



# **VALUTAZIONE MODELLISTICA DELLA QUALITÀ DELL'ARIA DELLA REGIONE PUGLIA**

---

**Anno 2019**

**ARPA Puglia  
Centro Regionale Aria**



La Valutazione modellistica della Qualità dell'Aria in Puglia – Anno 2019 è stata predisposta dall'Ufficio di Modellistica del Centro Regionale Aria dell'Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente della Puglia.

L'ufficio di Modellistica del Centro Regionale Aria è composto da Angela Morabito, Francesca Intini, Ilenia Schipa, Annalisa Tanzarella.

I dati di qualità dell'aria sono stati forniti dagli uffici di Qualità dell'Aria del Centro Regionale Aria.

La Relazione è stata revisionata dal Dott. Domenico Gramegna - Dirigente del Centro Regionale Aria di ARPA Puglia.

## INDICE

### 1. INTRODUZIONE

- 1.1. Normativa di riferimento
- 1.2. La rete di monitoraggio della qualità dell'aria
- 1.3. Il sistema modellistico di Arpa Puglia
- 1.4. Input emissivo
- 1.5. Condizioni iniziali e al contorno
- 1.6. Validazione dei risultati e Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico

### 2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE

### 3. LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

#### 3.1. PM10

- 3.1.1. Mappe di analisi

#### 3.2. PM2.5

- 3.2.1. Mappe di analisi

#### 3.3. NO2

- 3.3.1. Mappe di analisi

#### 3.4. O3

- 3.4.1. Mappe di analisi

#### 3.5. Benzene

- 3.5.1. Mappe di analisi

#### 3.6. CO

- 3.6.1. Mappe di analisi

#### 3.7. SO2

- 3.7.1. Mappe di analisi

#### 3.8. Benzo(a)Pirene nel PM10

- 3.8.1. Mappe della concentrazione al suolo modellata

#### 3.9. Metalli nel PM10

- 3.9.1. Mappe della concentrazione al suolo modellata

### 4. CONCLUSIONI

### 5. ALLEGATO: ANALISI DEI DATI METEOROLOGICI – ANNO 2019



## 1 INTRODUZIONE

Il D.Lgs n.155/2010 pone la valutazione della qualità dell'aria ambiente come premessa conoscitiva indispensabile per la gestione delle relative criticità e la conseguente pianificazione delle politiche di intervento. Lo stesso decreto identifica nelle Regioni gli enti territoriali deputati allo svolgimento annuale della valutazione della qualità dell'aria ambiente (QA) sull'intero territorio regionale. Tale valutazione può essere condotta con i modelli di dispersione della QA, in grado sia di valutare la qualità dell'aria in zone del territorio dove non sono presenti siti di monitoraggio, che di integrare le informazioni puntuali, fornite dalle misure effettuate dalle centraline di monitoraggio.

Relativamente all'anno 2019 si presenta, quindi, di seguito la "Valutazione modellistica annuale della Qualità dell'aria sul territorio regionale", condotta nel rispetto dei requisiti tecnici contenuti nella norma. Tale valutazione è stata condotta con il sistema modellistico messo a punto nel triennio 2015-2017 e ricostruisce lo stato della qualità dell'aria, a 4km di risoluzione spaziale sulla regione Puglia e ad 1 km di risoluzione spaziale sulle province di Brindisi, Taranto e Lecce, anche assimilando le misure fornite dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria gestita da ARPA Puglia.

Il sistema modellistico si basa sull'applicazione dei modelli euleriani di chimica e trasporto, che, come indicato nella Appendice III del D.Lgs. n.155/2010, rappresentano gli strumenti più idonei a trattare il contesto pugliese, caratterizzato da una elevata complessità meteorologica ed emissiva. Il sistema di ARPA Puglia è attualmente installato ed implementato sul datacenter di calcolo ReCaS realizzato dall'Università degli Studi di Bari "Aldo Moro" e dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

Si precisa, inoltre, che i campi di concentrazione, ricostruiti sulla Puglia e sul Salento dal modello fotochimico, sono stati combinati/integrati con le misure effettuate nel 2019 dalle reti di monitoraggio gestite da ARPA Puglia, al fine di ottenere una migliore e più realistica rappresentazione dello stato della qualità dell'aria sul territorio sia in termini di entità dei livelli di concentrazione che di distribuzione spaziale.

Dopo una sezione introduttiva, dedicata all'inquadramento normativo del monitoraggio della qualità dell'aria, alla descrizione della rete di monitoraggio della qualità dell'aria e alla descrizione del sistema modellistico implementato, nella seconda parte della Relazione viene presentata una sintesi delle condizioni meteorologiche osservate nel corso del 2019, 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, illustrate le mappe della concentrazione al suolo modellata degli inquinanti. Tali mappe sono state elaborate per il 2019 con il sistema modellistico sul dominio regionale, a 4km di risoluzione spaziale, e su un dominio locale (comprendente le province di Brindisi, Lecce e Taranto), a 1 km di risoluzione spaziale. Le stesse mappe tengono conto anche delle misure fornite dalle centraline di monitoraggio, laddove disponibili.



Per gli inquinanti per i quali per un dato indicatore statistico si verifica un superamento dei limiti prescritti dal D.Lgs. n.155/2010, viene mostrato il confronto con l'analoga mappa riferita all'anno precedente, valutando la possibile influenza delle variazioni delle condizioni meteorologiche riferite agli anni 2019 e 2018. L'analisi dettagliata delle condizioni meteorologiche è disponibile nell'allegato alla Relazione.

Si fa presente inoltre che sul sito [http://arpa.puglia.it/web/guest/modellistica\\_sono](http://arpa.puglia.it/web/guest/modellistica_sono) sono disponibili le relazioni che riportano i risultati delle valutazioni modellistiche dello stato della qualità dell'aria sulla regione Puglia condotte negli anni passati.

Inoltre, all'indirizzo <http://cloud.arpa.puglia.it/previsioniqualitydellaria/index.html> sono disponibili giornalmente le previsioni a +72 ore, prodotte dal sistema modellistico di Arpa Puglia, dello stato della qualità dell'aria (sia sull'intera regione che sull'area di Taranto con un migliore dettaglio spaziale) e la ricostruzione (soprannominata "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. n.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. n.250 del 24 dicembre 2012.

Oltre alla definizione per la 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 <sup>3</sup>
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m <sup>3</sup>
PM 2,5 Particolato con diametro <2,5 µm	Limite annuale	Media annuale	25 µg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	40 µg/m <sup>3</sup>
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	400 µg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
	Soglia di informazione	Media oraria	180 µg/m <sup>3</sup>
	Soglia di allarme	Media oraria	240 µg/m <sup>3</sup>
	Valore obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40 calcolato su valori medi orari da maggio a luglio	6000 µg/m <sup>3</sup> * h
CO - Monossido di carbonio	Limite per la protezione della salute umana	Massimo giornaliero di 24 medie mobili su 8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>
C6H6 - Benzene	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	5 µg/m <sup>3</sup>
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 <sup>3</sup>
	Limite di 24h per la protezione della salute umana (da non superare più di 3 volte per anno civile)	Media giornaliera	125 µg/m <sup>3</sup>
	Soglia di allarme (valore misurato su 3h consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria)	Media oraria	500 µg/m <sup>3</sup>
Pb - Piombo	Limite annuale per la protezione della salute umana	Media annuale	0,5 µg/m <sup>3</sup>
B(α)P - Benzo(α)pirene	Valore obiettivo	Media annuale	1,0 ng/m <sup>3</sup>
Ni - Nichel	Valore obiettivo	Media annuale	20,0 ng/m <sup>3</sup>
As - Arsenico	Valore obiettivo	Media annuale	6,0 ng/m <sup>3</sup>
Cd - Cadmio	Valore obiettivo	Media annuale	5,0 ng/m <sup>3</sup>

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).

Si precisa che 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 n.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piani di risanamento. A riguardo è stato, pertanto, rivolto uno specifico quesito alla Regione Puglia per l'inoltro al MATTM. Allo stato attuale si è in attesa del riscontro.

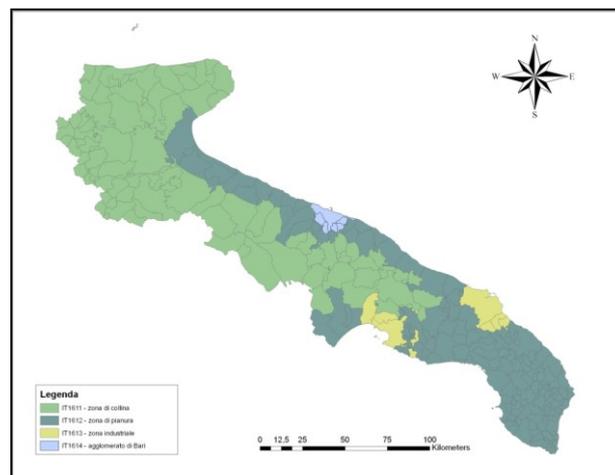
## 1.2 La rete di monitoraggio della qualità dell'aria

Il D. Lgs. n.155/10 assegna alle Regioni e alle Province Autonome il compito di procedere alla zonizzazione del territorio (art. 3) e alla classificazione delle zone (art. 4). La Regione Puglia ha adottato il Progetto di

adeguamento della zonizzazione del territorio regionale e la relativa classificazione con la D.G.R. 2979/2012, ricevendo riscontro positivo del MATTM con nota DVA-2012-0027950 del 19/11/2012. La zonizzazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche demografiche, meteo climatiche e orografiche regionali, della distribuzione dei carichi emissivi e dalla 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, comprendente Brindisi, Taranto e i comuni che risentono maggiormente delle emissioni industriali dei due poli produttivi;
4. ZONA IT1614: agglomerato di Bari.

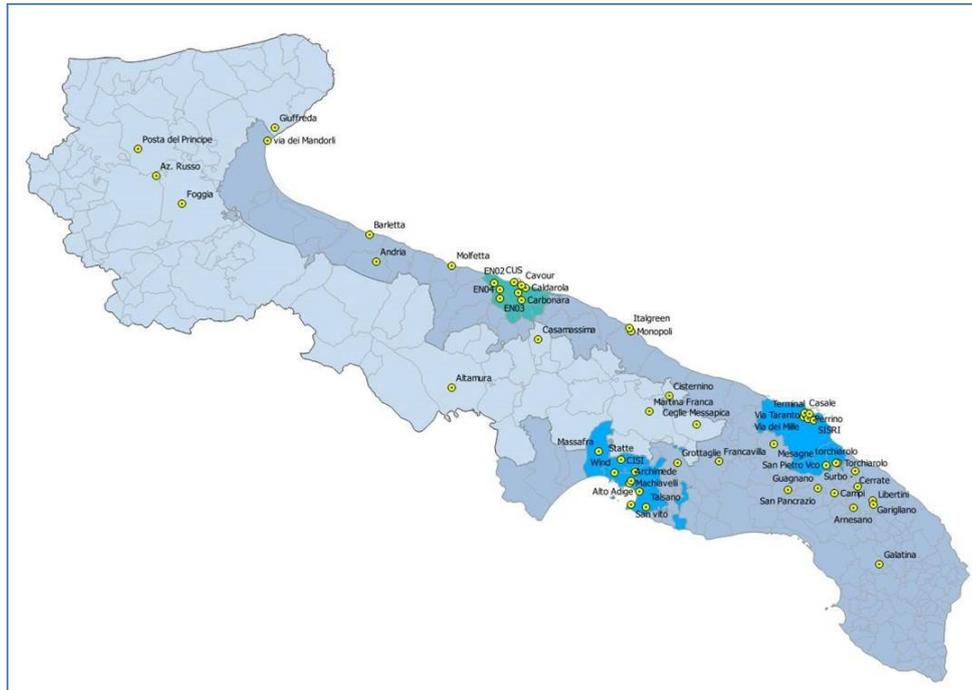
Le 4 zone sono rappresentate nella figura seguente:



**Figura 1: zonizzazione del territorio regionale**

La Rete Regionale di Monitoraggio della Qualità dell'Aria (RRQA) è stata approvata dalla Regione Puglia con D.G.R. 2420/2013 ed è composta da 53 stazioni fisse (di cui 41 di proprietà pubblica e 12 private); nello specifico tale rete è composta da stazioni da traffico (urbana, suburbana), di fondo (urbana, suburbana e rurale) e industriali (urbana, suburbana e rurale).

La figura che segue riporta la collocazione delle 53 stazioni di monitoraggio della RRQA.



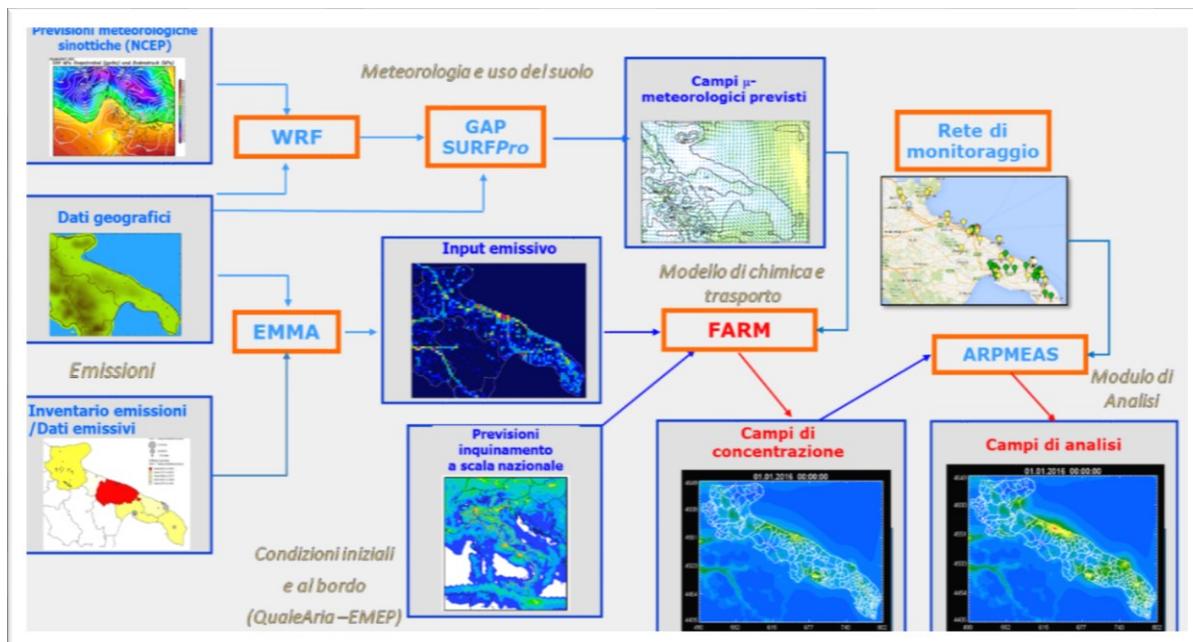
**Figura 2 - RRQA**

### 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 atto a simulare le concentrazioni di inquinanti gassosi e di particolato. Tale sistema modellistico è incentrato sul modello euleriano tridimensionale di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM<sup>1</sup> (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 seguente (Figura 33) viene riportato lo schema del sistema modellistico, implementato sulla piattaforma computazionale ReCaS.

<sup>1</sup>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).



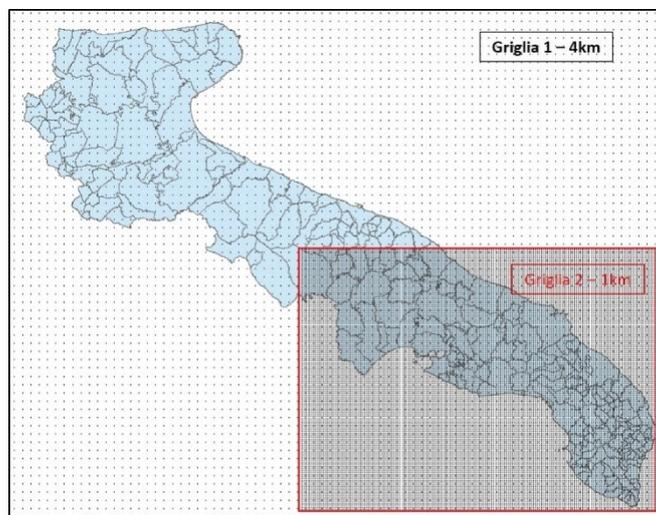
**Figura 3 - Sistema modellistico utilizzato per la Valutazione modellistica annuale della Qualità dell'aria.**

Il sistema modellistico utilizza in ingresso molteplici *dataset*, che vengono elaborati in modo da produrre, sui domini di simulazione, tutti i dati in ingresso necessari al modello chimico di qualità dell'aria. In particolare, per lo svolgimento della simulazione relativa all'anno 2019, FARM è stato alimentato con:

- i campi meteorologici di analisi, elaborati per il 2019 dal Servizio Agenti Fisici (SAF) della Direzione Scientifica di ARPA Puglia ([www.arpa.puglia.it/web/guest/servizio\\_meteo](http://www.arpa.puglia.it/web/guest/servizio_meteo)) e prodotti mediante una catena di analisi<sup>2</sup> con il modello prognostico WRF (Weather Research and Forecasting model).
- 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 iniziali ed al contorno, relative all'anno 2019, 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 furani sono state utilizzate le elaborazioni climatologiche prodotte dai modelli EMEP- MSCE.

Tale sistema è stato applicato simultaneamente su un dominio comprendente la regione Puglia (Figura 4 - Griglia 1), e su un dominio (Figura 4 - Griglia 2), comprendente le province di Brindisi, Lecce e Taranto ed innestato nel precedente.

<sup>2</sup> La catena di analisi è basata sulla tecnica dell'assimilazione di dati a quattro dimensioni (FDDA), che viene utilizzata per creare dataset meteorologici dinamicamente coerenti, da utilizzare a fini retrospettivi. I dati di input al modello alla mesoscala WRF sono quelli elaborati dall'ECMWF Operational model analysis, che integra le equazioni con metodi spettrali. La risoluzione di ECMWF è attualmente pari a circa 16 km. La catena modellistica è stata implementata utilizzando la tecnica del nudging in modalità analisi su un set nidificato di 3 domini. I campi utilizzati per la valutazione modellistica 2019 coprono l'intero territorio regionale ad una risoluzione spaziale pari a 4km.



**Figura 4 - 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.

Dominio	Denominazione	Estensione	Risoluzione spaziale
Griglia 1	Regione Puglia	316 x 248 km <sup>2</sup>	4km x 4km
Griglia 2	Salento	172 x 128 km <sup>2</sup>	1km x 1km

**Tabella 1 - Caratteristiche spaziali dei domini di simulazione**

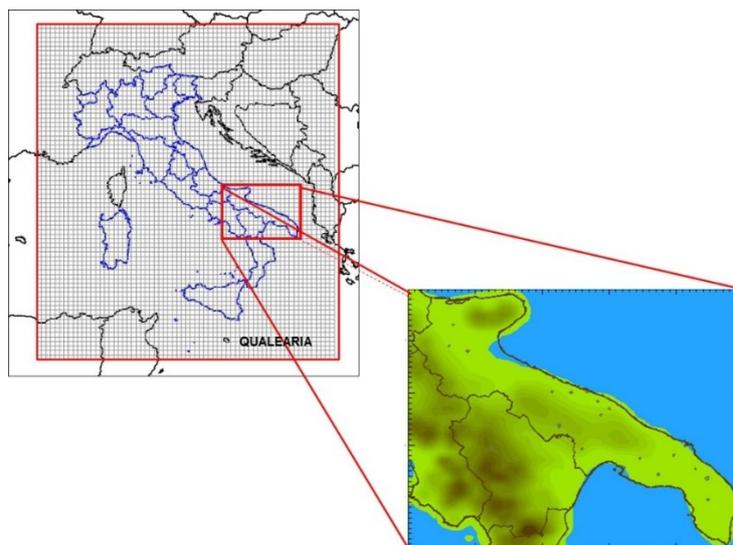
L'estensione verticale dei due domini è pari a 9050 m, con i seguenti 16 livelli di calcolo espressi in metri sopra l'orografia: 10, 35, 70, 120, 195, 305, 465, 695, 1025, 1505, 2200, 3205, 4550, 6050, 7550, 9050. Il sistema descritto viene correntemente utilizzato da ARPA Puglia per più scopi, quali la ricostruzione di episodi critici di inquinamento, l'analisi dell'impatto sulla qualità dell'aria di scenari emissivi, per valutazioni di impatto ambientale e sanitario. Inoltre, su richiesta dei Dipartimenti Provinciali ARPA e/o di singoli enti (es. comuni), è utilizzato per estrarre risultati su porzioni del territorio in cui non sono disponibili misure di monitoraggio.

#### 1.4 Input emissivo

L'input emissivo, che ha alimentato la simulazione modellistica relativa al 2019, è analogo a quello utilizzato per la valutazione modellistica condotta da ARPA per il 2018. Per una descrizione dettagliata di tutte le attività svolte per la ricostruzione 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>.

#### 1.5 Condizioni iniziali e al contorno

Per stimare il flusso di inquinanti, che entra nel dominio regionale a risoluzione a 4km, a ogni ora di simulazione per tutti i livelli, compreso il *top*, devono essere fornite al modello FARM le cosiddette 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, relativamente agli inquinanti in fase omogena gassosa e particellare (Figura 5), ed EMEP-MSCE, relativamente ai metalli pesanti, diossine e furani. I primi sono riferiti all'anno 2019 e sono disponibili su base temporale trioraria<sup>3</sup>; 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 5 - Schematizzazione della griglia di calcolo utilizzata dal sistema modellistico Quale Aria e dalla griglia di FARM.**

<sup>3</sup>Tali campi sono successivamente interpolati su base oraria nel corso della simulazione.

## 1.6 Validazione dei risultati e Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico

Per garantire un uso corretto e adeguato dei modelli, l'Agencia Europea dell'Ambiente (EEA) ed 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. Relativamente alla 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.

Nella scheda di approfondimento successiva si riporta la sintesi degli esiti della valutazione della performance della simulazione modellistica condotta per il 2019<sup>4</sup>. La qualità della simulazione è stata valutata con l'ausilio del DELTA TOOL (versione 5.6.1, 2018), 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 n.155/2010. Tale software, ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica e dalle ARPA, si basa sul confronto statistico tra dati modellati e misurati ed offre una rapida valutazione delle prestazioni del modello in termini di vari indicatori e diagrammi statistici. Il DELTA TOOL tratta gli inquinanti PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>2.5</sub>. Per il B(a)P, invece, si può fare riferimento all'incertezza massima ammessa per il modello, espressa in termini di errore relativo secondo la modalità indicata dal D.Lgs. n.155/2010. Tale metodo prevede che per ciascun punto si confrontino i dati ottenuti dalle stazioni di misurazione con quelli ottenuti dalle simulazioni determinando l'errore relativo da confrontare con quello massimo ammesso. Per tale inquinante tuttavia non è stato possibile effettuare tale elaborazione, non essendo al momento disponibili le misure di B(a)P sui campioni di PM<sub>10</sub> prelevati nel corso del 2019.

### SCHEDA DI APPROFONDIMENTO 1: VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE DEL SISTEMA MODELLISTICO

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  $\leq 1$  per almeno il 90% delle stazioni disponibili. L'MQO è quindi espresso come  $MQI_{90\% \text{ perc}} \leq 1$ .

Tale criterio di performance del modello è attivato per O<sub>3</sub> (relativamente alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore), NO<sub>2</sub> (relativamente alla concentrazione oraria), PM<sub>10</sub> (relativamente alla concentrazione media giornaliera) e PM<sub>2.5</sub> (relativamente alla concentrazione media giornaliera) sull'anno.

