

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

***Caldaia ad idrogeno:
analisi delle prestazioni e confronto
con una tradizionale***

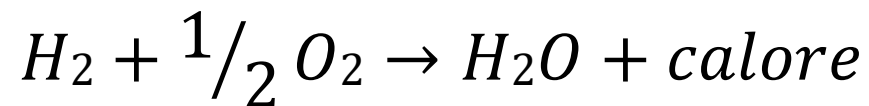
Tutor universitario: Prof. ing. Anna Stoppato

Padova, 19/09/2022

Laureando: *Cristian Chiper*

Sfruttando la tecnologia delle caldaie a idrogeno, è possibile ridurre notevolmente il problema delle emissioni d'inquinanti provenienti dai sistemi di riscaldamento dell'acqua calda utilizzata per scaldare gli ambienti e a uso sanitario.

Osservando la sua combustione, in condizioni stechiometriche, si ha la seguente reazione chimica:



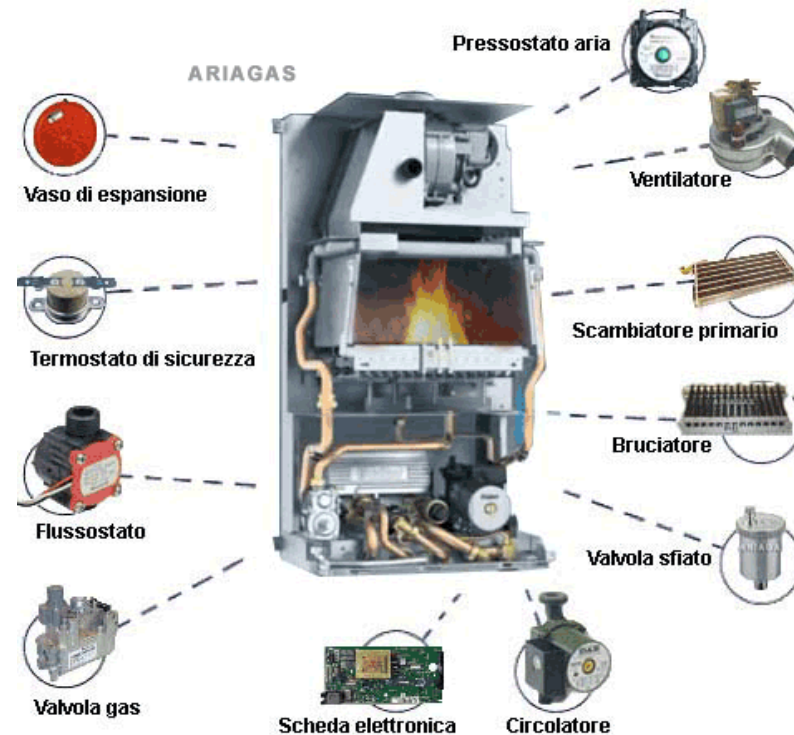
Durante l'esperienza svolta presso la Bertelli & Partners, mi è stato possibile osservare come è costruita e come funziona una caldaia a idrogeno, in modo da poterne vedere le differenze con una a metano.



Lo schema idraulico di una caldaia monotermica a metano può ritenersi applicabile anche per una caldaia a idrogeno, poiché la componentistica varia solo per pochi pezzi.

Le differenze principali si riscontrano all'interno della camera di combustione e sono:

- il bruciatore;
- la candela;
- il rilevatore di fiamma UV;
- il sensore d'idrogeno, per rilevare eventuali fughe.

