

**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 | <p>Deliverable attività 2.1.1.</p> <p>Analisi statistica per la stima dei trend degli inquinanti atmosferici (stazioni ubicate nelle città portuali oggetto dello studio).</p> | 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 PM₁₀ e di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il 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 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: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂.

I dati di base sono medie orarie per NO₂.

Per PM₁₀ 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>

5 Brindisi

5.1 Inquadramento territoriale e socioeconomico

Il porto di Brindisi è un porto di origine naturale suddiviso in tre bacini principali: i) il porto esterno, della superficie di 3.000.000 mq, limitato a Sud dalla terraferma, a est dalle isole Pedagne, a ovest dall'isola Sant'Andrea, dalla parte esterna del molo di Costa Morena e a nord dalla diga di Punta Riso; ii) il porto medio, della superficie di 1.200.000 mq, si sviluppa nello specchio d'acqua racchiuso a nord dalla diga di Bocche di Puglia, che ne forma il relativo bacino, a ponente dal canale d'accesso al porto interno, detto Canale Pigonati, a sud dalla parte meridionale del Molo di Costa Morena; iii) il porto interno, della superficie di 727.000 mq, a sua volta formato da due diramazioni ("Seno di Ponente", adibito, ancora in parte a porto militare, lungo circa 1,5 km; e il "Seno di Levante", con funzioni di porto commerciale, lungo circa 1 km).

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

Il porto di Brindisi è un porto di origine naturale. L'esclusiva e ramificata morfologia del porto naturale di Brindisi (a forma di testa di cervo) è il risultato dell'erosione operata dalla foce dei corsi d'acqua (canali Cillarese e Palmarini-Patri) che hanno formato una valle fluviale in cui si è insinuato il mare.

Sorge in una vasta insenatura a forma d'imbuto che si incunea nella costa. Il porto è suddiviso in tre bacini:

1. Il porto esterno, della superficie di 3.000.000 mq, limitato a Sud dalla terraferma, a est dalle isole Pedagne, a ovest dall'isola Sant'Andrea, dalla parte esterna del molo di Costa Morena e a nord dalla diga di Punta Riso;
2. Il porto medio, della superficie di 1.200.000 mq, si sviluppa nello specchio d'acqua racchiuso a nord dalla diga di Bocche di Puglia, che ne forma il relativo bacino, a ponente dal canale d'accesso al porto interno, detto Canale Pigonati, a sud dalla parte meridionale del Molo di Costa Morena;
3. Il porto interno, della superficie di 727.000 mq, è formato da due diramazioni:
 - "Seno di Ponente", adibito, ancora in parte a porto militare, lungo circa 1,5 km;
 - "Seno di Levante", con funzioni di porto commerciale, lungo circa 1 km.

Figura 5.1 – Porto di Brindisi con indicazione delle infrastrutture principali (moli e banchine)



Tabella 5.1 – Banchine del porto di Brindisi e loro principale utilizzo

| QUAY FACTS | | | | | | |
|------------|---|------------------------------------|--------------------|---------------|-----------|---|
| POINT | NAME | SUB-NAME | LENGTH | DRAUGHT | AIR-DRAFT | USE |
| 04 | BANCHINA CENTRALE | Lato Ponente banchina Dogana | 170 m | 7 m | 45 m (*) | Public use with a preferential berth for Cruise ships |
| 05 | BANCHINA STAZIONE MARITTIMA - DOGANA | Lato Tunnel - Capitaneria di Porto | 300 m | 7 m | 45 m (*) | Public use for fast units and preferential berth for Cruise ships |
| 06 | BANCHINA CARBONIFERA | Nord | 140 m | 8 m | 45 m (*) | Public use for Ro-Ro ferries |
| 07 | BANCHINA CARBONIFERA | Sud | 126 m | 8.5 m | 45 m (*) | Public use for ferries, Ro-Ro and fast Pax units |
| 08 | BANCHINA TRAGHETTO | Vecchia Rampa | 140 m | 5.2 m | 45 m (*) | Public use for Ro-Ro ferries |
| 09 | | | | | | |
| 10 | BANCHINA DI LEVANTE | Nuova Rampa | 150 m | 6.5 m | 45 m (*) | Public use for Ro-Ro ferries |
| 11 | BANCHINA FELTRINELLI | Lato Levante | 160 m | da 5 a 7 m | 45 m (*) | Public use for ships with miscellaneous goods |
| 12 | BANCHINA FELTRINELLI | Lato Punto Franco Sud | 150 m | 7 m | 45 m (*) | Public use for ships with miscellaneous goods |
| 13 | BANCHINA PUNTO FRANCO | Lato Nord | 270 m | 8 m | 45 m (*) | Public use for ships with miscellaneous goods, Ro-Ro ferries with side hatch and bulk carriers |
| 14 | BANCHINA MONTECATINI | Rampa Sant'Apollinare | 140 / 90 (rampa) m | 7 m | 45 m (*) | Public use primarily for Ro-Ro ferries |
| 15 | COSTA MORENA | Terrare Punta | 60 (rampa) m | 9 m | 36 m | Public use for Ro-Ro ferries |
| 16 | | | | | | |
| 17 | COSTA MORENA | Terrare | 150 / 80 (rampa) m | 9 m | 36 m | Public use for Ro-Ro ferries |
| 18 | | | | | | |
| 19a | | | | | | |
| 19b | PROLUNGAMENTO NUOVO SPORGENTE DI COSTA MORENA | Lato Terrare | 180 m | 12,5 m | 36 m | Public use |
| 19c | | | | | | |
| 20 | PROLUNGAMENTO NUOVO SPORGENTE DI COSTA MORENA | Sezione Centrale | 170 m | 12 m | 36 m | Public use as the clauses of the substitute act stipulated between the terminalist and the Port Authority of Brindisi |
| 21 | PROLUNGAMENTO NUOVO SPORGENTE DI COSTA MORENA | Lato Ipem | 150 m | 12 m | 36 m | Public use |
| 22 | NUOVO SPORGENTE DI COSTA MORENA | Lato Ipem | 200 m | 12 m | 36 m | Exclusive berth for Gassiere ships |
| 23 | NUOVO SPORGENTE DI COSTA MORENA | Lato Riva | 150 m | da 9 a 12 m | 36 m | Public use |
| 24 | COSTA MORENA | Riva | 300 m | da 8,5 a 12 m | 40 m | Exclusive use for Container ships |
| 25 | COSTA MORENA DIGA | Radice | 500 m | 12 m | 53 m | Exclusive use for coal and clemensite landfills |
| 26 | COSTA MORENA DIGA | Testata | m | 12 m | 53 m | Exclusive use for coal and clemensite landfills |
| 27 | MOLO MONTECATINI | Punto 5 | 104 m | 5,2 m | 45 m (*) | Exclusive use for dangerous goods |
| 28 | MOLO MONTECATINI | Punto 7 | 181 m | 7 m | 45 m (*) | Exclusive use for dangerous goods |
| 29 | MOLO MONTECATINI | Punto 12 | 210 m | 9,15 m | 45 m (*) | Exclusive use for dangerous goods |
| 30 | DIGA DI PUNTA RISO | Centrale - Alto fondale | 800 m | da 18 a 20 m | 45 m (*) | Public use-area for storing non-hazardous and/or polluting goods and technical stops |
| CMNORD | COSTA MORENA NORD | ----- | 400 m | 10 m | 45 m (*) | Not specified |
| CMEST | COSTA MORENA EST | ----- | 500 m | 12 m | 45 m (*) | Not specified |

