

**PIANO NAZIONALE PER GLI INVESTIMENTI COMPLEMENTARI (PNC)
 AL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
 INVESTIMENTO E.1 "SALUTE-AMBIENTE-BIODIVERSITA'-CLIMA"**

**1.4 Promozione e finanziamento di ricerca applicata con approcci multidisciplinari in specifiche aree di intervento
 salute-ambiente-biodiversità-clima**

**AREA B, n. 3: "Supporto nello sviluppo delle città per ambienti più sani, inclusivi, più sicuri, resilienti e sostenibili"
 (CUP_J55I22004410001)**



Obiettivo specifico 2: Ricognizione dei dati ambientali disponibili e valutazione del contributo specifico delle attività portuali all'inquinamento atmosferico ed acustico mediante l'integrazione di misure e stime modellistiche, per valutare l'esposizione dei cittadini e indirizzare azioni di mitigazione e di intervento per la riduzione dell'impronta di queste attività umane nel sistema complesso città-porto

Relazione

**Attività 2.1.1: Analisi statistica per la stima dei trend degli inquinanti atmosferici
 (stazioni ubicate nelle città portuali oggetto dello studio).**

Revisione	Descrizione	Data	Autori
1.0	Deliverable attività 2.1.1. Analisi statistica per la stima dei trend degli inquinanti atmosferici (stazioni ubicate nelle città portuali oggetto dello studio).	28/06/2024	Giorgio Cattani Marco Cordella Mariacarmela Cusano Alessandra Gaeta Gianluca Leone Raffaele Morelli Giulio Settanta Cristina Sauta - ARPA Marche Laura Bennati - ARPA Lazio Andrea Bisignano - Arpa Liguria Chiara Righi - Arpa Liguria Tiziano Pastore - Arpa Puglia

Autori

Giorgio Cattani
Marco Cordella
Mariacarmela Cusano
Alessandra Gaeta
Raffaele Morelli
Gianluca Leone
Giulio Settanta
Cristina Sauta - ARPA Marche (emissioni Ancona)
Laura Bennati - ARPA Lazio (emissioni Civitavecchia)
Andrea Bisignano e Chiara Righi - Arpa Liguria (emissioni Genova)
Tiziano Pastore - Arpa Puglia (emissioni Bari e Brindisi)

GdL ISPRA per la realizzazione delle attività relative all'obiettivo 2

Giorgio Cattani – referente scientifico del progetto per ISPRA, coordinatore
Annamaria Ranaldi – referente amministrativo del progetto per ISPRA
Antonio Amoroso
Fabio Cadoni
Marco Cordella
Mariacarmela Cusano
Riccardo De Lauretis
Alessandro Di Menno di Bucchianico
Alessandra Gaeta
Gianluca Leone
Giada Marchegiani
Raffaele Morelli
Maria Antonietta Reatini
Daniela Romano
Giulio Settanta

1 Introduzione

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

Gli inquinanti ritenuti prioritari tenuto conto dei loro effetti e dell'entità delle loro emissioni sono gas inorganici (biossido di zolfo, SO₂; ossidi di azoto, NO_x; biossido di azoto, NO₂; monossido di carbonio, CO; ozono, O₃), composti organici volatili (quali ad esempio benzene e formaldeide) e materiale particolato aerodisperso.

Il materiale particolato aerodisperso viene definito come una sospensione di particelle solide o liquide relativamente stabili nell'aria circostante (aerosol). Questa sospensione può essere costituita da una varietà di particelle di diversa dimensione e composizione in funzione della loro origine.

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 µm (PM₁₀) che comprende tutte le particelle con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 10 µm;
- la concentrazione di massa del particolato selezionato in base al diametro aerodinamico mediante teste selettive con taglio a 2,5 µm (PM_{2,5}) che comprende tutte le particelle con diametro aerodinamico inferiore o uguale a 2,5 µm;
- la concentrazione in numero delle particelle totale o distribuita per intervalli dimensionali.

I primi tre parametri sono stati oggetto di normative nazionali e internazionali nell'ambito della valutazione della qualità dell'aria e dell'individuazione di misure atte a migliorarla. Oggi in Europa è prevista la valutazione della qualità dell'aria con riferimento alle frazioni PM₁₀ e PM_{2,5}.

Questi sono i due parametri di riferimento, scaturiti da decine di studi epidemiologici, per le stime di effetto sanitario dell'esposizione al materiale particolato aerodisperso.

Ai livelli degli inquinanti rilevati in atmosfera contribuiscono anche alcune fonti naturali, in particolare le particelle trasportate a lunga distanza di origine desertica, l'aerosol marino, gli incendi naturali delle grandi aree forestali, le emissioni dei vulcani e le emissioni biogeniche.

Vari studi epidemiologici sugli effetti sanitari dell'inquinamento atmosferico da particelle, hanno evidenziato associazioni tra le concentrazioni in massa del PM₁₀ e un incremento sia di mortalità che di ricoveri ospedalieri per malattie cardiache e respiratorie nella popolazione generale. I soggetti ritenuti maggiormente esposti a tali effetti sono in particolare, gli anziani, i bambini, le persone con malattie cardiopolmonari croniche e affette da influenza o asma; su di essi si concentrano incrementi di mortalità e seri effetti patologici a seguito di esposizioni acute a breve termine. Ulteriori evidenze sono emerse considerando gli effetti sanitari a lungo termine conseguenti all'esposizione a basse concentrazioni di PM₁₀. Tali effetti riguardano la mortalità ed altre patologie croniche come la bronchite e la riduzione della funzione polmonare e sono stati riscontrati anche a concentrazioni molto basse (Martuzzi et al., 2006; Langanke et al., 2015; Piscitelli et al., 2019).

L'incremento di tumore polmonare è stato associato all'inquinamento atmosferico, ed in particolare alla frazione fine dell'aerosol: il PM outdoor è stato inserito dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) tra i cancerogeni di gruppo 1 (agenti sicuramente cancerogeni per l'uomo) (IARC, 2016).

Alcuni composti in forma particellare hanno una particolare rilevanza igienico-sanitaria (idrocarburi policiclici aromatici, tra cui il benzo(a)pirene, e diversi metalli e semimetalli come arsenico, nichel, cadmio, mercurio e piombo).

Il Position Paper sul materiale particolato, curato per conto della Commissione Europea dal CAFE Working group (EC, 2004) raccomandava l'uso del PM_{2,5} come principale metrica per valutare l'esposizione della popolazione ed è stata la base scientifica su cui si è sviluppata la legislazione oggi vigente.

Nella revisione delle Linee Guida della Qualità dell'Aria per l'Europa (OMS, 2021), l'OMS ha prodotto delle stime numeriche di rischio per una serie di effetti sanitari associati ad un incremento di 10 µg/m³ della concentrazione media annuale per il PM₁₀ ed il PM_{2,5}.

Nelle sue valutazioni l'OMS non stabilisce un valore al di sotto del quale non vi sia rischio, ma individua come limite inferiore per la media annuale il valore di $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} e di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il $\text{PM}_{2,5}$, che sono i livelli più bassi per i quali è stato osservato un incremento della mortalità totale, di quella per cause cardiopolmonari, e di quella per cancro del polmone, con una confidenza migliore del 95%.

Effetti nocivi sono noti anche per diversi altri inquinanti, tra cui l'ozono e il biossido di azoto alla cui esposizione le stime sanitarie più accreditate attribuiscono una porzione significativa di morti premature e riduzione dell'attesa di vita (OMS, 2016; EEA, 2019, OMS, 2021).

La valutazione dell'esposizione della popolazione e della relativa variabilità spaziale e temporale outdoor rappresenta un passaggio fondamentale per gli studi epidemiologici che mettono in relazione l'esposizione all'inquinamento atmosferico e gli effetti sulla salute (Chu et al., 2015).

Un altro aspetto importante è la valutazione della qualità dell'aria ai sensi della normativa vigente (D.Lgs 155/2010 e s.m.i.).

Come riportato nel D.Lgs. 155/2010 (Art. 1) "La zonizzazione dell'intero territorio nazionale è il presupposto su cui si organizza l'attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente. A seguito della zonizzazione del territorio, ciascuna zona o agglomerato è classificata allo scopo di individuare le modalità di valutazione mediante misurazioni e mediante altre tecniche in conformità alle disposizioni del presente decreto".

L'uso di modelli e stime obiettive è espressamente previsto dalla normativa vigente (D.Lgs. 155/2010 art. 5).

In particolare, la normativa prevede l'individuazione dell'area di superamento ovvero dell'area, ricadente all'interno di una zona o di un agglomerato, nella quale è stato valutato il superamento di un valore limite o di un valore obiettivo; tale area è individuata sulla base della rappresentatività delle misurazioni in siti fissi o indicative o sulla base delle tecniche di modellizzazione.

Se, in una o più aree all'interno di zone o di agglomerati, i livelli degli inquinanti di cui all'articolo 1, comma 2 e articolo 3, superano i livelli critici di cui all'allegato XI e allegato VII, le regioni e le province autonome adottano, anche sulla base degli indirizzi espressi dal Coordinamento di cui all'articolo 20, le misure necessarie ad agire sulle principali sorgenti di emissione aventi influenza su tali aree di superamento ed a raggiungere i livelli critici nei termini prescritti.

2 Metodi

2.1 Dominio dello studio

Lo studio, per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico, è focalizzato su cinque città portuali: Genova, Ancona, Civitavecchia, Bari e Brindisi.

2.2 Caratterizzazione delle emissioni dell'area portuale e aree cittadine limitrofe

L'Italian Informative Inventory Report (IIR) è redatto nel quadro della United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP). Contiene informazioni sull'inventario italiano fino all'anno 2021, inclusa una spiegazione delle metodologie, delle fonti dei dati, delle attività di QA/QC e dei processi di verifica effettuati durante la compilazione dell'inventario, con un'analisi dei trend delle emissioni e una descrizione delle principali categorie.

Lo scopo del documento è quello di facilitare la comprensione del calcolo dei dati di emissione degli inquinanti atmosferici in Italia, fornendo così uno strumento comune per confrontare il contributo relativo delle diverse fonti di emissione e supportare l'individuazione di politiche di riduzione.

L'Istituto per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) ha la responsabilità generale della presentazione dell'inventario delle emissioni al CLRTAP, nonché alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), ed è responsabile di tutto il lavoro relativo alla compilazione dell'inventario.

In particolare, in ottemperanza alla Convenzione LRTAP, l'Italia deve presentare annualmente i dati sulle emissioni nazionali di SO_x, NO_x, NMVOC, CO e NH₃, particolato, vari metalli pesanti e Persistent Organic Pollutants (POP). La presentazione è costituita dall'inventario nazionale delle emissioni, comunicato attraverso la compilazione del Nomenclature Reporting Format (NRF), e dall'informative inventory report (IIR) per garantire le proprietà di trasparenza, coerenza, comparabilità, completezza e accuratezza.

2.3 La stima delle emissioni del settore della navigazione nell'Inventario Nazionale delle Emissioni in atmosfera

Le emissioni dell'Inventario Nazionale delle Emissioni del settore della navigazione sono ottenute in accordo con le linee guida IPCC (IPCC, 2006) e EMEP/EEA (EMEP/EEA, 2019). In particolare, una metodologia nazionale è stata sviluppata a partire dalle linee guida EMEP/EEA che fornisce specifiche per stimare le emissioni dalla navigazione nazionale, con il dettaglio per la navigazione da cabotaggio, la navigazione da crociera e le attività portuali. Le emissioni derivanti dalla navigazione internazionale sono altrettanto stimate e considerate come informazione ma non incluse nei totali nazionali, in accordo con le linee guida (EMEP/EEA, 2019). La navigazione interna, la navigazione costiera e l'attività di pesca in alto mare sono stimate e riportate nella sezione 1.A.4.c. La navigazione internazionale interna non si applica all'Italia.

