



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Dipartimento di
Ingegneria Gestionale, dell'Informazione e della
Produzione

Corso di laurea in
Ingegneria Informatica

Classe n. L-8

Analisi statistica dell'impatto sulla
qualità dell'aria in alcune città europee
delle misure restrittive dovute alla
pandemia da SARS-CoV-2

Candidati:
Giulio Balestra
Michele
Rigodanza

Relatore:
Chiar.mo Prof. Francesco
Finazzi

Matricola n.
1047268

Anno Accademico
2022/2023

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1	La comparsa del Sars-CoV-2	3
1.2	Misure Restrittive: Il Lockdown	5
1.3	L'impatto delle chiusure sul traffico	6
1.4	Qualità dell'aria: gli agenti inquinanti.....	8
1.5	Qualità dell'aria: stazioni di monitoraggio.....	9
2	DATASET E METODOLOGIA.....	11
2.1	Descrizione del dataset.....	11
2.2	Metodologia applicata	15
3	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	20
3.1	Serie storiche della concentrazione degli agenti inquinanti	20
	20
3.2	Incidenza del fattore meteorologico	22
3.3	Relazione tra indice di rigidità del lockdown e inquinamento	29
4	CONCLUSIONI.....	38
	SITOGRAFIA	40

1. INTRODUZIONE

1.1 LA COMPARSA DEL SARS-COV-2

Nel dicembre 2019 il virus Sars-CoV-2, più semplicemente noto come coronavirus, fa la sua prima comparsa a Wuhan, città capoluogo della provincia dell'Hubei in Cina. Nella metropoli cinese cominciano a verificarsi una copiosa quantità di casi di polmonite, ai tempi per cause ancora del tutto sconosciute. È il 31 dicembre la data in cui per la prima volta le autorità cinesi informano l'Organizzazione Mondiale della Sanità della forte incidenza di questi sintomi all'intero della città. Col passare dei giorni risulta sempre più chiaro che i recenti avvenimenti non possano trattarsi di una mera casualità; infatti, si fa sempre più strada l'idea della circolazione di un nuovo e sconosciuto virus. All'inizio del 2021, più precisamente il 7 gennaio, il virus viene identificato: appartiene al ceppo dei coronavirus, motivo per cui è in grado di generare nell'individuo sintomi molto simili a quelli causati da Mers e Sars, provenienti anch'essi da questa famiglia. Successivamente a questa data iniziano a susseguirsi notizie dei primi contagi al di fuori del territorio cinese. I primi paesi ad esserne coinvolti sono quelli limitrofi, come Giappone e Thailandia. Inizialmente l'OMS tenta di ridimensionare il panico generato dall'idea dell'innescò di una possibile pandemia mondiale e preferisce non dichiarare uno stato di emergenza globale, valutandone il rischio esiguo. Questa decisione potrebbe essere stata causata da un'iniziale mancanza di trasparenza da parte delle autorità cinesi nel comunicare l'effettiva gravità dell'epidemia e della sua evoluzione nelle sue prime fasi. È infatti noto che diversi portavoce di importanti paesi mondiali, come ad esempio la cancelliera Angela Merkel per la Germania, abbiano lamentato grande insofferenza verso questo iniziale atteggiamento da parte della Cina. I contagi, nel frattempo, continuano ad aumentare e iniziano a verificarsi i primi casi in Europa e nel continente americano. Col passare dei giorni continua a incrementare il numero dei Paesi coinvolti. È proprio l'Italia il primo paese europeo a farne le più grandi spese. La provincia di Bergamo, il comune di Codogno e di Vo Euganeo vengono travolte dal virus. Il 9

marzo 2020 il governo, sotto la guida dell'allora attuale Primo Ministro Giuseppe Conte, si vede costretto a introdurre una misura restrittiva che non trova precedenti fino al secondo dopoguerra: il lockdown. Inizialmente introdotto per contrastare la diffusione del contagio all'interno di Lombardia e Veneto, viene esteso quasi subito a tutto il Paese visti gli allarmanti numeri riportati da tutte le Regioni italiane. Sono sufficienti le due settimane successive per generare un effetto domino in tutti gli altri Paesi europei che iniziano ad assumere lo stesso approccio. Di seguito vengono riportati degli esempi relativi ad alcuni celebri paesi europei:

- Il Regno Unito entra in lockdown il 23 marzo 2020
- La Spagna entra in lockdown il 20 marzo 2020
- La Germania entra in lockdown il 22 marzo 2020
- La Francia entra in lockdown il 17 marzo 2020

1.2 MISURE RESTRITTIVE: IL LOCKDOWN

Il lockdown viene considerato come la misura più estrema per far fronte a situazioni di emergenza che possono mettere a rischio la salute e la sicurezza degli abitanti di una determinata zona. Rappresenta una delle prime risposte che la maggior parte degli stati del mondo ha dovuto adottare per far fronte alle fasi iniziali della Pandemia, soprattutto a causa della poca conoscenza dell'allora nuovo coronavirus. Nella sua accezione più rigida il lockdown prevede importanti regole di confinamento, ad esempio:

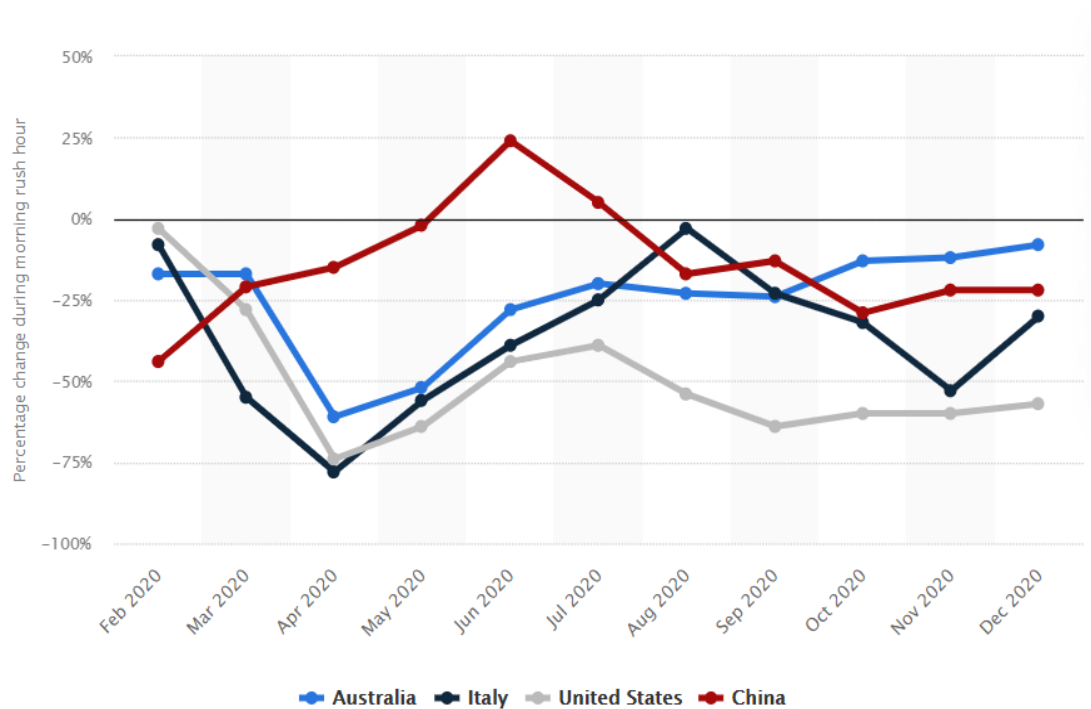
1. È proibito ogni tipo di spostamento dalla propria abitazione che non sia motivato da esigenze lavorative o situazioni di necessità
2. Vengono sospese manifestazioni, riunioni, congressi ed eventi che possano portare all'assembramento di un gran numero di persone
3. Viene sospesa l'attività didattica in presenza per tutti i livelli di istruzione
4. Vengono sospese tutte le attività commerciali che non sono considerate di prima necessità

L'impatto sulla mobilità del cittadino risulta essere enorme in un primo momento poiché le misure vengono introdotte in maniera trasversale. Solo più avanti si parlerà di differenziazione del lockdown grazie all'introduzione di diverse zone di rischio, identificate attraverso fattori inerenti ai contagi e alla diffusione del virus.

Una prima conseguenza di questo drastico cambiamento mostra i suoi risvolti sull'economia mondiale. Ha infatti luogo l'inizio di una grande recessione che non risparmia nessun Paese. Come spiega Gita Gopinath, dal 2019 capo del Fondo Monetario Internazionale, <<La recessione generata dalla pandemia non ha precedenti e fa impallidire quella legata alla crisi finanziaria globale del 2009.>>. Inoltre, risulta da subito molto difficile carpire dei segnali di futura ripresa, proprio a causa dell'insicurezza sulla durata del blocco di tante attività economiche di cruciale importanza.

Non è da sottovalutare nemmeno l'impatto psicologico che il lockdown ha avuto sulla popolazione. Nascono crescenti preoccupazioni sulla salute che disturbano i cittadini, l'obbligo di confinamento può diventare drammatico per chi vive situazioni familiari difficili. Tanti lavoratori vivono l'incubo costante di perdere il lavoro a causa della recessione e per i più giovani vengono a mancare tutte quelle attività, ad esempio lo sport o l'istruzione in presenza, considerate cruciali per lo sviluppo e la crescita dell'individuo all'interno della società moderna.

1.3 L'IMPATTO DELLE CHIUSURE SUL TRAFFICO



La caratteristica del lockdown è la limitazione della mobilità del cittadino. Questo provvedimento ha fortemente influenzato il traffico di tante città nelle sue fasi più rigide. Una ricerca del CNR stima che in Italia il traffico cittadino sia diminuito in media del 48-60% rispetto ai livelli misurati nello stesso periodo negli anni precedenti. La stessa situazione si

Figura 1.1 Evoluzione del traffico durante il primo anno di pandemia (Statista.com)

fondamentale sicuramente la

verifica anche nei più grandi Paesi del mondo, sempre come conseguenza della limitazione degli spostamenti degli abitanti. Come messo in risalto dal grafico (Fig. 1.1), la Cina ad esempio ha osservato la massima diminuzione della circolazione di mezzi a motore nel mese di gennaio 2020 essendo stato il primo Paese ad essere colpito dalla pandemia e avendo dovuto adottare molto prima rispetto al resto del mondo delle misure restrittive.

In Paesi come Stati Uniti e Australia la situazione risulta invece molto più simile a quella italiana, con un massimo picco di diminuzione di più del 50% intorno ad aprile 2020. È proprio questo il momento in cui in generale il Mondo Occidentale ha osservato un minimo storico del traffico cittadino rispetto agli anni precedenti, infatti, come riportato dal grafico (Fig. 1.2) che mostra l'indice di rigidità del lockdown per Spagna, Regno Unito e Germania, è proprio in quel mese che troviamo un primo picco di austerità delle misure.

