



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

I Combustibili

Corso di MACCHINE [065IN]

Corso di MACCHINE MARINE [100IN]

Prof. Rodolfo Taccani

Prof. Lucia Parussini

Prof. Marco Bogar

Prof. Ronelly De Souza

A.A 2024/2025

I Combustibili

Definizione di combustibili

- I combustibili sono **sostanze chimiche** utilizzate per **generare energia** attraverso processi di combustione. Questa energia può essere convertita in **calore, luce o movimento**.

Tipi di combustibili

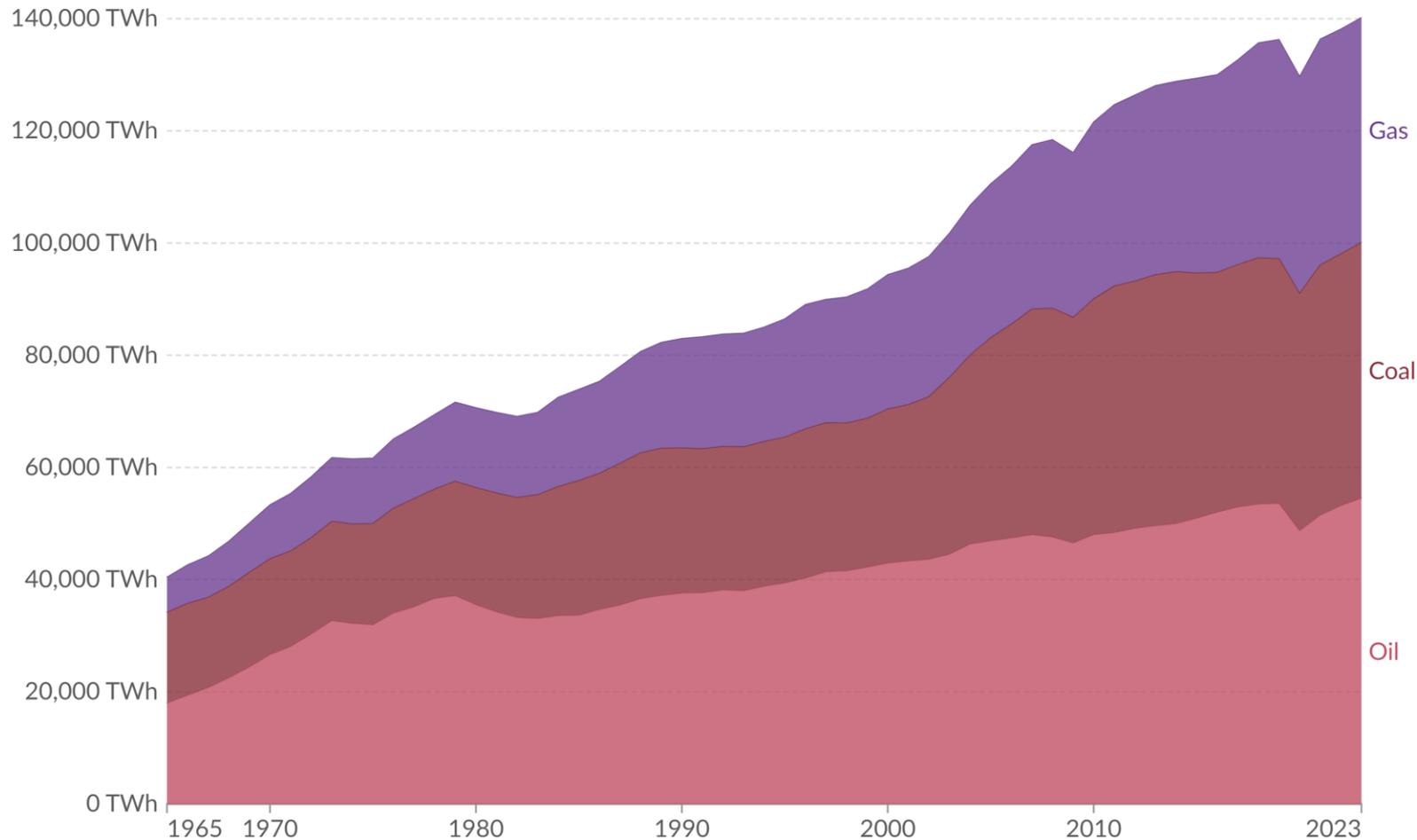
- I combustibili si dividono in tre categorie principali: **solidi, liquidi e gassosi**, ognuna con caratteristiche e applicazioni specifiche.

I Combustibili

Fossil fuel consumption by fuel type, World

Fossil fuel consumption is given in terawatt-hours (TWh).

Our World
in Data



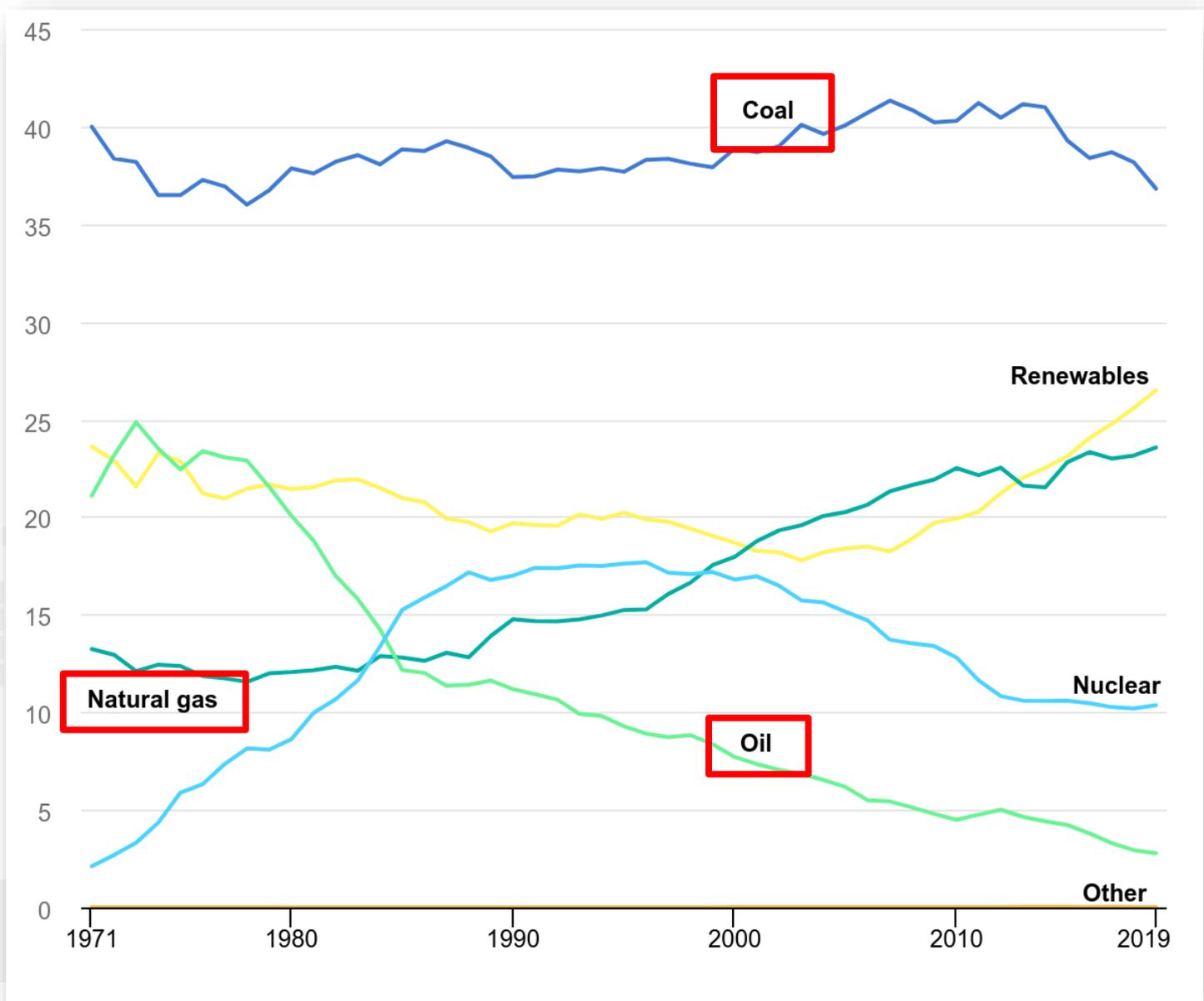
Data source: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024)

OurWorldinData.org/fossil-fuels | CC BY

I Combustibili

%

Mix di generazione elettrica mondiale per combustibile



I Combustibili Solidi

Esempio principale: Carbone

- Il carbone è il **combustibile solido per eccellenza**, composto principalmente da carbonio.
- Contiene anche **altre sostanze**, come lo **zolfo**, che possono influenzarne la qualità, presente in concentrazioni diverse a seconda della provenienza.

Composizione:

- Carbonio
- Idrogeno
- Ossigeno
- Azoto
- Zolfo

I Combustibili Solidi

Principali tipi di Carbone:

Antracite (86%–97% carbone): esempi di applicazioni includono la filtrazione dell'acqua, i sistemi di riscaldamento, la fusione, l'estrazione di solventi e la fusione di metalli.

Bituminoso (45%–86% carbone): utilizzato per generare elettricità ed è un importante combustibile e materia prima per la produzione di carbone da coke per l'industria siderurgica.

Sub bituminoso (35%–45% carbone): utilizzato principalmente come combustibile per la produzione di elettricità a vapore ed è un'importante fonte di materie prime utilizzate nell'industria chimica.

Lignite (25%–35% carbone): utilizzato quasi esclusivamente come combustibile per la produzione di elettricità.