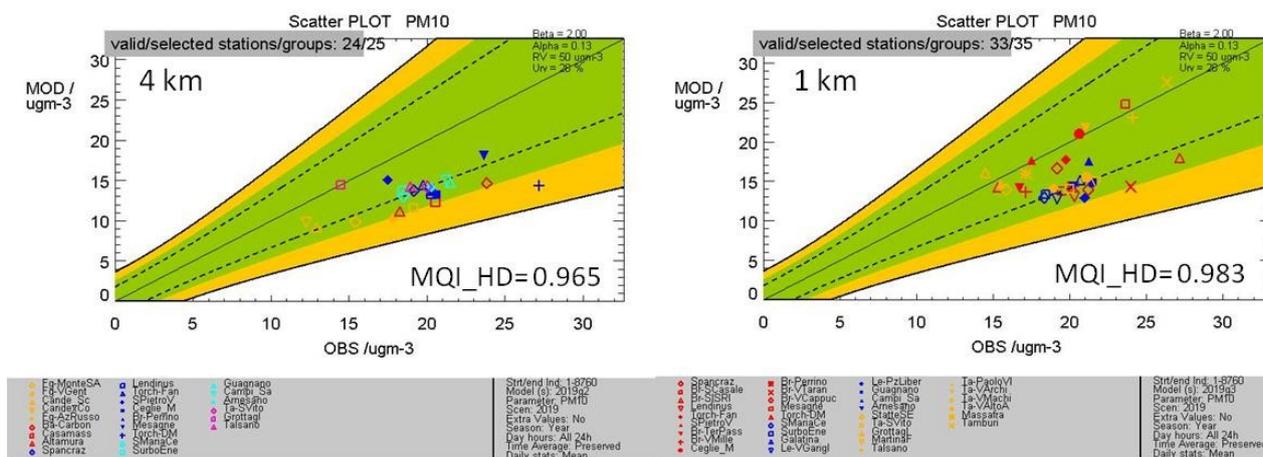
<sup>4</sup>I risultati della valutazione modellistica integrata con i dati misurati dalle centraline di monitoraggio saranno mostrati al par.3.

Riguardo alle stazioni di monitoraggio, da considerare nel confronto, è importante osservare che nella stessa appendice del D.Lgs n.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, relativamente al periodo temporale selezionato per la statistica, la centralina disponga di almeno il 75% di dati validi. 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 di 4km e di 1km.

Si fa presente che, poiché il modello FARM non è in grado di ricostruire il contributo sul PM<sub>10</sub> prodotto dalle avvezioni sahariane, nel set di dati misurati presso le centraline di monitoraggio da assimilare all'interno del modello sono state eliminate le misure 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 (Puglia e Salento) 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.

I risultati della valutazione della performance per la simulazione modellistica condotta con il DELTA TOOL per l'anno 2019 mostrano che 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.



Scatter plot relativo al PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) su entrambi i domini di simulazione.



La valutazione statistica condotta con il DELTA TOOL ha evidenziato per gli inquinanti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> la capacità del modello di ricostruire adeguatamente le concentrazioni misurate sia sulla griglia regionale che su quella locale, 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 n.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 minima<sup>5</sup>.

L'assimilazione ha coinvolto gli inquinanti NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, CO e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> monitorati dalle reti di monitoraggio della QA gestite da ARPA. In particolare, l'assimilazione è avvenuta su base oraria per le specie NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, mentre per le specie PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> è avvenuta su base giornaliera. Si fa presente che per alcune centraline (ad es. Mesagne, San Pietro Vernotico, Arnesano, Campi S.na, Talsano, ecc.), caratterizzate da un andamento temporale tipicamente stagionale di alcuni inquinanti (ad es. PM<sub>10</sub>), si è scelto di attribuire un raggio di influenza differente per la stagione invernale. Inoltre si precisa che dal processo di assimilazione sono state escluse le misure di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> acquisite nei giorni in cui si sono

---

<sup>5</sup>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 centraline 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<sub>10</sub>.

L'assimilazione è stata effettuata sia sui campi di concentrazione al suolo relativi al dominio regionale (risoluzione di 4 km x 4 km), sia su quelli relativi al dominio locale (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. Si fa presente che non sono stati assimilati i dati di NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e SO<sub>2</sub> misurati dalla centralina denominata SS7Wind, né i dati di PM<sub>10</sub> misurati dalla centralina di Cisternino dal momento che la percentuale di dati disponibili per l'intero anno era inferiore al valore minimo richiesto (pari al 75%) per il loro utilizzo.

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							
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
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	Francavilla 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		

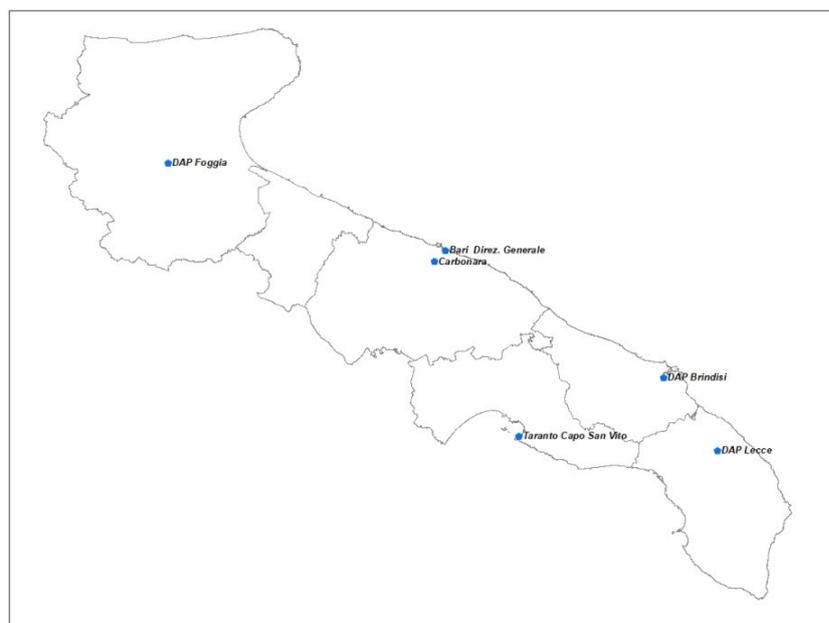
Tabella 2 - Elenco delle centraline e dei dati assimilati per ciascun analizzatore

## 2. SINTESI DELLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE

In tale paragrafo si riporta una sintesi delle condizioni meteorologiche che hanno interessato il territorio regionale nell'anno 2019. L'attenzione è stata dedicata ai parametri atmosferici (vento, temperatura, radiazione solare e precipitazione) che influenzano la dispersione, l'abbattimento delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e la formazione di inquinanti secondari. Per caratterizzare le condizioni meteorologiche osservate nel 2019 l'analisi è stata sviluppata utilizzando come termine di confronto sia i dati dell'anno 2018 che i dati climatologici SCIA.

A tale scopo, sono stati elaborati i dati meteorologici acquisiti nel 2019 dalle centraline meteorologiche considerate nella precedente "Valutazione integrata della Qualità dell'Aria in Puglia - Anno 2018", fatta eccezione per la stazione posizionata presso la sede della Direzione Generale a Bari, per la quale nel 2019 risultava disponibile solo la misura di precipitazione. Per la caratterizzazione meteorologica dell'area di Bari, quindi, ad integrazione/sostituzione della centralina meteo posizionata presso la sede della Direzione Generale di ARPA, è stata considerata la centralina ARPA denominata "Carbonara", posizionata nell'entroterra barese, in direzione SO, a circa 5 km di distanza dalla precedente.

Per le province di Foggia, Brindisi e Lecce sono state prese in considerazione le centraline meteorologiche posizionate presso le sedi dei Dipartimenti Provinciali (DAP) di ARPA. Per l'area di Taranto è stata considerata la centralina della rete regionale di qualità dell'aria, sita presso Capo San Vito, dotata anche di strumentazione di tipo meteorologico.



**Figura 6 – Localizzazione delle centraline meteorologiche di ARPA Puglia**

In Tabella 3 si specificano le caratteristiche delle suddette centraline. In Tabella 4, invece, per ogni stazione meteorologica e per ciascun parametro meteorologico, si riportano le corrispondenti percentuali di validità dei dati misurati nel corso del 2019. Per la maggior parte delle centraline si rileva una disponibilità di dati validi superiore al 75%; fanno eccezione la centralina di Bari, come già detto, relativamente ai parametri “temperatura”, “velocità e direzione del vento” e “radiazione globale”, e la centralina di Lecce relativamente al parametro “radiazione globale”. La centralina Carbonara risulta al limite relativamente al parametro “precipitazione”. Per tale parametro sono state quindi considerate le misure presso la centralina Bari-Direzione Generale, la cui percentuale di validità relativamente all’anno 2019 è risultata pari al 97%.

STAZIONE	PROV.	COORDINATE		ALTEZZA sensori	PARAMETRI MISURATI
		X_UTM (km)	Y_UTM (km)	m	
Bari - Direzione Generale	BA	658,99	4553,47	50	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)
Carbonara	BA	654,377	4548,816	5	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 60 minuti)
DAP Foggia	FG	545,75	4589,45	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)
Taranto Capo San Vito	TA	688,78	4477,12	10	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 60 minuti)
DAP Brindisi	BR	747,9	4501,08	20	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)
DAP Lecce	LE	769,89	4471,05	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione globale, precipitazione (ogni 30 minuti)

**Tabella 3 - Caratteristiche delle centraline meteorologiche**

	2019				
	Temperatura	Precipitazione	Vel. vento	Dir. vento	Rad.glob.
FOGGIA	95%	99%	95%	95%	95%
BARI	0%	97%	23%	0%	0%
Carbonara	99%	75%	99%	98%	100%
S.VITO	99%	100%	99%	99%	99%
BRINDISI	98%	99%	98%	98%	98%
LECCE	97%	100%	97%	97%	25%

**Tabella 4 - 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. SCIA è il sistema nazionale per la raccolta, elaborazione e diffusione di dati climatici, realizzato dall'ISPRA (già ANPA e poi APAT) e alimentato con i dati degli organismi regionali che si occupano di monitoraggio dei parametri meteorologici (<http://www.scia.isprambiente.it>). Le elaborazioni, effettuate ai fini della valutazione delle condizioni meteorologiche che si sono verificate nel 2019, sono riportate in dettaglio nell'Allegato alla presente Relazione.

Nella Tabella 5 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 prese in considerazione 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 effettuate 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	<i>Tmedia</i>	1951-2018	1988-2018	30 anni
				<i>PREC cum</i>	1951-2018	1988-2018	30 anni
Brindisi	AM	749424	4504089	<i>Tmedia</i>	1951-2018	1988-2018	30 anni
				<i>PREC cum</i>	1951-2018	1988-2018	30 anni
Lecce	AM	768001	4458046	<i>Tmedia</i>	2005-2018 con buchi	<10 anni	
				<i>PREC cum</i>	2005-2018 con buchi	<10 anni	
Foggia	UCEA UCST	545939	4588859	<i>Tmedia</i>	1975-1993	1975-1993	18 anni
				<i>PREC cum</i>	1975-1993	1975-1993	18 anni
Taranto	UCEA UCOS	695040	4480245	<i>Tmedia</i>	1961-2012	1978-2008	30 anni
				<i>PREC cum</i>	2000-2008	<10 anni	

**Tabella 5 - Stazioni climatologiche SCIA**

Le analisi effettuate hanno mostrato che, dal punto di vista anemologico, per tutte le postazioni considerate la distribuzione dell'intensità del vento per settore di provenienza, riferita al 2019, è risultata analoga a quella del 2018, con qualche piccola differenza rilevabile solo su base stagionale.

Mentre nelle postazioni di Carbonara e Foggia nel 2019 non si sono osservate variazioni significative rispetto all'anno precedente, ad eccezione di una lieve diminuzione della ventilazione per la stazione di Foggia, a Taranto (Capo San Vito) si è rilevato un aumento della ventilazione, rispetto al 2018, ed una contestuale diminuzione delle calme di vento (in particolare nelle stagioni invernale e primaverile). Spostando l'attenzione sulle province restanti, nella postazione di Brindisi si è osservato nel 2019 un aumento significativo della ventilazione (in tutte le stagioni tranne in quella autunnale) con una contestuale diminuzione delle calme di vento, mentre a Lecce si è osservata nel 2019 una lieve diminuzione della ventilazione ed un aumento delle calme di vento.

Considerando la sola stagione invernale, si è osservato che la ventilazione nel 2019 si è intensificata per le stazioni di Foggia (con diminuzione delle calme di vento), è rimasta invariata per Lecce, è aumentata per Capo San Vito (con diminuzione delle calme di vento), aumentata per Brindisi (con lieve aumento delle calme di vento) e lievemente aumentata per Carbonara (con diminuzione delle calme di vento)

La precipitazione cumulata annuale ha mostrato un aumento per le stazioni di Bari e Lecce, in concomitanza ad un aumento del numero di giorni piovosi, ed una diminuzione per le stazioni di Brindisi, Foggia e Taranto – Capo San Vito (con una diminuzione del numero annuale di giorni piovosi).

Mentre, per quanto riguarda la precipitazione cumulata nella sola stagione invernale del 2019, si è osservato che essa è risultata superiore rispetto all'anno precedente per tutte le stazioni considerate, tranne che per quella di Brindisi e Taranto-Capo San Vito, per le quali è risultata in diminuzione (pur avendo osservato un aumento del numero di giorni piovosi nel periodo invernale per Taranto-Capo San Vito).

Per quanto riguarda la temperatura, in corrispondenza di tutte le postazioni, per le quali è disponibile il dataset climatologico, si sono osservati per il 2019 valori medi mensili superiori ai valori medi climatologici, fatta eccezione per i mesi di gennaio e maggio. Relativamente alla stagione invernale, si è osservata una diminuzione della temperatura nelle stazioni di Foggia, Carbonara e Taranto-Capo San Vito, ed un lieve aumento invece nelle stazioni di Brindisi e Lecce.

Per la radiazione globale, infine, in corrispondenza di tutte le postazioni, si è notata una diminuzione nei mesi di febbraio, marzo, giugno e agosto ed un aumento nel mese di aprile, maggio, luglio e settembre.

### 3 LO STATO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

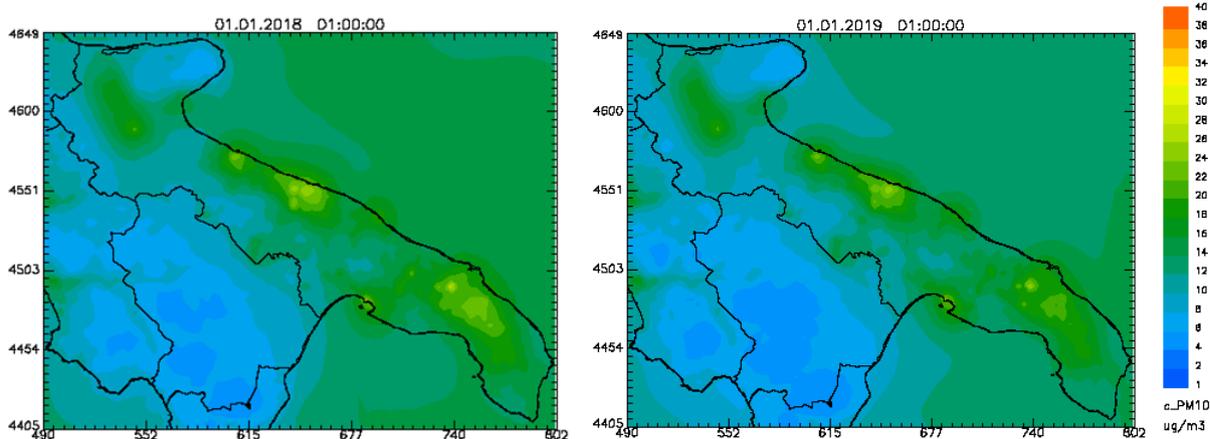
Si mostrano di seguito le mappe di analisi per gli inquinanti PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO e C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> ottenute mediante l'assimilazione dei dati misurati sulle concentrazioni modellate. Per quanto riguarda invece il B(a)P e i metalli (As, Cd, Ni, Pb), non essendo ancora disponibili le relative misure per il 2019, si mostrano le mappe di concentrazione al suolo previste solo dal sistema modellistico. Inoltre, relativamente gli inquinanti per i quali le mappe elaborate per il 2019 hanno rilevato alcune non conformità, si confrontano tali mappe con quelle relative all'anno precedente, mettendo in evidenza la possibile influenza dei fattori meteorologici.

#### 3.1 PM<sub>10</sub>

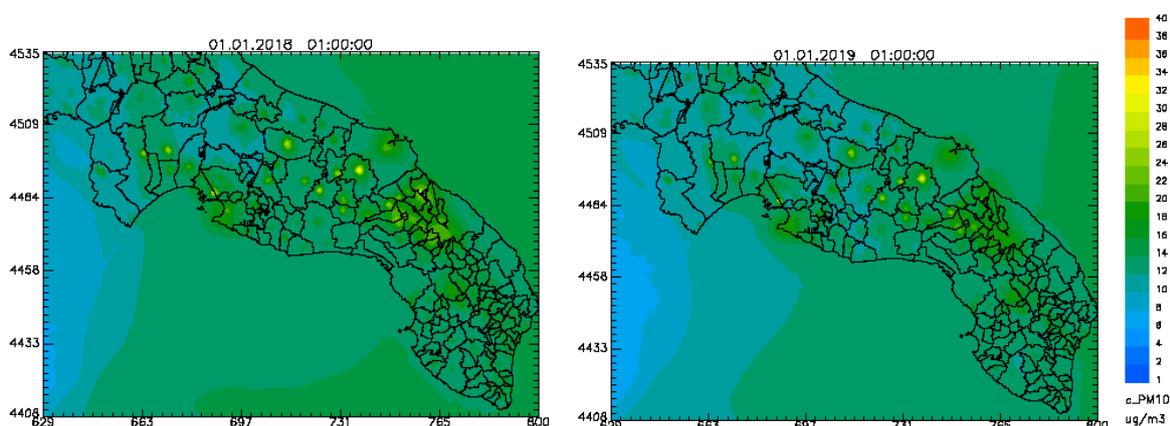
Il PM<sub>10</sub> è l'insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (10<sup>-6</sup> m). Il PM<sub>10</sub> può penetrare nell'apparato respiratorio, generando impatti sanitari, la cui gravità dipende, oltre che dalla quantità, anche dalla tipologia delle particelle. Il PM<sub>10</sub> 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 n.155/10 fissa due valori limite per il PM<sub>10</sub>: la media annua di 40 µg/m<sup>3</sup> e la media giornaliera di 50 µg/m<sup>3</sup> da non superare più di 35 volte nel corso dell'anno solare.

##### 3.1.2 Mappe di analisi

**PM<sub>10</sub> – Media annuale**  
Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 7 - Mappe di analisi riferite al 2018 (sx) e al 2019 (dx) della concentrazione media annuale di PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

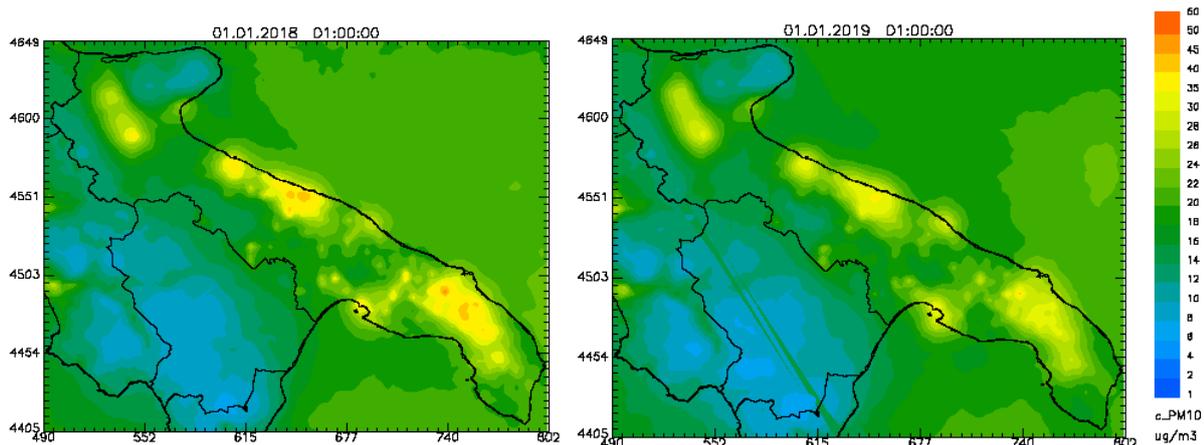
Il modello non stima alcun superamento per il limite annuale di concentrazione<sup>6</sup> né sul dominio regionale a 4km di risoluzione, né sul dettaglio ad 1km condotto sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto, analogamente a quanto riscontrato nel 2018. Si osserva, tuttavia, una diminuzione dei livelli di concentrazione al suolo, meno significativa nelle province di Lecce e Foggia e leggermente più marcata nelle altre. Ciò potrebbe essere imputabile sia ad una riduzione delle emissioni dirette di PM<sub>10</sub> e/o di inquinanti suoi precursori, sia ad una variazione nelle condizioni meteorologiche che influenzano la dispersione, l'abbattimento delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici e la formazione di inquinanti secondari. A riguardo si richiama quanto riportato nella sintesi delle condizioni meteorologiche, in particolare l'aumento della ventosità, rilevata a Brindisi e a Capo San Vito (TA) rispetto al 2018, ed una maggiore piovosità a Bari-Carbonara. Tali condizioni potrebbero aver favorito in queste zone una più efficace diluizione e dilavamento degli inquinanti. Le concentrazioni medie annuali più elevate sono stimate sul dominio regionale in corrispondenza delle aree urbanizzate di alcuni comuni della provincia 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 ed i livelli di concentrazione che, analogamente a quanto evidenziato nelle valutazioni modellistiche dello stato della QA relative al 2013, 2016 e 2017, mostra valori medi più elevati in alcuni comuni delle province di Brindisi e Taranto (Mesagne, Latiano, Ceglie Messapica, Oria, Torchiarolo, Mottola e Castellaneta), sebbene, come precedentemente osservato, di entità inferiore rispetto al 2018. Come già ampiamente trattato in tali valutazioni (alle cui relazioni, disponibili sul sito

<sup>6</sup>Si precisa che si verifica su una cella del dominio di simulazione un superamento del valore limite annuale quando la concentrazione media annuale, ivi stimata, supera il valore di 40.55 µg/m<sup>3</sup>.

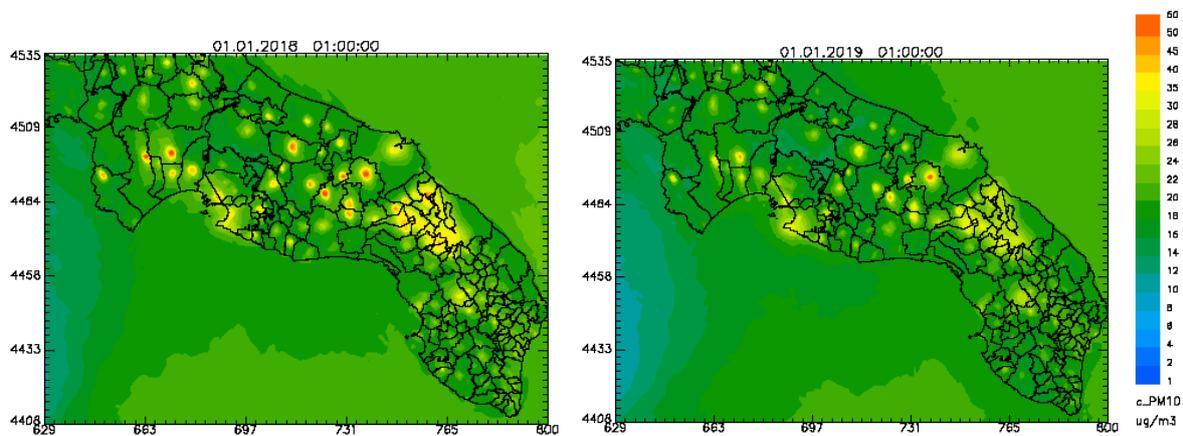
<http://arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>, si rimanda per ulteriori dettagli) la causa di ciò è da attribuirsi alle emissioni locali di  $PM_{10}$  prodotte dal riscaldamento residenziale a legna.

