

# **Unità di cogenerazione e indici caratteristici. La nuova norma UNI 8887: 2014**

**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 vecchia norma 8887: «Sistemi per processi di cogenerazione»

CDU 620.4:001.4

Norma italiana

Febbraio 1987

<b>CTI</b> I/146a	<b>Sistemi per processi di cogenerazione</b> Definizioni e classificazione	<b>UNI</b> 8887
<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:

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

## 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***

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

# La nuova norma 8887

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

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

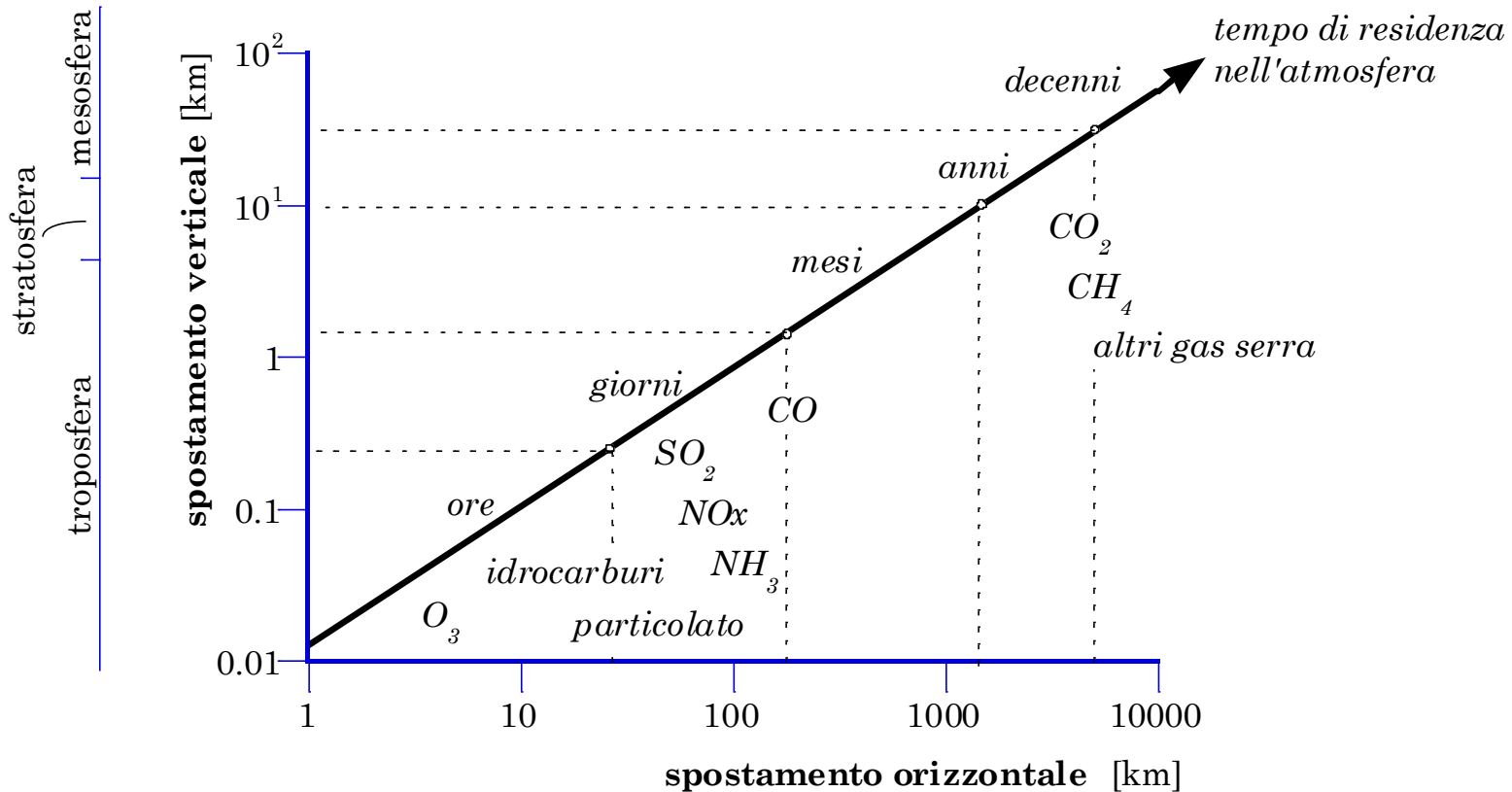
- ✓ Aggiornamento «*terminologia*», «*definizioni*» e «*classificazioni*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ Aggiornamento «*indici energetici*», in accordo alla legislazione vigente;
- ✓ **Introduzione di nuovi indici per il calcolo delle emissioni di un cogeneratore**

