_t}{E_{c,cog}} = \frac{E_t}{E_{e,cog}} \eta_e = \frac{\eta_e}{C_{prog}}$$

# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

**Recupero termico pari  
al 75 % del totale**



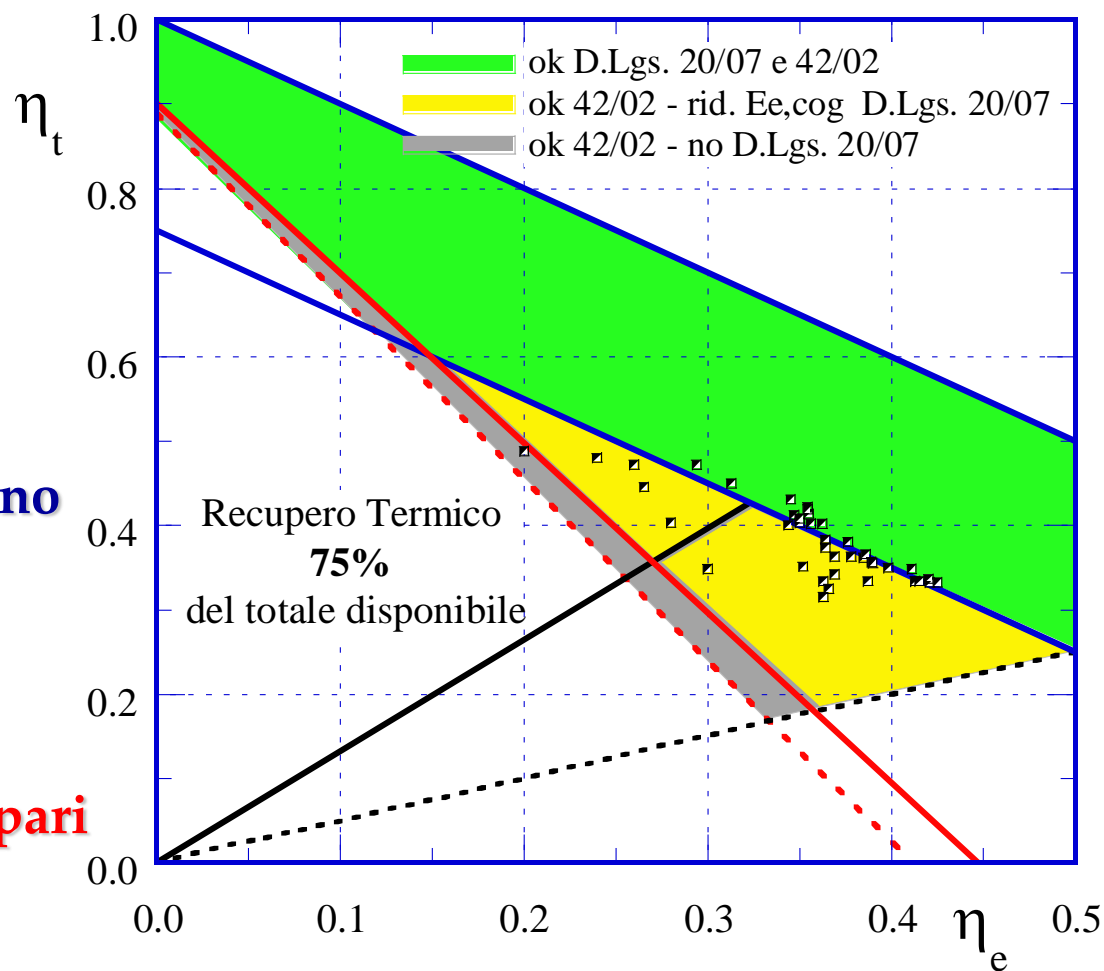
$$\eta_t = \frac{\eta_e}{C_{prog}}$$

# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

Recupero termico pari  
al 75 % del totale

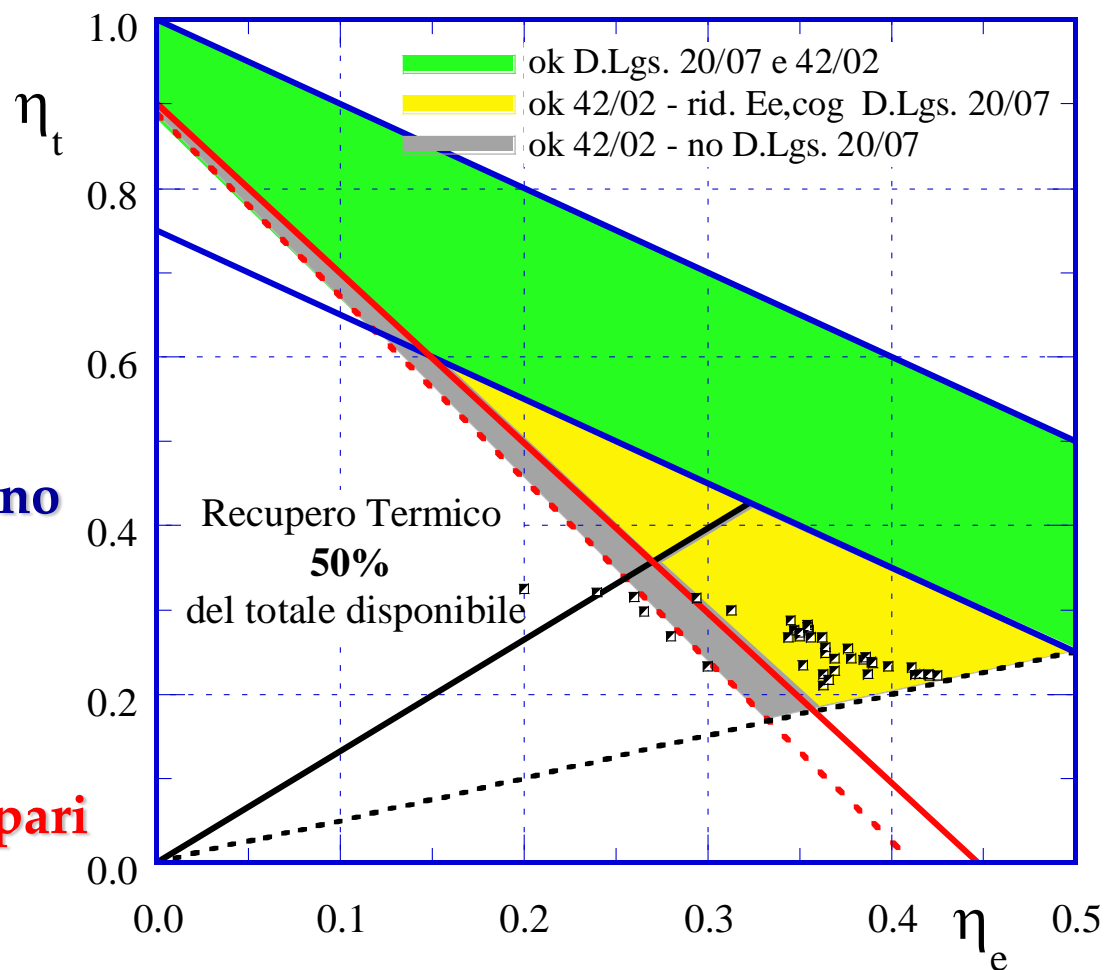


# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

**Recupero termico pari  
al 50 % del totale**

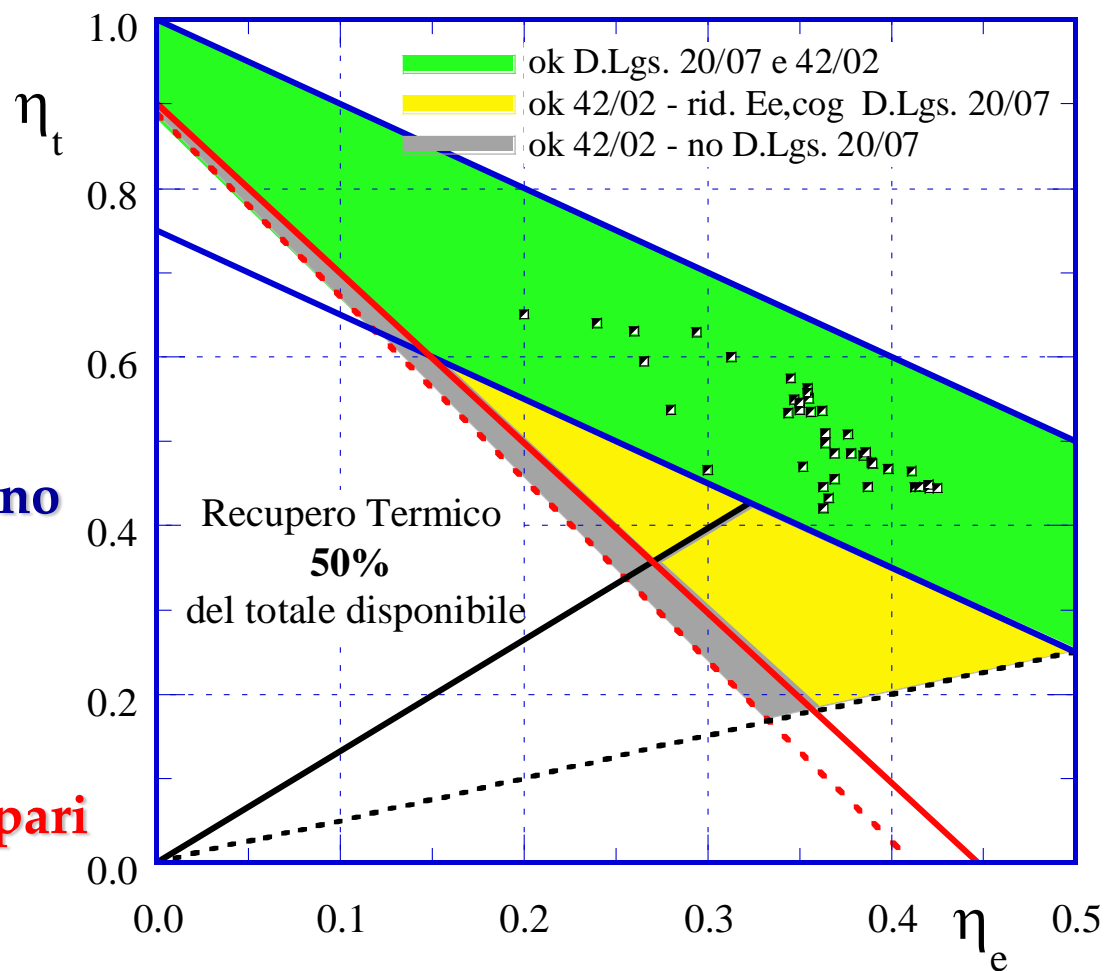


# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

**Recupero termico pari  
al 50 % del totale**



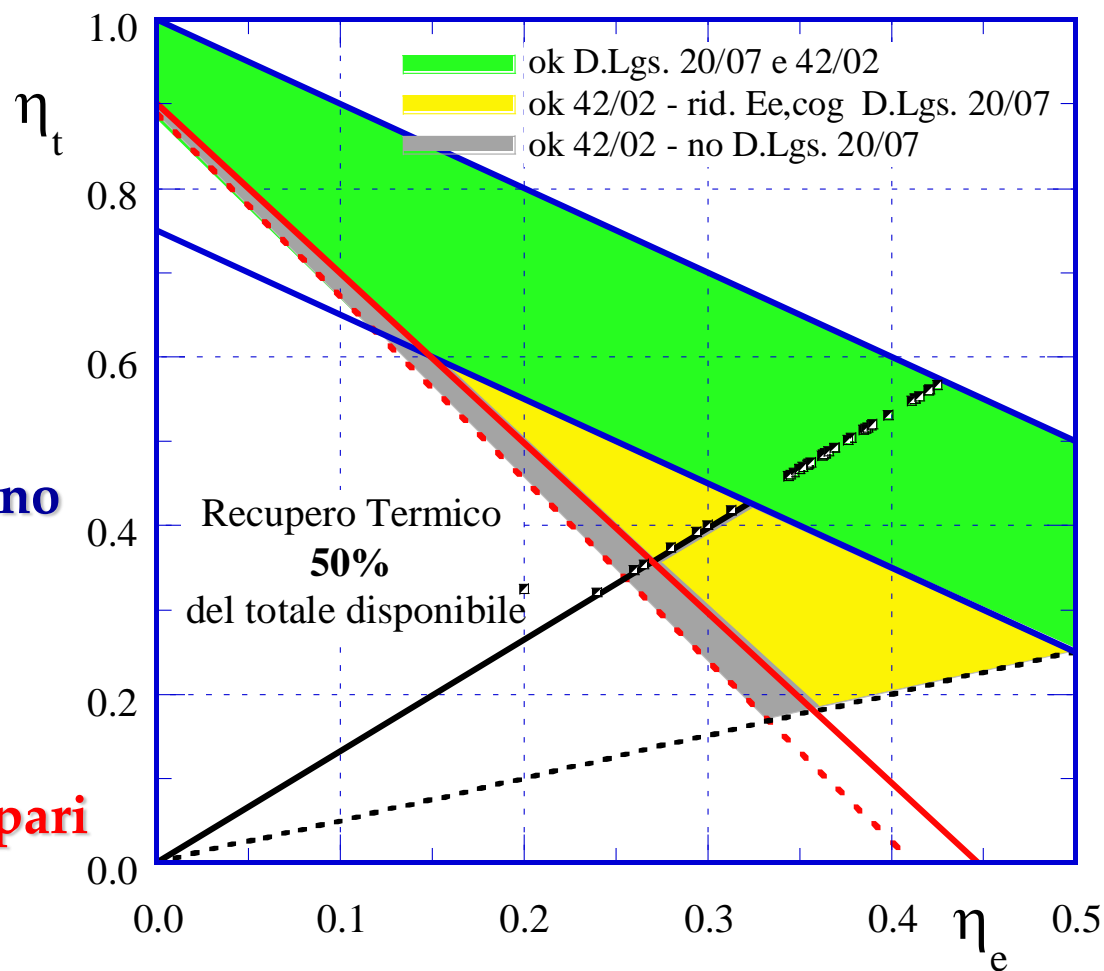
$$\eta_t = \frac{\eta_e}{C_{prog}}$$

# Confronto 42/02 – D.Lgs. 20/07

Piccola  
cogenerazione a  
gas naturale con  
MCI e 100 % di  
autoconsumo in  
BT

Come si posizionano  
i cogeneratori in  
commercio  
(dati di targa)

Recupero termico pari  
