



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente
Settore qualità ambientale
U.O. tutela dell'aria ed agenti fisici
Via Lidorno, 1 – 38123 Trento
T +39 0461 494795
F +39 0461 497759
pec sqa.appa@pec.provincia.tn.it
@ ariaagf.appa@provincia.tn.it
web www.appa.provincia.tn.it



INDAGINE AMBIENTALE

SARCHE DI MADRUZZO

5/02/2022 - 8/02/2024



Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente

Settore qualità ambientale - U.O. tutela dell'aria ed agenti fisici

Esecuzione campagna di monitoraggio e misure:

Luca Forte

Valentina Miotto

Elisa Malloci

Elaborazione dati e redazione:

Luca Forte

Gabriele Tonidandel

Analisi chimiche:

Settore Laboratorio APPA

Trento, settembre 2024

Indice

1 Introduzione.....	1
2 Elementi noti sullo stato di qualità dell'aria nella zona.....	1
3 Individuazione e descrizione del sito di campionamento.....	4
4 Configurazione della stazione di misura e parametri rilevati.....	7
5 Risultati del rilevamento.....	9
6 Ossido di Carbonio – CO.....	11
7 Biossido di zolfo – SO ₂	12
8 Biossido di azoto - NO ₂	13
9 Ozono - O ₃	15
10 Polveri sottili - PM10.....	17
11 Metalli nel particolato PM10.....	20
12 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) nel particolato PM10.....	22
Approfondimento sulle concentrazioni di Black-Carbon.....	24
13 Valutazioni finali e conclusioni.....	26
14 Allegato 1: Normativa di riferimento.....	28
15 Allegato 2: Descrizione dei parametri rilevati.....	29
16 Allegato 3: Riferimenti bibliografici.....	32

1 Introduzione

Il presente elaborato descrive i risultati dell'indagine sulla qualità dell'aria condotta a Sarche di Madruzzo nel periodo 5 febbraio 2022 - 8 febbraio 2024.

La misura delle concentrazioni di questi inquinanti è stata effettuata allo scopo di verificare, oltre al rispetto dei limiti fissati dalla normativa per gli indicatori di qualità dell'aria, la presenza di eventuali significativi impatti conseguenti il riavvio dei forni di produzione del cementificio Italcementi del gruppo Heidelberg insediato in prossimità della frazione Sarche di Madruzzo.

I rilievi, l'elaborazione dei dati e la valutazione dei risultati sono stati eseguiti secondo quanto previsto dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 recante "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa".

2 Elementi noti sullo stato di qualità dell'aria nella zona

Ai fini della valutazione della qualità dell'aria, tutto il territorio trentino (così come quello statale ed europeo) è suddiviso in zone. La zonizzazione (deliberazione della Giunta provinciale n. 1036 del 20 maggio 2011) suddivide il territorio trentino, per tutti gli inquinanti ad eccezione dell'ozono, in due zone, *zona di fondovalle* e *zona di montagna*, divise dalla quota altimetrica di 1500 m s.l.m.; nella *zona di fondovalle* risiede oltre il 99% della popolazione. Per l'inquinante ozono, è stata definita invece un'unica zona corrispondente ai confini amministrativi provinciali.

Ogni zona è classificata in modo differente a seconda dell'inquinante considerato: l'ultimo aggiornamento è stato approvato con deliberazione della Giunta provinciale n. 1776 del 29 ottobre 2021.

Sulla base della suddetta zonizzazione, è stato redatto il *Programma di Valutazione*, che indica sia le stazioni della rete da utilizzare per la misurazione in siti fissi, sia gli altri elementi che possono/devono concorrere alla valutazione della qualità dell'aria nelle aree non direttamente interessate dalla presenza di una stazione fissa di monitoraggio. Fra questi ultimi è previsto rientrano sia le valutazioni effettuate in base alla modellistica, sia l'eventuale utilizzo di stazioni mobili di monitoraggio da posizionare per periodi più o meno lunghi e comunque necessari e sufficienti a descrivere eventuali e potenziali situazioni puntuali di impatto.

Per quanto riguarda l'uso della modellistica, uno studio effettuato nel 2017 dall'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente (di seguito APPA), partendo dai dati dell'inventario provinciale delle emissioni e nello specifico anche delle puntuali emissioni in atmosfera dell'installazione gestita dalla Ditta (anno 2013), non mostra alcun aumento di concentrazione degli inquinanti nell'area dello stabilimento rispetto ai valori di fondo dell'intera Valle dei Laghi, valle che nel suo complesso evidenzia peraltro valori abbondantemente rispettosi di tutti i limiti di qualità dell'aria posti a tutela della salute della popolazione.

Nelle sottostanti *Fig. 2.1*, *Fig. 2.2* e *Fig. 2.3* sono rappresentati i valori di media annua di PM10, SO₂ e NO₂ sull'intero territorio provinciale (in rosso evidenziato il comune di Madruzzo).

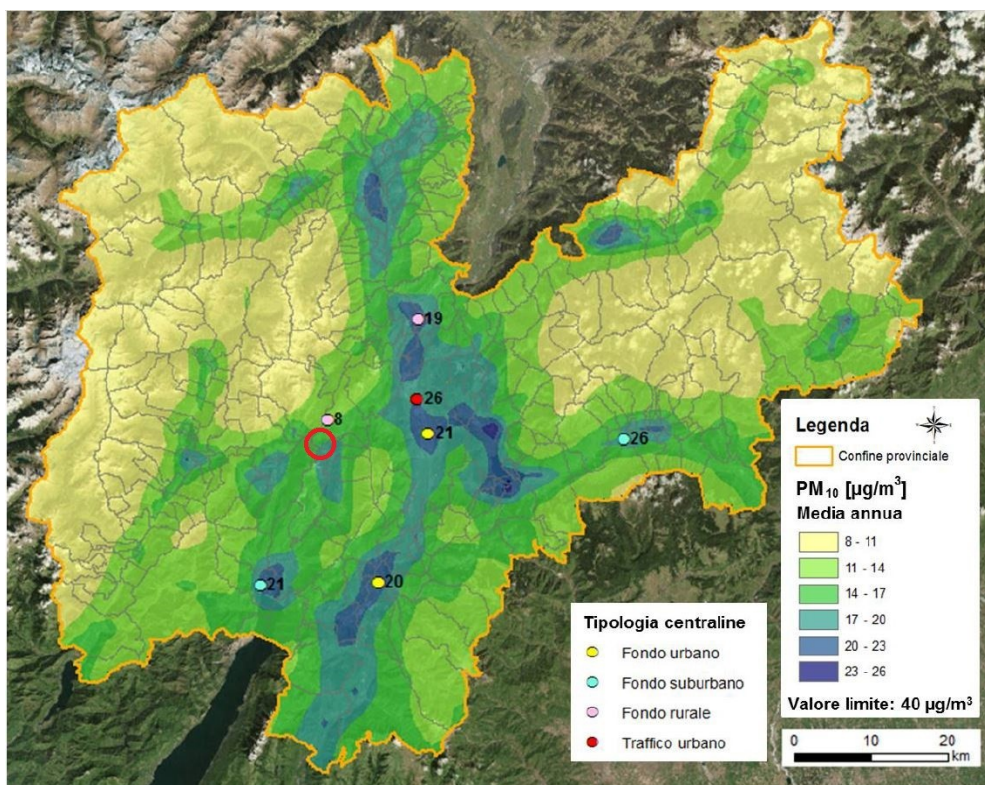


Fig. 2.1: Concentrazione media annuale al suolo PM₁₀ (simulazione modellistica 2017)

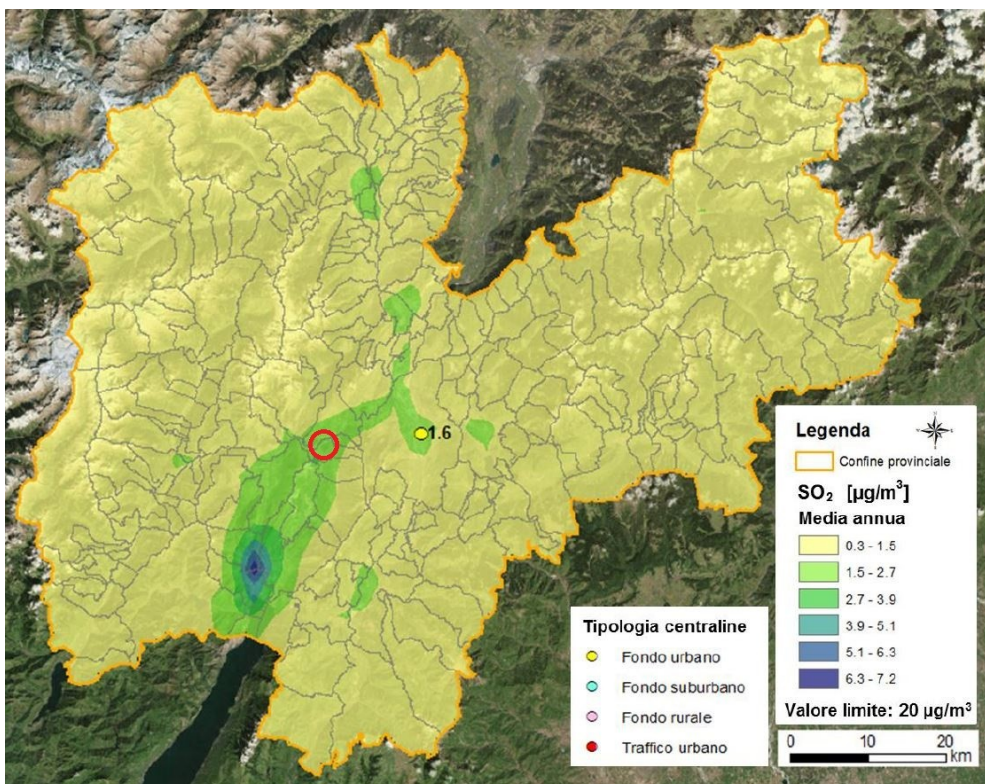


Fig.2.2: Concentrazione media annuale al suolo SO₂ (simulazione modellistica 2017)

