

Analisi della qualità dell'aria nella zona di Bagnoli (Napoli) mediante Speciazione delle PM₁₀ e delle PM_{2,5}

Interpretazione delle sorgenti sulla base dei dati iniziali della campagna di monitoraggio in corso

1. Periodo di analisi e carattere dei dati

Le elaborazioni presentate si riferiscono ai dati raccolti nel periodo compreso tra il 24 febbraio e il 25 marzo 2026, nell'ambito della campagna di monitoraggio in corso nell'area di Bagnoli. In tale intervallo sono stati acquisiti campioni giornalieri concomitanti di PM₁₀ e PM_{2,5}, consentendo un confronto diretto tra le due frazioni di particolato in condizioni meteorologiche e ambientali comparabili.

Il periodo analizzato, pur non rappresentando una scala temporale stagionale o annuale, risulta sufficientemente esteso da includere una variabilità significativa delle condizioni meteorologiche e dei contributi emissivi, permettendo una caratterizzazione articolata della composizione chimica del particolato e dei principali processi che ne determinano le fluttuazioni.

I dati possono pertanto essere considerati rappresentativi di un insieme coerente di condizioni ambientali tipiche del periodo tardo invernale, fornendo una base informativa adeguata all'analisi delle principali modalità di variabilità del particolato atmosferico.

Le analisi statistiche e multivariate applicate ai dati sono finalizzate all'individuazione dei principali regimi di covariazione chimica e dei processi dominanti che influenzano la composizione del PM₁₀ e del PM_{2,5} nel periodo osservato. Sebbene i risultati non possano essere estesi direttamente a scale temporali più ampie, essi consentono una interpretazione robusta dei meccanismi che regolano la dinamica del particolato nel contesto specifico analizzato.

2. Introduzione all'analisi della frazione PM₁₀ e PM_{2,5}

L'area di Bagnoli è caratterizzata da una geomorfologia costiera a matrice prevalentemente sabbiosa e da una lunga storia di attività industriali, in particolare siderurgiche. In tale contesto, il particolato atmosferico, nelle sue frazioni grossolana e fine, rappresenta un comparto ambientale di particolare interesse, in quanto integra contributi provenienti sia da sorgenti emissive attuali sia da processi di rimaneggiamento di materiali depositati al suolo nel corso del tempo.

La frazione PM₁₀ (diametro aerodinamico $\leq 10 \mu\text{m}$) include sia la componente fine sia quella grossolana ed è fortemente influenzata da processi meccanici quali la risospensione di materiale superficiale, oltre che da emissioni dirette da sorgenti antropiche. La frazione PM_{2,5} (diametro aerodinamico $\leq 2,5 \mu\text{m}$), invece, è prevalente-

mente costituita da particolato fine, associato a processi di combustione e alla formazione di aerosol secondario, riflettendo in misura maggiore i contributi di origine antropica diffusa e regionale.

Nei contesti litoranei sabbiosi, la frazione fine dei sedimenti superficiali risulta facilmente mobilizzabile per effetto dell'azione del vento, del traffico veicolare e delle attività antropiche. Se tali sedimenti sono stati interessati da deposizioni industriali storiche, la risospensione meccanica diventa una sorgente atmosferica attiva e persistente, influenzando in particolare la frazione PM_{10} . Parallelamente, la frazione $PM_{2.5}$ risente maggiormente dei processi di combustione e delle trasformazioni chimiche in atmosfera, contribuendo a definire il livello di fondo del particolato.

Il PM_{10} e il $PM_{2.5}$ assumono pertanto un ruolo complementare: il primo come indicatore integrato dei processi meccanici e delle sorgenti locali, il secondo come tracciante delle emissioni combustive e dell'aerosol secondario. La loro analisi congiunta consente di descrivere in modo più completo le dinamiche del particolato atmosferico e le interazioni tra suolo, atmosfera e attività antropiche, evitando interpretazioni limitate a singole tipologie emmissive.

Segue l'analisi dei dati della campagna di monitoraggio, con l'obiettivo di:

- identificare e caratterizzare le principali sorgenti del PM_{10} e del $PM_{2.5}$;
- interpretare il significato ambientale delle specie chimiche analizzate;
- fornire un quadro interpretativo coerente dei processi che determinano la variabilità del particolato nel periodo osservato.

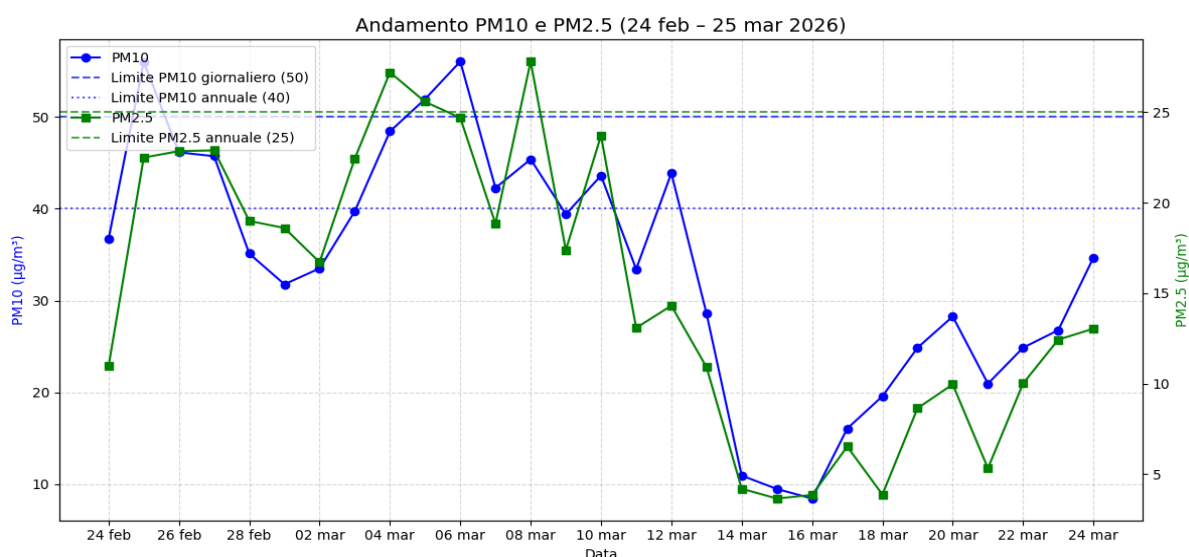


Figura 1: andamento dei valori di PM_{10} e $PM_{2.5}$ nel primo mese della campagna di monitoraggio

3. Campionamento e Risultati analitici della frazione PM_{10}

3.1 Campionamento del PM_{10} e del $PM_{2.5}$

Sono stati analizzati campioni giornalieri concomitanti di PM₁₀ e PM_{2.5} raccolti nel periodo compreso tra il 24 febbraio e il 25 marzo 2026, ciascuno ottenuto mediante campionamento di circa 55 m³ di aria in 24 ore, secondo le metodiche standard previste per il monitoraggio della qualità dell'aria.

La disponibilità di campioni quotidiani per entrambe le frazioni di particolato consente un'analisi integrata del comportamento del PM atmosferico, permettendo di distinguere il contributo relativo della componente grossolana (PM₁₀) e di quella fine (PM_{2.5}) in condizioni ambientali comparabili.