al 50 % del totale



$$\eta_t = \frac{\eta_e}{C_{default}}$$

# **Sistemi di cogenerazione e indici caratteristici.**

## **La nuova norma 8887**

# Il quadro normativo vigente



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

| Codice norma                    | Titolo   |
|---------------------------------|--|
| UNI 9927:1992                   | Gruppi per la produzione combinata di energia elettrica e calore azionati da motori alternativi a combustione interna – Metodi di prova in campo |
| UNI 9923:1992                   | Centrali termoelettriche – Smaltimento all’ambiente del calore di condensazione – Terminologia, classificazione e grandezze caratteristiche      |
| UNI 7582:1988                   | Generatori di vapore – Direttive per il lavaggio chimico lato acqua-vapore   |
| UNI 8887:1987<br>(in revisione) | <b>Sistemi per processi di cogenerazione – Definizioni e classificazione</b>   |



# La vecchia norma 8887: «Sistemi per processi di cogenerazione»

*Ugo Cappo*

CDU 620.4:001.4

Norma italiana

Febbraio 1987

|  |  |                                   |
|--|--|-----------------------------------|
| <p><b>CTI</b><br/><i>I/146a</i></p>  | <p><b>Sistemi per processi di cogenerazione</b><br/><b>Definizioni e classificazione</b></p> | <p><b>UNI</b><br/><b>8887</b></p> |
| <p>Systems for cogeneration processes — Definitions and classification</p> <p><b>1. Generalità</b></p> <p><b>1.1. Scopo</b></p> <p>Lo scopo della presente norma è quello di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— definire e classificare i diversi sistemi di cogenerazione;</li> <li>— introdurre specifiche definizioni per componenti caratteristici del sistema nonché i limiti (anche convenzionali) nella relativa catena di interconnessione;</li> <li>— definire indici e parametri caratteristici atti ad individuare la qualità e le prestazioni in termini energetici per quanto oggetto della presente norma;</li> <li>— definire le prestazioni in condizioni nominali e in altre condizioni significative dei sistemi di cogenerazione.</li> </ul> <p>La presente norma non considera gli aspetti connessi a quanto segue in quanto possono essere oggetto di separate successive norme:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— capitolati per l'offerta e l'ordinazione;</li> <li>— costruzione, inclusi i materiali impiegati;</li> <li>— prove di collaudo e di accettazione;</li> <li>— garanzie;</li> <li>— criteri di valutazione tecnico/economica degli impianti.</li> </ul> |  |                                   |

# La vecchia norma 8887: «Sistemi per processi di cogenerazione»

## 4.3.5. Indice di risparmio di energia primaria

È definito come rapporto fra il consumo di energia primaria del processo di cogenerazione e quello di un ipotetico processo convenzionale, che produca separatamente l'energia elettrica e termica.