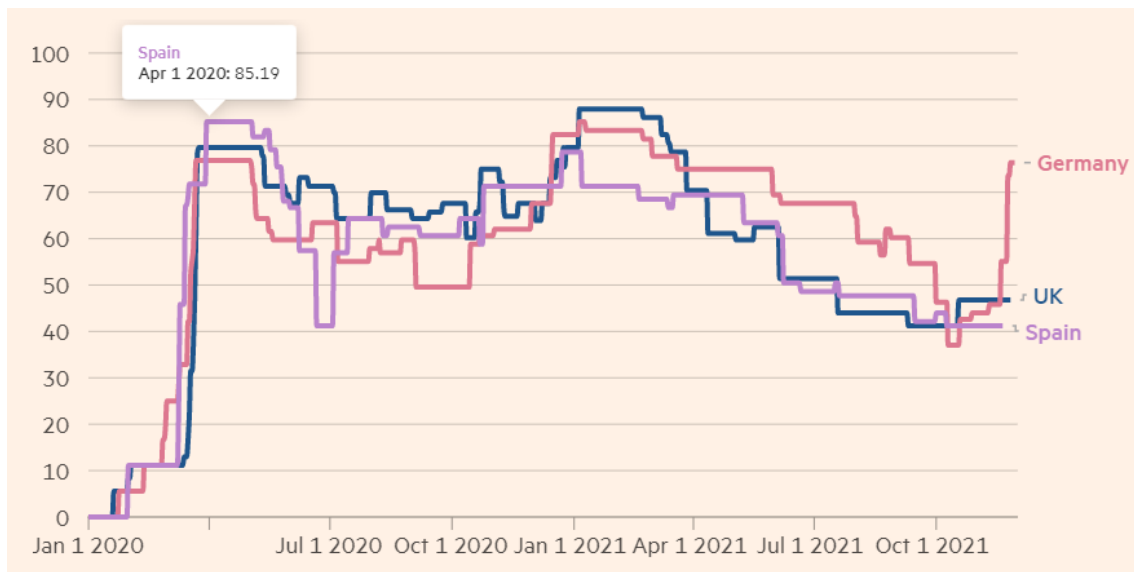


Figura 1.2 Covid Stringency Index (ig.ft.com)

A partire da queste premesse, essendosi verificata un'importante diminuzione della circolazione dei mezzi a motore, diventa plausibile l'idea di formulare un'ipotesi: è possibile che questo ridimensionamento del traffico su scala mondiale abbia

avuto un impatto positivo sulla qualità dell'aria? Quali strumenti si possono utilizzare per quantificare questa evenienza?

L'inquinamento da traffico risulta essere ancora oggi uno dei contributi più consistenti all'inquinamento atmosferico ed è responsabile per la diffusione di agenti inquinanti nocivi, tra i quali PM_x e NO_x, nell'aria. Il *focus* di questa indagine sarà quello di verificare in maniera quantitativa, grazie all'ausilio dei dati raccolti dalle stazioni di rilevamento della qualità dell'aria, come le misure adottate dall'arrivo della pandemia, in particolar modo il lockdown pesante, possano aver influenzato nel tempo la concentrazione degli agenti inquinanti in quattro grandi città europee: Berlino, Londra, Madrid e Milano.

1.4 QUALITÀ DELL'ARIA: GLI AGENTI INQUINANTI

Il livello della qualità dell'aria è determinato dalla concentrazione degli agenti inquinanti presenti in essa. In Italia, ad esempio, esistono dei valori limite per ognuno di questi agenti, utili a indicare situazioni di pericolo per la salute umana. Risulta di fondamentale importanza che questi valori non vengano superati per un elevato numero di giorni durante l'anno per garantire maggiore sicurezza al cittadino. Proprio per questo motivo vengono prese delle misure per limitare la circolazione di autovetture nei centri urbani, ad esempio la circolazione a targhe alterne. L'introduzione del lockdown atta a contrastare la diffusione del virus, potrebbe avere effetto in questo senso, poiché la circolazione di mezzi a motore viene fortemente ridimensionata. L'indagine si concentra quindi sul monitorare la concentrazione nell'aria di tre tra i più prominenti agenti inquinanti:

- NO₂
- PM_{2.5}
- PM₁₀

NO₂, conosciuto anche come biossido di azoto, è un gas altamente tossico che viene generato durante una combustione e a causa della sua alta densità, superiore a quella dell'aria, rimane concentrato per lo più a livello del suolo. Per via di questa

sua caratteristica fisica può facilmente entrare in contatto con l'apparato respiratorio umano e provocare gravi danni alla salute dell'individuo. La combustione nei veicoli a motore è anche in grado di dare vita a delle particelle inquinanti denominate polveri fini. Vengono accomunate dalla sigla PM, ovvero *Particulate Matter*, e ne fanno parte PM2.5 e PM10. I numeri riportati affianco alla sigla indicano il diametro del particolato, misurato in micrometri. Queste particelle, essendo di dimensione così contenuta, possono essere inalate dall'apparato respiratorio e causare problemi di salute. Minore è la dimensione del particolato, maggiore sarà la sua capacità di inoltrarsi più in profondità nei polmoni fino a poter raggiungere i bronchi.

1.5 QUALITÀ DELL'ARIA: STAZIONI DI MONITORAGGIO

Esistono delle stazioni di monitoraggio progettate per controllare la qualità dell'aria e misurare la concentrazione di agenti inquinanti presenti in essa. Queste stazioni sono distribuite sul territorio in punti strategici e svolgono diverse funzioni a seconda della loro ubicazione. Esistono infatti diversi tipi di stazioni di rilievo per la qualità dell'aria e vengono classificate come spiegato di seguito:

- **Traffico:** vengono posizionate in zone molto trafficate per rilevare l'effetto dei veicoli a motore
- **Fondo:** le stazioni di *background* sono posizionate in modo tale da rilevare tutti i contributi dell'inquinamento
- **Industriale:** sono ubicate nei pressi di centri industriali e risentono principalmente di tale inquinamento

La posizione delle singole stazioni viene identificata da un'ulteriore precisazione:

- Urbana: si trovano nei centri abitati
- Suburbana: vengono posizionate in aree non completamente urbanizzate
- Rurale: si collocano in zone non urbane

Per supportare l'indagine, la quale si concentra sulla modulazione del traffico a seguito dei lockdown, si sceglie di prendere in considerazione le stazioni di traffico urbano. Essendo posizionate ad un basso livello di altezza e in prossimità delle strade

più trafficate delle città in questione, grazie ai loro dati, rilevati con frequenza oraria, permettono di condurre analisi di natura statistica e di effettuare confronti tra i livelli di inquinamento rilevati in determinati periodi. A seguito dell'elaborazione di questi dati sarà possibile comprendere se ci sia stato un effettivo miglioramento nella qualità dell'aria.



Figura 1.3: Stazione di monitoraggio dell'aria collocata in un contesto urbano

2 DATASET E METODOLOGIA

2.1 DESCRIZIONE DEL DATASET

Quando vengono condotte indagini di questo tipo è importante costruire un dataset solido, facilmente utilizzabile dal software di elaborazione dati. Ogni dato raccolto a supporto dell'analisi viene processato grazie all'aiuto del software Matlab, una piattaforma di programmazione che permette di scrivere del codice finalizzato al calcolo numerico. Per condurre un'analisi il più possibile veritiera, è di fondamentale importanza una ricerca di dati a partire da fonti attendibili e verificate. Per preparare il dataset, quindi, si è scelto inizialmente di rivolgersi al sito ufficiale della European Environment Agency, che fornisce dati costantemente aggiornati sull'inquinamento nelle più grandi città europee. Il sito fornisce la possibilità, attraverso l'interazione con un menù, di richiedere dati raccolti con frequenza oraria in base all'agente inquinante di interesse. Vengono quindi prelevate le tabelle contenenti le informazioni sugli agenti inquinanti NO₂, PM₁₀ e PM_{2.5} rilevati nelle città di Berlino, Londra, Madrid e Milano. Inizialmente ogni tabella contiene le rilevazioni effettuate da ogni tipo di stazione. È utile quindi, attraverso una fase di ricerca, scremare il numero di stazioni per prendere in considerazione solo quelle di interesse, ovvero quelle che rilevano l'inquinamento da traffico urbano. Per comprendere il comportamento storico e l'evoluzione della concentrazione degli agenti inquinanti vengono scaricati i dati a partire dal 1 gennaio 2015 fino al 31 Dicembre 2021. Le colonne di queste tabelle contengono:

- Countrycode: identificativo del paese (DE, IT, GB, ES)
- Air Quality Station: identificativo della stazione da cui vengono rilevati i dati
- Air Pollutant: agente inquinante di interesse (NO₂, PM₁₀, PM_{2.5})
- Concentration: concentrazione dell'agente inquinante
- Unit of measurment: unità di misura in cui viene espressa la concentrazione, in questo caso microgrammi per metro cubo

- Datetime begin: ora di inizio della rilevazione
- Datetime end: ora di completamento della rilevazione
- Validity: flag che riporta la validità dei dati raccolti, assicurata dal provider
- Verification: flag che testimonia la verifica della validità dei dati raccolti dal provider

Per comprendere l'effettivo rapporto numerico che potrebbe essersi instaurato tra la concentrazione degli agenti inquinanti e i prolungati periodi di lockdown avvenuti durante la pandemia, è necessaria l'introduzione di un nuovo dato: il Covid Stringency Index, ovvero il dato che indica la rigidità del lockdown. Grazie al sito ufficiale di Our World in Data, facente parte del network dell'Università di Oxford, è possibile recuperare questo tipo di dato per ogni paese in questione. Il sito, inoltre, viene gestito in collaborazione del Global Change Data Lab, un'organizzazione no-profit che si occupa di analizzare e comprendere i dati sull'evoluzione delle condizioni di vita sulla Terra al fine di fornire risposte quantitative che possano migliorarla. L'aggiunta di questo dato fornisce la possibilità di comprendere se ci sia o meno una correlazione tra l'evoluzione della concentrazione degli agenti inquinanti e i periodi di chiusura. Le variabili che influenzano il calcolo di questo indice sono 9:

1. Chiusura delle scuole
2. Chiusura dei posti di lavoro
3. Cancellazione di eventi pubblici
4. Restrizioni su assembramenti
5. Modifiche alla mobilità dei trasporti pubblici
6. Possibilità di spostamento dalla propria abitazione
7. Il volume delle campagne pubbliche a prevenzione della diffusione del virus
8. Restrizioni sui movimenti all'interno di città, regione e stato
9. Controlli sugli spostamenti internazionali

La tabella presenta le seguenti colonne:

- Entity: indica il paese a cui fanno riferimento i dati
- Code: identificativo del paese in questione
- Day: data relativa al valore dell'indice calcolato
- Stringency Index: indice di rigidità del lockdown calcolato tramite un valore che va da 0 a 100. Il 100 rappresenta il massimo indice di chiusura possibile

Il primo giorno di disponibilità dei dati si colloca nel 21 Gennaio 2020, data prossima alla scoperta del primo ufficiale caso di COVID-19 registrato in Europa il 24 Gennaio 2020 nella città francese di Bordeaux

Allo scopo di effettuare un'analisi dei dati sull'inquinamento il più possibile corretta e veritiera risulta cruciale l'aggiunta di altre variabili al dataset fino ad ora creato. Infatti, le variabili meteorologiche, giocano un ruolo di fondamentale importanza per la concentrazione degli agenti inquinanti. Ad esempio, l'intensità e la velocità del vento possono causare rimescolamento dell'aria a livello prossimo dal suolo, zona di interesse delle stazioni da cui vengono prelevati i dati per la conduzione di questa indagine. Anche le precipitazioni possono influenzare la presenza di agenti, in quanto le gocce o di pioggia o di neve sono in grado di catturare e trasportare le microparticelle prodotte dall'inquinamento. Il sito ufficiale di Visual Crossing ci permette quindi di formulare delle API queries per richiedere i dati meteorologici di nostro interesse, registrati con frequenza giornaliera per ogni città coinvolta nell'indagine. Vengono quindi create delle tabelle Excel che riportano per ogni città l'evoluzione delle variabili meteorologiche, di seguito vengono elencate quelle rilevanti per l'analisi:

- Velocità del vento
- Umidità relativa dell'aria
- Precipitazioni
- Temperatura media giornaliera

- Visibilità (massima distanza alla quale si può vedere un oggetto a seconda delle condizioni atmosferiche)

Una diminuzione o un aumento degli agenti inquinanti in periodo di lockdown potrebbe essere causata dall'evoluzione delle variabili meteorologiche. Risulta quindi fondamentale prenderle in considerazione nella complessità del problema. La rimozione dell'“effetto meteo” fornisce la possibilità di ottenere una risposta più limpida dall'analisi della correlazione tra l'indice covid e la concentrazione degli agenti inquinanti.

