

CORSO DI SISTEMI ENERGETICI

Esercitazione 2

Emissioni di una centrale a carbone e di un ciclo combinato a gas naturale

Si consideri una centrale da 790 MWe, con rendimento LHV del 42.5%, alimentata da carbone avente la seguente composizione in massa e poteri calorifici:

$$\begin{aligned} N &= 1.386\%, O = 7.047\%, H = 4.385\%, C = 64.598\%, S = 0.885\%, H_2O = 9.5\%, \text{ ceneri} = 12.2\% \\ LHV &= 25.876 \text{ MJ/kg}, HHV = 27.065 \text{ MJ/kg} \end{aligned}$$

Si calcoli la composizione dei gas combusti (con l'ipotesi di usare 14 kg di aria per kg di carbone ash-free (af)), l'emissione di SO₂ (supposto che sia l'unica specie con cui lo zolfo è presente) prima del FGD con wet scrubber espressa in kg/s e in mg/Nmc 6% O₂ (fumi secchi), l'efficienza di rimozione richiesta per ottenere il valore di 200 mg/Nmc 6%O₂ dry, la quantità di sorbente (CaCO₃) richiesto (in kg/s e in ton/anno, supponendo 7000 ore/anno di funzionamento e un rapporto Ca/S=1.1), la quantità di gesso (CaSO₄*2H₂O) e sorbente prodotta come scarto.

Per CO₂, SO₂ e NO_x (come NO₂) si calcolino quindi le quantità emesse in ton/anno e in g/kWh. Per gli ossidi di azoto si ipotizzi il valore di legge di 200 mg/Nmc 6%O₂ dry.

Si confrontino i valori ottenuti con quelli di un ciclo combinato S209FA a gas naturale con potenza elettrica 786.9 MW, rendimento LHV 0.571, portata d'aria 2x640 kg/s, emissioni NO_x 50 mg/Nmc 15%O₂ dry.

Composizione molare gas naturale: CH₄ = 85%, C₂H₆ = 6%, N₂ = 5%, CO₂ = 4%
(ΔH°_f : CH₄ = -74.872 MJ/kmole, C₂H₆ = -84.667 MJ/kmole, H₂O_v = -241.83 MJ/kmole, CO₂ = -393.520)

Composizione molare aria: N₂ = 77.3%, O₂ = 20.7%, Ar = 0.97%, H₂O = 1%, CO₂ = 0.03%

EMISSIONI GASSOSE: NORMATIVE DI RIFERIMENTO

EMISSIONI IMPIANTI secondo
DIRETTIVA UE - 2001/80/CE (1)

CONCENTRAZIONI (mg/Nm³)

- NO_x (come NO₂)
- SO₂
- CO (2)
- Polveri

PORTATE MASSICHE per MWh

- CO₂ (kg)
- NO_x (come NO₂) (g)
- SO₂ (g)
- CO (g)
- Polveri (g)

GAS NATURALE Ciclo Combinato	IGCC A CARBONE Gassif. + Ciclo Comb.	CARBONE Super Critico Avanzato	ORIMULSION Super Critico Avanzato
	(3)		
50	70	200	200
0	60	200	200
30	50	150	150
5	2	30	30
359	852	757	714
272	394	610	522
0	338	610	522
163	281	458	391
27	11	92	78

- Normativa europea da recepire entro il 1° gennaio 2008. Le concentrazioni sono riferite ai fumi anidri al 15% di O₂ per i cicli combinati a gas e l'IGCC, al 6% di O₂ per gli impianti a carbone e al 3% di O₂ per quelli ad Orimulsion.
- L'emissioni di CO non sono regolamentate a livello europeo; i valori indicati si riferiscono alla normativa italiana attuale.
- Le emissioni limite da impianti IGCC non sono ancora state definite nella normativa europea

Memo: conversione da concentrazione effettiva a mg/Nmc 6 (o 15)% O₂ nei fumi secchi

da x (conc.volumetrica):

$$10^6 \cdot x_{\text{inq}} [\text{Nmc}_{\text{inq}}/\text{Nmc}_{\text{fumi}}] \cdot \text{MM}_{\text{inq}} [\text{kg}_{\text{inq}}/\text{kmol}_{\text{inq}}] / 22.413 [\text{Nmc}/\text{kmol}]_{\text{inq}} = \text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} (\text{reali})$$

da y (conc.massica):

$$10^6 \cdot y_{\text{inq}} [\text{kg}_{\text{inq}}/\text{kg}_{\text{fumi}}] \cdot \text{MM}_{\text{fumi}} [\text{kg}_{\text{fumi}}/\text{kmol}_{\text{fumi}}] / 22.413 [\text{Nmc}/\text{kmol}]_{\text{fumi}} = \text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} (\text{reali})$$

dai fumi reali ai fumi secchi reali:

$$\text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ secchi} = (\text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ reali}) \cdot (\text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ reali} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ secchi}) =$$

$$(\text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ reali}) \cdot (1 / (1 - X_{\text{H2O}} \text{ nei fumi reali}))$$

concentrazione di O₂ nei fumi secchi reali :

$$X_{\text{O2}} \text{ nei fumi secchi} = X_{\text{O2}} \text{ nei fumi reali} / (1 - X_{\text{H2O}} \text{ nei fumi reali})$$

dai fumi secchi reali ai fumi secchi al 6% O₂:

$$\text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ secchi } 6\% \text{ O}_2 = (\text{mg}_{\text{inq}} / \text{Nmc}_{\text{fumi}} \text{ secchi}) \cdot (21-6) / (21 - 100 \cdot X_{\text{O2}} \text{ nei fumi secchi})$$