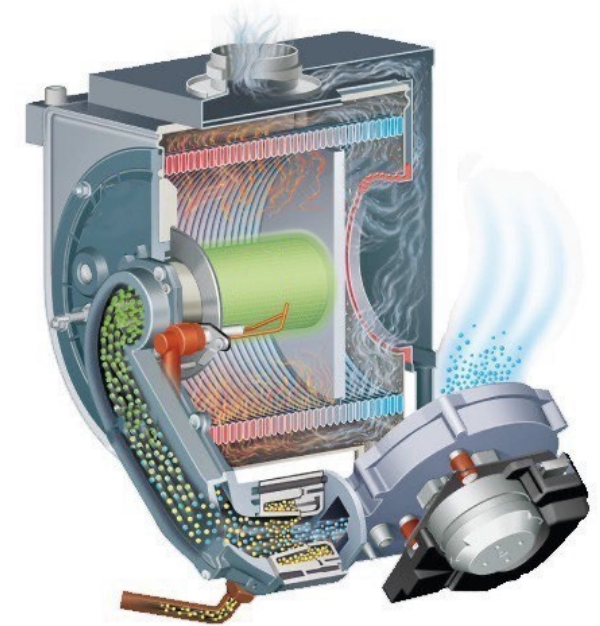


Il bruciatore di una caldaia è l'elemento sottoposto alla temperatura più alta; al suo interno arriva la miscela aria-combustibile, la quale è innescata attraverso l'utilizzo di una candela.

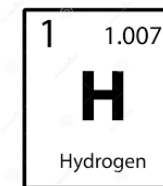
I criteri da valutare per la progettazione di un bruciatore a idrogeno sono:

- il mantenimento di una velocità di combustione tale da evitare ritorni di fiamma;
- l'essere costituito da un materiale tale da non subire il fenomeno d'infragilimento da idrogeno.

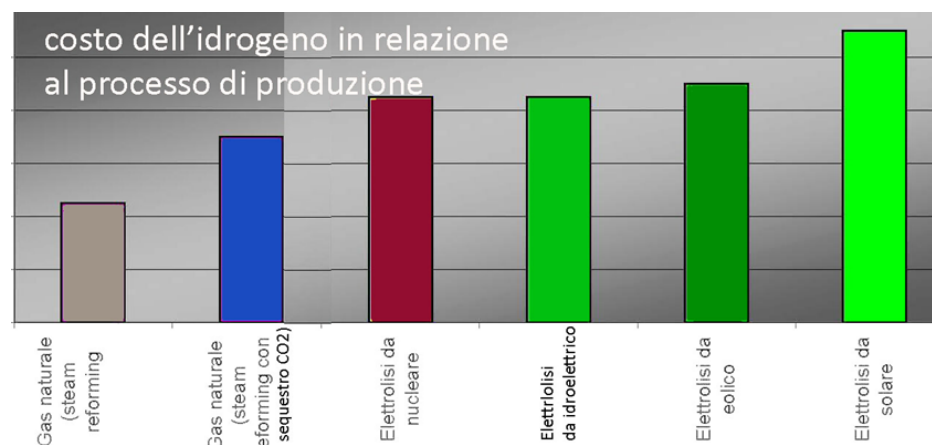
A differenza delle caldaie a metano, in una a idrogeno la fiamma viene rilevata con l'utilizzo di un rilevatore di fiamma UV.



L'idrogeno è l'elemento più abbondante dell'universo osservabile ed è un combustibile con un'elevata densità energetica per unità di massa. Non è però una fonte primaria di energia, ma un vettore energetico. Per ottenere idrogeno allo stato puro da poter utilizzare a scopo energetico, è necessario quindi rompere la molecola di specifiche sostanze tramite processi che richiedono energia.



È classificato conferendogli un colore in base al metodo in cui è estratta la molecola (H₂) e l'elemento con cui è combinata.



