

Linee di sviluppo e problematiche di esercizio dei bruciatori per gas di sintesi

S. Giammartini*, C. Noviello**, A. Saponaro***

* ENEA- Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente – Casaccia, Roma

** DIME – Dipartimento di Ingegneria Meccanica per l'Energetica – Università “Federico II”, Napoli

*** Ansaldo Caldaie Ricerche – Gioia del Colle (BA)

SOMMARIO

Possibile soluzione all'uso di combustibili gassosi alternativi al gas naturale e di tipo rinnovabile è l'uso di gas di sintesi o provenienti da biomasse. L'utilizzo di gas di questo tipo pone due tipi di problematiche: a) determinare in che limiti è possibile sostituire, senza o con lievi modifiche, il gas rinnovabile al gas naturale; b) determinare quali sono le prestazioni energetiche, ecologiche ed economiche di tali tipi di bruciatori con relative camere di combustione. Nel lavoro sono analizzate e discussi i parametri fondamentali per la progettazione di bruciatori specificamente previsti, con primi risultati delle prestazioni energetiche delle camere di combustione con utilizzo di miscele gas metano-idrogeno, con percentuali variabili da zero al cento per cento di idrogeno.

INTRODUZIONE

In Italia vengono consumati, ogni anno, circa 80 miliardi di metri cubi di gas naturale con produzione di circa 150 milioni di tonnellate d'anidride carbonica ed è da considerare che l'uso, come combustibile, di sostanze allo stato di gas sarà certamente crescente nel tempo perché bruciare in fase omogenea è condizione ottimale per avere il miglior risultato energetico ed ecologico, in particolare se il calore è da produrre in unità di piccola o modesta potenzialità. Potendo con sicurezza prevedere un incremento certamente consistente dell'uso di gas combustibili se ne ricava anche una corrispondente maggior dipendenza energetica da fonti fossili non nazionali e relativa maggior produzione di CO₂. Per contenere questi due pesanti aspetti negativi, possibile soluzione è produzione autoctona di gas combustibile con presenza d'idrogeno in percentuali significative; tale obiettivo è raggiungibile sviluppando la produzione di gas di sintesi, biogas etc e utilizzando i cosiddetti combustibili “rinnovabili” finalizzandone i processi di produzione in modo d'ottenere la più alta percentuale possibile d'idrogeno. La sostituzione o la miscelazione di tali fluidi con il combustibile commercialmente indicato come “gas naturale” non è però “automatica” perché la diversa composizione della miscela gassosa fa cambiare le prestazioni termofluidodinamiche ed energetiche del bruciatore e della camera di combustione; in particolare la presenza d'idrogeno ed, eventualmente, quella di gas inerti nel combustibile stesso, oltre l'azoto del comburente, rende ancor più complesse le fenomenologie del processo di combustione. Nel passato si sono spesso utilizzati gas combustibili diversi nella stessa apparecchiatura adoperando l'indice di Wobbe come indicatore della intercambiabilità; oggi non è possibile limitarsi a tale indicazione a causa delle più stringenti condizioni operative e

delle prescrizioni ecologiche che è necessario rispettare. Vi sono essenzialmente due scenari da analizzare per decidere se e in che misura utilizzare gas combustibili diversi dal metano:

- 1) In quale gamma di condizioni operative, per una prefissata miscela di gas o di più combustibili, è possibile bruciare senza modifica alcuna al sistema energetico nell'ipotesi di effettuare solo operazioni di regolazione e messa a punto del bruciatore. In tale contesto è possibile una variazione della potenzialità termica che risulta elemento fondamentale nella valutazione economica della validità delle nuove condizioni operative.
- 2) Progettazione di un nuovo sistema o riprogettazione di modifiche all'esistente per adeguarlo alle nuove condizioni operative con la condizione, se possibile, di ugual potenzialità termica utile. L'analisi può essere sviluppata per data composizione della miscela di gas combustibile o, nel caso si possa intervenire nel processo di produzione del gas combustibile, sulla composizione ottimale al fine d'avere la miglior soluzione dell'impianto produzione/utilizzazione.

