

Titolo title			Identificativo document no.			Rev. rev.	Pagina page	Di of
TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI			DG00043613			C	1	16
						Classe di Riservatezza confidential class		
Tipo doc. doc. type	Codice Emittente Teamcenter teamcenter issuer code	Ente Emittente issued by	Edizione in lingua language	Derivato da derived from			Rev. rev.	
RT	SER	SER/GAS	ITALIANA					
Commissa job no.	Progetto Project		Cliente client					
C10515SG	BRINDISI		ENIPOWER					
Rev. rev.	Descrizione kind of revision							
A	Analisi risultati tests Vorticolatore Assiale denominato "Dual Pilot"							
B	Aggiornamento 2018 analisi risultati tests Vorticolatore Assiale denominato "Dual Pilot"							
C	Aggiornamento revisione B per protezione informazioni riservate							
C	I	R. Barbieri	M. Michele				G. Gentile	
		SER/GAS/FCE	SER/GAS/ESS				SER/GAS	
B	I	S. Fausone	M. Michele	L. Buzzoni	R. Barbieri		G. Gentile	
		SER/GAS/ESS	SER/GAS/ESS	SER/GAS/ESS	SER/GAS/FCE		SER/GAS	
A	I	Moroni	Buzzoni		Barbieri		Gentile G.	
		SER/GAS/ESS	SER/GAS/ESS		SER/GAS/FCE		SER/GAS	
Rev rev.	Scopo scope	Preparato prepared	Controllato checked	Verificato verified	Verificato verified	Verificato verified	Approvato Approved	Data Date

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 2	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

INDICE

1.	SCOPO DEL DOCUMENTO	3
2.	INSTALLAZIONE E FUNZIONAMENTO APRILE / GIUGNO 2017	4
2.1	STABILITÀ DI COMBUSTIONE	5
2.2	EMISSIONI.....	8
3.	PROVE A CARICO COSTANTE: TEST LUGLIO E SETTEMBRE2017 (CC2) E SETTEMBRE 2018 (CC3).....	10
3.1	STABILITÀ DI COMBUSTIONE	10
3.2	EMISSIONI.....	12
4.	RISULTATI DELLE ISPEZIONI	14
4.1	ISPEZIONE BRUCIATORI “DUAL PILOT” CC2 E CC3.....	14
5.	CONCLUSIONI	16

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 3	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

1. Scopo del documento

Scopo del presente documento è l'analisi del comportamento del nuovo bruciatore "Dual Pilot" in termini di stabilità della combustione ed emissioni, in seguito all'installazione sulla Turbina a Gas del Ciclo Combinato 2 di Brindisi (di seguito CC2) avvenuta durante il fermo manutentivo di Marzo 2017 e sulla Turbina a Gas del Ciclo Combinato 3 di Brindisi (di seguito CC3) avvenuta durante il fermo manutentivo di Febbraio-Marzo 2018.

La revisione B di Ottobre 2018 integra la revisione A del Novembre 2017, relativa ai primi mesi di esercizio del nuovo bruciatore "Dual pilot" sul Ciclo Combinato 2, con:

- i risultati ottenuti dall'installazione nel corso del 2018 sul Ciclo Combinato 3;
- l'analisi delle performance su medio periodo (Marzo 2017 - Settembre 2018) del bruciatore installato sul Ciclo Combinato 2.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 4	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

2. Installazione e funzionamento Aprile / Giugno 2017

Durante la fermata manutentiva del Ciclo Combinato 2 di Brindisi di Marzo 2017, Ansaldo Energia ha provveduto all'installazione del nuovo tipo di bruciatore "Dual Pilot", al fine di verificarne le prestazioni in termini emissivi e di stabilità durante l'esercizio con miscela gas naturale - gas petrolchimico. Al riavviamento della turbina a gas, sono stati eseguiti dei test per la verifica dei parametri di regolazione; i risultati hanno mostrato una buona stabilità di combustione ed emissioni contenute, validando l'utilizzo del bruciatore in alternativa al bruciatore pilota diffusivo nell'attuale range di funzionamento in termini di percentuale di H₂ e minimo carico.