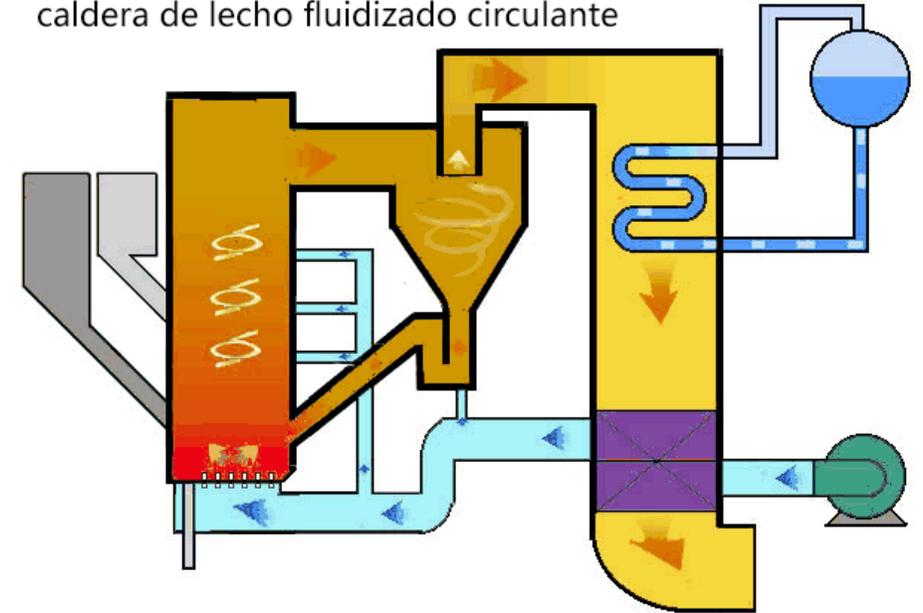
I Combustibili Solidi

Tecniche di combustione

Le tecniche includono

- riduzione a polverino
- gassificazione e
- l'uso di letto fluido per migliorare l'efficienza e ridurre le emissioni di zolfo.
- miscela acqua-polverino di carbone

Diagrama de funcionamiento de la caldera de lecho fluidizado circulante



I Combustibili Solidi

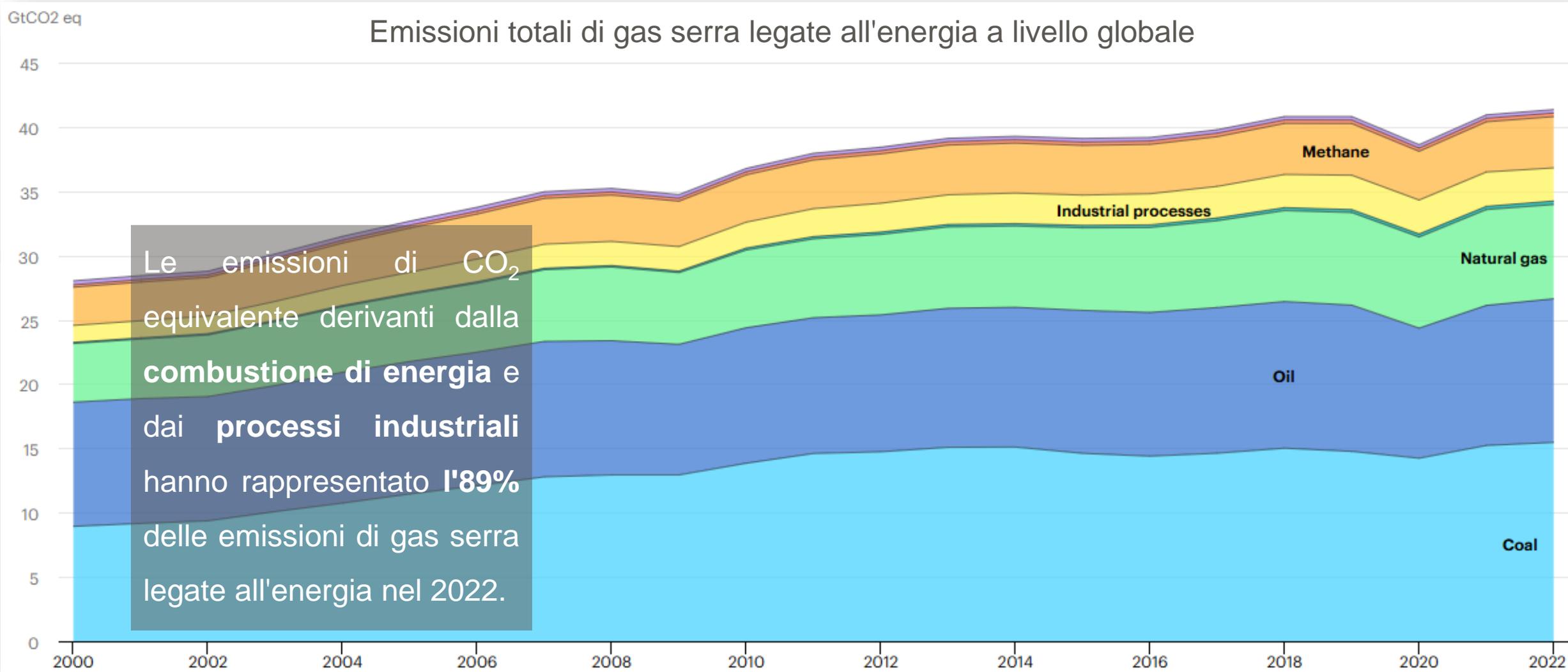
Vantaggi del Carbone

- Quantità delle riserve naturale
- Densità energetica
- Basso costo
- Molto facile da distribuire e non necessita di un luogo speciale per essere conservato
- Generazione di energia elettrica per il carico di base

Svantaggi del Carbone

- Impatto ambientale
 - Distruzione di ecosistemi
 - Utilizzo significativo di acqua
 - Generazione di rifiuti
- Emissioni di gas serra
- Rischi per la salute dovuti all'inquinamento atmosferico
- L'estrazione del carbone è pericolosa per i minatori

I Combustibili Solidi

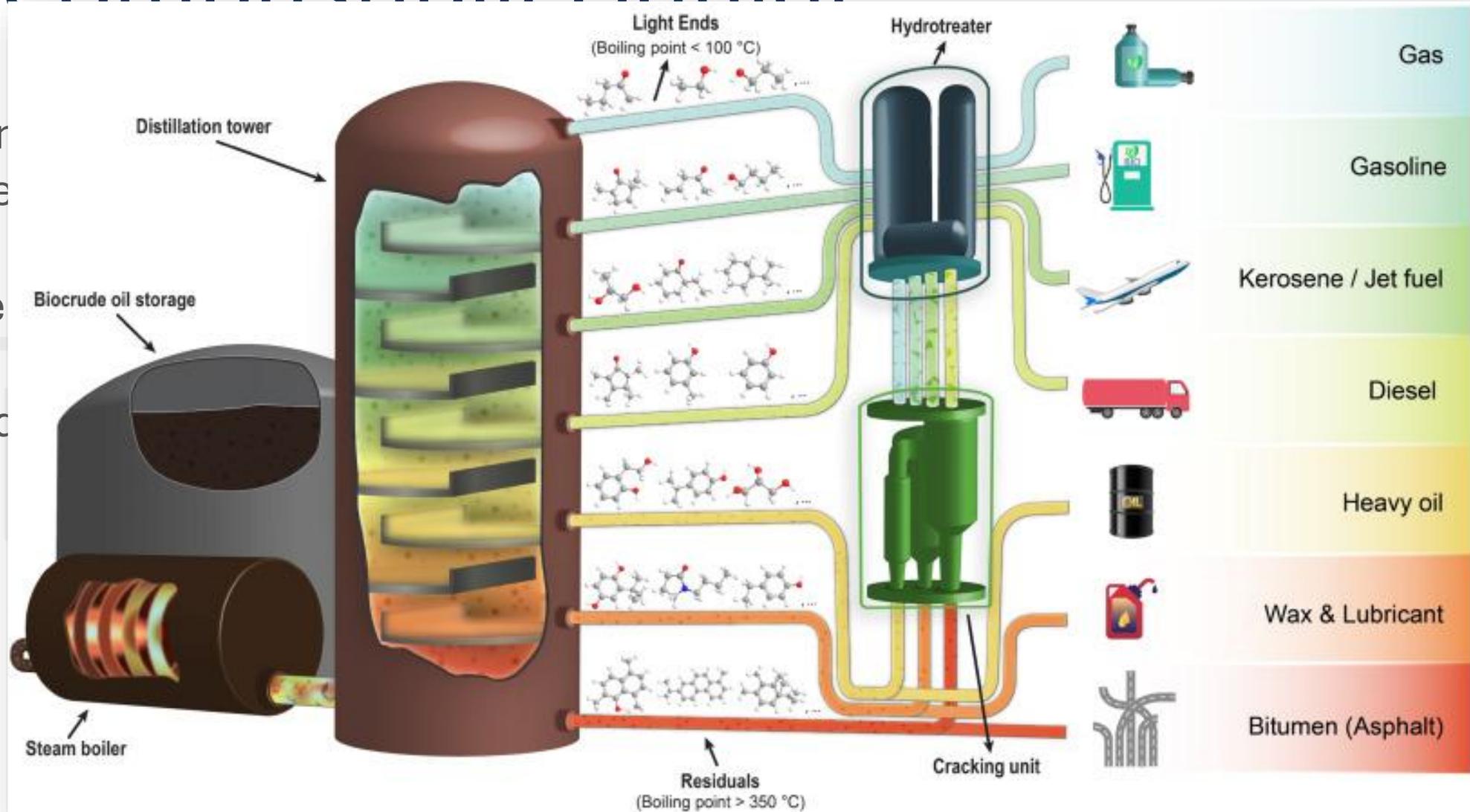


I Combustibili Liquidi

- I combustibili liquidi sono **miscele di idrocarburi derivati dal petrolio**, con formula generale C_nH_m .
- Ottenuti tramite **distillazione e cracking** del petrolio.
- Fondamentali per il settore **energetico** e i **trasporti**.

