

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

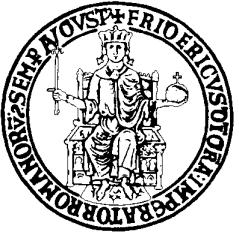
TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Relatore Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Candidata Fenny Miragliuolo
Matr. 518/279

Anno Accademico 2018 – 2019



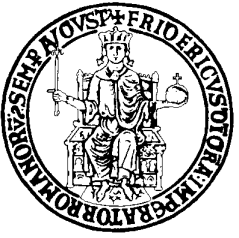
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Sommario

- Introduzione
- Normativa sulla qualità dell'aria
- Il metodo di stima del trend statistico
- Risultati dell'analisi del trend
- Conclusioni



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

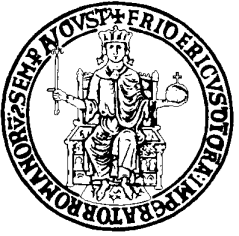
TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

L'inquinamento atmosferico può essere definito come la presenza nell'aria di una o più sostanze in concentrazione tale da avere potenzialità di produrre un effetto avverso.

Gli inquinanti ritenuti prioritari:

- **Gas inorganici:** biossido di zolfo (SO_2), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio (CO) e ozono (O_3);
- **Composti organici volatili:** benzene (C_6H_6);
- **Materiale particolato aerodisperso** (PM_{10} ; $\text{PM}_{2,5}$).



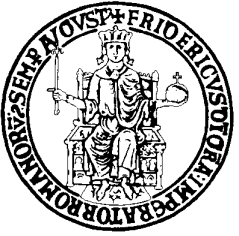
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Obiettivo del lavoro

- Superare un approccio di tipo qualitativo all'analisi dei trend, dal quale risulta impossibile interpretare in modo obiettivo le tendenze in atto;
- Verificare l'esistenza o meno di una tendenza all'aumento o alla diminuzione nel tempo delle concentrazioni di alcuni inquinanti aerodispersi, desumibile dalle serie storiche di dati misurati presso le centraline di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico italiane.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

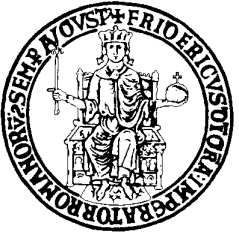
“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Stato della qualità dell'aria

Studi condotti negli ultimi anni si sono avvalsi di metodi specifici che considerano la notevole variabilità spaziale e temporale con cui si sviluppano i fenomeni di inquinamento atmosferico e affrontano il problema della stima dei trend con



Approccio di tipo statistico-probabilistico



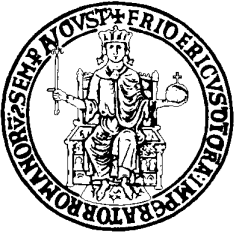
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Approccio di tipo statistico-probabilistico

- Consente di descrivere, interpretare e prevedere il comportamento del fenomeno in relazione al suo evolvere nel tempo;
- Permette di associare all'analisi effettuata il relativo margine di incertezza.



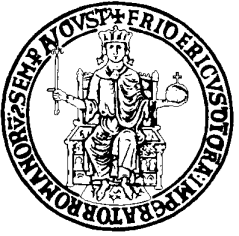
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Sommario

- Introduzione
- Normativa sulla qualità dell'aria
- Il metodo di stima del trend statistico
- Risultati dell'analisi del trend
- Conclusioni



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Inquadramento normativo

Legge 13 Luglio 1966, n.615

DPCM 28 Marzo 1983 n.145

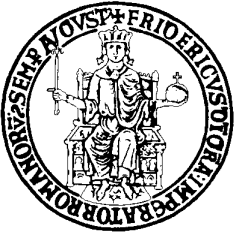
DPR 24 maggio 1988 n.203

D.Lgs 4 agosto 1999 n.351

D.lgs 3 aprile 2006 n. 152



D.Lgs 13 agosto 2010 n. 155



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

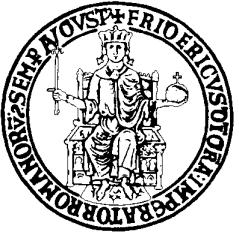
TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Legge 13 Luglio 1966, n.615

Provvedimento contro l'inquinamento atmosferico

Inizio del monitoraggio in continuo della qualità dell'aria
limitatamente ad alcune città



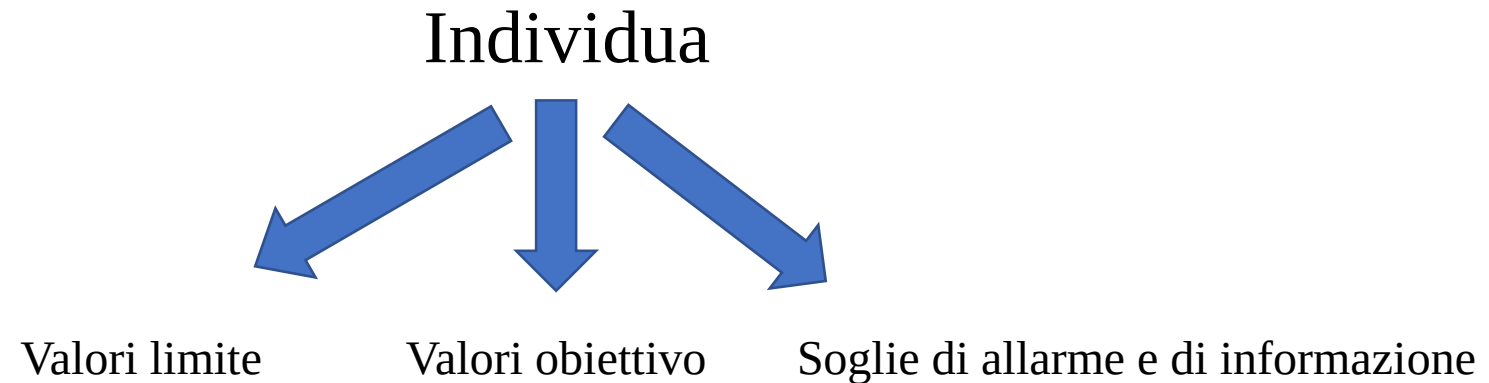
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