5.1.2 Tempi di stazionamento e manovra

Si presenta nel seguito una tabella di sintesi con i tempi totali di stazionamento e manovra, ripartiti per tipologia di nave, elaborati a partire dalle informazioni fornite dall'Autorità Portuale.

Tabella 5.2 - Tempi medi di stazionamento e manovra, ripartiti per tipologia di nave, per il porto di Brindisi - 2021

| Tipologia di nave | Stazionamento (ore) | Manovra (ore) |
|-------------------|---------------------|---------------|
| Dry_bulk_carriers | 120.01 | 0.75 |
| Container | 19.10 | 0.83 |
| Liquid_bulk_ships | 41.47 | 1 |
| Others | 34.66 | 0.21 |
| General_cargo | 44.26 | 1.2 |
| Ro_Ro_cargo | 5.01 | 0.75 |
| Passenger | 10.14 | 0.80 |
| Cruise | 13.50 | 0.71 |
| Others | 34.66 | 0.21 |
| Tugs | - | 0.82 |

Dalle informazioni ricevute, in termini di tempo totale trascorso dalle navi (tutte le tipologie), nelle fasi stazionamento e manovra nel 2021, si può rilevare come circa il 95% del tempo è attribuibile alla fase di stazionamento e il restante 5% alle fasi di manovra delle navi.

Scendendo nel dettaglio delle singole categorie di navi, si riportano le quote relative di tempo (sul totale) impiegato nelle fasi di stazionamento (figura 5.2) e manovra (figura 5.3).

Figura 5.2. - BR – Brindisi – Ripartizione dei tempi totali spesi in stazionamento per tipologia di nave (2021)

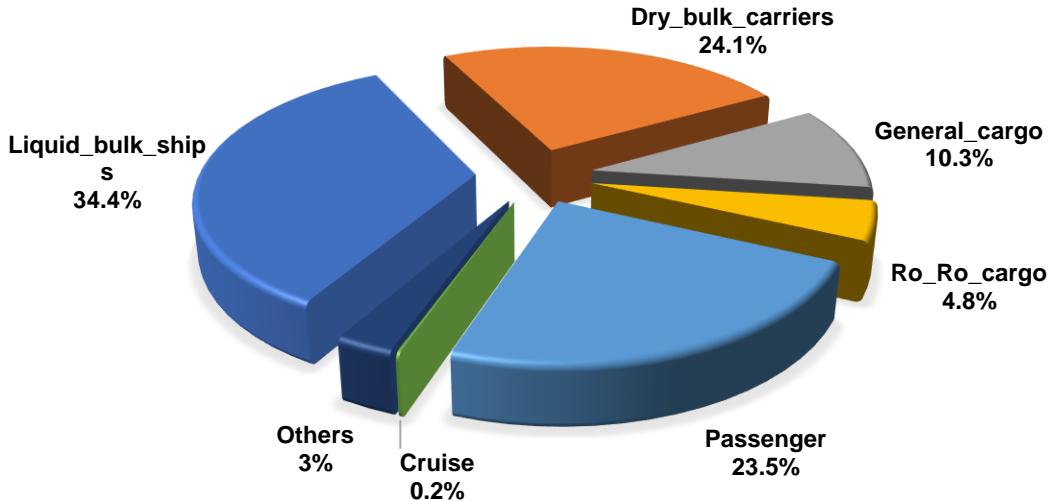
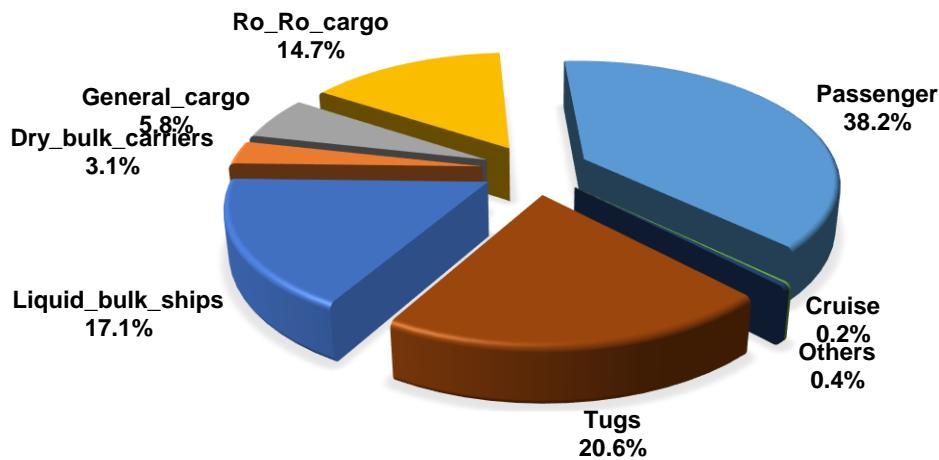


Figura 5.3. -BR – Brindisi - Ripartizione tempi totali spesi in manovra per tipologia di nave (2021)

