



Università degli Studi di Cagliari

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA (DICAAR)

**Analisi e certificazione dei dati di qualità dell'aria
rilevati presso l'aeroporto di Cagliari**

Semestre gennaio – giugno 2017

Contratto 129/2017 del 15.06.17 tra So.G.Aer. S.p.A. e DICAAR

Responsabile scientifico: prof. ing. Giorgio Massacci

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Giorgio Massacci'.

Cagliari, 9 gennaio 2018

1. PREMESSA

La presente relazione si riferisce al contratto 129/2017 stipulato in data 15.06.17 tra

- So.G.Aer. S.p.A. (nel seguito denominata SOGAER), società di gestione dell'aeroporto di Cagliari,
- e
- Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura, Università degli Studi di Cagliari (nel seguito denominato DICAAR),

avente per oggetto il **servizio di analisi e certificazione dei dati di qualità dell'aria rilevati dalla centralina all'interno del sedime aeroportuale**.

Detto contratto (denominato, nel seguito, contratto SOGAER -DICAAR) indica lo scrivente prof. ing. Giorgio Massacci quale responsabile scientifico e prevede una durata di due anni a decorrere dal 03.07.17, data di avvio dell'esecuzione del contratto (come da verbale di avvio).

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con il D.M. n. 162 del 13/06/2014, a seguito dell'esame dello studio d'impatto ambientale (SIA), decretava la compatibilità ambientale del progetto **Aeroporto di Cagliari Elmas – Master Plan**, subordinandolo al rispetto di alcune prescrizioni.

Il servizio oggetto del contratto SOGAER –DICAAR è finalizzato a ottemperare alla prescrizione della Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale VIA/VAS contenuta nel citato D.M. al punto 2, nel quale si chiede che *venga effettuata una nuova e completa campagna di monitoraggio ai fini della verifica della qualità dell'aria, sia invernale che estiva, campionando i medesimi parametri analizzati per la redazione del SIA ai sensi del D. Lgs. 155/2010, le cui conclusioni siano descritte in una apposita relazione dove – tra l'altro – sia evidente la comparazione tra i nuovi risultati ottenuti e quelli già presentati*.

Il contratto SOGAER –DICAAR prevede una prima relazione riguardante i dati registrati dalla centralina nell'intero semestre gennaio – giugno 2017, alla quale seguiranno relazioni riguardanti i dati raccolti in ogni successivo trimestre.

In questa prima relazione, dopo il richiamo ai valori di riferimento (capitolo 2), viene sinteticamente descritto il sistema di misura mediante il quale vengono rilevati i dati di qualità dell'aria (capitolo 3). I risultati ottenuti nel primo semestre 2017 sono esaminati e discussi nei capitoli successivi.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il riferimento normativo per la qualità dell'aria è costituito dal D. Lgs. 155/2010 [1], nel quale sono stabiliti valori riferimento di diverse tipologie a seconda dell'inquinante considerato (valori limite per SO₂, NO₂, benzene, CO, Pb, PM₁₀ e PM_{2,5}; livelli critici per la protezione della vegetazione per SO₂ e NO_x; soglie di allarme per SO₂ e NO₂; valori obiettivo, obiettivi a lungo termine e soglie d'informazione e di allarme per l'ozono).

Per il particolato e le sostanze in esso contenute il volume di campionamento si riferisce alle condizioni ambiente in termini di temperatura e di pressione atmosferica alla data delle misurazioni.

I valori di riferimento per i gas e i vapori sono espressi come concentrazione massica in condizioni normali (temperatura $t = 20\text{ °C} = 293\text{ K}$ e pressione $p = 101,3\text{ kPa}$). Si tratta delle cosiddette condizioni normali o NTP (dall'inglese *Normal Temperature and Pressure*).

I valori di concentrazione forniti dal sistema di misura sono espressi come concentrazioni volumiche (e pertanto indipendenti dalle variabili di stato) in parti per milione (ppm) o in parti per miliardo (ppb).

Ai fini di una comparazione con i valori di concentrazione rilevati mediante il sistema di misura, dunque, è necessario che i valori di riferimento siano convertiti nel valore corrispondente di concentrazione volumica mediante la seguente espressione:

$$C_v = \frac{24,04 \cdot C_m}{M_m}$$

in cui:

C_v = concentrazione volumica in aria della medesima sostanza [ppm];

C_m = concentrazione massica in aria della sostanza considerata [mg/m^3];

M_m = massa molare della sostanza [g/mol].

Si ricorda che in condizioni normali NTP il volume molare è pari a circa $24,04 \text{ dm}^3/\text{mol}$.

Nelle tabelle dalla 1 alla 6 sono riportati i valori di riferimento di vario tipo, stabiliti dal D. Lgs. 155/2010; per i gas e i vapori, oltre ai valori stabiliti dal decreto come concentrazioni massiche in condizioni normali, sono indicati i corrispondenti valori di concentrazione volumica.

