

Sistemi di riscaldamento per forni industriali a prova di futuro

Joachim G. Wuenning¹, A. Lazzaretto², Julia Schneider¹

Contatto: j.schneider@flox.com

¹WS Wärmeprozessstechnik GmbH, Dornierstr.14, 71272 Renningen

²Attas S.r.l., Corso Susa 31, I-10040 Caselette (TO)

Introduzione

Con l'accordo di Glasgow sul clima, tutti gli Stati partecipanti hanno concordato una transizione energetica globale accelerata. È stata decisa una graduale eliminazione dell'utilizzo del carbone e, in futuro, sarà necessario rinunciare anche all'uso di gas fossili per raggiungere gli obiettivi già definiti nell'accordo di Parigi sul clima.

L'impiego di combustibili fossili contribuisce in modo significativo al riscaldamento globale. Questi combustibili sono utilizzati sia per la produzione di energia che per l'alimentazione dei motori a combustione. Oltre all'eliminazione graduale del carbone già menzionata, lo sviluppo di sistemi di propulsione alternativi per automobili ed altre opzioni di trasporto neutrali in termini di CO₂ sono al centro dell'attenzione dell'opinione pubblica.

I gas fossili sono anche utilizzati in molti casi per il riscaldamento dei forni industriali, contribuendo, però, alla produzione di gas serra e di altri inquinanti che sono rilasciati nell'atmosfera. Anche se questo settore industriale non è ancora al centro delle discussioni quanto quelli della produzione di energia e dei trasporti, è necessario agire anche in questo senso.

Per una riduzione dei gas serra derivanti dalla generazione di calore nei processi industriali, si possono avere due approcci: queste emissioni possono essere significativamente ridotte mediante l'utilizzo di sistemi di riscaldamento elettrico alimentati da energie rinnovabili o da combustibili non fossili; inoltre, è anche ipotizzabile una combinazione di entrambi gli approcci.

Riduzione delle emissioni di CO₂ a breve ed a lungo termine nei forni industriali

Quando si riscalda un forno industriale con l'elettricità, le emissioni di CO₂ vengono generate nelle centrali elettriche, se l'elettricità è prodotta dalla combustione di combustibili fossili. In Germania, circa 0,45 kg di CO₂ vengono emessi nell'atmosfera per ogni kilowattora (kWh) generato [1]. Secondo le stime attuali, questo valore si sta spostando verso 0,35-0,40 kg di CO₂/kWh

Per i forni industriali riscaldati a gas naturale, le emissioni di CO₂ dipendono dall'efficienza del bruciatore. Ad una temperatura del forno di circa 1000 °C, un bruciatore ad aria fredda produce circa 0,4 kg di CO₂ per kWh. Se si utilizzano bruciatori recuperativi o rigenerativi, in cui viene recuperato il calore dei prodotti della combustione (fumi), queste emissioni sono ridotte a meno di 0,25 kg/kWh.

La sostituzione dei bruciatori ad aria fredda con sistemi più efficienti per il recupero di calore dai fumi può aiutare, nel medio termine, a ridurre le emissioni di CO₂ nei forni industriali. Anche passando dal riscaldamento elettrico al riscaldamento efficiente con gas naturale mediante bruciatori a recupero di calore integrato, è possibile ridurre le emissioni di CO₂. Il potenziale a medio termine per ridurre

le emissioni di CO₂ dei forni industriali è pari o superiore al 50%. Per essere in grado di ridurre ulteriormente queste emissioni in futuro, sarà necessario utilizzare combustibili verdi e non fossili o la produzione di elettricità dovrà essere prevalentemente rigenerativa.

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂ che ne derivano, si dovrà evitare l'impiego di centrali elettriche a carbone per fornire l'energia necessaria per il riscaldamento elettrico dei forni industriali.

La Figura 1 mostra uno scenario per un percorso verso il riscaldamento dei forni industriali con combustibili non fossili. Il primo passo a breve termine può essere quello di migliorare l'efficienza utilizzando sistemi di bruciatori con recupero di calore che siano il più efficienti possibile. Nel corso successivo, i combustibili fossili devono essere sostituiti come fonte di energia per il riscaldamento dei forni industriali. La concorrenza tra gas non fossile ed elettricità da fonti rinnovabili dovrebbe quindi portare a un calo dei prezzi dell'energia non fossile.

