

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Specifiche tecniche relative alla realizzazione del bruciatore trapped-
vortex ed alle modifiche dell'impianto MICOS

A. Di Nardo, G. Calchetti, E. Giuliotti, C. Mongiello

Specifiche tecniche relative alla realizzazione del bruciatore trapped-vortex ed alle modifiche dell'impianto MICOS

A. Di Nardo, G. Calchetti, E. Giuliatti, C. Mongiello(ENEA)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Studi sull'utilizzo pulito dei combustibili fossili, la cattura ed il sequestro della CO₂

Responsabile del Progetto: Stefano Giammartini, ENEA

Indice

Sommario	4
Introduzione	5
Modifiche all'impianto MICOS	5

Sommario

Nel presente report si riportano le dimensioni geometriche definitive e le specifiche del nuovo bruciatore trapped-vortex alimentato a syngas.

Vengono inoltre descritte alcune modifiche da apportare all'impianto MICOS su cui il prototipo verrà testato, per garantire le nuove condizioni operative. Sarà infatti necessario predisporre e regolare in maniera indipendente, due linee per l'aria (primaria + secondaria) ed una per il combustibile. Ciascuna di queste tre linee dovrà dividersi in due parti uguali in modo da alimentare le due serie di fori contrapposte sulle due piastre forate del bruciatore. La temperatura dell'aria deve essere di circa 700K. Sarà pertanto necessario dotare l'impianto di un sistema di preriscaldamento di tutta l'aria addotta, in un range 400-800K, allo scopo di avere un certo margine di manovra.

Nella sperimentazione si indagherà, tra le altre cose, sull'effetto prodotto dall'utilizzo di diversi rapporti aria/syngas e sull'effetto delle velocità in ingresso sulla fluidodinamica, sul campo termico e sulle reazioni chimiche. Le piastre forate destra e sinistra, dovranno pertanto essere sostituibili al fine di variare il numero e/o le dimensioni dei fori. Le pareti laterali del combustore saranno realizzate in quarzo in modo da permettere l'accesso ottico, al fine di effettuare misure che prevedono l'uso di apparecchiature laser.

L'alimentazione del combustibile sarà effettuata mediante bombole.

Introduzione

Il TVC progettato è rivolto alle turbine a gas che utilizzano camere di combustione anulari. Il target di potenza è stato fissato a 100 kW, date le caratteristiche dell'impianto sperimentale sul quale il prototipo verrà montato e provato, in condizioni di pressione atmosferica. L'aria di combustione sarà alimentata a 700 K, corrispondente ad un rapporto di compressione di circa 20 bar, per simulare le reali condizioni operative. Il syngas ha la seguente composizione:

19% H₂ – 31% CO – 50% N₂ LHV 6 MJ/kg.

Il prototipo da realizzare (fig. 1), per semplicità costruttiva e di misura, è costituito da un settore rettificato della camera anulare. È a sezione quadrata delle dimensioni 190x190 mm. Tale configurazione si è rivelata la più efficace rispetto agli obiettivi sopra esposti.

La tecnica più ovvia per realizzare il vortice nel volume che rappresenta la camera di combustione è quella di immettere uno o più flussi tangenziali. Si è pensato quindi di disporre due flussi tangenziali di aria i quali promuovono la formazione del vortice, mentre altri flussi contrapposti alternati di aria e syngas ne alimentano il cuore. Un grosso sforzo è stato fatto per modulare opportunamente portate e velocità, e quindi quantità di moto relative, dei flussi nonché dimensioni minime della camera di combustione. Infatti nella configurazione adottata si è instaurato un perfetto equilibrio tra l'azione dei flussi tangenziali, che tendono a generare il vortice, e l'azione dei flussi verticali che tendono a distruggerlo. In questo senso è bene sottolineare che è soprattutto il flusso tangenziale più distante dall'uscita ad essere determinante. Gli effetti negativi sulla posizione e la dimensione del vortice conseguenti ad una riduzione di portata di quest'ultimo sono risultati evidenti.