Pertanto durante il periodo Aprile-Giugno 2017 il bruciatore è stato esercito con miscele di combustibile contenenti H₂ in percentuali inferiori al 15% e carico della turbina a gas superiore al 60%; è stato monitorato il comportamento del turbogas in termini di emissioni in atmosfera e stabilità di combustione. In particolare, nei grafici seguenti è possibile verificare come il cambio dei bruciatori non abbia avuto effetti sulle dinamiche di combustione della macchina.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 5	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

2.1 Stabilità di combustione

La stabilità di combustione è un aspetto fondamentale per l'esercizio delle turbine a gas; l'insorgere di fenomeni di instabilità può infatti comportarne il blocco.

La verifica della stabilità di combustione avviene attraverso il monitoraggio in continuo dell'**humming** e delle **accelerazioni**.

L' **humming** è un fenomeno di pulsazione della pressione dinamica che riguarda i fluidi in camera di combustione: la trasmissione di queste pulsazioni alla struttura metallica genera sulla stessa **accelerazioni**.

Il monitoraggio dell'*humming* è finalizzato a prevedere e controllare l'eventualità di insorgere e degenerare di *accelerazioni*, che, al di sopra di determinate soglie di ampiezza, possono danneggiare le piastrelle ceramiche di rivestimento della Camera di Combustione.

In linea generale la macchina è considerata stabile quando il fenomeno di humming si mantiene inferiore a 30 mbar, e le accelerazioni si mantengono inferiori a 1,5 g.

Nei 2 grafici a seguire sono riportati, in funzione della potenza della turbina a gas, i valori orari di accelerazione media rilevati nel mese di Febbraio (con i precedenti bruciatori DLN) e nel mese di Aprile (con i nuovi bruciatori) del 2017.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 6	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