Esso vale:

$$IR = \frac{\sum_1^1 PF_i}{\frac{1}{\eta_{Q^*}} \left( \sum_1^m QUA_i + \sum_1^n QUB_i \right) + \frac{1}{\eta_{p^*}} \sum_1^o PME_i}$$

## 4.3.6. Indice (meccanico) elettrico caratteristico

È definito come rapporto fra la potenza meccanica/elettrica e la somma delle potenze utili (meccaniche/elettriche + termiche) prodotte dal processo di cogenerazione.

Esso vale:

$$I = \frac{\sum_1^o PEM_i}{\sum_1^o PEM_i + \sum_1^m QUA_i + \sum_1^n QUB_i}$$

Esso evidenzia il peso relativo della produzione di energia meccanica/elettrica nel processo.

# La nuova norma 8887



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ Aggiornare «*terminologia*», «*definizioni*» e «*classificazioni*», in accordo alla legislazione vigente;

# La nuova norma 8887



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ Aggiornare «*terminologia*», «*definizioni*» e «*classificazioni*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ Aggiornare «*indici energetici*», in accordo alla legislazione vigente:

## 6.4.3 Indice di risparmio energetico (Primary Energy Saving)

È definito come la differenza relativa fra il consumo di energia primaria (o potenza di targa) del processo di cogenerazione e quello di un ipotetico processo convenzionale, che produca separatamente la stessa energia (o potenza di targa) elettrica e termica.

Esso vale:

$$\text{PES} = \frac{E_{\text{PFS}} - \sum_i^j E_{\text{PF}i}}{E_{\text{PFS}}} = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_E}{\eta_{\text{ES}}} + \frac{\eta_T}{\eta_{\text{TS}}}}$$

*Indice di risparmio energetico*

# La nuova norma 8887



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ Aggiornare «*terminologia*», «*definizioni*» e «*classificazioni*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ Aggiornare «*indici energetici*», in accordo alla legislazione vigente:

## 6.4.4 Rapporto elettricità/calore

È definito come rapporto fra la l'energia (o potenza di targa) meccanica/elettrica e l'energia ((o potenza di targa) termica utile prodotte dal processo di cogenerazione.

Esso vale:

$$C = \frac{\sum_1^0 E_{PEM_i}}{\sum_1^m E_{QU_i}} = \frac{\eta_E}{\eta_T}$$

*rapporto elettricità/calore*

# La nuova norma 8887



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ Aggiornare «*terminologia*», «*definizioni*» e «*classificazioni*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ Aggiornare «*indici energetici*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ Introdurre nuovi indici per il calcolo delle emissioni di un cogeneratore

# Emissioni di un cogeneratore



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara







# Emissioni di un cogeneratore: l'unità di misura



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

*input-based*

combustibile

✓ la **concentrazione** di inquinante nei fumi ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ): non immediato il legame con l'energia del combustibile e nessuna informazione sull'efficienza della conversione

✓ Emissione **per unità di energia del combustibile** ( $\text{mg}/\text{kcal}$ ): nessuna informazione sull'efficienza della conversione

*output-based*

Energia utile

✓ Emissione **per unità di energia utile prodotta** ( $\text{mg}/\text{kWh}$ ): chiaro indicatore del rapporto tra il costo ambientale ed il beneficio per la collettività

# Emissioni di un cogeneratore: i limiti di una normativa "*input based*"



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

*il cogeneratore è visto dall'attuale normativa in materia ambientale (di tipo "input-based")*

