

ESERCITAZIONE PRATICA: COMBUSTIBILI

- 1- Calcolare il Q_s e il Q_i di 1 m^3 di miscela di gas avente la seguente % in volume: $\text{CO} = 25\%$, $\text{H}_2 = 3\%$, $\text{CO}_2 = 7\%$, $\text{CH}_4 = 5\%$, $\text{N}_2 = 60\%$, sapendo che i ΔH di combustione di CO , H_2 e CH_4 sono rispettivamente pari a -283 , -242 e -801 kJ/mol .
[$Q_s=5530 \text{ kJ/Nm}^3$; $Q_i= 5270 \text{ kJ/Nm}^3$]
- 2- Sapendo che il potere calorifico inferiore dell'alcool etilico anidro è di 26840 kJ/kg , calcolarne il potere calorifico superiore e calcolare i poteri calorifici superiore ed inferiore di un liquido contenente il 94% in peso di alcool etilico ed il 6% in peso di acqua
[$Q_s= 29775 \text{ kJ/kg}$; $Q_s=27988$; $Q_i=25080 \text{ kJ/kg}$]
- 3- Calcolare l'aria teorica di combustione e la composizione dei fumi ottenuti bruciando 1 kg di combustibile solido di composizione: $\text{C}=83\%wt$; $\text{H}=5\%$; $\text{O}=6\%$; $\text{N}=2\%$; $\text{S}=1\%$; ceneri= 3% .
[Aria teorica= 8.6 m^3 ; Fumi: $\text{CO}_2=1.549 \text{ m}^3$
 $\text{H}_2\text{O}=0.560 \text{ m}^3$
 $\text{SO}_2=0.007 \text{ m}^3$
 $\text{N}_2=6.833 \text{ m}^3$]
- 4- Calcolare l'aria teorica necessaria per la combustione di 10 kg di alcool etilico anidro.
[$At=70,1 \text{ Nm}^3$]
- 5- Nei prodotti di combustione di un combustibile solido costituito da: $\text{C}=86\%wt$; $\text{H}=2\%$; $\text{S}=1\%$; $\text{O}=5\%$; $\text{N}=3\%$; ceneri= 3% si trova il 13% di CO_2 . Calcolare l'eccesso di aria impiegato.
[49.14% aria in eccesso]
- 6- Calcolare il potenziale termico di un gas costituito, in volume, da 60% di CH_4 , 20% di H_2 e 20% di N_2 sapendo che le entalpie delle reazioni $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}(l)$ e $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}(l)$ valgono rispettivamente $-890,8 \text{ kJ}$ e $-286,2 \text{ kJ}$.
[$Pt= 3260 \text{ kJ/Nm}^3$]
- 7- Calcolare il potenziale termico di una miscela liquida costituita per $80\%wt$ da ottano e per il $20\%wt$ da alcool etilico, supponendo che i poteri calorifici superiori valgano rispettivamente 48519 kJ/kg e 29778 kJ/kg ed i calori di vaporizzazione 418 kJ/kg e 920 kJ/kg .
[$Pt= 3775 \text{ kJ/Nm}^3$]
- 8- Calcolare il potenziale termico di una miscela gassosa avente la seguente composizione in volume: $\text{CH}_4= 70\% \text{ vol}$; $\text{H}_2=10\%$; $\text{N}_2=20\%$. Le entalpie di combustione, con produzione di acqua liquida, valgono $\Delta H=-891 \text{ kJ/mol}$ per il metano e $\Delta H=-286 \text{ kJ/mol}$ per l'idrogeno.
[$Pt=3289 \text{ kJ/Nm}^3$]
- 9- Calcolare la temperatura teorica di combustione di un combustibile liquido costituito dall' 86% in peso di C e dal 14% di H il cui potere calorifico superiore vale 46.024 kJ/kg .
[$T=2090 \text{ }^\circ\text{C}$]
- 10- Calcolare la temperatura teorica di combustione di un combustibile gassoso costituito dal 75% in volume di CO e dal 25% di N_2 non tenendo conto dei fenomeni di dissociazione termica e sapendo che il potere calorifico del CO vale 12627 kJ/Nm^3 .
[$T=2180 \text{ }^\circ\text{C}$]

ESERCIZIO 1

MISCELA DI GAS

CO 25% vol

H₂ 3% vol

CO₂ 7% vol

CH₄ 5% vol

N₂ 60% vol

PRENDONO PARTE ALLA COMBUSTIONE CO, H₂ e CH₄

CO₂ E N₂ PASSANO DIRETTAMENTE NEI FUMI

CONSIDERIAMO CHE I ΔH FORNITI DALL'ESERCIZIO SIANO RIFERITI A REAZIONI CON PRODUZIONE DI ACQUA ALLO STATO DI VAPORE

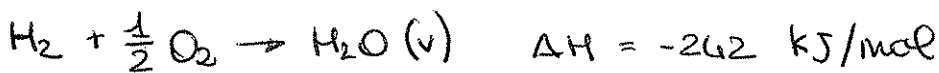

$$\boxed{22,4} : \boxed{283} = \boxed{250} : \boxed{x} \rightarrow \text{CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 250 l DI CO.}$$

↓
l DI CO IN 1 mol

↓
CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 1 mol CO (ΔH)

↓
l DI CO IN 1 Nm³ (1000 l) DI MISCELA

$$x = 3158,48 \text{ kJ}$$

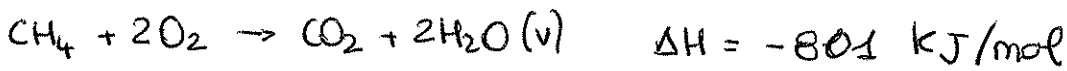

$$\boxed{22,4} : \boxed{242} = \boxed{30} : \boxed{x} \rightarrow \text{CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 30 l DI H}_2$$