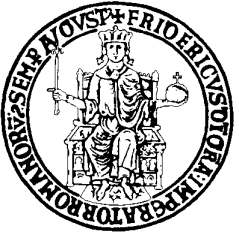
TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

D.Lgs 13 agosto 2010 n. 155

"Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa"





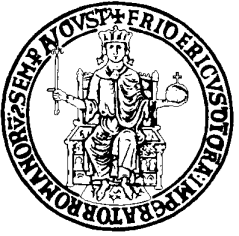
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Sommario

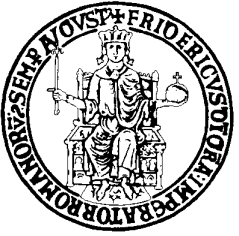
- Introduzione
- Normativa sulla qualità dell'aria
- Il metodo di stima del trend statistico
- Risultati dell'analisi del trend
- Conclusioni



Fonte dei dati e criteri di selezione delle serie storiche

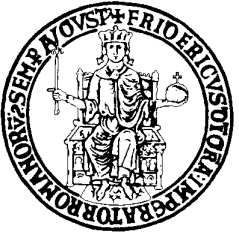
- Il lavoro si basa sui dati di concentrazione degli inquinanti in atmosfera misurati nelle stazioni di monitoraggio distribuite sul territorio nazionale;
- Sono stati calcolati i parametri per un confronto con i valori limite e i valori obiettivo per la protezione della salute umana stabiliti dalla normativa di riferimento;
- È stato selezionato un set di stazioni di monitoraggio per i quali fossero disponibili livelli giornalieri di materiale particolato (PM_{10} e $PM_{2,5}$), nonché quelli orari di biossido di azoto (NO_2) e di Ozono (O_3) nel periodo 2008-2017.





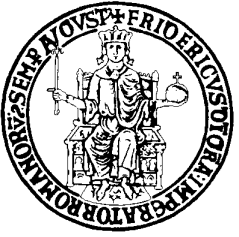
Il test di Kendall corretto per le stagionalità

- Test ad ipotesi statistiche di tipo non parametrico;
- Ha come obiettivo la valutazione dell'esistenza di un trend (andamento monotono crescente o decrescente) dato un campione sufficientemente ampio di dati;
- Le ipotesi su cui si basa il test sono le seguenti:
 - ➡ ipotesi nulla H_0 ovvero ipotesi di assenza di trend
 - ➡ ipotesi alternativa H_1 ovvero ipotesi di esistenza del trend



Il test di Kendall corretto per le stagionalità

- È in grado di predire l'esistenza di un trend statisticamente significativo mantenendo la percentuale di errore al di sotto del valore prefissato;
- Consente di individuare deboli tendenze statisticamente significative laddove effettivamente presenti nella serie fittizia;
- L'analisi del trend non può in ogni caso prescindere dalla disponibilità di serie storiche sufficientemente lunghe in modo da limitare l'effetto di anni caratterizzati da condizioni meteorologiche atipiche che possono mascherare la tendenza di fondo.



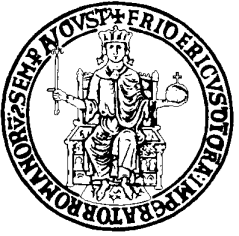
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

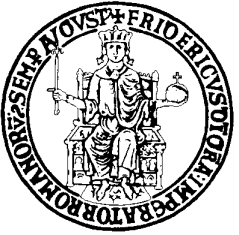
Sommario

- Introduzione
- Normativa sulla qualità dell'aria
- Il metodo di stima del trend statistico
- Risultati dell'analisi del trend
- Conclusioni