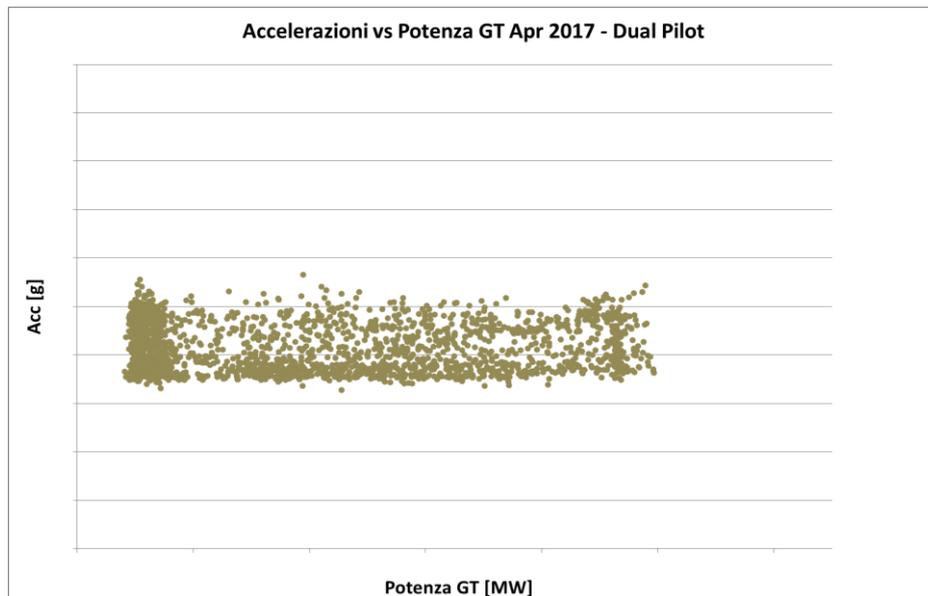
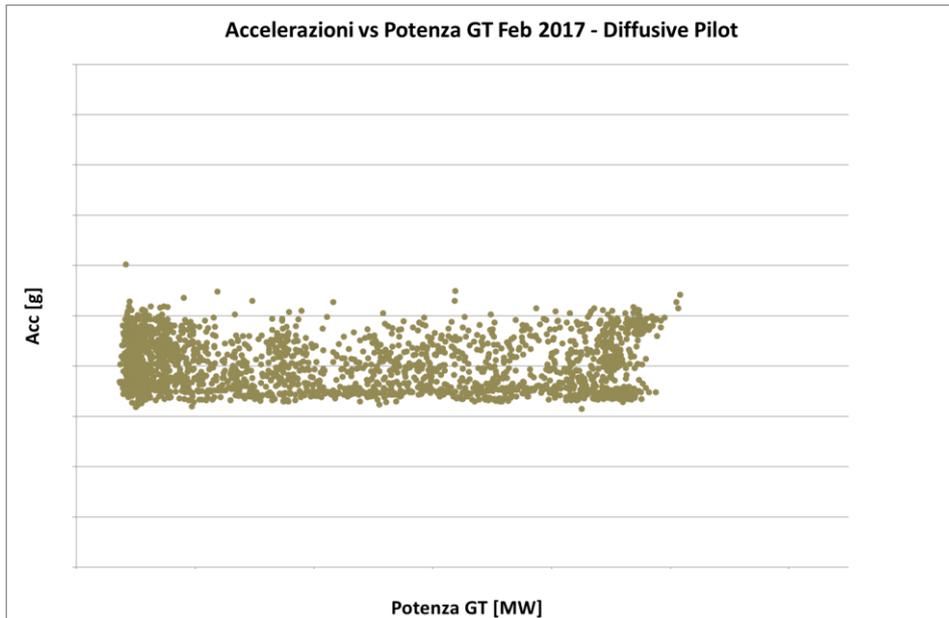


Fig.1-2 : Andamento delle accelerazioni medie in camera di combustione in funzione della potenza del turbogas

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 7	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

Dai grafici si evince chiaramente come il cambio di bruciatori non abbia influito sulle dinamiche di combustione; il range delle accelerazioni medie in camera di combustione rimangono infatti pressoché immutate rispetto a quelle registrate con il precedente bruciatore diffusivo.

Tale evidenza conferma come, attraverso la nuova tecnologia “Dual Pilot”, sia possibile superare i limiti imposti dal classico bruciatore “VeLoNOx™” adatto alla combustione di solo gas naturale ma che presenta, in caso di miscele gas naturale/gas petrolchimico, fenomeni di instabilità che ne rendono improponibile l’uso per tali miscele di combustibile.

Attraverso il nuovo bruciatore “Dual Pilot” è possibile pertanto sfruttare la riduzione delle emissioni tipiche della tecnologia “VeLoNOx™”, senza compromettere la stabilità di combustione e, conseguentemente, l’affidabilità della turbina a gas.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 8	Di of 16
			Classe di Riservatezza confidential class 2	

2.2 Emissioni

A seguito dell'installazione dei nuovi bruciatori sul CC2, sono stati monitorati anche i livelli emissivi di NOx dei nuovi bruciatori. Nella figura sottostante è riportato l'andamento delle emissioni nel periodo Aprile – Giugno 2017.



Fig.3a : Correlazione tra le emissioni NOx (mg/Nm³) e la potenza elettrica TG – periodo Aprile/Giugno 2017

Come noto, la variazione stagionale delle condizioni ambientali (temperatura, umidità, etc.) comporta un differente comportamento della combustione nelle turbine a gas e, conseguentemente, dell'andamento delle emissioni. Per tale ragione è stato monitorato

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 9	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

l'andamento delle emissioni del CC2 nell'arco temporale di un anno; nella figura sottostante è riportato l'andamento delle emissioni nel periodo Settembre 2017 – Agosto 2018.