↓
l DI H₂ IN 1 mol

↓
CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 1 mol H₂

↓
l DI H₂ IN 1 Nm³ (1000 l) DI MISCELA

x = 324,10 kJ



$$\boxed{22,4} : \boxed{801} = \boxed{50} : \boxed{x}$$

\downarrow l di CH_4 in 1 mol
 \downarrow CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 1 mol CH_4 (ΔH)
 \downarrow l di CH_4 in 1 Nm^3 (1000 l) DI MISCELA
 \rightarrow CALORE PRODOTTO DALLA COMBUSTIONE DI 50 l DI CH_4

$$x = 1787,95 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{li}} = 3158,48 + 324,10 + 1787,95 = 5270,53 \text{ kJ/Nm}^3$$

PER CALCOLARE IL POTERE CALORIFICO SUPERIORE E' NECESSARIO DETERMINARE L'ACQUA PRODOTTA NELLE REAZIONI DI COMBUSTIONE. L'ACQUA VIENE PRODOTTA DALLA COMBUSTIONE DI H_2 e CH_4 .

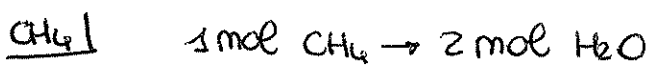
H_2



$$\boxed{22,4} : \boxed{18} = \boxed{30} : \boxed{x}$$

\downarrow l di H_2 in 1 mol
 \downarrow g H_2O in 1 mol (g H_2O PRODOTTI NELLA COMBUSTIONE DI 1 mol di H_2)
 \downarrow l di H_2 in 1 Nm^3 (1000 l) DI MISCELA
 \rightarrow g H_2O PRODOTTI DALLA COMBUSTIONE DI 30 l DI H_2

$$x = 24,11 \text{ g} \rightarrow 0,0241 \text{ kg}$$



$$\boxed{22,4} : \boxed{(2 \cdot 18)} = \boxed{50} : \boxed{x}$$

\downarrow l di CH_4 in 1 mol
 \downarrow g di H_2O PRODOTTI DALLA COMBUSTIONE DI 1 mol CH_4 ($2 \text{ mol H}_2\text{O}$ $2 \cdot 18 \text{ g H}_2\text{O}$)
 \downarrow l CH_4 in 1 Nm^3 (1000 l) DI MISCELA
 \rightarrow g DI ACQUA PRODOTTI DALLA COMBUSTIONE DI 50 l DI MISCELA DI CH_4

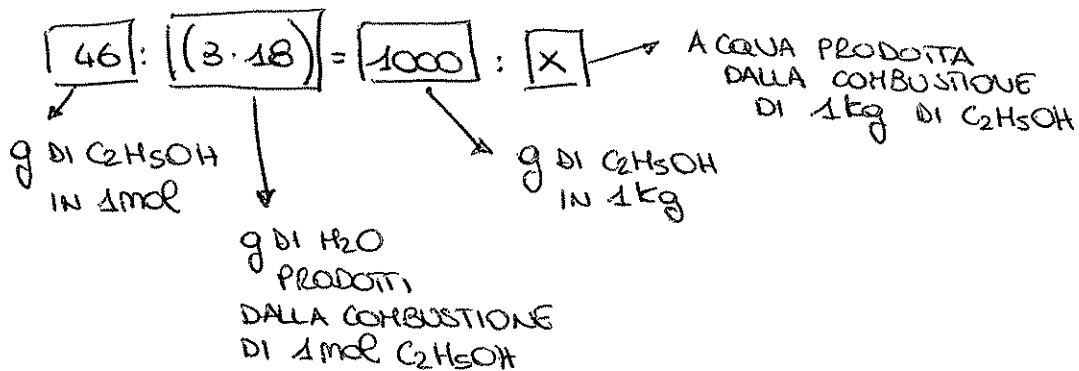
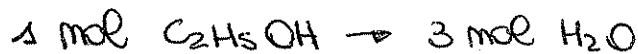
$$\begin{aligned} \text{ACQUA TOTALE} &= \text{ACQUA PROD. COMB. H}_2 + \text{ACQUA PROD. COM. CH}_4 = \\ &= 0,0241 + 0,0804 = 0,1045 \text{ kg} = h \end{aligned}$$

$$Q_s = Q_i + n q_{\text{H}_2\text{O}} = 5270,53 + (0,1045 \cdot 2500) = 5531,48 \text{ kJ/Nm}^3$$

ESERCIZIO 2



PER POTER CALCOLARE IL POTERE CALORIFICO SUPERIORE
E' NECESSARIO DETERMINARE L'ACQUA PRODOTTA NELLA
COMBUSTIONE



$$x = 1174 \text{ g} \rightarrow 1,174 \text{ kg} = n$$

$$Q_s = Q_i + n q_{\text{H}_2\text{O}} = 26840 + (1,174 \cdot 2500) = 29775 \text{ kJ/kg}$$

SE IL COMBUSTIBILE NON E' ANIDRO SIGNIFICA CHE CONTIENE
UNA QUOTA DI ACQUA. 1 kg DI LIQUIDO CONTENENTE IL 94%
DI $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ SARA' COSTITUITO DA 940 g DI $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ E 60 g DI
ACQUA.