Il materiale particolato

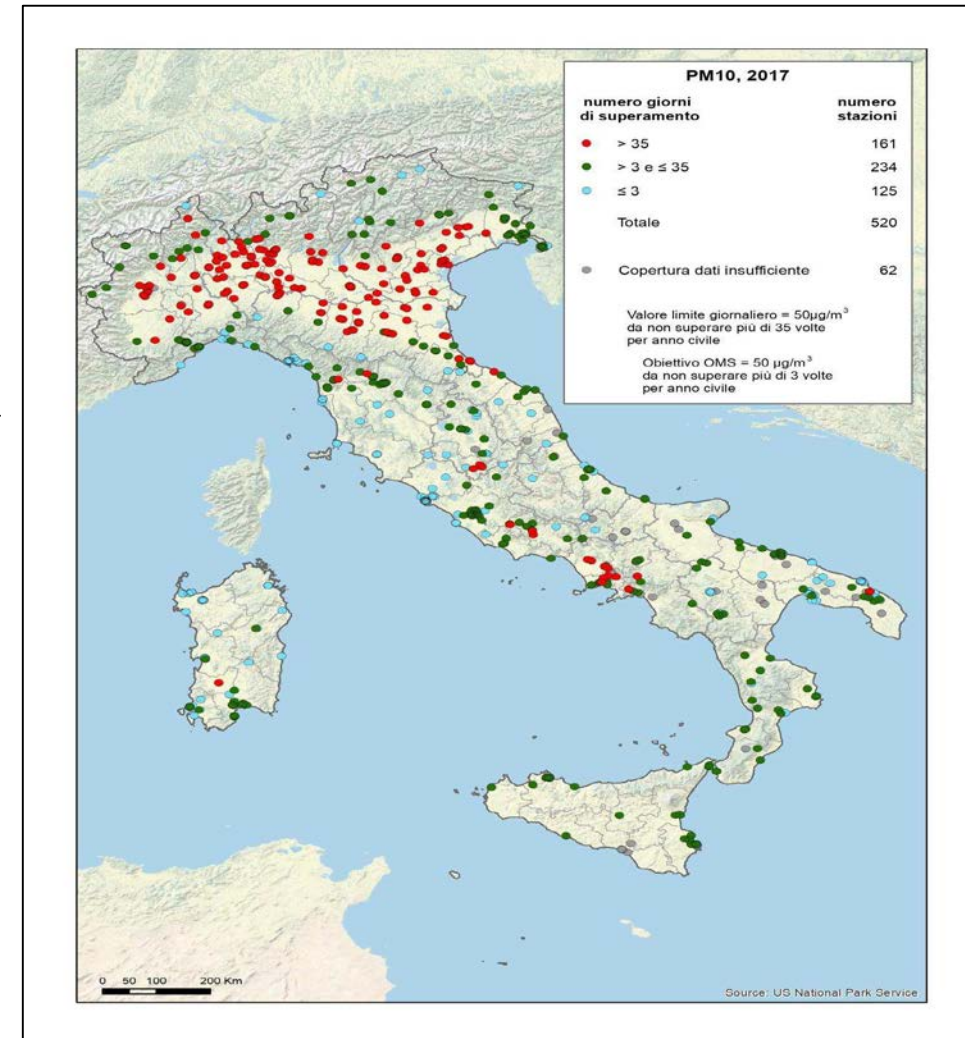
- Definito come una sospensione di particelle solide o liquide relativamente stabili nell'aria circostante (Aerosol);
- Gli indicatori utilizzati per la stima dell'esposizione al materiale particolato in aria ambiente sono:
 - La concentrazione di massa del particolato inalabile (polveri totali sospese);
 - La concentrazione di massa del particolato selezionato in base al diametro aerodinamico mediante teste selettive con taglio a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10});
 - La concentrazione di massa del particolato selezionato in base al diametro aerodinamico mediante teste selettive con taglio a $2,5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$);
 - La concentrazione in numero delle particelle totale o distribuita per intervalli dimensionali.
- I principali effetti sulla salute dell'esposizione, sia a breve che a lungo termine, sono a carico del sistema respiratorio e cardio-vascolare.

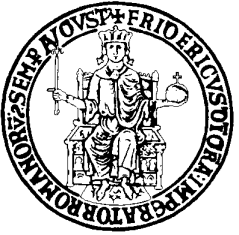


PM₁₀ – Stato e trend delle concentrazioni

Le stazioni di monitoraggio che hanno misurato e comunicato dati di PM₁₀ nel 2017 sono 582;

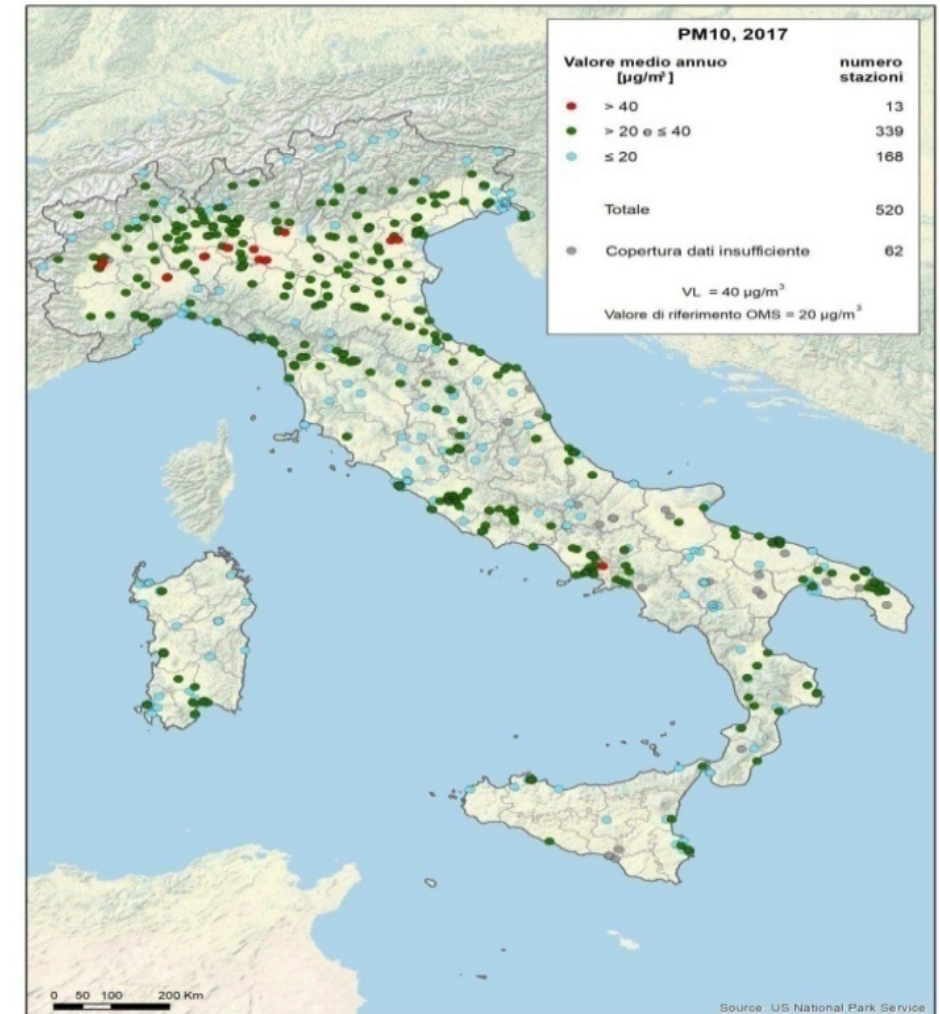
Il Valore limite giornaliero (50 µg/m³, da non superare più di 35 volte in un anno) è stato superato in 161 stazioni, pari al 31% dei casi.

