

# **Analisi delle concentrazioni di polveri sottili nelle metropolitane: confronti internazionali ed analisi sperimentale per la metropolitana di Napoli**

*Candidato: Alessandro Coscia*

*Relatore: prof. Ennio Cascetta*

*correlatore: ing. Armando Carteni*

## **Abstract**

La considerazione di partenza di questa ricerca è la constatazione che in diverse città del mondo sono stati effettuati numerosi studi volti a misurare le concentrazioni di polveri sottili (PM) nei sistemi metropolitani urbani (es. Los Angeles, Pechino, Sidney, Roma, Parigi, Londra), evidenziando elevate concentrazioni di tale inquinante.

Per particolato atmosferico si intende una miscela di particelle solide e liquide, sospese in aria, che varia per caratteristiche dimensionali, composizione chimica e provenienza. Esistono diversi sistemi di classificazione delle polveri sottili; con riferimento alle dimensioni del diametro, la più diffusa classica questo inquinante in PM<sub>2,5</sub>, ovvero la frazione di particolato il cui diametro è inferiore o uguale a 2,5µm (micron), ed il PM<sub>10</sub> che è invece la frazione di particolato con un diametro uguale o inferiore a 10 µm (micron). Per gli effetti sulla salute umana, minore è la dimensione delle particelle, maggiore è la loro capacità di penetrare nei polmoni e quindi il loro potenziale effetto nocivo. Le polveri PM<sub>10</sub> sono denominate anche polveri inalabili, in quanto sono in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Le polveri PM<sub>2,5</sub> sono invece denominate polveri respirabili in quanto sono in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (dalla trachea sino agli alveoli polmonari).

L'esposizione a tali polveri risulta sicuramente potenzialmente più pericolosa per i soggetti deboli come anziani, bambini, cardiopatici e pazienti con malattie respiratorie.

Analizzando i numerosi studi volti a valutare **gli effettuati dannosi provocati dal particolato atmosferico sulla salute umana** (es. Delfino et al., 2005; Li et al., 2009; Campbell, 2004), significativi sono i risultati a cui è giunto Pope (2003) che dimostra come vivere in un ambiente urbano caratterizzato da una concentrazione di PM<sub>2,5</sub> superiore di 10 µg/m<sup>3</sup> rispetto ad un altro, vi è un aumento del rischio di mortalità variabile tra l'8% e il 18%. Interessante è anche il risultato delle indagini condotte da Britton (2003), secondo cui viaggiare per 20 minuti nella metro di

Londra, la più inquinata al mondo, ha lo stesso effetto, sui polmoni, di fumare una sigaretta. Infine, Karlsson et al. (2005) hanno studiato il particolato prodotto dalle metropolitane giungendo a concludere che la sua composizione prevalentemente ferrosa (particelle di Fe) è circa otto volte più tossica rispetto a quelle prodotte dalla combustione interna dei motori delle auto aumentando significativamente lo “stress ossidativo” delle cellule polmonari.

**Il particolato nelle metropolitane** è stato dimostrato essere **generato sia dall’usura meccanica dovuta all’attrito rotaie – ruote del treno – freni**, soprattutto nelle fasi di frenatura e ripartenza della metro, sia dall’attrito tra catenarie e pantografo (sistema di alimentazione dei treni metropolitani).

**Ad oggi non esiste una normativa specifica che limita le emissioni in ambiente sotterraneo.** La Direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo affronta la tematica relativa alla qualità dell’aria, ma analizza nello specifico i limiti di emissione, per l’ambiente esterno, sia per il PM10 che per il PM2,5. Per il PM10 fissa in 50 µg il valore giornaliero da non superare più di 35 volte in un anno e in 40 µg il valore medio limite annuale. Per quanto concerne il PM2,5, invece, viene fissato il limite medio annuale da non oltrepassare in 25 µg.