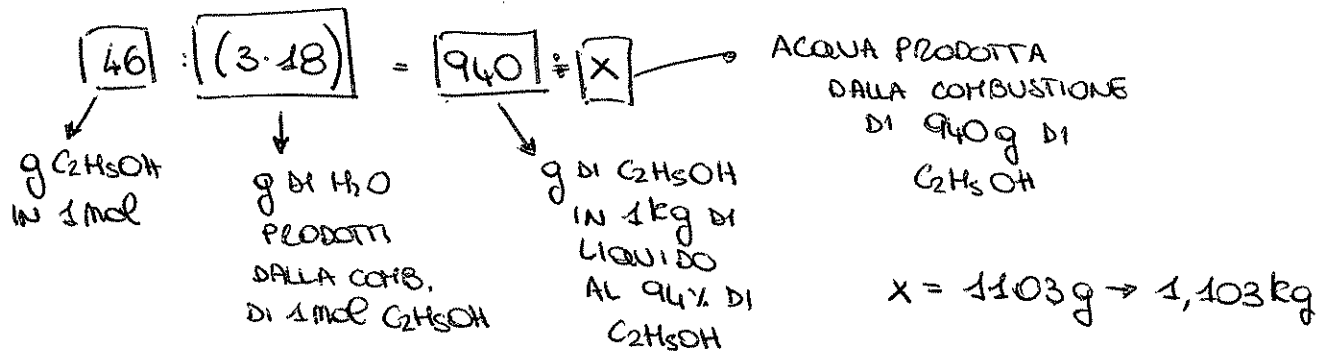
SICCOME SOLO $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ CONTRIBUISCE AL POTERE CALORIFICO
IL Q_s DEL $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ AL 94% SARA'

$$Q_s = 0,94 \cdot Q_s = 0,94 \cdot 29775 = 27988 \text{ kJ/kg}$$

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ idr. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ anidro

PER CALCOLARE Q_i BISOGNA DETERMINARE L'ACQUA PRODOTTA, ESSA AVRA' 2 CONTRIBUTI

- ACQUA PRODOTTA DALLA COMBUSTIONE DEL C_2H_5OH



- ACQUA PROVENIENTE DAL COMBUSTIBILE

$$60\ g \rightarrow 0,06\ kg$$

$$ACQUA\ TOT = 1,103 + 0,06 = 1,163\ kg = n$$

$C_2H_5OH_{94\%}$

$$Q_i = \overset{\downarrow}{Q_s} - n \cdot Q_{H_2O} = \underset{C_2H_5OH_{94\%}}{27988} - (1,163 \cdot 2500) = 25080\ kJ/kg$$

ESERCIZIO 3

COMBUSTIBILE SOLIDO

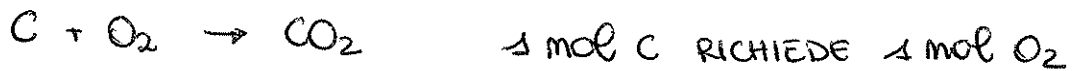
		IN 1kg
C	83% wt	830g C
H	5% wt	50g H
O ₂	6% wt	60g O
N ₂	2% wt	20g N ₂
S	1% wt	10g S
CENERI	3% wt	30g CENERI

DALLE REAZIONI DI COMBUSTIONE POSSIAMO DETERMINARE L'OSSIGENO NECESSARIO PER CIASCUN COMPONENTE.

PRENDONO PARTE ALLA REAZIONE DI COMBUSTIONE C, H ED S

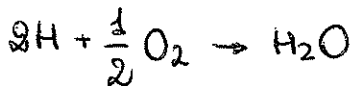
N₂ PASSA COMPLETAMENTE NEI FUMI

O₂ VIENE USATO PER LA COMBUSTIONE



$$\boxed{12} : \boxed{22,4} = \boxed{830} : \boxed{x} \rightarrow \text{l di } O_2 \text{ NECESSARI ALLA COMBUSTIONE DI } 830\text{g DI C} \quad x = 1549,33 \text{ l}$$

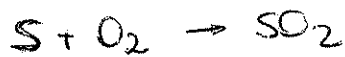
\swarrow g di C IN 1 mol
 \downarrow l di O₂ NECESSARI PER LA COMB. DI 1 mol C
 \searrow g di C IN 1kg DI COMBUSTIBILE



2 mol H (1 mol H₂) → RICHIEDONO $\frac{1}{2}$ mol O₂

$$\boxed{2} : \boxed{0,5 \cdot 22,4} = \boxed{50} : \boxed{x} \rightarrow \text{l di } O_2 \text{ NECESSARI PER LA COMBUSTIONE DI } 50\text{g DI H} \quad x = 280 \text{ l}$$

\swarrow g di H₂ IN 1 mol (g di H in 2 mol)
 \downarrow l di O₂ NECESSARI PER LA COMB. DI 1 mol H₂ (2 mol H)
 \searrow g di H IN 1kg DI COMBUSTIBILE



$$\boxed{32} : \boxed{22,4} = \boxed{40} : \boxed{x} \rightarrow \begin{array}{l} \text{l di } SO_2 \text{ NECESSARI} \\ \text{PER LA COMBUSTIONE} \\ \text{DI 40 g di } SO_2 \end{array} \quad x = 7 \text{ l}$$

\swarrow g di S_2 IN 1 mol
 \downarrow l di O_2 NECESSARI PER LA COMB. DI 1 mol S_2
 \searrow g di S_2 IN 1 kg DI COMBUSTIBILE

$$O_{2\text{TOT}} = O_2 (\text{per comb C}) + O_2 (\text{per comb } H_2) + O_2 (\text{per comb } S_2) =$$

$$= 1549,33 + 280 + 7 = 1836,33 \text{ l} \rightarrow 1,8363 \text{ Nm}^3$$

PARTE DELL'OSSIGENO E' GIA' PRESENTE NEL COMBUSTIBILE.
L'OSSIGENO DA FORNIRE CON L'ARIA SARA' QUINDI PARI A:

$$O_{2\text{NEC}} = O_{2\text{TOT}} - O_{2\text{comb}}$$

$O_{2\text{comb}}$ SI PUO' CALCOLARE VALUTANDO I LITRI OCCUPATI
DALL'OSSIGENO NEL COMBUSTIBILE

$$\boxed{32} : \boxed{22,4} = \boxed{60} : \boxed{x} \rightarrow \begin{array}{l} \text{l OCCUPATI} \\ \text{DA 60g di } O_2 \end{array} \quad x = 42 \text{ l}$$