La metodologia sviluppata per la stima delle emissioni si basa sulle seguenti assunzioni e informazioni.

I dati di attività di base comprendono sia i consumi di carburante che i movimenti delle navi, che sono disponibili a diversi livelli di aggregazione e derivano da diverse fonti, come specificato nel seguito:

Le forniture di carburante, gasolio e gasolio marino per il trasporto marittimo sono resi disponibili come bilancio energetico nazionale (MSE, anni vari), ma la ripartizione tra navigazione nazionale e internazionale non è disponibile;

Il consumo di carburante marino per la navigazione interna, i traghetti con le isole e la navigazione da cabotaggio è riportato nel bollettino energetico nazionale, così come il carburante per la navigazione (MSE, anni vari);

Il numero annuale di arrivi e partenze dai porti italiani per navigazione nazionale e internazionale è riportato dall'Istituto nazionale di Statistica (ISTAT, anni vari) e dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti nell'annuario nazionale dei trasporti (MIT, anni vari).

Per quanto riguarda i fattori di emissione e di consumo, i dati sono presi dalle linee guida (EMEP/EEA, 2019), sia per la navigazione da cabotaggio che per le attività in porto e la navigazione nazionale, tenendo conto delle specificità e la struttura dei porti nazionali, includendo le tempistiche specifiche per le fasi di manovra e di

stazionamento in porto. Ugualmente, si tiene conto della distribuzione della tipologia di navi in arrivo nei porti nazionali (traghetti, navi container, navi da carico, eccetera). Tali informazioni specifiche derivano dai risultati ottenuti da uno studio nazionale, che, prendendo in considerazione le informazioni dettagliate della flotta navale italiana, e la matrice origine/destinazione per l'anno 1997, ha calcolato i valori nazionali (ANPA, 2001), (Trozzi et al., 2002), sulla base delle emissioni e dei fattori di emissione riportate nelle linee guida (EMEP/CORINAIR, 2007).

Le emissioni medie nazionali e i fattori di consumo sono stati così stimati per le attività portuali e di navigazione sia per la navigazione nazionale che quella internazionale dal 1990 al 1999. Lo studio è stato aggiornato per gli anni 2004-2005 e 2006, al fine di tenere in considerazione degli andamenti recenti nel settore della navigazione, sia per quanto riguarda la stima della ripartizione dei consumi tra navigazione nazionale e internazionale, che per i miglioramenti delle attività marittime all'interno dei porti (Techne, 2009). Sulla base dei risultati, i valori medi nazionali delle emissioni e i fattori dei consumi sono stati aggiornati a partire dall'anno 2000.

Nel dettaglio, per gli anni a cui si riferisce la rilevazione, il metodo utilizzato consiste nello stimare le emissioni dal numero di movimenti delle navi suddiviso per tipologia per i principali porti italiani, discriminando la navigazione nazionale da quella internazionale, la stazza lorda media e la distanza percorsa.

Per quegli anni, i dati riguardanti il numero degli arrivi, le destinazioni e la composizione della flotta sono stati forniti dalle Autorità Portuali locali e dall'Istat (Istat, 2009), con una copertura di circa il 90% delle rilevazioni statistiche ufficiali per i rispettivi anni. I consumi e i fattori di emissione sono derivati dalle linee guida EMEP/CORINAIR (EMEP/CORINAIR, 2007) e si riferiscono alla metodologia di stima di livello Tier 3. Tale metodologia considera la matrice origine/destinazione, informazioni tecniche delle navi, quali la potenza dei motori, la stazza lorda totale e i tempi caratteristici di manovra e stazionamento nei porti. Sulla base dei dati campionari, sono state condotte delle stime a livello nazionale per i rispettivi anni, considerando le statistiche ufficiali del traffico marittimo.

Nell'Inventario Nazionale delle Emissioni in atmosfera, per calcolare le stime nazionali dei gas serra e degli altri inquinanti, si calcolano i consumi e le emissioni per l'intera serie storica utilizzando i consumi medi e i fattori di emissioni, moltiplicati per il numero totale di movimenti.

Per la navigazione internazionale, la quota del carburante consumato è ottenuta come differenza tra il carburante totale consumato, riportato nel Bollettino Energetico Nazionale, e i valori dei consumi stimati per la parte della navigazione nazionale. Le relative emissioni per la navigazione internazionale sono conseguentemente calcolate.

Per quanto riguarda il trasporto marittimo, solamente a seguito dell'emanazione della direttiva 1999/32/EC, l'Unione Europea ha cominciato a valutare l'impatto ambientale della navigazione, con particolare riferimento al contenuto di zolfo nei carburanti. Tale direttiva è stata modificata dalla successiva Direttiva 2001/67/EC che ha individuato il Mar Baltico, il canale della Manica e il Mare del Nord come zone SECA (zone a ridotta emissione di zolfo), limitando il contenuto di zolfo nel carburante per quelle aree e introducendo il limite dello 0.1% del contenuto di zolfo per i carburanti utilizzati all'interno dei porti europei, a decorrere dal 2010.

La legislazione europea, combinata con quella nazionale, ha determinato l'introduzione del limite di contenuto di zolfo nel carburante marino pari allo 0.2% (precedentemente era pari al 2%) a decorrere dal 2002 e pari allo 0.1% a partire dal 2010, mentre per alcuni carburanti alcuni limiti sono entrati in vigore solamente dal 2008 (contenuto massimo di zolfo pari al 1.5% nelle aree portuali) e dal 2010, 2% nelle acque nazionali e 1% nei porti. Per la navigazione interna, che include la navigazione del fiume Po e la navigazione interna alla laguna di Venezia, si applica la medesima normativa.

La composizione della flotta della navigazione da cabotaggio, alimentata a benzina, che si distingue tra motori a due tempi e a quattro tempi, è fornita dall'associazione di categoria (UCINA, anni vari). Il trend delle relative emissioni tiene in considerazione la progressiva sostituzione dei motori a due tempi con quelli a quattro tempi, dovuta all'introduzione nel mercato di motori di nuova generazione. Nel 2000, la composizione della flotta constava del 90% di motori a due tempi e il restante 10% di motori a 4 tempi, mentre negli ultimi anni la quota dei motori a 4 tempi costituisce circa il 58% della flotta. Il consumo di benzina per la navigazione da cabotaggio non è reperibile nel Bollettino Energetico Nazionale negli ultimi anni, perciò, viene stimata sulla base della flotta, che non è mutata in maniera significativa negli ultimi anni.

2.4 Disaggregazione provinciale dell'Inventario delle Emissioni

2.4.1 Emissioni provinciali da navigazione interna

Nella metodologia di riferimento EMEP/EEA, l'indicatore di attività necessario per la stima delle emissioni è il consumo di combustibile utilizzato nella navigazione delle acque interne. Per la disaggregazione a livello provinciale, in base alle informazioni presenti sul Conto Nazionale delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili sulla flotta adibita al trasporto merci e al trasporto passeggeri, si ottiene che la parte delle emissioni da attribuire al trasporto merci è del 10% del totale del settore, mentre il restante 90% è attribuito al trasporto passeggeri (quasi totalmente assorbito, in termini di passeggeri-km, dalla rete di Venezia, come si evince dal Conto Nazionale delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili stilato dal Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili), per tutti gli anni oggetto di studio. È stato inoltre necessario ipotizzare che il traffico relativo al trasporto merci sia esercitato completamente su fiumi navigabili (il che equivale a considerare la rete di trasporto come costituita quasi interamente dal solo bacino del Po) e che la navigazione lacustre e lagunare assorba completamente la parte di traffico navale dovuta al trasporto passeggeri.

Vista la scarsa rilevanza ed incidenza delle emissioni dovute al trasporto merci e la difficoltà di reperire dati esatti, si è ritenuto opportuno suddividere in parti uguali le emissioni derivanti da tale attività tra tutte le 13 province che toccano il bacino del Po. La variabile proxy utilizzata per il trasporto passeggeri è la percorrenza espressa in natanti-chilometro per il traffico relativo alla navigazione lacustre e lagunare. Per gli anni oggetto di studio si è ipotizzata altresì invariata nel tempo la distribuzione della flotta di navi adibite a trasporto merci e passeggeri.

2.4.2 Emissioni provinciali da traffico marittimo nazionale ed internazionale

Per stimare le emissioni nazionali derivanti da questo tipo di attività, l'indicatore utilizzato è il consumo di combustibile, utilizzato nel traffico di crociera e nelle attività in porto. La stima dei rispettivi consumi è stata effettuata sulla base dei dati riportati nel Bilancio Energetico Nazionale (MiSE, MiTE, anni vari) e dei dati desunti da studi country specifici effettuati da Techne Consulting con riferimento agli anni 1997, 2004, 2005 e 2006.

Per la disaggregazione a livello provinciale la variabile proxy che si è scelto di utilizzare è diversa a seconda delle informazioni disponibili per ogni sottovoce studiata (numero posti barca, numero attracchi, percorrenze di tratta). In particolare, si considerano le tre codifiche per le emissioni stimate per le seguenti sottoattività: 08040201 - attività nei porti; 08040202 – diporto; 08040203 – crociera.

2.4.3 Emissioni provinciali per attività portuali (08040201)

Dal 2000 al 2019 le stime vengono aggiornate sulla base del numero di navi arrivate per porto, nel dettaglio della tipologia di nave, nell'anno di interesse, di fonte Eurostat, e dei fattori di emissione derivanti da indagini specifiche nazionali per classe di nave e per porto (Techne Consulting, 2005).

In precedenza, erano stati considerati i porti nei quali era maggiormente elevato il traffico merci e presso i quali si ipotizzava che le imbarcazioni stazionassero mediamente con tempi lunghi per effettuare le attività di carico e scarico delle merci.

Come fonte dati negli anni sono stati utilizzati anche l'Annuario Statistico pubblicato dall'ISTAT ed il Conto Nazionale Trasporti.

2.4.4 Emissioni provinciali per attività da diporto (08040202)

L'allocazione delle emissioni dovute all'attività della nautica da diporto è stata effettuata utilizzando il numero dei posti barca per capitaneria di porto. Dal 2000 il dato è stato reperito da "Il diporto nautico in Italia", pubblicazione a cura del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili. Per gli anni 1990 e 1995 si è ipotizzata costante la distribuzione provinciale del 1997, nello studio Techne Consulting.

2.4.5 Emissioni provinciali per attività di crociera (08040203)

Per l'attività di crociera, le emissioni sono state disaggregate usando la distribuzione per "sistemi portuali" (secondo la definizione ISTAT e in base alla ripartizione delle tratte secondo lo studio Techne Consulting). L'emissione nazionale per "sistema portuale" è stata disaggregata utilizzando la distribuzione relativa della lunghezza delle tratte di ciascuna maglia. Tale stima emissiva è a sua volta suddivisa in navigazione costiera (in cui la navigazione avviene nella maglia EMEP che interessa anche la relativa provincia costiera) e "extra EMEP" per il traffico marittimo nazionale non attribuibile ad alcuna provincia.

Non sono state disaggregate a livello provinciale, le emissioni derivanti dal traffico internazionale di crociera (con percorrenze superiori alle mille miglia), non essendo possibile attribuire alle singole province una quota corrispondente delle emissioni di tale attività.

2.4.6 Emissioni provinciali da attività di pesca

Nella metodologia di riferimento viene indicato come dato di attività necessario per la stima il consumo di combustibile utilizzato nell'attività di pesca.

