

**PIANO NAZIONALE PER GLI INVESTIMENTI COMPLEMENTARI (PNC)
AL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)
INVESTIMENTO E.1 "SALUTE-AMBIENTE-BIODIVERSITÀ-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, SO_2 ; ossidi di azoto, NO_x ; biossido di azoto, NO_2 ; monossido di carbonio, CO ; ozono, O_3), 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 $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) che comprende tutte le particelle con diametro aerodinamico inferiore o uguale a $10 \mu\text{m}$;
- la concentrazione di massa del particolato selezionato in base al diametro aerodinamico mediante teste selettive con taglio a $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) che comprende tutte le particelle con diametro aerodinamico inferiore o uguale a $2,5 \mu\text{m}$;
- 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 PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$.

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 PM_{10} 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 PM_{10} . 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; Langenke 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 $\text{PM}_{2,5}$ 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 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ della concentrazione media annuale per il PM_{10} ed il $\text{PM}_{2,5}$.

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 SO₂, 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 linda 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 linda 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 200/33/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):

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

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 juliano, 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 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 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 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.

Le principali variabili considerate ai fini della normalizzazione metereologica 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>

6 Civitavecchia

6.1 Inquadramento territoriale e socioeconomico

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

Nell'area urbana di Civitavecchia si localizza uno dei più importanti scali portuali del Mar Tirreno.

Il porto di Civitavecchia, fondato dall'imperatore Traiano nel 108 d.C. come porta di Roma, ha rappresentato per molti secoli il fulcro degli scambi e dei contatti tra i popoli dell'antico "Mare Nostrum". Oggi può contare su circa 2.000.000 m² di banchine, 34 attracchi operativi da 100 a 400 m di lunghezza, oltre 16 km di accosti, con pescaggi fino a 18 metri e fondali rocciosi.

Il traffico crocieristico si concentra nei 4 terminal dislocati presso le banchine 10, 12 Bis Sud, 12 Bis Nord, 25 e nel nuovo terminal Amerigo Vespucci che, con i suoi 11.000 m² di superficie, è in grado di ospitare le più grandi navi da crociera.

Il terminal Autostrade del Mare è situato nell'area retrostante la banchina 18, nell'area dedicata al traffico Ro-Ro merci e passeggeri, in un'area di circa 2000 m².

Il porto commerciale di Civitavecchia può contare su un terminal container, banchine general cargo per le rinfuse, una darsena Ro-Ro, un porto energetico-grandi masse ed una darsena servizi.

Il terminal container occupa una superficie di 300.000 m² ed una capacità di 500.000 TEU all'anno. Dispone inoltre di un fronte banchina di 750 m lineari.

Oltre ai container, tra i principali traffici del porto di Civitavecchia si annoverano:

- il terminal dell'acciaio, che serve le acciaierie di Terni (principale terminalista dell'acciaio nel porto), grazie al quale il porto ha assunto una particolare rilevanza per la movimentazione di materie prime e prodotti finiti del settore;
- il terminal auto, con un parco dedicato alla logistica e alla movimentazione di auto nuove, con la costituzione di un consorzio per la movimentazione di auto, grazie a piazzali di sosta di 540.000 m² che può ospitare fino a 280.000 vetture;
- il magazzino agroalimentare, realizzato presso la banchina 24 del porto: si tratta di un magazzino polifunzionale che movimenta merci del settore agroalimentare, dotato di celle frigorifere e dispositivi di conservazione e packaging per lo stoccaggio dei prodotti in arrivo;
- la darsena grandi masse storicamente snodo fondamentale per l'approvvigionamento energetico del Lazio settentrionale, insieme alla vicina centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord.

6.1.2 Tempi di stazionamento e manovra

Secondo le informazioni dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale, il tempo di manovra è mediamente di mezz'ora in accosto e mezz'ora in uscita, pertanto, ai fini del calcolo per la stima delle emissioni, al tempo totale di manovra è stato attribuito il valore realistico di 1 ora, definito dall'Autorità Portuale come dato mediamente valido per tutte le tipologie di nave. Il tempo di stazionamento è invece ricavabile per ciascun accosto, essendo note data e ora di arrivo e data e ora di partenza dai database forniti dall'Autorità portuale.

Non essendo disponibili i dati sui rimorchiatori, le emissioni ad essi relative non sono state computate. Nella tabella sottostante sono indicati i tempi totali di stazionamento e manovra, suddivisi secondo le categorie EMEP, con riferimento all'anno 2021.

La tabella mostra tempi di stazionamento più lunghi rispetto a quanto rilevato negli studi di anni pre-covid, probabilmente per il fatto che l'anno 2021 ha risentito nei suoi primi mesi di situazioni emergenziali legate ancora alla coda della pandemia. Inoltre si sono verificati casi di navi che, a causa di avarie, sono dovute stazionare a lungo in porto.

Tabella 6.1. Tempi totali di stazionamento e di manovra per categoria di nave (2021).

Categoria nave	Tempo totale di stazionamento (ore)	Tempo totale di manovra (ore)
Container	2822	151
Dry_bulk_carriers	6679	58
General_cargo	6820	116
Liquid_bulk_ships	2851	68
Others	1045	8
Passenger	25698	1573
Passenger_C	59733	507
Ro_Ro_cargo	1684	190
Tugs (non in servizio)	38	3

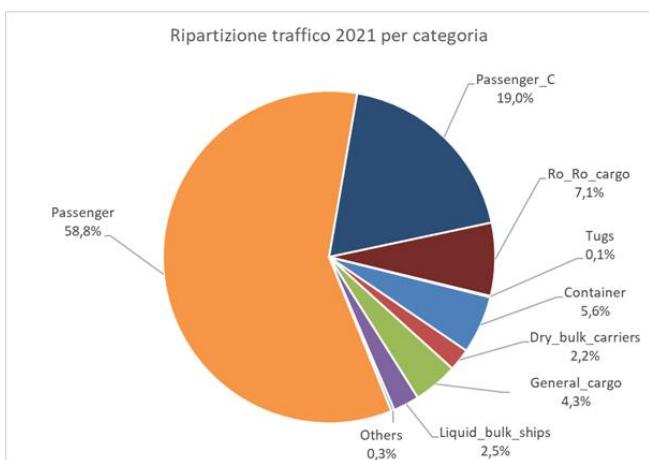
6.1.3 Analisi del traffico marittimo mensile per tipologia di nave

L’Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale, grazie ad una pluriennale collaborazione, fornisce all’ARPA Lazio con cadenza semestrale o annuale, una query estratta dal proprio database gestionale che per ogni toccata indica: nome nave, data e ora di arrivo, data e ora di partenza, banchina, tipo nave (con nomenclatura diversa dalla classificazione EMEP ma riconducibile ad essa), IMO, call sign, stazza netta e lorda, altezza, lunghezza, larghezza, portata, pescaggio massimo, linea (dove applicabile). Sulla base dei dati forniti è stato possibile definire il volume di traffico che, nell’anno 2021, ha interessato il porto di Civitavecchia, suddiviso per tipologia di nave (secondo le categorie EMEP).

Tabella 6.2. Volume di traffico per categoria di nave (2021).

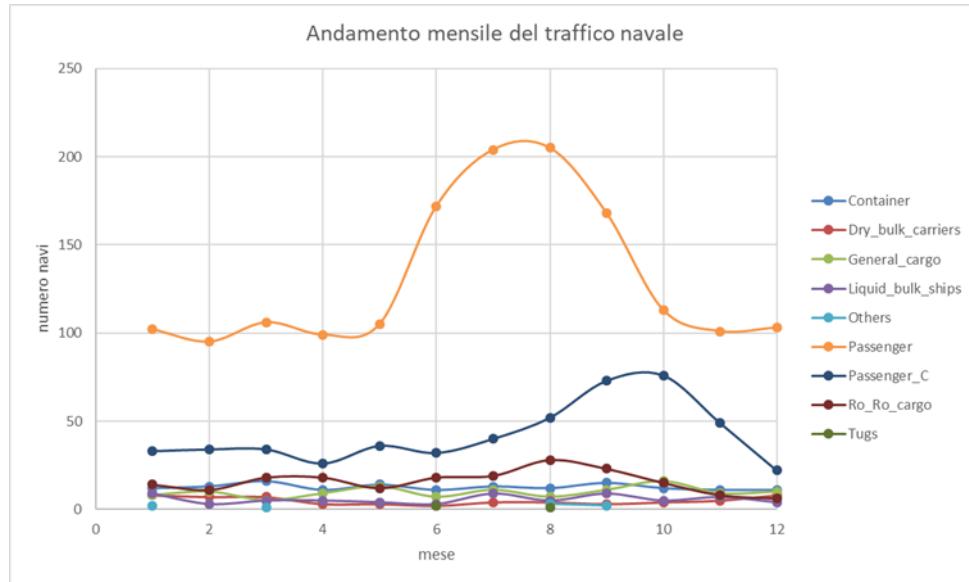
Categoria nave	N accosti
Container	151
Dry_bulk_carriers	58
General_cargo	116
Liquid_bulk_ships	68
Passenger	1573
Passenger_C	507
Ro_Ro_cargo	190
Tugs (non in servizio)	3
Others	8
TOTALE	2674

Figura 6.1. Ripartizione percentuale del traffico navale per categoria (2021)



Nella figura 6.2. è rappresentato il numero di navi suddiviso per categoria e mese.

Figura 6.2. Andamento mensile del traffico navale per categoria (2021)



L'anno 2021 è stato condizionato, nei suoi primi mesi, dal periodo di coda della pandemia da Covid19 e ciò è evidente nell'andamento dei volumi delle navi da crociera (PASSENGER_C) per le quali non è presente il tipico picco del mese di maggio ma solo quello di ottobre. Invece l'andamento dei traghetti (PASSENGER) è analogo a quello degli anni pre-pandemia con un volume che inizia ad aumentare nel mese di maggio, raggiungendo il suo massimo in agosto, per poi decrescere e ritrovare valori pressoché costanti in ottobre.

6.2 Quadro meteo-climatico

Il clima è tipicamente mediterraneo, mite per la maggior parte dell'anno. L'escursione termica giornaliera (mediata sul trentennio climatologico 1991-2020) si mantiene sostanzialmente costante per tutto l'anno, con valori attorno ai 6 gradi. La piovosità è moderata, con una media sul trentennio climatologico 1991-2020 di circa 600 mm di precipitazione cumulata annuale.

Tra gli eventi meteo-climatici rilevanti nel periodo recente si riportano i nubifragi di novembre 2014 e la mareggiata di gennaio 2023.

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 6.3.

Tabella 6.3. Civitavecchia, 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	18.1	601.2	66.2	1011.4	13.4	137.5
primavera	15.9	135.1	66.3	1010.5	13.6	148.9
estate	25.1	57.6	66.0	1010.6	11.7	219.2
autunno	19.4	236.8	66.8	1011.7	13.8	120.7
inverno	11.3	171.7	65.9	1012.9	14.8	76.6

La distribuzione della direzione di provenienza del vento è invece mostrata nelle figure sottostanti. I dati provengono dalla stazione meteo gestita dall'Autorità Portuale di Civitavecchia. La direzione è calcolata rispetto al Nord geografico, in senso orario. Le distribuzioni rappresentate sono pesate per l'intensità corrispondente. Viene mostrata anche la direzione media di propagazione.

Le distribuzioni stagionali mostrano una componente dominante verso Sud-Est, presente per tutto il corso dell'anno. Componenti prettamente stagionali sono invece quelle di Nord-Ovest in estate e Nord in inverno.

Figura 6.3. Civitavecchia, distribuzione della direzione di provenienza del vento



6.3 Emissioni legate alle attività portuali

6.3.1 Stima delle emissioni (fase di stazionamento e fase di navigazione)

Alla luce delle informazioni fornite dall'Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale è stato possibile ricavare quelle necessarie per costruire il file di input di BUH. Si precisa che si è effettuato il calcolo utilizzando la revisione 2 del software che contiene emission factor aggiornati, diversi rispetto a quelli utilizzati nella precedente versione.

Nella tabella 6.4. sono riportate le emissioni stimate con il suddetto programma di calcolo attribuibili alla fase di stazionamento e a quella di manovra, suddivise per categoria di nave secondo la classificazione EMEP. I totali tengono conto delle approssimazioni degli addendi.

Tabella 6.4. emissioni stimate con il programma di calcolo BUH attribuibili alla fase di stazionamento e a quella di manovra, suddivise per categoria di nave secondo la classificazione EMEP.

FASE DI STAZIONAMENTO			
Categoria nave	Emissioni NO _x (t)	Emissioni SO ₂ (t)	Emissioni PM (t)
Container	129	4	2
Dry_bulk_carriers	89	3	2
General_cargo	37	1	1
Liquid_bulk_ships	91	3	2
Others	4	0	0
Passenger	439	16	9
Passenger_C	2943	109	63
Ro_Ro_cargo	31	1	1
Tugs	0	0	0
Totale	3763	137	80

FASE DI MANOVRA			
Categoria nave	Emissioni NO _x (t)	Emissioni SO ₂ (t)	Emissioni PM (t)
Container	26	4	2
Dry_bulk_carriers	3	0	0
General_cargo	3	0	0
Liquid_bulk_ships	2	0	0
Others	0	0	0
Passenger	156	35	12
Passenger_C	120	21	10
Ro_Ro_cargo	13	3	1
Tugs	0	0	0
Totale	323	63	25

Fonte: elaborazioni ARPA Lazio su dati Autorità Portuale

Nella tabella 6.5 di sintesi si riportano i totali (stazionamento+manovra), comprensivi anche del dato dell'anidride carbonica stimata dal programma.

Tabella 6.5. Emissioni totali (in tonnellate/anno; migliaia di tonnellate/anno per la CO₂) comprensive di fase di stazionamento e manovra (2021).

NO _x (t)	SO ₂ (t)	PM (t)	CO ₂ (kt)
4086	200	105	239

6.3.2 Opere strategiche per il porto di Civitavecchia

Delle opere strategiche per il porto di Civitavecchia, che rappresentano l'attuazione delle linee programmatiche del Piano Regolatore Portuale e che sono state pianificate con lo scopo di favorire l'incremento dei traffici marittimi, attraverso l'aumento delle lunghezze di banchina disponibile e la specializzazione, sia degli accosti, sia delle aree a terra dedicate, sono state realizzate ad oggi le seguenti:

- Prolungamento antemurale Colombo: l'opera è consistita nel prolungamento della diga foranea di 413 m, in modo da proteggere le nuove banchine e ridurre il numero dei giorni non operativi.

-
- Darsena traghetti: l'opera è stata attuata attraverso il dragaggio di nuovi bacini e di un canale d'accesso (1.100.000 mc di materiale) e la costruzione di 2.200m di banchine con profondità tra 10 e 15m e di un piazzale di 150.000 mq per la realizzazione di cinque ormeggi per traghetti e due ormeggi polivalenti (sia crociere che traghetti).

- Darsena servizi: è stato realizzato un nuovo bacino per servizi portuali (pilotaggio, servizi di rimorchio, sicurezza, ecc.)

Restano ancora da attuare, con orizzonte temporale al 2026, le seguenti opere:

- Riassetto della viabilità portuale: l'intervento prevede la modifica della viabilità attuale con la creazione di una dorsale principale fissa e definitiva che si sviluppa dall'ingresso denominato «Varco Vespucci» all'attuale «Varco Nord».

- Potenziamento dei collegamenti ferroviari a servizio del Terminal Commerciale: l'intervento consiste nella riorganizzazione dell'intero sistema ferroviario sia in ambito demaniale che all'esterno e prevede la realizzazione di un nuovo fascio binari presa/consegna all'interno del Porto, un collegamento diretto con i terminal in banchina, un collegamento diretto con le aree retroportuali finalizzato alla realizzazione di un corridoio doganale ed allo sviluppo di una zona franca, la realizzazione di un nuovo fascio arrivi/partenze a Nord per snellire ed accelerare le manovre di ingresso ed uscita dal Porto.

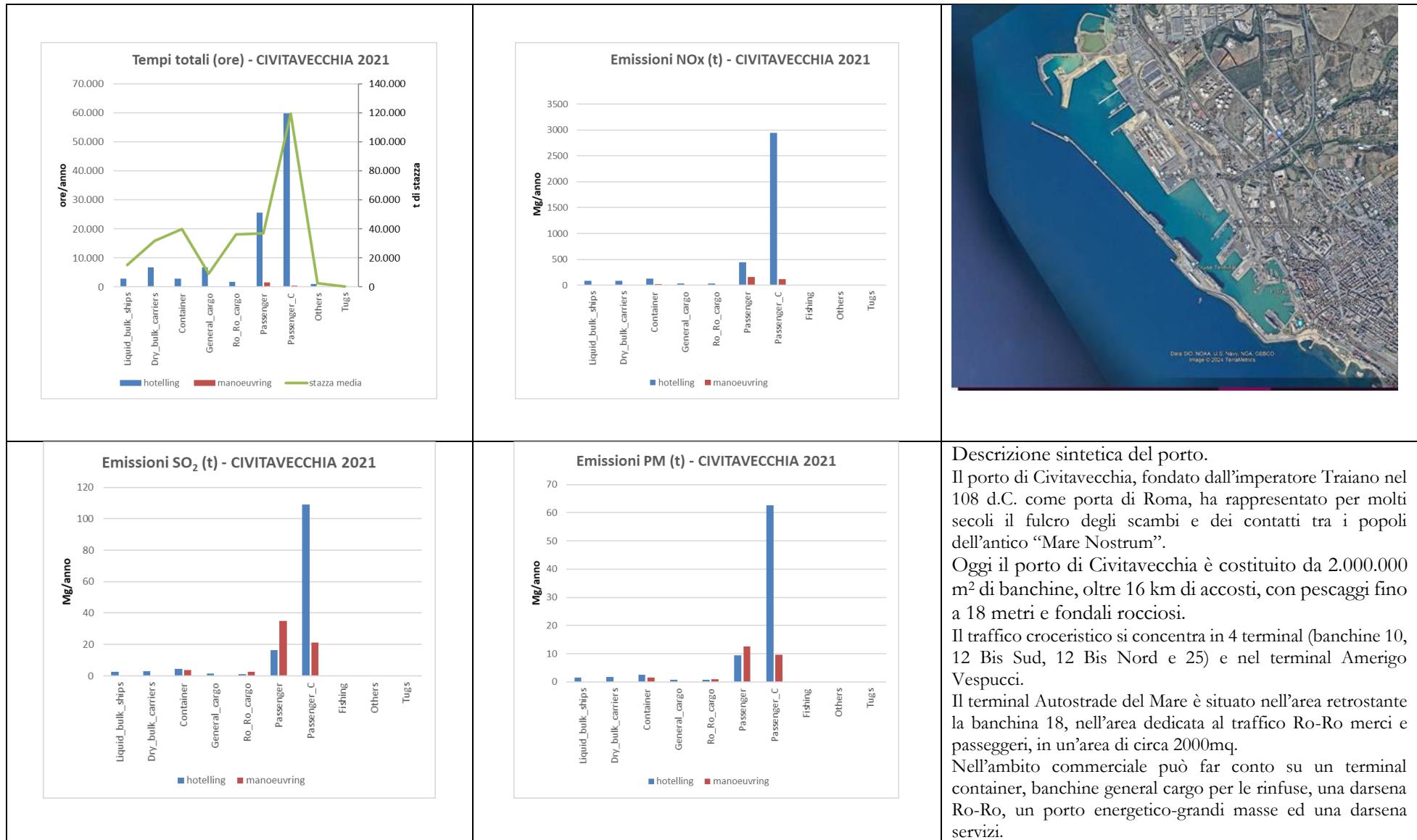
- Prolungamento dall'Antemurale: l'intervento prevede la realizzazione del tratto finale della diga foranea che viene prolungata di ulteriori 400 metri così da conseguire la conformazione finale prevista nel layout del vigente P.R.P. In tal modo si conseguirà un'adeguata protezione, funzionale a garantire un avamporto sufficientemente riparato, soprattutto per le manovre dei natanti di minori dimensioni, in ingresso alla Darsena Servizi, che risulta essere la più esposta per direzioni di provenienza del moto ondoso (mareggiate da Libeccio Ponente a Maestrale). Inoltre l'ulteriore allungamento della diga foranea permetterà di limitare il down time per gli ormeggi delle banchine più settentrionali ed in particolare per gli accosti 27-28, 30-31 (Pontili Darsena Traghetti) e 25-26 (Terminal Commerciale), favorendo così anche l'aumento selettivo della capacità portuale in tali settori.

- Apertura a Sud: tale intervento consentirà l'ingresso delle imbarcazioni dal lato sud del porto e prevede la costruzione di una nuova opera di difesa in prolungamento dell'antemurale esistente in direzione sud, la demolizione dell'antemurale per la creazione del nuovo accesso, la realizzazione delle nuove opere a parete verticale e a gettata per la delimitazione della nuova imboccatura portuale e la realizzazione di un terrapieno e della relativa opera di protezione.

- Collegamento Antemurale: l'intervento prevede la realizzazione di un collegamento viario tra il molo Vespucci e l'Antemurale Traiano, di lunghezza pari a 190 m circa, attraverso una vera e propria diga a gettata.

- Partecipazione al piano nazionale di Cold Ironing, che ha lo scopo di creare una rete destinata a fornire energia elettrica alle banchine nelle aree portuali, insieme all'infrastruttura necessaria per collegare questa rete al sistema nazionale di trasmissione dell'energia elettrica.

6.3.3 Emissioni Civitavecchia. Scheda riassuntiva



6.4 La valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comprensorio di Civitavecchia

La Valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Civitavecchia si basa sulla zonizzazione del territorio laziale, di seguito riassunta, ridefinita con la Deliberazione della Giunta Regionale n.305 del 28 maggio 2021 e, successivamente, perfezionata con D.G.R. n.119 del 15 marzo 2022.

Il comune di Civitavecchia appartiene alla c.d. ZONA LITORANEA (IT1218) costituita complessivamente da 69 comuni e avente area di 4957.9 km² e popolazione totale di 1.196.305.

6.4.1 Rete di monitoraggio della qualità dell'aria del comprensorio di Civitavecchia

Tabella 6.6. Rete di monitoraggio della qualità dell'aria del comprensorio di Civitavecchia

RETE REGIONALE ARPA LAZIO – COMPRENSORIO CIVITAVECCHIA					
COMUNE	STAZIONE	TIPOLOGIA#	LATITUDINE	LONGITUDINE	ALTITUDINE
ALLUMIERE	ALLUMIERE	RB	42,157856	11,908954	532 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	CIVITAVECCHIA	UB	42,091593	11,802485	26 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	VILLA ALBANI	UT	42,099296	11,798340	33 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	VIA ROMA	UT	42,094128	11,795408	20 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	VIA MORANDI	-	42,086777	11,806455	22 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	PORTO	-	42,096873	11,788283	9 m s.l.m.
RETE EX-ENEL – COMPRENSORIO CIVITAVECCHIA					
COMUNE	STAZIONE	TIPOLOGIA#	LATITUDINE	LONGITUDINE	ALTITUDINE
ALLUMIERE	ALLUMIERE ALDO MORO	-	42,160966	11,900004	465 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	AURELIA	-	42,137309	11,793172	90 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	CAMPO ORO	UB	42,081792	11,809369	19 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	FARO	UB	42,098837	11,817652	124 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	FIUMARETTA	UT	42,102156	11,784396	3 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	S.AGOSTINO	RB	42,159983	11,742706	11 m s.l.m.
CIVITAVECCHIA	S.GORDIANO	-	42,073612	11,815903	30 m s.l.m.
MONTE ROMANO	MONTE ROMANO	SB	42,268585	11,894315	231 m s.l.m.
SANTA MARINELLA	SANTA MARINELLA	-	42,042434	11,833492	15 m s.l.m.
TARQUINIA *	TARQUINIA	RB	-	-	-
TOLFA BRACCIANESE	TOLFA BRACCIANESE	-	42,152861	11,923499	520 m s.l.m.

* stazione non attiva

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

Fonte: ARPA LAZIO

6.4.2 Biossido di azoto – stato della qualità dell'aria

Nella tabella 6.7. sono riportate le statistiche descrittive relativa al 2022 per i livelli di biossido di azoto determinati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 6.7. Biossido di azoto. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media annuale	Giorni superamento soglia 50 µg/m ³	Ore superamento soglia 200 µg/m ³
IT2248A	Aurelia	RURALE	FONDO	8	0	0
IT2249A	S. Agostino	RURALE	FONDO	3	0	0
IT0885A	Civitavecchia	URBANA	FONDO	14	0	0
IT2251A	Faro	URBANA	FONDO	8	2	0
IT2252A	Campo dell'Oro	URBANA	FONDO	11	0	0
IT2253A	S. Gordiano	URBANA	FONDO	13	0	2
IT2264A	Civitavecchia Porto	URBANA	INDUSTRIALE	19	1	0
IT2171A	Civitavecchia- via Roma	URBANA	TRAFFICO	24	9	0
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	URBANA	TRAFFICO	21	1	0
IT2250A	Fiumaretta	URBANA	TRAFFICO	13	0	0
IT2265A	Civitavecchia via Morandi	URBANA	TRAFFICO	15	0	0

Media annuale: valore limite di legge (40 µg/m³)

Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (20 µg/m³)

Media oraria: valore limite di legge (200 µg/m³) 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 µg/m³ da non superare più di 18 volte in un anno.

Media annuale, valore guida oms (2021): 10 µg/m³

Media giornaliera, valore guida oms (2021): 50 µg/m³ massimo 3-4 superamenti

La media annuale del biossido di azoto è inferiore al valore limite di legge (40 µg/m³).

Nelle sole stazioni di Civitavecchia Via Roma e Villa Albani si registra una media annuale superiore a 20 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).

Solo nelle stazioni di fondo rurale (Aurelia e S. Agostino) e in una stazione urbana di fondo (Faro) il valore medio annuale è inferiore al valore guida dell'OMS (10 µg/m³).

In nessun caso è stato superato il valore limite orario di legge (200 µg/m³ da non superare più di 18 volte in un anno).

In nessuna stazione si sono registrati più di 18 giorni di superamento della soglia di 50 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 50 µg/m³ sono in generale compatibili con il valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno), con l'eccezione della stazione di via Roma, dove sono stati registrati 9 superamenti.

6.4.3 Biossido di azoto – trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 6.8 e 6.9 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.

In entrambi i casi si osserva un trend decrescente statisticamente significativo in 5 stazioni su 11.

Le rimanenti stazioni mostrano una pendenza negativa (andamento tendenzialmente decrescente sebbene non statisticamente significativo), con la sola eccezione della stazione Aurelia (rurale di fondo) e Campo dell'oro (fondo urbano). I risultati ottenuti con i due diversi metodi portano a risultati confrontabili (ovvero trend coerente per segno e significatività statistica) con alcune eccezioni.

Infatti, il trend per la stazione Civitavecchia Albani risulta statisticamente significativo solo nel caso delle serie aggiustate per la meteorologia, mentre nel caso della stazione Faro avviene il contrario.

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 6.4 e 6.5 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "Civitavecchia" (IT0855A) stazione "storica" della città.

Tabella 6.8. 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
IT0885A	CIVITAVECCHIA	UF	2003	DECRESCENTE	-1.7 ÷ [-2.1 ÷ -1.1]
IT2171A	Civitavecchia- via Roma	UT	2013	DECRESCENTE	-2.6 ÷ [-4 ÷ -0.5]
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	UT	2013	STAZIONARIO	-1 ÷ [-2.8 ÷ 0.7]
IT2248A	Aurelia	RF	2016	STAZIONARIO	1.9 ÷ [-2.1 ÷ 8.7]
IT2249A	S. Agostino	RF	2016	STAZIONARIO	-5.8 ÷ [-14 ÷ 8]
IT2250A	Fiumaretta	UT	2016	STAZIONARIO	-2.2 ÷ [-3.5 ÷ 0.4]
IT2251A	Faro	UF	2016	DECRESCENTE	-3.2 ÷ [-5.7 ÷ 0]
IT2252A	Campo dell'Oro	UF	2016	STAZIONARIO	0.2 ÷ [-1.4 ÷ 2.5]
IT2253A	S. Gordiano	UF	2016	STAZIONARIO	-1.6 ÷ [-5.4 ÷ 3.2]
IT2264A	Civitavecchia Porto	UI	2016	DECRESCENTE	-2.7 ÷ [-4 ÷ -1.2]
IT2265A	Civitavecchia via Morandi	UT	2016	DECRESCENTE	-4.5 ÷ [-6.4 ÷ -3]

Tabella 6.9. 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
IT0885A	CIVITAVECCHIA	UF	2003	DECRESCENTE	-2.2 ÷ [-2.6 ÷ -1.4]
IT2171A	Civitavecchia- via Roma	UT	2013	DECRESCENTE	-3.2 ÷ [-4.4 ÷ -1.1]
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	UT	2013	DECRESCENTE	-3.6 ÷ [-4.1 ÷ -2.6]
IT2248A	Aurelia	RF	2016	STAZIONARIO	1.7 ÷ [-2.3 ÷ 8.6]
IT2249A	S. Agostino	RF	2016	STAZIONARIO	-7.3 ÷ [-12.3 ÷ 4.3]
IT2250A	Fiumaretta	UT	2016	STAZIONARIO	-1.2 ÷ [-2.8 ÷ 0.5]
IT2251A	Faro	UF	2016	STAZIONARIO	-3.1 ÷ [-6.1 ÷ 0.7]
IT2252A	Campo dell'Oro	UF	2016	STAZIONARIO	0.3 ÷ [-2 ÷ 2.2]
IT2253A	S. Gordiano	UF	2016	STAZIONARIO	-1.2 ÷ [-3.4 ÷ 2.5]
IT2264A	Civitavecchia Porto	UI	2016	DECRESCENTE	-2.9 ÷ [-3.5 ÷ -2.4]
IT2265A	Civitavecchia via Morandi	UT	2016	DECRESCENTE	-4.9 ÷ [-6.6 ÷ -3.6]

Figura 6.4. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

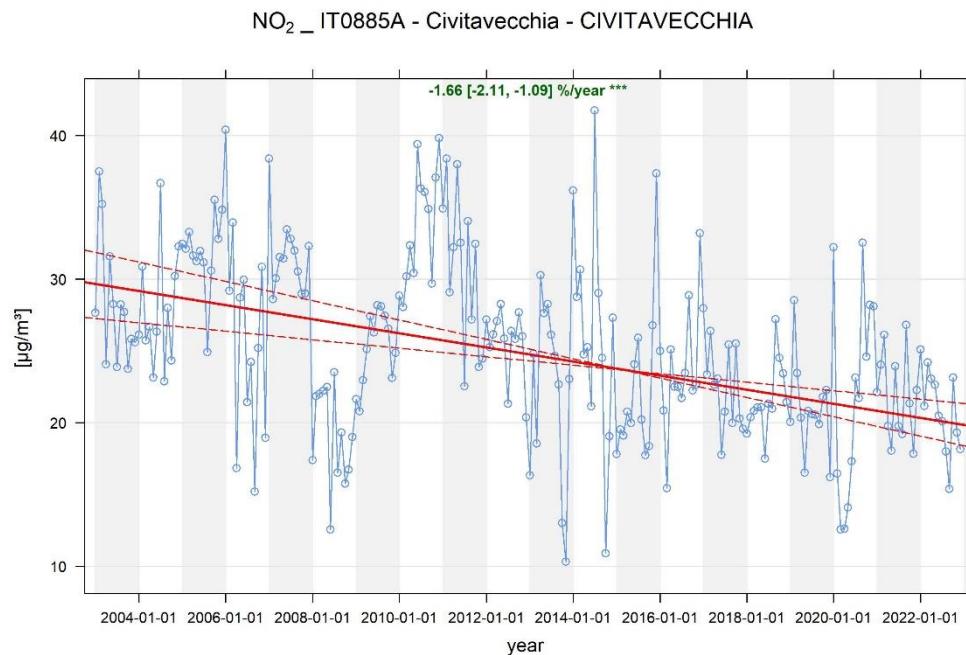
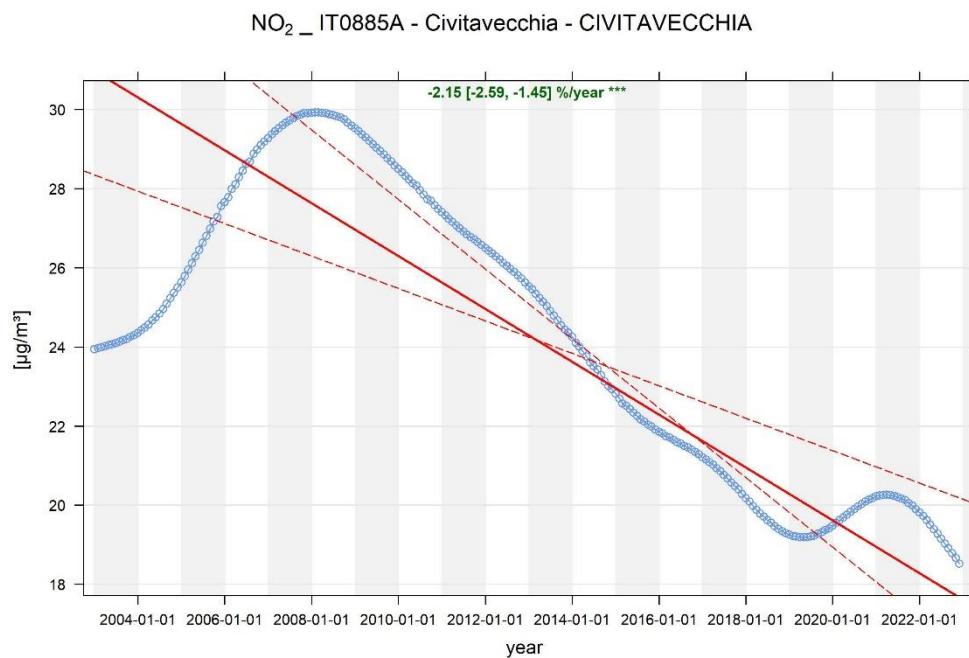


Figura 6.5. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



6.4.4 PM₁₀ stato della qualità dell'aria

Nella tabella 6.10 sono riportate le statistiche descrittive relativa al 2022 per i livelli di materiale particolato PM₁₀ determinati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 6.10. PM₁₀. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media annuale	Giorni superamento soglia 50 µg/m ³	Giorni superamento soglia 45 µg/m ³
IT0885A	CIVITAVECCHIA	URBANA	FONDO	22	4	8
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	URBANA	TRAFFICO	24	10	12
IT2248A	Aurelia	RURALE	FONDO	14	4	4
IT2249A	S. Agostino	RURALE	FONDO	16	3	5
IT2250A	Fiumarella	URBANA	TRAFFICO	19	4	5
IT2251A	Faro	URBANA	FONDO	18	4	6
IT2252A	Campo dell'Oro	URBANA	FONDO	19	6	7
IT2253A	S. Gordiano	URBANA	FONDO	21	7	10
IT2264A	Civitavecchia Porto	URBANA	INDUSTRIALE	18	5	6

Media annuale: valore limite di legge (40 µg/m³)

Futuro valore limite annuale per la protezione della salute umana da raggiungere entro il 1° gennaio 2030 (20 µg/m³)

Media giornaliera: valore limite per la protezione della salute umana: 50 µg/m³ 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 µg/m³ da non superare più di 18 volte in un anno.

Media annuale, valore guida oms (2021): 15 µg/m³

Media giornaliera, valore guida oms (2021): 45 µg/m³ massimo 3-4 superamenti

La media annuale del PM₁₀ è inferiore al valore limite di legge (40 µg/m³).

Nelle stazioni di Civitavecchia, Villa Albani e San Gordiano si registra una media annuale superiore a 20 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 (15 µg/m³) con l'eccezione della stazione Aurelia.

In nessun caso è stato superato il valore limite giornaliero di legge (50 µg/m³ 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 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 45 µg/m³ sono leggermente superiori al valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno). Nel caso peggiore sono stati registrati 12 superamenti della soglia di 50 µg/m³ (Civitavecchia Villa Albani).

6.4.5 PM₁₀ trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 6.11 e 6.12 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.

Si osserva un trend decrescente statisticamente significativo in 2 stazioni su 8.

Delle rimanenti stazioni 2 mostrano una pendenza negativa (andamento tendenzialmente decrescente sebbene non statisticamente significativo), mentre 4 mostrano una pendenza positiva (andamento tendenzialmente crescente sebbene non statisticamente significativo). I risultati ottenuti con i due diversi metodi portano a risultati confrontabili (ovvero trend coerente per segno e significatività statistica) con alcune eccezioni.

Infatti, il trend per le stazioni "Sant'Agostino" e "San Gordiano" risulta statisticamente significativo (rispettivamente decrescente e crescente) solo nel caso delle serie aggiustate per la meteorologia.

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 6.6 e 6.7 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "Civitavecchia" (IT0855A) stazione "storica" della città.

Tabella 6.11. 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
IT0885A	CIVITAVECCHIA	UF	2008	DECRESCENTE	-1.2 ÷ [-2 ÷ -0.7]
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	UT	2013	STAZIONARIO	-0.6 ÷ [-1.6 ÷ 0.7]
IT2248A	Aurelia	RF	2016	STAZIONARIO	0.8 ÷ [-0.7 ÷ 3.3]
IT2249A	S. Agostino	RF	2016	STAZIONARIO	0.1 ÷ [-1.9 ÷ 1.9]
IT2250A	Fiumarella	UT	2016	STAZIONARIO	0.8 ÷ [-0.5 ÷ 2.5]
IT2251A	Faro	UF	2016	STAZIONARIO	-0.8 ÷ [-1.8 ÷ 1.4]
IT2253A	S. Gordiano	UF	2016	STAZIONARIO	2 ÷ [-0.5 ÷ 5.3]
IT2264A	Civitavecchia Porto	UI	2016	DECRESCENTE	-4.4 ÷ [-5.6 ÷ -2.8]

Tabella 6.12. 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
IT0885A	CIVITAVECCHIA	UF	2008	DECRESCENTE	-1.2 ÷ [-1.8 ÷ -0.7]
IT2172A	Civitavecchia- Villa Albani	UT	2013	STAZIONARIO	-0.6 ÷ [-1.3 ÷ 0.7]
IT2248A	Aurelia	RF	2016	STAZIONARIO	0.8 ÷ [-0.2 ÷ 2.9]
IT2249A	S. Agostino	RF	2016	DECRESCENTE	-0.1 ÷ [-0.1 ÷ -0.1]
IT2250A	Fiumarella	UT	2016	STAZIONARIO	0 ÷ [-0.9 ÷ 1.7]
IT2251A	Faro	UF	2016	STAZIONARIO	-0.5 ÷ [-1.4 ÷ 1.1]
IT2253A	S. Gordiano	UF	2016	CRESCENTE	1.8 ÷ [0.8 ÷ 5.4]
IT2264A	Civitavecchia Porto	UI	2016	DECRESCENTE	-4.7 ÷ [-5.9 ÷ -3.4]

Figura 6.6. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

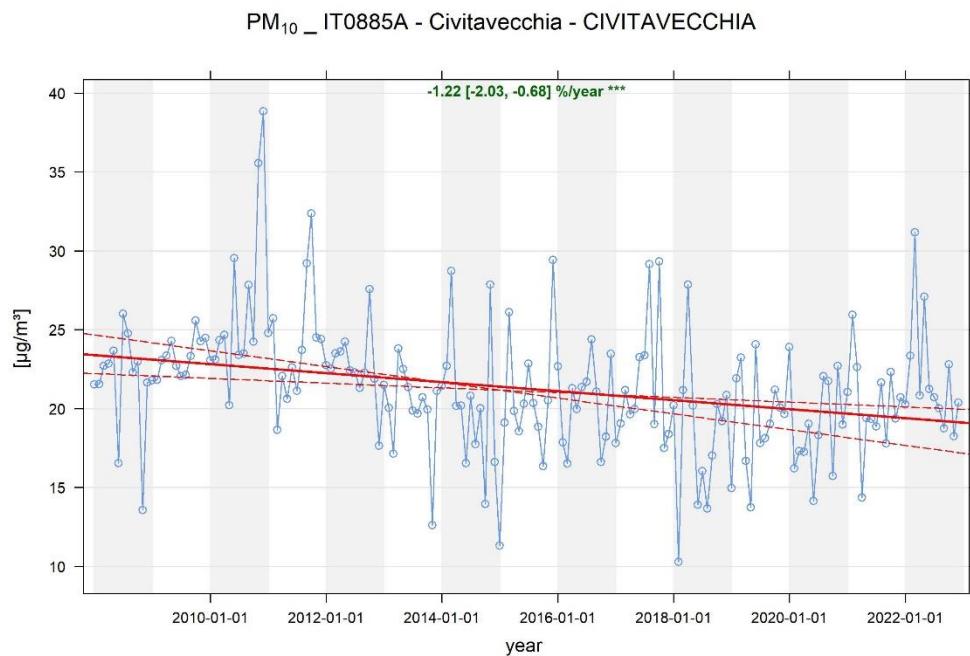
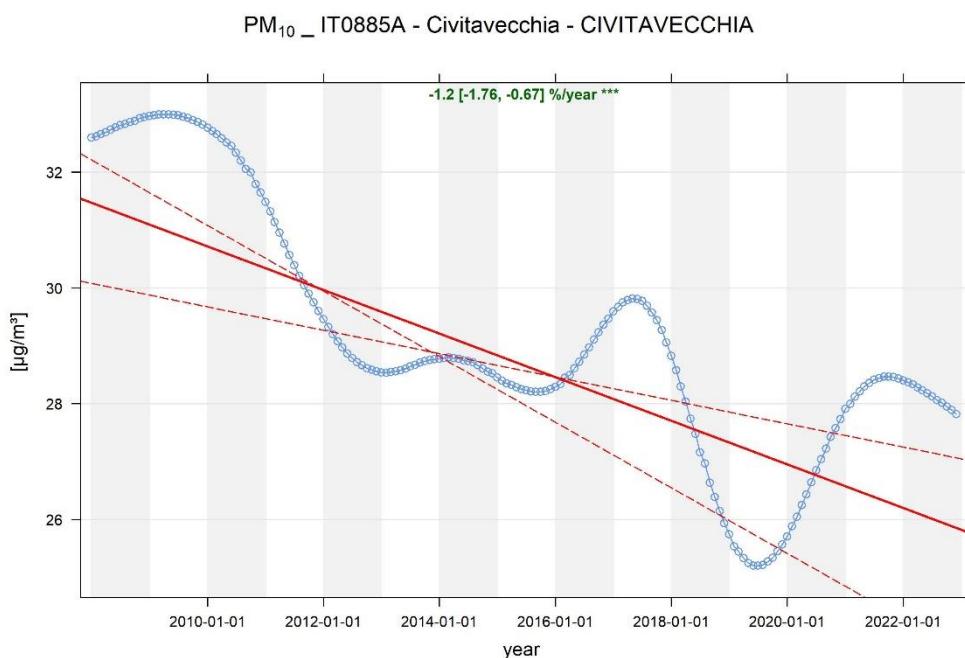


Figura 6.7. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



6.4.6 PM_{2.5} stato della qualità dell'aria

Nella tabella 6.13 sono riportate le statistiche descrittive relativa al 2022 per i livelli di materiale particolato PM_{2.5} determinati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 6.13. PM_{2.5}. Statistiche descrittive 2022.

Codice stazione	nome_stazione	Tipo zona	Tipo stazione	Media annuale	Giorni superamento soglia 25 µg/m ³	Giorni superamento soglia 15 µg/m ³
IT2249A	S. Agostino	RURALE	FONDO	8	0	11
IT2250A	Fiumaretta	URBANA	TRAFFICO	9	0	16
IT2251A	Faro	URBANA	FONDO	9	0	28
IT2252A	Campo dell'Oro	URBANA	FONDO	9	0	16

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

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

In nessuna stazione 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 28 superamenti (Faro).

6.4.7 PM_{2.5} trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 6.14 e 6.15 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.

Si osserva un trend decrescente statisticamente significativo nella stazione "Fiumaretta". La stazione "Faro" mostra una pendenza negativa (andamento tendenzialmente decrescente sebbene non statisticamente significativo).

Il trend risulta statisticamente significativo (decrescente) per entrambe le stazioni nel caso delle serie aggiustate per la meteorologia.

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 6.8 e 6.9 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "Fiumaretta" (IT2250A).

Tabella 6.14. 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
IT2250A	Fiumaretta	UT	2016	DECRESCENTE	-1.6 ÷ [-3.3 ÷ -0.1]
IT2251A	Faro	UF	2016	STAZIONARIO	-0.9 ÷ [-2.8 ÷ 1.8]

Tabella 6.15. 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
IT2250A	Fiumaretta	UT	2016	DECRESCENTE	-2.3 ÷ [-2.4 ÷ -2.2]
IT2251A	Faro	UF	2016	DECRESCENTE	-1.4 ÷ [-1.7 ÷ -1]

Figura 6.8. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

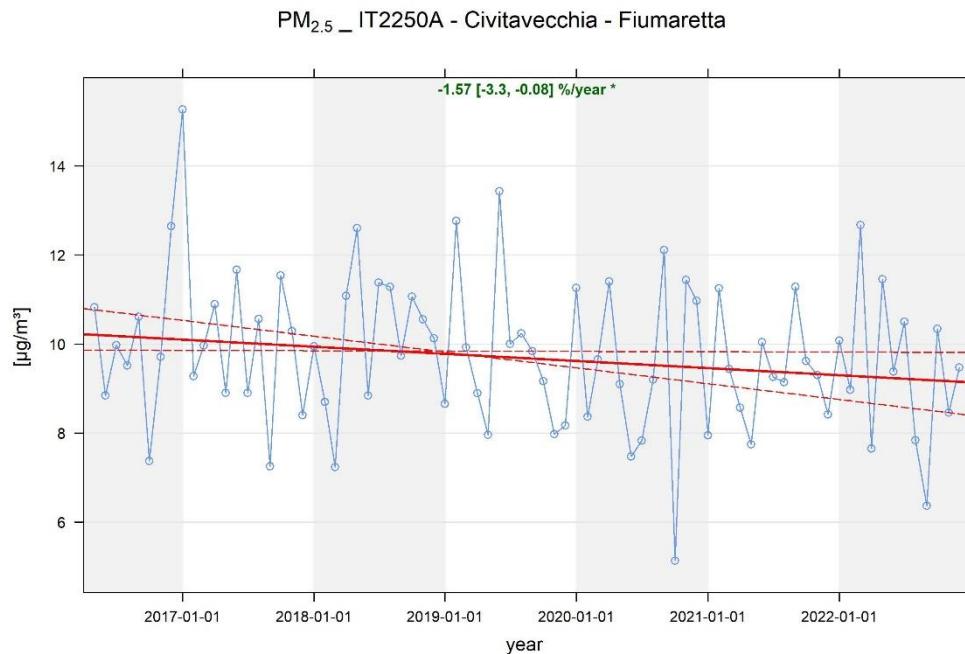


Figura 6.9. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.

