



## Ricerca di Sistema elettrico

# Modifiche integrazioni ed esercizio dell'impianto AGATUR

*G. Messina, A. Assettati, A. Grasso, G. Guidarelli, C. Stringola*

## MODIFICHE INTEGRAZIONI ED ESERCIZIO DELL'IMPIANTO AGATUR

G. Messina, A. Assettati, A. Grasso, G. Guidarelli, C. Stringola (ENEA)

Settembre 2013

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2012

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto: Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

Obiettivo: Cicli energetici ad alta efficienza "capture ready"

Responsabile del Progetto: Stefano Giammartini, ENEA



Gli Autori ringraziano Mirko Nobili per il supporto tecnico prestato nell'installazione e configurazione della telecamera di monitoraggio del cross-piping.

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 L'IMPIANTO AGATUR.....	6
2.1 IL GENERATORE DI VAPORE.....	6
2.2 IL VESSEL.....	6
2.3 LA MICROTURBINA.....	7
2.4 MODIFICHE ED INTEGRAZIONI ALL'IMPIANTO.....	8
3 MESSA IN LINEA DELLA MICRO – TG TURBEC T100.....	9
4 CONCLUSIONI.....	11

## Sommario

In questo documento verranno descritte le attività relative alle modifiche ed alle integrazioni impiantistiche attualmente in corso sull'impianto AGATUR, alla messa in esercizio della microturbina Turbec T100 ed alla realizzazione di un'interfaccia di acquisizione dati. Le attività di seguito descritte ricadono nell'ambito dell'Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA, obiettivo d, "Cicli Energetici ad alta Efficienza *Capture Ready*" del progetto B.2, "Cattura e Sequestro della CO<sub>2</sub> Prodotta da Combustibili Fossili". L'obiettivo principale delle modifiche di cui è attualmente oggetto l'impianto AGATUR, consiste nel dotarlo della flessibilità operativa necessaria a renderlo un banco prova per sistemi di conversione dell'energia basati sulla turbina a gas, con particolare riferimento a cicli di potenza "*capture ready*" alimentati a gas naturale. Ciò richiede non soltanto una marcata flessibilità di esercizio dell'impianto ma, soprattutto, la necessità di adattare agevolmente le connessioni tra le varie sezioni del sistema alle configurazioni di ciclo che si intendono testare sperimentalmente. Gli investimenti effettuati, nonostante le attività di modifica siano ancora in corso, hanno già consentito di ottenere dei risultati che dimostrano la validità del concetto di impianto flessibile, rapidamente adattabile a layout impiantistici differenti. Tra i risultati ottenuti è senz'altro degno di nota il collaudo della microturbina ed il successivo esercizio che ha consentito di ottenere i primi dati sperimentali. Fondamentale per il raggiungimento di quanto sopra, è stata l'acquisizione ed il successivo adattamento di alcune sezioni di piping necessarie a svincolare fluidodinamicamente la microturbina dalle altre sezioni dell'impianto e, di conseguenza, ad esercirla indipendentemente dallo stato di completamento del sistema nel suo complesso. Parallelamente alle attività sopra descritte, è stata intrapresa ed ultimata la progettazione del sistema di isolamento termico delle linee e dei supporti del piping dell'impianto. Le attività di realizzazione sono sostanzialmente completate per quanto riguarda la costruzione e l'installazione dei supporti, delle linee di interconnessione vessel-microturbina e dei giunti di espansione. Quanto già realizzato comporta peraltro la possibilità di intraprendere le attività relative all'isolamento termico delle linee già installate entro un orizzonte temporale molto ravvicinato.