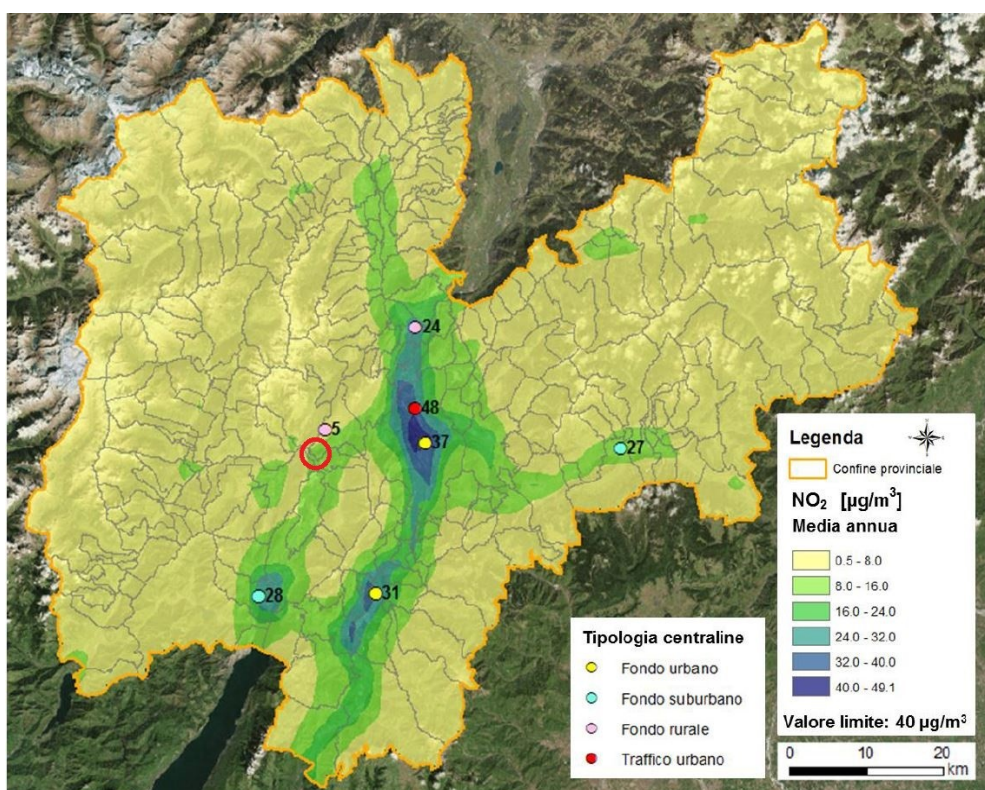


Fig. 2.3: Concentrazione media annua al suolo NO₂ (simulazione modellistica 2017)

3 Individuazione e descrizione del sito di campionamento

Le dinamiche diffusive di una sorgente di inquinamento e conseguentemente gli impatti che è in grado di determinare sono influenzate da diversi fattori.

Un primo elemento da considerare sono le caratteristiche puntuali della sorgente: nel nostro caso particolare, altezza e dimensione del camino, qualità e quantità delle emissioni in atmosfera, velocità e temperatura dei fumi in uscita.

A queste si aggiungono le condizioni meteorologiche che gli inquinanti incontrano al momento della loro emissione (velocità e direzione del vento) e l'orografia al contorno della sorgente (contesto vallivo piuttosto che in pianura, ecc.).

Lo stabilimento del quale si intende stimare l'impatto, misurando le ricadute al suolo degli inquinanti emessi al camino, è situato al margine est della piana delle Sarche, zona caratterizzata da un regime dei venti tipicamente vallivo e, soprattutto in alcuni periodi dell'anno (mesi caldi), anche dall'*Ora del Garda*, il vento tipico del lago di Garda che si propaga con forza nelle vallate limitrofe, Valle dei Laghi compresa.

Poiché la presenza di vento genera una diluizione ed una dispersione degli inquinanti emessi puntualmente molto maggiore rispetto ai momenti di vento debole e/o in assenza di vento, il primo elemento per la scelta del sito ove posizionare la stazione mobile di monitoraggio è stato quello di individuare la distanza di probabile maggiore ricaduta al suolo degli inquinanti emessi dal camino del forno di cottura del *clinker* in condizioni di calma di vento. Per tale scopo si è utilizzata l'interfaccia *Screen View* del modello di screening *US EPA, SCREEN3* (<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-screening-models#screen3>), un software semplificato ma comunque rigoroso ed adeguato a quelle che sono le finalità della campagna di misura.

Di seguito si riporta il risultato ottenuto, utilizzando i dettagli costruttivi ed emissivi del camino (altezza, area d'uscita, quantità, velocità e temperatura di uscita dei fumi) e simulando un'ipotetica emissione e concentrazione di un qualsiasi inquinante.

La curva risultante dalla simulazione indica che il picco di massima ricaduta al suolo in concentrazione degli inquinanti emessi è collocato ad una distanza compresa fra i 600 e 900 metri dal punto di emissione.

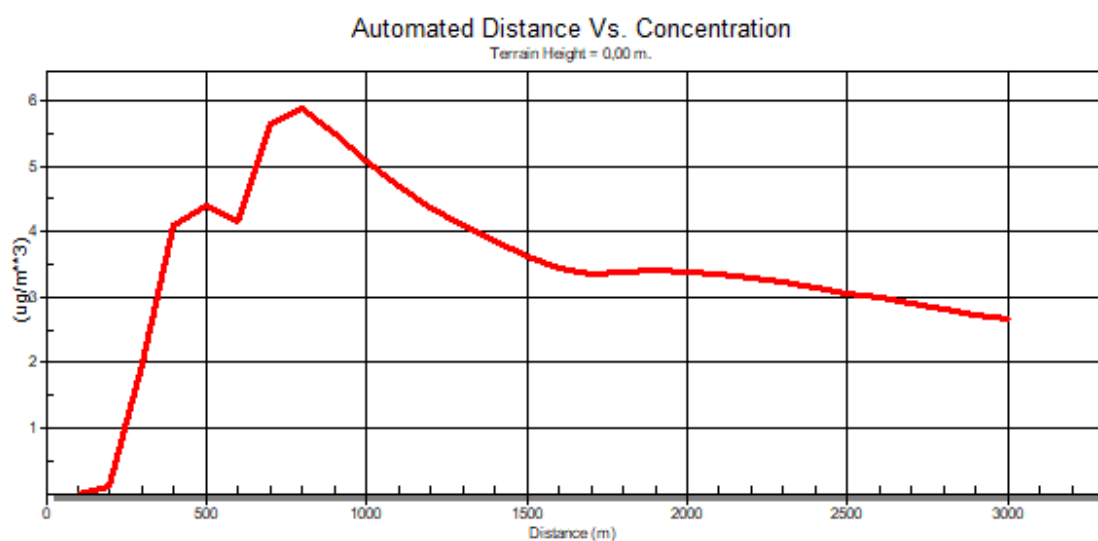


Fig. 3.1: Andamento della ricaduta in concentrazione degli inquinanti emessi in rapporto alla distanza dal camino del forno di cottura del clinker

Altro elemento preso in considerazione è stato quello di individuare un sito di misura, per quanto possibile, privo di ostacoli fisici (es. abitazioni) rispetto al punto di emissione.

Inoltre, al fine di poter discriminare al meglio eventuali ricadute di inquinanti provenienti dal camino del forno di cottura del *clinker* rispetto ad altre sorgenti, il sito di misura è stato collocato alla massima distanza possibile da altre fonti puntuali degli stessi inquinanti (es. emissioni da traffico, impianti di riscaldamento civili/artigianali/industriali, ecc.).

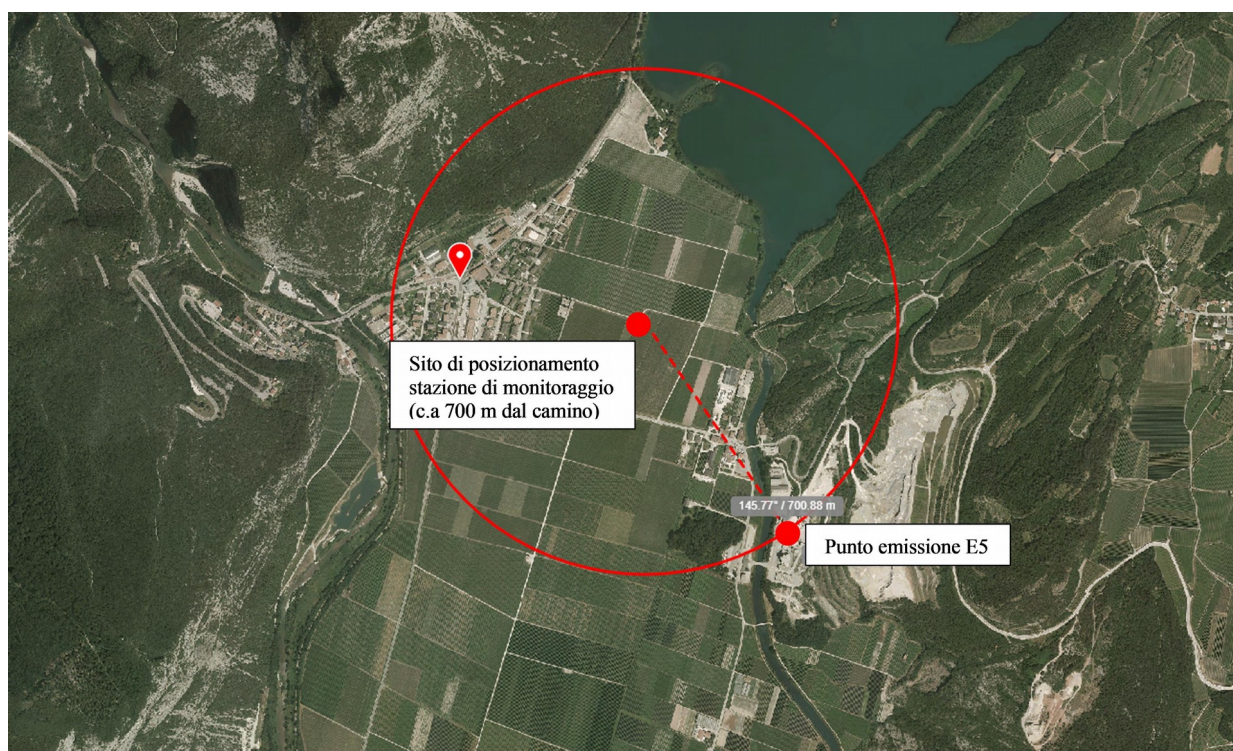


Fig. 3.2: Sito di misura/posizionamento individuato per la stazione mobile di monitoraggio

In esito all'istruttoria e presi in considerazione tutti questi aspetti e vincoli, un primo sito di misura è stato individuato all'altezza della *Stazione di sollevamento di Sarche* delle acque nere – codice ADEP 21003/2D – latitudine 46.046087, longitudine 10.958798 – situata in aperta campagna a circa 700 metri in direzione NO rispetto al camino del forno di cottura del *clinker* (*Punto emissione E5* - vedi Fig. 3.2).