Ai fini della presente relazione, in particolare, sono rilevanti i valori limite, definiti nell'allegato XI e richiamati in tabella 1.

A proposito del monossido di carbonio (CO), il D. Lgs. 155/2010 specifica che la massima concentrazione media giornaliera su 8 ore si determina con riferimento alle medie consecutive su 8 ore, calcolate sulla base di dati orari ed aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore in tal modo calcolata è riferita al giorno nel quale la serie di 8 ore si conclude: la prima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 01:00 del giorno stesso; l'ultima fascia di calcolo per un giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.

Relativamente al biossido di zolfo (SO_2) e agli ossidi di azoto (NO_x), l'allegato XI definisce inoltre i livelli critici, riportati in tabella 2.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore
SO_2	1 ora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (131,33 ppb), da non superare più di 24 volte per anno civile
	1 giorno	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (46,90 ppb), da non superare più di 3 volte per anno civile
NO_2	1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (104,51 ppb), da non superare più di 18 volte per anno civile
	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (20,90 ppb)
Benzene	Anno civile	5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,54 ppb)
CO	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m^3 (8,58 ppm)
Pb	Anno civile	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	1 giorno	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare più di 35 volte per anno civile
	Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2,5	Anno civile	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 1 - Valori limite

Inquinante	Livello critico (periodo di mediazione)	Valore
SO ₂	Livello critico annuale (anno civile)	20 µg/m ³ (7,51 ppb)
	Livello critico invernale (1° marzo – 31 ottobre)	20 µg/m ³ (7,51 ppb)
NO _x	Livello critico annuale (anno civile)	30 µg/m ³ (15,68 ppb)

Tabella 2 – Livelli critici per la protezione della vegetazione

Finalità	Periodo di mediazione	Valore
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³ (60,10 ppb), da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40 (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 18.000 µg/m ³ ·h come media su cinque anni

Tabella 3 – Valori obiettivo per l'ozono

Finalità	Periodo di mediazione	Valore
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore nell'arco di un anno civile	120 µg/m ³ (60,10 ppb)
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40, (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 6.000 µg/m ³ ·h

Tabella 4 – Obiettivi a lungo termine per l'ozono

Finalità	Periodo di mediazione	Valore
Informazione	1 ora	180 µg/m ³ (90,15 ppb)
Allarme	1 ora	240 µg/m ³ (120,20 ppb)

Tabella 5 – Soglie d'informazione e di allarme per l'ozono

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore
SO ₂	3 ore consecutive	500 µg/m ³ (187,62 ppb)
NO ₂	3 ore consecutive	400 µg/m ³ (209,02 ppb)

Tabella 6 – Soglie di allarme per inquinanti diversi dall'ozono

Relativamente all'ozono (O₃), il D. Lgs. 155/2010 stabilisce (nell'allegato VII) i valori obiettivo e gli obiettivi a lungo termine, riportati rispettivamente in tabella 3 e in tabella 4; l'allegato XII definisce le soglie di informazione e di allarme riportate in tabella 5.

Per gli inquinanti diversi dall'ozono l'allegato XII stabilisce le soglie di allarme per il biossido di zolfo (SO₂) e per il biossido di azoto (NO₂), riportate in tabella 6.

Si segnala inoltre che per il toluene (per il quale il D. Lgs. 155/2010 non ha stabilito alcun valore di riferimento) l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha indicato un valore guida di qualità dell'aria (*air quality guideline* o AQG) pari a 260 µg/m³ (67,84 ppb) come media settimanale [2].

3. SISTEMA DI MISURA

La centralina di misura della qualità dell'aria installata presso l'aeroporto di Cagliari, prodotta dalla Softech s.r.l., si integra con il sistema del monitoraggio del rumore aeroportuale, con il quale condivide le risorse di campo (*datalogger* e strumentazione di cabina), l'infrastruttura di comunicazione (rete telefonica o proprietaria), l'*hardware* e il *software* SARA del sistema centrale.

La strumentazione comprende i seguenti componenti:

- armadio condizionato per il contenimento della strumentazione di analisi;
- sistema di prelievo multiplo per inquinanti gassosi;
- analizzatori.

Il *software* SARA è stato integrato con il modulo SARA-AIR che assicura le seguenti funzioni:

- analisi in tempo reale delle misurazioni effettuate dagli analizzatori;
- analisi in tempo reale delle condizioni di funzionamento degli analizzatori con evidenza di anomalie;
- analisi storica delle misurazioni effettuate con possibilità di mediare su intervalli orari definiti dall'utente;
- correlazione degli andamenti degli inquinanti con le operazioni di volo.