I Combustibili Liquidi

- I cor
gene
- Otte
- Fonc



ormula

I Combustibili Liquidi

- **Fino al 1974:** Predominanza della **distillazione a pressione atmosferica**; produzione di combustibili distillati (60%) e residui (40%).
- **Dopo la crisi petrolifera**, si è registrato un aumento della domanda di combustibili leggeri; diffusione della **distillazione sotto vuoto e cracking**.
- Risultato: Riduzione della proporzione di **combustibili residui** a meno del **10%**.

I Combustibili Liquidi

I **combustibili distillati leggeri** sono piuttosto **volatili**, relativamente **poco densi**, **poco viscosi**, contengono in **quantità limitate o nulle sostanze dannose** per l'ambiente e/o le macchine quali lo zolfo e producono con la combustione **quantità modeste o nulle di ceneri** e residui carboniosi. Appartengono a questa categoria:

- **benzina**, per motori ad accensione comandata
- **gasolio**, per motori ad accensione per compressione, turbine a gas, bruciatori per caldaie
- **benzina avio**, per motori aeronautici ad accensione comandata
- **kerosene**, per turbine a gas aeronautiche.

I Combustibili Liquidi

Parametri di Qualità

- **Viscosità:** Importante per il pompaggio e l'iniezione; deve essere $\leq 15-20$ cSt nei motori Diesel.
- **Densità:** Differenza rispetto all'acqua influisce sulla separazione nei filtri centrifughi.
- **Residuo carbonioso:** rappresenta la tendenza di un combustibile a formare **depositi di carbonio durante la combustione incompleta** o quando è sottoposto a temperature elevate in condizioni prive di ossigeno.

I Combustibili Liquidi

Contaminanti nei Combustibili

- **Zolfo:** Presente nel greggio; causa **piogge acide** e danni ai motori attraverso la formazione di **acido solforico** (H_2SO_4).
- **Vanadio e sodio:** provoca **corrosione e depositi**, compromettendo valvole e turbine.
- **Acqua:** Può causare erosione, cavitazione e grippaggi nelle pompe di iniezione.

I Combustibili Liquidi

Utilizzi dei Combustibili Liquidi

- **Distillati leggeri:** Utilizzati nella trazione su strada, aeronautica, applicazioni domestiche.
- **Distillati intermedi e residui:** Usati in applicazioni industriali, produzione di energia elettrica, propulsione navale.

I Combustibili Liquidi

Classificazione dei Combustibili Navali

Marine Diesel Oil (MDO): Ottenuti da distillazione intermedia, usati in motori a quattro tempi veloci.

Heavy Fuel Oil (HFO): Combustibili residui per motori a quattro tempi semi veloci e due tempi.

I Combustibili Liquidi

Classificazione dei Combustibili Navali

Organismi internazionali:

- British Standard Institution (BSI)
- Conseils International des Machines a Combustion (CIMAC), che ha ottenuto lo status consultivo presso l' International Maritime Organization (IMO).
- International Organization of Standardization (ISO)

Classificazione in base al tenore di zolfo:

- ATZ (Alto Tenore di Zolfo)
- BTZ (Basso Tenore di Zolfo)

I Combustibili Liquidi

Classificazio

Organismi interr

- British Standard

- Conseils Internat
status consul

- International

Classificazione

- ATZ (Alto Tenc

- BTZ (Basso Te

Tab. VI.1 - Standards ISO di un Distillate Marine Fuel,

DMX (Marine Gas Oil MGO)

DMA (Light Diesel Oil LDO)

DMB (Marine Diesel Oil MDO)

DMC (Blended Marine Diesel Oil BMDO)

ISO (Standards DIS8217)		Denominazione			
		DMX	DMA	DMB	DMC
Densità a 15 °C [g/ml]	max		0,890	0,900	0,920
Viscosità a 40 °C [cSt]	max	5,5	6,0	11,0	14,0
Flash point [°C]	min	43	60	60	60
Pour point [°C]					
			- 6	0	0
			0	6	6
Cloud point [°C]	max	- 16			
Residuo Carbonioso [% in massa]	max		0,20	0,25	2,5
Ceneri [% in massa]	max	0,01	0,01	0,01	0,05
Numero di cetano	min	45	40	35	
Zolfo [% in massa]	max	1,0	1,5	2,0	2,0
Vanadio [mg/kg]	max				100

ha ottenuto lo

I Biocombustibili Liquidi

Cosa sono i biocombustibili liquidi

Sono combustibili ottenuti dalle **biomasse** (utilizzabili per alimentare motori a combustione interna) e rappresentano una valida alternativa ai combustibili fossili.

Bilancio energetico

Energia per la
produzione del
biocombustibile



**Biocombustibili
liquidi**



Energia ricavata
dal
biocombustibile

Spesso, questo rapporto è all'intorno di 1, ma i valori più comuni si attestano attorno a 2.

I Biocombustibili Liquidi

Biocombustibili di prima generazione

Comprendono **oli vegetali puri, biodiesel, bioetanolo** prodotto da cereali e materie prime zuccherine, e biogas. Questi sono utilizzati spesso in miscela con combustibili fossili.

Biocombustibili di seconda generazione

Ottenuti da materie prime ligno-cellulosiche, come scarti di lavorazioni agro-forestali. Sono considerati più sostenibili dal punto di vista eco-socio-economico e **presentano un bilancio energetico favorevole (da due a dodici)**, ma sono attualmente prodotti solo in piccoli impianti sperimentali.

I Biocombustibili Liquidi

Biocomb

Compre
cereali e
spesso in

Biocomb

Ottenuti
agro-fore
socio-eco
due a de
sperimen



lotta da
utilizzati

vorazioni
sta eco-
vole (da
impianti

I Biocombustibili Liquidi

Origine e Produzione

Oli vegetali

Sono estratti **direttamente da piante attraverso processi meccanici**, simili a quelli utilizzati per la produzione di oli alimentari. Non subiscono trasformazioni chimiche significative e possono essere **utilizzati in motori Diesel solo se opportunamente adattati**.

Biodiesel

Prodotto tramite un processo chimico chiamato **transesterificazione**, che converte oli e grassi (sia vegetali che animali) in esteri metilici.

I Biocombustibili Liquidi

Proprietà Fisiche

Oli vegetali

Tendono ad avere una **viscosità più elevata rispetto al gasolio**, il che può causare problemi di iniezione nei motori non modificati.

Biodiesel

Ha una densità energetica e una **viscosità simili a quelle del gasolio**, il che consente un utilizzo più flessibile nei motori Diesel senza necessità di modifiche sostanziali. Può essere utilizzato puro o in miscela con il gasolio (dal 5% al 20%).

I Biocombustibili Liquidi

Utilizzo nei Motori

Oli vegetali

L'uso diretto nei motori a combustione interna è sconsigliato per i veicoli di normale produzione, poiché richiede modifiche significative all'impianto d'iniezione e alle guarnizioni.

Biodiesel

Può essere impiegato puro o miscelato con gasolio convenzionale senza necessità di modifiche importanti ai motori.

I Biocombustibili Liquidi

Impatto Ambientale

Oli vegetali

Sebbene siano rinnovabili, l'uso diretto può comportare problemi legati alla **sostenibilità delle coltivazioni** e all'uso del suolo.

Biodiesel

Generalmente considerato più sostenibile rispetto agli oli vegetali puri, poiché il suo processo di produzione **può utilizzare scarti agricoli e altre biomasse non alimentari**.

I Biocombustibili Liquidi

Bioetanolo

Produzione e utilizzo

Il bioetanolo è **l'alcol etilico prodotto dalla fermentazione degli zuccheri** presenti nella biomassa. È utilizzabile **puro o in miscela con la benzina** (dal 50% al 20%) nei motori a ciclo Otto.

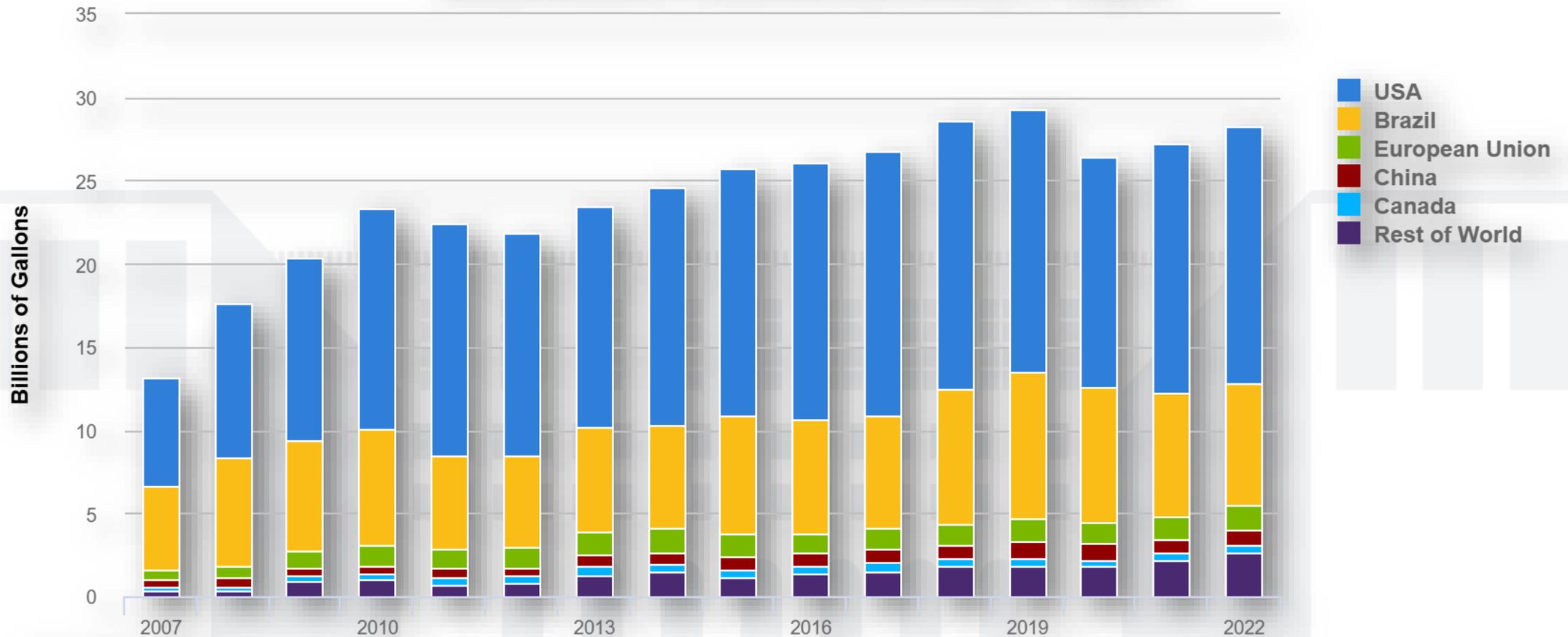
Caratteristiche

Presenta densità energetica, accendibilità e viscosità **simili alla benzina**, rendendolo un'alternativa praticabile ai carburanti tradizionali.