4 Configurazione della stazione di misura e parametri rilevati

Pur considerato il contesto e le informazioni già disponibili, al fine di poter apprezzare eventuali impatti sulla qualità dell'aria riconducibili alle emissioni in atmosfera del forno di cottura del *clinker* della Ditta è stata condivisa l'opportunità di effettuare una campagna di monitoraggio per rilevare le concentrazioni degli inquinanti presenti in zona.

Dal punto di vista operativo e strumentale, la stazione mobile di monitoraggio utilizzata da APPA (Fig. 4.1) è in tutto e per tutto analoga alle stazioni fisse che costituiscono la rete provinciale di monitoraggio.

Stante la tipologia di inquinanti riconducibili anche alle potenziali emissioni in atmosfera del forno di cottura del *clinker* della Ditta, oltre a quelli comunque presenti in maniera ubiquitaria, sono stati monitorati, quantomeno in una prima fase, i seguenti composti:

- ossidi di azoto ($NO + NO_2$);
- biossido di zolfo (SO_2);
- monossido di carbonio (CO);
- particolato sottile (PM_{10});
- metalli (*Al, As, Cd, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, K, Cu, Si, Ti, Zn, S*) ;
- idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (*Benzo(A)Antracene, **Benzo(A)Pirene**, Benzo(B)Fluorantene, Benzo(G,H,I)Perilene, Benzo(K)Fluorantene, Crisene, Dibenzo(A,H)Antracene, Indeno(1,2,3-C,D)Pirene, Perilene, Pirene*);
- black carbon.

Oltre ai dati chimici sono stati contemporaneamente registrati anche tutti i principali parametri meteorologici.

Le misure per ciascuno dei parametri analizzati sono state realizzate con strumentazione automatica e con le modalità codificate dalle specifiche tecniche previste dalla normativa.



Fig. 4.1 Stazione mobile di monitoraggio

5 Risultati del rilevamento

Nei paragrafi successivi è descritto l'andamento delle concentrazioni dei singoli inquinanti rilevati.

In (Tab 5.1) i risultati sono confrontati con i valori limite previsti per biossido di azoto NO₂, PM10, monossido di carbonio CO, biossido di zolfo SO₂ e piombo, mentre in (Tab 5.2) sono riassunti i risultati relativi all'inquinante secondario ozono O₃.

In (Tab 5.3) sono infine posti in evidenza i valori registrati per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene confrontati con i rispettivi valori obiettivo.

Al fine di facilitarne la comprensione, oltre alla valutazione dei dati raccolti a Sarche di Madruzzo ed al loro confronto con i relativi limiti, viene proposto il confronto anche con i dati più significativi contemporaneamente raccolti presso le stazioni della rete fissa di monitoraggio dislocate nei maggiori centri del Trentino.

Tab. 5.1: Confronto dei risultati della campagna con i limiti imposti dal D. Lgs. 155/2010.

Inquinante	Parametro	Massimo/Media campagna	Valore Limite (D. Lgs. 155/2010)
Biossido di azoto NO ₂ (µg/m ³)	Massimo media oraria ⁽²⁾	90	200
	Superamenti limite media oraria ⁽²⁾	0	18 ⁽¹⁾
	Media della campagna ⁽²⁾	13	40 ⁽¹⁾
Polveri sottili PM10 (µg/m ³)	Superamenti limite media giornaliera ⁽²⁾	17	35 ⁽¹⁾
	Media della campagna ⁽²⁾	16	40 ⁽¹⁾
Monossido di carbonio CO (mg/m ³)	Massimo media di 8 h consecutive ⁽²⁾	1,7	10 ⁽¹⁾
	Media della campagna ⁽²⁾	0,5	-
Biossido di zolfo SO ₂ (µg/m ³)	Massimo media oraria ⁽²⁾	20	350
	Massimo media giornaliera ⁽²⁾	5,6	125
	Media della campagna ⁽²⁾	2,4	-
Piombo Pb (ng/m ³)	Media della campagna ⁽²⁾	3,5	500 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Il limite è previsto come media annuale o numero annuale di superamenti di medie orarie/giornaliere

⁽²⁾ medie giornaliere in 2 anni di campagna

Tab. 5.2: Confronto dei risultati della campagna con le soglie di informazione e allarme con il valore obiettivo per O_3 (D. Lgs. 155/2010).

Inquinante	Parametro	Massimo campagna	Valore di riferimento
Ozono O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media oraria ⁽²⁾	209	180 (soglia di informazione)
			240 (soglia di allarme)
	Media di 8 h consecutive ⁽²⁾	188	120 (valore obiettivo) ⁽¹⁾
	Giorni di superamento del limite su 8 h ⁽²⁾	139	25 (valore obiettivo) ⁽¹⁾

⁽¹⁾ 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni.

⁽²⁾ medie giornaliere in 2 anni di campagna

Tab. 5.3: Confronto dei risultati della campagna con i valori obiettivo imposti dal D. Lgs. 155/2010.

Inquinante (ng/m^3)	Media campagna	Valore obiettivo ⁽¹⁾
Arsenico	1,5	6,0
Cadmio	1,5	5,0
Nichel	1,2	20,0
Benzo(a)pirene - B(a)P	0,4	1,0

⁽¹⁾ Il valore obiettivo è previsto come media annuale

⁽²⁾ medie giornaliere in 2 anni di campagna

6 Ossido di Carbonio – CO

Per quanto riguarda l'ossido di carbonio, inquinante tracciante del traffico, i valori misurati si sono rivelati molto contenuti, con un valore massimo sulle 8 h pari a $1,7 \text{ mg/m}^3$ a fronte di un limite normativo di 10 mg/m^3 (Fig. 6.1).

Il valore medio dell'intera campagna è risultato molto contenuto e pari a $0,5 \text{ mg/m}^3$.

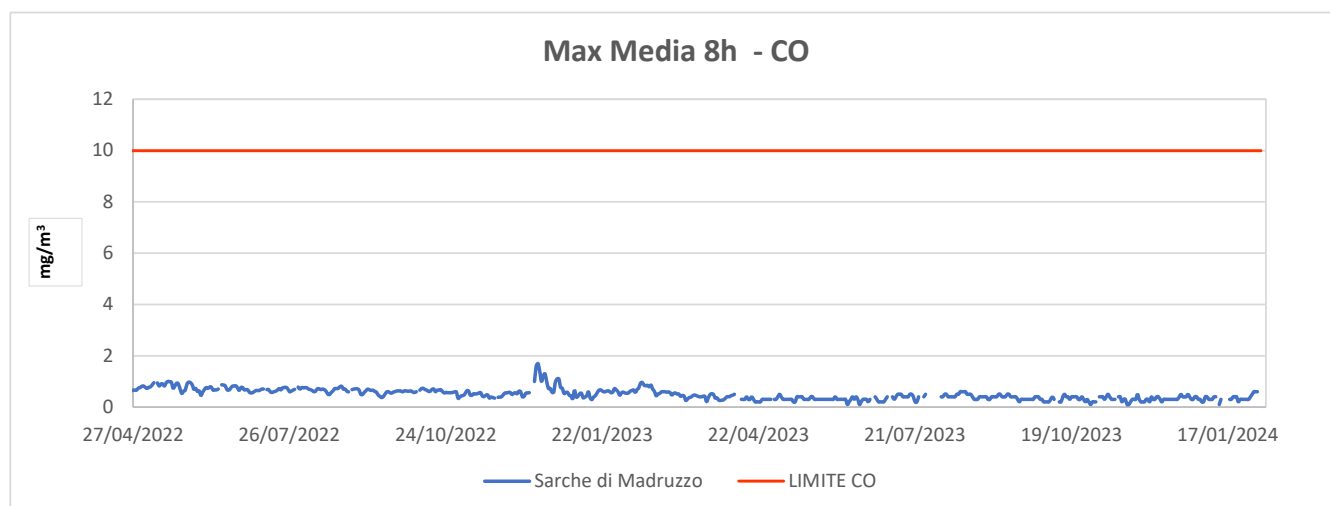


Fig.6.1: CO – Massimo giornaliero media 8h Sarche di Madruzzo

7 Biossido di zolfo – SO₂

Il biossido di zolfo è risultato presente in concentrazioni praticamente trascurabili, con valore medio massimo giornaliero pari a 5,6 µg/m³ (Fig. 7.1). Il valore è risultato di molto inferiore rispetto al limite imposto dalla normativa pari a 125 µg/m³ e inferiore anche a quanto misurato presso la stazione di Trento Parco S. Chiara dove si è rilevata una concentrazione pari a 7,9 µg/m³.

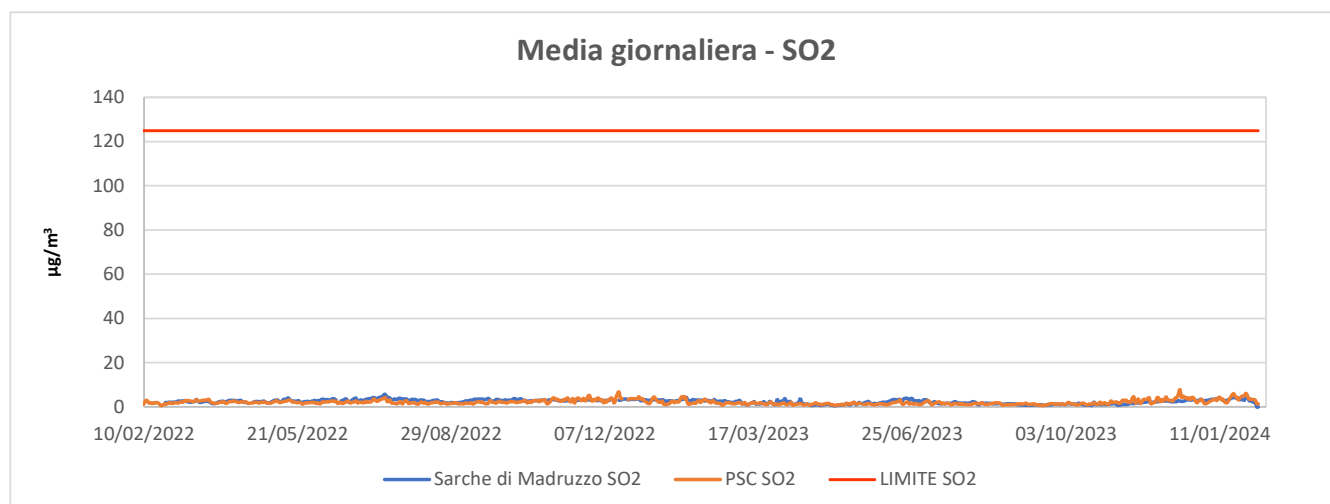


Fig.7.1: SO₂ – Andamento media giornaliera Sarche di Madruzzo e Trento Parco S. Chiara

