

Università degli Studi di Napoli “Federico II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio

Tesi di Laurea

“Variabilità spaziale della concentrazione in atmosfera del
numero di particelle fini nella città di Napoli”

“Spatial variability of fine particles’ number concentration in
Naples”

ABSTRACT

Relatore:
Prof. Fabio Murena

Candidati:
Esposito Davide
M67/394
Iacoviello Giuseppe
M67/391

Anno Accademico 2017/2018

L'attività di tesi è incentrata sullo studio della qualità dell'aria nella città di Napoli. Poiché per questa città non si hanno a disposizione dati relativi al numero di particelle, l'obiettivo della tesi è quello di realizzare una campagna di monitoraggio per la frazione fine del particolato (FPs), analizzando il numero di particelle e tramite questi dati studiare la variabilità spaziale dei ricettori scelti.

Per realizzare le misure è stato utilizzato un contatore ottico di particelle P-Trak 8525, in grado di campionare nel range $0.02 - 1 \mu\text{m}$.



Fig. 1 - P-Trak 8525

Questo strumento è un contatore di particelle a condensazione (CPC - Condensation Particle Counter) che permette di rilevare le particelle di piccole dimensioni, grazie ad un processo di condensazione che abbassa il diametro minimo misurabile accrescendo le dimensioni delle particelle. La crescita delle particelle avviene per esposizione dell'aerosol a vapore saturo di alcool, generalmente butanolo.

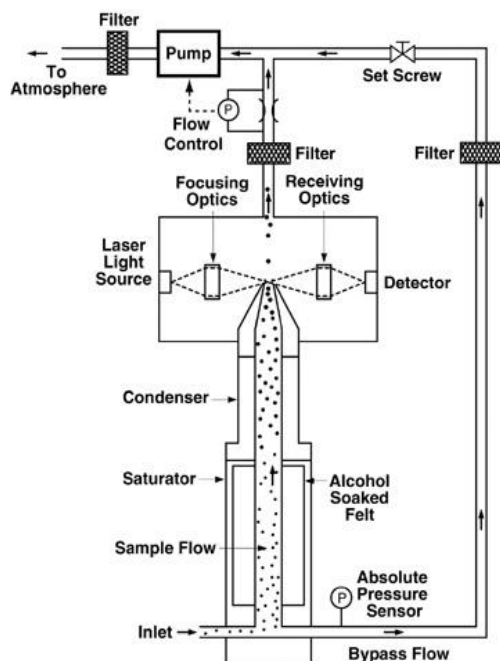


Fig 2 – Funzionamento di un CPC

Dal basso entra l'aria con le particelle, queste passano nella camera interna, in contatto con quella in cui c'è l'alcool, che permea dalle pareti ed entra in una zona riscaldata a 70-80 gradi ed evapora. Il gas si mescola con l'aria in entrata, dopodiché questa corrente miscelata va nella zona successiva più fredda dove l'alcool condensa sulle particelle formando goccioline delle stesse dimensioni (circa $1 \mu\text{m}$). A questo punto la misura può essere effettuata mediante il principio del "light scattering" secondo il quale il conteggio delle particelle è effettuato in funzione della quantità di luce riflessa misurata da un rilevatore. Quindi lo strumento

conta quante particelle passano nella cella di misura ogni secondo, in pt/cm^3 . Il P-Trak 8525 presenta un fondo scala di $500000 \text{ pt}/\text{cm}^3$ ed utilizza alcool isopropilico. Lo svantaggio è che non può fornire informazioni riguardo la distribuzione granulometrica delle particelle perché diventano tutte delle stesse dimensioni.

La prima fase delle campagne di monitoraggio ha riguardato la scelta dei siti in cui effettuare le misure.

