



## **Ph.D. COURSE IN INDUSTRIAL ENGINEERING –**

### **XXXIV CYCLE**

**Student:** Nicoletta Lotrecchiano

**Tutor:** prof. Massimo Poletto

**Scientific Committee:** prof. Diego Barletta, ing. Daniele Sofia

#### **Abstract (EN)**

Air pollution measurement networks are meant to monitor the concentration of the primary pollutants. This type of infrastructures can be installed in urban areas in order to have an overall view of the environmental conditions. This thesis work aims to increase the quality of environmental data provided by air quality monitoring networks. In particular, the object of this thesis work is the treatment of the large number of data produced by the air quality monitoring networks implemented by Sense Square along the Italian territory both in urban and extra-urban context. The first issue faced was the definition of the correct positions for the sampling points of the network that is relevant to the network design. A modelistic approach was applied to define the most interesting points of the city where to install the measuring stations. The Operational Street Pollution Model was used to simulate the PM10 concentrations in five chosen points. For each point it was possible to define the local conditions such as traffic intensity, street geometry, hourly number and type of vehicles passing through the streets and the meteorological parameters. The model adopted takes into account the pollutant dispersion using a Gaussian plume, while a box model is used to calculate the contribution from the recirculation vortex along the urban canyon. The state of art uses the dispersion models to define the pollutant behaviour dispersed in the atmosphere but doesn't compare the modelled results with the real measured ones. In this case, the comparison of the data obtained by the OSPM model and the ones measured after the installation of the sampling stations showed a good agreement, suggesting that the points chosen were the most interesting from the air pollution point of view.

A similar approach was used, to forecast the urban quality air using the concentration levels of particulate matter and meteorological conditions.

To integrate the fixed monitoring network to have a higher space resolution, the real-time on-road monitoring stations were implemented. The real-time on-road mobile monitoring network provides for the concentrations of pollutant in an innovative configuration. In fact, the data coming from vans equipped with the measuring devices moving along the streets of Milan makes it possible to aggregate the data or by districts or by cell. For the micro-analysis, the whole investigated area was divided into square cells of 1km side to form a grid. For each cell, the large amount of data available allows the

analysis of the hourly, weekly and, monthly average. This new type of monitoring has to be compared with the traditional one represented by the Milan municipality air quality network. From the comparison between the two sets of data it was possible to notice the good agreement between them, suggesting that even if the measurement techniques are different, the results are reliable. Obviously, the availability of data from the dynamic network is strictly connected with the vans operating hours from 09:00 to 17:00. Moreover, the urban context is full of traffic restrictions like traffic limited zones, pedestrian pathways and parks that doesn't allows the vans passage. So, it is possible that some of the cells in the grid which the city is divided into have no data available. This missing values can be estimated by using a geospatial interpolation model. Another possibility to estimate air quality in the missing cells, is to use measured data in the neighbouring cells with purposely designed algorithms. In the present study, the results of the applications of few simple methods is assessed by comparing, in each cell where available data are present, the values predicted by the algorithm using the neighbouring data end the experimental value. Different criteria will be adopted and compared. In some of them the influence of the neighbouring cells on the prediction of the local concentration is based exclusively on the distance between the centre of the influencing cell and the centre of the tested cell, in others the direction and the speed of the wind are taken into consideration in the calculation procedure. The approach proposed involves various innovative aspects, in fact this study use air quality data provided by an extremely innovative technology really and currently measured in an Italian city. Moreover, the model is applied to a very large area. Finally, the developed method for the spatial estimation of missing data was compared with other techniques to evaluate the best solution. During the first part of the work a deterministic approach was used to to investigate the behaviour of unexpected events like fires. This methodology was studied in deep to evaluate the dispersion of the pollutant generated after a fire occurred in a factory. The fire was described as an equivalent stack having the height of the observed cloud of smoke generated by the fire. The pollutant propagation was simulated with a Gaussian plume dispersion model. From February 2020, the progressive adoption of measures to contain Coronavirus's contagion has resulted in Italy, especially in Lombardy, a sudden change in anthropic activities. From a scientific point of view, the new situation represents a unique laboratory for understanding and predicting the consequences of specific measures aimed at improving air quality. In this part of the work, the effect of the lockdown on air quality in the city of Milan (Italy) was analyzed. The PM10 values measured by the ARPA Lombardia air quality monitoring network indicate the seasonality of these pollutants, which typically record the highest values in the coldest months of the year. March 2020 data analysis shows an alternation of days with higher and lower particulate matter concentrations values. Some episodes highlighted the complexity of the phenomena related to the formation, transport, and accumulation of atmospheric particulates. Others highlighted the contribution of the second component and the meteorological situation most favorable to accumulation. The study showed that the trend of a general reduction of pollutant concentrations observed must be attributed to the decrease in emissions, in particular from the transport sector, from the variation of meteorological and environmental conditions. Among the various phenomena that participate in air pollution, there is the influence of Saharan dust. These powders can participate in the increase of PM10 concentrations even though they are of a different nature compared to the particulate produced in urban areas. For this reason, a procedure has been implemented to take into account the contribution of these dusts to the extent of pollution.