8 Biossido di azoto - NO₂

Anche il biossido di azoto è risultato presente in concentrazioni molto contenute, con un valore massimo sulla media oraria in tutta la campagna pari a 90 µg/m³, di molto quindi inferiore al limite orario imposto dalla normativa e pari a 200 µg/m³ (Fig.8.1)

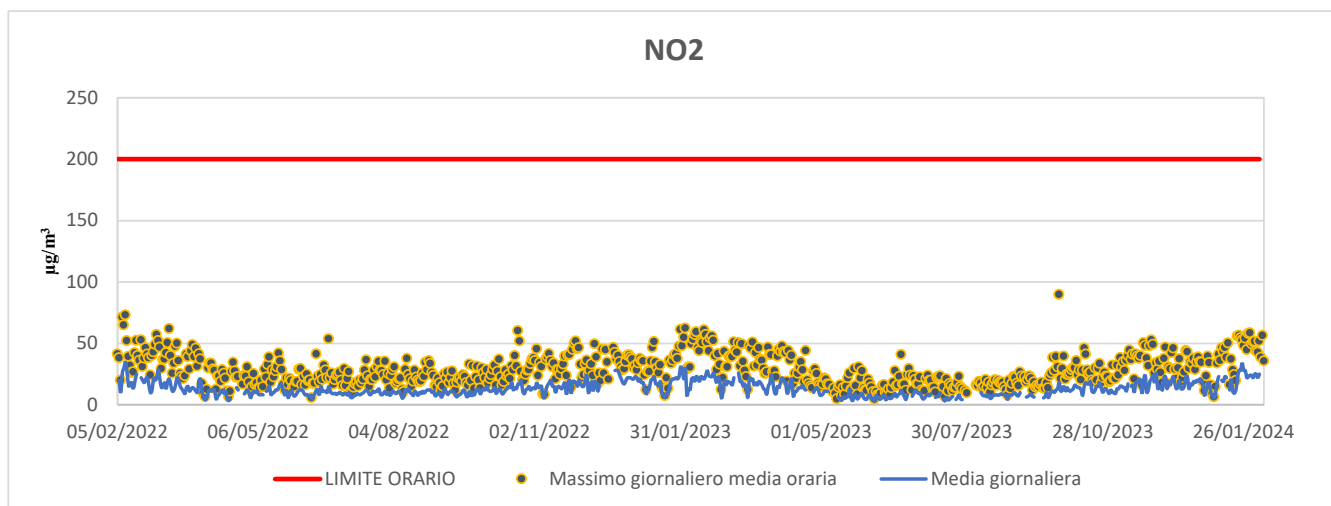


Fig.8.1: NO₂ – Andamento media/massimo giornaliero media oraria Sarche di Madruzzo

Tab. 8.1: Media concentrazioni NO₂

Inquinante	Parametro	Sarche di Madruzzo	Riva del Garda	Trento Parco S.. Chiara	Limite annuale
NO ₂	Media intera campagna ⁽¹⁾	13 µg/m ³	21 µg/m ³	26 µg/m ³	40 µg/m ³

⁽¹⁾ media giornaliera in 2 anni di campagna

Anche il valore medio dell'intera campagna a Sarche di Madruzzo, pari a 13 µg/m³, è risultato particolarmente contenuto, molto al di sotto del limite imposto dalla normativa e all'incirca pari alla metà di quanto contemporaneamente registrato presso le stazioni di Riva del Garda e di Trento Parco S. Chiara (Tab 8.1).

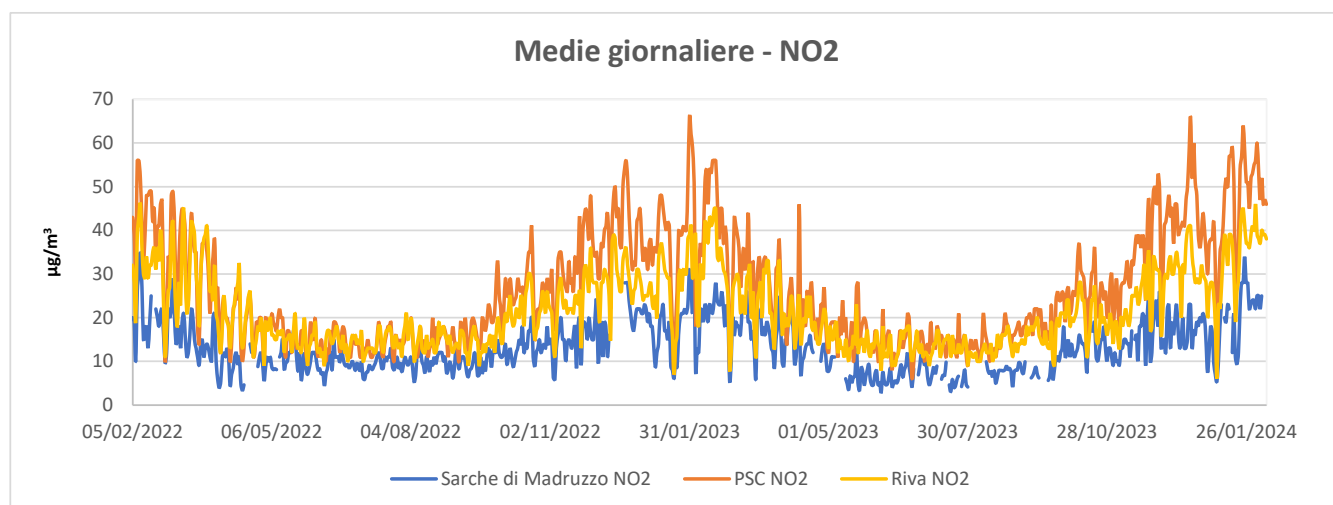


Fig.8.2: NO₂ – Andamento media giornaliera Sarche di Madruzzo, Trento Parco S. Chiara e Riva del Garda

9 Ozono - O₃

L'andamento medio giornaliero della concentrazione di ozono rispecchia la particolarità di questo inquinante, esclusivamente “secondario”, rispetto a tutti gli altri. In particolare la sua presenza si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza con intenso irraggiamento solare ed elevate temperature che favoriscono le reazioni fotochimiche responsabili della sua formazione.

E' bene precisare quindi che i valori di questo inquinante non possono essere in alcun modo ricondotti ad emissioni locali..

La concentrazione media oraria di ozono nel periodo estivo è risultata essere in alcune occasioni superiore alla soglie di informazione (180 µg/m³) sia nell'estate 2022 con 10 superamenti, sia nell'estate 2023 con 5 superamenti, con un picco massimo orario registrato il 15/07/2022 pari a 209 µg/m³, superiore alla soglia di informazione, ma ancora abbondantemente inferiore alla soglia di allarme (240 µg/m³) (Fig. 9.1).

Complessivamente sono stati inoltre registrati 84 superamenti giornalieri del valore obiettivo (120 µg/m³ calcolato come media su 8 h) durante l'estate 2022 e 55 durante l'estate 2023 (Fig. 9.2).

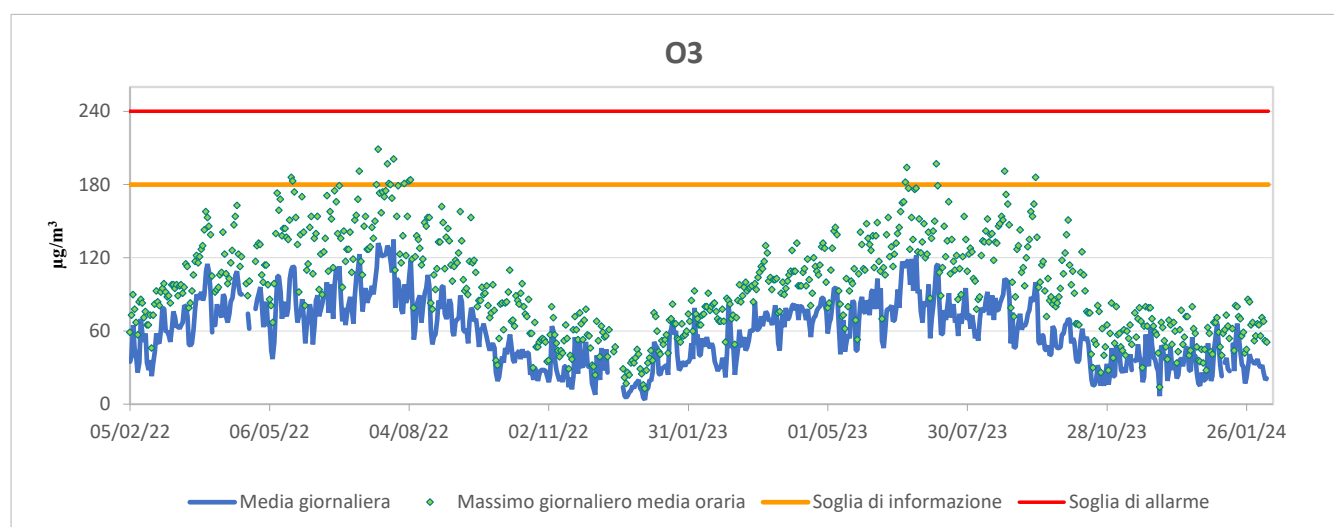


Fig.9.1: O₃ – Andamento media giornaliera e massimo giornaliero Sarche di Madruzzo

L'andamento di questo inquinante è risultato analogo a quanto misurato presso tutte le altre stazioni della rete provinciale di monitoraggio, ivi compresa la stazione di Riva del Garda, la più vicina geograficamente (Fig. 9.2).

Le ancorché limitate differenze tra le due estati rispecchiano le peculiarità di questo inquinante e sono riconducibili alla normale variabilità meteorologica che contraddistingue le diverse stagioni.