## 1 Introduzione

AGATUR (Advanced GAS Turbine Rising) è un impianto concepito per la sperimentazione su sistemi di conversione dell'energia basati sulla turbina a gas. L'impianto è particolarmente versato per il testing di cicli turbogas non convenzionali che utilizzano miscele gassose diverse dall'aria come fluido di lavoro. AGATUR è costituito da tre sezioni principali mutuamente connesse: la microturbina, il vessel ed il generatore di vapore. Il cuore del sistema è rappresentato dalla microturbina Turbec T100 da 100 kW elettrici, modificata per essere fluidodinamicamente accoppiata al vessel. Quest'ultimo, grazie ad un volume di circa 40 m<sup>3</sup>, può essere esercito per emulare una capacità fluidodinamica e/o generare autonomamente miscele gassose di varia composizione chimica, temperatura e pressione, anche con l'ausilio del combustore autonomo di cui è dotato. Il generatore di vapore è accoppiato alla microturbina tramite il vessel, attraverso il quale può influire sulla composizione del fluido di lavoro del ciclo turbogas, mediante iniezione di vapor d'acqua in pressione. Quella appena descritta è la configurazione "nativa" dell'impianto, il quale è soggetto a tutt'oggi ad una serie di modifiche ed integrazioni che ne accresceranno la versatilità.

L'obiettivo primario delle modifiche è l'installazione dei componenti e delle infrastrutture di servizio utili alla realizzazione di un ciclo turbogas "capture ready" alimentato a gas naturale, mediante ossicombustione in atmosfera sintetica CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>. Il riferimento alle tecnologie di cattura della CO<sub>2</sub> è evidente, l'idea è infatti quella di esercire la microturbina con un fluido di lavoro composto principalmente da anidride carbonica ed ossigeno comburente, ed effettuare la cattura della CO<sub>2</sub> generata per semplice spillamento e condensazione del vapore di combustione, senza la necessità di agenti chimici ed infrastrutture impiantistiche dedicate. Le sfide tecnologiche da superare sono molteplici e riguardano principalmente i diversi aspetti connessi con l'esercizio della microturbina in condizioni di funzionamento estremamente diverse rispetto a quelle per le quali è stata progettata. Le integrazioni impiantistiche di cui AGATUR è attualmente oggetto, consentiranno di affrontare il problema con un approccio "morbido" orientato alla graduale modifica della composizione del fluido di lavoro verso concentrazioni crescenti in CO<sub>2</sub>. Ciò avverrà riutilizzando i gas di scarico della stessa microturbina, i quali verranno raffreddati mediante scambiatore di calore e avviati verso il vessel con l'ausilio di un estrattore. La pressione del vessel sarà mantenuta ad un valore leggermente superiore alla pressione ambiente, controllandola mediante valvola di sfioro verso l'atmosfera. La microturbina, connessa al vessel dal lato aspirazione, lavorerà con una miscela gassosa che, con l'avanzare del processo, sarà sempre più concentrata in CO<sub>2</sub> fino al raggiungimento della condizione limite. Tale condizione coincide con la completa sostituzione del fluido di lavoro iniziale con un'atmosfera sintetica formata da anidride carbonica ed ossigeno. Un approccio di questo tipo, supportato da una serie sistematica di test sperimentali, consente di identificare singolarmente i limiti del processo e, di conseguenza, di istruire le procedure per la gestione ed il controllo dello stesso.

