



Valutazione integrata della Qualità dell'Aria in Puglia

Anno 2021

ARPA Puglia
Centro Regionale Aria



La Valutazione integrata della Qualità dell'Aria in Puglia – Anno 2021 è stata redatta dal Centro Regionale Aria dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente della Puglia.

AUTORI:

Lorenzo Angiuli, Paolo Rosario Dambruoso, Fiorella Mazzone, Livia Trizio - Ufficio Qualità dell'Aria di Bari.

Angela Morabito, Francesca Intini, Ilenia Schipa, Annalisa Tanzarella - Ufficio Modellistica.

L'Ufficio Qualità dell'Aria di Bari ha curato le sezioni relative ai dati rilevati dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

L'ufficio Modellistica ha curato le sezioni relative all'analisi delle condizioni meteorologiche e alle stime modellistiche.

I dati di qualità dell'aria delle province di Bari, BAT e Foggia sono validati ed elaborati dal personale del Centro Regionale Aria - Ufficio Qualità dell'Aria di Bari: Paolo Rosario Dambruoso, Fiorella Mazzone, Livia Trizio, Lorenzo Angiuli.

I dati di qualità dell'aria delle province di Brindisi, Lecce, Taranto sono validati ed elaborati dal personale del Centro Regionale Aria - Ufficio Qualità dell'Aria di BR-LE-TA: Pietro Caprioli, Daniele Cornacchia, Maria Mantovan, Valerio Margiotta, Aldo Pinto, Gaetano Saracino, Alessandra Nocioni.

I campi meteorologici di analisi, utilizzati in input alle simulazioni di qualità dell'aria, sono stati forniti dal Servizio Agenti Fisici di ARPA Puglia.

Il Direttore del Centro Regionale Aria è il dott. Domenico Gramegna.

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
1.1. Normativa di riferimento	
1.2. La rete di monitoraggio della qualità dell'aria	
1.3. Il sistema modellistico di ARPA Puglia	
2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE	22
3. LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	28
3.1. PM₁₀	
3.1.1. Dati di qualità dell'aria	
3.1.2. Dati modellati	
3.2. PM_{2,5}	
3.2.1. Dati di qualità dell'aria	
3.2.2. Dati modellati	
3.3. NO₂	
3.3.1. Dati di qualità dell'aria	
3.3.2. Dati modellati	
3.4. O₃	
3.4.1. Dati di qualità dell'aria	
3.4.2. Dati modellati	
3.5. Benzene	
3.5.1. Dati di qualità dell'aria	
3.5.2. Dati modellati	
3.6. CO	
3.6.1. Dati di qualità dell'aria	
3.6.2. Dati modellati	
3.7. SO₂	
3.7.1. Dati di qualità dell'aria	
3.7.2. Dati modellati	
3.8. Benzo(a)Pirene nel PM₁₀	
3.8.1. Dati di qualità dell'aria	
3.8.2. Dati modellati	
3.9. Metalli nel PM₁₀	
3.9.1. Dati di qualità dell'aria	
3.9.2. Dati modellati	
4. CONCLUSIONI	75
5. ALLEGATI	78
Allegato 1: EFFICIENZA STRUMENTALE NEL 2021	
Allegato 2: ELABORAZIONE DATI METEOROLOGICI – ANNO 2021	

1 INTRODUZIONE

L'art. 18, comma 3, del D. Lgs. 155/2010 stabilisce che "le Regioni e le Province Autonome elaborano e mettono a disposizione del pubblico **relazioni annuali** aventi a oggetto tutti gli inquinanti disciplinati dal presente decreto e contenenti una sintetica illustrazione circa i superamenti dei valori limite, dei valori obiettivo, degli obiettivi a lungo termine, delle soglie di informazione e delle soglie di allarme con riferimento ai periodi di mediazione previsti, con una sintetica valutazione degli effetti di tali superamenti [...]".

Di seguito si presenta la Valutazione Integrata annuale della Qualità dell'aria sul territorio regionale per il 2021, condotta nel rispetto dei requisiti tecnici contenuti nella norma.

Tale valutazione comprende:

- il riepilogo dei dati di qualità dell'aria registrati nel corso del 2021 dalla **Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA)**, costituita da 53 stazioni fisse (di cui 41 di proprietà pubblica e 12 di proprietà privata), riportando anche i dati forniti da 9 stazioni di interesse locale;
- le stime in concentrazione prodotte dal **Sistema modellistico della qualità dell'aria** di ARPA Puglia sulla regione Puglia (a 4 km di risoluzione spaziale) e sulle province di Brindisi, Taranto e Lecce (a 1 km di risoluzione). Tale sistema, messo a punto nel triennio 2015-2017, ricostruisce lo stato della qualità dell'aria sul territorio regionale, anche assimilando le misure fornite dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

L'integrazione di tali strumenti, seppur molto diversi, permette di utilizzare appieno e valorizzare l'insieme delle informazioni che vengono prodotte in materia di qualità dell'aria sul territorio regionale.

Dopo una sezione introduttiva, dedicata all'inquadramento normativo del monitoraggio della qualità dell'aria e all'illustrazione dei diversi strumenti conoscitivi impiegati, nella seconda parte della Valutazione vengono analizzate le condizioni meteorologiche osservate nel corso del 2021, con particolare riferimento alle variabili (vento, temperatura, radiazione solare e precipitazione) che influenzano la dispersione, l'abbattimento delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e la formazione di inquinanti secondari. Nella terza parte vengono invece mostrate le concentrazioni degli inquinanti registrate nel 2021, il loro andamento nel periodo 2010-2021 e la stima dei livelli di concentrazione elaborata per il 2021 con il sistema modellistico, a una risoluzione spaziale di 4 km per il territorio regionale e a 1 km di risoluzione sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto.

Nelle schede di approfondimento si affrontano argomenti di carattere più specifico e degni di particolare attenzione. Gli allegati riportano invece le elaborazioni condotte sulle grandezze meteorologiche misurate nel corso del 2021 e le informazioni sull'efficienza strumentale degli analizzatori impiegati.



Oltre al report annuale di qualità dell'aria, ARPA Puglia pubblica giornalmente i dati di qualità dell'aria validati (<http://old.arpa.puglia.it/web/guest/qariainq2>) e i report con gli andamenti mensili delle concentrazioni (https://www.arpa.puglia.it/pagina2873_report-annuali-e-mensili-qualit-dellaria-rrqa.html). All'indirizzo https://www.arpa.puglia.it/pagina3070_report-campagne-con-laboratori-mobili.html sono disponibili i report delle campagne di monitoraggio realizzate con i laboratori mobili e gli ulteriori rapporti di monitoraggio prodotti da ARPA Puglia.

Sul sito <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica> sono anche disponibili le relazioni che riportano i risultati delle valutazioni modellistiche dello stato della qualità dell'aria sulla regione Puglia, condotte negli anni passati.

Inoltre ARPA Puglia garantisce il flusso **UptoDate** dei dati di qualità dell'aria previsto dalla Decisione di Esecuzione della Commissione 2011/850/UE.

All'indirizzo <https://discomap.eea.europa.eu/Map/UTDViewer/UTDViewer/> sono visualizzabili i **dati grezzi** (cioè non ancora sottoposti ai processi di validazione) prodotti dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

Sul sito <http://cloud.arpa.puglia.it/previsioniqualitadellaria/index.html> sono disponibili giornalmente le previsioni a +72 ore, prodotte dal sistema modellistico di Arpa Puglia, dello stato della qualità dell'aria (con risoluzione spaziale rispettivamente di 4 km sulla Puglia e di 1 km sull'area di Taranto) e la ricostruzione (detta analisi) dello stato della qualità dell'aria relativa al giorno precedente (ieri), ottenuta mediante assimilazione dei dati misurati.

1.1 Normativa di riferimento

La normativa di riferimento per il monitoraggio della qualità dell'aria è il D. Lgs. 155/2010 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" entrato in vigore il 13 agosto 2010 e modificato dal D. Lgs. 250 del 24 dicembre 2012.

Oltre alla definizione di zonizzazione (art. 3) e classificazione (art. 4) del territorio, il Decreto definisce i criteri per la valutazione della qualità dell'aria ambiente (art. 5). Tali criteri comprendono sia le misurazioni in siti fissi, sia le tecniche di valutazione modellistica e/o di stima obiettiva; nello specifico i commi 2, 3 e 4 dello stesso articolo, definiscono le situazioni in cui devono essere utilizzate obbligatoriamente le misure, le misure in combinazione con i modelli o solo le tecniche modellistiche.

Il Decreto inoltre definisce le modalità per la redazione di Piani e misure per il raggiungimento dei valori limite e dei valori obiettivi (art. 9) di seguito riportati.

Inquinante	Tipo di limite	Parametro statistico e periodo di mediazione	Valore
PM10 Particolato con diametro < 10 µm	Limite di 24h per la protezione della salute umana (da non superare più di 35 volte in 1 anno civile)	Media giornaliera	50 µg/m ³
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
PM 2.5 Particolato con diametro <2,5 µm	Limite annuale	Media annuale	25 µg/m ³
NO2 Biossido di azoto	Limite orario per la protezione della salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	Media oraria	200 µg/m ³
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m ³
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	400 µg/m ³
O3 - Ozono	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero di 24 medie mobili su 8 ore	120 µg/m ³
	Soglia di informazione	Media oraria	180 µg/m ³
	Soglia di allarme	Media oraria	240 µg/m ³
	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40 calcolato su valori medi orari da maggio a luglio	6000 µg/m ³ * h
CO - Monossido di carbonio	Limite per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero di 24 medie mobili su 8 ore	10 mg/m ³
C6H6 - Benzene	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	5 µg/m ³
SO2 Biossido di zolfo	Limite orario per la protezione della salute umana (da non superare più di 24 volte per anno civile)	Media oraria	350 µg/m ³
	Limite di 24h per la protezione della salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	Media giornaliera	125 µg/m ³
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	500 µg/m ³
Pb - Piombo	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	0,5 µg/m ³
B(α)P - Benzo(α)pirene	Valore obiettivo	Media annuale	1,0 ng/m ³
Ni - Nichel	Valore obiettivo	Media annuale	20,0 ng/m ³
As - Arsenico	Valore obiettivo	Media annuale	6,0 ng/m ³
Cd - Cadmio	Valore obiettivo	Media annuale	5,0 ng/m ³

Il Decreto stabilisce inoltre tempi e modalità di informazione al pubblico (art. 18) e di trasmissione alle Autorità nazionali dei dati di qualità dell'aria (art. 19).

Il Decreto non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio delle tecniche modellistiche, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D. Lgs 155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piani di risanamento. Tale quesito, pertanto, è stato rivolto dalla Regione Puglia e successivamente inoltrato al MITE. Allo stato attuale si è in attesa del riscontro.

Nel report, a titolo indicativo, vengono riportati anche i valori di concentrazione indicati nelle Linee Guida edite dall'OMS nel 2021 che, come noto, non hanno cogenza normativa.

1.2 La rete di monitoraggio della qualità dell'aria

Il D. Lgs. 155/2010 assegna alle Regioni e alle Province Autonome il compito di realizzare la zonizzazione del territorio (art. 3) e la classificazione delle zone (art. 4). La Regione Puglia ha adottato il Progetto di adeguamento della zonizzazione del territorio regionale con la D.G.R. 2979/2011. Con la D.G.R. 1063/2020 è stata aggiornata la classificazione delle zone. La zonizzazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche demografiche, meteorologiche e orografiche regionali, della distribuzione dei carichi emissivi e della valutazione del fattore predominante nella formazione dei livelli di inquinamento in aria ambiente, individuando le seguenti quattro zone:

1. ZONA IT1611: zona collinare;
2. ZONA IT1612: zona di pianura;
3. ZONA IT1613: zona industriale, costituita da Brindisi, Taranto e dai comuni che risentono maggiormente delle emissioni industriali dei due poli produttivi;
4. ZONA IT1614: agglomerato di Bari.

La Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA) è composta da 53 stazioni fisse (di cui 41 di proprietà pubblica e 12 private). Tali stazioni sono sia da traffico (urbana, suburbana) che di fondo (urbana, suburbana e rurale) e industriali (urbana, suburbana e rurale). La figura che segue riporta la zonizzazione del territorio e la collocazione delle 53 stazioni di monitoraggio della RRQA.

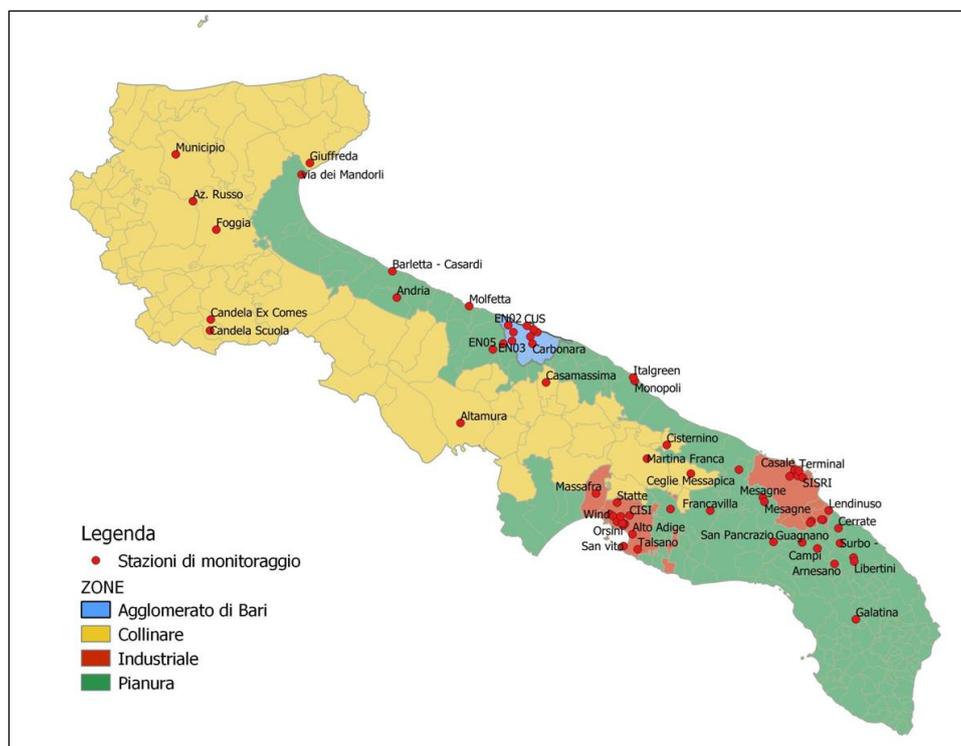


Figura 1: Zonizzazione del territorio regionale e RRQA

La tabella che segue riporta il quadro sinottico della RRQA, con l'indicazione dei siti di misura, della loro collocazione e degli inquinanti monitorati in ciascuno di essi.

ZONA	PROV	COM UNE	STAZIONE	TIPO ZONA	TIPO STAZIONE	E (UTM33)	N (UTM33)	PM 10	PM2,5	NO2	O3	BTX	CO	SO2
IT1611	FG	Foggia	Foggia - Rosati	Urbana	Fondo	545819	4589475	x	x	x		x	x	
	FG	Monte S. Angelo	Monte S. Angelo	Rurale	Fondo	578692	4613137	x		x	x			
	BA	Casamassima	Casamassima	Suburbana	Fondo	661589	4535223	x	x	x	x			
	BA	Altamura	Altamura	Suburbana	Fondo	631588	4520820	x	x	x	x			
	TA	Martina Franca	Martina Franca	Urbana	Traffico	697012	4508162	x		x		x		
	FG	San Severo	San severo - Az. Russo	Rurale	Fondo	537644	4599559	x	x	x	x			
	FG	San Severo	San severo - Municipio	Suburbana	Fondo	532294	4609076	x	x	x	x			
	BR	Ceglie Messapica	Ceglie Messapica	Suburbana	Fondo	712432	4502847	x	x	x		x	x	x
IT1612	BR	Cisternino	Cisternino	Rurale	Fondo	703972	4510111	x		x	x			x
	BA	Molfetta	Molfetta - Verdi	Urbana	Traffico	634595	4562323	x		x		x		
	BAT	Andria	Andria - via Vaccina	Urbana	Traffico	609209	4565364	x	x	x		x	x	
	BA	Monopoli	Monopoli - Aldo Moro	Suburbana	Traffico	692701	4535752	x	x	x		x		
	BA	Monopoli	Monopoli - Italgreen	Suburbana	Traffico	692229	4537004	x	x	x		x		
	FG	Manfredonia	Manfredonia - Mandorli	Suburbana	Traffico	575770	4609022	x		x		x	x	
	LE	Lecce	Lecce - Garigliano	Urbana	Traffico	769536	4473048	x	x	x		x	x	
	LE	Lecce	Lecce - P.zza Libertini	Urbana	Traffico	769785	4471666	x	x	x		x	x	
	LE	Lecce	Surbo - via Croce	Rurale	Industriale	764807	4478158	x		x				x
	BR	San Pancrazio Salentino	San Pancrazio Salentino	Suburbana	Fondo	741444	4478597	x		x				
	LE	Campi Salentina	Campi Salentina	Suburbana	Fondo	756857	4476277	x	x	x				
	LE	Lecce	Lecce - S.MARIA CERRATE	Rurale	Fondo	764242	4483446	x	x	x	x			
	BR	Mesagne	Mesagne	Urbana	Fondo	737714	4494370	x		x				
	LE	ARNESANO	Arnesano - Riesci	Suburbana	Fondo	762876	4470790	x				x		
	LE	GIUGNANO	Guagnano - Villa Baldassarre	Suburbana	Fondo	751513	4478431	x		x				
	BR	Francofonte	Francofonte	Suburbana	Traffico	79236	4489711			x		x		
	TA	Grottaglie	Grottaglie	Suburbana	Fondo	705279	4490271	x		x	x			
	BAT	Barietta	Barietta - Casardi	Urbana	Fondo	607646	4574709	x	x	x	x	x		
IT1613	LE	Galatina	Galatina-Laporta	Suburbana	Industriale	770356	4451211	x	x	x	x		x	
	BR	Brindisi	Brindisi - Via dei Mille	Urbana	Traffico	748464	4502808	x		x		x		
	BR	Brindisi	Brindisi - Via Taranto	Urbana	Traffico	749277	4503418	x	x	x		x	x	
	BR	Brindisi	Brindisi - Casale	Urbana	Fondo	748879	4504259	x	x	x	x			
	BR	Brindisi	Brindisi - Rione Perrino	Suburbana	Fondo	749892	4502036	x		x			x	x
	BR	Brindisi	Brindisi - Rione Perrino	Suburbana	Industriale	750422	4503838	x	x	x	x	x	x	x
	BR	Torchiarolo	Torchiarolo - Don Minzoni	Suburbana	Industriale	758842	4486404	x	x	x		x	x	x
	BR	Torchiarolo	Torchiarolo - via Fanin	Suburbana	Industriale	758263	4486545	x	x	x				x
	BR	San Pietro Vernotico	San Pietro Vernotico	Suburbana	Industriale	754781	4486042	x		x				
	BR	Brindisi	Brindisi - SISRI	Suburbana	Industriale	751700	4501449	x		x		x	x	x
	TA	Taranto	Taranto - via Alto Adige	Urbana	Traffico	691924	4481337	x	x	x		x	x	x
	TA	Taranto	Taranto -Talsano	Suburbana	Fondo	693783	4475985	x		x	x			x
	TA	Taranto	Taranto - San vito	Suburbana	Fondo	688778	4477122	x		x	x		x	x
	TA	Taranto	Taranto - Machiavelli	Suburbana	Industriale	688642	4484370	x	x	x		x	x	x
	TA	Taranto	Taranto - Archimede	Suburbana	Industriale	689238	4485033	x	x	x			x	x
	TA	Statte	Statte - Via delle Sorgenti	Suburbana	Industriale	686530	4492525	x		x			x	x
	TA	Taranto	Taranto -CISI	Rurale	Industriale	690889	4488018	x	x	x		x	x	x
	TA	Statte	Statte- Ponte Wind	Rurale	Industriale	684114	4488423	x		x				
IT1614	TA	Massafra	Massafra	Urbana	Industriale	679111	4495815	x		x		x		x
	BA	Bari	Bari - Caldarella	Urbana	Traffico	658520	4553079	x	x	x		x	x	
	BA	Bari	Bari - Cavour	Urbana	Traffico	657197	4554020	x	x	x		x	x	
	BA	Bari	Bari - Kennedy	Urbana	Fondo	656105	4551478	x		x	x			
	BA	Bari	Bari - Carbonara	Suburbana	Fondo	654377	4598816	x		x				
	BA	Bari	Bari - CUS	Suburbana	Traffico	654877	4555353	x		x	x			
	BA	Modugno	Modugno-EN02	Suburbana	Industriale	648305	4545556	x	x	x	x		x	
	BA	Modugno	Modugno-EN03	Urbana	Industriale	649647	4549969	x		x			x	
BA	Modugno	Modugno-EN04	Suburbana	Industriale	650120	4553064	x		x			x		

Tabella 1 – Rete Regionale di monitoraggio della Qualità dell’Aria (RRQA)

Alle 53 stazioni della RRQA se ne aggiungono altre 9, di interesse locale, che non concorrono alla valutazione della qualità dell’aria sul territorio regionale ma forniscono comunque informazioni utili sui livelli di concentrazione di inquinanti in specifici contesti. Queste stazioni, elencate nella tabella 1b, nel seguito del documento sono contraddistinte con il simbolo “*”.

PROV	COMUNE	STAZIONE	TIPO ZONA	TIPO STAZIONE	E (UTM 33)	N (UTM 33)	PM 10	PM 2,5	NO2	O3	BTX	CO	SO2
BA	Bitonto	Bitonto - EN0*	Suburbana	Industriale	646607	4549012	x	x	x	x		x	
BA	Palo del Colle	Palo del Colle - EN05*	Suburbana	Industriale	642913	4546965	x	x	x			x	
BR	Brindisi	Brindisi - Cappuccini*	Urbana	Traffico	747098	4501881	x		x			x	x
BR	Torchiarolo	Torchiarolo - Lendinuso*	Rurale	Industriale	760838	4489753	x		x				x
FG	Candela	EX Comes*	Rurale	Fondo	544178	4557978	x		x	x		x	
FG	Candela	Scuola*	Suburbana	Fondo	543482	4553626	x		x	x	x	x	x
LE	Maglie	Maglie*	Suburbana	Traffico	780702	4446683		x	x	x		x	x
LE	Galatina	Galatina-Colacem*	Rurale	Industriale	771953	4450838	x	x	x		x	x	x
TA	Taranto	Taranto-Orsini*	Suburbana	Industriale/Traffico	688634	4485012	x	x	x		x		

Tabella 1b – Stazioni di monitoraggio di interesse locale

Oltre agli inquinanti riportati nelle tabelle 1 e 1b, nelle stazioni di monitoraggio *Martina Franca, Taranto - Machiavelli, Taranto – Talsano, Taranto- Alto Adige e Lecce - Via Garigliano* vengono monitorati anche gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) e i metalli pesanti normati dal D. Lgs.155/10. Il monitoraggio di IPA e metalli viene condotto anche in altri siti, appartenenti sia alla RRQA che a stazioni di interesse locale. I risultati di tali monitoraggi, seppur non contribuiscano alla valutazione della qualità dell'aria della Regione Puglia, sono riportanti in questo report per completezza di informazione (stazioni indicate con "***").

Il D. Lgs. 155/2010 prevede, all'art. 17 co. 3, che le Regioni e le Province Autonome o, su delega, le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente effettuino le attività di controllo volte ad accertare che il gestore delle stazioni di misurazione rispetti le procedure di garanzia di qualità. Il Centro Regionale Aria di ARPA Puglia svolge le attività di controllo di qualità sulla RRQA dal 2013. All'iniziale verifica degli analizzatori di Ossidi di Azoto (NO_x) e Ozono (O₃) sono stati aggiunti nel tempo i controlli sugli analizzatori di Monossido di Carbonio (CO), la verifica dei flussi di campionamento degli analizzatori/campionatori di particolato atmosferico (PM₁₀ e PM_{2,5}) e, dal 2020, la verifica degli analizzatori di BTEX.

Dal 2016 le attività di QA/QC sono state affidate alla Ditta responsabile del servizio di manutenzione della RRQA. Il Centro Regionale Aria effettua, quindi, le verifiche di seconda parte. Le attività vengono condotte in coerenza con il Manuale ISPRA n.108/2014 "Linee guida per le attività di assicurazione/controllo qualità (QA/QC) per le reti di monitoraggio per la qualità dell'aria ambiente, ai sensi del D. Lgs. 155/2010 come modificato dal D. Lgs. 250/2012" recepito con D.M. 30/03/2017 "Procedure di garanzia di qualità per verificare il rispetto della qualità delle misure dell'aria ambiente, effettuate nelle stazioni delle reti di misura".

1.3 Il sistema modellistico di Arpa Puglia

La normativa europea e nazionale richiede l'utilizzo di tecniche di modellazione quale supporto per la conoscenza e la gestione della qualità dell'aria. ARPA Puglia si è dotata da alcuni anni di un sistema modellistico atto a simulare le concentrazioni di inquinanti gassosi e di particolato. Tale sistema è

incentrato sul modello euleriano tridimensionale di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM¹ (Flexible Air quality Regional Model) in grado, a partire dalle emissioni di inquinanti delle varie sorgenti presenti sul territorio (naturali ed antropiche) e dallo stato fisico dell'atmosfera (campi di vento, di temperatura, di umidità, di turbolenza, ecc.), di fornire i campi tridimensionali orari di concentrazione per diversi inquinanti. Tale modello implementa meccanismi chimici di varia complessità per il trattamento della fotochimica e del particolato, trattando la chimica in fase acquosa ed eterogenea, oltre ai processi di deposizione secca ed umida.

Nella figura 2 viene riportato lo schema del sistema modellistico, implementato sulla piattaforma computazionale ReCaS².

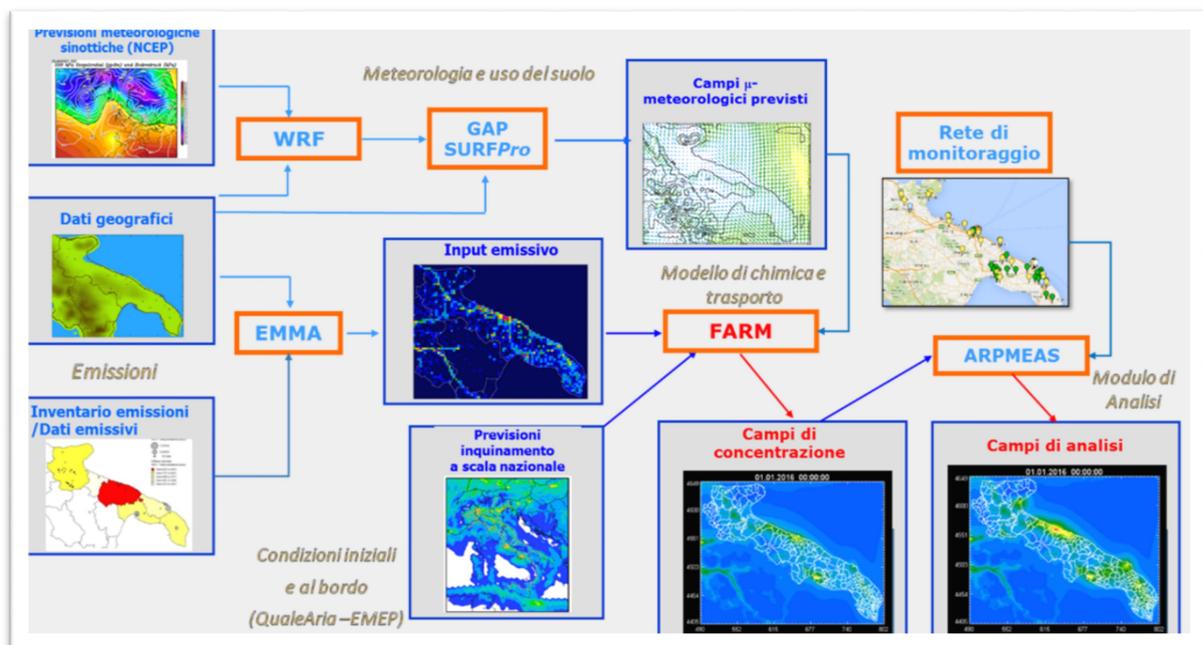


Figura 2: Sistema modellistico utilizzato per la Valutazione annuale della Qualità dell'aria.

Il sistema modellistico utilizza in ingresso molteplici *dataset* che vengono elaborati opportunamente dai pre-processor EMMA, GAP e SURFPRO in modo da produrre, sui domini di simulazione, tutti i dati necessari al modello chimico di qualità dell'aria FARM. In particolare, per lo svolgimento della simulazione relativa all'anno 2021, FARM è stato alimentato con:

¹ Più precisamente è stata utilizzata la versione più recente del modello di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM (versione 4.7), che implementa versioni aggiornate del meccanismo chimico SAPRC99 e del modulo di aerosol Aero3. Tali versioni trattano la chimica dei quattro IPA: B[a]P, B[b]F, B[k]F, indeno[1,2,3-cd]pyrene (sia in fase gassosa che in fase particellare – modi di Aitken e accumulazione) e del mercurio (elementare – Hg - e ossidato – HgO - in fase gassosa e particellare – modi di Aitken e accumulazione).

² ReCaS è un datacenter, gestito da UNIBA ed INFN, che garantisce le caratteristiche computazionali e di storage necessarie a sostenere le complesse procedure di calcolo del sistema modellistico di ARPA, sia per la componente meteorologica che per quella chimica. ReCaS comprende un cluster HPC (High Performance Computing) costituito da 20 server, ciascuno con 40 core, per complessivi 800 core.

- i campi meteorologici di analisi, elaborati per il 2021 dal Servizio Agenti Fisici di ARPA Puglia (www.arpa.puglia.it/web/guest/servizio_meteo) e prodotti con il modello meteorologico prognostico WRF (Weather Research and Forecasting);
- gli inventari delle emissioni, INEMAR per la regione Puglia e ISPRA per le regioni limitrofe, opportunamente integrati ed aggiornati con le informazioni disponibili;
- le condizioni al contorno per il 2021, derivate dai sistemi modellistici previsionali operativi come QualeAria (per gli inquinanti in fase omogenea, gassosa e particellare, su base temporale tri-oraria). Per i metalli pesanti, le diossine e i furani sono state utilizzate le elaborazioni climatologiche prodotte dai modelli EMEP-MSCE.

Il sistema modellistico è stato applicato simultaneamente su un dominio comprendente la regione Puglia, con risoluzione spaziale pari a 4 km, e su un dominio, innestato nel precedente, comprendente le province di Brindisi, Lecce e Taranto³ (Figura 3) con risoluzione di 1 km.

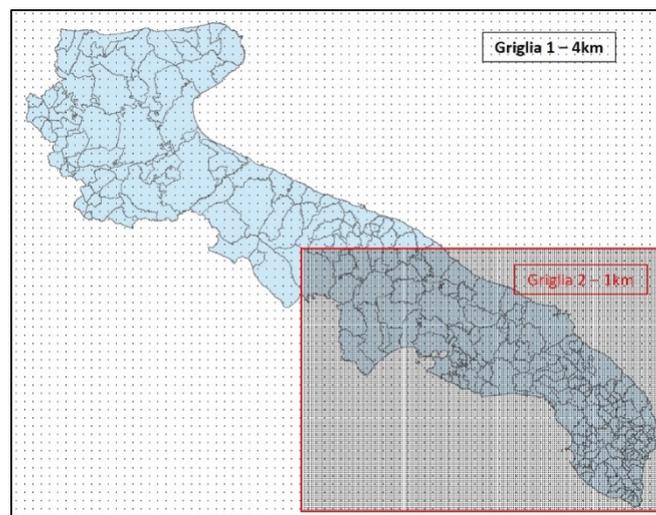


Figura 3: Domini di calcolo del sistema modellistico.

La discesa di scala è effettuata tramite la tecnica *two way nesting*, che consente di simulare le dinamiche di dispersione, trasporto e trasformazione degli inquinanti nel dominio a risoluzione migliore, tenendo conto sia degli effetti delle sorgenti emissive esterne e dei processi dominati dalle scale spaziali più grandi di quella urbana (come lo smog fotochimico), sia dei fenomeni locali di accumulo. Nella tabella successiva si riportano le caratteristiche spaziali dei due domini.

³La scelta di ricostruire con migliore dettaglio lo stato della qualità dell'aria nelle sole province di Brindisi, Lecce e Taranto, condizionata dalla indisponibilità di risorse di calcolo utili ad estendere tale ricostruzione all'intera regione, è stata effettuata per meglio rappresentare l'impatto delle aree industriali di Brindisi e Taranto.

Dominio	Denominazione	Estensione	Risoluzione spaziale
Griglia 1	Regione Puglia	316 x 248 km ²	4km x 4km
Griglia 2	Province di Lecce, Brindisi e Taranto	172 x 128 km ²	1km x 1km

Tabella 2 - Caratteristiche spaziali dei domini di simulazione

L'estensione verticale dei due domini è pari a 9050 m, con i seguenti 16 livelli di calcolo espressi in metri sopra l'orografia: 10, 35, 70, 120, 195, 305, 465, 695, 1025, 1505, 2200, 3205, 4550, 6050, 7550, 9050.

1.4.1 Input emissivo

L'input emissivo che ha alimentato la simulazione modellistica relativa al 2021 è sostanzialmente analogo a quello utilizzato per la valutazione modellistica condotta da ARPA Puglia per gli anni precedenti. Nello specifico il database emissivo utilizzato è stato realizzato partendo dall'inventario regionale INEMAR di ARPA Puglia su base comunale al 2010 e dall'inventario nazionale ISPRA su base provinciale al 2010. La base dati regionale è stata aggiornata al 2013 secondo i trend nazionali estrapolati dai dati annuali ISPRA⁴ per i settori della combustione non industriale (riscaldamento civile e commerciale-istituzionale, macrosettore 2), del trasporto su strada (macrosettore 7) e rispetto ai principali insediamenti industriali, per i quali i dati di partenza sono quelli utilizzati nelle VDS condotte ai sensi della L.R. 21/2012 per gli impianti indicati dal Regolamento Regionale n. 24 del 3 ottobre 2012.

Rispetto all'input emissivo utilizzato nelle valutazioni precedenti, il database regionale utilizzato nella presente valutazione è stato aggiornato per le sole emissioni (eoliche e da movimentazione), prodotte dai parchi, a servizio di Acciaierie d'Italia, nella configurazione al 31/12/2019.

Per una descrizione dettagliata dell'input emissivo si rimanda, quindi, alla relazione "Valutazione modellistica della Qualità dell'Aria nella regione Puglia con focus sul Salento - Anno 2016", pubblicata sul sito di ARPA al link <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>.

1.4.2 Condizioni al contorno

Lo stato della qualità dell'aria può essere influenzato anche dagli inquinanti prodotti da sorgenti esterne al dominio di simulazione o da processi dominati da scale spaziali più ampie di quella urbana (come lo smog fotochimico). Questi effetti possono essere opportunamente considerati attraverso le cosiddette "condizioni al contorno", che sono campi in concentrazione generalmente determinati da un sistema modellistico di previsione della qualità dell'aria a scala nazionale.

⁴ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/serie-storiche-emissioni>

Per stimare il flusso di inquinanti, che entra nel dominio regionale a risoluzione 4km, a ogni ora di simulazione per tutti i livelli, compreso il *top*, devono essere , quindi, fornite al modello FARM le condizioni al contorno, che sono costruite a partire dall'output di un altro modello fotochimico, che opera su una scala spaziale più vasta e con risoluzione peggiore. A tal fine sono stati utilizzati i campi tridimensionali prodotti dai sistemi modellistici QualeAria, per gli inquinanti in fase omogena gassosa e particellare (Figura 4), ed EMEP-MSCE per metalli pesanti, diossine e furani. I primi sono riferiti all'anno 2021 e sono disponibili su base temporale trioraria⁵; i secondi sono di tipo climatologico (giorno tipo mensile su base temporale trioraria) e sono stati pertanto opportunamente interpolati nel tempo al fine di produrre campi giornalieri per ciascun giorno dell'anno in esame.

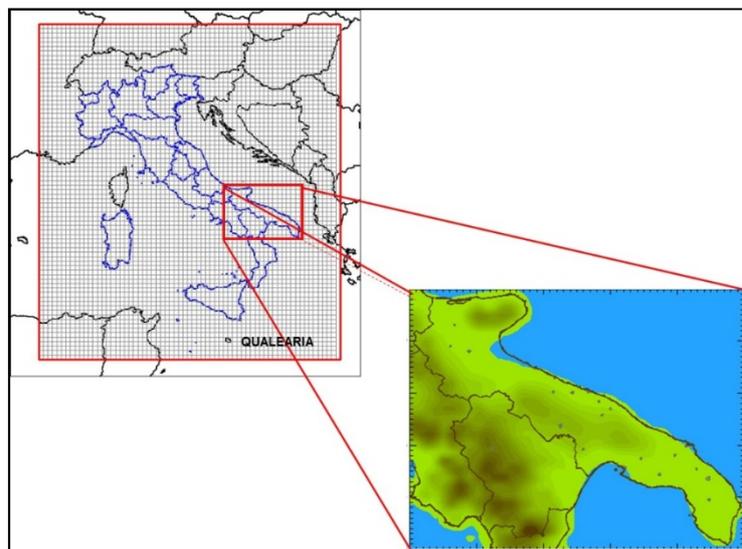


Figura 4: Schematizzazione della griglia di calcolo utilizzata dal sistema modellistico Quale Aria e dalla griglia di FARM.

1.4.3 Validazione dei risultati e Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico

Per garantire un uso corretto e adeguato dei modelli, l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) e il Centro di ricerca della Commissione europea (JRC) hanno costituito il gruppo di lavoro FAIRMODE con lo scopo di identificare e promuovere l'utilizzo di buone pratiche nelle attività di modellazione della qualità dell'aria. Per la valutazione dello stato della qualità tramite i modelli, il FAIRMODE raccomanda l'utilizzo per i modelli di obiettivi di qualità standardizzati, da utilizzare per valutare la qualità di una data applicazione modellistica, condotta nell'ambito delle direttive europee sulla qualità dell'aria.

⁵ Tali campi sono successivamente interpolati su base oraria nel corso della simulazione.

Nella scheda di approfondimento successiva si riporta la sintesi degli esiti della valutazione della performance della simulazione modellistica condotta per il 2021⁶. La qualità della simulazione è stata valutata con l'ausilio del DELTA TOOL (versione 6.0, 2020), un software di analisi statistica realizzato nell'ambito del FAIRMODE per valutare la performance del modello in applicazioni specifiche condotte proprio ai sensi del D. Lgs 155/2010. Tale software, ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica e dalle ARPA, si basa sul confronto statistico tra dati modellati e misurati dalle postazioni di monitoraggio della qualità dell'aria e offre una rapida valutazione delle prestazioni del modello in termini di vari indicatori e diagrammi statistici. Il DELTA TOOL tratta gli inquinanti PM₁₀, NO₂, O₃ e PM_{2.5}.

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO 1: VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE DEL SISTEMA MODELLISTICO

A cura di Annalisa Tanzarella e Ilenia Schipa - Ufficio di Modellistica - CRA

Il DELTA TOOL definisce un criterio di performance del modello (MQO) quale livello minimo di qualità che deve essere raggiunto dal modello per *policy use*. Questo criterio è definito sulla base dell'incertezza delle misure. Partendo dall'assunzione che il modello ha una buona performance quando ha un grado di incertezza confrontabile con quello delle corrispondenti misure, l'obiettivo di qualità del modello nel DELTA TOOL si raggiunge se l'indicatore di qualità del modello (MQI) risulta ≤ 1 per almeno il 90% delle stazioni disponibili. L'MQO è quindi espresso come $MQI_{90^\circ \text{ perc}} \leq 1$.

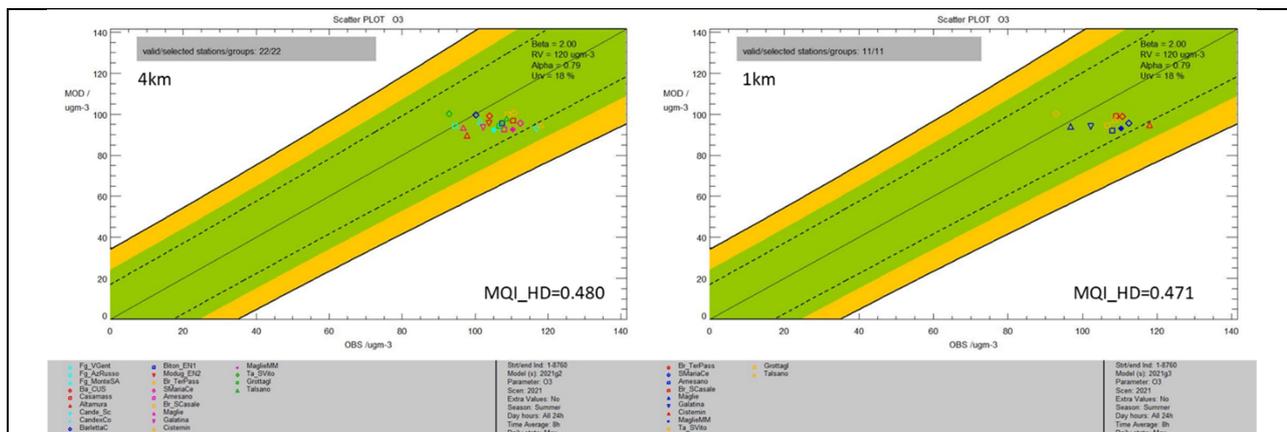
Tale criterio di performance del modello è attivato per O₃ (relativamente alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore), NO₂ (relativamente alla concentrazione oraria), PM₁₀ (relativamente alla concentrazione media giornaliera) e PM_{2.5} (relativamente alla concentrazione media giornaliera) sull'anno.