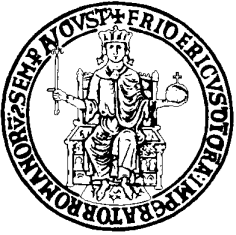




PM₁₀ – Stato e trend delle concentrazioni

Il valore limite annuale ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato superato in 13 stazioni, pari al 3% dei casi.

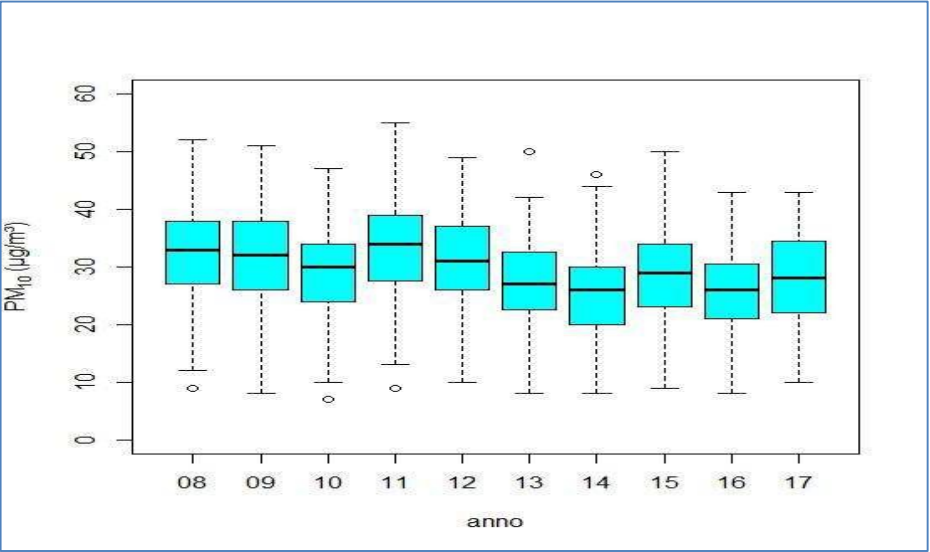




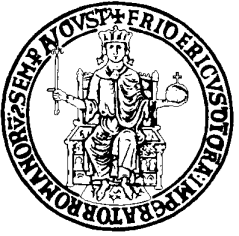
“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

PM₁₀ – Stato e trend delle concentrazioni

- Si può osservare qualitativamente la riduzione complessiva dei livelli medi annuali, e una tendenza alla riduzione della variabilità spaziale
- L'analisi statistica condotta con il metodo di Mann-Kendall corretto per la stagionalità ha permesso di evidenziare un trend decrescente statisticamente significativo nel 76,8% dei casi (119 stazioni di monitoraggio su 155). Un trend crescente statisticamente significativo è stato individuato nel 2,6% dei casi (4 stazioni di monitoraggio su 155). Nel restante 20,6% dei casi (32 stazioni di monitoraggio su 155) non è stato possibile escludere l'ipotesi nulla (assenza di trend) per il dato livello di confidenza (95%).