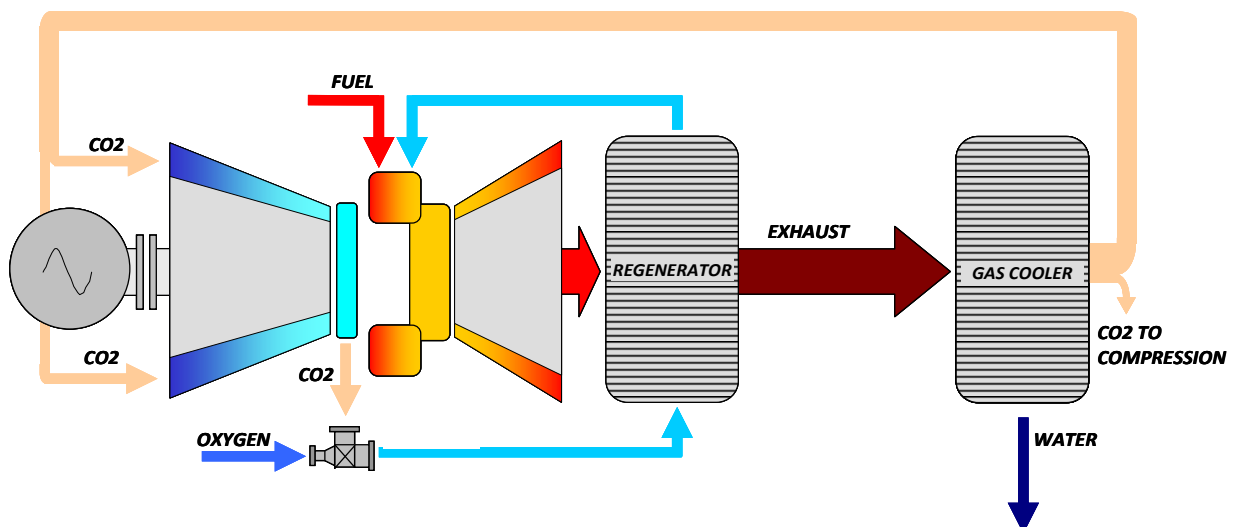


Figura 1. Schema concettuale del ciclo turbogas "capture ready".



## 2 L'impianto AGATUR

Come già accennato, AGATUR è composto da tre sezioni principali: la microturbina, il vessel ed il generatore di vapore. Il sistema è stato concepito per esercire le tre unità sia singolarmente sia in modo coordinato, collegandole fluidodinamicamente l'una all'altra. Questa caratteristica rende il sistema nel suo complesso particolarmente flessibile, e consente di emulare cicli termodinamici con caratteristiche differenti in termini di layout e di fluido di lavoro. Nel seguito una descrizione più dettagliata dei sottosistemi che compongono AGATUR.



**Figura 2. Turbec T100 modificata per la connessione fluidodinamica al vessel. Vista lato flange di connessione.**



**Figura 3. Turbec T100 modificata per la connessione fluidodinamica al vessel. Vista lato combustore.**



**Figura 4. Generatore di vapore.**



**Figura 5. Vessel. Vista lato combustore e rampa gas.**

### 2.1 Il generatore di vapore

Il generatore di vapore ha lo scopo di produrre vapore d'acqua saturo secco a partire dall'acqua resa disponibile dalla rete idrica. Il sistema, fornito in package, è composto essenzialmente da due torri di addolcimento per il trattamento dell'acqua di rete, pompa di alimento caldaia, caldaia, gruppo di riduzione lato vapore, sistema di scarico fumi, quadro di controllo locale. Il sistema nel suo complesso può fornire una portata di vapore compresa tra 200 e 800 kg/h alla pressione massima di 12 bar con un titolo minimo del 99,9%.

### 2.2 Il vessel

Il vessel è il nodo principale che connette fluidodinamicamente le tre sezioni dell'impianto, esso è infatti collegato al generatore di vapore, a due serbatoi criogenici per l'accumulo di gas tecnici ed alla

microturbina. Le connessioni tra il vessel e la microturbina prevedono attualmente la possibilità di scambiare fluido “caldo” ed in pressione in modalità bidirezionale. Maggiori dettagli al riguardo vengono forniti nel paragrafo successivo. Il vessel ha una capacità di circa 40 m<sup>3</sup>, pressione e temperatura massime di esercizio di 9 bar e 1000 °C. La notevole capacità, la connessione ai serbatoi criogenici ed il combustore autonomo di cui è dotato, lo rendono un vero e proprio generatore di gas in grado di alimentare l’impianto con fluidi di temperatura, pressione e composizione variabili. Le attività in corso incrementeranno ulteriormente le modalità di connessione fluidodinamica tra il vessel e la microturbina, consentendo lo scambio di fluido “freddo” dal vessel alla sezione di aspirazione della microturbina e dalla sezione di scarico della microturbina, verso il vessel.

### 2.3 La microturbina

Il cuore dell’impianto AGATUR è rappresentato dalla microturbina TURBEC T100, una turbina a gas rigenerativa da 100 kW elettrici. La macchina è stata profondamente modificata nel gas-path e nel sistema di controllo, per ottemperare ai requisiti di flessibilità e di esercizio richiesti. Più in dettaglio, le modifiche del gas-path hanno comportato l’interruzione dello stesso in tre sezioni, mediante le quali la microturbina può essere connessa fluidodinamicamente al vessel. Due delle interruzioni sopra citate, sono posizionate rispettivamente nei due rami di uscita lato freddo del rigeneratore, la terza è posiziona alla mandata compressore. Nella configurazione così ottenuta, la microturbina può scambiare fluidi da e verso il vessel. Nello specifico, la microturbina può cedere fluido al vessel dalla mandata compressore e dall’uscita del rigeneratore; il vessel può cedere fluido alla microturbina nella direzione del combustore.

