

Tecnologia della COMBUSTIONE E COMBUSTIBILI

versione#B1 - Prof.A.Tonini - www.andytonini.com

DEFINIZIONI BASE:

1- **combustione**: reazione di ossidoriduzione, esotermica ($\Delta H < 0$; $\Delta S > 0$; $\Delta G < 0$: reazioni spontanee, richiesta en. attivazione), che realizzano il passaggio da Energia Chimica a Energia Termica e quindi Meccanica/Elettrica;

COMBUSTIBILE + COMBURENTE → ENERGIA + PRODOTTI DI COMBUSTIONE + LUCE

2 - **combustibili**: sostanze che reagendo con comburente (aria, O₂, ossidi ...) con reazione esotermica sviluppano energia; contengono elementi (e composti degli stessi) quali C H N S O...;

vedi classificazione (in rosso quelli di uso industriale), composizione, reazioni, prodotti finali, aria teorica e pratica...

3 - **prodotti** ultimi di combustione: CO₂ CO H₂O N_xO_y SO₂

...ceneri;

esempi di reazioni di combustione							
CH ₄ + O ₂ + N ₂ = CO ₂ + H ₂ O + N ₂ + O ₂							
MOLI	1	2	8	1	2	8	0
IN Kg	16	2x32	8x28	44	2x18	8x28	0
+10% ARIA	1	2,2	8,8	1	2	8,8	0,2

COMPOSIZIONE FUMI				
	Kmol	%vol	Kg	%peso
CO ₂	1	9	44	14
H ₂ O	2	18	36	12
N ₂	8	73	224	74
O ₂	0	0	0	0
tot	11	100	304	100

	SOLIDI	LIQUIDI	GASSOSI	ALTERNATIVI
NATURALI	LEGNA TORBA LIGNITE LITANTRACE ANTACITE	PETROLIO	GAS NATURALE (METANO)	BIOMASSE
ARTIFICIALI	COKE	DISTILLATI DA PETROLIO OLI DIESEL NAFTA.... ALCOOL	GPL GAS DA DPL GAS DA CARBONE GAS DI RAFFINERIA IDROGENO	

► **COMBUSTIBILI** - vedi altri documenti a parte: gas naturale – derivati dal petrolio – etanolo – biomasse -

TECNOLOGIA DELLA COMBUSTIONE:

POTERE CALORIFICO (P.C. ovv. ΔH_c) (vedi tabella fondo documento)

Il "potere calorifico" è la quantità massima di energia che si può ricavare bruciando completamente 1 Kg (solido/liquido) o 1 Nm³ (gas) di combustibile fino ai prodotti ultimi finali; unità= KJ/Kg, KJ/Nm³, (Kcal/Kg)

[standard commerciale 1m³ ISO 2533: a 101,3 kPa (1 atm) e 288.15K (15°C)]

Il **potere calorifico superiore (ΔH_{cs}^o)** è la quantità di calore che si rende disponibile per effetto della combustione completa a pressione costante della quantità unitaria del combustibile, quando i prodotti della combustione siano riportati alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente (25°C 1 atm); in esso è compreso il calore di condensazione del vapore d'acqua, se il combustibile contiene H.

Il **potere calorifico inferiore (ΔH_{ci}^o)** si definisce come potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapore d'acqua durante la combustione, quando i fumi escono a T>100°C; è quello usato nella pratica industriale (nelle combustioni normali i prodotti della combustione sono rilasciati a temperatura più alta di quella di riferimento del combustibile, così una parte del calore teoricamente disponibile si disperde per il riscaldamento dei fumi e, soprattutto, per la vaporizzazione dell'acqua prodotta dalla combustione).

Il potere calorifico superiore si determina direttamente mediante **calorimetri** (bomba calorimetrica di Mahler o apparecchi simili) in cui si fa avvenire una reazione stechiometrica completa tra un quantità ben determinata di combustibile e l'ossigeno. Il calore prodotto dalla reazione viene assorbito da una massa nota di acqua (o di altro liquido), di cui si misura l'aumento della temperatura; da qui si risale alla quantità di calore scambiata.

TEMPERATURE NOTEVOLI:

INFIAMMABILITA': temperatura di combustione dei vapori sviluppati dal combustibile (benzina 450°; CH₄ 760°; gpl 490°...);

ACCENSIONE: temp. di prosecuzione autonoma di combustione;

COMBUSTIONE: (teorica, quella effettiva è inferiore) massima temp. dei prodotti di una combustione completa, senza dispersioni, con aria teorica (vedi esempio nel riquadro).