### $PM_{10}$ – 90.4° percentile

Dominio regionale (4km x 4km)



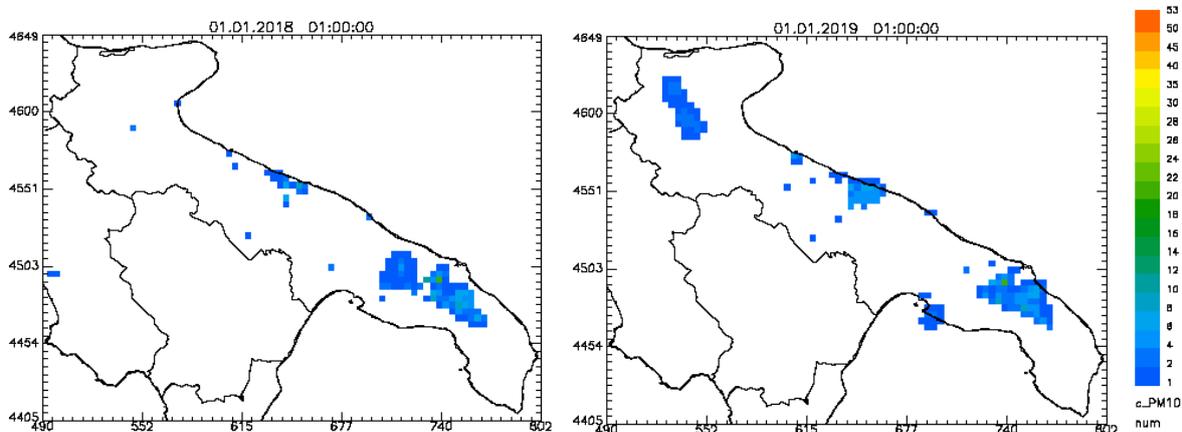
Dominio locale (1km x 1km)



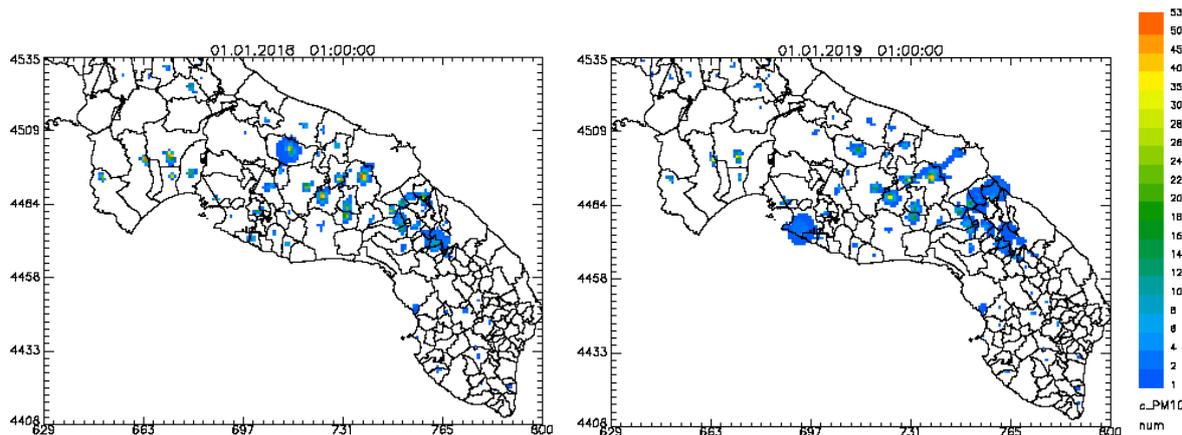
**Figura 8 - Mappe di analisi riferite al 2018 (sx) e al 2019 (dx) del 90.4° percentile di  $PM_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite assimilazione**

**PM<sub>10</sub> – Numero annuale dei superamenti del valore limite sulla media giornaliera**

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 9 – Mappe, riferite al 2018 (sx) e al 2019 (dx), del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM<sub>10</sub> sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute tramite assimilazione**

Comune	Provincia	Numero superamenti del valore limite giornaliero per il PM <sub>10</sub>
Mesagne	BR	46
Latiano	BR	37

**Tabella 6 - Comuni con numero dei superamenti (ottenuti tramite assimilazione) del valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub> superiore a 35**

Riguardo al valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub>, da non superare per più di 35 volte all'anno, la mappa di analisi sul dominio regionale, riferita al 2019 e relativa all'indicatore del 90.4° percentile sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere (Figura 8), non mostra alcuna non conformità sul dominio regionale. Sul dominio a 1km di risoluzione spaziale, invece, emergono non conformità in corrispondenza di due comuni della provincia di Brindisi. Ciò è mostrato sia dalle mappe del 90.4° percentile (Figura 8), sia dalle mappe (Figura 9) che mostrano il numero annuale di superamenti del valore limite giornaliero sulle celle del dominio di simulazione. La Tabella 6 riporta l'elenco dei comuni per i quali il numero totale dei superamenti valutati annualmente è superiore al massimo numero consentito in un anno (pari a 35). Tale elenco comprende per il 2019 due soli comuni della provincia di Brindisi (Mesagne e Latiano). Nel 2018, invece, il sistema modellistico ha previsto per il PM<sub>10</sub> un numero annuale di superamenti superiore a 35 oltre che nelle aree urbane dei comuni di Mesagne e Latiano anche nei comuni di Oria (BR), di Mottola (TA) e Castellaneta (TA), confermando quindi per il 2019 il miglioramento dello stato della qualità dell'aria nelle aree di Brindisi e Taranto. Tali superamenti<sup>7</sup> sono previsti solo dalle simulazioni modellistiche, poiché si manifestano in territori abitati nei quali non sono presenti postazioni fisse per il monitoraggio della qualità dell'aria che possano confermarne o meno la reale sussistenza. A riguardo è opportuno ribadire che il D.Lgs n.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 n.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piano di risanamento. Come già detto, uno specifico quesito è stato rivolto alla Regione Puglia per l'inoltro al MATTM e, allo stato attuale, si è in attesa di un riscontro.

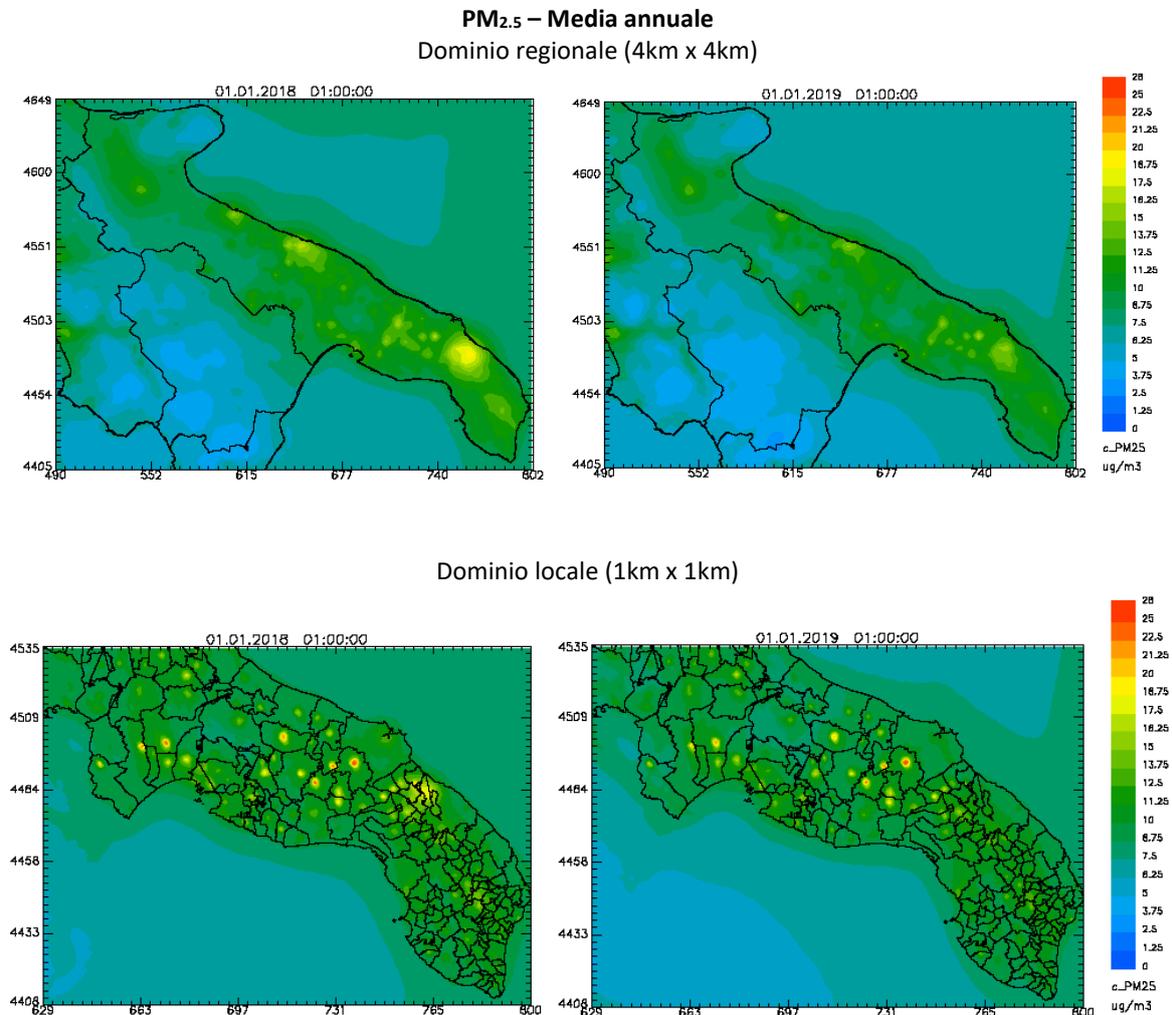
### 3.2 PM<sub>2.5</sub>

Il PM<sub>2.5</sub> è l'insieme di particelle solide e liquide con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm (10<sup>-6</sup> m). Analogamente al PM<sub>10</sub>, il PM<sub>2.5</sub> può avere origine naturale o antropica e può penetrare nell'apparato respiratorio raggiungendone il tratto inferiore (trachea e polmoni). Il D.Lgs. n.155/2010 ha introdotto per tale specie il valore limite sulla media annuale pari a 25 µg/m<sup>3</sup> da raggiungere entro l'1 gennaio 2015.

---

<sup>7</sup>La rappresentazione grafica della serie temporale delle concentrazioni orarie modellate di PM<sub>10</sub>, estrapolate sull'intero anno in corrispondenza delle aree urbanizzate dei suddetti comuni, mostra un andamento fortemente stagionale, con aumenti significativi nel periodo invernale. Ciò fa ritenere che la causa dei superamenti sia legata alle emissioni prodotte dal riscaldamento residenziale a biomassa legnosa.

### 3.2.2 Mappe di analisi



**Figura 10 - Mappe riferite al 2018 e al 2019 della concentrazione media annuale di PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite assimilazione.**

Come già osservato per il PM<sub>10</sub>, la media annuale del PM<sub>2.5</sub> ricostruita per il 2019 risulta generalmente inferiore a quella del 2018; tuttavia il sistema modellistico prevede, a 1km di risoluzione spaziale, il superamento all'interno dell'area urbanizzata del comune di Mesagne del valore limite prescritto sulla media annua, analogamente a quanto avveniva nel 2018. Anche per tale superamento<sup>8</sup> vale quanto già detto per il PM<sub>10</sub> sulle presunte cause, così come valgono le stesse considerazioni effettuate sull'influenza delle

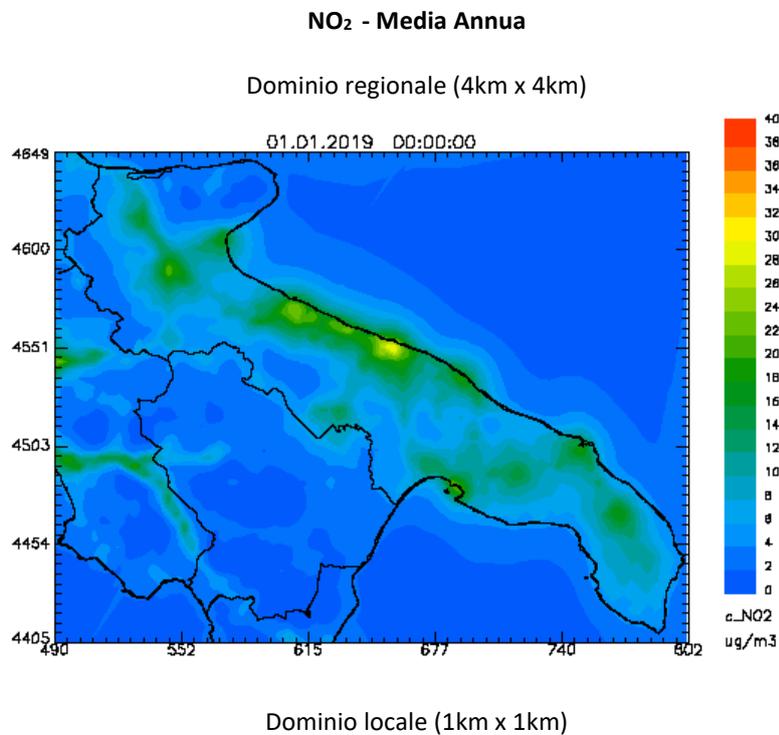
<sup>8</sup>La rappresentazione grafica della serie temporale delle concentrazioni orarie modellate di PM<sub>2.5</sub>, estrapolate sull'intero anno in corrispondenza delle aree urbanizzate dei suddetti comuni, mostra un andamento fortemente stagionale, con aumenti significativi nel periodo invernale. Ciò fa ritenere che la causa dei superamenti sia legata alle emissioni prodotte dal riscaldamento residenziale a biomassa legnosa.

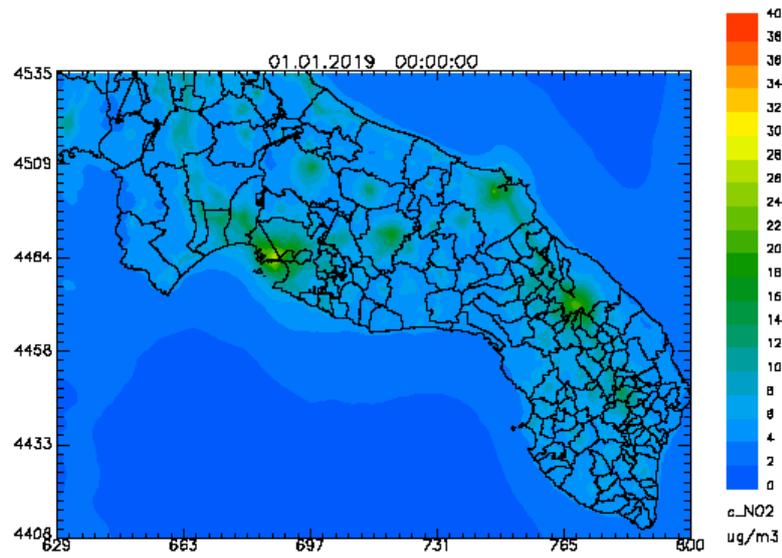
condizioni meteorologiche. Poiché il superamento identificato dal modello si rileva in celle nelle quali non sono presenti centraline di monitoraggio, non è possibile confermarne o meno la sussistenza. Il D.Lgs n.155/2010, come già detto, non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio delle tecniche modellistiche, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D.Lgs n.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piano di risanamento. Come già detto, uno specifico quesito è stato pertanto rivolto alla Regione Puglia per l'inoltro al MATTM e, allo stato attuale, si è in attesa di un riscontro.

### 3.3 BIOSSIDO DI AZOTO (NO<sub>2</sub>)

Gli ossidi di azoto, indicati con il simbolo NO<sub>x</sub>, si formano soprattutto nei processi di combustione ad alta temperatura e rappresentano un sottoprodotto dei processi industriali e degli scarichi dei motori a combustione interna. I limiti previsti dal D. Lgs. n.155/10 per l'NO<sub>2</sub> sono la media oraria di 200 µg/m<sup>3</sup> da non superare più di 18 volte nel corso dell'anno e la media annua di 40 µg/m<sup>3</sup>.

#### 3.3.2 Mappe di analisi

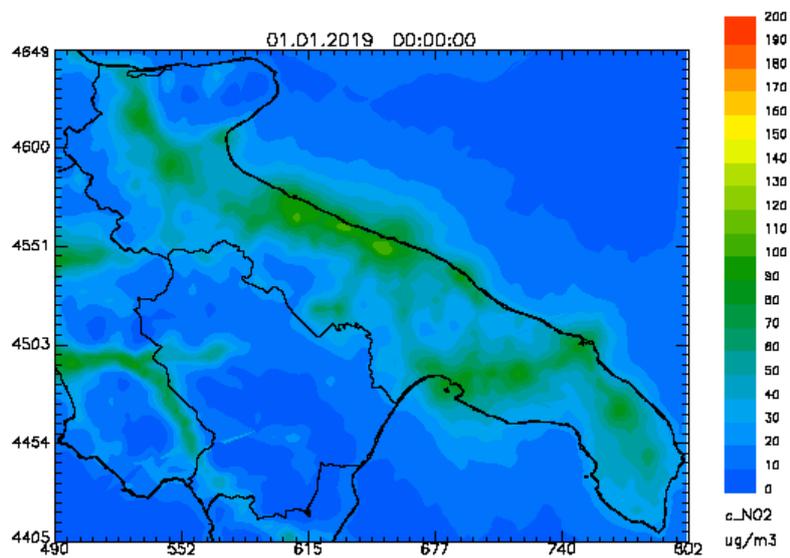




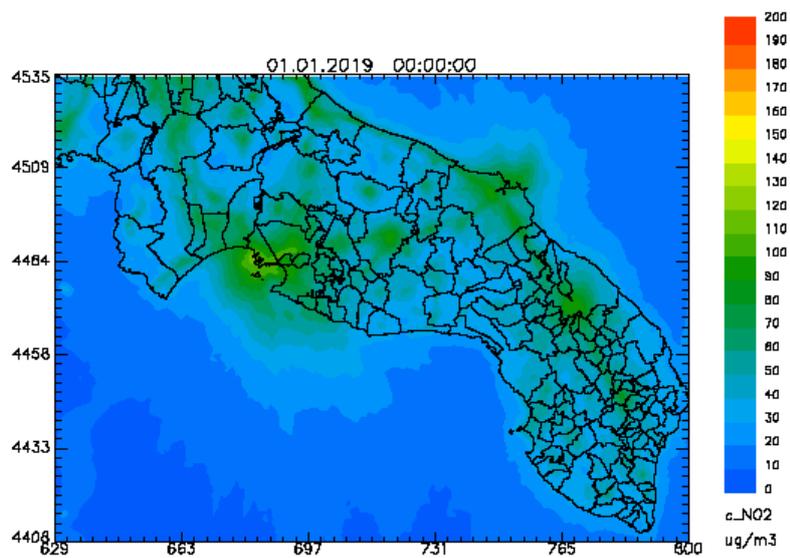
**Figura 11 – Mappe della concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) riferite al 2019 sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

**NO<sub>2</sub> - 99.8 percentile**

Dominio regionale (4km x 4km)



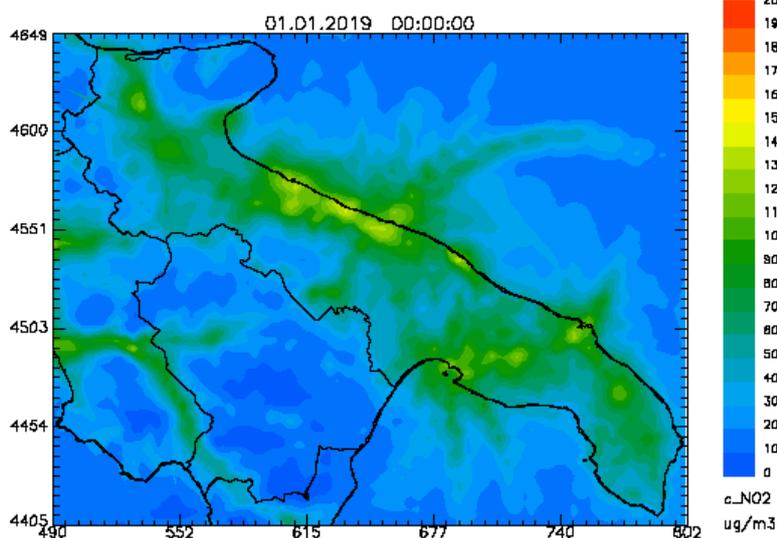
Dominio locale (1km x 1km)



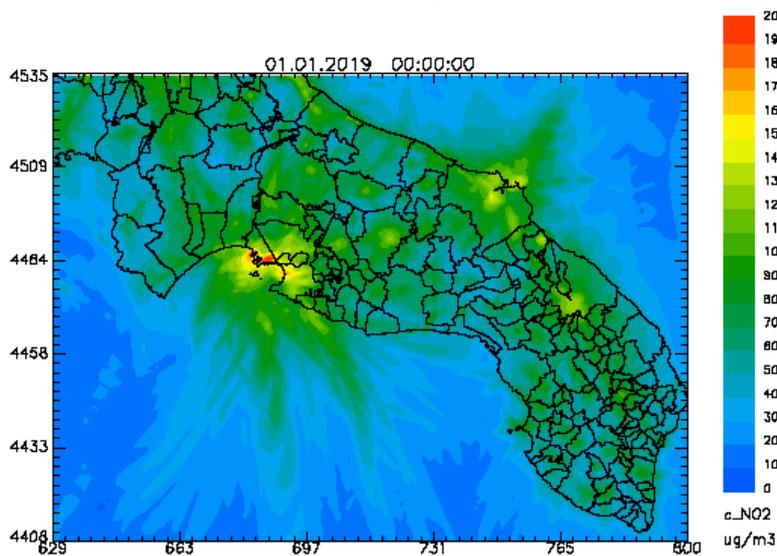
**Figura 12 - Mappe riferite al 2019 del 99.8° percentile di NO<sub>2</sub>, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

### NO<sub>2</sub> - Massimo orario

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 13 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione massima oraria di NO<sub>2</sub> sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

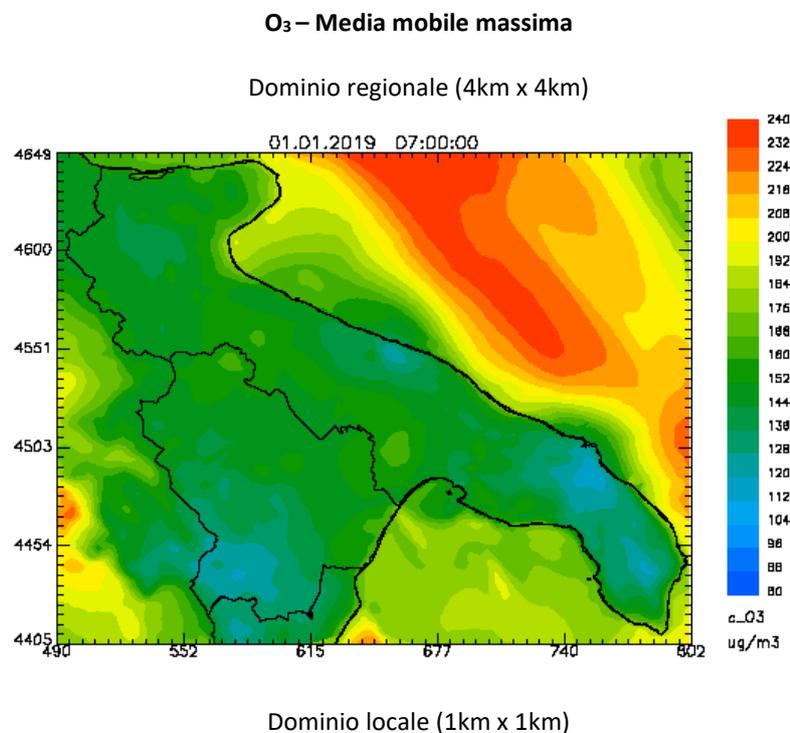
Il sistema modellistico non prevede superamenti dei valori limite prescritti per l'NO<sub>2</sub> né sulla griglia regionale né su quella locale.