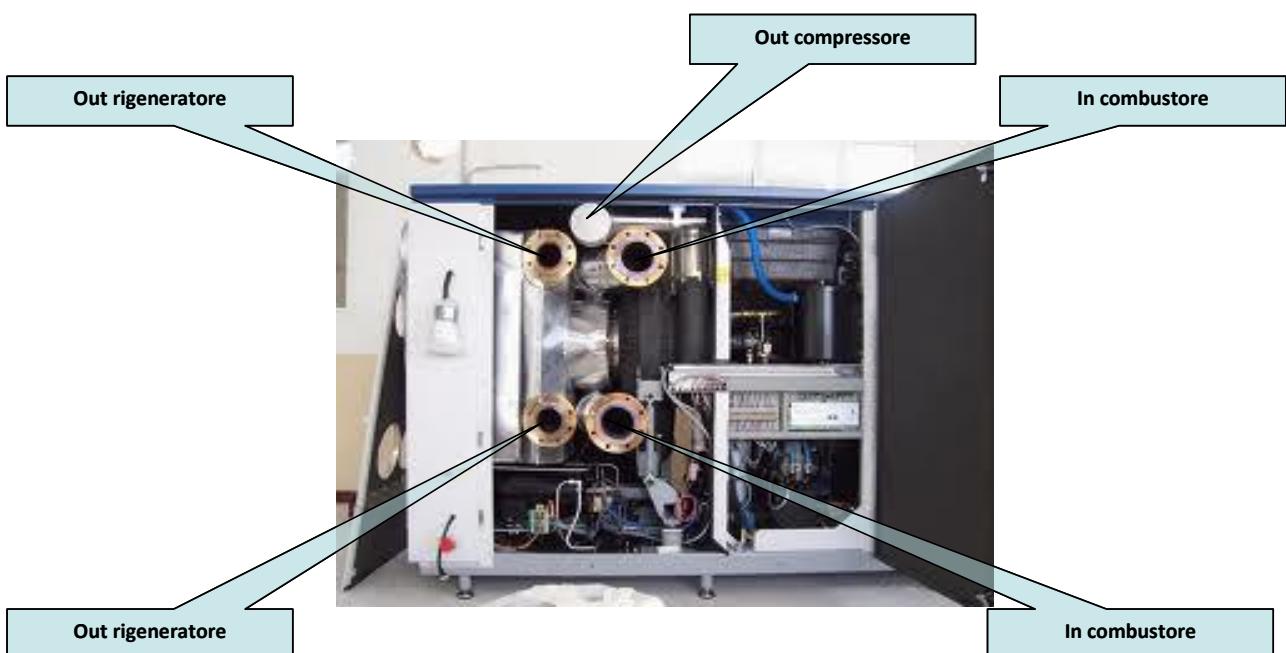


Figura 6. dettaglio delle interruzioni nel gas-path della Turbec T100.

Il sistema di controllo standard della T100 prevede che l’operatore possa controllare la microturbina essenzialmente mediante il set-point di potenza elettrica, fissato il quale, tutti gli altri parametri di funzionamento vengono gestiti dal controller. La microturbina di AGATUR è equipaggiata con un sistema di controllo modificato, che consente all’operatore di gestire la macchina nella modalità standard già descritta, o di passare ad una gestione operativa basata sul controllo della velocità di rotazione e della TOT (Turbine Outlet Temperature). Questa doppia modalità di controllo rende l’esercizio della macchina più flessibile e dimostrerà la sua utilità nella transizione dal funzionamento convenzionale, ad aria, verso fluidi di lavoro sempre più ricchi in CO<sub>2</sub>.