A partire da queste considerazioni, **gli obiettivi dello studio sono stati:**

- **realizzare un’attenta ed approfondita analisi bibliografica sul PM nelle metropolitane;**
- **effettuare misure ed analisi statistiche sulle concentrazioni di PM misurate nella “linea1” della metro di Napoli;**
- **studiare i sistemi di abbattimento delle polveri in metro da utilizzare per retrofittare le metropolitane.**

Con riferimento all’analisi dello stato dell’arte, si è partiti andando ad analizzare, nel mondo, le concentrazioni media in banchina. Il primo aspetto, che balza subito agli occhi, è che, qualora valesse il limite normativo per l’ambiente esterno, nessuna delle città oggetto di indagine presenterebbe un valore di concentrazione al di sotto di tale limite. Le situazioni più preoccupanti si verificherebbero a Londra e Stoccolma con valori delle concentrazioni fino a 14 volte superiori al limite ammissibile in ambiente esterno. Passando alle concentrazioni relative alla condizione a bordo treno si può osservare come Londra si conferma la metropolitana più inquinata al mondo. Ciò che permette l’ingresso delle polveri sottili anche a bordo treno sono sia l’apertura delle porte per la salita e la discesa dei passeggeri alle stazioni, sia l’usanza molto diffusa di viaggiare con i finestrini aperti riscontrata in molti casi studio.

Un primo risultato originale si è ottenuto studiando la correlazione tra le concentrazioni misurate nei casi studio analizzati e l’anzianità (età) della linea monitorata, stimando un coefficiente di correlazione (r) superiore a 0,9 (correlazione diretta elevata tra le due variabili).

La seconda parte dello studio ha riguardato la campagna di misure presso la “linea1” della metropolitana di Napoli. Le indagini sono state eseguite con la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell’Informazione (DII) della Seconda Università degli Studi di Napoli (SUN), al fine di misurare le concentrazioni di polveri sottili in banchina, a bordo treno e nell’ambiente esterno.

La “linea1” serve complessivamente 17 stazioni, di cui 3 si trovano all’esterno, ed ha una lunghezza complessiva di circa 18 km. Le misure sono state eseguite tra Dicembre 2013 e Gennaio 2014, nei giorni feriali e durante l’orario di punta del mattino. Per rendere i risultati confrontabili tra di loro, le misurazioni sono state sempre effettuate in condizioni climatiche omogenee di temperatura (12-18 °C) e velocità del vento (<10km/h). Lo strumento di misura utilizzato, in possesso presso DII, è stato l’AEROCET 531. Tale apparecchiatura è costituita da due sonde (una per rilevare le polveri e l’altra per determinare le condizioni di temperatura ed umidità), ha una frequenza di campionamento di 2 minuti, risulta portatile e maneggevole e gode di grande facilità nello scaricare e stampare i dati ottenuti.

Per quanto riguarda la metropolitana di Napoli, i valori più bassi in banchina si sono registrati nella stazione di Piscinola; ciò è giustificato dal fatto che si tratta di una stazione esterna (all’aperto). Confrontando i valori medi di Napoli con quelli europei e mondiali, risulta immediatamente evidente come la Linea 1 ha una concentrazione di PM<sub>2,5</sub> inferiore del 66% rispetto alla media europea e del 62% rispetto alla media mondiale. L’analisi puntuale ha evidenziato come durante l’ingresso dei treni in banchina le concentrazioni misurate aumentano sino a tre volte, confermando la teoria secondo cui è il momento di frenata dei treni una delle cause principali dell’aumento delle concentrazioni di particolato in banchina a causa della risospensione delle PM causata dalla turbolenza indotta dall’arrivo del treno.

Passando alla condizione di bordo treno si è analizzato il percorso complessivo della Linea 1 da Piscinola a Garibaldi. Le concentrazioni misurate a bordo treno si mantengono, mediamente, molto basse nelle prime tre stazioni situate in ambiente esterno per poi aumentare in maniera significativa una volta entrati nel sottosuolo a causa dell’ingresso delle polveri attraverso i finestrini e durante la fase di apertura delle porte. Dal confronto di Napoli con la media europea e mondiale si vede come nella condizione di bordo treno si hanno concentrazioni di polveri più basse dell’81% rispetto alla media europea e del 63% rispetto a quella mondiale.

Attraverso modelli di simulazione di trasporto è stato stimato che “la linea1” è utilizzata da oltre 100.000 passeggeri al giorno, con un tempo di attesa in banchina di 18 minuti a passeggero (tra andata e ritorno).

Le concentrazioni osservate e la correlazione con l'anzianità della linea suggeriscono l'introduzione di sistemi di abbattimento del particolato per evitare un peggioramento della situazione. Per quanto riguarda i sistemi di abbattimento delle polveri si sono studiati quattro dispositivi:

- le porte di banchina;
- gli impianti di nebulizzazione dell'acqua;
- i sistemi di ventilazione delle stazioni;
- i sistemi di frenatura di tipo "rigenerativo".

