



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria  
dell'Ambiente, del Territorio  
e delle Infrastrutture

Ing.

**Maurizio ONOFRIO**

**EDIPOWER**

**Centrale di Chivasso**

**Valutazioni sulla fattibilità di interventi atti a  
ridurre del 50% le emissioni di ossidi di azoto nei  
transitori**

A. Quaglino

M. Onofrio

R. Spataro

Torino, 21 dicembre 2012

## Indice

### Premessa 1

1.	Descrizione degli interventi e considerazioni .....	2
1.1)	Considerazioni generali sulle modalità di intervento possibili.....	2
1.2)	Interventi individuati.....	3
1.3)	Esecuzione delle prove .....	4
2.	Dati utilizzati .....	6
3.	Analisi dei risultati delle prove di "imbottigliamento del GVR" e anticipo CMTA.....	14
4.	Altri possibili interventi.....	18
5.	Conclusioni.....	19



## **Premessa**

La società EDIPOWER S.p.A. ha incaricato gli scriventi di formulare valutazioni finalizzate alla fattibilità della riduzione del 50% delle emissioni di NO<sub>x</sub> generate dalle fasi transitorie di avviamento e spegnimento, in adempimento alla prescrizione di cui al punto b, secondo punto elenco, del paragrafo 9.3.1 del Parere Istruttorio allegato al decreto di autorizzazione integrata ambientale (decreto AIA) DVA-DEC-2010-0000900 del 30/11/2010, relativo alla propria Centrale di Chivasso: “[...] si prescrive al Gestore, entro ventiquattro mesi dal rilascio dell’Autorizzazione Integrata Ambientale, di presentare uno studio di fattibilità che preveda le misure tecnico/gestionali atte a ridurre del 50% le emissioni di NO<sub>x</sub> generate nelle singole fasi transitorie di avviamento e arresto.”

Allo scopo, EDIPOWER S.p.A. ha fornito una serie di informazioni sugli interventi teoricamente possibili ed ha messo a disposizione i dati di funzionamento degli impianti a consuntivo, per consentire di analizzare i risultati delle prove volte alla riduzione delle emissioni massiche (kg di NO<sub>x</sub>) dovute al funzionamento in regime di transitorio dei gruppi della centrale di Chivasso, a seguito di interventi specifici già eseguiti da EDIPOWER S.p.A. stessa nell’ambito dell’attuazione della citata prescrizione. Le informazioni ed i dati forniti da EDIPOWER S.p.A. sono descritti in dettaglio nel capitolo 1 del presente documento.

Gli interventi specifici già attuati, nello specifico di “imbottigliamento del GVR” e anticipo del raggiungimento del carico minimo tecnico ambientale (CMTA), sono stati effettuati dalla società EDIPOWER S.p.A., proprietaria e gestore dell’impianto, e riguardano la modifica delle procedure di esercizio del turbogas nella fase di avviamento a caldo.

L’attuale condizione del settore energetico, che comporta l’esercizio parziale dei gruppi della centrale, non ha reso possibile l’esecuzione di sperimentazioni in numero consistente, per cui la valutazione dei risultati delle prove è necessariamente limitata al numero di test eseguiti e potrà essere oggetto di consolidamento nel futuro esercizio dei gruppi, unitamente alla valutazione dei benefici connessi alla realizzazione degli ulteriori interventi individuati.

Mentre, da un lato, si è pervenuti ad individuare modalità che effettivamente comportano consistenti riduzioni dell’emissione di ossidi di azoto per alcune tipologie di transitorio (come mostrato nel seguito della presente), non sembrano però prospettabili azioni in grado di garantire la riduzione delle emissioni complessive di tutti i transitori di centrale nella misura sopra richiesta.

## 1. Descrizione degli interventi e considerazioni

Di seguito sono riassunte le informazioni rese disponibili da Edipower al Politecnico di Torino al fine della predisposizione dello studio di fattibilità prescritto al punto b, secondo punto elenco, del paragrafo 9.3.1 del Parere Istruttorio allegato al decreto di autorizzazione integrata ambientale (decreto AIA) DVA-DEC-2010-0000900 del 30/11/2010, relativo alla propria Centrale di Chivasso: “ [...] si prescrive al Gestore, entro ventiquattro mesi dal rilascio dell’Autorizzazione Integrata Ambientale, di presentare uno studio di fattibilità che preveda le misure tecnico/gestionali atte a ridurre del 50% le emissioni di NO<sub>x</sub> generate nelle singole fasi transitorie di avviamento e arresto.”

Sono anche riportate le considerazioni che Edipower, in qualità di gestore dell’impianto, è in grado di formulare in merito ad alcuni aspetti non caratterizzabili in termini numerici.

### 1.1) Considerazioni generali sulle modalità di intervento possibili

Le emissioni durante i transitori di avviamento e di arresto sono determinate principalmente da due fattori: la durata dei transitori e il profilo emissivo delle turbine durante i transitori stessi.

Edipower, in qualità di gestore degli impianti, può intervenire unicamente sulle sequenze e durate dei transitori, mentre il profilo emissivo delle turbine dipende da fattori, quali la tecnologia costruttiva e la regolazione della combustione (tuning), sui quali può intervenire solo il costruttore delle turbine a gas.

Per quanto riguarda la durata dei transitori, benché le emissioni siano originate dalle sole turbine a gas (TG), i margini di intervento del gestore sono di fatto vincolati dalle caratteristiche della restante parte dell’impianto: generatore di vapore a recupero (GVR), turbina a vapore (TV) e tubazioni di collegamento tra GVR e TV. Questi elementi infatti necessitano di essere portati in temperatura secondo gradienti termici predefiniti, necessari a evitare shock termici che potrebbero comprometterne l’integrità e/o l’affidabilità. Indipendentemente dalla sua durata, il momento finale del singolo transitorio è infatti sempre caratterizzato dalla stessa potenza generata dalla TG e dalla stessa temperatura dei fumi in uscita dalla TG.

In merito alla durata dei transitori di avviamento, dal punto di vista operativo, si possono distinguere almeno i tre seguenti tipi di avviamento:

- ✓ avviamento da caldo, quando la linea TG-GVR-TV viene riavviata dopo poco tempo dall’ultimo arresto (tipicamente da pochi minuti a circa 8 ore) ed i singoli componenti mantengono una temperatura residua significativa;
- ✓ avviamento da tiepido, quando la linea TG-GVR-TV viene riavviata dopo un tempo maggiore dall’ultimo arresto (tipicamente da 8 a 52 ore), con temperatura residua dei singoli componenti sempre meno significativa;
- ✓ avviamento da freddo, quando la linea TG-GVR-TV viene riavviata dopo fermate di lungo periodo, comprese quelle dopo interventi di manutenzione (tipicamente maggiori di 52 ore), con temperatura residua dei singoli componenti pari quella ambientale.