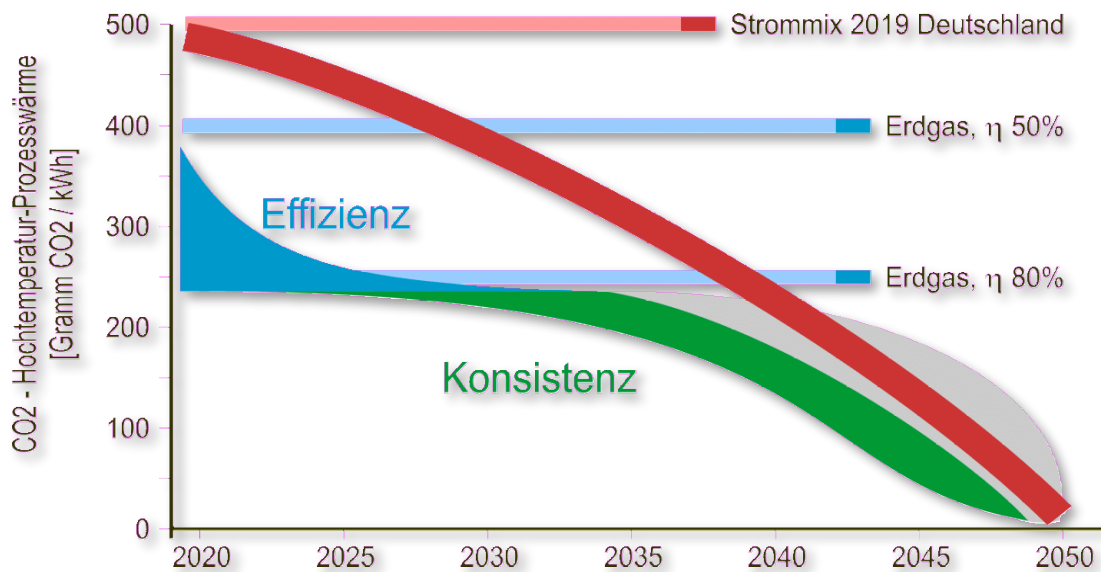


Figura 1: Emissioni specifiche di CO₂ di un forno industriale a 1000 °C

Bruciatori flessibili di gas combustibile per il riscaldamento a gas di forni industriali

Oggi, dalle reti di gas naturale della maggior parte dei paesi industrializzati gli utilizzatori ricevono una qualità ed una composizione costanti del gas naturale. Se in futuro saranno immessi nella rete gas provenienti da fonti diverse, questa situazione potrebbe cambiare. Una composizione del gas che cambia moderatamente non porta necessariamente a problemi per i bruciatori industriali. Un indicatore importante del fatto che i gas siano intercambiabili è l'indice di Wobbe che è calcolato come segue:

$$W_i = \frac{H_i}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}} W_s = \frac{H_s}{\sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}}$$

dove H_i e H_s rappresentano il potere calorifico inferiore e superiore, ρ la densità del gas e ρ₀ la densità dell'aria secca.

Per i gas con stessa temperatura, densità e indice di Wobbe, ciò si traduce in prestazioni costanti del bruciatore. Con un indice di Wobbe che cambia la quantità di gas deve essere regolata sul nuovo gas per mantenere costante la potenza.

Per la quantità di aria comburente, nella maggior parte dei casi, non è necessaria alcuna regolazione, in caso di modifica della composizione di gas contenenti idrocarburi, se la potenza viene mantenuta costante. Il fabbisogno di aria stechiometrica, in questo caso, è di circa $0,95 \text{ m}^3 / \text{kWh}$. La situazione è diversa quando l'idrogeno viene utilizzato in alternativa ad un gas contenente idrocarburi. In questo caso, è necessario circa il 15% in meno di aria comburente. Qui, un adeguamento della quantità di gas alla potenza richiesta, con un'impostazione costante dell'aria, porterebbe ad un aumento dell'aria in eccesso nei fumi. Ciò porterebbe ad un'efficienza leggermente ridotta con un funzionamento comunque sicuro. Per eventuali e future composizioni fluttuanti previste nella rete del gas, la sicurezza del sistema può essere garantita mediante un'opportuna regolazione della portata dell'aria comburente. Quando si utilizzano bruciatori con sistemi di recupero del calore altamente efficienti e conseguenti basse temperature dei gas di scarico, la perdita di efficienza è molto bassa.