## **Abstract (IT)**

Le reti per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico hanno lo scopo di monitorare la concentrazione degli inquinanti primari. Questo tipo di infrastrutture può essere installato nelle aree urbane per avere una visione d'insieme delle condizioni ambientali. Questo lavoro di tesi mira ad aumentare la qualità dei dati ambientali forniti dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria. In particolare, oggetto di questo lavoro di tesi è il trattamento dell'elevato numero di dati prodotti dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria implementate da Sense Square lungo il territorio italiano sia in ambito urbano che extraurbano. La prima questione affrontata è stata la definizione delle posizioni corrette per i punti di campionamento della rete rilevanti per la progettazione della rete. È stato applicato un approccio modellistico per definire i punti più interessanti della città dove installare le stazioni di misura. Il modello operativo dell'inquinamento stradale (OSPM) è stato utilizzato per simulare le concentrazioni di PM10 in cinque punti scelti. Per ogni punto è stato possibile definire le condizioni locali quali l'intensità del traffico, la geometria della strada, il numero orario e la tipologia dei veicoli che transitano per le strade e i parametri meteorologici. Il modello adottato tiene conto della dispersione degli inquinanti utilizzando un modello plume gaussiano, mentre un modello box è utilizzato per calcolare il contributo del vortice di ricircolo lungo il canyon urbano. Lo stato dell'arte utilizza i modelli di dispersione per definire il comportamento inquinante disperso nell'atmosfera ma non confronta i risultati modellati con quelli misurati reali. In questo caso, il confronto tra i dati ottenuti dal modello OSPM e quelli misurati dopo l'installazione delle stazioni di campionamento ha mostrato una buona concordanza, suggerendo che i punti scelti erano i più interessanti dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico.

Un approccio simile è stato utilizzato per prevedere la qualità dell'aria urbana utilizzando i livelli di concentrazione di particolato e le condizioni meteorologiche.