2.2 METODOLOGIA APPLICATA

Il punto di partenza dell'indagine si focalizza sull'analisi dei comportamenti degli agenti inquinanti presi in considerazione negli ultimi anni. Per condurre uno studio accurato vengono considerati i dati sugli agenti a partire dal 1° gennaio 2015. Questa operazione fornisce la possibilità di osservare come l'andamento delle concentrazioni degli agenti inquinanti si sia evoluto nel corso degli anni e controllare se sia possibile notare o meno un particolare sviluppo a partire dall'anno 2020. Risulta quindi di fondamentale importanza l'utilizzo di strumenti statistici, come ad esempio la media campionaria, al fine di rimuovere le anomalie nei valori delle concentrazioni verificatesi in momenti storici non d'interesse per questo studio. Infatti, l'utilizzo di una media permette una visione dell'andamento dei valori in analisi semplificata all'osservatore, rimuovendo tutti quei picchi dovuti a cause esterne. In particolar modo è stata sfruttata la funzione di Matlab *retime*, che, applicata alle *timetable* costituite dai dati delle concentrazioni rilevati con frequenza oraria, ha consentito di rappresentare l'evoluzione della serie storica degli agenti attraverso una media giornaliera. Di seguito viene fornito un frammento del codice atto a svolgere questa funzione (da qui in avanti verrà mostrato come esempio il codice applicato alla città di Madrid e l'agente inquinante NO₂, congruentemente anche le altre città e agenti verranno gestiti con la medesima metodologia):

```
MedieGior_NO2_Madrid = retime (timetable  
(Madrid_NO2.DatetimeBegin,  
Madrid_NO2.Concentration), 'daily', 'mean');
```

Nel frammento di codice la variabile `MedieGior_NO2_Madrid` viene creata attraverso una funzione che prende come parametri `Madrid_NO2.DatetimeBegin`, ovvero l'orario di ogni misura, e `Madrid_NO2.Concentration`, che rappresenta la concentrazione dell'agente inquinante preso in esame. Esistono altri strumenti che ci permettono di manipolare le serie storiche per averne una migliore comprensione. Una componente importante di quest'ultime è il trend, ovvero la

tendenza di fondo. È usanza rimuovere la tendenza di lungo periodo di una serie storica per cercare di notare comportamenti ciclici o stagionali. Attraverso le seguenti linee di codice si applica la procedura precedentemente descritta. In particolar modo viene sfruttato un *fit* polinomiale quadratico:

```
a_MA_N02 = MedieGior_NO2_Madrid.Var1;  
y_MA_N02 = detrend(a_MA_N02, 2, 'omitnan');  
trend_MA_N02 = a_MA_N02 - y_MA_N02;
```

La funzione *detrend* riceve in ingresso i dati sulla concentrazione e il grado del fit polinomiale che si intende applicare, in questo caso 2. Inoltre, si può notare l'utilizzo di *'omitnan'* che permette di escludere eventuali valori giornalieri mancanti.

Successivamente viene effettuato un plot per osservare i primi risultati ottenuti. Avendo meglio compreso la serie storica degli agenti inquinanti si può procedere alla fase successiva. L'indagine a questo punto si focalizza sui primi sei mesi dell'anno 2020, il periodo storico della pandemia con i lockdown più rigidi. Vengono quindi create delle nuove tabelle che contengono la porzione di dati sulle concentrazioni degli agenti inquinanti a partire dal 21 gennaio 2020 fino al 30 giugno 2020. Si vuole a questo punto verificare l'incidenza delle variabili meteorologiche sull'inquinamento da traffico urbano. Per effettuare questa procedura viene utilizzato un modello di regressione lineare multipla, un'estensione del modello di regressione lineare semplice: questa tecnica si sfrutta per analizzare dei dati composti da una variabile dipendente, detta anche variabile di risposta, e una o più variabili indipendenti, dette anche regressori. L'obiettivo, in questo, consiste nell'individuare una relazione di correlazione tra variabile dipendente e variabile indipendente. In generale un modello di regressione è quindi descritto dalla seguente equazione:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon$$

- Y: variabile dipendente
- X_m : variabili indipendenti

- β_0 : intercetta del modello
- β_m : parametri stimati del modello di regressione
- ε : componente stocastica di errore

Nel caso preso in considerazione Y è rappresentato dalla concentrazione degli agenti inquinanti e le variabili indipendenti (madrid_X) coincidono con le variabili meteorologiche illustrate nel capitolo precedente. Utile per questo tipo di analisi è la funzione *regress*, espressa nella forma seguente:

```
[b_madrid_PM10,bint_madrid_PM10,residui_madrid_PM10,rint_madrid_PM10,stats_madrid_PM10] = regress(madrid_PM10_y,madrid_X)
```

Essa riceve come input il vettore delle concentrazioni giornaliere (madrid_PM10_y) e la matrice contenente le variabili meteo. Per quanto riguarda gli argomenti in output si ha:

- b_madrid_PM10 : stima dei coefficienti della regressione lineare multipla, restituite come vettore numerico. b_madrid_PM10 è un vettore $p\text{-per-}1$, dove p è il numero di predittori in madrid_X ;
- bint_madrid_PM10 : campi di confidenza imposti limite inferiore e superiore per le stima dei coefficienti, restituiti come matrice numerica. bint_madrid_PM10 è una matrice $p\text{-per-}2$, dove p è il numero di predittori in madrid_X . Nella prima e seconda colonna della matrice ottenuta sono in ordine riportati: limite di confidenza inferiori e superiori;
- $\text{residui_madrid_PM10}$: vettore dei residui. La dimensione di quest'ultimo è $n\text{-per-}1$, dove n è il numero di osservazioni di madrid_X ;
- rint_madrid_PM10 : Intervalli per diagnosticare i valori anomali, restituiti come matrice numerica. rint_madrid_PM10 è una matrice $n\text{-per-}2$, dove n è il numero di osservazioni contenute in madrid_X ;
- stats_madrid_PM10 : riporta alcune misure fondamentali per l'analisi, quali R^2 , la statistica F e il suo $p\text{-value}$ e una stima della varianza dell'errore. R^2 ci fornisce la bontà di adattamento dello stimatore della regressione ai dati.

La statistica F output del test F fornisce la significatività del modello utilizzato. Il p-value, invece, è la probabilità che l'oggetto stimato abbia un valore uguale o più estremo rispetto a quello osservato, ovvero la sua significatività.

A seguito di questa operazione di regressione viene effettuato un plot per osservare graficamente quale sia il rapporto tra la variabile meteo e le concentrazioni degli agenti inquinanti.

Il passaggio successivo riguarda l'individuazione dell'effettiva correlazione presente tra le concentrazioni degli agenti inquinanti e l'indice di rigidità covid. Per effettuarlo tenendo conto di aver eliminato l'effetto del meteo, vengono prelevati i residui ricavati dal precedente modello di regressione, relativi agli agenti inquinanti, e vengono utilizzati insieme all'indice di rigidità come input per creare un nuovo modello di regressione lineare semplice. Questa operazione viene effettuata grazie all'utilizzo della seguente funzione:

```
reg_madrid_PM10 = fitlm(madrid_x1 ,residui_madrid_PM10);
```

La funzione permette di fittare un modello di regressione lineare semplice utilizzando i dati citati precedentemente come input e restituisce le informazioni utili a valutare la consistenza del modello. In particolare, l'analisi concentra il suo interesse nell'osservazione del coefficiente R^2 . Inoltre, la funzione *fitlm* crea un modello facilmente sfruttabile come input per la funzione *plot*., trovandoci in un modello di regressione lineare semplice. Per avere una migliore comprensione grafica del seguente processo vengono prodotti tramite plot due tipi diversi di grafici:

- Un grafico mostrante la retta di regressione che evidenzia la relazione esistente tra le due variabili
- Un grafico che sovrappone sull'asse y l'indice di rigidità del lockdown all'andamento dei residui del singolo agente inquinante, con i giorni come ascissa comune

Per quanto riguarda il secondo grafico viene effettuata un'ulteriore operazione per avere una visione più chiara dell'evoluzione nel tempo dei residui. I residui risultano di difficile lettura presentando valori irregolari e spesso distanti da un giorno all'altro. Viene quindi effettuato uno smoothing della curva dei residui per valutare più chiaramente il comportamento di quest'ultima attraverso il Curve Fitting Toolbox di matlab, che permette di effettuare la procedura in maniera automatizzata e di generare il codice che svolge la funzione. Viene scelto $p = 0.9941$ come parametro di smoothing in maniera totalmente empirica, osservando quanto effettivamente venga cancellato il rumore senza alterare troppo l'andamento dei grafici prodotti. Effettuato questo passaggio si procede con l'osservazione dei risultati grafici e il commento degli stessi.