Se l'idrogeno viene utilizzato per la combustione in sostituzione al gas naturale (idrocarburi), la velocità della fiamma è molto più alta. Per i bruciatori pre-miscelati, ciò può causare contraccolpi di fiamma e i bruciatori a diffusione di fiamma potrebbero anche mostrare una maggiore usura termica, dopo il passaggio al funzionamento a idrogeno. Un'altra sfida è posta dalla temperatura massima della fiamma più elevata a causa della combustione più rapida. La figura 2 mostra la distribuzione della temperatura nell'area della fiamma di un bruciatore a gas naturale ("Erdgas") e ad idrogeno ("H₂"). Le temperature di picco più elevate comportano una maggiore formazione di emissioni termiche di NO_x. I moderni metodi di combustione, come la combustione senza fiamma (FLOX®), possono raffreddare la punta del bruciatore e portare le emissioni di NO_x a un livello molto basso.

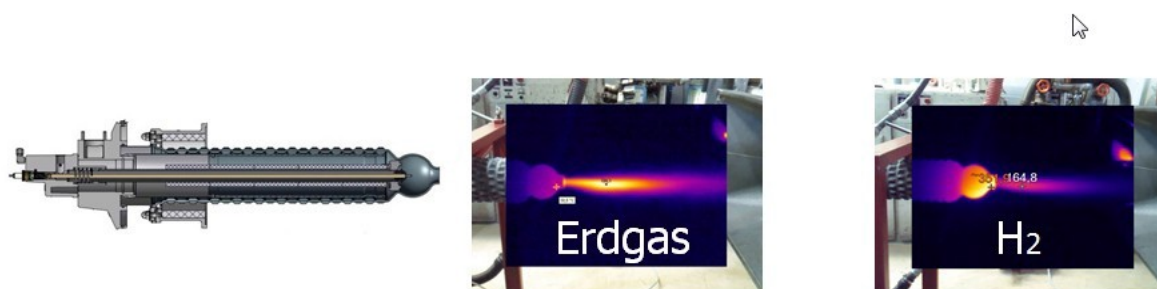


Figura 2: Prove del bruciatore con gas naturale e idrogeno

Un contenuto di idrogeno più elevato può aumentare l'infiammabilità del gas e può avere un effetto positivo sul funzionamento del bruciatore. Molti sistemi di bruciatori utilizzati industrialmente possono essere azionati con piccole e giustificabili regolazioni con gas contenenti un alto contenuto di idrogeno o con idrogeno al 100%.

Oltre all'idrogeno, l'ammoniaca o il biogas sono altre alternative che riducono la CO₂. Poiché alcuni di questi combustibili contengono azoto legato al combustibile, sono prevedibili emissioni di azoto molto elevate per l'uso con la maggior parte dei sistemi di bruciatori. Per questo motivo, è necessario adottare misure per ottenere una combustione con bassi valori di NO_x nonostante l'azoto legato al combustibile.

Un approccio può essere il trattamento del combustibile in cui l'azoto legato viene scomposto in azoto molecolare. La fattibilità è stata dimostrata con successo in un reattore in acciaio inossidabile in combinazione con la combustione senza fiamma [2]. Gli ossidi di azoto possono essere eliminati dai fumi mediante la depurazione catalitica selettiva (SCR) o non selettiva (SNCR) dei gas di scarico. A causa dei conseguenti costi di investimento ed operativi, questa soluzione è economicamente rilevante solo se non sono disponibili altre opzioni. I metodi preferiti saranno i sistemi di bruciatori con trattamento integrato dell'azoto legato. Un approccio per questo può essere, ad esempio, la combustione senza fiamma a più stadi [3].

Le sfide poste dai combustibili alternativi come l'idrogeno e l'ammoniaca possono essere vinte. I sistemi di bruciatori esistenti possono già essere presi in considerazione in vista di un uso futuro con l'idrogeno. Pertanto, in caso di passaggio ad un riscaldamento con gas verdi con bruciatori flessibili di gas, sono necessarie, nella peggiore delle ipotesi, solo regolazioni minime. Può avere senso considerare anche un possibile uso futuro dell'idrogeno per la pianificazione di nuovi forni industriali. Un parametro molto importante, in questo caso, è dato anche dalla camera di combustione, che deve essere sufficientemente grande sufficientemente grande: soprattutto nel caso di riscaldamento indiretto con tubi radianti, già in fase di progettazione dovrebbero essere presi in considerazione tubi radianti di dimensioni maggiori.