I Biocombustibili Liquidi

Bioetanolo

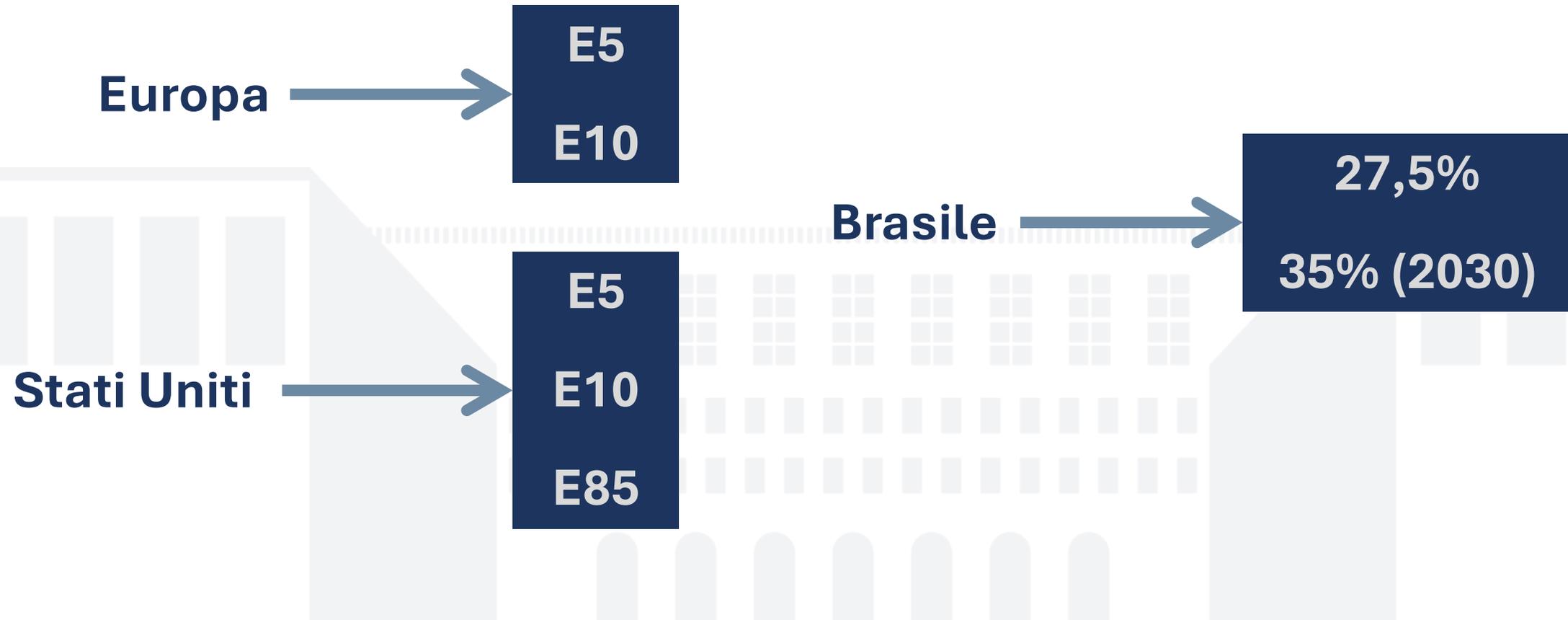
Global Ethanol Production by Country or Region



Last updated: January 2024
Printed on: November 17

I Biocombustibili Liquidi

Bioetanolo miscelato alla benzina:



I Combustibili Gassosi

Gas Naturale: combustibile gassoso più utilizzato, composto principalmente da metano (CH_4) e piccole quantità di altri gas variabili a seconda del giacimento.

Vantaggi:

- Alta efficienza di combustione senza pretrattamenti.
- Bassi livelli di inquinamento, assente di zolfo.
- Riserve naturali abbondanti.

Limitazioni: Difficoltà di utilizzo in applicazioni non terrestri e costi elevati. Utilizzo navale in crescita a causa delle normative sulle emissioni.

I Combustibili Gassosi

Gas
meta

Wood sustainable

Natural gas

Refinery gas

LPG

Gasoline

Kerosene

Crude oil

Fuel oil

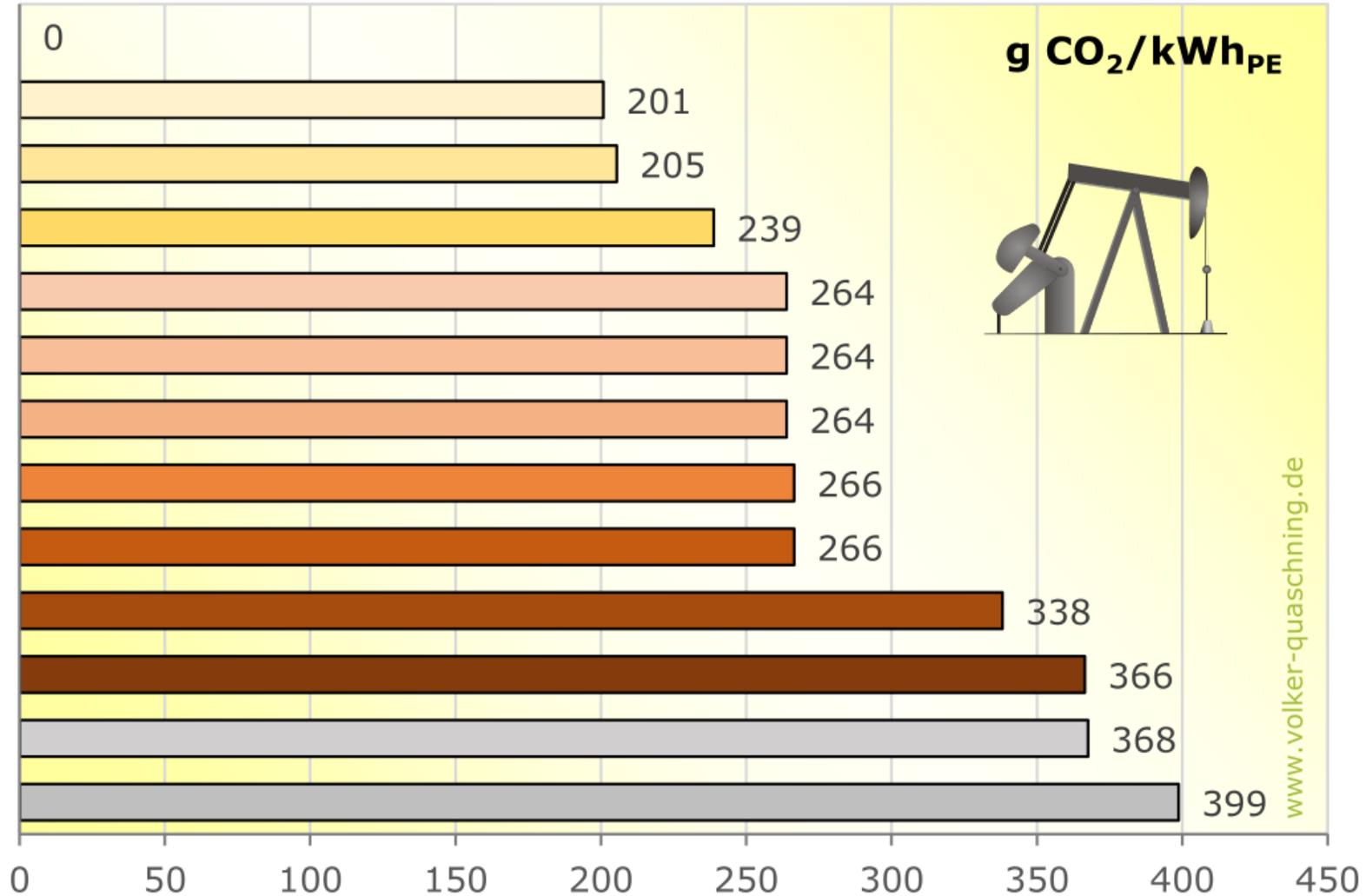
Diesel

Hard coal

Peat

Wood not sustainable

Lignite



g CO₂/kWh_{PE}



www.volker-quaschnig.de

Livello di emissioni più basso tra i combustibili fossili

• Ri

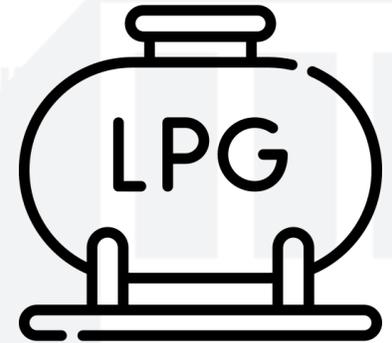
Limit

nava

I Combustibili Gassosi

Gas di Petrolio Liquefatto (GPL):

- Miscela di **propano** (C_3H_8) e **butano** (C_4H_{10}).
- **Stoccato in forma liquida** sotto pressione (circa 3 bar), diventa gassoso a pressione atmosferica.
- Utilizzato in applicazioni **domestiche** e per **autotrazione**.



I Biocombustibili Gassosi

Biogas

Prodotto dalla **digestione anaerobica** dei liquami zootecnici e dai rifiuti solidi urbani nelle discariche.