Si intende evidenziare che i componenti fondamentali di un'apparecchiatura per la produzione industriale o civile del calore sono essenzialmente due:

- 1) Il bruciatore con i circuiti di alimentazione comburente e combustibile.
- 2) La camera di combustione, con le richieste prestazioni energetiche globali e locali e la produzione d'inquinanti coerente con la normativa corrispondente.

Per il punto 1) sono da considerare i seguenti parametri identificativi della miscela di gas combustibile:

- Potere calorifico.
- Aria stechiometrica.
- Tonalità termica della miscela stechiometrica.

Per il punto 2 sono da quantizzare:

- Distribuzione delle temperature in camera di combustione in funzione del valore della potenzialità termica utile.
- Andamento dei flussi termici locali e globali con corrispondenti prestazioni energetiche.
- Produzione d'inquinanti e rispetto delle condizioni operative.

PROBLEMATICHE DEI BRUCIATORI

In fig. 1 e 2 sono riportati i valori del potere calorifico inferiore di una miscela o di metano, o di propano, o di butano che contenga idrogeno con percentuale crescente da 0 al 100%. Le differenze vengono ben evidenziate se, come è coerente che sia, ci si riferisce al potere calorifico inferiore per unità di volume; il potere calorifico inferiore in queste condizioni decresce rapidamente con l'incremento di percentuale di idrogeno con netta variazione se la miscela è fatta con metano o propano o butano. Mentre il potere calorifico per unità di massa incrementa di circa il 250% con idrogeno da 0 al 100%; il potere calorifico per unità di volume nel caso di metano scende a circa 1/3, con percentuali di idrogeno da 0 al 100%, e a circa 1/10 nel caso di butano. Sono variazioni significative se si vogliono considerare bruciatori di uguale potenzialità termica e, quindi, variazioni delle portate di combustibile in proporzione inversa alle variazioni del potere calorifico inferiore per unità di volume. In figura 3 e 4 è riportato il rapporto stechiometrico delle miscele di gas combustibile come innanzi precisato per i poteri calorifici; come da attendersi, il rapporto è crescente se valutato in termini di masse, decrescente in termini volumetrici. Le variazioni sono sostanziose ovvero di un incremento del 100% di tale rapporto se in termini di massa e di una riduzione del 50-60% nell'altro caso. Se si considerano, nel contempo, le variazioni da apportare, nel caso di uguale potenzialità termica, se ne ricava una situazione non banale. Da un lato vi sono sostanziosi incrementi di portata volumetrica di gas combustibile, dall'altro decrementi della quantità di aria comburente necessaria ad una buona combustione. Mantenere uguale livello di potenzialità termica senza un'indagine accurata sulla necessità di sostanziali modifiche alla geometria del bruciatore è tutt'altro che cosa semplice, in particolare se si vuole conservare un'elevata ampiezza di regolazione. Nel diagramma di figura 3, riferendosi all'unità di massa, si nota come, al passaggio da una miscela pura, con percentuale nulla di idrogeno, ad una con 100% di H₂, i valori dell'indice relativo al rapporto di miscelazione stechiometrica α possano aumentare di circa il doppio, o poco più; ciò avviene senza tuttavia rilevare sostanziali differenze nella considerazione dei tre diversi idrocarburi esaminati. Le considerazioni sin qui espresse sono relative al bruciatore e ai suoi parametri geometrici e fluidodinamici; per la camera di combustione è

invece opportuno considerare la tonalità termica della miscela comburente-combustibile inviatavi, intendendo come tonalità termica la quantità di calore sviluppabile dall'unità di volume normalizzata della miscela.