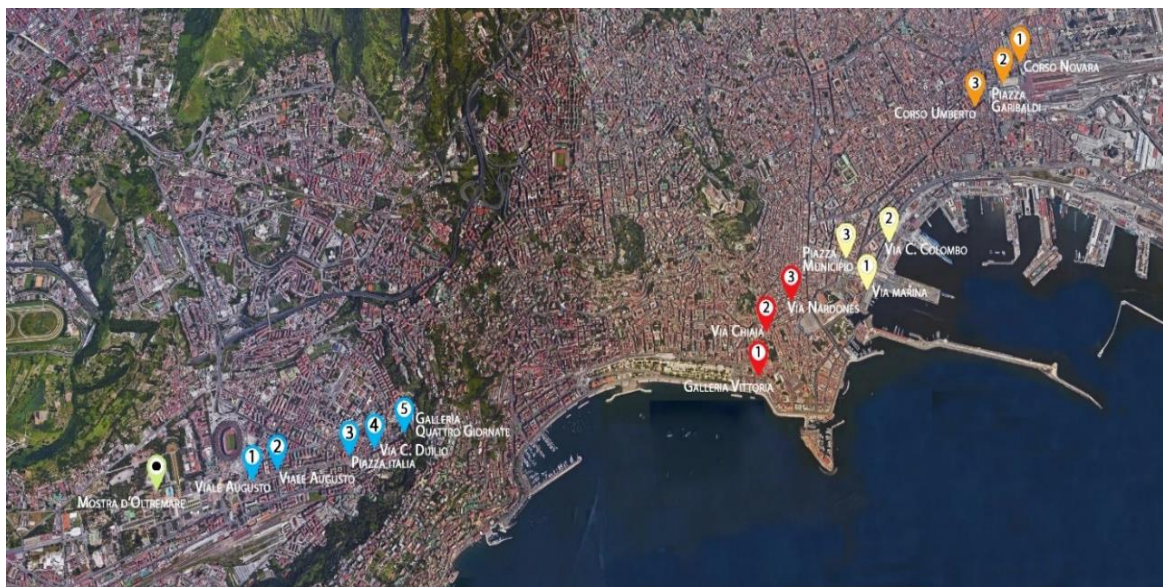


Fig. 3 – Mappa dei punti di campionamento (immagine da Google Earth)

Sono state scelte quattro “macroaree” divise tra le zone di Fuorigrotta, Chiaia, Porto, Garibaldi. Successivamente è stata studiata la variabilità spaziale dei valori di concentrazione delle particelle tra i diversi ricettori scelti.

Per poter apprezzare meglio i livelli di concentrazione delle particelle è stata realizzata una mappa con gli istogrammi dei valori medi delle particelle espressi in pt/cm^3 .

