



Ricerca di Sistema elettrico

Modifiche dell'assetto operativo di una μ TG Turbec T100 per l'esercizio in regime di fuel-flexibility

G. Messina, L. Pagliari, M. Nobili, R. Lo Presti, A. Grasso, S. Attanasi, S. Cassani

Modifiche dell'assetto operativo di una μ TG Turbec T100 per l'esercizio in regime di fuel-flexibility

G. Messina, L. Pagliari, M. Nobili, R. Lo Presti, A. Grasso, S. Attanasi, S. Cassani

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Generazione di energia con basse emissioni di carbonio

Progetto: Polo Tecnologico del SULCIS: Tecnologie e Metodologie "Low Carbon" e Edifici ad energia quasi zero(nZEB)

Parte A1 – Tecnologie per impiantistica energetica "low carbon"

Obiettivo: A.3 – Studi numerici e sperimentazione di 'fuel flexibility'

Responsabile del Progetto: Dott.ssa Franca Rita Picchia, ENEA

Indice

SOMMARIO.....	4
1 TEST DI ACCENSIONE DELLA MTG CON COMBUSTORE DUAL-FUEL	5
2 IPOTESI ALLA BASE DELLE MANCATE ACCENSIONI DEL COMBUSTORE DUAL-FUEL	7
3 CONCLUSIONI.....	9
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	9

Sommario

L'attività sperimentale sulla fuel-flexibility in turbina a gas ha come obiettivo la validazione di strategie di controllo finalizzate all'utilizzo di combustibili di composizione variabile, composti prevalentemente da metano con percentuali significative di idrogeno e/o inerti (N₂, CO₂), provenienti dallo stoccaggio chimico dell'eccesso di produzione da fonti rinnovabili non programmabili (power-to-gas) o dalla produzione di biogas. A tal fine, nelle annualità precedenti una delle due turbine a gas Turbec T100 in dotazione al laboratorio IPSE dell'ENEA è stata modificata per l'esercizio dual-fuel, dotandola di un doppio sistema di alimentazione, di un sistema di controllo appositamente realizzato per la gestione dei sistemi di alimentazione e di un combustore prototipo progettato per l'utilizzo di gas naturale e gas di sintesi. Nel corso di questa annualità sono state svolte le attività connesse con la sostituzione del combustore della turbina a gas, dalla quale è stato estratto il combustore originale e installato il combustore prototipo. Il programma preliminare delle attività prevedeva una serie di accensioni e prese di carico con la turbina a gas alimentata a gas naturale, per verificare la stabilità della macchina con il nuovo combustore ed evidenziare eventuali differenze nell'involuppo operativo, rispetto all'esercizio nell'assetto standard. Sono stati effettuati diversi tentativi di accensione, senza successo, sui quali si sta attualmente indagando per verificarne la causa e intervenire di conseguenza. Per isolare con certezza il sottosistema al quale attribuire la causa delle mancate accensioni, si è provveduto ad estrarre il combustore prototipo ed installare nuovamente il combustore originale, con il quale sono state eseguite, con successo, una serie di accensioni che hanno consentito di attribuire con certezza all'installazione del combustore prototipo la causa delle avarie riscontrate. Attualmente sono in corso delle verifiche funzionali sul combustore prototipo volte ad escludere le cause di malfunzionamento di più semplice individuazione (e.g. verifica scintillatore, occlusioni dei condotti di alimentazione del pilota) che hanno condotto, tra l'altro, all'individuazione di alcune termocoppie da sostituire e alla verifica funzionale di tutto il corredo sensoristico.

1 Test di accensione della mTG con combustore dual-fuel

La campagna sperimentale programmata per questa annualità prevedeva l'installazione del combustore dual-fuel sulla mTG e la successiva sequenza di accensioni a gas naturale per verificare la stabilità della turbina a gas con il nuovo combustore ed evidenziare l'eventuale impatto sull'involuppo operativo della turbina a gas. Una volta installato il combustore si è proceduto con i test di accensione, che hanno subito evidenziato delle problematiche fin dalla fase di ignizione e non hanno consentito di avviare la macchina.