Per l'anno 1990 come variabile proxy è stata considerata la consistenza del naviglio da pesca a motore per compartimento marittimo litorale desunta da uno studio del 1991 commissionato da APAT. I dati relativi ai valori assunti dalla variabile surrogato per gli anni 1995 e 2000 sono stati invece reperiti dalla pubblicazione ISTAT "Statistiche della caccia e della pesca" relativa però al solo 1993; è stato necessario, pertanto, supporre costante la distribuzione provinciale nel corso del periodo 1993-2005. Per gli anni successivi come variabile proxy è stato considerato il numero dei battelli da pesca per Regione tratti dall'Osservatorio Economico sulle Strutture Produttive della Pesca Marittima in Italia (IREPA/MIPAAF, anni vari).

Tabella 2.1. Aggiornamenti disponibili

	Inventario Nazionale	Disaggregazione provinciale	Fattori di emissione porto specifici	Ancona	Bari	Brindisi	Civitavecchia	Genova
2000	x	x						
2005	x	x	x					
2010	x	x						
2015	x	x						
2016	x							x
2017	x							
2018	x							
2019	x	x	x	x	x	x	x	x
2020	x							
2021	x		x	x	x	x	x	x
2022	x							

A livello di stime delle emissioni, è disponibile la disaggregazione dell'inventario a livello provinciale per l'anno 2019, i fattori di emissione calcolati medi calcolati a partire dal Progetto Porti (rapporto 382/2023) e le stime specifiche dei porti di Ancona, Bari e Civitavecchia, riferiti all'anno 2019. Sono stati resi disponibili analoghi risultati per il porto di Genova, riferiti all'anno 2016. È stato realizzato un aggiornamento al 2021 della rilevazione utilizzando i FE specifici o con l'acquisizione dei nuovi dati e utilizzo del software BUH).

2.5 Aggiornamento delle stime a livello di porto – anno 2021

A partire dai dati rilevati dalle Capitanerie di Porto/Autorità portuali, sono stati analizzati i dati dei singoli accosti, relativi l'anno 2021, dei porti di Ancona, Bari, Brindisi, Civitavecchia e Genova.

Le stime sono state effettuate a livello di tier 3, seguendo la metodologia indicata nel Guidebook EEA/EMEP 2019 e versioni precedenti. Per i porti di Ancona, Bari, Brindisi e Civitavecchia è stato utilizzato il software BUH (Bottom up harbour). Per il porto di Genova, è stato utilizzato un software proprietario, basato ugualmente sul guidebook EEA/EMEP. Pertanto, la metodologia comune permette la comparabilità dei risultati rispetto agli altri porti considerati.

I risultati, riportati nelle sezioni seguenti del documento, riportano: le emissioni totali/anno per inquinante¹, tipo di nave e fase di navigazione. I dati raccolti comprendono i tempi di stazionamento in porto e, in alcuni casi, dei tempi di manovra. Qualora i tempi di manovra non fossero disponibili, si sono applicati i tempi di default riportati nel Guidebook 2019, tabella 3-14. I risultati specifici sono commentati nelle schede di ciascun porto.

¹ NOx, NMVOC, PM, SO₂, CO, CO₂, Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn, PCB, PCDD, HCB, BaP, BbF, BkF, IcdP

2.6 Analisi statistica dei trend degli inquinanti atmosferici

2.6.1 Test di Kendall corretto per la stagionalità o Seasonal Kendall Test (SK)

Per una valutazione oggettiva dello stato della qualità dell'aria e dell'efficacia degli interventi adottati per migliorarla, negli studi condotti negli ultimi anni sono stati utilizzati metodi e strumenti specifici, capaci di considerare la significativa variabilità spaziale e temporale dei fenomeni di inquinamento atmosferico, affrontando al contempo la questione della stima dei trend con un approccio di tipo statistico-probabilistico. Questo tipo di approccio permette, oltre a descrivere, interpretare e prevedere il comportamento puntuale del fenomeno in relazione al suo evolvere nel tempo, fornisce anche il margine di incertezza relativo all'analisi effettuata (ISPRA, 2014).

Per la stima e la ricerca di un trend statistico della concentrazione di un inquinante aerodisperso esistono differenti metodi, come lo Spearman partial rank correlation test (McLeod, 1991), il metodo del filtro di Kolmogorov-Zurbenko (Rao et al., 1994; Eskridge, 1997), i modelli di regressione lineare semplice, i modelli di regressione basati sui minimi quadrati generalizzati e quelli accoppiati a un modello autoregressivo a media mobile (ARMA), il test di Mann-Kendall, e il test di Kendall corretto per la stagionalità o Seasonal Kendall Test (SK) (Hirsch, 1982).

Quest'ultimo test tiene conto degli effetti dovuti alle diverse condizioni atmosferiche caratterizzanti ciascun mese o stagione in senso lato, che possono incidere in maniera non indifferente nella stima del trend. Considerare un anno come unico intervallo temporale, infatti, non consente di cogliere gli eventuali singoli contributi sparsi fra i diversi mesi. Considerando invece intervalli di tempo più ristretti come le stagioni o addirittura i mesi, e sommando, infine, i diversi contributi ottenuti, il test produrrà, nel caso di esistenza del trend, una stima finale consistente nelle diverse stagioni (ossia verranno rilevate situazioni omogenee di esistenza di trend statisticamente significativo, crescente o decrescente, che prevalgono nelle diverse stagioni).

Nel test di Kendall corretto per la stagionalità, se si sceglie come intervallo di tempo il k-esimo mese il processo ricava i singoli parametri statistici, per poi confrontare fra loro i dati relativi al mese di gennaio di tutti gli n anni a disposizione; il procedimento viene reiterato al mese successivo fino ad arrivare all'ultimo mese e computare, infine, i dati ottenuti in un calcolo complessivo.

Il test SK è stato applicato nell'analisi dei trend delle concentrazioni di composti semivolatili negli USA [Cortes, 2000], del materiale particolato in quattro megalopoli indiane [Gupta, 2006], di inquinanti primari e secondari in Finlandia in Olanda e in Europa (Anttila et al., 2010; Hoogerbrugge et al., 2010; EEA report 4/2012, Eionet Report - ETC/ATNI 2020/8). In Italia il test SK è stato usato per studiare il trend del materiale particolato fine e ultrafine a Roma nel periodo 1999 – 2010 (Cattani et al., 2010), e il trend dei principali inquinanti atmosferici su tutto il territorio nazionale (ISPRA, 2014; ISPRA, 2018).

Una condizione imprescindibile per l'analisi dei trend è la disponibilità di serie storiche sufficientemente lunghe da poter ridurre l'incertezza nella determinazione dell'esistenza di un trend statisticamente significativo. Infatti è stato dimostrato che tale incertezza aumenta in modo esponenziale al diminuire della lunghezza della serie. Difatti la disponibilità di serie storiche lunghe può limitare l'effetto di anni caratterizzati da condizioni meteorologiche atipiche che possono mascherare la tendenza di fondo. Per esempio, per poter apprezzare tendenze di riduzione/aumento molto piccole, dell'ordine di $0,3 \mu\text{g m}^{-3} \text{y}^{-1}$, è necessario disporre di serie di dati lunghe circa 15 anni; con serie più brevi, ma di almeno sette anni, è possibile apprezzare solo tendenze più grandi, dell'ordine di $1 \mu\text{g m}^{-3} \text{y}^{-1}$. La normalizzazione dei dati per gli effetti della meteorologia permette di ridurre l'incertezza associata alla stima e quindi di apprezzare l'esistenza di un trend dello stesso ordine di grandezza a partire da serie di dati relativamente meno estese (11 anni nel primo caso, 5 anni nel secondo) (Hoogerbrugge et al., 2010).

2.6.2 Modelli Additivi Generalizzati (GAMs)

I GAMs, utilizzando funzioni smoothing, consentono di valutare interazioni di tipo non lineare tra le covariate e la variabile risposta anche nel caso, molto frequente, in cui non ci sia una conoscenza a priori del tipo di legame funzionale.

La forma funzionale standard del modello additivo generalizzato è così definita (Wood, 2017):

$$g(\mu_i) = A_i \gamma + \sum_j f_j(x_{ji})$$

Con:

y_i = variabile risposta

$\mu_i = E(y_i)$ valore atteso di y_i

$y_i \sim EF(\mu_i, \varphi)$ = distribuzione esponenziale di y_i con parametro di scala φ

$A_i \gamma = i_{th}$ riga della matrice dei parametri del modello con il suo corrispondente vettore

$f_j(x_{ji})$ = funzione di smoothing per le j covariate.

L'utilizzo delle funzioni di smoothing nei GAMs ha mostrato ottime potenzialità nell'analisi dei sistemi ecologici complessi (Zuur et al., 2009 e Zuur, 2012).

Questi modelli statistici, sulla base di quanto presente nella letteratura scientifica (Barmpadimos et al. 2011, Carslaw et al. 2007, Ordóñez et al. 2020, Leone et al. 2023), possono essere utilizzati per normalizzare a livello meteorologico le serie storiche pluriennali delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera, rilevate dalla rete di monitoraggio.

Per la determinazione del trend, il suddetto modello può essere implementato mediante l'ausilio di variabili esplicative temporali; nel presente studio tali covariate sono il giorno giuliano, su cui si stima il trend, e il mese dell'anno per destagionalizzare la serie storica.

2.6.3 Dati di qualità dell'aria

I dati di qualità si riferiscono alle concentrazioni degli inquinanti misurate nelle stazioni di monitoraggio distribuite sul territorio oggetto di studio per il periodo di osservazione che va dal 01/01/2003 al 31/12/2022. Le informazioni utilizzate sono state estratte dal database nazionale InfoARIA nel quale vengono raccolti e archiviati dati e metadati di qualità dell'aria trasmessi dalle ARPA/APPA, secondo quanto previsto dalla Direttiva 2008/50/CE, dal D.Lgs. 155/2010 di recepimento e dalla Decisione 2011/850/CE. Ogni ARPA/APPA applica sui dati un rigoroso protocollo basato su successivi livelli di validazione, prima di pervenire alla pubblicazione finale.

Gli inquinanti oggetto del presente studio sono: PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 .

I dati di base sono medie orarie per NO_2 .

Per PM_{10} e $PM_{2.5}$ in larga prevalenza (oltre l'80%) i dati di base sono medie giornaliere. Sono presenti, comunque, un certo numero di serie di dati con risoluzione temporale oraria e bioraria.

Ai fini delle successive analisi i dati sono stati aggregati su base giornaliera (medie giornaliere). Il criterio di aggregazione prescelto prevede la disponibilità di almeno 18 record orari al giorno (copertura giornaliera del 75%) per considerare valida una media giornaliera (ovvero 9 record nel caso di dati biorari). Nel caso di copertura insufficiente la relativa media giornaliera risulta come missing (e riportata come "NA").

2.6.4 Dati meteorologici

Le fonti per i dati meteorologici sono costituite primariamente da stazioni meteorologiche locali.

Ad integrazione dei primi, sono stati estratti, per alcune variabili, dati meteorologici da ERA5, database di rianalisi disponibile nell'ambito di ECMWF Copernicus Climate Change Service. Copernicus è un programma di osservazione della Terra frutto della collaborazione tra Agenzia Spaziale Europea e Commissione Europea. I dati ERA5, attualmente disponibili per uso pubblico, sono dati spaziali di rianalisi di condizioni meteorologiche

orarie, ovvero dati derivanti da combinazioni di modelli meteorologici con dati osservati di satelliti e di sensori terrestri, con l'obiettivo di costruire una banca dati meteorologica coerente ed omogenea a partire dal 1979 fino ad oggi, che si aggiorna con cadenza mensile. In particolare, i dataset considerati sono stati, per la precipitazione, quelli di ERA-land (terraferma)² con risoluzione temporale oraria (UTC) e disponibili dal 1981 ad oggi alla risoluzione spaziale di 0.1° x 0.1° e, per l'altezza del planetary boundary layer (pbl), sono stati usati i dati di ERA5 single-levels³ (disponibili dal 1979 ad oggi) con risoluzione oraria (UTC) e risoluzione spaziale pari a 0.25° x 0.25°.

Le principali variabili considerate ai fini della normalizzazione meteorologica delle serie storiche sono riportate in tabella 2.2.

Tabella 2.2 – Variabili considerate per la normalizzazione meteorologica

Variabile	Descrizione	Unità di misura
temp	temperatura media dell'aria	°C
umidità	umidità relativa percentuale dell'aria sulla superficie terrestre	%
prec	precipitazione cumulata sulla superficie terrestre	mm
ws	Intensità della velocità orizzontale del vento a 10 metri d'altezza sulla superficie terrestre	m/s
Wd_prev	direzione di provenienza del vento orizzontale a 10 metri d'altezza sulla superficie terrestre negli 8 settori individuati	adimensionale
pressione	pressione dell'aria sulla superficie terrestre	hPa
pbl00	altezza dello strato limite planetario alle ore 00	km
pbl12	altezza dello strato limite planetario alle ore 12	km

2.7 Applicazione del metodo di Kendall alle serie storiche di dati delle città portuali

In questo studio, l'esistenza di una tendenza di fondo (e la sua significatività statistica) delle concentrazioni di alcuni inquinanti aerodispersi è stata verificata usando il SK test aggiustato per la stagionalità, che ha fornito una stima della riduzione o dell'aumento della concentrazione su base annua, con la relativa incertezza a un dato livello di confidenza ($p < 0,05$).

In particolare, il test è stato applicato sui dati di concentrazione degli inquinanti considerati (PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2) misurati nel periodo che va dal 01/01/2003 al 31/12/2022.

Sui dati aggiustati per gli effetti della meteorologia (mediante GAMs come descritto nel paragrafo 2.6.2) il test è stato applicato senza la destagionalizzazione, perché nel modello statistico è stata considerata una variabile esplicativa, quale fattore destagionalizzante, che quantifica il contributo del mese dell'anno alle concentrazioni stimate.

Tutte le elaborazioni sono state effettuate usando il software open-source R - package Openair - TheilSen estimator, utilizzando l'opzione autocor=TRUE per tenere conto dell'autocorrelazione temporale nelle serie storiche (R Development Core Team (2008), Carslaw et al., 2012).

² <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>

³ <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>

7 Genova

7.1 Inquadramento territoriale e socioeconomico

7.1.1 Struttura del porto: utilizzo delle banchine/terminal per tipologia di nave

Il Porto di Genova, insieme agli altri porti del Mar Ligure Occidentale, assume un ruolo fondamentale nel commercio nazionale e internazionale, rappresentando il principale polo portuale italiano per volume di merci movimentate e valore economico generato attraverso l'indotto. Grazie alla sua posizione geografica strategica, il Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale funge da snodo centrale, garantendo un efficiente inoltro delle merci nella sua area di riferimento e collegamenti via mare con oltre 500 porti in tutto il mondo.

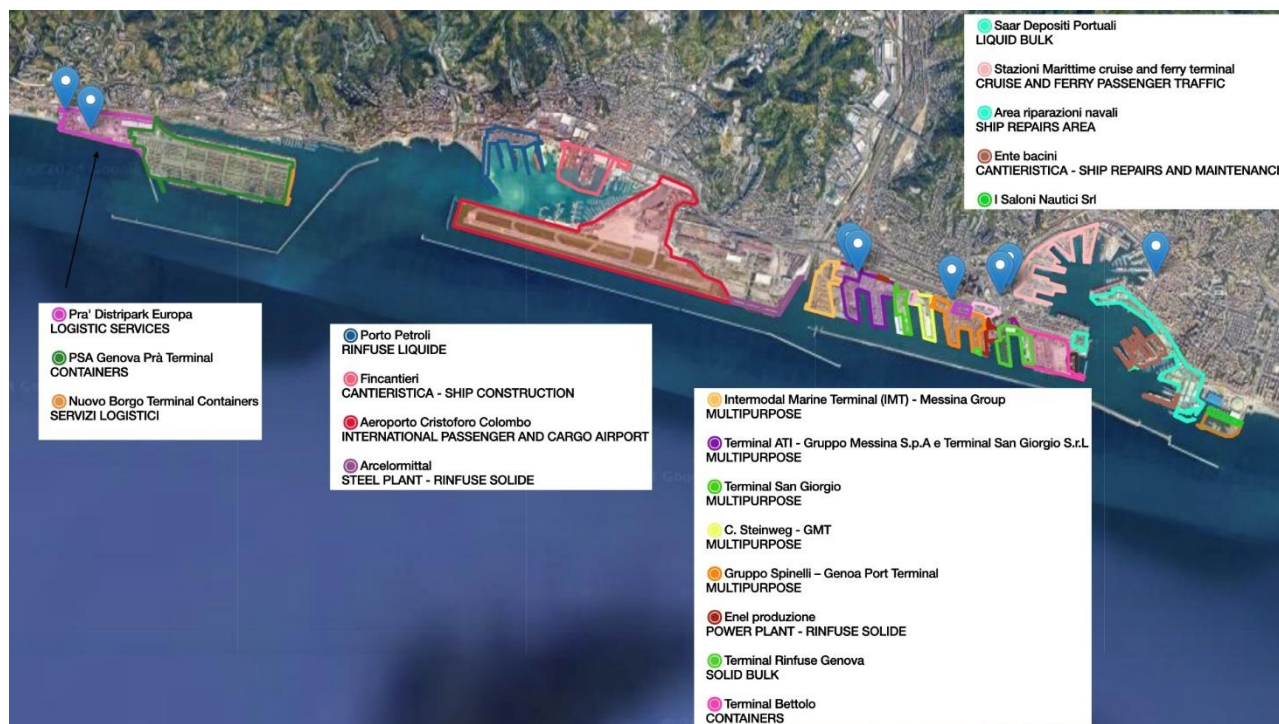
Il polo portuale di Genova si estende su 22 chilometri di costa, ospitando 25 terminal specializzati (si veda figura 7.1, <https://www.portsofgenoa.com/it/>) in grado di gestire una vasta gamma di traffici. La sua poliedricità è evidente nella diversità di merci e traffici che vi transitano, così come nei numerosi servizi complementari offerti nella regione di Genova.

Particolarmente significativa è l'area del Porto Antico, focalizzata principalmente sul traffico passeggeri, sia nel settore crocieristico che nel traghettiistico. Situate in posizione centrale nella città, le stazioni marittime offrono un accesso agevole per i passeggeri in partenza e forniscono comodi collegamenti con le principali attrazioni cittadine e le reti stradali e ferroviarie per coloro che sbarcano.

L'area portuale di Sampierdarena, estendendosi verso ponente, ospita una molteplicità di operatori terminalisti specializzati in differenti traffici, dal liquid e solid bulk al containerizzato fino al general cargo, conferendo un forte connotato industriale a questa zona.

L'area di Voltri-Prà, completata negli anni '90, rappresenta la componente più moderna del Porto di Genova, interamente dedicata al traffico containerizzato. La sua realizzazione ha contribuito a un significativo aumento dei volumi di traffico attratti dal Porto di Genova.

Figura 7.1. Area portuale di Genova



Fonte: <https://www.portsofgenoa.com/it/>

7.1.2 Tempi di stazionamento per tipologia di nave

Dai documenti contenenti i tempi di arrivo e partenza di ogni nave nel Porto di Genova, è stato possibile calcolare il tempo di permanenza delle navi. Il tempo di permanenza è stato definito come la differenza tra il tempo di arrivo e il successivo tempo di partenza. I dati forniti non hanno consentito di misurare i tempi di manovra delle navi. In tabella 7.1 è riportato il tempo medio di permanenza annuale per ciascuna categoria di imbarcazione considerata.

Tabella 7.1. Tempo medio di permanenza annuale per categoria di imbarcazione nel porto di Genova

Tipologia	Numero navi (v.a.)	Numero navi (%)	Tempo di stazionamento (ore)
Passenger	1912	34.6	10.2
Carriers	70	1.3	63.4
Tugs	143	2.6	45.2
Tankers	600	10.9	40.7
Ro-Ro Cargo ship	1005	18.2	16.7
General Cargo	347	6.3	48.7
Containers	1316	23.8	28.9
Others	126	2.3	46.4

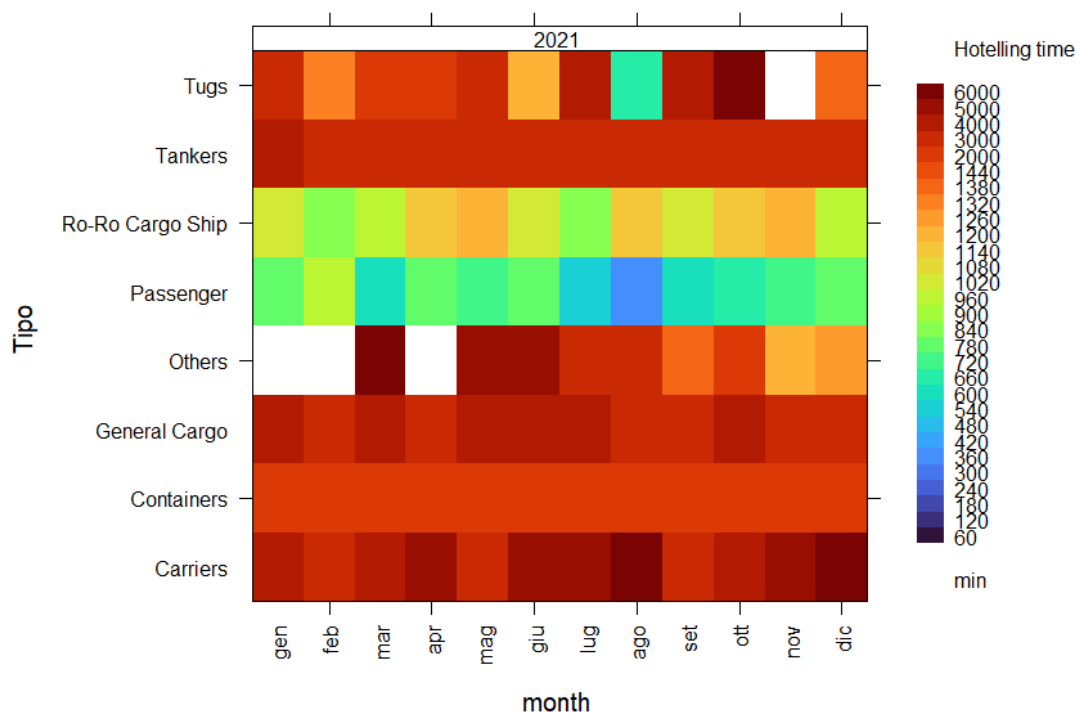
La figura 7.2 riporta i tempi di permanenza medi mensili per ciascuna categoria di imbarcazione. Si osserva che, in generale, le diverse categorie di imbarcazioni hanno una permanenza simile in ogni mese, ad eccezione delle imbarcazioni classificate come "Passengers", "Tugs" e "Others".

All'interno della categoria "Passengers" sono incluse sia le navi da crociera, con una permanenza media di circa 14 ore, sia i traghetti, con una permanenza media di circa 9 ore.

I rimorchiatori, raggruppati come "Tugs", hanno tempi di permanenza molto variabili durante l'anno e i mesi.

Le imbarcazioni classificate come "Others" comprendono sia imbarcazioni private, come yacht o barche a vela, con una permanenza media di 50 ore, sia chiatte da carico, con tempi di permanenza molto variabili tra 2 e 15 ore. Pertanto, includere un'ampia gamma di tipologie di imbarcazioni può generare un valore di permanenza poco esplicativo.

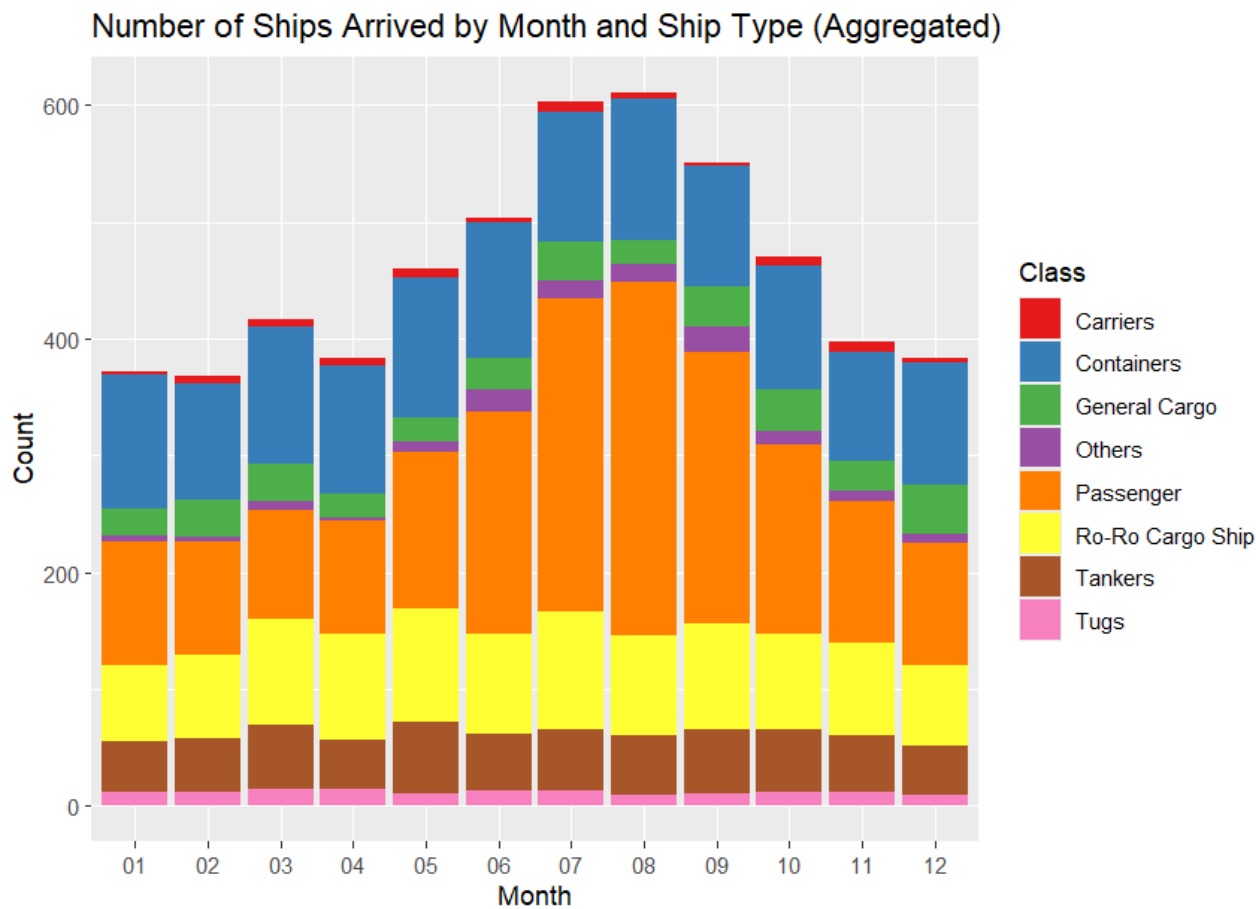
Figura 7.2. Tempi di permanenza medi mensili per categoria EMEP di imbarcazione nel porto di Genova



7.1.3 Analisi del traffico marittimo mensile per tipologia di nave

I dati sul traffico navale nel corso dell'anno sono stati forniti dalla Capitaneria del Porto di Genova e comprendono informazioni dettagliate sull'arrivo e la partenza di ogni nave, tra cui numero di pratica, nome, tipologia, orario e molo di attracco. Per facilitare la comprensione, le navi sono state raggruppate in otto categorie (si veda figura 7.3). Emerge che nei mesi estivi si registra un aumento delle navi passeggeri, riflettendo un maggiore afflusso turistico. Il numero di toccate raggiunge il valore di 303 nei mesi estivi, contro la media di circa 114 toccate durante il resto dell'anno. Le altre categorie di navi non mostrano un andamento annuale con incrementi evidenti.

Figura 7.3. GE – Volume di traffico nel porto di Genova suddiviso per categoria EMEP di imbarcazione (2021)



7.2 Quadro meteoclimatico

La città di Genova comprende l'area urbana più popolosa del Tirreno del Nord. L'effetto termico legato alla sua latitudine settentrionale è in parte compensato dalla presenza del mare, che tende a mitigare il suo clima. Le temperature medie giornaliere presentano una media stagionale che va dai circa 10 gradi in inverno ai 24 gradi in estate. La piovosità è moderata, con un valore cumulato medio annuale (dal 1990 ad oggi) di circa 740 mm, concentrati soprattutto in autunno.

Tra gli eventi meteo-climatici rilevanti nel periodo recente si riportano i forti temporali dell'agosto 2022, associati a forti venti. Si menzionano inoltre le forti mareggiate di ottobre 2020 e di gennaio 2021.

Le statistiche annuali e stagionali delle variabili climatiche di interesse, mediate sui dati disponibili nelle stazioni di area urbana dal 1990 ad oggi, sono riportate in tabella 7.2.

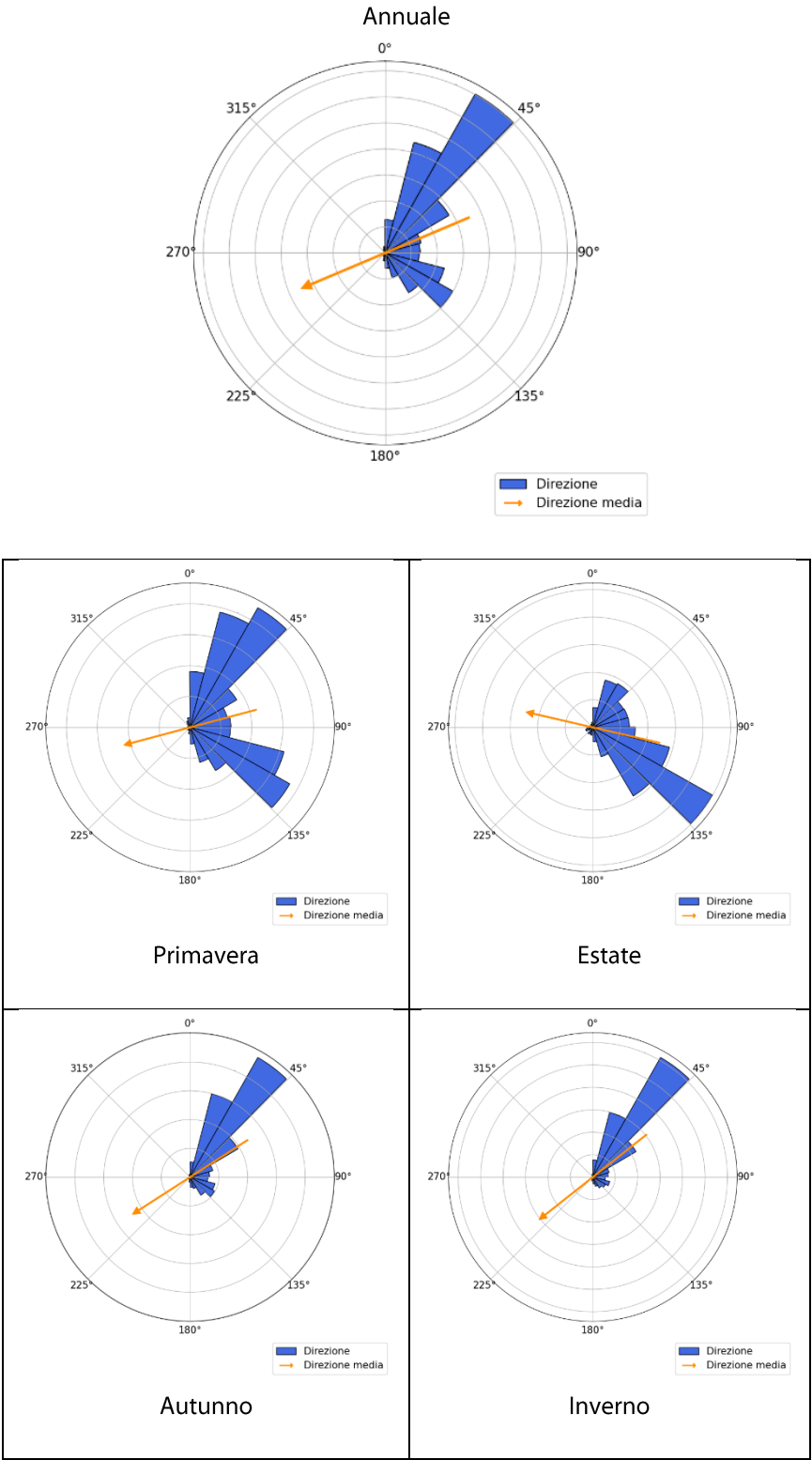
Tabella 7.2. Genova, statistiche annuali e stagionali delle variabili climatiche

Stagione	Temperatura [°C]	Precipitazione [mm/anno]	Umidità [%]	Pressione [mbar]	Intensità vento [m/s]	Direzione Vento [gradi N]
annuale	16.8	738.2	67.3	1015.3	7.7	67.1
primavera	15.0	146.4	68	1014.1	7.3	75.0
estate	24.2	128.7	69.4	1014.1	6.2	103.0
autunno	17.8	514.4	67	1015.7	8.3	57.2
inverno	9.7	286.9	64.7	1017.3	9.1	51.7

La distribuzione della direzione di provenienza del vento è invece mostrata nelle figure sottostanti. I dati provengono dalla stazione meteo in capo all'Aeronautica Militare di Genova-Sestri. La direzione è calcolata rispetto al Nord geografico, in senso orario. Le distribuzioni rappresentate sono pesate per l'intensità corrispondente.

La direzione prevalente è quella di Nord-Est per la maggior parte dell'anno. In primavera ed estate si fa invece consistente la componente di Sud-Est.

Figura 7.4. Genova, distribuzione della direzione di provenienza del vento



7.3 Emissioni legate alle attività portuali

7.3.1 Stima delle emissioni (fase di stazionamento)

La stima delle emissioni annuali per tipologia di nave viene realizzata dall'azienda Techne Consulting, che ha fornito i dati relativi al 2021. È importante notare che il 2021 è stato un anno atipico per le emissioni delle navi in porto a causa degli effetti della pandemia sul traffico passeggeri e crocieristico. Questo ha comportato una prolungata permanenza in porto delle navi Ro-Ro carico e soprattutto delle navi da crociera, a causa della mancanza di attività di navigazione. Questo prolungato tempo di permanenza è stato associato a un ridotto consumo energetico a bordo, poiché molti servizi legati alla presenza dei passeggeri (come riscaldamento, illuminazione delle cabine e delle aree comuni, servizi di ristorazione) non erano attivi.

I documenti forniti riportano una suddivisione delle tipologie di imbarcazioni conforme alla classificazione EMEP. Nella tabella 7.3 sono riportate le emissioni totali in stazionamento per porto e tipo di nave nell'anno 2021 (in Mg). Si nota che per le emissioni di NO_x, il contributo prevalente proviene dalle navi passeggeri (passenger), che rappresentano il 32% delle emissioni, seguite dai container (27%), dai Ro-Ro Cargo (21%) e dalle navi cisterna (liquid bulk ships) (17%).

Tabella 7.3. Emissioni attribuibili alla fase di stazionamento, suddivise per categoria di nave secondo la classificazione EMEP.

FASE DI STAZIONAMENTO						
Tipologia di Imbarcazione	Emissioni NO _x (t)	Emissioni NO _x (%)	Emissioni SO ₂ (t)	Emissioni SO ₂ (%)	Emissioni PM ₁₀ (t)	Emissioni PM ₁₀ (%)
Container	1165.14	26.53	66.27	28.45	27.40	25.42
Dry bulk carriers	12.30	0.28	0.7	0.3	0.30	0.26
General Cargo	85.04	1.93	4.93	2.11	1.97	1.83
Liquid bulk ships	731.04	16.64	33.19	14.25	18.15	16.84
Passengers	1386.68	31.58	70.14	30.12	36.34	33.72
Ro-Ro Cargo	931.34	21.21	52.78	22.66	21.56	20.00
Tug	3.03	0.06	0.18	0.08	0.11	0.1
Others	76.20	1.73	4.69	2.01	1.93	1.79

7.3.2 Scenari di mitigazione previsti per l'area portuale di Genova

Per quanto riguarda il porto di Genova, il documento di pianificazione energetica e ambientale del sistema portuale (DEASP) prende in esame le riduzioni in valore assoluto delle emissioni di NO_x, SO_x, COVNM e PM con l'elettificazione del terminal traghetti/crociere di Genova e Genova Pra'. Dallo stesso DEASP prende in considerazione la riduzione delle percorrenze sui tratti stradali di connessione del Porto di Genova e Vado Ligure con l'entroterra a seguito della previsione di shift modale tra strada e ferrovia.

7.4 La valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Genova

La Valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Genova si basa sulla deliberazione della Giunta regionale N° 441 del 03/05/2024 con cui sono stati approvati il riesame della zonizzazione e della classificazione del territorio regionale e la modifica e l'integrazione del programma di valutazione della qualità dell'aria. Cinque sono le zonizzazioni individuate nel territorio della regione Liguria, ai fini della protezione della salute e della vegetazione:

1. Zonizzazione per la protezione della salute per biossido di Azoto (NO₂), Benzene (C₆H₆), particolato solido fine (PM₁₀ e PM_{2.5}); biossido di Zolfo (SO₂), monossido di Carbonio (CO)
2. Zonizzazione per la protezione della salute per i metalli (Pb, As, Cd, Ni)
3. Zonizzazione per la protezione della salute per il Benzo(a)Pirene B(a)P
4. Zonizzazione per la protezione della salute per l'Ozono (O₃)
5. Zonizzazione per la protezione della vegetazione per ossidi di Azoto (NO_x), biossido di Zolfo (SO₂) Ozono (O₃).

Nelle quattro zonizzazioni per la protezione della salute, il comune di Genova appartiene al c.d. Agglomerato Genova (IT0711), avente area di 240 km² (2011) e popolazione totale di 574.090 abitanti (2019).

7.4.1 Rete di monitoraggio della qualità dell'aria del comune di Genova

Tabella 7.4. Rete di monitoraggio della qualità dell'aria del comune di Genova

RETE REGIONALE ARPA LIGURIA					
COMUNE	STAZIONE	TIPOLOGIA#	LATITUDINE	LONGITUDINE	ALTITUDINE
GENOVA	QUARTO - GENOVA	UB	44,39489	8,99154	85 m s.l.m.
GENOVA	CORSO FIRENZE - GENOVA	UB	44,41816	8,92737	105 m s.l.m.
GENOVA	PARCO ACQUASOLA - GENOVA	UB	44,40759	8,94101	45 m s.l.m.
GENOVA	MULTEDO VILLA CHIESA - GENOVA	UI	44,4274	8,83039	30 m s.l.m.
GENOVA	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	44,40492	8,96819	75 m s.l.m.
GENOVA	VIA PASTORINO - BOLZANETO - GENOVA	UT	44,46272	8,90142	60 m s.l.m.
GENOVA	CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	UT	44,40309	8,95013	7 m s.l.m.
GENOVA	VIA BUOZZI - GENOVA	UT	44,41394	8,91193	17 m s.l.m.
GENOVA	MULTEDO - PEGLI - GENOVA	UT	44,4255	8,82598	20 m s.l.m.
GENOVA	VIA UNGARETTI - PEGLI - GENOVA	SB	44,4284	8,79768	50 m s.l.m.

U-Urbana; S-suburbana; R-rurale; I-industriale; B-background; T-traffico.

Fonte: ARPA Liguria

7.4.2 Biossido di azoto – stato della qualità dell'aria

Nella tabella 7.5 sono riportate le statistiche descrittive relative al 2022 per i livelli di biossido di azoto determinati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 7.5. Biossido di azoto. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	Nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media Annuale $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Giorni superamento soglia 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ore superamento soglia 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
IT0858A	QUARTO - GENOVA	URBANA	FONDO	14	0	0
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	URBANA	FONDO	21	8	0
IT0856A	PARCO ACQUASOLA - GENOVA	URBANA	FONDO	17	1	0
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	54	205	4
IT1850A	VIA PASTORINO - BOLZANETO - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	36	75	0
IT1884A	CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	32	17	0
IT1887A	VIA BUOZZI - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	46	127	0
IT0852A	MULTEDO - PEGLI - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	39	58	0
IT2259A	VIA UNGARETTI - PEGLI - GENOVA	SUBURBANA	FONDO	16	0	0

Media annuale: valore limite di legge (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Media oraria: valore limite di legge (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) da non superare più di 18 volte in un anno

Media giornaliera: Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte in un anno.

Media annuale, valore guida oms (2021): 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Media giornaliera, valore guida oms (2021): 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ massimo 3-4 superamenti

Il valore limite annuale (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) del biossido di azoto è superato in due stazioni, Corso Europa e Via BuoZZi, mentre il valore di riferimento OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) è superato in tutte le stazioni.

In nessun caso è stato superato il valore limite orario di legge (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte in un anno).

In quattro stazioni si sono registrati più di 18 giorni di superamento della soglia di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera (valore limite giornaliero per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 secondo la proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria).

Solo in tre stazioni i superamenti della soglia di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sono compatibili con il valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno).

7.4.3 Biossido di azoto – trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 7.6 e 7.7 sono riportati i risultati dell'analisi dei trend al 2022, eseguita con il metodo di Kendall rispettivamente sulle serie di dati originali e sulle serie aggiustate per la meteorologia; solo nel primo caso è stato utilizzato il metodo aggiustato per la stagionalità.

In entrambi i casi si osserva un trend decrescente statisticamente significativo in 6 stazioni su 7.

La rimanente stazione mostra una pendenza negativa (andamento tendenzialmente decrescente sebbene non statisticamente significativo. I risultati ottenuti con i due diversi metodi portano a risultati confrontabili (ovvero trend coerente per segno e significatività statistica).

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 7.4 e 7.5 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "CORSO FIRENZE - GENOVA" (IT0854A) stazione "storica" della città.

Tabella 7.6. NO₂. Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità sulle serie di dati originali.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	-1.6 ÷ [-4.6 ÷ 1.3]
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	UF	2002	DECRESCENTE	-2.6 ÷ [-2.9 ÷ -2.1]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2008	DECRESCENTE	-3.6 ÷ [-4.9 ÷ -3.1]
IT1850A	VIA PASTORINO - BOLZANETO - GENOVA	UT	2007	DECRESCENTE	-2.8 ÷ [-3.5 ÷ -1.2]
IT1884A	CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	UT	2013	DECRESCENTE	-5.9 ÷ [-7 ÷ -4.9]
IT1887A	VIA BUOZZI - GENOVA	UT	2013	DECRESCENTE	-2.5 ÷ [-3.9 ÷ -1.2]
IT0852A	MULTEDO - PEGLI - GENOVA	UT	2011	DECRESCENTE	-3.9 ÷ [-4.7 ÷ -3.3]

Tabella 7.7. NO₂. Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall sulle serie di dati aggiustati per la meteorologia.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	-1.5 ÷ [-3.8 ÷ 2.4]
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	UF	2002	DECRESCENTE	-2.7 ÷ [-2.9 ÷ -2.4]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2008	DECRESCENTE	-3.7 ÷ [-5.2 ÷ -2.9]
IT1850A	VIA PASTORINO - BOLZANETO - GENOVA	UT	2007	DECRESCENTE	-2.6 ÷ [-3.5 ÷ -1.6]
IT1884A	CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	UT	2013	DECRESCENTE	-5.2 ÷ [-6.6 ÷ -3.9]
IT1887A	VIA BUOZZI - GENOVA	UT	2013	DECRESCENTE	-2.3 ÷ [-3.6 ÷ -0.9]
IT0852A	MULTEDO - PEGLI - GENOVA	UT	2011	DECRESCENTE	-3.9 ÷ [-4.5 ÷ -3.4]

Figura 7.4. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

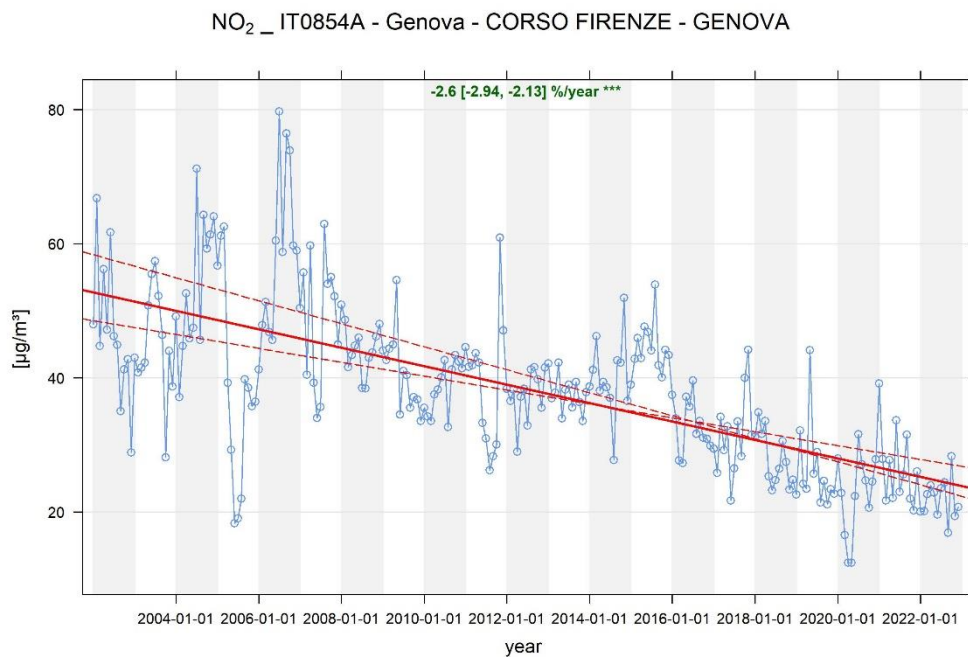
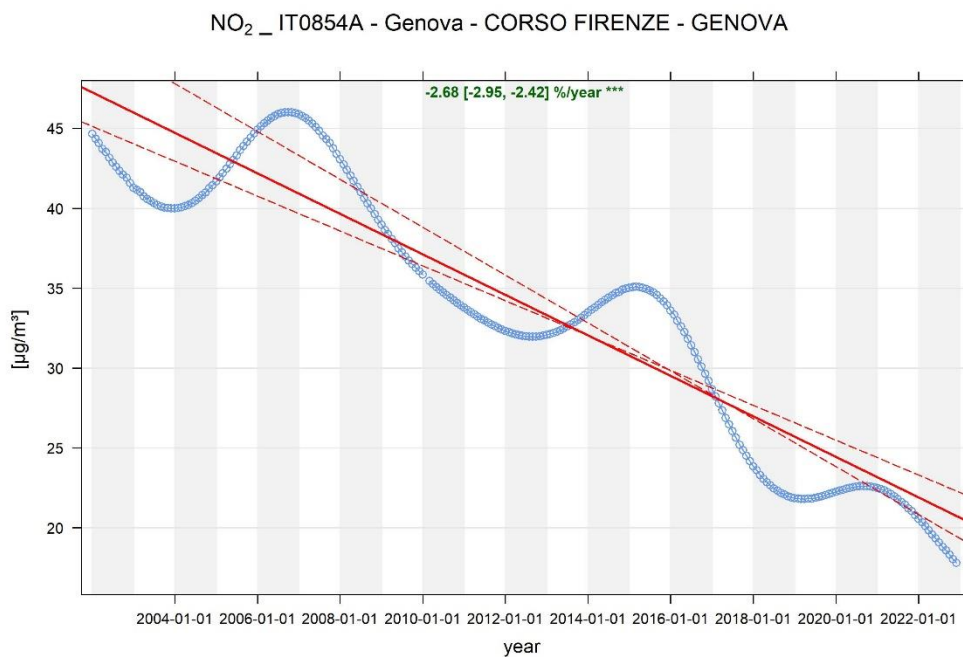


Figura 7.5. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



7.4.4 PM₁₀ stato della qualità dell'aria

Nella tabella 7.8 sono riportate le statistiche descrittive relative al 2022 per i livelli di PM₁₀ registrati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 7.8. PM₁₀. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	Nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media Annuale $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Giorni superamento limite 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Giorni superamento soglia 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
IT0858A	QUARTO - GENOVA	URBANA	FONDO	18	5	8
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	URBANA	FONDO	15	1	2
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO – GENOVA*	URBANA	TRAFFICO	23	3	3
IT1884A	CORSO BUENOS AIRES - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	19	5	7
IT0852A	MULTEDO - PEGLI - GENOVA	URBANA	TRAFFICO	21	3	4

Media annuale: valore limite di legge (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Media giornaliera: valore limite per la protezione della salute umana: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno.

Media giornaliera: Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030: 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte in un anno.

Media annuale, valore guida oms (2021): 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Media giornaliera, valore guida oms (2021): 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ massimo 3-4 superamenti

* copertura insufficiente, non rispetta i criteri dell'allegato I del D.Lgs 155/2010

La media annuale del PM₁₀ è inferiore al valore limite di legge (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in tutte le stazioni,

Nelle stazioni di "Corso Europa"* e "Multedo-Pegli" si registra una media annuale superiore a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 secondo la proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria).

In nessuna stazione il valore medio annuale è inferiore al valore guida dell'OMS (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) con l'eccezione della stazione "Corso Firenze".

In nessuna stazione è superato il valore limite giornaliero di legge (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 35 volte in un anno).

In nessuna stazione si sono registrati più di 18 giorni di superamento della soglia di 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera (Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 secondo la proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria).

Il numero di superamenti della soglia di 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ è leggermente superiore al valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno) solo in due stazioni, "Quarto" e "Corso Buenos Aires" (rispettivamente con 7 e 8 superamenti della soglia).

7.4.5 PM₁₀ trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 7.9 e 7.10 sono riportati i risultati dell'analisi dei trend al 2022, eseguita con il metodo di Kendall rispettivamente sulle serie di dati originali e sulle serie aggiustate per la meteorologia; nel primo caso è stato utilizzato il metodo aggiustato per la stagionalità.

I risultati ottenuti con i due metodi portano a risultati confrontabili (ovvero trend coerente per segno e significatività statistica), che consistono in un trend decrescente statisticamente significativo per le stazioni "Corso Europa" e "Corso Firenze". Per la stazione "Quarto", la serie originale presenta un andamento tendenzialmente crescente mentre quella aggiustata per la meteorologia mostra un andamento tendenzialmente decrescente, ma in entrambi i casi il trend risulta non statisticamente significativo (assenza di trend).

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 7.6 e 7.7 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "CORSO FIRENZE - GENOVA" (IT0854A) stazione "storica" della città.

Tabella 7.9. PM₁₀. Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità sulle serie di dati originali.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	0.4 ÷ [-1.5 ÷ 2.7]
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	UF	2009	DECRESCENTE	-2.3 ÷ [-3.3 ÷ -1.3]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2012	DECRESCENTE	-3.6 ÷ [-4.9 ÷ -3.1]

Tabella 7.10 PM₁₀. Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall sulle serie di dati aggiustati per la meteorologia.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	-0.1 ÷ [-1.8 ÷ 1.5]
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	UF	2009	DECRESCENTE	-2.2 ÷ [-3.5 ÷ -1.1]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2012	DECRESCENTE	-3.7 ÷ [-5.2 ÷ -2.9]

Figura 7.6. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

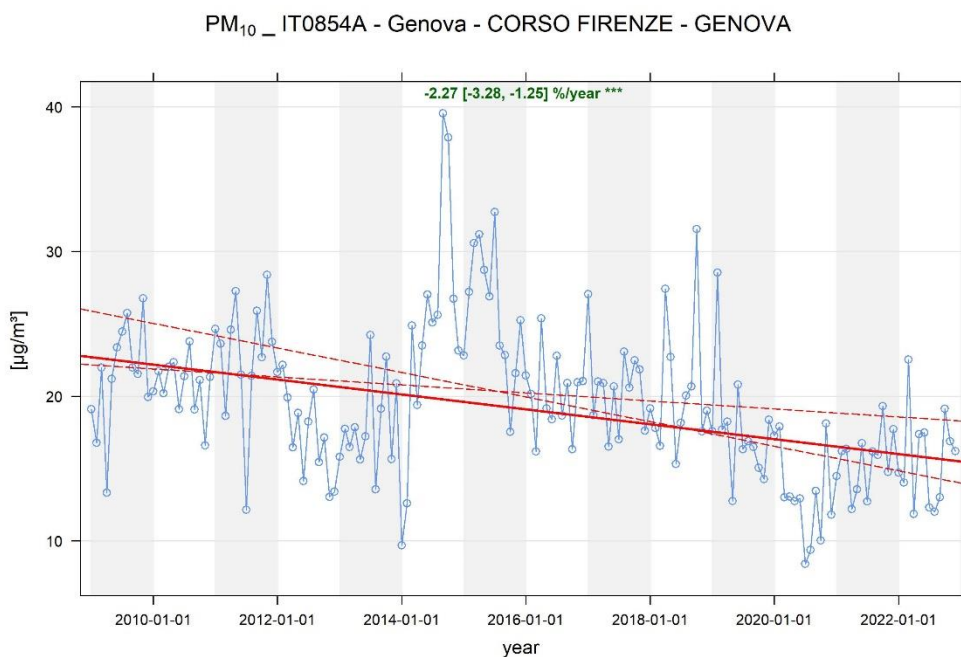
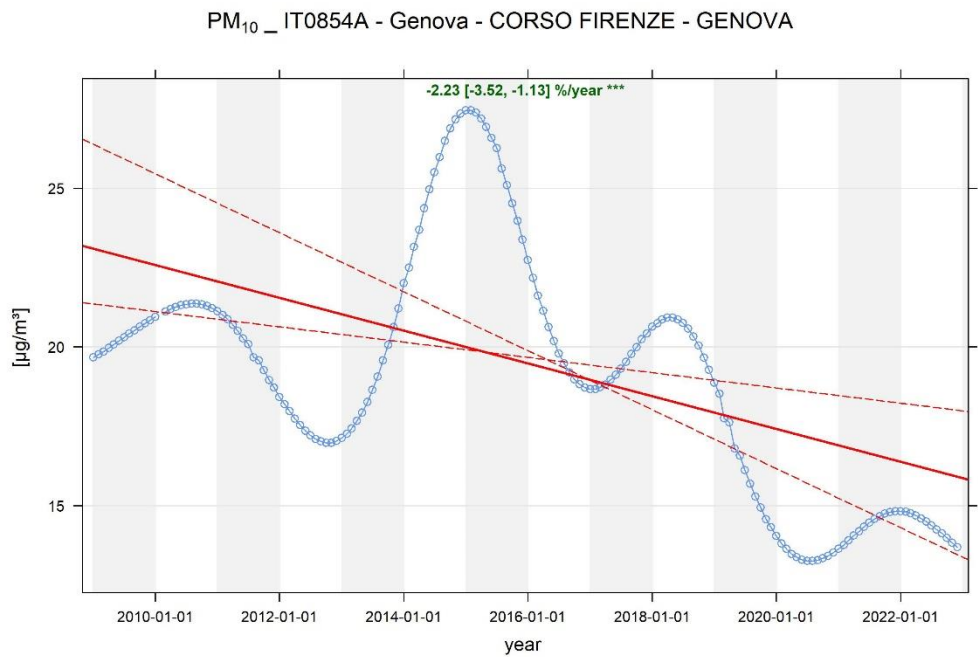


Figura 7.7. Analisi dei trend con il metodo di Kendall la stagionalità. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



7.4.6 PM_{2.5} stato della qualità dell’aria

Nella tabella 7.11 sono riportate le statistiche descrittive relative al 2022 per i livelli di PM_{2.5} registrati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell’aria.

Tabella 7.11: PM_{2.5}. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	Nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media Annuale µg/m³	Giorni superamento soglia 25 µg/m³	Giorni superamento soglia 15 µg/m³
IT0858A	QUARTO - GENOVA	URBANA	FONDO	11	13	74
IT0854A	CORSO FIRENZE - GENOVA	URBANA	FONDO	9	3	37
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO – GENOVA*	URBANA	TRAFFICO	13	3	76

Media annuale: valore limite di legge (25 µg/m³)

Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (10 µg/m³)

Media giornaliera: Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030: 25 µg/m³ da non superare più di 18 volte in un anno.

Media annuale, valore guida oms (2021): 5 µg/m³

Media giornaliera, valore guida oms (2021): 15 µg/m³ massimo 3-4 superamenti

* copertura insufficiente, non rispetta i criteri dell'allegato I del D.Lgs 155/2010

La media annuale del PM_{2.5} è inferiore al valore limite di legge (25 µg/m³).

In due stazioni, “Quarto” e “Corso Europa”*, si registra una media annuale superiore a 10 µg/m³ (Valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 secondo la proposta di nuova direttiva sulla qualità dell’aria).

In nessuna stazione il valore medio annuale è inferiore al valore guida dell’OMS (5 µg/m³).

In nessuna stazione si sono registrati più di 18 giorni di superamento della soglia di 25 µg/m³ per la media giornaliera (Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 secondo la proposta di nuova direttiva sulla qualità dell'aria).

I superamenti della soglia di 15 µg/m³ sono più numerosi rispetto a quanto previsto dal valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno). Nel caso peggiore sono stati registrati 76 superamenti (Corso Europa).

7.4.7 PM_{2.5} trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 7.12 e 7.13 sono riportati i risultati dell'analisi dei trend al 2022, eseguita con il metodo di Kendall rispettivamente sulle serie di dati originali e sulle serie aggiustate per la meteorologia; nel primo caso è stato utilizzato il metodo aggiustato per la stagionalità.

I risultati ottenuti con i due metodi portano a risultati confrontabili (ovvero trend coerente per segno e significatività statistica), che consistono in un trend decrescente statisticamente significativo per la stazione "Corso Europa", e un trend non statisticamente significativo (assenza di trend) per la stazione "Quarto".

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 7.8 e 7.9 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "CORSO EUROPA - GENOVA" (IT1698A).

Tabella 7.12. PM_{2.5}, Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità sulle serie di dati originali.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	-1.6 ÷ [-4.6 ÷ 1.3]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2015	DECRESCENTE	-4.4 ÷ [-5.4 ÷ -3.6]

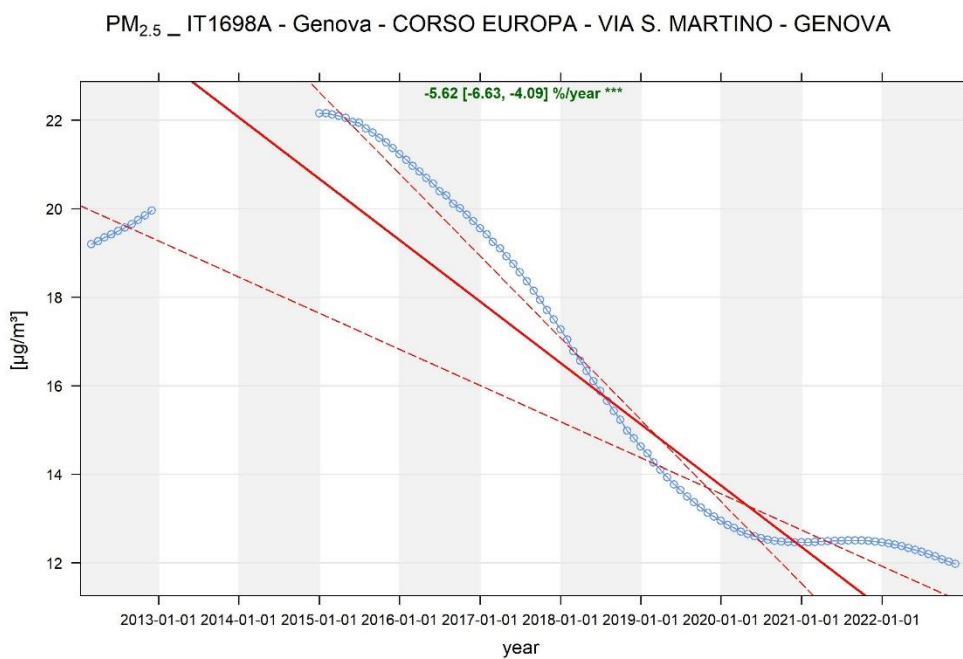
Tabella 7.13. PM_{2.5}, Risultati dell'analisi dei trend con il metodo di Kendall sulle serie di dati aggiustati per la meteorologia.

station_eu_code	nome_stazione	TIPO	inizio serie	tendenza.stsign	var_perc
IT0858A	QUARTO - GENOVA	UF	2012	STAZIONARIO	-1.5 ÷ [-3.8 ÷ 2.4]
IT1698A	CORSO EUROPA - VIA S. MARTINO - GENOVA	UT	2015	DECRESCENTE	-5.6 ÷ [-6.6 ÷ -4.1]

Figura 7.8. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.



Figura 7.9. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



8 Bibliografia

- American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2018 - The 2018 International Energy Efficiency Scorecard. <http://aceee.org/research-report/i1801>
- Anttila P, Tuovinen JP. Trends of primary and secondary pollutant concentrations in Finland in 1994-2007. *Atmospheric Environment* 2010, (44), 30-41.
- Barmapadimos, I., Keller, J., Oderbolz, D., Hueglin, C., Prevot, A.S.H., 2012. One decade of parallel fine (PM_{2,5}) and coarse (PM₁₀-PM_{2,5}) particulate matter measurements in europe: trends and variability. *Atmos. Chem. Phys.* 12, 3189-3203.
- Barmapadimos, I.; Hueglin, C.; Keller, J.; Henne, S.; Prévôt, A.S.H. Influence of meteorology on PM₁₀ trends and variability in Switzerland from 1991 to 2008. *Atmos. Chem. Phys.* 2011, 11, 1813-1835.
- Carslaw et al. 2007 Carslaw, D.C.; Carslaw, N. Detecting and characterising small changes in urban nitrogen dioxide concentrations. *Atmospheric Environment* 2007, 41, 4723-4733.
- Carslaw, D.C. and K. Ropkins, "Openair - an R package for air quality data analysis". *Environmental Modelling & Software* 2012, (27-28), 52-61.
- Carslaw, D.C.; Beevers, S.D.; Tate, J.E. Modelling and assessing trends in traffic-related emissions using a generalised additive modelling approach. *Atmospheric Environment* 2007, 41, 5289-5299.
- Cattani, G., Di Menno di Bucchianico, A., Dina, D., Inglessis, M., Notaro, C., Settimo, G., Viviano, G., Marconi, A. Evaluation of the temporal variation of air quality in Rome, Italy from 1999 to 2008. *Annali Istituto Superiore di Sanità* 2010, (46) 242-253.
- Clifford S. et al (2011), Using the Generalised Additive Model to model the particle number count of ultrafine particles, *Atmospheric Environment*, 45, 5934 - 5945.
- Cohen, A.J., Brauer, M., Burnett, R., Anderson, H.R., Frostad, J., Estep, K., Balakrishnan, K., Brunekreef, B., Dandona, L., Dandona, R., Feigin, V., Freedman, G., Hubbell, B., Jobling, A., Kan, H., Knibbs, L., Liu, Y., Martin, R., Morawska, L., Pope, C.A., Shin, H., Straif, K., Shaddick, G., Thomas, M., van Dingenen, R., van Donkelaar, A., Vos, T., Murray, C.J.L., Forouzanfar, M.H., 2017. Estimates and 25- year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases study 2015. *Lancet* 389, 1907-1918.
- Cortes, D.R., Hites, R.A., Detection of Statistically Significant Trends in Atmospheric Concentrations of Semivolatile Compounds. *Environmental Science and Technology* 2000, 34(13), 2826-2829. ISSN/ISBN: 0013-936X.
- Directive 2001/81/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on National Emission Ceilings for Certain Atmospheric Pollutants, 27/ 11/2001.
- EC, 2004: CAFE Working Group on Particulate Matter. Second Position Paper on Particulate Matter. April 2004. http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/pdf/working_groups/2nd_position_paper_pm.pdf. EU, 2002. Guidance on Assessment under the EU Air Quality Directives. Technical Report European Union.
- EEA, 2019. Air Quality in Europe: 2019 Report. Technical Report European Environment Agency Luxembourg. EU, 2001.
- Eskridge, R.E. Separating different scales of motion in time series of meteorological variables. *Bulletin of American Meteorological Society*, 1997, (78) 1473-1483.
- ETC/ATNI c/o NILU. Understanding Air Quality Trends in Europe. Eionet Report - ETC/ATNI 2020/8. ISBN 978-82-93752-25-7.
- EU, 2008. Directive 2008/50/ec of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe, 11/6/2008.
- Gupta, I., Kumar, R. Trends of particulate matter in four cities in India. *Atmospheric Environment* 2006, (40), 2552-2566.
- Hirsch, R.M., and Slack, L.R. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 1984, (20), 727-732.

- Hoek G, Beelen R, de Hoogh K et al. A review of land-use regression models to assess spatial variation of outdoor air pollution. *Atmos Environ* 2008;42(33):7561- 78.
- Hoek, G., 2017. Methods for assessing long-term exposures to outdoor air pollutants. *Curr. Environ. health Rep.* 4, 450-462.
- Hoogerbrugge R, Denier van der Gon HAC, Van Zanten MC, Matthijesen J. Trends in particulate matter. Bihlthoven, Netherlands research program on particulate matter, 2010, report 500099014.
- Huang, G., Lee, D., Scott, E.M., 2018. Multivariate space-time modelling of multiple air pollutants and their health effects accounting for exposure uncertainty. *Stat. Med.* 37, 1134-1148.
- ISPRA, 2014. Analisi dei trend dei principali inquinanti atmosferici in Italia 2003 - 2012. Rapporti 203/2014, ISPRA Roma.
- ISPRA, 2019. Analisi dei trend dei principali inquinanti atmosferici in Italia (2008-2017). Rapporti 302/2018, ISPRA Roma.
- ISPRA, 2020. Annuario dei Dati Ambientali - Edizione 2019. Technical Report ISPRA Roma.
- Kloog I, Nordio F, Coull BA, Schwartz J. Incorporating local land use regression and satellite aerosol optical depth in a hybrid model of spatiotemporal PM_{2.5} exposures in the Mid-Atlantic states. *Environ Sci Technol* 2012;46,11913-21.
- Kloog, I., Sorek-Hamera, M., Lyapustin, A., Coull, B., Wange, Y., Just, A., Schwartz, J., Broday, D., 2015. Estimating daily PM_{2.5} and a PM₁₀ cross the complex geo-climate region of Israel using MAIAC satellite-based aod data. *Atmos. Environ.* 122, 409-416.
- Langanke, T., 2015. Outdoor Air Pollution. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Technical Report International Agency for Research on Cancer.
- Langanke, T., 2018. Copernicus Land Monitoring Service - High Resolution Layer Imperviousness: Product Specifications Document. Technical Report EEA.
- Leone, G.; Cattani, G.; Cusano, M.; Gaeta, A.; Pellis, G.; Vitullo, M.; Morelli, R. Wildfires Impact Assessment on PM Levels Using Generalized Additive Mixed Models. *Atmosphere* **2023**, *14*, 231. <https://doi.org/10.3390/atmos14020231>.
- Martuzzi, M., Mitis, F., Iavarone, I., Serinelli, M., 2006. Health Impact of PM₁₀ and Ozone In 13 Italian Cities. Technical Report World Health Organization Regional Office for Europe.
- McLeod, A.I. Trend analysis methodology for water quality time series. *Environmetrics*, 1991, (2) 169-200.
- Ordóñez, C.; Garrido-Perez, J.M.; García-Herrera, R. Early spring near-surface ozone in Europe during the COVID-19 shutdown: Meteorological effects outweigh emission changes. *Science Total Environment* 2020, 747.
- Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., Stafoggia, M., 2013. African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001-2011: PM₁₀ concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 1395-1410.
- Piscitelli, P., Valenzano, B., Rizzo, E., Maggiotto, G., Rivezzi, M., Corcione, F.E., Miani, A., 2019. Air pollution and estimated health costs related to road transportations of goods in Italy: a first healthcare burden assessment. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 16.
- R Core Team, 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria. URL. www.R-project.org.
- R Development Core Team (2008). "R: A language and environment for statistical computing". R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.Rproject.org>
- Rao, S.T., Zurbenko, I.G. Detecting and tracking changes in ozone air quality. *Journal of Air and Waste Management Association*, 1994, (44) 1089-1092.
- Ravindra, K.; Rattan, P.; Mor, S.; Aggarwal, A.N. Generalized additive models: Building evidence of air pollution, climate change and human health. *Environment International*, 132, 2019, 104987. ISSN 0160-4120. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104987>.

WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

WHO, 2013. Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution - REVIHAAP Project. Technical Report World Health Organization.

Wood, S.N. Generalized Additive Models: An Introduction with R, 2nd ed.; Chapman & Hall/CRC: New York, NY, USA, 2017.

Zuur, A.F. Beginner's Guide to Generalized Additive Models with R; Highland Statistics Ltd.: Newburgh, UK, 2012; ISBN 978-0-957-17412-2.

Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., Smith, G.M. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer, 2009. ISBN 978-0-387-87457-9.