\swarrow g di O_2 IN 1 mol
 \downarrow l OCCUPATI DA 1 mol O_2
 \searrow g di O_2 IN 1 kg di COMBUSTIBILE
 $\rightarrow 0,042 \text{ Nm}^3$

$$O_{2\text{NEC}} = 1,8363 - 0,042 = 1,7943 \text{ Nm}^3$$

$$\text{ARIA TEORICA} = O_{2\text{NEC}} \cdot 4,8 = 1,7943 \cdot 4,8 = 8,6 \text{ Nm}^3$$

CALCOLO DELLA COMPOSIZIONE DEI FUMI

NEI FUMI SARANNO PRESENTI

$\text{CO}_2 \rightarrow$ dalla combustione di C

$\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ dalla combustione di H_2

$\text{SO}_2 \rightarrow$ dalla combustione di S

$\text{N}_2 \rightarrow$ dal combustibile + dall'aria teorica

CO_2

1 mol C \rightarrow 1 mol CO_2

$$\boxed{12} : \boxed{22,4} = \boxed{830} : \boxed{x}$$

g di C in 1 mol l di CO_2 prodotti da 1 mol di C g di C in 1 kg di combustibile l di CO_2 prodotti da 830 g di C

$$x = 1549,33 \text{ l} \\ \rightarrow 1,549 \text{ Nm}^3$$

H_2O

1 mol $\text{H}_2 \rightarrow$ 1 mol H_2O

$$\boxed{2} : \boxed{22,4} = \boxed{50} : \boxed{x}$$

g di H_2 in 1 mol l di H_2O prodotti dalla comb. di 1 mol H_2 g di H_2 in 1 kg di combustibile l di H_2O prodotti di 50 g di H_2

$$x = 560 \text{ l} \rightarrow 0,56 \text{ Nm}^3$$

SO_2

1 mol S \rightarrow 1 mol SO_2

$$\boxed{32} : \boxed{22,4} = \boxed{10} : \boxed{x}$$

g di S in 1 mol l di SO_2 prodotti dalla combustione di 1 mol S g di S in 1 kg di combustibile l di SO_2 prodotti da 10 g di S

$$x = 4 \text{ l} \rightarrow 0,007 \text{ Nm}^3$$

N₂

AZOTO DAL COMBUSTIBILE

$$\boxed{28} : \boxed{22,4} = \boxed{20} : \boxed{x}$$

g di N₂ in 1 mol l occupati da 1 mol di N₂ g di N₂ in 1 kg di combustibile l occupati da 20 g di N₂

$$x = 16 \text{ l} \rightarrow 0,016 \text{ Nm}^3$$

AZOTO DA ARIA TEORICA

$$N_{2 \text{ AT}} = O_{2 \text{ Nec}} \cdot 3,8 = 1,7943 \cdot 3,8 = 6,82 \text{ Nm}^3$$

$$N_{2 \text{ TOT}} = 0,016 + 6,82 = 6,8343 \text{ Nm}^3$$

FUMI

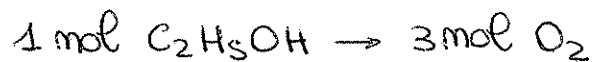
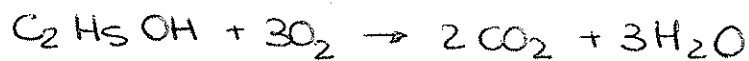
$$CO_2 = 1,549 \text{ Nm}^3$$

$$H_2O = 0,560 \text{ Nm}^3$$

$$SO_2 = 0,007 \text{ Nm}^3$$

$$N_2 = 6,8343 \text{ Nm}^3$$

ESERCIZIO 4



$$\boxed{46} : \boxed{(3 \cdot 22,4)} = \boxed{1000} : \boxed{x} \rightarrow \text{l di O}_2 \text{ NECESSARI PER LA COMBUSTIONE DI } 1000 \text{ g di C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

g di C₂H₅OH in 1 mol

l di O₂ NECESSARI PER LA COMBUSTIONE DI 1 mol di C₂H₅OH (3 mol)

g di C₂H₅OH in 1 kg

$$x = 1461 \text{ l} \rightarrow 1,461 \text{ Nm}^3$$

$$\text{ARIA TEORICA} = 1,461 \cdot 4,8 = 7,0128 \text{ Nm}^3 \text{ Aria per bruciare } 1 \text{ kg C}_2\text{H}_5\text{OH}$$

$$\text{ARIA PER BRUCIARE } 10 \text{ kg C}_2\text{H}_5\text{OH} = 10 \cdot 7,0128 = 70,128 \text{ Nm}^3$$

ESERCIZIO 5

COMBUSTIBILE SOLIDO		1 kg comb
C	86% wt	860 g C
H ₂	2% wt	20 g H ₂
S	1% wt	10 g S
O ₂	5% wt	50 g O ₂
N ₂	3% wt	30 g N ₂
CENERI	3% wt	30 g CENERI

PRENDONO PARTE ALLA COMBUSTIONE C, H₂, S

O₂ SARA' NECESSARIO PER LA COMBUSTIONE E DOVRA' ESSERE SOTTRATTO NEL CALCOLO DELL'ARIA TEORICA

N₂ PASSA NEI FUMI

LE CENERI NON SI CONTANO, SONO SOLIDE E NON PASSANO NEI FUMI.