3 PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

3.1 SERIE STORICHE DELLA CONCENTRAZIONE DEGLI AGENTI INQUINANTI

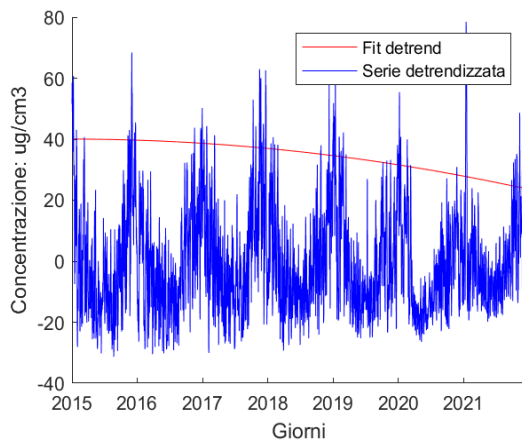


Figura 1: Serie storica detrendizzata Madrid NO2

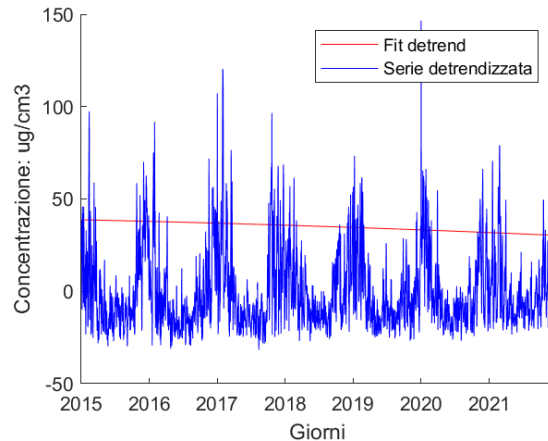


Figura 3-2: Serie storica detrendizzata Milano PM10

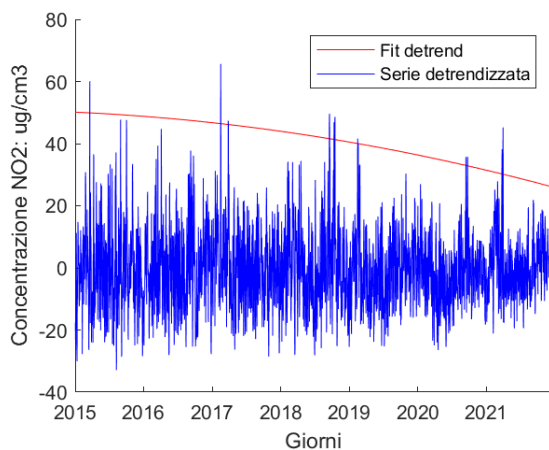


Figura 3-3 Serie storica detrendizzata Berlino NO2

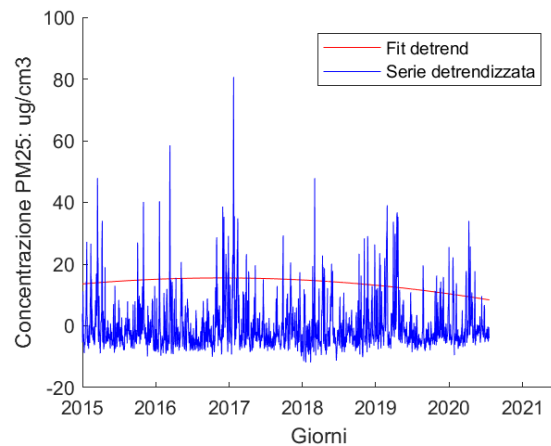


Figura 3-4 Serie storica detrendizzata Londra PM25

I quattro grafici riportati all'inizio del capitolo mostrano l'evoluzione delle serie storiche degli agenti inquinanti presi in considerazione all'interno dell'analisi. Viene mostrato un grafico per città in modo da fornire una prospettiva generale della situazione. In generale all'interno di un grafico gli assi riportano la misura della concentrazione sulle ordinate e il tempo a partire dall'anno 2015 fino al 2021 sulle ascisse. La linea blu rappresenta quindi l'effettivo comportamento degli agenti inquinanti.

Risulta immediato notare come i grafici presentino comportamenti in parte simile. Per esempio, è possibile notare un comportamento oscillante nelle serie storiche. Viene messo in particolare risalto dalla fig. 3-1. Seguendo ad esempio l'evoluzione tra 2015 e 2016, si può notare come ad inizio anno la concentrazione dell'agente NO_2 sia ad un livello alto. Avvicinandosi al periodo centrale dell'anno, coincidente con la stagione estiva, l'inquinamento tende ad abbassarsi fino a raggiungere i picchi più bassi. Questa prima immagine rispecchia esattamente ciò che avviene durante l'anno: generalmente il traffico urbano risulta molto più consistente durante la stagione invernale, rispetto ai mesi estivi.

La linea rossa, sovrapposta alle serie storiche, permette di dare una lettura ancora più chiara dei grafici riportati. Rappresenta infatti l'andamento reale dell'agente inquinante nel periodo preso in considerazione senza tenere conto delle oscillazioni. È possibile notare come in tutti i casi citati l'evoluzione degli agenti inquinanti mostrati abbia seguito una tendenza di costante decrescita. Questo è probabilmente dovuto dalle misure prese negli anni dai paesi membri nell'Unione Europea volte a contrastare l'inquinamento. Non risulta un'informazione controproducente per l'analisi, in quanto la diminuzione segnalata è sì costante negli anni ma non abbastanza consistente da influenzare il periodo di 6 mesi di lockdown che viene approfondito in seguito.

Risulta anche chiaro che non tutti gli agenti inquinanti, per loro composizione e caratteristiche, seguano lo stesso preciso comportamento, ad esempio l'agente $\text{PM}_{2.5}$ visto nella città di Londra tende ad oscillare con meno intensità rispetto alle situazioni presentate negli altri grafici.

3.2 INCIDENZA DEL FATTORE METEOROLOGICO

Nelle seguenti pagine vengono mostrati i grafici relativi ai modelli di regressione generati utilizzando come regressori gli agenti meteorologici che possono avere un impatto maggiore sulla concentrazione degli inquinanti presi in considerazione all'interno dell'analisi. In particolare, si mostra la relazione esistente con umidità, precipitazioni, velocità del vento e temperatura. L'obiettivo è quello di fornire un'idea generale dell'analisi, presentando alcuni esempi dei grafici prodotti sia a seconda dell'agente inquinante sia a seconda della città considerata. Oltre ad una valutazione da un punto di vista qualitativo, ovvero l'andamento del piano di regressione prodotto, è importante prendere in considerazione due parametri fondamentali per valutare la bontà del modello e l'effettiva incidenza del meteo sull'inquinamento urbano:

- **p-value:** utilizzato spesso nell'inferenza statistica e nei test d'ipotesi. Utilizzato all'interno di un modello di regressione permette di comprendere ancora meglio le performance e la solidità del modello applicato. Permette di capire se la relazione tra le variabili osservata a livello del campione preso in esame può essere valida a livello di popolazione. In particolare, viene effettuato un test sull'ipotesi nulla che non ci sia correlazione tra le variabili indipendenti e quella dipendente. Generalmente il parametro di significatività viene fissato a 0.05. Se il p-value risulta essere superiore del livello di significatività allora è possibile concludere che i regressori presi in esami non hanno un peso importante per determinare l'evoluzione della variabile dipendente. Al contrario un valore inferiore a 0.05 conferma l'impatto delle variabili prese in esame sulla variabile dipendente, rifiutando l'ipotesi nulla che non ci sia correlazione tra queste, e ne conferma il loro effetto a livello di popolazione.
- **coefficiente di determinazione:** noto più semplicemente come R^2 , permette di capire se il modello di regressione applicato ai dati analizzati è funzionale a descrivere la situazione presa in esame. Il suo range di valore è tra 0 e 1.

Diventa significativo per valutare la bontà del modello applicato quando è superiore a 0.5, caso in cui le osservazioni prese in considerazione sono ben descritte dalla regressione lineare utilizzata. Quando invece il coefficiente di determinazione è inferiore a 0.5 il modello non è ideale per spiegare le variazioni della variabile dipendente attraverso i regressori considerati.

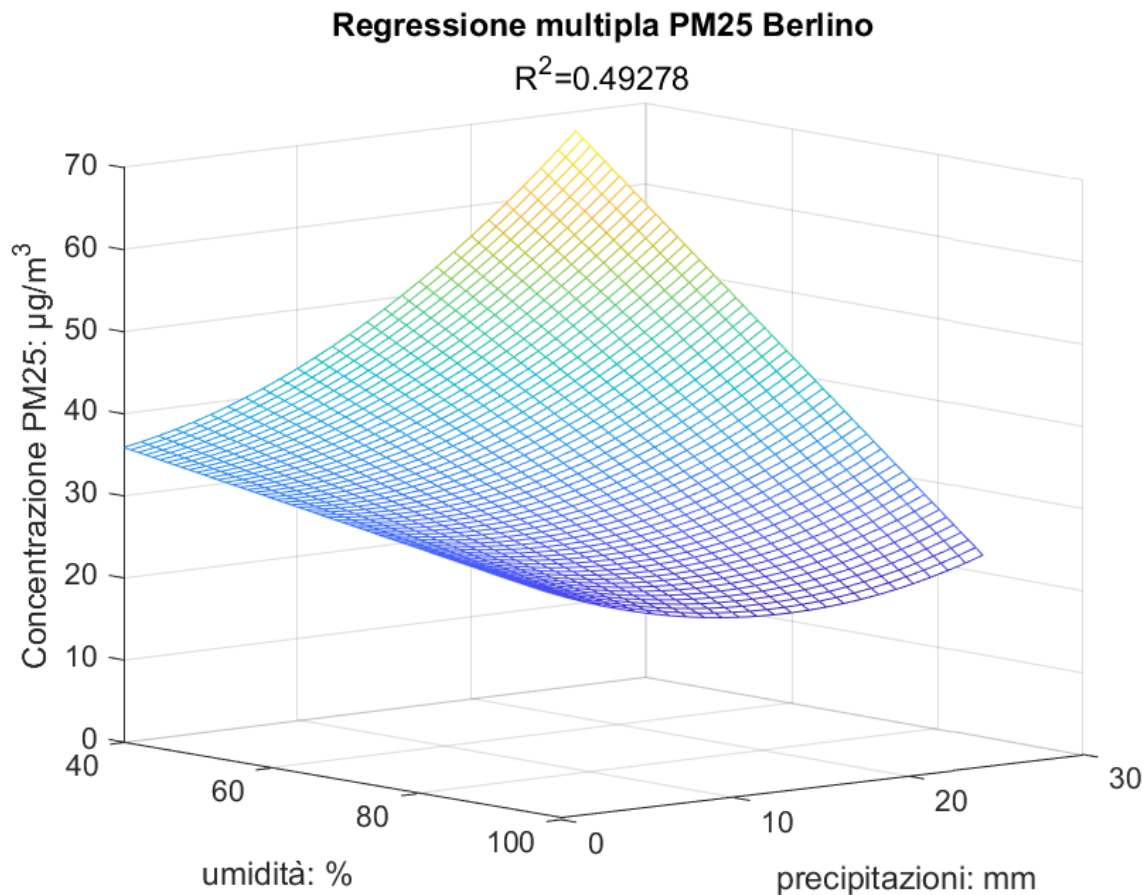
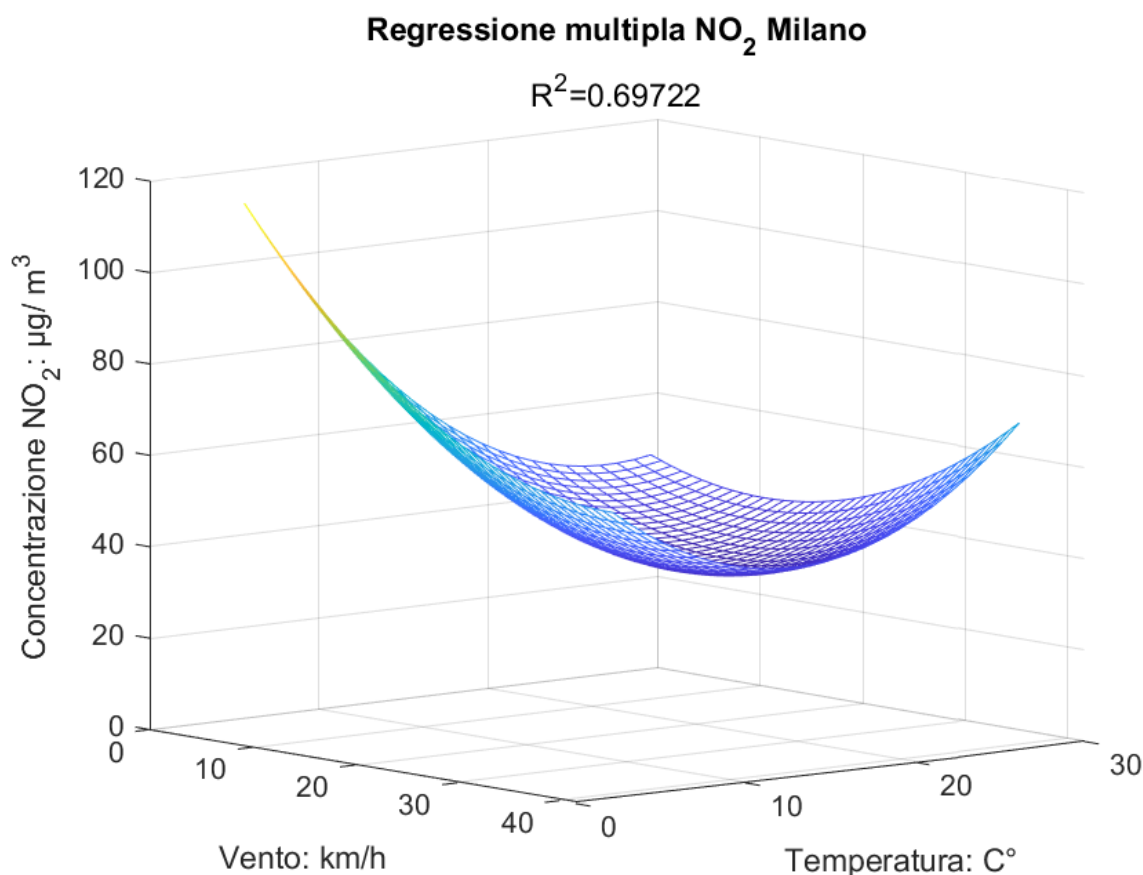