Riguardo alle stazioni di monitoraggio da considerare nel confronto, è importante osservare che nella stessa appendice del D. Lgs 155/2010 si precisa l'opportunità di considerare solo le centraline la cui rappresentatività risulti almeno confrontabile con la risoluzione spaziale adottata dal modello, poiché il modello non può essere in grado di riprodurre fenomeni che avvengono a scale inferiori alla risoluzione spaziale adottata. Si precisa inoltre che affinché i dati di una centralina di monitoraggio siano utilizzati dal DELTA TOOL è necessario che la centralina disponga almeno del 75% di dati validi del periodo temporale selezionato per la statistica. Quindi, la variabilità del numero di stazioni da considerare nel confronto per ogni inquinante è legata non solo al raggiungimento del 75% di dati validi, ma alla rappresentatività della centralina rispetto alla risoluzione spaziale adottata.

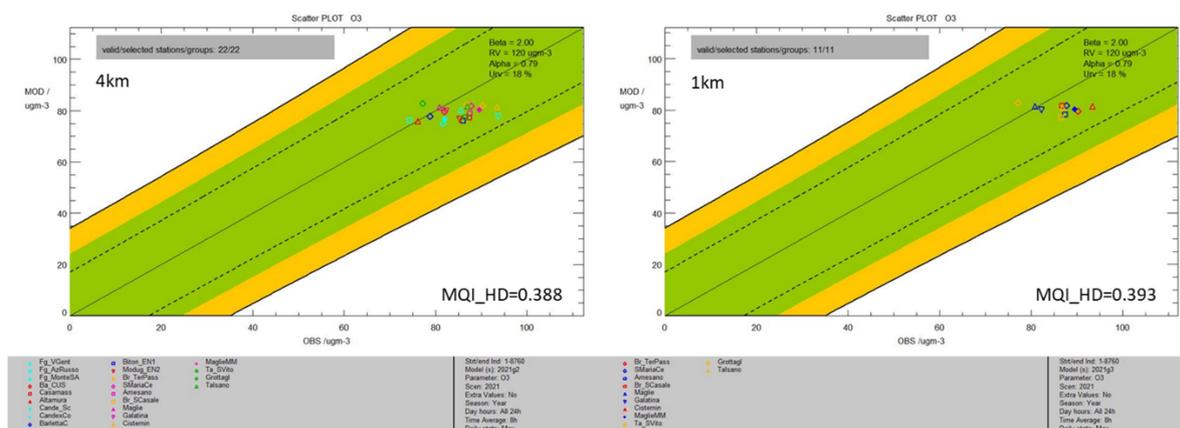
Si fa presente infine che, poiché il modello FARM non è in grado di ricostruire il contributo sul PM₁₀ prodotto dalle azevioni sahariane, nel set di dati modellati e misurati presso le stazioni di monitoraggio sono stati eliminati i dati corrispondenti ai giorni in cui si sono verificati superamenti dovuti a intrusioni sahariane.

Di seguito si riportano, quindi, i risultati del confronto in termini di *scatter plot* tra le concentrazioni modellate e misurate nei due domini di simulazione in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio, ottenuti con l'ausilio del DELTA TOOL. L'appartenenza di una centralina alla zona arancione indica il soddisfacimento dell'MQI; inoltre l'uso di analoghi colori per i simboli associati alle diverse centraline indica l'appartenenza di queste ad una stessa provincia. Il valore dell'MQI associato al 90° percentile delle stazioni (indicato in basso a destra in ogni *scatter plot*) risulta sempre minore di 1, soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità su entrambi i domini di simulazione per tutte le specie indicate.

⁶ I risultati della valutazione modellistica integrata con i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio saranno mostrati al par.3.



Scatter plot relativo ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ (µg/m³), per la sola stagione estiva (G-L-A) su entrambi i domini di simulazione.



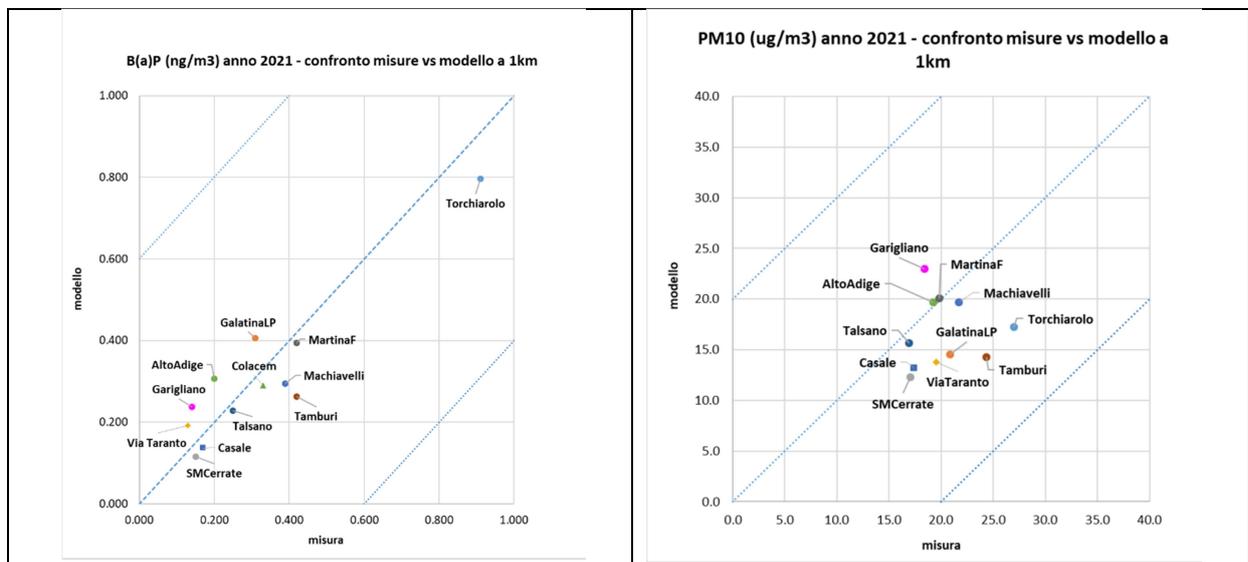
Scatter plot relativo ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ (µg/m³), per l'anno su entrambi i domini di simulazione.

Gli esiti della valutazione della performance condotta sulla simulazione 2021 con il DELTA TOOL dimostrano il soddisfacimento degli obiettivi di qualità per tutti gli inquinanti considerati.

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO 2: Confronto tra i dati misurati e modellati di Benzo(a)Pirene nel PM₁₀, ex D. Lgs. n. 155/2010 presso le postazioni della rete regionale ed in alcuni comuni delle province di Lecce, Brindisi e Taranto per l'anno 2021

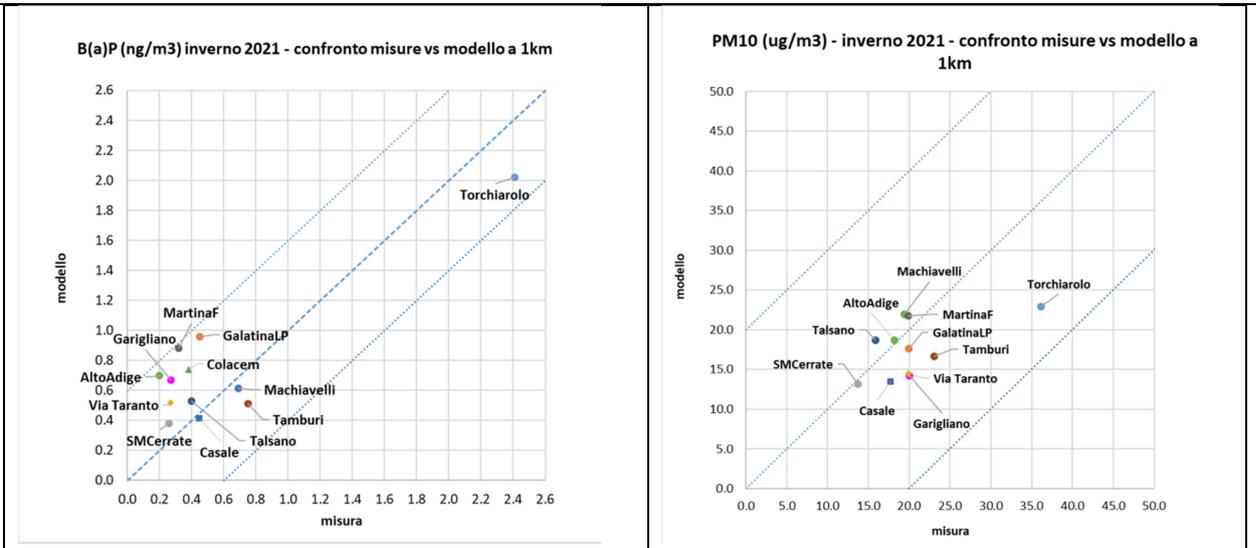
A cura di Ilenia Schipa - Ufficio di Modellistica - CRA

L'ufficio di QA di BR-LE-TA del CRA di ARPA Puglia ha effettuato, per il 2021, la consueta quantificazione del B(a)P sul PM₁₀ campionato presso alcune postazioni fisse di monitoraggio della QA. Nel grafico successivo si mostra il confronto in termini di *scatter plot* tra le concentrazioni medie misurate di B(a)P e il corrispondente dato medio modellato a 1 km di risoluzione spaziale, sia per l'anno solare che per il periodo invernale, nelle postazioni della RRQA. Lo stesso confronto è proposto anche per il PM₁₀ misurato dagli analizzatori in continuo presenti nelle postazioni monitoraggio, dove è effettuato il campionamento del B(a)P⁷. Nei suddetti grafici si tiene conto inoltre dell'incertezza relativa massima, assegnata alle tecniche di modellizzazione, pari al 60% per il B(a)P e al 50% per il PM₁₀. Tale incertezza è definita nell'Allegato I e nell'Appendice III del D. Lgs. 155/2010 e si riferisce solo alle stime modellate mediate sull'anno. I valori massimi dell'incertezza sono stati, quindi, utilizzati per definire il range entro il quale la differenza tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate si può considerare accettabile. È opportuno precisare che per il B(a)P lo stesso criterio di accettabilità, valido sulla media annuale, è stato utilizzato anche per i confronti condotti su periodi temporali più brevi (media invernale, media periodo sul periodo di campionamento, ecc.), poiché in letteratura non sono disponibili criteri/obiettivi di performance specifici, validi sul breve periodo. Quindi, per i confronti condotti su periodi temporali inferiori a un anno, il criterio di accettabilità, così come definito per il B(a)P, ha una valenza puramente indicativa.



Confronto (*scatter plot*) tra le concentrazioni medie annuali, misurate e modellate di B(a)P e PM₁₀, presso alcuni siti della RRQA nel 2021. Si fa presente che la centralina Lecce - *Garigliano* ha un'efficienza strumentale < 90%.

⁷ Nel caso del confronto misura/modello per il B(a)P, si evidenzia che la media annuale misurata è calcolata su un numero complessivo di giorni di campionamento molto variabile a seconda della postazione considerata (la percentuale complessiva di copertura annuale delle misure giornaliere nei siti di indagine deve risultare per le misurazioni indicative ≥14% e per le misurazioni in siti fissi ≥33%), mentre la media annuale modellata è calcolata su tutti i 365 giorni dell'anno. Inoltre, per i confronti nel periodo invernale, laddove non disponibili le concentrazioni medie mensili misurate a dicembre, gennaio e febbraio, si è considerata la misura riferita al solo mese di gennaio.

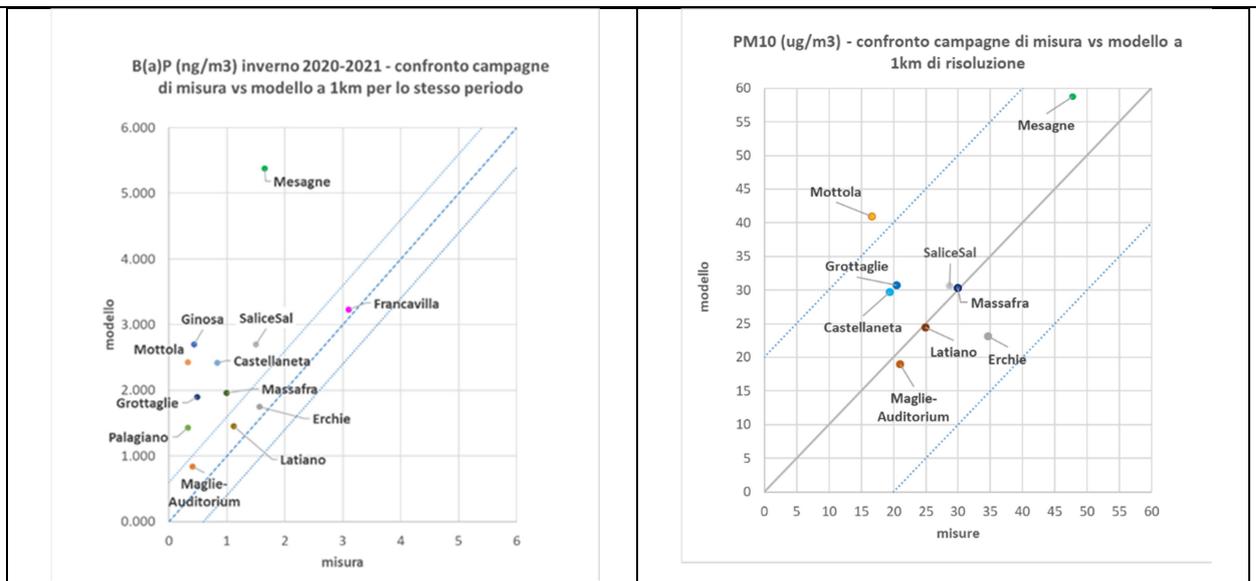


Confronto (*scatter plot*) tra le concentrazioni medie invernali, misurate e modellate di B(a)P e PM₁₀, in alcuni siti della RRQA nel 2021. Si fa presente che la centralina Lecce -*Garigliano* ha una efficienza strumentale < 90%.

Il confronto su base annuale per il B(a)P si può ritenere soddisfacente ed evidenzia come nelle postazioni di monitoraggio, sia per il modello che per le misure, non siano presenti superamenti del valore obiettivo previsto dalla normativa. Il valore più elevato viene misurato presso la postazione Don Minzoni, ubicata a Torchiarolo, che è noto essere influenzata dall'impatto prodotto dalle emissioni da riscaldamento residenziale a biomassa legnosa. In generale si osserva un buon accordo tra dato modellato e dato misurato, sia per le concentrazioni medie annuali che invernali di B(a)P: buona parte dei punti si distribuiscono, infatti, lungo la bisettrice e tutti i dati modellati rientrano all'interno del range di variabilità ammesso ($\pm 60\%$). Per il PM₁₀ si rileva, invece, una tendenza da parte del modello a sottostimare le concentrazioni misurate, sottostima più evidente nel periodo invernale, sebbene anche in questo caso la prestazione del modello si possa ritenere soddisfacente.

L'ufficio di QA di BR-LE-TA del CRA nel corso del 2020 e del 2021 ha altresì condotto specifiche campagne di monitoraggio per il B(a)P, sia invernali che estive, in diversi comuni delle province di Brindisi, Lecce e Taranto presso i quali i risultati delle valutazioni modellistiche condotte negli anni precedenti avevano evidenziato il rischio di superamento del valore obiettivo stabilito dalla normativa vigente per la media annua di questo inquinante. La disponibilità di questi dati ha permesso di avviare una valutazione più precisa dell'abilità del sistema modellistico di ricostruire le concentrazioni di B(a)P, in particolare nel periodo invernale.

Di seguito, quindi, si mostrano gli *scatter plot* di confronto tra le concentrazioni modellate e misurate sia di B(a)P che di PM₁₀, mediate sul rispettivo periodo di campionamento sia per il 2020 che per il 2021, in tutte le postazioni presso le quali sono state condotte nel corso della stagione invernale le campagne di misura.



Confronto (scatter plot) tra le concentrazioni misurate e modellate di B(a)P e PM₁₀, mediate sul periodo di campionamento del B(a)P.

Gli esiti del confronto mostrano risultati diversi per il PM₁₀ e per il B(a)P. Per il B(a)P, infatti, l'accordo tra le concentrazioni modellate e misurate, mediate sul periodo di campionamento, risulta all'interno del range di accettabilità solo per alcune postazioni (Latiano, Erchie, Francavilla Fontana e Maglie). Per tutte le altre si osserva una tendenza del modello a sovrastimare il dato misurato. Relativamente al PM₁₀, invece, tutti i valori rientrano all'interno del range di accettabilità e si distribuiscono attorno alla bisettrice, ad eccezione del punto di campionamento situato a Mottola. Questo diverso comportamento fa ritenere che la sovrastima del B(a)P possa essere legata alla qualità della stima emissiva, condizionata dall'utilizzo di un fattore di emissione meno solido rispetto a quello dei macroinquinanti.

Il confronto evidenzia, inoltre, come la qualità della ricostruzione modellistica, sia per il PM₁₀ che per il B(a)P, dipenda dall'ubicazione del campionamento. Una migliore performance del modello si rileva, in genere, nei casi in cui il campionamento è avvenuto all'interno dell'area urbanizzata dove il campionario è circondato da potenziali sorgenti emissive (comignoli domestici). Tali situazioni sono riprodotte in modo più realistico dal modello FARM, che distribuisce in modo omogeneo l'emissione sulle celle di calcolo utilizzando quale criterio di spazializzazione la densità di residenza. Di contro, presso le postazioni in cui i campionamenti sono avvenuti a margine del tessuto urbano, la rappresentazione per cella si rivela meno idonea a ricostruire la variabilità emissiva.

Pertanto, il confronto per il B(a)P, condotto nelle postazioni di campionamento situate all'interno delle aree urbanizzate, può essere utile a stimare un fattore correttivo da utilizzare per migliorare la valutazione modellistica ad 1km. Ciononostante è opportuno aggiungere che lo strumento modellistico che si sta utilizzando, stante la natura primaria del B(a)P prodotto da tali sorgenti e la tipologia di modello idoneo a rappresentare scale non inferiori al km, potrebbe comunque essere poco adatto a rappresentare sia gli eventuali hot spot presenti all'interno dell'area urbana sia le disomogeneità legate alla variabilità del tessuto urbano.

La valutazione statistica condotta con il DELTA TOOL ha evidenziato per gli inquinanti PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 e O_3 la capacità del modello di ricostruire adeguatamente le concentrazioni misurate sia sulla griglia regionale che su quella a scala urbana, poiché il criterio di qualità risulta essere sempre soddisfatto. Ciononostante, al fine di migliorare la ricostruzione modellistica dei livelli di concentrazione e la relativa distribuzione spaziale, il D.Lgs 155/2010 prevede che le simulazioni modellistiche siano comunque combinate con i dati misurati. Tale integrazione, denominata assimilazione, rappresenta la modalità migliore per giungere ad una valutazione realistica dello stato di qualità dell'aria, valorizzando al massimo ogni tipo di misura o stima, ciascuno col proprio grado di precisione e di affidabilità.

Nelle tecniche di assimilazione il campo bidimensionale di concentrazione, prodotto dal modello chimico, rappresenta il campo di *background* con il quale viene inizializzata la procedura di interpolazione; tale campo viene successivamente modificato con l'introduzione delle osservazioni nella griglia del modello attraverso uno specifico schema di interpolazione.

Nel presente lavoro l'assimilazione dei dati misurati dalle stazioni di monitoraggio della rete, gestita da ARPA, nei campi di concentrazione al suolo prodotti dal modello FARM, è stata effettuata mediante l'utilizzo del modulo ARpMEAS (ARchive plus MEASurements), sviluppato da Arianet, che implementa metodi basati sia su tecniche cosiddette di "observational nudging" (Stauffer e Seaman, 1990) che di "objective analysis" (es. "Optimal Interpolation").

Nello specifico è stato utilizzato il metodo dell'*Optimal Interpolation* (OI), che permette di interpolare le osservazioni localizzate su un dominio, utilizzando, come prima approssimazione, il campo di fondo (o di *background*) prodotto dal modello. Dal momento che sia le osservazioni che il campo di fondo possono contenere errori, l'OI costruisce il campo di analisi minimizzando le varianze degli errori delle osservazioni e del campo di fondo. Il campo ottenuto è ottimale nel senso che ha la varianza minima⁸.

L'assimilazione ha coinvolto gli inquinanti NO_2 , SO_2 , PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , CO e C_6H_6 monitorati dalle reti di monitoraggio della QA gestite da ARPA. In particolare, l'assimilazione è avvenuta su base oraria per le specie NO_2 , SO_2 , O_3 , CO e C_6H_6 , mentre per le specie PM_{10} e $PM_{2.5}$ è avvenuta su base giornaliera. Si fa presente che per alcune stazioni di monitoraggio (ad es. *Mesagne, San Pietro Vernotico, Arnesano, Campi S.na, Talsano*, ecc.), caratterizzate da un andamento temporale tipicamente stagionale per alcuni inquinanti (ad es. PM_{10}), si è scelto di attribuire un raggio di influenza differente per la stagione invernale. Inoltre dal processo di assimilazione sono state escluse le misure di PM_{10} e $PM_{2.5}$ acquisite nei giorni in cui si sono

⁸ La messa a punto di tale metodo richiede innanzitutto la definizione/ottimizzazione dei parametri che gestiscono l'assimilazione, come la rappresentatività/raggio di influenza dei punti di misura e la correlazione orizzontale e correlazione verticale, definiti in base alle caratteristiche dei singoli inquinanti e delle singole stazioni di monitoraggio. Non esiste infatti un criterio standard di assegnazione del raggio di influenza ad ogni punto di misura, ma la scelta va fatta per ogni caso specifico in funzione quindi della cosiddetta rappresentatività del punto di misura stesso; quest'ultima è stata assegnata in base alla tipologia del punto di misura (ad esempio traffico, industriale o di fondo) e alla caratteristica della zona (ad esempio urbana, rurale, suburbana).



registrati superamenti del valore limite per effetto delle avvezioni sahariane, dal momento che la normativa prevede lo scorporo di tali superamenti per la valutazione della conformità dello stato della QA per il valore limite giornaliero prescritto per il PM_{10} .

L'assimilazione è stata effettuata sia sui campi di concentrazione al suolo relativi al dominio regionale (risoluzione di 4 km x 4 km) che su quelli relativi al dominio su scala urbana (risoluzione di 1km x 1km).

Nella successiva Tabella 3 si indicano con il simbolo "x" le specie chimiche assimilate per ciascuna centralina, sia sul dominio regionale che su quello locale.

Provincia	stazione	Tipo zona	tipo stazione	Dominio regionale	Dominio locale	PM2.5	PM10	NO2	O3	CO	C6H6	SO2
FG	Fg-Manfredonia	Suburbana	Traffico	x			X	X		X	X	
FG	Monte S. Angelo	Rurale	Fondo	x			X	X	X			
FG	Candela Scuola	Suburbana	Fondo	x			X	X	X	X	X	X
FG	Candela Ex Comes	Rurale	Fondo	x			X	X	X	X		
FG	Az. Russo	Rurale	fondo	x		X	X	X	X			
FG	Foggia Via Rosati	Urbana	fondo	x		X	X	X		X	X	
FG	Foggia Via Gentile	Suburbana	fondo	x		X	X	X	X	X		
BAT	Andria	Urbana	Traffico	x		X	X	X		X	X	
BAT	Via Casardi - C. Sportivo	Urbana	fondo	x		X	X	X	X			X
BAT	Biton_EN1	Suburbana	industriale	x		X	X	X	X	X		
BA	CUS	Suburbana	Traffico	x			X	X	X			
BA	Carbonara	Suburbana	Fondo	x			X	X				
BA	Piazza Kennedy	urbana	Fondo	x			X	X	X			
BA	Casamassima	Suburbana	Fondo	x		X	X	X	X			
BA	Monopoli	Suburbana	Traffico	x		X	X	X		X	X	
BA	Altamura	Suburbana	Fondo	x		X	X	X	X			
BA	Monopoli ItalGreen	Suburbana	Traffico	x		X	X	X				X
BA	Caldarola	urbana	traffico	x		X	X	X		X	X	
BA	Corso Cavour	urbana	traffico	x		X	X	X		X	X	
BA	Modug_EN2	Suburbana	industriale	x		X	X	X	X	X		
BA	Modug_EN3	urbana	industriale	x			X	X		X		
BA	Modug_EN4	Suburbana	industriale	x			X	X		X		
BA	PaloC_EN5	Suburbana	industriale	x			X	X		X		
TA	STATTE sc.elementare	Suburbana	Industriale	x	x		X	X		X		X
TA	S.VITO Colonia Marina	Suburbana	fondo	x	x		X	X	X	X		X
TA	Grottaglie	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			
TA	Talsano	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			X
TA	SS7 Wind	Rurale	industriale	x	x		X	X				X
TA	Paolo VI -CISI	Rurale	Industriale	x	x	X	X	X		X	X	X
TA	Molfetta Verdi	urbana	traffico	x	x		X	X			X	
TA	TA V. Archimede	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X		X		X
TA	TA V. Machiavelli	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X		X	X	X
TA	TAR v. Alto Adige	Urbana	Traffico	x	x	X	X	X		X	X	X
TA	Martina Franca	Urbana	Traffico	x	x		X	X			X	
TA	Massafra (TA) Via Frappietri	Urbana	industriale	x	x		X	X			X	X
TA	TAMBURI	Urbana	industriale	x	x	X	X	X				X
BR	S. Pancrazio S.	Suburbana	Fondo	x	x		X	X				
BR	P.za San Giusto Casale	Urbana	Fondo	x	x	X	X	X	X			
BR	S.I.S.R.I.	Suburbana	Industriale	x	x		X	X		X	X	X
BR	Lendinuso	Rurale	Industriale	x	x		X	X				X
BR	Enel Torchiarolo	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X				X
BR	Cisternino	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			X
BR	S. Pietro Vernotico	Suburbana	Industriale	x	x		X	X				
BR	Terminale Passeggeri	Suburbana	Industriale/traffico	x	x	X	X	X	X	X	X	X
BR	Via dei Mille	Urbana	traffico	x	x		X	X			X	
BR	Franca Villa F.na Via F. Filzi	Suburbana	Traffico	x	x			X			X	
BR	Ceglie - Messapica	Suburbana	Fondo	x	x	X	X	X		X	X	X
BR	Via Crati-Rione Perrino	Suburbana	Fondo	x	x		X	X		X		X
BR	Via Taranto	Urbana	Traffico	x	x	X	X	X		X	X	
BR	Via Cappuccini	Urbana	Traffico	x	x		X	X		X		X
BR	Mesagne	Suburbana	Fondo	x	x		X	X				
BR	Torchiarolo	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X		X	X	X
LE	Via Garigliano	Urbana	Traffico	x	x	X	X	X		X	X	
LE	Piazza Libertini	Urbana	Traffico	x	x	X	X	X		X	X	
LE	Villa Bandassarre	Suburbana	Fondo	x	x		X	X				
LE	Arnesano	Suburbana	Fondo	x	x		X		X			
LE	Maglie	Suburbana	Traffico	x	x	X		X	X	X		X
LE	Campi Salentina	Suburbana	Fondo	x	x	X	X	X				
LE	S.MARIA CERRATE	Rurale	Fondo	x	x	X	X	X	X			
LE	Surbo-Enel	Rurale	Industriale	x	x		X	X				X
LE	Galatina	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X	X	X		
LE	Maglie Auditorium	Suburbana		x	x		X	X	X	X	X	X

Tabella 3 - Elenco delle stazioni di monitoraggio e delle specie assimilate

2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE

In questo paragrafo si riporta una sintesi delle condizioni meteorologiche che hanno interessato il territorio regionale nel 2021. L'attenzione è stata dedicata ai parametri atmosferici vento, temperatura precipitazione e radiazione solare, che possono influenzare la dispersione e la rimozione degli inquinanti o determinare condizioni favorevoli alla formazione di inquinanti secondari. Per caratterizzare le condizioni meteorologiche osservate nel 2021, l'analisi è stata sviluppata utilizzando come termine di confronto sia i dati meteorologici relativi all'anno 2020 che i dati climatologici SCIA⁹.

A tale scopo, sono stati elaborati i dati meteorologici acquisiti nel 2021 dalle stazioni di monitoraggio della rete ARPA. Per le province di Foggia e Lecce sono state individuate le centraline meteorologiche posizionate presso le sedi dei Dipartimenti Provinciali (DAP) di ARPA. Per l'area di Taranto è stata considerata la stazione della rete regionale di qualità dell'aria, sita a Capo San Vito, dotata anche di strumentazione di tipo meteorologico.

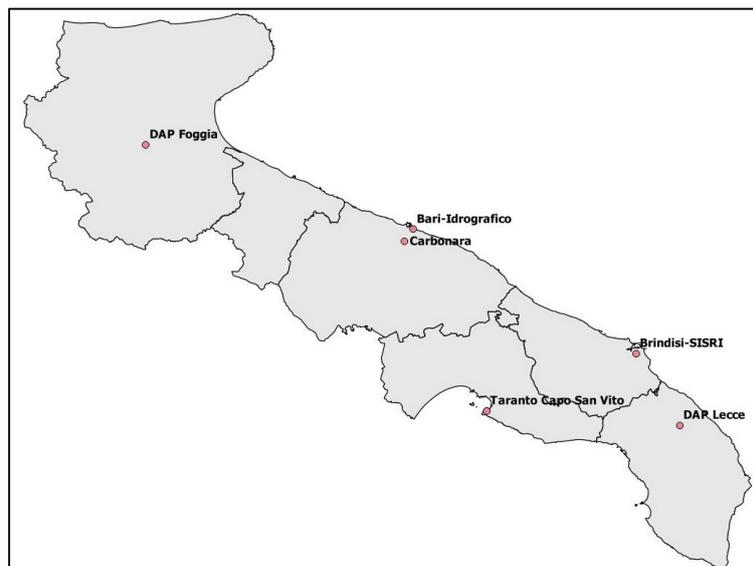


Figura 5: Localizzazione delle centraline considerate per la caratterizzazione della situazione meteorologica per il 2021

Per quanto riguarda la caratterizzazione meteorologica dell'area barese, non essendo disponibile un'unica postazione con tutti i parametri meteorologici di interesse, è stata considerata anche la stazione denominata "Bari-Idrografico" del Centro Funzionale Decentrato - Protezione Civile Regione Puglia, posizionata lungo la costa barese ad una distanza di circa 5km dalla centralina di ARPA Puglia (Figura 6), i cui dati sono stati forniti dal Servizio Protezione Civile della Regione Puglia. Di tale stazione sono stati

⁹ SCIA è il sistema nazionale per la raccolta, elaborazione e diffusione di dati climatici, realizzato dall'ISPRA e alimentato con i dati degli organismi regionali che si occupano di monitoraggio dei parametri meteorologici (<http://www.scia.isprambiente.it>).

utilizzati i dati di vento e di precipitazione, mentre per i dati di temperatura e radiazione solare globale si è fatto riferimento alla stazione di monitoraggio ARPA della qualità dell'aria denominata *Bari-Carbonara*.

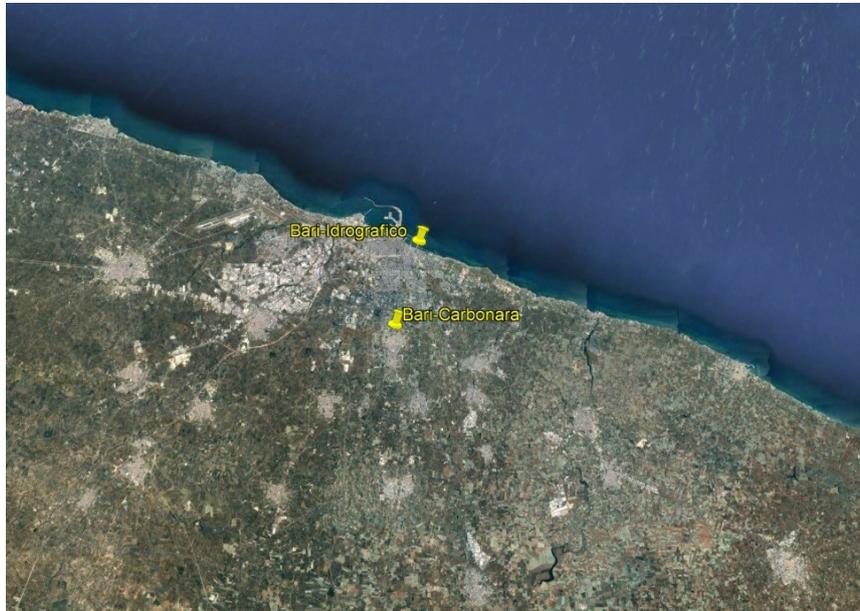


Figura 6: Localizzazione delle centraline di Carbonara e Bari Idrografico.

In Tabella 4 si specificano le caratteristiche delle suddette centraline. In Tabella 5, invece, per ogni stazione meteorologica e per ciascun parametro si riportano le percentuali di validità dei dati misurati nel corso del 2021. È opportuno osservare che per la maggior parte delle centraline si rileva una disponibilità di dati validi superiore al 75%; fanno eccezione la centralina di Lecce per il parametro “radiazione globale” e la stazione *Bari-Carbonara*, come già detto, per l’intensità e la direzione del vento. Per quest’ultima, quindi, sono state considerate le misure di vento della stazione meteo “Bari-Idrografico” appartenente alla rete di monitoraggio della Protezione Civile regionale. Inoltre per la precipitazione, pur essendo presenti i dati misurati dalla stazione *Bari-Carbonara* in una percentuale pari al 91%, si è preferito utilizzare quelli di Bari-Idrografico perché disponibili con una migliore copertura (100%).

STAZIONE	PROV.	COORDINATE WGS84-UTM33		ALTEZZA sensori	PARAMETRI MISURATI
		X_UTM (km)	Y_UTM (km)	m	
Foggia (ARPA)	FG	545,749	4589,447	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)
Bari - Idrografico (Protezione Civile)	BA	657,991	4553,753	30	velocità e direzione del vento (ogni 10 minuti), temperatura, umidità relativa (ogni 30 minuti), precipitazione (ogni 5 minuti)
Carbonara (ARPA)	BA	656,837	4548,966	5	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 60 minuti)
Taranto - Capo San Vito (ARPA)	TA	688,791	4477,122	10	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 60 minuti)
Brindisi - SISRI (ARPA)	BR	751,636	4501,354	10	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 60 minuti)
Lecce (ARPA)	LE	769,867	4470,960	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)

Tabella 4 - Caratteristiche delle centraline meteorologiche.

	2021				
	Temperatura	Precipitazione	Vel. vento	Dir.vento	Rad.glob.
FOGGIA	99%	100%	99%	99%	99%
BARI-Idrografico	100%	100%	100%	100%	
Carbonara	100%	91%	0%	0%	99%
TARANTO-S.VITO	99%	100%	99%	99%	99%
BRINDISI -SISRI	99%	99%	94%	99%	99%
LECCE	100%	100%	99%	100%	9%

Tabella 5 - Percentuali di dati validi per ciascuna centralina e ciascun parametro.

Per ciascuno di tali parametri sono state confrontate le elaborazioni statistiche relative all'anno in esame e all'anno precedente. Laddove possibile, è stato effettuato anche un confronto con i dati climatologici. Come riferimento climatologico, sono stati utilizzati i dati SCIA disponibili per le aree in esame.

Tutte le elaborazioni ed i confronti effettuati sono riportati in dettaglio nell'Allegato 2 alla presente Relazione.

Nella Tabella 6 sono riportate le stazioni SCIA prese in considerazione nella presente analisi per la loro vicinanza ai siti di monitoraggio delle stazioni ARPA. Per ciascuna stazione sono riportate le coordinate (UTM33-WGS84), l'ente gestore, le variabili atmosferiche in esame ed il relativo periodo di disponibilità dei dati. In rosso sono indicate le variabili per le quali la disponibilità di dati è inferiore a 10 anni. Nelle elaborazioni presentate di seguito è stato considerato il dato climatologico laddove il periodo di mediazione è risultato superiore ai 10 anni.

Dati SCIA							
stazione	Ente	coord.X	coord.Y	variabile	disponibilità dati	periodo di mediazione	
Bari Palese Macchie	AM	649654	4555053	Tmedia	1951-2018	1988-2018	30 anni
				PREC cum	1951-2018	1988-2018	30 anni
Brindisi	AM	749424	4504089	Tmedia	1951-2018	1988-2018	30 anni
				PREC cum	1951-2018	1988-2018	30 anni
Lecce	AM	768001	4458046	Tmedia	2005-2018 con buchi	<10 anni	
				PREC cum	2005-2018 con buchi	<10 anni	
Foggia	UCEA UCST	545939	4588859	Tmedia	1975-1993	1975-1993	18 anni
				PREC cum	1975-1993	1975-1993	18 anni
Taranto	UCEA UCOS	695040	4480245	Tmedia	1961-2012	1978-2008	30 anni
				PREC cum	2000-2008	<10 anni	

Tabella 6 - Stazioni climatologiche SCIA.

Le elaborazioni statistiche condotte hanno evidenziato che, dal punto di vista anemologico, per tutte le postazioni considerate la distribuzione annuale dell'intensità del vento per settore di provenienza, riferita al 2021, è risultata abbastanza simile a quella del 2020 con la sola eccezione della postazione di Lecce. Per questa postazione si rileva, infatti, una significativa variazione nella distribuzione. Contrariamente a quanto osservato negli anni precedenti, risultano dominanti le componenti di vento proveniente dai quadranti meridionali.

Su base annuale si rileva un lieve ma significativo aumento della velocità media del vento e una diminuzione della percentuale di calme di vento per le stazioni di Foggia e Bari-Idrografico. Per la postazione Taranto - Capo San Vito si rileva invece una lieve riduzione della velocità media del vento. Per le altre postazioni non si osservano variazioni significative.

Con riferimento al quantitativo di precipitazione valutato su base annuale, nel 2021 si riscontra una generale diminuzione rispetto all'anno precedente, particolarmente significativa in tutte le postazioni ad esclusione di quella di Brindisi, dove la riduzione è di soli 15mm. Tale riduzione si è avuta in particolare nel periodo invernale, ad eccezione di Bari-Idrografico e Foggia, e nella stagione estiva. La stagione autunnale è risultata comunque più piovosa (ad eccezione di Capo San Vito) rispetto a quella dell'anno precedente.

Si rileva, d'altro canto, un aumento generale del numero di giorni piovosi, con particolare riferimento alle postazioni di Brindisi e Foggia. Questo aumento si è in particolare avuto nel corso della stagione invernale (ad esclusione di Capo San Vito) e nella stagione autunnale. Si nota invece nel periodo estivo del 2021 una riduzione generale degli eventi piovosi, verificatisi già in numero limitato nel 2020.

Per quanto riguarda la temperatura, in tutte le postazioni per le quali è disponibile il dataset climatologico, si osservano per il 2021 valori medi mensili superiori ai valori medi climatologici, fatta eccezione per il mese di ottobre per le stazioni di Brindisi e Foggia e anche per i mesi di marzo e aprile per Brindisi. Si rileva inoltre



una diminuzione della temperatura media nel periodo invernale nelle postazioni di Brindisi, Foggia e Bari-Carbonara ed un aumento generale in tutte le postazioni nel periodo estivo.

Per la radiazione globale, infine, in corrispondenza di tutte le postazioni si nota per il 2021 una riduzione della radiazione globale nei mesi di luglio, settembre, ottobre, e novembre, e un aumento nei mesi di maggio e giugno (quest'ultimo ad eccezione di Taranto-Capo San Vito).

In definitiva, la maggiore ventosità riscontrata nel 2021 rispetto al 2020 nelle postazioni Bari-Idrografico e Foggia, unita alla riduzione delle calme di vento (particolarmente rilevante a Bari) e all'aumento del numero di eventi piovosi (in particolare in inverno), potrebbe aver determinato in queste aree condizioni meteorologiche più favorevoli alla diluizione e rimozione degli inquinanti.

Nel periodo estivo si sono invece verificate su tutta la regione condizioni meteorologiche favorevoli alla formazione dell'ozono troposferico.

3 LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

3.1 PM₁₀

Il PM₁₀ è l'insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (10⁻⁶ m). Il PM₁₀ può penetrare nell'apparato respiratorio, generando impatti sanitari la cui gravità dipende, oltre che dalla quantità, dalla tipologia delle particelle: numerose sostanze chimiche, come gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e i metalli (quali piombo, nichel, cadmio, arsenico, vanadio, cromo) possono aderire alla superficie delle polveri sottili e con esse essere veicolate all'interno dell'organismo della popolazione esposta. Il PM₁₀, in base all'origine, si distingue in primario, generato direttamente da una fonte emissiva (antropica o naturale) e secondario, derivante cioè da altri inquinanti presenti in atmosfera attraverso reazioni chimiche. Il D. Lgs 155/10 fissa due valori limite per il PM₁₀: la media annua di 40 µg/m³ e la media giornaliera di 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte nell'anno solare.

A titolo indicativo, vengono riportati anche i valori di concentrazione indicati nelle Linee Guida edite dall'OMS nel 2021 che, come noto, non hanno cogenza normativa.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE D. LGS. 155/2010	LINEE GUIDA QUALITÀ DELL'ARIA OMS 2021
Anno civile	40 µg/m ³	15 µg/m ³
1 giorno	50 µg/m ³ da non superare più di 35 volte per anno civile	45 µg/m ³ da non superare più di 3 volte in un anno civile

3.1.1 Dati di qualità dell'aria

Come già negli anni precedenti, anche nel 2021, il valore limite annuale di 40 µg/m³ è stato rispettato in tutte le stazioni (Figura 7). La concentrazione più elevata (29 µg/m³) è stata misurata nella stazione *Torchiarolo-Don Minzoni* (BR). Il valore medio registrato sul territorio regionale è stato di 21 µg/m³, in linea con il dato dell'ultimo biennio.

Dalla stessa figura 7 è possibile invece notare che nella quasi totalità delle stazioni di monitoraggio è stato superato il valore medio annuo di 15 µg/m³ indicato nelle Linee Guida 2021 dell'OMS.