Il sistema progettato, per il target di potenza fissato, è caratterizzato da una densità di potenza non molto elevata. A tal proposito sono stati studiati gli effetti sul comportamento dell'oggetto in questione nel caso di scalatura. In particolare si è scelto di scalare il sistema mantenendo costanti le velocità di immissione dei flussi coinvolti. Se si immagina di dimezzarne tutte le dimensioni, il volume risulterà ridotto di un fattore $0.5 \times 0.5 \times 0.5 = 0.125$, mentre le sezioni di $0.5 \times 0.5 = 0.25$. Considerando che le velocità sono rimaste costanti, le portate in gioco saranno quindi scalate di un fattore 0.25. Pertanto la densità di potenza (Potenza/Volume) aumenterà di un fattore $0.25/0.125=2$. Dalle simulazioni effettuate è risultato peraltro che il comportamento del bruciatore rimane invariato tanto che i campi di velocità, temperatura, specie etc. sono perfettamente sovrapponibili. In definitiva si può concludere che al diminuire della taglia complessiva della macchina e quindi di conseguenza delle dimensioni complessive della camera di combustione, la densità di potenza aumenta secondo la correlazione $Pot^{-0.5}$.

Modifiche all'impianto MICOS

Dalla descrizione fatta si evince che sarà necessario predisporre e regolare in maniera indipendente, due linee per l'aria (primaria + secondaria) ed una per il combustibile. Ciascuna di queste tre linee dovrà dividersi in due parti uguali in modo da alimentare le due serie di fori contrapposte sulle due piastre forate. Per una distribuzione omogenea tra i fori di ciascuna linea si installeranno collettori di tipo cilindrico le cui uscite sono disposte lungo una circonferenza.

Nella sperimentazione si indagherà, tra le altre cose, sull'effetto prodotto dall'utilizzo di diversi rapporti aria/syngas e sull'effetto delle velocità in ingresso sulla fluidodinamica, sul campo termico e sulle reazioni chimiche. Le piastre forate destra e sinistra, dovranno pertanto essere sostituibili al fine di variare il numero e/o le dimensioni dei fori. Per quanto riguarda la dimensione dei fori, può essere conveniente predisporre sulla piastra sedi filettate dove inserire ugelli di vari diametri.

La temperatura dell'aria deve essere di circa 700K. Sarà pertanto necessario dotare l'impianto di un sistema di preriscaldamento di tutta l'aria addotta, in un range 400-800K, allo scopo di avere un certo margine di manovra. Per preriscaldare l'aria, sia primaria che secondaria, si utilizzeranno scambiatori a resistenza elettrica, uno per ciascuna linea di alimentazione. La potenza termica complessiva necessaria del preriscaldatore risulta di circa 45 kW.

Date le temperature in gioco il sistema dovrà essere realizzato in una lega resistente alle elevate temperature presenti all'interno della camera di combustione (temperatura a parete calcolata massima, pari a 1300 K, sullo spigolo in prossimità dell'uscita).

Indipendentemente dal sistema di distribuzione adottato, è necessario che i flussi di aria e combustibile entrino in camera di combustione in direzione ortogonale alla superficie dei fori di immissione, in particolar modo per l'aria secondaria nella parte superiore (responsabile della formazione del vortice), adottando opportuni accorgimenti costruttivi, come ad esempio inserimento di rettificatori di flusso (honeycomb) oppure ugelli separati per ogni foro di adduzione (come sopra menzionato).

Le pareti laterali del combustore saranno realizzate in quarzo in modo da permettere l'accesso ottico, al fine di effettuare misure che prevedono l'uso di apparecchiature laser. E' il caso di predisporre anche un accesso ottico rappresentato da una finestra in quarzo anche sulla parete superiore del combustore, al fine di permettere misure laser che richiedano fasci ortogonali. La dimensione, la forma nonché la finitura superficiale di tale finestra dovrà essere valutata in base alle tecniche di misura adottate.