Il periodo considerato, pur limitato rispetto a una copertura stagionale completa, risulta sufficientemente esteso per evidenziare una variabilità significativa delle concentrazioni e per supportare l'analisi dei principali processi che regolano la composizione del particolato.

Il proseguimento della campagna di monitoraggio, su un arco temporale più ampio, consentirà:

- la valutazione della variabilità stagionale delle concentrazioni;
- il confronto completo con i limiti normativi su base annuale;
- l'eventuale applicazione di modelli quantitativi di source apportionment.

3.2 Analisi chimica e significato ambientale dei parametri

L'analisi dei dati consente una valutazione rispetto ai limiti normativi vigenti per la qualità dell'aria.

Per il PM₁₀, è stato possibile confrontare direttamente i dati con il valore limite giornaliero, evidenziando la presenza di episodi di superamento associati a specifiche condizioni meteorodiffusive e a incrementi della massa del particolato.

Per il PM_{2.5}, in assenza di un limite giornaliero, il confronto è stato effettuato rispetto al valore limite annuale, utilizzando indicatori puntuali (quali i valori massimi osservati e le medie del periodo) con finalità esclusivamente indicative. I risultati mostrano livelli generalmente prossimi alla soglia normativa, suggerendo un contributo significativo di fondo associato a processi di combustione e formazione di aerosol secondario.

L'insieme dei dati analitici relativi ai metalli e agli idrocarburi policiclici aromatici evidenzia concentrazioni ampiamente inferiori ai rispettivi limiti annuali previsti dal D.Lgs. 155/2010 e s.m.i., confermando l'assenza di criticità normative legate alla composizione chimica del particolato. Si segnala tuttavia, per il nichel, un valore massimo isolato pari a circa 19 ng/m³ (circa il 95% del limite annuale); per lo stesso parametro, le restanti misure si attestano su valori significativamente inferiori, generalmente al di sotto del 22% del limite. Nel complesso, si evidenzia un episodio puntuale di concentrazione elevata di nichel che, pur risultando prossimo al valore di riferimento, non determina in alcun caso il superamento del limite normativo annuale, assunto a fini indicativi.

In *tabella 1* sono riportate le frequenze di superamento dei limiti fissati e i valori massimi osservati per i parametri considerati. In neretto è riportato l'unico parametro per cui è fissato il limite giornaliero, per gli altri il confronto di misure giornaliere con limiti annuali ha solo valore indicativo.

Parametro	Tipo di limite normativo	Valore limite	Unità	Numero di superamenti	Valore massimo osservato	% del limite
PM₁₀	Giornaliero	50	µg/m³	3	~56.0 µg/m³	112%
Arsenico (As)*	Annuale	6	ng/m ³	-	~1.34 ng/m ³	22%
Cadmio (Cd)	Annuale	5	ng/m ³	-	~0.37 ng/m ³	7%
Nichel (Ni)	Annuale	20	ng/m ³	-	~19,0 ng/m ³	95%

Piombo (Pb)	Annuale	0,5	mg/m ³	-	~0.009 mg/m ³	1,8%
Benzo(a)pirene	Annuale	1	ng/m ³	-	~0.40 ng/m ³	40%
PM2,5	Annuale	25	µg/m ³	-	~27,2 µg/m ³	109%

Tabella 1: Confronto con il limite normativo giornaliero per il PM10 e solo a scopo indicativo, i limiti normativi annuali degli altri analiti.

Ogni campione è stato altresì caratterizzato mediante la determinazione di un ampio set di specie chimiche, selezionate in quanto traccianti consolidati di specifiche sorgenti emissive e processi ambientali.

3.2.1 Elementi litogenici e cristallini

- Silicio (Si) - Costituente principale delle sabbie quarzose costiere; rappresenta il marcatore più diretto della risospensione di sedimenti sabbiosi.
- Alluminio (Al) e Titanio (Ti) - Indicatori di materiale minerale stabile, tipici della frazione fine dei sedimenti e poco influenzati da processi secondari.
- Ferro (Fe) e Manganese (Mn) - Presenti nella matrice naturale, ma anche associati alla contaminazione storica di origine siderurgica.

In un'area costiera sabbiosa, la co-presenza di Si, Al, Ti e Fe è fortemente indicativa di materiale sedimentario risospeso, più che di polveri urbane generiche.

3.2.2 Elementi alcalino-terrosi

- Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Stronzio (Sr) - Associati alle componenti carbonatiche delle sabbie, a contributi marini e, in parte, a materiali di origine antropica (residui industriali e da costruzione).

Questi elementi contribuiscono principalmente alla frazione grossolana del particolato, riflettendo processi di origine naturale e meccanica, pur potendo essere parzialmente presenti anche nella frazione fine per fenomeni di frammentazione o trasporto.

3.2.3 Metalli di origine industriale e combustiva

- Cromo (Cr), Nichel (Ni), Vanadio (V), Piombo (Pb), Zinco (Zn) - Metalli che, in un contesto di sedimenti con presenza di contaminanti, tendono a concentrarsi nella frazione fine e risultano facilmente risospensibili o emessi da processi di combustione.

La loro presenza nella frazione PM_{2.5} è generalmente più significativa rispetto al PM₁₀, in quanto associata sia a emissioni ad alta temperatura (traffico, attività industriali) sia a processi di formazione secondaria e di condensazione su particelle fini.

3.2.4 Frazioni carboniose e traccianti specifici

- Carbonio Elementare (EC) - Indicatore di combustione ad alta temperatura (traffico veicolare, motori, attività navali).
- Carbonio Organico (OC) - Associato a combustioni incomplete e aerosol organico primario e secondario.
- Levoglucosano - Tracciante univoco della combustione di biomassa.

- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) - Indicatori dei processi di combustione; la distribuzione per peso molecolare consente di distinguere diverse tipologie di sorgenti.

Nel complesso, le frazioni carboniose e i traccianti combustivi rappresentano una componente rilevante del $PM_{2,5}$, pur contribuendo in misura significativa anche alla frazione PM_{10} .

3.3 Analisi statistica multivariata – Analisi delle Componenti Principali (PCA)

3.3.1 Obiettivi e impostazione dell'analisi

L'Analisi delle Componenti Principali (Principal Component Analysis, PCA) è stata applicata ai dati chimici dei campioni di PM_{10} e $PM_{2,5}$ al fine di analizzare le modalità di covariazione tra le specie misurate e individuare i principali processi chimico-fisici che influenzano la composizione del particolato atmosferico nell'area di Bagnoli.

Considerate le differenti caratteristiche fisiche e sorgenti delle due frazioni (grossolana e fine), l'analisi è stata condotta separatamente sui dataset di PM_{10} e $PM_{2,5}$, al fine di preservare la struttura informativa specifica di ciascuna frazione ed evitare effetti di diluizione della variabilità.

La PCA è utilizzata con finalità esplorative e interpretative. Le componenti principali non vengono pertanto interpretate come sorgenti emissive isolate o quantitativamente definite, ma come regimi di covariazione chimica o macro-processi ambientali, utili a descrivere le principali dinamiche che governano la composizione del particolato nel periodo osservato.

Prima dell'analisi, tutte le variabili sono state standardizzate (z-score), al fine di rendere confrontabili specie chimiche caratterizzate da unità di misura e ordini di grandezza differenti.

3.3.2 Varianza spiegata

Per il dataset del PM_{10} , le prime tre componenti principali spiegano complessivamente circa il **60% della varianza totale**:

- PC1: 24.7%
- PC2: 20.7%
- PC3: 14.5%

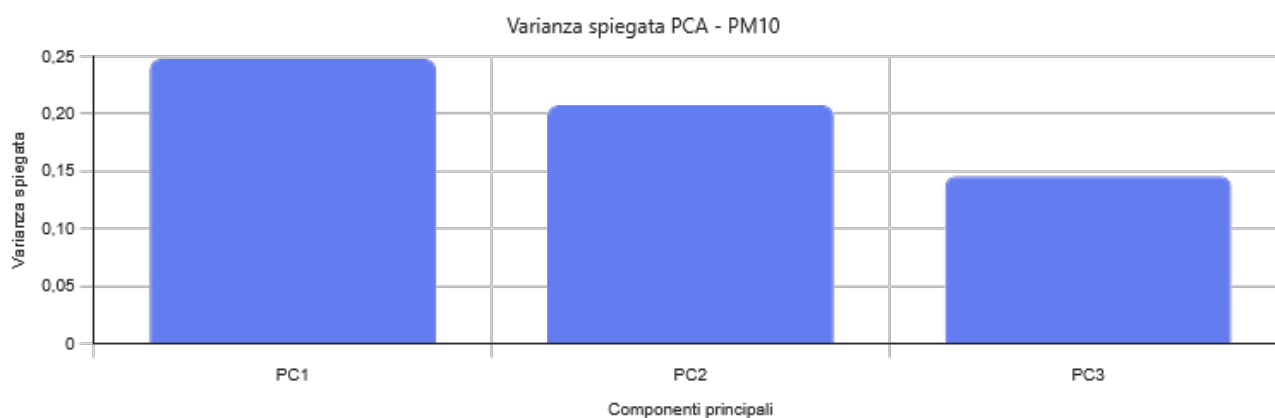


Figura 2: Analisi PCA relativa alla frazione PM_{10} - distribuzione della varianza delle prime tre componenti.

Tale distribuzione evidenzia una struttura della variabilità non dominata da una singola componente, ma articolata su più fattori di peso comparabile, indice della presenza di diversi processi ambientali concorrenti.

Nel caso del PM_{2.5}, la varianza spiegata risulta leggermente inferiore e più distribuita tra le componenti, evidenziando una struttura meno marcata e una maggiore omogeneità dei contributi chimici, coerente con la natura prevalentemente fine e secondaria di questa frazione.

Nel complesso, la PCA evidenzia una maggiore capacità interpretativa nel dataset del PM₁₀, mentre il PM_{2.5} fornisce informazioni complementari relative ai processi combustivi e al fondo regionale.

3.3.3 Analisi dei loadings e interpretazione delle componenti (PM₁₀)

L'interpretazione delle componenti è stata condotta sulla base dell'analisi dei loadings, rappresentati mediante heatmap (Allegato 1), considerando congiuntamente intensità, segno e coerenza chimica delle specie associate a ciascuna componente.

Componente Principale 1 (PC1) – Regime di accumulo atmosferico

La PC1 è caratterizzata da loadings positivi distribuiti su un insieme eterogeneo di specie, comprendente:

- nitrati
- specie ioniche (es. sodio)
- numerosi IPA
- metalli in traccia

Contestualmente, il solfato presenta un loading di segno opposto.

Interpretazione:

La PC1 rappresenta un regime atmosferico di accumulo, associato a condizioni di ridotta dispersione, nelle quali co-variano simultaneamente:

- contributi da combustione diffusa
- aerosol secondario nitrativo
- risospensione del particolato

Il comportamento opposto del solfato suggerisce la presenza di una componente di fondo regionale distinta dagli episodi locali.

Significato ambientale:

Processo di fondo complesso regolato principalmente dalle condizioni meteorologiche, più che da una singola sorgente emissiva.

Componente Principale 2 (PC2) – Combustioni organiche diffuse

La PC2 mostra loadings elevati e coerenti per:

- Carbonio Organico (OC)
- Levoglucosano
- IPA (pirene, fluorantene)

Interpretazione:

Questa associazione è indicativa di processi di combustione a bassa e media temperatura, compatibili con:

- combustione di biomassa
- traffico urbano
- aerosol organico primario e secondario

La presenza del levoglucosano conferisce una chiara impronta di combustione di biomassa.

Significato ambientale:

Componente combustiva diffusa, con contributo variabile nel tempo e legata a emissioni antropiche.

Componente Principale 3 (PC3) – Processi meccanici e componente crostale

La PC3 è caratterizzata da loadings elevati per:

- elementi cristallini (Fe, Mn, Sr)
- metalli da usura (Sb)
- PM₁₀ stesso

Interpretazione:

La componente è dominata da processi fisici di natura meccanica, quali:

- risospensione
- usura stradale
- rimaneggiamento del suolo

Significato ambientale:

Componente meccanico-crostale direttamente responsabile della variabilità della massa del PM₁₀.

3.3.4 Interpretazione della PCA del PM_{2.5}

La PCA applicata al PM_{2.5} evidenzia una struttura della variabilità meno compartimentata rispetto al PM₁₀, con loadings più distribuiti e una minore separazione tra le componenti. Questo comportamento è coerente con la natura prevalentemente fine del particolato, caratterizzata da contributi diffusi e da un'elevata incidenza di processi di trasformazione chimica in atmosfera.

Le componenti principali risultano associate prevalentemente a:

- processi di combustione diffusa (componenti carboniose e metalli di origine antropica);
- processi di formazione di aerosol secondario (specie ioniche quali nitrato e solfato);
- contributi di fondo e condizioni di accumulo atmosferico.

Non emerge una componente crostale distintiva, a differenza di quanto osservato per il PM₁₀, confermando la limitata incidenza dei processi di risospensione nella frazione fine.

Nel complesso, la variabilità del PM_{2.5} appare governata da contributi multipli e parzialmente sovrapposti, senza una netta separazione tra sorgenti. Questo risultato risulta coerente sia con la natura del particolato fine, sia con i dati composizionali e con l'analisi normalizzata delle specie, che evidenziano una distribuzione dei

contributi combustivi tra entrambe le frazioni del particolato.

Significato ambientale:

Il $PM_{2.5}$ è dominato da processi combustivi e secondari diffusi, fortemente influenzati dalle condizioni di accumulo atmosferico, e presenta una struttura meno separabile in componenti distinte rispetto al PM_{10} .

3.3.5 Considerazioni trasversali

L'analisi evidenzia una chiara distinzione tra:

- una componente di accumulo atmosferico (PM_{10} – PC1)
- una componente combustiva (presente in entrambe le frazioni)
- una componente meccanico-crostante (esclusivamente PM_{10})

La minore definizione delle componenti nel $PM_{2.5}$ è coerente con:

- la natura fine e chimicamente più omogenea della frazione
- la prevalenza di processi di combustione e formazione secondaria

Le componenti individuate devono pertanto essere interpretate come regimi chimico-fisici dominanti e non come sorgenti emissive isolate.

3.3.6 Analisi degli scores

L'analisi degli scores mostra che:

- PC1 contribuisce in modo significativo a tutti i campioni, indicando la presenza di un processo di fondo legato al regime di accumulo atmosferico;
- PC2 evidenzia giornate caratterizzate da maggiore contributo combustivo;
- PC3 emerge in maniera discontinua, associata a episodi di risospensione e incremento della componente crostante.

3.3.7 Implicazioni per il proseguimento dello studio

La PCA fornisce una base interpretativa robusta per la comprensione dei processi che influenzano il particolato nell'area di Bagnoli.

Il proseguimento della campagna consentirà di:

- verificare la stabilità delle componenti su scala stagionale;
- analizzare l'evoluzione dei regimi di accumulo e delle sorgenti;
- applicare modelli quantitativi di source apportionment (es. PMF) per una più accurata attribuzione delle sorgenti emissive.

Componente	Varianza spiegata
PC1	24.7%
PC2	20.7%
PC3	14.5%

PC1 – Componenti dominanti

Variabile	Loading
Benzo(a)Antracene	+0.22
Sodio	+0.22
Benzo(a)Pirene	+0.21
Nitrato	+0.21
Dibenzo(a,h)Antracene	+0.20
Solfato	-0.20
Cadmio	+0.19
Fluoruro	+0.18

PC2 – Componenti dominanti

Variabile	Loading
Carbonio Organico (OC)	+0.21
Pirene	+0.20
Levoglicosano	+0.19
Fluorantene	+0.19
Acenaftene	-0.20
Fosfato	-0.20
Cloruri	-0.19
Litio	-0.19

PC3 – Componenti dominanti

Variabile	Loading
Manganese	+0.29

Stronzio	+0.27
Uranio	+0.27
Nitrito	+0.23
Ferro	+0.22
Fosforo	+0.22
Antimonio	+0.22
PM ₁₀	+0.21

3.3.7 Analisi degli scores

L'analisi degli scores evidenzia la dinamica temporale delle componenti principali e consente di valutare il contributo relativo dei diversi processi nel periodo di osservazione.

In particolare:

- La PC1 contribuisce in modo significativo alla quasi totalità dei campioni, indicando la presenza di un processo di fondo persistente che caratterizza l'intero periodo analizzato. Tale comportamento è coerente con un regime di accumulo atmosferico, in cui condizioni meteo-diffusive favorevoli alla permanenza degli inquinanti determinano la co-variazione simultanea di contributi di diversa origine;
- La PC2 permette di distinguere giornate caratterizzate da un maggiore contributo di attività antropiche, in particolare processi di combustione associati a traffico urbano e combustione diffusa. La variabilità di questa componente riflette il carattere intermittente delle emissioni combustive e delle condizioni che ne favoriscono l'accumulo;
- La PC3 emerge in maniera più episodica, evidenziando eventi specifici legati alla risospensione di materiale superficiale e a processi meccanici. Questa componente presenta un comportamento discontinuo, coerente con la natura non costante delle condizioni che favoriscono la mobilizzazione delle polveri.

Nel complesso, l'analisi degli scores conferma la presenza di un sistema governato da un processo di fondo persistente, sul quale si innestano contributi variabili di origine combustiva e meccanico-crostante.

4. Analisi della frazione PM_{2,5}

Nel contesto ambientale dell'area di Bagnoli, la frazione di particolato fine (PM_{2,5}) consente una lettura specifica e complementare rispetto al PM₁₀ dei processi emissivi e delle dinamiche di trasformazione atmosferica. Rispetto alla frazione grossolana, il PM_{2,5} è costituito prevalentemente da particelle di origine combustiva e da aerosol secondario, risultando meno influenzato dai processi di risospensione meccanica e più direttamente associato alle emissioni primarie e alle trasformazioni chimiche in atmosfera.

Nel periodo di osservazione, le concentrazioni giornaliere di PM_{2,5} risultano comprese indicativamente tra ~11 µg/m³ e ~28 µg/m³, con una variabilità moderata e valori sistematicamente inferiori rispetto al PM₁₀, pur rappresentando una quota significativa della massa totale del particolato. Il rapporto PM_{2,5}/PM₁₀, generalmente

compreso tra 0,45 e 0,60, evidenzia la coesistenza di una componente fine rilevante e di una componente grossolana significativa, coerente con la presenza simultanea di processi di combustione e fenomeni di risospensione.

Dal punto di vista compositivo, il PM_{2.5} è caratterizzato da una presenza sistematica delle componenti carboniose, con valori persistenti di Carbonio Organico (OC) e Carbonio Elementare (EC), indicativi di un contributo diffuso di processi combustivi di origine antropica e di aerosol organico secondario. Il levoglucosano, pur attestandosi su concentrazioni generalmente prossime al limite di quantificazione, mostra una distribuzione coerente con la frazione fine, suggerendo la presenza di un contributo debole ma riconoscibile associato alla combustione di biomassa.

Parallelamente, la presenza significativa di specie ioniche quali nitrato e solfato evidenzia il ruolo rilevante dei processi di formazione di aerosol secondario, associati a condizioni di accumulo atmosferico e a contributi di fondo regionale. Rispetto al PM₁₀, il PM_{2.5} mostra una marcata riduzione delle componenti cristalline (Al, Fe, Ti, Mn), confermando la limitata incidenza dei processi di risospensione nella frazione fine; al contrario, alcuni metalli in traccia (Ni, Zn, Cr, Cu) risultano relativamente più rappresentati, coerentemente con una prevalente origine combustiva e antropica.

L'analisi multivariata conferma tale quadro interpretativo: la PCA evidenzia una struttura della variabilità meno compartimentata rispetto al PM₁₀, con una componente principale riconducibile a un asse generale di covariatione (fondo e accumulo), una componente associata ai processi di aerosol secondario e una componente cristallina residuale e poco significativa. Nel complesso, il PM_{2.5} risulta dominato da contributi combustivi e secondari, prevalentemente associati alla frazione fine, senza una netta separazione tra sorgenti, a differenza del PM₁₀ che presenta una struttura più definita e fortemente influenzata dai processi meccanico-cristallini.

Le due frazioni risultano pertanto complementari: il PM₁₀ descrive un sistema governato principalmente da processi fisici locali, mentre il PM_{2.5} fornisce una rappresentazione più diretta delle emissioni contemporanee e delle trasformazioni chimiche che avvengono in atmosfera. In *tabella 2* è riportato il confronto dei valori medi delle specie litogeniche normalizzate rispetto alla massa nelle due frazioni di particolato; l'analisi dei dati evidenzia che le specie cristalline risultano sistematicamente meno rappresentate nel PM_{2.5}, rispetto al PM₁₀, con rapporti generalmente compresi tra 0,30 e 0,35 per la maggior parte degli elementi (Al, Fe, Ti, Mn, Mg). Tale comportamento conferma che la componente meccanico-cristallina è fortemente concentrata nella frazione grossolana del particolato e rappresenta un contributo strutturale del PM₁₀.

Il Silicio mostra un comportamento parzialmente differente, con un rapporto pari a circa 0,68, indicando una presenza significativa anche nella frazione fine.

Questo risultato è coerente con la natura sabbiosa del sito, in cui particelle più fini di origine quarzosa possono contribuire anche al PM_{2.5}, pur senza rappresentarne la componente dominante.

Nel complesso, i dati confermano che i processi di risospensione e rimaneggiamento dei sedimenti superficiali influenzano in modo prevalente il PM₁₀, mentre il loro contributo alla frazione fine risulta limitato.

In *tabella 2* è riportato il confronto dei valori medi delle specie litogeniche normalizzate rispetto alla massa nelle due frazioni di particolato.

L'analisi dei dati evidenzia che le specie cristalline risultano sistematicamente meno rappresentate nel PM_{2.5} rispetto al PM₁₀, con rapporti generalmente compresi tra 0,30 e 0,35 per la maggior parte degli elementi (Al, Fe, Ti, Mn, Mg). Tale comportamento conferma che la componente meccanico-cristallina è fortemente concentrata nella frazione grossolana del particolato e rappresenta un contributo strutturale del PM₁₀.

Il Silicio mostra un comportamento parzialmente differente, con un rapporto pari a circa 0,68, indicando una presenza significativa anche nella frazione fine. Questo risultato è coerente con la natura sabbiosa del sito, in

cui particelle più fini di origine quarzosa possono contribuire anche al $PM_{2,5}$, pur senza rappresentarne la componente dominante.

Nel complesso, i dati confermano che i processi di risospensione e rimaneggiamento dei sedimenti superficiali influenzano in modo prevalente il PM_{10} , mentre il loro contributo alla frazione fine risulta limitato.

Specie	PM_{10} / massa PM_{10}	$PM_{2,5}$ / massa $PM_{2,5}$	Rapporto $PM_{2,5}$ / PM_{10}
Alluminio (Al)	364.35	111.43	0.31
Ferro (Fe)	658.30	196.31	0.30
Titanio (Ti)	28.89	8.92	0.31
Manganese (Mn)	11.87	3.96	0.33
Magnesio (Mg)	0.67	0.23	0.35
Silicio (Si)	282.60	192.67	0.68

Tabella 2: confronto dei valori medi delle specie litogeniche normalizzate rispetto alla massa nelle due frazioni di particolato.

In tabella 3 è riportato il confronto dei valori medi dei parametri riferibili alla componente combustiva, normalizzati rispetto alla massa delle due frazioni di particolato.

L'analisi dei dati evidenzia una marcata prevalenza dei contributi associati ai processi di combustione nella frazione $PM_{2,5}$ rispetto al PM_{10} .

In particolare, le frazioni carboniose (Carbonio Organico, OC, e Carbonio Elementare, EC) mostrano rapporti superiori all'unità (rispettivamente $\sim 1,36$ e $\sim 1,44$), indicando una concentrazione relativa più elevata nella frazione fine del particolato. Questo comportamento è coerente con la natura dei processi combustivi, che generano prevalentemente particelle di dimensioni submicrometriche e favoriscono la condensazione delle specie organiche sulla frazione fine.

Il levoglucosano presenta un rapporto pari a circa $\sim 1,56$, risultando anch'esso più associato alla frazione $PM_{2,5}$. Tale evidenza conferma la presenza di un contributo da combustione di biomassa, che, pur non dominante nel periodo osservato, si distribuisce preferenzialmente nel particolato fine.

I metalli in traccia mostrano comportamenti differenziati in funzione delle sorgenti di origine:

- lo zinco (Zn) presenta un rapporto elevato ($\sim 1,92$), indicando una prevalente associazione con la frazione fine, compatibile con contributi di origine combustiva e secondaria;
- nichel (Ni) e cromo totale (Cr) evidenziano rapporti nettamente superiori all'unità (rispettivamente $\sim 2,29$ e $\sim 2,35$), confermando una chiara predominanza nel $PM_{2,5}$ e un'origine riconducibile a processi ad alta temperatura e sorgenti antropiche;
- il rame (Cu) mostra invece un rapporto inferiore all'unità ($\sim 0,77$), indicando una maggiore incidenza relativa nel PM_{10} , in accordo con il contributo di processi meccanici quali l'usura dei freni e delle superfici stradali.

Nel complesso, i risultati evidenziano che i contributi combustivi e secondari sono prevalentemente associati alla frazione fine del particolato ($PM_{2,5}$), mentre le componenti legate a processi meccanici mantengono un ruolo più rilevante nella frazione grossolana (PM_{10}). Tale configurazione risulta coerente con il quadro interpretativo emerso dalle analisi composizionali e multivariate, confermando la distinzione tra una componente fine dominata da processi emissivi contemporanei e una componente grossolana maggiormente influenzata da processi di natura meccanico-crostante.

Parametro	PM ₁₀ normalizzato	PM _{2,5} normalizzato	Rapporto PM _{2,5} / PM ₁₀
Carbonio Organico (OC)	0,2118	0,2874	1,36
Carbonio Elementare (EC)	0,0766	0,1106	1,44
Levoglucosano	0,0064	0,0100	1,56
Rame (Cu)	0,3442	0,2661	0,77
Zinco (Zn)	0,6115	1,1735	1,92
Nichel (Ni)	0,0617	0,1412	2,29
Cromo totale (Cr)	0,1636	0,3843	2,35

Tabella 3: confronto dei valori medi delle specie legate alla combustione normalizzate rispetto alla massa nelle due frazioni di particolato.

5. Conclusioni

Nel periodo di osservazione considerato (24 febbraio – 25 marzo 2026), la qualità dell'aria nell'area di Bagnoli evidenzia un quadro complessivamente coerente e privo di criticità normative rilevanti, pur caratterizzato da una complessa interazione tra componenti di origine locale e contributi emissivi diffusi. I dati mostrano come la frazione PM_{10} risulti fortemente influenzata da processi di risospensione meccanico-crostale, strettamente connessi alla natura geomorfologica del sito e alla presenza di sedimenti superficiali sabbiosi; tale componente costituisce un elemento strutturale e persistente del sistema, la cui variabilità è modulata dalle condizioni meteo-diffusive e dalle sollecitazioni meccaniche locali, determinando anche il verificarsi di episodi occasionali di superamento del valore limite giornaliero.

Parallelamente, risultano riconoscibili contributi di origine antropica legati a processi combustivi e a emissioni diffuse, che si sovrappongono alla componente crostale senza configurare situazioni di criticità rispetto ai limiti normativi per i principali traccianti chimici. L'analisi composizionale e multivariata suggerisce inoltre che la risospensione del materiale superficiale non coinvolga esclusivamente componenti mineralogiche naturali, ma possa contribuire alla mobilizzazione atmosferica di elementi metallici associati ai sedimenti storicamente contaminati del sito. In particolare, la covariazione osservata tra componenti metalliche e specie tipicamente crostali, nonché la presenza del cadmio tra le specie associate al principale asse di variabilità del PM_{10} , risultano coerenti con un quadro in cui il rimaneggiamento dei materiali superficiali rappresenta un meccanismo di trasferimento atmosferico indiretto della storia industriale dell'area, più che l'espressione di emissioni industriali attive.

La frazione fine $PM_{2.5}$ presenta una composizione distinta e maggiormente rappresentativa delle emissioni contemporanee e dei processi di trasformazione atmosferica, risultando caratterizzata da una prevalenza relativa delle componenti carboniose, dei metalli in traccia di origine antropica e delle specie ioniche secondarie. Le concentrazioni osservate, pur generalmente prossime al valore limite annuale di riferimento, non evidenziano superamenti sistematici nel periodo considerato, ma indicano la presenza di un livello di fondo associato ai processi di combustione diffusa e alla formazione di aerosol secondario, tipico dei contesti urbani e periurbani e fortemente influenzato dalle condizioni di accumulo atmosferico.

Il confronto tra le due frazioni evidenzia una chiara complementarità: il PM_{10} descrive un sistema dominato da processi fisici locali e strutturali, mentre il $PM_{2.5}$ riflette in modo più diretto l'impatto delle emissioni attuali e delle dinamiche chimiche dell'atmosfera. Le analisi composizionali e multivariate confermano che i contributi combustivi e secondari risultano prevalentemente associati alla frazione $PM_{2.5}$, pur essendo presenti anche nel PM_{10} , mentre la componente meccanicocrostale rimane specifica e dominante nella frazione grossolana del particolato.

I livelli di metalli e composti organici regolamentati risultano ampiamente inferiori ai limiti previsti dalla normativa vigente. Si evidenzia tuttavia un episodio isolato relativo al nichel, per il quale è stato osservato un valore massimo pari a circa 19 ng/m^3 (circa il 95% del limite annuale); le restanti misure dello stesso parametro si attestano su valori significativamente inferiori, generalmente al di sotto del 22% del limite. Nel complesso, si osservano quindi episodi puntuali di concentrazione elevate che non determinano, comunque, superamenti dei limiti normativi su base annuale.

In relazione alle concentrazioni delle singole specie, occorre ricordare che il D.Lgs. 155/2010 non fissa limiti per le concentrazioni giornaliere, ma esclusivamente per le concentrazioni medie annuali, e solo per arsenico, cadmio, nichel e piombo, nonché per il benzo(a)pirene. A rigore, pertanto, il confronto di dati relativi a un singolo mese con i limiti annuali ha un valore puramente indicativo; tuttavia, si può osservare che le medie del periodo risultano nettamente inferiori ai rispettivi limiti. In altre parole, qualora le concentrazioni osservate nel corso di questo primo mese si mantenessero invariate su scala annuale, non determinerebbero il superamento dei limiti previsti dal decreto.

A completamento del quadro, la determinazione di diossine, furani e PCB, ha evidenziato un valore pari a 0,026 (valore medio del periodo espresso come I-TEQ pg/Nm³), che si colloca su livelli contenuti e coerenti con quelli tipicamente riscontrabili in contesti urbani non direttamente influenzati da sorgenti emissive specifiche di tale tipologia. Questo risultato rafforza l'interpretazione complessiva di assenza di un contributo attuale significativo riconducibile a emissioni industriali attive ad alto impatto, confermando che l'eventuale influenza della storia produttiva del sito si manifesta prevalentemente in modo indiretto, attraverso i materiali superficiali e i processi di risospensione, piuttosto che tramite emissioni dirette di microinquinanti organici persistenti.

In termini comparativi, l'insieme dei dati colloca la qualità dell'aria di Bagnoli in una condizione generalmente allineata a quella di contesti urbani italiani caratterizzati da pressione antropica moderata, nei quali coesistono un fondo di particolato fine legato a traffico e combustioni diffuse e una componente di particolato grossolano influenzata da fattori locali. Rispetto a tali contesti, non emergono condizioni di particolare criticità sistemica né livelli persistentemente elevati di PM_{2.5} come osservato in aree urbane più densamente urbanizzate o soggette a stagnazione atmosferica pronunciata; tuttavia, la presenza di una componente meccanico-crostante strutturale e il verificarsi di episodi di accumulo determinano una qualità dell'aria che, pur non critica in senso normativo, risulta meno favorevole rispetto ad aree a bassa pressione antropica.

Nel complesso, il quadro che emerge è quello di una qualità dell'aria compatibile con un uso residenziale e con le condizioni tipiche di un ambiente urbano costiero, in cui non si riscontrano condizioni di rischio acuto né segnali di contaminazione chimica rilevante, ma permane un'esposizione cronica a livelli di particolato riconducibili alla combinazione di fattori locali e contributi urbani diffusi. Il proseguimento del monitoraggio su scale temporali più estese risulta pertanto necessario per confermare la stabilità di tale inquadramento e approfondire la variabilità stagionale e i contributi emissivi mediante approcci quantitativi.

Dirigente Responsabile f.f.
U.O. Centro Regionale Aria, Biomonitoraggio e Odorigeni

Dott.ssa Francesca BARONE

Dirigente Responsabile
U.O. Monitoraggio Qualità dell'Aria

Dott. Piero CAU

ALLEGATO 1

La **heatmap dei loadings (PM10)** rappresenta, per ciascuna specie chimica analizzata, il grado e il segno della correlazione con ciascuna componente principale (PC1, PC2, PC3).

- **Colori giallo-verdi** → loading positivo elevato → la specie contribuisce significativamente alla componente
- **Colori rosso chiaro / neutri** → contributo moderato o nullo
- **Colori verdi scuri** → loading negativo → comportamento opposto rispetto alla componente

Una specie caratterizzata da un loading elevato su una componente e basso sulle altre può essere considerata un buon indicatore del processo dominante associato a tale componente.

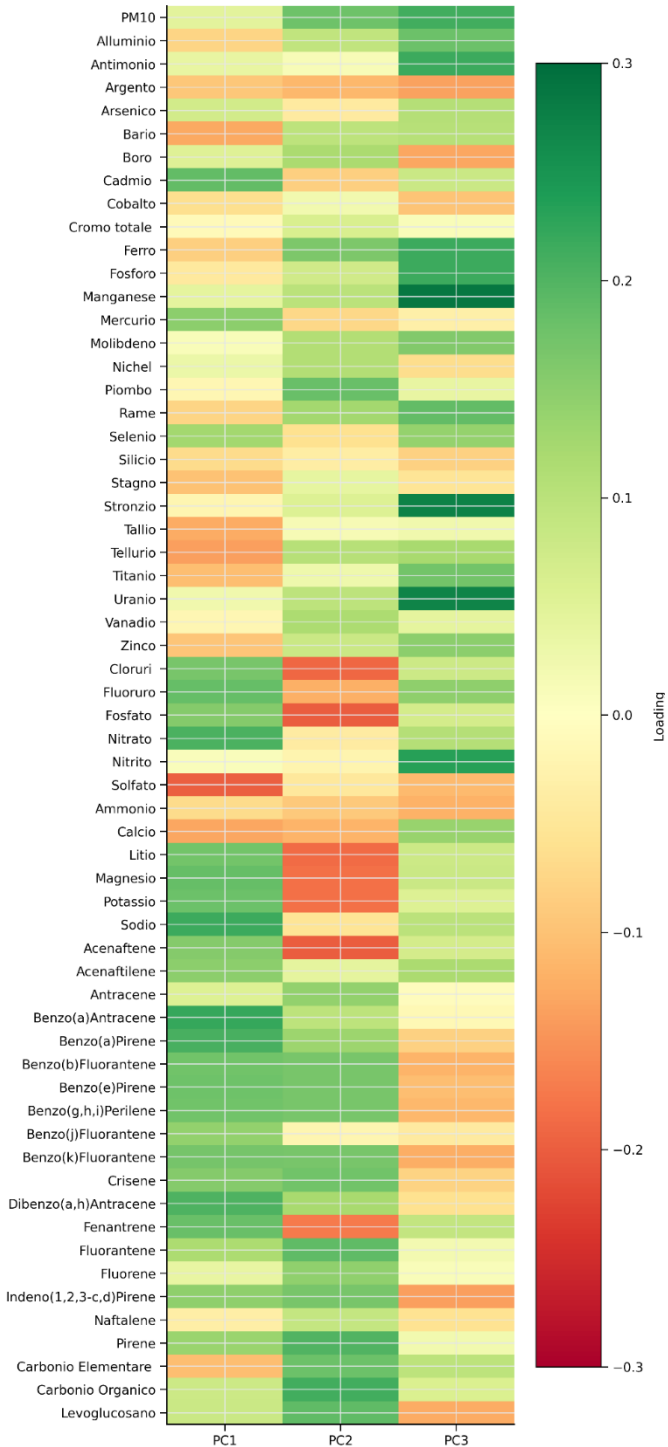
Dalla distribuzione dei loadings emerge una struttura articolata, caratterizzata da una separazione non completamente netta tra le diverse classi di specie chimiche.

In particolare:

- le **specie cristalli** (Si, Al, Ti, Fe, Mn) risultano principalmente associate alla **PC3**, indicando una componente riconducibile ai processi meccanico-cristalli e alla risospensione del materiale superficiale, coerentemente con il contesto geomorfologico del sito;
- le **specie combustive e organiche** (OC, IPA, levoglucosano) si concentrano prevalentemente sulla **PC2**, definendo una componente attribuibile ai processi di combustione diffusa;
- la **PC1** presenta contributi distribuiti su un insieme eterogeneo di specie (ioni, IPA, metalli), configurandosi come un regime di covariazione composito, associato a condizioni di accumulo atmosferico piuttosto che a una singola sorgente emissiva.

Nel complesso, la heatmap evidenzia una **parziale sovrapposizione tra le componenti**, in particolare tra PC1 e le altre due, indicando che nel periodo analizzato i diversi processi (risospensione, combustione e aerosol secondario) possono manifestarsi simultaneamente sotto specifiche condizioni meteorologiche.

Heatmap Loadings PCA - PM10



ALLEGATO 2

La heatmap dei loadings ($PM_{2.5}$) rappresenta per ciascuna specie chimica analizzata, il grado e il segno della correlazione con le componenti principali (PC1, PC2, PC3), consentendo di evidenziare le principali modalità di covariazione del sistema.

- **Colori giallo-rossi** → loading positivo elevato → la specie contribuisce significativamente alla componente
- **Colori chiari/intermedi** → contributo moderato o trascurabile
- **Colori verdi** → loading negativo → comportamento opposto rispetto alla componente

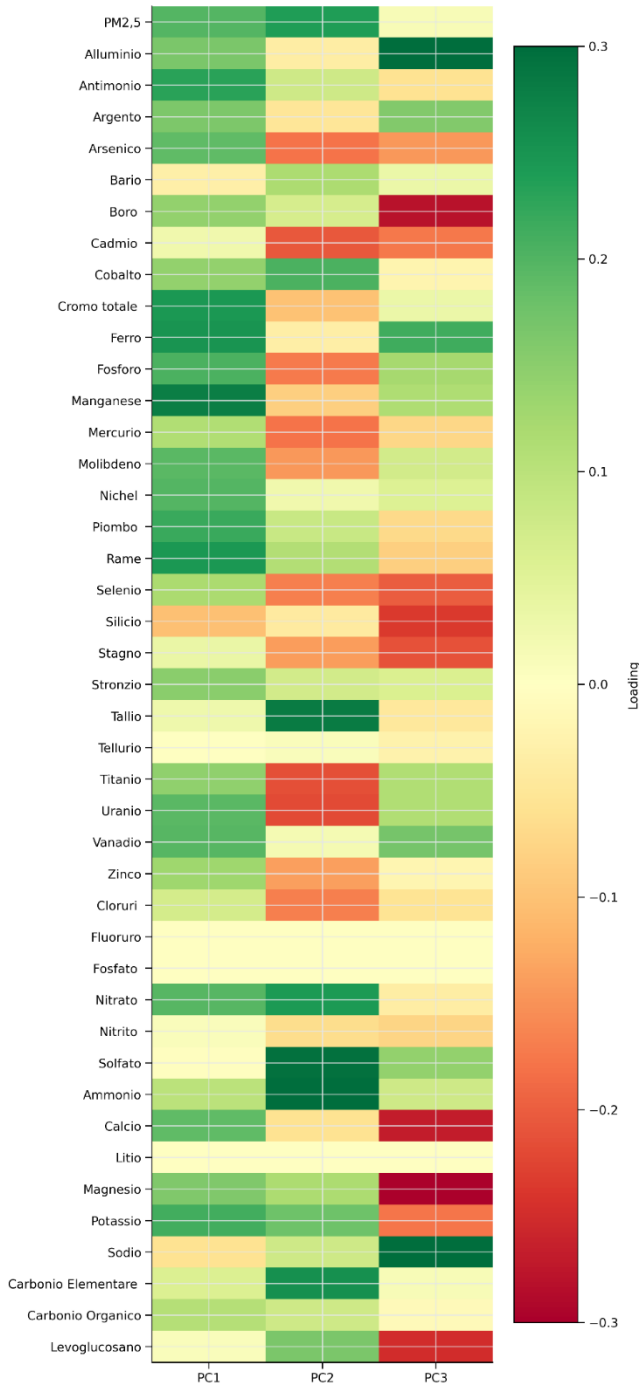
A differenza di quanto osservato per il PM_{10} , la distribuzione dei loadings nel $PM_{2.5}$ appare **più omogenea e meno compartimentata**, riflettendo la natura fine del particolato e la prevalenza di contributi diffusi e processi di formazione secondaria.

In particolare:

- la **PC1** presenta loadings distribuiti su diverse classi di specie (componenti carboniose, metalli in traccia e massa del particolato), configurandosi come un asse generale di covariazione del sistema. Tale componente è interpretabile come espressione combinata di emissioni diffuse e condizioni di accumulo atmosferico;
- la **PC2** evidenzia una maggiore associazione con le specie ioniche secondarie, in particolare nitrato e solfato, indicando il ruolo dei processi di formazione dell'aerosol secondario e dei contributi di fondo regionale;
- la **PC3** mostra contributi più deboli e meno strutturati, con una presenza limitata di elementi cristallini, confermando il carattere residuale dei processi meccanicocristallini nella frazione fine.

Nel complesso, la heatmap evidenzia una **marcata sovrapposizione tra le componenti**, con un grado di separazione inferiore rispetto al PM_{10} . Questo comportamento indica che, nel caso della frazione fine, i processi combustivi, secondari e di fondo tendono a manifestarsi simultaneamente, rendendo meno netta l'individuazione di contributi distinti.

Heatmap Loadings PCA - PM2.5





ALLEGATO 3

Tabelle riassuntive dei dati analitici utilizzati per la presente relazione, relativi al periodo 24 febbraio – 25 marzo 2026 e acquisiti nell'ambito della campagna di monitoraggio in corso nell'area di Bagnoli.

ESITI DELLA SPECIAZIONE DEL PARTICOLATO PM2.5 (24 FEBBRAIO - 25 MARZO 2026)

PARAMETRO	U.M.	24-feb	25-feb	26-feb	27-feb	28-feb	01-mar	02-mar	03-mar	04-mar	05-mar	06-mar	07-mar	08-mar	09-mar	10-mar	12-mar	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	17-mar	18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	25-mar	
PM2.5	µg/m3	11.0	22.5	22.9	22.9	19.0	18.6	16.7	22.4	27.2	26.6	24.7	18.8	27.8	17.4	23.7	13.1	14.3	10.9	4.2	3.7	3.9	6.5	3.9	8.6	10.0	5.3	10.0	12.4	13.0	
Alluminio	µg/m3	57.4	107.9	61.7	96.9	66.8	49.9	73.7	107.5	71.6	119.1	207.9	156.8	146.7	155.5	167.0	545.0	283.0	329.0	177.0	188.0	127.0	212.0	188.0	244.0	144.0	121.0	186.0	192.0	237.0	
Argento	µg/m3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.7	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	5.0	1.0	1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Arsenico	µg/m3	1.8	1.7	1.5	1.6	1.5	1.4	1.1	0.7	0.7	1.0	1.9	1.4	1.3	1.2	0.9	1.5	3.0	2.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Bario	µg/m3	7.9	11.4	8.4	8.8	9.7	10.1	18.5	8.0	16.7	12.9	11.7	10.2	13.0	9.6	7.3	9.7	15.0	10.0	16.0	14.0	8.0	8.0	14.0	11.0	12.0	9.0	13.0	14.0	10.0	
Boro	µg/m3	13.1	16.3	14.5	13.5	13.5	15.4	10.4	12.9	16.7	14.2	14.3	12.9	12.2	9.3	7.9	12.9	8.0	5.0	9.0	5.0	3.0	3.0	4.0	5.0	8.0	8.0	7.0	10.0	9.0	
Calcio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Cobalto	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Cromo totale	µg/m3	7.6	9.6	11.1	7.9	7.8	6.0	4.1	3.2	4.8	9.1	13.1	8.2	12.4	6.2	12.5	11.0	8.0	12.0	9.0	8.0	8.0	3.0	3.0	3.0	2.0	7.0	7.0	8.0	7.0	4.0
Ferro	µg/m3	206.5	191.8	181.9	156.2	151.7	153.9	151.7	153.9	166.1	218.2	308.5	223.8	223.8	181.5	295.2	380.0	346.0	59.0	172.0	185.0	172.0	115.0	357.0	201.0	220.0	188.0	177.0	201.0	191.0	480.0
Forostoro	µg/m3	18.2	22.4	17.1	22.0	17.8	16.0	17.6	16.4	17.3	19.8	22.9	19.0	16.5	17.7	22.6	35.0	27.0	38.0	41.0	30.0	24.0	38.0	31.0	38.0	31.0	30.0	32.0	27.0	27.0	27.0
Manganese	µg/m3	3.1	5.3	4.2	4.0	3.2	2.3	2.7	3.2	3.2	3.5	4.6	6.3	4.3	3.7	3.2	5.9	6.0	6.0	5.0	2.0	2.0	2.0	5.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	6.0
Mercurio	µg/m3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Molibdeno	µg/m3	26.0	27.6	24.4	20.3	21.5	16.7	<0.5	<0.5	16.7	<0.5	42.5	34.3	38.0	28.3	21.4	32.5	88.0	50.0	80.0	48.0	47.0	35.0	1.0	1.0	1.0	1.0	50.0	42.0	58.0	50.0
Nichel	µg/m3	2.0	3.1	4.4	2.4	2.4	2.6	1.5	2.3	2.7	2.7	2.0	4.2	2.0	2.0	5.8	2.3	5.6	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0
Piombo	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Rame	µg/m3	4.6	7.2	6.4	5.3	4.1	5.5	4.8	5.1	7.1	8.5	5.7	4.9	4.9	3.5	7.8	5.0	7.0	11.0	4.0	2.0	2.0	8.0	4.0	5.0	3.0	6.0	5.0	3.0	5.0	8.0
Selenio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Silicio	µg/m3	175.3	156.2	318.7	405.0	168.4	384.5	211.5	168.3	166.0	137.8	94.2	148.5	126.1	106.6	122.9	327.0	352.0	169.0	245.0	202.0	233.0	484.0	387.0	261.0	183.0	333.0	286.0	322.0	272.0	
Stagno	µg/m3	3.4	4.5	5.1	4.3	3.9	4.2	3.8	3.7	2.8	3.6	3.7	3.5	3.5	3.8	3.8	4.0	4.0	3.0	11.0	3.0	4.0	4.0	5.0	4.0	4.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0
Stronzio	µg/m3	1.8	2.9	1.7	2.5	2.1	2.0	2.4	1.3	3.1	2.8	2.8	2.4	2.1	2.2	2.4	4.0	4.0	3.0	11.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Tallio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Tiuranio	µg/m3	7.956	12.856	7.404	12.083	7.771	6.273	6.519	8.057	5.107	6.684	10.197	11.142	11.163	8.661	11.881	22	17	26	16	16	13	8	10	9	10	10	6	7	12	19
Uranio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Zinco	µg/m3	1.2	1.4	1.5	1.3	1.1	0.8	0.8	2.0	1.1	3.0	1.6	1.0	1.1	1.5	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Zinco	µg/m3	17.3	72.7	19.3	21.4	14.2	14.2	12.0	15.4	20.0	20.1	20.7	54.5	14.3	29.8	31.0	40.0	40.0	200.0	74.0	36.0	48.0	26.0	45.0	29.0	42.0	23.0	26.0	27.0	56.0	
Cloruro	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Fluoruro	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Nitrato	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Nitrato	µg/m3	1.0	1.5	2.4	1.3	1.4	1.4	1.0	2.1	2.9	3.2	3.2	1.7	0.9	2.7	1.1	2.8	1.0	2.8	2.7	3.1	3.4	3.3	3.3	2.9	2.8	2.7	2.9	1.5	1.1	2.7
Solfuro	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Ammonio	µg/m3	0.7	1.1	1.4	0.8	2.4	2.2	1.9	2.0	2.3	2.2	2.2	1.8	1.7	2.0	1.8	2.0	2.1	0.6	0.7	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Calcio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Litio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Magnesio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Potassio	µg/m3	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	
Sodio	µg/m3	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	<0.5	0.7	0.8	1.5	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6	1.7	1.6			