## 2.4 Modifiche ed integrazioni all'impianto

Le attività attualmente in corso l'Impianto AGATUR, riguardano principalmente la modifica delle connessioni tra i tre sotto-sistemi di cui si è detto. Sono state concluse le attività relative alla progettazione del sistema di isolamento termico delle linee. Le attività di progettazione e realizzazione sono sostanzialmente completate per quanto riguarda la costruzione e l'installazione dei supporti del piping, l'installazione delle linee "calde" di interconnessione vessel-microturbina e l'installazione dei giunti di espansione. Quanto sopra comporta, peraltro, la possibilità di intraprendere le attività relative all'isolamento termico delle linee già installate entro un orizzonte temporale molto ravvicinato. Rimangono da eseguire l'installazione del sistema di raffreddamento dei fumi e delle due connessioni "fredde" tra la microturbina ed il vessel, attività entrambe necessarie al completamento del loop "capture ready". Parallelamente alle attività sopra descritte, è stata eseguita l'acquisizione ed il successivo adattamento di alcune sezioni di piping necessarie a svincolare fluidodinamicamente la microturbina dalle altre sezioni dell'impianto e, di conseguenza, ad esercirla indipendentemente dallo stato di completamento del sistema nel suo complesso. L'attrezzatura acquisita, denominata "cross-piping" è costituita da tre sezioni di tubazione in acciaio inox per alte temperature ed è stata realizzata dalla casa costruttrice della microturbina. Ciascun elemento del cross-piping ha lo scopo di ristabilire la continuità del gas-path della microturbina, laddove è stata interrotta per la connessione con il vessel.



Figura 7. Test di tenuta del cross-piping prima della riconfigurazione.

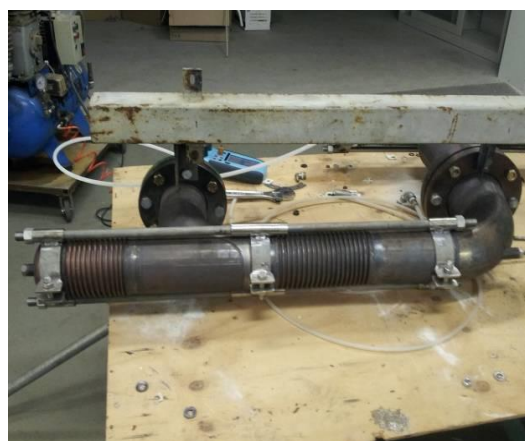


Figura 8. Test di tenuta del cross-piping dopo la riconfigurazione.

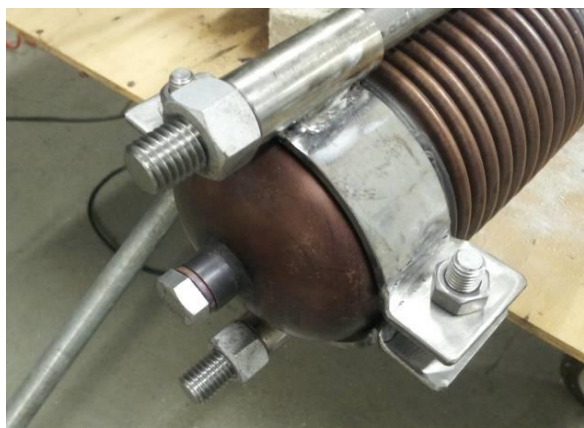


Figura 9. Particolare dei tiranti di irrigidimento e della tenuta lato fondello del cross-piping dopo la riconfigurazione.



Figura 10. Particolare del sistema di irrigidimento del cross-piping dopo la riconfigurazione.



Il cross-piping rappresenta quindi un componente ad alto livello di criticità, sia per le condizioni termo-bariche a cui è sottoposto (4,5 bar – 650 °C), sia per l’impatto che esercita sulla performance della macchina. Trattandosi di attrezzatura non standard, realizzata ai soli fini sperimentali, prima di essere installata sulla macchina è stata testata e successivamente modificata nella configurazione per migliorarne l’efficacia. Nello specifico, sono stati “ripensati” e realizzati i sistemi di tenuta e di irrigidimento, ottenendo un evidente miglioramento nelle prestazioni.

