



Validazione del
Sistema Predittivo delle Emissioni (PEMS)
Centrale di compressione gas di Masera Unità TC1
Unità TC2 e Unità TC3

02, 03 e 04 NOVEMBRE 2021



INDICE

1.	GENERALITA'	3
1.1	Scopo ed introduzione	3
1.2	Riferimenti	3
2.	RISULTATI DELLE PROVE	3
2.1	Prove del 02 Novembre 2021	4
2.2	Prove del 03 Novembre 2021	4
2.3	Prove del 04 Novembre 2021	5
3.	MODIFICHE APPORTATE	5
3.1	Costanti TC1	6
3.2	Costanti TC2	7
3.3	Costanti TC3	8
4.	TABELLE DI VERIFICA	9

DOCUMENTI:

Allegato 1 Tabella di conversione mg/Nm³ a ppm

Allegato 2 Relazione LASVIL



1. GENERALITA'

1.1 Scopo ed introduzione

Scopo della presente relazione è la validazione periodica del sistema predittivo delle emissioni (Predictive Emissions Monitoring System - PEMS) installato sulle tre turbine a gas di tipo General Electric PGT10B2 DLN della Centrale di compressione gas di Masera, sulla base della verifica dei dati calcolati, in contraddittorio con quanto rilevato da un laboratorio mobile.

Il sistema predittivo PEMS ha il compito di monitorare le emissioni di ossigeno (O₂), ossido di carbonio (CO) ed ossidi di azoto (NO_x) prodotte dal funzionamento delle turbine a gas installate.

Il sistema calcola tramite un modello matematico, ad intervalli di tempo predefiniti, i valori delle emissioni e la portata oraria di fumi secchi agli scarichi.

Tali dati, insieme ai dati in input al modello matematico, vengono immagazzinati in un database in modo da poter effettuare ogni tipo di analisi storica delle quantità di inquinanti emessi in atmosfera.

Il presente documento è stilato ai fini della consegna alle Autorità competenti, di un documento che attesti la validità del funzionamento del sistema predittivo PEMS, i calcoli effettuati e gli scostamenti nei valori di emissione dai valori rilevati dal laboratorio mobile di analisi, secondo quanto previsto nella delibera autorizzativa.

1.2 Riferimenti

- Autorizzazione Integrata Ambientale DM000054 del 04/03/2016;
- Determinazione n° 771 del 25/12/2000 della Regione Piemonte – Direzione Tutela e Risanamento Ambientale;
- Lettera n° 4745/80 del 30/1/2003 della Provincia del Verbano Cusio Ossola – Servizio Inquinamento Atmosferico;
- Specifica tecnica “*Sistema predittivo di misura delle emissioni per turbina a gas PGT10B2 DLN*” del 7/1/2002;
- Specifica funzionale “*Programma PEMS predittivo emissioni TU/GAS tipo PGT10B2 DLN*” del 14/6/2002.

2. RISULTATI DELLE PROVE

Nei giorni 02,03 e 04 Novembre, presso la Centrale di compressione gas sita nel comune di Masera (VB), è stata effettuata la validazione periodica del sistema predittivo delle emissioni PEMS sulle unità denominate TC1, TC2 e TC3.

La validazione del predittivo sulle unità è stata eseguita come indicato sulle specifiche funzionali del sistema predittivo che prevedono una verifica annuale.



La validazione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un laboratorio mobile per l'analisi dei gas di scarico di proprietà della Snam Rete Gas; tutta la strumentazione utilizzata per le prove è stata tarata all'inizio di ogni giornata di prova e verificata al termine della giornata stessa.

Lo svolgimento delle prove è stato effettuato secondo quanto riportato nella Specifica Tecnica "Sistema Predittivo di misura delle emissioni per turbina a gas PGT10B2 DLN".

Per ciascuna unità è stata eseguita un'analisi dei gas di scarico dal 60% del carico termico, poi a carichi via via crescenti, fino al massimo carico realizzabile nelle condizioni operative di lavoro, quindi è stata ripetuta un'analisi al 80% del carico termico.

I risultati del collaudo del sistema, ottenuti nei giorni sopra indicati, sono riportati di seguito.