Figura 3-5

Ad esempio, il grafico appena riportato, mostra il piano di regressione individuato dal modello di regressione lineare applicato all'agente inquinante PM2.5 nella città di Berlino, utilizzando come regressori le variabili meteo. In particolar modo, all'interno di questo plot viene messo in luce il comportamento dell'agente inquinante al variare dell'umidità, espressa in valore percentuale, e delle precipitazioni, espresse in millimetri. Dal punto di vista qualitativo è possibile notare come all'aumentare dell'umidità si possa riscontrare una diminuzione di PM2.5 nell'aria. Per quanto riguarda le precipitazioni una loro variazione positiva



non mette in luce un rilevante cambiamento per l'evoluzione della concentrazione. È possibile però notare un buon valore di R^2 , riportato al di sotto del titolo del grafico, approssimabile a 0.5, in grado di confermare il buon fit del modello di regressione applicato che prende in considerazione anche alcuni termini quadrati e di interazione tra le variabili indipendenti. L'osservazione del p-value fornisce ulteriori conferme. Quest'ultimo presenta un valore di molto inferiore allo 0.05, soglia di significatività, in particolare risulta 5.3×10^{-18} . Questo valore testimonia la forte incidenza delle variabili meteo sull'agente inquinante. È possibile pensare che un leggero aumento delle precipitazioni abbia influito sul valore dell'umidità, in particolare che la abbia favorita. In condizioni di precipitazioni e alta umidità le particelle di agenti inquinanti vengono forzate più possibile a livello del suolo. Questo causa immediatamente un effetto positivo sulla qualità dell'aria, riscontrabile nel nostro grafico con una diminuzione della concentrazione di PM2.5.

Il grafico mostrato sopra fornisce un'altra prospettiva per quanto riguarda gli agenti meteorologici. Viene presa in considerazione la concentrazione di NO₂ per la città di Milano, quella che tra le 4 ha dovuto fare esperienza del lockdown sicuramente più rigido. L'aumento del vento, misurato in km/h favorisce l'allontanamento delle particelle inquinanti, come messo in mostra dal piano di regressione rappresentato e permette di osservare quindi un miglioramento a livello generale della qualità dell'aria. Discorso differente invece per la temperatura. Il suo aumento è in grado di rendere l'aria più stagnante e, come messo in luce dal punto di vista grafico, causare un aumento nel rilievo della concentrazione di NO₂. Risulta importante sottolineare come anche in questo caso si ottenga un valore del coefficiente di determinazione superiore a quello del caso precedentemente considerato. Infatti, quest'ultimo si attesta intorno a 0.7, testimonianza dell'ottimo fit del modello. Inoltre, si prende in considerazione anche per questo caso l'osservazione del valore di p-value: il risultato è 2.5×10^{-34} .

Anche per la città di Milano quindi l'effetto delle variabili meteo osservate risulta critico nell'evoluzione dell'agente inquinante NO₂. Da un lato l'agente inquinante NO₂ è quello che durante tutto il corso dell'analisi ha presentato dati più consistenti e validi per lo sviluppo dell'indagine. Inoltre, la città di Milano è quella di cui si ha esperienza più diretta e di cui si conoscono meglio i connotati e le caratteristiche dei periodi di chiusura. Rappresenta quindi uno dei punti più importanti dell'analisi condotta.

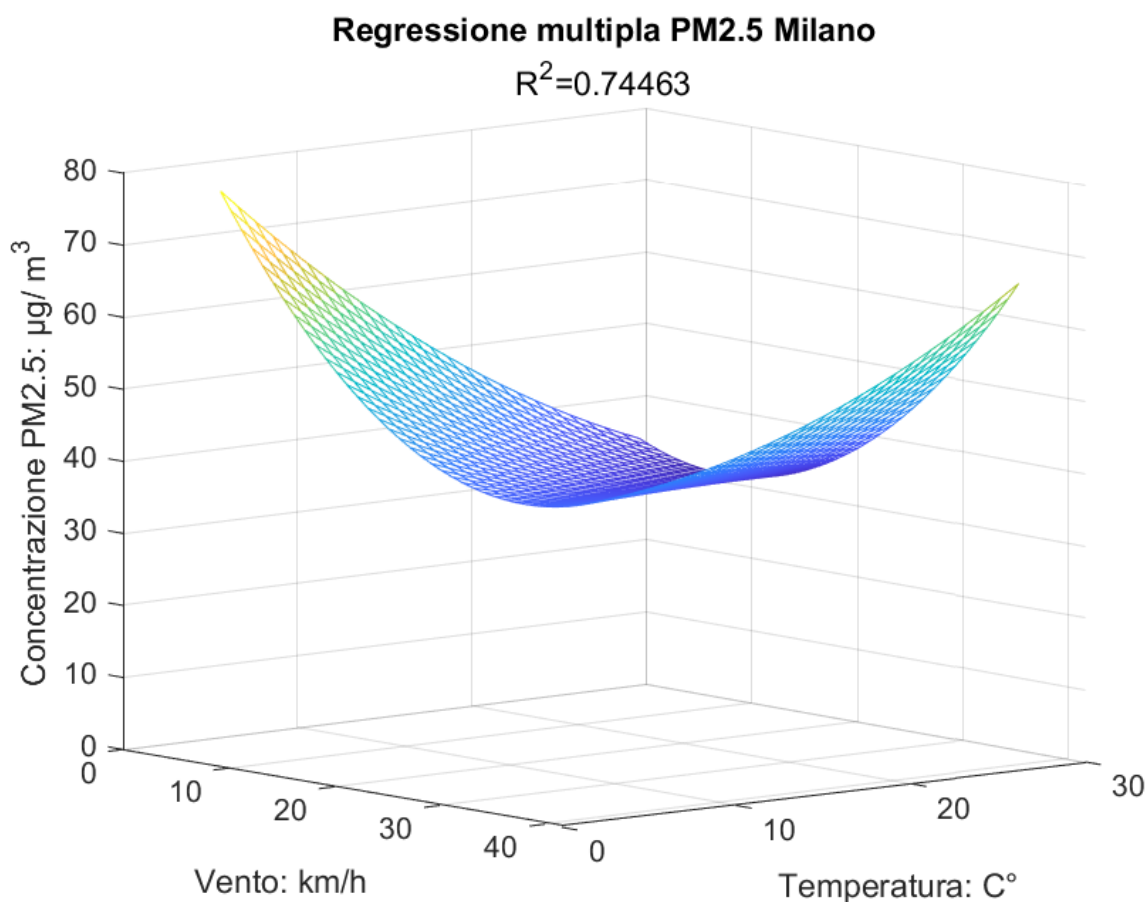
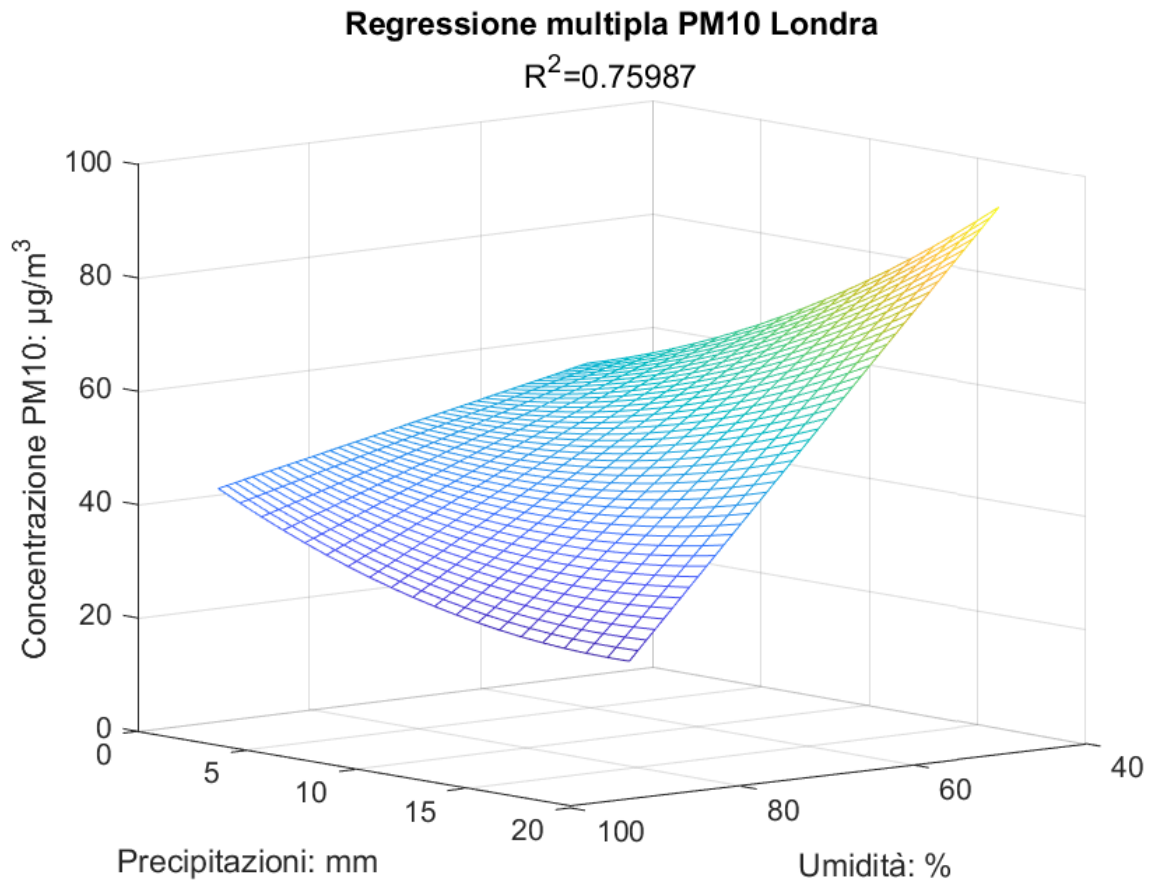