Nel caso del Modulo CH1, caratterizzato da due linee TG-GVR che insistono su un’unica TV, gli avviamenti a caldo sono distinti in due tipologie, a seconda che l’avviamento della singola TG avvenga quando l’altra è ferma o sia già in servizio regolare (in quest’ultimo caso l’avviamento viene convenzionalmente chiamato “inserimento in forchetta”).

Nell'ambito della gestione operativa dell'impianto e dell'archiviazione dei relativi dati di funzionamento (compresi quelli dello SME), la classificazione delle tre tipologie di avviamento è condotta in base alla durata degli avviamenti stessi, secondo lo schema seguente:

- ✓ avviamento da caldo: 130 minuti (2h 10') dall'accensione;
- ✓ avviamento da tiepido: tra 130 minuti (2h 10') e 190 minuti (3h 10');
- ✓ avviamento da freddo: tra 190 minuti (3h 10') e 300 minuti (5h).

Rientrano nella classificazione dei transitori anche le fermate dei TG, intese come periodi di funzionamento necessari per diminuire la potenza elettrica dal valore del CMTA (Carico Minimo Tecnico Ambientale) a 0 MW ed al successivo arresto della combustione.

Le fermate non presentano problemi legati ai gradienti termici delle apparecchiature, così complessi come nel caso degli avviamenti, ad esclusione della necessità di adottare una certa cautela per evitare sovrappressioni al GVR.

## **1.2) Interventi individuati**

In base alle conoscenze e informazioni disponibili al momento dell'avvio dello studio, Edipower ha individuato i seguenti potenziali interventi che, sulla base della propria esperienza e della valutazione dei vincoli impiantistici al contorno (GVR, TV, tubazioni di collegamento), si configurano come i più promettenti per ridurre i tempi di avviamento:

1. mantenimento delle condizioni di temperatura e pressione del GVR durante le fermate ("imbottigliamento del GVR"), intervento potenzialmente in grado di ridurre i tempi di avviamento delle TG di tutti e due i moduli della centrale (CH1 e CH2), la cui efficacia diminuisce con l'aumentare del tempo di fermata;
2. modifica della rampa di avviamento ("anticipo CMTA") in caso di inserimento della seconda TG quando la prima è già in esercizio, intervento potenzialmente applicabile solo sul modulo CH1, dal momento che presuppone la presenza di due linee TG-GVR allacciate alla stessa TV;

Tali interventi sono realizzabili in tempi brevi, beninteso evitando stress termici ai materiali delle tubazioni ed al macchinario (GVR e TV).

Anche per quanto riguarda le fermate, Edipower ha individuato nella riduzione del tempo di transitorio un possibile approccio per la riduzione delle quantità emesse di NO<sub>x</sub>. In particolare, è possibile intervenire solo sul gradiente della rampa di discesa fino al distacco dalla rete elettrica, guadagnando qualche minuto (circa 5 minuti su 20). Il tempo ulteriore fino allo spegnimento del TG, (circa 8 minuti) è invece stabilito dal costruttore e non è quindi modificabile.

In relazione al minore impatto emissivo delle fasi di spegnimento, la modifica alla procedura di fermata non è stata ancora oggetto di prove, allo scopo di dare invece priorità alle prove sugli avviamenti, ai quali è associato il maggior potenziale in termini di riduzione complessiva delle emissioni.

### 1.3) Esecuzione delle prove

Edipower ha quindi condotto una serie di prove, attuando gli interventi di cui sopra, per verificarne la reale fattibilità e valutarne l'effettivo beneficio in termini di riduzione delle emissioni di ossidi di azoto. Il tempo a disposizione per l'esecuzione di tali prove è stato fortemente limitato dai seguenti vincoli:

- ✓ disponibilità dei dati emissivi al minuto durante i transitori;
- ✓ limitato funzionamento della Centrale.

I dati emissivi al minuto durante i transitori sono stati resi disponibili solo a valle dell'adeguamento del Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni (SME), attività prescritta nel decreto AIA e completata tra i mesi di luglio e novembre 2011, come da cronoprogramma condiviso con ISPRA e ARPA. Prima di tale periodo il sistema consentiva unicamente la registrazione e l'archiviazione dei dati emissivi su base oraria, che non consente l'effettuazione di valutazioni né confronti tra transitori condotti in condizioni differenti.

Per quanto riguarda il funzionamento della Centrale, le attuali condizioni di mercato comportano un funzionamento estremamente limitato dei gruppi; per poter eseguire prove è quindi necessario attendere che i moduli siano chiamati in servizio.

Alla luce delle considerazioni di cui sopra, il periodo in cui è stato possibile verificare la fattibilità degli interventi e provare a valutarne l'efficacia è stato limitato ai mesi compresi tra novembre 2011 e ottobre 2012, con esclusione dei periodi durante i quali i moduli sono rimasti fermi per manutenzione.

In particolare dal 29/10/11 al 16/11/11 (fermata TG12), dal 21/05/12 al 11/06/12 (fermata TG13), dal 14/01/12 al 4/02/12 (fermata TG22). Tenendo conto della necessità di caratterizzare preventivamente i transitori a monte dell'attuazione degli interventi, il tempo a disposizione per l'attuazione degli interventi stessi è ulteriormente ridotto.

La sintesi del funzionamento dei moduli nel periodo ottobre 2011 – novembre 2012 è la seguente:

		TG12	TG13	TG22	TOTALI
Ore funzionamento		3349	3331	983	
Energia	MWh	609.403	608.296	180.351	
Avviamenti	Caldi	103	105	15	223
Avviamenti	Tiepidi	13	8	5	26
Avviamenti	Freddi	7	5	11	23
Avviamenti	Mancati	7	12	11	30
Totale avviamenti		130	130	42	302

Nella tabella seguente è riportata la sintesi dei periodi in cui sono state condotte le singole prove:

Data	Gruppo	Assetto di prova
28 marzo 2012	TG12	GVR pressurizzato +Anticipo CMTA
28 aprile 2012	TG12	Anticipo CMTA
10 luglio 2012	TG12	GVR pressurizzato + Anticipo CMTA
30 luglio 2012	TG13	Anticipo CMTA
16 ottobre 2012	TG13	GVR pressurizzato + Anticipo CMTA
17 ottobre 2012	TG13	GVR pressurizzato + Anticipo CMTA

Ai fini delle elaborazioni dei risultati, si ritiene necessario evidenziare che il limitato numero di prove che è stato possibile condurre non ha consentito di tenere conto dei numerosi fattori di interferenza che, sulla base dell'esperienza del gestore e come anche documentato in sede di attività istruttoria precedente al rilascio dell'AIA, influiscono sui profili emissivi delle TG, quali ad esempio le differenze tra le singole TG e le differenze stagionali delle condizioni meteo climatiche.