# Emissioni di un cogeneratore





# Emissioni di un cogeneratore: il raggio d'azione



comunale | provinciale | regionale | nazionale e internazionale

Impatto locale

Impatto globale

# Emissioni di un cogeneratore: l'unità di misura

*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** ( $\text{mg}/\text{kJ}$ ): 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"*

*il cogeneratore è visto dall'attuale normativa in materia  
ambientale (di tipo "input-based")  
come un generatore elettrico o termico*



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

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

- ✓ *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 il sottoprodotto e si ottiene 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*

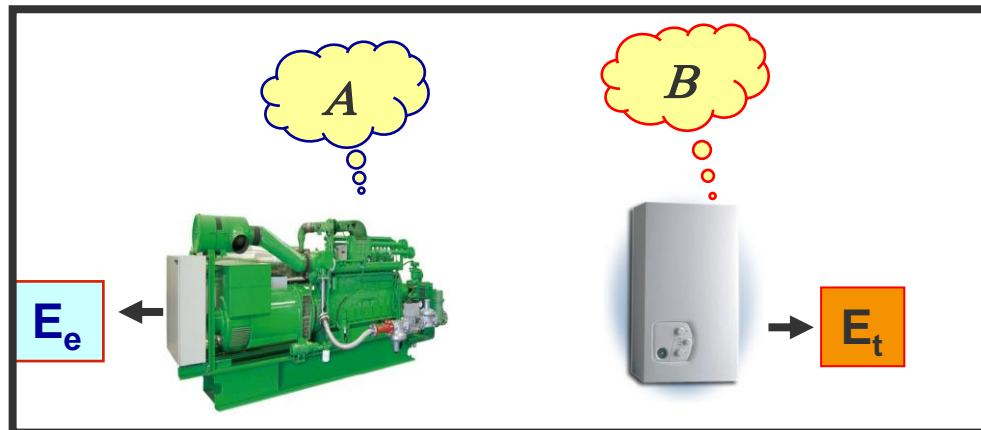
# Emissioni di un cogeneratore: gli indici proposti dalla nuova norma UNI 8887

- ✓ *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)*

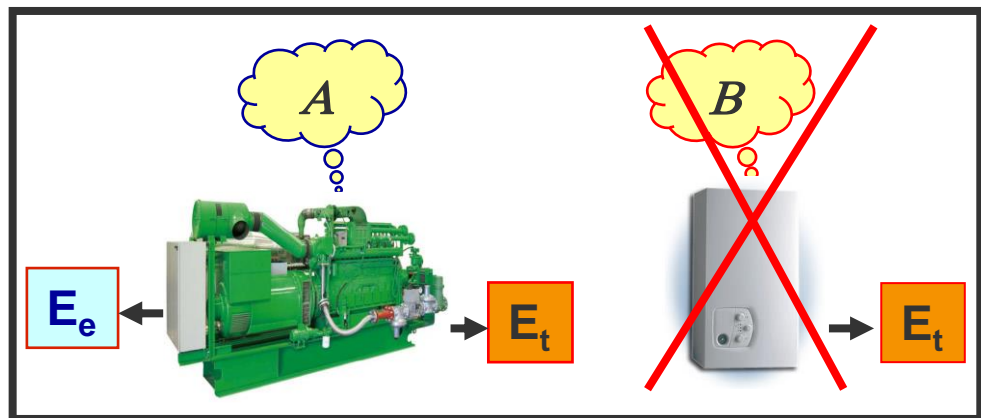
# Il metodo della “caldaia evitata”

*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 [mg/kWe]</i>
$\delta_{nocog}$	<i>emissioni del motore primo in assetto non cogenerativo [mg/kWe]</i>
$\frac{\lambda'_t}{\eta'_t}$	<i>emissioni di riferimento della caldaia evitata [mg/kWt]</i>
$E_t$	<i>produzione termica del cogeneratore [kWt]</i>
$E_e$	<i>produzione elettrica del cogeneratore [kWe]</i>