LA % DI CO₂ NEI FUMI, NEL CASO DI ECCESSO D'ARIA, PUO' ESSERE ESPRESSA COME SEGUE

$$\% \text{CO}_2 \text{ ecc} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{FUMI TEOR}} + V_{\text{ECC. ARIA}}}$$

N. B. NEL CASO DI COMBUSTIONE CON ARIA TEORICA A DENOMINATORE AUREMMO SOLO IL VOLUME DEI FUMI TEORICI.

CALCOLO DELL'OSSIGENO NECESSARIO ALLA COMBUSTIONE

PER C



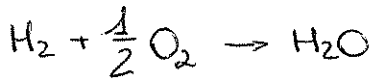
Per bruciare 1 mol di C e necessaria 1 mol O₂

$$\boxed{12} : \boxed{22,4} = \boxed{860} : \boxed{x}$$

$x = 1605 \text{ l} \rightarrow 1,605 \text{ Nm}^3$

g di C IN 1 mol l O₂ PER comb 1 mol C g di C in 1 kg comb. l O₂ per bruciare 860 g C

per H₂



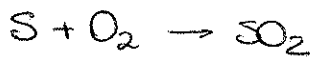
per bruciare 1 mol di H₂ sono necessarie 0,5 mol di O₂.

$$\boxed{2} : \boxed{(0,5 \cdot 22,4)} = \boxed{20} : \boxed{x} \rightarrow \text{l di O}_2 \text{ necessari per la combustione di 20 g H}_2$$

g H₂ in 1 mol l di O₂ necessari per la combustione di 1 mol H₂ g di H₂ in 1 kg combustibile

$$x = 112 \text{ l} \rightarrow 0,112 \text{ Nm}^3$$

per S



Per bruciare 1 mol di S è necessaria 1 mol O₂

$$\boxed{32} : \boxed{22,4} = \boxed{10} : \boxed{x} \rightarrow \text{l di O}_2 \text{ per bruciare 10 g di S}$$

g di S in 1 mol l di O₂ per bruciare 1 mol S g di S in 1 kg combustibile

$$x = 14 \text{ l} \rightarrow 0,007 \text{ Nm}^3$$

$$V_{\text{O}_2 \text{ TOT}} = V_{\text{per C}} + V_{\text{O}_2 \text{ per H}_2} + V_{\text{O}_2 \text{ per S}} =$$

$$= 1,605 + 0,112 + 0,007 = 1,724 \text{ Nm}^3$$

L'OSSIGENO CHE DEVE ESSERE FORNITO CON L'ARIA SARÀ PARI A QUELLO TOTALE MENO QUELLO GIÀ PRESENTE NEL COMBUSTIBILE

$$V_{\text{O}_2 \text{ nec}} = 1,724 - 0,035 = 1,689 \text{ Nm}^3$$

VOLUME OCCUPATO DA O₂ NEL COMBUSTIBILE

$$32 : 22,4 = 50 : x \quad x = 35 \text{ l} \rightarrow 0,035 \text{ Nm}^3$$

$$\text{ARIA TEORICA} = 1,689 \cdot 4,8 = 8,1 \text{ Nm}^3$$

$$\text{AZOTO DA ARIA TEORICA} = 1,689 \cdot 3,8 = 6,42 \text{ Nm}^3$$

CALCOLO DELLA COMPOSIZIONE DEI FUMI

NEI FUMI SARANNO PRESENTI

- CO_2 dalla COMBUSTIONE di C



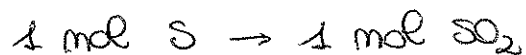
$$12 : 22,4 = 860 : x \quad x = 1605 \text{ l} \rightarrow 1,605 \text{ Nm}^3$$

- H_2O dalla COMBUSTIONE di H_2



$$2 : 22,4 = 20 : x \quad x = 224 \text{ l} \rightarrow 0,224 \text{ Nm}^3$$

- SO_2 dalla COMBUSTIONE di S



$$32 : 22,4 = 10 : x \quad x = 4 \text{ l} \rightarrow 0,004 \text{ Nm}^3$$

- N_2

- da aria teorica $6,42 \text{ Nm}^3$

- dal combustibile $28 : 22,4 = 30 : x \quad x = 24 \text{ l} \rightarrow 0,024 \text{ Nm}^3$

~~VARIA ECC~~

$$\text{FUMI TOTALI} = 1,605 + 0,224 + 0,004 + 6,42 + 0,024 = 8,28 \text{ Nm}^3$$

$$\% \text{ CO}_2 \text{ ecc} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{fumi}} + V_{\text{aria ecc}}} \cdot 100$$

$$13 = \frac{1,605}{8,28 + V_{\text{aria ecc}}} \cdot 100 \rightarrow V_{\text{aria ecc}} = 4,06 \text{ Nm}^3$$

$$\% \text{ ARIA ECC} = \frac{V_{\text{aria ecc}}}{V_{\text{AT}}} \cdot 100 = \frac{4,06}{8,1} \cdot 100 = 50,1\%$$

ESERCIZIO 6

POTENZIALE TERMICO COMBUSTIBILE GASSOSO $P_t = \frac{Q_i}{V_{AT} + 1}$

CH₄ 60% vol

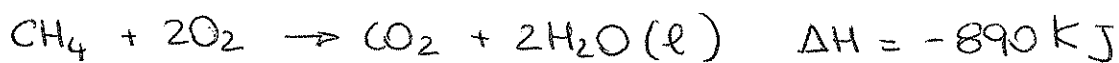
H₂ 20% vol

N₂ 20% vol

- PRENDONO PARTE ALLA COMBUSTIONE
CH₄ e H₂

- N₂ PASSA NEI FUMI

CONOSCIAMO LE ENTALPIE DI REAZIONE CON PRODUZIONE
DI ACQUA LIQUIDA → POSSIAMO CALCOLARE I Q_s.



$$22,4 : 890 = 600 : x \quad x = 23'839 \text{ kJ}$$

CALORE PRODOTTO
DALLA COMBUSTIONE
DI 600 g di CH₄
CON PRODUZIONE
DI ACQUA LIQUIDA (Q_s)

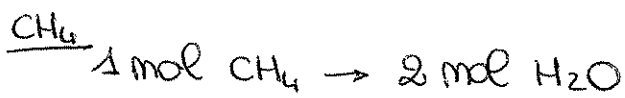


$$22,4 : 286,2 = 200 : x \quad x = 2555 \text{ kJ}$$

CALORE PRODOTTO
DALLA COMBUSTIONE
DI 200 g DI H₂
CON PRODUZIONE
DI ACQUA LIQUIDA
(Q_s)