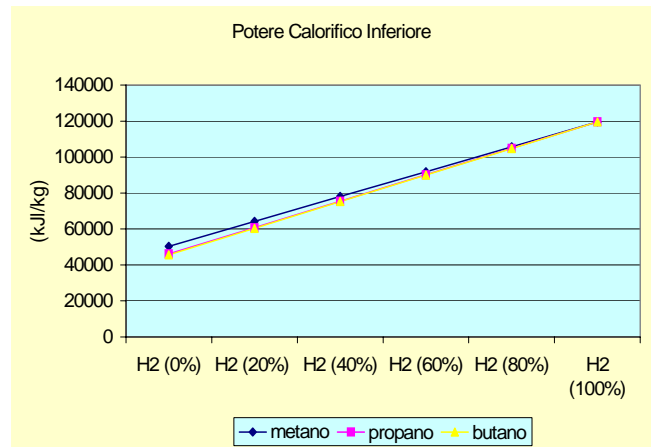


Figura 1.

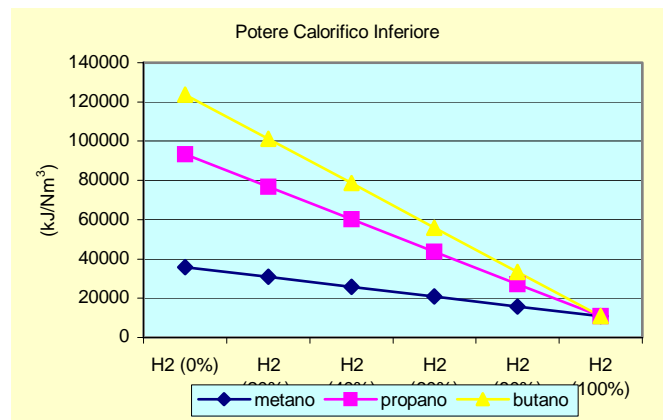


Figura 2.

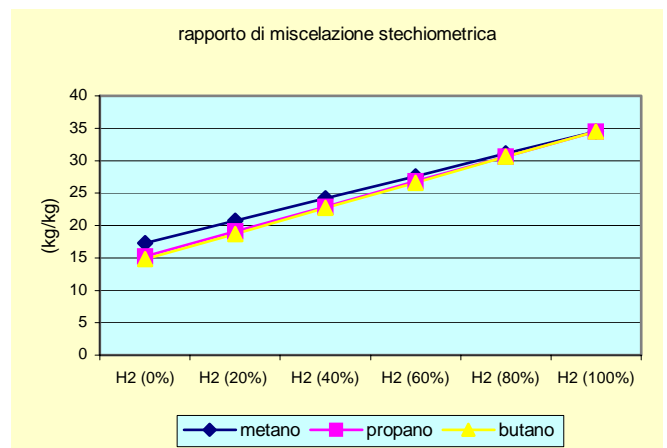


Figura 3.

Diversamente, riferendosi all'unità di volume in condizioni normalizzate (figura 4), i valori di α decrescono in maniera sensibile, e con notevoli variazioni a seconda del combustibile esaminato. Relativamente alla figura 4, nella peggiore delle situazioni, ovvero nell'esame del butano, che tra l'altro presenta il più alto valore di α tra i tre idrocarburi considerati, si perviene, di fronte ad una miscela con H₂ al

100%, addirittura ad un valore pari a solo l'8% di quello iniziale riferito a miscela pura con C₄H₁₀ al 100%.

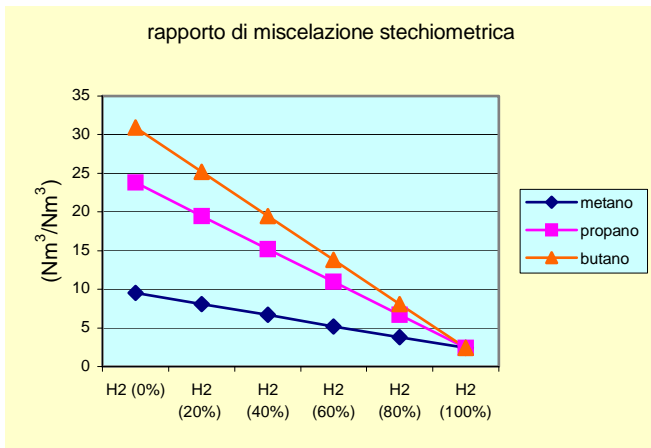


Figura 4.