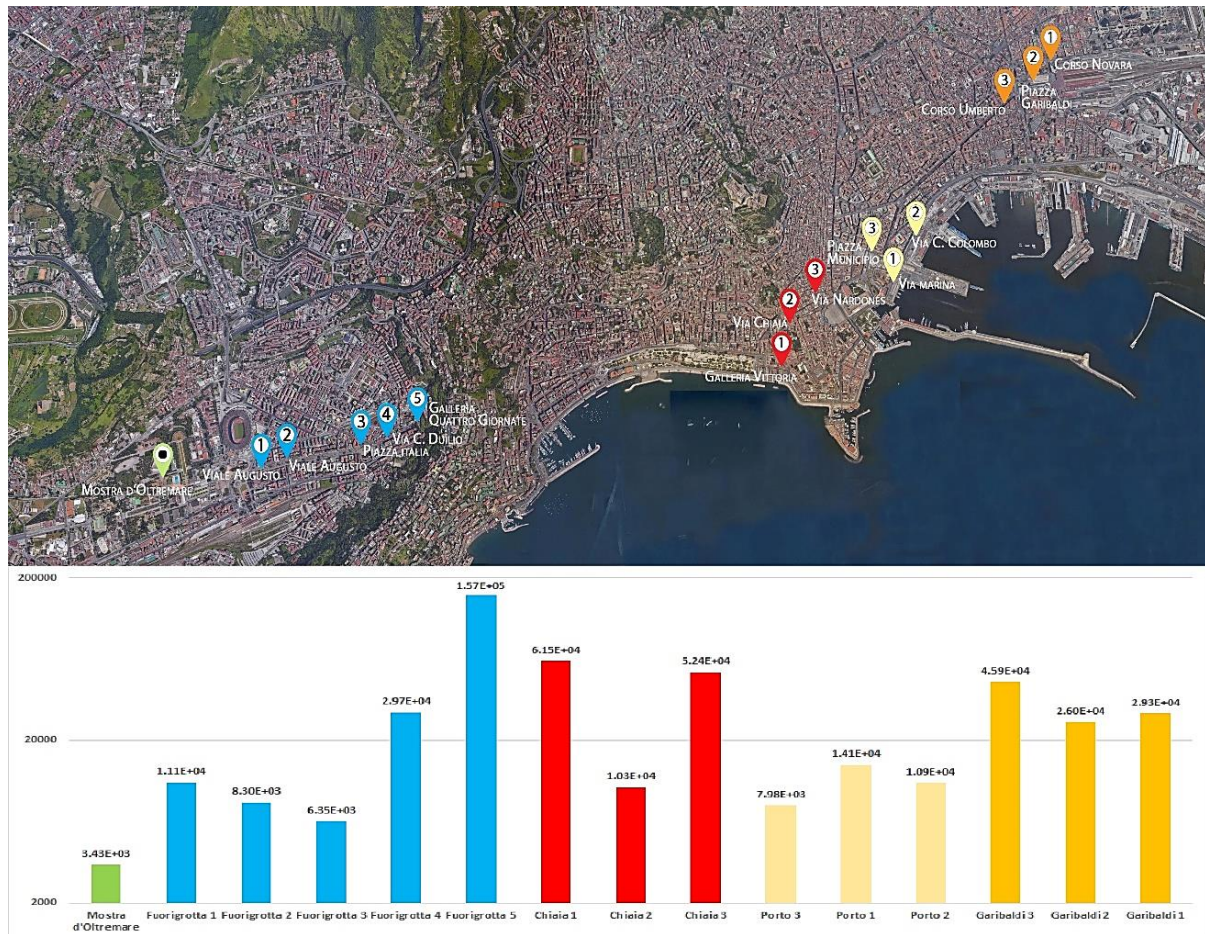


Fig. 4 – Mappa dei siti di campionamento e dei rispettivi valori medi di pt/cm^3

Il risultato evidente è stato l'ampia variabilità dei livelli di concentrazione. Il picco di $1.57 \cdot 10^5$ pt/cm^3 si è osservato nel punto denominato “Fuorigrotta 5”, ovvero in corrispondenza dell'uscita dalla galleria Quattro Giornate. Il minimo, invece, presso la Mostra d'Oltremare è stato pari a $3.43 \cdot 10^3$ pt/cm^3 , che rappresenta il dato di fondo.

Lo stesso studio è stato realizzato anche per categoria di ricettori, raggruppando quest'ultimi in 6 diverse categorie: Fondo, Strada pedonale, Strada aperta, Piazza, Street canyon, Galleria.

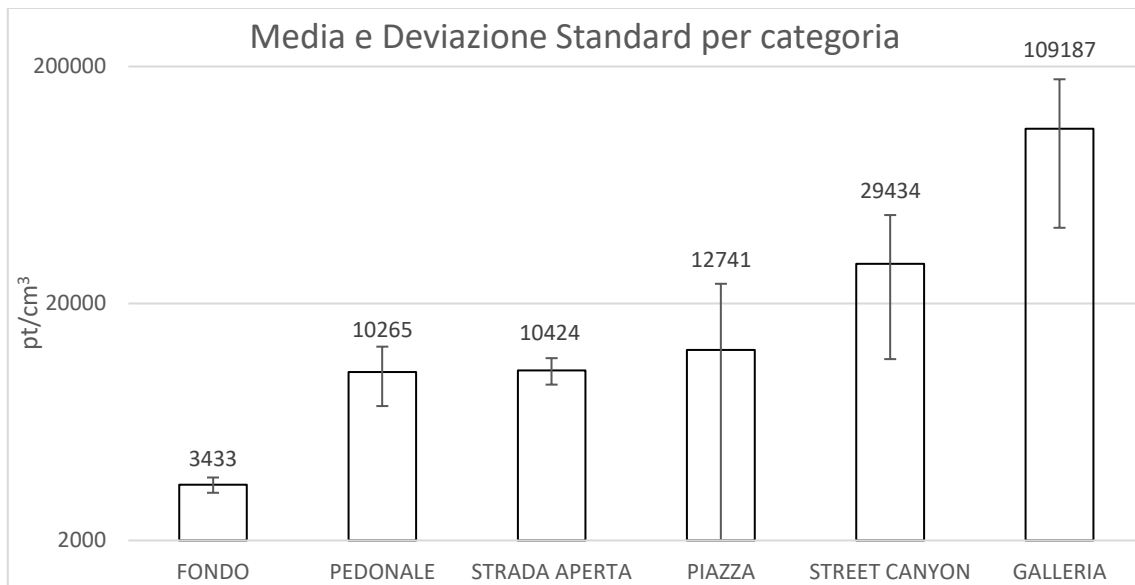


Fig. 5 - Grafico semi-log dei valori medi e della deviazione standard del numero di particelle per categoria

Come per l'analisi per singolo ricettore, si registra una notevole variabilità spaziale. Infatti, si è passati dal valore minimo di 3433 pt/cm³ per la categoria "Fondo" al valore massimo di 109187 pt/cm³ per la categoria "Galleria" con un rapporto pari a 32.

Un altro aspetto trattato è stato l'effetto delle caratteristiche geometriche di una strada sui valori misurati, ovverosia analizzare l'influenza dell'Aspect Ratio (rapporto H/W, dove H è l'altezza media degli edifici e W la larghezza della strada) sull'incremento di concentrazione delle particelle.

