

## FINESTRA V

### Il 2° principio della termodinamica e le centrali termoelettriche

Si consideri una centrale formata da 4 gruppi da 660 MW, che funzioni per 5000 ore/anno utilizzando un litantrace che ha dato all'analisi i seguenti risultati:

$$C = 75\%$$

$$H = 5\%$$

$$S = 1\%$$

$$O = 4\%$$

$$N = 3\%$$

$$\text{ceneri} = 12\%$$

Si vuole sapere:

- Quanti Kwh elettrici si producono in un anno
- Quanto litantrace si consuma in un anno sapendo che il suo potere combustibile è 7000Kcal/Kg ed il rendimento termodinamico della centrale è del 38%
- Si vuole inoltre sapere quanto  $SO_2$  si produce in un anno e quale è la concentrazione di  $SO_2$  nei fumi espressa in  $mg/m^3$
- Quale è la concentrazione delle polveri che fuoriescono dai fumi della centrale

### Soluzione

Calcolo dei Kwh prodotti da un gruppo:

$$660 \times 10^3 \times 5000 = 3,3 \times 10^9 \text{ Kwh/gruppo} \times \text{anno}$$

Per 4 gruppi si ha:

$$3,3 \times 10^9 \times 4 = 13,2 \times 10^9 \text{ Kwh/anno} = 13,2 \text{ miliardi di Kwore/anno}$$

Trasformazione di Kwh in KJ:

$$13,2 \times 10^9 \times 3600 = 47520 \times 10^9 \text{ Kjoule}$$

Trasformazione di KJ in Kcal:

$$\frac{47520 \times 10^9}{4,18} = 11,368 \times 10^9$$

Per il calcolo del litantrace da utilizzare in un anno occorre tenere conto: a) del rendimento della centrale (38% e b) del potere calorifero del litantrace.

Si ha pertanto:

$$100 : 38 = X : 11,368 \times 10^9 ; X = 29915 \times 10^9 \text{ Kcal}$$

$$1 : 7000 = X : 29915 \times 10^9 ; X = 4,273 \times 10^9 \text{ Kg/anno} = 4273000 \text{ Tonn/anno litantrace}$$

Calcolo del SO<sub>2</sub> emesso nell'atmosfera

$$4273000 \times 0,01 = 42730 \text{ Tonnellate di zolfo presenti nel litantrace consumato in un anno}$$

La quantità di SO<sub>2</sub> emessa in un anno sarà esattamente doppia essendo doppio il PM del SO<sub>2</sub> rispetto a quello dello zolfo

Si ha pertanto:

$$Q_{SO_2} = 85460 \text{ Tonnellate/anno}$$



### Calcolo della concentrazione di SO<sub>2</sub> nei fumi della centrale

Per operare tale calcolo riferiamoci ad un chilo di litantrace. Dai dati dell'analisi le quantità presenti sono:

750 gr. di Carbonio

50 gr. di Idrogeno

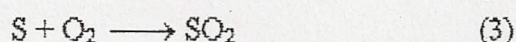
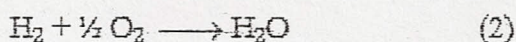
10 gr. di Zolfo

40 gr. di Ossigeno

30 gr. di Azoto

120 gr. di ceneri

Le reazioni di combustione, semplificando, possono essere così indicate:



Per la reazione (1) si può calcolare il volume teorico di ossigeno a c.n. necessario alla combustione.

$$12 : 22,4 = 750 : X; \quad X = 1400 \text{ litri di Ossigeno}$$

Analogamente si procede per la reazione (2):

$$2,016 : 11,2 = 50 : X; \quad X = 277 \text{ litri di ossigeno}$$

Ed analogamente per la reazione (3):

$$32 : 22,4 = 10 : X; \quad X = 7 \text{ litri di Ossigeno}$$

In totale sono pertanto necessari:  $1400 + 277 + 7 = 1684$  litri di Ossigeno

Questo ossigeno proviene dall'aria e, parzialmente, da quello contenuto nel litantrace.