## 2. Dati utilizzati

I risultati delle prove di avviamento con mantenimento delle condizioni di temperatura e pressione del GVR (generatore di vapore a recupero) durante le fermate, denominate “imbottigliamento del GVR”, anticipo del carico minimo tecnico ambientale (CMTA) e i relativi dati di monitoraggio (registrazioni al minuto) dei transitori sono stati forniti da EDIPOWER S.p.A. su supporto informatico.

La fase di transitorio è composta dall'avviamento e dallo spegnimento del turbogas, le prove in oggetto di analisi si sono concentrate sui soli transitori di avviamento, che in relazione alla durata dell'avviamento si distinguono in:

- Avviamento a Caldo (codice identificativo AC);
- Avviamento a Tiepido (codice identificativo AT);
- Avviamento a Freddo (codice identificativo AF) ;

Nella valutazione di entrambe le prove non sono stati considerati eventuali avviamenti falliti (codice identificativo AX).

In particolare, i dati di monitoraggio dei transitori per l'analisi della prova di “imbottigliamento del GVR” riguardano il solo turbogas TG 13 su cui è stata condotta la prova, si riferiscono al periodo luglio 2011 ÷ maggio 2012 e forniscono le seguenti informazioni:

- Data inizio transitorio;
- Data fine transitorio;
- Tipo di transitorio;
- Durata del transitorio [minuti];
- Totale NO<sub>x</sub> acquisiti come somma dei contributi al minuto [kg].

I dati di monitoraggio dei transitori per l'analisi della prova di anticipo CMTA, eseguita sia sul turbogas TG 12 che sul TG 13 nel periodo novembre 2011 ÷ ottobre 2012, riportano i seguenti parametri:

- Data inizio transitorio;
- Data fine transitorio;
- Tipo di transitorio;
- Avviamento come primo o secondo turbogas;
- Durata del transitorio [minuti];
- Emissione di NO<sub>x</sub> dovuta al transitorio [kg].

Le tabelle sottostanti (Tabella 1 e Tabella 2) riepilogano, per ciascun turbogas, il numero di avviamenti totali propri del periodo di riferimento:



TG 12			%
<b>Avviamenti Totali</b>	<i>n.</i>	127	100
<b>Avviamento a Caldo</b>	<i>n.</i>	101	79,53
		1° 24	18,90%
		2° 77	60,63%
<b>Avviamento a Tiepido</b>	<i>n.</i>	13	10,24
<b>Avviamento a Freddo</b>	<i>n.</i>	6	4,72
<b>Avviamento Fallito</b>	<i>n.</i>	7	5,51

Tabella 1: Avviamenti del turbogas TG 12 periodo novembre 2011 ÷ ottobre 2012.

TG 13			%
<b>Avviamenti Totali</b>	<i>n.</i>	131	100
<b>Avviamento a Caldo</b>	<i>n.</i>	104	79,39
		1° 23	17,56%
		2° 81	61,83%
<b>Avviamento a Tiepido</b>	<i>n.</i>	8	6,11
<b>Avviamento a Freddo</b>	<i>n.</i>	6	4,58
<b>Avviamento Fallito</b>	<i>n.</i>	12	9,16

Tabella 2: Avviamenti del turbogas TG 13 periodo novembre 2011 ÷ ottobre 2012.

Nelle tabelle, l'indicazione 1° significa che il TG in questione è stato avviato in assenza dell'esercizio dell'altro TG, mentre l'indicazione 2° significa che il TG in questione è stato avviato con l'altro TG già in esercizio (inserimento "a forchetta").

Per entrambi i turbogas si osserva come gli avviamenti a caldo rappresentino la quota di gran lunga predominante sul totale degli avviamenti del periodo.

Si precisa che, su indicazione di EDIPOWER S.p.A., per il turbogas TG 12, sono stati scartati dall'analisi i seguenti giorni:

- 28/11/2011 - Avviamento a Caldo (AC 2°): esecuzione "Tuning", ovvero regolazione della combustione, da parte di General Electric, per la riduzione delle vibrazioni;
- 19/6/2012 – Avviamento a Freddo (AF): esecuzione "Tuning";
- 7/9/2012 – Registrazione SME (Sistema di Monitoraggio in continuo delle Emissioni) saltata.

Per il turbogas TG 13 è stato invece scartato il solo giorno 3/4/2012 (AC 2°) per esecuzione "Tuning".

Si sintetizzano infine i risultati grafici della prova di anticipo CMTA (curve tratteggiate) rispettivamente dei turbogas TG 12 e TG 13, dai quali risulta evidente come l'anticipo riduca sensibilmente la durata del transitorio, limitando la fase di stazionamento del sistema a potenza pressoché costante. Gli eventi di avviamento presi a riferimento per valutare i risultati in termini di riduzione della durata e delle emissioni (9/7/2012 per il TG12 e 18/10/2012 per il TG13) sono rappresentativi della media degli avviamenti a caldo per le due macchine.

➤ TG 12 (avviamento a caldo come 2°)

▪ Prova del 28/3/2012

	TG 12	
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	9/7/2012	28/3/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	27
Durata transitorio [minuti]	95	45
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	188	98