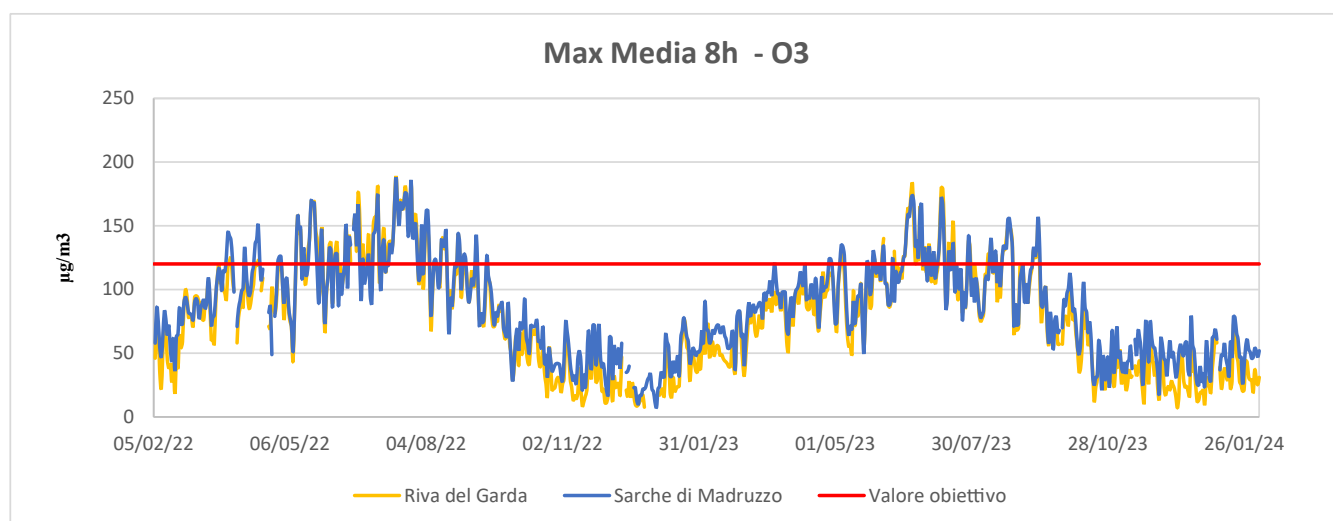


Fig.9.2: O₃ – Andamento massimo giornaliero 8h Sarche di Madruzzo e Riva del Garda

10 Polveri sottili - PM10

Le polveri sottili PM10 costituiscono uno dei parametri più importanti fra quelli controllati. Per questo inquinante esistono infatti anche in Trentino evidenze del superamento, o del rischio di superamento, delle concentrazioni massime consentite ai fini della tutela della salute delle persone.

La distribuzione delle concentrazioni del particolato all'interno di una stessa valle o di uno stesso bacino aereologico presenta caratteristiche spesso omogenee, anche se è comunque possibile riscontrare la presenza di “*hot spot*”, ovvero zone di dimensioni circoscritte con concentrazioni più elevate di particolato rispetto alle medie attese.

La valutazione delle concentrazioni di particolato fine PM10 prevede il confronto con due limiti, uno di media annuale ed uno di media giornaliera ma con un conteggio complessivo anch'esso su base annuale.

Oltre alla valutazione dei dati raccolti a Sarche di Madruzzo ed al loro confronto con i relativi limiti normativi, una maggiore comprensione dei fenomeni è resa possibile anche dal confronto dei valori misurati e degli andamenti con quelli contemporaneamente evidenziati dalle stazioni della rete provinciale fissa di monitoraggio (stazioni di “*fondo*”) ed in particolare con la stazione di Riva del Garda.

Tab. 10.1: Media concentrazioni PM10

Inquinante	Parametro	Sarche di Madruzzo	Riva del Garda	Rete PAT
Particelle sospese PM10	<i>Media intera campagna</i> ⁽¹⁾	16 µg/m ³	21 µg/m ³	20 µg/m ³
	<i>Massimo valore media giornaliera intera campagna</i> ⁽¹⁾	102 µg/m ³	136 µg/m ³	87 µg/m ³
	<i>Superamenti limite media giornaliera</i> ⁽²⁾	17	26	16

⁽¹⁾ medie di 2 anni di campagna

⁽²⁾ sforamenti del limite di media giornaliera in 2 anni, a fronte di un limite che prevede al massimo 35 sforamenti per anno solare

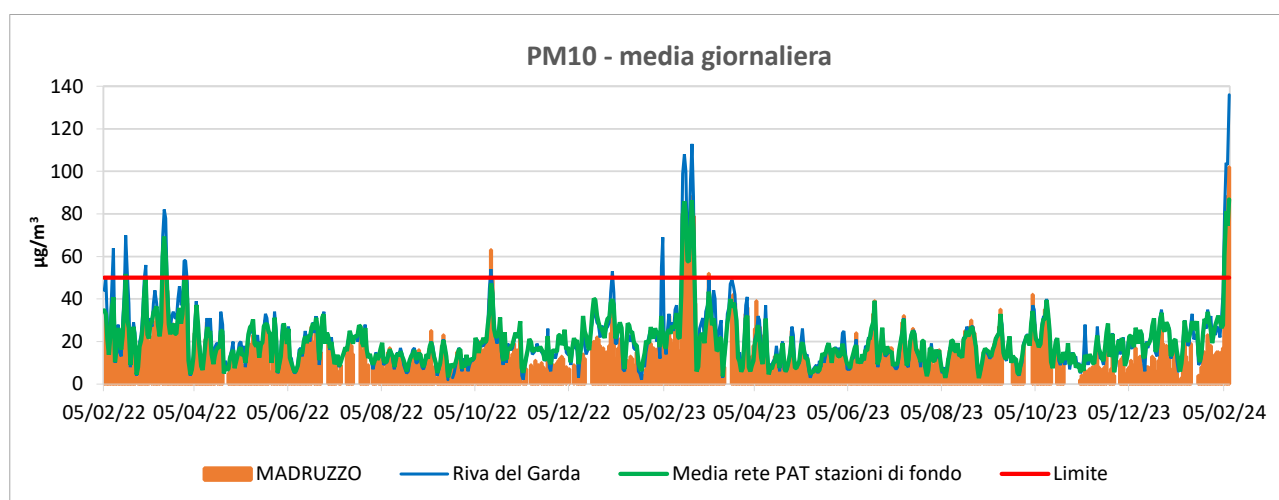


Fig.10.1: PM10 – Andamento medie giornaliere Sarche di Madruzzo, Riva del Garda e media rete PAT (stazioni di fondo)

Considerando l'intera campagna di misura, in positivo è innanzitutto da evidenziare il rispetto di tutti i limiti normativi per gli indicatori di qualità dell'aria fissati per il PM10.

In particolare, il valore medio dell'intero periodo è risultato pari a $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a fronte di un limite normativo fissato a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media annuale), mentre il limite di media giornaliera, fissato a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 35 giornate durante un anno, è stato superato in sole 17 occasioni nell'arco dell'intera campagna di misura.

Positivo rilevare anche come il numero di superamenti sia risultato inferiore rispetto ai 26 superamenti contemporaneamente rilevati presso la stazione di Riva del Garda e analogo ai 16 mediamente rilevati dalle stazioni di fondo della rete PAT (Tab. 10.1).

Il grafico in (Fig. 10.1) descrive l'andamento delle concentrazioni rilevate durante l'intera campagna di misura, andamento che consente alcune importanti considerazioni.

In particolare, per l'intero periodo di misura, le concentrazioni rilevate a Sarche di Madruzzo hanno evidenziato andamenti analoghi, ma con valori quasi sempre inferiori, ai valori misurati sia presso la stazione di Riva del Garda, sia presso tutte le altre stazioni della rete provinciale.

Conferma di questa evidenza la si ha anche considerando i coefficienti di determinazione R^2 calcolati con le concentrazioni misurate nei diversi siti. In particolare, l'indice di determinazione R^2 risulta essere statisticamente significativo e pari a 0,87 tra la stazione di Sarche di Madruzzo e Riva del Garda (Fig. 10.3) e pari a 0,86 tra Sarche di Madruzzo e le altre stazioni di fondo della rete provinciale (Fig. 10.2).

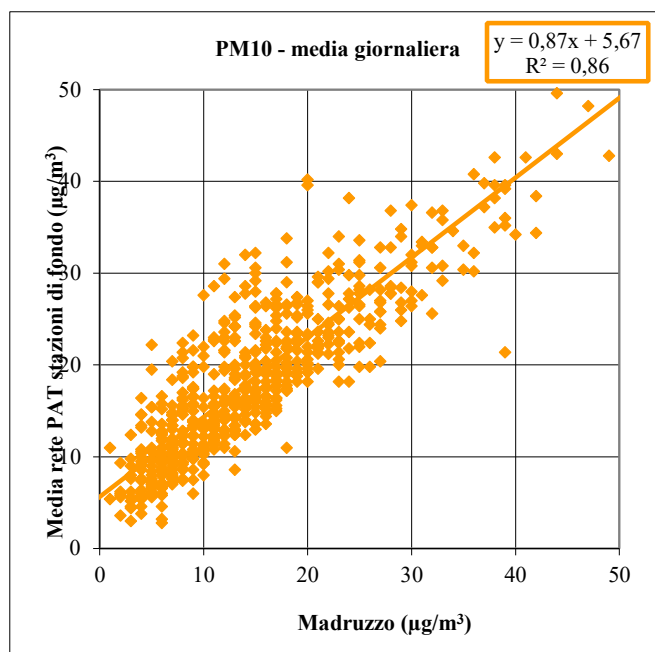


Fig. 10.2: PM10 – Retta di correlazione giornaliera Sarche di Madruzzo – media rete PAT (stazioni di fondo)

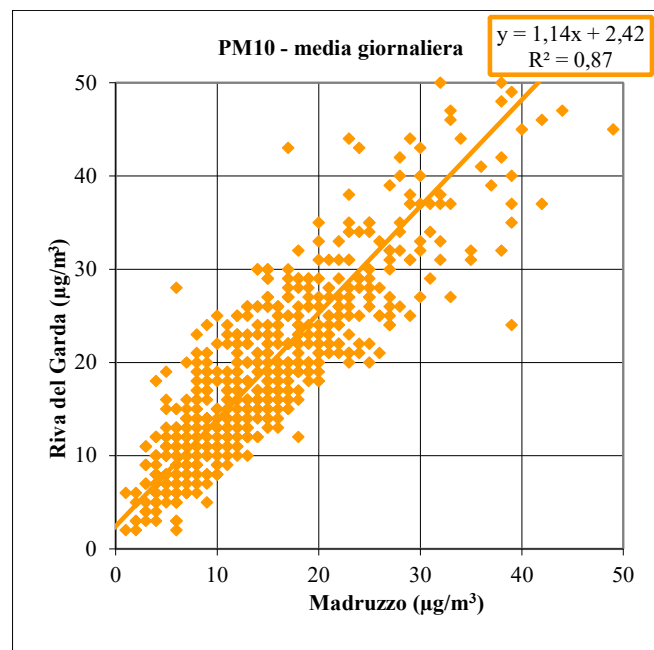


Fig. 10.3: PM10 – Retta di correlazione giornaliera Sarche di Madruzzo –Riva del Garda

11 Metalli nel particolato PM10

Sui campioni di PM10, oltre alla determinazione gravimetrica sono state effettuate anche le analisi per quantificare il contenuto dei principali metalli.