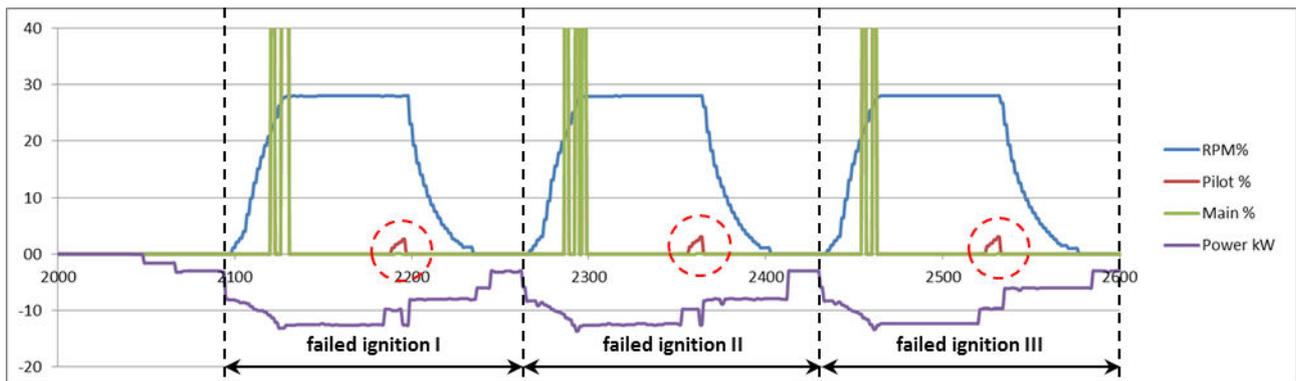


Figura 1. Dati sperimentali di alcune delle grandezze più significative monitorate durante i tentativi di accensione della μ GT Turbec T100 con il combustore dual-fuel. Si evidenzia il picco di apertura della valvola pilota.

Nello specifico sono stati effettuati tre test in sequenza (figura 1), tutti terminati con una mancata accensione. La figura riporta i dati sperimentali delle tre sequenze di avviamento, nella quale vengono evidenziati gli istanti in cui la valvola pilota si apre per inviare il combustibile destinato all'accensione. La sequenza di accensione e presa di carico della Turbec T100 prevede 5 eventi (figura 2, zone 1-5) che portano lo stato della macchina da "stopped" a "running". All'attivazione dello start il generatore elettrico funziona da motore di lancio, comincia ad assorbire potenza e accelera il rotore fino a circa il 30% della velocità nominale (1). Al termine dell'accelerazione il sistema di controllo effettua un test di apertura delle valvole, mandando un reno di impulsi di massima apertura. In questa fase il circuito di alimentazione del combustibile è isolato e vuoto. Nella fase successiva (2) viene effettuato il *purging*, ovvero una completa sostituzione dell'aria presente all'interno della macchina finalizzata ad allontanare eventuali tracce di combustibile accumulate nelle precedenti accensioni. La fase successiva (3) prevede l'iniezione del combustibile e l'accensione. Nello specifico, il circuito di alimentazione del combustibile viene riempito, la