La sonda e la linea di collegamento con gli analizzatori di gas rispettano la normativa vigente in materia e in particolare:

- materiali costruttivi inerti (a seconda delle esigenze specifiche: teflon, acciaio inox, vetro);
- testa di prelievo di tipo omnidirezionale, protetta da pioggia o insetti, rivestita all'interno di materiale inerte, per evitare fenomeni di adsorbimento;
- sistema di aspirazione autonomo in grado di garantire un tempo di residenza dell'aria campionata tale da non modificare le caratteristiche chimiche e fisiche dei gas da analizzare;
- riscaldamento e termostatazione del condotto di prelievo, al fine di evitare fenomeni di condensazione;
- minima lunghezza delle tubazioni di collegamento con gli analizzatori.

Il sistema di misura fornisce i valori orari di concentrazione degli inquinanti seguenti:

- monossido di carbonio (CO);
- biossido di zolfo (SO₂);
- ozono (O₃);
- ossidi d'azoto (NO_x);
- idrocarburi totali (HCT);
- metano (CH₄);
- monossido di azoto (NO);
- biossido di azoto (NO₂);

- composti organici volatili (COV), tra cui: orto-xilene, meta + para-xilene, etilbenzene, toluene, benzene, idrocarburi non metanici totali (NMHC).

Le concentrazioni dei composti suddetti sono state rilevate a decorrere dal 01/01/2017 nel caso di CO, SO₂, O₃, NO_x, NO e NO₂; sono disponibili a decorrere dal 28/02/2017 per HCT, CH₄ e COV.

I valori di concentrazione forniti dal sistema di misura sono espressi come concentrazioni volumiche in parti per miliardo (ppb) per tutti gli inquinanti, con l'eccezione di CO e NMHC per i quali sono espresse in parti per milione (ppm).

4. RISULTATI ED ELABORAZIONI

In appendice sono rappresentati in forma grafica, in funzione del tempo durante il semestre d'interesse, i valori di concentrazione seguenti (in quanto si tratta dei valori confrontabili con i valori di riferimento di legge):

Figura A1 – SO₂: valori orari di concentrazione

Figura A2 – SO₂: valori medi giornalieri di concentrazione

Figura A3 – NO₂: valori orari di concentrazione

Figura A4 – CO: valori massimi giornalieri della concentrazione media calcolata su 8 ore

Figura A5 – O₃: valori orari di concentrazione

Figura A6 – O₃: valori massimi giornalieri della concentrazione media calcolata su 8 ore

Inquinante	Valore di riferimento		Valore medio nel semestre
NO ₂	Valore limite	20,90 ppb	13,69 ppb
SO ₂	Liv. critico annuale e invernale per la prot. della vegetazione	7,51 ppb	1,40 ppb
NO _x	Livello critico annuale per la protezione della vegetazione	15,68 ppb	17,14 ppb

Tabella 7 – Valori medi di concentrazione nel semestre, in comparazione con i valori di riferimento medi annui

Come evidenziato nel capitolo 2, per alcuni inquinanti il D. Lgs. 155/2010 stabilisce valori di riferimento su base annua. I valori medi annuali di concentrazione degli inquinanti misurati presso l'aeroporto di Cagliari (limitatamente a quelli per i quali è definito un valore di riferimento) sono riportati in tabella 7. I valori medi semestrali sono stati calcolati come media di tutte le concentrazioni orarie rilevate; su un massimo possibile di 4344 dati (24 ore/giorno x 181 giorni compresi nel semestre dal 1° gennaio 2017 al 30 giugno 2017), i dati disponibili sono 4023 per SO₂ (corrispondenti al 92,6%) e 4072 per NO₂ e NO_x (93,7%). Si precisa che nel caso del biossido di zolfo sono stati esclusi dal calcolo della media i valori rilevati nella giornata del 28/02/2017, anormalmente alti a causa di un presumibile malfunzionamento della centralina di misura.

La tabella 7 non include il benzene in quanto le concentrazioni dei COV (tra i quali il benzene) sono state rilevate a decorrere dal 28/02/2017; nei quattro mesi successivi, inoltre, i dati non sono disponibili continuativamente. Si ritiene più opportuno attendere la disponibilità di un maggior numero di dati per formulare una comparazione con il valore limite annuale definito dal D. Lgs. 155/2010.

Relativamente al toluene, sulla base dei dati disponibili sono per ora calcolabili i 13 valori medi settimanali riportati in tabella 8 (su un totale di 25 settimane comprese nel semestre).