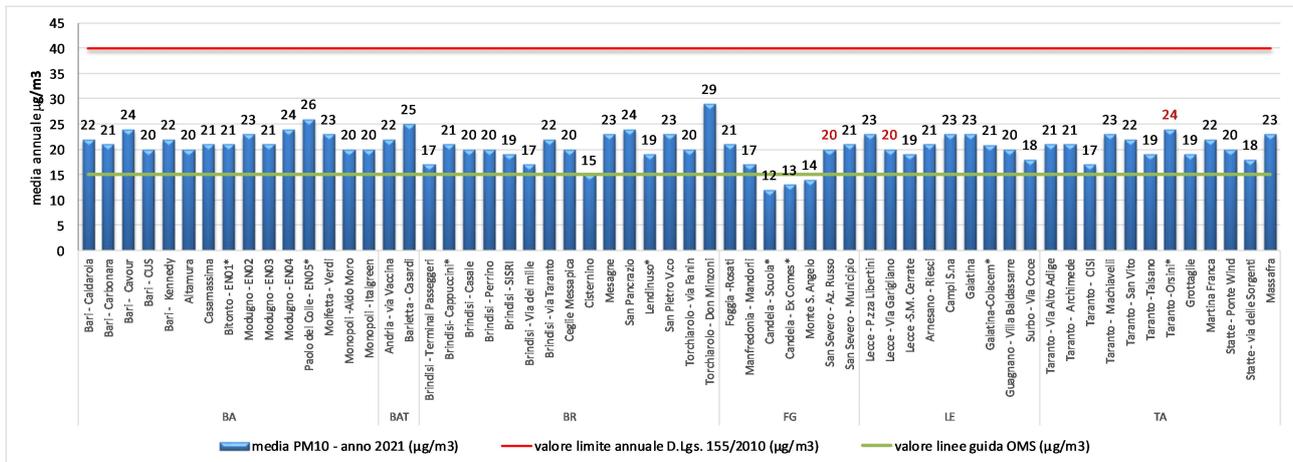


Figura 7: Valori medi annui di PM₁₀ (µg/m³) – 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punti di misura che non hanno raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riportano a titolo conoscitivo

Nel 2021 in nessuna stazione di monitoraggio è stato superato il limite dei 35 superamenti annui del valore giornaliero di 50 µg/m³. Il numero più alto di superamenti (31), al lordo del contributo delle avvezioni di polveri desertiche, è stato registrato nella stazione *Torchiarolo-Don Minzoni* (BR) (Figura 8).

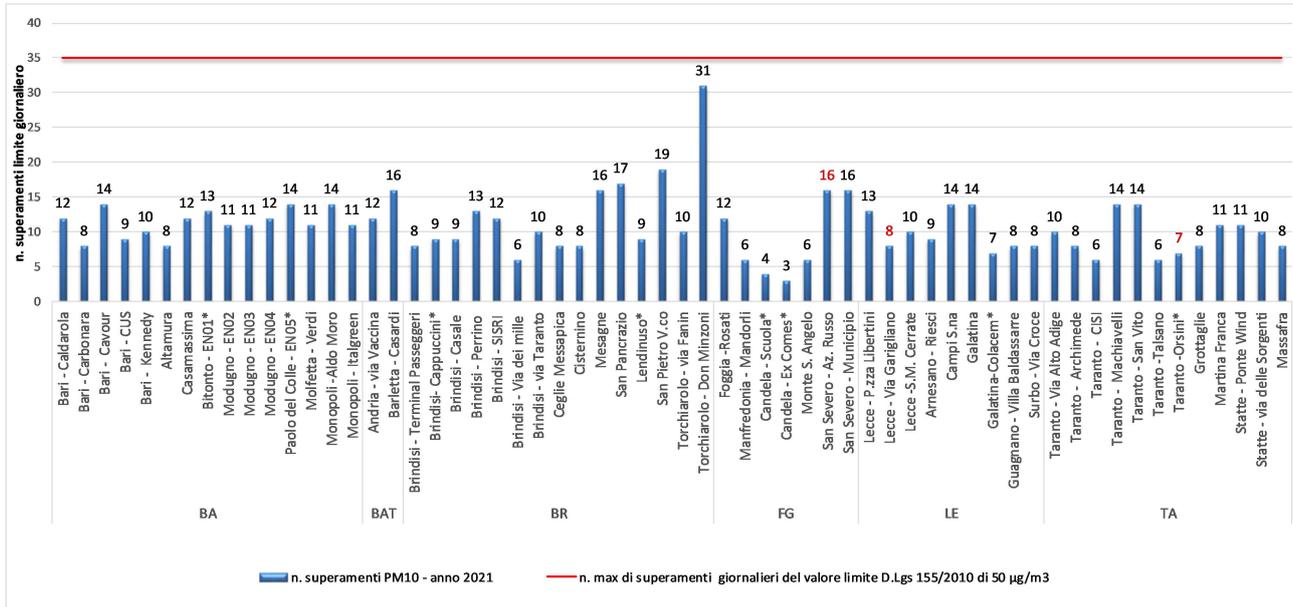


Figura 8: Superamenti del limite giornaliero per il PM – 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punti di misura che non hanno raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riportano a titolo conoscitivo

SCHEDA DI APPROFONDIMENTO 3: CONTRIBUTO DELLE AVVEZIONI DI POLVERI SAHARIANE ALLE CONCENTRAZIONI DI PM₁₀

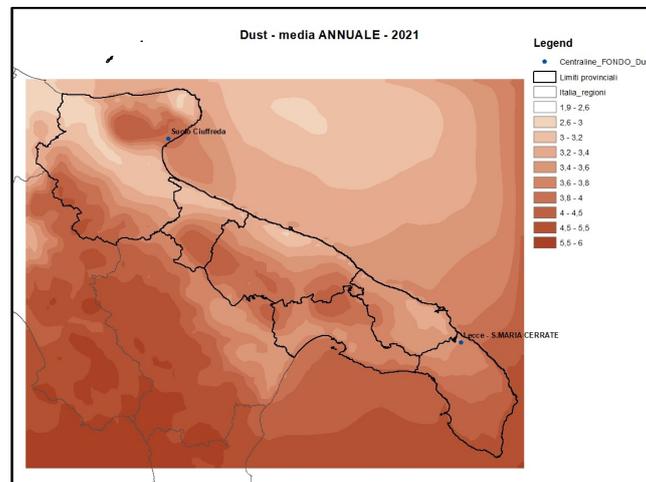
Livia Trizio – Ufficio Qualità dell’aria di Bari – CRA

Francesca Intini – Ufficio Modellistica CRA

Le intrusioni di polvere sahariana nel bacino del Mediterraneo possono provocare un anomalo innalzamento dei valori di concentrazione del PM₁₀ e in alcuni casi contribuire al superamento dei valori limite previsti dalla normativa. È importante quindi identificare questo contributo, che può avere un impatto non trascurabile sul territorio regionale.

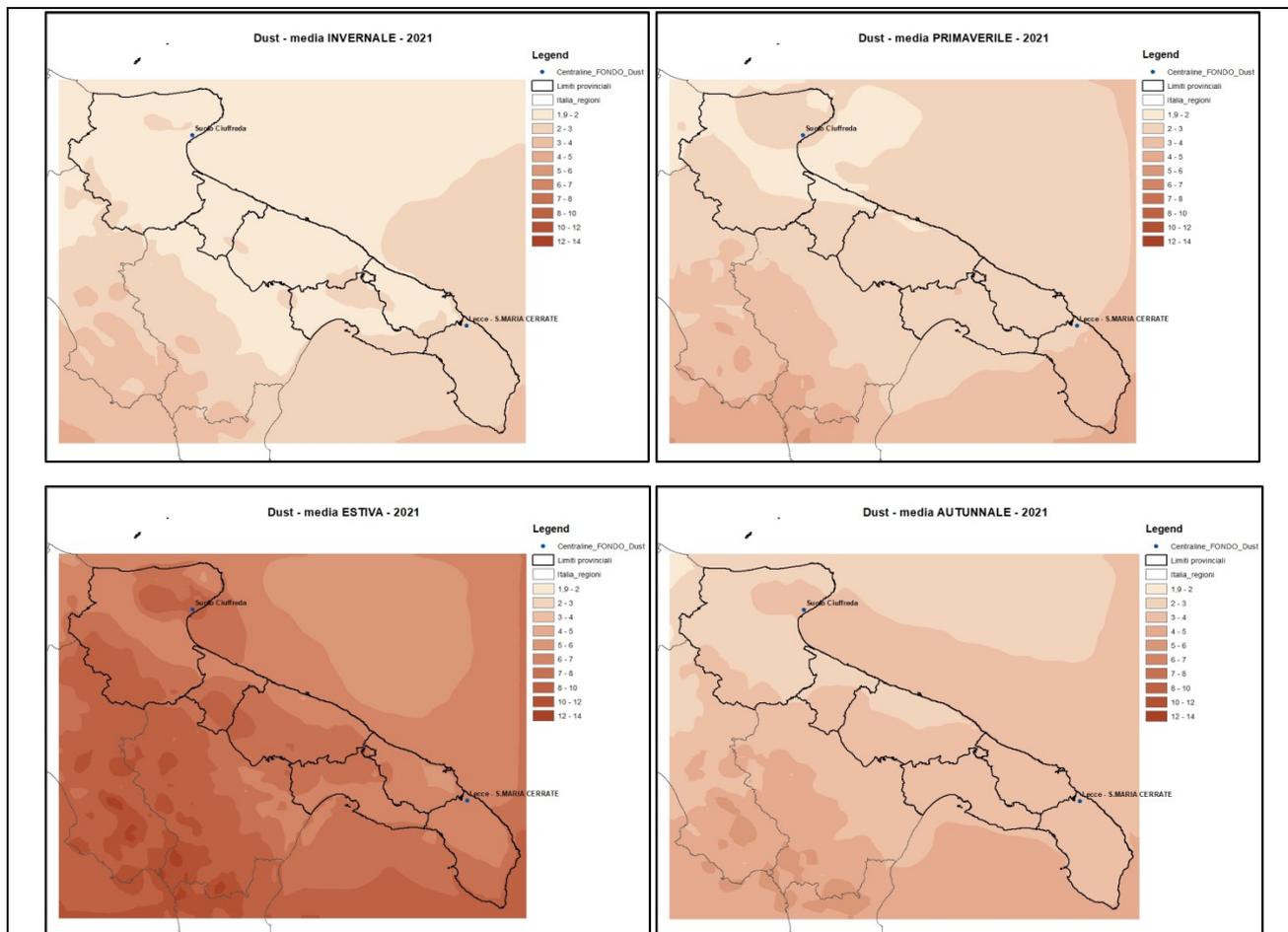
Il sistema modellistico per la previsione e la valutazione dello stato dell’aria di Arpa Puglia è in grado di simulare giornalmente l’impatto provocato dalle avvezioni transfrontaliere di polvere desertica. Attraverso infatti l’acquisizione giornaliera delle condizioni al contorno, fornite dal sistema modellistico Quale Aria, vengono implicitamente acquisite anche le condizioni al contorno del modello globale C-IFS-TM5, prodotto da ECMWF come parte del servizio Copernicus. Le classi granulometriche assegnate al dust sahariano (“bins”) vengono tradotte nelle classi granulometriche/modi di AERO3. I vari modi sono trattati dal modello FARM come traccianti, soggetti però ai meccanismi di deposizione.

Di seguito si mostrano le mappe della concentrazione media annuale di dust sahariano, ricostruite dal modello FARM per l’anno 2021 sul dominio a scala regionale, a una risoluzione spaziale di 4km.



Mappa della concentrazione media annuale di dust (µg/m³) – Anno 2021

Come atteso le concentrazioni di dust più elevate aumentano al diminuire della latitudine ed in presenza di rilievi collinari e montuosi. Nel basso Salento, infatti, i valori medi annuali di dust possono superare i 4µg/m³, analoghi valori si raggiungono in corrispondenza del Gargano, delle Murge e del Sub Appennino Dauno. Di seguito si mostrano le mappe medie stagionali di dust.

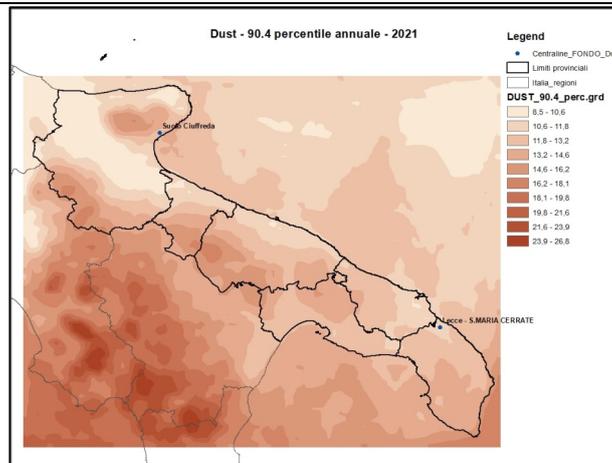


Mappe medie stagionali di dust ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2021

Le mappe stagionali indicano come nel periodo estivo il contributo di dust prodotto dalle avezioni sahariane sia maggiore. I valori sono compresi tra $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (sul brindisino) e $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sul Sub Appennino Dauno. Segue poi la stagione autunnale con una distribuzione più uniforme e valori compresi tra $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La mappa relativa al 90.4 percentile di dust consente di valutare la distribuzione spaziale delle concentrazioni medie giornaliere più elevate¹⁰.

¹⁰ Tale mappa fornisce in ogni punto del dominio il 330-esimo valore calcolato disponendo in ordine crescente le concentrazioni medie giornaliere di dust della serie annuale modellata, ovvero il 36-esimo valore più elevato della serie.



Mappa del 90.4 percentile della concentrazione media giornaliera di dust ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Anno 2021

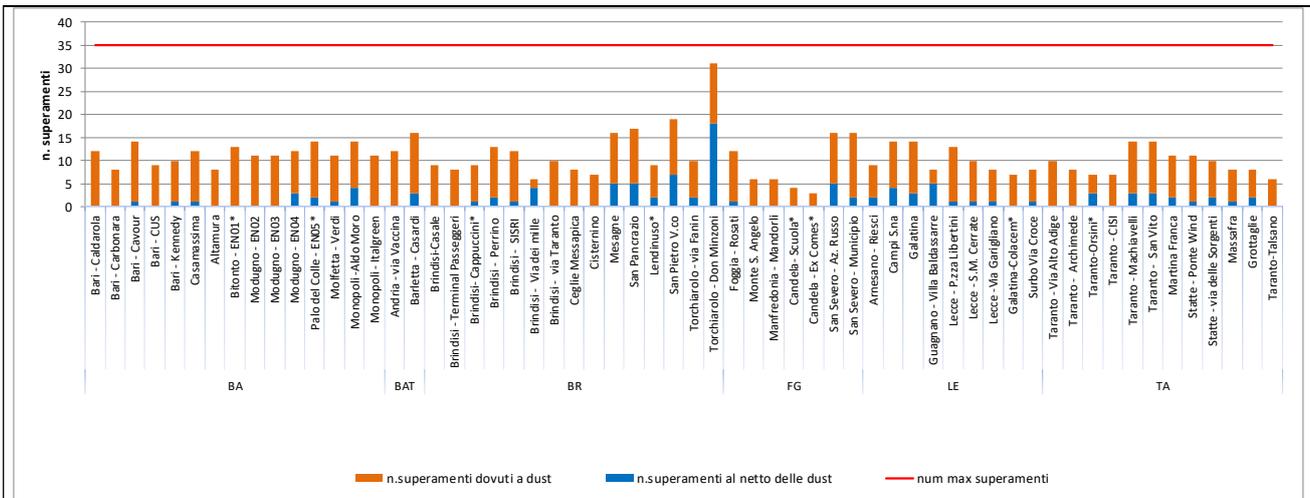
Su base annuale le concentrazioni medie giornaliere di dust più elevate, che si superano più di 35 volte in un anno, risultano comprese tra $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sul Tavoliere e $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sul sub Appennino Dauno.

La Direttiva Europea sulla qualità dell'aria 2008/50/CE permette agli Stati membri di sottrarre il contributo delle fonti naturali dai livelli di PM_{10} , prima di confrontare questi ultimi ai limiti di legge.

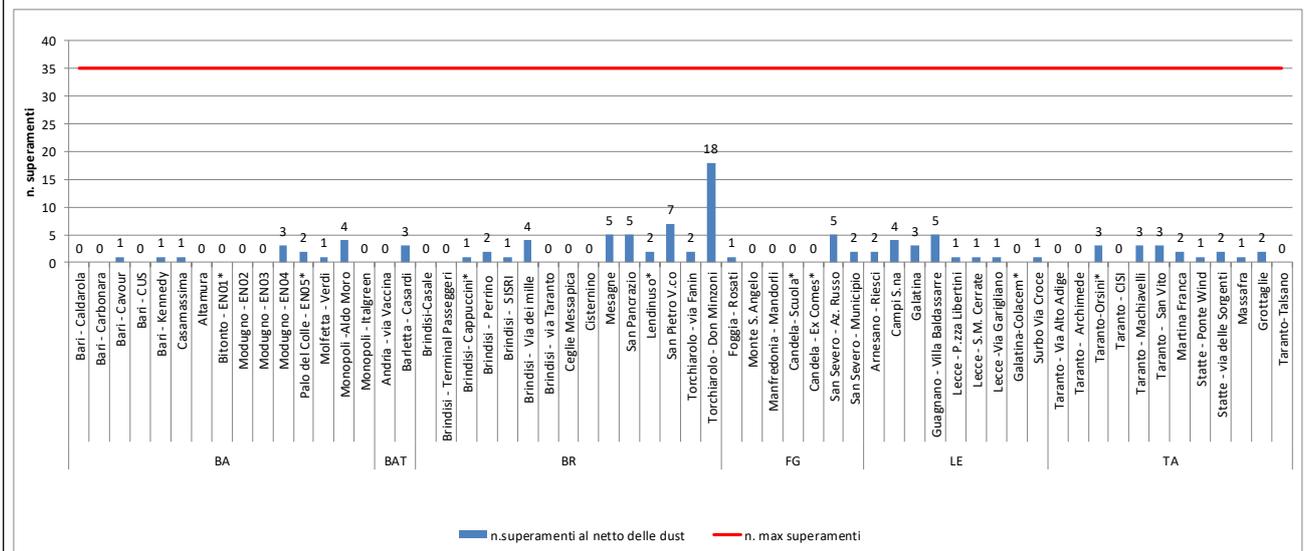
La procedura utilizzata per la sottrazione del contributo dovuto alle avvezioni di polveri desertiche, tratta dalle linee guida redatte della Commissione Europea, è la seguente:

- a. **Identificazione degli episodi di avvezioni sahariane.** Il primo passo è la scelta della stazione di fondo regionale che deve essere stata interessata dall'avvezione sahariana nel giorno in cui l'evento si è verificato. In Puglia sono utilizzate due stazioni di fondo: *Monte Sant'Angelo* per l'area nord della regione e *Lecce-Cerrate* per l'area sud.
- b. **Quantificazione del contributo delle avvezioni sahariane.** Il contributo netto di polveri sahariane, o *net african dust*, è calcolato sottraendo dalla concentrazione di PM_{10} della stazione di fondo nel giorno dell'evento di avvezione il valore medio di concentrazione dei 15 giorni precedenti e dei 15 successivi.
- c. **Sottrazione del valore di net african dust.** Sottraendo dalla concentrazione misurata in ciascuna cabina il net african dust, si ottiene il valore di concentrazione al netto dell'avvezione di polvere sahariana.

Di seguito, si riportano, il numero di superamenti del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dovuti a contributo antropico e contributo naturale e il numero di superamenti al netto delle dust.



Superamenti del limite giornaliero PM₁₀ con avvezioni di polveri



Superamenti del limite giornaliero PM₁₀ senza avvezioni di polveri

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

Nelle figure seguenti sono invece mostrati i box plot con la mediana, il minimo, il massimo, il 25° e 75° percentile delle concentrazioni di PM₁₀ registrati in ogni sito di monitoraggio. Nelle province di Bari e BAT le mediane più alte sono registrate nelle stazioni di *Modugno - EN04* e *Palo del Colle - EN05*.

Nella provincia di Brindisi nel sito *Torchiarolo -Don Minzoni* si registra la mediana più alta, mentre valori più bassi si osservano nella stazione *Cisternino*. Nella provincia di Foggia i valori più alti si registrano nella stazione *Foggia-Rosati*, quelli più bassi nei siti *Candela Scuola* e *Candela- ex Comes*. Nella provincia di Lecce c'è una sostanziale uniformità delle distribuzioni tra tutte le cabine di monitoraggio, sia in termini di mediana che in termini di massimi registrati. Nella provincia di Taranto non si notano distribuzioni diverse tra cabine industriali e non, con massimi più alti nella stazione *Grottaglie*.

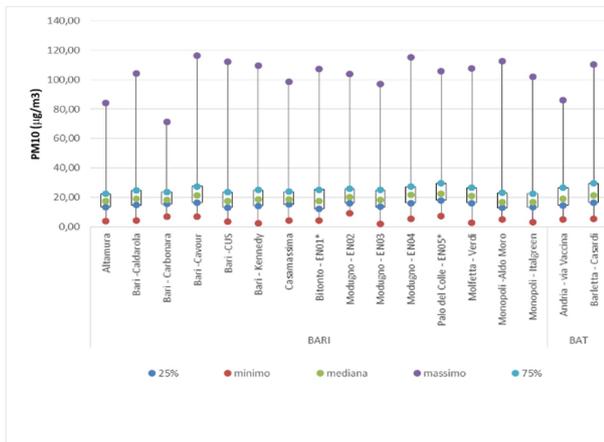


Figura 9: box plot concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) -prov. BA-BAT

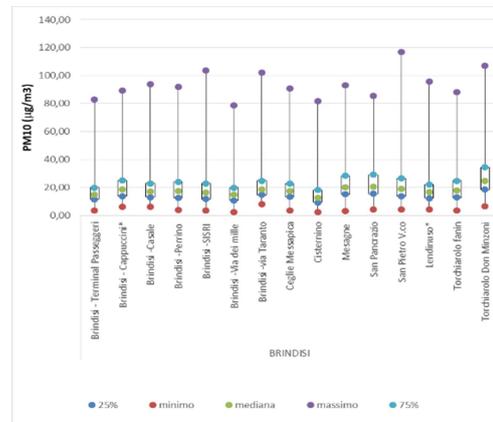


Figura 10: box plot concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) – prov. BR

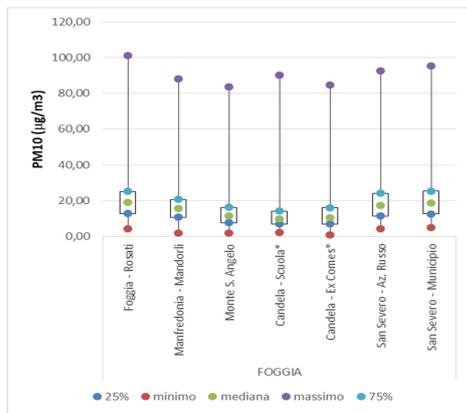


Figura 11: box plot concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) – prov. FG

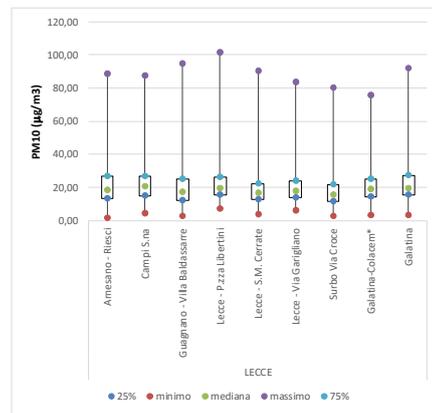


Figura 12: box plot concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) – prov. LE

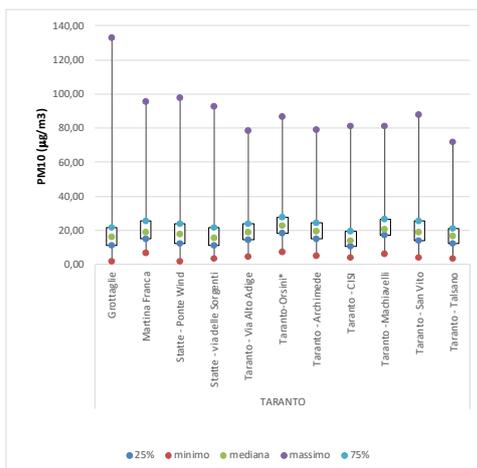


Figura 13: box plot concentrazioni di PM₁₀ (µg/m³) – prov. TA

Trend di concentrazione 2010-2021

L'andamento delle concentrazioni di PM₁₀ è stato valutato con il metodo di Theil-Sen¹¹ utilizzando il software R. Il risultato viene presentato in forma sintetica nel grafico a barre di figura 14, nella quale i cerchi indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (verde=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra gialla identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

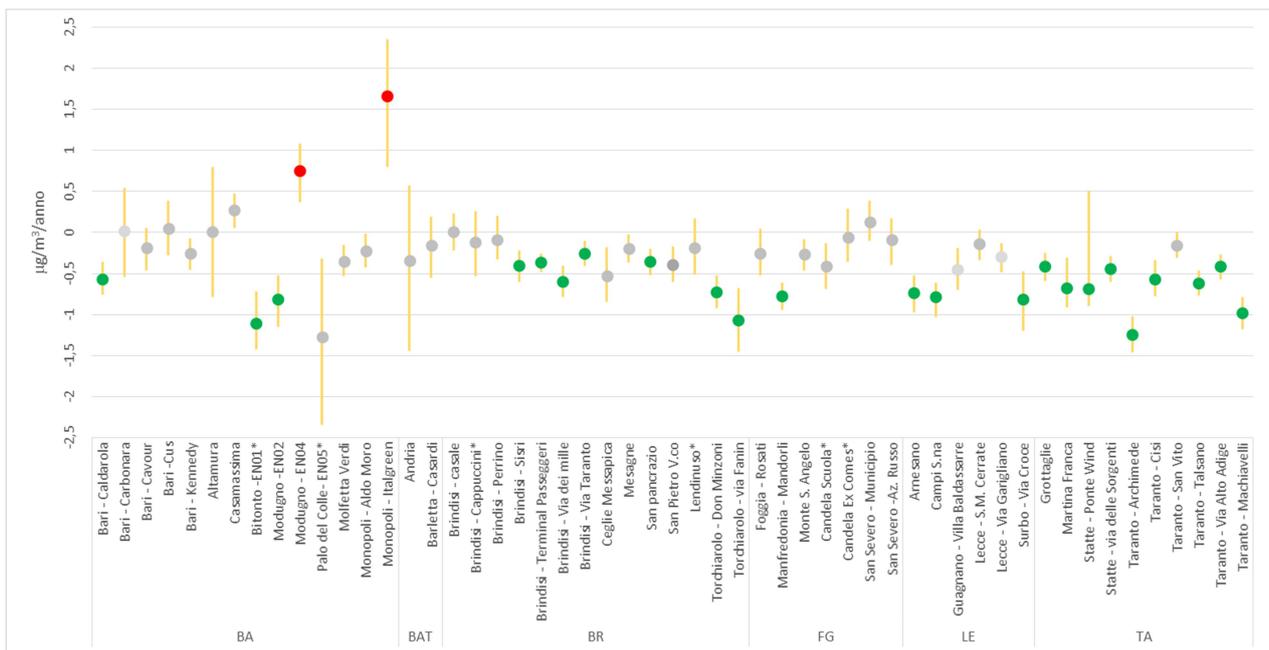


Figura 14: Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM10, 2010-2021

Si osserva, nel complesso, una sostanziale stabilità delle concentrazioni. Solo 2 stazioni (*Modugno - EN04*, e *Monopoli - Italgreen*) mostrano un trend in aumento significativo da un punto di vista statistico. Al contrario, tutte le stazioni di monitoraggio della provincia di Taranto mostrano una diminuzione significativa della concentrazione di PM₁₀. La stazione con il calo più marcato è infatti *Taranto-Archimede*, seguita da *Taranto-Machiavelli*. Anche la stazione *Torchiarolo-Don Minzoni*, che fino al 2017 aveva costantemente superato il limite di concentrazione giornaliero, mostra una diminuzione di concentrazione statisticamente significativa, seppur ridotta.

¹¹ Il concetto alla base del metodo Theil-Sen è il seguente: date n coppie di valori x e y, viene calcolata la pendenza per ogni coppia di punti. La funzione Theil Sen restituisce la mediana di tutte le pendenze così calcolate. Il vantaggio dello stimatore di Theil-Sen è che tende a produrre intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e nel caso di eteroschedasticità (varianza dell'errore non costante). Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers che tiene conto anche del fatto che le serie storiche di dati di qualità dell'aria sono autocorrelate.

La figura 15 riporta il confronto, per provincia, delle medie annuali di PM₁₀ registrate dal 2015 al 2021. Il confronto tra più anni mette meglio in evidenza il trend di miglioramento e che questo andamento positivo si riscontra soprattutto per le province di Bari, Brindisi, Lecce e Taranto.

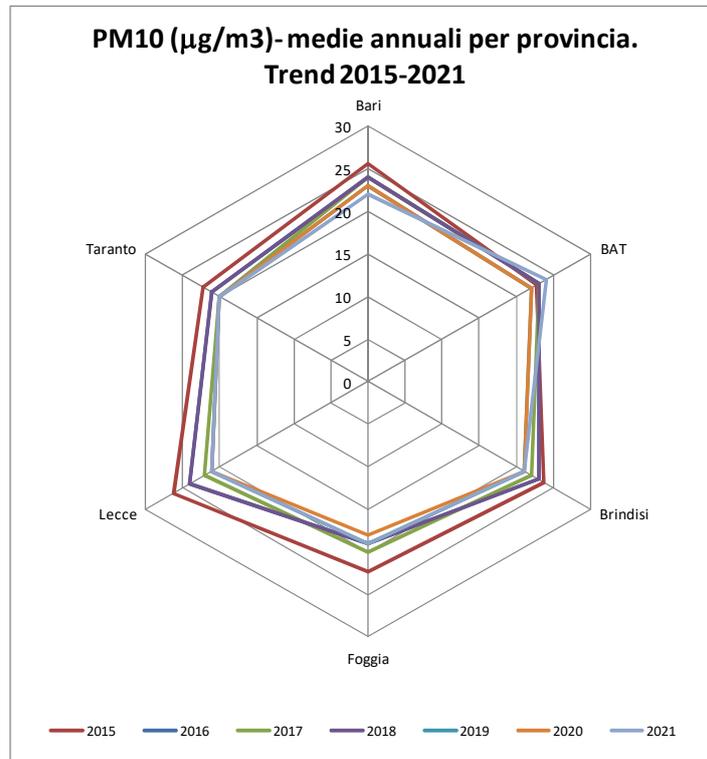


Figura 15: PM₁₀ (µg/m³) – Trend 2015-2021 delle medie annuali per provincia

La figura 16 mostra il confronto tra le concentrazioni del 2021 e quelle dell’anno precedente. Rispetto al 2020 non si osserva un trend univoco di incremento o diminuzione.

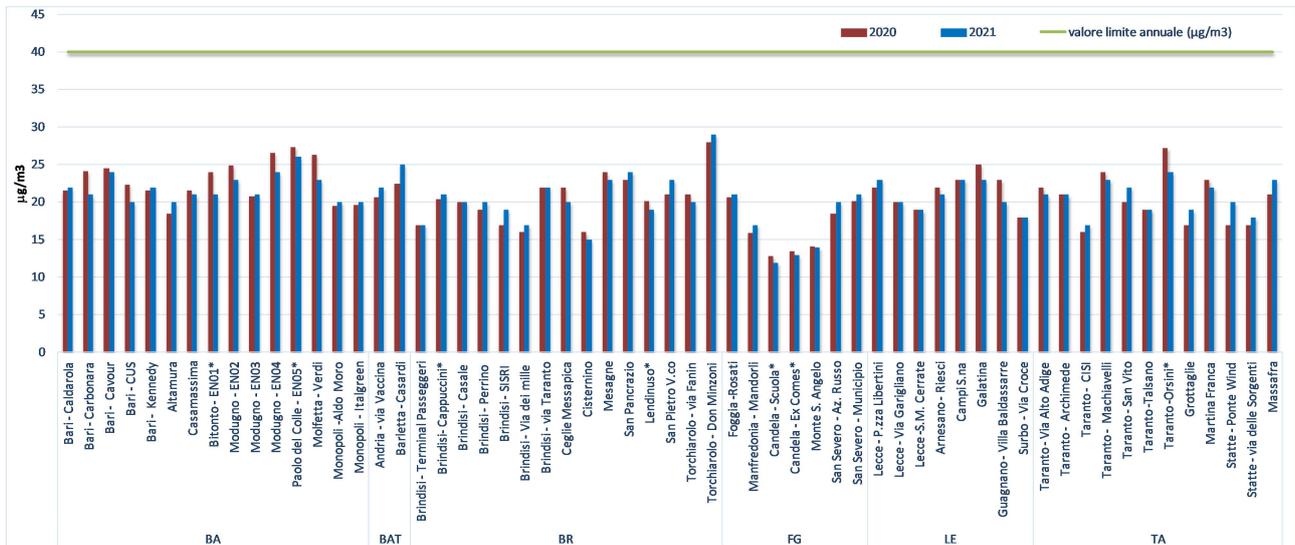


Figura 16: PM₁₀ (µg/m³) – confronto tra medie annuali 2020 e 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

3.1.2 Dati modellati

Il modello non stima alcun superamento per il limite annuale di concentrazione né sul dominio regionale a 4km di risoluzione né sul dettaglio ad 1km delle province di Brindisi, Lecce e Taranto. Le concentrazioni medie annuali più elevate sono stimate sul dominio regionale in corrispondenza delle aree urbanizzate di alcuni comuni della Città Metropolitana di Bari (Bari, Palo del Colle, Bitonto e Modugno), di alcuni comuni della provincia di Brindisi e di Lecce, del comune di Taranto e del comune di Foggia. La simulazione a 1km sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto consente di apprezzare con miglior dettaglio la distribuzione spaziale e i livelli di concentrazione che, analogamente a quanto evidenziato nelle valutazioni modellistiche dello stato della qualità dell'aria degli anni precedenti, mostrano valori medi più elevati all'interno delle aree urbanizzate di alcuni comuni delle province di Brindisi e Taranto (Mesagne, Latiano, Mottola e Castellaneta).

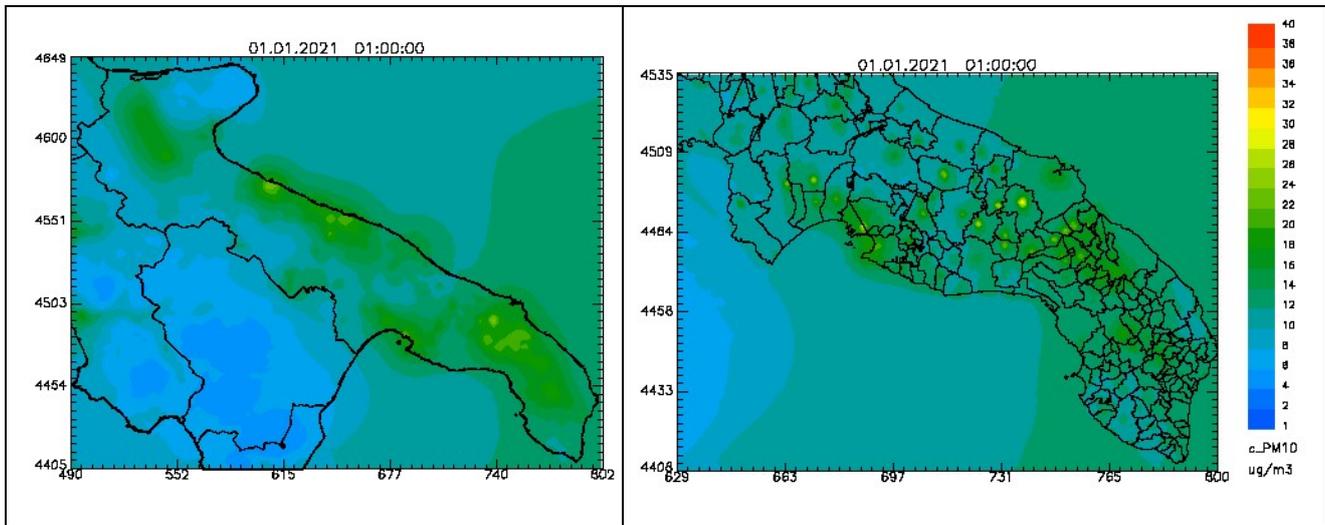


Figura 17: Mappe della concentrazione media annuale di PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

Come già ampiamente trattato in tali valutazioni (alle cui relazioni, disponibili sul sito <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>, si rimanda per ulteriori dettagli) la causa di ciò è da attribuirsi alle emissioni locali prodotte dal riscaldamento residenziale a legna, relativamente alle quali si riporta nella figura successiva la mappa di distribuzione delle emissioni per il PM_{10} su base comunale elaborata a partire dalle stime del database INEMAR 2010 aggiornato al 2013. La mappa in Figura 18 mostra come i comuni per i quali si stimano le emissioni di PM_{10} più elevate, siano, in ordine decrescente, Mesagne, Ceglie Messapica, Oria e Latiano, appartenenti tutti alla provincia di Brindisi.

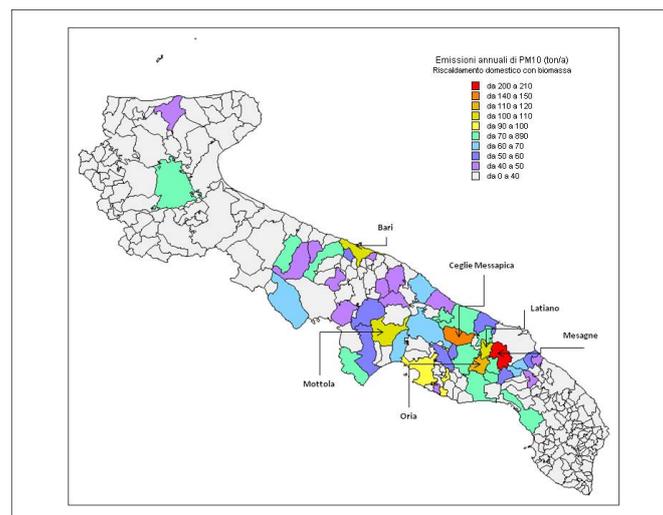


Figura 18: Mappa su base comunale delle emissioni annuali di PM_{10} (tonn/anno) da combustione per riscaldamento domestico con biomassa (Dataset INEMAR 2010 aggiornato al 2013).

Riguardo al valore limite giornaliero per il PM₁₀, da non superare per più di 35 volte all'anno, la mappa di analisi sul dominio regionale, relativa all'indicatore del 90.4° percentile¹², calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere (Figura 19), non mostra alcuna non conformità sul dominio regionale.

Dalla ricostruzione modellistica condotta sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto con un miglior dettaglio spaziale emergono invece non conformità in corrispondenza delle aree urbane di alcuni comuni delle province di Taranto e Brindisi. Ciò è mostrato sia dalle mappe del 90.4° percentile (Figura 19), sia dalle mappe (Figura 20) che mostrano il numero di superamenti del valore limite giornaliero sulle celle del dominio di simulazione.