*come una caldaia o come un generatore elettrico*



***non si tiene conto del doppio prodotto  
(elettricità e calore)***

# Emissioni di un cogeneratore: i limiti di una normativa "input based". Quali limiti adottare?



Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ *assoggettare un sistema CHP agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per il motore primo non CHP: idoneo per cogeneratori "topping" (MCI, MTG, TG, ecc.) dove l'energia elettrica è l'effetto utile primario e il termico è il sottoprodotto del ciclo termodinamico*
- ✓ *assoggettare un sistema CHP agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per un impianto di sola generazione di calore (caldaia): idoneo per cogeneratori "bottoming" (ORC, TPV, ecc.) dove la produzione di elettricità è di secondaria importanza e avviene sfruttando il calore recuperato da un processo di combustione dedicato alla produzione termica*
- ✓ *assoggettare un sistema cogenerativo a limiti autorizzativi ambientali appositamente introdotti per la cogenerazione*

# Emissioni di un cogeneratore: gli indici proposti dalla nuova norma UNI 8887



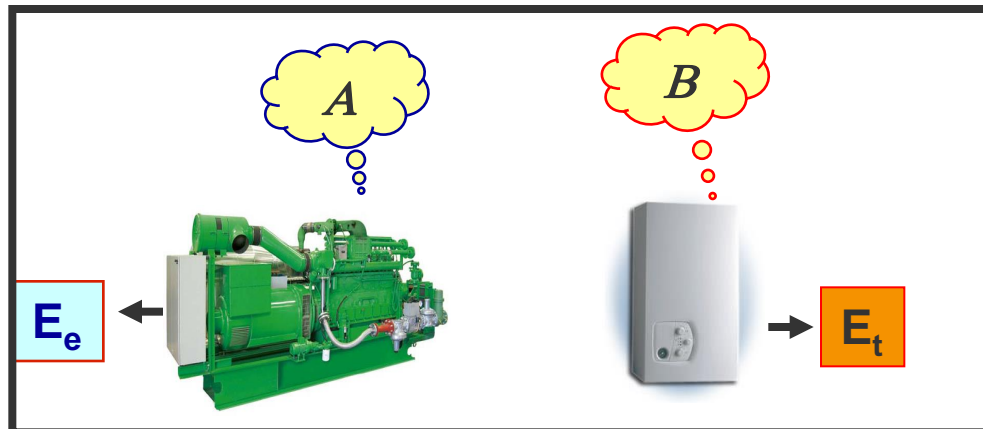
Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara

- ✓ *criterio basato sulla valutazione degli inquinanti a impatto **locale**:*  
*il metodo della caldaia evitata (emissioni equivalenti di un cogeneratore)*
- ✓ *confronto con la produzione separata per inquinanti ad impatto **globale**:*  
*il metodo dell'ESI (Indice di Risparmio Ambientale)*

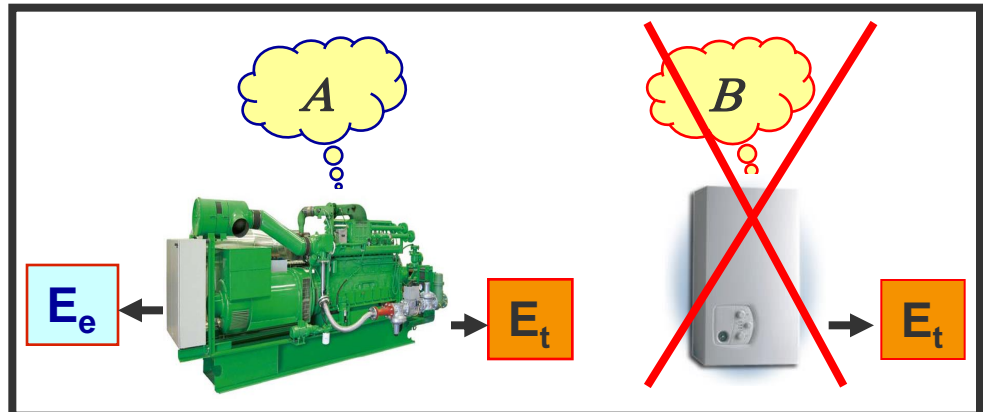
# Il metodo della “caldaia evitata”

*Il beneficio ambientale della cogenerazione è legato al fatto che, grazie al recupero termico, posso “evitare” di tenere in esercizio una caldaia, risparmiandone le emissioni.*

## Motore non cogenerativo



## In cogenerazione



# Il metodo della “caldaia evitata”

Il beneficio ambientale della cogenerazione è legato al fatto che, grazie al recupero termico, posso “evitare” di tenere in esercizio una caldaia, risparmiandone le emissioni.