2.1 Prove del 02 Novembre 2021

Medie semi-orarie effettuate il giorno 02/11/2021 sull'unità TC1									
Carico termico [%]	O ₂ [%]			CO [d15ppm]			NO _x [d15ppm]		
	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.
60,12	16,91	16,66	-0,25	0,67	5,00	4,33	21,45	19,35	-2,11
87,33	15,88	15,82	-0,06	1,60	4,00	2,40	33,41	33,52	0,11
80,61	16,08	16,15	0,07	1,46	4,91	3,45	22,00	24,88	2,88
71,20	16,39	16,37	-0,02	1,68	5,00	3,32	21,22	19,44	1,78

2.2 Prove del 03 Novembre 2021

Medie semi-orarie effettuate il giorno 03/11/2021 sull'unità TC2									
Carico termico [%]	O ₂ [%]			CO [d15ppm]			NO _x [d15ppm]		
	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.
60,21	17,14	16,86	-0,28	10,24	6,91	-3,33	22,59	20,35	-2,24
70,07	16,81	16,56	-0,25	2,56	3,00	0,44	20,20	20,78	0,58
80,32	16,37	16,35	-0,02	0,56	4,80	4,24	17,27	21,86	4,59
90,40	15,89	15,87	-0,02	0,50	4,96	4,46	21,56	24,32	2,76
76,54	16,50	16,42	-0,08	0,63	4,31	3,68	19,12	22,82	3,70



2.3 Prove del 04 Novembre 2021

Medie semi-orarie effettuate il giorno 04/11/2021 sull'unità TC3									
Carico termico [%]	O ₂ [%]			CO [d15ppm]			NO _x [d15ppm]		
	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.	FURG.	PEMS	DIFFER.
93,32	15,66	15,55	-0,11	1,60	5,00	3,40	29,66	28,33	-1,33
80,18	16,38	16,22	-0,16	1,23	5,00	3,77	20,98	19,23	-1,75
70,41	16,62	16,42	-0,20	0,66	5,00	4,34	24,15	23,40	-0,75
60,64	16,96	16,72	-0,24	0,77	5,00	4,23	25,12	23,37	-1,75
93,20	15,71	15,67	-0,04	1,41	5,00	3,59	28,59	29,75	1,16

Le medie semiorarie del predittivo sono state estratte dall'archivio dati, che mensilmente il sistema genera, e sono riferite agli orari di prova indicate nella relazione del laboratorio mobile.

L'analisi dei risultati evidenzia che tutti gli scostamenti tra i valori indicati dal sistema predittivo PEMS ed i valori rilevati dal laboratorio mobile rientrano all'interno delle tolleranze massime riportate nella Specifica Funzionale "*Programma PEMS predittivo emissioni TU/GAS tipo PGT10B2 DLN*", che prevede una tolleranza di ± 5 ppm sul valore di NO_x e di CO e di $\pm 0,3$ % sul valore di O₂.

I valori in ppm di NO_x e CO sono rilevabili dall'Allegato 1 della presente relazione.

I risultati dei calcoli elaborati dal sistema predittivo PEMS sono a disposizione delle Autorità sul database di archivio, a cui è possibile accedere via Internet con le modalità precedentemente concordate; i risultati delle analisi del laboratorio mobile sono conservati presso gli uffici della Snam Rete Gas a San Donato Milanese e restano a disposizione delle Autorità.

3. MODIFICHE APPORTATE

A seguito della validazione del sistema predittivo sono state aggiornate/verificate le costanti di calcolo del modello matematico. È possibile la verifica di tali costanti via Internet, sul database di archivio locale della Centrale.

Si riportano di seguito le tabelle contenenti le costanti di calcolo del modello matematico.