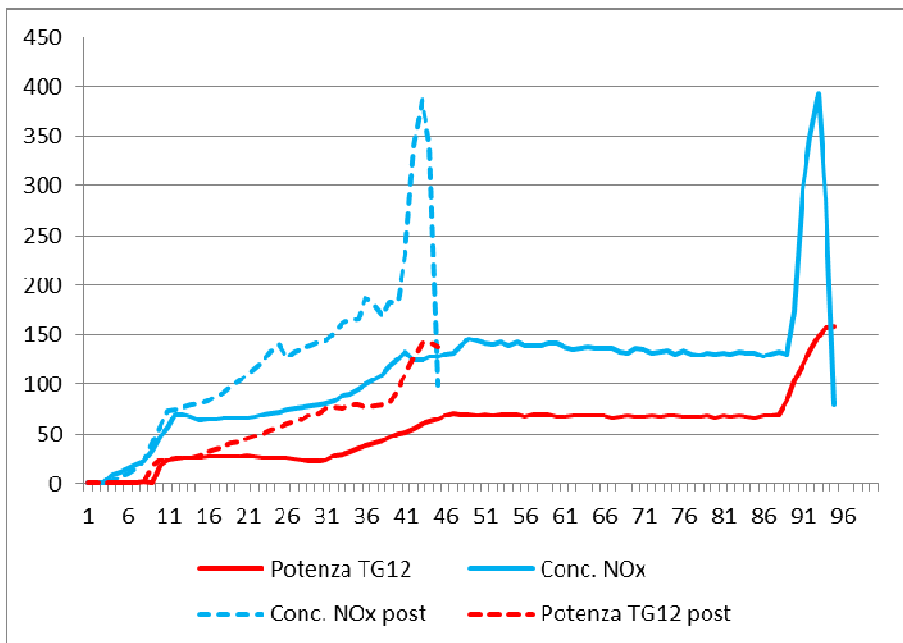


Figura 1: Avviamento a caldo come 2° del TG 12, confronto tra il 9/7/2012 e il 28/3/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

▪ Prova del 28/4/2012

TG 12		
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	9/7/2012	28/4/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	8
Durata transitorio [minuti]	95	59
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	188	126

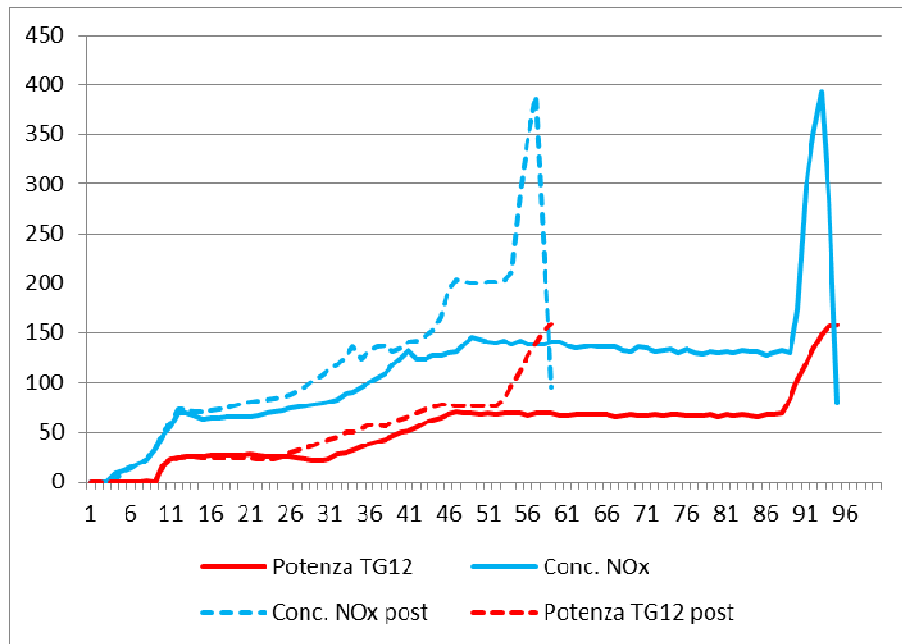


Figura 2: Avviamento a caldo come 2° del TG 12, confronto tra il 9/7/2012 e il 28/4/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

▪ Prova del 10/7/2012

TG 12		
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	9/7/2012	10/7/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	20
Durata transitorio [minuti]	95	54
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	188	109

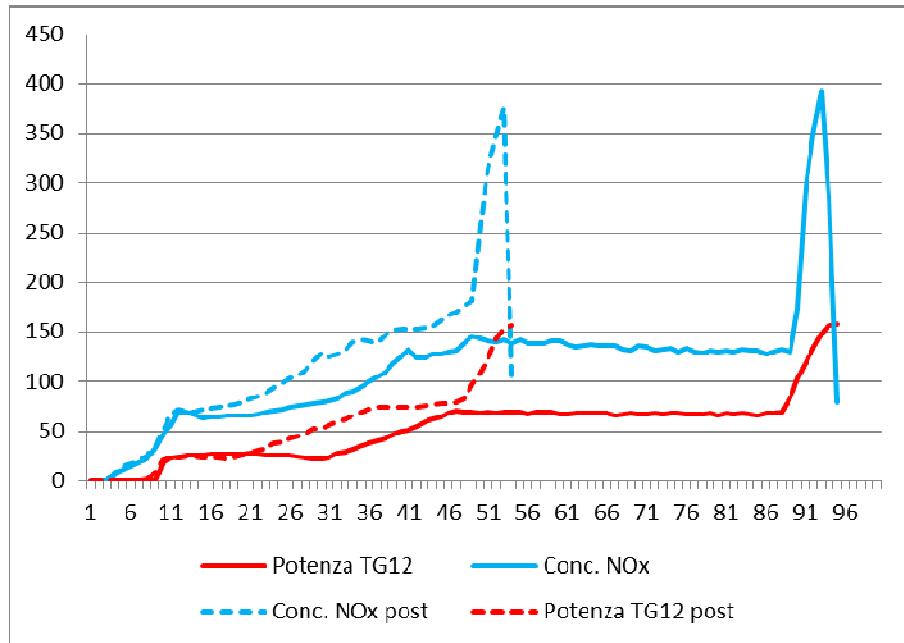


Figura 3: Avviamento a caldo come 2° del TG 12, confronto tra il 9/7/2012 e il 10/7/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

➤ TG 13 (avviamento a caldo come 2°)

▪ Prova del 30/7/2012

	TG 13	
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	18/10/2012	30/7/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	0
Durata transitorio [minuti]	88	65
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	185	111