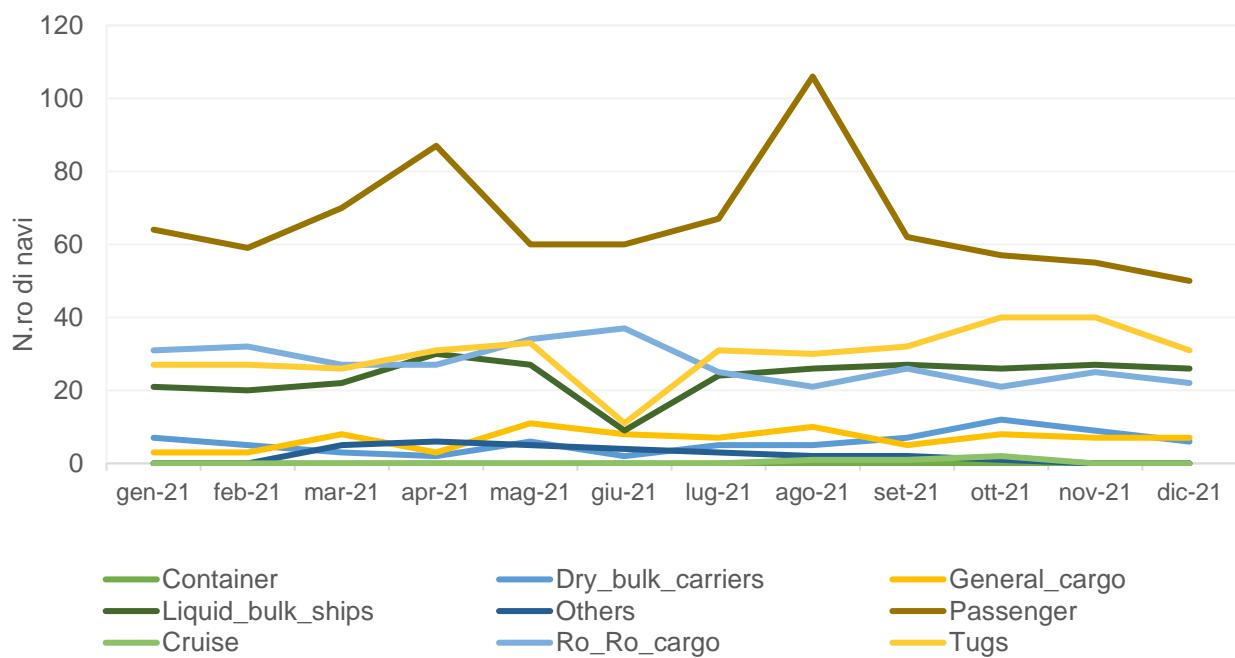


5.1.3 analisi del traffico marittimo mensile per tipologia di nave

Nel seguito si analizza l'andamento mensile delle movimentazioni di navi nel porto di Brindisi, registrate e fornite dall'Autorità Portuale per l'anno 2021. Dalla figura in basso si nota come il traffico sia caratterizzato dai movimenti delle imbarcazioni appartenenti alla categoria 'Passenger', con picchi relativi nei mesi di aprile e di agosto; a seguire -in ordine di numerosità- vi sono le categorie Ro-Ro_cargo (trasporto misto passeggeri-merci) e liquid bulk (trasporti liquidi alla rinfusa), che in generale non mostrano stagionalità (a parte un evidente un picco negativo relativo nel mese di giugno per la categoria di navi 'liquid bulk'). Per tutte le altre tipologie di

navi, l'andamento mensile è pressoché costante. Anche l'andamento dei 'Tugs' (rimorchiatori) è chiaramente legato all'andamento delle categorie prevalenti di navi che movimentano nel porto.

Figura 5.4 – Andamento mensile della movimentazione di navi (per tipologia) nel porto di Brindisi – Anno 2021



5.2 Quadro meteoclimatico

Come il suo capoluogo di regione, anche Brindisi gode del clima temperato tipico dell'area mediterranea. L'escursione termica giornaliera, mediata sul trentennio climatologico 1991-2020, va dai circa 6-7 gradi delle stagioni più fredde ai 7-8 gradi delle stagioni calde. La piovosità risulta moderata e concentrata perlopiù tra autunno e inverno, con un valore cumulato medio annuale di circa 630 mm, calcolato sul trentennio climatologico 1991-2020. Tra gli eventi meteo-climatici rilevanti nel periodo recente si riportano i nubifragi di giugno e ottobre 2023, oltre all'intensa anomalia termica di settembre 2013.

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 5.3.

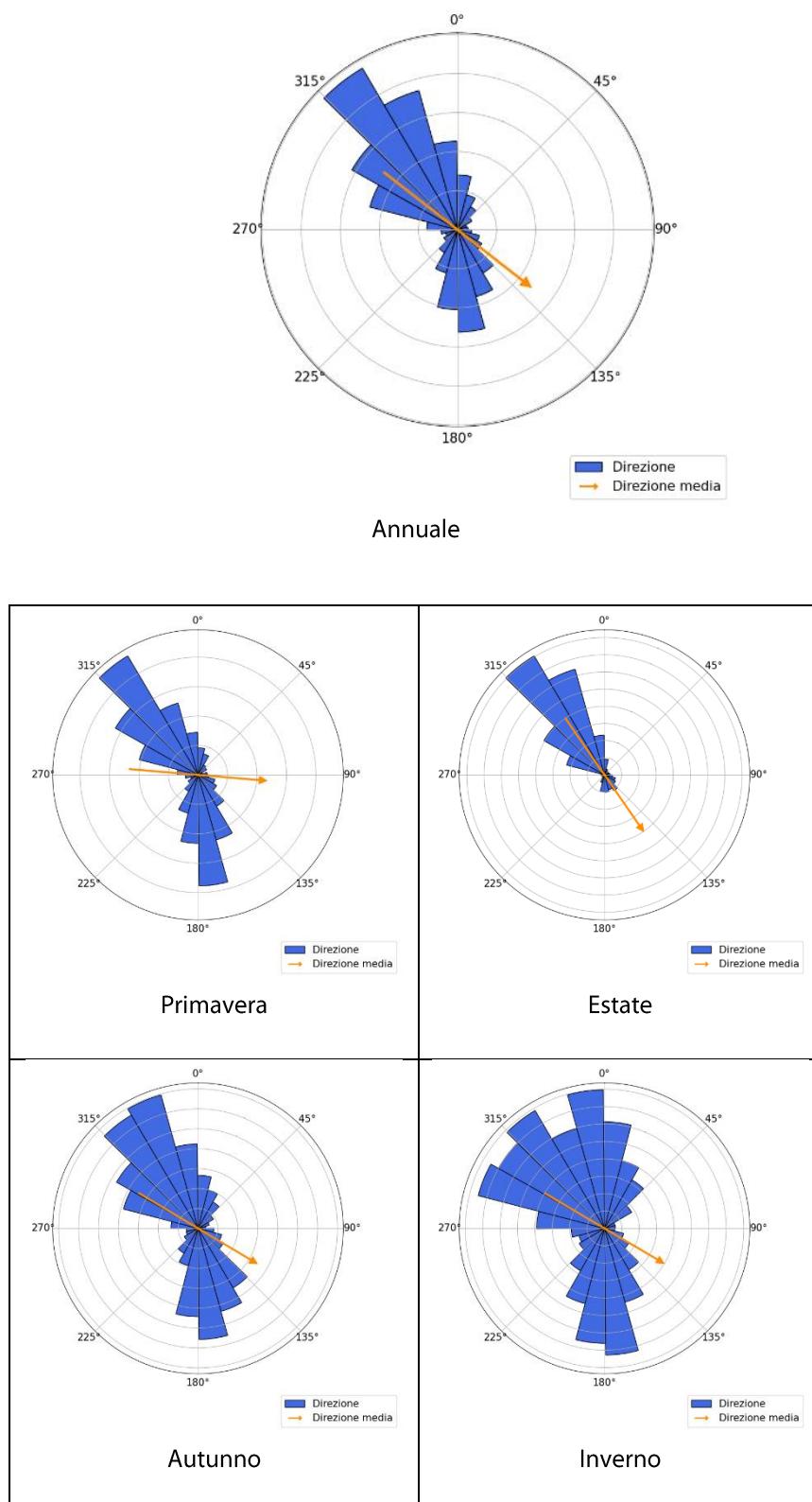
Tabella 5.3. Brindisi, statistiche annuali e stagionali delle variabili climatiche