Composizione: Miscela variabili di CH_4 , CO e altri componenti; la densità energetica dipende dalla materia prima e dal processo tecnologico.

Può sostituire il gas naturale in vari contesti:

- Motori a ciclo Otto senza modifiche significative.
- Motori Diesel adattati per funzionare secondo il ciclo Otto o in modalità dual-fuel (iniezione pilota a gasolio).



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Combustione

Corso di MACCHINE [065IN]

Corso di MACCHINE MARINE [100IN]

Prof. Rodolfo Taccani

Prof. Lucia Parussini

Prof. Marco Bogar

Prof. Ronelly De Souza

A.A 2024/2025

Combustione

La combustione è una **reazione chimica di ossidazione** rapida ed esotermica che produce calore e luce.

Per ottenere una combustione sono necessarie almeno due sostanze: un **combustibile** e un **comburente**. L'ossigeno, o più comunemente l'aria, funge da comburente.



Combustione

Campo di Infiammabilità

- Una **miscela gassosa di combustibile e comburente** brucerà solo se la **concentrazione del combustibile** si trova all'interno di un campo definito da un limite inferiore e uno superiore di infiammabilità.

Temperature di Accensione (TA)

- La TA o di autoignizione è quella alla quale una **miscela gassosa inizia a bruciare senza innesco** esterno.

Temperatura di infiammabilità (TI)

- La TI è quella alla quale il combustibile produce **vapori sufficienti** per raggiungere il **limite inferiore di infiammabilità**.

Combustione

- La combustione **può innescarsi** anche quando la miscela, pur non raggiungendo la temperatura di auto ignizione **si trova all'interno del campo di infiammabilità** e viene fornita una **certa quantità di energia**.
- Un esempio di tale innesco è rappresentato dai **motori ad accensione comandata** (motori a benzina), dove l'energia necessaria all'innesco della combustione è fornita dallo scoccare della **scintilla nelle candele**.
- **L'energia minima di innesco** dipende sia dalla **miscela**, sia dalle **condizioni termodinamiche** del sistema (pressione e temperatura).

Combustione

Fiamme Premiscelate e Non Premiscelate

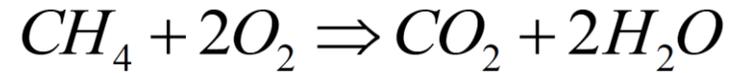
- Le **fiamme premiscelate** si formano quando combustibile e comburente sono **mescolati prima della combustione**, mentre le **fiamme non premiscelate** si formano quando i due componenti **si mescolano durante il processo** di combustione.

Classificazione in Funzione del Moto

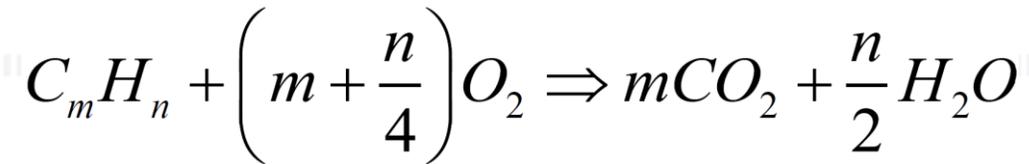
- Fiamme premiscelate turbolente: camere di combustione dei motori a combustione interna.
- Fiamme non premiscelate laminari: combustione del legno o fiamma di una candela.

Chimica della Combustione

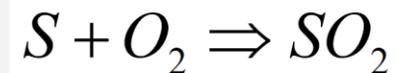
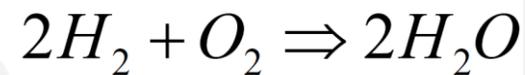
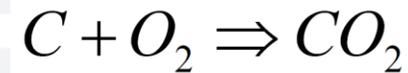
Combustione del metano:



Formula generale per la reazione di un idrocarburo:

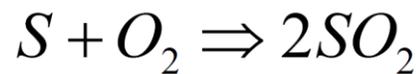
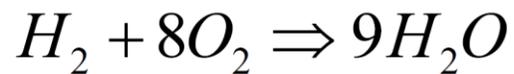
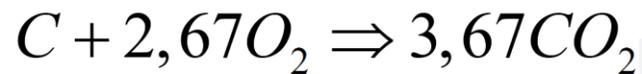
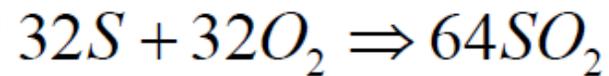
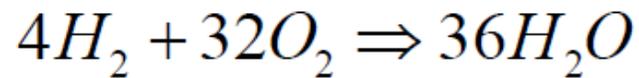
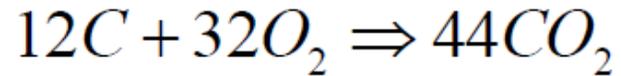


È possibile scomporre le equazioni in una serie di reazioni elementari, tenendo conto che un carburante è spesso costituito anche da zolfo:



Chimica della Combustione

Ragionando in termini massici:



1 kmole	kg
C	12
O ₂	32
S	32
H ₂	2

Rapporto stechiometrico ossigeno combustibile:

$$m_{O_2,s}^* = 2,67[C] + 8[H] + [S]$$

oppure

$$m_{O_2,s}^* = 2,67[C] + 8[H] + [S] - [O]$$

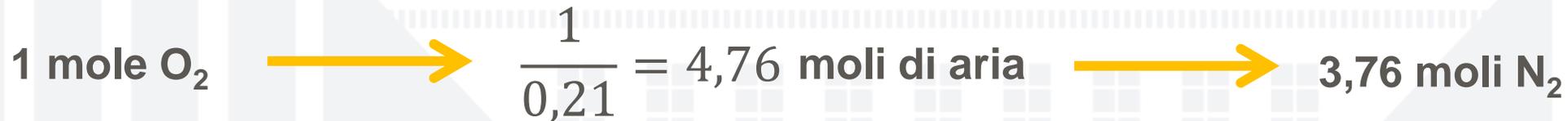
$$\left[\frac{kg_{oss}}{kg_{comb}} \right]$$

Chimica della Combustione

Tuttavia, solitamente si utilizza l'aria come comburente.

In volume: 21% di ossigeno più 79% di azoto

In massa: 23% di ossigeno più 77% di azoto

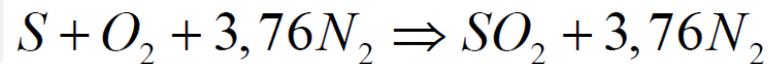
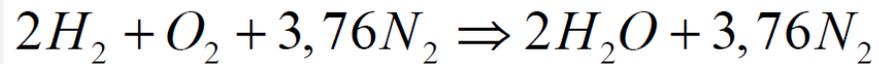
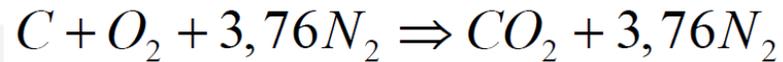
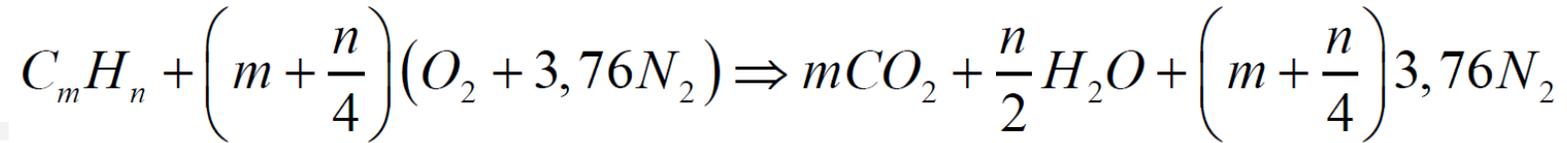
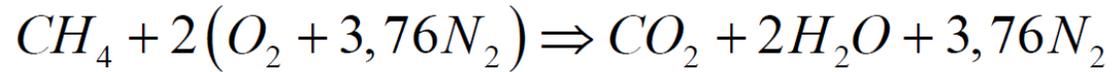


Approssimazione:

Azoto non reagisce con $O_2 \rightarrow$ nel calcolo ritroveremo 3,76 moli di N_2 nei prodotti.

Chimica della Combustione

Poi, le reazioni si trasformano nelle:



La massa relativa di aria stechiometrica è uguale a:

$$m_{a,s}^* = \frac{1}{0,23} m_{O_2,s}^* = 11,5[C] + 34,5[H] + 4,32[S] - 4,32[O]$$

$$\left[\frac{kg_a}{kg_{comb}} \right]$$

Chimica della Combustione

Calcolo della massa specifica dei fumi:

$$m_{f,s}^* = m_{a,s}^* + 1 - [\text{ceneri}] \left[\frac{\text{kg}_f}{\text{kg}_{comb}} \right]$$

In teoria, l'ossidazione completa dovrebbe essere assicurata utilizzando la quantità stechiometrica di ossigeno o di aria. Tuttavia, nella pratica, **i tempi di reazione sono finiti e la reazione non viene completata.**

