

SISTEMI ENERGETICI COGENERATIVI

Aspetti ambientali

Prof. Pier Ruggero Spina

Dipartimento di Ingegneria - Università di Ferrara

Vantaggi della cogenerazione distribuita

- 1) Risparmio di energia primaria
(principalmente combustibili fossili)
- 2) Riduzione delle emissioni gassose in atmosfera

Limiti della piccola taglia

- rendimenti elettrici limitati (< 40%) rispetto alle grandi centrali (→ 60%)
⇒ potenziale maggiore emissione specifica
- oneri e complessità di impianto per il contenimento delle emissioni
difficilmente sopportabili
(ad es. SCR - *Selective Catalytic Reduction* in MTG o MCI <100 kW_e)

La riduzione di emissioni in atmosfera dovuta alla cogenerazione

Obiettivi

- ✓ UNITA' DI MISURA PIU' IDONEA PER INDICARE LE EMISSIONI
- ✓ VALORI LIMITE DI EMISSIONI PER UN SISTEMA COGENERATIVO
- ✓ METODI DI CALCOLO DELLE EMISSIONI EVITATE DA UN COGENERATORE RISPETTO ALLA PRODUZIONE SEPARATA

Obiettivi

- ✓ UNITA' DI MISURA PIU' IDONEA PER INDICARE LE EMISSIONI
- ✓ VALORI LIMITE DI EMISSIONI PER UN SISTEMA COGENERATIVO
- ✓ METODI DI CALCOLO DELLE EMISSIONI EVITATE DA UN COGENERATORE RISPETTO ALLA PRODUZIONE SEPARATA

Unità di misura

✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$\frac{mg}{Nm^3}$

! Limitazioni !

Unità di misura

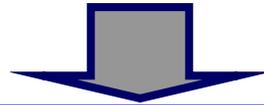
✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$\frac{mg}{Nm^3}$

! Limitazioni !



$$\gamma_x = \frac{V_i}{V_{\text{miscela secca}}} = \frac{n_i}{n_{\text{miscela secca}}}$$

$$\gamma_{x2} = \frac{21 - x_2}{21 - x_1} \gamma_{x1}$$

Unità di misura

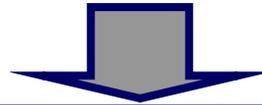
✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$\frac{mg}{Nm^3}$

! Limitazioni !



$$1 [\text{ppm}_{\text{vd}}]_i = 10^{-6} \frac{\text{moli inquinante}}{\text{moli miscela secca}} = 10^{-6} \frac{1 [\text{kmol}]_i}{1 [\text{kmol}]_{\text{miscela secca}}}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{xi} [\text{mg}/\text{Nm}^3] &= \gamma_{xi} \frac{1 [\text{kmol}] 10^{-6} M_i [\text{kg}/\text{kmol}]}{1 [\text{kmol}] 22.414 [\text{Nm}^3/\text{kmol}]} = \\ &= \gamma_{xi} [\text{ppm}] \frac{M_i [\text{kg}/\text{kmol}]}{22.414 [\text{Nm}^3/\text{kmol}]} \end{aligned}$$

Unità di misura

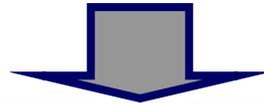
✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$\frac{mg}{Nm^3}$

! Limitazioni !



✓ Emissione specifica "input based" - λ

$$\lambda = \frac{21}{21-x} \gamma_x \frac{3600}{PCI} K$$

$\frac{mg}{kWh_{pci}}$

Noto il combustibile

Unità di misura

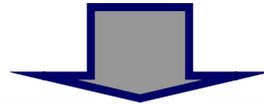
✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$\frac{mg}{Nm^3}$

! Limitazioni !



✓ Emissione specifica "input based" - λ

$$\lambda \left[\frac{mg}{kWh} \right] = \frac{21}{21-x} \gamma_x \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \frac{3600 \left[\frac{kJ}{kWh} \right]}{PCI \left[\frac{kJ}{kg} \right]} K \left[\frac{Nm^3}{kg} \right]$$

$$K \left[\frac{Nm^3}{kg} \right] = 22.414 \left(\frac{4.76}{12} x_C + \frac{3.76}{4} x_H + \frac{x_N}{28} + \frac{4.76}{32} x_S - \frac{3.76}{32} x_O \right) =$$
$$= f(x_C, x_H, x_N, x_S, x_O)$$

x_C, x_H, x_N, x_S, x_O : frazioni in massa dei costituenti elementari presenti nel combustibile
 $3.76 = 79/21$: rapporto in volume N/O nell'aria

Unità di misura

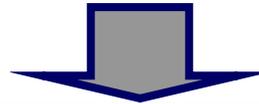
✓ Concentrazione nei fumi secchi - γ_x

x : percentuale di O_2 nei fumi secchi

ppm

$$\frac{mg}{Nm^3}$$

! Limitazioni !