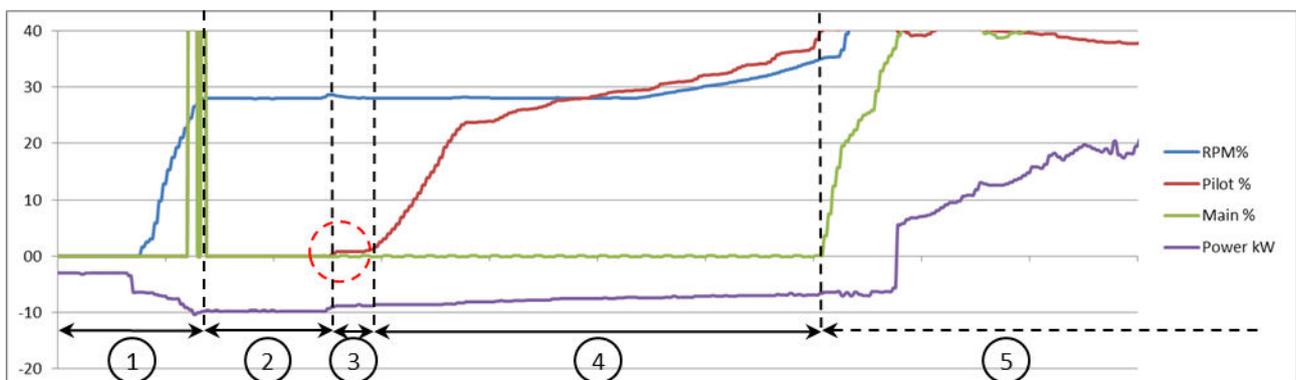


Figura 2. Andamento di alcune delle grandezze più significative monitorate durante l'esecuzione standard dell'accensione della μ GT Turbec T100.

valvola pilota viene aperta al minimo e lo scintillatore viene alimentato per qualche istante per attivare l'accensione. In condizioni normali l'accensione si autosostiene e il sistema di controllo apre gradualmente

la valvola pilota mantenendo la macchina a giri costanti (4) favorendo la graduale regimazione termica della turbina. L'ultima fase della sequenza di accensione prevede l'apertura della valvola main e il completamento della rampa di regimazione termica, al termine della quale il sistema di controllo raggiunge il set point di potenza richiesto. Se si confrontano le figure precedenti, si può notare facilmente un'anomalia nell'istante dell'accensione. In figura 2 l'accensione avviene con un'apertura minima della valvola pilota, che si protrae per qualche secondo prima di iniziare la regimazione termica. In figura 1 si nota invece come questa apertura sia molto più pronunciata, e assume la forma di un vero e proprio picco di apertura, al termine del quale viene interrotta la sequenza di accensione. I picchi di apertura della valvola pilota si ripetono identicamente nelle tre sequenze di accensione. Il picco di apertura della valvola pilota è una reazione del sistema di controllo alla mancata accensione, esso infatti non riscontrando l'atteso incremento della temperatura di scarico turbina (TOT) che interpreta come conferma dell'avvenuta accensione, tenta di aumentare la portata combustibile per favorirla. Trascorso un certo intervallo di tempo, non avendo riscontro dell'avvenuta accensione chiude repentinamente la valvola pilota, come dimostrato dall'aspetto "a dente" dei picchi di apertura, ovvero una fase di graduale apertura seguita da una chiusura repentina. Le cause alla base del comportamento evidenziato in figura 1 possono essere molteplici e in casi più "sfortunati", anche concorrenti. L'esperienza maturata con la gestione della macchina nelle annualità precedenti ha permesso di sviluppare un chiaro protocollo di controlli per risolvere il verificarsi di anomalie di questo tipo, che, in ordine di severità, possono essere dovute a:

1. assenza di alimentazione del combustibile;
2. presenza di aria o gas inerti nel circuito di adduzione del combustibile;
3. errata pressione di alimentazione del combustibile;
4. presenza di sporcizia nella linea di alimentazione del combustibile;
5. malfunzionamento dello scintillatore;
6. malfunzionamento del blocco valvole di alimentazione.

I primi tre punti sono risolvibili senza intervenire sulla macchina e richiedono delle verifiche effettuabili da control room ed un eventuale intervento oltre il limite di batteria della macchina che tipicamente implica la movimentazione di valvole o riduttori di pressione. I punti da 4 a 6 richiedono un intervento sul sistema di alimentazione della macchina che può prevedere la disconnessione dei condotti di alimentazione, lo smontaggio dello scintillatore o del blocco valvole di alimentazione. Verificati rapidamente i primi 3 punti non si sono riscontrate anomalie tali da giustificare le mancate accensioni. La verifica dei punti da 4 a 6 prevede interventi più onerosi in termini di tempo e, soprattutto per quanto riguarda lo sporco del blocco valvole di alimentazione, si tratta di interventi da effettuare in via preventiva senza poterne chiaramente verificare l'esito, in quanto anche una minima presenza di particelle estranee non riscontrabile a occhio nudo può causare anomalie nel funzionamento del blocco valvole. In tutti i casi in cui è stata