In figura 5 e 6, è riportato l'andamento di detta tonalità termica relativa ad una miscela di metano, o propano, o butano, con percentuali crescenti di H₂, in rapporto di massa o in rapporto volumetrico.

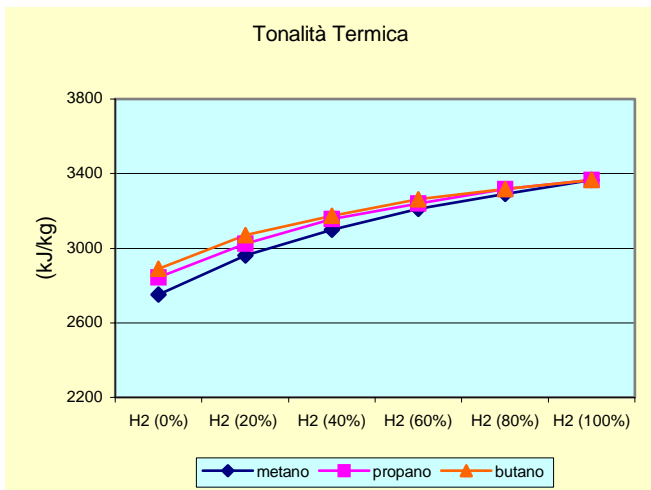


Figura 5.

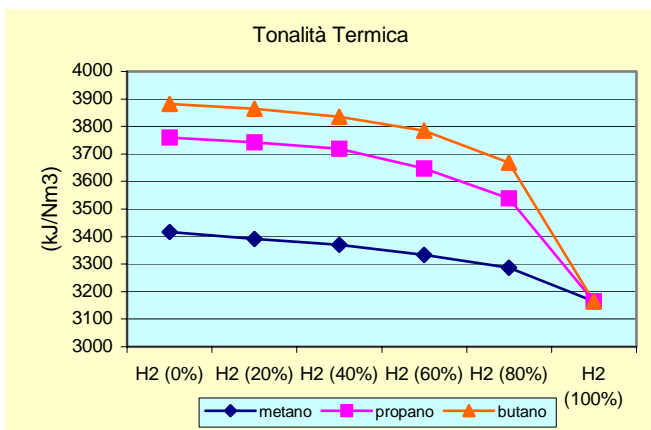


Figura 6.

Nei valori in rapporto di massa, l'andamento è crescente con un incremento ben più modesto di quelli rilevati nei diagrammi precedenti; da 0 a 100% vi è un incremento di poco più del 20%. Nel diagramma valutato in termini volumetrici, la tonalità termica di una miscela metano-idrogeno è praticamente costante accennando variazioni significative solamente nel caso di percentuali di idrogeno superiori all'80%. L'eventualità di poter adottare uno stesso bruciatore, al variare del combustibile, richiede specifiche indagini sulle sezioni degli orifizi di uscita del combustibile e del comburente. Realizzare quindi pari potenze termiche implica la necessità di dover considerare differenti portate massiche e volumetriche dei gas combustibili. Nelle figure 7, 8, 9, sono diagrammate le sezioni di uscita degli ugelli adduttori di combustibile nel caso di velocità, rispettivamente di 5, 10, 20 metri al secondo, considerando una potenza termica utile pari a 100 kW; come da attendersi le sezioni sono rapidamente crescenti quando le percentuali di idrogeno presente superano il 50%.