Quest'ultimo può essere facilmente calcolato con la seguente proporzione:

$$32 : 22,4 = 40 : X; \quad X = 28 \text{ litri}$$

Il volume di ossigeno teorico dell'aria utilizzato per la combustione è pertanto a c. n. :

$$1684 - 28 = 1620 \text{ litri}$$

Generalmente le combustioni in centrale sono condotte con un incremento di O<sub>2</sub> del 30%. Pertanto il volume totale di ossigeno necessario sarà:

$$V_{O_2 \text{ (totale)}} = 1620 + 1620 \times 0,30 = 1620 + 486 = 2106 \text{ litri}$$

$\downarrow$                        $\downarrow$   
V<sub>teorico</sub>                  Volume in eccesso

Tenendo presente che l'aria è costituita da 21% in volume di O<sub>2</sub> e dal 79% in volume di N<sub>2</sub>, per cui il rapporto  $V_{N_2}/V_{O_2} = 3,8$  possiamo calcolare il volume totale di aria impiegata a c. n. :

$$V_{aria} = V_{N_2} + V_{O_2} = 2106 + 3,8 \times 2106 = 2106 + 8002,8 = 10108,8 \text{ litri}$$



### Composizione dei fumi

I fumi che fuoriescono dalla centrale sono costituiti da  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}_{\text{vapore}} + \text{SO}_2 + \text{O}_2 \text{ (eccesso)} + \text{N}_2$  -

In particolare si ha:

$V_{\text{CO}_2} = V_{\text{O}_2}$  della reazione (1) essendo i rapporti stechiometrici delle due sostanze uguali ed unitari.

Pertanto si ha  $V_{\text{CO}_2} = 1400$  litri

$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2 V_{\text{O}_2}$  della reazione (2) essendo il rapporto fra i coefficienti stechiometrici delle due sostanze (  $1 : \frac{1}{2}$  ) uguale a 2. Pertanto si ha:

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \times 277 = 554 \text{ litri}$$

$V_{\text{SO}_2} = V_{\text{O}_2}$  della reazione (3) essendo i coefficienti stechiometrici di  $\text{O}_2$  e  $\text{SO}_2$  uguali ed unitari.

Si ha pertanto:

$$V_{\text{SO}_2} = 7 \text{ litri}$$

Sono inoltre presenti nei fumi 486 litri di  $\text{O}_2$  in eccesso e 8002,8 litri di  $\text{N}_2$ , proveniente dall'aria al quale deve essere sommato l'azoto proveniente dal litantrace che può essere calcolato nel modo seguente:

$$28 : 22,4 = 30 : X ; \quad X = 24 \text{ litri}$$

Il volume dei fumi sarà pertanto:

$$1400 + 554 + 7 + 8002,8 + 24 = 10473,8 \text{ litri} = 10,4738 \text{ m}^3$$

La quantità di  $\text{SO}_2$  è doppia della quantità di zolfo presente essendo il suo PM doppio di quello dello zolfo. Pertanto da 10gr. di S presente nel litantrace si formano 20 gr. di  $\text{SO}_2$

La concentrazione di  $\text{SO}_2$  (esprime in  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) sarà pertanto:

$$20000/10,4758 = 1909 \text{ mg}/\text{m}^3$$



### Calcolo della concentrazione delle polveri

1 Kg di carbone contiene 120 gr. di polvere: di queste l'80% è sotto forma di ceneri volanti. Tale quantità è pari a  $120 \times 0,8 = 96$  gr. Solo l'1% di questa quantità è rilasciata nell'atmosfera grazie all'uso di potenti elettrofiltri.

Tale quantità è 0,96 gr.