Sistema ibrido di riscaldamento a gas ed elettrico

Gli impianti industriali riscaldati elettricamente sono “climaticamente neutri”, se l'elettricità è generata da energie rinnovabili. A causa della volatilità di queste fonti energetiche, può avere senso ricercare concetti ibridi per impianti industriali in cui i due sistemi classici di riscaldamento a gas ed elettrico sono combinati. Con un tale sistema ibrido, se è disponibile energia elettrica in eccesso da fonti di energia rinnovabile nella rete elettrica, è possibile passare dal riscaldamento a quello elettrico. Di conseguenza, il sistema può essere riscaldato in modo neutro rispetto alla CO₂ e, allo stesso tempo, è possibile prevenire un sovraccarico della rete elettrica.

La figura 3 mostra un sistema ibrido di bruciatore e tubo radiante che è stato sviluppato nell'ambito di un progetto finanziato dalla DBU tedesca [4]. Tubi di fiamma modificati sono stati installati in un classico tubo radiante su cui è stata fissata la resistenza elettrica. In questo concetto, il tubo di fiamma ha, quindi, due funzioni: fornire supporto alla resistenza e garantire il ricircolo dei fumi su tutta la lunghezza del tubo radiante. Per il riscaldamento a gas, nel concetto presentato viene utilizzato un bruciatore auto-recuperativo.

Gli impianti esistenti potrebbero essere convertiti in funzionamento ibrido mediante la soluzione appena illustrata.

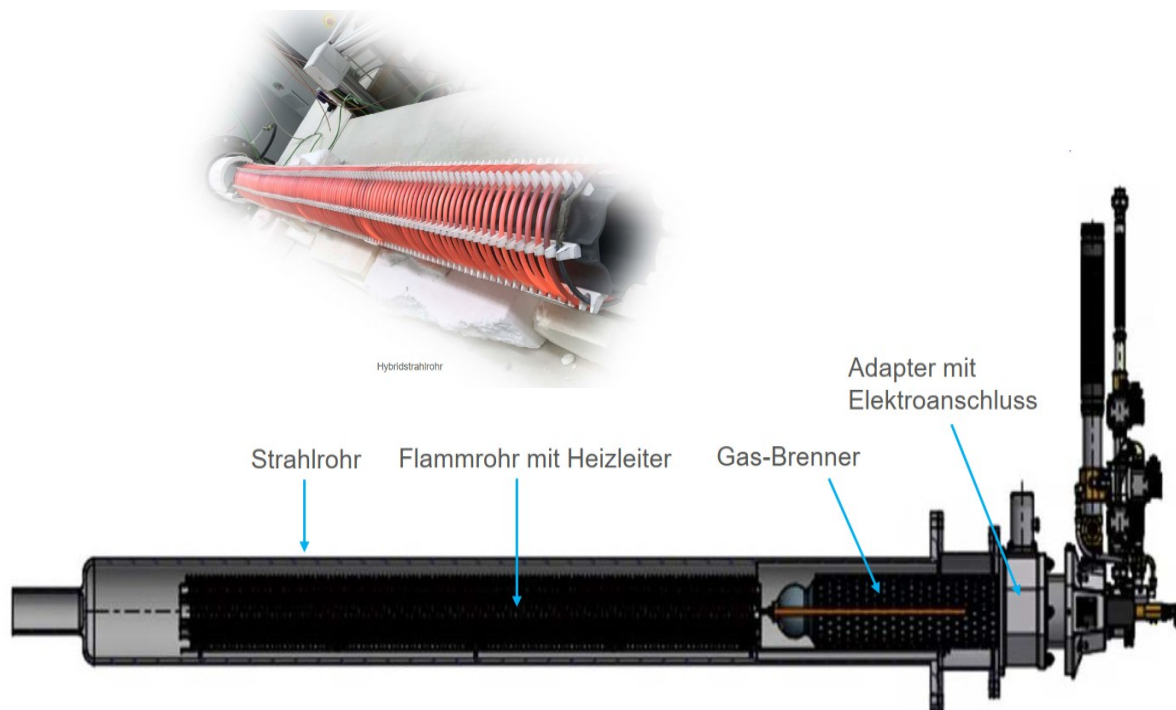


Figura 3: Sistema ibrido per tubi radianti [4]