Soluzione: **Eccesso d'aria** →

$$\varepsilon = \frac{m_a^* - m_{a,s}^*}{m_{a,s}^*}$$

- $\varepsilon = 30\%$ Comb. solidi
- $\varepsilon = 20\%$ Comb. liquidi
- $\varepsilon = 10\%$ Comb. gassosi

m_a^*
massa specifica d'aria
effettivamente impiegata

Chimica della Combustione

La massa d'aria effettiva vale:

$$m_a^* = (1 + \varepsilon)(11,5[C] + 34,5[H] + 4,32[S] - 4,32[O])$$

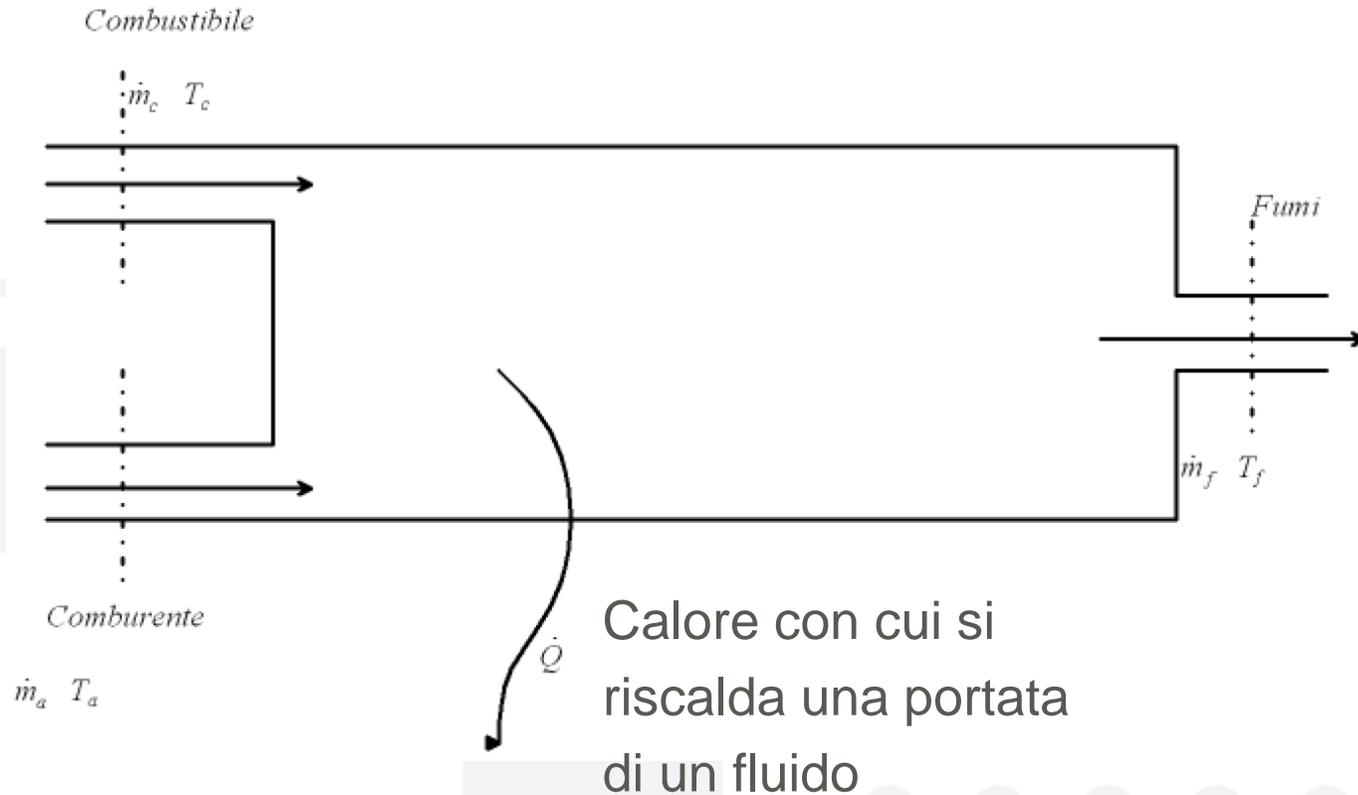
Calcolo della massa specifica dei fumi:

$$m_f^* = m_a^* + 1 - [\text{ceneri}] \left[\frac{\text{kg}_f}{\text{kg}_{comb}} \right]$$

Dal **punto di vista energetico** conviene ridurre al **minimo indispensabile** l'**eccesso d'aria** in quanto, aumentando la massa dei **fumi scaricati** in atmosfera, si aumenta anche l'**energia dispersa** nell'ambiente.

Combustione – bilancio energetico

schematizzazione di un generatore di calore



Supposizioni:

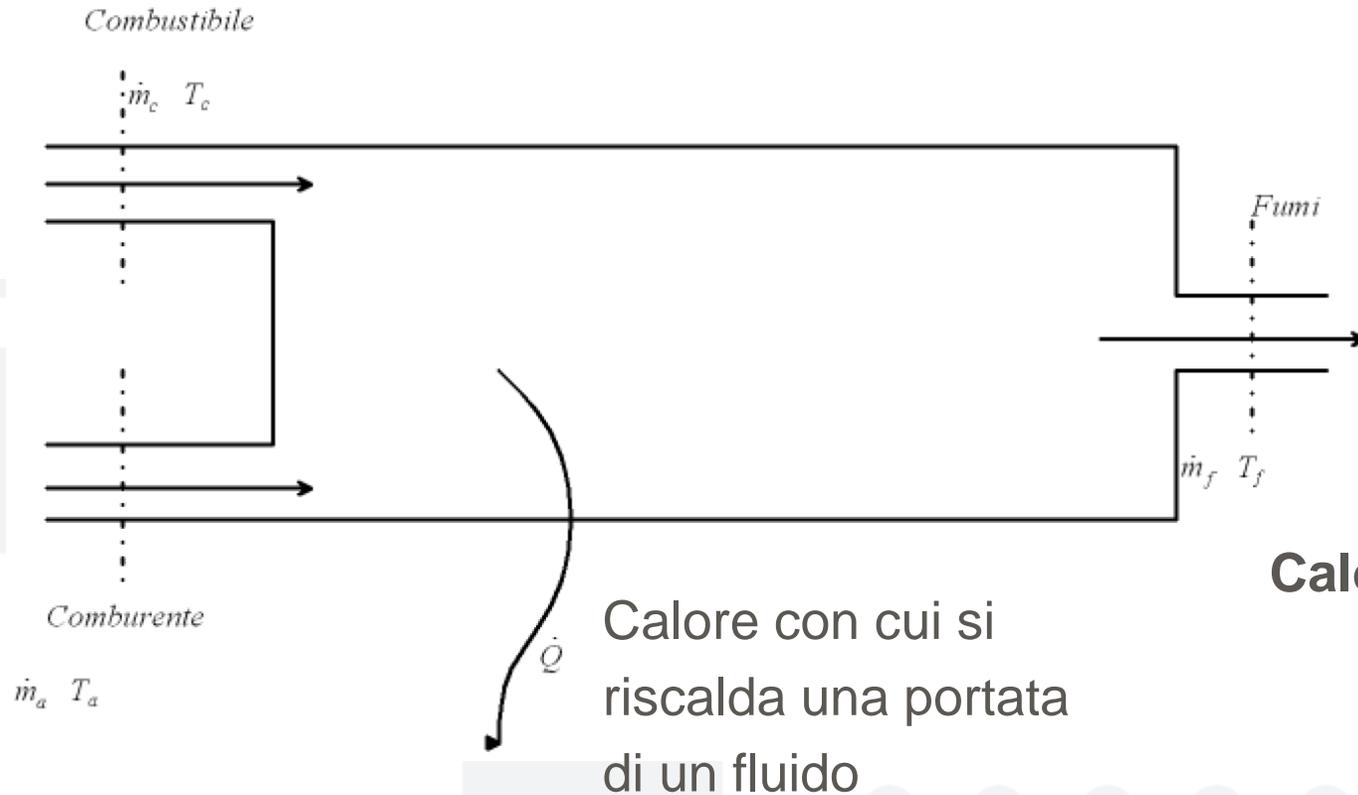
- combustibile, comburente e fumi in fase gassosa.
- comportamento di gas ideale e, quindi, dipendenza dell'entalpia dalla sola temperatura.
- ossidazione completa.
- mancanza di ceneri.
- variazione nulla di energia cinetica e potenziale tra ingresso e uscita.

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a + \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a h_a(t_a) + \dot{m}_c h_c(t_c) = \dot{Q} + \dot{m}_f h_f(t_f)$$

Combustione – bilancio energetico

schematizzazione di un generatore di calore



$$\dot{m}_f = \dot{m}_a + \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_a h_a(t_a) + \dot{m}_c h_c(t_c) = \dot{Q} + \dot{m}_f h_f(t_f)$$

Calore per unità di massa del combustibile:

$$q = h_c(t_c) + (1 + \varepsilon) \dot{m}_{a,s}^* h_a(t_a) - \dot{m}_f^* h_f(t_f)$$

Combustione – bilancio energetico

Se supponiamo:

$$t_a = t_c = t_f = t_0$$

Il calore scambiato dal sistema sarà:

$$q^0 = h_c(t_0) + (1 + \varepsilon)m_{a,s}^*h_a(t_0) - m_f^*h_f(t_0)$$

L'entalpia totale dei fumi è uguale alla somma **dell'entalpia totale dei fumi in condizioni stechiometriche** più **l'entalpia totale dell'aria che non ha reagito con il combustibile**.

$$m_f^*h_f(t_0) = m_{f,s}^* \left[h_f(t_0) \right]_s + \varepsilon m_{a,s}^* h_a(t_0)$$

Potere calorifico del combustibile:

$$q^0 = h_c(t_0) + m_{a,s}^* h_a(t_0) - m_{f,s}^* \left[h_f(t_0) \right]_s$$

- si vede che il **calore** prodotto è **indipendente dall'eccesso d'aria**
- **non dipende neppure dal comburente** nel senso che **posso utilizzare ossigeno puro o aria** ed ottengo lo stesso risultato

Combustione – bilancio energetico

Potere calorifico del combustibile:

$$q^0 = h_c(t_0) + m_{a,s}^* h_a(t_0) - m_{f,s}^* [h_f(t_0)]_s$$

Quantità di **calore estraibile dalla combustione** completa di 1 kg di combustibile all'interno di un sistema aperto qualora i **fumi siano raffreddati fino alla temperatura iniziale** dei reagenti.

Per avere una definizione univoca del potere calorifico bisogna:

- definire la temperatura di riferimento; di solito si considerano 0 15 o 25 °C
- definire lo stato iniziale del combustibile
- dichiarare lo stato dell'acqua che si ottiene nella reazione

Combustione – bilancio energetico

Potere calorifico superiore (H_s)

L'acqua prodotta nella reazione si trova alla fine del processo allo stato liquido, una volta che ha ceduto ai fumi il suo calore latente di condensazione.

Potere calorifico inferiore (H_i)

L'acqua prodotta nella reazione è rimasta allo stato di vapore in miscela con i fumi.