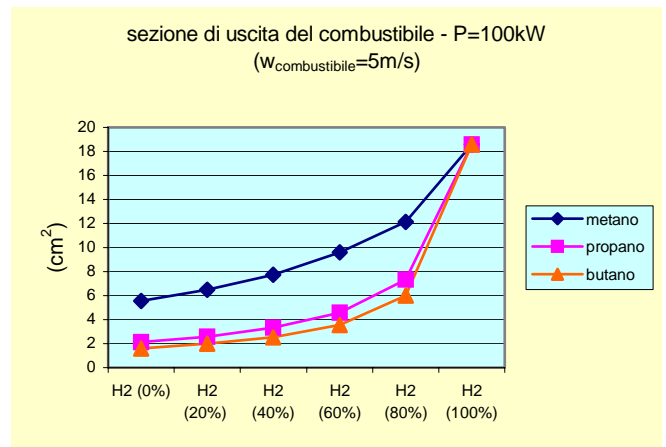


Figura 7.

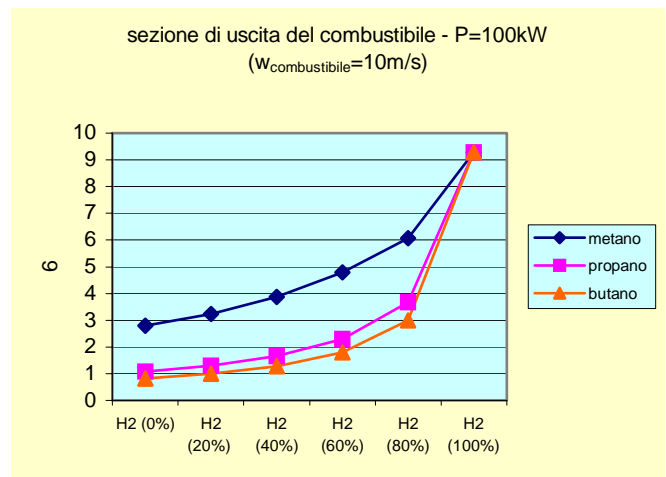


Figura 8.

PROBLEMATICHE DELLE CAMERE DI COMBUSTIONE

Per evidenziare le diversità nel funzionamento e nelle prestazioni energetiche di una camera di combustione alimentata con gas metano o gas di sintesi è stata sviluppata modellazione numerica per ricavarne mappature di

temperatura, concentrazione delle varie specie e dei flussi termici a parete. L'indagine è stata svolta ipotizzando una camera di combustione avente dimensioni $1 \times 1 \times 5$ m; i flussi di ingresso di combustibile e comburente sono stati ipotizzati puramente assiali e si è sperimentato con potenzialità termiche nel campo 20-100%.

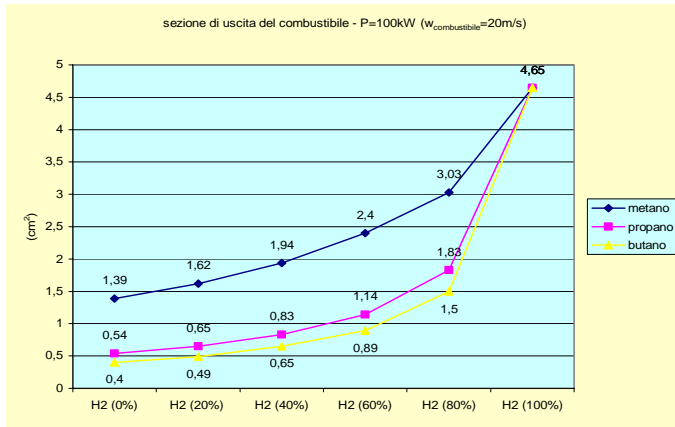


Figura 9.