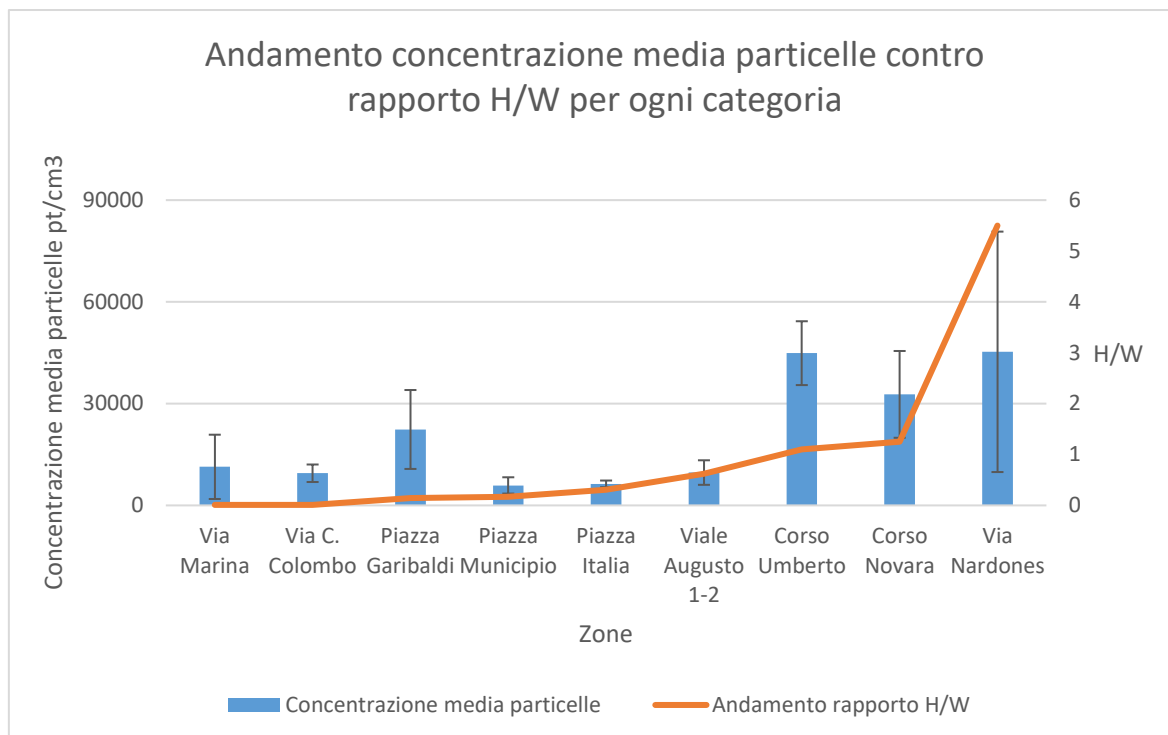


Fig. 6 – Grafico concentrazione media delle particelle contro rapporto H/W

Nel grafico in fig. 6 sono stati posizionati i siti in ordine crescente di H/W. La geometria della strada ha inciso significativamente sulla concentrazione delle particelle. Nelle piazze e nelle strade aperte, quindi per piccoli valori del rapporto H/W, si sono avuti livelli del numero di particelle decisamente più bassi; per valori del rapporto H/W più alti, le concentrazioni sono aumentate.

Inoltre, nel caso di uno street canyon profondo si è studiata la correlazione tra il livello di particelle misurato e il traffico veicolare presente. Lo street canyon in questione è Via Nardones, per il quale si è potuto constatare un andamento crescente del numero di particelle all'aumentare dei veicoli che transitavano durante la fase di misura, come mostrato in fig. 7 mediante la regressione lineare.