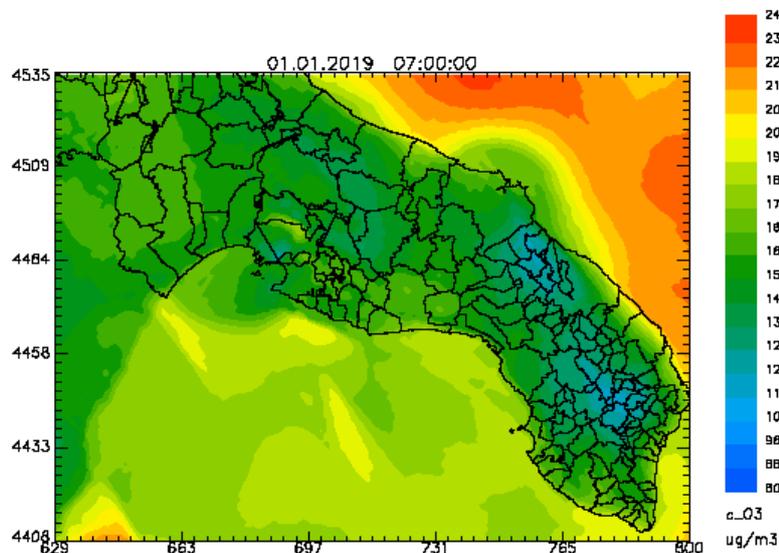
Le mappe presentate evidenziano come le concentrazioni di NO<sub>2</sub> più elevate si verificano in corrispondenza delle aree industriali ed urbane; inoltre emergono chiaramente anche le aree portuali e le strade caratterizzate da importanti volumi di traffico.

### 3.4 OZONO (O<sub>3</sub>)

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. n.155/2010 fissa un valore bersaglio per la protezione della salute umana pari a 120 µg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup>.

#### 3.4.2 Mappe di analisi



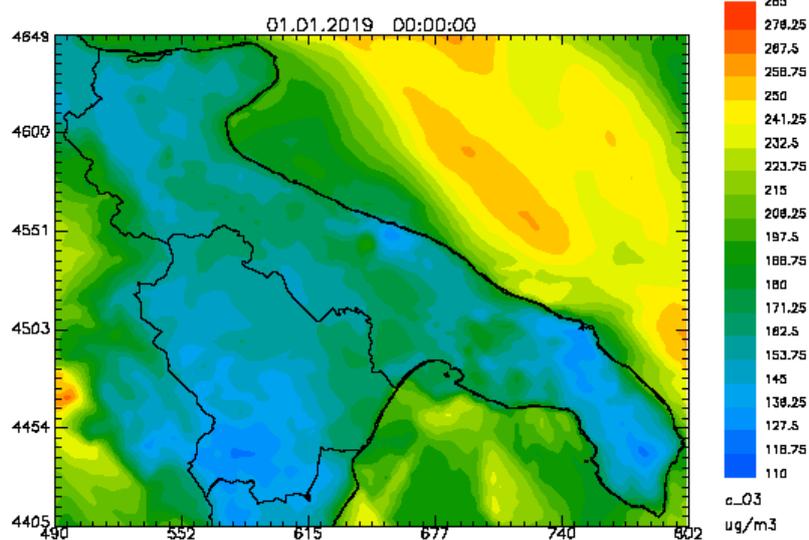


**Figura 14 – Mappe della concentrazione media mobile massima su 8 ore di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite assimilazione riferite al 2019**

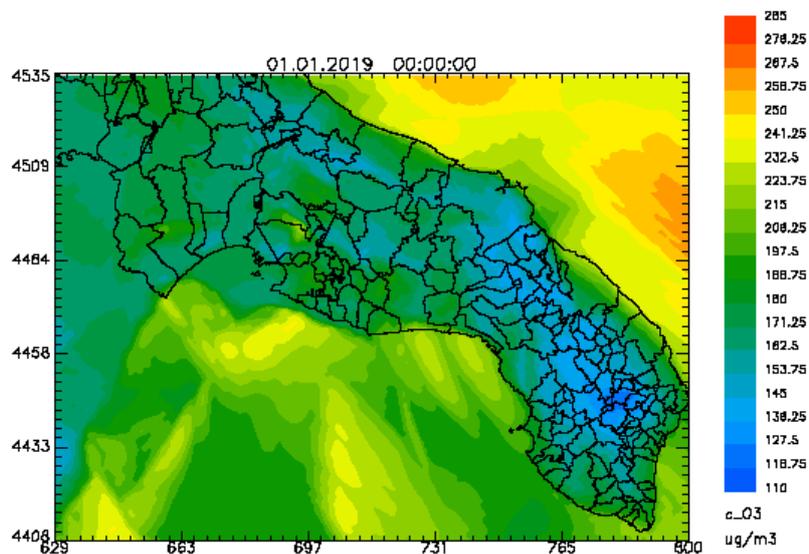
Il sistema modellistico prevede il superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana in quasi tutto il territorio regionale.

### O<sub>3</sub> – Massimo orario

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

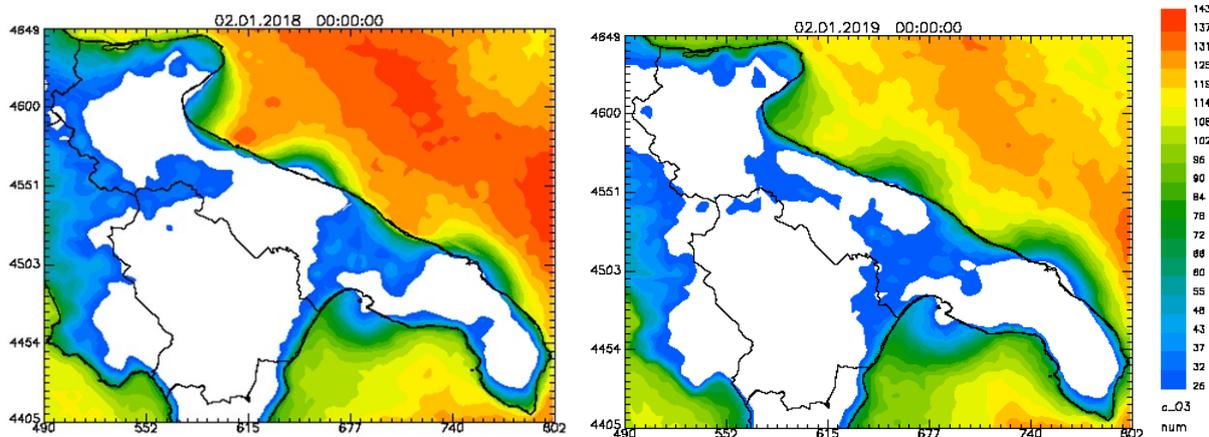


**Figura 15 – Mappe della massima concentrazione oraria di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite assimilazione riferite al 2019**

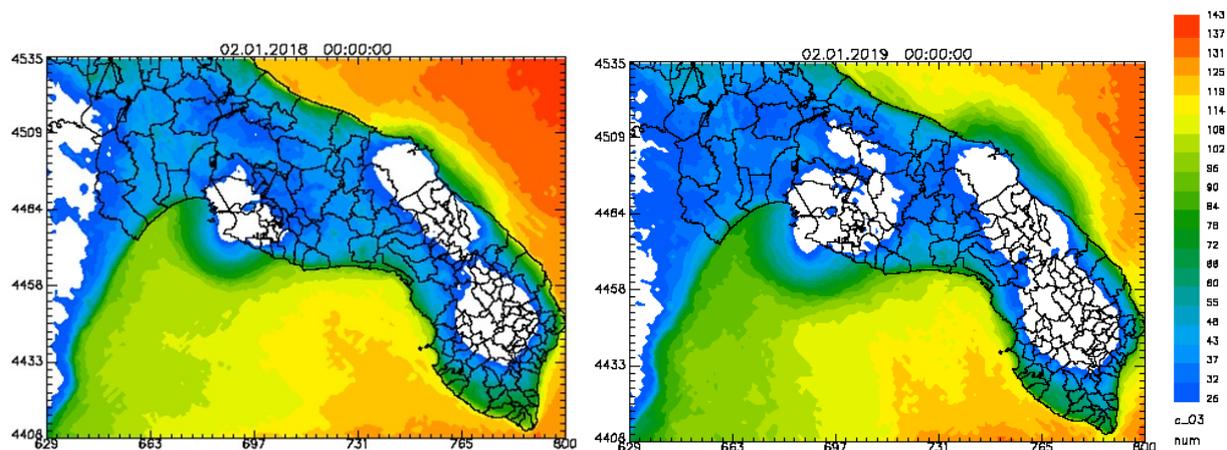
Relativamente alla massima concentrazione oraria, il sistema modellistico non prevede superamenti delle soglie prescritte per l'ozono sul dominio regionale. Sul dominio locale, a una migliore risoluzione spaziale, si rileva, invece, il superamento della soglia di informazione, prescritta per l'ozono, solo in prossimità delle coste meridionali.

### O<sub>3</sub> – Numero annuale di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 16– Mappe del numero annuale di superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana per  $O_3$ , ottenuta tramite assimilazione per il 2018 e il 2019**

Come già riscontrato per il 2018, anche per il 2019 sul dominio regionale si verifica in alcune aree, con particolare riferimento alle zone costiere, un numero di superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute maggiore di quello ammesso in un anno (pari a 25). Ad 1km di risoluzione l'area di superamento risulta estesa a buona parte del territorio salentino.

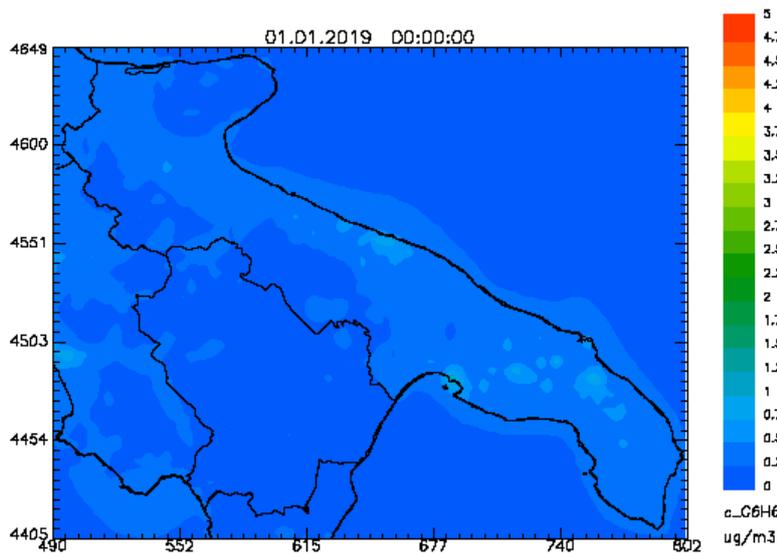
### 3.5 BENZENE

Il benzene è un idrocarburo aromatico che, a temperatura ambiente, si presenta come un liquido incolore, dall'odore dolciastro. È una sostanza dall'accertato potere cancerogeno. Il D.Lgs n.155/2010 fissa un valore limite di concentrazione annuo di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

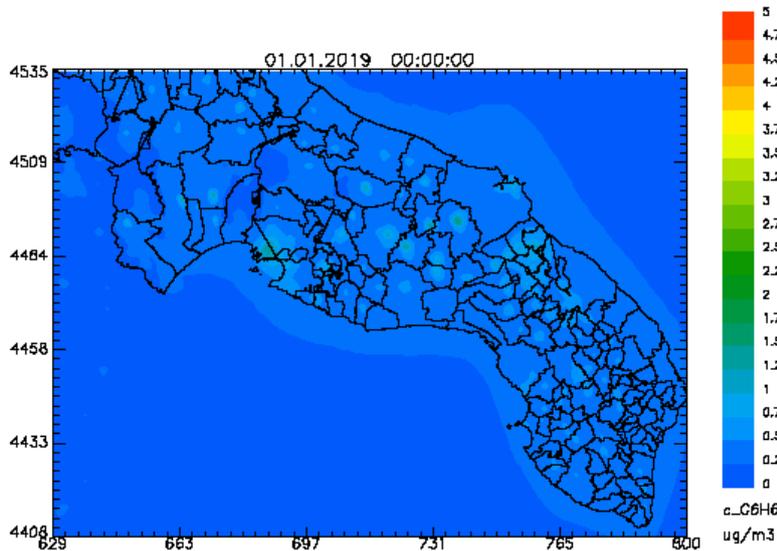
### 3.5.2 Mappe di analisi

#### C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> – Media annuale

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 17 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione media annuale di benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

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

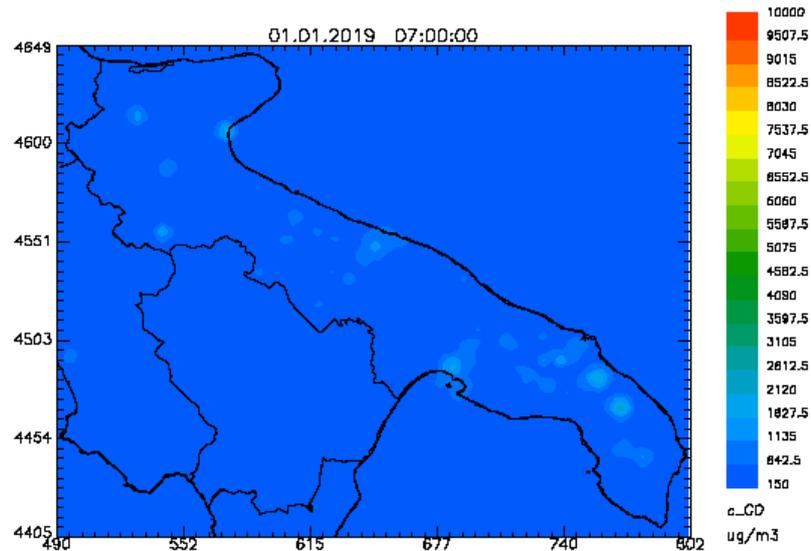
### 3.6 MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

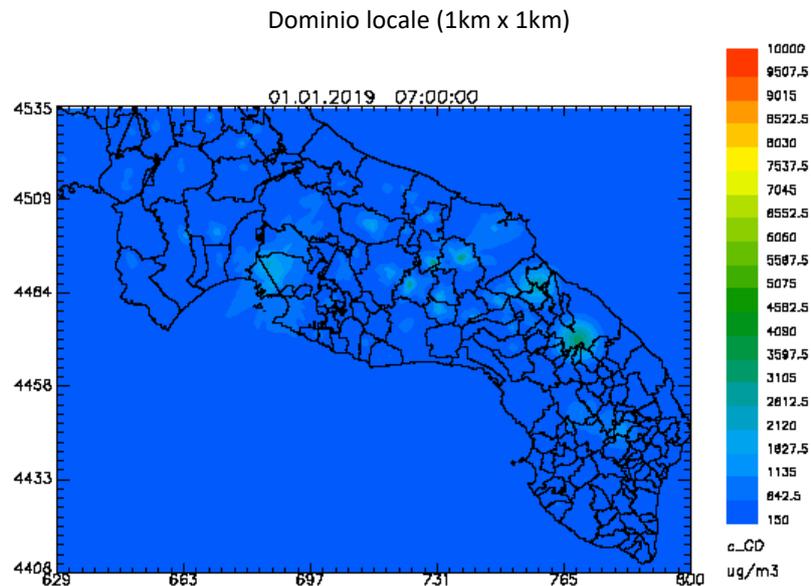
Il monossido di carbonio è una sostanza gassosa che si forma per combustione incompleta di materiale organico, ad esempio nei motori degli autoveicoli e nei processi industriali. Il monossido di carbonio può risultare letale per la sua capacità di formare complessi con l'emoglobina più stabili di quelli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

#### 3.6.2 Mappe di analisi

##### CO– Media Mobile Massima su 8 ore

Dominio regionale (4km x 4km)





**Figura 18 - Mappe riferite al 2019 della massima concentrazione media mobile su 8 ore di CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso) ottenute tramite assimilazione**

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

### 3.7 BISSIDO DI ZOLFO ( $\text{SO}_2$ )

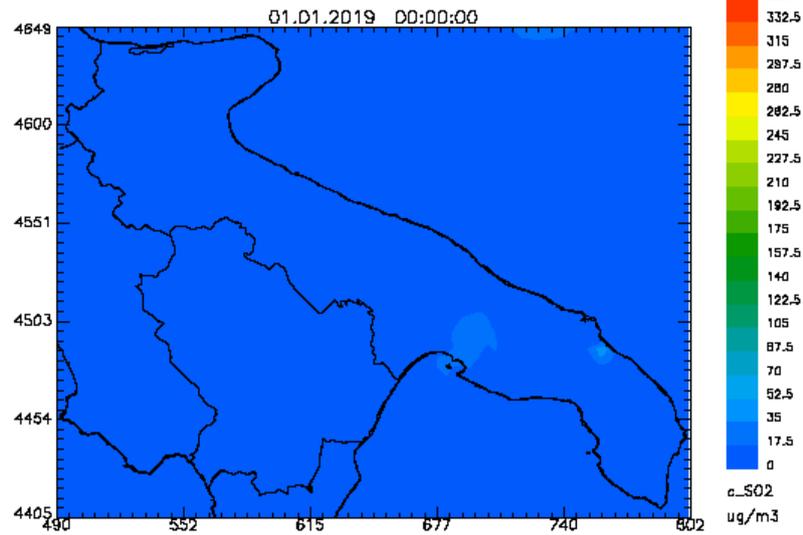
Il biossido di zolfo deriva dalla combustione di combustibili fossili contenenti zolfo. In passato è stato un importante inquinante atmosferico poiché la sua ossidazione porta alla formazione di acido solforoso e solforico. Il biossido di zolfo è un gas incolore facilmente solubile in acqua.

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  $\text{SO}_2$  in area ambiente a livelli estremamente bassi.

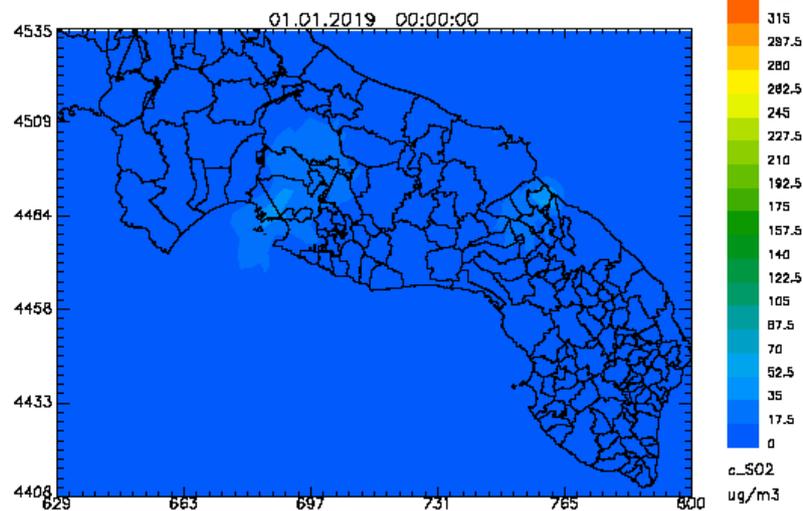
### 3.7.2 Mappe di analisi

#### SO<sub>2</sub> – 99.7° percentile

Dominio regionale (4km x 4km)



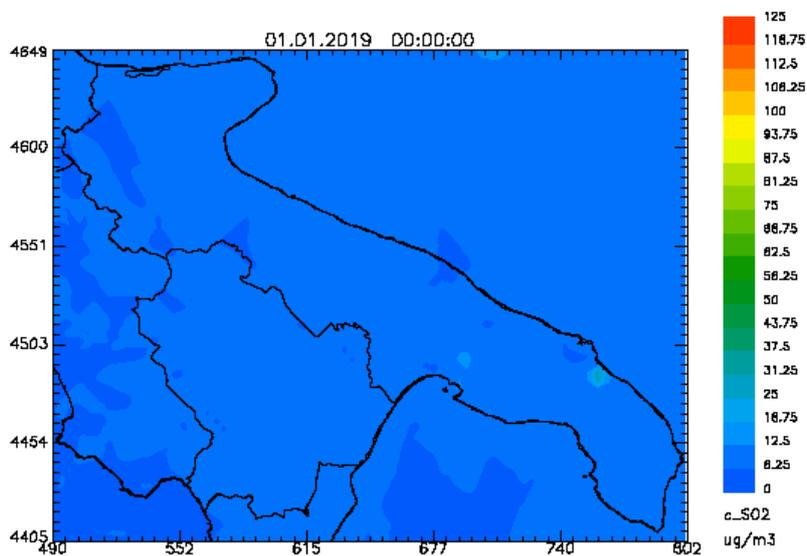
Dominio locale (1km x 1km)



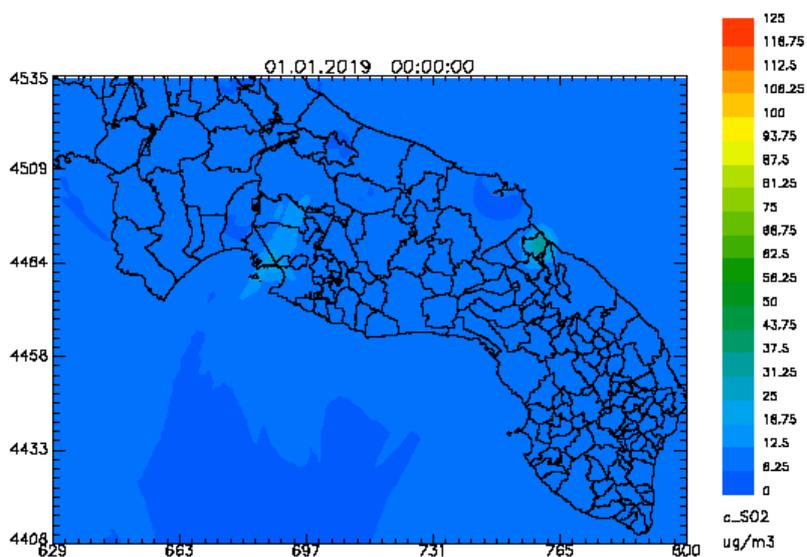
**Figura 19 - Mappe riferite al 2019 del 99.7° percentile di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione**

**SO<sub>2</sub> – 99.2° percentile**

Dominio regionale (4km x 4km)



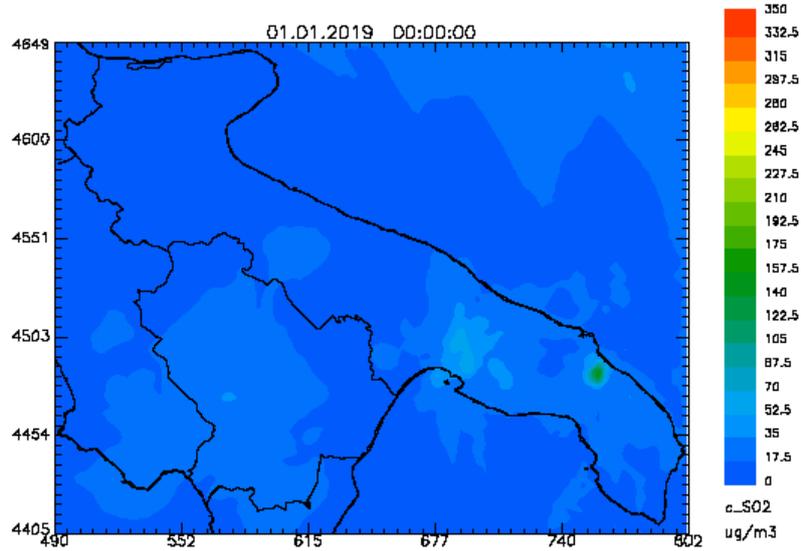
Dominio locale (1km x 1km)



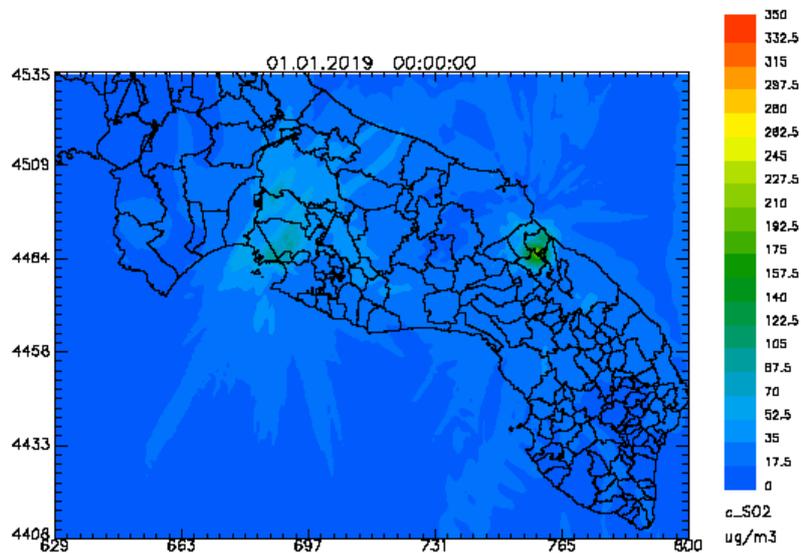
**Figura 20 - Mappe riferite al 2019 del 99.2° percentile di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione**

**SO<sub>2</sub> – massimo orario**

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 21 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione massima oraria di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione**

Su entrambi i domini di simulazione non si prevede alcun superamento dei valori limite prescritti per l'SO<sub>2</sub>. I valori più elevati per gli indicatori considerati vengono stimati in provincia di Taranto e in provincia di Brindisi, in corrispondenza delle aree industriali.

