

Attività di Simulazione della Combustione

Il laboratorio sulla “Combustione Sostenibile e Processi” (UTTEI-COMSO) ha competenze nel settore dell’energia e dei processi che la coinvolgono, sia nel settore impiantistico, che sperimentale/sensoristico e numerico. I ricercatori che si occupano delle attività di simulazione utilizzano codici di simulazione fluidodinamica commerciali, come ANSYS, e ne sviluppano anche dei propri ben più accurati. In particolare, tale gruppo ha sviluppato dal 2001 un codice, denominato HeaRT, per simulazioni LES (Large Eddy Simulation) e DNS (Direct Numerical Simulation) di flussi turbolenti reattivi e non reattivi, comprimibili e non, a bassi ed alti numeri di Mach.

Negli ultimi anni il laboratorio, tra le diverse attività, sta anche puntando allo studio delle instabilità di combustione, tema molto attuale e di importanza strategica per la gestione degli impianti turbogas di produzione di energia elettrica. Questo perché la tecnologia di combustione premiscelata magra (e prevaporizzata nel caso di combustibili liquidi), adottata nelle macchine turbogas per garantire basse temperature di ingresso in turbina e bassi livelli di inquinanti, tende ad instabilità termo-acustiche, anche dette operative per i loro dannosi effetti sull’operatività della macchina, la sua affidabilità e disponibilità. Queste instabilità consistono in fluttuazioni di pressione che derivano dall’accoppiamento tra le fluttuazioni del rilascio di calore e l’acustica del sistema. Possono indurre fenomeni di ritorno di fiamma ed estinzione, vibrazioni di elementi meccanici, e, nel caso peggiore, danneggiare la macchina.

Nel prossimo futuro si prevede che il problema delle instabilità termo-acustiche diventi ancor più importante. Primo, a causa dell’aumento della flessibilità e variabilità del combustibile, dovuti al crescente interesse in combustibili alternativi (syngas, biomasse, gas naturale liquido, shale gas) ed alla crescente internazionalizzazione del commercio di gas naturale. Secondo, per il crescente bisogno di flessibilità di variazioni di carico nell’esercizio i turbogas, imposto dal crescente uso di fonti rinnovabili nella rete elettrica.

Per quanto riguarda l’uso di combustibili alternativi, c’è un forte interesse sulle miscele idrogenate in generale. Questo, sia per i grossi investimenti sulle tecnologie CCS (Carbon Capture and Storage) che per la crescente accettazione del concetto Power2Gas come via per immagazzinare energia elettrica in eccesso da fonti rinnovabili (ad esempio, produzione di H₂ per via elettrolitica utilizzando la corrente prodotta dagli impianti eolici di notte). Parlando delle tecnologie CCS, è da notare che anche la combustione oxy-fuel, in cui il combustibile è bruciato in un ossidante privo di azoto (ad esempio, miscele O₂/CO₂), tende a mostrare instabilità termo-acustiche, per giunta diverse da quelle della combustione in aria.

Per quanto riguarda la necessità di operare i turbogas con variazioni di carico più rapide, questa è in particolare dovuta al crescente uso di fonti rinnovabili. Infatti, la potenza fornita dagli impianti eolici, ad esempio, è per loro natura variabile nel tempo in modo imprevedibile. La compensazione di queste fluttuazioni è demandata ai turbogas, che devono lavorare al minimo (generalmente pari al 50% del carico massimo) quando gran parte della potenza viene dalle rinnovabili, e ripartire rapidamente quando questa cala. Si osserva che negli impianti destinati al sostegno della rete la possibilità di spegnere i turbogas non è da considerarsi perché la loro ripartenza sarebbe troppo lenta. Questo è ancor più vero per l’intero ciclo combinato a causa della lentezza del ciclo a vapore. Le fasi di carico e scarico dovranno essere più rapide di quelle attuali in cui si brucia gas naturale, stabili e con bassi livelli di emissioni. Tuttavia, l’innalzamento del gradiente temporale del

carico è limitato dall'insorgere di instabilità termo-acustiche. Questo è il problema che limita il massimo carico e scarico dei turbogas a ciclo aperto nel loro impiego come sistemi di back-up per sorgenti rinnovabili e che di conseguenza va anche a limitare la massima potenza rinnovabile installabile.

L'attività è di forte interesse per la realtà industriale ed ha l'obiettivo generale di definire, sviluppare ed implementare una tecnologia sostenibile per esercire i turbogas stazionari per la produzione di energia elettrica in modo più efficiente, con elevato grado di affidabilità e disponibilità, ed in un modo ottimale dal punto di vista dei costi per gli utilizzatori.

Sono state pianificate alcune simulazioni per il prossimo anno (2014) aventi come obiettivi specifici di ricerca:

- lo studio dei meccanismi fisici delle instabilità di combustione (caso PRECCINSTA);
- lo studio dell'interazione tra turbolenza e combustione in fiamme premiscelate metano/idrogeno/aria mediante simulazione numerica diretta (caso DNS-CH₄/H₂);
- la validazione di un nuovo modello LES per trattare tale interazione (casi BELL e/o SANDIA, e LES-CH₄/H₂);
- la validazione di tecniche numeriche volte all'aumento dell'accuratezza ed efficienza delle simulazioni (SYNGAS-MR).

Le precedenti attività rientrano nel piano triennale (2012-2014) dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico Nazionale e sono strategiche per i progetti Europei che il laboratorio COMSO sta proponendo nell'ambito della "European Turbine Network" (un progetto sulla flessibilità di carico e di combustibile dei turbogas; uno sull'ossi-combustione, ed un altro su cicli a CO₂ super-critica).

Per quanto concerne la simulazione del caso PRECCINSTA e la simulazione DNS le risorse di calcolo richieste sono estremamente elevate e non sono sufficienti quelle rese disponibili dalle piattaforme CRESCO attualmente operanti.

In particolare lo studio sul combustore PRECCINSTA sarà inizialmente portato avanti utilizzando la piattaforma BlueGene sita presso il KAUST in Arabia Saudita (utilizzando circa 64000 cores), grazie ad un accordo con un gruppo di ricerca KAUST che si è potuto attivare in quanto ne fa parte un ricercatore italiano che ha sviluppato la propria tesi presso la nostra Unità. In ogni caso, al termine del periodo concesso dal KAUST, dovremo continuare con le nostre risorse. Approssimativamente abbiamo calcolato che avremo bisogno di circa 15M di ore di calcolo e spazio su disco dell'ordine di qualche TB. Queste esigenze potrebbero in parte essere soddisfatte utilizzando la nuova piattaforma CRESCO4, ma si fa comunque presente che il potenziamento delle risorse di calcolo parallelo ENEA è indispensabile per dotare i nostri ricercatori degli strumenti adeguati per esprimere le proprie capacità scientifiche e, conseguentemente, contribuire efficacemente alla R&S del settore energetico nazionale al pari dei altri gruppi di ricerca internazionali.