Settimana n.	da	a	Concentr. media settimanale [ppb]
1	02/01/17	08/01/17	ND
2	09/01/17	15/01/17	ND
3	16/01/17	22/01/17	ND
4	23/01/17	29/01/17	ND
5	30/01/17	05/02/17	26,07
6	06/02/17	12/02/17	2,46
7	13/02/17	19/02/17	ND
8	20/02/17	26/02/17	2,03
9	27/02/17	05/03/17	ND
10	06/03/17	12/03/17	ND
11	13/03/17	19/03/17	ND
12	20/03/17	26/03/17	ND
13	27/03/17	02/04/17	2,02
14	03/04/17	09/04/17	2,18
15	10/04/17	16/04/17	1,45
16	17/04/17	23/04/17	1,00
17	24/04/17	30/04/17	ND
18	01/05/17	07/05/17	ND
19	08/05/17	14/05/17	ND
20	15/05/17	21/05/17	0,94
21	22/05/17	28/05/17	1,23
22	29/05/17	04/06/17	1,21
23	05/06/17	11/06/17	0,86
24	12/06/17	18/06/17	0,95
25	19/06/17	25/06/17	2,43

Tabella 8 – Valori medi settimanali di concentrazione di toluene (ND = dato non disponibile)

5. ANALISI DEI RISULTATI

5.1 Considerazioni preliminari

Dall'esame dei valori orari di concentrazione risulta evidente un'anomalia di funzionamento del sistema nella giornata del 29 maggio 2017, intorno alle ore 14:00: per i principali inquinanti campionati (CO, SO₂, O₃, NO_x, NO) sono state rilevate concentrazioni particolarmente elevate e non compatibili con le rispettive distribuzioni statistiche.

Un'altra presumibile anomalia di funzionamento ha riguardato l'analizzatore di SO₂ nella giornata del 28 giugno 2017.

5.2 Biossido di zolfo

La concentrazione media oraria di SO₂ è risultata piuttosto contenuta.

Se si escludono le anomalie segnalate nel paragrafo 5.1, la concentrazione oraria di SO₂ ha fatto registrare un valore massimo di 11,50 ppb, nettamente inferiore al valore limite di concentrazione oraria, pari a 131,33 ppb (350 µg/m³).

Il valore medio dei dati medi giornalieri di concentrazione di SO₂ nell'intero semestre (calcolato escludendo il valore del 28/02/17) è risultato pari a 1,40 ppb con una deviazione standard di 1,21 ppb e un valore massimo di 11,68 ppb. Si sono dunque rilevati valori sempre nettamente inferiori al valore limite di concentrazione giornaliera, pari a 46,90 ppb (125 µg/m³).

Il valore medio suddetto, benché per ora riferibile al solo semestre da gennaio a giugno 2017, può consentire una comparazione provvisoria e indicativa con il livello critico annuale e invernale per la protezione della vegetazione, pari a 7,51 ppb (20 µg/m³), rispetto al quale è inferiore con margine molto ampio.

5.3 Ossidi di azoto

La concentrazione oraria di NO₂ è risultata piuttosto contenuta. Il suo valore medio è risultato pari a 13,69 ppb con una deviazione standard di 6,21 ppb e un valore massimo di 41,05 ppb, inferiore con ampio margine al valore limite di concentrazione oraria, pari a 104,51 ppb (200 µg/m³).

La concentrazione oraria di NO_x ha assunto nel semestre un valore medio di 17,14 ppb con deviazione standard di 12,61 ppb. Benché per ora riferibile al solo semestre da gennaio a giugno 2017, tale valore può consentire una comparazione provvisoria e indicativa con il livello critico annuale per la protezione della vegetazione, pari a 15,68 ppb (30 µg/m³): la media registrata nel semestre è dello stesso ordine di grandezza (ma superiore di circa il 9%) al valore critico.

5.4 Monossido di carbonio

La concentrazione media di CO calcolata su 8 ore ha raggiunto nel semestre un valore massimo di 1,62 ppm (valore medio 0,30 ppm e deviazione standard 0,18 ppm), notevolmente inferiore al valore limite pari a 8,58 ppm (10 mg/m³).

5.5 Ozono

La concentrazione oraria di O₃ è risultata piuttosto variabile, assumendo nel semestre un valore medio di 20,98 ppb con deviazione standard di 14,95 ppb e raggiungendo un valore massimo pari a 90,91 ppb (se si escludono alcuni valori anomali registrati il 29 maggio). Il suddetto valore massimo è praticamente corrispondente al valore della soglia d'informazione di 90,15 ppb (180 µg/m³) definita dal D. Lgs. 155/2010 e applicabile ai dati rilevati dalle centraline della rete pubblica di monitoraggio della qualità dell'aria.

La concentrazione media di O₃ calcolata su 8 ore ha raggiunto nel semestre un valore massimo di 62,96 ppb (escludendo i valori anomali registrati il 29 maggio); il valore medio è stato pari a 20,84 ppb, con deviazione standard 12,36 ppb. Il valore massimo è stato dunque appena superiore al valore obiettivo per la protezione della salute umana, pari a 60,10 ppb (120 µg/m³); il superamento del valore obiettivo si è verificato il 10 maggio 2017 e ha riguardato tre dati consecutivi (si ricorda che il D. Lgs. 155/2010 stabilisce che il valore obiettivo non debba essere superato più di 25 volte per anno civile come media su tre anni); per il resto, la concentrazione media di O₃ calcolata su 8 ore è stata sempre inferiore a quel riferimento.