Le dimensioni del prototipo sono riportate nelle figure 2-4.

Da un esame della situazione attuale dell'impianto sembra che la portata nominale di aria secondaria disponibile sulla carta possa essere già sufficiente al caso in esame. E' però, in ogni caso, indispensabile che la regolazione delle portate possa essere effettuata in maniera più fine di quanto non si possa fare attualmente.

L'alimentazione del combustibile sarà effettuata mediante bombole. A questo proposito è da valutare la possibilità di utilizzare la linea di adduzione dell'idrogeno già presente sull'impianto.

Linea1:

Aria flussi tangenziali con la possibilità di escludere una delle due parti (quella opposta al lato uscita)

Range portata aria: 0.019 – 0.075 kg/s; a 700 K 142.5 – 562.5 m³/h; a 273 K 53.43 - 211 Nm³/h

Range velocità in ingresso: 60 – 120 m/s a 700 K

Linea2:

Aria flussi verticali con la possibilità di escludere una delle due parti (quella opposta al lato uscita)

Range portata aria: 0.009 – 0.035 kg/s; a 700 K 67.5 – 265.5 m³/h; a 273 K 25.31 – 98.43 Nm³/h

Range velocità in ingresso: 20 – 80 m/s a 700 K

Linea3:

Syngas con la possibilità di escludere una delle due parti (quella opposta al lato uscita)

Range portata syngas 0.007 – 0.028 kg/s; a 273 K 26.52 - 106 Nm³/h

Range velocità in ingresso: 50 – 100 m/s a temperatura ambiente

Tabella portate:

	Nm ³ /h Dichiarata	Nm ³ /h Effettiva	Nm ³ /h Richiesta
Aria Primaria	2.4 - 24	10.8 Max	0 - 100
Aria Secondaria	0 - 300		0 – 300
Linea CH4	1.3 - 13	3 - 5	0 - 15
Linea H2	4 - 40	22	
Syngas			0 – 110

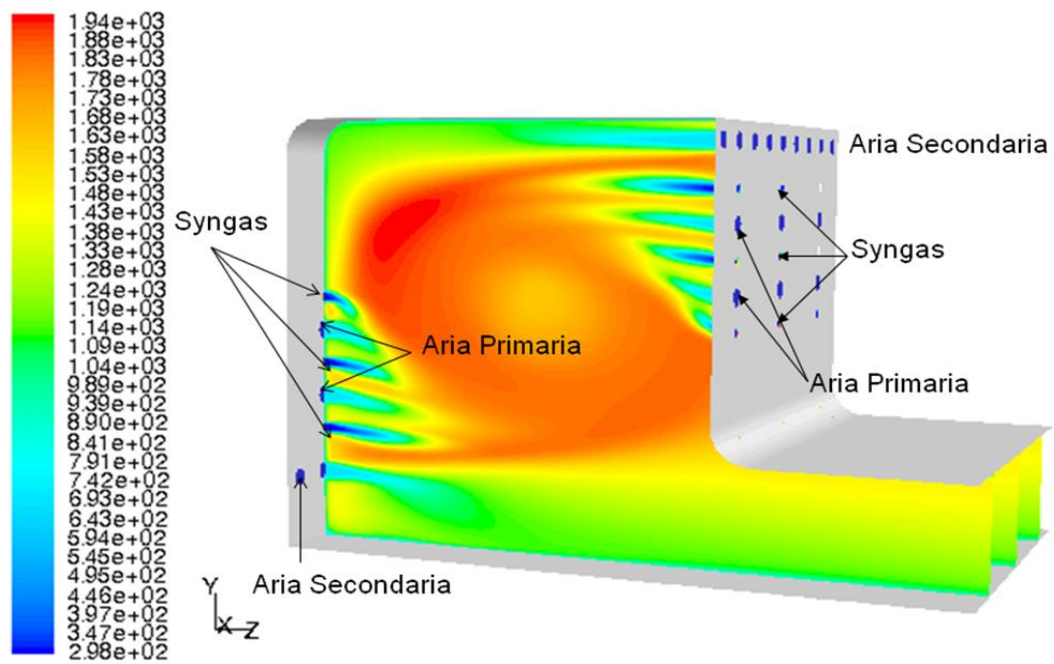


Figura 1. Prototipo TVC e campo di temperature.