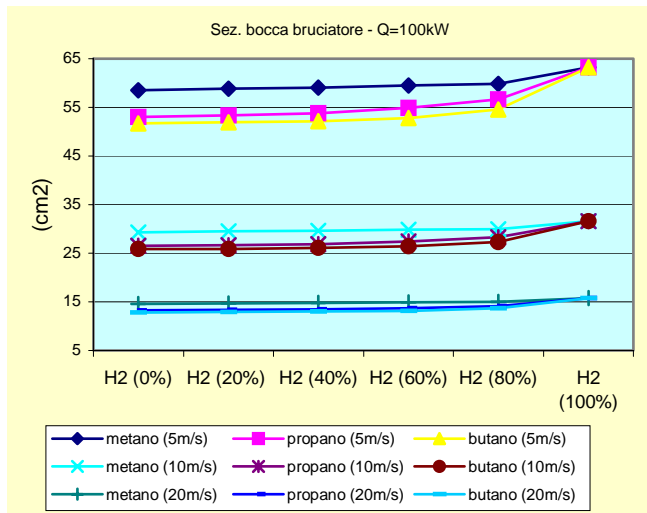


Figura 10.

Nelle figg.11, 12 e 13 sono riportate le mappature ricavate per gas metano con potenzialità termica del 100%; la fig. 11 è relativa al campo di temperature, la 12 alla concentrazione di ossigeno e la 13 in fine ai flussi termici su parete diadiabatica con temperature superficiali di 500 K. Nelle figg. 14, 15 e 16 sono riportate le stesse mappature per gas metano con potenzialità 20%. In fine sono riportate, nelle figg. 17,18,19 le mappature, rispettivamente di temperature, concentrazioni di ossigeno e flussi termici su parete diadiabatica di una fiamma a solo idrogeno con la stessa potenzialità di quella a gas metano sempre con parete diadiabatica a 500 K. Si evidenzia che le scale adottate non sono standardizzate per evidenziare invece al massimo le variazioni specifiche di ogni situazione. Per le fiamme a gas naturale è evidente l'effetto "gravitazionale" della fiamma al 20% rispetto a quella al 100%. Per le fiamme da idrogeno risalta il ben diverso campo di temperature, delle concentrazioni di ossigeno e dei flussi termici rispetto alle fiamme da metano, indicando una palese maggior velocità di reazione nel processo di combustione.