REQUISITI DI UN BUON COMBUSTIBILE

Abbondanza in natura e facile reperibilità; basso costo; prodotti di combustione non nocivi; assenza umidità; Pot. Calorif. elevato; stato fisico migliore: gas > liquido > solido;

ARIA TEORICA E PRATICA

(aria. O₂:23%peso ,21%vol; N₂: 4 moli x mole O₂; 1Nm³=44,6 moli in c.s.)

a.teorica ≡ quantità di aria stechiometrica per la combustione;

a.pratica ≡ si opera con eccesso di aria necessario alla combustione, a seconda del tipo e stato fisico del combustibile:

At = ρ Ap (con ρ = 1,1- 1,2 per gas; =1,3 – 1,4 per liquidi; = 2 – 3 per solidi; aumento dovuto a stato fisico del combustibile diverso da quello dell'aria: più suddiviso, più basso ρ).

COMBUSTIBILE + COMBURENTE → FUMI + En.

En. = (ΔH_{ci}) pot.cal.inf.;

Determinazione T teorica di combustione:

En. = (ΔH_{ci}) = (ΔH_{fumi}) (=contenuto termico fumi)

(ΔH_{fumi}) = Σ contenuti termici_{sost.} (Kcal/Nm³) =

= Σ (vol.x H_{sost.})_{fumi}; con H_{sost.} funzione di T

da risolvere per tentativi;

es. combustione **C₄H₁₀(1 Nm³) → 4CO₂ + 5H₂O + 26N₂**

(ΔH_{ci}) = 29500 Kcal/Nm³;

a 1000°C : H_{sost.} -da tabelle- in Kcal/Nm³; T₀ = 0°C di riferim.

CO₂:409; H₂O:530; N₂:334; (ΔH_{fumi}) = 4x409 + ... = 12970 Kcal/Nm³ a 2000°C:

CO₂:1158; H₂O:928; N₂:712; (ΔH_{fumi}) = 27784 Kcal/Nm³ a 2200°C

CO₂:1287; H₂O:1040; N₂:790; (ΔH_{fumi}) = 30888 Kcal/Nm³

per tentativi successivi, e interpolazioni lineari, si determina T per la quale si ha uguaglianza (ΔH_{ci}) = (ΔH_{fumi}); → T: 2000/2200°C

RENDIMENTO DI COMBUSTIONE $\eta\%$

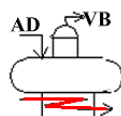
$\eta\% = \text{Energia utilizzabile} \times 100 / \text{Energia disponibile} = [\text{En.utile} - \text{calore sensibile fumi}] \times 100 / \text{Pot.Calorif.}$

$\eta\% = [(P.C. \times \alpha \times (1-\delta)) - (A_p + 1) \times c_m \times (T_u - T_i)] \times 100 / P.C.$

η è sempre < 1!! migliora se:

en.utile >> (vedi α e δ);

en.sensibile << (ρ basso; $T_u <$, con recupero en.; $T_i >$ con preriscaldamento aria)



α : coeff. bruciamento

= (% combustib. bruciato) ≤ 1

δ : coeff. dispersione ≤ 1 ; $(1-\delta)$ = en. non dispersa (tra le 0);

A_p : aria pratica; $(A_p + 1)$ = peso dei fumi per 1Kg combustibile;

c_m : calore specif. fumi

T_u : temp. uscita fumi; T_i : temp. ingresso aria

CONTROLLO DELLA COMBUSTIONE

controllo dell'efficienza della combustione-

fattori: T- tempo- mescolamento -tipo di bruciatore e camera combust.- analisi strumentale di CO₂ CO O₂ idrocarb. N₂ H₂O Nox;