Figura 3-7

Si sceglie quindi di mostrare altre informazioni per quanto riguarda Milano. Nel grafico appena riportato viene messa in mostra l'evoluzione dell'agente inquinante PM2.5. È possibile notare anche come in questo caso l'aumento della temperatura possa favorire una maggiore concentrazione di PM2.5 rilevata dalle stazioni urbane. L'aumento della velocità del vento causa, inoltre, una rilevante diminuzione dell'agente inquinante, si può notare come tra gli 0 e i 20 km/h di vento si possa mettere in luce una diminuzione di circa la metà per quanto riguarda NO_2 . Anche per questa situazione considerata si ottengono buoni risultati statistici. Innanzitutto, un coefficiente di determinazione pari a circa 0.75, testimonianza di un buon adattamento per quanto riguarda il modello di regressione lineare applicato. In aggiunta si ottiene come risultato un p-value pari a circa 2.24×10^{-38} , confermando anche in questo caso l'incidenza delle variabili meteorologiche sulla qualità dell'aria, sia a livello del campione preso in considerazione che sull'eventuale popolazione reale di dati



Viene mostrato alla precedente l'ultimo grafico scelto per lo sviluppo di questa parte dell'analisi, ovvero l'evoluzione dell'agente inquinante PM10 nella città di Londra. La sua fama di città particolarmente piovosa è confermata dai risultati qualitativi messi in luce dal plot effettuato. Il piano di regressione rappresentato evidenzia un'importante diminuzione dell'agente inquinante alla presenza di valori alti di umidità e sicuramente in questo senso le precipitazioni hanno un effetto importante. Sia poiché sono in grado di aumentare il tasso di umidità dell'aria sia perché sono responsabili in prima persona di portare le particelle inquinanti verso il basso e permettere alle stazioni di rilievo dell'inquinamento urbano un miglioramento della qualità dell'aria e una diminuzione nella concentrazione di PM10. È proprio per questo che viene rilevato un coefficiente di determinazione di circa 0.76, il più alto individuato all'interno dell'analisi e quindi la situazione in cui il modello spiega in maniera migliore l'evoluzione della

variabile dipendente tramite i suoi regressori. Il valore di p-value rafforza le ultime assunzioni e diventa ancora più rilevante per la città di Londra e il suo rapporto con gli agenti atmosferici. L'influenza, ad esempio, di precipitazioni e umidità risulta determinante; infatti, come risultato per il valore si ottiene circa 1.74×10^{-41} . In generale i risultati ottenuti sono in linea con il comportamento fisico degli agenti inquinanti in relazione agli agenti atmosferici. I modelli di regressione fin qui applicati hanno permesso di osservare l'effetto del meteo sull'inquinamento in un primo momento. Inoltre, hanno permesso la mitigazione di questo effetto e offerto la possibilità, attraverso la produzione dei residui, di procedere e valutare successivamente quanto il lockdown sia stato responsabile del comportamento degli agenti inquinanti.

3.3 RELAZIONE TRA INDICE DI RIGIDITÀ DEL LOCKDOWN E INQUINAMENTO

L'ultima fase dell'analisi statistica vuole inizialmente fornire un riscontro grafico e una valutazione qualitativa dell'impatto del lockdown sull'inquinamento urbano. A questo proposito i grafici che vengono presentati all'interno del capitolo hanno come obiettivo quello di rappresentare contemporaneamente l'andamento delle concentrazioni degli agenti inquinanti nel periodo tra gennaio e luglio del 2020 e l'evoluzione dell'indice di rigidità del lockdown analizzato nello stesso periodo. In tal modo le curve delle due grandezze possono essere confrontate contemporaneamente e risulta possibile individuare delle corrispondenze tra eventuali cambiamenti nel loro comportamento. L'elemento che caratterizza questi grafici è l'operazione di smoothing effettuata e descritta all'interno del capitolo 2, applicata ai residui ottenuti dal processo di regressione multipla tra agenti inquinanti e variabili atmosferiche. La curva disegnata in rosso rappresenta proprio la curva dei residui effettuato lo smoothing, i punti blu presenti all'interno del tracciato mostrano la posizione reale degli stessi a testimonianza del procedimento. È possibile notare, vista la distribuzione dei punti, come utilizzare la reale curva seguita dai residui potrebbe complicare non di poco la lettura di un grafico simile. La cancellazione del rumore non altera la natura dei dati, al contrario fornisce l'opportunità di una lettura più chiara e mira a porre in evidenza il comportamento della grandezza. Risulta particolarmente utile per questa analisi e la produzione di questi grafici ha permesso di individuare dei comportamenti ricorrenti. Tornano di fondamentale importanza anche le analisi condotte all'inizio del procedimento sulle serie storiche degli agenti inquinanti e sicuramente possono in parte essere utilizzate come termine di paragone in quanto rappresentano l'andamento reale della loro concentrazione nel tempo.

- **AGENTE INQUINANTE NO₂ NELLA CITTÀ DI MADRID**

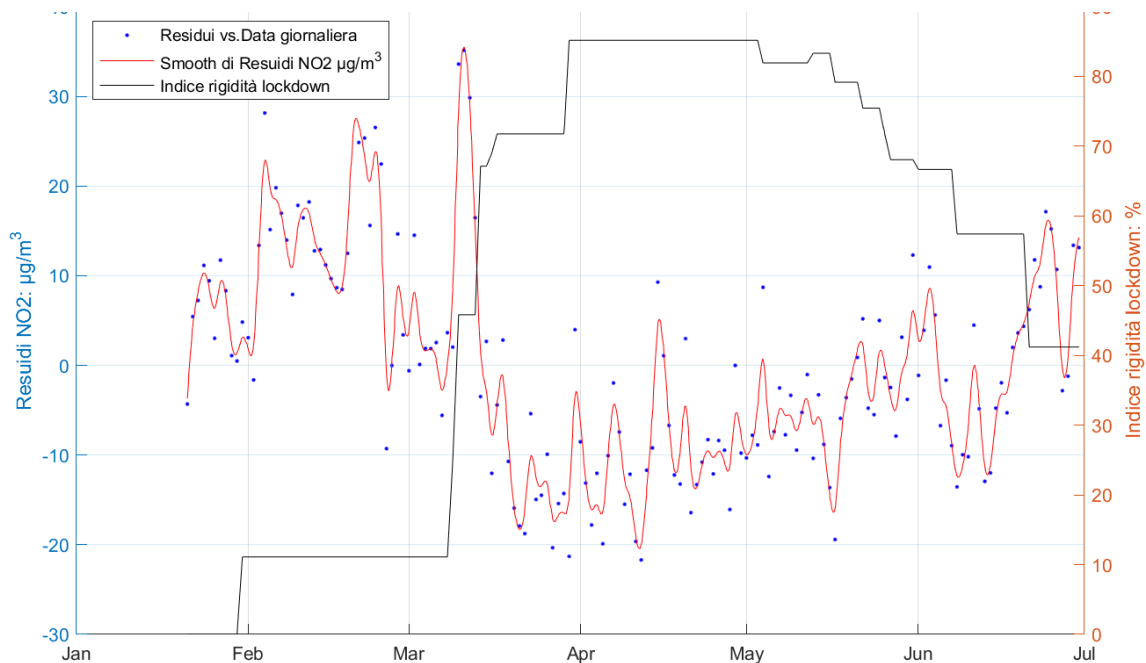


Figura 3-9

Inizialmente notiamo una concentrazione di agente NO₂ molto più alta rispetto alla media del grafico nella città di Madrid. In città le limitazioni non risultano così ferree ma è proprio dall'inizio di marzo che in corrispondenza di un deciso aumento dell'indice lockdown, a seguito del suo picco più alto, la concentrazione di NO₂ diminuisce in maniera consistente, tanto che per la maggior parte del periodo di chiusure più estremo la concentrazione risulta essere al di sotto della media ipotizzata. Al contrario si nota subito un incremento e un ritorno ai livelli di concentrazione invernali proprio nel momento in cui le indicazioni per la mobilità dei cittadini iniziano ad essere sempre meno stringenti. Anche la serie storica dell'agente inquinante NO₂, oltre a mostrare un andamento tendenzialmente in discesa, mette in mostra i valori più bassi degli ultimi anni prendendo in considerazione la curva anche negli anni precedenti. La discussione grafica quindi per questa città sostiene l'ipotesi che ci sia stato un effettivo miglioramento della qualità dell'aria in quella finestra temporale.

- **AGENTE INQUINANTE NO₂ NELLA CITTÀ DI MILANO**

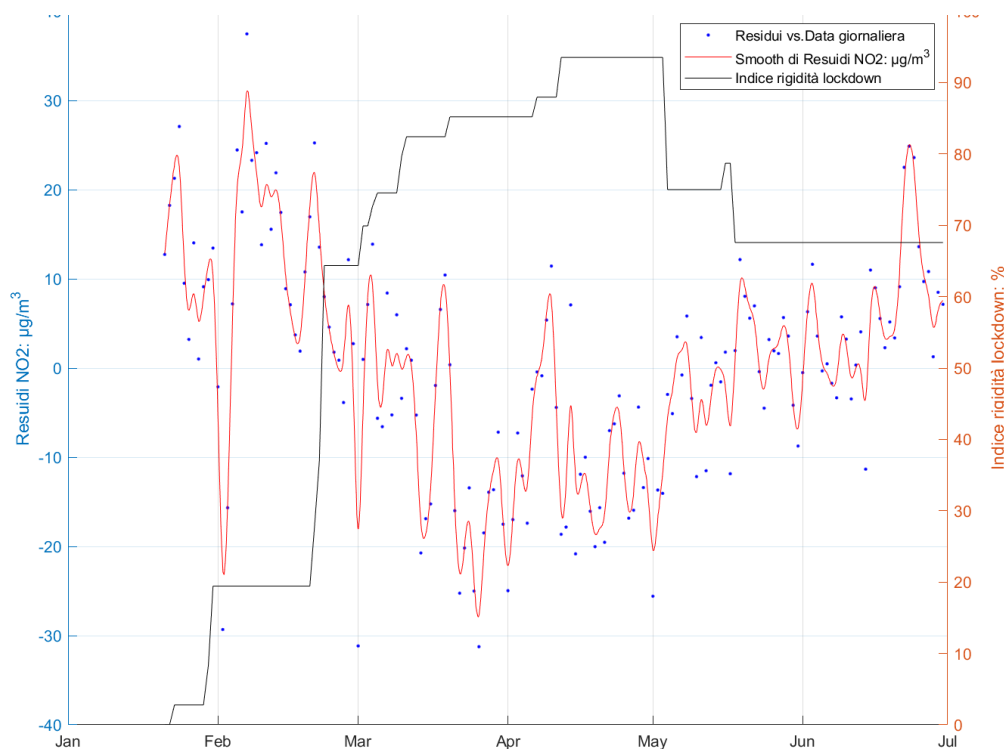


Figura 3-10

In Italia l'emergenza del coronavirus diventa realtà molto prima rispetto alla Spagna, già da gennaio si possono notare le prime avvisaglie di misure restrittive. In corrispondenza dell'iniziale chiusura di scuole e università, avvenuta nel concludersi del febbraio 2020, si può notare subito un calo nel valore dei residui. Si torna anche in questo tracciato ad osservare durante il periodo di lockdown più duro valori di concentrazione dei residui molto più bassi della media nella città di Milano. Il comportamento risulta molto simile a quello del grafico mostrato in precedenza; infatti, col diminuire dell'indice di rigidità le concentrazioni tornano ad assumere i valori visti prima di entrare in lockdown. Anche in questo caso il confronto grafico con la serie storica di NO₂ nella città di Milano mostra che in quel periodo l'agente arriva a toccare il picco più basso mai raggiunto a partire dal 2015. Per la città quindi in generale è possibile individuare un momento di miglioramento della qualità dell'aria proprio in corrispondenza del periodo di lockdown.