Un altro metodo per integrare l'elettricità in eccesso prodotta da fonti rinnovabili nel riscaldamento degli impianti industriali è la produzione di idrogeno in loco con l'aiuto di un elettrolizzatore in combinazione con un bruciatore flessibile a combustibile. Il diagramma di questo sistema è mostrato nella Figura 4. Una grande flessibilità deriva dal fatto che possono essere utilizzati sia il gas naturale che il gas verde dal gasdotto, così come l'elettricità prodotta con fonti rinnovabili senza che sia necessario apportare modifiche al sistema esistente.

Non appena sarà economicamente giustificato, potrà essere aggiunto un elettrolizzatore per produrre idrogeno con l'aiuto di elettricità rinnovabile. I bruciatori sono già stati testati e possono essere utilizzati sia con idrogeno al 100%, che con gas naturale al 100% e tutte le miscele intermedie. È anche concepibile utilizzare l'ammoniaca verde (NH_3) precedentemente dissociata in una miscela di acqua e azoto. L'ammoniaca in condizioni ambientali è liquida e può essere immagazzinata e trasportata con un'alta densità di energia.

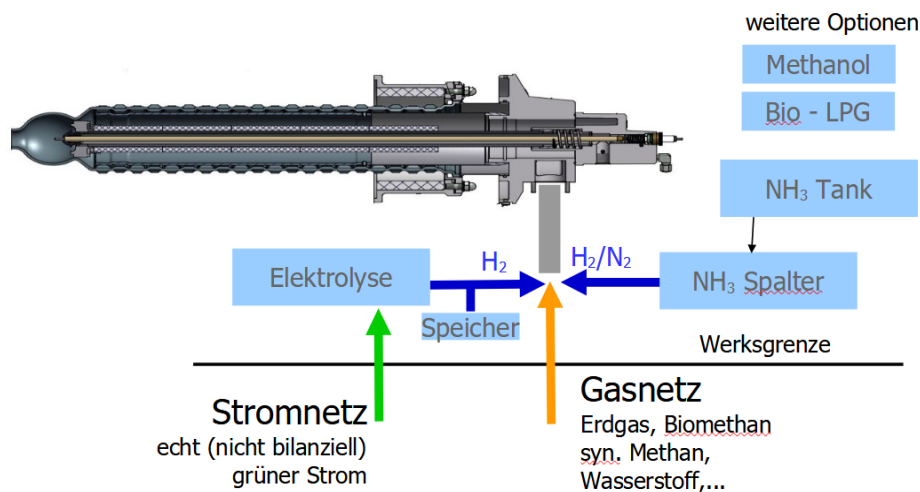


Figura 4 – Sistema di bruciatori flessibili a gas combustibile

Riepilogo e prospettive

Per rispettare gli obiettivi climatici fissati, le emissioni di CO₂ devono essere ridotte anche nel campo dei forni industriali. Ciò è possibile già ora sostituendo i sistemi a riscaldamento elettrico o i bruciatori ad aria fredda con sistemi di combustione ad alta efficienza. Nel medio-lungo termine, dovranno essere utilizzate energie rinnovabili e non combustibili fossili, ma verdi. Le sfide poste dall'uso di combustibili non fossili per i bruciatori di gas sono tecnicamente risolvibili e saranno oggetto di future ricerche sulla combustione. Attraverso un'economia pianificata, il potere innovativo necessario per affrontare le sfide potrebbe essere limitato; al contrario, la concorrenza leale e l'interazione tra le varie opzioni per la generazione di calore di processo possono portare alle migliori soluzioni per il pianeta e per la società.

Fonti

[1] Umweltbundesamt, Entwicklung der spezifischen Kohlendioxidemissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2018, März 2019

[2] Domschke T., Becker C., Wüning J.G., Thermal Use of Off Gases – with High Ammonia Content – a Combination of Catalytic Cracking and Combustion, Chem. Eng. Technol., 21: 726-730

[3] Wüning J., Multistage Flameless Oxidation, AFRC Combustion Symposium, Waikoloa, HI, September 2019

[4] Abschlussbericht, Hybridstrahlrohr, progetto finanziato da Deutsche Bundesstiftung Umwelt