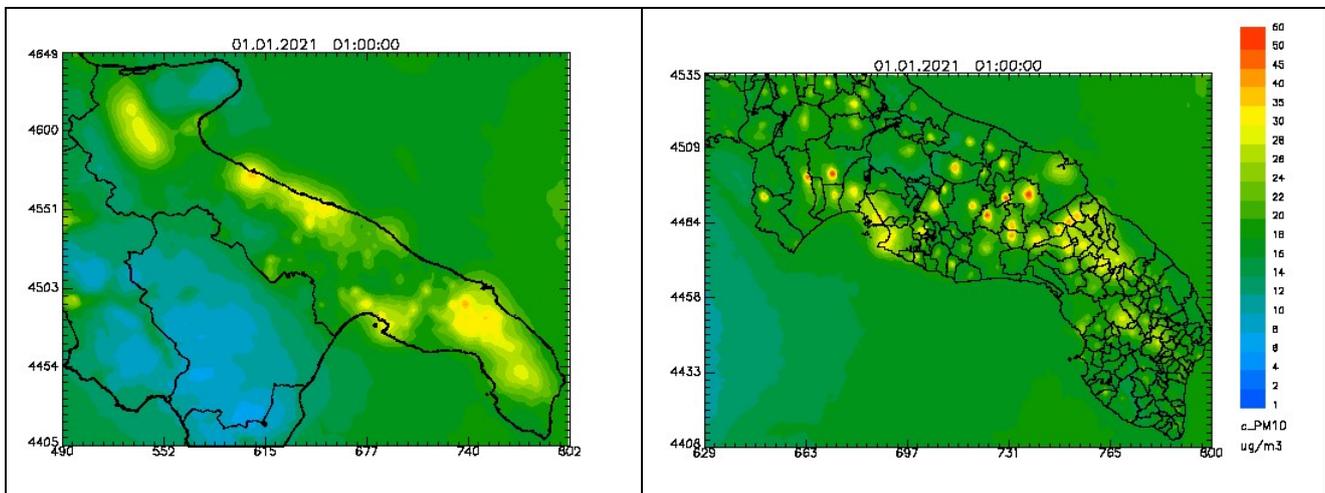


Figura 19: Mappe del 90.4° percentile di PM₁₀ (µg/m³), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

¹² I valori limite ed obiettivo, prescritti dal D. Lgs n.155/2010, possono essere espressi dal punto di vista statistico sia come numero massimo di superamenti che come percentili. Di seguito si riporta la tabella di associazione per tipologia di inquinante e media temporale:

Inquinante	Periodo temporale di mediazione	Numero massimo di superamenti	Percentile
SO ₂	giorno	3	99.2
	ora	24	99.73
NO ₂	ora	18	99.79
PM ₁₀	giorno	35	90.4
O ₃	giorno	25	93.2

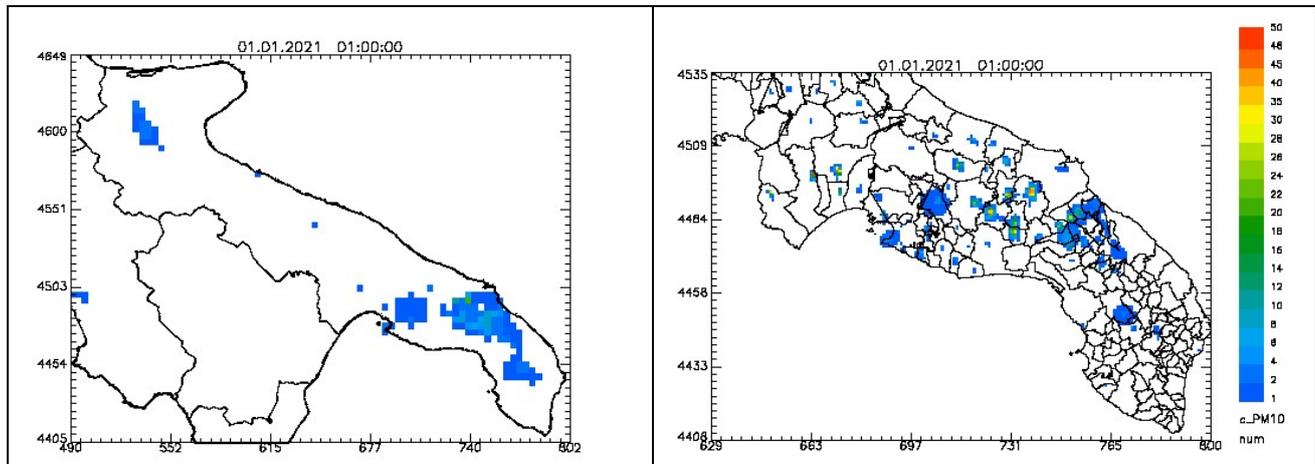


Figura 20: Mappe del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM₁₀ sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

La Tabella 7 riporta l'elenco dei comuni per i quali il numero totale dei superamenti valutati è superiore al massimo numero consentito in un anno (pari a 35). Tali superamenti¹³ sono previsti solo dalle simulazioni modellistiche e si verificano in almeno una delle celle poste all'interno delle aree urbanizzate dei comuni interessati. In corrispondenza di tali celle non sono presenti postazioni fisse per il monitoraggio della qualità dell'aria che possano confermarne o meno la reale sussistenza del superamento. A riguardo è opportuno ribadire che il D. Lgs 155/2010 non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio delle tecniche modellistiche, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D. Lgs 155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piani di risanamento. E' stato, pertanto, rivolto uno specifico quesito alla Regione Puglia, successivamente inoltrato al MITE. Allo stato attuale si è ancora in attesa del riscontro.

Comune	Provincia	Numero superamenti del valore limite giornaliero per il PM ₁₀
Mottola	TA	46
Castellaneta	TA	50
Mesagne	BR	46
Latiano	BR	47
Oria	BR	39

Tabella 7 - Comuni con numero dei superamenti (ottenuti tramite assimilazione) del valore limite giornaliero per il PM₁₀ superiore a 35

¹³ La rappresentazione grafica della serie temporale delle concentrazioni orarie modellate di PM₁₀, estrapolate sull'intero anno in corrispondenza delle aree urbanizzate dei suddetti comuni, mostra un andamento fortemente stagionale, con aumenti significativi nel periodo invernale. La causa dei superamenti è quindi legata alle emissioni prodotte dal riscaldamento residenziale a biomassa legnosa considerato. Le stime emissive dell'inventario INEMAR infatti evidenziano che emissioni delle polveri sottili (PTS, PM₁₀ e PM_{2.5}) in Puglia, analogamente a quanto accade anche in molte altre realtà nazionali, sono originate prevalentemente dalla combustione non industriale (macrosettore 2) di biomasse legnose, prevalentemente legna bruciata in apparecchi sprovvisti di sistemi di abbattimento delle emissioni di polveri (camini aperti) ai fini del riscaldamento residenziale.

3.2 PM_{2.5}

Il PM_{2.5} è l'insieme di particelle solide e liquide con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm (10⁻⁶ m). Analogamente al PM₁₀, il PM_{2.5} può avere origine naturale o antropica e può penetrare nell'apparato respiratorio raggiungendone il tratto inferiore (trachea e polmoni). A partire dal 2015 il D. Lgs. 155/10 prevede un valore limite di 25 µg/m³.

A titolo indicativo, vengono riportati anche i valori di concentrazione indicati nelle Linee Guida edite dall'OMS nel 2021 che, come noto, non hanno cogenza normativa.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE D. Lgs. 155/2010	LINEE GUIDA QUALITÀ DELL'ARIA OMS 2021
Anno civile	25 µg/m ³	5 µg/m ³

3.2.1 Dati di qualità dell'aria

Nel 2021 il limite annuale di 25 µg/m³ indicato dal D. Lgs. 155/10 per il PM_{2.5} è stato rispettato in tutti i siti di monitoraggio (Figura 21). Il valore più elevato (18 µg/m³) è stato registrato nel sito *Torchiarolo-Don Minzoni*. La media regionale è stata di 12 µg/m³, in linea con il dato del 2020, in cui la media annuale era stata pari a 13 µg/m³.

Nella totalità delle stazioni di monitoraggio è stato invece superato il valore medio annuale di 5 µg/m³ indicato nelle Linee Guida 2021 dell'OMS.

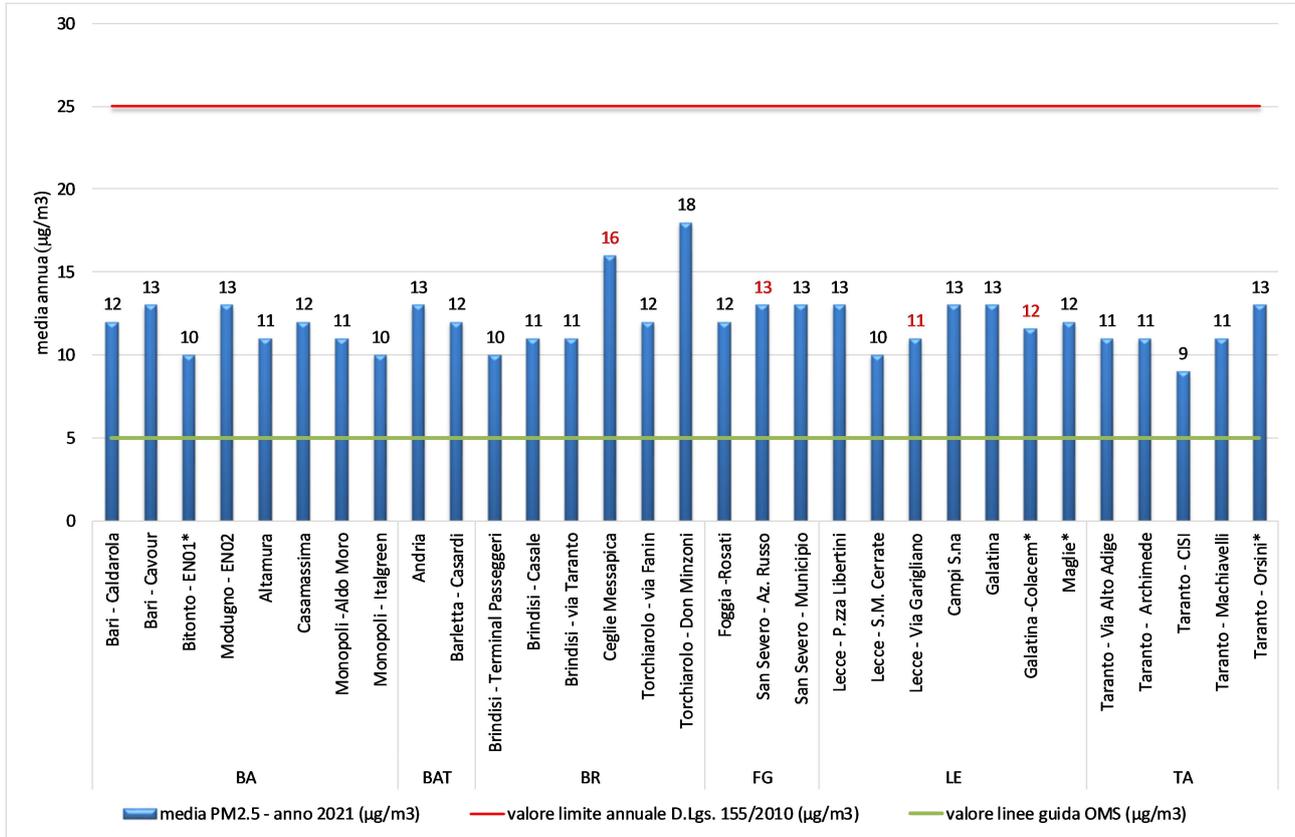


Figura 21: Valori medi annui di PM_{2,5} (µg/m³) – anno 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punti di misura che non hanno raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riportano a titolo conoscitivo

La figura 22 mostra il box plot con l'indicazione di mediana, minimo, massimo, 25° e 75° percentile delle concentrazioni di PM_{2.5} registrate in ogni sito di monitoraggio. I valori mediani sono distribuiti tra 8 e 15 µg/m³. Essi sono pertanto distribuiti in maniera sostanzialmente uniforme sul territorio regionale. I picchi di concentrazione più alti sono stati registrati nei siti *Galatina* e *Torchiarolo – Don Minzoni*.

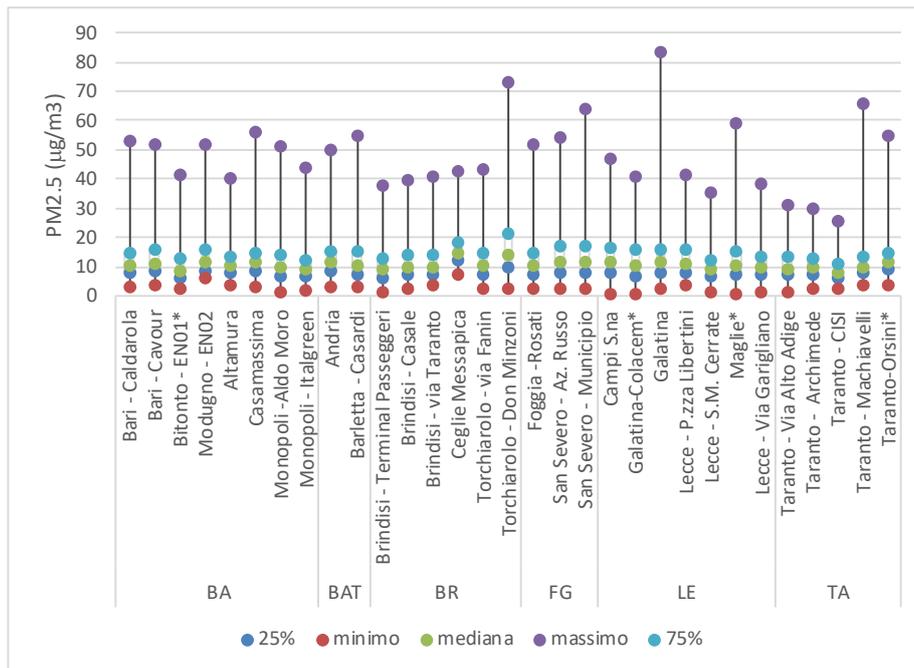


Figura 22: Box plot delle concentrazioni di PM_{2.5} (µg/m³)

Trend di concentrazione 2010-2021

Come per il PM₁₀, anche per il PM_{2.5} la valutazione dell'andamento delle concentrazioni nel tempo è stato condotto secondo il metodo di Theil-Sen. Nella figura 23 i cerchi indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (verde=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra gialla identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

Per il PM_{2.5} non si osservano nel complesso variazioni significative nel periodo di riferimento. La diminuzione statisticamente più rilevante è quella di *Lecce- S.M. Cerrate* (-1.14 µg/m³).

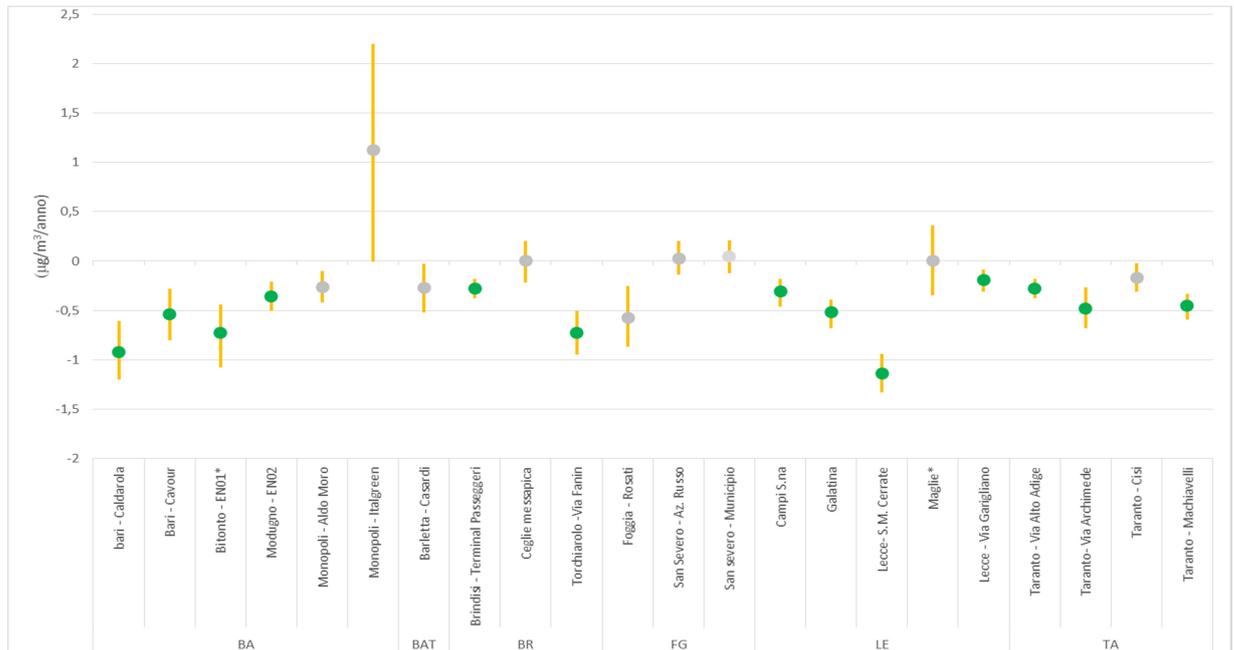


Figura 23: Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di PM2.5, 2010-2021.

In Figura 24 si confrontano le concentrazioni medie annuali provinciali del periodo 2015-2021. Si osserva il trend in diminuzione di PM_{2.5} in tutte le province.

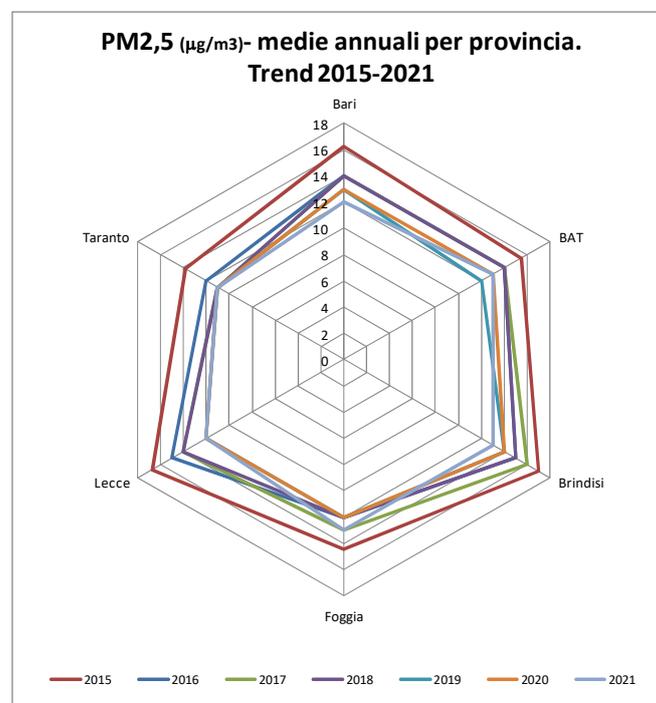


Figura 24: PM_{2.5} (µg/m³) – Trend 2015-2021 delle medie annuali per provincia.

La figura 25 mostra invece il confronto tra le concentrazioni di PM2.5 del 2021 e quelle dell'anno precedente. Nella Città Metropolitana di Bari si osserva una riduzione generalizzata alla quale potrebbero

aver contribuito le condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti, come evidenziato al cap. 2. Nel resto della regione, invece, non si osserva un trend univoco di incremento o diminuzione.

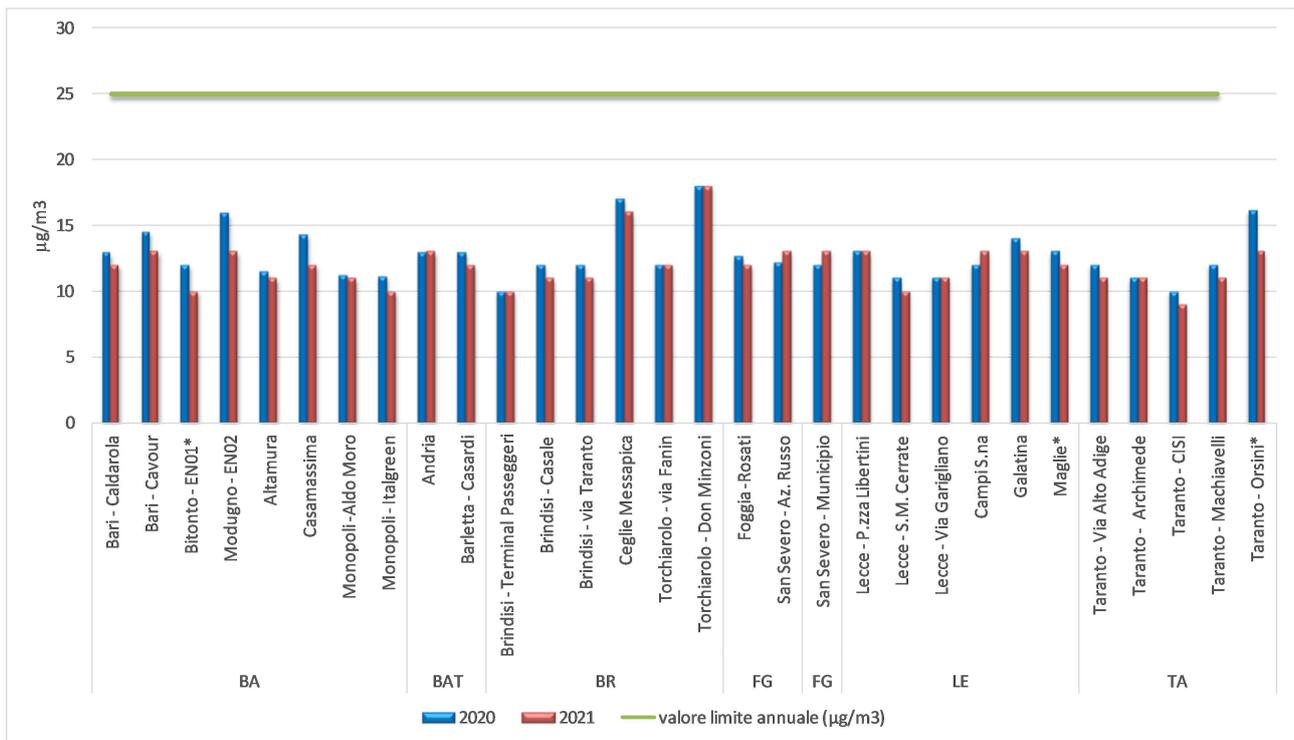


Figura 25: PM_{2.5} (µg/m³) – confronto tra medie annuali 2020 e 2021.

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

3.2.2 Dati modellati

Il sistema modellistico a 1km di risoluzione spaziale prevede il superamento del limite annuale per il PM_{2.5}, nell'area urbana dei comuni di Mesagne e Latiano, in provincia di Brindisi. I superamenti stimati dal modello si rilevano in celle nelle quali non sono presenti centraline di monitoraggio, che possano confermarne o meno la sussistenza. Anche per tali superamenti¹⁴ vale quanto già detto per il PM₁₀ sulle cause dei superamenti e sulle conseguenze in termini di gestione della qualità dell'aria.

¹⁴ La rappresentazione grafica della serie temporale delle concentrazioni orarie modellate di PM_{2.5}, estrapolate sull'intero anno in corrispondenza delle aree urbanizzate dei suddetti comuni, mostra infatti analogamente al PM₁₀ un andamento fortemente stagionale, con aumenti significativi nel periodo invernale.

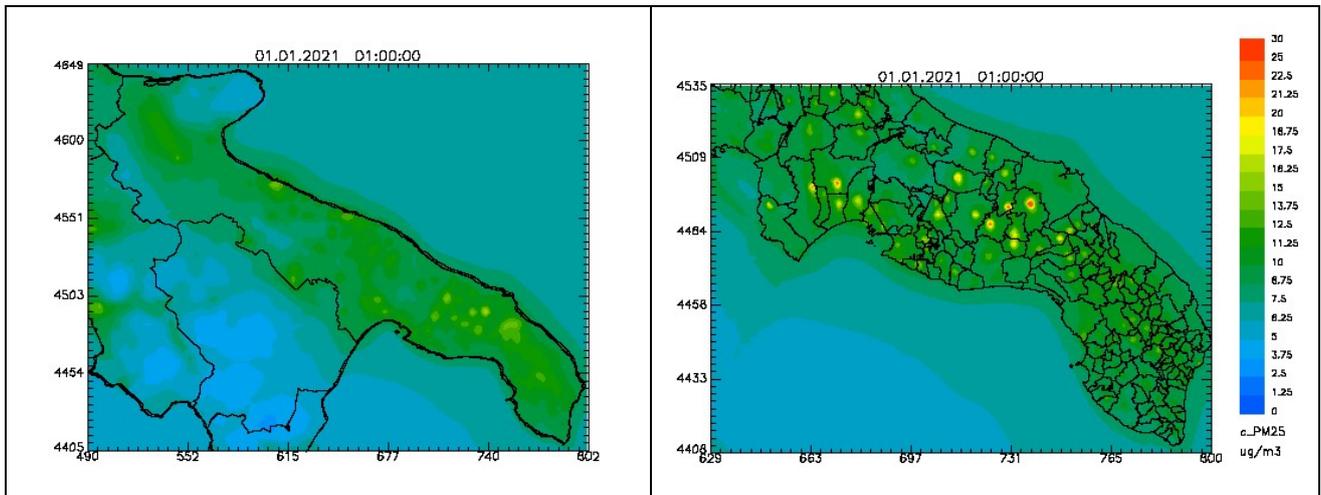


Figura 26: Mappe della concentrazione media annuale di $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite assimilazione.

Comune	Provincia	Concentrazione media annua di $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Latiano	BR	25.5
Mesagne	BR	28.9

Tabella 8 - Comuni sul cui territorio si prevede il superamento del valore limite annuale per il $PM_{2.5}$

3.3 BIOSSIDO DI AZOTO (NO₂)

Gli Ossidi di Azoto, NO, NO₂, N₂O etc, sono generati nei processi di combustione. Tra tutti, il Biossido di Azoto (NO₂), è il più pericoloso perché costituisce il precursore di una serie di reazioni di tipo fotochimico che portano alla formazione del cosiddetto “smog fotochimico”. In ambito urbano, un contributo rilevante all’inquinamento da NO₂ è dovuto alle emissioni dagli autoveicoli. L’entità di queste emissioni può variare in base sia alle caratteristiche e allo stato del motore del veicolo, che in base alla modalità di utilizzo dello stesso. In generale, l’emissione di Ossidi di Azoto è maggiore quando il motore funziona a elevato numero di giri e cioè in arterie urbane non a scorrimento veloce che impongono continui cambi di velocità.

I limiti previsti dal D. Lgs. 155/2010 per l’NO₂ sono la media oraria di 200 µg/m³ da non superare più di 18 volte nel corso dell’anno e la media annua di 40 µg/m³.

A titolo indicativo, vengono riportati anche i valori di concentrazione indicati nelle Linee Guida edite dall’OMS nel 2021 che, come noto, non hanno cogenza normativa.

PERIODO DI MEDIAZIONE	VALORE LIMITE D. Lgs. 155/2010	LINEE GUIDA QUALITÀ DELL’ARIA OMS 2021
Anno civile	40 µg/m ³	10 µg/m ³
Media oraria	200 µg/m ³ da non superare più di 18 volte nel corso dell’anno	

3.3.1 Dati di qualità dell’aria

Nel 2021 i limiti, annuale e orario, previsti dal D. Lgs. 155/2010 sono stati rispettati in tutti i siti di monitoraggio della RRQA. La media annuale più elevata è stata registrata nella stazione *Bari- Cavour* (27 µg/m³) per la RRQA e a *Taranto-Orsini** (27 µg/m³) tra le stazioni di interesse locale. Il valore medio registrato sul territorio regionale è stato di 14 µg/m³, leggermente inferiore rispetto al dato di 15 µg/m³ del 2020.

Nella quasi totalità delle stazioni di monitoraggio è stato invece superato il valore medio annuale di 10 µg/m³ indicato nelle Linee Guida 2021 dell’OMS.

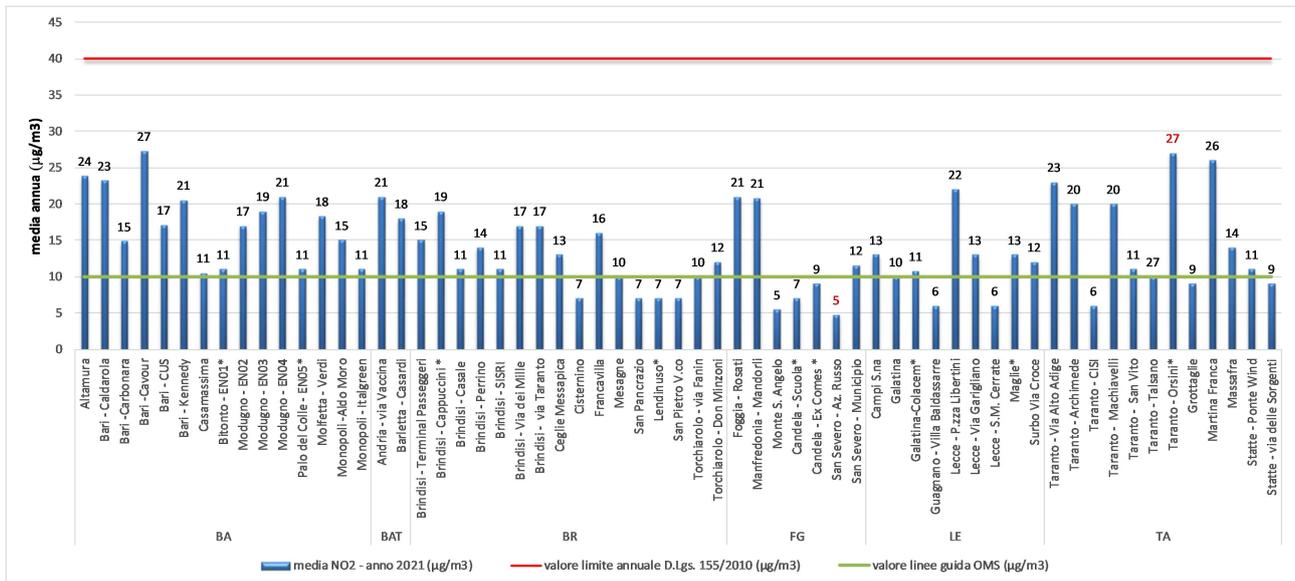


Figura 27: Valori medi annui di NO₂ (µg/m³) – anno 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punti di misura che non hanno raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riportano a titolo conoscitivo.

Trend di concentrazione 2010-2021

La valutazione dell'andamento delle concentrazioni nel tempo, condotto secondo il metodo di Theil-Sen, mostra una generale tendenza alla diminuzione. La diminuzione più rilevante (-4 µg/m³) si è avuta nel sito *Bari-Cavour*. Gli unici incrementi statisticamente significativi, seppur di valore limitato, si hanno nelle stazioni di *Maglie** e *S. Severo – Municipio*.

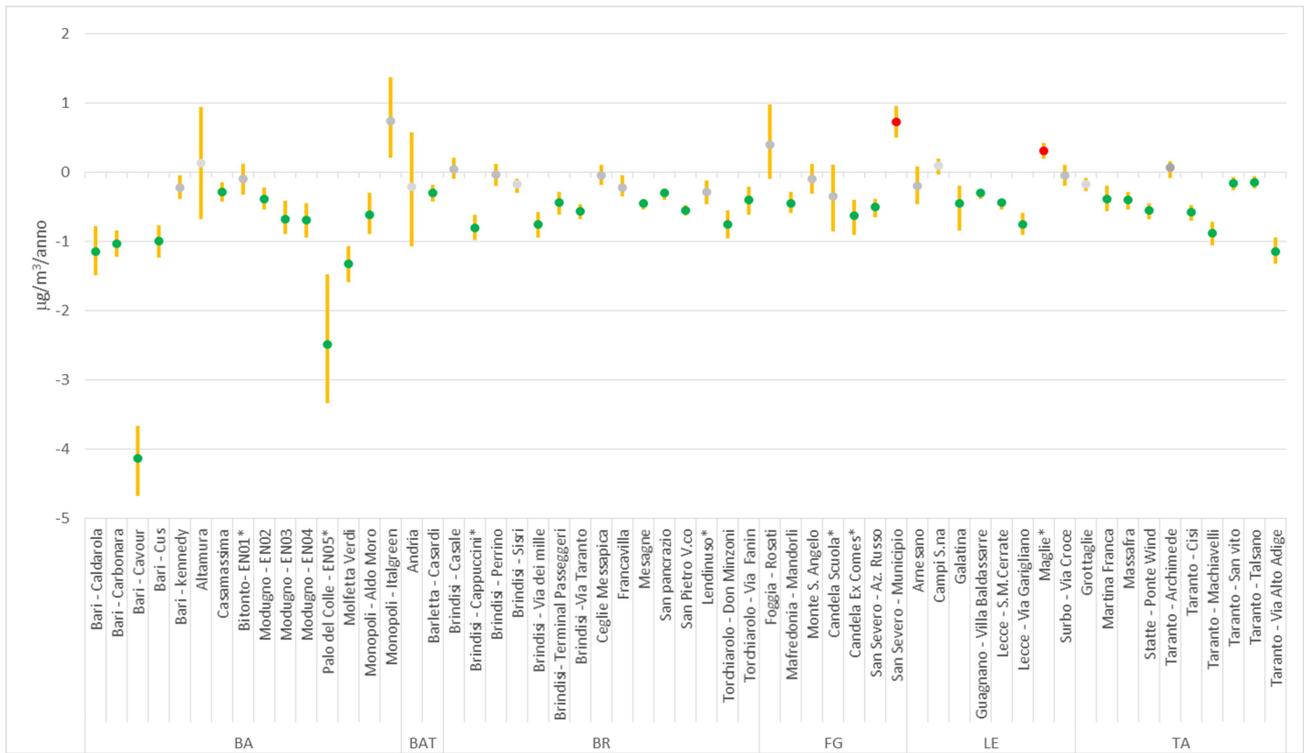


Figura 28: Stima del trend delle concentrazioni giornaliere di NO₂, nel periodo 2010-2021.

Il trend 2015-2021 delle concentrazioni annuali di NO₂ suddivise per provincia, riportato in figura 29, mostra un generalizzato calo nel tempo. Questo andamento è apprezzabile soprattutto per la Città Metropolitana di Bari. Nel 2021, a tale riduzione potrebbero aver contribuito le condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti verificatesi nel territorio barese, come evidenziato nel cap.2.

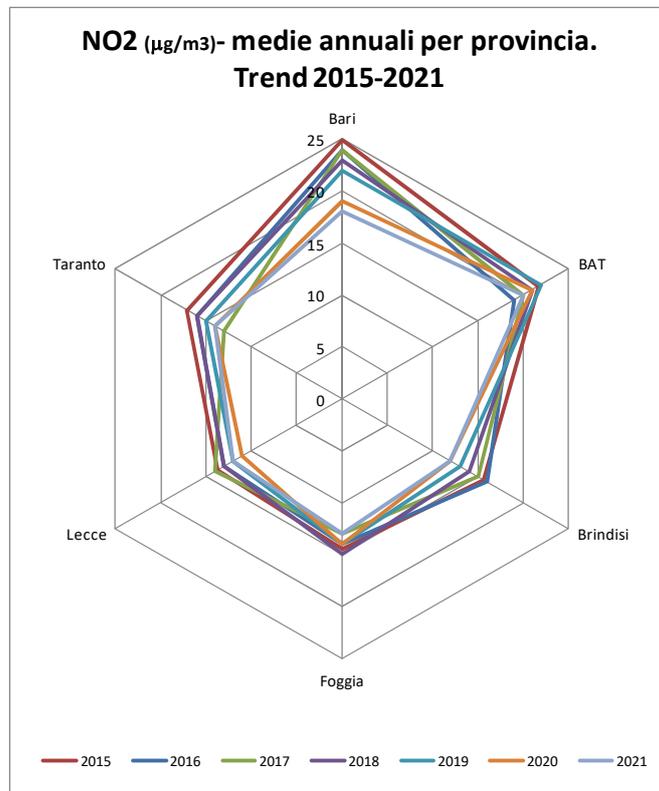


Figura 29: NO₂ (µg/m³) – Trend 2015-2021 delle medie annuali per provincia.

Dal confronto delle medie annuali di NO₂ del 2021 con quelle del 2020 riportato in figura 30, emerge una significativa diminuzione delle concentrazioni soprattutto nei siti della Città Metropolitana di Bari.

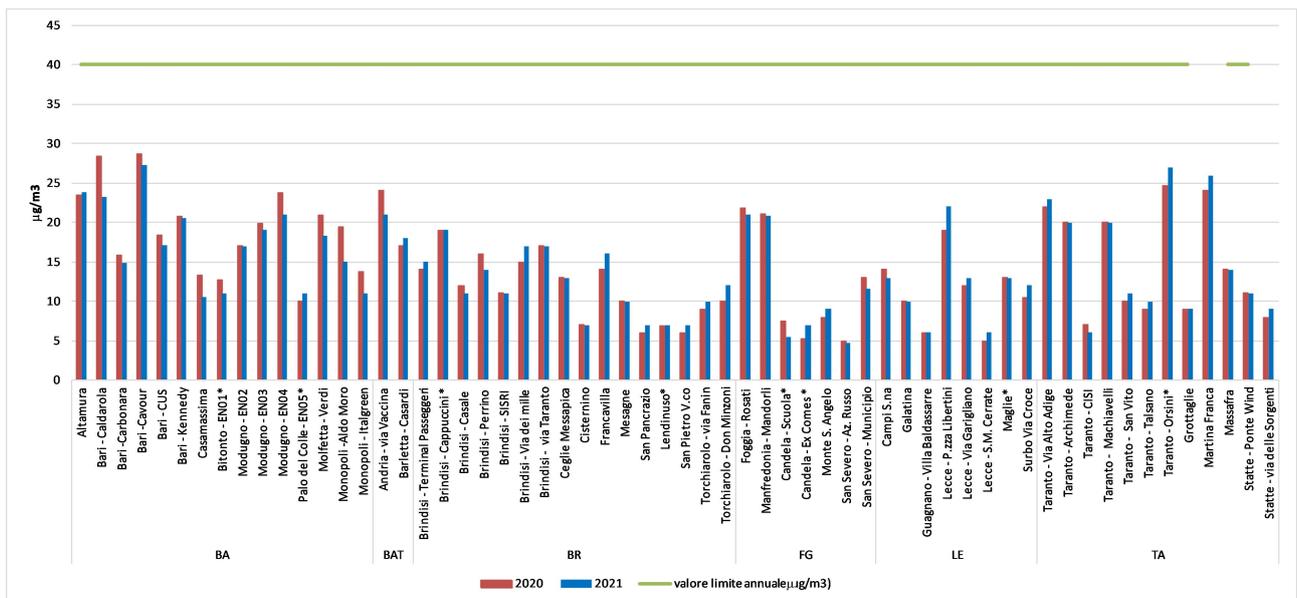


Figura 30: NO₂ (µg/m³) – confronto tra medie annuali 2020 e 2021.

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

3.3.2 Dati modellati

Il sistema modellistico non prevede superamenti dei valori limite prescritti per l'NO₂ né sulla griglia regionale né su quella a scala urbana. Ciò è in accordo con quanto osservato per il 2021 dalle stazioni di monitoraggio di qualità dell'aria.

Le mappe presentate evidenziano come le concentrazioni di NO₂ più elevate si verificano in corrispondenza delle aree industriali ed urbane; inoltre emergono chiaramente anche le aree portuali e le strade caratterizzate da importanti volumi di traffico.

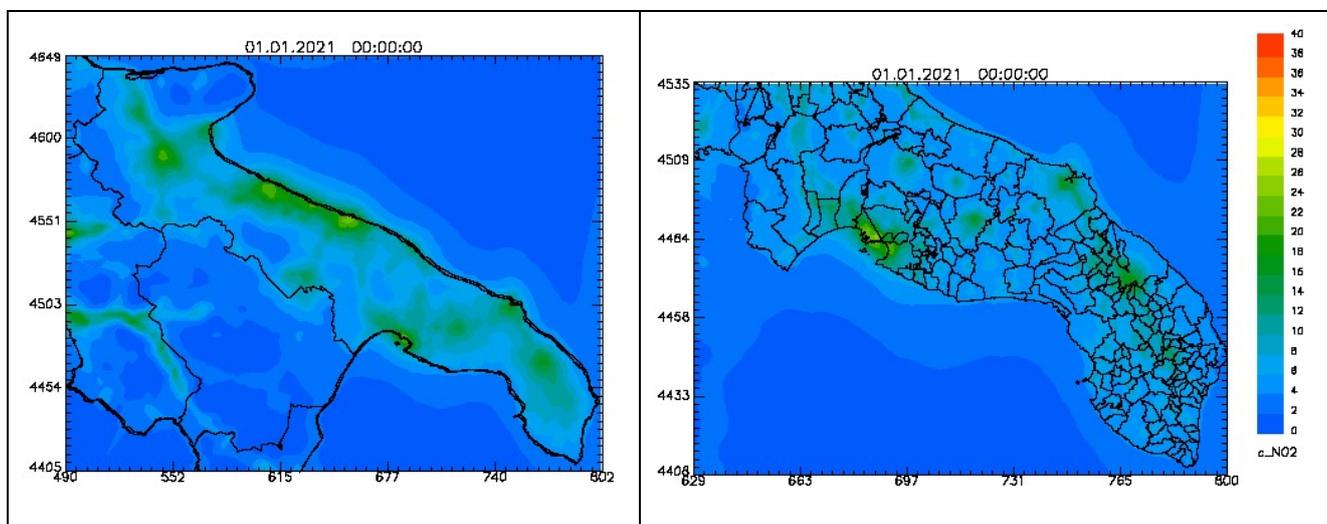


Figura 31: Mappe della concentrazione media annuale di NO₂ sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

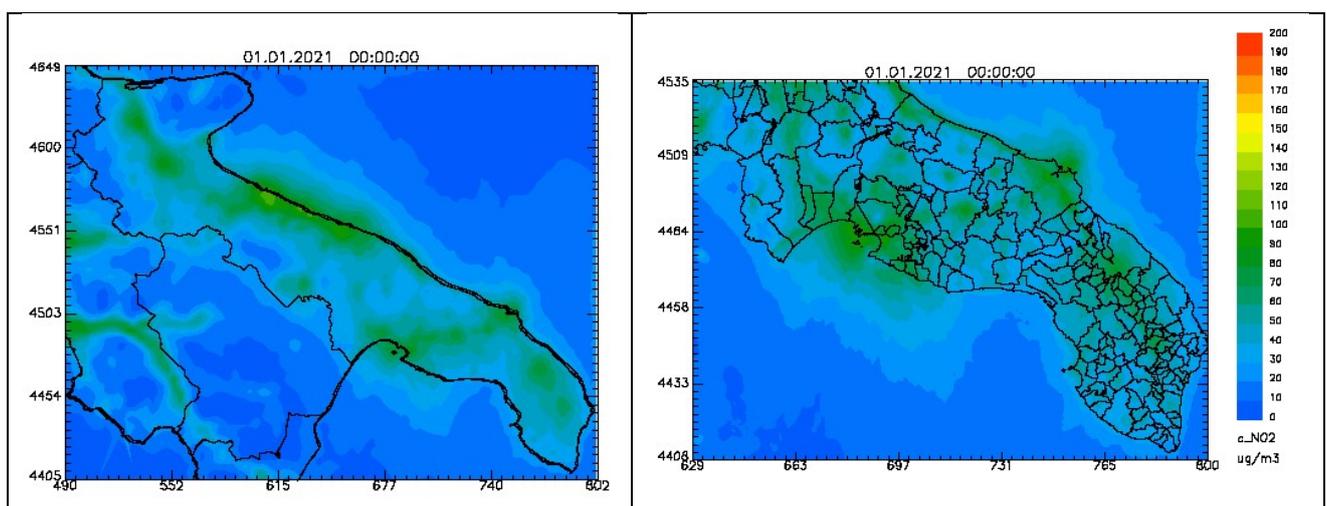


Figura 32: Mappe del 99.8° percentile di NO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

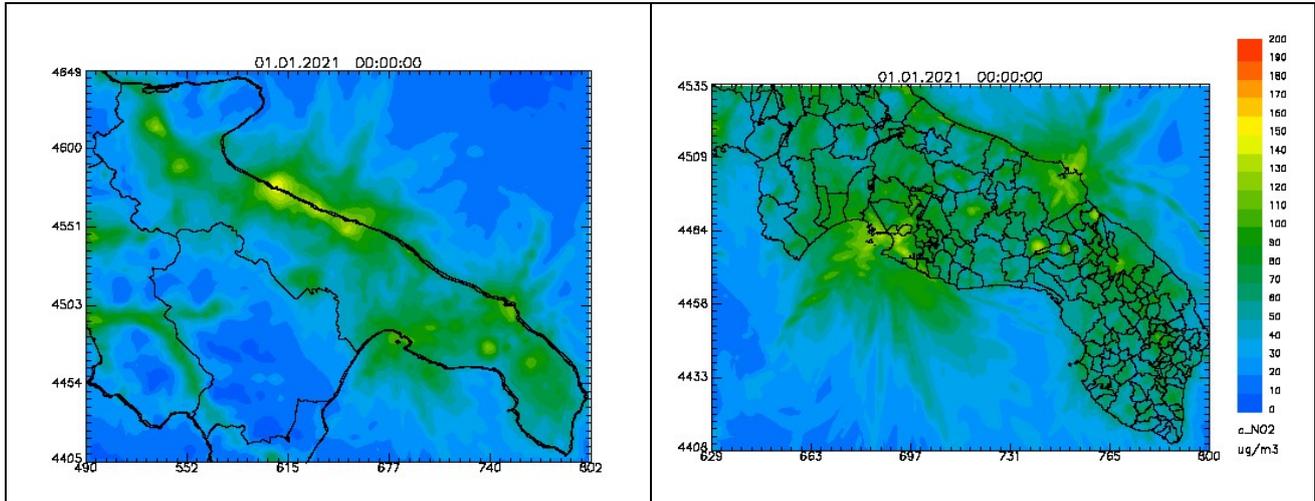


Figura 33: Mappe della concentrazione massima oraria di NO₂ sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

3.4 OZONO (O₃)

L'ozono è un inquinante secondario che si forma in atmosfera attraverso reazioni fotochimiche tra altre sostanze (tra cui gli ossidi di azoto e i composti organici volatili). Poiché il processo di formazione dell'ozono è catalizzato dalla radiazione solare, le concentrazioni più elevate si registrano nelle aree soggette a forte irraggiamento e nei mesi più caldi dell'anno. Il D. Lgs. 155/10 fissa un valore bersaglio per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m³ sulla media mobile delle 8 ore, da non superare più di 25 volte l'anno e un valore obiettivo a lungo termine, pari a 120 µg/m³.