## Calcolo delle emissioni evitate

Emissioni  
assolute

$$\Lambda_{avd} = \lambda'_t \frac{E_t}{\eta'_t}$$



Emissioni  
specifiche

$$\delta_{avd} = \frac{\lambda'_t}{\eta'_t} \frac{\eta_t}{\eta_e}$$



$$\delta_{cog} = \delta_{nocog} - \delta_{avd} < \delta_{lim,mp}$$

Condizione limite per un  
motore primo cogenerativo

$\Lambda_{avd}$	<b>Emissioni assolute evitate</b>
$\delta_{avd}$	<b>Emissioni specifiche evitate</b>
$\delta_{cog}$	<b>Emissioni del cogeneratore</b>
$\delta_{lim,mp}$	<b>Limite di emissione per il motore primo</b>
$\lambda'_t$	<b>emissioni di riferimento della caldaia evitata</b>
$\eta_t$	<b>rendimento termico del cogeneratore</b>
$\eta'_t$	<b>rendimento di riferimento della caldaia evitata</b>
$\eta_e$	<b>rendimento elettrico del cogeneratore</b>



# Il riferimento della “caldaia evitata”

$\eta'_t$

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

- ✓ secondo Reg. delegato (UE) 2015/2402 (0.92 per gas naturale)
- ✓ secondo AEEG 42/02 (0.80 uso civile, 0.90 uso industriale)
- ✓ secondo Scheda Tecnica 21 (delibere AEEG 177/05 e 187/05) utilizzando  $\eta'_t = 0.77 + 0.03 \log P_n (kW)$
- ✓ ...

$\lambda'_t$

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

- ✓ secondo le classi di merito previste nelle norme UNI EN 297, 483, 656
- ✓ utilizzando i limiti imposti dalle autorità competenti alle caldaie
- ✓ ...

# L'Indice di Risparmio Ambientale - ESI

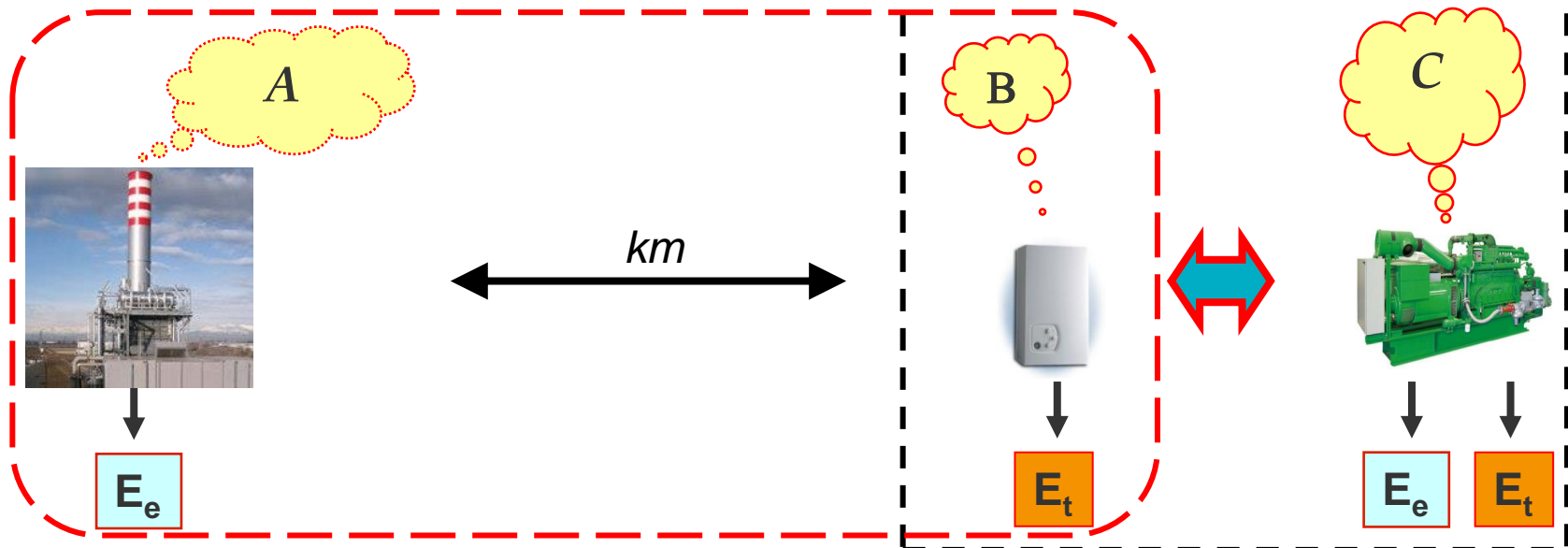
*Le emissioni della cogenerazione vengono messe in relazione con le emissioni della produzione separata di elettricità (centralizzata) e calore.*