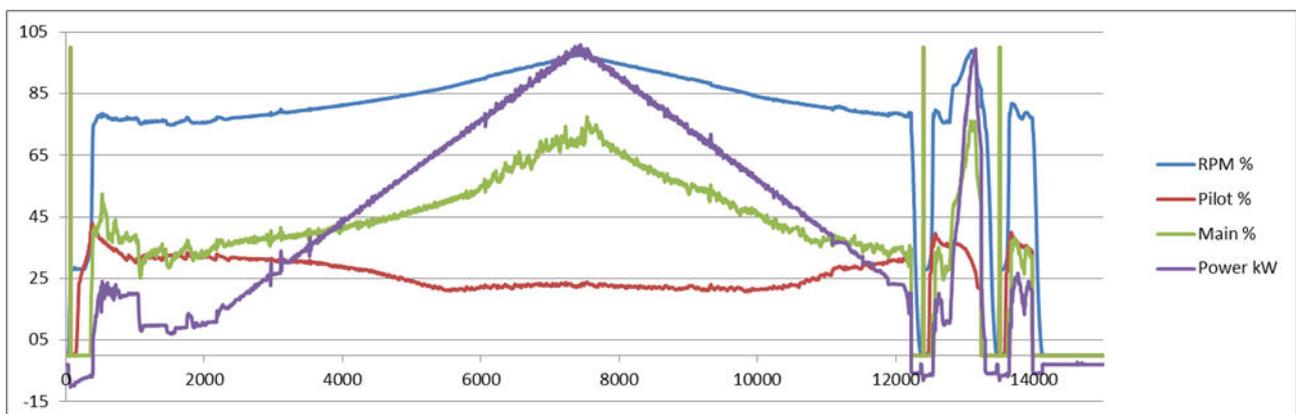


Figura 3. Test di accensione standard della μ GT Turbec T100 successivo all'installazione del combustore dual-fuel.

eseguita la pulizia del blocco valvole, non si è mai riscontrata la presenza visibile di particelle estranee, tuttavia, dopo il completo smontaggio e un'accurata pulizia di tutti componenti del blocco valvole le anomalie di funzionamento sono sempre state risolte. Nel caso in questione, per escludere la sovrapposizione di concause, di cui quelle note attribuibili al precedente elenco e quelle ignote, attribuibili al nuovo combustore, si è deciso di riportare la turbina a gas al suo stato standard e di verificare eventualmente la presenza di anomalie a partire da un assetto operativo della macchina molto meglio conosciuto. Ciò ha comportato lo smontaggio del combustore dual-fuel e la reinstallazione del combustore standard. Al termine delle lavorazioni è stata effettuata un'accensione di prova che ha avuto esito positivo senza alcun tipo di anomalia (figura 3).

2 Ipotesi alla base delle mancate accensioni del combustore dual-fuel

A valle dell'accensione effettuata con la turbina a gas in assetto standard, è stato chiaro che la causa delle mancate accensioni è attribuibile all'installazione del combustore dual-fuel. La ricerca delle motivazioni alla base dell'anomalia riscontrata è stata condotta ipotizzando:

1. malfunzionamento dello scintillatore;
2. particelle estranee accumulate nei condotti di alimentazione degli ugelli;
3. problematiche connesse con l'accoppiamento fluidodinamico del combustore con la turbina a gas.

Sono attualmente in corso le verifiche connesse con i punti 1 e 2. Nello specifico, dopo l'estrazione del combustore dual-fuel dal corpo turbina, si è proceduto a smontare il combustore separando il liner dalla testa del bruciatore (figure 5 e 7) e, successivamente, separando la testa del bruciatore dalla piastra di ancoraggio in modo da aver accesso agli ugelli del pilota e allo scintillatore (figure 6 e 8). Le operazioni di smontaggio hanno avuto il duplice obiettivo di accedere alle parti interne del combustore per eseguire la pulizia delle sezioni di passaggio del combustibile per provvedere alla rimozione di eventuali particelle estranee e, operazione già in previsione, verificare il funzionamento delle termocoppie ed eventualmente