Per il rendimento utile della caldaia si ha:

$$\eta = \frac{\text{Energia utile}}{\text{Energia spesa}} = \frac{\text{Pot. utile}}{Q_{\text{termica spesa}}}$$

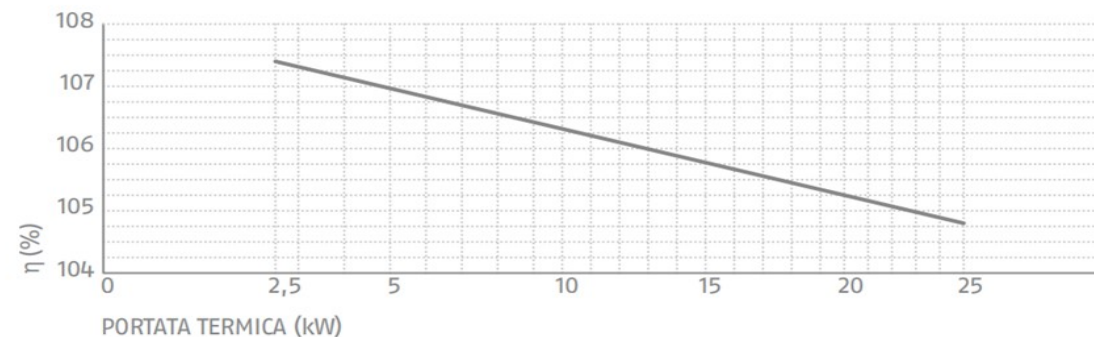
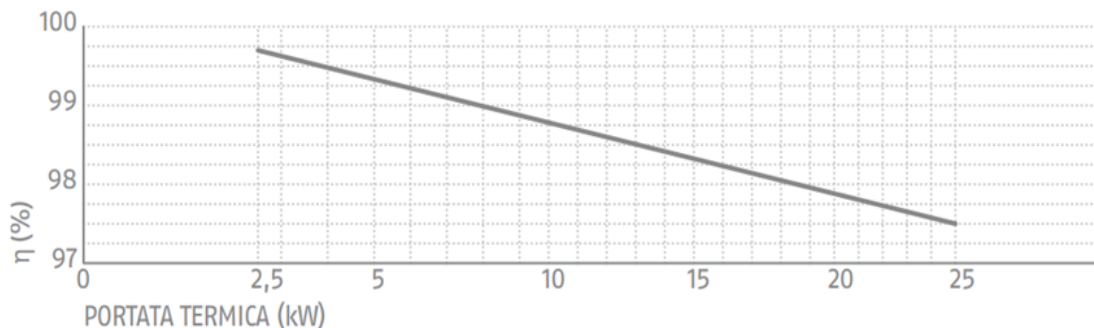
Possiamo osservare le perdite di calore[kW] della caldaia che si definiscono come:

$$\text{Perdite} = Q_{\text{termica spesa}} - \text{Pot. utile}$$

Queste perdite comprendono le:

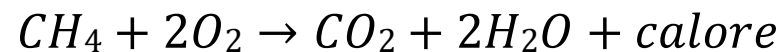
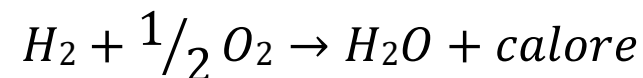
- Perdite di calore al camino;
- Perdite per irraggiamento al mantello;
- Perdite per umidità dell'aria comburente;
- Perdite per combustione incompleta.

Il rendimento utile di una caldaia a idrogeno con le temperature di andata e ritorno rispettivamente di 80°C e 60°C risulta indicativamente come quello nel grafico a sinistra, mentre con le temperature di 50°C e 30°C come nel grafico a destra.



Possiamo andare a osservare come il rendimento superi il 100% perché nei calcoli si va a usare il potere calorifico inferiore, non tenendo conto quindi del calore fornito dalla condensazione dei prodotti della combustione.