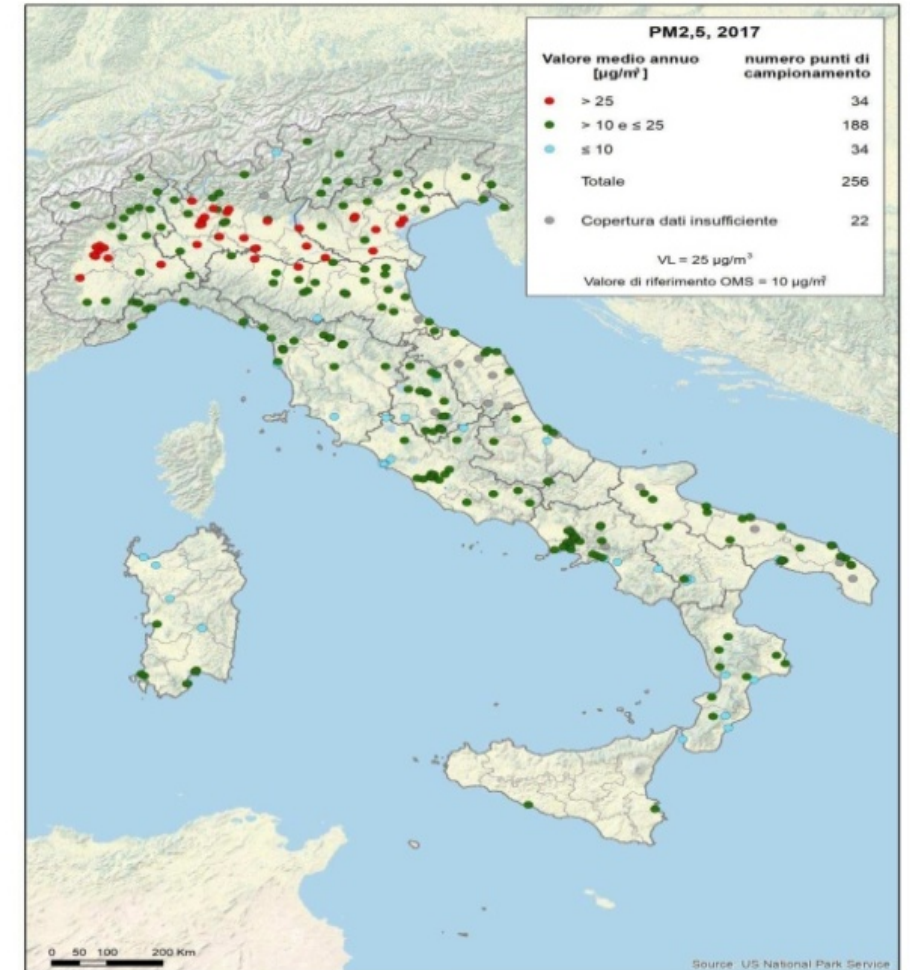
PM ₁₀	Trend decrescente ($p \leq 0,05$)		Trend crescente ($p \leq 0,05$)		Trend non significativo ($p > 0,05$)
	n	Δ_y ($\mu g m^{-3} y^{-1}$)	n	Δ_y ($\mu g m^{-3} y^{-1}$)	n
2008-2017 (155 Stazioni)	119	-0,8 [-2,8 ÷ -0,2]	4	-0,4 [0,4 ÷ 0,5]	32

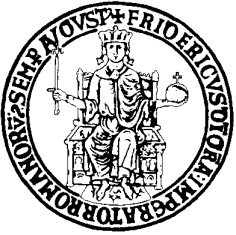


PM_{2,5} – Stato e trend delle concentrazioni

Le stazioni di monitoraggio che hanno misurato e comunicato dati di PM_{2,5} nel 2017 sono 278 di queste, 256 (92%) hanno copertura temporale minima del 90% ;

Il valore limite annuale è rispettato nella maggioranza delle stazioni: sono stati registrati superamenti in 34 stazioni pari al 13% dei casi.

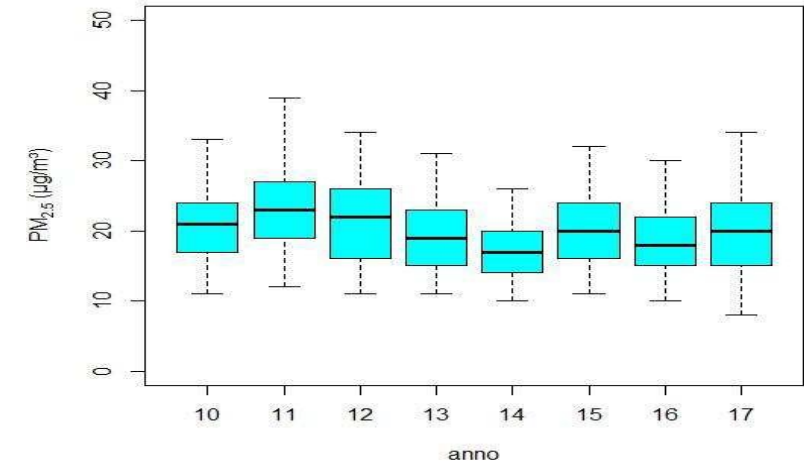




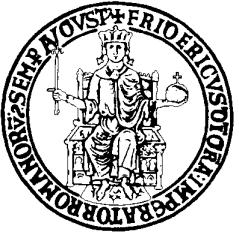
“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

PM_{2,5}– Stato e trend delle concentrazioni

- Si può osservare qualitativamente la riduzione complessiva dei livelli medi annuali, e una tendenza alla riduzione della variabilità spaziale
- L'analisi statistica condotta con il metodo di Mann-Kendall corretto per la stagionalità ha permesso di evidenziare un andamento decrescente statisticamente significativo nel 69% dei casi (43 stazioni di monitoraggio su 62). Un trend crescente statisticamente significativo è stato individuato nel 7% dei casi (4 stazioni di monitoraggio su 62). Nel restante 24% dei casi (15 stazioni di monitoraggio su 62) non è stato possibile escludere l'ipotesi nulla (assenza di trend) per il dato livello di confidenza (95%).

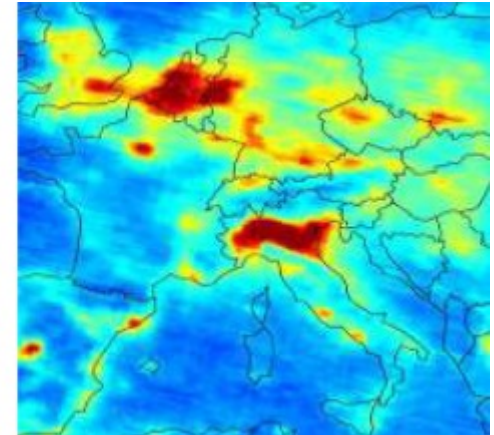


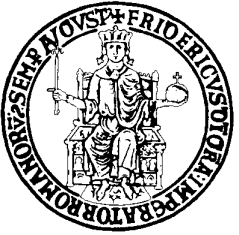
PM _{2,5}	Trend decrescente ($p \leq 0,05$)		Trend crescente ($p \leq 0,05$)		Trend non significativo ($p > 0,05$)
	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}y^{-1}$)	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}y^{-1}$)	n
2010-2017 (62 Stazioni)	43	-0,8 -0,7[-1,5 ÷ -0,2]	4	-0,4 0,7[0,3 ÷ 1,0]	15



Il biossido di azoto (NO_2)

- Gli ossidi di azoto si formano durante qualsiasi combustione dove l'aria sia comburente, in ragione della presenza di azoto e ossigeno;
- Il biossido di azoto (NO_2) si forma in atmosfera in conseguenza di reazioni chimiche che coinvolgono l'ossido di azoto (NO) emesso da fonti primarie, l'ozono (O_3) e alcuni radicali ossidrilici o organici;
- Tale composto possiede un forte potere ossidante, che esercita prevalentemente sulle mucose con cui viene in contatto.