3.1 Costanti TC1

\$ COSTANTI \$

c_Pamb=1.01325

c_Tamb=288.15

c_PHI=0.6

c_h=0.006345

c_Ttp=1442.55

c_Tcd=685.55

c_Pcd=15.767

c_n0=0.5

c_theta0=172

c_muH2O=18

c_muaria=28.96

c_mu0=16.04

c_z0=1.1

c_IGV=0

c_Gar=45.5

c_Gf=0.7154

c_Ch=15

c_m=0.23442

c_L=17.23

c_C=520

c_percO2=20.95

c_KO2=1.02

c_NHPmin=9000

c_NLPmin=3000

\$ MASSIMI E MINIMI DATI INPUT \$

CTDmin(K)=273.15

CTDmax(K)=773.15

TTXMmin(K)=273.15

TTXMmax(K)=798.15

PCDmin(BarA)=10.5

PCDmax(BarA)=19

PAMBmin(BarA)=0.5

PAMBmax(BarA)=2

TAMBmin(K)=233.15

TAMBmax(K)=333.15

HUMmin=0

HUMmax=1.02

TFUELmin(K)=

TFUELmax(K)=

PFUELmin(BarG)=

PFUELmax(BarG)=

GFmin(kg/s)=0

GFmax(kg/s)=1.2

GF3min(kg/s)=0

GF3max(kg/s)=0.5

GAmin(kg/s)=0

GAmax(kg/s)=40

HPmin(rpm)=6000

HPmax(rpm)=12000

IGVmin(deg)=-50

IGVmax(deg)=5

LPmin(rpm)=3000

LPmax(rpm)=8700

\$ CO(d15)=f(Nt) \$

40;50

50;14

60;5

65;5

70;5

75;5

80;5

85;4

90;4

95;4

100;4

\$ c_C=f(Nt) \$

40;450

50;450

60;550

65;550

70;550

80;680

85;700

90;750

100;1700

\$

END

\$



3.2 Costanti TC2

\$ COSTANTI \$

c_Pamb=1.01325

c_Tamb=288.15

c_PHI=0.6

c_h=0.006345

c_Ttp=1442.55

c_Tcd=685.55

c_Pcd=15.767

c_n0=0.5

c_theta0=172

c_muH2O=18

c_muaria=28.96

c_mu0=16.04

c_z0=1.1

c_IGV=0

c_Gar=46.5

c_Gf=0.7154

c_Ch=15

c_m=0.23442

c_L=17.23

c_C=520

c_percO2=20.95

c_KO2=1.02

c_NHPmin=8000

c_NLPmin=3000

\$ MASSIMI E MINIMI DATI INPUT \$

CTDmin(K)=273.15

CTDmax(K)=773.15

TTXMmin(K)=273.15

TTXMmax(K)=798.15

PCDmin(BarA)=10.5

PCDmax(BarA)=19

PAMBmin(BarA)=0.5

PAMBmax(BarA)=2

TAMBmin(K)=233.15

TAMBmax(K)=333.15

HUMmin=0

HUMmax=1

TFUELmin(K)=

TFUELmax(K)=

PFUELmin(BarG)=

PFUELmax(BarG)=

GFmin(kg/s)=0

GFmax(kg/s)=1.2

GF3min(kg/s)=0

GF3max(kg/s)=0.5

GAmin(kg/s)=0

GAmix(kg/s)=40

HPmin(rpm)=2000

HPmax(rpm)=12000

IGVmin(deg)=-40

IGVmax(deg)=1

LPmin(rpm)=3000

LPmax(rpm)=8700

\$ CO(d15)=f(Nt) \$

40;50

50;15

60;7

70;3

80;5

85;3

90;5

95;5

100;8.5

\$ c_C=f(Nt) \$

40;450

50;450

60;450

65;470

70;500

80;600

90;780

100;900

\$ END \$



3.3 Costanti TC3

\$ COSTANTI \$

c_Pamb=1.01325

c_Tamb=288.15

c_PHI=0.6

c_h=0.006345

c_Ttp=1442.55

c_Tcd=685.55

c_Pcd=15.767

c_n0=0.5

c_theta0=172

c_muH2O=18

c_muaria=28.96

c_mu0=16.04

c_z0=1.1