| Stagione | Temperatura [°C] | Precipitazione [mm/anno] | Umidità [%] | Pressione [mbar] | Intensità vento [m/s] | Direzione Vento [gradi N] |
|------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| annuale | 17.6 | 628.2 | 75.5 | 1014.9 | 8.3 | 308.0 |
| primavera | 15.3 | 133.3 | 76.3 | 1014 | 8.3 | 274.9 |
| estate | 25.3 | 62.6 | 71.6 | 1013.1 | 8.0 | 325.4 |
| autunno | 18.8 | 233.5 | 76.5 | 1015.9 | 7.8 | 300.8 |
| inverno | 10.5 | 198.8 | 77.6 | 1016.8 | 9.2 | 300.4 |

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 Brindisi-Casale. 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 tendono a diversificarsi. Primavera ed autunno mostrano una chiara distribuzione bimodale nelle direzioni Nord-Ovest e Sud-Sud-Est. Questa caratteristica è prevalente anche in inverno, ma le componenti risultano meno chiaramente definite. L'estate presenta invece un'unica direzione prevalente da Nord-Ovest.

Figura 5.5. Brindisi, distribuzione della direzione di provenienza del vento



5.3 Emissioni legate alle attività portuali

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

Nel seguito si presentano le elaborazioni ottenute utilizzando il software di stima delle emissioni navali 'BUH', per gli inquinanti maggiormente significativi, quali NOx, SO₂ e polveri (PM), emessi durante la fase di manovra e stazionamento dalle diverse navi in porto.

Tabella 5.4 – Emissioni di NOx, SO₂ e Polveri ripartite per tipologia di nave e fase operativa – Brindisi 2021

| Tipo di nave | FASE: STAZIONAMENTO | | | FASE: MANOVRA | | |
|--------------------------|---------------------|----------|-----------------------|---------------|----------|-----------------------|
| | NOx (t/a) | PM (t/a) | SO ₂ (t/a) | NOx (t/a) | PM (t/a) | SO ₂ (t/a) |
| Liquid_bulk_ships | 330,52 | 5,83 | 9,26 | 7,22 | 0,44 | 1,12 |
| Dry_bulk_carriers | 96,90 | 1,86 | 3,29 | 2,28 | 0,14 | 0,32 |
| Container | - | - | - | - | - | - |
| General_cargo | 12,87 | 0,26 | 0,46 | 1,34 | 0,08 | 0,24 |
| Ro_Ro_cargo | 29,46 | 0,61 | 1,08 | 16,67 | 1,15 | 3,51 |
| Passenger | 97,58 | 2,08 | 3,62 | 44,19 | 3,55 | 9,96 |
| Cruise | 1,94 | 0,04 | 0,07 | 0,51 | 0,04 | 0,09 |
| Fishing | - | - | - | - | - | - |
| Others | 2,20 | 0,05 | 0,09 | 0,04 | 0,00 | 0,01 |
| Tugs | - | - | - | 9,00 | 0,25 | 0,39 |
| TOTALE | 571,48 | 10,73 | 17,87 | 81,25 | 5,65 | 15,65 |

Le emissioni totali stimate di NOx per il 2021, relative al porto di Brindisi, ammontano a circa 652 tonnellate, di cui l'88% riferibile alla fase di stazionamento. Considerando soltanto la fase di stazionamento, il 57.8% del NOx è riferito alla tipologia di nave 'rinfuse liquide', mentre il 17.1% è attribuibile a navi 'passeggeri', ed altro 17% a 'rinfuse solide'. Le restanti tipologie, considerate assieme, rappresentano circa l'8% delle emissioni di NOx. Per quanto riguarda le emissioni in fase di manovra, il 54.4% è attribuibile alla categoria di navi 'passeggeri', seguite da Ro-Ro cargo (20.5%) e 'rimorchiatori' (11.1%); le altre tipologie, assieme, costituiscono la restante parte delle emissioni di NOx.

Con riferimento alle emissioni di SO₂, sono state stimate un totale di 33.5 tonnellate, di cui circa il 53% riferibili allo stazionamento. Per quest'ultima fase, le emissioni maggiori spettano alle navi alla tipologia di nave 'rinfuse liquide' (51.8%), il 20.2% è attribuibile a navi 'passeggeri' e, a seguire, alle rinfuse solide (18.4%). Per la fase di manovra le maggiori emissioni di SO₂ le mostrano le navi passeggeri (63.6%), seguite dalle Ro-Ro cargo (22.5%).

Il totale di particolato (PM) emesso da tutte le tipologie di navi è stato stimato in circa 16.4 tonnellate, di cui il 66% riferibili alla sola fase di stazionamento. Le quote emissive e prevalenti di PM della fase di stazionamento sono dovute alle navi rinfuse liquide (54.3%), seguite da 'passeggeri' (19.4%) e 'rinfuse solide' (17.4%). Per la fase di manovra le emissioni maggiori di particolato provengono dalle navi passeggeri (62.8%), seguite dai Ro-Ro cargo (20.4%) e da rinfuse liquide (7.8%).

5.3.2 Opere strategiche per il porto di Brindisi

Nel porto brindisino sono in corso e in progetto diversi lavori di ristrutturazione e riqualificazione, essenzialmente mirati al miglioramento dei servizi e infrastrutture.