$$\delta_{cog} = \delta_{nocog} - \frac{\lambda'_t E_t}{\eta'_t E_e}$$

A
-
B

|                              |   |
|------------------------------|---|
| $\delta_{cog}$               | <i>emissioni del cogeneratore</i>                             |
| $\delta_{nocog}$             | <i>emissioni del motore primo in assetto non cogenerativo</i> |
| $\frac{\lambda'_t}{\eta'_t}$ | <i>emissioni di riferimento della caldaia evitata</i>         |
| $E_t$                        | <i>produzione termica del cogeneratore</i>                    |
| $E_e$                        | <i>produzione elettrica del cogeneratore</i>                  |

# Il riferimento della “caldaia evitata”

**Il rendimento di riferimento della caldaia evitata può essere scelto:**

 $\eta'_t$ 

- ✓ secondo la Decisione 2007/74/CE (0.9 per gas naturale)
- ✓ secondo AEEG 42/02 (0.8 per civile, 0.9 per industriale)
- ✓ secondo Scheda Tecnica 21 (delibere AEEG 177/05 e 187/05)  
utilizzando  $\eta'_t = 0.77 + 0.03 \log P_n (kW)$
- ✓ ...

**Le emissioni di riferimento della caldaia evitata possono essere scelte:**

 $\lambda'_t$ 

- ✓ secondo le classi di merito previste nelle norme UNI EN 483, 656
- ✓ utilizzando i limiti imposti dalle autorità competenti alle caldaie
- ✓ ...

# L'Indice di Risparmio Ambientale - ESI

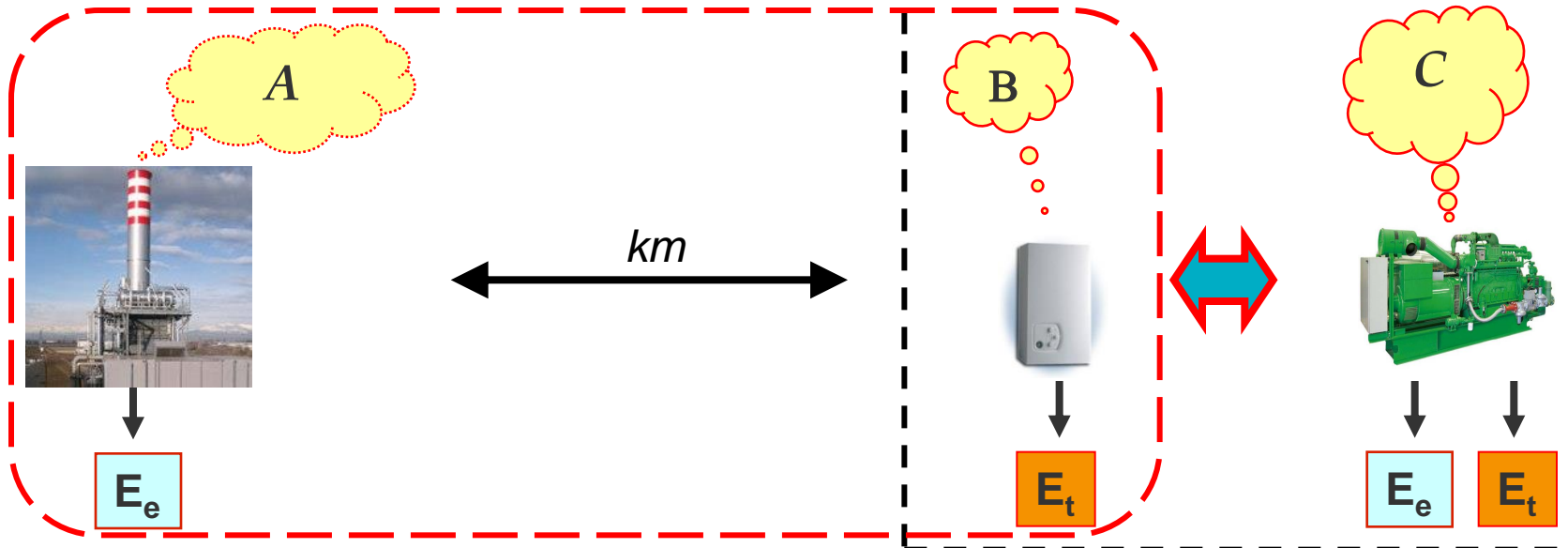
*Le emissioni della cogenerazione vengono messe in relazione con le emissioni della grande produzione separata di elettricità e calore.*

$$ESI = \frac{(A + B) - C}{(A + B)} = 1 - \frac{\delta}{\frac{\lambda'_e}{\eta'_e} + \frac{\lambda'_t}{\eta'_t} \frac{E_t}{E_e}}$$