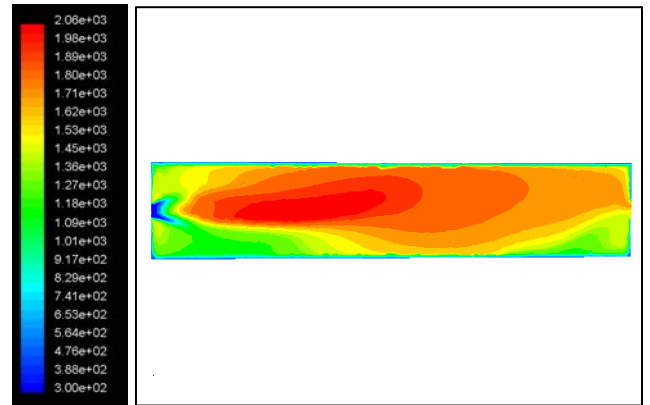


Figura 11: CH4, potenzialità 100%, campo di temperatura

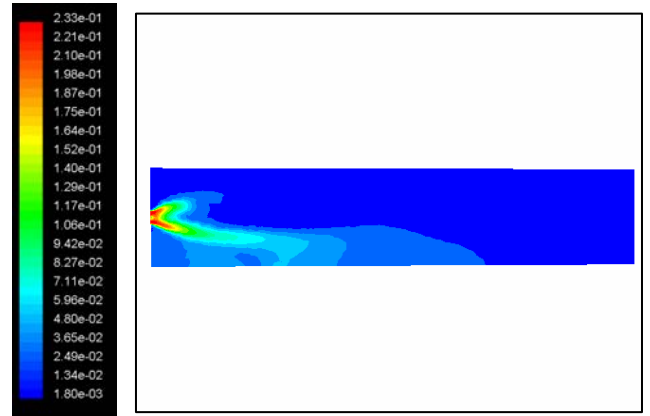


Figura 12: CH4, potenzialità 100%, concentrazione O2

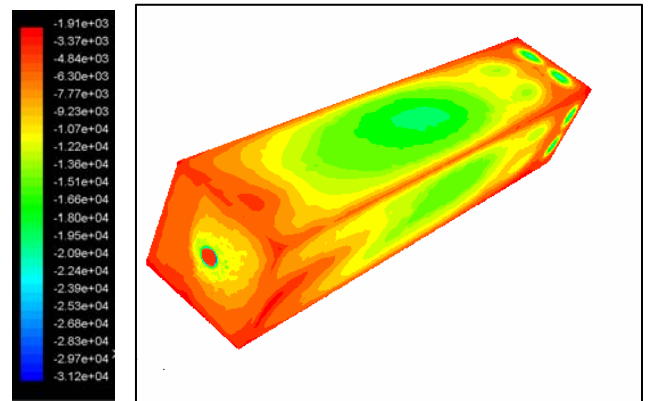


Figura 13: CH4, potenzialità 100%, flusso termico

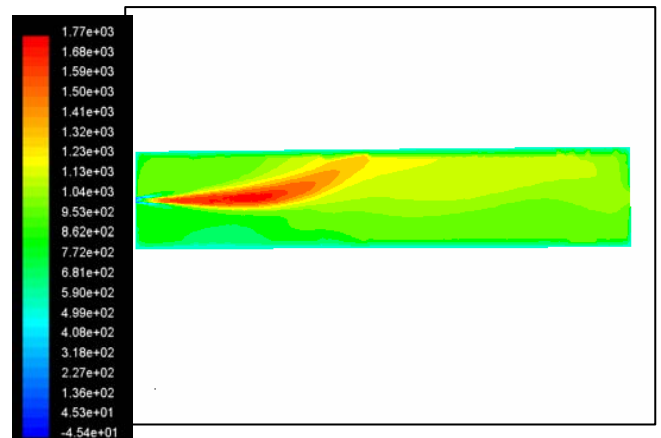


Figura 14: CH4, potenzialità 20%, campo di temperatura

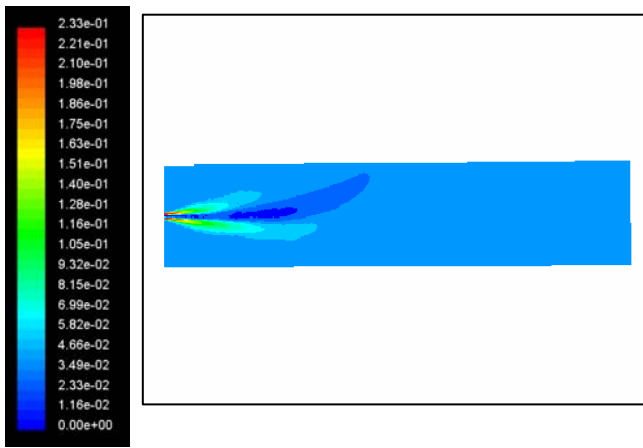


Figura 15: CH4, potenzialità 20%, concentrazione O2

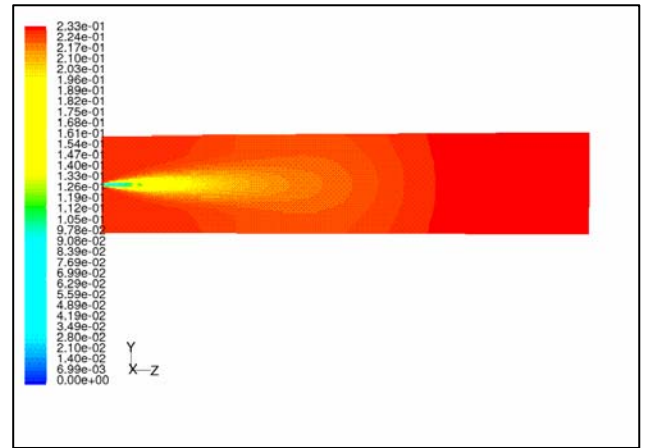


Figura 18: H2, concentrazione O2

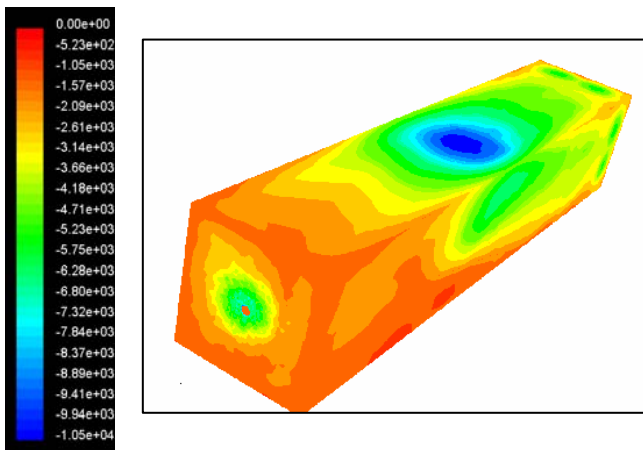


Figura 16: CH4, potenzialità 100%, flusso termico

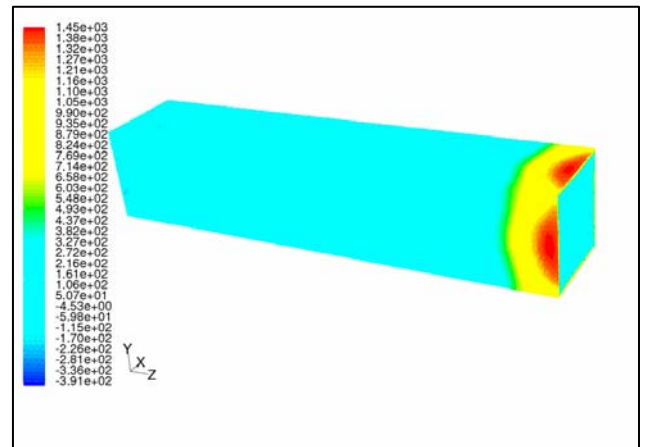


Figura 19: H2, flusso termico

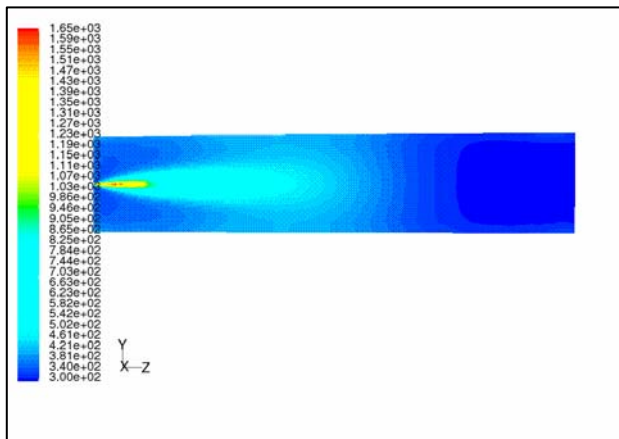


Figura 17: H2 campo di temperatura

utilizzatori) per rendere tecnicamente ed economicamente percorribile la via dei gas di opportunità, come una delle soluzioni a breve e medio termine possibili ed alternative all'uso dei combustibili fossili convenzionali. ENEA ed ANSALDO Caldaie, in collaborazione con l'Università di Napoli "Federico II" (Dip. DIME) sono in tal senso già da tempo impegnate.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- 1 Hostalier, Bruciatori di gas, Tecniche Nuove 1978
- 2 Salvi, La combustione, Hoepli 1968
- 3 Baukal, Industrial Burners Handbook, CRC press 2002
- 4 Baukal, Heat transfer in industrial combustion, CRC press

CONCLUSIONI

Gli andamenti mostrati di alcune importanti grandezze fisiche e le simulazioni CFD preliminari, mostrano come attenta debba essere la "riprogettazione" dei dispositivi industriali, per tener conto delle caratteristiche dei nuovi combustibili di sintesi. Ciò impone uno sforzo congiunto degli operatori del settore (costruttori, organismi di ricerca,