Da un punto di vista ambientale, su informazioni dell'Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale, sono stati realizzati e sono in corso diversi progetti di cooperazione, oltre ad essere stato realizzato il 'Documento di Pianificazione Energetico Ambientale del Sistema Portuale', con allo studio diverse ipotesi per l'utilizzo di sistemi e tecnologie a minore impatto ambientale per il soddisfacimento del fabbisogno energetico (es. 'Cold ironing') e l'aumento della produzione di energia da fonti rinnovabili (es. fotovoltaico).

In tal senso, a Brindisi vi è il progetto (recentemente approvato e finanziato) di 'Cold ironing' che prevede la realizzazione di una rete di sistemi per la fornitura di energia elettrica dalla riva alle navi durante la fase di

ormeggio, in modo da ridurre al minimo l'utilizzo dei motori ausiliari di bordo per l'autoproduzione dell'energia elettrica. Nel porto di Brindisi verranno elettrificati due ormeggi presso la banchina di Punta delle Terrare.

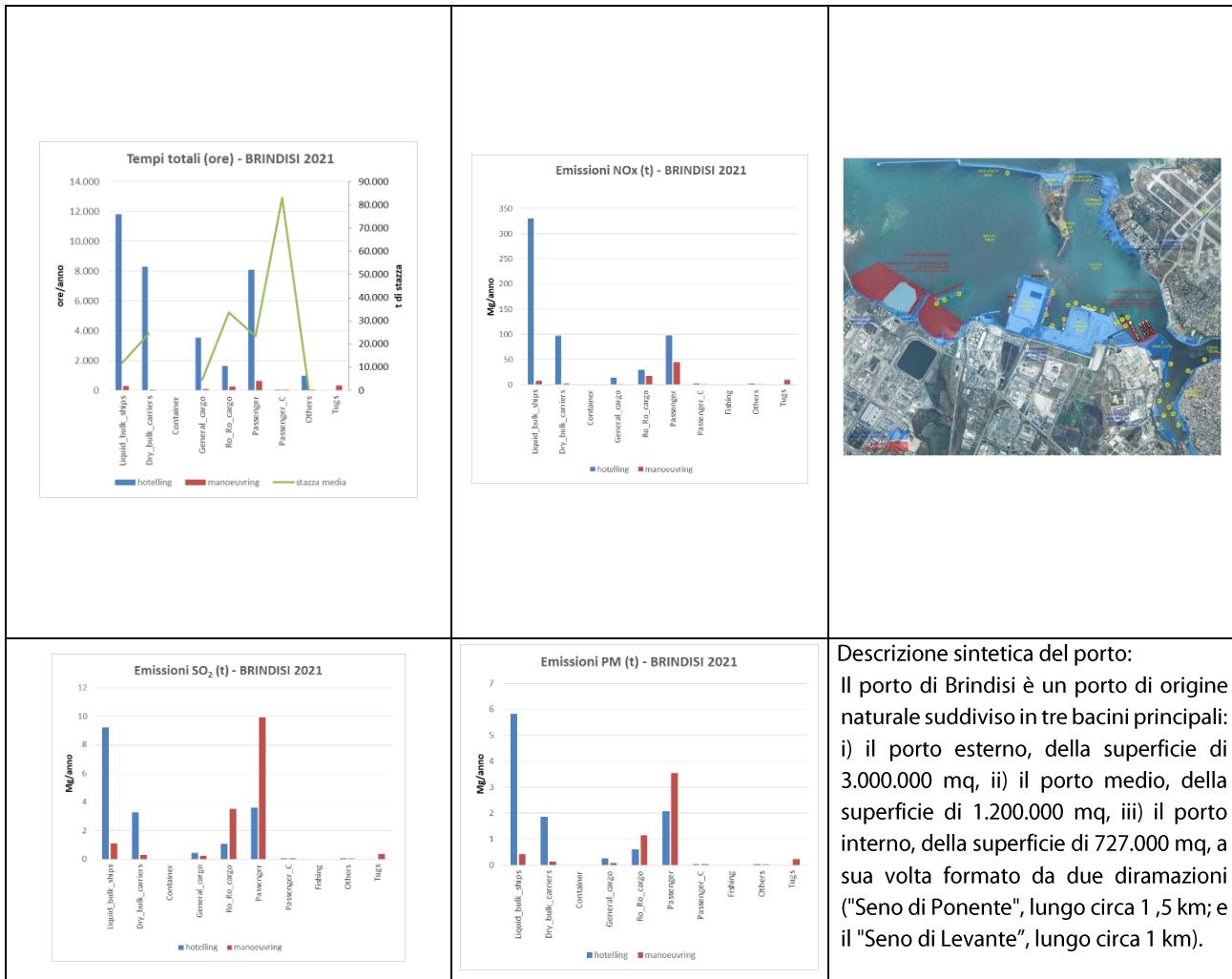
Figura 5.6 – Particolare planimetrico relativo al progetto di “cold ironing” del porto di Brindisi.



L'impianto sarà dimensionato in modo da garantire l'alimentazione contemporanea di due navi Ro-Ro/Ro-Pax, attraverso l'installazione di un convertitore di potenza da 6,5 MW con uscita a 11 kV predisposto anche per un futuro ampliamento dell'impianto che consenta anche l'attracco di navi da crociera.

Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione di impianti di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica, a parziale copertura del fabbisogno energetico derivante dall'attivazione dei sistemi di cold ironing .

5.3.3 Emissioni Brindisi: scheda riassuntiva



5.4 La valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Brindisi

La Valutazione della qualità dell'aria nel territorio del comune di Brindisi si basa sulla zonizzazione del territorio adottata dalla Regione Puglia, con la D.G.R. 2979/2011, di seguito riassunta. Con la D.G.R. 1063/2020 è stata aggiornata la classificazione delle zone.

Il comune di Brindisi appartiene alla c.d. zona industriale (IT1613) costituita complessivamente da 7 comuni e avente area di 893 km² e popolazione totale di 355908.