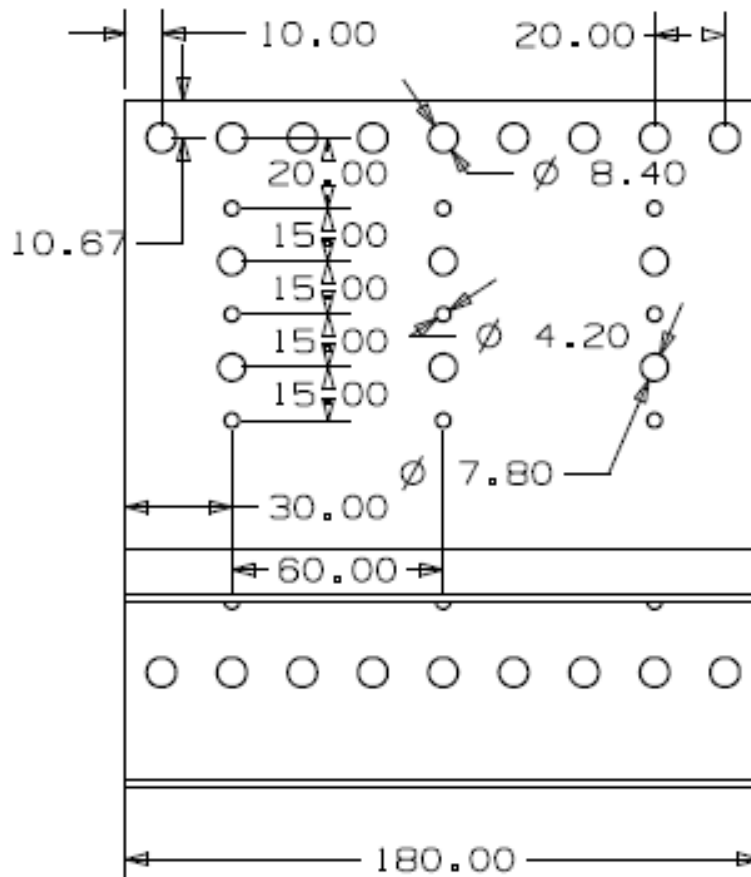


Figura 2. Vista frontale 1.