- **AGENTE INQUINANTE NO₂ NELLA CITTÀ DI LONDRA**

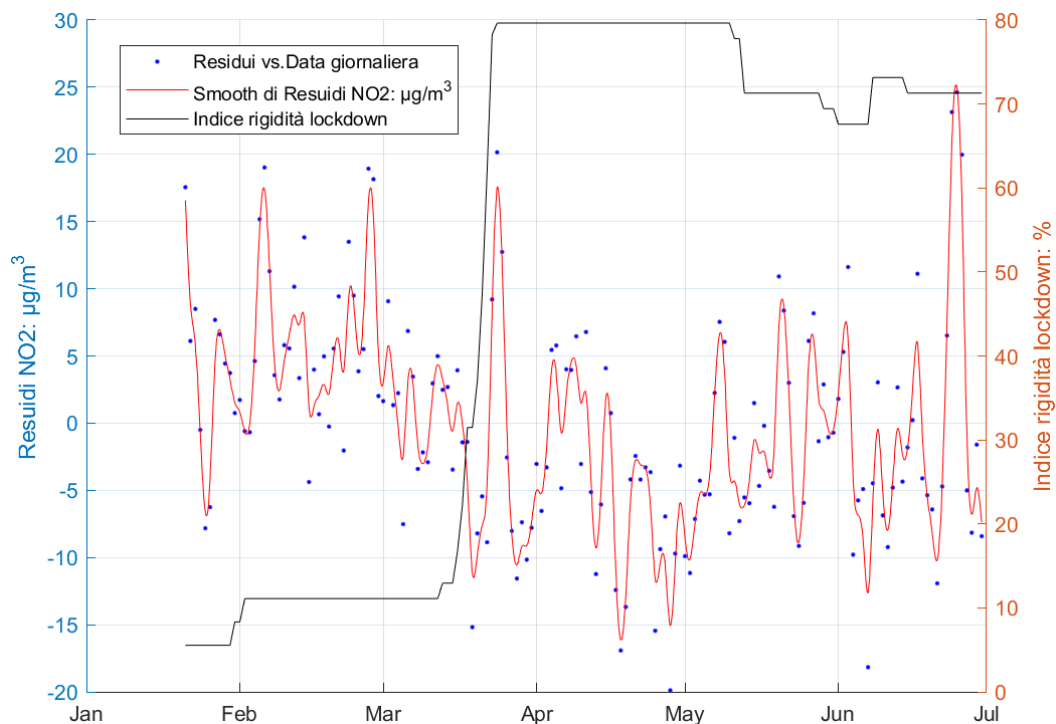


Figura 3-11

Al contrario della situazione fotografata in Italia, in Inghilterra la situazione pandemica viene affrontata con titubanza, ne è prova il fatto che, come è possibile osservare all'interno del grafico, le chiusure più stringenti diventano realtà soltanto verso la fine del mese di marzo 2020. Come per gli altri grafici però, si può individuare un pattern di comportamento corrispondente. Persiste un livello di inquinamento da agente inquinante NO₂ al di sopra della media fino all'inizio di aprile, momento in cui le restrizioni iniziano ad avere probabilmente effetto sul traffico urbano. Fino a fine maggio la curva dei residui raggiunge picchi molto bassi, ben al di sotto della media, per poi riacquistare quota in corrispondenza dell'alleggerimento delle restrizioni. Infatti, proprio a fine maggio, l'indice rigidità lockdown diminuisce e possiamo notare subito un aumento di concentrazione di NO₂ nella città di Londra. Proseguendo verso la fine del periodo preso in esame è possibile osservare che la curva dei residui torna ai livelli visti precedentemente all'instaurazione delle misure restrittive.

L'osservazione dei grafici appena mostrati porta a pensare che effettivamente i periodi di lockdown possano avere un effetto ridimensionante nei confronti dell'inquinamento da traffico urbano. Rimane comunque un'osservazione di tipo qualitativo a cui va aggiunto un supporto quantitativo. È per questo motivo che lo step successivo dell'analisi presenta i grafici di regressione lineare ottenuti utilizzando come variabile dipendente i residui delle concentrazioni degli agenti, ottenuti dalla regressione multipla effettuata con i fattori meteorologici, e come unico regressore l'indice di rigidità del lockdown. Si cerca di osservare il rapporto diretto che esiste tra le due grandezze per corroborare le assunzioni appena formulate. I grafici presi in considerazione presentano i residui delle concentrazioni sull'asse delle y e l'indice di rigidità lockdown sull'asse delle x. È possibile osservare al loro interno la retta di regressione che descrive il rapporto tra le due variabili. Insieme ai grafici vengono presentati i dati con rilevanza statistica per quanto riguarda la descrizione dei modelli di regressione lineare semplice prodotti. Come per la descrizione effettuata in precedenza vengono prese in considerazione principalmente due grandezze descrittive: il p-value e il coefficiente di determinazione R^2 . È importante premettere che ottenere un valore di R^2 non superiore a 0.5 non significa automaticamente una smentita delle ipotesi formulate all'inizio dell'analisi. Inoltre, risulta di fondamentale importanza osservare l'inclinazione della retta di regressione raffigurata dai tracciati, ponendo attenzione sul coefficiente angolare della stessa. Per confermare le ipotesi, infatti, ci si aspetta che la retta di regressione individuata abbia una pendenza negativa, provando di fatto che all'aumentare dell'indice di rigidità del lockdown la concentrazione dei residui degli agenti inquinanti presi in considerazione diminuisce. Per dare continuità alle osservazioni viste in precedenza vengono mostrati i tracciati relativi all'agente inquinante NO_2 confrontato con l'indice di rigidità nelle città di Milano, Madrid e Londra. Come per i grafici precedenti le unità di misura non cambiano, l'indice rigidità è in percentuale e la concentrazione dei residui è in $\mu\text{g}/\text{cm}^3$.

- **MADRID**

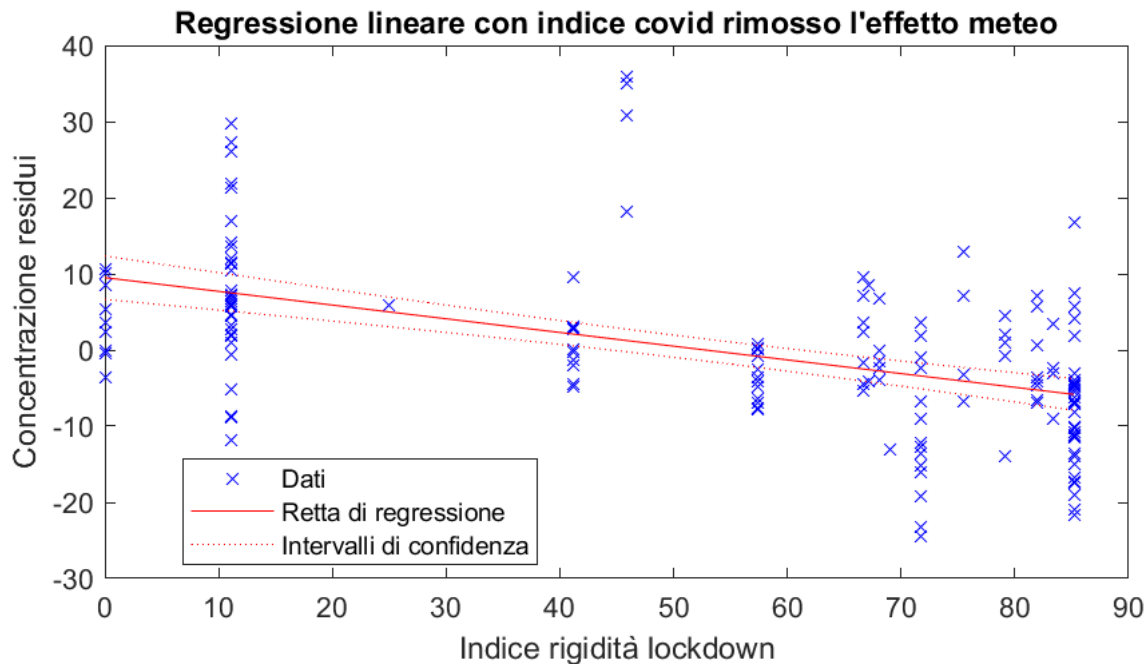


Figura 3-12

Number of observations: 162, Error degrees of freedom: 160
 Root Mean Squared Error: 9.35
 R-squared: 0.268, Adjusted R-Squared: 0.264
 F-statistic vs. constant model: 58.7, p-value = 1.67e-12

Come messo in evidenza dalle statistiche riportate al di sotto del tracciato, il modello di regressione lineare semplice generato riporta un coefficiente di determinazione pari a 0.268, il che significa che il modello coglie il 26.8% della variabilità. Il modello di regressione, quindi, non descrive pienamente la situazione presentata ma un p-value molto inferiore a 0.05 ci conferma l'impatto importante che l'indice di rigidità del lockdown imprime sull'evoluzione della concentrazione dei residui. Inoltre, la retta di regressione rappresentata ha una pendenza negativa, il che ci porta a stabilire l'esistenza di una correlazione negativa tra le due variabili. È vero quindi che all'aumentare dell'indice rigidità del lockdown la concentrazione degli agenti inquinanti diminuisce. È importante anche osservare

un valore di test F di molto superiore, che in coppia con p-value risulta essere di significativa importanza.