5.4.1 Rete di monitoraggio della qualità dell'aria del comprensorio di Brindisi

Tabella 5.5. Rete di monitoraggio della qualità dell'aria nel comune di Brindisi

| RETE REGIONALE ARPA Puglia – AGGLOMERATO di Bari | | | | | |
|--|------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| COMUNE | STAZIONE | TIPOLOGIA# | LATITUDINE | LONGITUDINE | ALTITUDINE |
| Brindisi | Brindisi VIA TARANTO | UT | 40,634167 | 17,94777 | 10 m s.l.m. |
| Brindisi | brindisi VIA DEI MILLE | ST | 40,63806 | 17,93833 | 10 m s.l.m. |
| Brindisi | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 40,65083 | 17,94361 | 10 m s.l.m. |
| Brindisi | brindisi SISRI | SI | 40,62028 | 17,97806 | 10 m s.l.m. |
| Brindisi | PERRINO | SF | 40,63139 | 17,95472 | 20 m s.l.m. |
| Brindisi | TERMINAL PASSEGERI | SI | 40,64583 | 17,96055 | 20 m s.l.m. |

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

Fonte: ARPA Puglia e ISPRA

5.4.2 Biossido di azoto – stato della qualità dell'aria

Nella tabella 5.6. 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 5.6. 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 |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------|---------------|--|--|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | URBANA | TRAFFICO | 18 | 1 | 0 |
| IT1701A | brindisi VIA DEI MILLE | SUBURBANA | TRAFFICO | 17 | 0 | 0 |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SUBURBANA | FONDO | 11 | 0 | 0 |
| IT1704A | brindisi SISRI | SUBURBANA | INDUSTRIALE | 10 | 0 | 0 |
| IT2137A | PERRINO | SUBURBANA | FONDO | 14 | 0 | 0 |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGERI | SUBURBANA | INDUSTRIALE | 14 | 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).

Nessuna stazione 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).

Nessuna stazione di monitoraggio nel comune di Brindisi ha registrato, nel 2022, un 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 ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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).

In nessuna stazione è stata superata la soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno).

5.4.3 Biossido di azoto – trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 5.7 e 5.8 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 per tutte le stazioni di monitoraggio con l'eccezione della stazione "Perrino" che mostra un andamento stazionario.

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 5.7 e 5.8 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "Brindisi VIA TARANTO" (IT1618A) stazione "storica" della città.

Tabella 5.7. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2004 | DECRESCENTE | -2.5 ÷ [-3.3 ÷ -1.5] |
| IT1701A | brindisi VIA DEI MILLE | ST | 2005 | DECRESCENTE | -2.6 ÷ [-3.4 ÷ -2.1] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2005 | DECRESCENTE | -1.4 ÷ [-1.9 ÷ -0.8] |
| IT1704A | brindisi SISRI | SI | 2005 | DECRESCENTE | -1.9 ÷ [-2.3 ÷ -1.2] |
| IT2137A | PERRINO | SF | 2014 | STAZIONARIO | -0.9 ÷ [-2.9 ÷ 1.1] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2014 | DECRESCENTE | -3.9 ÷ [-6.9 ÷ -2.2] |

Tabella 5.8. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2004 | DECRESCENTE | -2.3 ÷ [-3.3 ÷ -1.1] |
| IT1701A | brindisi VIA DEI MILLE | ST | 2005 | DECRESCENTE | -2.3 ÷ [-2.7 ÷ -1.7] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2005 | DECRESCENTE | -0.7 ÷ [-1.6 ÷ -0.1] |
| IT1704A | brindisi SISRI | SI | 2005 | DECRESCENTE | -1.1 ÷ [-1.5 ÷ -0.4] |
| IT2137A | PERRINO | SF | 2014 | STAZIONARIO | -0.9 ÷ [-3.1 ÷ 1.7] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2014 | DECRESCENTE | -3.7 ÷ [-6.2 ÷ -2.2] |

Figura 5.7. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

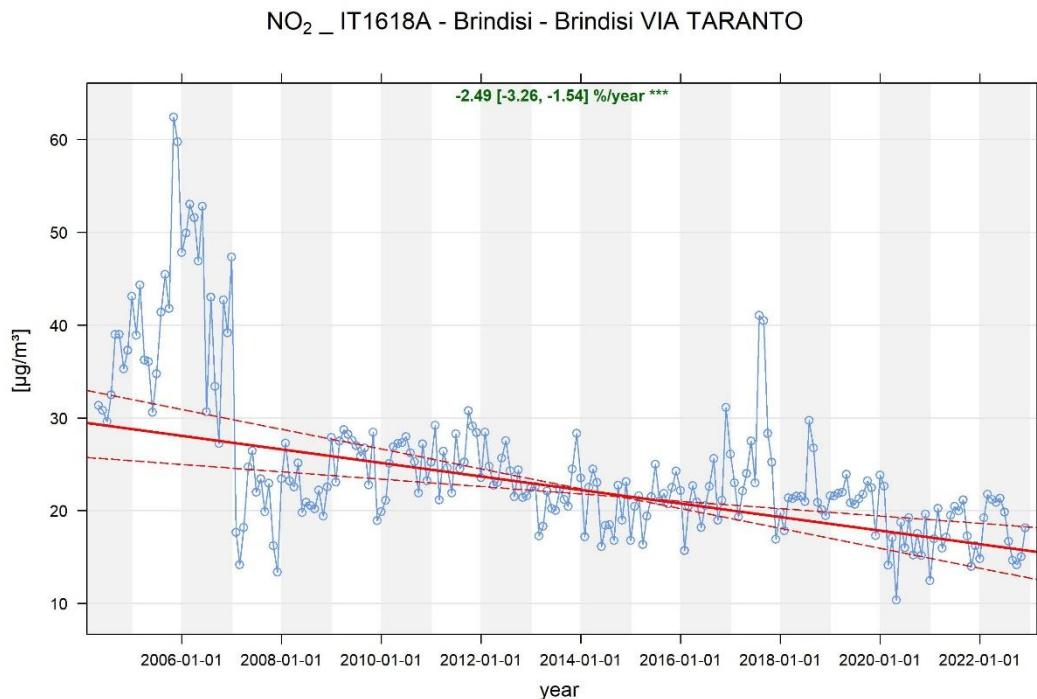
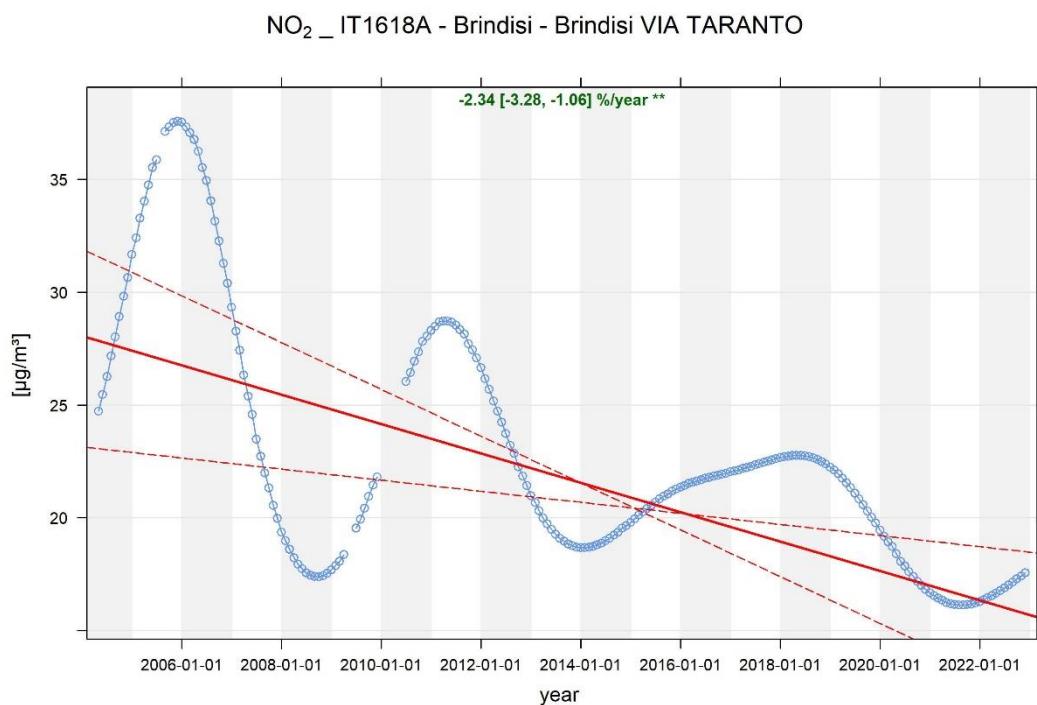