Produzione separata

ambito locale

Cogenerazione





# La produzione elettrica di riferimento

$\eta'_e$

**Il rendimento elettrico di confronto può essere scelto:**

- ✓ secondo la Decisione 2007/74/CE (in funzione al combustibile)
- ✓ secondo AEEG 42/02 (in funzione di taglia e combustibile)
- ✓ ...

$\lambda'_e$

**Le emissioni di riferimento della produzione elettrica:**

- ✓ valori medi della produzione nazionale
- ✓ BAT
- ✓ ...

ESI richiede inoltre i valori di riferimento del termico (come il metodo “caldaia evitata”):

$\lambda'_t$   $\eta'_t$

# Un esempio numerico

| Cogeneratore MCI                             |      |
|--|------|
| Rendimento termico                           | 0.50 |
| Rendimento elettrico                         | 0.35 |
| Rendimento globale                           | 0.85 |
| Emissioni di NOx<br>[mg/kWh <sub>pci</sub> ] | 200  |

| Riferimenti impiegati   |      |
|---|------|
| Rendimento termico caldaia evitata ( <b>Decisione 2007/74/CE</b> )  | 0.90 |
| Rendimento elettrico di riferimento ( <b>Decisione 2007/74/CE</b> )   | 0.52 |
| NOx: emissione caldaia evitata [mg/kWh <sub>pci</sub> ]<br>(☆☆ <b>secondo Norme UNI 297, 483 &amp; 656</b> )                      | 200  |
| NOx: emissioni della produzione elettrica di riferimento<br>[mg/kWh <sub>pci</sub> ]<br>( <b>ENEL, Rapporto ambientale 2006</b> ) | 230  |

| Risultati   |      |
|---|------|
| concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]  | 175  |
| Emissioni input-based ✱[mg/kWh <sub>pci</sub> ]                             | 200  |
| emissioni del motore <b>non cogenerativo</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ]         | 571  |
| emissioni evitate [mg/kWh <sub>e</sub> ] ( <u>metodo caldaia evitata</u> )  | 317  |
| emissioni equivalenti del motore <b>cogenerativo</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ] | 254  |
| <i>ESI</i>  | 0.25 |

# Un secondo esempio numerico

| Cogeneratore MCI                             |      |
|--|------|
| Rendimento termico                           | 0.50 |
| Rendimento elettrico                         | 0.35 |
| Rendimento globale                           | 0.85 |
| Emissioni di NOx<br>[mg/kWh <sub>pci</sub> ] | 200  |

| Riferimenti impiegati  |            |
|--|------------|
| Rendimento termico caldaia evitata ( <b>Decisione 2007/74/CE</b> )                                     | 0.90       |
| Rendimento elettrico di riferimento ( <b>Decisione 2007/74/CE</b> )                                    | 0.52       |
| NOx: emissione caldaia evitata [mg/kWh <sub>pci</sub> ]<br>(☆☆☆☆ <b>Norme UNI 297, 483 &amp; 656</b> ) | <b>100</b> |
| NOx: emissioni della produzione elettrica di riferimento<br>[mg/kWh <sub>pci</sub> ]                   | <b>200</b> |

| Risultati   |              |
|---|--------------|
| concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]  | 175          |
| Emissioni input-based ✱[mg/kWh <sub>pci</sub> ]                             | 200          |
| emissioni del motore <b>non cogenerativo</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ]         | 571          |
| emissioni evitate [mg/kWh <sub>e</sub> ] ( <u>metodo caldaia evitata</u> )  | <b>159</b>   |
| emissioni equivalenti del motore <b>cogenerativo</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ] | <b>412</b>   |
| <i>ESI</i>  | <b>-0.05</b> |



*Pier Ruggero Spina  
Dip. di Ingegneria  
Università di Ferrara*

*Grazie per l'attenzione*

`pier.ruggero.spina@unife.it`

0532-974965

3204232912