- **MILANO**

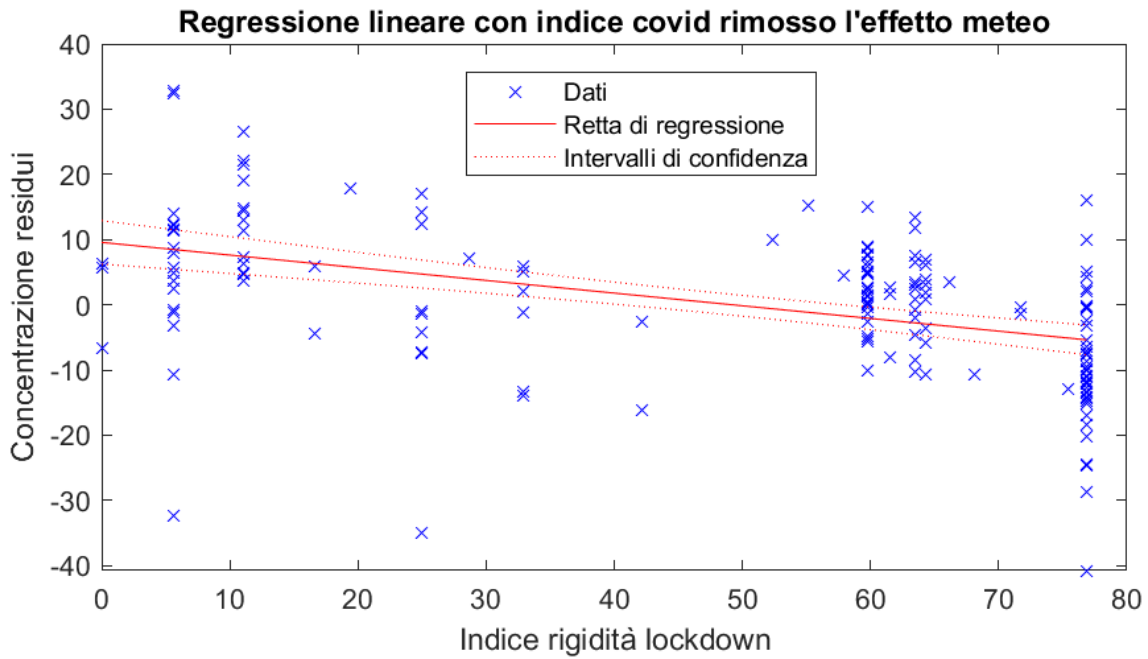


Figura 3-13

```
Number of observations: 162, Error degrees of freedom: 160
Root Mean Squared Error: 10.3
R-squared: 0.207, Adjusted R-Squared: 0.202
F-statistic vs. constant model: 41.8, p-value = 1.16e-09
```

Anche per la città di Milano viene evidenziata una situazione molto simile. Il coefficiente di determinazione riportato mette in luce il fatto che il modello di regressione lineare semplice non spiega completamente la variabilità della concentrazione dei residui, attestandosi al 20.7%. Un p-value anche in questo caso molto inferiore alla soglia di 0.05 prova però la significatività dell'indice di rigidità del lockdown per determinare il comportamento della concentrazione dell'agente inquinante NO₂. Come per il caso precedente il tracciato presenta una retta di regressione con pendenza negativa e questo permette di concludere come esista una relazione di correlazione negativa tra le due variabili prese in considerazione.

Anche per la città di Milano la statistica di test F, di molto superiore a 3.95, soglia per rigettare l'ipotesi nulla, aggiunge significatività al modello.

- **LONDRA**

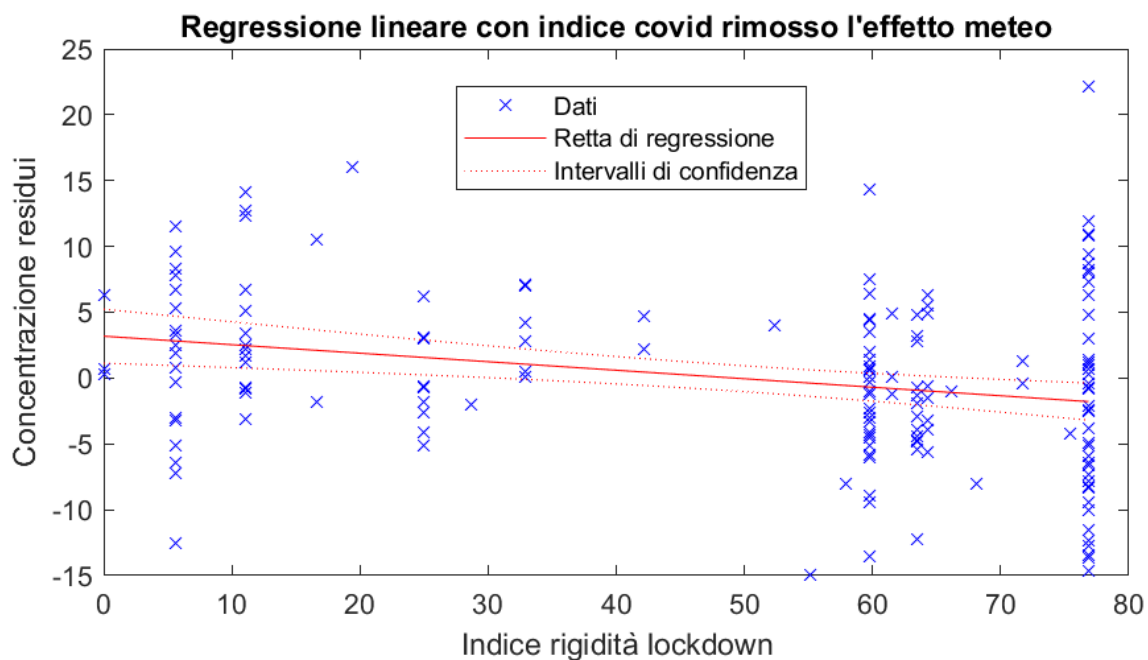


Figura 3-14

Number of observations: 162, Error degrees of freedom: 160
Root Mean Squared Error: 6.34
R-squared: 0.0708, Adjusted R-Squared: 0.065
F-statistic vs. constant model: 12.2, p-value = 0.000621

Il tracciato riportato per la città di Londra riporta un coefficiente di determinazione molto basso, il modello non risulta adeguato a descrivere la variabilità della variabile di risposta, riportando un valore di circa 7%. Il p-value, nonostante risulti di molto superiore ai due casi presi in esame precedentemente, rispetta comunque l'obiettivo di essere inferiore al valore soglia di 0.05, anche per la città di Londra le misure restrittive tardivamente assunte hanno avuto un impatto significativo sulla variabile della concentrazione degli agenti inquinanti. Anche la statistica di test F risulta meno consistente dei casi precedenti, ma comunque superiore al

valore soglia per aggiungere significatività. Seppur la retta presenti una pendenza minore in confronto agli altri due grafici, si caratterizza con una pendenza negativa che permette di conseguenza di individuare la presenza di una correlazione negativa tra le due variabili analizzate.

4 CONCLUSIONI

La necessità di effettuare l'analisi appena illustrata nasce da un cambiamento nel comportamento umano senza precedenti avvenuto nel mondo moderno. L'avvento della pandemia mondiale ha drasticamente influenzato ogni sfaccettatura della vita terrestre per un lungo periodo e il ridimensionamento del traffico urbano fa parte dei tanti aspetti coinvolti. È proprio importante sottolineare come l'indice covid utilizzato per condurre l'analisi sia un artificio di elaborazione umana, dettato completamente dal comportamento umano. Sicuramente la struttura del dato può aver influenzato negativamente l'ultima parte di analisi, in quanto questo indice raggiunge e mantiene determinati livelli percentuali per lunghi periodi di tempo. È possibile osservare questa caratteristica nei grafici presentati per ultimi, dove si possono vedere tanti punti rappresentanti il valore dell'indice incolonnati sulla stessa ascissa. Di contro le concentrazioni degli agenti inquinanti analizzate vengono misurate giornalmente e non hanno un range attraverso quale muoversi, possono superare o no liberamente i valori registrati storicamente a seconda della quantità di emissioni prodotte dai veicoli alimentati a derivati dei combustibili fossili.

Occorre anche distinguere a seconda dell'agente inquinante preso in considerazione durante i procedimenti. Per quanto riguarda NO_2 si è potuto contare per tutte le città prese in considerazione su una buona consistenza dei dati da parte di tutte le stazioni di rilievo, fattore che al contrario non si è potuto verificare per quanto riguarda le polveri sottili PM in quanto, ad esempio, per la città di Londra e non solo esistono dei buchi all'interno del dataset che hanno complicato l'analisi. Nonostante i dati siano stati recuperati da una fonte autorevole e verificata, quest'ultimi sono sottoposti costantemente a una validazione che risulta quasi sempre positiva per i dati di NO_2 , non è possibile affermare lo stesso per quanto riguarda le polveri sottili. Il problema appena illustrato può essere dovuto a diversi fattori, sia a partire dal funzionamento delle stazioni di rilievo sia a seconda del comportamento chimico e fisico degli agenti inquinanti esaminati che è diverso.

L'analisi, per esempio, a causa della grande mole di dati analizzati, fatica a cogliere eventuali guasti delle stazioni di rilievo.

Rispetto alle premesse formulate in precedenza, è sì possibile individuare dei cambiamenti nelle concentrazioni degli agenti inquinanti nei periodi di massimo lockdown dell'anno 2020, sia per quanto riguarda le situazioni illustrate all'interno dell'analisi sia per casi che non vengono mostrati al suo interno, per ragioni di sintesi. Non è possibile però attestare che questo cambiamento sia una costante di tutti gli agenti inquinanti presi in considerazione in ogni città e ciò non è dovuto semplicemente alla struttura dei dati e dei mezzi a disposizione per condurre l'analisi, ma proprio dal fatto che essendo partiti da un'ipotesi per la presenza di dati statistici che dimostrano la diminuzione del traffico urbano, non è possibile concludere automaticamente che la qualità dell'aria sia migliorata.

Grazie al lavoro svolto si è avuta la possibilità di osservare sia le grandi capacità che i limiti dei modelli di regressione osservati. Le prime si sono potute constatare in larga parte nella fase del procedimento inerente agli agenti meteorologici, mentre i secondi sono stati evidenziati nel confronto tra i residui degli agenti inquinanti e l'evoluzione dell'indice di rigidità del lockdown.

In conclusione, anche se non rappresenta una costante per ogni casistica analizzata, è stato possibile individuare sia grazie all'osservazione delle serie storiche che all'analisi di regressione con l'indice di rigidità, un comportamento anomalo degli agenti inquinanti, principalmente NO_2 , nel periodo di lockdown più duro intercorso nella prima metà dell'anno 2020 nei paesi studiati, in particolare si è osservata una diminuzione importante in tanti dei casi analizzati. È possibile quindi dire che in minima parte questo possa aver causato un miglioramento nella qualità dell'aria per un breve periodo del 2020. Al contrario con la ripresa dei ritmi quotidiani a cui la popolazione è sempre stata abituata i livelli di inquinamento sono tornati ai valori tipici osservati durante gli stessi periodi negli anni precedenti.

SITOGRAFIA

ARPA Lombardia. (2021). Qualità dell'aria e agenti inquinanti. Tratto da
<https://www.arpalombardia.it>

Donfrancesco, G. D. (2020). Fmi: recessione globale nel 2020 (-3%) e per l'Italia Pil in calo del 9%. *Il Sole 24 Ore*. Tratto da
<https://www.ilsole24ore.com/art/fmi-recessione-globale-2020-3percento-e-l-italia-pil-calo-9percento-ADWExyJ>

European Environment Agency. (2021). Tratto da
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-9>

Financial Times. (2021). Lockdowns compared: tracking governments' coronavirus responses. *Financial Times*. Tratto da
<https://ig.ft.com/coronavirus-lockdowns/>

Sky TG 24. (2021). Coronavirus, dal primo caso alla pandemia globale: le tappe. Tratto da <https://tg24.sky.it/mondo/approfondimenti/coronavirus-cina-tappe#05>