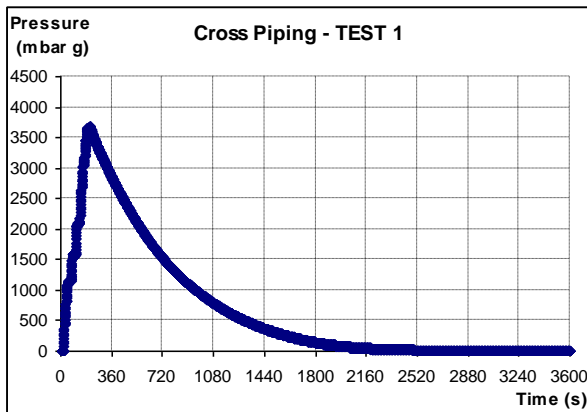


Figura 11. Test di tenuta del cross-piping prima della riconfigurazione.

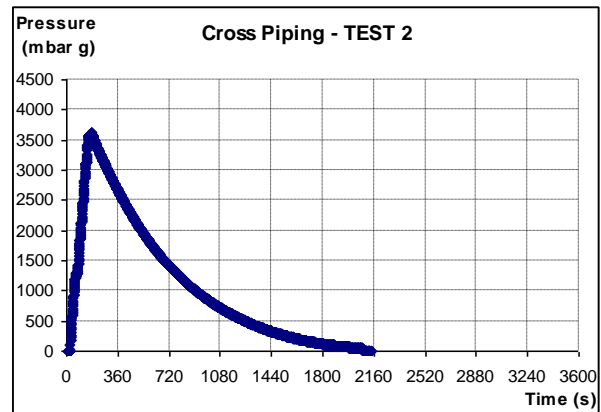


Figura 12. Test di tenuta del cross-piping dopo il primo tentativo di modifica.

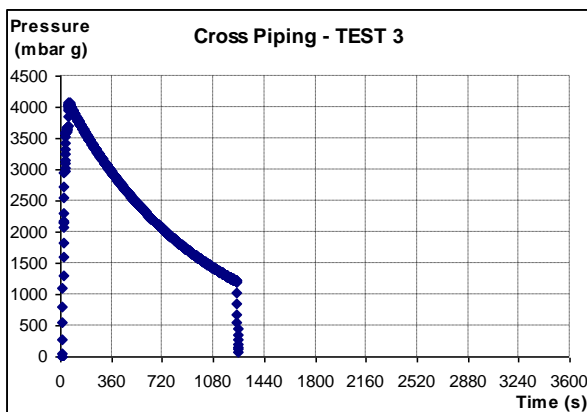


Figura 13. Test di tenuta del cross-piping dopo il secondo tentativo di modifica.

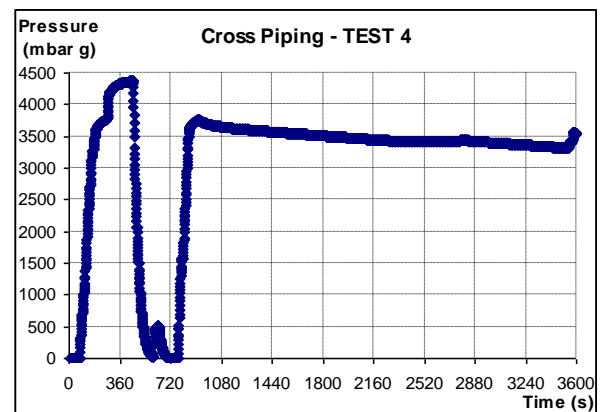


Figura 14. Test di tenuta del cross-piping nella configurazione attuale.