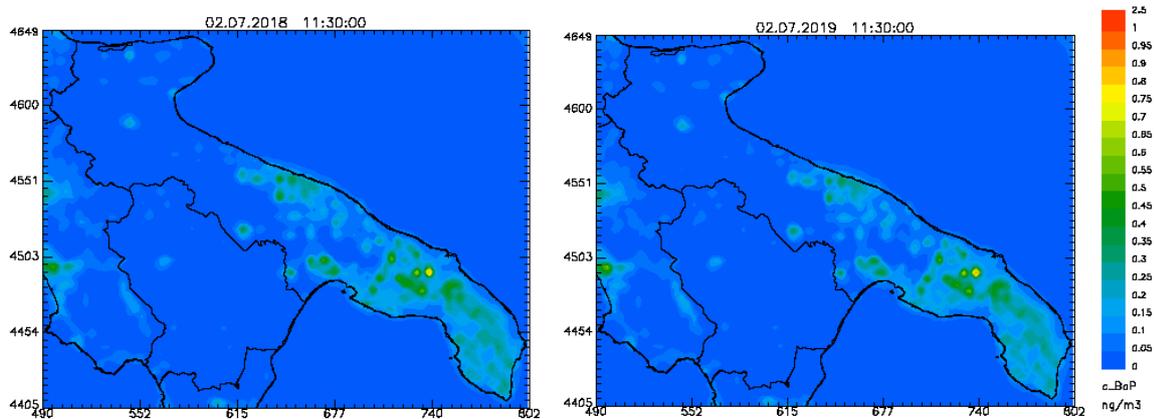
### 3.8 Benzo(a)Pirene nel PM<sub>10</sub>

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.), il traffico autoveicolare e navale, i sistemi di riscaldamento domestico alimentati a biomassa legnosa. La normativa prevede la determinazione del Benzo(a)pirene contenuto nel PM<sub>10</sub> e fissa un valore obiettivo di 1 ng/m<sup>3</sup>, da calcolare su base annua.

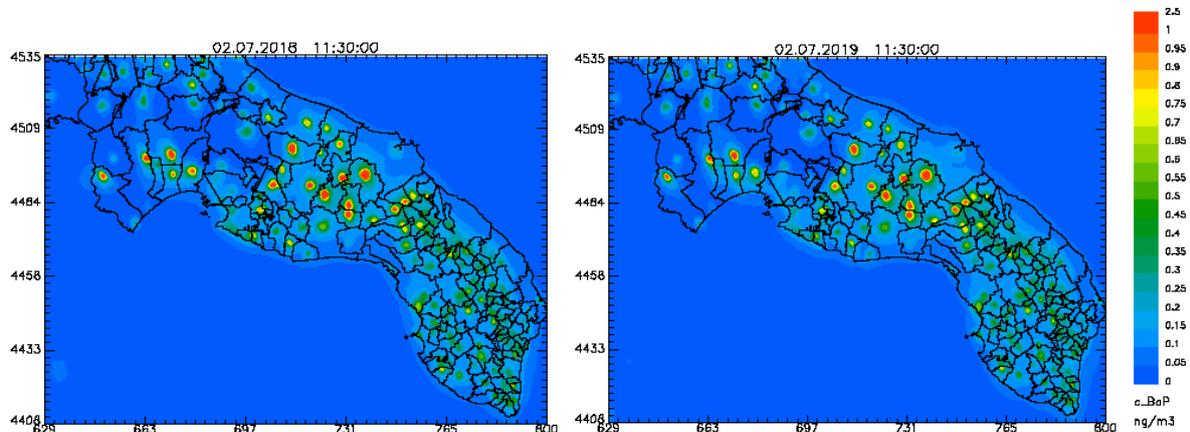
#### 3.8.2 Mappe della concentrazione al suolo modellata

##### B(a)P– Media annuale

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 22 - Mappe riferite al 2018 e al 2019 della concentrazione media annuale di Benzo(a)Pirene sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

La mappa della concentrazione media modellata di B(a)P, analogamente a quanto osservato per il particolato, mostra valori in lieve diminuzione rispetto a quelli modellati nel 2018. Ciononostante, Il sistema modellistico prevede il superamento<sup>9</sup> del valore limite per il B(a)P sulla griglia regionale nel comune di Mesagne. Su tale griglia, in generale, le concentrazioni medie annuali più elevate di B(a)P si osservano, in particolare, in corrispondenza dei comuni del brindisino, del leccese e del tarantino.

La ricostruzione modellistica più dettagliata, condotta sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto ad una risoluzione di 1km, mostra d'altro canto numerosi superamenti<sup>10</sup> in comuni posti sia nell'area a nord di Taranto che nel territorio brindisino (Tabella 9). E' opportuno comunque evidenziare che rispetto al 2018 si è ridotto il numero di comuni interessati dai suddetti superamenti<sup>11</sup>. A tale riduzione possono aver contribuito il verificarsi in tali aree di condizioni meteorologiche più favorevoli alla diluizione e al dilavamento degli inquinanti, analogamente a quanto già detto per il PM<sub>10</sub> ed il PM<sub>2.5</sub>.

<sup>9</sup>È opportuno precisare che si verifica un superamento del valore limite annuale su una cella del dominio di simulazione quando la concentrazione media annuale, ivi stimata, supera il valore di 1.055 ng/m<sup>3</sup>. Inoltre in diversi comuni (posti nel brindisino e leccese) i valori medi annuali risultano prossimi al valore limite. Per essi non si può escludere che vi siano aree di estensione inferiore ad 1 km<sup>2</sup> nelle quali si verificano dei superamenti del valore limite.

<sup>10</sup>La rappresentazione grafica della serie temporale delle concentrazioni orarie modellate di B(a)P, estrapolate sull'intero anno in corrispondenza delle aree urbanizzate dei suddetti comuni, mostra un andamento fortemente stagionale, con aumenti significativi nel periodo invernale. Ciò fa ritenere che la causa dei superamenti sia legata alle emissioni prodotte dal riscaldamento residenziale a biomassa legnosa.

<sup>11</sup> Da 19 comuni delle province di Brindisi, Lecce e Taranto interessati da superamenti del valore limite per il BaP si è passati nel 2019 a 15 comuni.

Comune	Provincia	Concentrazione media	Range di variabilità
Mottola	TA	1.8	0.72-2.88
Castellaneta	TA	1.8	0.72-2.88
Ginosa	TA	1.4	0.6 - 2.2
Palagiano	TA	1.2	0.5 - 1.9
Grottaglie	TA	1.1	0.4 - 1.8
Mesagne	BR	2.5	1.0 - 4.0
Latiano	BR	2.1	0.8 - 3.4
Oria	BR	1.9	0.7 - 3.0
Ceglie Messapica	BR	1.4	0.6 - 2.2
Francavilla	BR	1.3	0.5 - 2.1
Torre Santa Susanna	BR	1.3	0.5 - 2.1
Erchie	BR	1.5	0.6 - 2.4
Cellino San Marco	BR	1.3	0.5 - 2.1
San Donaci	BR	1.4	0.6 - 2.2
Salice Salentino	LE	1.1	0.4 - 1.8

**Tabella 7 - Comuni sul cui territorio è stato stimato per il 2019, il superamento del valore limite annuale per il B(a)P alla risoluzione di 1km**

Le concentrazioni più elevate di B(a)P si riscontrano in particolare nei comuni di Mesagne e Latiano, con valori uguali o superiori ai 2 ng/m<sup>3</sup>. Si evidenzia che nei comuni della provincia di Taranto i livelli di B(a)P superano i livelli del comune di Taranto. Nella Tabella 7, inoltre, si riporta, per ogni comune in corrispondenza del quale il modello prevede il suddetto superamento, il range di variabilità della stima annuale di B(a)P. Tale range di variabilità è ottenuto supponendo che l'errore della stima modellistica sia il massimo ammesso dalla normativa (pari a ±60%). Qualora quindi il modello fosse affetto da un errore relativo che determina una sovrastima del dato modellato pari al 60%, solo l'area urbanizzata di Mesagne mostrerebbe una concentrazione media annua pari al valore limite consentito dal D.Lgs n.155/2010.

In merito ai suddetti superamenti si ribadisce infine quanto già affermato nel caso dei superamenti riscontrati per il PM<sub>10</sub> e del PM<sub>2,5</sub> dalle sole simulazioni modellistiche. Tali superamenti si rilevano in aree nelle quali non sono disponibili misure. Il D.Lgs n.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 n.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione

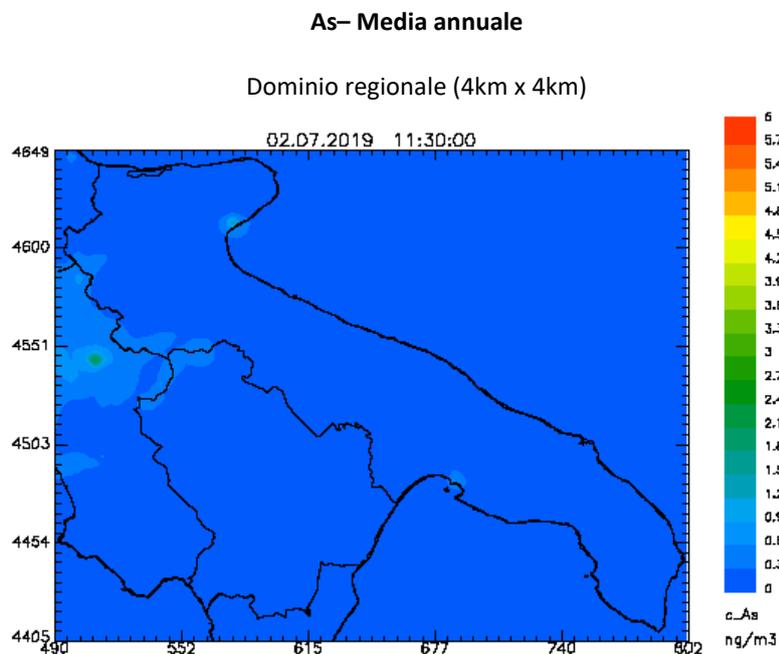
dei relativi piano di risanamento. E' stato pertanto rivolto uno specifico quesito alla Regione Puglia per l'inoltro al MATTM e si è in attesa di un riscontro.

### 3.9 METALLI NEL PM<sub>10</sub>

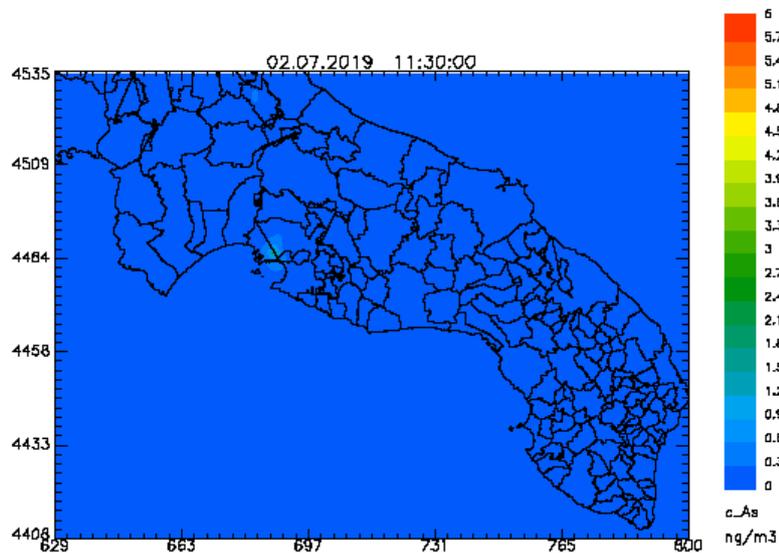
I metalli pesanti per i quali la legislazione prescrive il monitoraggio in aria ambiente sono l'arsenico, il cadmio, il nichel e il piombo. Nell'atmosfera le sorgenti predominanti di origine antropica di metalli pesanti sono la combustione e i processi industriali, la produzione energetica e l'incenerimento 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 n.155/2010 prevede la determinazione dei metalli pesanti contenuti nel PM<sub>10</sub> fissando i seguenti valori obiettivi annui: Arsenico: 6,0 ng/m<sup>3</sup>; Cadmio: 5,0 ng/m<sup>3</sup>; Nichel 20,0 ng/m<sup>3</sup>, Per il piombo è invece in vigore un limite annuo di 500 ng/m<sup>3</sup>.

#### 3.9.2 Dati da modellistica



Dominio locale (1km x 1km)

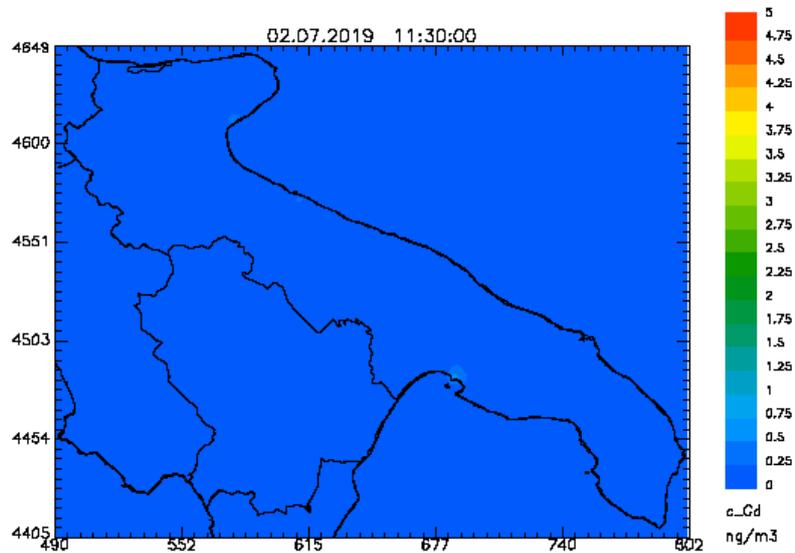


**Figura 23 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione media annuale di Arsenico sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

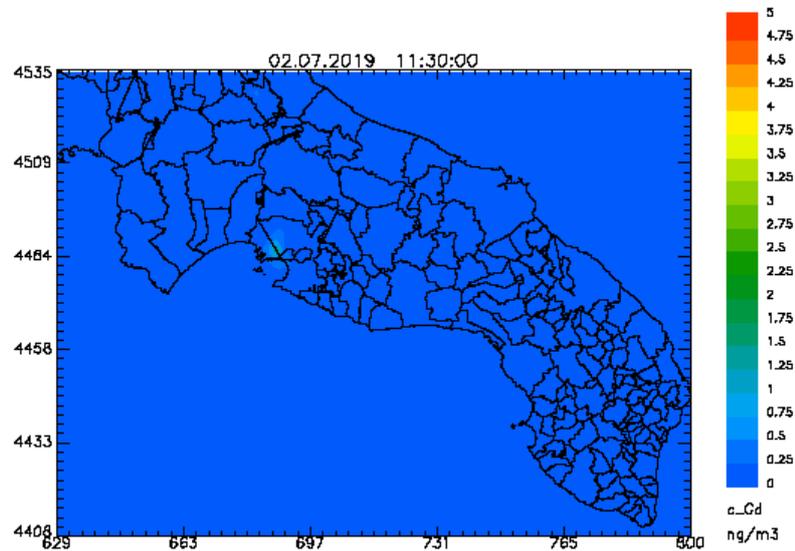
Relativamente all'Arsenico non si stimano superamenti del valore limite per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

**Cd- Media annuale**

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

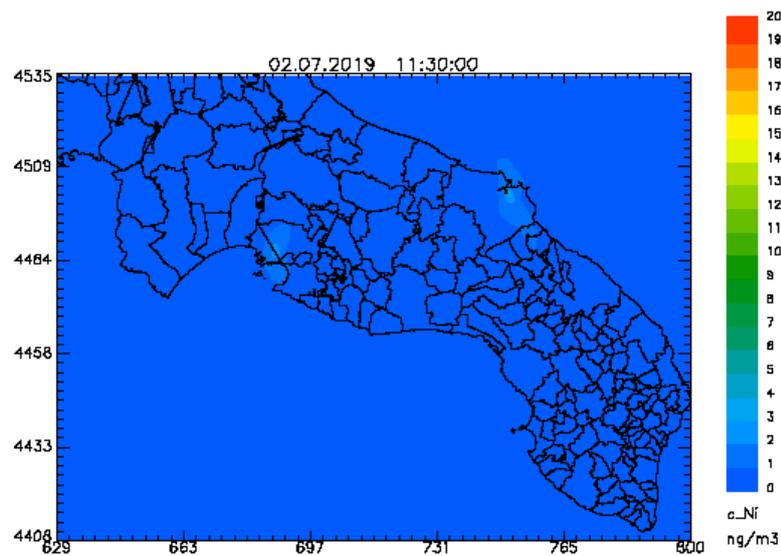
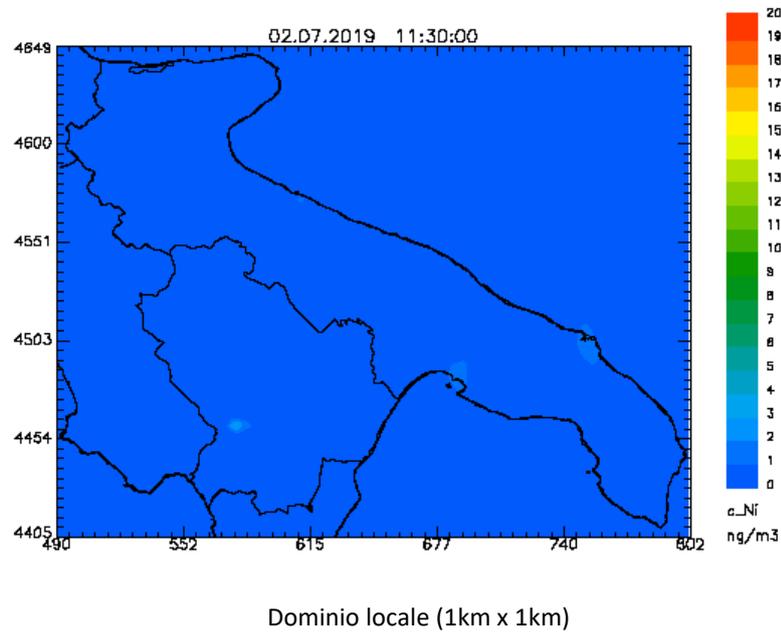


**Figura 24 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione media annuale di Cadmio sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

Relativamente al Cadmio non si stimano superamenti del valore limite per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

**Ni – Media annuale**

Dominio regionale (4km x 4km)

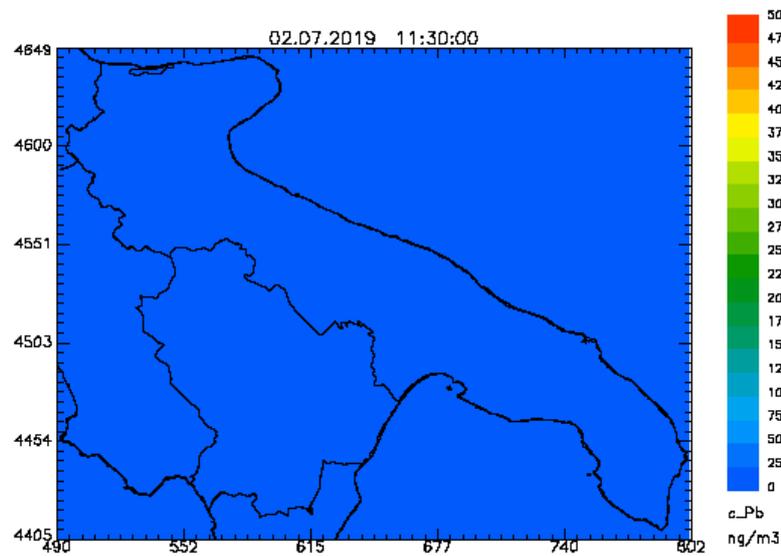


**Figura 25 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione media annuale di Nichel sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

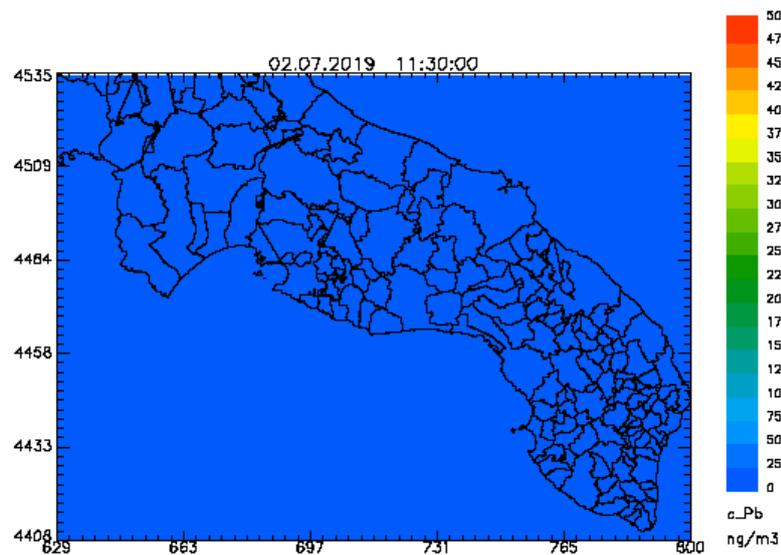
Relativamente al Nichel non si stimano superamenti del valore limite per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

#### Pb – Media annuale

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)



**Figura 26 - Mappe riferite al 2019 della concentrazione media annuale di Piombo sulla regione Puglia (in alto) e sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

Relativamente al Piombo non si stimano superamenti del valore limite per la protezione della salute umana su entrambi i domini considerati.