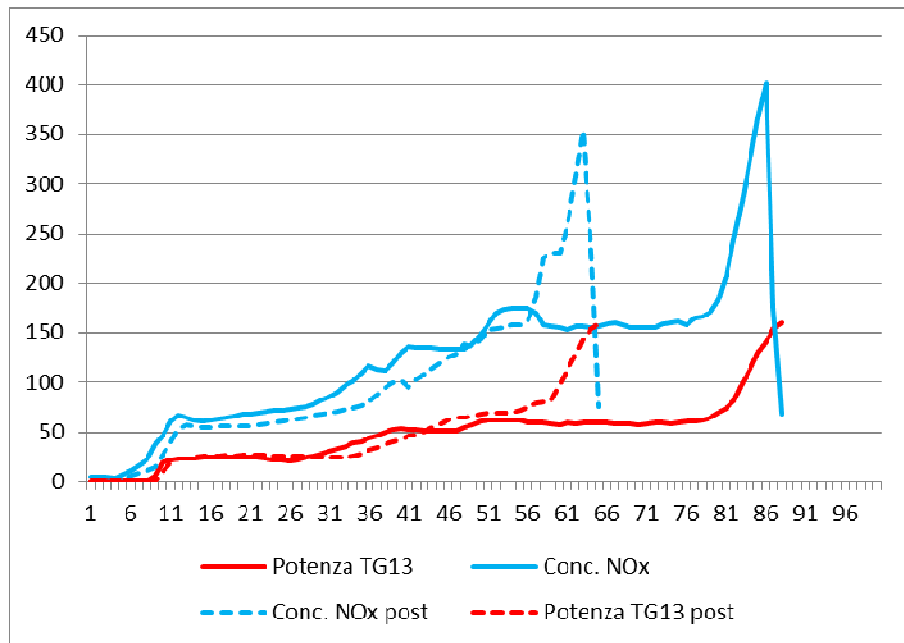


Figura 4 Avviamento a caldo come 2° del TG 13, confronto tra il 18/10/2012 e il 30/7/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

▪ Prova del 16/10/2012

TG 13		
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	18/10/2012	16/10/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	32,80
Durata transitorio [minuti]	88	48
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	185	109

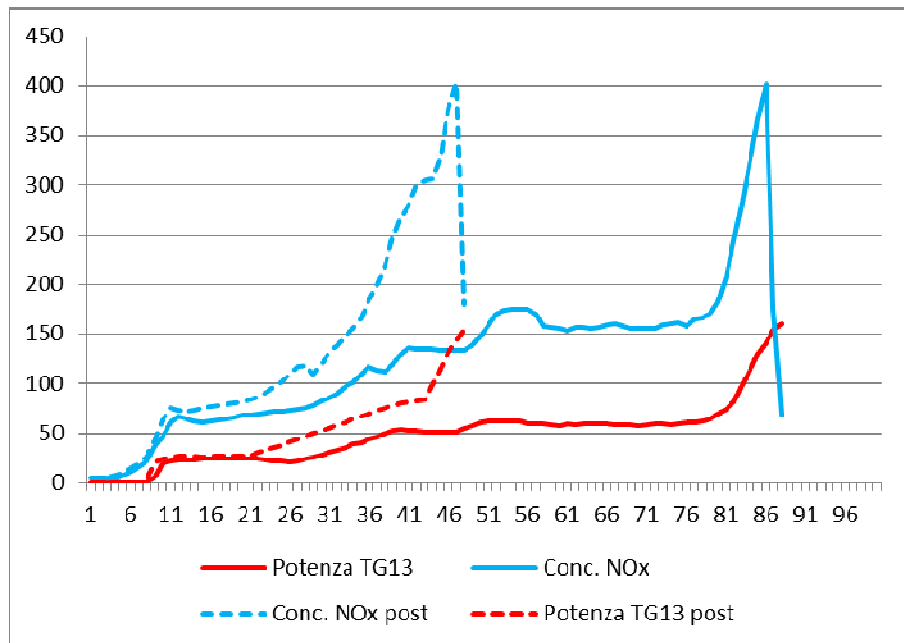


Figura 5: Avviamento a caldo come 2° del TG 13, confronto tra il 18/10/2012 e il 16/10/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

▪ Prova del 17/10/2012

TG 13		
	Giorno di riferimento	Prove Anticipo CMTA (post)
	18/10/2012	17/10/2012
Pressione residua GVR [bar]	0	21,52
Durata transitorio [minuti]	88	54
Emissione totale NO <sub>x</sub> [kg]	185	114

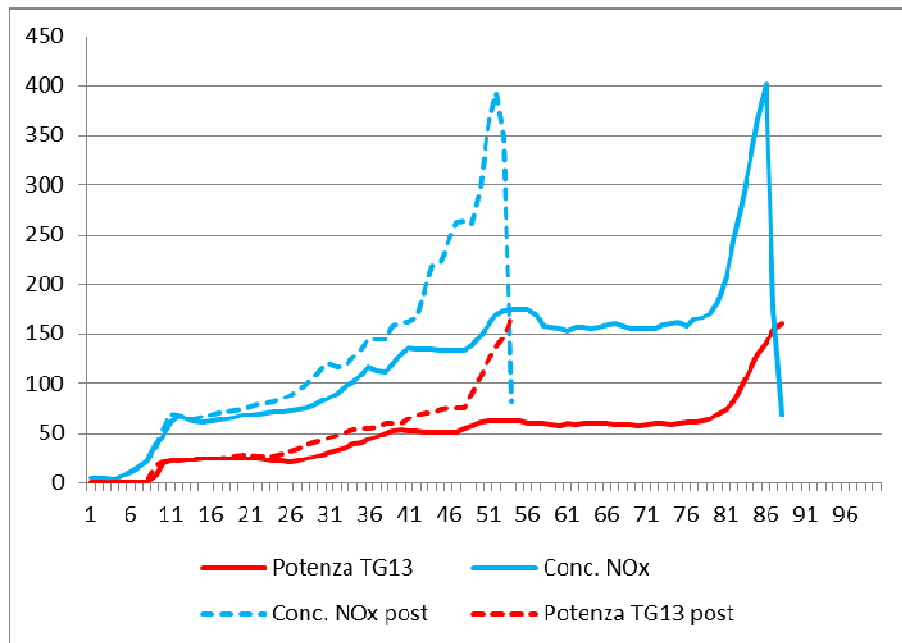


Figura 6: Avviamento a caldo come 2° del TG 13, confronto tra il 18/10/2012 e il 17/10/2012 (post – anticipo CMTA) [EDIPOWER S.p.A.].

### 3. Analisi dei risultati delle prove di “imbottigliamento del GVR” e anticipo CMTA

La prova di “imbottigliamento del GVR” è stata eseguita sugli avviamenti a caldo (AC) del turbogas TG 13 a partire da gennaio 2012 col fine di ridurre la durata.

Le emissioni degli ossidi di azoto (kg di NO<sub>x</sub>) prodotte dall'avviamento a caldo del turbogas “imbottigliato” (periodo gennaio 2012 ÷ maggio 2012) sono state confrontate con quelle prodotte dall'avviamento a caldo dello stesso turbogas ma non “imbottigliato” (periodo luglio 2011 ÷ dicembre 2011).

Il risultato (Figura 7) riporta l'andamento delle emissioni degli NO<sub>x</sub> in funzione della durata dell'avviamento a caldo, cioè avviamenti la cui durata non supera 130 minuti dall'accensione del turbogas.