A titolo indicativo, vengono riportati anche i valori di concentrazione indicati nelle Linee Guida edite dall'OMS nel 2021 che, come noto, non hanno cogenza normativa.

Finalità	Indicatori	Periodo di mediazione	Valore D.LGS. 155/2010	LINEE GUIDA QUALITÀ DELL'ARIA OMS 2021
Protezione della salute umana	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m ³ , da non superarsi più di 25 volte per anno civile, come media su tre anni	100 µg/m ³
	Obiettivo a lungo termine	Media massima giornaliera su 8 ore nell'arco di un anno	120 µg/m ³	//
	Soglia di informazione	Media oraria	180 µg/m ³	
	Soglia di allarme	Media oraria	240 µg/m ³	
Protezione della vegetazione	Valore obiettivo	AOT40 (calcolato sulla base dei dati di 1 ora)	18.000 µg/m ³ * h come media su 5 anni	
	Obiettivo a lungo termine	AOT40 (calcolato sulla base dei dati di 1 ora)	6000 µg/m ³ * h	

3.4.1 Dati di qualità dell'aria

Nel 2021 il valore obiettivo per l'ozono è stato superato in tutti i siti di monitoraggio (figura 34), tranne che nei siti *San Severo–Az. Russo* e *Taranto–San Vito*. Il valore più elevato (159 µg/m³) si è registrato a *Brindisi – Terminal* per la RRQA e a *Candela –Scuola** (168 µg/m³) per le stazioni di interesse locale.

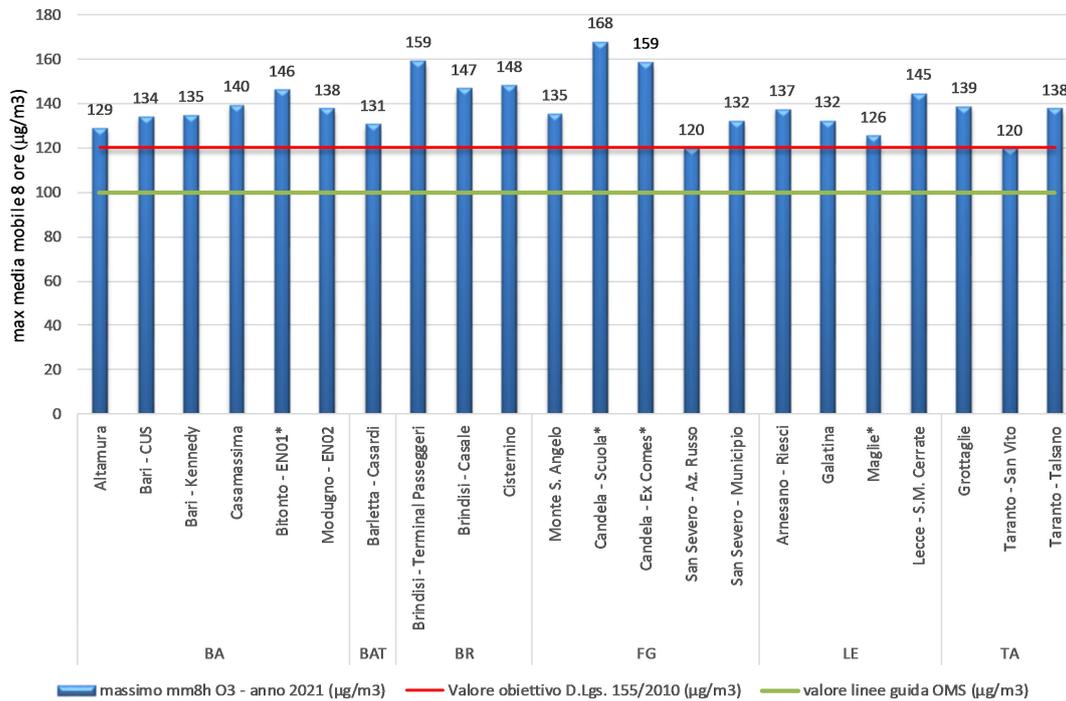


Figura 34: Massimo della media mobile sulle 8 ore per l'O₃ (µg/m³)- anno 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

I 25 superamenti annuali consentiti dal D. Lgs. 155/2010 sono stati superati nelle stazioni di *Cisternino* (35 superamenti) e di *Lecce - S.M. Cerrate* (27 superamenti) per la RRQA mentre per le stazioni di interesse locale si segnalano i 32 superamenti presso la stazione di *Candela – Scuola**.

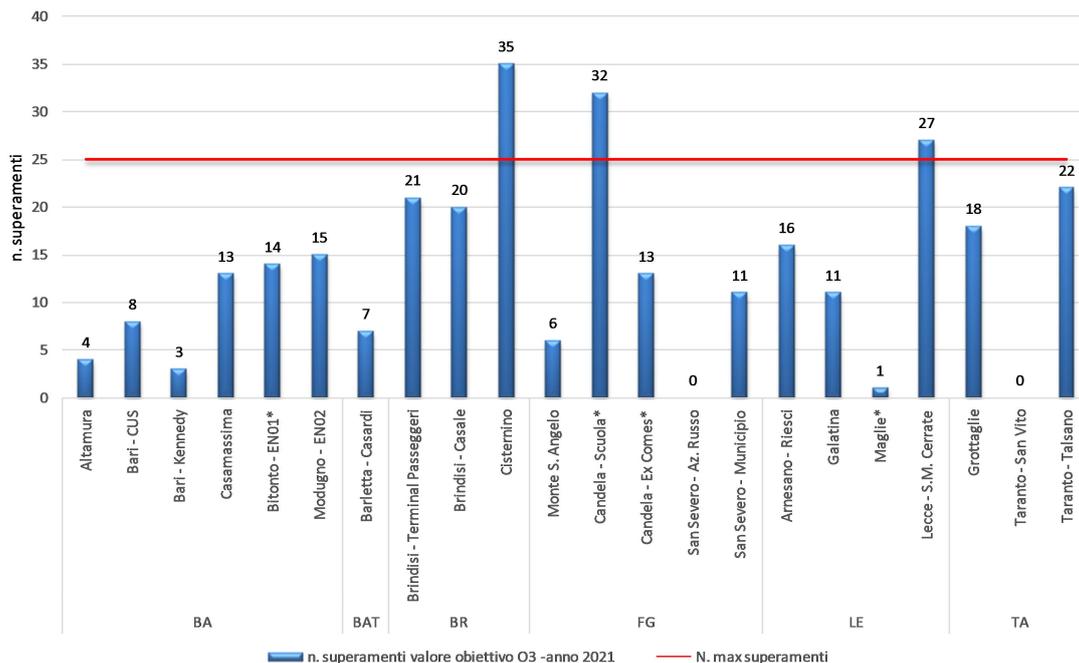


Figura 35: Numero di superamenti del limite sulla media mobile delle 8 ore per l'O₃ – anno 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

Nelle stazioni di monitoraggio rurali di fondo, al fine di valutare la protezione della vegetazione dalla esposizione, viene calcolato l'AOT40 (Accumulation Over Threshold of 40 ppb)¹⁵ il cui obiettivo a lungo termine è fissato a 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ e il valore obiettivo come media su 5 anni è fissato a 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$. L'obiettivo a lungo termine è stato abbondantemente superato in tutti i siti di monitoraggio mentre il valore obiettivo è stato superato nelle stazioni *San Severo - Municipio* e *Cisternino*.

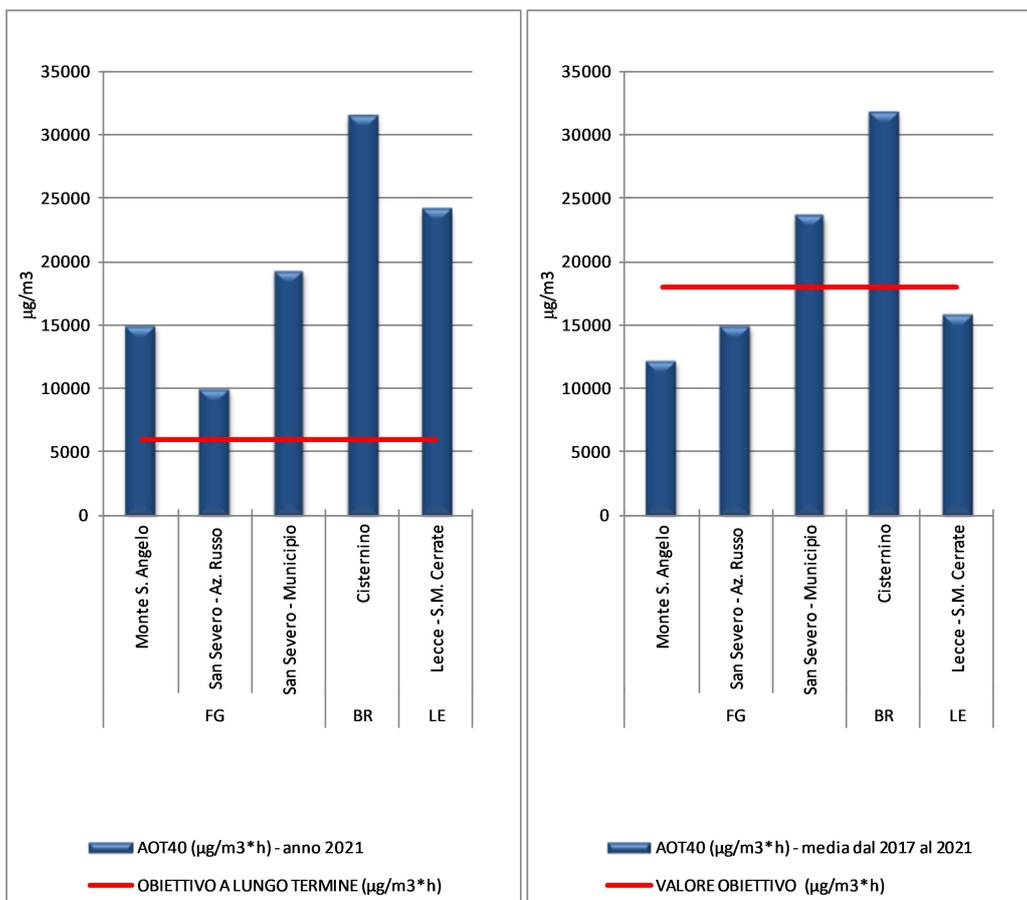


Figura 36: AOT40- anno 2021 (a sinistra) e AOT40 - media degli anni 2017-2021 (a destra).

3.4.2 Dati modellati

Il sistema modellistico prevede il superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana in quasi tutto il territorio regionale.

¹⁵ Questo indicatore, calcolato sommando le differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e il valore di 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ misurate tra le ore 8:00 e le ore 20:00 dei mesi da maggio a luglio, viene utilizzato per valutare il raggiungimento degli obiettivi di protezione della vegetazione.

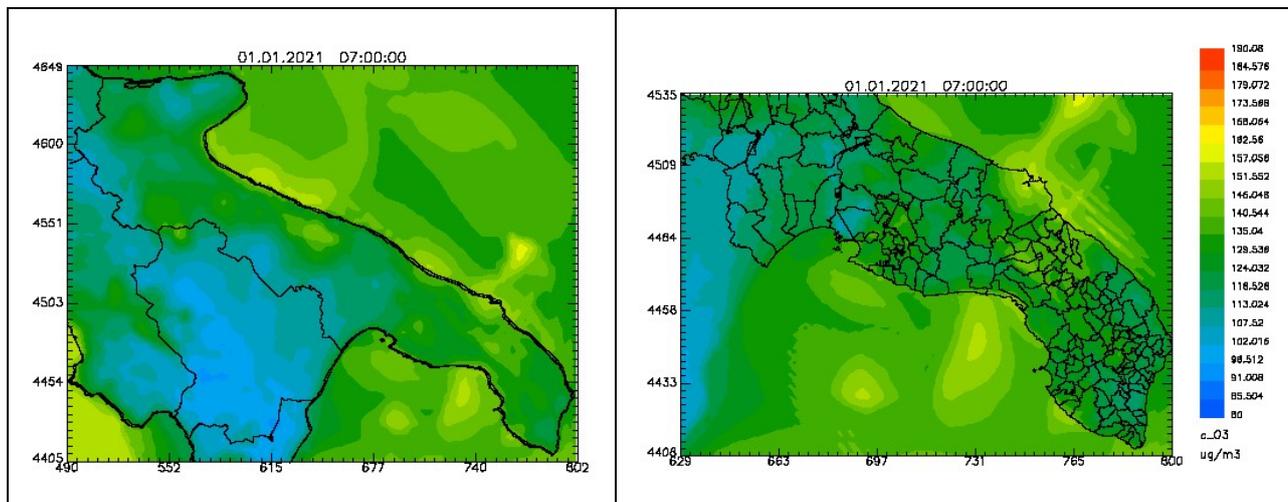


Figura 37: Mappe della concentrazione media mobile massima su 8 ore di O₃ sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

Il sistema modellistico non prevede alcun superamento delle soglie prescritte per l'ozono sul dominio regionale. Sul dominio a scala urbana, grazie alla migliore risoluzione spaziale, si rileva il superamento della soglia di informazione, prescritta per l'ozono, solo in prossimità delle coste meridionali.

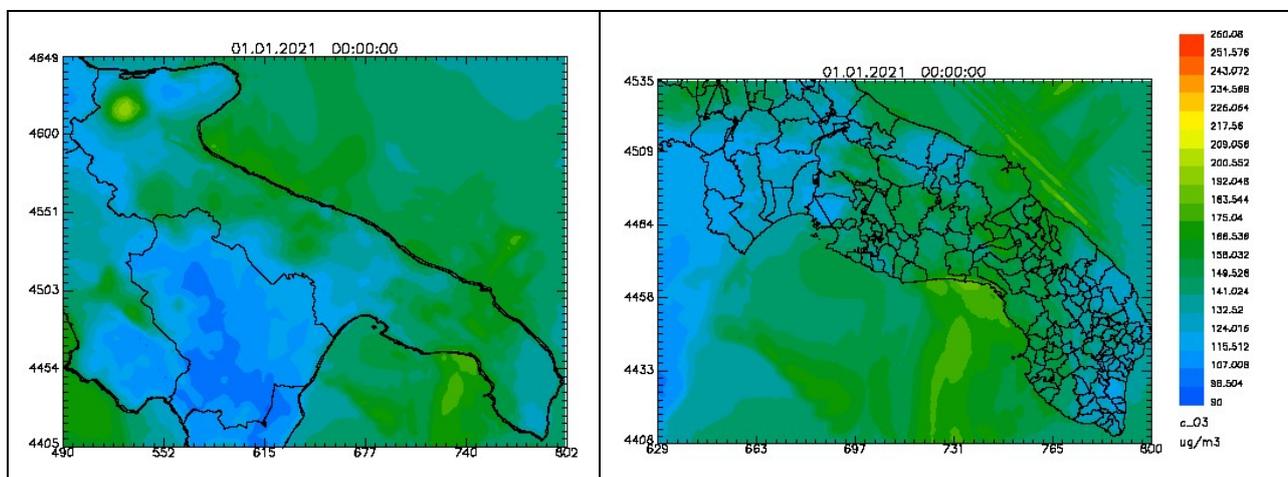


Figura 38: Mappe della massima concentrazione oraria di O₃ sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

Diversamente da quanto indicato dalle misure fornite dalle stazioni di monitoraggio, la mappa di analisi non mostra un numero di superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute maggiore di quello ammesso in un anno (pari a 25) né sul dominio regionale né su quello a scala urbana. Ciò è dovuto ad una evidente sottostima da parte del modello sulle cui cause è necessario eseguire uno specifico approfondimento che tenga conto anche delle condizioni al contorno.

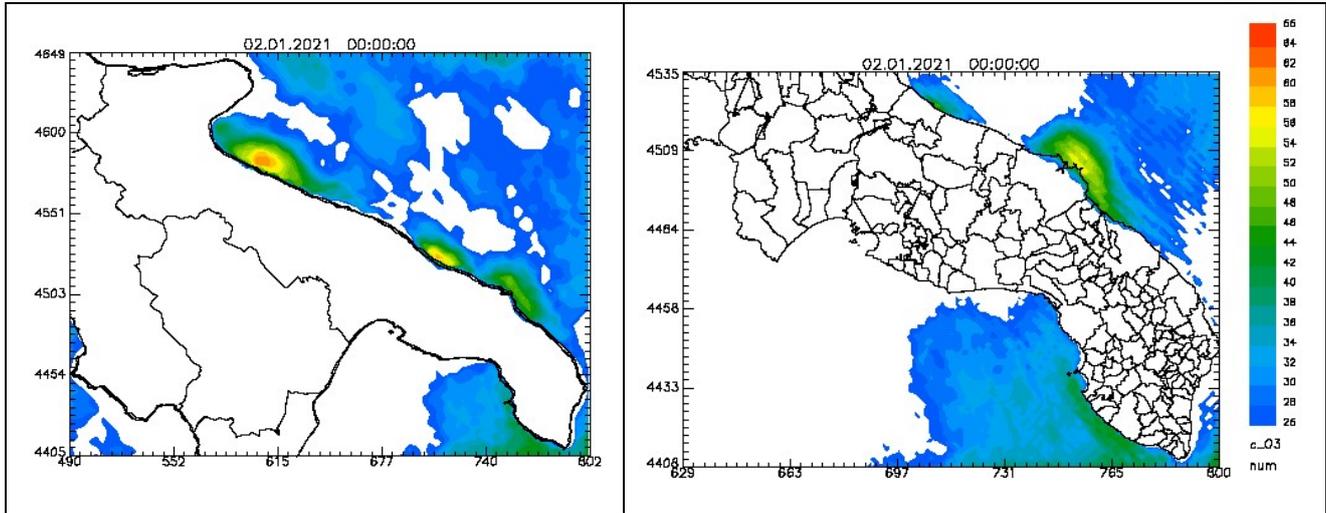


Figura 39: Mappe del numero annuale di superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana per O₃, sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

3.5 BENZENE

Il benzene presente in atmosfera è originato dall'attività umana e in particolare dall'uso di petrolio, oli minerali e loro derivati. In area urbana, la principale sorgente di benzene è rappresentata dalle emissioni dovute a traffico auto veicolare e al riscaldamento residenziale a biomassa legnosa. Esso, infatti, è presente nelle benzine e, come tale, viene prodotto durante la combustione. La normativa italiana in vigore prevede che il tenore massimo sia pari all'1%.

Il benzene è una sostanza dall'accertato potere cancerogeno. La normativa vigente prevede una concentrazione limite annua pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Periodo di mediazione	Valore limite D.LGS.155/2010
Anno civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

3.5.1 Dati di qualità dell'aria

Nel 2021, le concentrazioni di benzene non hanno superato il valore limite annuale in nessun sito della RRQA (Figura 40). Il valore più elevato ($1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato registrato a *Taranto-Machiavelli* per la RRQA e a *Taranto- Orsini** ($2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per le stazioni di interesse locale. La media delle concentrazioni è stata di $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, confrontabile con la media di $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ valore del 2020.

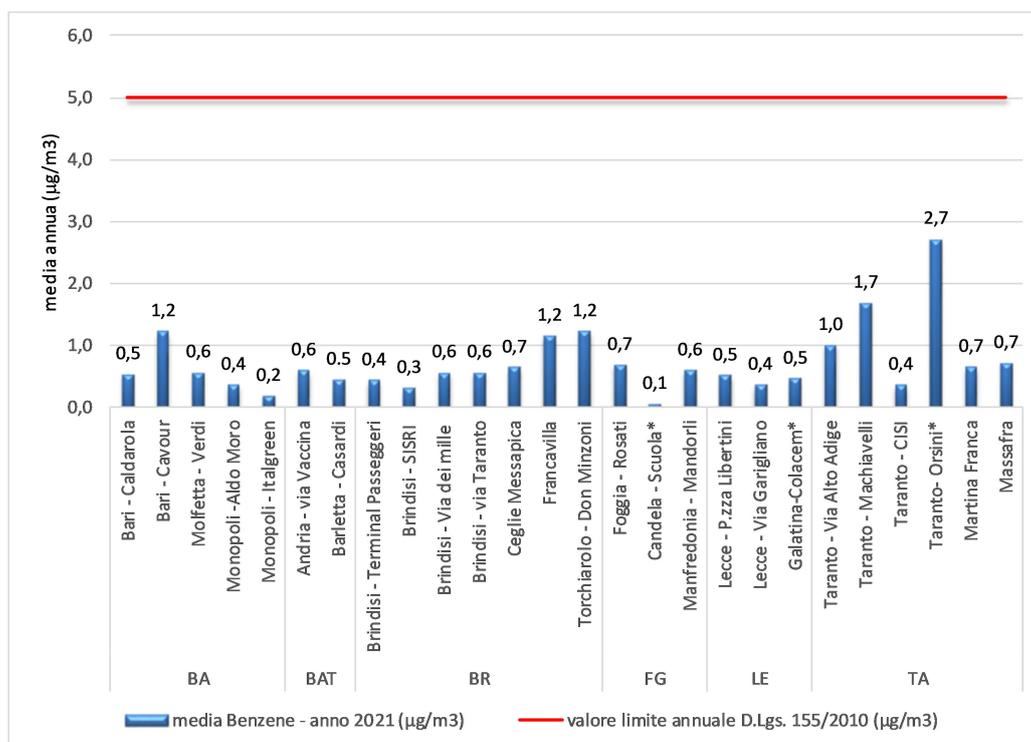


Figura 40: valori medi annui di benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In figura 41 è riportato il confronto dei dati del 2021 con quelli del 2020. In nessuna provincia si osserva un trend univoco di incremento o diminuzione.

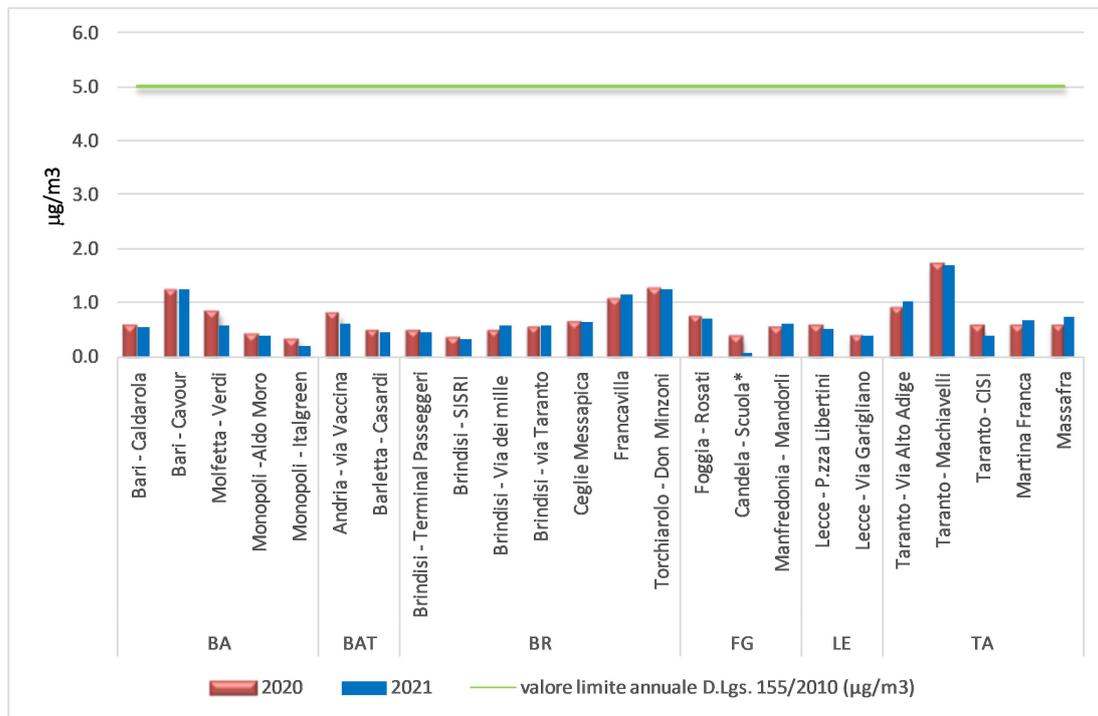


Figura 41: Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – confronto tra medie annuali 2020 e 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In figura 42 è mostrato il trend provinciale delle concentrazioni di Benzene dal 2015 al 2021. Da anni è in corso la diminuzione della concentrazione di Benzene in aria ambiente, conseguenza della normativa in materia di formulazione delle benzine per autotrazione. Una diminuzione graduale negli anni è evidente nella Città Metropolitana di Bari e in provincia di BAT. Nel 2021, per il territorio barese, a tale riduzione potrebbero aver contribuito le condizioni meteorologiche più favorevoli alla dispersione degli inquinanti, come evidenziato al cap.2.

In provincia di Lecce la diminuzione appare più evidente solo negli ultimi tre anni. In provincia di Brindisi e Foggia si è registrata la diminuzione principalmente dal 2016 in poi e i valori, da allora, si sono attestati su concentrazioni confrontabili. In provincia di Taranto le concentrazioni sono diminuite dal 2016 in poi, fatta eccezione per la media annuale del 2020 che presenta un valore anche maggiore di quello del 2015.

Nella città di Taranto nel 2020 e nel 2021 le medie annue di benzene sono risultate in aumento rispetto al 2019, in particolar modo nelle stazioni *Taranto-Orsini** e *Taranto-Machiavelli* situate a ridosso dell'area industriale. Nel sito *Taranto-Via Alto Adige*, classificato da traffico, la media annua è rimasta invariata. Valutazioni più approfondite a riguardo possono trovarsi nei report disponibili all'indirizzo https://www.arpa.puglia.it/pagina3086_relazioni-annuali-sui-dati-della-qualit-dellaria-di-taranto.html.

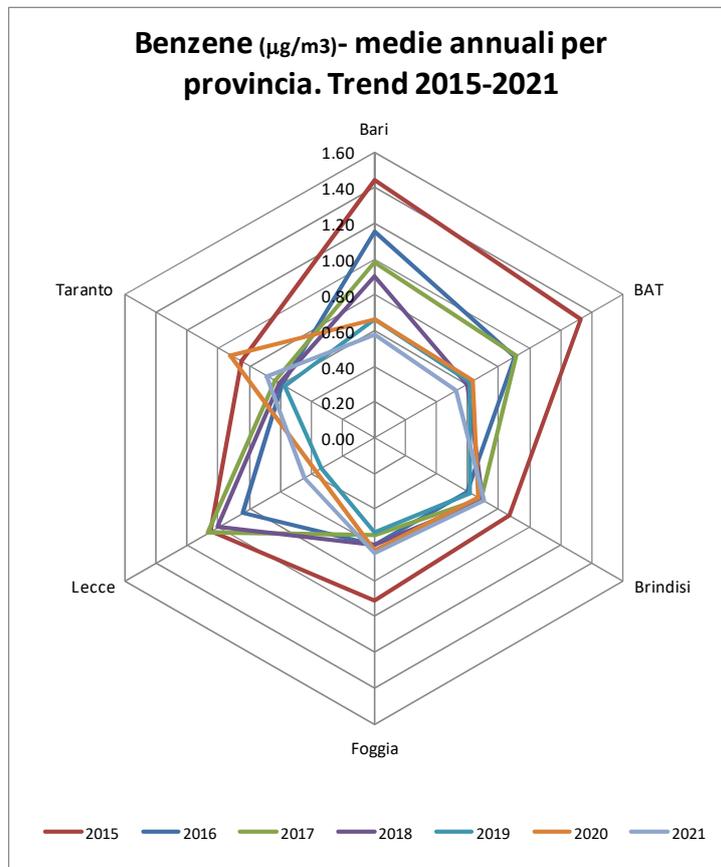


Figura 42: Trend per provincia del Benzene dal 2015 al 2021.

3.5.2 Dati modellati

Per il benzene il modello non stima superamenti del valore limite per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

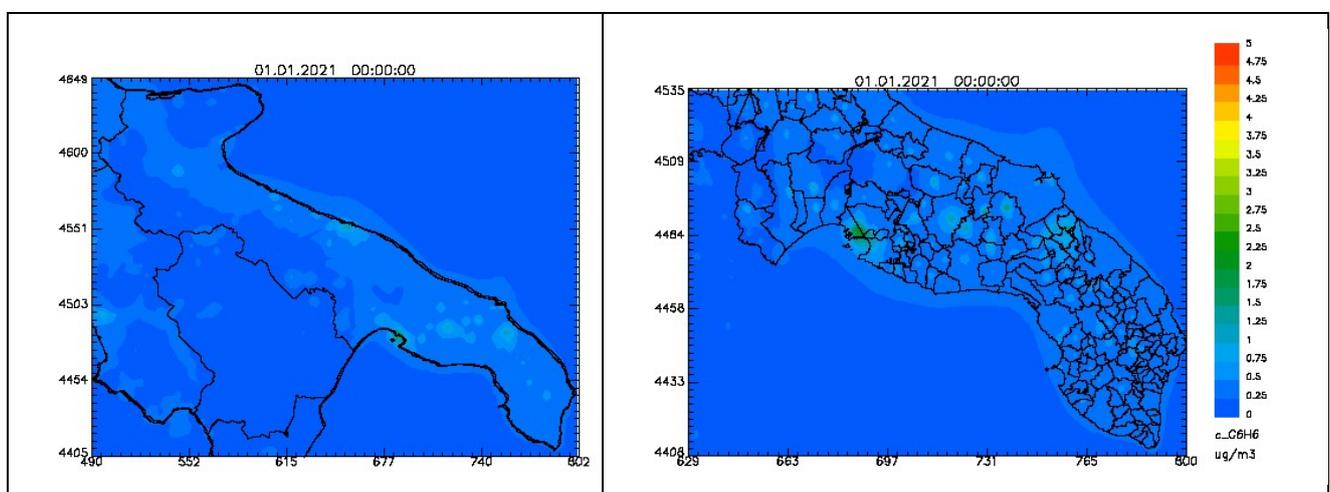


Figura 43: Mappe della concentrazione media annuale di benzene sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

3.6 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

Il monossido di carbonio è una sostanza gassosa che si forma per combustione incompleta di materiale organico, ad esempio nei motori degli autoveicoli e nei processi industriali. Il monossido di carbonio può risultare letale per la sua capacità di formare complessi con l'emoglobina più stabili di quelli formati da quest'ultima con l'ossigeno impedendo il trasporto nel sangue. Il D. Lgs 155/2010 fissa un valore limite di 10 mg/m^3 calcolato come massimo sulla media mobile delle 8 ore.

Periodo di mediazione	Valore limite D.LGS.155/2010
Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m^3

3.6.1 Dati di qualità dell'aria

Nel 2021 il limite di concentrazione di 10 mg/m^3 per il CO non è stato superato in nessuno dei siti di monitoraggio (figura 44).

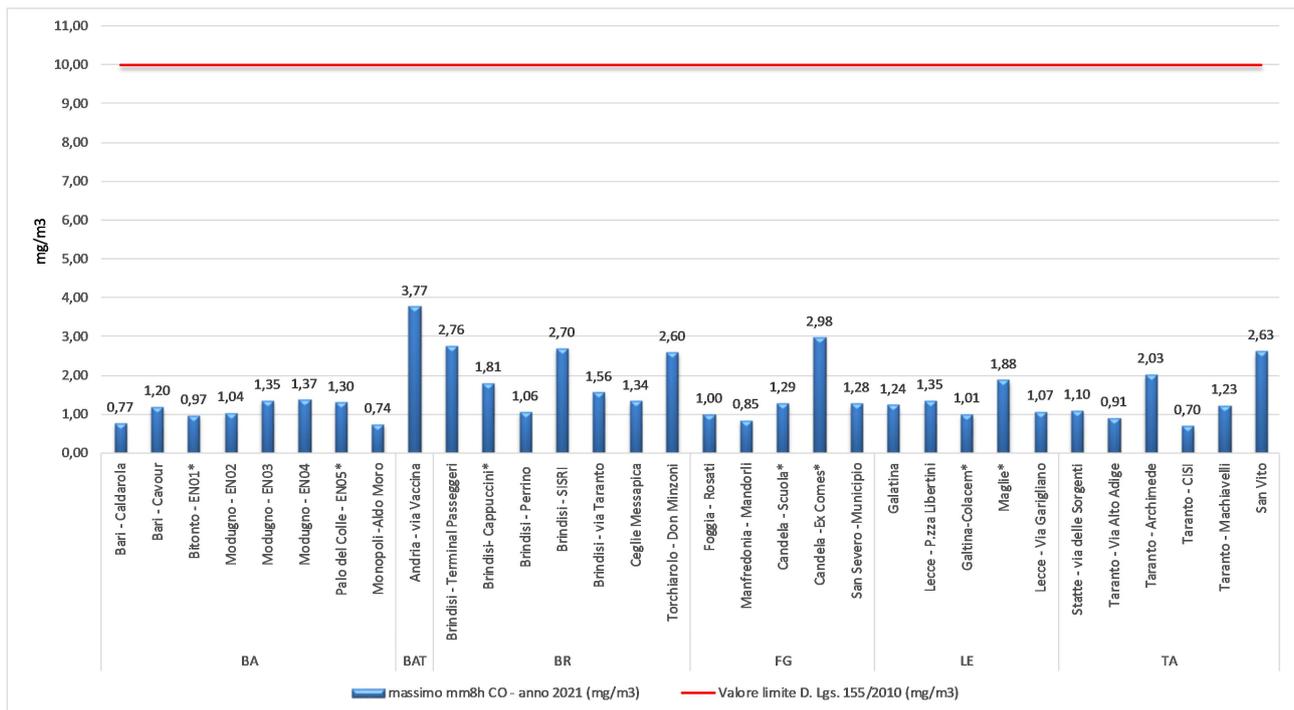


Figura 44: massimo della media mobile sulle 8 ore di CO (mg/m^3) - 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

3.6.2 Dati modellati

Su entrambi i domini di simulazione non si verifica alcun superamento del valore limite prescritto per il CO.

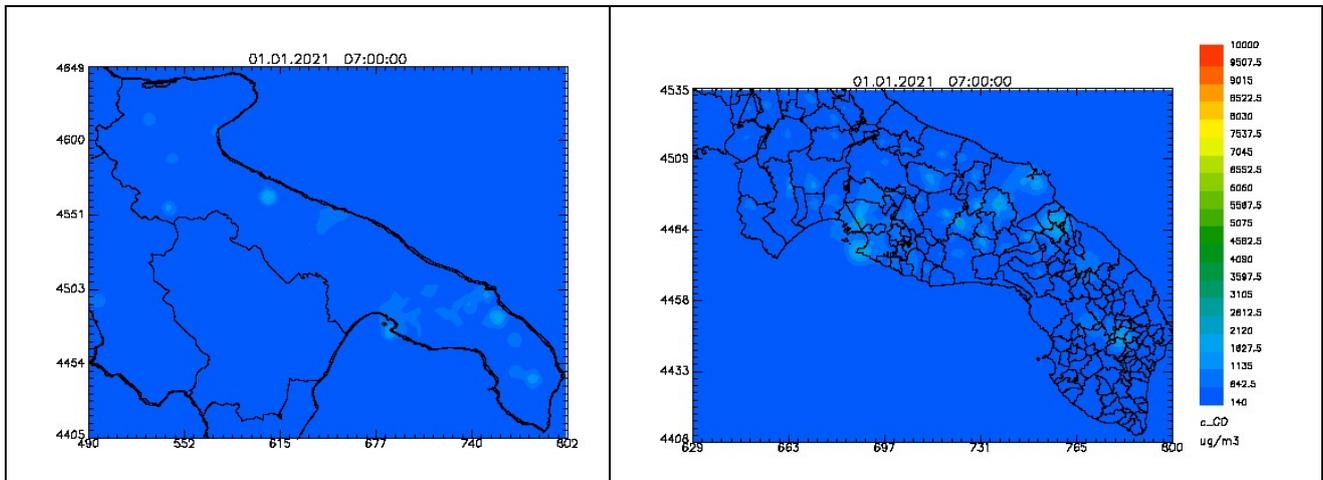


Figura 45: Mappe della massima concentrazione media mobile su 8 ore di CO sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

3.7 BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂)

Il biossido di zolfo deriva dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. In passato è stato un importante inquinante atmosferico poiché la sua ossidazione porta alla formazione di acido solforoso e solforico. Il biossido di zolfo è un gas incolore facilmente solubile in acqua.

Le fonti naturali, come i vulcani, contribuiscono ai livelli ambientali di anidride solforosa. Le emissioni antropogeniche sono invece legate all'uso di combustibili fossili contenenti zolfo per il riscaldamento domestico, la generazione di energia e nei veicoli a motore. Nel tempo il contenuto di zolfo nei combustibili è sensibilmente diminuito, portando i livelli di SO₂ in area ambiente a livelli estremamente bassi. Il D. Lgs 155/2010 fissa un valore limite orario di 350 µg/m³ da non superare più di 24 volte per anno, un valore limite giornaliero di 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte per anno e una soglia di allarme di 500 µg/m³ su tre ore consecutive.

Periodo di mediazione	Valore limite D.LGS.155/2010
media oraria	350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile
Media giornaliera	125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile
Media oraria	Soglia di allarme: 500 µg/m ³ su 3 ore consecutive

3.7.1 Dati di qualità dell'aria

Nelle stazioni della RRQA presenti nella Città Metropolitana di Bari e nelle province di BAT e Foggia, l'SO₂ non viene monitorato. Sono invece presenti analizzatori per il monitoraggio dell'SO₂ nelle aree industriali di Taranto e Brindisi. Nel 2021 non sono stati registrati superamenti né del valore limite orario né di quello giornaliero. Le concentrazioni di biossido di zolfo rilevate sono di molto inferiori a tutti i limiti previsti dall'attuale normativa e testimoniano una riduzione dell'impiego di combustibili fossili contenenti zolfo (gasolio e olio combustibile) sia negli impianti di riscaldamento che nelle caldaie industriali, sostituiti progressivamente da impianti a metano e dal teleriscaldamento.

I valori medi annuali si attestano tutti sotto i 5 µg/m³. La concentrazione maggiore (5 µg/m³) è stata registrata nella stazione *Taranto – San Vito*.

Il biossido di zolfo in aria ambiente non rappresenta più una criticità ambientale, tanto da poterne evitare il monitoraggio in siti fissi. Tuttavia, nei siti industriali della regione è raccomandabile continuare il monitoraggio, sia perché questo inquinante è il tracciante di determinati processi produttivi, sia per valutarne le concentrazioni in possibili eventi incidentali.

Il valore massimo orario (206 µg/m³) e il valore massimo giornaliero (39 µg/m³) sono stati registrati a *Taranto-Machiavelli*. A riguardo, si rimanda ai documenti disponibili all'indirizzo https://www.arpa.puglia.it/pagina3077_report-eventi-accidentali.html.