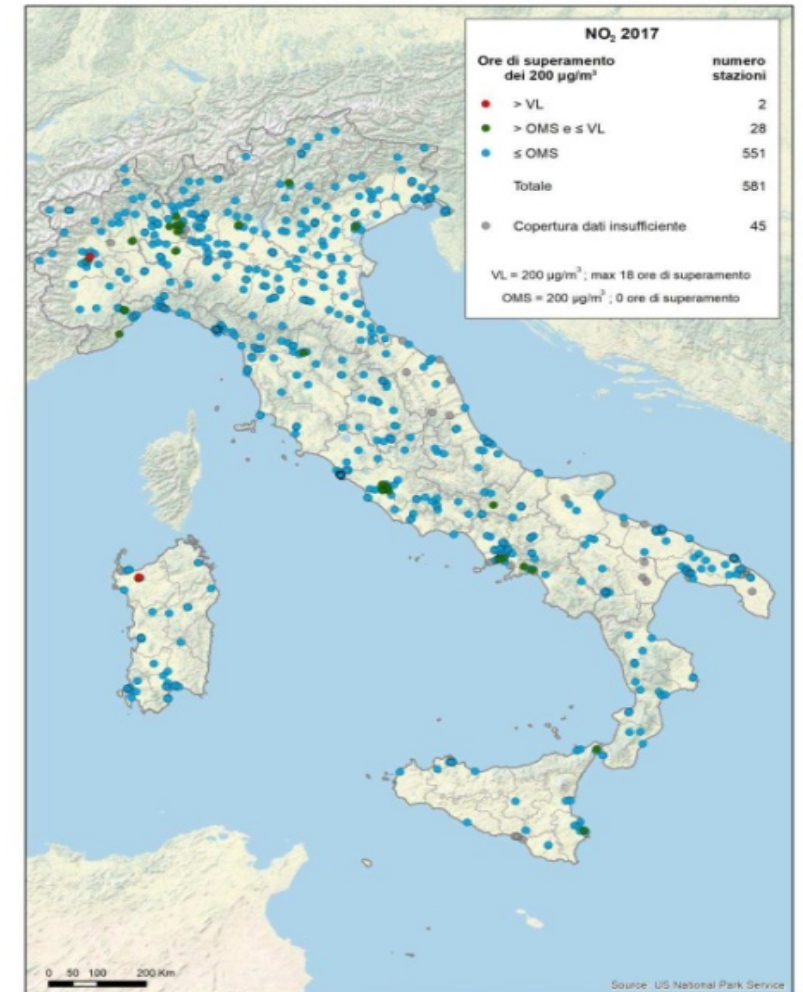


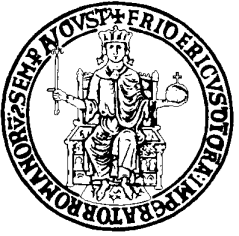


Biossido di Azoto (NO_2) – Stato e trend delle concentrazioni

Le stazioni di monitoraggio che hanno misurato e comunicato dati di NO_2 sono 626 nel 2017. Di queste, 581 (93%) hanno copertura temporale minima del 90%;

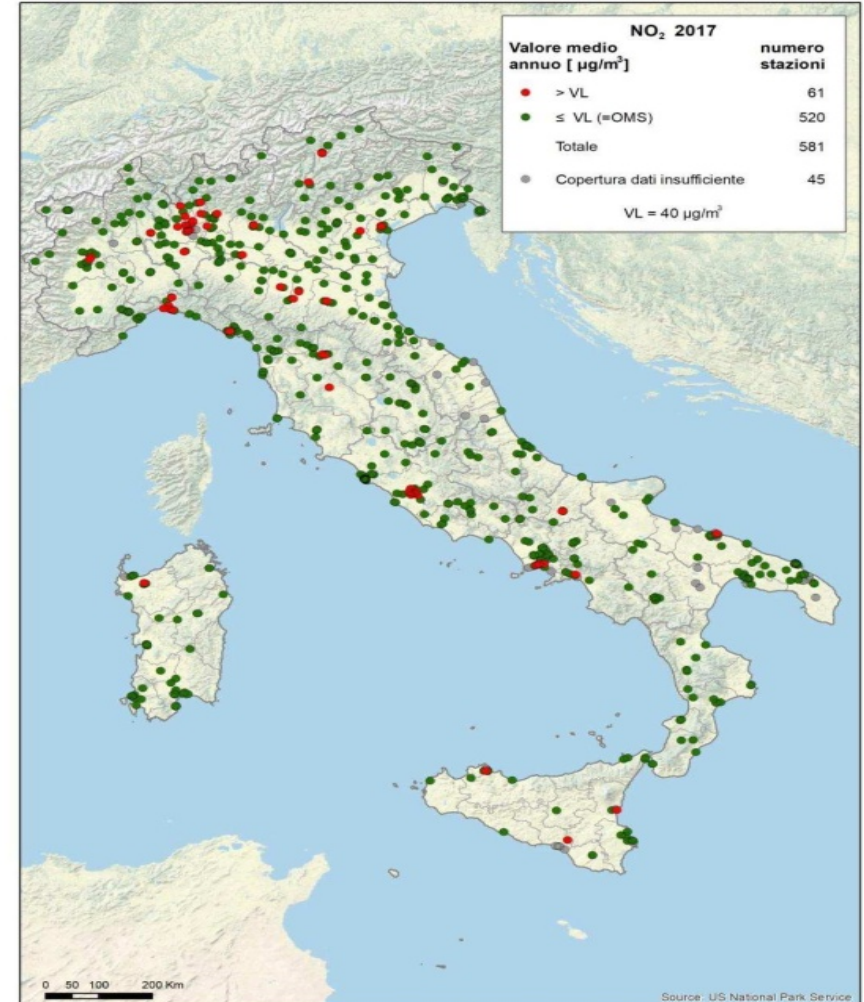
Il valore limite orario è **largamente rispettato** e solo 2 stazioni hanno registrato superamenti della soglia di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media oraria, per più di 18 volte.