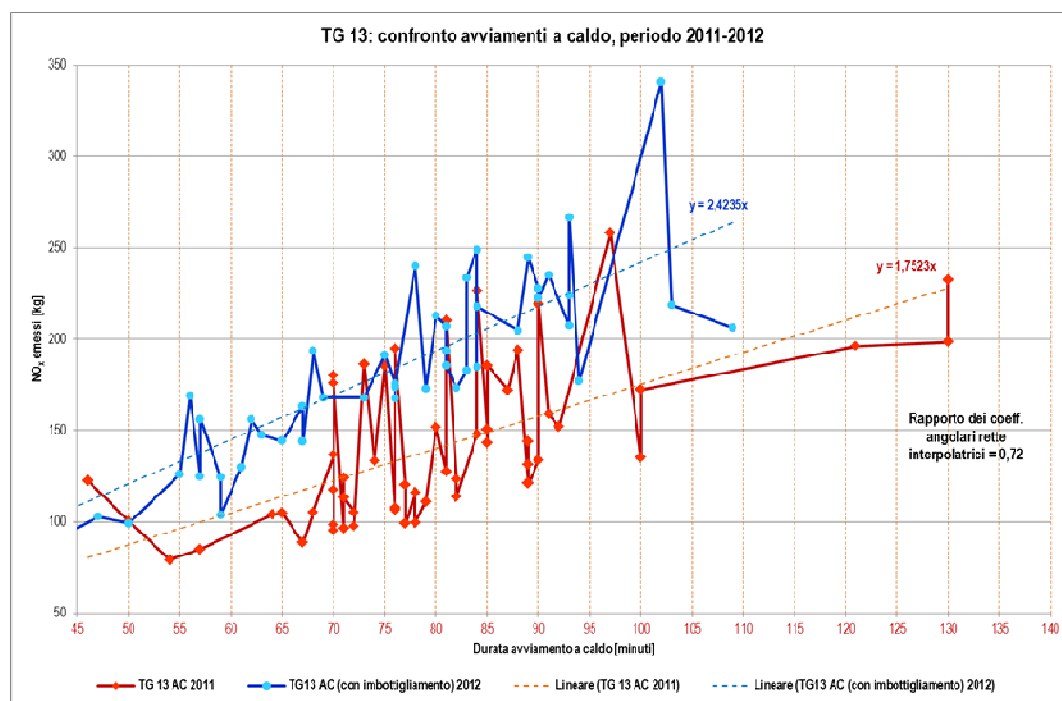


Figura 7: Confronto tra gli avviamenti a caldo “imbottigliati” e gli avviamenti a caldo non “imbottigliati” del turbogas TG 13.

Il diagramma rosso è relativo alla condizione di non “imbottigliamento” mentre quello blu è proprio della condizione di “imbottigliamento”.

Ciascun diagramma mostra un'elevata variazione dell'emissione di NO<sub>x</sub> anche a pari durata dell'avviamento; la circostanza evidenzia come l'emissione di NO<sub>x</sub> dipenda da altri parametri, oltre alla sola durata, fra i quali sono da indicarsi i livelli di pressione residua del GVR e altri fattori di natura ambientale.

Il diagramma relativo alle prove di “imbottigliamento” presenta, a parità di durata, valori più elevati di quello relativo ad avviamenti tradizionali; d'altra parte il confronto a parità di durata non ha significato poiché è



proprio lo scopo dell'“imbottigliamento” ridurre la durata dell'avviamento per contenere l'emissione complessiva.

Ferma restando l'intrinseca variabilità dei dati che caratterizza i due diagrammi, un primo confronto fra le due tipologie di avviamento a caldo è stato fatto interpolando i valori con funzioni lineari (passanti per l'origine) e confrontando i coefficienti angolari delle stesse; si ricava che l'“imbottigliamento” porterebbe a riduzione dell'emissione di  $\text{NO}_x$  qualora la sua durata fosse inferiore del 72% rispetto a quella con avviamento tradizionale.

Ulteriori prove sono state eseguite affiancando all'“imbottigliamento” l'anticipo del carico minimo tecnico ambientale (CMTA).

L'anticipo CMTA consiste nella riduzione della durata dell'avviamento a caldo del secondo turbogas (indifferentemente il TG 12 o il TG 13), con il primo già in esercizio (in termini tecnici “inserimento a forchetta”).

Come rappresentano i diagrammi di pagina 8, si tratta di ridurre al minimo la durata della fase in cui il TG genera una potenza pressoché costante modificando l'andamento della rampa di andata a regime.

Complessivamente sono state effettuate sei prove così suddivise: tre prove sul turbogas TG 12 nei giorni 28 marzo, 28 aprile e 10 luglio 2012, e tre prove sul turbogas TG 13 nei giorni 30 luglio, 16 e 17 ottobre 2012.

Quattro prove su sei sono state eseguite affiancando l'“imbottigliamento” all'anticipo del CMTA.

Nel seguente diagramma (Figura 8) sono riportati i valori di emissione complessiva di  $\text{NO}_x$ , in funzione della durata di ciascuna delle sei prove, e i due punti corrispondenti alle emissioni dei due avviamenti a caldo, senza anticipo, assunti a riferimento.