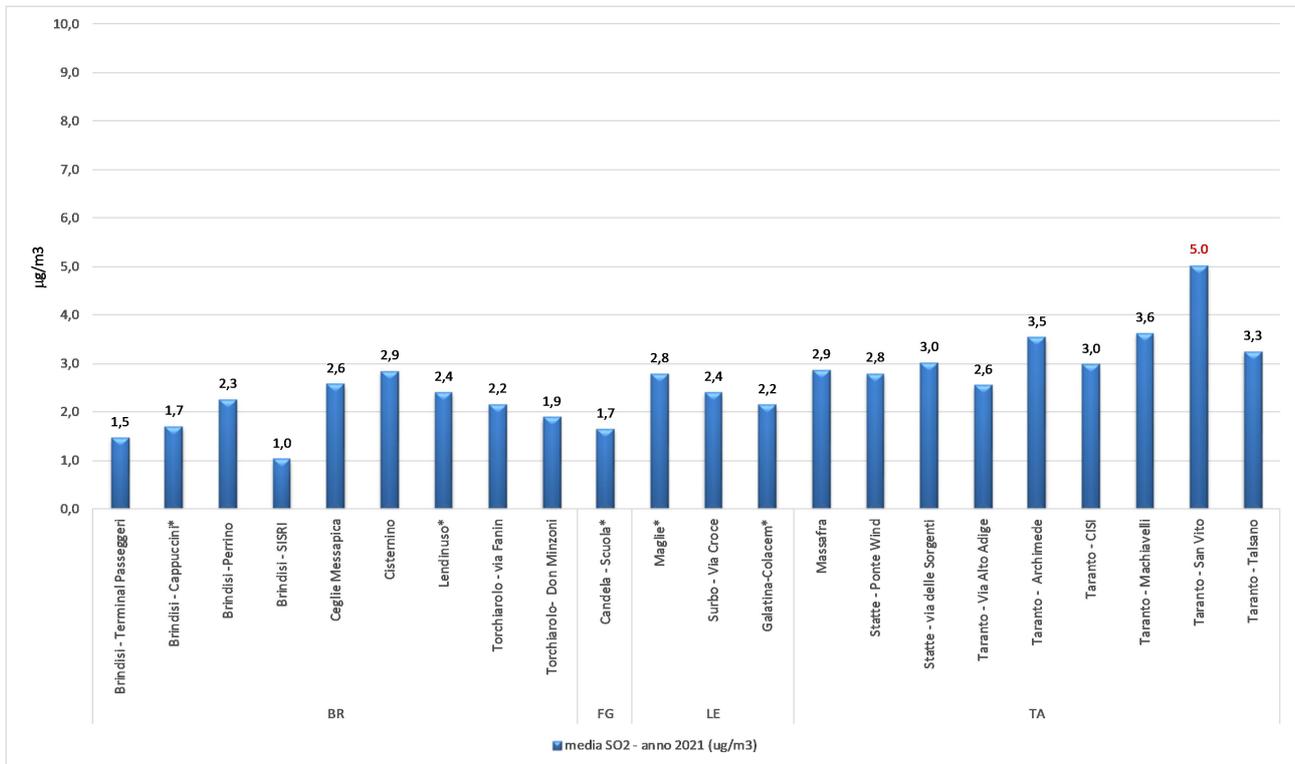


Figura 46: Media annuale SO₂ (µg/m³) - 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punto di misura che non ha raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riporta a titolo conoscitivo

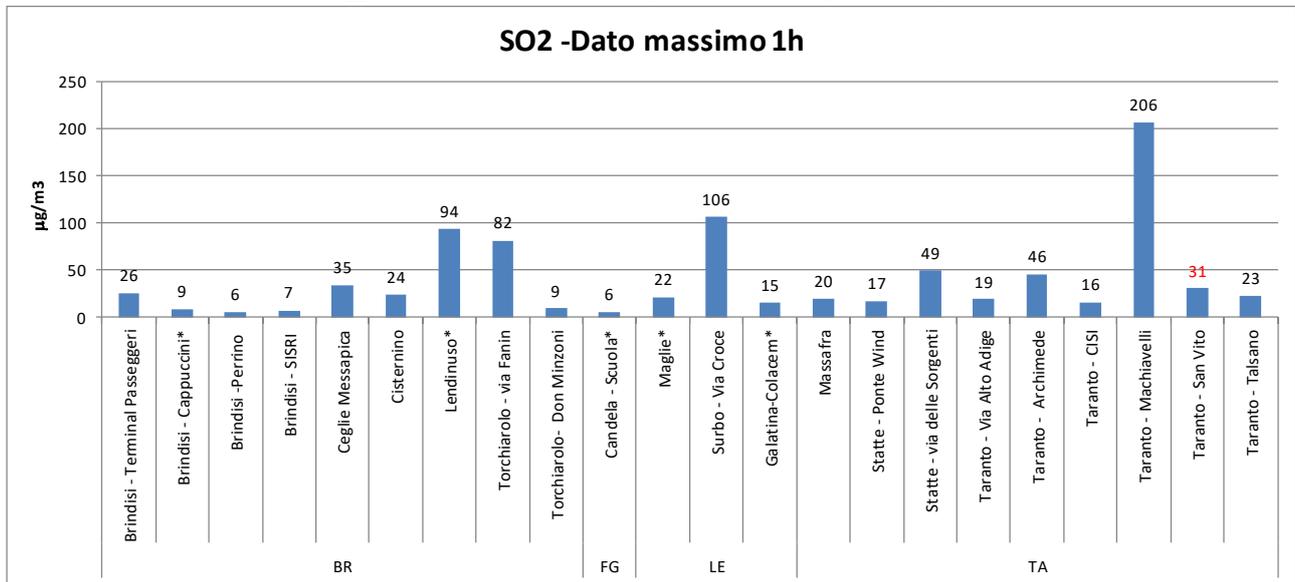


Figura 47: Valore massimo orario SO₂ (µg/m³) – 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punto di misura che non ha raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riporta a titolo conoscitivo

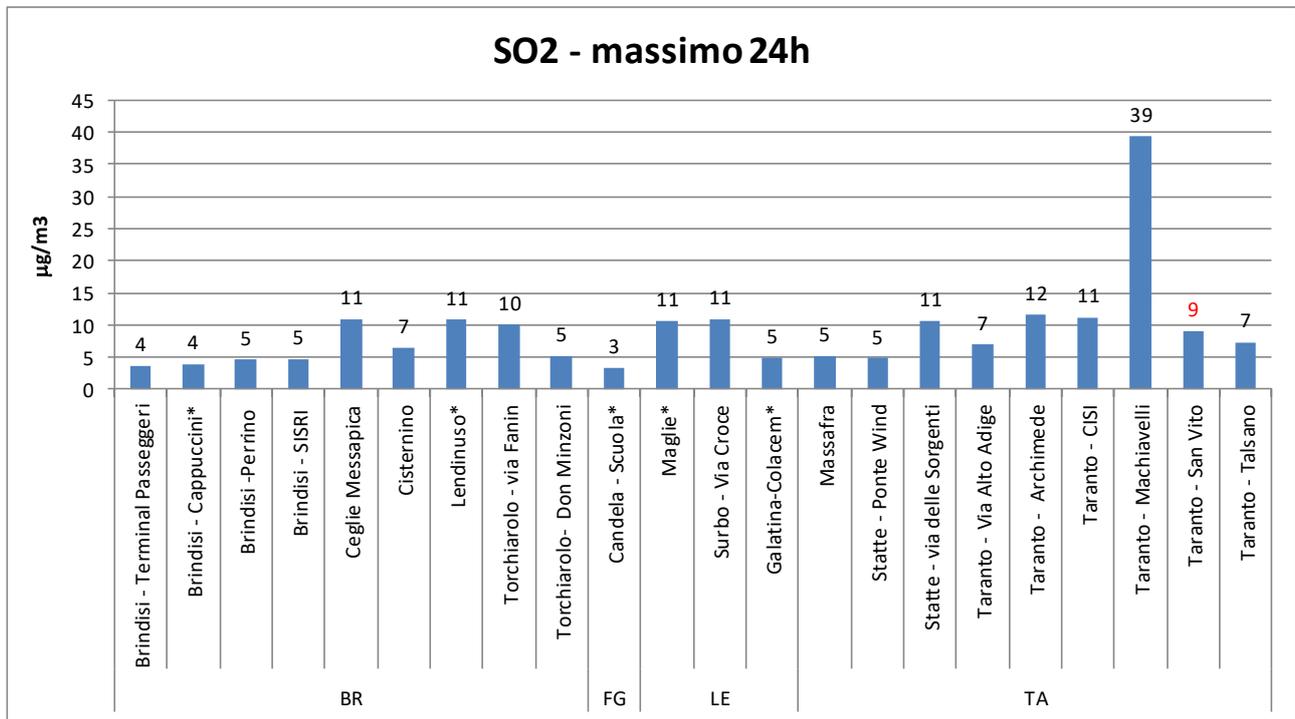


Figura 48: Valore massimo giornaliero SO₂ (µg/m³) – 2021

* stazione fissa di interesse locale non appartenente alla RRQA

In rosso: punto di misura che non ha raggiunto l'efficienza annuale di campionamento del 90%, ma che si riporta a titolo conoscitivo

3.7.2 Dati modellati

Su entrambi i domini di simulazione non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti per l'SO₂. I valori più elevati per gli indicatori considerati vengono stimati in provincia di Taranto e di Brindisi, in corrispondenza delle aree industriali.

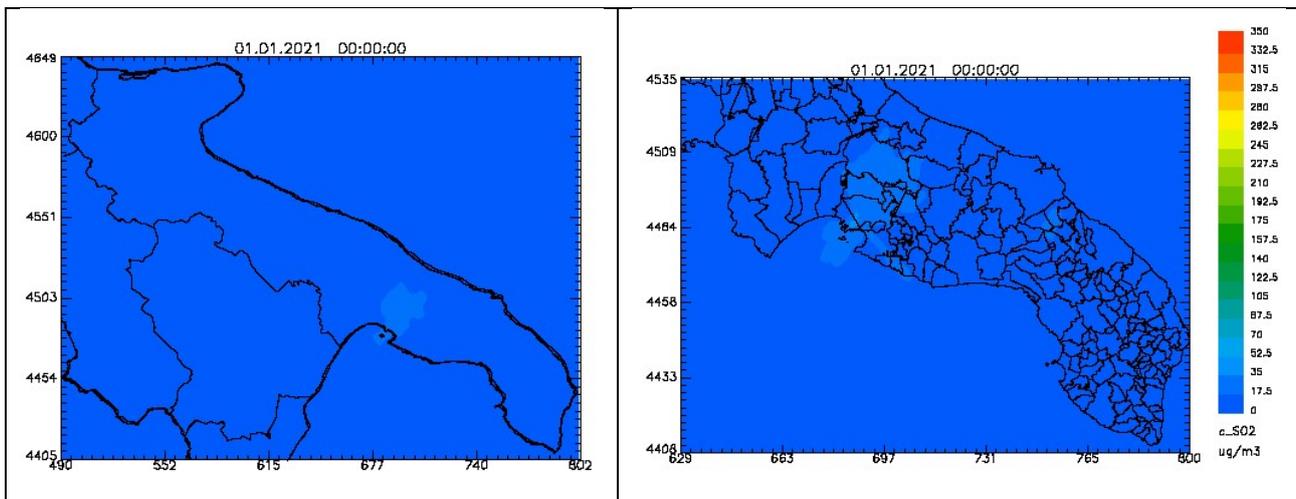


Figura 49: Mappe del 99.7° percentile di SO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

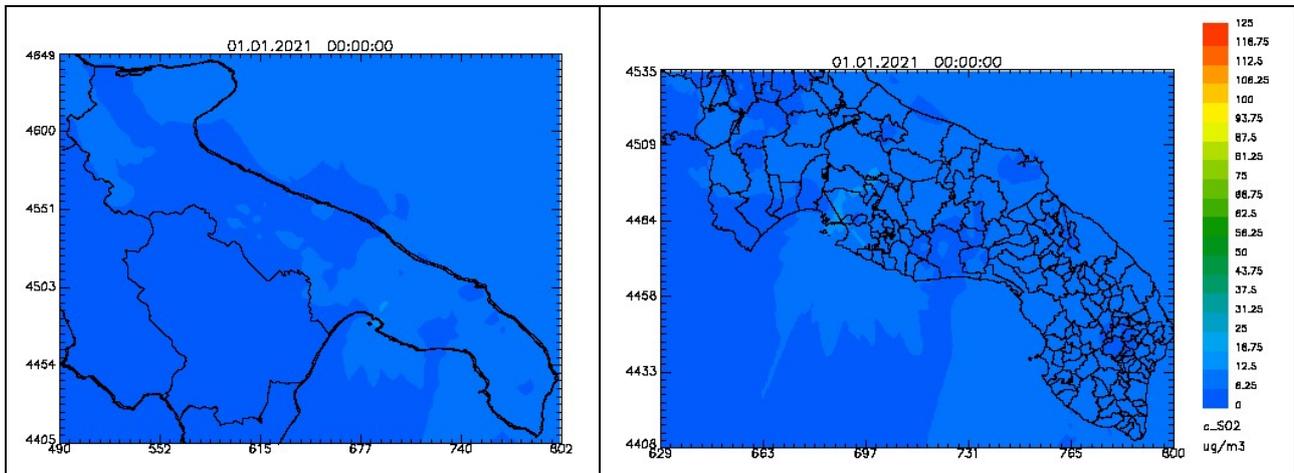


Figura 50: Mappe del 99.2° percentile di SO_2 , calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni giornaliere, sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

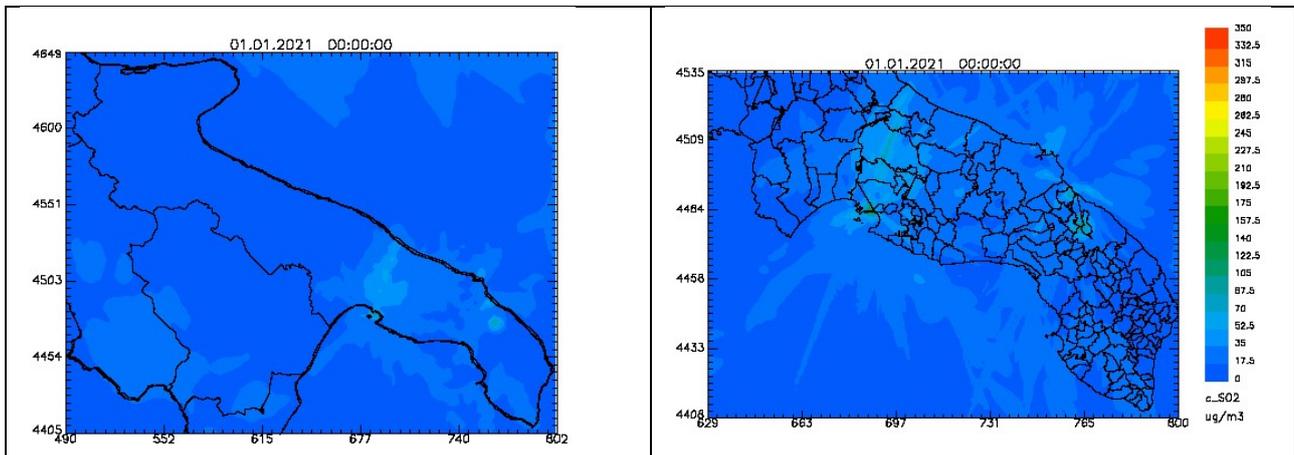


Figura 51: Mappe della concentrazione massima oraria di SO_2 sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute tramite l'assimilazione.

3.8 Benzo(a)Pirene nel PM₁₀

Il Benzo(a)pirene, classificato come cancerogeno per l'uomo (classe 1) dall'Agenzia per la Ricerca sul Cancro (IARC) è il marker della famiglia di inquinanti noti come idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Questa classe di composti è generata dalla combustione incompleta di sostanze organiche durante processi industriali e civili ed è tra i microinquinanti organici più diffusi nell'ambiente. Le principali sorgenti degli IPA sono i processi industriali (trasformazione di combustibili fossili, processi siderurgici, processi di incenerimento, produzione di energia elettrica, ecc.), i sistemi di riscaldamento domestico, il traffico autoveicolare e navale. La normativa prevede la determinazione del Benzo(a)pirene contenuto nel PM₁₀ e fissa un valore obiettivo di 1 ng/m³, da calcolare su base annua.

Periodo di mediazione	Valore obiettivo D.LGS.155/2010
Media annuale	1 ng/m ³

3.8.1 Dati di qualità dell'aria

Nel 2021 il B(a)P è stato monitorato in 9 siti. Alla fase di campionamento del PM₁₀, realizzata con la strumentazione automatica presente nelle stazioni di monitoraggio, segue quella di quantificazione del contenuto in B(a)P, eseguita nei laboratori dipartimentali di ARPA Puglia. In nessuno dei siti monitorati è stato superato il valore obiettivo. La concentrazione più elevata (0,9 ng/m³) è stata raggiunta a *Torchiarolo – Don Minzoni***.

A Taranto sono state rilevate concentrazioni in lieve rialzo rispetto al biennio precedente in particolar modo nel sito *Taranto - Machiavelli*. Dal mese di ottobre sono stati osservati incrementi apprezzabili della concentrazione mensile di B(a)P. In particolare, nel mese di dicembre sono state registrate concentrazioni superiori a 1 ng/m³ nei siti *Taranto-Orsini** e *Taranto-Machiavelli*¹⁶. Tale condizione non si registrava dal 2012. Valutazioni più approfondite a riguardo possono trovarsi nei report disponibili all'indirizzo https://www.arpa.puglia.it/pagina3086_relazioni-annuali-sui-dati-della-qualit-dellaria-di-taranto.html.

¹⁶ Condizioni analoghe sono state registrate presso la Scuola "Deledda", nel quartiere Tamburi di Taranto, dove ARPA Puglia monitora le concentrazioni di BaP, pur in assenza di una stazione di monitoraggio fissa.

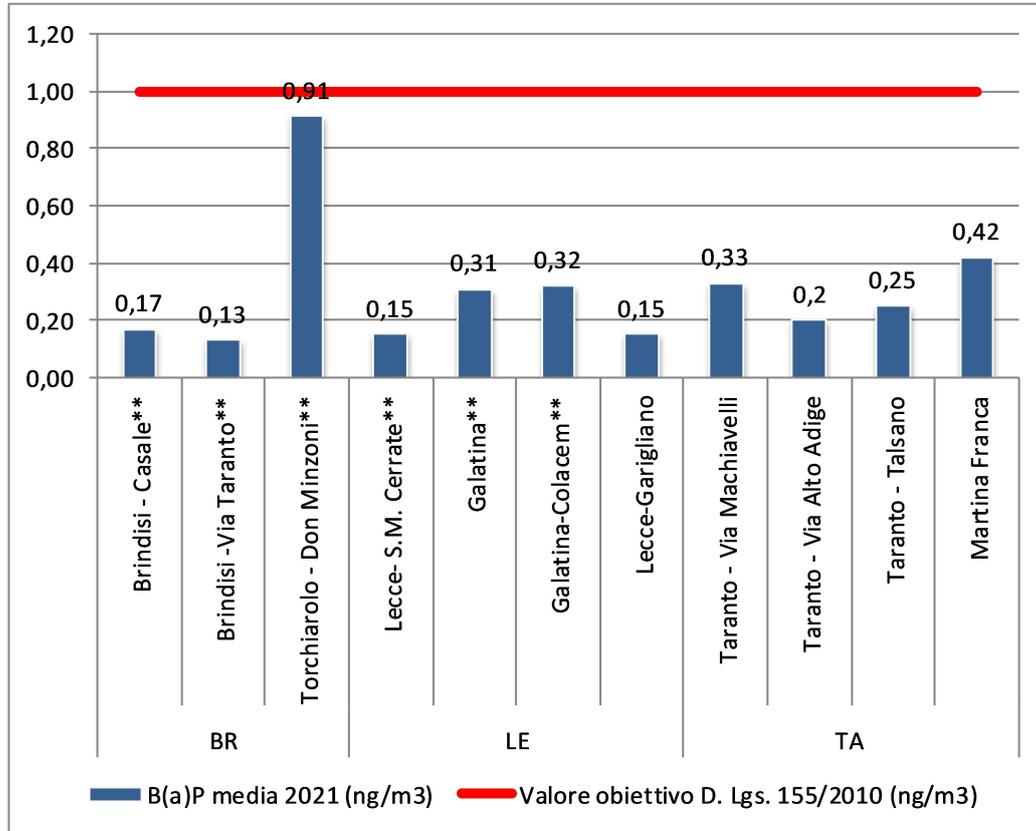


Figura 52: Media annuale di Benzo(a)pirene (ng/m³) – 2021

** stazione i cui dati di B(a)P non vengono trasmessi a ISPRA

3.8.2 Dati modellati

Il sistema modellistico prevede il superamento¹⁷ del valore obiettivo per il B(a)P sulla griglia regionale solo nel comune di Mesagne; su tale griglia in generale le concentrazioni medie annuali più elevate si osservano in corrispondenza di alcuni comuni del brindisino, del leccese e del tarantino.

¹⁷È opportuno precisare che si verifica un superamento del valore obiettivo annuale su una cella del dominio di simulazione quando la concentrazione media annuale, ivi stimata, supera il valore di 1.055 ng/m³.

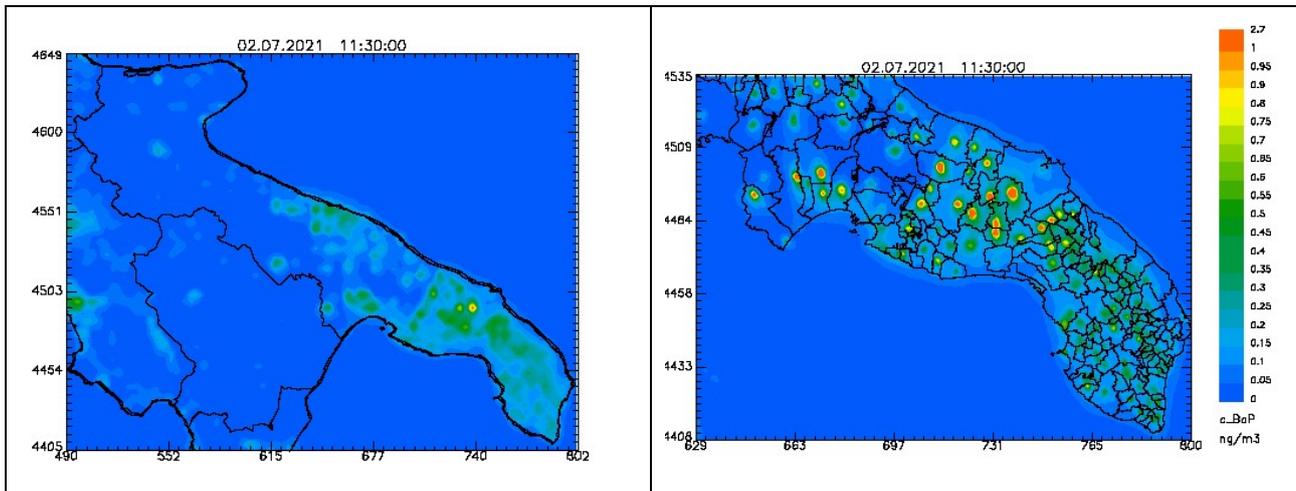


Figura 53: Mappe della concentrazione media annuale di Benzo(a)Pirene sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute dal solo modello FARM.

Nella tabella successiva si fornisce l'elenco dei comuni, per i quali il modello prevede, alla risoluzione più dettagliata e all'interno delle aree urbanizzate, il superamento del valore obiettivo annuale.

Come già descritto nella scheda di approfondimento 2, tali superamenti sono stati previsti dal sistema modellistico per ogni annualità a partire dal 2016. Sono state quindi svolte nel corso del 2020 e 2021 delle campagne di monitoraggio, in alcuni dei comuni delle province di Brindisi, Lecce e Taranto presso i quali i risultati delle valutazioni modellistiche, condotte anche negli anni precedenti, avevano evidenziato il rischio di superamento del valore obiettivo stabilito dalla normativa vigente per la concentrazione media annua di B(a)P. La disponibilità di questi dati ha permesso di avviare una valutazione più precisa dell'abilità del sistema modellistico di ricostruire le concentrazioni di B(a)P. In particolare, come anche indicato nella scheda, i confronti condotti tra le concentrazioni modellate e misurate hanno evidenziato una tendenza del modello a sovrastimare il dato misurato. Tenuto conto che per il PM_{10} non emerge un analogo comportamento, si è ritenuto che la causa di tale sovrastima possa essere legata alla qualità della stima emissiva per il B(a)P, condizionata dall'utilizzo di un fattore di emissione meno solido rispetto a quello dei macroinquinanti. Gli esiti del confronto, condotto nelle postazioni di campionamento situate all'interno delle aree urbanizzate più densamente abitate, è stato quindi utilizzato per stimare un fattore correttivo da utilizzare per migliorare la valutazione modellistica ad 1km. Tale fattore adimensionale, calcolato come media dei rapporti delle concentrazioni medie misurate e modellate nelle postazioni di campionamento di Latiano, Salice Salentino, Massafra, Francavilla Fontana, Maglie, Erchie, è risultato pari a 0.69.

Nella tabella successiva vengono quindi indicati i comuni delle province di Brindisi, Lecce e Taranto per i quali il modello FARM prevede il superamento del valore obiettivo, le corrispondenti concentrazioni medie annuali simulate e le concentrazioni "corrette" secondo il fattore precedentemente valutato. Come atteso,

il numero di comuni (rappresentati in rosso) interessati dal rischio di superamento si riduce da 16 a 7 e sono Erchie, Oria, Mesagne, Latiano, Ceglie Messapica, Mottola e Castellaneta.

Nome comune	Provincia	media annua B(a)P modellata (ng/m ³)	media annua B(a)P ottenuta (ng/m ³) con fattore di correzione
Torre S.Susanna	BR	1.46	1.01
Cellino San Marco	BR	1.4	0.97
Erchie	BR	1.55	1.07
Oria	BR	2.1	1.46
FrancaVilla	BR	1.4	0.97
Mesagne	BR	2.7	1.87
Latiano	BR	2.2	1.53
Ceglie Messapica	BR	1.65	1.14
San Vito dei Normanni	BR	1.07	0.74
Grottaglie	TA	1.26	0.87
Palagiano	TA	1.35	0.94
Mottola	TA	1.97	1.37
Castellaneta	TA	1.98	1.37
Ginosa	TA	1.5	1.04
Salice Salentino	LE	1.2	0.83
San Donaci	LE	1.5	1.04

Tabella 9 - Comuni sul cui territorio si prevede il superamento del valore limite annuale per il B(a)P.

In merito ai suddetti superamenti valgono le stesse considerazioni espresse per il PM₁₀.

3.9 METALLI NEL PM₁₀

I metalli pesanti per i quali la legislazione prescrive il monitoraggio in aria ambiente sono l'arsenico, il cadmio, il nichel e il piombo. Nell'atmosfera le sorgenti predominanti di origine antropica di metalli pesanti sono la combustione e i processi industriali, la produzione energetica e l'incenerimento dei rifiuti. L'entità degli effetti tossici esercitati dai metalli dipende da molteplici fattori quali: le concentrazioni raggiunte nei tessuti, le interazioni che si stabiliscono tra il metallo e i componenti cellulari, lo stato di ossidazione e la forma chimica in cui il metallo è assorbito o viene a contatto con le strutture bersaglio dell'azione.

Il D. Lgs 155/2010 prevede la determinazione dei metalli pesanti contenuti nel PM₁₀ fissando i seguenti valori obiettivi annui: Arsenico: 6,0 ng/m³; Cadmio: 5,0 ng/m³; Nichel 20,0 ng/m³. Per il piombo è invece in vigore un limite annuo di 500 ng/m³.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore obiettivo D.LGS.155/2010
Arsenico	Media annuale	6.0 ng/m ³
Cadmio	Media annuale	5.0 ng/m ³
Nichel	Media annuale	20.0 ng/m ³
Inquinante	Periodo di mediazione	Valore Limite D.LGS.155/2010
Piombo	Media annuale	500 ng/m ³

3.9.1 Dati di qualità dell'aria

Nelle figure seguenti sono riportata le medie annuali di As, Cd, Ni e Pb del 2021 nei siti di monitoraggio delle province di Brindisi, Lecce e Taranto. Le concentrazioni rilevate sono tutte ampiamente al di sotto dei valori di riferimento.

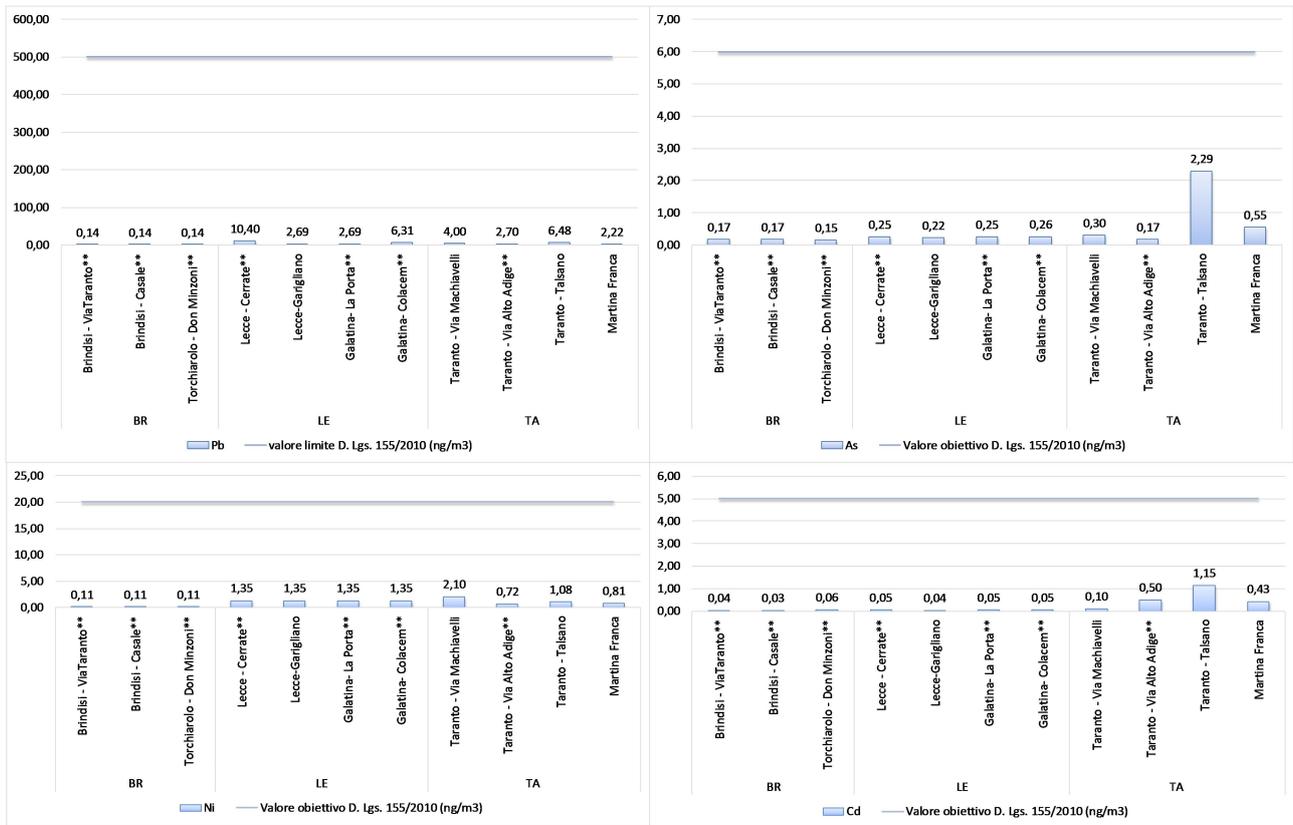


Figura 54: Media annuale dei metalli (ng/m³) - 2021

** stazione i cui dati di Metalli non vengono trasmessi a ISPRA

3.9.2 Dati da modellistica

Per l'Arsenico non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

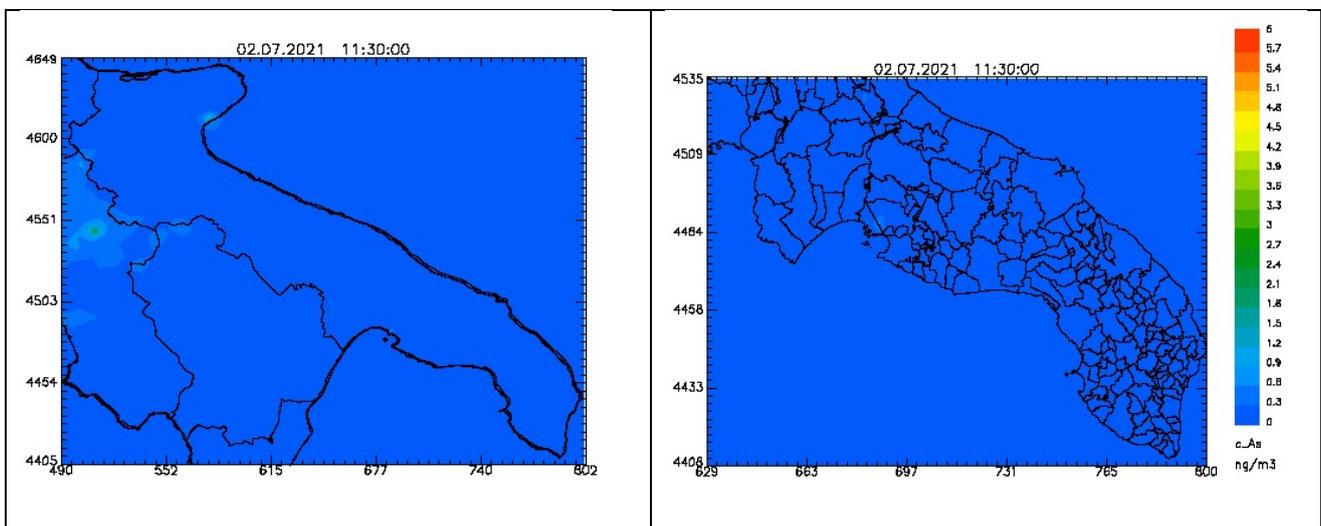


Figura 55: Mappe della concentrazione media annuale di Arsenico sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute dal solo modello FARM.

Per il Cadmio non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

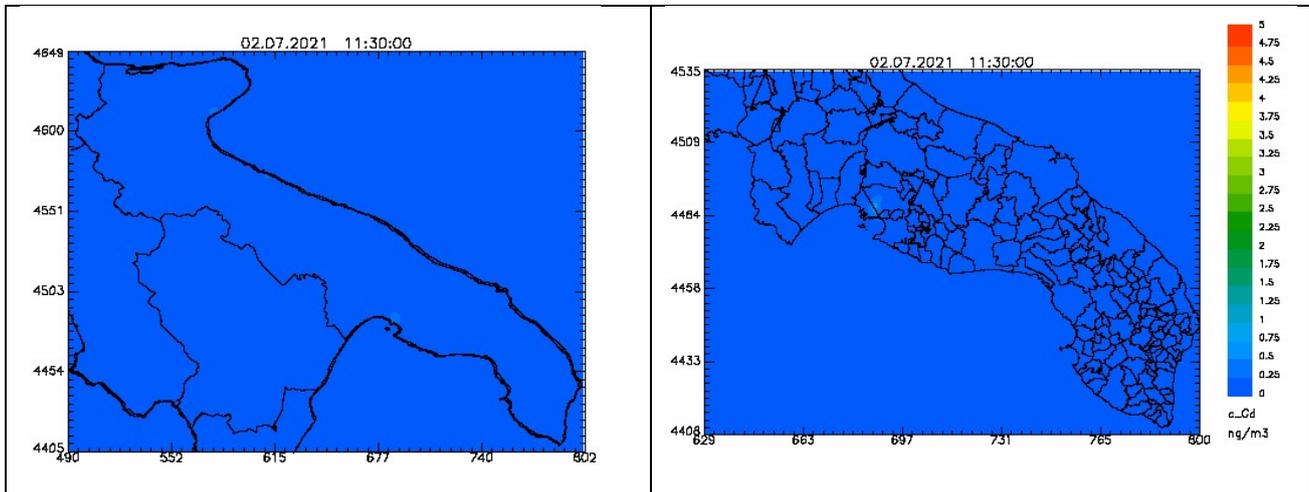


Figura 56: Mappe della concentrazione media annuale di Cadmio sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute dal solo modello FARM.

Per il Nichel non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

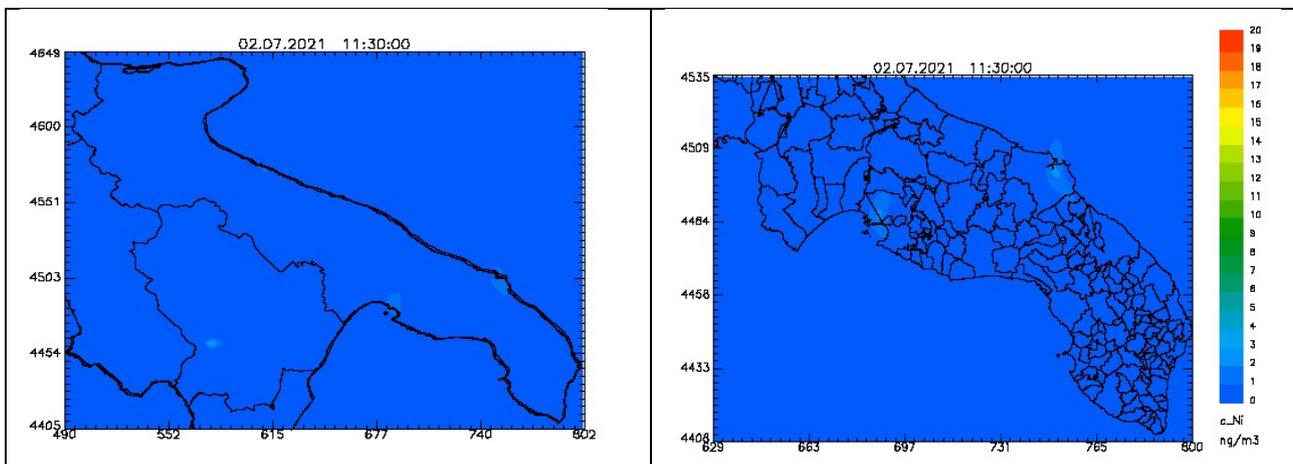


Figura 57: Mappe della concentrazione media annuale di Nichel sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute dal solo modello FARM.

Per il Piombo non si osservano superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

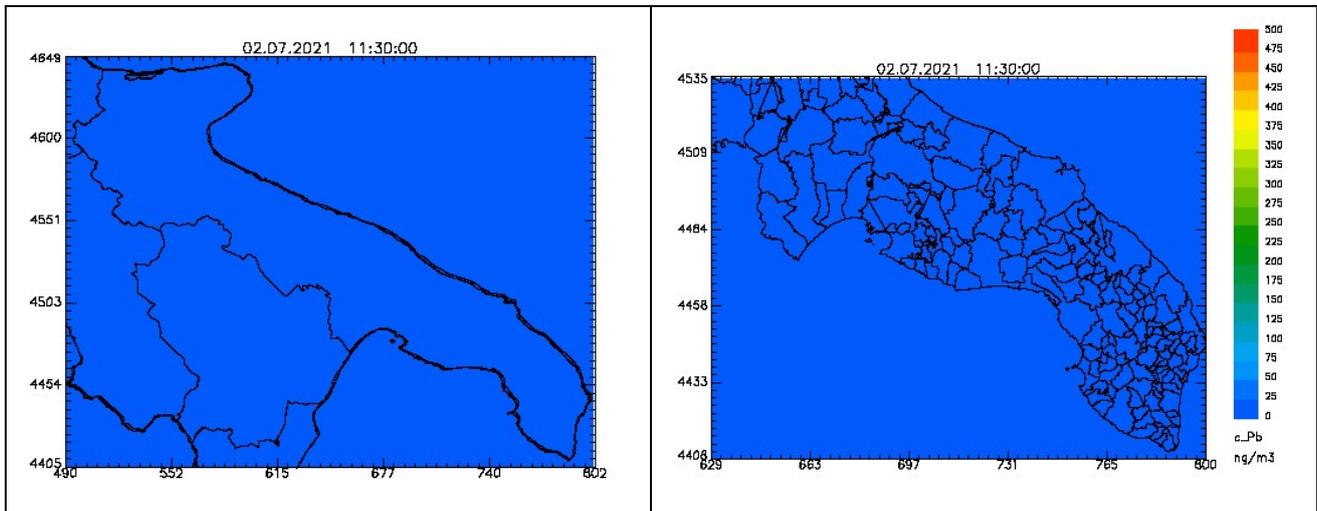


Figura 58: Mappe della concentrazione media annuale di Piombo sulla regione Puglia e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto, ottenute dal solo modello FARM.

4. CONCLUSIONI

La relazione riporta i risultati della Valutazione Integrata della Qualità dell'Aria per la regione Puglia per il 2021. Tale valutazione è il risultato della integrazione delle misure fornite dalla rete di monitoraggio con i campi di concentrazione al suolo forniti dal sistema modellistico di ARPA Puglia, alimentato con i dati dell'inventario delle emissioni realizzato dell'Agenzia. L'utilizzo combinato di tali strumenti consente di ottenere una rappresentazione dello stato della qualità dell'aria più vicina alla realtà su tutto il territorio regionale.

Dopo una sintesi delle informazioni preliminari e della configurazione attuale della rete di monitoraggio regionale, sono state presentate una sintesi dell'analisi meteorologica e delle modalità con cui è stata effettuata la valutazione modellistica e la successiva assimilazione delle misure fornite dalle postazioni di monitoraggio della qualità dell'aria; infine sono stati presentati i risultati ottenuti per ogni inquinante, con l'individuazione delle criticità e, laddove possibile, delle cause che le hanno originate.