### 3 Messa in linea della micro – TG Turbec T100

La messa in linea della microturbina è stata effettuata grazie all’attuazione di una serie di attività che hanno permesso il collaudo della macchina, nonostante l’impianto AGATUR sia a tutt’oggi in fase di commissioning. Si è provveduto preliminarmente a smontare le sezioni di piping che collegavano la microturbina al vessel. Successivamente, dopo aver completato le attività di riconfigurazione del cross-piping di cui si è già detto, è stato effettuato l’assemblaggio dello stesso a bordo macchina. A causa dell’incompatibilità tra la pressione del combustibile fornito dalla rampa gas e la pressione richiesta dal sistema di alimentazione della macchina, è stato necessario intervenire su quest’ultimo, escludendo il compressore di alimentazione a bordo macchina e ricostruendo la linea di alimentazione fino alle valvole di controllo del combustore. E’ stato necessario, inoltre, intervenire sul dispositivo di interfaccia che gestisce

la connessione della microturbina alla rete elettrica, modificandone i parametri per adattarli alla normativa vigente.



Figura 15. La microturbina svincolata dal vessel e resa operativa mediante il cross-piping.



Figura 16. Intervento a bordo macchina per l'esclusione del compressore di alimentazione.

L'impianto AGATUR è dotato di un sistema di acquisizione che consente di monitorare tutte le misure provenienti dalla strumentazione in campo. Tuttavia, anche la microturbina è dotata di strumentazione propria che fornisce informazioni al controller della macchina.

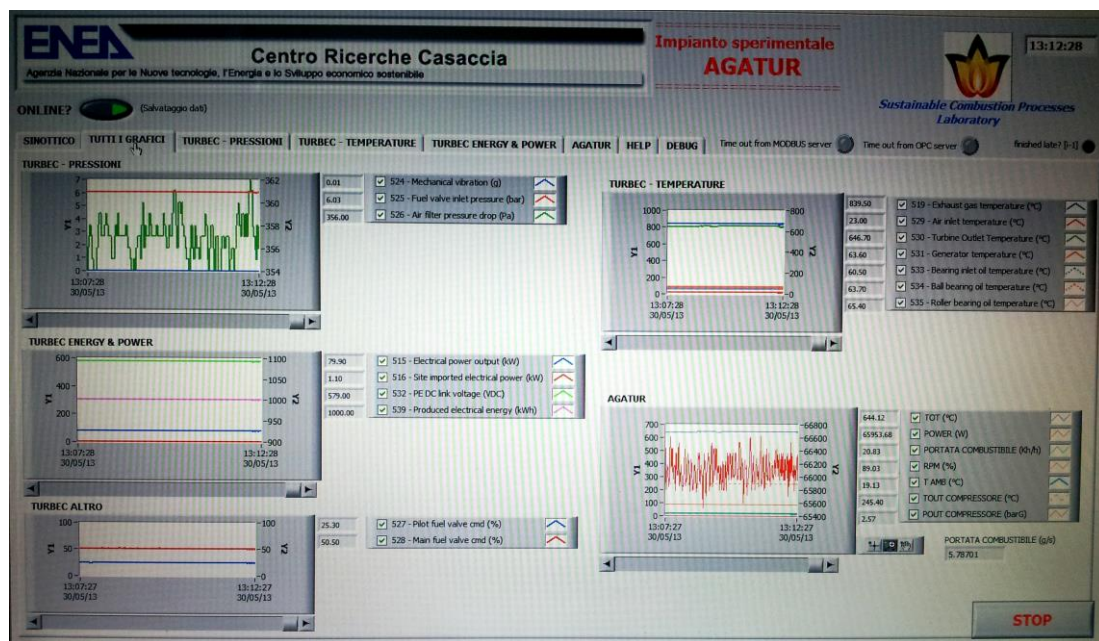


Figura 15. Interfaccia in ambiente LabVIEW® per l'accesso simultaneo alle grandezze monitorate dai sistemi di acquisizione e controllo di AGATUR e della microturbina.

Normalmente le misure effettuate dalla strumentazione a bordo macchina, per quanto utili all'indagine sperimentale, sono solo parzialmente accessibili e, in ogni caso, non acquisibili. Per superare l'inconveniente è in corso la creazione di un'interfaccia software in grado di accedere sia alle misure monitorate dal sistema di acquisizione di cui è dotato AGATUR, sia alle misure effettuate dalla strumentazione della microturbina. L'interfaccia, realizzata in ambiente LabVIEW®, nonostante incompleta e con obiettivi più ambiziosi, è già operativa ed ha consentito il monitoraggio completo dei parametri di funzionamento della microturbina.