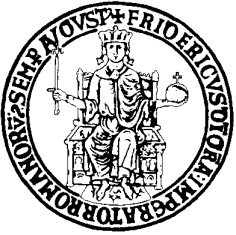




Biossido di Azoto (NO_2) – Stato e trend delle concentrazioni

Il valore limite annuale pari a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annua, che coincide con il valore di riferimento WHO per gli effetti a lungo termine sulla salute umana, è stato superato in 61 stazioni (10%);

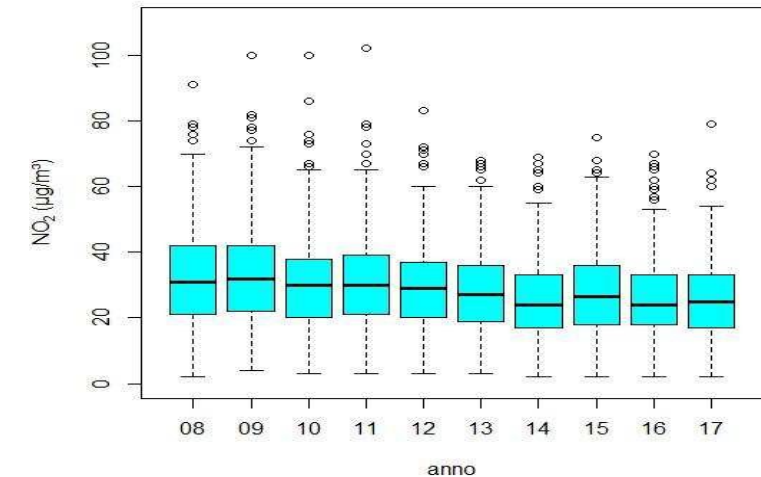




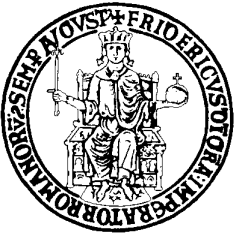
“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

NO₂ – Stato e trend delle concentrazioni

- Si può osservare qualitativamente la riduzione complessiva dei livelli medi annuali, e una tendenza alla riduzione della variabilità spaziale.
- L'analisi statistica condotta con il metodo di Mann-Kendall corretto per la stagionalità ha permesso di evidenziare un trend decrescente statisticamente significativo nel 79% dei casi (195 stazioni di monitoraggio su 246). Un trend crescente statisticamente significativo è stato individuato nel 5% dei casi (12 stazioni di monitoraggio su 246). Nel restante 16% dei casi (39 stazioni di monitoraggio su 246) non è stato possibile escludere l'ipotesi nulla (assenza di trend) per il dato livello di confidenza (95%).

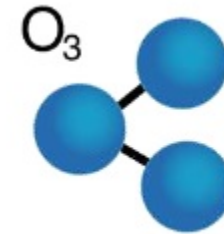


NO ₂	Trend decrescente ($p \leq 0,05$)		Trend crescente ($p \leq 0,05$)		Trend non significativo ($p > 0,05$)
	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}y^{-1}$)	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}y^{-1}$)	n
2008-2017 (246 Stazioni)	195	-1,0 [-4,5 ÷ -0,1]	12	0,5 [0,1 ÷ 1,1]	39



Ozono (O_3)

- È un gas costituito da tre atomi di ossigeno, forte agente ossidante, dotato chimicamente di un'alta reattività legata alla particolare conformazione molecolare, caratterizzata da spiccata instabilità;
- L'accumulo di O_3 nella troposfera dipende dal contemporaneo verificarsi delle seguenti condizioni:
 - L'emissione di inquinanti primari;
 - L'esistenza delle condizioni necessarie per il trasporto di tali sostanze;
 - L'entità della radiazione solare;
 - Il verificarsi delle condizioni per cui la maggior parte del NO emesso dalle fonti primarie sia stato ossidato ad NO_2 .
- L'esposizione ad O_3 può provocare una riduzione della funzionalità polmonare, allo sviluppo di arteriosclerosi ed asma e alla riduzione della speranza di vita.



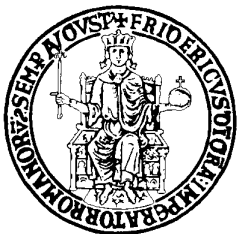


Ozono (O_3)– Stato e trend delle concentrazioni

Nel 2017, le stazioni di monitoraggio che hanno misurato e comunicato dati di O_3 sono 347. Le serie di dati con copertura temporale sufficiente per la verifica dei valori soglia e dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana sono il 95% (331 su 347).