c_IGV=0

c_Gar=48

c_Gf=0.72

c_Ch=15

c_m=0.23442

c_L=17.23

c_C=520

c_percO2=20.95

c_KO2=1.8

c_NHPmin=9000

c_NLPmin=3000

\$ MASSIMI E MINIMI DATI INPUT \$

CTDmin(K)=273.15

CTDmax(K)=773.15

TTXMmin(K)=273.15

TTXMmax(K)=798.15

PCDmin(BarA)=10.5

PCDmax(BarA)=19

PAMBmin(BarA)=0.5

PAMBmax(BarA)=2

TAMBmin(K)=233.15

TAMBmax(K)=333.15

HUMmin=0

HUMmax=1.02

TFUELmin(K)=

TFUELmax(K)=

PFUELmin(BarG)=

PFUELmax(BarG)=

GFmin(kg/s)=0

GFmax(kg/s)=1.2

GF3min(kg/s)=0

GF3max(kg/s)=0.5

GAmin(kg/s)=0

GAmax(kg/s)=40

HPmin(rpm)=6000

HPmax(rpm)=12000

IGVmin(deg)=-48

IGVmax(deg)=9

LPmin(rpm)=3000

LPmax(rpm)=8700

\$ CO(d15)=f(Nt) \$

40;5

50;4

60;5

70;5

80;5

85;5

90;5

95;5

100;3.5

\$ c_C=f(Nt) \$

40;450

50;500

60;450

65;500

70;450

80;450

90;800

100;1000

\$

END

\$



4. TABELLE DI VERIFICA

I valori riportati nella tabella si riferiscono ad una lettura effettuata sul predittivo in un istante durante la registrazione semioraria dei dati.

Tabella di verifica TC1

INPUT						
COMPOSIZIONE PERCENTUALE DEL GAS						
Idrogeno	0,00	Propilene	0,00	Eptano	0,00	
Metano	91,58	I-Butano	0,22	Monossido di Carbonio	0,00	
Etano	4,57	I-Pentano	0,06	Anidride carbonica	1,15	
Etilene	0,00	N-Butano	0,17	Azoto	1,10	
Propano	1,02	N-Pentano	0,05	Vapor d'acqua	0,00	
Argon	0,00	Ciclopentano	0,00	Butadiene	0,00	
Butilene	0,00	Esano	0,06			
Ossigeno	0,00	Elio	0,03			
PARAMETRI DI MACCHINA						
CTD (°C)	TTXM (°C)	PCD (Psi)	P amb	T amb	Hum (adim)	Tfuel (°C)
363	449.7	164.00	0.98	13.83	45.2	36.20
409	512.0	203.80	0.98	14.86	45.2	41.60
403	490.5	197.87	0.99	13.55	49.7	40.38
381	470	182.08	0.99	11.63	61.3	38.71
Pfuel (BarG)	GF (g/s)	Gf3_P (g/s)	GAC (kg/s)	HP (%)	IGV (%)	LP (%)
13.36	440.0	23.8	13.388	93.5	78.5	72.3
18.80	630.8	26.1	20.383	100	90.2	87.5
17.53	587.9	24.7	20.149	99.2	90.2	83.3
15.55	517.8	24.7	16.842	95.1	90.2	78.2
OUTPUT						
NOx (d,15 ppm)	NOx (ppmvd)	CO (d,15 ppm)	CO (ppmvd)	O2 (%)		
19.53	13.98	5.00	3.60	16.66		
32.73	27.82	5.00	3.44	15.83		
24.49	20.71	4.83	3.91	16.13		
19.49	15.03	3.86	5.00	16.36		
Nt (%)	NtRif (%)	GSD (kg/s)	Codice Errore	Commento Codice Errore		
60.2	62.6	31.23	0	Calcolo Corretto		
86.9	90.1	38.01	0	Calcolo Corretto		
80.9	84.0	37.72	0	Calcolo Corretto		
71.5	74.5	34.88	0	Calcolo Corretto		