Nel 2021, come già nel triennio 2018-2020, la rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria non ha registrato superamenti dei limiti di legge per nessun inquinante. In particolare:

- Per il **PM₁₀** la concentrazione annuale più elevata ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stata registrata nel sito Torchiarolo-Don Minzoni (BR). Il valore medio registrato di PM₁₀ sul territorio regionale è stato di $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ uguale al dato del 2020.
- Per il **PM_{2,5}**, nel 2021 il limite di concentrazione annuale di $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non è stato superato in nessun sito. Il valore più elevato ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato registrato nel sito Torchiarolo-Don Minzoni (BR), mentre la media regionale è stata di $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ uguale al dato del 2020.
- Per l'**NO₂**, la concentrazione annua più alta ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stata registrata nella stazione Bari-Cavour. La media regionale è stata di $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ leggermente superiore a quella del 2020 che era di $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Per l'**O₃** il valore obiettivo a lungo termine è stato superato in quasi tutti i siti di monitoraggio, a conferma del fatto che la Puglia, per la propria collocazione geografica, è soggetta ad elevati valori di questo inquinante.
- Per il **benzene**, in nessun sito di monitoraggio è stata registrata una concentrazione superiore al limite annuale di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La media delle concentrazioni è stata di $0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di poco inferiore a quella del 2020 pari a $0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valore più elevato ($1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato registrato a *Taranto-Machiavelli* per la RRQA e a *Taranto-Orsini** ($2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) per le stazioni di interesse locale.
- Per il **monossido di carbonio** le misure disponibili non hanno rilevato alcun superamento della concentrazione massima calcolata come media mobile sulle 8 ore.

- Per il **Biossido di Zolfo** non è stato registrato alcun superamento né del limite orario di concentrazione né di quello giornaliero.
- Il valore obiettivo di **Benzo(a)Pirene** non è stato superato in nessun sito. Il valore più elevato (0,9 ng/m³) è stato raggiunto nel sito Torchiarolo – Don Minzoni.
- Per i **metalli pesanti** le concentrazioni sono state ampiamente inferiori ai rispettivi livelli limite.
- Infine, per i diversi parametri monitorati, i valori indicati nelle Linee Guida edite nel 2021 dall'OMS sono stati superati in larga parte dei punti di misura. È tuttavia bene ricordare che tali valori non hanno cogenza normativa.

La valutazione modellistica della qualità dell'aria, condotta sull'intera Regione a una risoluzione spaziale di 4km e sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto con una risoluzione spaziale più dettagliata, pari ad 1km, è stata ottenuta, per gli inquinanti NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, C₆H₆, O₃, dalla combinazione dei campi di concentrazione al suolo, forniti dal sistema modellistico con le misure da rete fissa mediante l'assimilazione a posteriori, utilizzando l'Optimal Interpolation come tecnica interpolativa.

I risultati di tale valutazione hanno evidenziato quanto segue:

- per le specie NO₂, benzene, CO e SO₂ l'analisi modellistica non ha evidenziato alcun superamento dei limiti previsti dalla normativa;
- per l'ozono, il valore bersaglio per la protezione della salute mostra alcune non conformità distribuite su tutto il territorio regionale, con valori più elevati in corrispondenza delle coste.
- Riguardo al valore limite giornaliero per il PM₁₀, da non superare per più di 35 volte all'anno, l'analisi modellistica condotta ad 1km di risoluzione spaziale sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto ha evidenziato la presenza di non conformità in corrispondenza delle aree urbane di alcuni comuni nelle province di Taranto (Mottola e Castellaneta) e Brindisi (Mesagne, Latiano, Oria).
- Riguardo al valore limite annuale prescritto per il PM_{2,5} l'analisi modellistica condotta ad 1km di risoluzione spaziale ha evidenziato la presenza di superamenti in corrispondenza delle aree urbane dei comuni di Latiano e Mesagne in provincia di Brindisi.

La valutazione modellistica condotta con l'ausilio del solo modello per i metalli pesanti As, Cd, Ni e Pb e per il B(a)P ha evidenziato quanto segue:

- per i metalli pesanti non sono presenti superamenti dei limiti previsti;
- per il B(a)P, un possibile rischio di superamento del valore obiettivo nelle aree urbane di alcuni comuni della provincia di Taranto (Mottola, Castellaneta) e della provincia di Brindisi (Erchie, Oria, Mesagne, Latiano e Ceglie Messapica).



I superamenti individuati dal sistema modellistico per PM_{10} , $PM_{2.5}$ e B(a)P all'interno delle aree urbane dei suddetti comuni sono dovuti alle emissioni prodotte dal riscaldamento civile a biomassa legnosa.

D'altro canto è necessario precisare che questi superamenti si rilevano in celle di estensione 1km x 1km in corrispondenza delle quali non sono presenti stazioni di monitoraggio che possano confermarne o meno la sussistenza. Inoltre il D. Lgs 155/2010 non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio delle tecniche modellistiche, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D.Lgs 155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piano di risanamento. A riguardo è stato, pertanto, rivolto uno specifico quesito alla Regione Puglia, successivamente inoltrato al MITE. Allo stato attuale si è ancora in attesa del riscontro.



ALLEGATI



Allegato 1: EFFICIENZA STRUMENTALE NEL 2021

Sono riportati di seguito i dati di efficienza della strumentazione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria gestite da ARPA Puglia.

L'efficienza è stata calcolata secondo la seguente formula:

$$\text{Efficienza} = (\text{numero dati orari validi} / \text{numero ore anno solare}) * 100$$

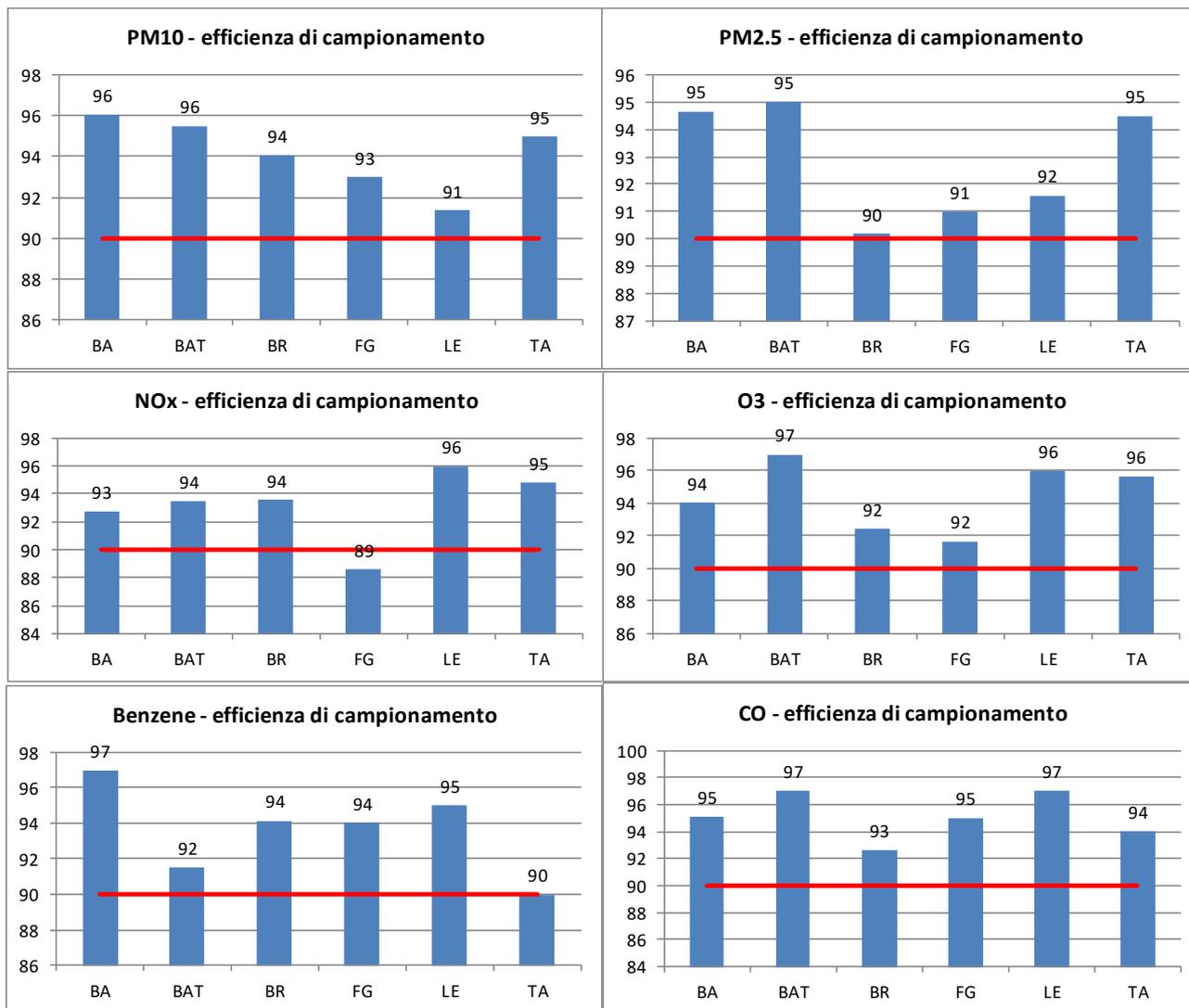
dove:

dati orari validi: dati orari con almeno il 75% (45 minuti) di dati elementari validi (D. Lgs. 155/10, Allegato XI, punto 2);

Per le misurazioni in siti fissi, il D. Lgs. 155/10, allegato I, stabilisce che la raccolta minima di dati sia pari al 90%, al netto delle perdite dati per calibrazione e manutenzione ordinaria della strumentazione. Nella tabella che segue, sono indicati in rosso gli analizzatori per i quali tale percentuale minima non è stata raggiunta.

Di seguito, per ciascun analizzatore, si riportano i grafici delle efficienze di campionamento raggiunte nell'anno 2021, suddivise per provincia. Nel calcolo delle medie, non sono state considerate le efficienze relative alle stazioni di interesse locale, contrassegnate con il simbolo "**".

Prov.	Stazione	PM10	PM2.5	NO2	O3	C6H6	CO	SO2
BA	Altamura	94	94	94	95			
	Bari - Caldarola	96	96	87		98	96	
	Bari - Carbonara	98		93				
	Bari - Cavour	95	95	93		95	96	
	Bari - CUS	95		90	91			
	Bari - Kennedy	98		97	97			
	Casamassima	97	97	86	94			
	Bitonto- EN01*	99	98	95	94		92	
	Modugno - EN02	99	99	95	93		94	
	Modugno - EN03	96		98			96	
	Modugno - EN04	94		96			94	
	Paolo del Colle - EN05*	99		97			93	
	Molfetta - Verdi	98		93		100		
	Monopoli - Aldo Moro	95	90	93		100	96	
Monopoli - Italgreen	94	94	91		92			
BAT	Andria - via Vaccina	95	94	94		93	97	
	Barletta - via Casardi	96	96	93	97	90		
BR	Brindisi - Terminal Passeggeri	91	90	93	86	93	86	92
	Brindisi- Cappuccini*	95		91			94	96
	Brindisi - Casale	92	92	94	94			
	Brindisi - Perrino	98		93			97	97
	Brindisi - SISRI	97		96		91	97	94
	Brindisi - via dei Mille	95		95		95		
	Brindisi - via Taranto	96	96	92		96	94	
	Ceglie Messapica	85	80	93		92	93	92
	Cisternino	94		93	91			94
	Franca Villa Fontana			93		96		
	Mesagne	96		95				
	San Pancrazio	96		89				
	Lendinuso*	96		96				96
	San Pietro V.co	93		94				
Torchiarolo - via Fanin	97	92	95					
Torchiarolo - Don Minzoni	93	93	95		96	89	91	
FG	Foggia - Rosati	97	95	93		95	94	
	Manfredonia - Mandorli	94		86		93	94	
	Monte S. Angelo	97		92	95			
	Candela- Scuola*	97		92	88	87	92	95
	Candela - Ex Comes*	98		88	92		88	
	San Severo - Azienda Russo	81	81	79	88			
San Severo - Municipio	96	97	93	92		97		
LE	Amesano - Riesci	91			96			
	Campi Salentina	95	93	92				
	Galatina	93	93	96	97		98	
	Galatina-Colacem*	88	78	90		92	91	
	Guagnano - Villa Baldassarre	85		95				
	Lecce - P.zza Libertini	96	96	91		91	97	
	Maglie*		94	94	94		95	92
	Lecce - S. M. Cerrate	92	93	89	95			
	Lecce - via Garigliano	83	83	86		99	96	
Surbo - via Croce	96		87				95	
TA	Grottaglie	96		94	97			
	Martina Franca	95		95		91		
	Massafra	90		95		94		95
	Statte - Ponte Wind	98		97				96
	Statte - via delle Sorgenti	96		95			96	91
	Taranto - via Alto Adige	96	96	92		89	97	86
	Taranto - via Archimede	97	97	95			88	92
	Taranto - CISI	90	89	97		86	93	90
	Taranto - via Machiavelli	96	96	95		90	97	93
	Taranto - Orsini*	75	75	84		85		
	Taranto - San Vito	95		95	94		93	81
Taranto - Talsano	96		93	96			92	



In tutte le province, tutti gli analizzatori hanno acquisito mediamente con un'efficienza superiore o uguale al 90%.

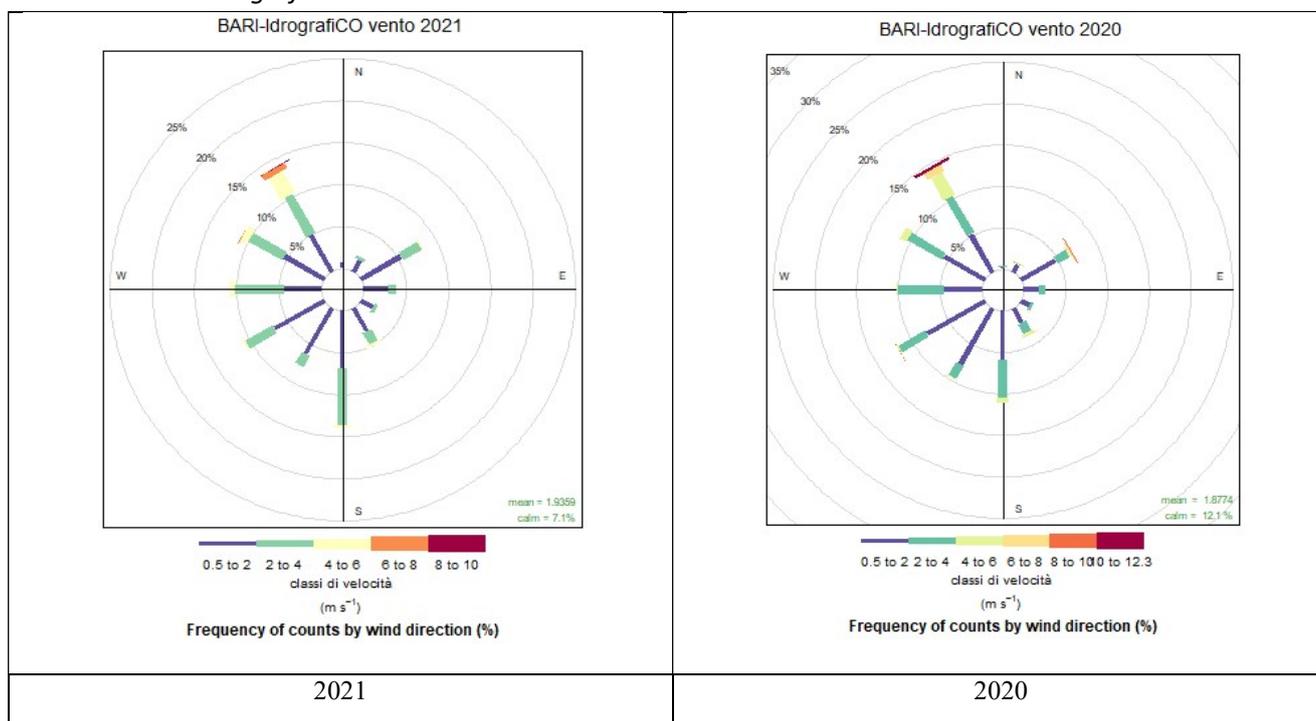
L'unica efficienza non raggiunta, si è avuta sull'NOX della Provincia di Foggia.

Allegato 2: ELABORAZIONE DATI METEOROLOGICI – ANNO 2021

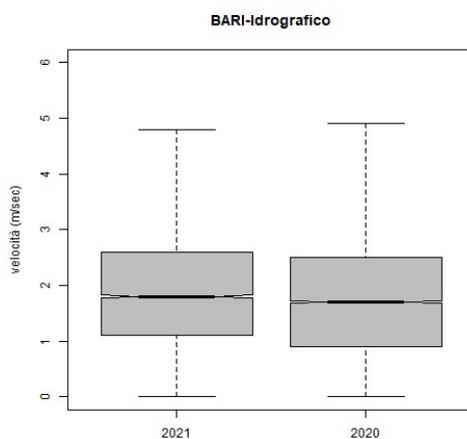
Intensità e direzione del vento

Nelle immagini seguenti si mostrano in corrispondenza delle postazioni meteorologiche di Bari-Idrografico, Brindisi, Lecce, Foggia e Taranto - Capo San Vito, relativamente agli anni 2021 e 2020, le rose dei venti, annuali e stagionali, ed i boxplot, calcolati sulle serie annuali dei dati orari di intensità del vento.

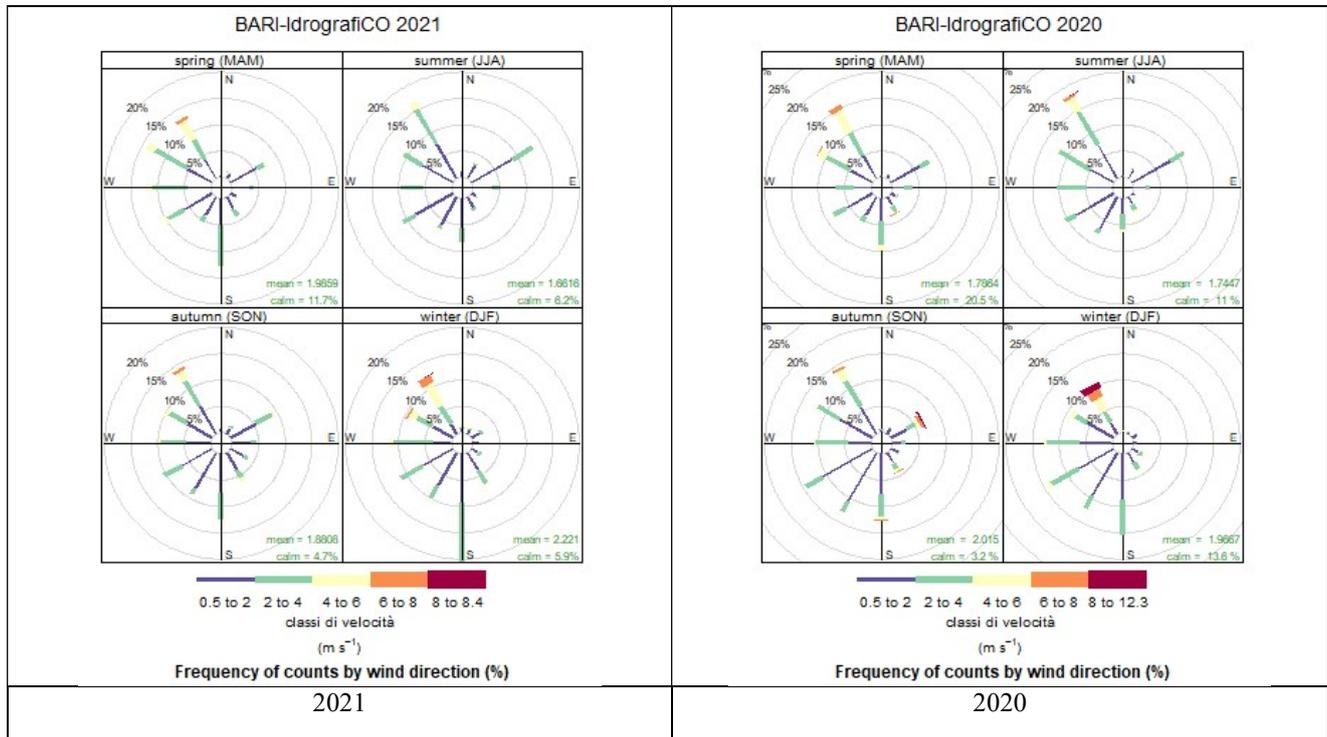
Stazione: *Bari-Idrografico*



Rose dei venti annuali relative agli anni 2021 e 2020 – stazione Bari-Idrografico

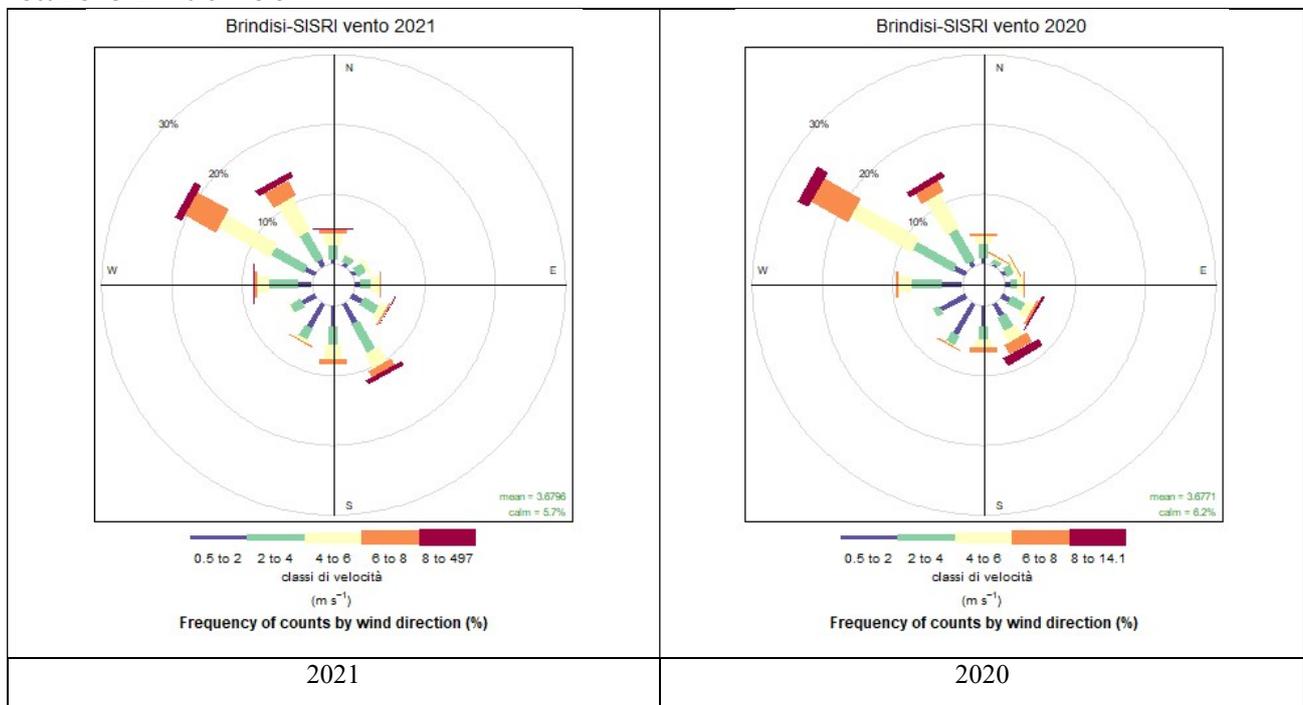


Boxplot delle serie annuali della velocità del vento relative agli anni 2021 e 2020 – stazione Bari-Idrografico



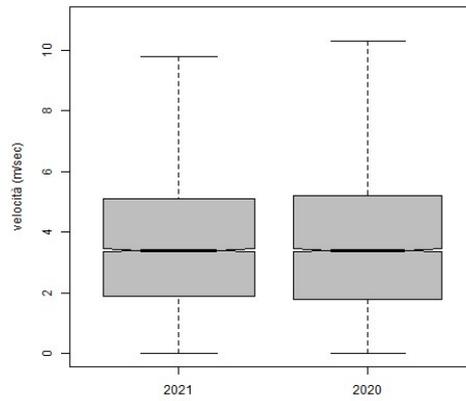
Rose dei venti stagionali relative agli anni 2021 e 2020 – stazione Bari-Idrografico

Stazione: Brindisi – SISRI

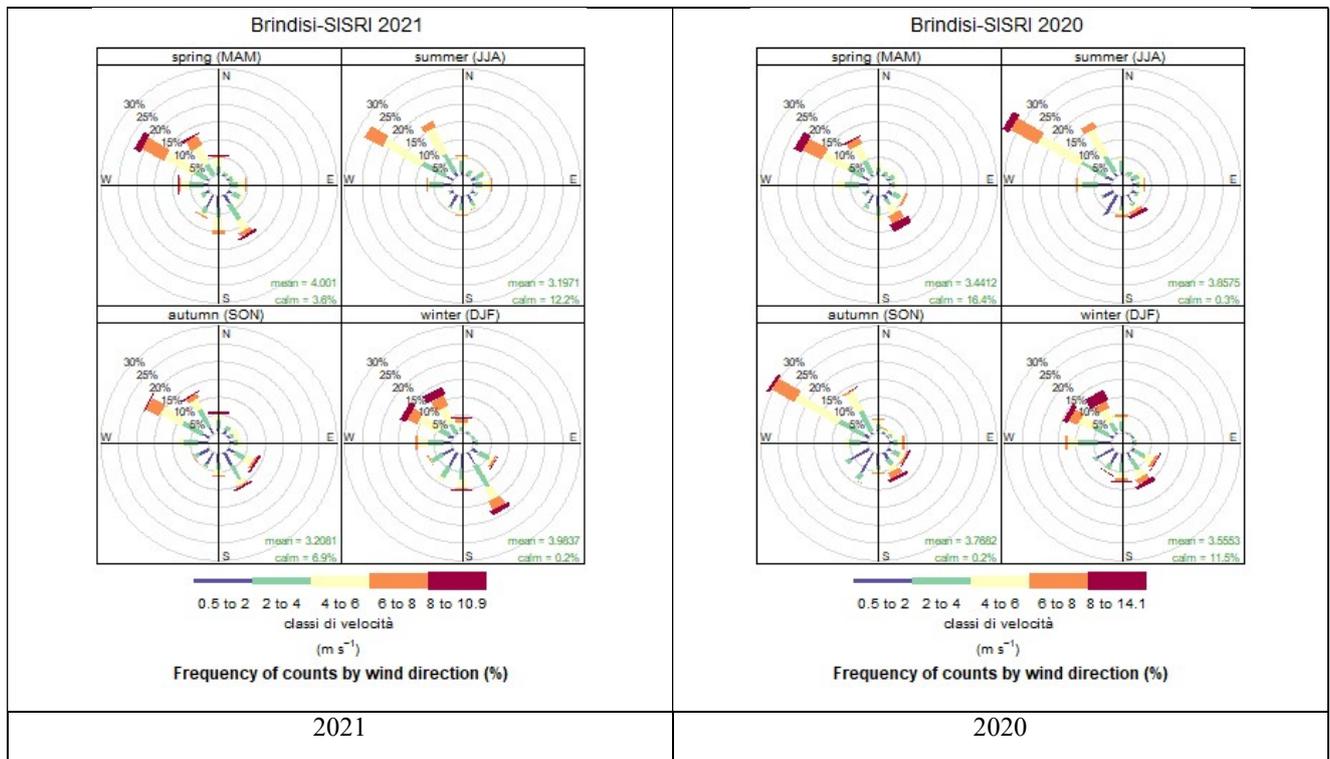


Rose dei venti annuali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione Brindisi - SISRI

BRINDISI-SISRI

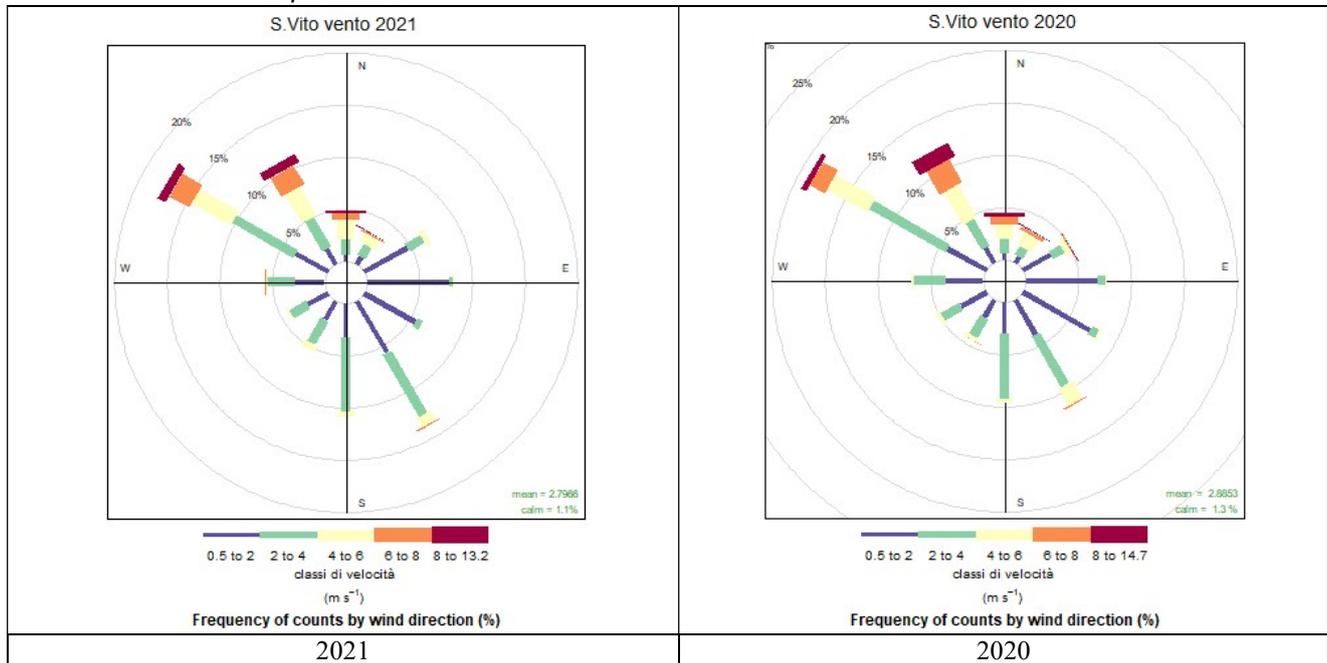


Boxplot delle serie annuali della velocità del vento relative agli anni 2021 e 2020 – postazione Brindisi-SISRI

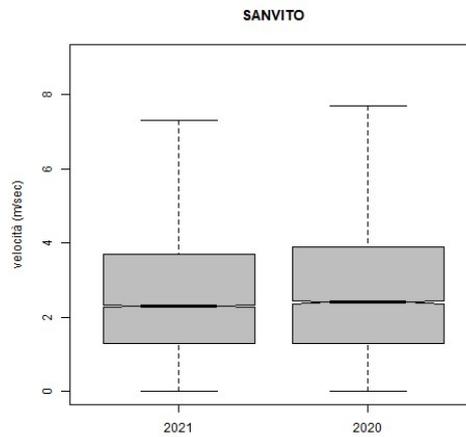


Rose dei venti stagionali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione Brindisi - SISRI

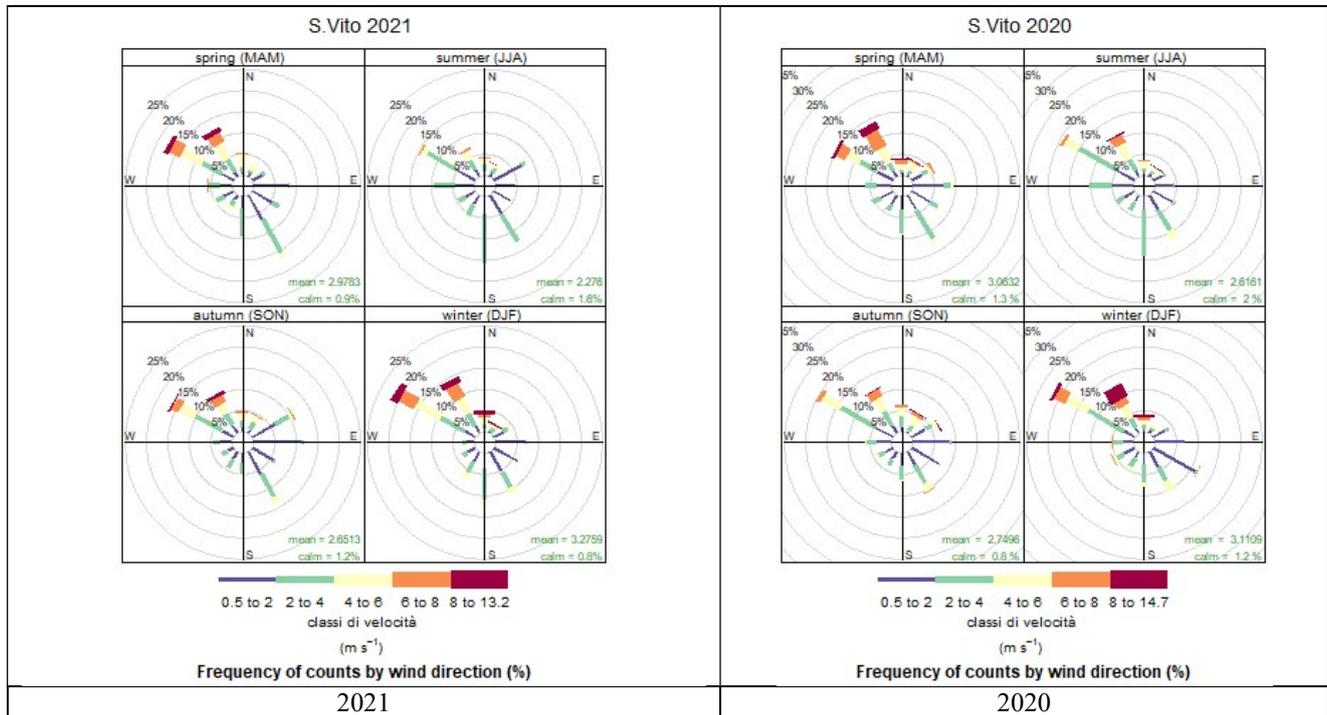
Stazione: Taranto – Capo San Vito



Rose dei venti annuali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione Taranto – Capo San Vito

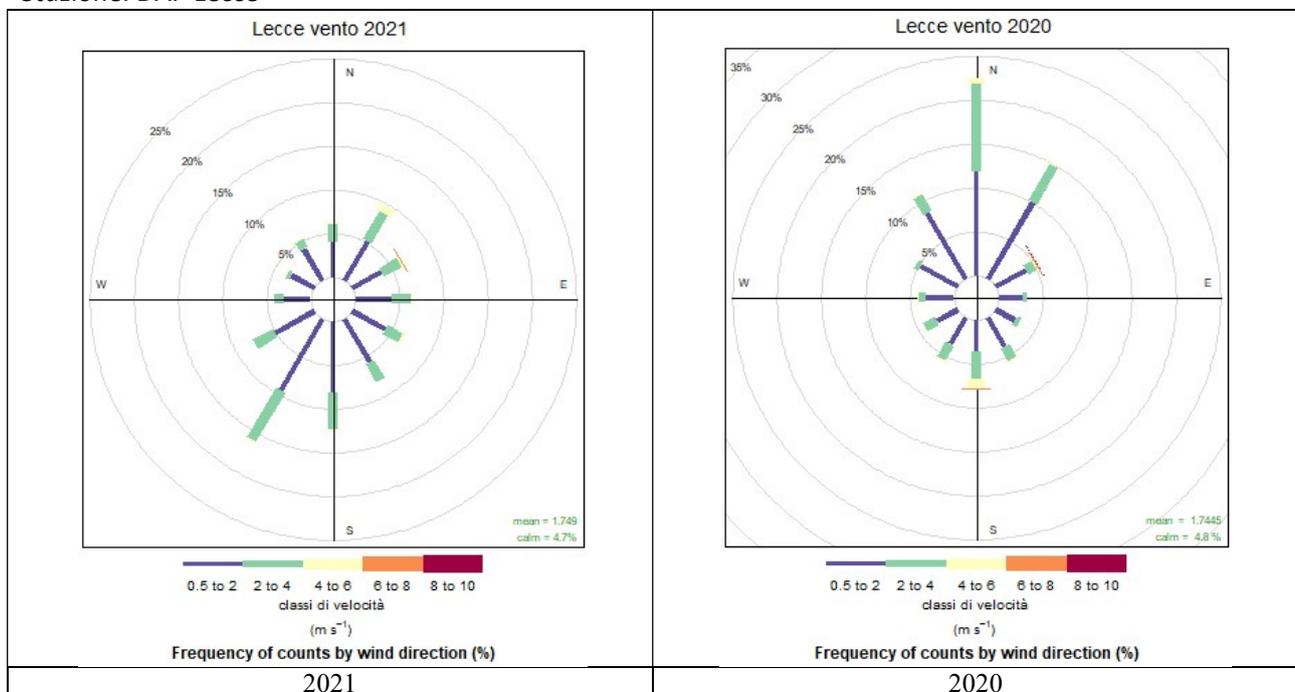


Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2021 e 2020 - postazione Taranto – Capo San Vito

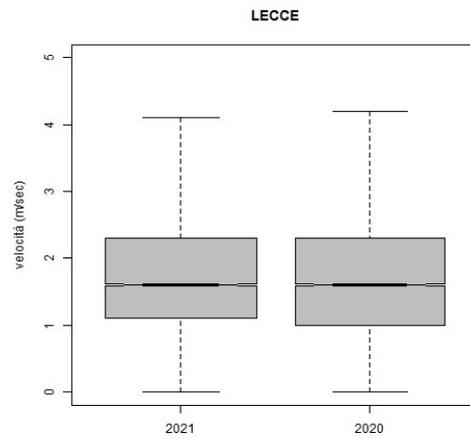


Rose dei venti stagionali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione Taranto – Capo San Vito

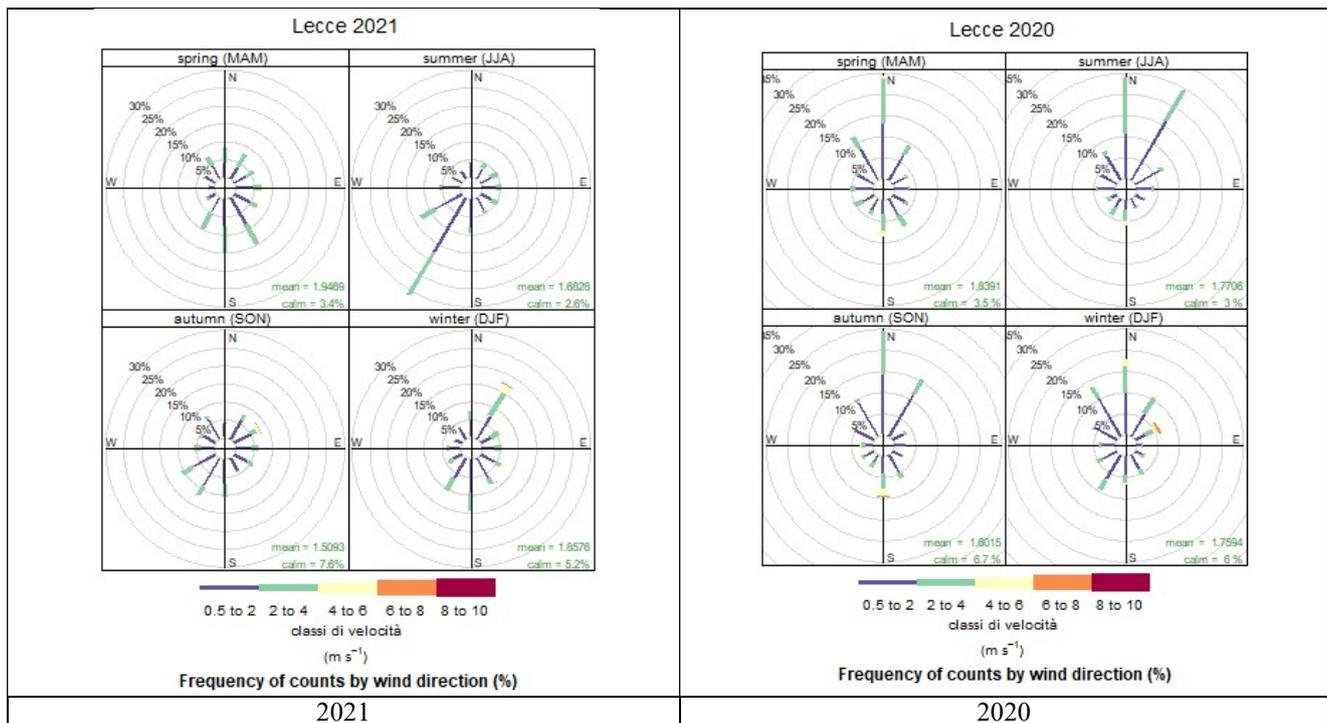
Stazione: DAP Lecce



Rose dei venti annuali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione DAP Lecce

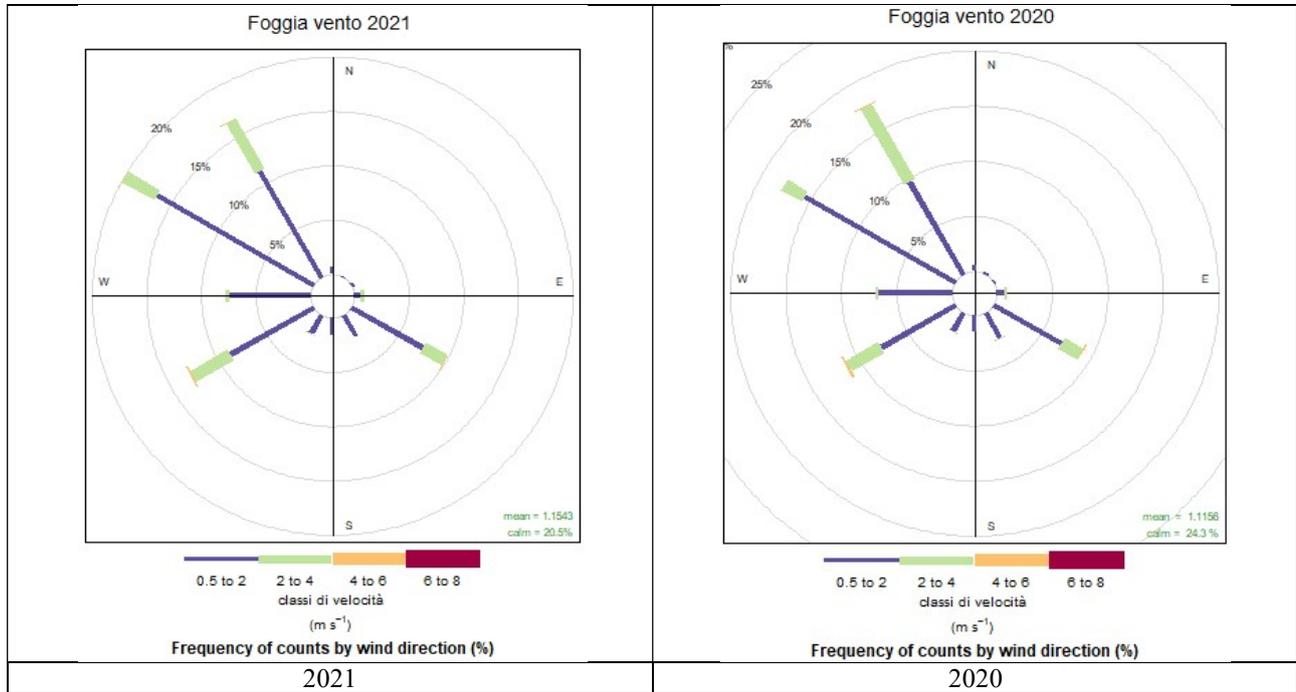


Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2021 e 2020 - postazione DAP Lecce

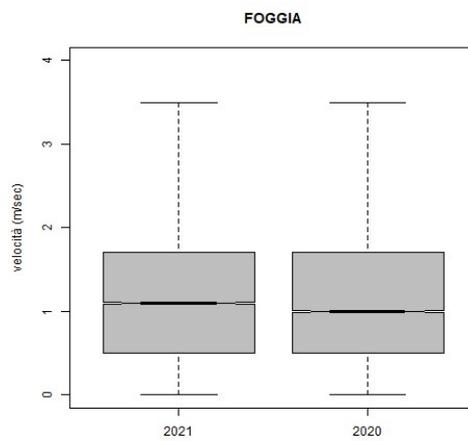


Rose dei venti stagionali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione DAP Lecce

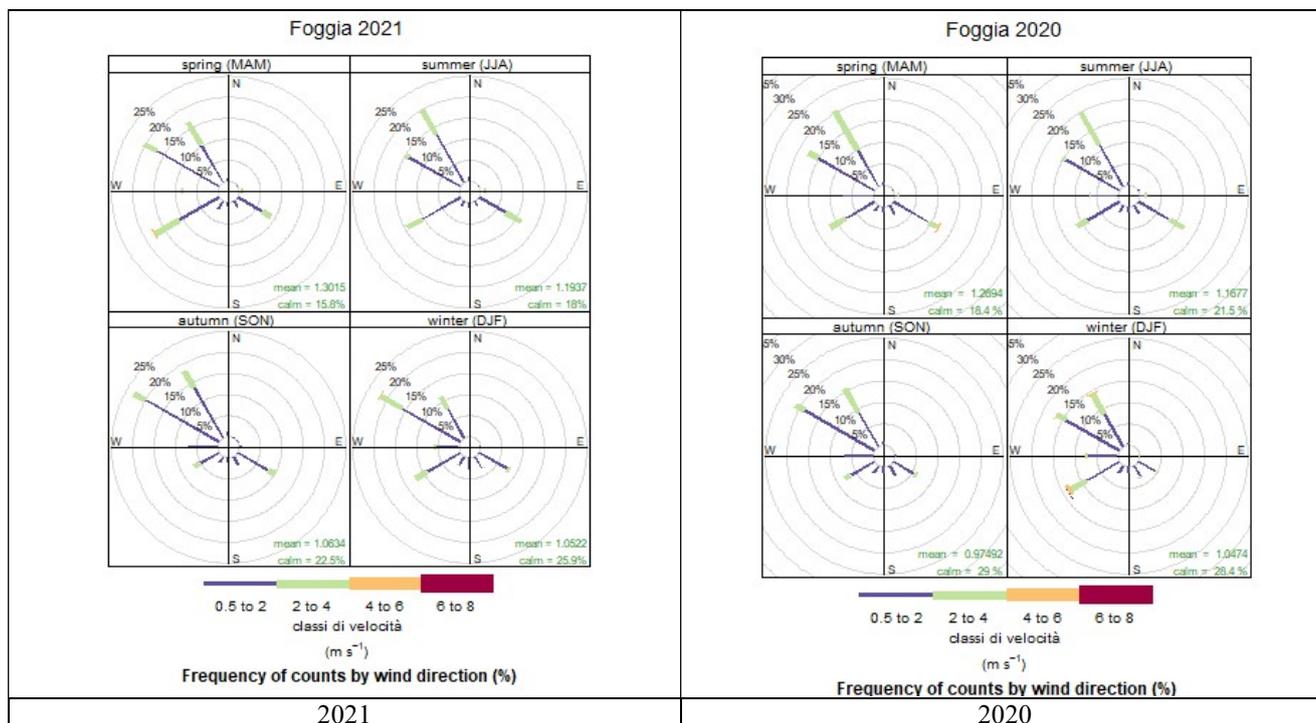
Stazione: DAP Foggia



Rose dei venti annuali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione DAP Foggia



Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2021 e 2020 - postazione DAP Foggia



Rose dei venti stagionali relative agli anni 2021 e 2020 – postazione DAP Foggia

E' opportuno precisare che la velocità del vento è una variabile che può essere fortemente influenzata dal contesto in cui è posizionato l'anemometro. Il vento può infatti risentire degli effetti prodotti da caratteristiche locali del sito (quali rugosità, altitudine, esposizione, presenza di eventuali ostacoli, ecc.). Ciò è particolarmente evidente se si confrontano le elaborazioni meteorologiche tra le varie postazioni. A tale proposito è possibile rilevare che le postazioni di Taranto – Capo San Vito e Brindisi-SISRI, collocate in contesto rurale ed in prossimità della costa, mostrano valori di intensità del vento superiori rispetto alle altre postazioni, site a Bari, Lecce e Foggia, poste invece in piena zona urbana.