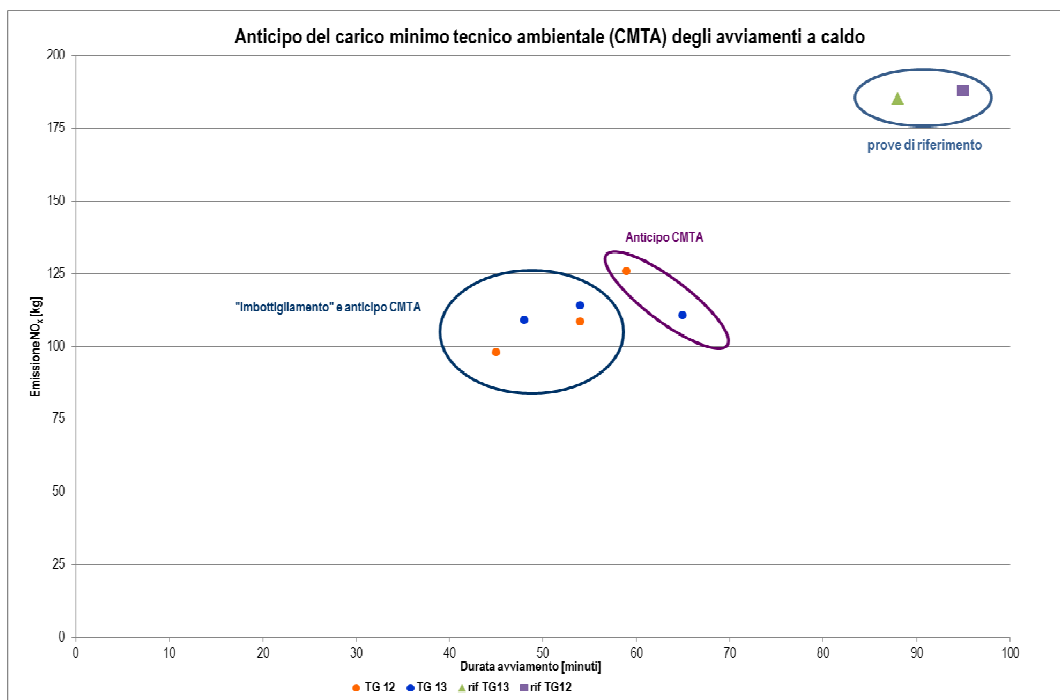


Figura 8: Prove di anticipo CMTA.

L'affiancamento comporta una riduzione della durata dell'avviamento, rispetto a quella che si avrebbe col solo anticipo CMTA.

L'emissione degli NO<sub>x</sub> è comunque inferiore a quella generata negli avviamenti tradizionali; il diagramma mostra come l'abbinamento di "imbottigliamento" e anticipo CMTA abbia comportato, in tre casi su quattro anche una riduzione in termini di emissione.

L'oscillazione dei punti di prova dimostra come altri parametri del sistema influenzino l'emissione degli ossidi d'azoto.

In particolare, si osserva come la durata del transitorio di avviamento sia inversamente proporzionale alla pressione residua nel GVR all'inizio del transitorio (l'imbottigliamento ha proprio lo scopo di mantenere in pressione il sistema); tuttavia tale dipendenza non esaurisce le possibili variabili influenti sul sistema, come dimostra la prova del 30/7/2012 (TG 13 solo anticipo CMTA) che, pur con durata superiore (e pressione residua pari a 0 bar) non ha comportato un incremento di emissione rispetto alle altre due prove (della TG13) con anche "imbottigliamento".

Si rileva, che una differenza può essere dovuta alla temperatura ambiente della prova di luglio rispetto alle altre due prove, eseguite in ottobre.

Le tabelle sottostanti (Tabella 3 e Tabella 4) sintetizzano, per ciascun turbogas, i risultati puntuali ottenuti da EDIPOWER S.p.A. durante la prova, secondo quanto dichiarato dalla stessa EDIPOWER S.p.A. l'affiancamento dell'"imbottigliamento" all'anticipo CMTA è avvenuto nei giorni 28 marzo e 10 luglio 2012 per il TG 12 e 16, 17 ottobre 2012 per il TG 13.

	TG 12			
	Giorno di riferimento	Prove		
		Anticipo CMTA	"Imbottigliamento" e Anticipo CMTA	
<i>Data</i>	9/7/2012	28/4/2012	28/3/2012	10/7/2012
<i>Parametri</i>				
<i>Tipo di transitorio</i>	AC 2°	AC 2°	AC 2°	AC 2°
<i>Pressione residua GVR [bar]</i>	0	8	27	20
<i>Durata transitorio [minuti]</i>	95	59	45	54
<i>Emissione totale NO<sub>x</sub> [kg]</i>	188	126	98	109
<i>Riduzione dell'emissione NO<sub>x</sub> rispetto al riferimento [%]</i>	-	33%	48%	42%

Tabella 3: Risultati delle prove di Anticipo del CMTA del TG 12, novembre 2011 ÷ ottobre 2012.

	TG 13			
	Giorno di riferimento	Prove		
		Anticipo CMTA	"Imbottigliamento" e Anticipo CMTA	
<i>Data</i>	18/10/2012	30/7/2012	16/10/2012	17/10/2012
<i>Parametri</i>				
<i>Tipo di transitorio</i>	AC 2°	AC 2°	AC 2°	AC 2°
<i>Pressione residua GVR [bar]</i>	0	0	32,80	21,52
<i>Durata transitorio [minuti]</i>	88	65	48	54
<i>Emissione totale NO<sub>x</sub> [kg]</i>	185	111	109	114
<i>Riduzione dell'emissione NO<sub>x</sub> rispetto al riferimento [%]</i>	-	40%	41%	38%

Tabella 4: Risultati delle prove di Anticipo CMTA del TG 13, novembre 2011 ÷ ottobre 2012.

Il confronto grafico (Figura 9) tra le emissioni di NO<sub>x</sub> prodotte rispettivamente dagli avviamenti a caldo tradizionali (come primo turbogas e come secondo turbogas) di entrambi i TG e le emissioni di NO<sub>x</sub> ottenute

dalle prove di anticipo CMTA (indistintamente con e senza "imbottigliamento") conferma la riduzione delle emissioni, già riscontrata puntualmente dai risultati ottenuti (Tabella 3 e Tabella 4).

Le emissioni del TG 12 si riducono del 33% nella prova con solo anticipo CMTA e del 48% e 42% nelle prove in cui vi è stato l'affiancamento dell'"imbottigliamento"; per il TG 13, al contrario, la riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto è più vantaggiosa nella prova con solo anticipo CMTA attestandosi al 40% (rispetto al 33% del TG 12) mentre diminuisce leggermente, 41% e 38%, nelle prove con affiancamento dell'"imbottigliamento" (presumibilmente a causa delle diverse condizioni ambientali del periodo di prova).

La variabilità di queste riduzioni conferma l'influenza nel processo di altri parametri che non hanno potuto essere valutati in questi test; compatibilmente con il funzionamento della centrale, i risultati complessivamente ottenibili potranno quindi essere valutati solo a valle di un periodo di consolidamento di questa tecnica, che già con un numero limitato di prove ha comunque portato a risultati confortanti per la riduzione delle emissioni di ossidi d'azoto.