Figura 5.8. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



5.4.4 PM₁₀ stato della qualità dell'aria

Nella tabella 5.9 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 5.9. 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 |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------|---------------|--|--|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | URBANA | TRAFFICO | 23 | 6 | 9 |
| IT1701A | brindisi VIA DEI MILLE | SUBURBANA | TRAFFICO | 20 | 4 | 5 |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SUBURBANA | FONDO | 18 | 3 | 7 |
| IT1704A | brindisi SISRI | SUBURBANA | INDUSTRIALE | 19 | 5 | 6 |
| IT2137A | PERRINO | SUBURBANA | FONDO | 21 | 7 | 8 |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SUBURBANA | INDUSTRIALE | 19 | 4 | 5 |

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 "Brindisi VIA TARANTO" e "Perrino" 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).

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 superiori al valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno) per tutte le stazioni dell'area urbana.

5.4.5 PM₁₀ trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 5.10 e 5.11 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.

Si osserva un trend decrescente statisticamente significativo per la stazione "Brindisi VIA TARANTO" sia per la serie dati originali sia per quelle aggiustate per l'effetto della meteorologia. Per le due rimanenti stazioni invece il trend non è 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 5.8 e 5.9 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "Brindisi VIA TARANTO" (IT1618A) stazione "storica" della città.

Tabella 5.10. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2009 | DECRESCENTE | -1.2 ÷ [-1.6 ÷ -0.6] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2015 | STAZIONARIO | -1.1 ÷ [-2.7 ÷ 0.2] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2013 | DECRESCENTE | -1 ÷ [-2.4 ÷ -0.1] |

Tabella 5.11. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2009 | DECRESCENTE | -1.1 ÷ [-1.6 ÷ -0.4] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2015 | STAZIONARIO | 0.1 ÷ [-1.2 ÷ 1.1] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2013 | STAZIONARIO | -0.6 ÷ [-1.5 ÷ 0.1] |

Figura 5.9. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali.

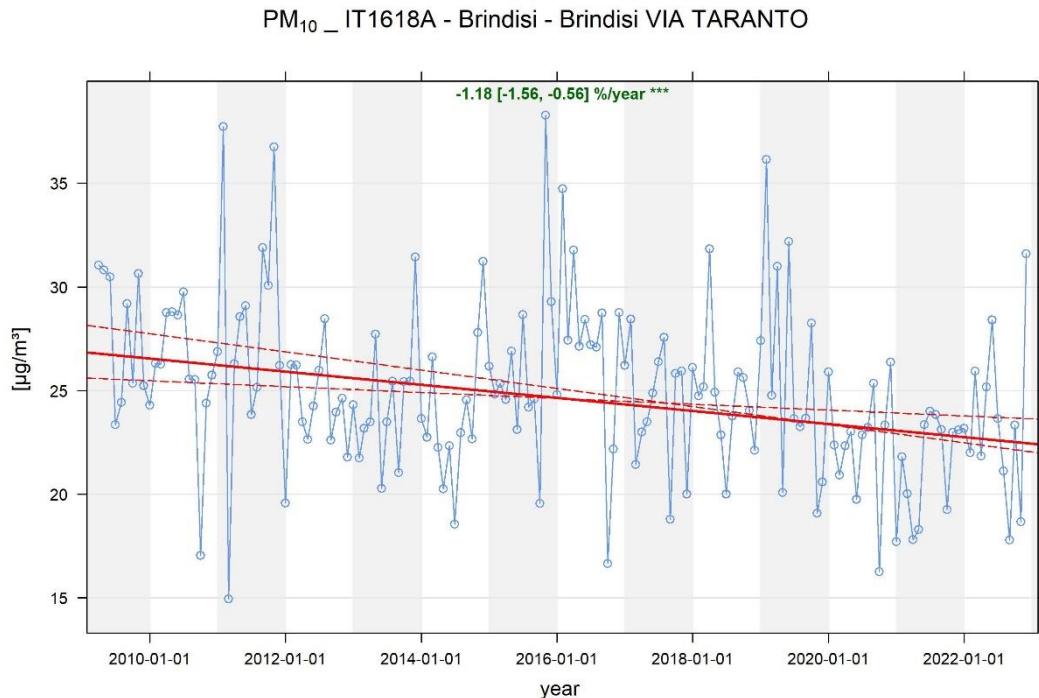
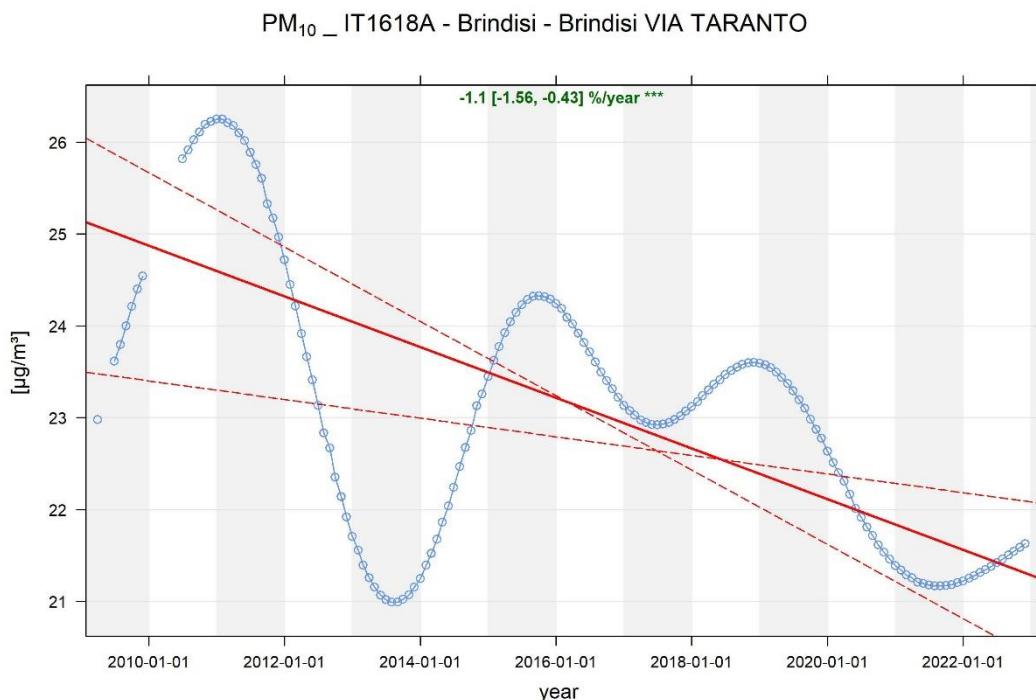