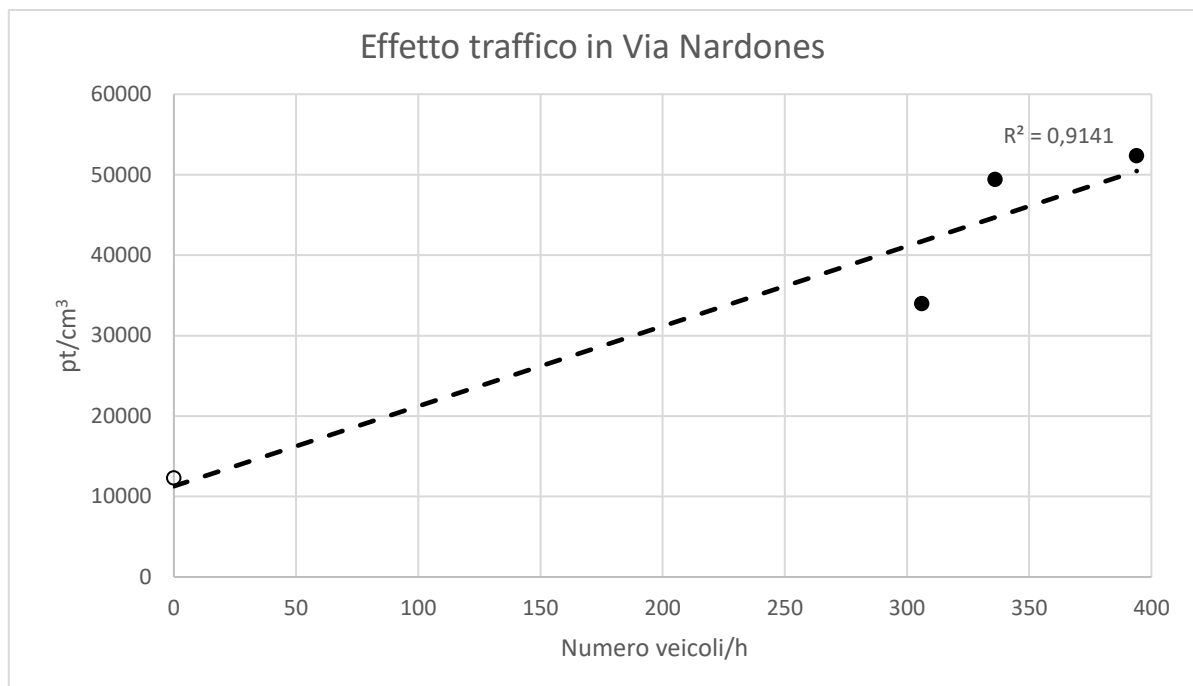


Fig. 7 – Grafico dell'effetto traffico in Via Nardones (in cui • rappresenta i valori in Via Nardones e ○ il punto di fondo in Via Chiaia)

In fig. 7 è mostrato anche il dato di numero particelle medio ottenuto dalle misurazioni in Via Chiaia (Chiaia 2), in quanto rappresentativo di uno street canyon con geometria simile a quello di Via Nardones, ma non soggetto al traffico veicolare. Il valore del coefficiente di determinazione R^2 è utilizzato in statistica come indicatore di correttezza e può assumere valori tra 0 e 1. Tanto più il valore è prossimo a 1, tanto migliore è la correlazione. Nel nostro grafico è mostrato il valore di R^2 pari a 0.91, ciò significa che c'è una buona correlazione tra media particelle e numero di veicoli.

Tra le campagne di monitoraggio sono stati scelti tre casi singolari per effettuare un'analisi in tempo reale dei dati campionati, in modo da associare ai picchi l'evento osservato durante le misure.