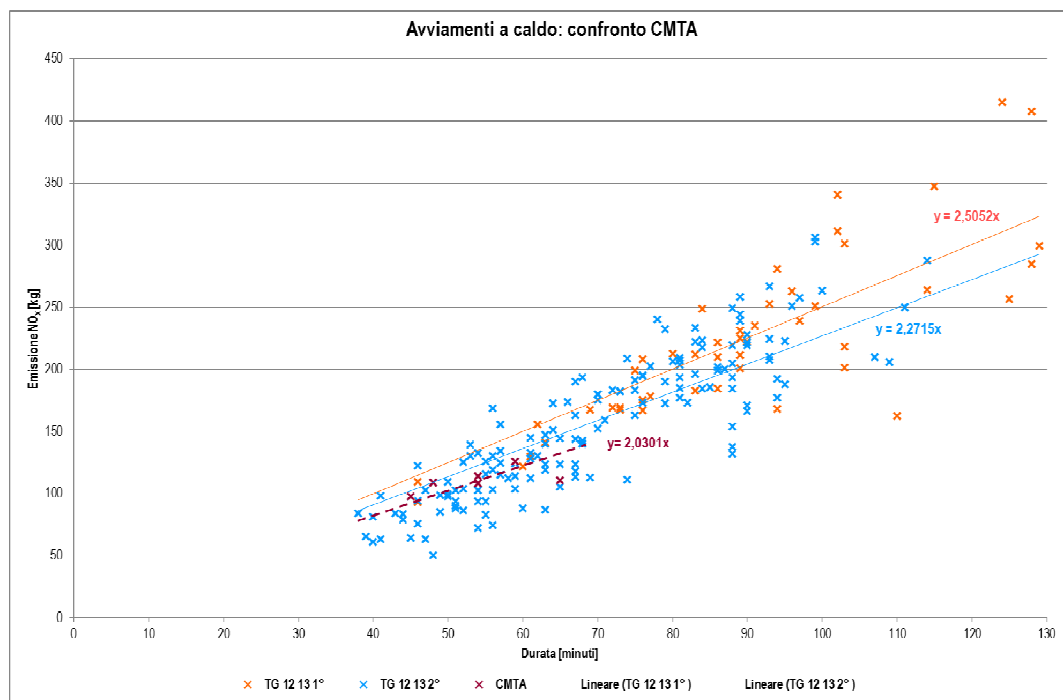


Figura 9: Confronto tra le emissioni di NO<sub>x</sub> degli avviamenti a caldo rispettivamente come 1° e come 2° turbogas di entrambi i TG con le emissioni di NO<sub>x</sub> delle prove di anticipo CMTA (indistintamente con e senza "imbottigliamento").

#### **4. Altri possibili interventi**

Ulteriori interventi atti a ridurre le emissioni di NO<sub>x</sub> sono stati individuati da EDIPOWER S.p.A. nella:

1. installazione di nuovi spurghi e sfiati per abbreviare i tempi di riscaldamento delle tubazioni di collegamento tra GVR e GVR e tra GVR e TV e di conseguenza abbreviare i tempi di regimazione delle stesse nel transitorio degli avviamenti caldi, tiepidi e freddi di CH1;
2. ottimizzazione delle rampe di avviamento da parte del costruttore delle TV ( Ansaldo ), intervento potenzialmente attuabile su tutti e due i moduli, che potrebbe ridurre i tempi in caso di avviamento a freddo.

Questi interventi presuppongono l'attuazione di modifiche impiantistiche e valutazioni da parte del costruttore delle turbine a vapore non realizzabili in tempi brevi.

I benefici ottenibili in termini di riduzione dei tempi si stimano in 20 minuti circa per il punto 1, mentre per il punto 2 il beneficio non è stimabile a priori.

L'effettiva entità della riduzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> potrà essere valutata a valle delle modifiche, tenendo in considerazione, per quanto riguarda il punto 2, che gli avviamenti a freddo rappresentano una percentuale modesta degli avviamenti totali.

## 5. Conclusioni

Le prove di “imbottigliamento del GVR” e anticipo del raggiungimento del carico minimo tecnico ambientale (CMTA), eseguite da EDIPOWER S.p.A. col fine di ridurre le emissioni di ossidi di azoto generate dal funzionamento in regime di transitorio dei gruppi della centrale di Chivasso, hanno avuto esito positivo specialmente se adottate congiuntamente.

L’“imbottigliamento del GVR” persegue la finalità di ridurre la durata dell’avviamento a caldo mentre l’anticipo del carico minimo tecnico ambientale (CMTA) mira a ridurre la durata dell’avviamento a caldo del secondo turbogas con il primo turbogas già in esercizio.

L’analisi del confronto tra le emissioni degli NO<sub>x</sub> prodotte dal turbogas “imbottigliato” con quelle generate dal turbogas avviato a caldo tradizionalmente, condotta interpolando i valori con funzioni lineari e confrontandone i rispettivi coefficienti angolari, mostra che i miglioramenti sull’emissione si avrebbero se la durata dell’avviamento con “imbottigliamento” fosse inferiore del 72% alla durata dell’avviamento tradizionale.

Poiché i parametri che influenzano la durata dell’avviamento sono molteplici, non è possibile definire univocamente la riduzione della durata del tempo dell’avviamento a caldo con “imbottigliamento”.

Il confronto, sia grafico che numerico, tra le emissioni generate dall’anticipo CMTA, le emissioni generate affiancando l’anticipo del CMTA all’“imbottigliamento” e le emissioni generate da avviamento a caldo tradizionale mostra una riduzione dell’emissione degli NO<sub>x</sub> e un’ulteriore diminuzione della durata dell’avviamento rispetto a quella che si avrebbe col solo anticipo CMTA.

La riduzione delle emissioni di ossidi d’azoto prodotte dal TG 12 rispetto a quelle generate da avviamento a caldo tradizionale dello stesso TG è del 33% per la prova con solo anticipo CMTA e del 48% e 42% per le prove in cui all’anticipo CMTA è stato affiancato l’“imbottigliamento”.

Le emissioni del TG 13, al contrario, si riducono del 40% nella prova di solo anticipo CMTA e del 41% e 38% nella prova con affiancamento dell’“imbottigliamento”.

Oltre ad altre tipologie di intervento, quali quelle indicate al paragrafo 4 della presente, è da rilevare come rimangano da sperimentare le modifiche della modalità di spegnimento dei gruppi.

E’ tuttavia da considerare come gli interventi qui illustrati attengano i soli casi di avviamento a caldo “a forchetta”, non essendo fattibili nelle altre condizioni di transitorio delle TG12 e TG13, e in nessun caso per i transitori della TG22 (che non dispone di “forchetta”).

Nel periodo esaminato gli avviamenti con possibile inserimento a forchetta hanno rappresentato il 60% circa della totalità degli avviamenti delle TG12 e TG13; anche nell’ipotesi, da dimostrare, che interventi sui transitori di spegnimento consentano di elevare la riduzione dell’emissione complessiva (avviamento a forchetta + spegnimento) al valore del 50%, non pare comunque possibile perseguire identica riduzione sulle emissioni globali (di tutti i gruppi in ogni condizione di transitorio) della centrale.