I due poteri calorifici sono legati dalla relazione

$$H_s = H_i + m_{H_2O}^* r_0$$

calore latente di evaporazione

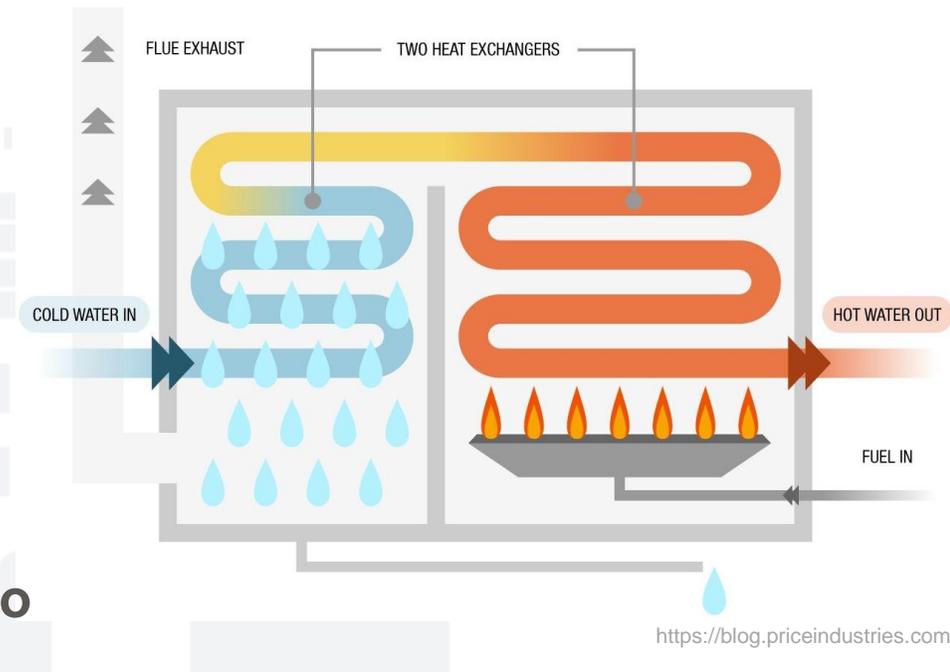
Combustione – bilancio energetico

Potere calorifico inferiore (PCI):

- Riferimento comune per **evitare la condensazione dell'acqua** nei condotti di scarico.
- La **condensazione può formare acido solforico** se è presente zolfo nel combustibile, causando corrosione dei materiali metallici.

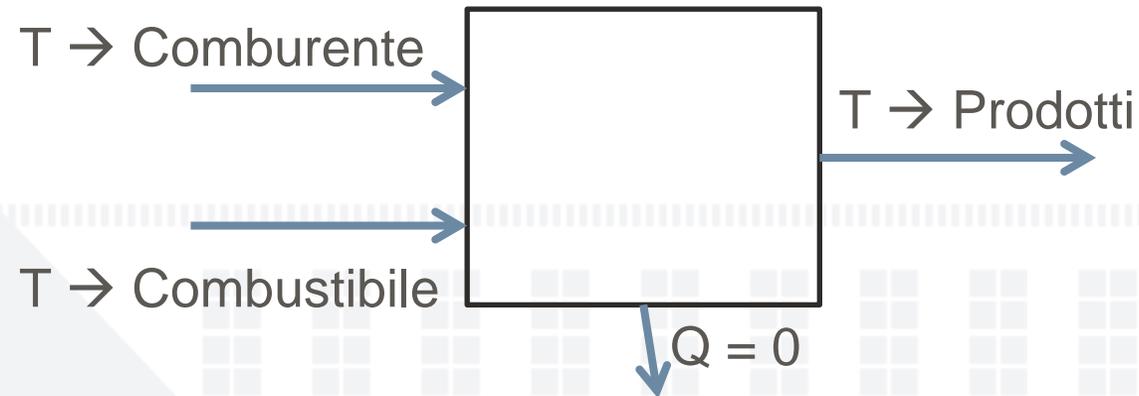
Eccezione: Caldaie a condensazione:

- Obbligatorie nei nuovi impianti di riscaldamento.
- Funzionamento:
 - L'acqua di ritorno scorre in uno scambiatore di calore in controcorrente ai fumi di scarico.
 - La condensazione dell'acqua nei fumi permette il **recupero di energia**.



Temperatura teorica di fiamma

Supponiamo di avere una reazione chimica e di voler sapere qual è la temperatura massima che si può ottenere da questa reazione chimica.



La **temperatura che i fumi raggiungerebbero** in una combustione **senza scambio termico** con l'esterno e **senza dissociazione dei prodotti** della combustione.

Temperatura teorica di fiamma

calore prodotto da
una combustione
generica
(gas ideale)

$$q = H + c_{p,c} \Big|_{t_0}^{t_c} (t_c - t_0) + m_a^* c_{p,a} \Big|_{t_0}^{t_a} (t_a - t_0) - m_f^* c_{p,f} \Big|_{t_0}^{t_f} (t_f - t_0)$$

Red arrows point from the terms $c_{p,c} \Big|_{t_0}^{t_c} (t_c - t_0)$ and $m_a^* c_{p,a} \Big|_{t_0}^{t_a} (t_a - t_0)$ to a '0' below them, indicating they are zero.

Con
 $q = 0$
e
 $t_c = t_0$

$$H + m_a^* c_{p,a} \Big|_{t_0}^{t_a} (t_a - t_0) = m_f^* c_{p,f} \Big|_{t_0}^{t_f} (t_{ad} - t_0)$$

$$t_{ad} = t_0 + \frac{H + m_a^* c_{p,a} \Big|_{t_0}^{t_a} (t_a - t_0)}{m_f^* c_{p,f} \Big|_{t_0}^{t_f}}$$

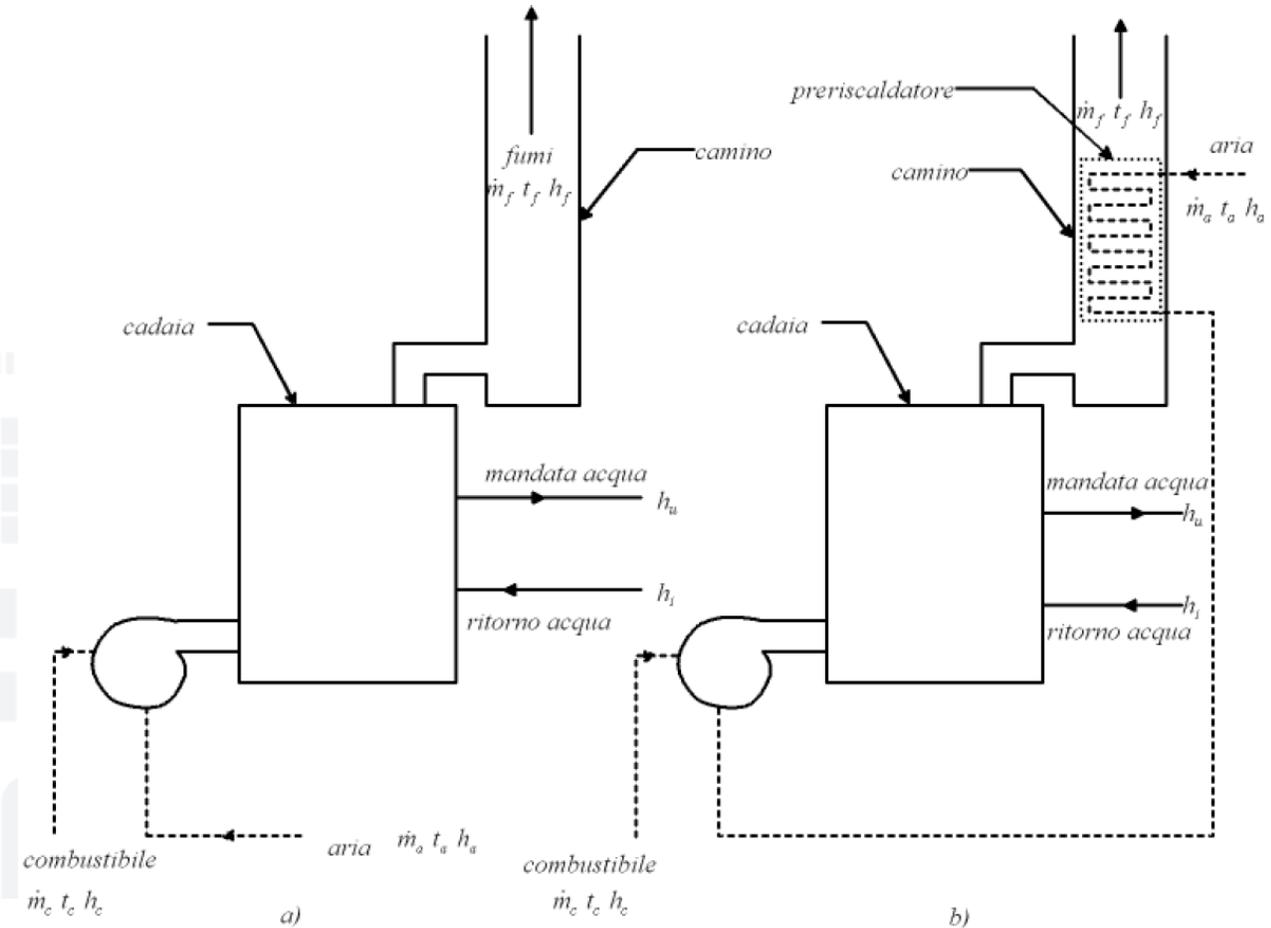
Si tratta di un'informazione estremamente importante, perché ci **consentirà di progettare la camera di combustione** in modo che le **proprietà del materiale** che stiamo studiando siano **in grado di sostenere questa temperatura elevata**.