5.6 Toluene

Il D. Lgs. 155/2010 non ha stabilito alcun valore di riferimento per il toluene. Dai dati rilevati si sono potuti calcolare 13 valori medi settimanali di concentrazione, confrontabili con il valore guida indicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità che, come richiamato al capitolo 2, è pari a 260 µg/m³ (67,84 ppb) come media settimanale. I valori medi settimanali hanno fatto registrare un massimo di 26,07 ppb, un valore medio di 3,45 ppb e una deviazione standard 6,42 ppb. Si tratta dunque di dati piuttosto variabili, ma largamente inferiori al valore AQG.

5.7 Altri inquinanti

Il D. Lgs. 155/2010 non stabilisce valori di riferimento per le concentrazioni degli altri inquinanti (HCT, CH₄ e COV). Come già sottolineato, d'altronde, le loro concentrazioni sono state rilevate dal sistema di misura a decorrere dal 28/02/2017 e non continuativamente nei quattro mesi successivi. Per tale ragione si ritiene preferibile rinviare l'analisi dei dati a un momento successivo, in modo da poter eseguire una valutazione di tendenza più rappresentativa (interessante in particolare nel caso dei COV, in quanto si tratta di precursori dell'ozono).

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Lgs. 13.08.2010 n. 155, Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. GU 216, 15.09.2010, Suppl. Ord. n. 217.
- [2] WHO (2000) Air quality guidelines for Europe; second edition Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, 2000 (WHO regional publications. European series; No 91).

APPENDICE

Rappresentazioni grafiche dei valori di concentrazione misurati e delle relative elaborazioni