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

Produzione separata

ambito locale

Cogenerazione



# La produzione elettrica di riferimento

$\eta'_e$

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

- ✓ secondo Reg. delegato (UE) 2015/2402 (in funzione del 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 della produzione termica (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 [mg/kWh <sub>pci</sub> ]	200

Riferimenti impiegati	
Rendimento termico caldaia evitata (Regolamento Delegato (UE) 2015/2402 - costruzione ante 2016)	0.90
Rendimento elettrico di riferimento (Regolamento Delegato (UE) 2015/2402 - costruzione ante 2016)	0.52
NOx: emissione caldaia evitata [mg/kWh <sub>pci</sub> ] (☆☆ secondo Norme UNI 297, 483, 656)	200
NOx: emissioni della produzione elettrica di riferimento [mg/kWh <sub>pci</sub> ] (ENEL, Rapporto ambientale 2006)	226

Risultati	
concentrazione @ 5% O <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	177
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>	0.24

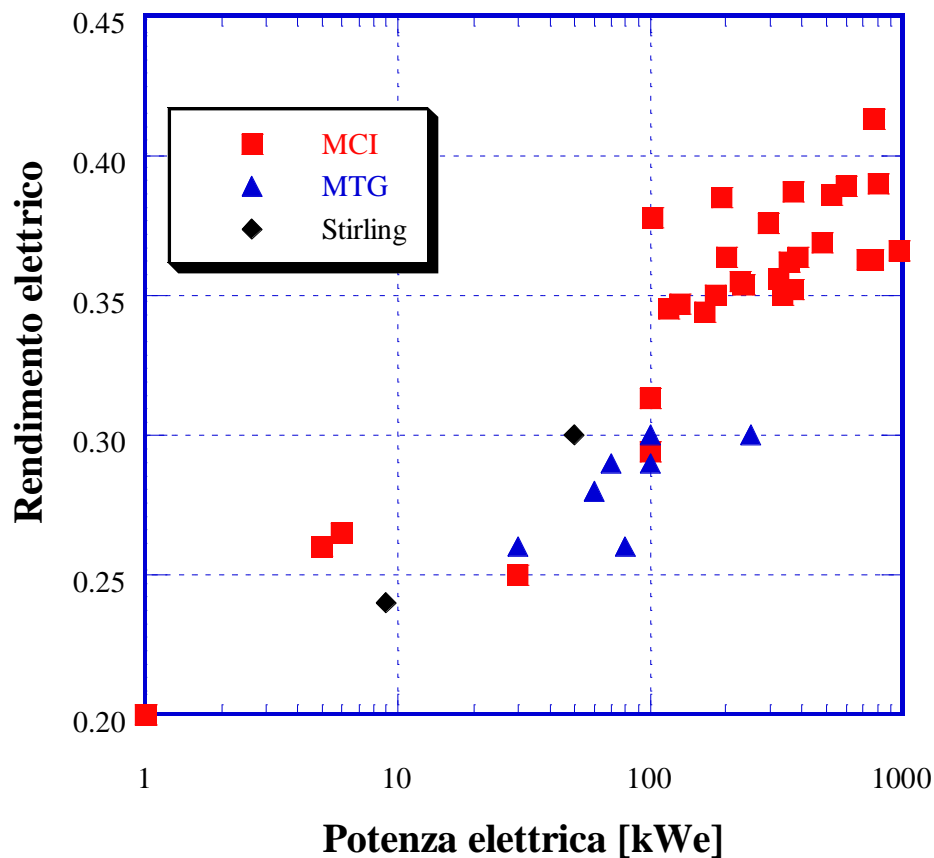
# Un secondo esempio numerico

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

Riferimenti impiegati	
Rendimento termico caldaia evitata (Regolamento Delegato (UE) 2015/2402 - costruzione post 2016)	0.92
Rendimento elettrico di riferimento (Regolamento Delegato (UE) 2015/2402 - costruzione post 2016)	0.53
NOx: emissione caldaia evitata [mg/kWh <sub>pci</sub> ] (☆☆☆☆ Norme UNI 297, 483, 656)	100
NOx: emissioni della produzione elettrica di riferimento [mg/kWh <sub>pci</sub> ] (ENEL, Rapporto ambientale 2013)	161

Risultati	
concentrazione @ 5% O <sub>2</sub> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	177
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> )	155
emissioni equivalenti del motore <b>cogenerativo</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ]	416
<i>ESI</i>	-0.25