✓ Emissione specifica "input based" - λ

$$\lambda = \frac{21}{21-x} \gamma_x \frac{3600}{PCI} K$$

$$\frac{mg}{kWh_{pci}}$$

Nota il combustibile

✓ Emissione specifica "output based" - δ

$$\delta = \frac{\lambda}{\eta_{conv}}$$

Caldaia

$$\eta_{conv} = \eta_{th}$$

$$\frac{mg}{kWh_{th}}$$

Contiene l'efficienza di conversione

Motore

$$\eta_{conv} = \eta_e$$

$$\frac{mg}{kWh_e}$$

$$\Rightarrow \text{Emissione assoluta } \Lambda = \delta P h = \frac{\lambda}{\eta_e} P h$$

Vantaggi approccio “output based”

(emissioni espresse con riferimento alla produzione utile)

- ✓ *Chiaro indicatore del rapporto tra il costo ambientale ed il beneficio per la collettività;*
- ✓ *sinergia tra le politiche di efficienza energetica e di contenimento dell'impatto ambientale;*
- ✓ *l'incremento dell'efficienza energetica è una tecnica di riduzione delle emissioni che agisce contemporaneamente su tutte le specie inquinanti;*
- ✓ *incentiva l'incremento di efficienza come alternativa all'adozione di sistemi di post-trattamento.*

Obiettivi

- ✓ UNITA' DI MISURA PIU' IDONEA PER INDICARE LE EMISSIONI
- ✓ VALORI LIMITE DI EMISSIONI PER UN SISTEMA COGENERATIVO
- ✓ METODI DI CALCOLO DELLE EMISSIONI EVITATE DA UN COGENERATORE RISPETTO ALLA PRODUZIONE SEPARATA

Quali valori limite da rispettare

1. Assoggettare un sistema cogenerativo agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per il motore primo

Quali valori limite da rispettare

1. Assoggettare un sistema cogenerativo agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per il motore primo
2. Assoggettare un sistema cogenerativo agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per un impianto di sola generazione di calore (in base al comma 86 dell'art. 1 della legge Marzano 239/2004)

86. L'installazione di un impianto di microgenerazione, purché omologato, è soggetta a norme autorizzative semplificate. In particolare, se l'impianto è termoelettrico, è assoggettata agli stessi oneri tecnici e autorizzativi di un impianto di generazione di calore con pari potenzialità termica.

Quali valori limite da rispettare

1. Assoggettare un sistema cogenerativo agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per il motore primo
2. Assoggettare un sistema cogenerativo agli stessi limiti autorizzativi ambientali previsti per un impianto di sola generazione di calore (in base al comma 86 dell'art. 1 della legge Marzano 239/2004)
3. Assoggettare un sistema cogenerativo a limiti autorizzativi ambientali appositamente introdotti per la cogenerazione

Quali valori limite da rispettare (II)

1. *Impiego dei valori limite dei motori primi*

Idoneo per cogeneratori “topping”: $E_e \rightarrow$ effetto utile primario ; $E_f \rightarrow$ sottoprodotto recuperato a valle del processo termodinamico primario

Quali valori limite da rispettare (II)

1. *Impiego dei valori limite dei motori primi*

Idoneo per cogeneratori “**topping**”: $E_e \rightarrow$ effetto utile primario ; $E_f \rightarrow$ sottoprodotto recuperato a valle del processo termodinamico primario

2. *Impiego dei valori limite delle caldaie*

Idoneo per cogeneratori “**bottoming**”. Nel caso dei **topping** equiparare MCI o TG ad una caldaia non è corretto; esistono differenze per:

- tipologia e meccanismi di formazione degli inquinanti,
- condizioni di combustione (stazionarie o meno, livelli pressioni, ecc...),
- cicli di prova previsti dalle norme per la misura delle emissioni

Quali valori limite da rispettare (II)

1. *Impiego dei valori limite dei motori primi*

Idoneo per cogeneratori “**topping**”: $E_e \rightarrow$ effetto utile primario ; $E_f \rightarrow$ sottoprodotto recuperato a valle del processo termodinamico primario

2. *Impiego dei valori limite delle caldaie*

Idoneo per cogeneratori “**bottoming**”. Nel caso dei **topping** equiparare MCI o TG ad una caldaia non è corretto; esistono differenze per:

- tipologia e meccanismi di formazione degli inquinanti,
- condizioni di combustione (stazionarie o meno, livelli pressioni, ecc...),
- cicli di prova previsti dalle norme per la misura delle emissioni

3. *Limiti appositamente introdotti per la cogenerazione*

Demanda alle autorità competenti il compito di quantificare il beneficio ambientale della cogenerazione; si rischia il proliferare di interpretazioni soggettive e/o fuorvianti

Obiettivi

- ✓ UNITA' DI MISURA PIU' IDONEA PER INDICARE LE EMISSIONI
- ✓ VALORI LIMITE DI EMISSIONI PER UN SISTEMA COGENERATIVO
- ✓ METODI DI CALCOLO DELLE EMISSIONI EVITATE DA UN COGENERATORE RISPETTO ALLA PRODUZIONE SEPARATA

Norma UNI 8887: 2014
Unità di cogenerazione e indici caratteristici