Con riferimento alle porte di banchina, questo sistema tecnologico, benché introdotto per aumentare la sicurezza in banchina ha come effetto quello di schermare la banchina stessa dalle polveri sottili presenti in galleria. In letteratura esistono due studi che hanno misurato l'effetto dell'introduzione delle porte di banchina sulle concentrazioni di polveri sottili misurate. Querol et al. (2012) a Barcellona e Kim et al. (2007) a Seoul hanno infatti misurato una riduzione delle concentrazioni tra prima e dopo l'installazione delle porte di banchina fino al 67%. Tale risultato è molto interessante e, se valesse anche per la metro 1 di Napoli, porterebbe ad una riduzione drastica delle concentrazioni in banchina.

L'impianto di nebulizzazione è un sistema già in uso in molte metropolitane che a Milano, Barcellona e Santiago del Cile per produrre refrigerio ai passeggeri durante i mesi estivi. Con riferimento alle polveri sottili, le micro particelle d'acqua prodotte hanno la capacità di intrappolare le piccole particelle di polvere inglobandole nella loro massa e trascinandole a terra nel fenomeno di condensazione.

Con riferimento agli impianti di ventilazione, questi permettono da una parte l'immissione in banchina di aria di rinnovo proveniente dall'esterno della struttura, e dall'altra l'aspirazione dell'aria malsana presente in banchina.

Il sistema di frenatura rigenerativo è, infine, un sistema in fase di sperimentazione in diverse metropolitane del mondo come a Madrid, Los Angeles, Sacramento e Denver. Tale sistema si basa sull'utilizzo del freno motore in parziale sostituzione del freno meccanico con la conseguente diminuzione di attrito tra pastiglie e dischi freno e quindi meno emissioni di particolato.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri della ricerca potrebbe essere interessante effettuare delle misure anche sulla "linea2" della metro di Napoli per verificare l'equazione di correlazione stimata tra anzianità e concentrazioni di PM. Essendo la "linea 2" antecedente alla "linea 1" ci aspetteremmo, infatti, dei valori di concentrazioni più elevati. Infine, interessante sarebbe anche effettuare misure su metropolitane su gomma per valutare le differenze nelle concentrazioni di PM misurate.

## ***Bibliografia***

- Aarnio P. et al., *The concentrations and composition of and exposure to fine particles (PM<sub>2.5</sub>) in the Helsinki subway system*, Atmospheric Environment, 2005, 5059-5066.
- Alver Sahin et al., *PM<sub>10</sub> concentration and the size distribution of Cu and Fe-containing particles in Istanbul's subway system*, Transportation Research Part D, 2012, 48-53.
- Branis M., *The contribution of ambient sources to particulate pollution in spaces and trains of the Prague underground transport system*, Atmospheric Environment, 2006, 348-356.
- Cheng H. et al., *Comparisons of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Particle Number, and CO<sub>2</sub> Levels inside Metro Trains Traveling in Underground Tunnels and on Elevated Tracks*, Aerosol and Quality Research, 2012, 879-891.
- Cheng H. et al., *Levels of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Taipei Rapid Transit System*, Atmospheric Environment, 2008, 7242-7249.
- Colombi C. et al., *Particulate matter concentrations, physical characteristics and elemental composition in the Milan underground transport system*, Atmospheric Environment, 2013, 166-178.
- Gerber A. et al., *Airborne particulate matter in public transport: a field study at major intersection points in Frankfurt am Main (Germany)*, Journal of occupational medicine and toxicology, 2014, 9-13.
- Gomez-Perales J.E. et al., *Bus, minibus, metro inter-comparison of commuters exposure to air pollution in Mexico City*, Atmospheric Environment, 2007, 890-901.
- Johansson C., Johansson P., *Particulate matter in the underground of Stockholm*, Atmospheric Environment, 2003, 3-9.
- Kam W. et al., *Particulate matter (PM) concentrations in underground and ground-level rail systems of the Los Angeles Metro*, Atmospheric Environment, 2011, 1506-1516.
- Kim K. et al., *Spatial distribution of particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) in Seoul Metropolitan Subway stations*, Journal of Hazardous Materials, 2008, 440-443.
- Querol X. et al., *Variability of levels and composition of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the Barcelona metro system*, Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, 5055-5076.
- Salma I., Weidinger T., Maenhaut W., *Time-resolved mass concentration, composition and sources of aerosol particles in a metropolitan underground railway station*, Atmospheric Environment, 2007, 8391-8405.