La concentrazione sarà pertanto  $0,96/10,4738 = 0,0916$  gr/m<sup>3</sup> = 91,6 mg/m<sup>3</sup>

La quantità di polveri emesse in un anno si calcola con una semplice proporzione

$$1 \text{ Kg}_{\text{carbone}} : 0,96 \text{ gr. polveri} = 4,273 \times 10^9 \text{ Kg. Carbone} : X$$

$$X = 4,1 \times 10^9 \text{ gr. di polveri} = 4100 \text{ tonn/anno di polveri}$$

La tecnologia moderna permette di ridurre le concentrazioni degli inquinanti NO che si formano per reazione e successive trasformazione dell'azoto e dell'ossigeno dell'aria ad alta temperatura e SO<sub>2</sub> emessi da una centrale.

Per la SO<sub>2</sub> i trattamenti di disinquinamento migliori ne prevedono la trasformazione previa ossidazione, in gesso Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O e in solfato ammonico, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>, usato come concime.



### Calcoli relativi ad una centrale elettrica ad olio pesante

Si consideri una centrale formata da 4 gruppi da 660 MW che funzioni per 5000/anno utilizzando un olio combustibile che ha dato alle analisi i seguenti risultati.

$$C = 86\%$$

$$H = 11\%$$

$$S = 3\%$$

$$\text{ceneri} = 0,015\%$$

Si vuole sapere quanto olio pesante si consuma in un anno sapendo che:

a) il potere combustibile dell'olio è 10000 Kcal/Kg

b) il rendimento termodinamico della centrale è del 38%

Si vuole inoltre sapere: quanto  $\text{SO}_2$  si produce in un anno e quale è la concentrazione di  $\text{SO}_2$  nei fumi espressa in  $\text{mg}/\text{m}^3$ ; quante polveri si producono in un anno e quale ne è la concentrazione nei fumi.

### Soluzione

Calcolo dei Kwh prodotti da un gruppo:

$$660 \times 10^3 \times 5000 = 3,3 \times 10^9 \text{ Kwh/gruppo} \times \text{anno}$$

Per 4 gruppi si ha:

$$3,3 \times 10^9 \times 4 = 13,2 \times 10^9 \text{ Kwh/anno}$$

Trasformazione dei Kwh in KJ:

$$13,2 \times 10^9 \times 3600 = 47520 \times 10^9 \text{ Kjoule}$$

Trasformazione di KJ in Kcal

$$\frac{47520 \times 10^9}{4,18} = 11368 \times 10^9 \text{ Kcal}$$

Calcolo della quantità di olio combustibile da utilizzare in un anno:

$$100 : 38 = X : 11368 \times 10^9; \quad X = 29915 \times 10^9 \text{ Kcal}$$

$$1 : 10000 = X : 29915 \times 10^9; \quad X = 2,99 \times 10^9 \text{ Kg} = 2990 \text{ 000 Tonn/anno}$$

### Calcolo del $\text{SO}_2$ emesso nell'atmosfera

$$2990000 \times 0,03 = 89700 \text{ Tonnellate di zolfo presente nell'olio pesante}$$

La quantità di  $\text{SO}_2$  sarà esattamente doppia di quella dello zolfo, essendo doppio il suo PM

Si ha pertanto:

$$Q_{\text{SO}_2} = 179400 \text{ Tonn/anno } \text{SO}_2$$



### Calcolo delle polveri emesse

Per operare questo calcolo occorre tenere presente che la combustione, in una centrale ad olio, avviene con il 15% di ossigeno in eccesso rispetto al teorico. Si ha pertanto che una parte del carbonio rimane incombusto ed in totale le somme inerti + incombusto  $\cong 0,2\%$

Assumendo questa percentuale uguale a quella delle ceneri che si formano si può calcolare questa quantità:

$$2990000 \times 0,002 = 5980 \text{ Tonn/anno}$$

Di questa quantità una aliquota pari al 50% fuoriesce dal camino :

$$5980 \times 0,5 = 2990 \text{ Tonn/anno}$$

### Calcolo della concentrazione di SO<sub>2</sub> nei fumi della centrale

Per operare tale calcolo riferiamoci ad un chilo di olio di combustibile. Dai dati dell'analisi le quantità presenti sono:

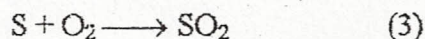
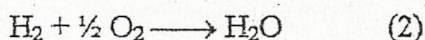
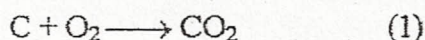
860 gr. di Carbonio

110 gr. di Idrogeno

30 gr. di Zolfo

0,15 gr. di ceneri

Le reazioni di combustione, semplificando, possono essere così indicate:



Per la reazione (1) si può calcolare il volume teorico di ossigeno a c. n. Necessario alla combustione:

$$12 : 22,4 = 860 : X ; \quad X = 1926,4 \text{ litri}$$

Analogamente si procede per la reazione (2):

$$2,016 : 11,2 = 110 : X ; \quad X = 611,11 \text{ litri}$$

Ed analogamente per la reazione (3):

$$32 : 22,4 = 30 : X ; \quad X = 21 \text{ litri}$$

In totale sono pertanto necessari a c. n.

$$1926,4 + 611,11 + 21 = 2558,51 \text{ litri di O}_2$$

Generalmente le combustioni, nelle centrali ad olio, sono condotte con un incremento di O<sub>2</sub> del 15%.



Pertanto il volume totale di ossigeno necessario sarà:

$$V_{O_2} = 2558,51 + 2558,51 \times 0,15 = 2942,28 \text{ litri}$$

$$\begin{array}{ccc} & | & | \\ & \downarrow & \downarrow \\ & V_{\text{teorico}} & V_{\text{in eccesso}} \end{array}$$

Tenendo presente che l'aria è costituita da 21% in volume di  $O_2$  e 79% in volume di  $N_2$ , per cui il rapporto  $V_{N_2}/V_{O_2} = 3,8$  possiamo calcolare il volume totale di aria impiegata a c.n.:

$$V_{\text{aria}} = V_{O_2} + V_{N_2} = 2942,28 + 2942,28 \times 3,8 = 2942,28 + 11180,68 = 14122,97 \text{ litri}$$

### Composizione dei fumi

I fumi, che fuoriescono dalla centrale, sono costituiti da  $CO_2 + H_2O_{\text{vapore}} + SO_2 + O_2_{\text{eccesso}} + N_2$

In particolare si ha:

$V_{CO_2} = V_{O_2}$  della reazione (1) essendo i rapporti stechiometrici delle due sostanze uguali ed unitari.

Pertanto si ottiene:  $V_{CO_2} = 1926,4$  litri

$V_{H_2O} = 2V_{O_2}$  dalla reazione (2) essendo i rapporti tra i coefficienti stechiometrici delle due sostanze ( $1 : \frac{1}{2}$ ) uguale a 2. Pertanto si ha  $V_{H_2O} = 2 \times 611,11 = 1222,22$  litri

$V_{SO_2} = V_{O_2}$  della reazione (3) essendo i coefficienti stechiometrici di  $O_2$  e di  $SO_2$  uguali ed unitari.

$$V_{SO_2} = 21 \text{ litri}$$

Sono inoltre presenti nei fumi 283,77 litri di  $O_2$  in eccesso e 11180,68 litri di azoto.

Il volume dei fumi sarà pertanto:

$$1926,4 + 1222,22 + 21 + 383,77 + 14122,97 = 17676,36 \text{ litri}$$

La quantità di  $SO_2$  è doppia della quantità di zolfo presente essendo il suo PM doppio di quello dello zolfo. Si ha pertanto:

$$Q_{SO_2} = 60 \text{ gr.}$$

La concentrazione di  $SO_2$  (espressa in  $mg/m^3$ ) sarà pertanto:

$$\frac{60000}{17,676} = 3394,43 \text{ mg/m}^3$$