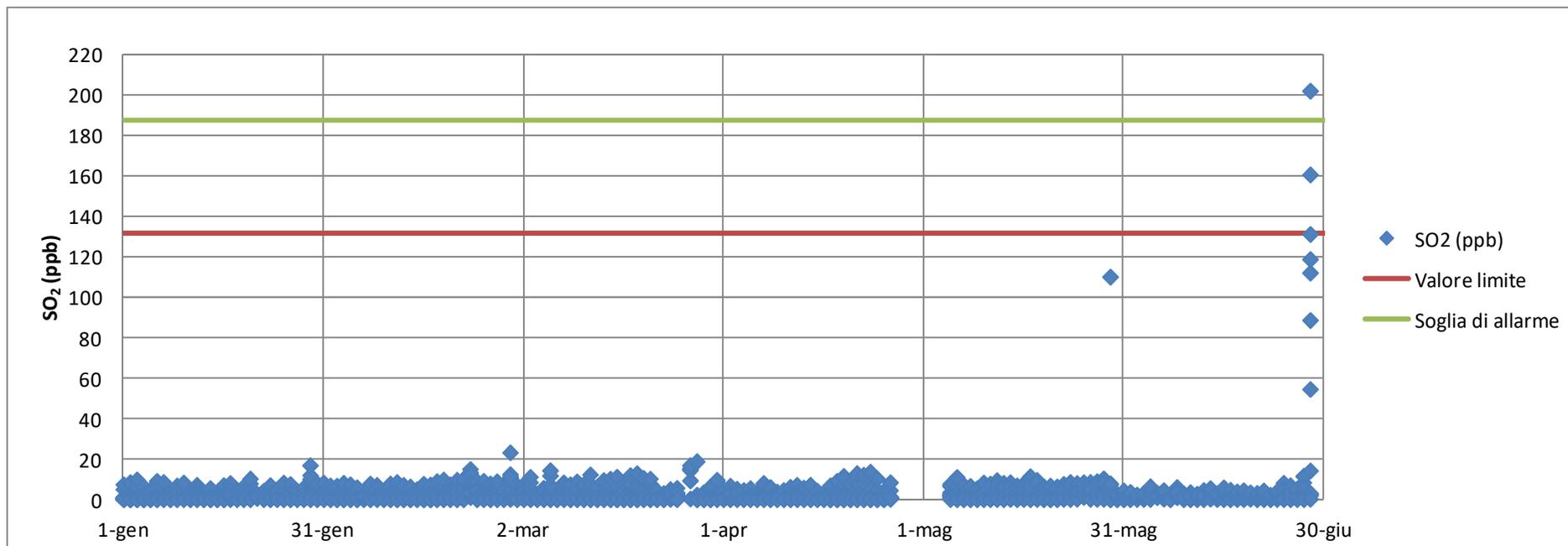


Figura A1 – SO₂: valori orari di concentrazione

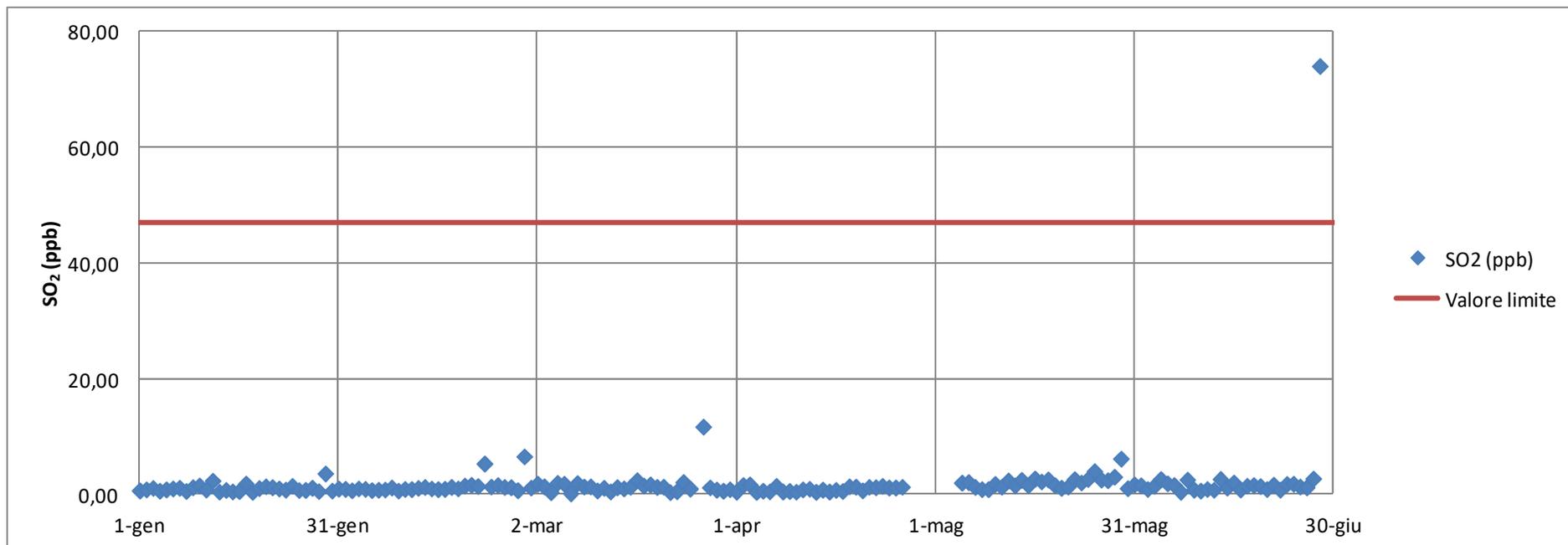


Figura A2 – SO₂: valori medi giornalieri di concentrazione