A questo proposito, il D. Leg.vo 155/2010 stabilisce per alcuni di loro, in particolare per il piombo, arsenico, cadmio e nichel, dei valori limite e/o obiettivo.

Nella tabella seguente (*Tab. 11.1*) si riportano le medie della concentrazione dei metalli misurate durante l'intera campagna.

I valori di Trento Parco S. Chiara sono riportati a margine quale termine di confronto in quanto presi a riferimento dal programma di valutazione della qualità dell'aria per la provincia di Trento.

Tab. 11.1: Metalli – valori medi della campagna e limite/obiettivo

Metalli (ng/m ³)	Media intera campagna		Valore limite /obiettivo (ng/m ³)
	Sarche di Madruzzo	Parco S. Chiara	
ALLUMINIO (Al) (ng/m ³)	158,95		-
ARSENICO (As) (ng/m³)	< 3	< 3	6 (VO)
CADMIO (Cd) (ng/m³)	< 3	< 3	5 (VO)
CALCIO (Ca) (ng/m ³)	607,23		-
CROMO (Cr) (ng/m ³)	1,98		-
FERRO (Fe) (ng/m ³)	258,86		-
MAGNESIO (Mg) (ng/m ³)	104,04		-
MANGANESE (Mn) (ng/m ³)	5,31		-
NICHEL (Ni) (ng/m³)	1,22	1,53	20 (VO)
PIOMBO (Pb) (ng/m³)	3,47	4,24	500 (VL)
POTASSIO (K) (ng/m ³)	278,18		-
RAME (Cu) (ng/m ³)	10,34		-
SILICIO (Si) (ng/m ³)	387,50		-
TITANIO (Ti) (ng/m ³)	12,55		-
ZINCO (Zn) (ng/m ³)	23,28		-
ZOLFO (S) (ng/m ³)	670,62		-

In relazione ad arsenico e cadmio i campioni raccolti presentano tutti concentrazioni inferiori al limite di rivelabilità strumentale (3 ng/m^3) in analogia peraltro con quanto contemporaneamente rilevato presso il sito di riferimento provinciale per l'analisi dei metalli di Trento Parco Santa Chiara.

Riguardo al nichel, la concentrazione media dell'intera campagna è risultata anch'essa molto bassa e pari ad $1,22 \text{ ng/m}^3$, ampiamente al di sotto rispetto al valore obiettivo e inferiore del 20% anche rispetto a quanto contemporaneamente rilevato presso la stazione di Trento Parco Santa Chiara ($1,53 \text{ ng/m}^3$).

Molto contenuta è risultata essere anche la concentrazione del piombo, pari a $3,47 \text{ ng/m}^3$, largamente inferiore al limite previsto per questo inquinante (500 ng/m^3) ed inferiore del 18% rispetto a quanto contemporaneamente registrato presso il sito fisso di riferimento di Trento Parco Santa Chiara ($4,24 \text{ ng/m}^3$).

12 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) nel particolato PM10

Sui campioni di PM10 raccolti è stato quantificato anche il contenuto dei principali Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

Per la quasi totalità di questi composti non sono fissati limiti per la qualità dell'aria. Solamente per il Benzo(a)Pirene – B(a)P -, un idrocarburo policiclico aromatico originato in molti processi di combustione e classificato dalla IARC (Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro) nel gruppo 2A - probabile cancerogeno per l'uomo -, è fissato un *valore obiettivo* (non un *valore limite*) pari ad 1 ng/m³ come media annuale.

Le concentrazioni di questo inquinante risultano essere generalmente prossime allo zero nel periodo estivo ed aumentano generalmente con l'approssimarsi della stagione più fredda (*Fig.12.1*) laddove la presenza del particolato è maggiormente correlata con le emissioni riconducibili in particolare all'utilizzo della legna, ivi compresa quella utilizzata nei piccoli apparecchi domestici che, al pari del particolato sottile PM10, risulta essere in Trentino la principale sorgente emissiva di questi composti (è stimata essere più del 98% del totale degli IPA emessi in Trentino).

Il valore medio misurato nell'intera campagna a Sarche di Madruzzo è risultato pari a 0,39 ng/m³, inferiore rispetto al valore obiettivo fissato dalla normativa (1 ng/m³).

Nello stesso periodo presso la stazione di Trento Parco S. Chiara, sito di riferimento provinciale anche per l'analisi degli IPA, il valore medio è risultato pari a 0,62 ng/m³.

Tab. 12.1: Media concentrazioni B(a)P Sarche di Madruzzo e Parco S. Chiara

IPA	Parametro	Sarche di Madruzzo	Parco S. Chiara
benzo(a)pirene	Media anno 2022	0,30 ng/m ³	0,57 ng/m ³
	Media anno 2023	0,49 ng/m ³	0,65 ng/m ³
	Media intera campagna	0,39 ng/m ³	0,62 ng/m ³

L'andamento fra i due siti di misura è equivalente (*Fig.12.1*), con valori più elevati nei mesi freddi, e concentrazioni che invece si sovrappongono, di fatto quasi si azzerano, nei mesi caldi.

In tutto il periodo di misura le concentrazioni a Sarche di Madruzzo sono risultate inferiori rispetto a quelle misurate nel sito di riferimento di Trento Parco S. Chiara.

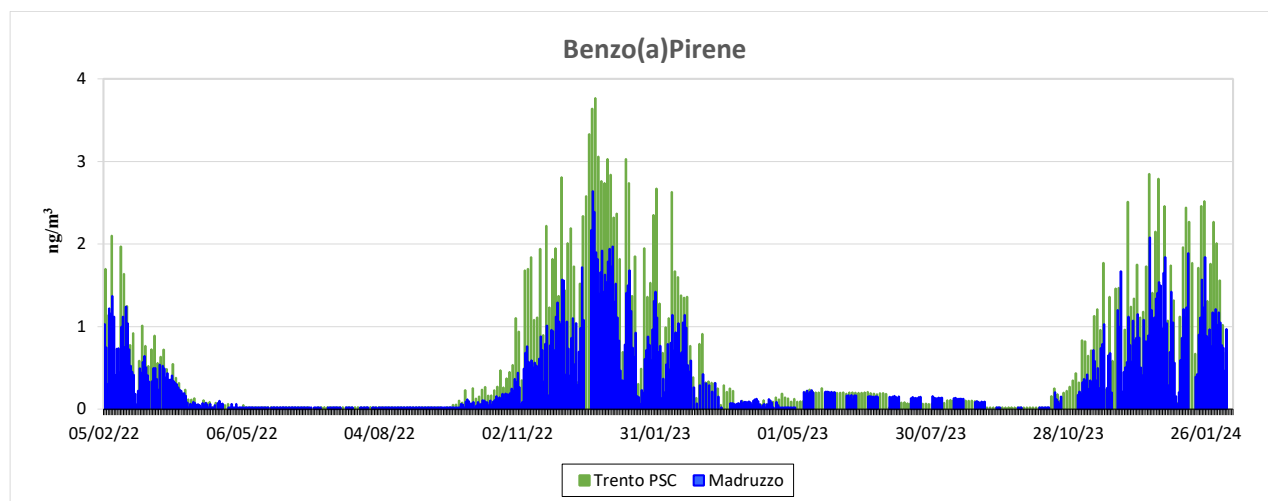


Fig.12.1: Benzo(a)Pirene – Media giornaliera intera campagna a Sarche di Madruzzo e Trento Parco S. Chiara

Oltre alla determinazione del *B(a)P*, sui campioni gravimetrici di PM₁₀ raccolti durante la campagna, sono stati quantificati anche altri idrocarburi policiclici aromatici (IPA). In particolare i risultati sono riassunti in (Tab. 12.2).

Tab. 12.2: IPA– valori medi della campagna

IPA (ng/m ³)	Media intera campagna Sarche di Madruzzo ⁽¹⁾
Benzo(A)Antracene	0,13
Benzo(B)Fluorantene	0,49
Benzo(G,H,I)Perilene	0,52
Benzo(K)Fluorantene	0,35
Crisene	0,23
Dibenzo(A,H)Antracene	0,06
Indeno(1,2,3-C,D)Pirene	0,48
Perilene	0,08
Pirene	0,24

(1) la media annuale comprende valori stimati per il periodo 08/05/23 - 08/02/24

Per questi IPA non sono fissati dalla normativa valori di riferimento, ma i valori rilevati e gli andamenti stagionali ricalcano comunque quanto evidenziato per il *B(a)P*. In particolare, le concentrazioni sono risultate più elevate nei mesi freddi e del tutto o quasi nulle nei mesi caldi.

12.1 Approfondimento sulle concentrazioni di Black-Carbon

Il black carbon (BC) è un'inquinante primario emesso prevalentemente dalla combustione incompleta di combustibili fossili e dalla combustione della biomassa.

Questo inquinante nelle aree urbane consente di individuare e stimare la fonte di produzione delle polveri misurate, consentendo di dividerle in prodotte da traffico veicolare (*fossil fuel*) o prodotte dalla combustione della biomassa (*biomass burning*).

Il grafico di (Fig. 12.11) evidenzia come a Sarche di Madruzzo sia presente una percentuale di *biomass burning* maggiore nei mesi invernali, e inferiore nei mesi estivi durante i quali la combustione della biomassa non è più prevalente, con un incremento invece della componente *fossil fuel* dovuta al traffico veicolare.

L'andamento della componente *biomass burning* è risultata perfettamente sovrapponibile con l'andamento del B(a)P (Fig.12.12), come confermato anche dall'indice di determinazione R^2 significativo e pari a 0,77 (Fig.12.13).

Questa ulteriore evidenza, al pari di quanto osservato per il B(a)P, conferma come il particolato PM10 presente a Sarche di Madruzzo nel periodo invernale sia indubbiamente e per la gran parte riconducibile alle emissioni prodotte dalla combustione della legna.