#### 4. CONCLUSIONI

Nella presente relazione vengono mostrati i risultati della valutazione modellistica della qualità dell'aria per la regione Puglia relativamente all'anno 2019, realizzata utilizzando il sistema modellistico in uso presso ARPA Puglia. Tale valutazione è stata condotta integrando, dove disponibili, le misure fornite dalla rete di monitoraggio gestita da ARPA Puglia con i campi di concentrazione al suolo forniti dal sistema modellistico. 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.

Nello specifico, la valutazione modellistica condotta per il 2019 sull'intera Regione, ad 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 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>3</sub>, 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 NO<sub>2</sub>, benzene, CO e SO<sub>2</sub> l'analisi modellistica non ha evidenziato alcun superamento dei limiti previsti dalla normativa;
- Relativamente all'ozono, il valore bersaglio per la protezione della salute mostra, in analogia al 2018, alcune non conformità distribuite su tutto il territorio regionale, con valori più elevati in corrispondenza delle coste.
- Riguardo al valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub>, 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 due comuni della provincia di Brindisi (Mesagne e Latiano). Nel 2019 il numero dei comuni interessati da tali non conformità è risultato in diminuzione rispetto al 2018.
- Riguardo al valore limite annuale prescritto per il PM<sub>2.5</sub> l'analisi modellistica condotta ad 1km di risoluzione spaziale ha evidenziato la presenza di superamenti in corrispondenza della sola area urbane del comune di Mesagne in provincia di Brindisi, in analogia a quanto previsto per il 2018.

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:

- in merito ai metalli pesanti non sono presenti superamenti dei limiti previsti;
- relativamente al B(a)P, i risultati della valutazione modellistica hanno evidenziato la presenza di alcuni superamenti nelle aree urbane di alcuni comuni della provincia di Taranto (Mottola,

Castellaneta, Ginosa, Grottaglie, Palagiano), della provincia di Brindisi (Mesagne, Latiano, Oria, Cellino San Marco, San Donaci, Francavilla Fontana, Erchie, Torre Santa Susanna) e della provincia di Lecce (comune di Salice Salentino). Rispetto al 2018 nel 2019 il sistema modellistico ha previsto una riduzione del numero di comuni interessati da tali superamenti.

Rispetto alla valutazione modellistica condotta sulla Puglia con focus sulle province di Lecce, Brindisi e Taranto relativamente al 2018, i risultati della valutazione condotta per il 2019 hanno mostrato, in generale, per il PM<sub>10</sub> ed il B(a)P un miglioramento dello stato della qualità dell'aria, avendo stimato una riduzione del numero dei comuni interessati dai superamenti dei corrispondenti valori limite. A tale riduzione può aver contribuito il verificarsi, in particolare nelle province di Brindisi, Bari e Taranto, di condizioni meteorologiche più favorevoli alla diluizione e al dilavamento degli inquinanti, quali l'aumento della ventosità, rilevata a Brindisi e a Taranto - Capo San Vito rispetto al 2018, ed una maggiore piovosità a Bari-Carbonara.

E' opportuno sottolineare, infine, che i superamenti individuati dal sistema modellistico per PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e B(a)P si rilevano in celle di estensione 1km x 1km in corrispondenza delle quali non sono presenti centraline di monitoraggio, che possano confermarne o meno la sussistenza. Il D.Lgs n.155/2010 a riguardo non chiarisce se i superamenti dei valori limite, rilevati con il solo ausilio di tecniche modellistiche opportunamente validate, determinino o meno la necessità di adozione di Piani ex art.9 D.Lgs n.155/2010 o se, viceversa, gli stessi debbano essere confermati da rilievi sperimentali prima dell'adozione dei relativi piano di risanamento. E' stato pertanto rivolto uno specifico quesito alla Regione Puglia per l'inoltro al MATTM e, allo stato attuale, si è in attesa di un riscontro.

Il Direttore del Centro regionale Aria

Dott. Domenico Gramegna





## ALLEGATO

## ANALISI DEI DATI METEOROLOGICI – ANNO 2019

### Intensità e direzione del vento

Nelle immagini seguenti si mostrano in corrispondenza delle postazioni meteorologiche di Bari-Carbonara, Brindisi, Lecce, Foggia e Taranto - Capo San Vito, relativamente agli anni 2019 e 2018, le rose dei venti, annuali e stagionali, ed i boxplot, calcolati sulle serie annuali dei dati orari di intensità del vento.

Stazione: Carbonara

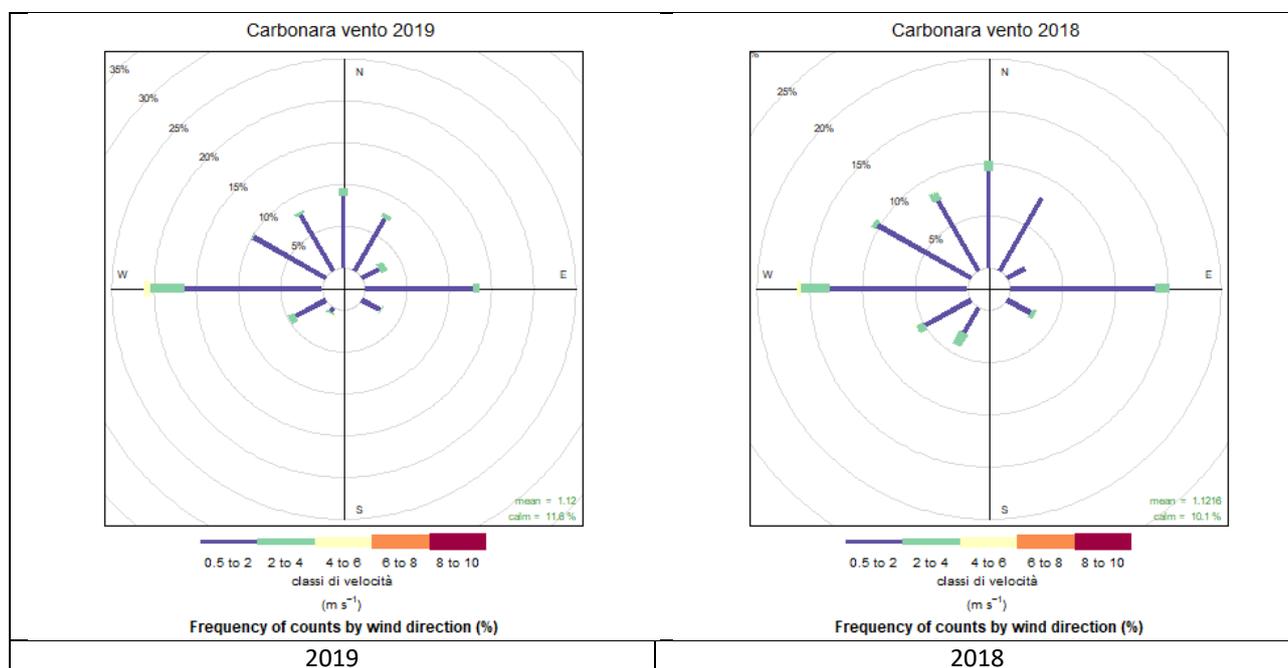


Figura 1 – Rose dei venti annuali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione Carbonara

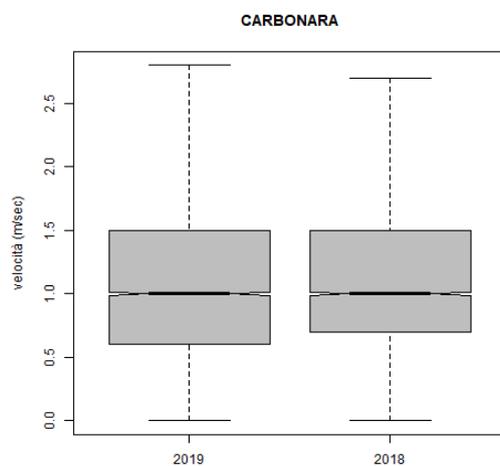


Figura 2 – Boxplot delle serie annuali della velocità del vento relative agli anni 2019 e 2018 – postazione Carbonara

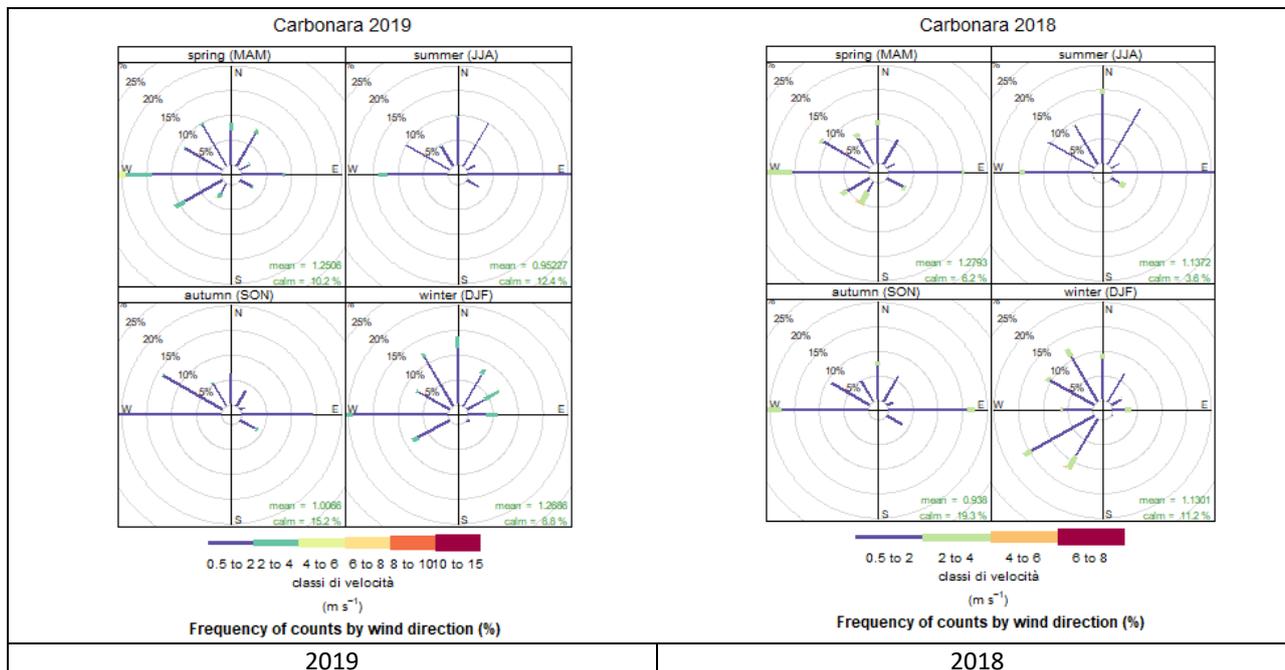


Figura 3 – Rose dei venti stagionali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione Carbonara

Stazione: DAP Brindisi

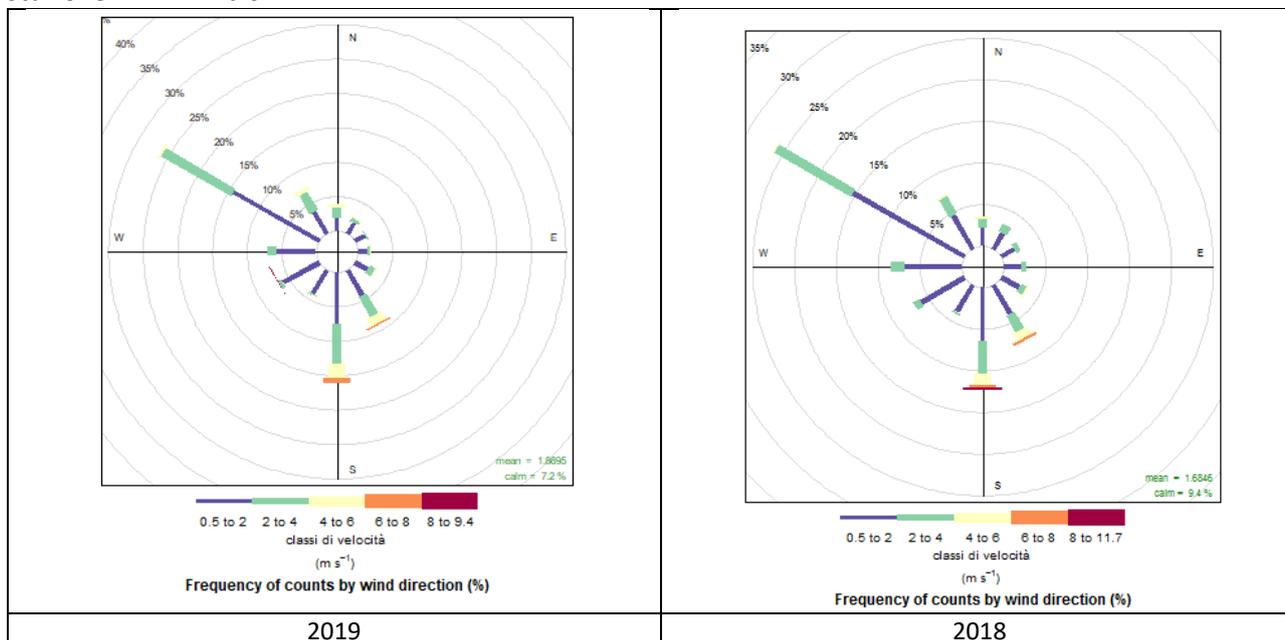
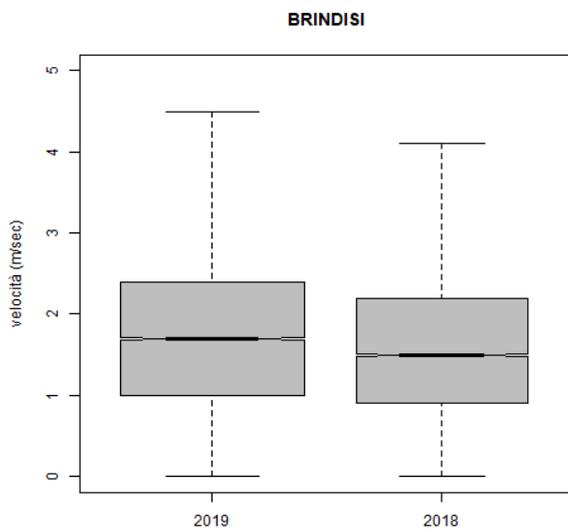
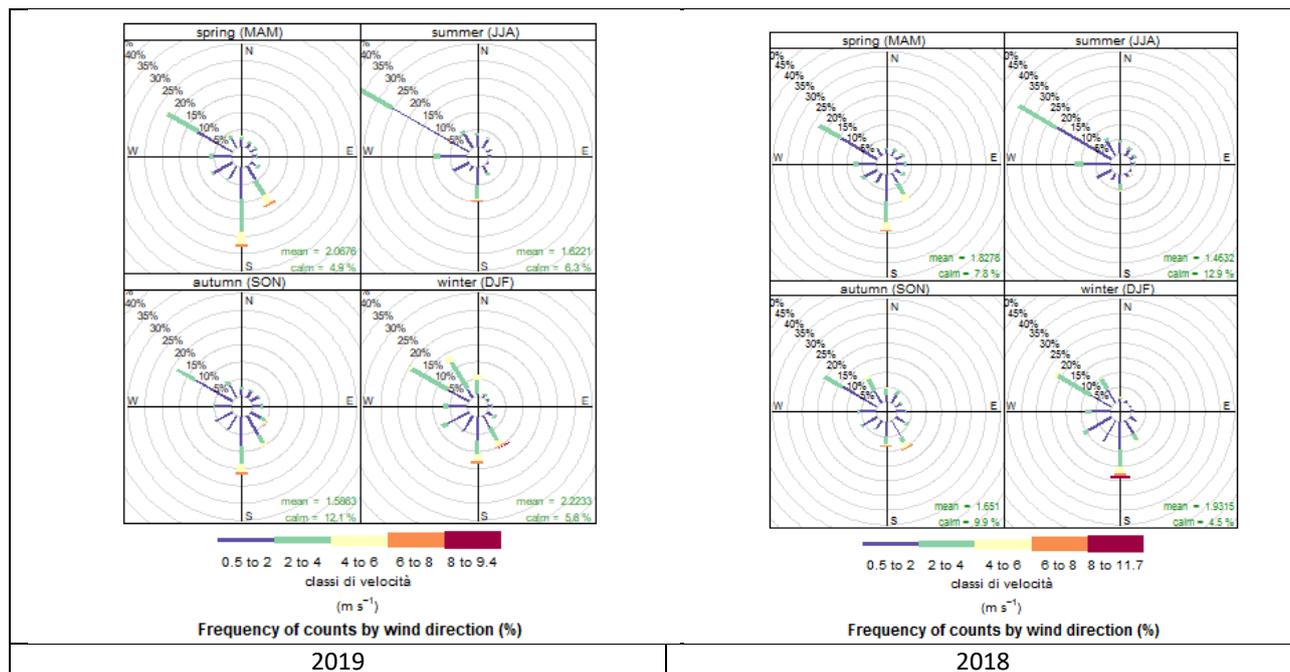


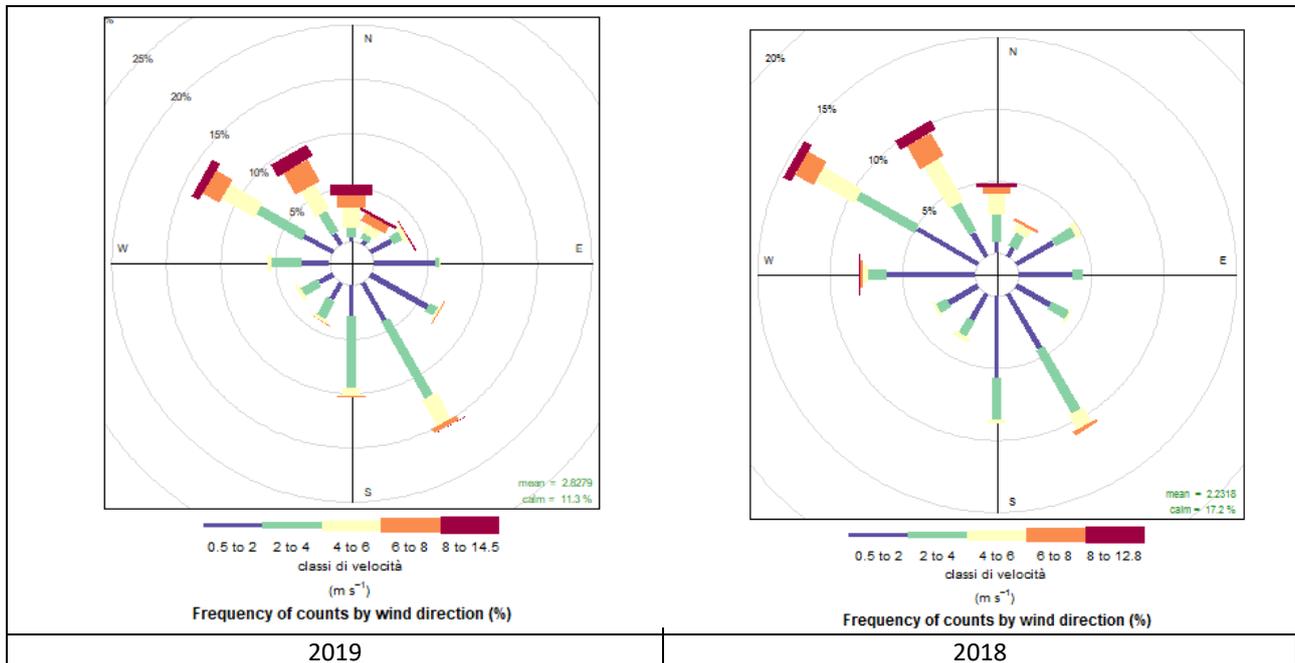
Figura 4 – Rose dei venti annuali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Brindisi



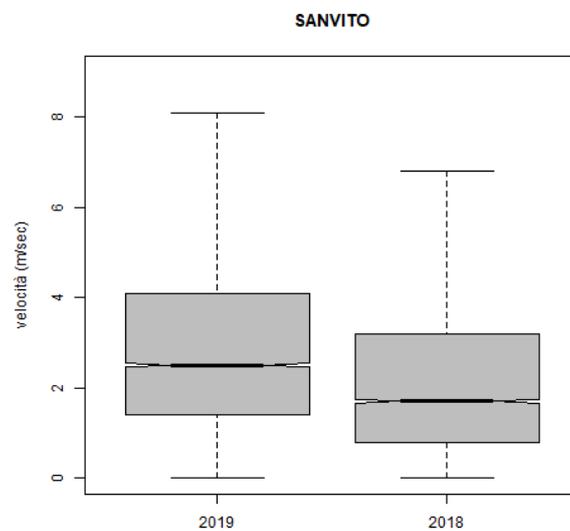
**Figura 5 – Boxplot delle serie annuali della velocità del vento relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Brindisi**



**Figura 6 – Rose dei venti stagionali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Brindisi**



**Figura 7 – Rose dei venti annuali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione Taranto – Capo San Vito**



**Figura 8 – Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2019 e 2018 - postazione Taranto – Capo San Vito**

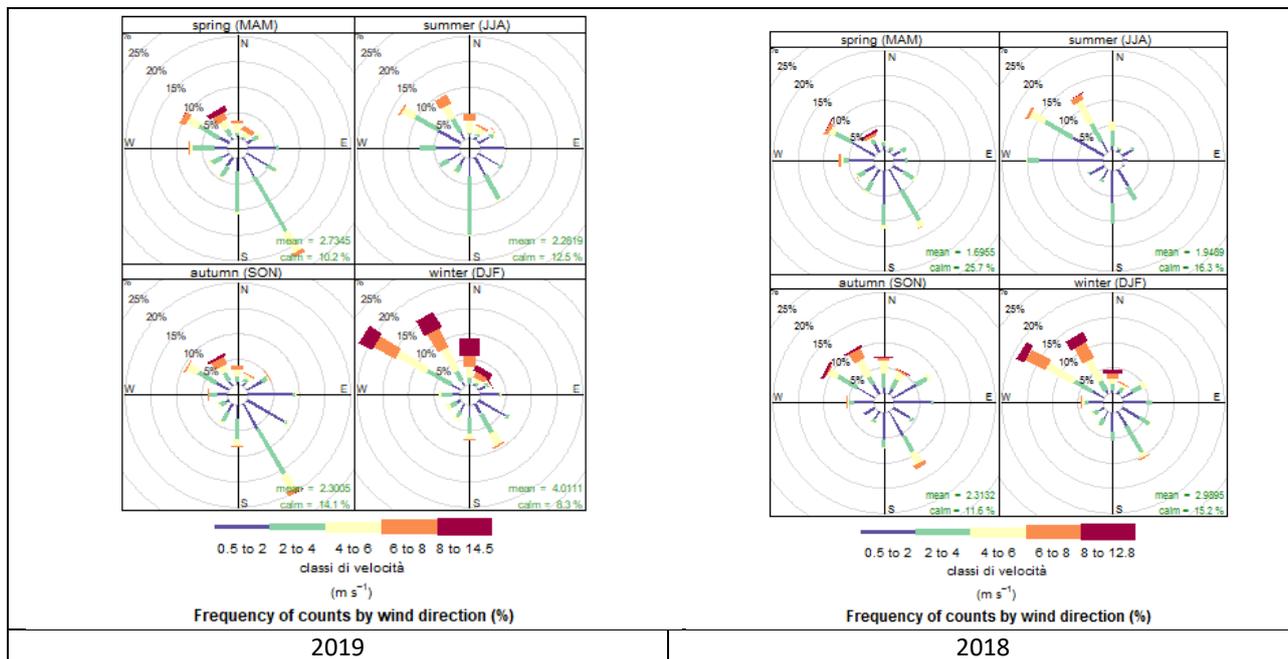


Figura 9 – Rose dei venti stagionali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione Taranto – Capo San Vito