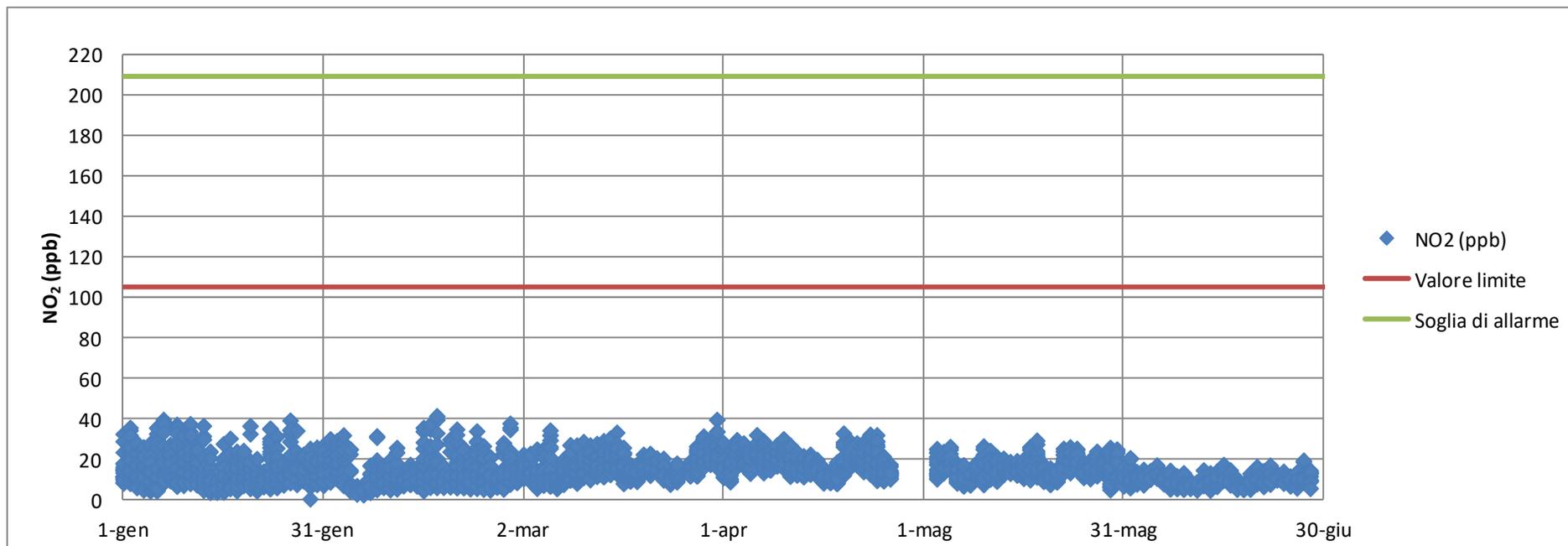


Figura A3 – NO₂: valori orari di concentrazione

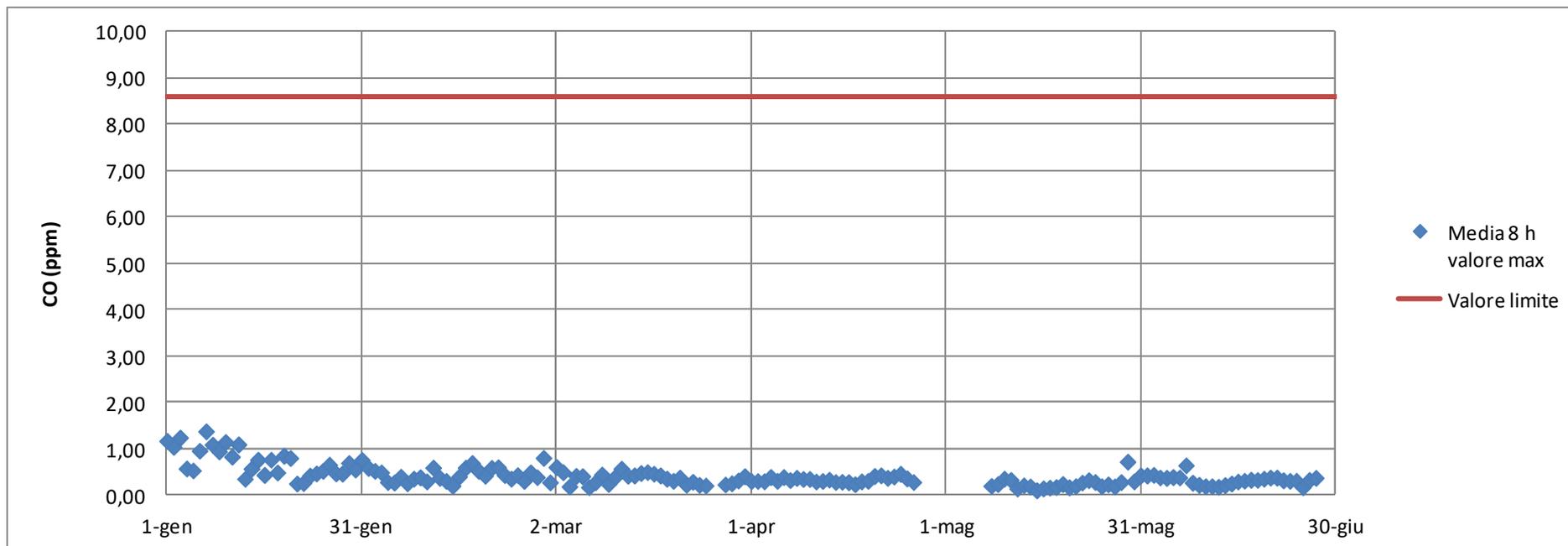


Figura A4 – CO: valori massimi giornalieri della concentrazione media calcolata su 8 ore