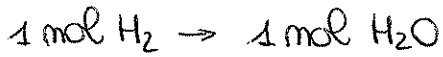
$$Q_{s \text{ TOT}} = Q_{s \text{ CH}_4} + Q_{s \text{ H}_2} = 23839 + 2555 = 26394 \text{ kJ/Nm}^3$$

PER POTER CALCOLARE IL Q_i DEL COMBUSTIBILE, NECESSARIO PER
IL CALCOLO DEL POTENZIALE TERMICO E' NECESSARIO DETERMINARE
L'ACQUA PRODOTTA



$$22,4 : (2 \cdot 18) = 600 : x \quad x = 964,28 \text{ g} \rightarrow 0,96 \text{ kg}$$

H₂



$$22,4 : 18 = 200 : x$$

$$x = 160,7 \text{ g} \rightarrow 0,16 \text{ kg}$$

$$\text{ACQUA TOTALE} = 0,96 + 0,16 = 1,12 \text{ kg} = n$$

$$Q_{i \text{ TOT}} = Q_{s \text{ TOT}} - n q_{\text{H}_2\text{O}} = 26394 - (1,12 \cdot 2500) = 23594 \text{ KJ/Nm}^3$$

DETERMINAZIONE DELL'ARIA TEORICA

CH₄

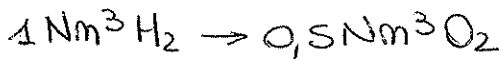


$$0,6 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 \text{ (nel combustibile)} \rightarrow 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$$

$$\Rightarrow 1,2 \cdot 4,8 = 5,76 \text{ Nm}^3 \text{ ARIA}$$

N.B. PER I GAS VALE IL PRINCIPIO DI AVOGADRO
MOL DI GAS DIVERSI OCCUPANO LO STESSO VOLUME (1 mol = 22,4 l)
⇒ LE RELAZIONI VALIDE PER LE MOL SONO VALIDE ANCHE PER Nm³.

H₂



$$0,2 \text{ Nm}^3 \text{ H}_2 \text{ (nel combustibile)} \rightarrow 0,2 \cdot 0,5 = 0,10 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$$

$$\Rightarrow 0,10 \cdot 4,8 \text{ Nm}^3 \text{ ARIA} = 0,48$$

$$\text{ARIA TOTALE} = 5,76 + 0,48 = 6,24 \text{ Nm}^3$$

$$P_t = \frac{Q_i}{V_{AT} + 1} = \frac{23594}{6,24 + 1} = 3260 \frac{\text{KJ}}{\text{Nm}^3}$$

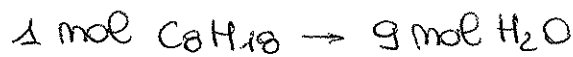
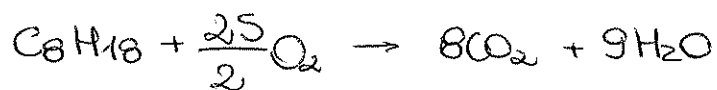
ESERCIZIO 7

POTENZIALE TERMICO DI UN COMBUSTIBILE LIQUIDO

$$P_t = \frac{Q_i + Q_v}{V_{Ar} + V_c}$$

SONO NOTI I POTERI CALORIFICI SUPERIORI, PER POTER OTTENERE QUELLI INFERIORI E' NECESSARIO DETERMINARE L'ACQUA PRODOTTA NELLE DUE REAZIONI DI COMBUSTIONE

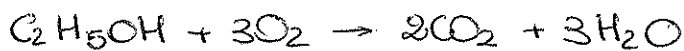
OTTANO



$$114 : (9 \cdot 18) = 1000 : x \quad x = 1421 \text{ g} \rightarrow 1,421 \text{ kg}$$

$$Q_{i,C_8H_{18}} = Q_{s,C_8H_{18}} - n q_{H_2O} = 48519 - (1,421 \cdot 2500) = 44966,5 \text{ kJ/kg}$$

ALCOOL ETILICO



$$46 : (3 \cdot 18) = 1000 : x \quad x = 1173,9 \text{ g} \rightarrow 1,174 \text{ kg}$$

$$Q_{i,C_2H_5OH} = Q_{s,C_2H_5OH} - n q_{H_2O} = 29778 - (1,174 \cdot 2500) = 26843 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{i,TOT} = 0,8 Q_{i,C_8H_{18}} + 0,2 \cdot Q_{i,C_2H_5OH} = (0,8 \cdot 44966,5) + (0,2 \cdot 26843) = 41341,8 \text{ kJ/kg}$$

↓

VIENE CALCOLATO IN QUESTO MODO

PERCHE' I DUE Q_s CALCOLATI IN PRECEDENZA

SONO CIASCUNO RELATIVO AD 1KG DEL

SINGOLO COSTITUENTE

$$Q_{vTOT} = 0,8 \cdot Q_{vC_8H_{18}} + 0,2 Q_{vC_2H_5OH} =$$

$$= 0,8 \cdot 418 + 0,2 \cdot 920 = 518,4 \text{ kJ/kg}$$

VOLUME DEL COMBUSTIBILE VAPORIZZATO

OTTANO

$$\boxed{114} : \boxed{22,4} = \boxed{800} : \boxed{x}$$

\swarrow g di C_8H_{18} in 1 mol
 \downarrow l occupati da 1 mol di C_8H_{18} VAPORIZZATO
 \swarrow g di C_8H_{18} in 1 kg di COMBUSTIBILE
 \rightarrow l occupati da 800 g di C_8H_{18} VAPORIZZATO

$$x = 157,2 \text{ l}$$

$$\rightarrow 0,1572 \text{ Nm}^3$$

ALCOOL ETILICO

$$\boxed{46} : \boxed{22,4} = \boxed{200} : \boxed{x}$$

\swarrow g di C_2H_5OH in 1 mol
 \downarrow l occupati da 1 mol di C_2H_5OH VAPORIZZATO
 \swarrow g di C_2H_5OH in 1 kg di COMBUSTIBILE
 \rightarrow l occupati da 200 g di C_2H_5OH VAPORIZZATO