Stazione: DAP Lecce

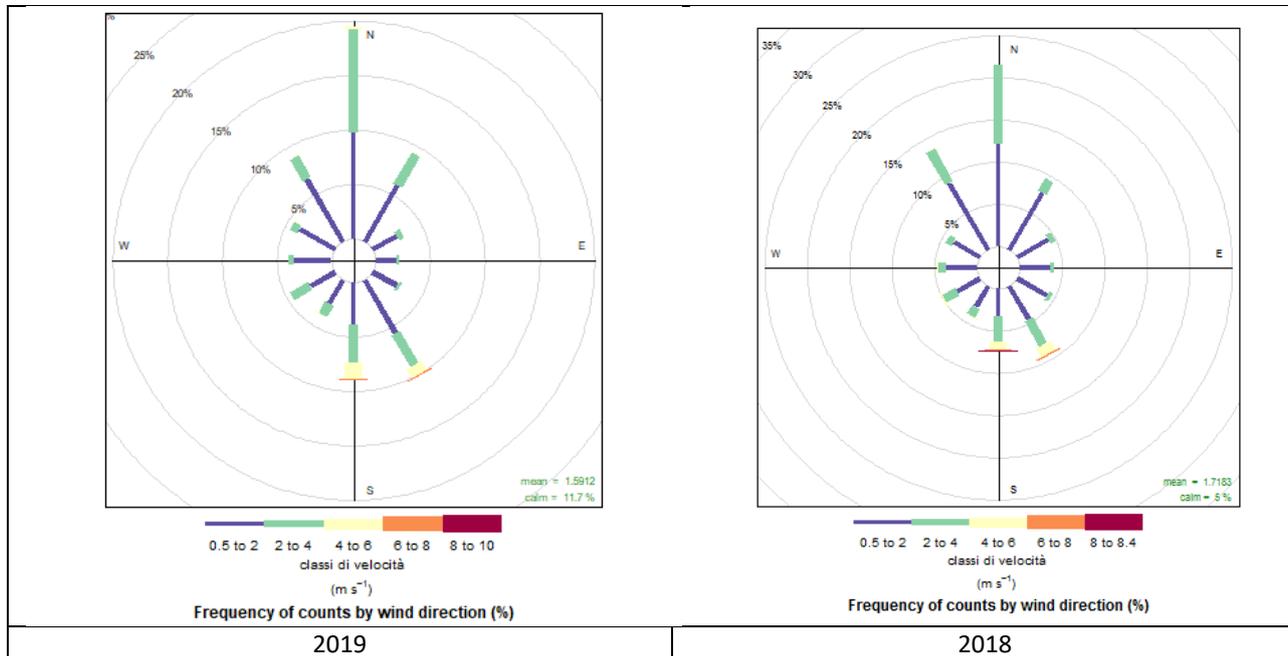
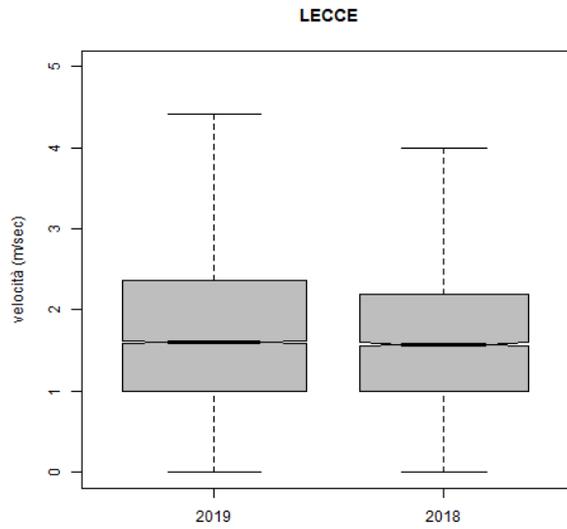
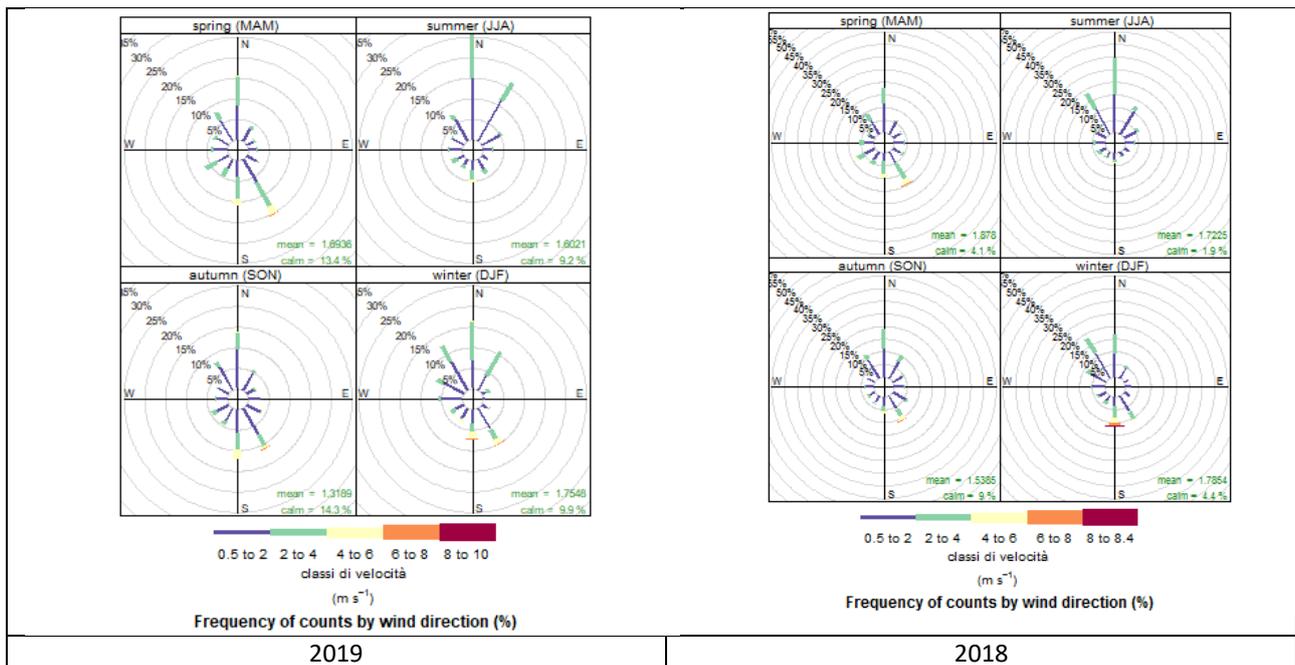


Figura 10 – Rose dei venti annuali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Lecce



**Figura 11 – Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2019 e 2018 - postazione DAP Lecce**



**Figura 12 – Rose dei venti stagionali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Lecce**

Stazione: DAP Foggia

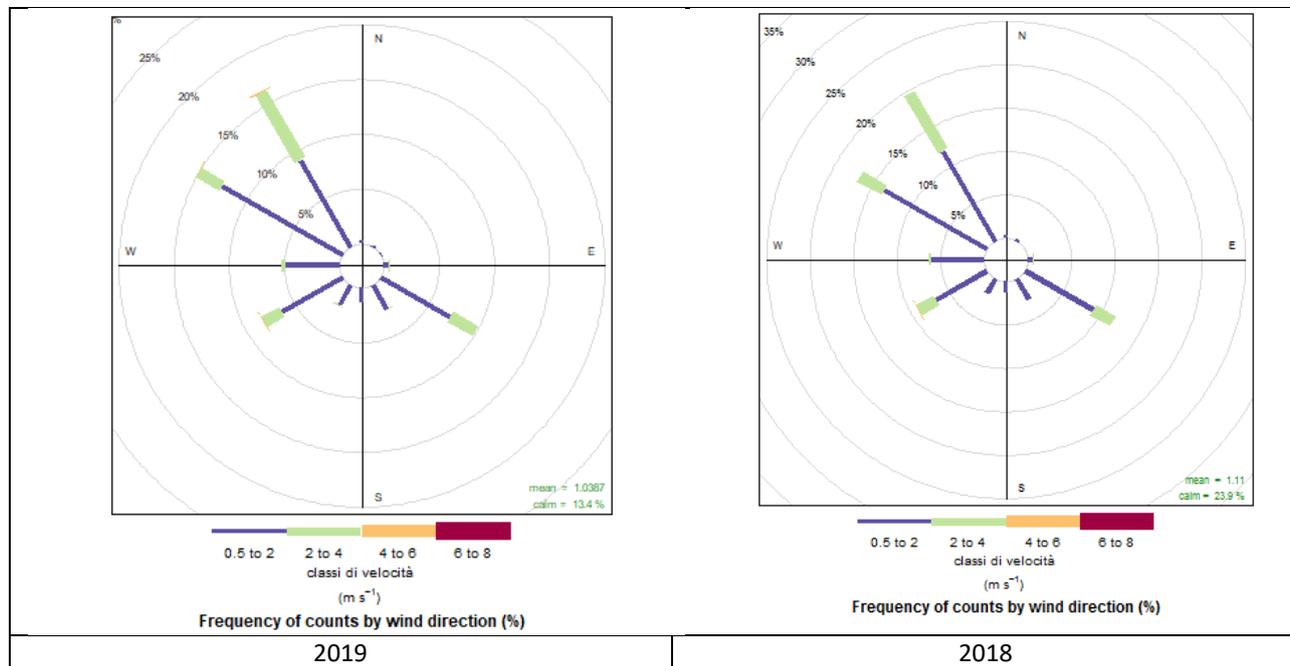


Figura 13 – Rose dei venti annuali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Foggia

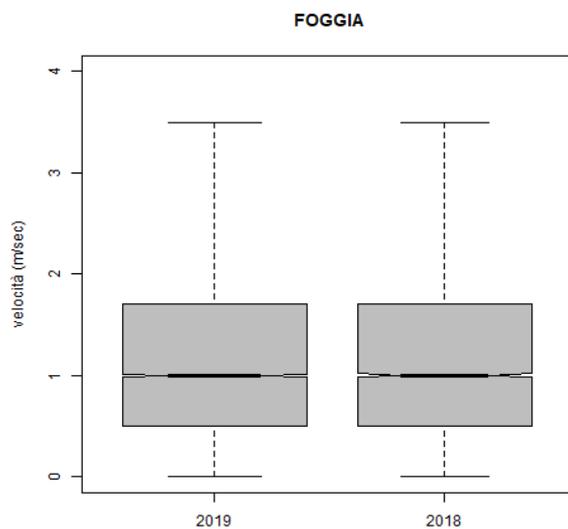
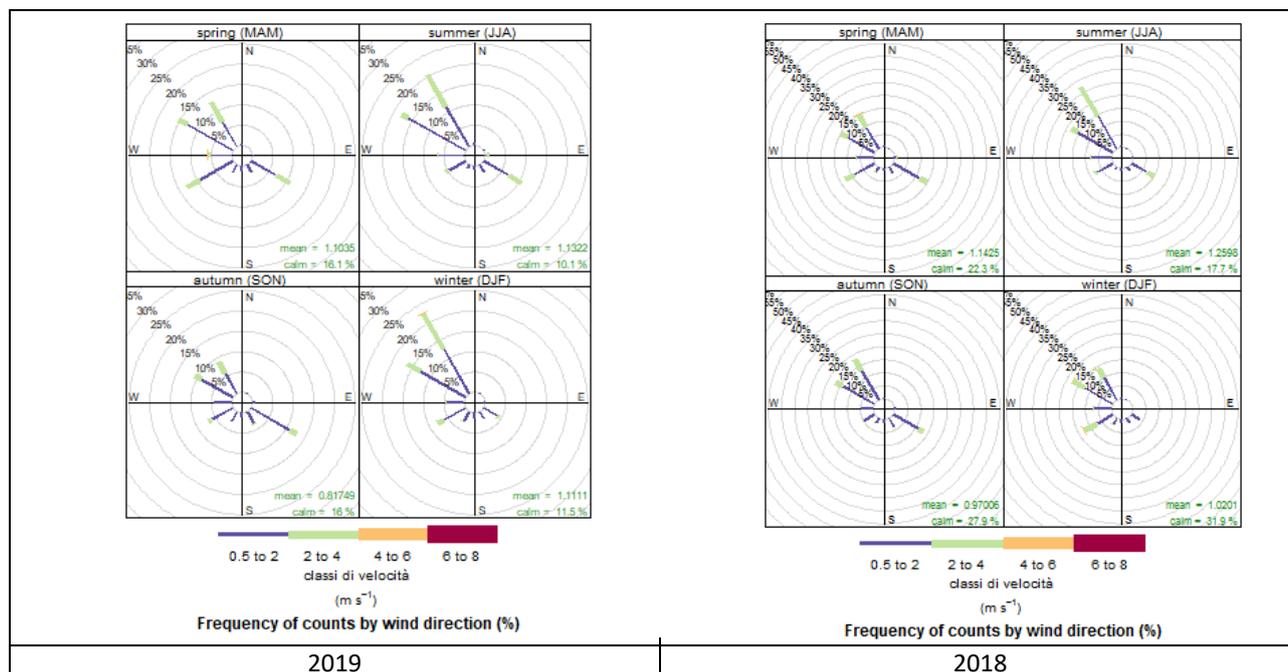


Figura 14 – Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2019 e 2018 - postazione DAP Foggia



**Figura 15 – Rose dei venti stagionali relative agli anni 2019 e 2018 – postazione DAP Foggia**

Si precisa 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. La postazione di Taranto – Capo San Vito, collocata in contesto rurale ed in prossimità della costa, mostra valori di intensità del vento superiori rispetto alle altre postazioni, site a Carbonara, Brindisi, Lecce e Foggia, poste invece in piena zona urbana.

Ciò premesso, le elaborazioni mostrate evidenziano come per tutte le postazioni considerate la distribuzione dell'intensità del vento per settore di provenienza, riferita al 2019, sia analoga a quella del 2018 con qualche piccola differenza rilevabile solo su base stagionale. Mentre nella postazione di Carbonara nel 2019 non si osservano variazioni significative rispetto all'anno precedente, a Taranto Capo San Vito si rileva un aumento della ventilazione, rispetto al 2018, ed una contestuale diminuzione delle calme di vento (in particolare nelle stagioni invernale e primaverile). Nella postazione di Brindisi si osserva nel 2019 un aumento significativo della ventilazione (in tutte le stagioni tranne in quella autunnale) con una contestuale diminuzione delle calme di vento (fatta eccezione per la stagione invernale in cui si osserva oltre all'aumento della ventilazione anche un leggero aumento delle calme di vento). A Lecce e a Foggia non si osservano invece variazioni significative tra i boxplot dell'intensità del vento riferiti agli anni 2018 e 2019, anche se in entrambe le postazioni si nota un aumento. rispetto al 2018 si osserva nel 2019 una lieve diminuzione della ventilazione ed un aumento delle calme di vento,

rispetto all'anno precedente, mentre a Foggia non si osservano variazioni significative ad eccezione di una generale diminuzione (in tutte le stagioni) 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 2018 e, laddove disponibile, l'andamento climatologico (dati SCIA) della temperatura nell'area in esame. Il bordino rosso, per il singolo elemento di istogramma, indica una percentuale di dati, relativa al mese di riferimento, inferiore al 75%<sup>12</sup>.

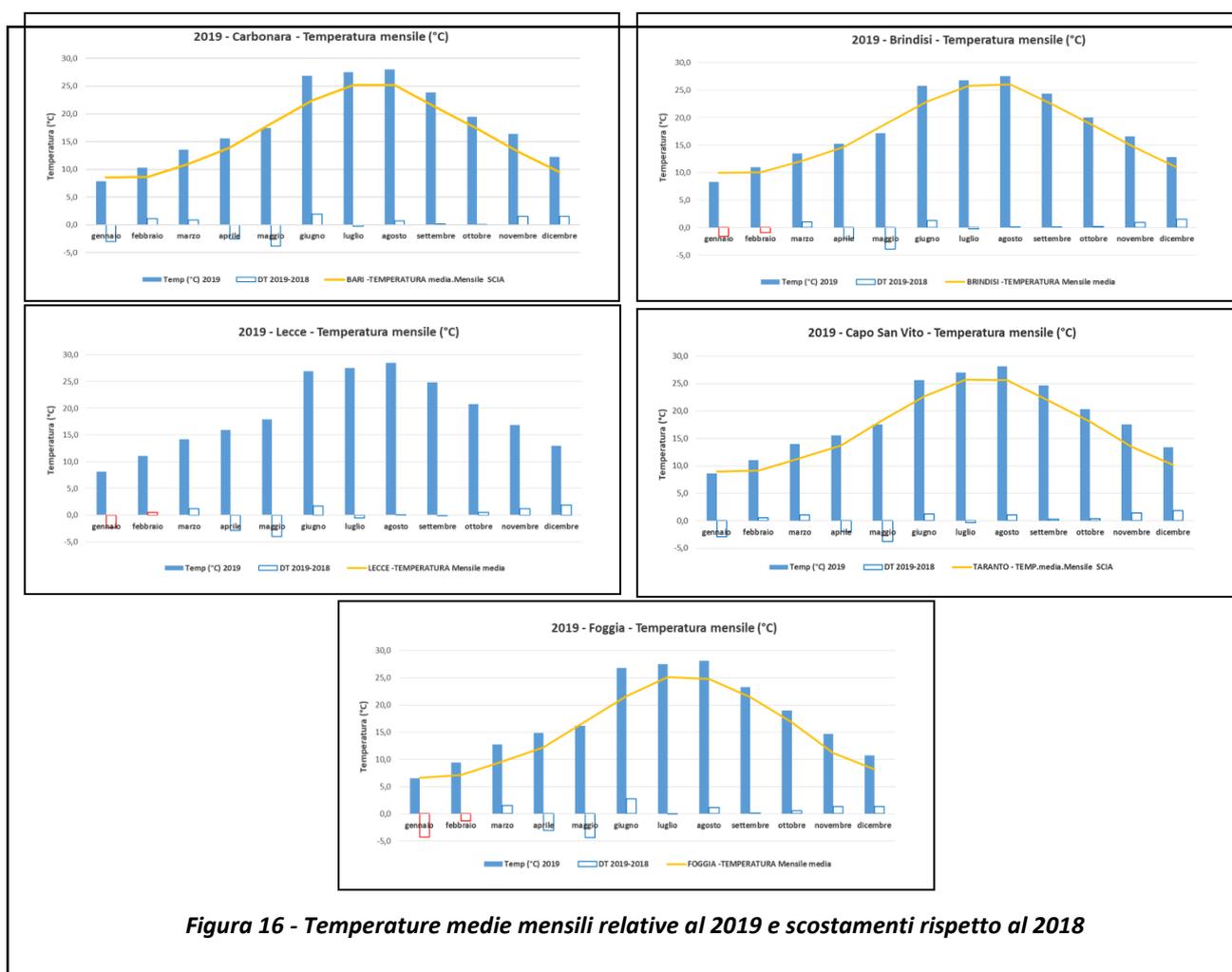
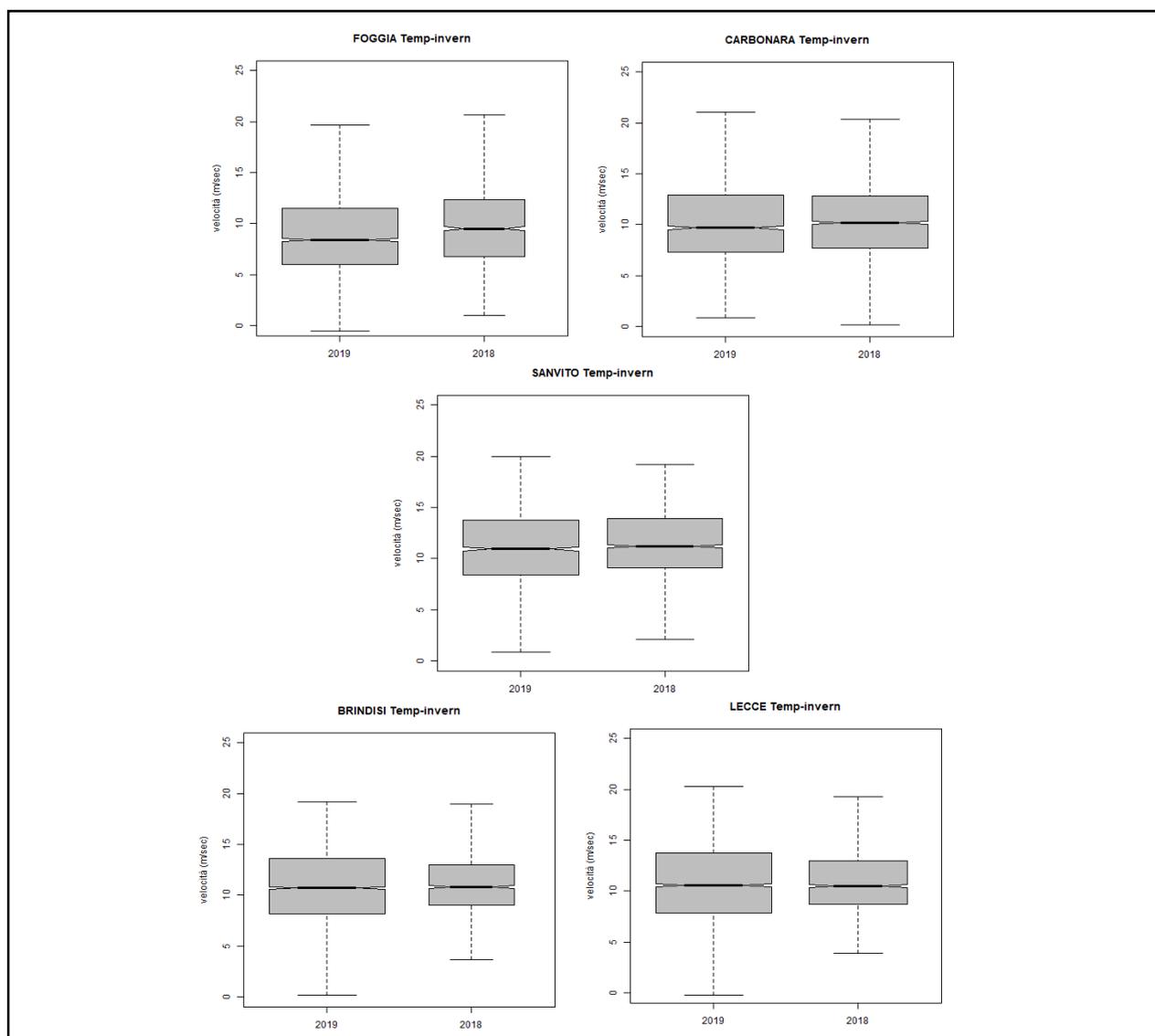


Figura 16 - Temperature medie mensili relative al 2019 e scostamenti rispetto al 2018

<sup>12</sup> Per la stazione di Brindisi, ad esempio, nei mesi di gennaio e febbraio del 2018 la percentuale di dati di temperatura disponibili era inferiore al 75%. Il confronto per i suddetti mesi tra gli anni 2018 e 2019 è da ritenersi solo indicativo.

In corrispondenza di tutte le postazioni, per le quali è disponibile il dataset climatologico, si osservano per il 2019 valori medi mensili superiori ai valori medi climatologici, fatta eccezione per i mesi di gennaio e maggio. Inoltre si osserva per tutte le stazioni un aumento delle temperature medie nei mesi di marzo, giugno, agosto (evidente per Foggia, Carbonara e Taranto - Capo San Vito), novembre e dicembre, ed una diminuzione nei mesi di aprile, maggio e gennaio.