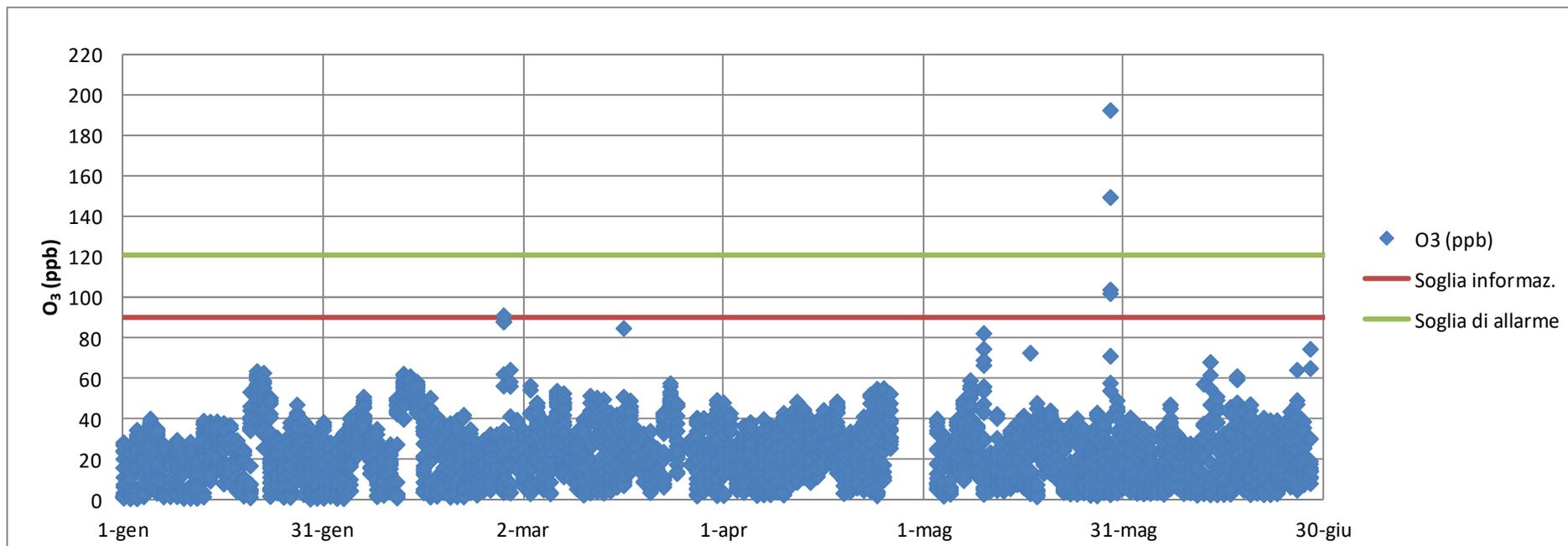


Figura A5 – O₃: valori orari di concentrazione

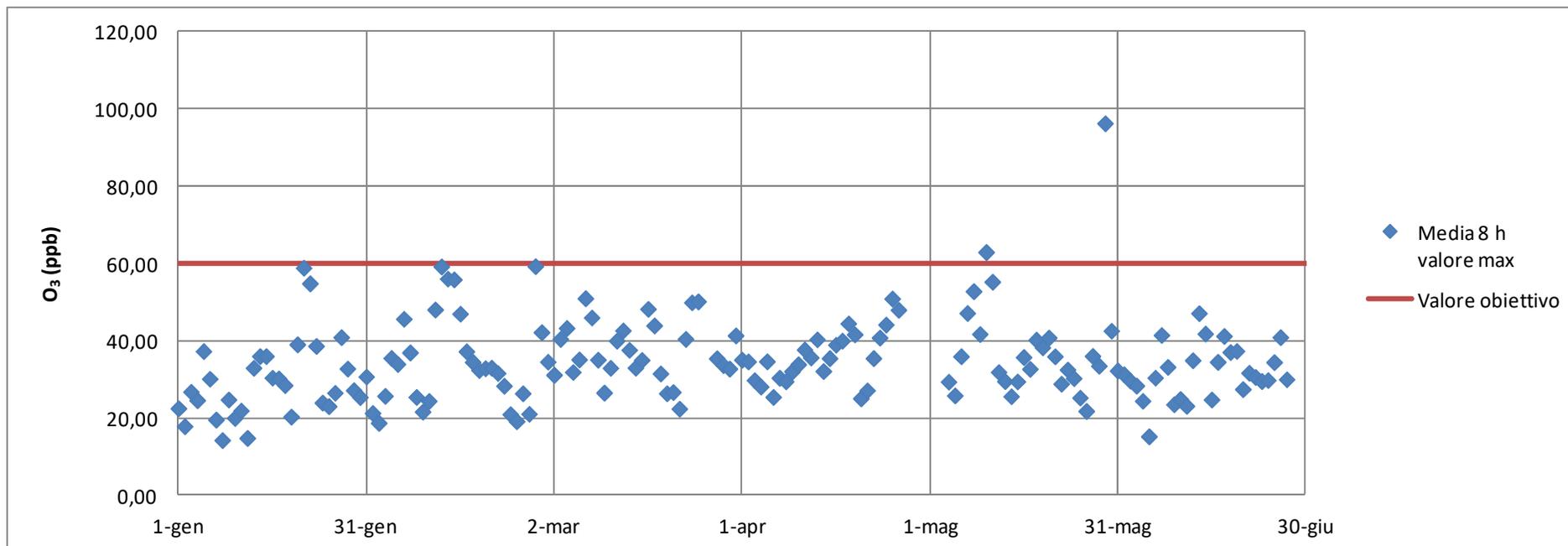


Figura A6 – O₃: valori massimi giornalieri della concentrazione media calcolata su 8 ore