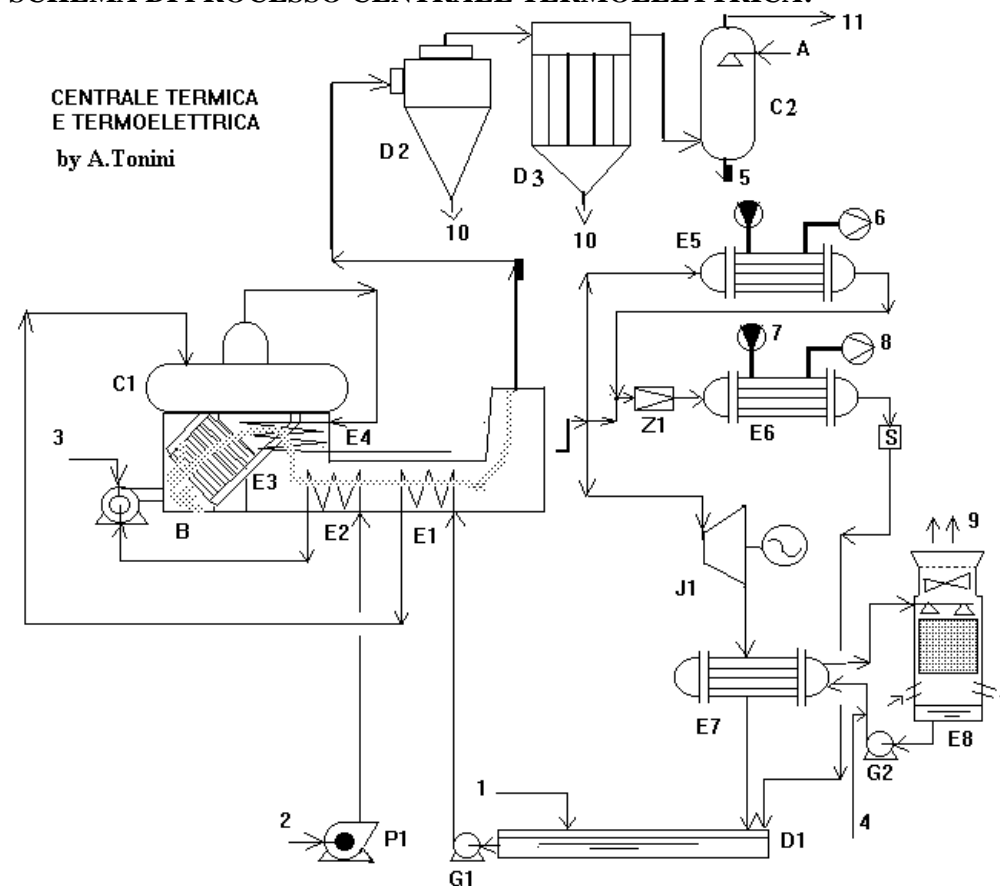
ESEMPIO ANALISI FUMI DI CALDAIA A METANO DOMESTICA:

O ₂ %	CO ₂ %	T _{fumi}	T _{aria}	ΔT	$\eta\%$	CO%
15,2	3,2	169°C	18°C	151°C	81	9ppm

APPARECCHIATURE

Caldaie – Bruciatori – Centrali termiche (produzione vapore) e termoelettriche (produzione vapore e en.elettrica)-

SCHEMA DI PROCESSO CENTRALE TERMOELETTRICA:



CENTRALE TERMOELETTRICA

LEGENDA APPARECCHIATURE:

- B FORNO
- C1 CALDAIA
- P1 SOFFIANTE ARIA
- E1,2 RECUPERATORI CALORE
- E3 SCAMBIATORE DI CALORE
- E4 SURRISCALDATORE
- D1 VASCA RACCOLTA CONDENSE
- D2 CICLONE DEPURATORE FUMI
- D3 FILTRO A MANICHE
- C2 TORRE ABBATTIMENTO A UMIDO
- E5 SCAMBIATORE ALTA PRESSIONE
- Z1 RIDUTTORE PRESSIONE
- E6 SCAMBIATORE BASSA P
- J1 TURBINA CON ALTERNATORE
- E7 CONDENSATORE
- E8 TORRE RAFFREDDAMENTO ACQUA

LEGENDA MATERIALI:

- 1 ACQUA DEMINERALIZZATA
- 2 ARIA
- 3 COMBUSTIBILE
- 4 ACQUA RAFFREDDAMENTO
- 5 ENTRATA FLUIDO DA RISCALDARE ALTA P.
- 6 USCITA FLUIDO DA RISCALDARE ALTA P.
- 7 ENTRATA FLUIDO DA RISCALDARE BASSA P.
- 8 USCITA FLUIDO DA RISCALDARE BASSA P.
- 9 USCITA ARIA UMIDA
- 10 USCITE POLVERI CENERI
- 11 USCITA FUMI DI COMBUSTIONE

DEPURAZIONE FUMI:

► vedi documento “depolverazione e depurazione fumi” a parte.

POTERE CALORIFICO INFERIORE – TABELLA ESEMPLI:

Combustibili		gassosi		[MJ/kg]
solidi	Potere calorico inferiore [MJ/ka]	Gas di petrolio liquefatto (GPL)		46,1
Legno secco	15,0	Gas di città'		≈ 30,0
Torba secca	13,0	Gas naturale		47,7
Carboni magri	32,4	Gas d'acqua		15,1
Antraciti	33,5	Gas d'altoforno		3,2
Coke metallurgico	30,0	Biogas		27,2
Coke di petrolio	34,2			
liquidi		Idrogeno H ₂		120,0
Benzina per aviazione	44,0	Monossido di carbonio CO		10,05
Cherosene	43,5	Metano CH ₄		50,0
Gasolio	43,3	Acetilene C ₂ H ₂		48,1
Petrolio greggio	39,8 ÷ 46,1	Etano C ₂ H ₆		47,5
Olio combustibile	40,0 ÷ 42,0	Etilene C ₂ H ₄		47,1
Metanolo CH ₃ OH	19,7	Propano C ₃ H ₈		46,3
		Butano C ₄ H ₁₀		45,6
		Butene C ₄ H ₈		45,2