$$x = 97,4 \text{ l}$$

$$\rightarrow 0,0974 \text{ Nm}^3$$

$$V_{TOT} = 0,1572 + 0,0974 = 0,2546 \text{ Nm}^3$$

CALCOLO DELL'ARIA TEORICA

OTTANO

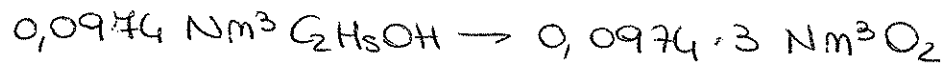
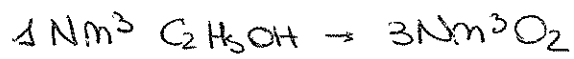
$$1 \text{ Nm}^3 C_8H_{18} \rightarrow \frac{25}{2} \text{ Nm}^3 O_2$$

$$0,1572 \text{ Nm}^3 C_8H_{18} \rightarrow \frac{25}{2} \cdot 0,1572 \text{ Nm}^3 O_2$$

$$\Rightarrow \frac{25}{2} \cdot 0,1572 \cdot 4,8 = 9,432 \text{ Nm}^3 \text{ ARIA}$$

N.B. CONOSCO I VOLUMI
 DEI COMBUSTIBILI VAPORIZZATI
 \rightarrow POSSO LAVORARE COME
 SE AVESSI UNA MISCELA
 GASSOSA

ALCOOL



$$\Rightarrow 0,0974 \cdot 3 \cdot 4,8 = 1,402 \text{ Nm}^3 \text{ ARIA}$$

$$\text{ARIA TOTALE} = 9,432 + 1,402 = 10,834 \text{ Nm}^3$$

$$P_t = \frac{Q_i + Q_v}{V_{AT} + V_c} = \frac{41341,8 + 518,4}{10,834 + 0,2546} = 3775 \frac{\text{KJ}}{\text{Nm}^3}$$

ESERCIZIO 8

POTENZIALE TERMICO DI UN COMBUSTIBILE GASSOSO

$$P_t = \frac{Q_i}{V_{AT+1}}$$

MISCELA GASSOSA

CH₄ 40% vol

H₂ 10% vol

N₂ 20% vol

E' ANALOGO
AD ES. N° 6

ESERCIZIO 9

COMBUSTIBILE LIQUIDO

C 86% wt

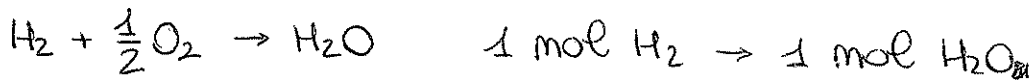
H₂ 14% wt

$$Q_s = 46024 \text{ kJ/kg}$$

E' NOTO Q_s , PER CALCOLARE LA TEMPERATURA TEORICA DI COMBUSTIONE E' NECESSARIO DETERMINARE Q_i IN QUANTO Q_i E' IL CALORE DISPONIBILE PER IL RISCALDAMENTO DEI FUMI.

A TALE SCOPO DOBBIAMO DETERMINARE L'ACQUA PRODOTTA DURANTE LA COMBUSTIONE → VIENE TUTTA DALLA COMBUSTIONE DI H₂

~~14% wt~~



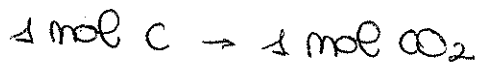
$$2 : 18 = 140 : x \quad x = 1260 \text{ g} \rightarrow 1,260 \text{ kg}$$

$$Q_i = Q_s - n q_{\text{H}_2\text{O}} = 46024 - (1,260 \cdot 2500) = 42874 \text{ kJ/kg}$$

E' QUINDI NECESSARIO DETERMINARE LA COMPOSIZIONE DEI FUMI E I LORO VOLUMI

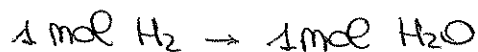
FUMI

- CO₂ dalla COMBUSTIONE DI C



$$12 : 22,4 = 860 : x \quad x = 1605 \text{ l} \rightarrow 1,605 \text{ Nm}^3$$

- H₂O dalla COMBUSTIONE di H₂



$$2 : 22,4 = 140 : x \quad x = 1568 \text{ l} \rightarrow 1,568 \text{ Nm}^3$$

• N_2 dall'aria necessaria alla combustione dei due componenti

→ 1 mol C → 1 mol O_2

$$12 : 22,4 = 860 : x \quad x = 1605 \text{ l} \rightarrow 1,605 \text{ Nm}^3$$

$$N_2 = 1,605 \cdot 3,8$$

→ 1 mol H_2 → 0,5 mol O_2

$$2 : (0,5 \cdot 22,4) = 140 : x \quad x = 784 \text{ l} \rightarrow 0,784 \text{ Nm}^3$$

$$N_2 = 0,784 \cdot 3,8$$

$$N_{2 \text{ tot}} = (1,605 \cdot 3,8) + (0,784 \cdot 3,8) = 9,0782 \text{ Nm}^3$$

IPOTIZZO UNA PRIMA TEMPERATURA $T_1 = 2000^\circ \text{C}$

IL CALORE NECESSARIO A PORTARE I FUMI A TALE TEMPERATURA SI CALCOLO CONSIDERANDO I VOLUMI DEI COSTITUENTI E I RELATIVI CALORI SENSIBILI (= calori necessari a portare ciascun costituente ad una data T , sono tabulati)