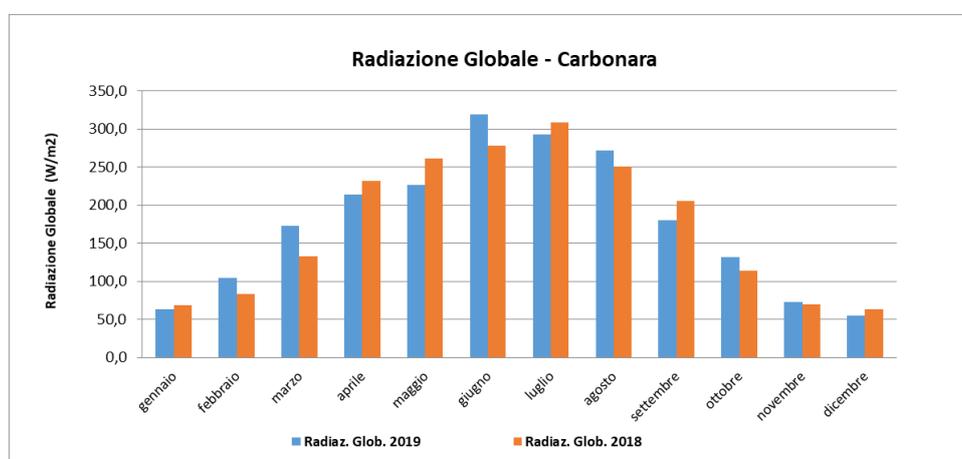
Dalla figura seguente, che riporta i boxplot dei dati di temperatura relativi ai soli mesi invernali (gennaio, febbraio, dicembre), è possibile notare nel 2019, rispetto all'anno precedente, una diminuzione significativa della temperatura nelle stazioni di Foggia e Bari - Carbonara. Per le altre centraline non si rilevano variazioni significative.



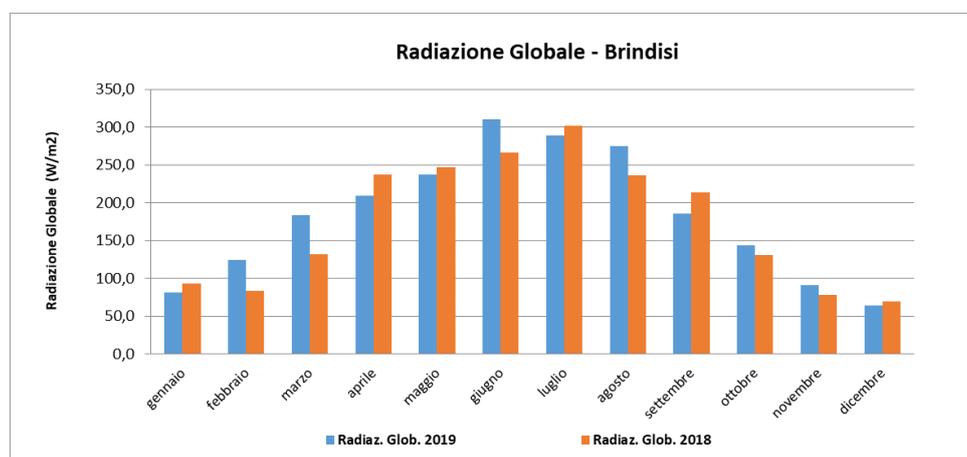
**Figura 17 – Boxplot della serie di dati di temperatura relativi ai mesi invernali (gennaio, febbraio, dicembre) nel 2019 e nel 2018**

## Radiazione Globale

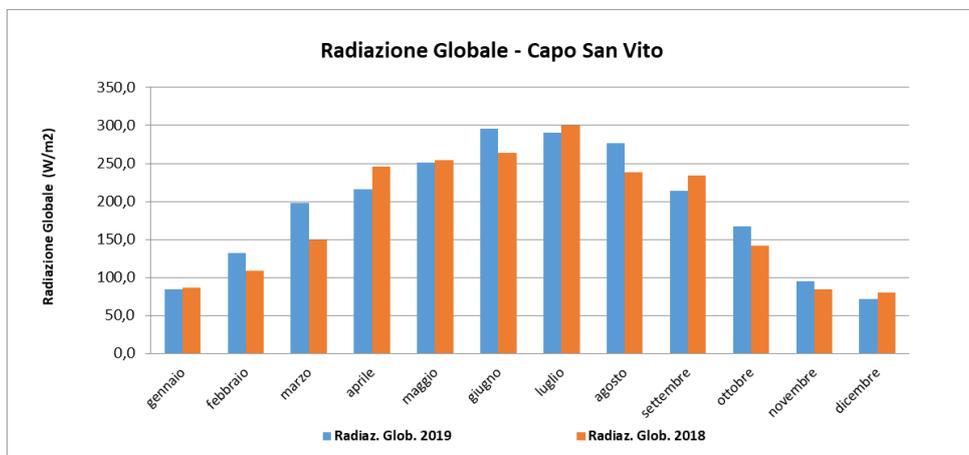
Nelle figure successive si mostra per le centraline considerate, fatta eccezione per quella di Lecce (avente disponibilità di dati inferiore al 75%), l'andamento dei valori medi mensili della radiazione globale riferito al 2019. Tali dati sono confrontati, per ciascuna stazione, con quelli dell'anno precedente.



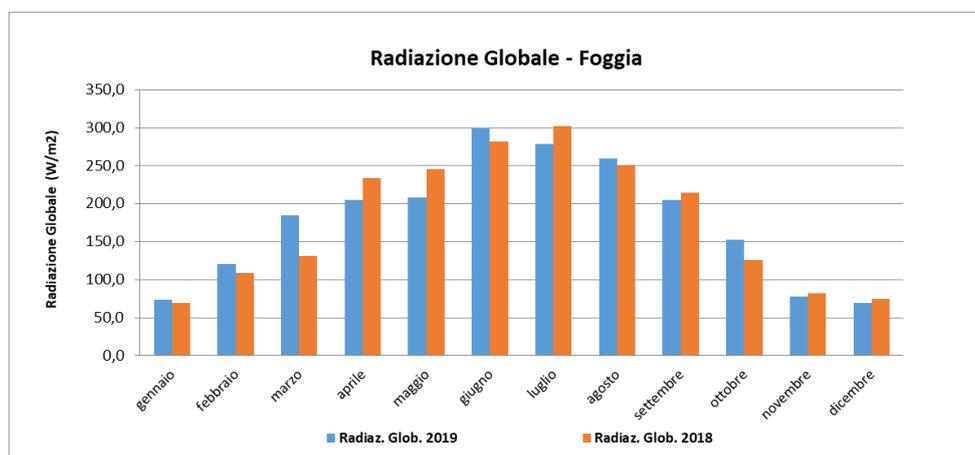
**Figura 18 - Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Carbonara**



**Figura 19 - Andamento della radiazione globale media mensile – postazione DAP Brindisi**



**Figura 20 - Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Taranto-Capo San Vito**

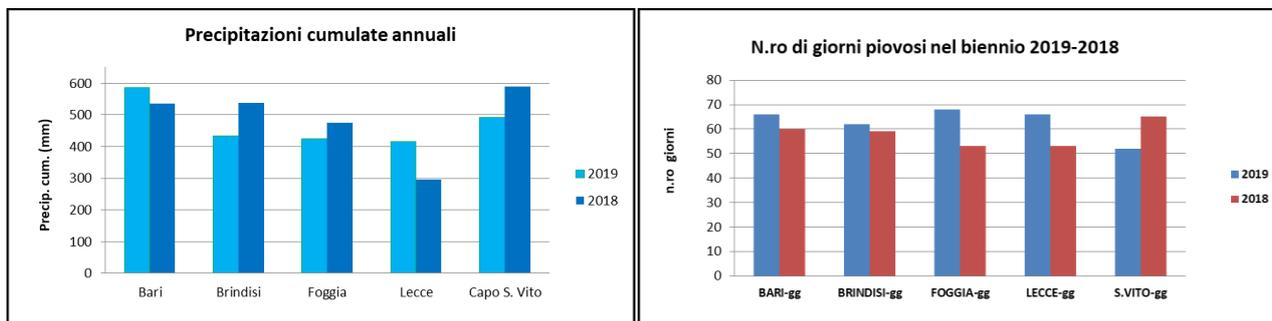


**Figura 31 - Andamento della radiazione globale media mensile – postazione DAP Foggia**

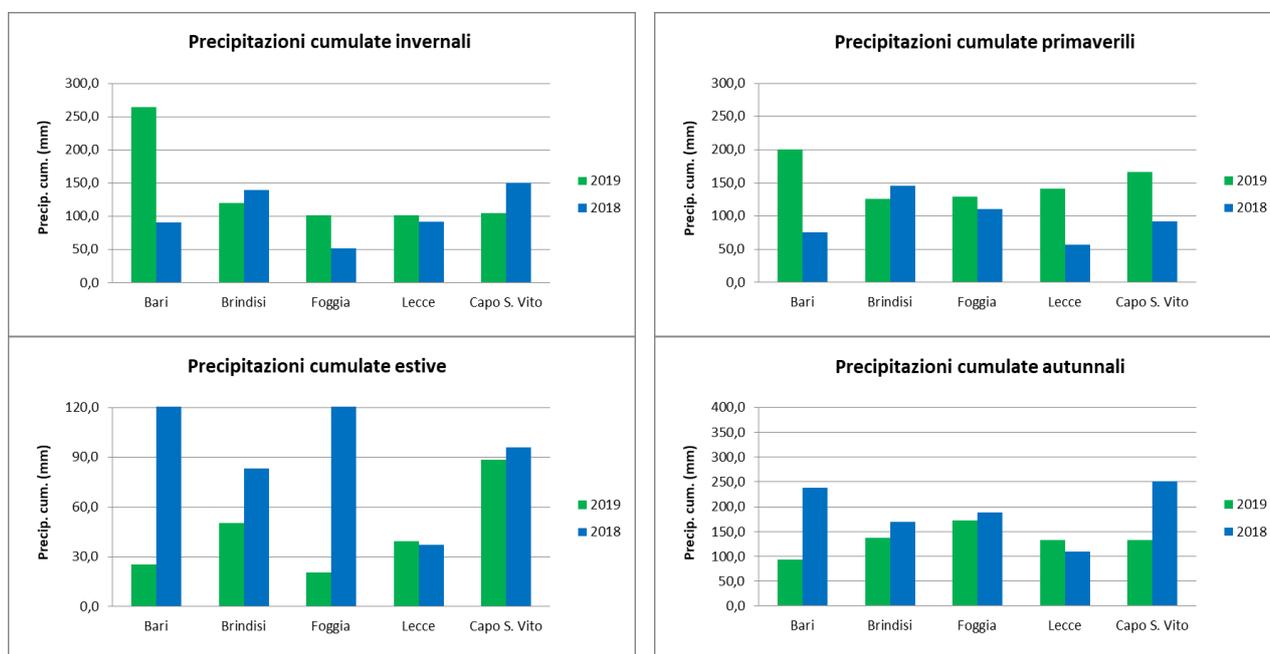
In corrispondenza di tutte le postazioni si nota per il 2019 una riduzione della radiazione globale nei mesi di febbraio, marzo, giugno e agosto ed un aumento nel mese di aprile, maggio, luglio e settembre.

### Precipitazione

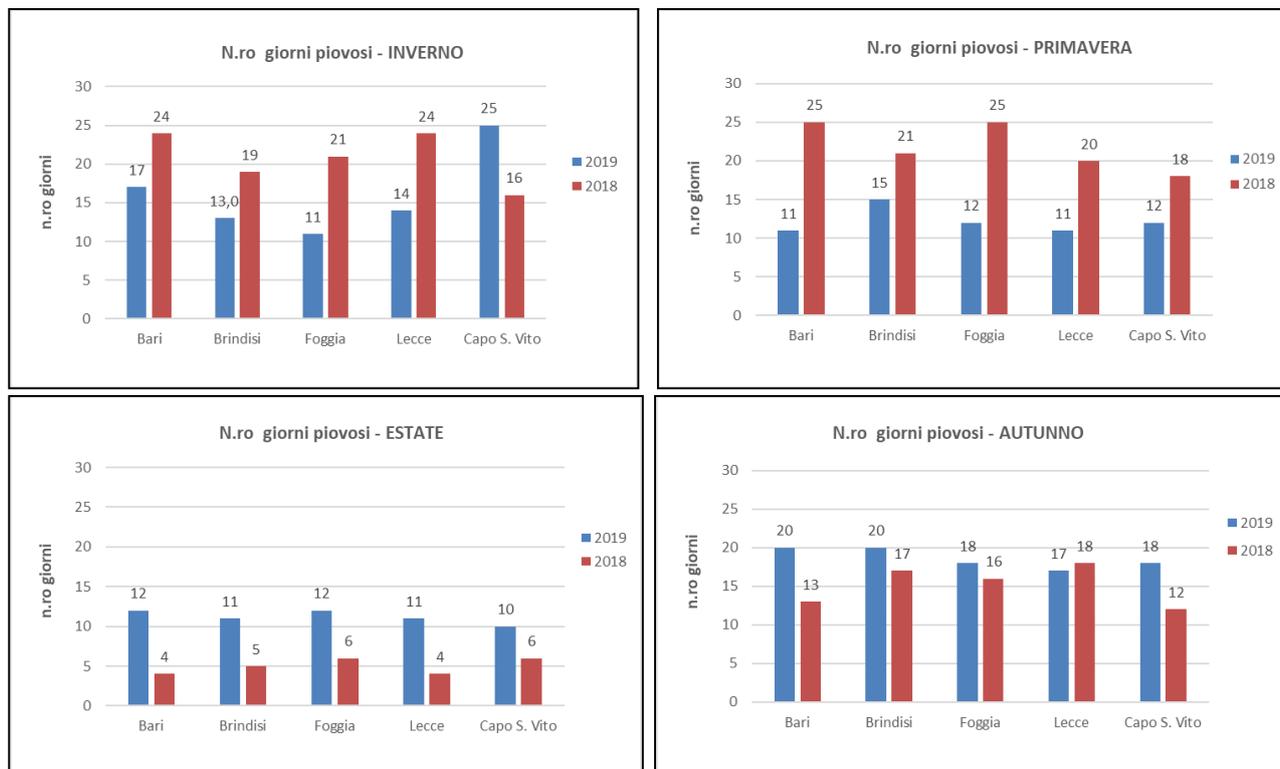
Nelle figure successive si mostrano, per le centraline considerate, le precipitazioni cumulate annuali, le cumulate stagionali, le cumulate mensili e la loro variazione rispetto all'anno precedente. Laddove disponibili, sono riportati anche i dati climatologici relativi all'andamento annuale della precipitazione cumulata media mensile (calcolata sui periodi indicati in Tabella 5).



**Figura 42 - Confronto tra le precipitazioni cumulate annuali (a sinistra) ed il numero di giorni piovosi (a destra) relativi al 2019 e 2018**



**Figura 23 - Confronto tra le precipitazioni cumulate stagionali misurate nel 2019 e nel 2018**



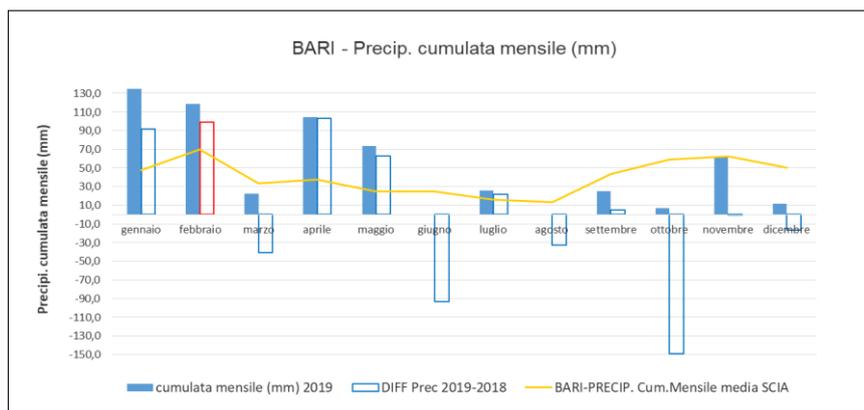
**Figura 24 – Numero di giorni piovosi per stagione e per centralina relativi al 2019 e al 2018**

Con riferimento al quantitativo valutato su base annuale (Figura 22), nel 2019 se ne riscontra un aumento, unito ad un aumento del numero di giorni piovosi, per le stazioni di Bari e Lecce. Dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si evince che tale aumento è legato alle precipitazioni verificatesi mediamente in tutte le stagioni per la stazione di Lecce, e nelle sole stagioni invernale e primaverile per la stazione di Bari.

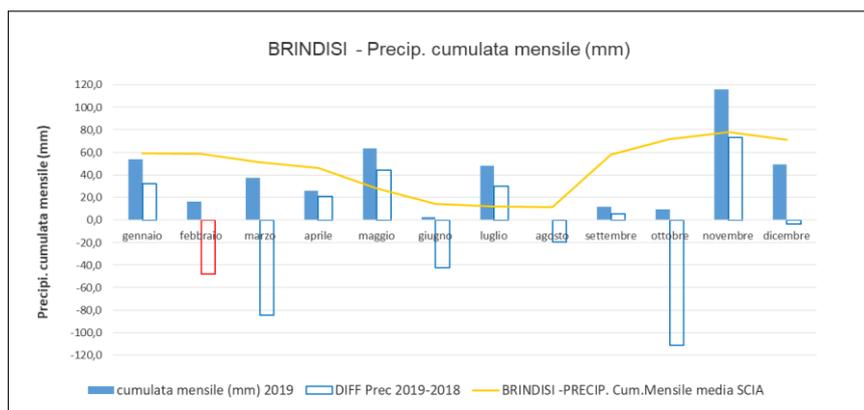
In diminuzione risulta, invece, la cumulata annuale per la stazione di Taranto-Capo San Vito, con una concomitante diminuzione del numero di giorni piovosi. Per le stazioni di Brindisi e Foggia si osserva per il 2019 una riduzione della precipitazione annuale, ma un aumento (più rilevante a Foggia) del numero di giorni piovosi rispetto al 2018.

Per Taranto-Capo San Vito si osserva una diminuzione delle precipitazioni in tutte le stagioni, fatta eccezione per quella primaverile in cui, contrariamente alle altre stagioni, si osserva una diminuzione del numero di giorni piovosi. Per la stazione di Foggia si osserva una diminuzione delle precipitazioni solo nelle stagioni estiva ed autunnale e nel contempo un aumento del numero di giorni piovosi (un aumento delle precipitazioni è riscontrabile, invece, nelle stagioni invernale e primaverile, in concomitanza ad una diminuzione del numero di giorni piovosi), mentre per Brindisi la diminuzione di precipitazioni è riscontrabile mediamente in tutte le stagioni.

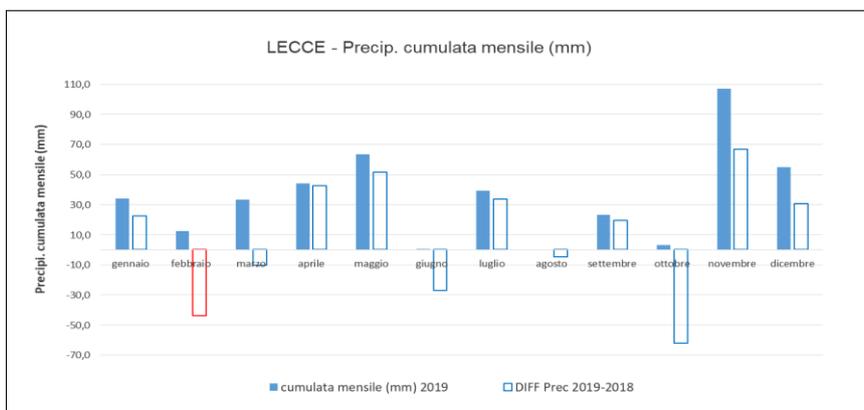
Considerando la precipitazione cumulata nella sola stagione invernale, si osserva che essa risulta aumentata per tutte le stazioni considerate, tranne che per quella di Brindisi e Taranto-Capo San Vito. Per la stazione di Bari, in particolare, si osserva un notevole aumento della precipitazione invernale del 2019 rispetto all'anno precedente, pur avendo, in concomitanza, una diminuzione del numero di giorni piovosi. Si precisa che ciò è legato ad un evento di precipitazione intensa verificatosi alla fine di gennaio.



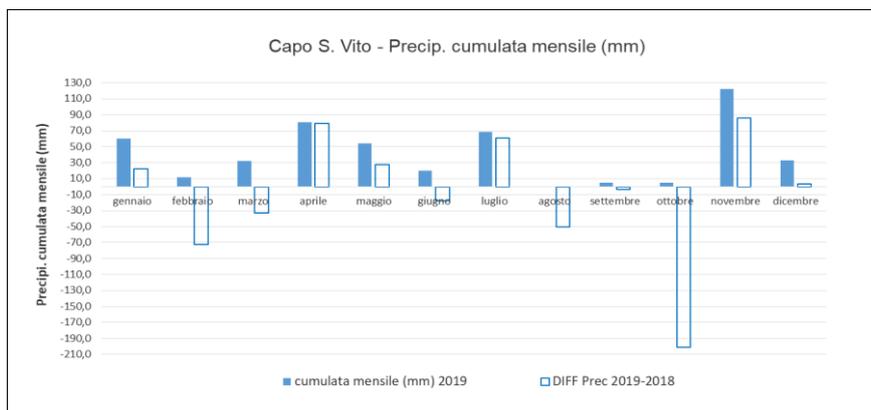
**Figura 25 - Precipitazioni cumulate mensili 2019 e variazioni rispetto all'anno 2018 – postazione Direz. Generale Bari**



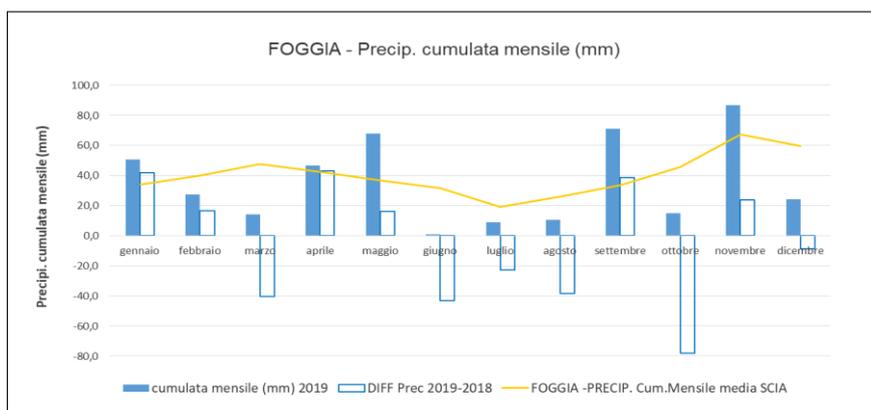
**Figura 26 - Precipitazioni cumulate mensili 2019 e variazioni rispetto all'anno 2018 – postazione DAP Brindisi**



**Figura 5 - Precipitazioni cumulate mensili 2019 e variazioni rispetto all'anno 2018 – postazione DAP Lecce**



**Figura 28 - Precipitazioni cumulate mensili 2019 e variazioni rispetto all'anno 2018 – postazione Taranto-Capo San Vito**



**Figura 29 - Precipitazioni cumulate mensili 2019 e variazioni rispetto all'anno 2018 – postazione DAP Foggia**

Dalla distribuzione delle cumulate mensili si evince che nel mese di ottobre 2019, in tutte le stazioni di monitoraggio, si è verificata una diminuzione significativa delle precipitazioni rispetto allo stesso mese dell'anno precedente. Una riduzione delle precipitazioni cumulate mensili si osserva anche nei mesi di marzo, giugno e agosto.

Un aumento delle precipitazioni misurate nel 2019 si osserva, invece, per tutte le stazioni considerate, nei mesi di gennaio, aprile e maggio. La precipitazione cumulata a luglio aumenta in tutte le stazioni ad eccezione di quella di Foggia.