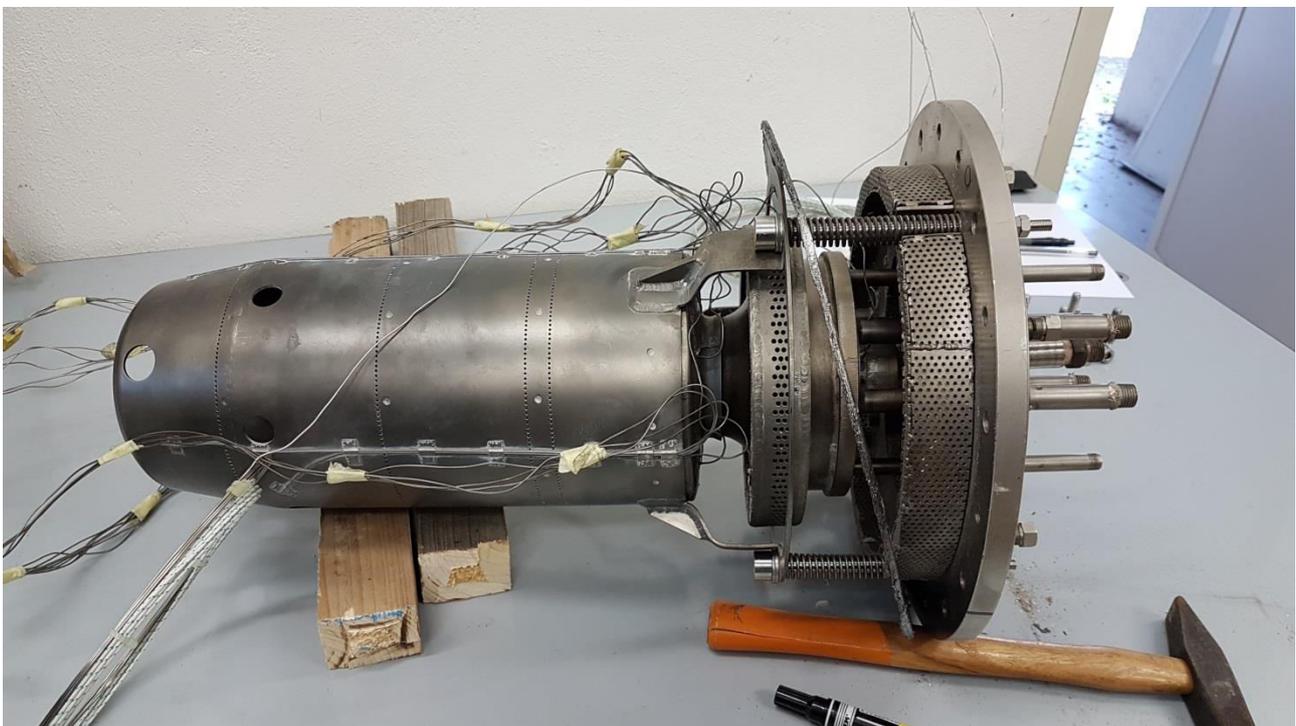


Figura 4. Il combustore dual-fuel estratto dalla µGT Turbec T100 predisposto per lo smontaggio..

procedere alla sostituzione. La verifica delle termocoppie è attualmente in corso, successivamente si provvederà al "soffiaggio" dei singoli componenti e al montaggio.



Figura 5. Piastra di ancoraggio e testa del bruciatore dual-fuel assemblati.