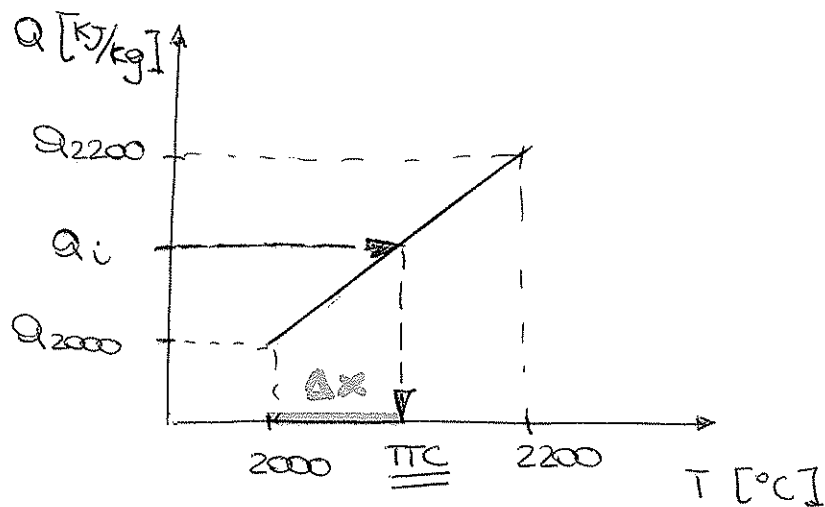
$$\begin{aligned} Q_{2000} &= (V_{CO_2} \cdot Q_{CO_2 2000}) + (V_{H_2O} \cdot Q_{H_2O 2000}) + (V_{N_2} \cdot Q_{N_2 2000}) = \\ &= (1,605 \cdot 4851) + (1,568 \cdot 3890) + (9,078 \cdot 2967) = \\ &= 40892,93 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

↳ E' INFERIORE A Q_{ci}

⇒ SCELGO LA SECONDA TEMPERATURA
MAGGIORE DELLA PRIMA $T_2 = 2200^\circ \text{C}$

$$\begin{aligned}
 Q_{2200} &= (V_{CO_2} \cdot Q_{CO_2, 2200}) + (V_{H_2O} \cdot Q_{H_2O, 2200}) + (V_{N_2} \cdot Q_{N_2, 2200}) = \\
 &= (1,605 \cdot 5394) + (1,568 \cdot 4361) + (9,078 \cdot 3292) = \\
 &= 45380,19 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

CONSIDERO UN ANDAMENTO LINEARE



CALCOLO LA PENDENZA DELLA RETTA

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{Q_{2200} - Q_{2000}}{2200 - 2000} = \frac{45380,19 - 40892,93}{200} = 22,44$$

POSSO QUINDI DETERMINARE IL Δx CHE SEPARA LA $T = 2000^\circ\text{C}$ DALLA TEMPERATURA TEORICA DI COMBUSTIONE

$$\Delta x = \frac{\Delta y}{m} = \frac{Q_i - Q_{2000}}{22,44} = \frac{42876 - 40892,93}{22,44} = 88,28^\circ\text{C}$$

$$\text{TTC} = 2000 + 88,28 = 2088^\circ\text{C}$$

ESERCIZIO 10

COMBUSTIBILE GASSOSO

CO 75% vol

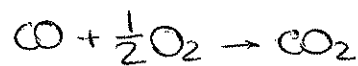
N₂ 25% vol

SOLO CO PRENDE PARTE
ALLA COMBUSTIONE
N₂ PASSA NEI FUMI

FUMI

- CO₂ dalla COMBUSTIONE di CO
- N₂ dal COMBUSTIBILE + da ARIA TEORICA per COMBUSTIONE CO

CO₂



$$1 \text{ Nm}^3 \text{ CO} \rightarrow 1 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2$$

$$0,75 \text{ Nm}^3 \text{ CO} \rightarrow 0,75 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2$$

N₂

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ CO} \rightarrow 0,5 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$$

$$0,75 \text{ Nm}^3 \text{ CO} \rightarrow 0,5 \cdot 0,75 = 0,375 \text{ Nm}^3 \text{ O}_2$$

$$\Rightarrow 0,5 \cdot 0,75 \cdot 3,8 = 1,425 \text{ Nm}^3 \text{ N}_2$$

$$\text{N}_2 \text{ TOT} = \text{N}_2 (\text{comb CO}) + \text{N}_2 (\text{combustibile}) =$$

$$= 1,425 + 0,25 = 1,675 \text{ Nm}^3$$

IPOTIZZO UNA PRIMA TEMPERATURA $T_1 = 2000^\circ \text{C}$

CALCOLO IL CALORE NECESSARIO A PORTARE I FUMI A 2000°C

$$Q_{2000} = (V_{\text{CO}_2} Q_{\text{CO}_2 2000}) + (V_{\text{N}_2} \cdot Q_{\text{N}_2 2000}) =$$

$$= (0,75 \cdot 4851) + (1,675 \cdot 2967) = 8608 \text{ KJ/Nm}^3$$

↓

E' INFERIORE A Q_i
SCELGO UNA SECONDA
TEMPERATURA $T_2 > T_1$

$$T_2 = 2200^\circ \text{C}$$

CALCOLO IL CALORE NECESSARIO A PORTARE I FUMI A 2200°C

$$Q_{2200} = (V_{CO_2} \cdot Q_{CO_2, 2200}) + (V_{N_2} \cdot Q_{N_2, 2200}) = \\ = (0,75 \cdot 5394) + (1,675 \cdot 3292) = 9559,6 \text{ KJ/Nm}^3$$

IPOTIZZO ANDAMENTO LINEARE E CALCOLO PENDENZA RETTA m
(VEDERE SCHEMA ES. 9 PAG 22).

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{Q_{2200} - Q_{2000}}{2200 - 2000} = \frac{9559,6 - 8608}{200} = 4,76$$

DETERMINO IL Δx CHE SEPARA T_d DA TTC

$$\Delta x = \frac{\Delta y}{m} = \frac{Q_i - Q_{2000}}{m} = \frac{9470 - 8608}{4,76} = 181^\circ\text{C}$$

$$TTC = 2000 + 181 = 2181^\circ\text{C}$$