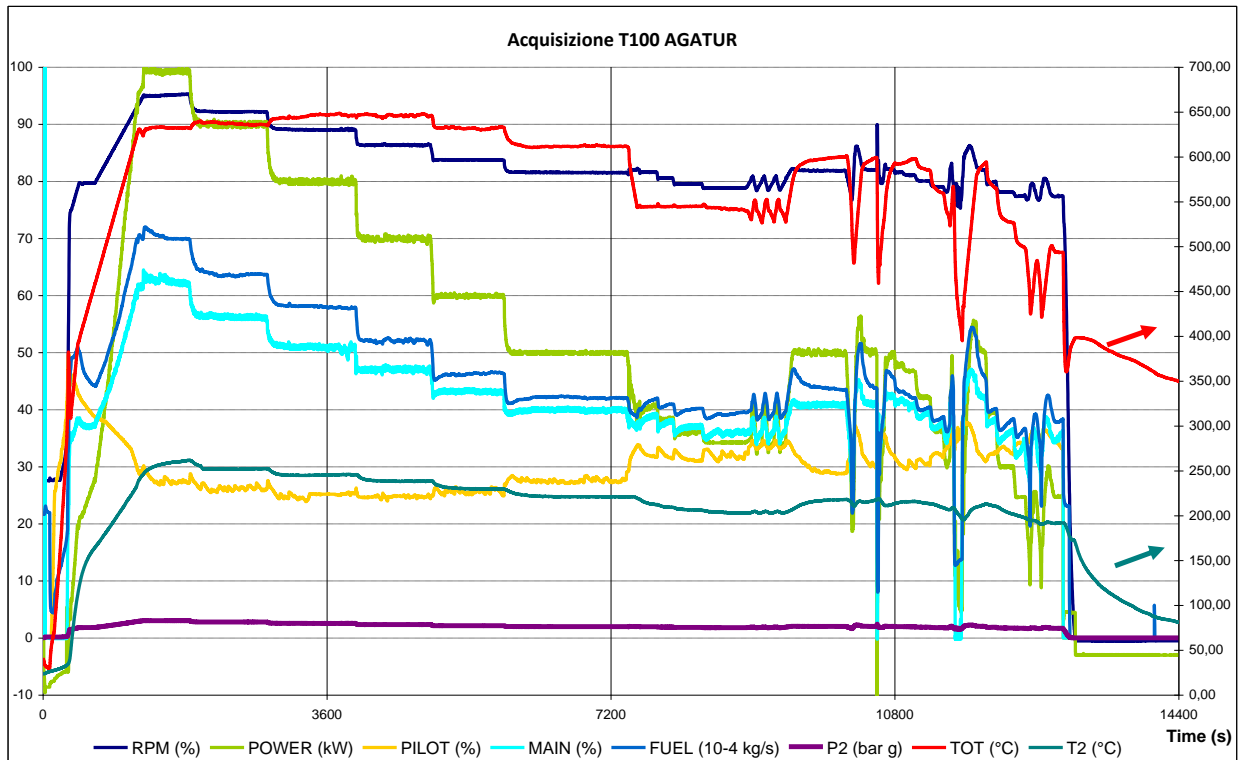


Figura 16. Alcune delle variabili della microturbina monitorate ed acquisite mediante dall'interfaccia in ambiente LabVIEW.

## 4 Conclusioni

Lo stato di avanzamento raggiunto nelle attività che vedono coinvolto l'impianto AGATUR, ha consentito di acquisire per questa annualità i primi dati sperimentali derivanti dall'avviamento della microturbina Turbec T100. L'obiettivo raggiunto assume maggior enfasi se messo in relazione con altre attività del Laboratorio nell'ambito dello stesso PAR, per le quali i dati sperimentali acquisiti si rivelano preziosi, non ultima tra queste la modellistica numerica. L'avviamento della T100, effettuato in parallelo con l'esecuzione di altre lavorazioni che rendono AGATUR non esercibile nel suo complesso, rappresenta inoltre una prima conferma del livello di flessibilità di layout e di esercizio che si vuole acquisire con gli investimenti attualmente in corso sull'impianto.