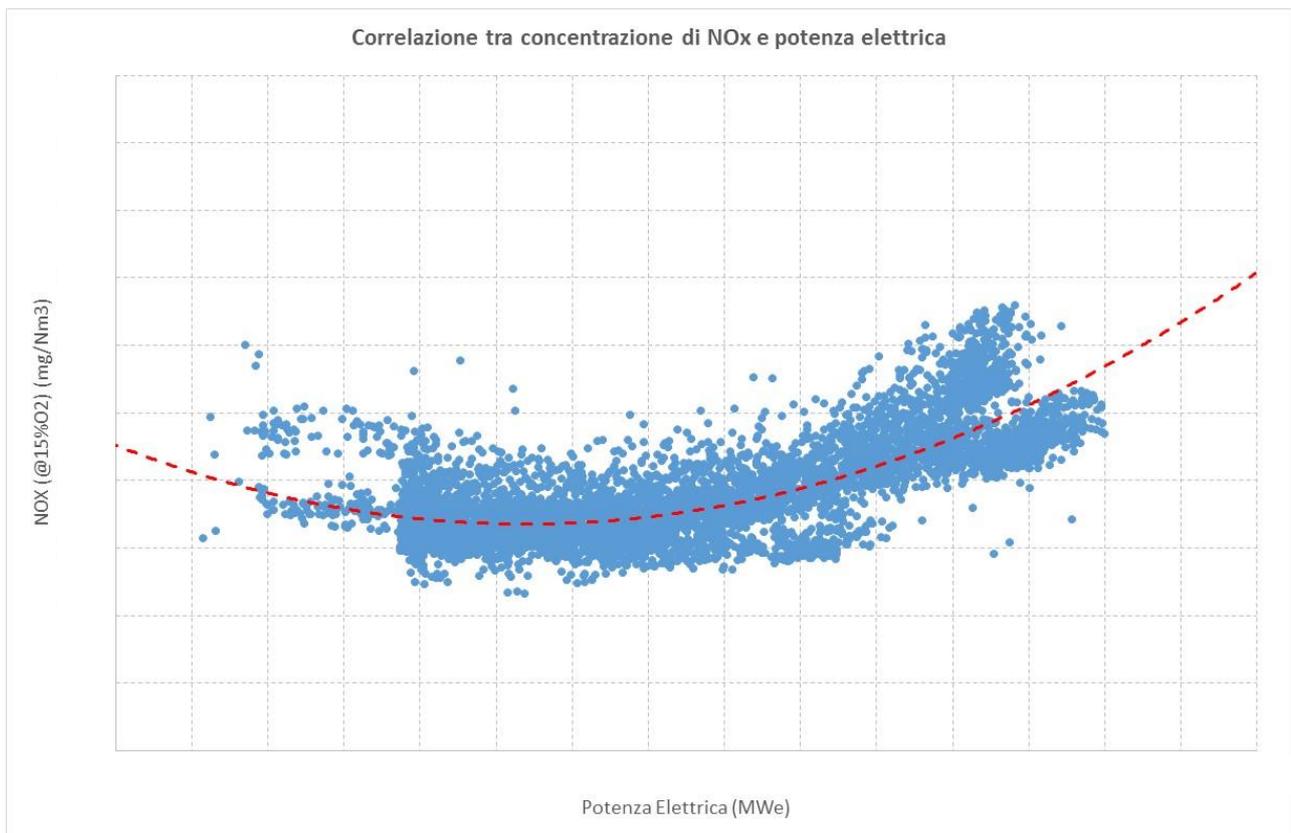


Fig.3b : Correlazione tra le emissioni NOx (mg/Nm³) e la potenza elettrica TG – periodo Settembre 2017/Agosto 2018