Ciò premesso, le elaborazioni mostrate evidenziano come la distribuzione dell'intensità del vento per settore di provenienza, riferita al 2021, sia abbastanza simile a quella del 2020 per le postazioni di Bari-Idrografico, Brindisi-SISRI, Taranto-Capo San Vito e Foggia. Per la postazione di Lecce si rileva invece una significativa variazione nella distribuzione. Contrariamente a quanto osservato negli anni precedenti, risultano dominanti le componenti di vento proveniente dai quadranti meridionali.

Su base annuale si rileva un lieve, ma significativo aumento della velocità media del vento ed una diminuzione della percentuale di calme di vento per le stazioni di Foggia e Bari-Idrografico. Per la postazione Taranto - Capo San Vito si rileva invece una lieve riduzione della velocità media. Per le altre postazioni non si osservano variazioni significative.

Per la stazione di Lecce la ventosità media annuale nel 2021 risulta sostanzialmente invariata rispetto all'anno precedente, ma si rileva una predominanza dei venti dai quadranti meridionali. In particolare, dal confronto delle rose dei venti rappresentate in figura è evidente che nel 2021 le componenti da SO e da S sono risultate predominanti, mentre le componenti da N e NO risultano molto meno pronunciate rispetto al 2020.

Per la stazione di Taranto - Capo San Vito la percentuale di calme di vento riferita al 2021 è analoga a quella rilevata nel 2020. L'analisi stagionale evidenzia come, diversamente dal 2020, nel 2021 si verifichi una prevalenza delle componenti da ONO in tutte le stagioni. Nella stagione estiva 2021 si rileva una riduzione della intensità media del vento. Relativamente al 2021 le stagioni più ventose sono risultate la primavera e

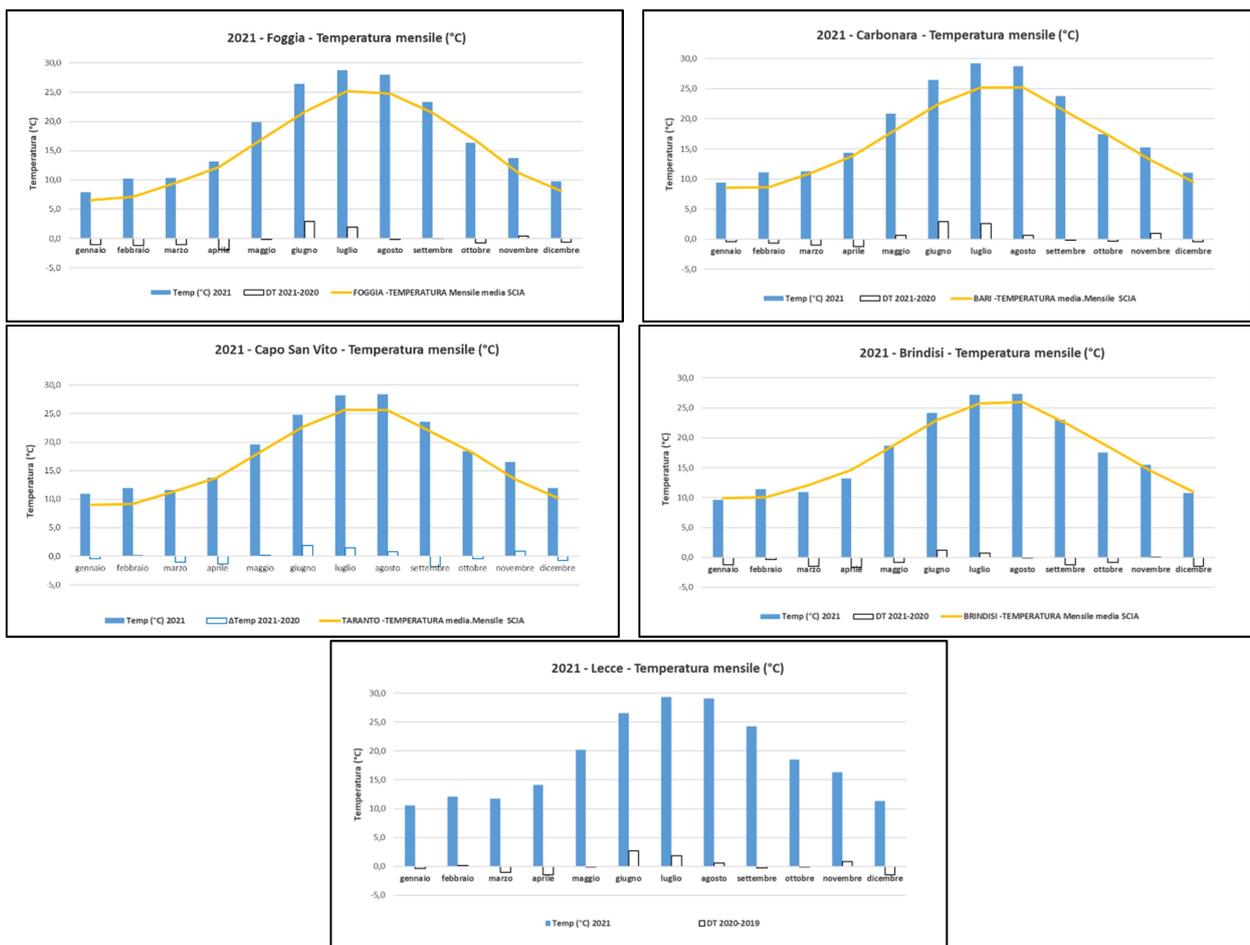
l'inverno, periodi in cui, fra l'altro, sono stati registrati il maggior numero di Wind Days (n.16 nella stagione invernale e n.10 nella stagione primaverile).

Nella postazione Bari-Idrografico si rileva su base stagionale un aumento della velocità del vento ed una riduzione significativa¹⁸ delle calme di vento. Le rose dei venti elaborate su base stagionale non evidenziano variazioni significative rispetto all'anno precedente, ad eccezione del periodo invernale per il quale risulta molto più predominante il settore Sud.

Infine nella postazione di Foggia le rose dei venti stagionali indicano per il 2021 una distribuzione per settore analoga a quella del 2020. Per tutte le stagioni si osserva una significativa riduzione delle calme di vento.

Temperatura

Nelle figure successive si mostrano, per le centraline considerate, gli andamenti delle temperature medie mensili per l'anno in esame. Sono inoltre riportate le variazioni della temperatura media mensile rispetto all'anno 2020 e, laddove disponibile, l'andamento climatologico (dati SCIA) della temperatura nell'area in esame.



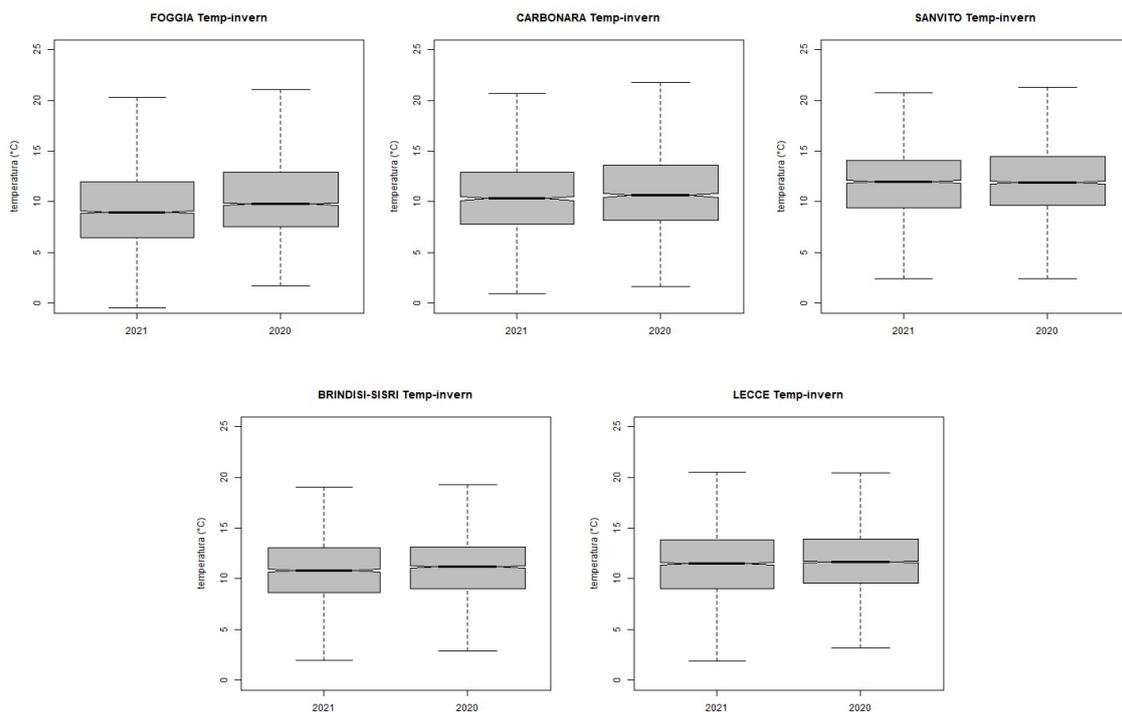
Temperature medie mensili relative al 2021 e scostamenti rispetto al 2020

¹⁸ Le percentuali di calma di vento relative al 2021 risultano quasi dimezzate per tutte le stagioni, ad eccezione di quella autunnale.

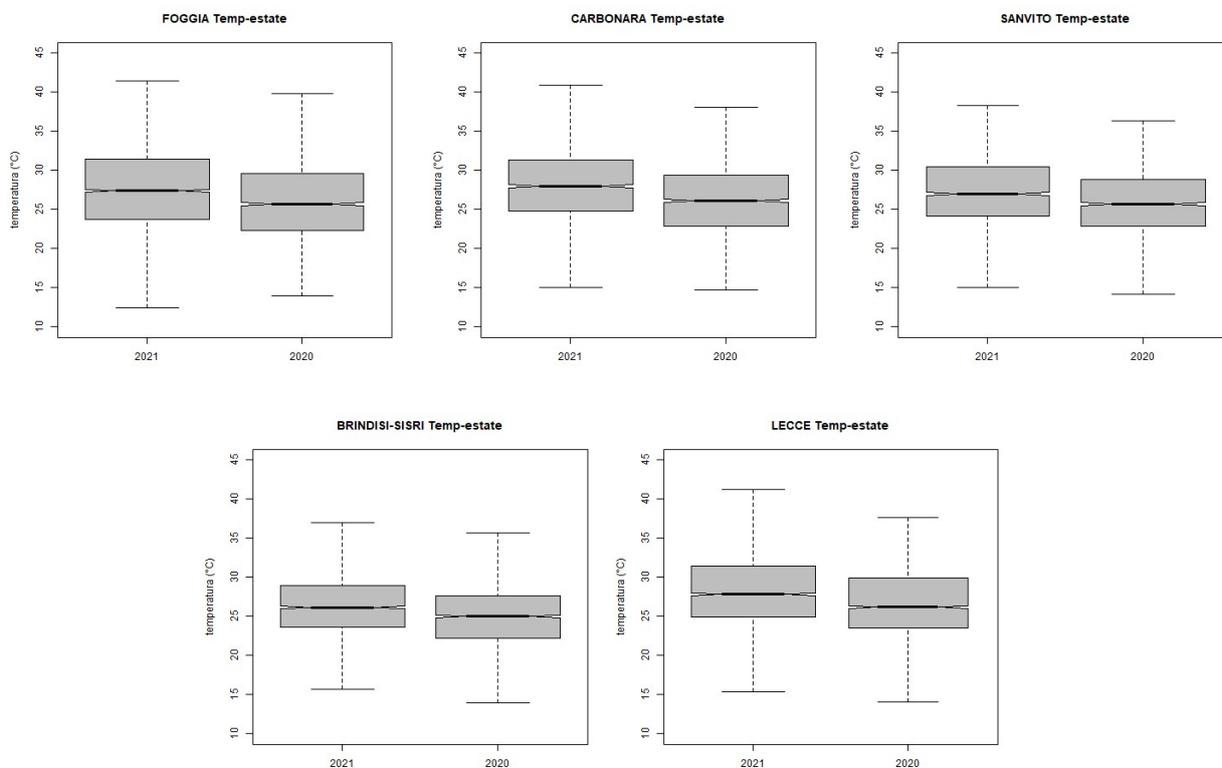
In corrispondenza di tutte le postazioni, per le quali è disponibile il dataset climatologico, si osservano per il 2021 valori medi mensili superiori ai valori medi climatologici, fatta eccezione per il mese di ottobre per le stazioni di Brindisi e Foggia ed anche per i mesi di marzo ed aprile per Brindisi. Inoltre rispetto all'anno precedente si osserva per tutte le stazioni una diminuzione delle temperature medie nei mesi di marzo, aprile e dicembre ed un aumento nei mesi di giugno e luglio.

Nella figura seguente, che riporta i boxplot dei dati di temperatura relativi ai soli mesi invernali (gennaio, febbraio, dicembre), è possibile notare nel 2021 una diminuzione significativa della temperatura nel periodo invernale nelle postazioni di Brindisi, Foggia e Bari-Carbonara.

I boxplot relativi ai mesi estivi (giugno, luglio ed agosto) evidenziano d'altro canto in tutte le postazioni considerate un aumento significativo della temperatura.



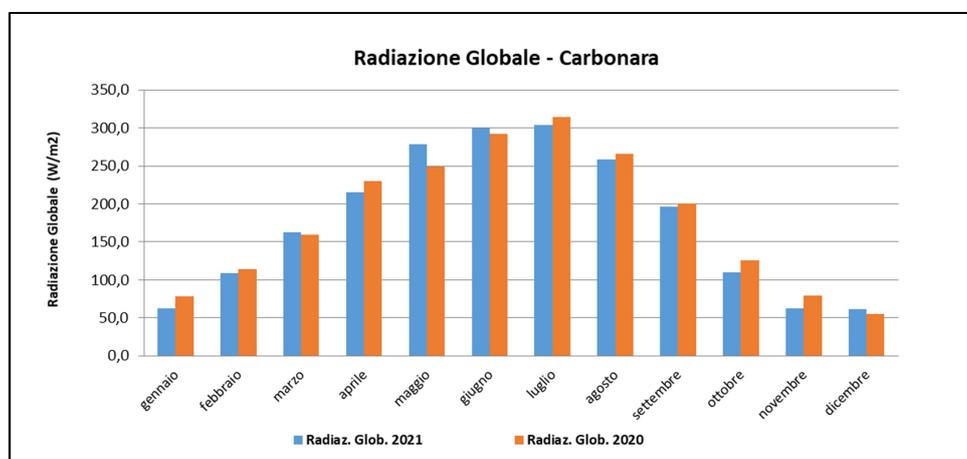
Boxplot della serie di dati di temperatura relativi ai mesi invernali (gennaio, febbraio, dicembre) nel 2021 e nel 2020



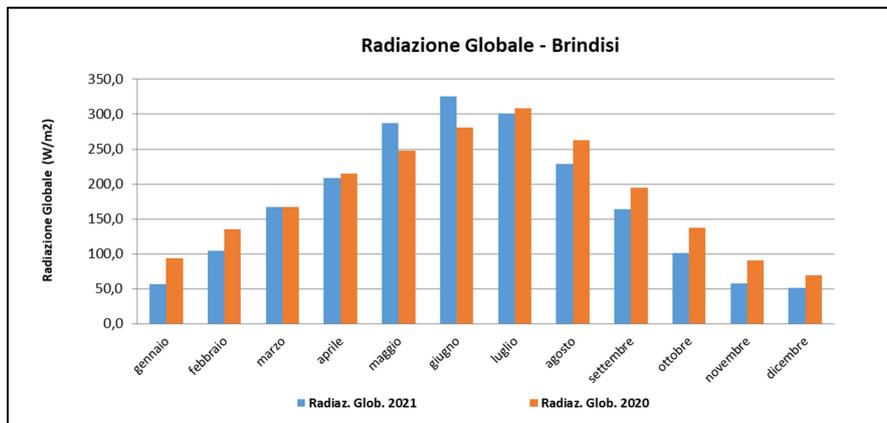
Boxplot della serie di dati di temperatura relativi ai mesi invernali (gennaio, febbraio, dicembre) nel 2021 e nel 2020

Radiazione Globale

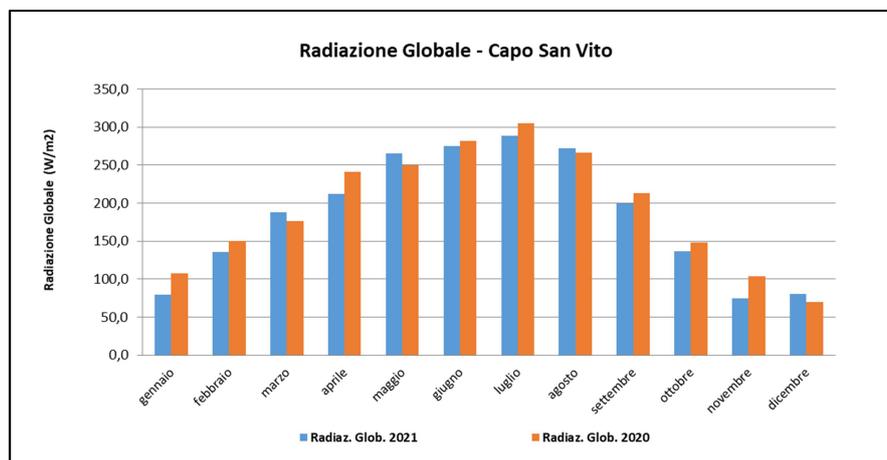
Nelle figure successive si mostra per le centraline considerate, fatta eccezione per quella di Lecce (avente disponibilità di dati inferiore al 75%), l'andamento dei valori medi mensili della radiazione globale riferito al 2021. Tali dati sono confrontati, per ciascuna stazione, con quelli dell'anno precedente.



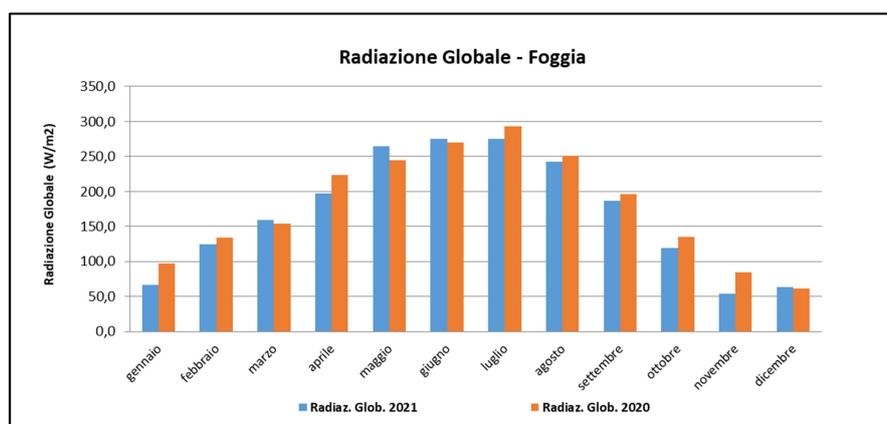
Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Carbonara



Andamento della radiazione globale media mensile – postazione DAP Brindisi



Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Taranto-Capo San Vito

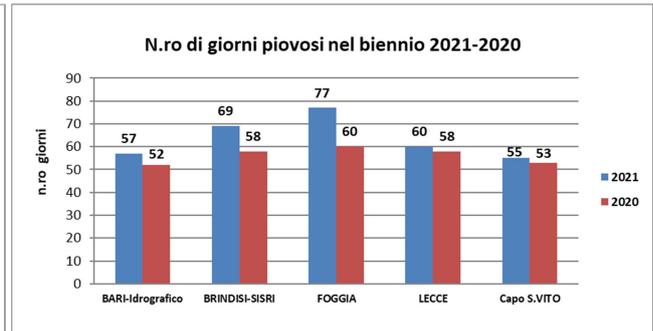
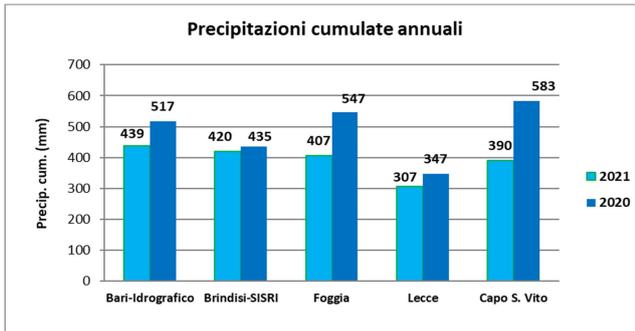


Andamento della radiazione globale media mensile – postazione DAP Foggia

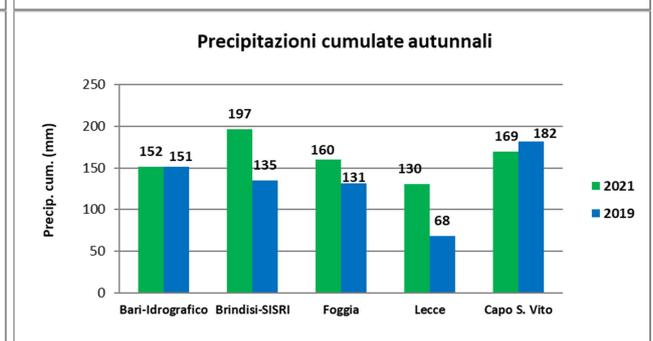
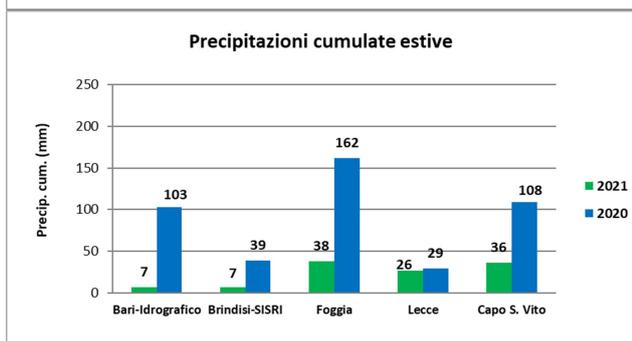
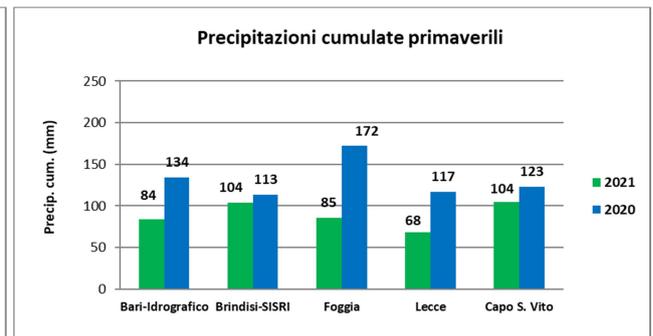
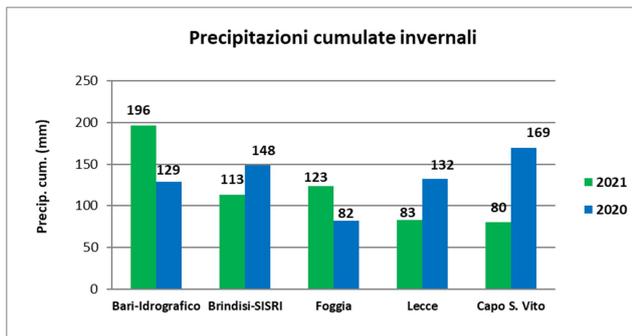
In corrispondenza di tutte le postazioni si nota per il 2021 una riduzione della radiazione globale nei mesi di luglio, settembre, ottobre, e novembre, ed un aumento nei mesi di maggio e giugno (quest'ultimo ad eccezione di Taranto-Capo San Vito).

Precipitazione

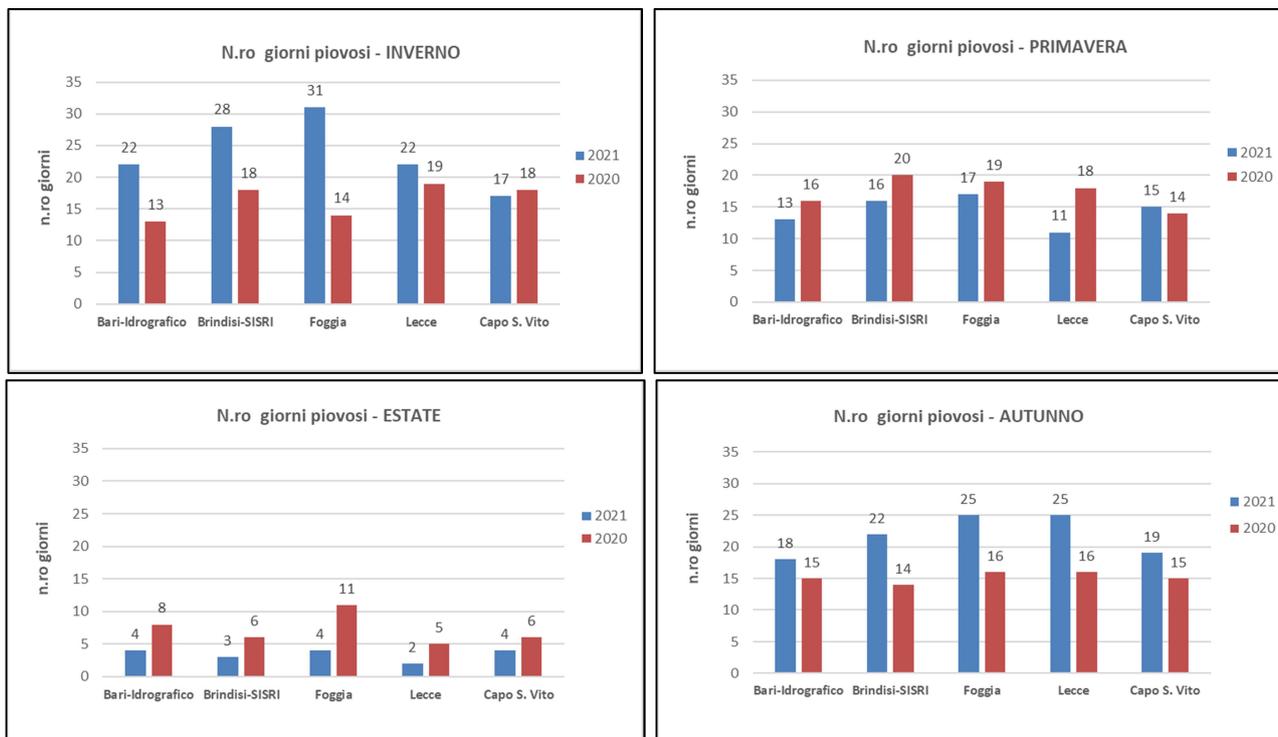
Nelle figure successive si mostrano, per le centraline considerate, le precipitazioni cumulate annuali, le cumulate stagionali, le cumulate mensili e la loro variazione rispetto all'anno precedente. Laddove disponibili, sono riportati anche i dati climatologici relativi all'andamento annuale della precipitazione cumulata media mensile (calcolata sui periodi indicati in tabella 6).



Confronto tra le precipitazioni cumulate annuali (a sinistra) ed il numero di giorni piovosi (a destra) relativi al 2021 e 2020



Confronto tra le precipitazioni cumulate stagionali misurate nel 2021 e 2020

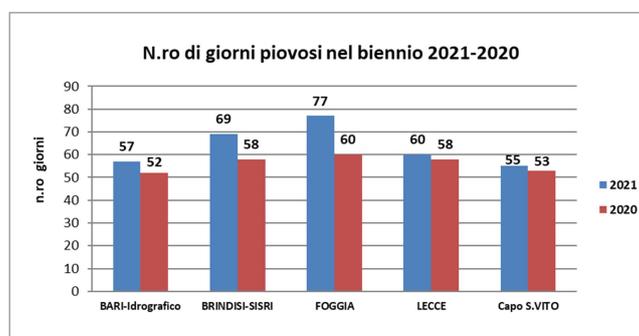


Numero di giorni piovosi per stagione e per centralina relativi al 2021 e al 2020

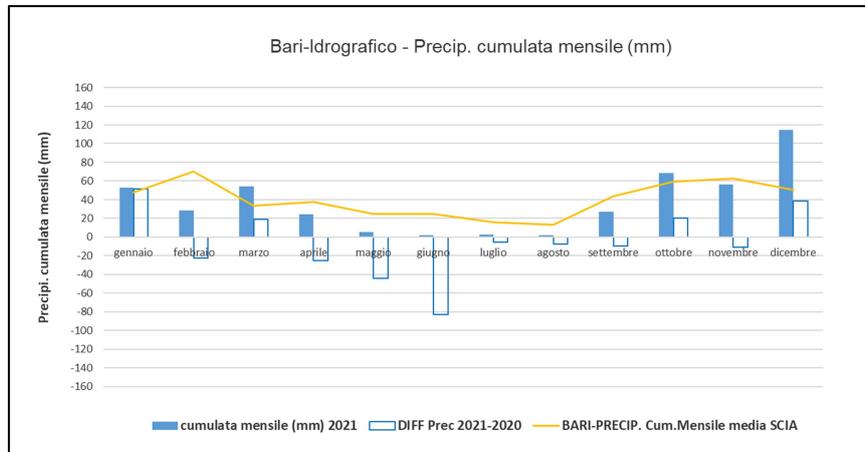
Con riferimento al quantitativo di precipitazione valutato su base annuale, nel 2021 si riscontra una generale diminuzione rispetto all'anno precedente, particolarmente significativa in tutte le postazioni ad esclusione di quella di Brindisi¹⁹. Tale riduzione si è avuta in particolare nel periodo invernale, ad eccezione di Bari-Idrografico e Foggia, e nella stagione estiva. La stagione autunnale è risultata comunque più piovosa (ad eccezione di Capo San Vito) rispetto a quella dell'anno precedente.

Si rileva d'altro canto un aumento generale del numero di giorni piovosi, con particolare riferimento alle postazioni di Brindisi e Foggia. Questo aumento si è in particolare avuto nel corso della stagione invernale (ad esclusione di Capo San Vito) e nella stagione autunnale. Si nota invece nel periodo estivo del 2021 una riduzione generale dei già limitati eventi piovosi verificatisi nel 2020.

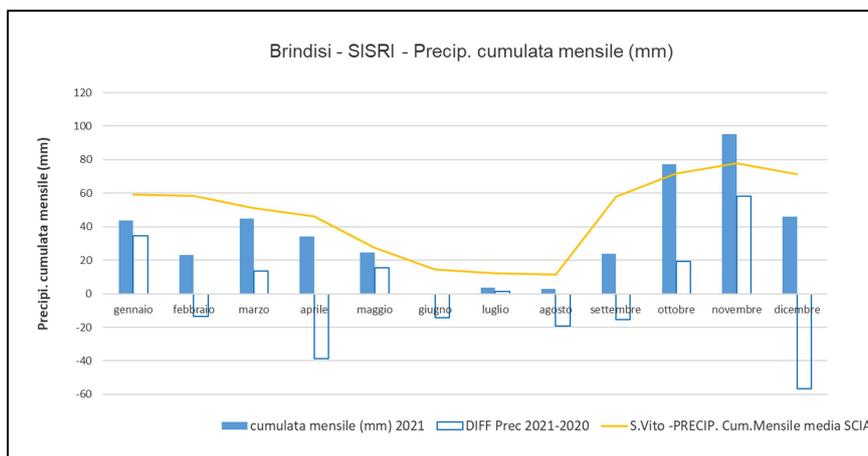
Dalle figure seguenti si evince più dettagliatamente i mesi nei quali si è avuta una variazione significativa dell'entità della precipitazione.



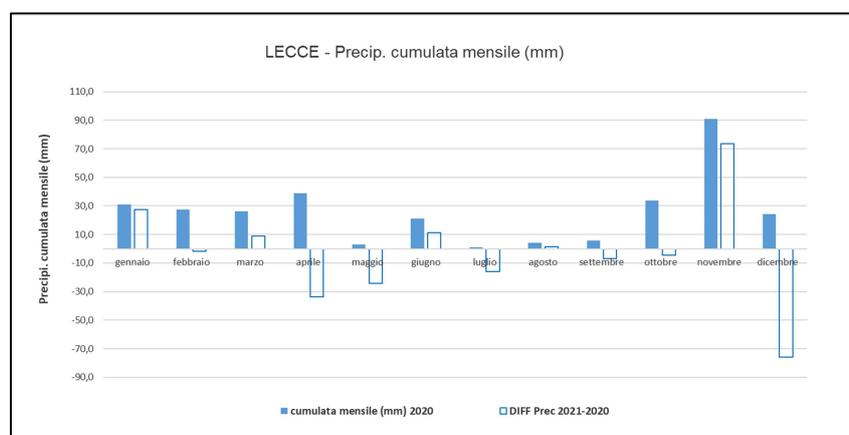
¹⁹ A Brindisi la riduzione rispetto al 2020 è risultata pari a soli 15mm.



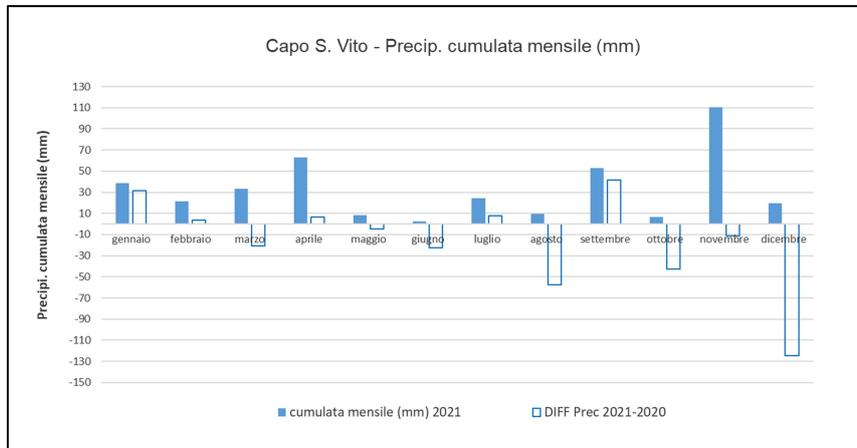
Precipitazioni cumulate mensili 2021 e variazioni rispetto all'anno 2020 – stazione Bari-Idrografico (Centro Funzionale – Protezione Civile Regione Puglia)



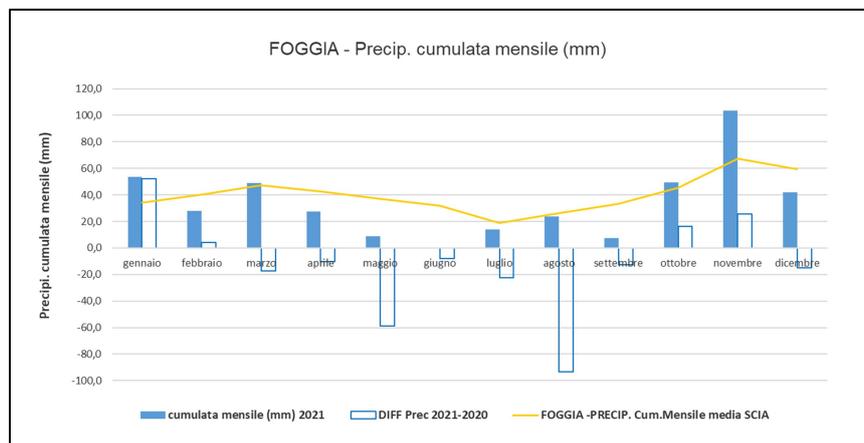
Precipitazioni cumulate mensili 2021 e variazioni rispetto all'anno 2020 – stazione Brindisi-SISRI



Precipitazioni cumulate mensili 2021 e variazioni rispetto all'anno 2020 – stazione DAP Lecce



Precipitazioni cumulate mensili 2021 e variazioni rispetto all'anno 2020 – stazione Taranto-Capo San Vito



Precipitazioni cumulate mensili 2021 e variazioni rispetto all'anno 2020 – stazione DAP Foggia