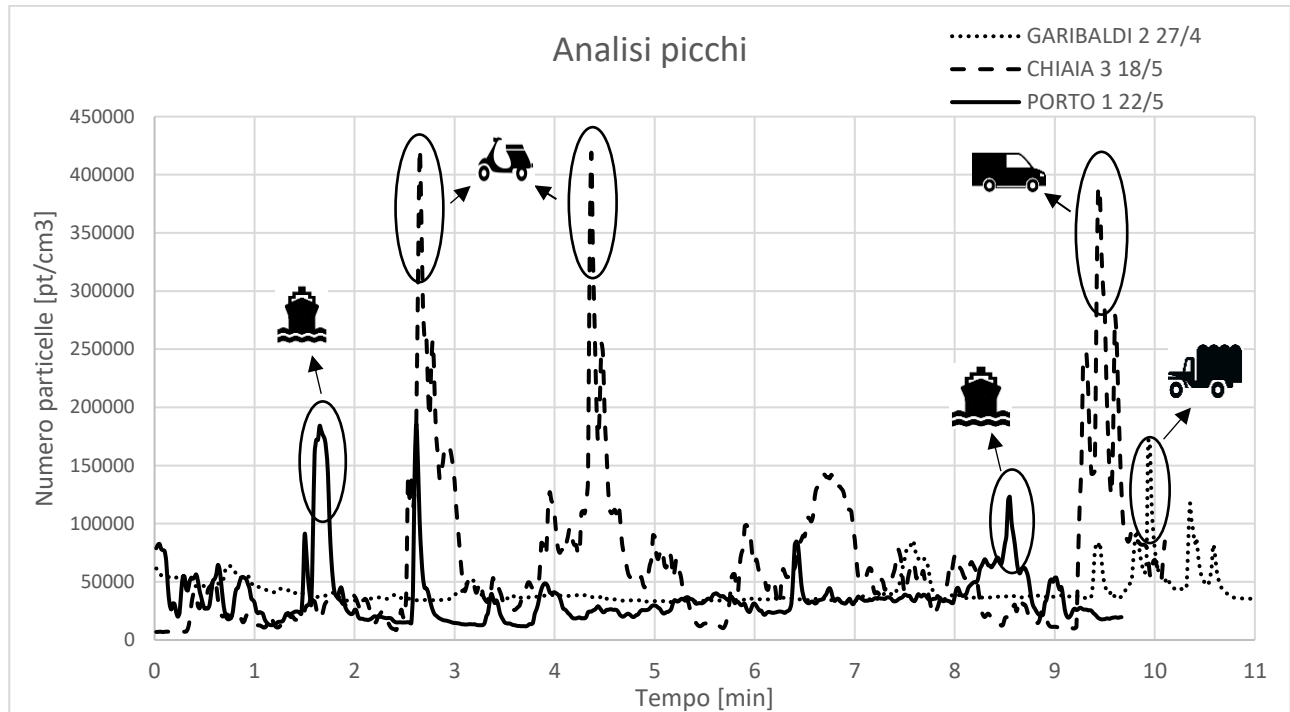


Fig. 8 – Grafico in tempo reale del numero di particelle per la valutazione dei picchi

Il grafico in fig. 8 mostra quindi gli andamenti relativi al numero di particelle per i tre casi scelti indicando, attraverso un'immagine, l'evento che è stato riscontrato durante le misurazioni in corrispondenza dei picchi rilevati.

Infine, poiché il limite normativo è espresso in termini di frazione di massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), si è svolta una stima della concentrazione di $\text{PM}_{2.5}$ dal numero di particelle (pt/cm^3), calcolando il coefficiente K per la conversione:

$$K = \frac{\text{media del numero di particelle } [\text{pt}/\text{cm}^3]}{\text{media di PM } 2.5 \text{ } [\mu\text{g}/\text{m}^3]} \quad [1]$$

Il parametro K è stato calcolato usando le misure di Corso Novara, in corrispondenza della stazione di monitoraggio dell'ARPAC NA07. Il valore medio è pari a 1112 pt/pg. Questo dato è stato confrontato con i dati disponibili in letteratura per verificarne l'affidabilità.

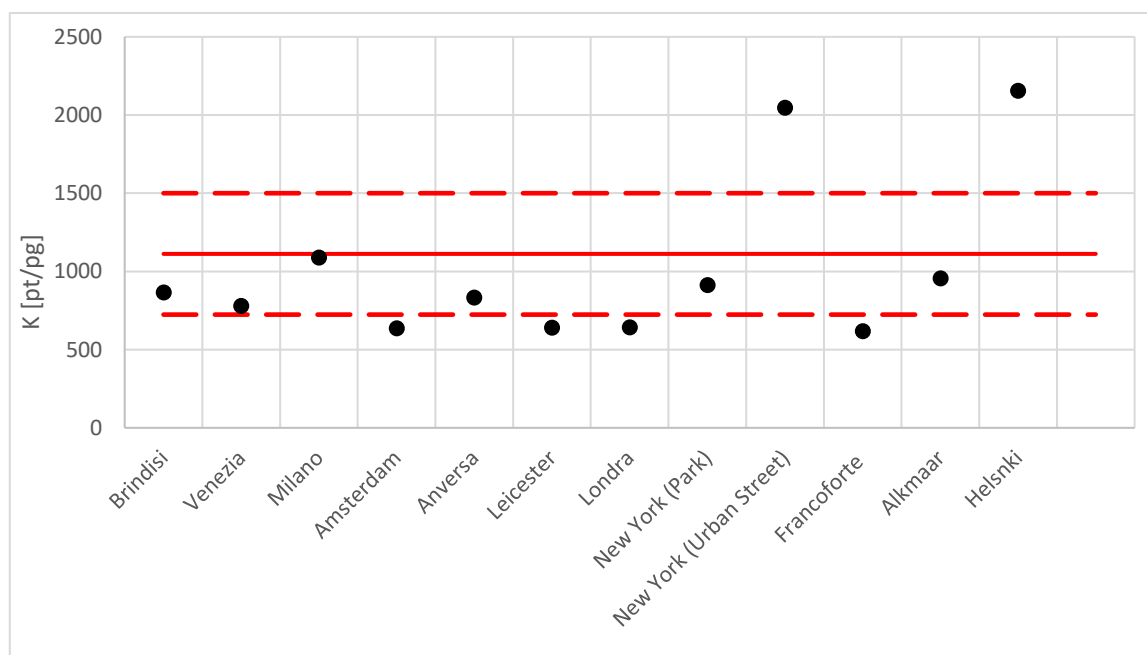


Fig. 9 – Confronto valori del parametro K con quelli di letteratura

A questo punto è stato possibile determinare il valore di $PM_{2.5_{pt}}$ sia per ricettore che per categoria.