Nel 2017 l'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana è stato superato in 301 stazioni su 331 pari al 91% delle stazioni con copertura temporale sufficiente; l'obiettivo è stato superato per più di 25 giorni in 222 stazioni (67%). Le 30 stazioni in cui non sono stati registrati superamenti dell'obiettivo sono localizzate in siti urbani e suburbani.

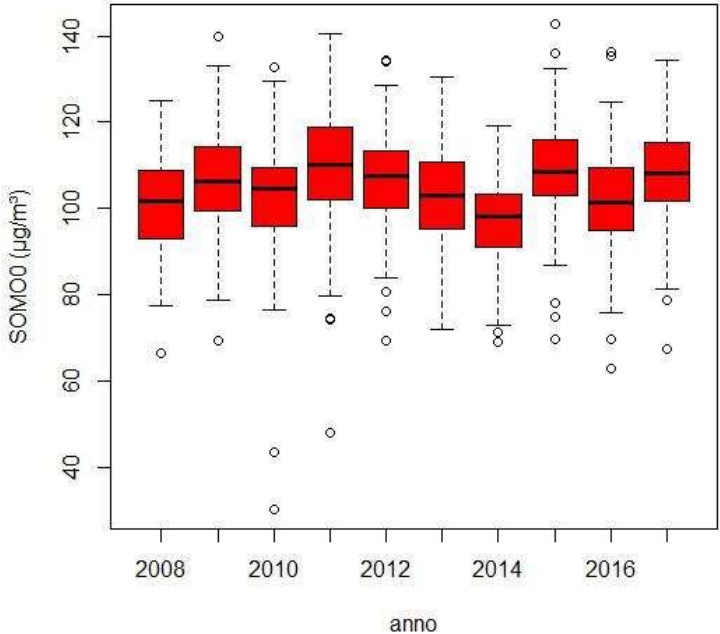




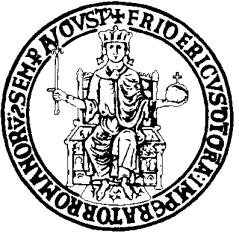
“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Ozono (O₃) – Stato e trend delle concentrazioni

- Dalla distribuzione dei valori dell'indicatore *SOMO0* determinati dal 2008 al 2017 nelle 116 stazioni di monitoraggio sul territorio nazionale **non sembra emergere una tendenza generale.**
- Dall'analisi statistica condotta con il metodo di Mann-Kendall corretto per la stagionalità, emerge che nella quasi totalità delle stazioni (100 su 116) non è possibile individuare un trend statisticamente significativo; la tendenza di fondo appare sostanzialmente monotona, e le oscillazioni interannuali sono attribuibili alle naturali fluttuazioni della componente stagionale. Non è stato dunque possibile escludere l'ipotesi nulla (assenza di trend) per il dato livello di confidenza (95%).



O ₃ (SOMO0)	Trend decrescente ($p \leq 0,05$)		Trend crescente ($p \leq 0,05$)		Trend non significativo ($p > 0,05$)
	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}\ y^{-1}$)	n	Δ_y ($\mu g\ m^{-3}\ y^{-1}$)	n
2008-2017 (116 Stazioni)	9	-2,1 [-2,6 ÷ -1,4]	7	2,5 [1,3 ÷ 4,1]	100



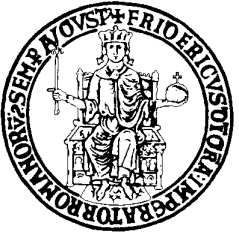
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

TESI DI LAUREA IN INGEGNERIA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

“ANALISI DELL'ANDAMENTO DEI PRINCIPALI INQUINANTI ATMOSFERICI IN ITALIA NEGLI ULTIMI DIECI ANNI”

Sommario

- Introduzione
- Normativa sulla qualità dell'aria
- Il metodo di stima del trend statistico
- Risultati dell'analisi del trend
- Conclusioni

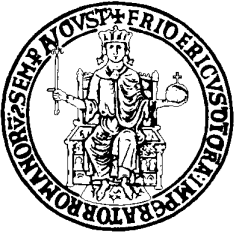


Conclusioni

L'obiettivo di questo studio è stato di verificare l'eventuale esistenza di un trend temporale statisticamente significativo nelle serie di dati dei principali inquinanti atmosferici (materiale particolato, ossidi di azoto e ozono) in Italia, nel periodo dal 2008 al 2017.

Nel periodo analizzato si rileva:

- una larga prevalenza di casi in cui le concentrazioni di PM_{10} , $PM_{2,5}$ ed NO_2 diminuiscono;
- una mancata riduzione nei valori medi delle concentrazioni di ozono (O_3), spiegabile con la sua natura di inquinante secondario per il quale manca una relazione di proporzionalità diretta con la riduzione delle emissioni dei precursori.



Conclusioni

Lo studio mostra anche come a tutt'oggi vengano superati i valori limite e gli obiettivi previsti dalla legislazione, per il materiale particolato, il biossido di azoto e l'ozono troposferico in diverse parti d'Italia.

Inoltre gli obiettivi, più stringenti, dell'organizzazione mondiale della sanità sono ancora lontani dall'essere raggiunti.

Nel quadro europeo, l'Italia con il bacino padano, rappresenta ancora una delle aree dove l'inquinamento atmosferico è più rilevante.



Grazie per l'attenzione