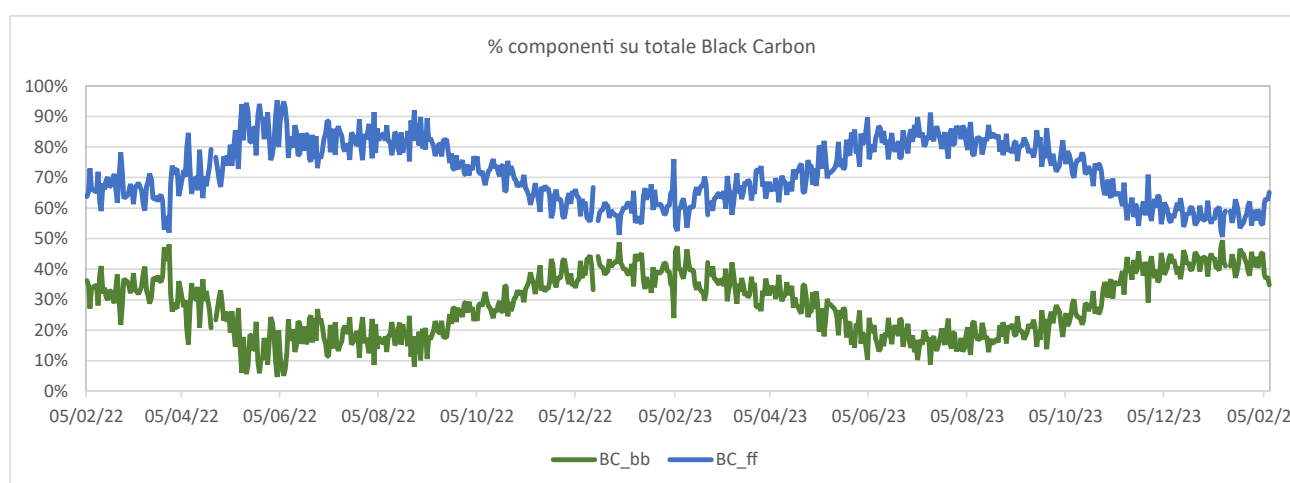


Fig.12.11: % componenti su totale di Black Carbon

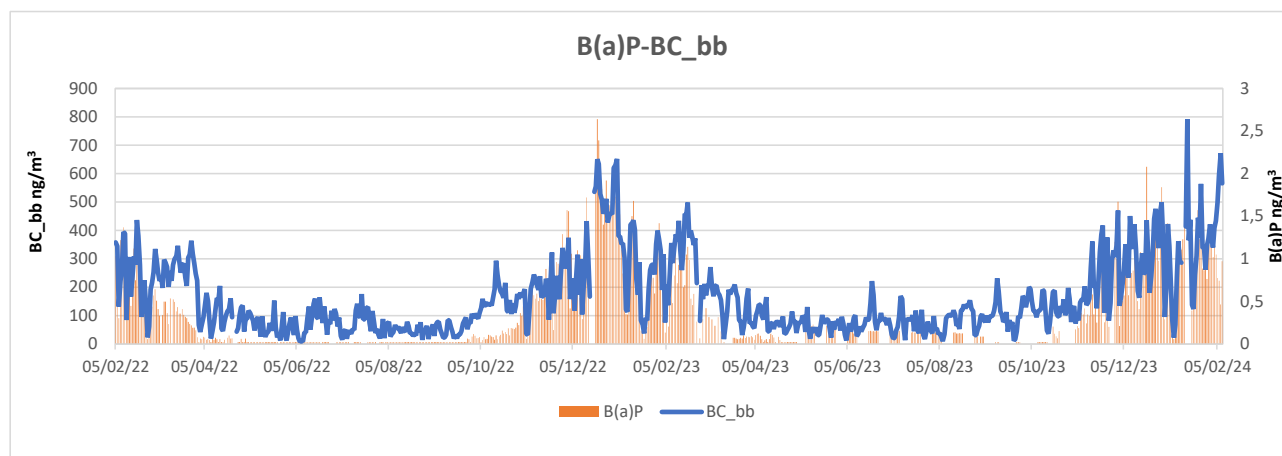


Fig.12.12: Confronto B(a)P - BC_bb

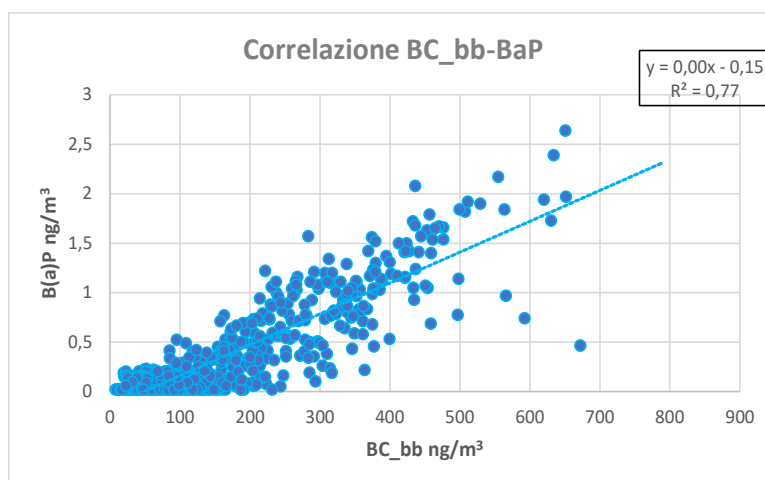


Fig.12.13: Correlazione B(a)P - BC_bb

13 Valutazioni finali e conclusioni

La campagna di monitoraggio ha consentito di valutare la qualità dell'aria nell'abitato di Sarche di Madruzzo, relativamente agli inquinanti CO, SO₂, NO₂, O₃, particolato sottile PM₁₀, metalli, IPA e Black Carbon.

I valori registrati per l' **ossido di carbonio CO** e **biossido di zolfo SO₂** sono risultati sempre e per tutti gli indicatori *abbondantemente inferiori* ai limiti normativi.

Per il **biossido di azoto NO₂**, le concentrazioni misurate, oltre a rispettare tutti i limiti normativi, sono risultate anche significativamente *inferiori* rispetto a quanto contemporaneamente misurato nelle stazioni fisse di Trento Parco S. Chiara (-50%) e Riva del Garda (-38%). Non sono mai stati registrati sforamenti del limite relativo alla media oraria, ed il valore massimo raggiunto è risultato pari a 90 µg/m³.

Per quanto riguarda l'**ozono O₃**, inquinante tipico dei mesi primaverili ed estivi, la concentrazione media oraria nel periodo estivo è risultata in alcune occasioni sopra alla soglia di informazione (180 µg/m³) sia nell'estate 2022 con 10 superamenti, sia nell'estate 2023 con 5 superamenti, con un picco massimo orario registrato pari a 209 µg/m³, superiore alla soglia di informazione ed inferiore alla soglia di allarme (240 µg/m³).

Sono stati registrati 84 superamenti giornalieri del valore obiettivo (120 µg/m³ calcolato come media su 8 h) durante l'estate 2022 e 55 durante l'estate 2023. Le differenze tra le 2 estati rispecchiano le peculiarità di questo inquinante, fortemente legato alle condizioni meteorologiche.

I risultati delle misurazioni dell'intero periodo hanno confermato per il parametro **polveri sottili PM₁₀** sia il rispetto del limite di media annuale con un valore misurato pari a 16 µg/m³ (limite 40 µg/m³), sia del numero di superamenti del limite di media giornaliera con 17 episodi di superamento a fronte del limite fissato in 35 sforamenti.

La concentrazione media di **polveri sottili PM₁₀** dell'intero periodo è risultata inferiore del 20% rispetto alla media di tutte le stazioni fisse della rete provinciale di monitoraggio ed inferiore del 24% con quanto contemporaneamente misurato a Riva del Garda, la stazione della rete provinciale più vicina a Sarche di Madruzzo. Si è inoltre riscontrata una buona correlazione degli andamenti di concentrazione fra i dati di Sarche di Madruzzo e quelli sia della stazione di Riva del Garda che dell'intera rete di monitoraggio nell'intero periodo di misura.

Le concentrazioni dei quattro metalli normati (**arsenico, cadmio, nichel e piombo**) sono risultate ben inferiori ai valori limite/obiettivo previsti dalla normativa e sono risultate inferiori anche a quanto misurato presso il sito di riferimento per il Trentino di Trento Parco Santa Chiara.

Relativamente al **benzo(a)pirene**, la concentrazione media dell'intera campagna di misura è risultata essere pari a 0,39 ng/m³, inferiore sia al valore misurato presso la stazione di riferimento Trento Parco S. Chiara (0,62 ng/m³) sia al valore obiettivo fissato dalla normativa (1 ng/m³).

In definitiva quindi, durante i due anni di monitoraggio tutti gli indicatori di qualità dell'aria controllati hanno evidenziato concentrazioni ampiamente inferiori sia ai valori limite fissati dal D.Lgs. 155/2010, sia ai valori obiettivo, fatta eccezione per il solo inquinante secondario ozono la cui presenza non può però in alcun modo essere ricondotta ad emissioni prodotte localmente.

Questa importante complessiva valutazione evidenzia altresì che per nessuno degli indicatori di qualità dell'aria analizzati sono emerse nemmeno minime evidenze misurabili di impatti potenzialmente riconducibili alle emissioni dell'impianto Italcementi del gruppo Heidelberg dopo il riavvio del forno di cottura del *clinker*.

Significativo infine rilevare come i valori misurati abbiano sostanzialmente confermato anche quanto emerso dallo studio solo modellistico realizzato dall'APPA nel 2017.

Le valutazioni qui esposte hanno valenza principalmente ambientale, ancorché i limiti previsti per i vari inquinanti monitorati siano fissati soprattutto a tutela della salute delle persone. Si rimanda tuttavia alla competenza sanitaria la formulazione di eventuali altre specifiche valutazioni riguardanti aspetti più strettamente tossicologici ed epidemiologici.

14 Allegato 1: Normativa di riferimento

Il quadro normativo di riferimento per la misura della qualità dell'aria ambiente è costituito dal Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*.

L'allegato XI stabilisce valori limite e livelli critici per SO₂, NO₂, NO_x, CO, Pb e PM10.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite
Biossido di zolfo	1 ora	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
	1 giorno	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Biossido di azoto	1 ora	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte per anno civile
	Anno civile	40 µg/m ³
Monossido di carbonio	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m ³
Piombo	Anno civile	0,5 µg/m ³
PM10	1 giorno	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile
	Anno civile	40 µg/m ³

Inquinante	Livello critico annuale (anno civile)	Livello critico invernale (1° ottobre-31 marzo)
Biossido di zolfo	20 µg/m ³	20 µg/m ³
Ossidi di azoto	30 µg/m ³ NO _x	

L'allegato XII stabilisce le soglie di allarme per SO₂ ed NO₂ (misurate per tre ore consecutive).