Figura 5.10. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.



5.4.6 PM_{2.5} stato della qualità dell'aria

Nella tabella 5.12 sono riportate le statistiche descrittive relative al 2022 per i livelli di materiale particolato PM_{2.5} determinati nelle stazioni della rete di rilevamento della qualità dell'aria.

Tabella 5.12. PM2.5. 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 |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------|---------------|--|--|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | URBANA | TRAFFICO | 11 | 5 | 58 |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SUBURBANA | FONDO | 12 | 5 | 65 |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SUBURBANA | INDUSTRIALE | 10 | 2 | 53 |

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).

Nella sola stazione "TERMINAL PASSEGGERI" si registra una media annuale uguale o inferiore 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 molto superiori rispetto a quanto previsto dal valore guida dell'OMS (massimo 3-4 superamenti in un anno). Nel caso peggiore sono stati registrati 65 superamenti (brindisi VIA MAGELLANO).

5.4.7 PM_{2.5} trend della qualità dell'aria

Nelle tabelle 5.13 e 5.14 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.

Si osserva, un trend decrescente statisticamente significativo per tutte le stazioni oggetto di analisi, sia per la serie dati originali sia per quelle aggiustate per l'effetto della meteorologia.

A titolo esemplificativo si riportano nelle figure 5.11 e 5.12 i grafici relativi alle analisi dei trend effettuate per la stazione denominata "TERMINAL PASSEGGERI" (IT2139A).

Tabella 5.13. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2016 | DECRESCENTE | -4.2 ÷ [-5.3 ÷ -3.6] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2015 | DECRESCENTE | -2.1 ÷ [-3.6 ÷ -0.6] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2013 | DECRESCENTE | -1.6 ÷ [-2.8 ÷ -1] |

Tabella 5.14. 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 |
|-----------------|------------------------|------|--------------|-----------------|----------------------|
| IT1618A | Brindisi VIA TARANTO | UT | 2016 | DECRESCENTE | -3.3 ÷ [-3.9 ÷ -2.5] |
| IT1702A | brindisi VIA MAGELLANO | SF | 2015 | DECRESCENTE | -1.1 ÷ [-2.6 ÷ 0] |
| IT2139A | TERMINAL PASSEGGERI | SI | 2013 | DECRESCENTE | -1.5 ÷ [-2 ÷ -0.6] |

Figura 5.11. Analisi dei trend con il metodo di Kendall aggiustato per la stagionalità. Serie di dati originali

PM_{2,5} _ IT2139A - Brindisi - TERMINAL PASSEGGERI

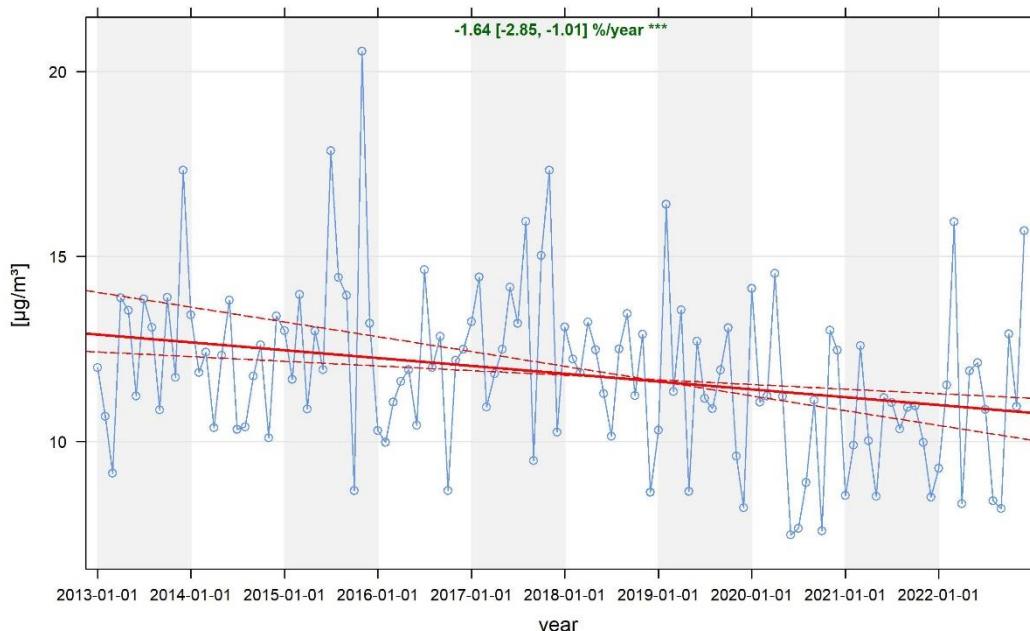


Figura 5.12. Analisi dei trend con il metodo di Kendall. Serie di dati aggiustati per la meteorologia con modelli GAM.

PM_{2,5} _ IT2139A - Brindisi - TERMINAL PASSEGGERI