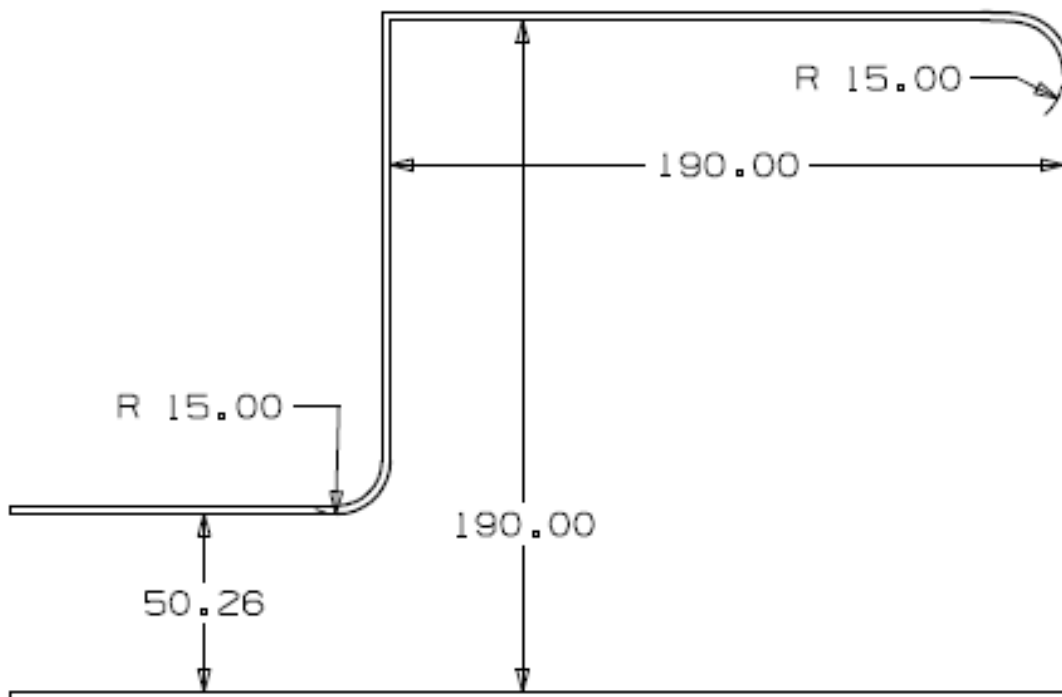


Figura 3. Vista laterale.

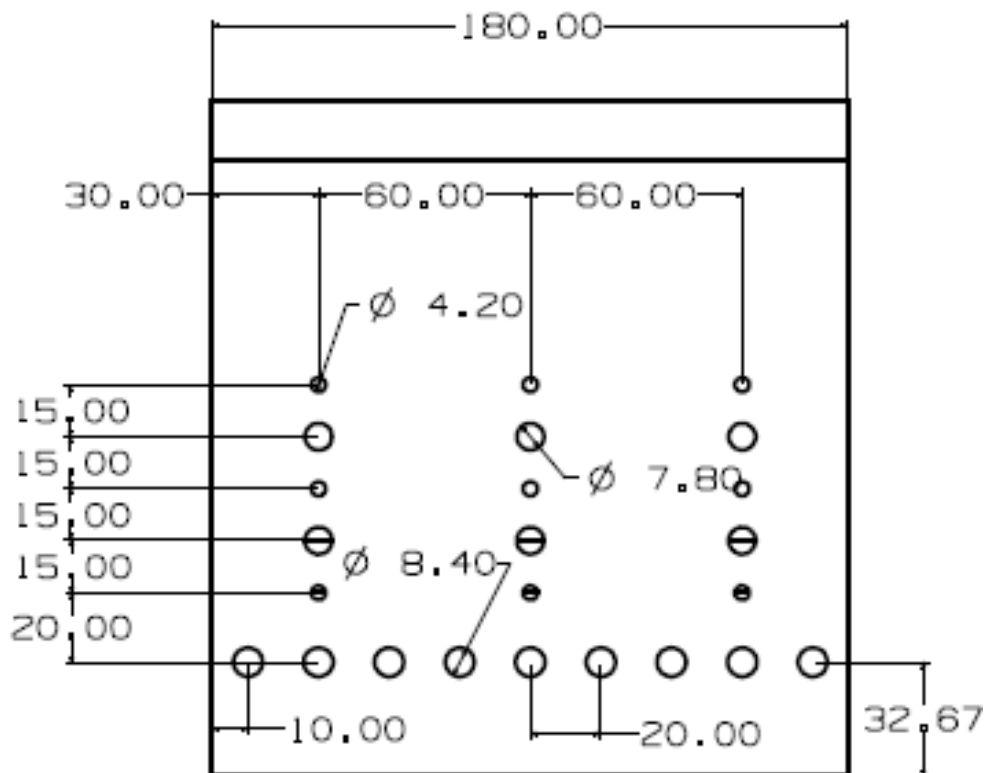


Figura 4. Vista frontale 2.