Tabella di verifica TC2

INPUT						
COMPOSIZIONE PERCENTUALE DEL GAS						
Idrogeno	0,00	Propilene	0,00	Eptano	0,00	
Metano	91,49	I-Butano	0,22	Monossido di Carbonio	0,00	
Etano	4,69	I-Pentano	0,06	Anidride carbonica	1,14	
Etilene	0,00	N-Butano	0,17	Azoto	1,11	
Propano	1,03	N-Pentano	0,04	Vapor d'acqua	0,00	
Argon	0,00	Ciclopentano	0,00	Butadiene	0,00	
Butilene	0,00	Esano	0,08			
Ossigeno	0,00	Elio	0,03			
PARAMETRI DI MACCHINA						
CTD (°C)	TTXM (°C)	PCD (Psi)	P amb	T amb	Hum (adim)	Tfuel (°C)
348,01	419,00	165,81	0,98	6,27	84,73	36,03
368,55	440,00	184,35	0,98	6,47	82,94	38,67
388,70	459,00	201,68	0,99	6,32	79,84	40,50
397,90	485,80	208,01	0,99	6,09	80,77	40,51
380,44	451,60	195,50	0,99	5,90	85,80	38,41
Pfuel (BarG)	GF (g/s)	Gf3_P (g/s)	GAC (kg/s)	HP (%)	IGV (%)	LP (%)
12,86	431,24	32,70	12,626	93,05	76,20	70,90
15,00	508,71	30,39	15,899	94,79	88,40	77,20
17,13	585,23	24,68	19,245	98,88	89,90	86,40
18,74	660,18	22,15	21,263	99,45	89,90	93,50
18,37	554,25	29,01	17,790	97,29	89,90	84,20
OUTPUT						
NOx (d,15 ppm)	NOx (ppmvd)	CO (d,15 ppm)	CO (ppmvd)	O2 (%)		
20,07	13,88	7,00	4,84	16,84		
20,45	15,45	3,00	2,22	16,55		
21,43	16,70	4,72	3,65	16,35		
24,40	20,66	5,00	4,06	15,87		
23,01	17,14	4,34	3,31	16,41		
Nt (%)	NtRif (%)	GSD (kg/s)	Codice Errore	Commento Codice Errore		
59,64	62,73	32,09	0	Calcolo Corretto		
70,06	73,67	35,50	0	Calcolo Corretto		
80,70	85,04	39,27	0	Calcolo Corretto		
89,39	94,26	39,46	0	Calcolo Corretto		
76,70	80,92	37,74	0	Calcolo Corretto		



Tabella di verifica TC3

INPUT						
COMPOSIZIONE PERCENTUALE DEL GAS						
Idrogeno	0,00	Propilene	0,00	Eptano	0,00	
Metano	91,64	I-Butano	0,23	Monossido di Carbonio	0,00	
Etano	4,57	I-Pentano	0,05	Anidride carbonica	1,13	
Etilene	0,00	N-Butano	0,15	Azoto	1,17	
Propano	0,95	N-Pentano	0,04	Vapor d'acqua	0,00	
Argon	0,00	Ciclopentano	0,00	Butadiene	0,00	
Butilene	0,00	Esano	0,06			
Ossigeno	0,00	Elio	0,03			
PARAMETRI DI MACCHINA						
CTD (°C)	TTXM (°C)	PCD (Psi)	P amb	T amb	Hum (adim)	Tfuel (°C)
405,57	505,64	210,70	0.99	8,88	97,0	41,2
396,20	467,40	202,15	0.99	9,32	86,2	41,4
385,77	455,23	184,27	0.99	14,1	38,7	40,5
361,55	433,45	166,83	0.99	12,8	33,5	40,1
405,75	503,91	212,27	0.99	9,91	51,9	44,0
Pfuel (BarG)	GF (g/s)	Gf3_P (g/s)	GAC (kg/s)	HP (%)	IGV (%)	LP (%)
20,73	681,55	22,90	21,252	100,0	83,7	88,4
18,18	586,24	31,04	19,188	98,9	83,7	80,5
15,94	514,31	33,88	15,854	95,2	83,6	75,9
13,78	441,50	34,29	13,139	93,3	71,7	69,7
20,84	682,63	23,24	21,375	100	83,7	88,3
OUTPUT						
NOx (d,15 ppm)	NOx (ppmvd)	CO (d,15 ppm)	CO (ppmvd)	O2 (%)		
27,95	25,28	5,00	4,52	15,56		
19,19	15,26	5,00	3,97	16,22		
23,32	17,81	5,00	3,82	16,41		
23,23	16,52	5,00	3,55	16,72		
29,46	26,10	5,00	4,43	15,69		
Nt (%)	NtRif (%)	GSD (kg/s)	Codice Errore	Commento Codice Errore		
93,13	97,11	38,83	0	Calcolo Corretto		
80,27	83,66	38,24	0	Calcolo Corretto		
70,25	72,49	34,72	0	Calcolo Corretto		
60,64	62,70	32,18	0	Calcolo Corretto		
92,92	96,57	39,81	0	Calcolo Corretto		