$$PM_{2.5_{pt}} = \frac{\text{concentrazione del numero di particelle}}{K} = [\mu g/m^3] \quad [2]$$

Noto $PM_{2.5_{pt}}$, è stato detratto il valore di $PM_{2.5}$ della stazione ARPAC di NA01 (stazione di fondo), misurato nella stessa ora in cui è stato effettuato il campionamento. Attraverso tale differenza si è potuto analizzare non solo l'incremento della concentrazione di massa $PM_{2.5}$ specifica per ogni sito, ma anche quali categorie di ricettori presentassero le stesse condizioni di inquinamento. Di seguito è riportato il grafico dei volari della differenza $PM_{2.5_{pt}} - PM_{2.5_{NA01}}$ per ogni categoria.

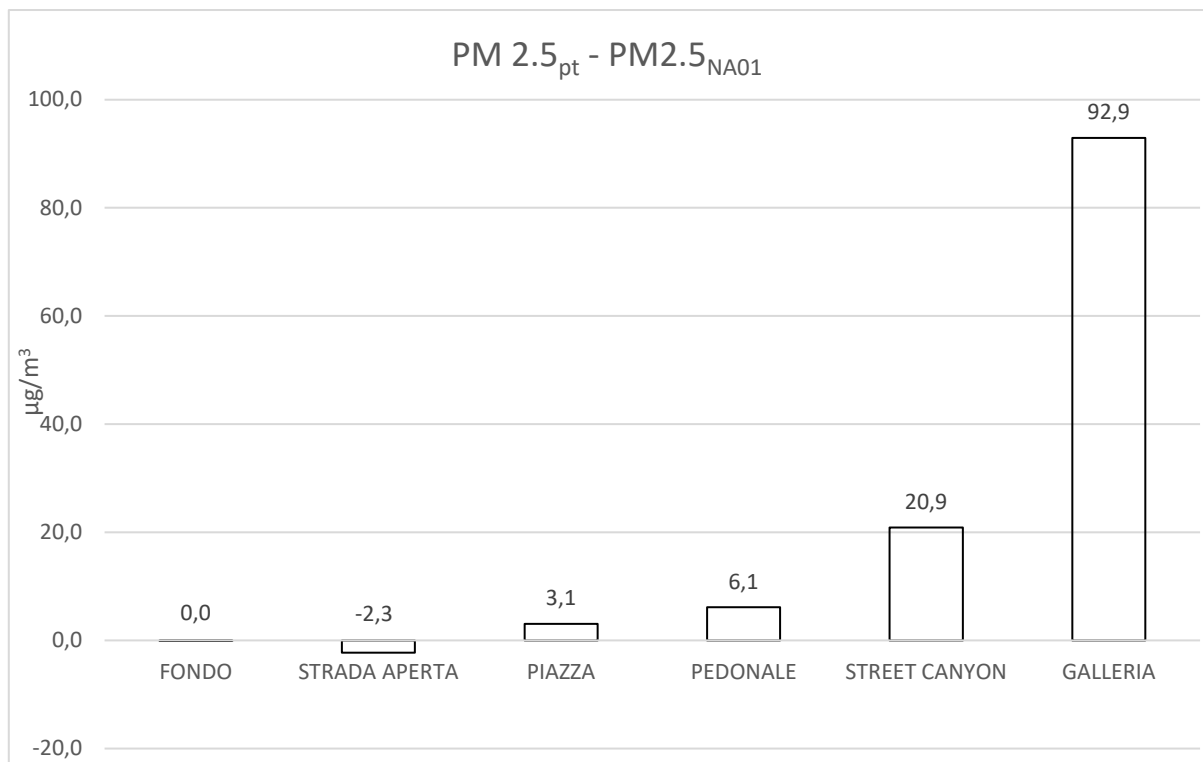


Fig. 10 – Grafico per categoria della differenza $PM_{2.5_{pt}} - PM_{2.5_{NA01}}$

Si osserva che per i casi di strada aperta e piazza il valore della differenza è stato abbastanza prossimo a quello di fondo, mostrando una certa omogeneità spaziale tra queste categorie. La differenza ha assunto valori crescenti in corrispondenza delle categorie di street canyon e galleria, in accordo con il fatto che le misure sono state effettuate in prossimità di punti ad elevata concentrazione di particelle.

Inoltre, grazie a questo studio è stato possibile realizzare una mappa di isolivello di concentrazione delle particelle del Comune di Napoli, effettuando così un'analisi preliminare del rischio legato alla qualità dell'aria. Per prima cosa è stata effettuata una classificazione delle categorie più soggette all'esposizione di elevate concentrazioni di FPs, in accordo ai risultati mostrati nel grafico in fig. 10.