L'analisi dei grafici riportanti l'andamento delle emissioni al variare del carico della turbina a gas dimostrano come, attraverso il nuovo bruciatore "Dual Pilot", è possibile raggiungere una riduzione delle emissioni di NOx rispetto al precedente bruciatore pilota diffusivo, permettendo di garantire, su tutto il range di carico e in tutte le condizioni ambientali, emissioni di NOx non superiori ai 40mg/Nm³ @ 15% O₂ su media oraria.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 10	Di of 16
			Classe di Riservatezza confidential class 2	

3. Prove a carico costante: Test Luglio e Settembre 2017 (CC2) e Settembre 2018 (CC3)

Visti gli ottimi risultati raggiunti nel periodo Aprile – Giugno 2017 e in funzione dei margini dimostrati dal bruciatore nei test sperimentali, durante i periodi 4-7 Luglio e 11-13 Settembre 2017, sono state svolte sul CC2 delle prove di diminuzione del carico della turbina a gas a valori inferiori al 60% e aumento del contenuto di Idrogeno nella miscela in alimentazione al turbogas a valori superiori al 15%. Analoghe prove sono state svolte il 6-7 Settembre 2018 sul CC3.

L'aumento della concentrazione di Idrogeno nella miscela gas naturale/gas petrolchimico in alimentazione alla turbina a gas è stato ottenuto in 2 modi differenti:

- a parità di carico della turbina a gas, diminuendo la portata di gas naturale compensandola con l'aumento di gas petrolchimico;
- a parità di gas petrolchimico, riducendo la potenza della turbina a gas attraverso la riduzione della portata del gas naturale.

L'analisi dei risultati delle prove non ha evidenziato problemi né dal punto di vista delle emissioni né per quanto concerne la stabilità di fiamma.

3.1 Stabilità di combustione

In riferimento alla stabilità della turbina a gas, sono state eseguite prove ai differenti carichi della turbina variando la percentuale di idrogeno. Durante tali prove, a tutti i carichi non si sono evidenziate variazioni significative degli indici di stabilità (accelerazioni ed humming) al variare della percentuale di idrogeno.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 11	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

Considerando che i valori massimi di accelerazione ed humming idonei per ritenere che la turbina a gas opera in condizioni stabili sono rispettivamente 1,5g e 30mbar, mai superati durante le prove eseguite, attraverso la nuova tecnologia “Dual Pilot”, si può affermare che:

- La turbina a gas si mantiene all'interno dei propri limiti di stabilità su tutto il range di carico di macchina, anche a carichi inferiori al 60% (senza un'effettiva limitazione di minimo carico che non sia quella dei limiti emissivi ambientali, previa verifica dei parametri di regolazione);
- A valori di carico analogo, l'aumento della percentuale di idrogeno può essere gestito modificando opportunamente i parametri di regolazione.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 12	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

3.2 Emissioni

Nel corso dei test di Luglio ed Settembre 2017, ovvero nei periodi in cui il bruciatore è stato esercito con miscele di combustibile contenenti H₂ in percentuali superiori al 15% e carico della turbina a gas inferiore al 60%, è stato altresì monitorato l'andamento delle emissioni di NO_x riportato nella fig. 5 di seguito:

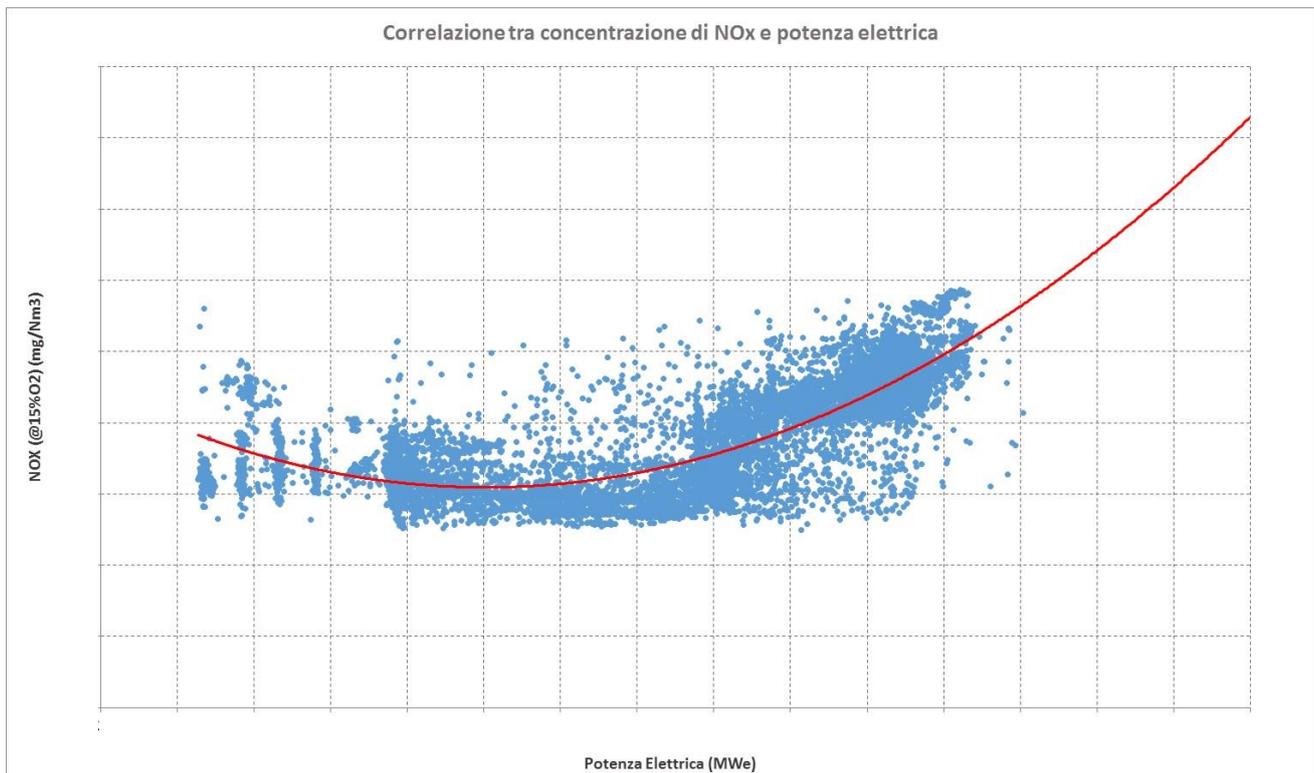


Fig.5 : Correlazione tra le emissioni NO_x (mg/Nm³) e la potenza elettrica TG – prove di Luglio e Settembre 2017

Il grafico mostra un andamento delle emissioni analogo a quello riscontrato nel periodo Aprile/Giugno 2017 (cfr. figura 3) dove il bruciatore era stato esercito con miscele di combustibile contenenti H₂ in percentuali inferiori al 15% e carico della turbina a gas inferiore al 60%. Tale evidenza dimostra pertanto che:

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 13	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

- le emissioni del nuovo bruciatore “Dual Pilot” non sono influenzate dalla percentuale di Idrogeno presente nella miscela comburente;
- esercendo la turbina con una miscela contenente gas petrolchimico con carichi macchina inferiori al 60%, le emissioni di NOx rimangono al di sotto di quelle registrate ad alti carichi che ne determinano i limiti autorizzati.

Come nel caso delle prove di Aprile-Giugno 2017, anche il grafico dei test di Settembre 2017, nonché l’andamento annuo Settembre 2017-Agosto 2018, confermano che con i nuovi bruciatori “Dual Pilot” sia possibile trapiantare, su tutto il range di carico e di percentuale di H2, emissioni di NOx non superiori ai 40mg/Nm³ @ 15% O₂ su media oraria..