# Il caso della piccola e micro cogenerazione



Motori primi a gas naturale  
in assetto cogenerativo  
scelti per le valutazioni numeriche

	<b>MTG</b>	<b>MCI</b>
<b>Rendimento elettrico</b>	<b>0.30</b>	<b>0.37</b>
<b>Rendimento termico</b>	<b>0.55</b>	<b>0.49</b>
<b>Rendimento totale</b>	<b>0.85</b>	<b>0.86</b>
<b>Indice elettrico</b>	<b>0.55</b>	<b>0.75</b>

# Riferimenti

Valori di riferimento impiegati			
Rendimento termico caldaia evitata	$\eta'_t$		0.92
Rendimento elettrico di riferimento	$\eta'_e$		0.53
<b>NOx</b> : emissione caldaia evitata	$\lambda'_t$	[mg/kWh <sub>pci</sub> ]	100
<b>CO</b> : emissione caldaia evitata	$\lambda'_t$	[mg/kWh <sub>pci</sub> ]	100
<b>CO<sub>2</sub></b> : emissione (gas nat.)	$\lambda'_t$	[kg/kWh <sub>pci</sub> ]	0.200
<b>NOx</b> : emissioni della produzione elettrica di riferimento	$\lambda'_e$	[mg/kWh <sub>pci</sub> ]	161
<b>CO</b> : emissioni della produzione elettrica di riferimento	$\lambda'_e$	[mg/kWh <sub>pci</sub> ]	150
<b>CO<sub>2</sub></b> : emissioni della produzione elettrica di riferimento	$\lambda'_e$	[kg/kWh <sub>pci</sub> ]	0.315

→ Reg. delegato (UE) 2015/2402

→ Reg. delegato (UE) 2015/2402

→ ☆ ☆ ☆ ☆ Norme UNI 297, 483 & 656

→ Reg. Lombardia, Delib. VII/6501 19/10/01

→ Dato medio gas naturale

→ ENEL, Rapporto ambientale 2013

→ TG grande taglia

→ ENEL, Rapporto ambientale 2013

# Prestazioni ambientali (MTG e MCI)

		<b>MTG</b>	<b>MCI</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]	33 @ 15%O <sub>2</sub>	250 @ 5%O <sub>2</sub>
	Emissioni input-based [mg/kWh <sub>pci</sub> ]	100	281
	<b>emissioni output-based</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ]	<b>333</b>	<b>759</b>
	<b>emissioni evitate</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ] $\delta_{avd}$ (metodo caldaia evitata)	<b>199</b>	<b>144</b>
	<b>ESI</b> (NO <sub>x</sub> )	<b>0.337</b>	<b>-0.699</b>
<b>CO</b>	concentrazione [mg/Nm <sup>3</sup> ]	33 @ 15%O <sub>2</sub>	300 @ 5%O <sub>2</sub>
	emissioni input-based [mg/kWh <sub>pci</sub> ]	100	337
	<b>emissioni output-based</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ]	<b>333</b>	<b>911</b>
	<b>emissioni evitate</b> [mg/kWh <sub>e</sub> ] $\delta_{avd}$ (metodo caldaia evitata)	<b>199</b>	<b>144</b>
	<b>ESI</b> (CO)	<b>0.309</b>	<b>-1.133</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	emissioni input-based [kg/kWh <sub>pci</sub> ]	<b>0.200</b>	<b>0.200</b>
	<b>emissioni output-based</b> [kg/kWh <sub>e</sub> ]	<b>0.667</b>	<b>0.541</b>
	<b>emissioni evitate</b> [kg/kWh <sub>e</sub> ] $\delta_{avd}$ (metodo caldaia evitata)	<b>0.399</b>	<b>0.288</b>
	<b>ESI</b> (CO <sub>2</sub> )	<b>0.328</b>	<b>0.387</b>



# Il caso della piccola e micro cogenerazione

## Metodo della “caldaia evitata”

Le emissioni evitate  $\delta_{avd}$  sono proporzionali al fattore di emissione della caldaia evitata e possono raggiungere il valore delle emissioni  $\delta$  (punto A per una tipica MTG, B per un MCI)

Se:

$$(\eta_e/\eta_t)_{MCI} > (\eta_e/\eta_t)_{MTG}$$

$$\delta_{MCI} \geq \delta_{MTG}$$

allora il punto B corrisponde a una caldaia evitata di qualità peggiore rispetto al punto A