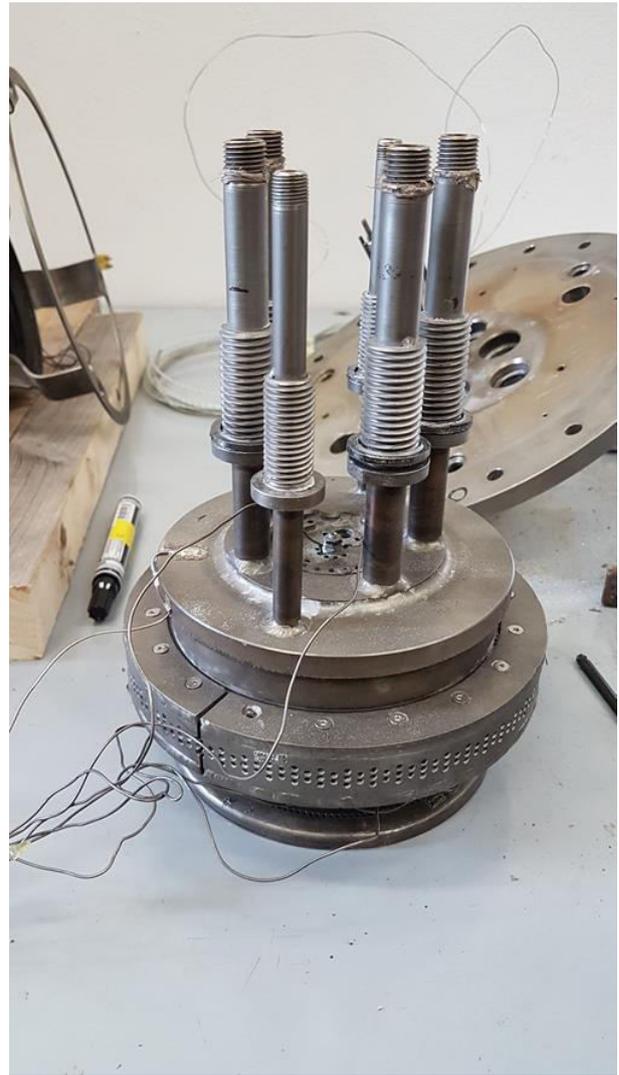


Figura 6. Testa del bruciatore dual-fuel separata dalla piastra di ancoraggio.



Figura 7. Il liner del combustore dual-fuel separato dalla testa del bruciatore.



Figura 8. La piastra di ancoraggio del combustore dual-fuel separata dalla testa del bruciatore.

A questa fase seguirà la reinstallazione del combustore nel corpo turbina e l'esecuzione di un nuovo test di accensione. L'esito del test, se positivo, escluderà l'accoppiamento fluidodinamico dalle possibili cause di anomalia. Tuttavia, quest'ultima ipotesi sembra non essere così remota come è stato evidenziato dalle simulazioni CFD effettuate sul combustore nelle precedenti annualità. In [1] si evidenzia infatti un eccesso di diluizione del combustibile nella zona primaria del combustore durante l'esercizio a gas naturale, che potrebbe essere corretto o incrementando la portata di combustibile o riducendo la portata d'aria. Nel

primo caso sarebbe necessario intervenire sul sistema di controllo della turbina a gas, operazione possibile modificando opportunamente il sistema di controllo esterno sviluppato dall'ENEA nelle precedenti annualità. Anche il secondo caso potrebbe essere una soluzione percorribile, a patto di installare il combustore dual-fuel sulla turbina a gas dell'impianto AGATUR, dotato dei dispositivi necessari per spillare in maniera controllata aria dalla mandata del compressore.



Figura 9. La linea di spillamento aria alla mandata compressore della μ GT Turbec T100 dell'impianto AGATUR.



Figura 10. Dettaglio della linea di spillamento aria alla mandata compressore della μ GT Turbec T100 dell'impianto AGATUR.

3 Conclusioni

L'attività sperimentale in generale, specie se condotta su facility di scala rilevante, comporta il rischio intrinseco di imprevisti in grado di alterare significativamente la pianificazione preliminare delle attività. Tuttavia, questo genere di imprevisti hanno il pregio di stimolare la ricerca di soluzioni che richiedono una comprensione approfondita dei fenomeni oggetto di studio e, talvolta, a condurre a soluzioni inaspettate. Nel caso in questione, la mancata accensione del combustore dual-fuel, oltre ad alterare significativamente la scaletta delle attività sperimentali, sta richiedendo notevoli sforzi non previsti per l'individuazione delle cause correlate, che, se si escludono le opzioni più banali quali lo sporcamento, potrebbero condurre alla ricerca di soluzioni tendenti ad ampliare il dominio sperimentale inizialmente previsto. Nello specifico, ciò potrebbe avvenire nel caso non si potessero escludere problematiche connesse con l'accoppiamento fluidodinamico tra il combustore dual-fuel e la turbina a gas.

4 Riferimenti bibliografici

[1] A. Bo et Al., "Simulazioni Numeriche di un Combustore Dual-Fuel di in una Micro-Turbina nella Fase di Switch da Gas Naturale a Syngas", Report RdS/PAR2016/185, 2017