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 14	Di of 16
			Classe di Riservatezza confidential class 2	

4. Risultati delle ispezioni

Al fine di validare la nuova tecnologia di bruciatori “Dual Pilot” si rende necessario valutare l’impatto sulla componentistica associato all’esercizio sul medio periodo. A tal riguardo, dopo un adeguato periodo di esercizio, in cui i bruciatori sono stati eserciti sull’intero range di funzionamento sia in termini di carico che di contenuto di idrogeno in miscela, ovvero anche a carichi inferiori al 60% e con percentuali di idrogeno superiori al 15%, si è provveduto alla fermata ed apertura delle turbine a gas al fine di ispezionare la componentistica.

4.1 Ispezione bruciatori “Dual Pilot” CC2 e CC3

A partire dal 19 Maggio 2018 è stata eseguita una fermata major sulla turbina del Ciclo Combinato CC2 della centrale Enipower di Brindisi, in esercizio con i nuovi bruciatori “Dual Pilot” dall’Aprile 2017; nell’ambito della fermata di manutenzione è stata anche eseguita un’ispezione dei bruciatori per verificarne lo stato dopo un congruo numero di ore di esercizio. Nel dettaglio sono stati controllati i bruciatori in tutte le loro parti, ovvero vorticatori diagonali e assiali dei bruciatori e nuovo sistema pilota dei bruciatori.

Di seguito sono riportati i principali finding rilevati durante l’ispezione:

VORTICATORI DIAGONALI e ASSIALI:

All’ispezione, i vorticatori si presentano in buone condizioni, compatibili con il numero di ore di esercizio e senza evidenza di alcun aggravio introdotto con l’utilizzo del bruciatore Dual Pilot.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 15	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

NUOVO SISTEMA PILOTA:

All'ispezione, il nuovo sistema pilota si presenta in buone condizioni, compatibili con il numero di ore di esercizio e senza evidenza di alcun aggravio rispetto a quanto si riscontra nei componenti del bruciatore tradizionale.

I risultati dell'ispezione eseguita dimostrano un degrado della componentistica all'interno del normale range di deterioramento. Non si riscontrano fenomeni anomali significativi associabili alla nuova tecnologia, tali da pregiudicare la durabilità della componentistica nel tempo.

Nel corso del giorno 9/9/2018, è stata effettuata un'ispezione dei bruciatori anche sulla turbina del Ciclo Combinato CC3 della centrale Enipower di Brindisi, in esercizio con i nuovi bruciatori "Dual Pilot" dal Marzo 2018, che ha confermato i dati rilevati sul CC2.

Progetto / Titolo Project / title TEST DI FUNZIONAMENTO CON DOPPIO PILOTA CON MISCELA GAS NATURALE / GAS PETROLCHIMICO ENIPOWER BRINDISI	Identificativo document no. DG00043613	Rev. rev. C	Pagina page 16	Di of 16
		Classe di Riservatezza confidential class 2		

5. Conclusioni

I test e l'osservazione del comportamento del Turbogas dopo l'installazione dei bruciatori "Dual Pilot" hanno evidenziato una buona stabilità di combustione ed emissioni ridotte su tutto il range operativo, anche aumentando il contributo di H₂ nella miscela di alimentazione ai bruciatori e diminuendo il carico elettrico generato.

In particolare, in considerazione di quanto sopra e dei risultati delle prove eseguite, per i nuovi bruciatori "Dual Pilot" è pertanto confermata:

- la possibilità di utilizzo di miscele gas naturale e gas petrolchimico con contenuto in idrogeno superiore al 15%;
- un funzionamento stabile ed affidabile in tutto il range di carico, dal minimo tecnico al massimo carico, con possibilità di rispettare un limite di concentrazione di NO_x su base oraria pari a 40 mg/Nmc @ 15% O₂.

Altresì l'osservazione di medio periodo e i risultati delle ispezioni periodiche hanno confermato che la nuova tecnologia è idonea per permetterne il rilascio commerciale.