Tab. 1- Legenda delle 5 categorie della mappa di isolivello

CATEGORIA	
Fondo; Piazza; Strada Aperta	
Strada Pedonale	
Street Canyon Regolare ($H/W \approx 1$)	
Street Canyon Profondo ($H/W > 2$)	
Galleria	

Partendo da questa classificazione è stato possibile estendere, con buona approssimazione, la valutazione delle zone più sensibili a tutto il Comune di Napoli. Quindi, individuate le zone con le stesse caratteristiche riportate in tab. 1, è stata realizzata una mappa di isolivello delle concentrazioni di particelle.



Fig. 11 – Mappa di isolivello di concentrazione del numero di particelle di Napoli (immagine da Google Earth)



Fig. 12 – Dettaglio area Quartieri Spagnoli e Molo Beverello (immagine da Google Earth)

In fig. 12 viene mostrato un dettaglio della mappa rappresentativo della zona dei Quartieri Spagnoli e del Molo Beverello. È possibile osservare la presenza di un certo numero di street canyon profondi. Tale condizione si ripresenta in altri quartieri di Napoli e quindi è possibile affermare che esiste una condizione di rischio elevata per tali zone e che andrebbero studiate con ulteriori campagne di monitoraggio.

Si riportano di seguito le principali conclusioni dell'attività di tesi svolta.

- Il primo risultato raggiunto è quello di una stima dei livelli di concentrazione del numero di particelle in una vasta area che mancava tra le conoscenze sulla qualità dell'aria a Napoli. I valori misurati variano da circa $3 \cdot 10^3$ pt/cm³ nei siti di fondo a $3 \cdot 10^4$ pt/cm³ nelle strade e a $1 \cdot 10^5$ in prossimità degli ingressi o delle uscite dalle gallerie.
- L'analisi per categorie ha messo in evidenza come le caratteristiche del sito (fondo, piazza, strada pedonale, strada aperta, street canyon, galleria) abbiano un ruolo fondamentale nella concentrazione di particelle presenti in atmosfera.
- L'analisi all'interno della categoria "Street Canyon" ha mostrato che la geometria, ovvero il valore dell'Aspect Ratio H/W, incide significativamente sulla concentrazione delle particelle. Nelle piazze e nelle strade aperte, quindi per piccoli valori del rapporto H/W ($H/W < 0,3$), si hanno livelli del numero di particelle decisamente più bassi; per valori del rapporto H/W più alti, le concentrazioni aumentano. Per lo stesso motivo gli "Street Canyon" presentano livelli di concentrazione del numero di particelle più alti rispetto alle strade aperte ed alle piazze di un fattore pari circa 2.7.
- Si osserva anche l'importanza delle emissioni all'interno della strada. All'interno dello street canyon "Via Nardones", si è osservata una relazione tra il numero di veicoli in transito e il numero di particelle misurate.

Nella strada pedonale di Via Chiaia, che, da un punto di vista geometrico è uno street canyon profondo, i livelli di concentrazione sono inferiori a quelli degli street canyon con traffico veicolare.

Analogamente per i ricettori appartenenti alla categoria "Galleria" (Galleria Quattro Giornate e Galleria Vittoria), che sono comunque degli street canyon, si sono osservati livelli di concentrazione molto più elevati a seguito della emissione aggiuntiva dovuta alla presenza ravvicinata dell'ingresso/uscita appunto di una galleria.

- Grazie alla stima delle concentrazioni di massa di PM_{2.5} a partire dai dati di PN è stato possibile escludere l'effetto di fondo dall'analisi di variabilità spaziale. I risultati ottenuti non tenendo conto dell'effetto di fondo, non vengono modificati sostanzialmente ma comunque meglio definiti. In particolare, si osserva come, per le categorie di “Strada aperta” e “Piazza” il valore della differenza PM_{2.5}pt - PM_{2.5}NA01 sia abbastanza prossimo a quello di fondo, mostrando una certa omogeneità spaziale. La differenza, invece, cresce in corrispondenza delle categorie di “Street Canyon” e “Galleria”, per quest'ultima si riscontra la differenza massima pari a 92.9 µg/m³, in accordo con il fatto che le misure sono state effettuate in prossimità di punti sensibili ad elevata concentrazione di particelle.
- I valori elevati che sono stati osservati in termini di numero di particelle indicano la necessità di affiancare tali misure a quelle della frazione di massa PM₁₀ e PM_{2.5} allo scopo di avere informazioni più accurate riguardo gli effetti dell'inquinamento atmosferico sulla salute, introducendo, quindi, nella normativa vigente dei valori limite o valori guida per la concentrazione del numero di particelle.