Rendimento di un generatore di calore

Rapporto tra la potenza termica fornita all'acqua e la potenza termica fornibile dal combustibile.

$$\eta_G = \frac{\dot{m}_{H_2O} (h_u - h_i)}{\dot{m}_c H_i}$$

$$\eta_G = 1 - \frac{\sum P_i}{\dot{m}_c H_i}$$

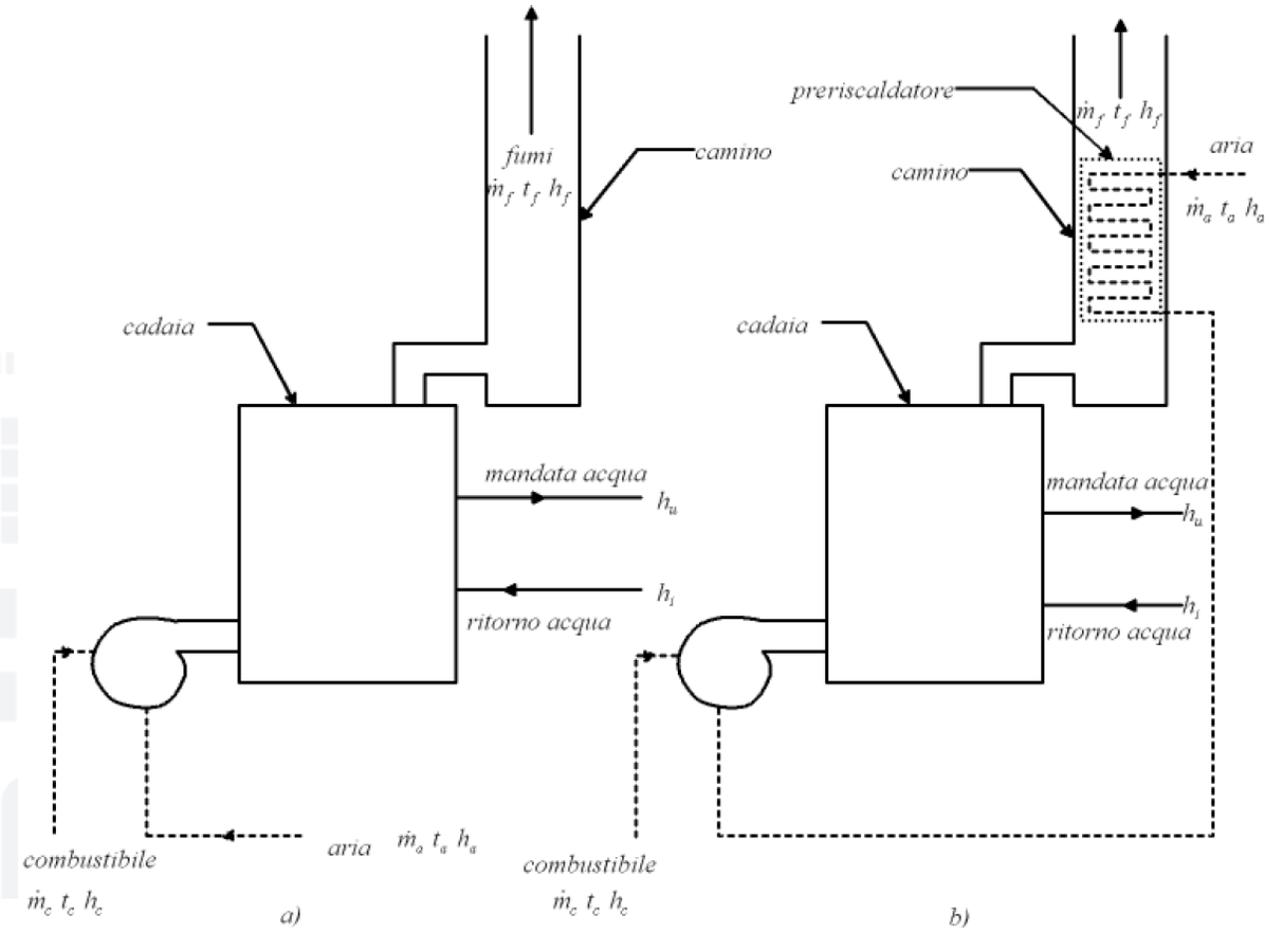


Rendimento di un generatore di calore

$$\eta_G = 1 - \frac{\sum P_i}{\dot{m}_c H_i}$$

- **Perdite per incombusti:** non tutto il combustibile riesce a bruciare. Valore molto piccolo → bruciatori moderni a metano.
- **Perdite attraverso il mantello:** sono dovute alla trasmissione termica verso l'ambiente circostante attraverso l'involucro della caldaia. Vengono riportate nella scheda tecnica della caldaia; altrimenti per i calcoli di prima approssimazione ci si può riferire alla norma UNI 10348.
- **Perdite al camino:** sono le perdite più rilevanti, legate all'entalpia dei fumi emessi in atmosfera.

$$P_f = \frac{\dot{m}_f^* c_{p,f} (t_f - t_0)}{H_i}$$

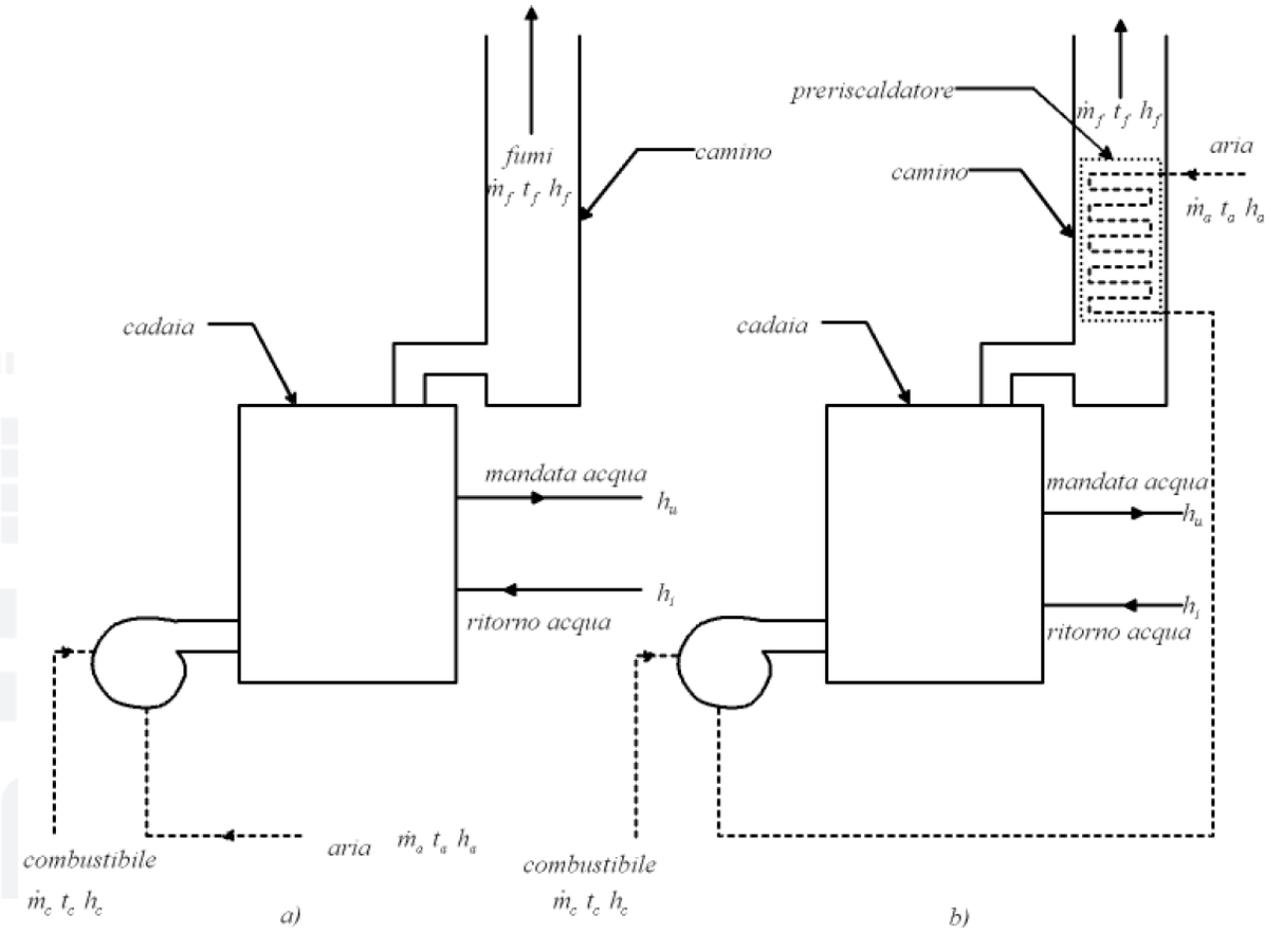


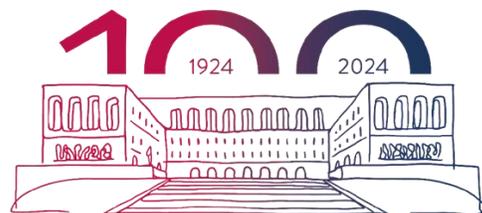
Rendimento di un generatore di calore

$$\eta_G = 1 - \frac{\sum P_i}{\dot{m}_c H_i}$$

Tipo di generatore	Pd [%]
In ottimo stato ad alto rendimento	$1,72 - 0,44 \log\left(\frac{\phi_n}{1000}\right)$
In ottimo stato	$3,45 - 0,88 \log\left(\frac{\phi_n}{1000}\right)$
Obsoleto e mediamente isolato	$6,90 - 1,76 \log\left(\frac{\phi_n}{1000}\right)$
Obsoleto e male isolato	$8,63 - 2,20 \log\left(\frac{\phi_n}{1000}\right)$
Obsoleto e privo di isolamento	$10,35 - 2,64 \log\left(\frac{\phi_n}{1000}\right)$

$\phi_n \rightarrow$ potenza nominale del generatore (W)





**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**

ia **dipartimento
di ingegneria
e architettura**

Ronelly De Souza

ronellyjose.desouza@dia.units.it

www.units.it