Inquinante	Soglia di allarme
Biossido di zolfo	500 µg/m ³
Biossido di azoto	400 µg/m ³

L'allegato XII stabilisce inoltre le soglie di informazione e di allarme per O₃.

Finalità	Periodo di mediazione	Soglia
Informazione	1 ora	180 µg/m ³
Allarme	1 ora	240 µg/m ³

L'allegato XIII stabilisce i valori obiettivo per As, Cd, Ni, B(a)P.

Inquinante	Valore obiettivo
Arsenico	6,0 ng/m ³
Cadmio	5,0 ng/m ³
Nichel	20,0 ng/m ³
Benzo(a)pirene	1,0 ng/m ³

15 Allegato 2: Descrizione dei parametri rilevati

PARAMETRI CHIMICI

PARAMETRO	SIMBOLOGIA	UNITÀ DI MISURA
monossido di carbonio	CO	mg/m ³
polveri PM10	PM10	µg/m ³
monossido di azoto	NO	µg/m ³
biossido di azoto	NO ₂	µg/m ³
ossidi di azoto totali	NO _x	µg/m ³
biossido di zolfo	SO ₂	µg/m ³
ozono	O ₃	µg/m ³
IPA	Benzo(a)Pirene ed altri...	ng/m ³
metalli	As, Cd, Ni , Pb ed altri	ng/m ³
levoglucosano	LG	µg/m ³

MONOSSIDO DI CARBONIO – CO

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore, insapore, inodore ed è un po' più leggero dell'aria. Esso rappresenta l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera. Il monossido di carbonio si forma principalmente dalla combustione incompleta degli idrocarburi presenti in carburanti e combustibili. Quando la combustione avviene in condizioni ideali si forma esclusivamente anidride carbonica (CO₂), mentre quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente, si forma anche CO.

La principale sorgente di questa sostanza è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% della produzione complessiva; in ambito urbano anche fino al 90–95%), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina. La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente correlata alle condizioni di funzionamento del motore: si registrano concentrazioni più elevate con motore a bassi regimi ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato. Altre sorgenti sono gli impianti termici e alcuni processi industriali, come ad esempio la produzione di acciaio.

OSSIDI D'AZOTO - NO_x, NO, NO₂

Il biossido di azoto è un gas di colore rosso-bruno, di odore forte e pungente, altamente tossico ed irritante. In generale gli ossidi di azoto (NO, N₂O, NO₂ ed altri) sono generati da i processi di combustione, qualunque sia il combustibile utilizzato, per reazione diretta tra l'azoto e l'ossigeno dell'aria ad alta temperatura (>1.200°C).

I processi di combustione (centrali termoelettriche, riscaldamento, motori a combustione interna) emettono quale componente principale monossido di azoto (NO) che, nelle emissioni di un motore a combustione interna, rappresenta circa il 98% delle emissioni totali di ossidi di azoto. Successivamente il monossido di azoto (NO) in presenza di ozono si trasforma in biossido di azoto. La formazione diretta di NO₂ dai processi di combustione è strettamente correlata agli elevati valori di pressione e temperatura che si realizzano all'interno delle camere di combustione dei motori.

I fumi di scarico degli autoveicoli contribuiscono enormemente all'inquinamento da NO; la quantità di emissioni dipende dalle caratteristiche del motore e dalla modalità del suo utilizzo (velocità, accelerazione, ecc.). In generale, la presenza di NO aumenta quando il motore lavora ad elevato numero di giri (arterie urbane a scorrimento veloce, autostrade, ...).

Il biossido di azoto può essere originato anche da processi produttivi senza combustione, come ad esempio la produzione di acido nitrico, fertilizzanti azotati, ..., ed anche da sorgenti naturali (attività batterica, eruzioni vulcaniche, incendi).

POLVERI SOTTILI - PM10

Con il termine polveri atmosferiche, o materiale particellare, si intende un insieme eterogeneo di particelle solide e liquide che, a causa delle ridotte dimensioni, tendono a rimanere sospese in aria. Le singole particelle sono anche molto diverse tra loro per dimensione, forma, composizione chimica e processo di formazione. L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è definito come particolato sospeso P.T.S. (Polveri Totali Sospese) o P.M. (dall'inglese "Particulate Matter", materiale particellare).

Generalmente tali particelle sono costituite da una miscela di elementi quali: Carbonio (organico ed inorganico), fibre, silice, metalli (Ferro, Rame, Piombo, Nichel, Cadmio, ...), nitrati, solfati, composti organici (idrocarburi, acidi organici, I.P.A., ...), materiale inerte (frammenti di suolo, spore, pollini, ...), particelle liquide. Tale composizione dipende essenzialmente dal processo di formazione delle stesse particelle e dalle sostanze con cui sono giunte a contatto nella loro permanenza in atmosfera (ad esempio possono fungere da veicolanti di metalli pesanti).

Il diametro è compreso tra 0,005 μm e 150 μm (lo spessore di un capello umano è di circa 100 μm); all'interno di questo intervallo le polveri atmosferiche sono suddivise in:

- particelle grossolane: con diametro superiore ai 10 μm ;
- particelle fini (PM10): con diametro inferiore a 10 μm ;
- particelle finissime (PM2,5): con diametro inferiore ai 2,5 μm .

OZONO - O₃

L'ozono è un gas formato da tre atomi di ossigeno (O₃) di odore pungente, altamente reattivo, dotato di un elevato potere ossidante e ad elevate concentrazioni di colore blu/azzurro.

In natura è presente negli strati alti dell'atmosfera terrestre, in particolare in una porzione della stratosfera ad un'altezza compresa fra i 30 e i 50 km dal suolo, detta anche ozonosfera, ed ha la funzione importante di proteggere la superficie terrestre dalle radiazioni ultraviolette emesse dal sole che sarebbero dannose per la vita degli esseri viventi. L'ozono è dunque indispensabile alla vita sulla Terra perché impedisce il passaggio dei raggi pericolosi per la nostra salute. L'assenza di questo composto nella stratosfera è chiamata generalmente "buco dell'ozono".

Negli strati bassi dell'atmosfera invece, la cosiddetta "troposfera" (al di sotto dei 10-15 km di altezza dal suolo), esso è presente naturalmente in basse concentrazioni, per effetto del naturale scambio con la stratosfera. Tale concentrazione può però aumentare in alcune aree a causa del cosiddetto "smog fotochimico", che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura.

Se dunque il "buco dell'ozono" si riferisce all'assottigliamento dello strato di ozono di cui abbiamo bisogno per proteggerci dalle radiazioni ultraviolette, l'inquinamento da ozono si riferisce all'aumento della sua presenza nell'aria che respiriamo, soprattutto nei periodi estivi, e che può avere effetti dannosi sulla salute dell'uomo e sull'ambiente.

BIOSSIDO DI ZOLFO - SO₂

Il biossido di zolfo (SO₂) è un gas incolore, dall'odore pungente e irritante. In atmosfera la presenza di biossido di zolfo è accompagnata da quella del triossido di zolfo (SO₃); infatti il biossido (SO₂) può essere trasformato in triossido (SO₃) mediante processi indotti dall'irraggiamento solare.

In atmosfera la presenza di SO₃ come tale è a sua volta condizionata dalla concentrazione di vapore acqueo; in combinazione con questo essa forma infatti facilmente acido solforico (H₂SO₄).

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI – IPA

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (I.P.A.) costituiscono un numeroso gruppo di composti organici formati da uno o più anelli benzenici. In generale si tratta di sostanze solide a temperatura ambiente, sostanze scarsamente solubili in acqua, degradabili in presenza di radiazione ultravioletta ed altamente affini ai grassi presenti nei tessuti viventi. Il composto più studiato e rilevato è il benzo(a)pirene che ha una struttura con cinque anelli aromatici condensati.

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici sono contenuti nel carbone e nei prodotti petroliferi (particolarmente nel gasolio e negli olii combustibili). Essi vengono emessi in atmosfera come residui di combustioni incomplete in alcune attività industriali (cokerie, produzione e lavorazione grafite, trattamento del carbon fossile) e nelle caldaie (soprattutto quelle alimentate con combustibili solidi e liquidi pesanti); inoltre sono presenti nelle emissioni degli autoveicoli (sia diesel che benzina). In generale l'emissione di I.P.A. nell'ambiente risulta molto variabile a seconda del tipo di sorgente, del tipo di combustibile e della qualità della combustione.

La presenza di questi composti nei gas di scarico degli autoveicoli è dovuta sia alla frazione presente come tale nel carburante, sia alla frazione che per pirosintesi ha origine durante il processo di combustione.

METALLI

Nel particolato atmosferico sono presenti metalli di varia natura. I principali sono Cadmio, Zinco, Rame, Nichel, Piombo e Ferro.

I metalli presenti nel particolato atmosferico provengono da una molteplice varietà di fonti: il cadmio e lo zinco sono originati prevalentemente da processi industriali, il rame ed il nichel provengono dalla combustione, il piombo dalle emissioni autoveicolari. Il ferro proviene dall'erosione dei suoli, dall'utilizzo di combustibili fossili e dalla produzione di leghe ferrose.

In particolare, il piombo di provenienza autoveicolare è emesso quasi esclusivamente da motori a benzina in cui è contenuto sotto forma di piombo tetraetile e/o tetrametile con funzioni di antidetonante. Negli agglomerati urbani tale sorgente rappresenta pressoché la totalità delle emissioni di piombo e la granulometria dell'aerosol che lo contiene si colloca quasi integralmente nella frazione respirabile (PM10). L'adozione generalizzata della benzina "verde" (0,013 g/l di Pb) dal 1° gennaio 2002, ha portato una riduzione delle emissioni di Piombo del 97%; in conseguenza di ciò è praticamente eliminato il contributo della circolazione autoveicolare alla concentrazione in aria di questo metallo.

16 Allegato 3: Riferimenti bibliografici

APPA Trento (2011), *Zonizzazione della provincia di Trento e classificazione delle zone*, deliberazione di Giunta provinciale n. 1036 del 20 maggio 2011

APPA Trento (2018), *Piano provinciale di tutela della qualità dell'aria*, deliberazione della Giunta provinciale n. 1387 del 1 agosto 2018

APPA Trento (2021), *Classificazione delle zone ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente - aggiornamento 2021*, deliberazione della Giunta provinciale n. 1776 del 29 ottobre 2021

Decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, *Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa*