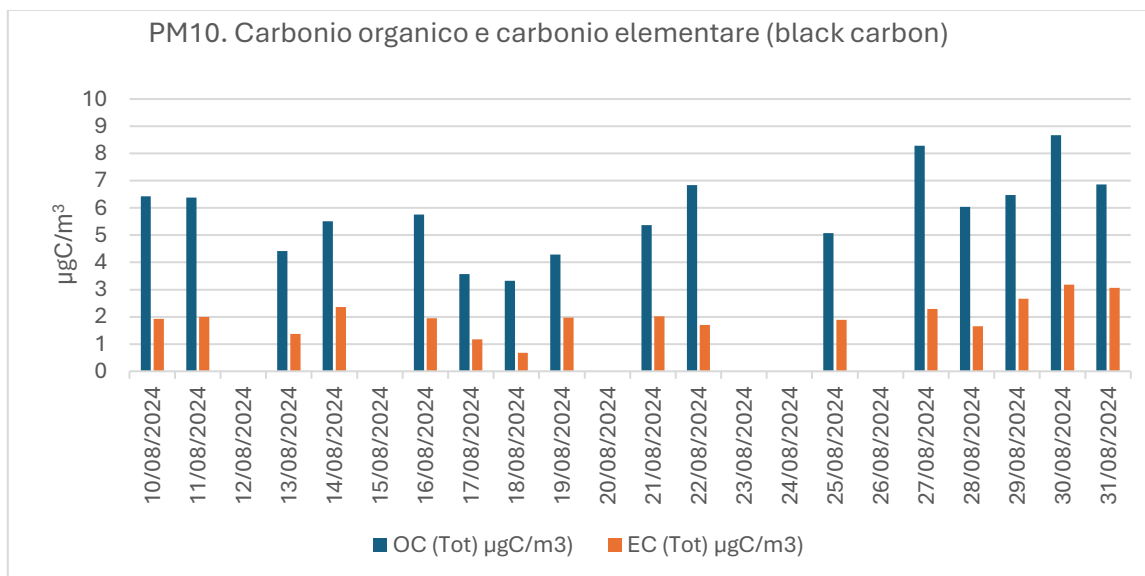
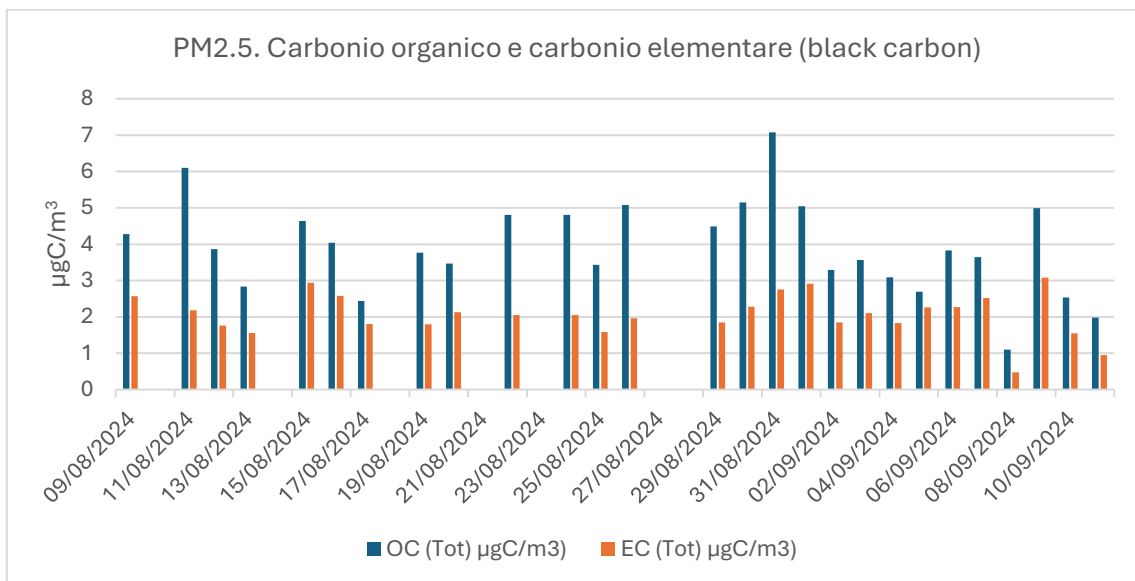


NOTA TECNICA

"INQUINAMENTO BLACK CARBON – BISSIDO DI AZOTO E POLVERI ULTRAFINI (PM1.0) AL PORTO DI NAPOLI"

I due grafici seguenti riportano i valori del carbonio organico e del carbonio elementare (black carbon) misurati nel porto di Napoli attraverso l'analisi di filtri del particolato campionati per un periodo di 24 ore (da mezzanotte a mezzanotte) in ciascun giorno. I due grafici si riferiscono alle determinazioni effettuate in particolare su filtri del PM10 (si riferiscono quindi alle polveri che hanno dimensioni al più di 10 µm) e del PM2.5 (e si riferiscono invece alle polveri che hanno dimensioni di 2.5 µm). Si ricorda che il PM2.5 e il PM10 sono le due frazioni del particolato atmosferico su cui il D. Lgs. 155/2010 ha fissato dei limiti a tutela della salute umana.





Come si può notare il black carbon (sostanzialmente equivalente al carbonio elementare, EC, in arancione dei due grafici) si aggira intorno a qualche unità (valori in microgrammi di Carbonio per metro cubo).

Nel valutare questi valori, e le modalità con cui sono misurati, occorre considerare quanto indicato dalle WHO Global Air Quality Guidelines che in merito al black carbon / elementary carbon riportano le seguenti buone pratiche (Cap. 4.2).

Una prima raccomandazione riguarda il fatto che il black carbon va monitorato in modo continuo e su estesi periodi, e non in modo occasionale.

Sulla base di prove insufficienti per proporre un valore di riferimento per la qualità dell'aria, il Gruppo di sviluppo delle linee guida ha deciso di formulare le seguenti tre dichiarazioni di buone pratiche su BC/EC, rivolte a paesi e autorità regionali.

- 1. Effettuare misurazioni sistematiche del black carbon e/o del carbonio elementare. Tali misurazioni non dovrebbero sostituire o ridurre l'attuale monitoraggio degli inquinanti per i quali sono attualmente disponibili linee guida.*
- 2. Intraprendere la produzione di inventari delle emissioni, valutazioni dell'esposizione e ripartizione delle fonti per BC/EC.*
- 3. Adottare misure per ridurre le emissioni di BC/EC all'interno della giurisdizione competente e, ove ritenuto opportuno, sviluppare standard (o obiettivi) per le concentrazioni ambientali di BC/EC.*

Per poter valutare i valori osservati (alcuni microgrammi come media in 24 ore) occorre tener presente che i valori che talvolta vengono citati si riferiscono a medie annuali e non ha alcuna validità il confronto fra misure di breve periodo con i valori medi annuali. In particolare, le stesse linee guida stabiliscono che *Per illustrare i livelli tipici di BC nell'ambiente, si possono utilizzare i risultati del United Kingdom Black*



Carbon Network (Butterfield et al., 2016). Le concentrazioni medie annuali di BC misurate nel 2015 erano pari a 0,2-0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nei siti rurali, 1,0-2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle stazioni di fondo urbane e 1,4-5,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle stazioni di traffico. Il BC rappresentava una percentuale significativa della concentrazione di massa di PM nei siti di traffico, contribuendo al 12-21% del PM10 e al 18-32% del PM2,5. In un sito di fondo urbano, queste percentuali erano rispettivamente del 5% e del 9%, mentre nei siti di fondo rurali erano pari al 2-3% di ciascuna delle frazioni di PM. Le concentrazioni medie di BC osservate negli studi epidemiologici variavano da 0,65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre per il carbonio elementare le medie generalmente variavano da 0,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e raggiungevano 7,5-8,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in singoli studi provenienti dall'Asia (Khreis et al., 2017; Luben et al., 2017).

Quanto sopra evidenzia che i valori osservati al porto sono consistenti con quelli che ci si aspetta in stazioni di traffico, cui è assimilabile l'area del porto di Napoli in cui è stato effettuato il campionamento dei filtri (molo Angioino), tenendo conto della molteplicità di fonti presenti.

Occorre infine ricordare che le linee guida dell'OMS non hanno carattere normativo, e la legislazione vigente (né quella che prevedibilmente entrerà in vigore con il recepimento della Direttiva Europea 2024/2881 da parte del nostro Paese) stabiliscono limiti sul black carbon.

Ossidi di Azoto (NO e NO₂)

L'ossido e il biossido di azoto (NO e NO₂) sono specie chimiche presenti in aria ambiente prodotte sia da sorgenti naturali (incendi, eruzioni vulcaniche, processi biologici) che antropiche (combustioni ad elevata temperatura in ambiente controllato).

Il termine ossidi di azoto NO_x indica la somma del monossido di azoto e del biossido di azoto (NO_x=NO+NO₂). La principale fonte di emissione degli NO_x è il traffico veicolare; motori alimentati con carburanti tipo diesel, gasolio pesante usato per la navigazione marittima e benzina, altre fonti sono gli impianti di riscaldamento civili e industriali, le centrali per la produzione di energia e un ampio spettro di processi industriali.

Il monossido di azoto (NO), gas con tossicità limitata, è un inquinante primario che si forma generalmente dai processi di combustione ad alta temperatura. Nei pressi delle arterie viarie è un tipico tracciante delle emissioni dei veicoli e risente meno delle polveri sottili e del biossido di azoto a scala locale della variabilità meteorologica.

Il biossido di azoto (NO₂) è un forte agente ossidante, si presenta come un gas di colore rosso bruno, dall'odore intenso e pungente, che avendo una densità maggiore dell'aria tende ad accumularsi al livello del suolo. È responsabile, insieme ad altre sostanze, del cosiddetto smog fotochimico, in quanto in condizioni di forte irraggiamento solare, provoca delle reazioni fotochimiche secondarie che generano altri composti inquinanti (come l'ozono troposferico).

Si forma principalmente dall'ossidazione del monossido di azoto (NO) prodotto dai processi di combustione (centrali termoelettriche, riscaldamento, motori a combustione interna), qualunque sia il combustibile utilizzato, per reazione diretta ad elevata temperatura (>1.200°C) tra l'azoto e

l'ossigeno in aria.

Il biossido di azoto può essere generato 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).

La norma tecnica di riferimento per la determinazione degli ossidi di azoto è la UNI EN 14211:2012 "Metodo normalizzato per la misurazione della concentrazione di diossido di azoto e monossido di azoto mediante chemiluminescenza". Il principio di funzionamento di questo analizzatore sfrutta, appunto, la reazione di chemiluminescenza tra monossido di azoto ed ozono. In particolare, nella camera di misura entrano contemporaneamente aria ambiente ed ozono, quest'ultimo generato dall'analizzatore, il monossido di azoto (NO) reagisce con l'ozono (O₃) per produrre NO₂ allo stato eccitato, che ritorna successivamente al suo stato fondamentale emettendo una radiazione nella regione dell'ultravioletto. La radiazione emessa è correlata alla concentrazione di monossido di azoto ed è registrata da un detector.

La concentrazione di biossido di azoto viene misurata convertendo il biossido di azoto presente nell'aria campione in NO; così in camera di misura si ottiene la concentrazione totale degli ossidi di azoto (NO_x) e dalla differenza tra ossidi totali e la concentrazione di NO si ottiene la misura di NO₂.

Per la campagna effettuata presso il Molo Angioino con il laboratorio LM02, in tutto l'anno 2024 e prima metà del 2025, si illustra l'andamento delle misure del parametro NO₂.

La stazione LM02 è classificabile come "stazione da traffico/industriale-portuale", in quanto posizionata in un'area strategica soggetta alla duplice pressione del traffico veicolare urbano e delle attività portuali.

L'analisi del grafico (Fig. 1 e Fig. 2) evidenzia le seguenti caratteristiche:

- Elevata Volatilità: L'andamento dell'NO₂ è estremamente "spiky", con fluttuazioni orarie molto marcate. Questo è tipico delle stazioni direttamente esposte a sorgenti primarie, dove i livelli dell'inquinante aumentano e diminuiscono rapidamente in funzione dei flussi di traffico (veicolare e marittimo) e delle condizioni micrometeorologiche.
- Frequenti Picchi Elevati: Durante tutto l'arco dell'anno si osservano numerosi picchi orari che superano ampiamente la soglia di 100 µg/m³. In particolare, si notano picchi di concentrazione massima che, in due casi, si avvicinano pericolosamente al limite orario di legge, con valori che superano i 180 µg/m³, per il 2024, mentre per la prima metà del 2025 i dati non presentano picchi importanti.
- Livello di Fondo Sostenuto: Anche nei momenti di minor concentrazione, il "livello di fondo" raramente scende al di sotto dei 30-45 µg/m³. Questo indica una pressione inquinante quasi costante sull'area, anche al di fuori delle ore di punta.

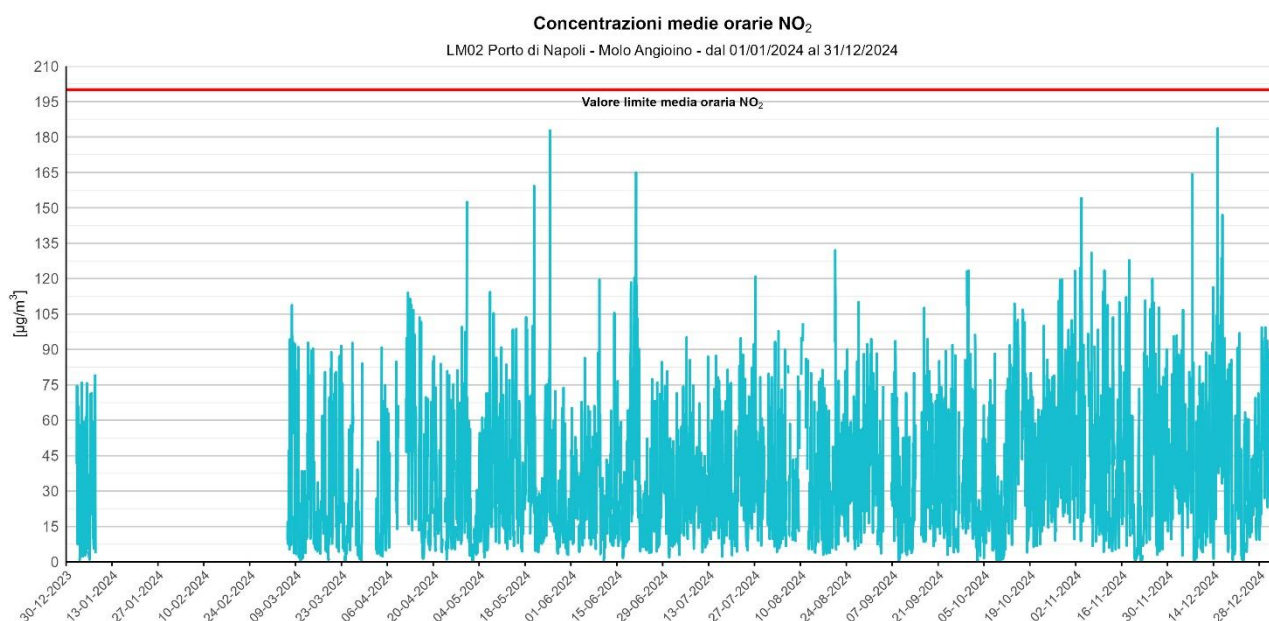
Confronto con i Limiti Normativi (D.Lgs. 155/2010)

La normativa sulla qualità dell'aria fissa per l'NO₂ due limiti principali a tutela della salute umana:

1. Limite sul Valore Medio Annuale: La media delle concentrazioni durante l'anno solare non deve superare i 40 µg/m³.
2. Limite sul Valore Orario: La media oraria di 200 µg/m³ non deve essere superata per più di 18 volte in un anno solare.

Valutazione rispetto ai limiti:

- Media Annuale: per quanto riguarda la media per il 2024 si ha il valore di 36,6 µg/m³ mentre per la prima parte del 2025 si ha 33.3 µg/m³.
- Superamenti Orari: Il grafico mostra picchi che, pur non raggiungendo i 200 µg/m³ nel campione visibile, si avvicinano almeno in due casi (oltre 180 µg/m³) per quanto riguarda l'anno 2024. Per la prima parte del 2025 i picchi si mantengono molto più contenuti.



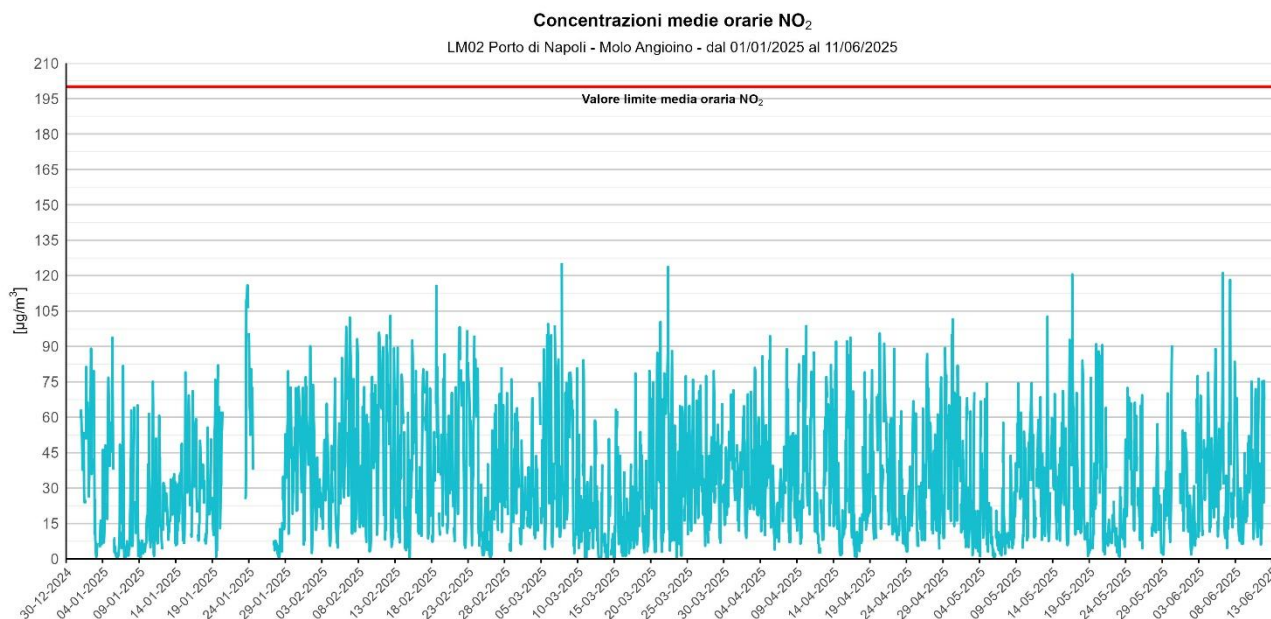


Fig. 2: andamento delle concentrazioni medie orarie NO₂ per la prima metà anno 2025, stazione mobile LM02

Inoltre, sono state eseguite ulteriori campagne di monitoraggio con le stazioni mobili LM03 e MMB i cui dati sono riepilogati nella tabella seguente.

Posizione	Media del periodo	Nome stazione mobile	Superamenti dei limiti 200 µg/m ³	Inizio campagna	Fine campagna
Aria adiacente AdSP	25,3	LM03	0	9/12/2023	16/02/2024
Radice Molo 21	48,2	MMB	7	19/02/2024	24/05/2024
Calata Pilieri	36,9	MMB	0	25/05/2024	4/9/2024
Calata Pilieri	68,0	MMB	0	20/12/2024	06/4/2025



Polveri ultrafini (PM1.0)

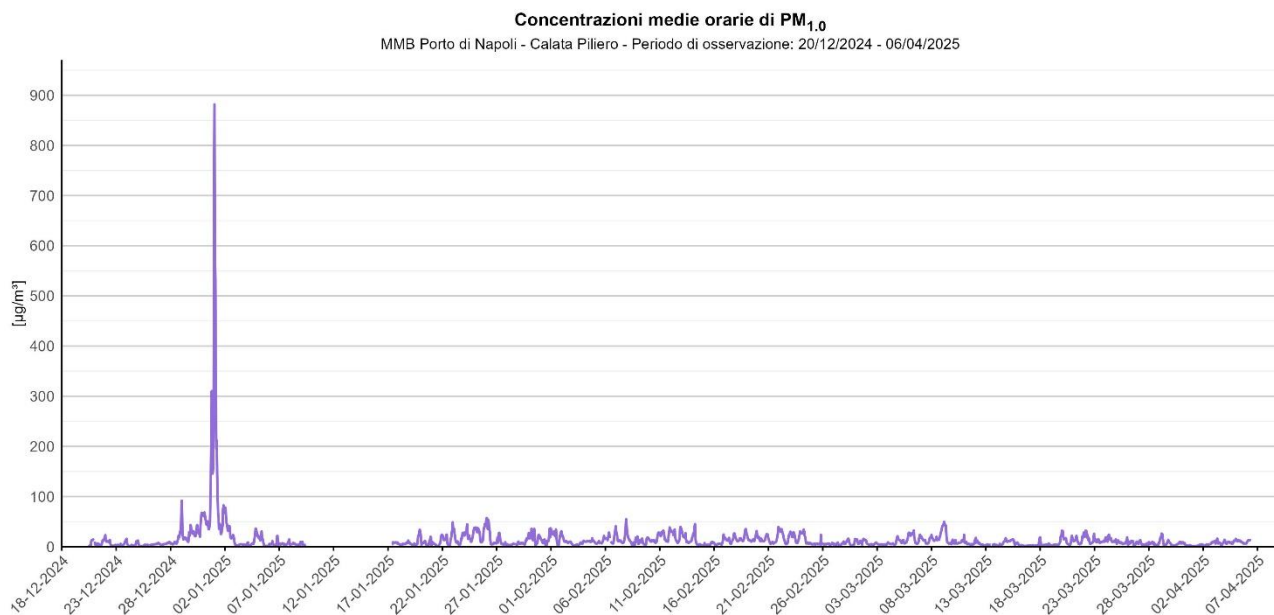
Il **PM1.0** è definito come il particolato sospeso con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 1 micrometro, costituita da particelle ultrafini capaci di raggiungere gli alveoli polmonari. Questa componente del particolato origina sia da fonti naturali che antropiche, tra cui processi di combustione, traffico veicolare, attività portuali e industriali, e riscaldamento domestico.

La frazione PM1.0 non dispone attualmente di limiti guida quantitativi stabiliti dall'OMS, né di target normativi a livello internazionale o europeo. L'OMS riconosce che le particelle con diametro $\leq 1 \mu\text{m}$ hanno una capacità superiore di penetrazione nelle vie respiratorie profonde e che esistono potenziali effetti avversi sulla salute, ma segnala che le conoscenze epidemiologiche e tossicologiche disponibili non sono ancora sufficienti per stabilire un valore limite, anche in ragione di problemi analitici, mancanza di serie storiche di dati e variabilità delle fonti. L'OMS raccomanda quindi *il monitoraggio e la ricerca continuativa* sulle UFP e sulle frazioni di PM più fini, in quanto ritenute di interesse sanitario crescente. (OMS, *Global Air Quality Guidelines 2021*, Capitolo 4)

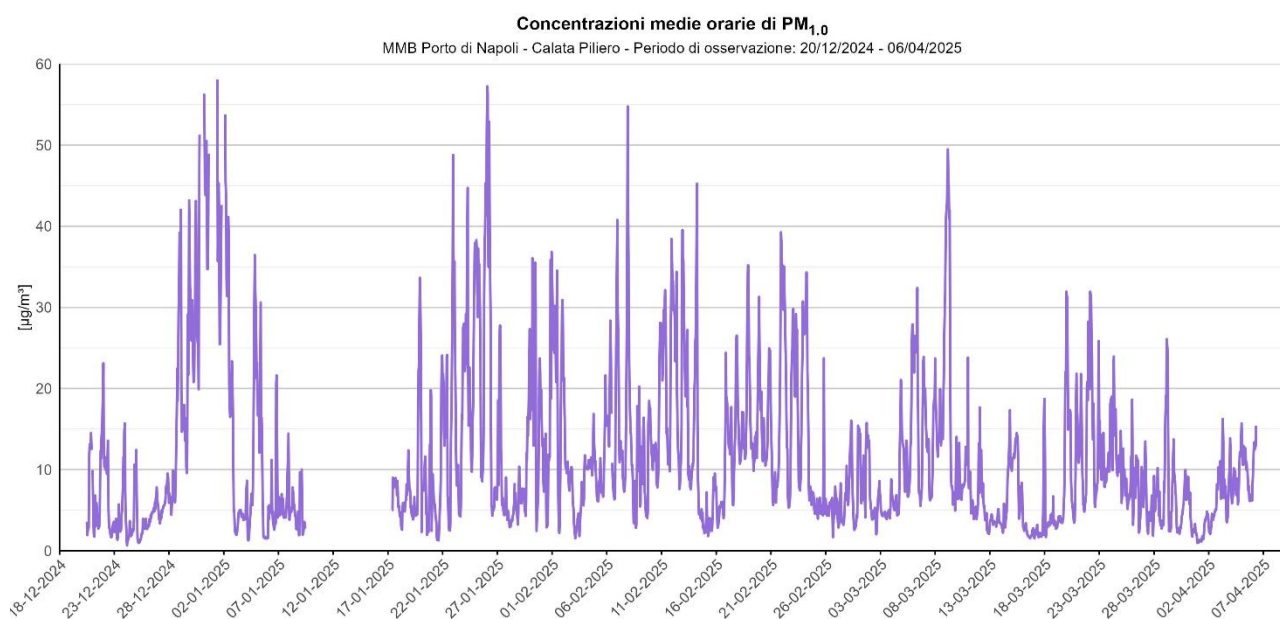
Dall'analisi dei dati orari rilevati presso il porto di Napoli si osserva una significativa variabilità delle concentrazioni di **PM1.0**, con valori medi generalmente contenuti, fatta eccezione per specifici episodi. In particolare, si evidenzia un marcato aumento delle concentrazioni durante il periodo invernale, fenomeno attribuibile anche al contributo dei sistemi di riscaldamento domestico, come ampiamente documentato in letteratura per i contesti urbani.

Si segnala inoltre che, in occasione dei festeggiamenti di Capodanno 2025, sono stati registrati picchi eccezionali fino a circa **900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , come mostrato nel seguente grafico, attribuibili prevalentemente

all'utilizzo diffuso di fuochi d'artificio. In condizioni ordinarie, i livelli di **PM1.0** risultano notevolmente inferiori.

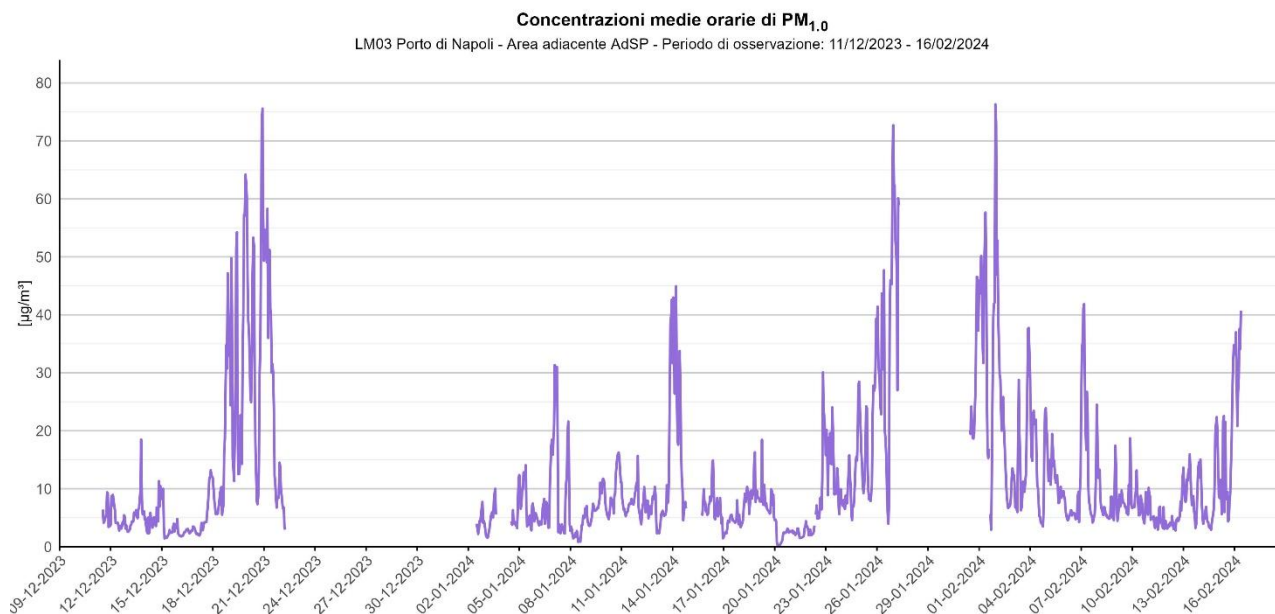


Il grafico seguente è lo stesso ma scalato per poter apprezzare meglio i valori medi orari che si attestano al di sotto dei 60 µg/m³



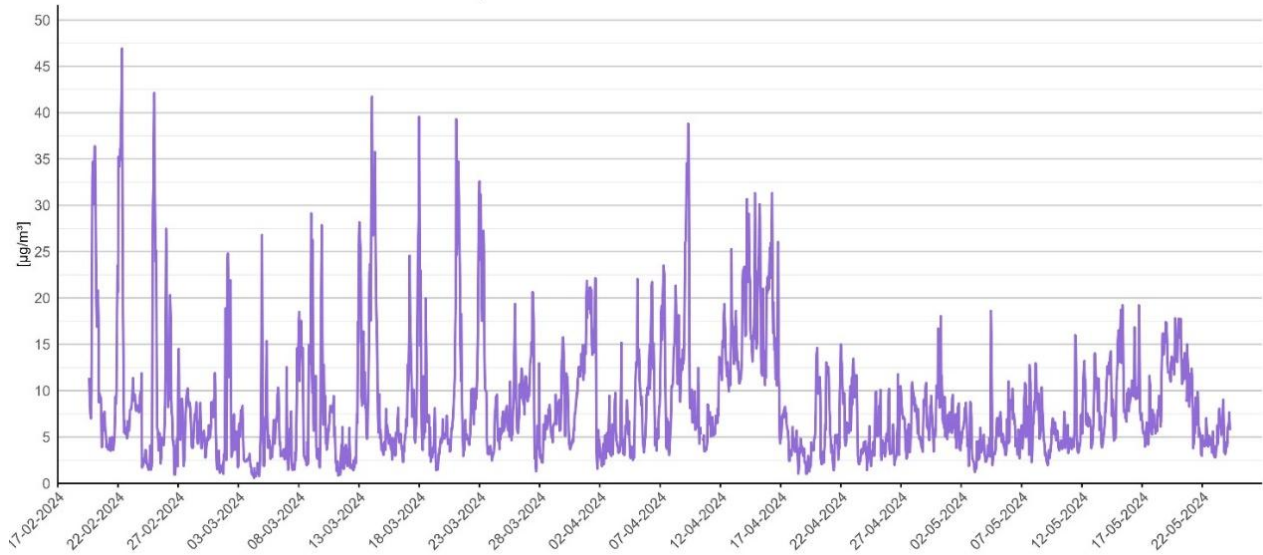
Il parametro, viene costantemente monitorato nell'area, in conformità con le raccomandazioni delle **linee guida OMS** (WHO Global Air Quality Guidelines), che promuovono la sorveglianza sistematica delle polveri ultrafini, pur in assenza di limiti normativi specifici a livello nazionale ed europeo.

Oltre ai grafici sopra riportati, in quelli seguenti è possibile apprezzare la variazione delle medie orarie registrate durante i periodi di monitoraggio effettuati su vari punti di misura all'interno dell'area portuale di Napoli.



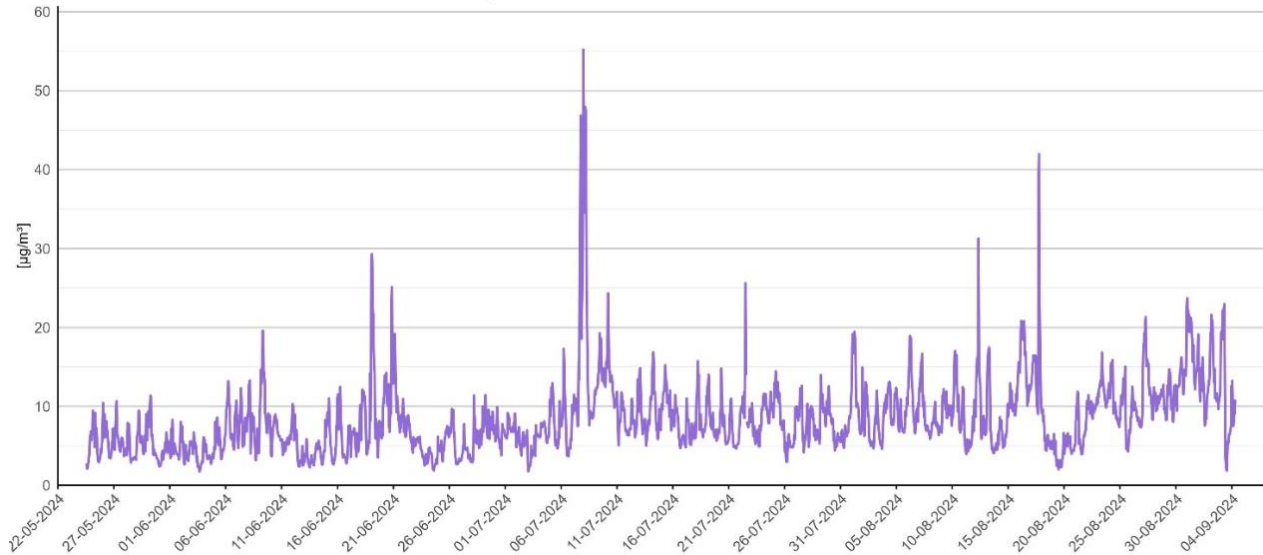
Concentrazioni medie orarie di PM_{1,0}

MMB Porto di Napoli - Radice Molo 21 - Periodo di osservazione: 19/02/2024 - 24/05/2024



Concentrazioni medie orarie di PM_{1,0}

MMB Porto di Napoli - Calata Piliero - Periodo di osservazione: 24/05/2024 - 04/09/2024



Conclusioni

In sintesi,

1) per quanto riguarda il **black carbon**, i valori misurati sono in linea con quelli che ci si deve aspettare in aree dove l'inquinamento è prevalentemente dominato dal traffico veicolare.

Riferimento: Linee guida dell'OMS citate nel testo.

2) in merito al biossido di azoto (NO₂) i valori orari presentano picchi elevati, con 7 superamenti del limite orario registrato fra febbraio e maggio del 2024 presso il laboratorio mobile installato alla Radice Molo 21, ma la media annuale (2024) misurata dal laboratorio mobile installato permanentemente al molo Angioino ha comunque registrato un valore medio annuo inferiore al limite di legge (36,6 µg/m³ a fronte di un limite di 40 µg/m³). Valori della media annua più elevati si registrano da anni nelle stazioni cittadine del Museo Archeologico Nazionale e della Stazione Centrale e l'NO₂ misurato al porto risente sia delle sorgenti cittadine (traffico veicolare, riscaldamenti in inverno) che di un contributo proveniente dal Porto stesso.

3) in merito alle polveri ultrafini (PM_{1.0}) non esistono limiti fissati dalla normativa a tutela della salute umana, e la criticità di gran lunga più significativa riscontrata al Porto di Napoli è associata ai botti di Capodanno. I valori registrati al Porto sono in linea con quelli riscontrati presso altre stazioni della Campania. Sono necessari ulteriori approfondimenti per valutare un eventuale specifico contributo del Porto.

Dirigente U.O.
Monitoraggio qualità dell'aria
Dott. Piero CAU

Dirigente U.O.C.
Monitoraggi e CEMEC
Dott. Vincenzo BARBUTO