Le reazioni di combustione dell'idrogeno e del metano, in condizioni stechiometriche, risultano:

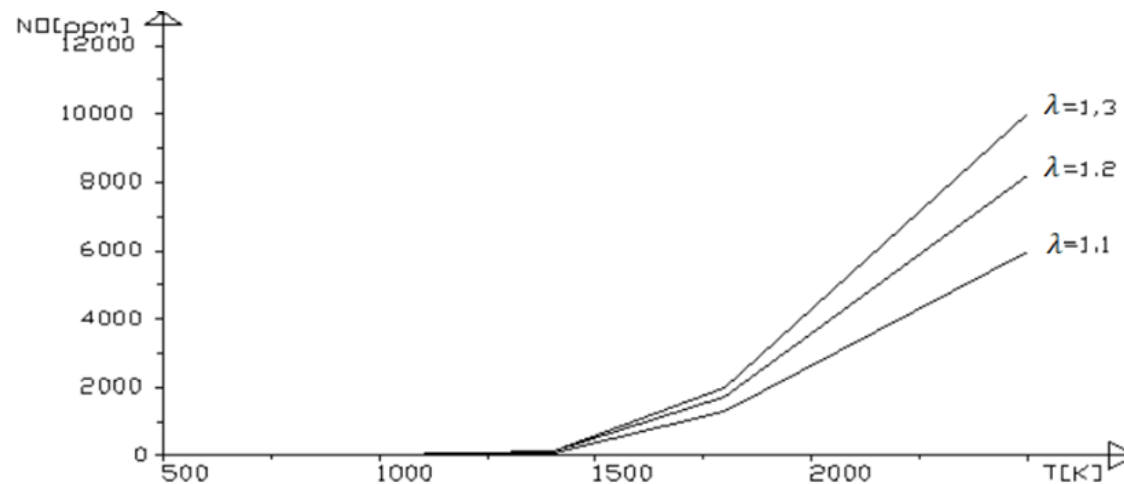


In condizioni reali però non andiamo a eseguire la combustione con l'ossigeno puro ma con l'aria che presenta all'incirca 20% O_2 e 80% N (azoto).

E se si osserva la temperatura di fiamma dei due combustibili, ovvero:

- 2045 °C per l'idrogeno in aria;
- 1957 °C per il metano in aria.

Tenendo conto che le caldaie a idrogeno lavorano con un eccesso d'aria leggermente maggiore, possiamo vedere come la produzione di NO (sostanza inquinante dell'atmosfera e causa di problemi per la salute nelle persone) durante la combustione in aria sia leggermente a sfavore per le caldaie alimentate a idrogeno.



Si possono però prendere in considerazione alcune precauzioni per abbassare la temperatura di combustione dell'idrogeno, ad esempio l'utilizzo di sistemi di abbattimento per queste sostanze, come i filtri DeNOx, in modo da ridurre le emissioni.

Uno dei maggiori problemi legati alla caldaia a idrogeno riguarda la sua alimentazione, infatti per una a metano possiamo andare ad adottare i metanodotti già diffusi e ramificati nel nostro paese e nel resto dell'Europa. Questi non sono però adatti a un trasporto di solo idrogeno, perché a causa delle sue proprietà fisiche si avrebbero perdite elevate durante il trasporto.

Un altro problema legato all'idrogeno è il suo alto costo comparato con l'energia posseduta, infatti:

- Il costo dell'energia prodotta dal metano è all'incirca 25 €/MWh;
- Il costo dell'energia prodotta dall'idrogeno verde va all'incirca dai 90 ai 225 €/MWh;
- Il costo dell'energia prodotta dall'idrogeno blu varia all'incirca dai 69 ai 75 €/MWh.

Per il riscaldamento a uso abitativo la caldaia a idrogeno risulta essere una valida scelta rispetto ad una a metano, poiché in Italia nel 2018 il settore residenziale da solo è stato responsabile dell'immissione:

- del 64% della quantità di polveri sottili Pm_{2,5};
- del 53% di Pm₁₀;
- del 60% di monossido di carbonio (CO);
- dell'oltre 17,7% di CO₂;

contribuendo così al peggioramento della qualità dell'aria e all'immissione di agenti dannosi per l'atmosfera.

L'utilizzo di un'alternativa a idrogeno verde permetterebbe quindi un notevole incremento della qualità dell'aria e una riduzione degli agenti inquinanti contrastando il problema dell'inquinamento che sempre di più affligge il mondo.