Per integrare la rete fissa di monitoraggio per avere una maggiore risoluzione spaziale, sono state implementate le stazioni di monitoraggio su strada in tempo reale. La rete mobile di monitoraggio su strada in tempo reale prevede le concentrazioni di inquinanti in una configurazione innovativa. Infatti i dati provenienti dai furgoni dotati di misuratori che si spostano lungo le strade di Milano permettono di aggregare i dati o per distretti o per cella. Per la micro-analisi, l'intera area indagata è stata suddivisa in celle quadrate di 1 km di lato per formare una griglia. Per ogni cella, la grande quantità di dati a disposizione permette l'analisi della media oraria, settimanale e mensile. Questa nuova tipologia di monitoraggio va confrontata con quella tradizionale rappresentata dalla rete di qualità dell'aria del Comune di Milano. Dal confronto tra i due set di dati è stato possibile notare la buona concordanza tra di loro, suggerendo che anche se le tecniche di misurazione sono diverse, i risultati sono affidabili. Ovviamente la disponibilità dei dati dalla rete dinamica è strettamente connessa con l'orario di apertura dei furgoni dalle ore 09:00 alle ore 17:00. Inoltre, il contesto urbano è ricco di limitazioni alla circolazione come zone a traffico limitato, percorsi pedonali e parchi che non consentono il passaggio dei furgoni. Quindi, è possibile che alcune delle celle della griglia in cui è suddivisa la città non abbiano dati disponibili. Questi valori mancanti possono essere stimati utilizzando un modello di interpolazione geospaziale. Un'altra possibilità per stimare la qualità dell'aria nelle celle mancanti, è utilizzare i dati misurati nelle celle vicine con algoritmi appositamente progettati. Nel presente studio, i risultati delle applicazioni di pochi semplici metodi vengono valutati confrontando, in ciascuna cella in cui sono presenti dati disponibili, i valori previsti dall'algoritmo utilizzando i dati vicini e il valore sperimentale. Verranno adottati e confrontati criteri diversi. In alcuni di essi l'influenza delle celle vicine sulla previsione della concentrazione locale si basa esclusivamente sulla distanza tra il centro della cella influenzante e il centro della cella testata, in altri si prendono la direzione e la velocità del vento in considerazione nella procedura di calcolo. L'approccio proposto coinvolge diversi aspetti innovativi, infatti questo studio utilizza i dati sulla qualità dell'aria forniti da una tecnologia estremamente innovativa realmente e attualmente misurata in una città italiana. Inoltre, il modello viene applicato su un'area molto ampia. Infine, il metodo sviluppato per la stima spaziale dei dati mancanti è stato confrontato con altre tecniche per valutare la soluzione migliore.

Durante la prima parte del lavoro è stato utilizzato un approccio deterministico per indagare il comportamento di eventi imprevisti come gli incendi. Questa metodologia è stata studiata a fondo per valutare la dispersione dell'inquinante generata a seguito di un incendio avvenuto in uno stabilimento. L'incendio è stato descritto come una pila equivalente avente l'altezza della nuvola di fumo osservata generata dall'incendio. La propagazione dell'inquinante è stata simulata con un modello di dispersione a plume gaussiano. Da febbraio 2020 la progressiva adozione delle misure di contenimento del contagio da Coronavirus ha comportato in Italia, soprattutto in Lombardia, un repentino cambiamento delle attività antropiche. Da un punto di vista scientifico, la nuova realtà rappresenta un laboratorio unico per comprendere e prevedere le conseguenze di misure specifiche volte al miglioramento della qualità dell'aria. In questa parte del lavoro è stato analizzato l'effetto del lockdown sulla qualità dell'aria nella città di Milano (Italia). I valori di PM10 rilevati dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA Lombardia indicano la stagionalità di questi inquinanti, che tipicamente registrano i valori più elevati nei mesi più freddi dell'anno. L'analisi dei dati di marzo 2020 mostra un'alternanza di giorni con valori di concentrazione di particolato più alti e più bassi. Alcuni episodi hanno messo in luce la complessità dei fenomeni legati alla formazione, al trasporto e all'accumulo del particolato atmosferico. Altri hanno evidenziato il contributo della seconda componente e la situazione meteorologica più favorevole all'accumulo. Dallo studio è emerso che l'andamento di una riduzione generale delle concentrazioni inquinanti osservata è da attribuire alla diminuzione delle emissioni, in particolare del settore dei trasporti, al variare delle condizioni meteorologiche e ambientali. Tra i vari fenomeni che partecipano all'inquinamento atmosferico c'è l'influenza delle polveri del Sahara. Queste polveri possono partecipare all'aumento delle concentrazioni di PM10 anche se di natura diversa rispetto al particolato prodotto nelle aree urbane. Per questo motivo è stata implementata una procedura per tenere conto del contributo di queste polveri all'entità dell'inquinamento.