



RELAZIONE  
TECNICA

Maggio 2019



**Valutazione dello stato della Qualità dell'Aria  
sulla regione Puglia con focus sul Salento  
Anno 2017**

**Centro Regionale Aria (CRA) - Sub-struttura Modellistica  
diffusionale**



## Sommario

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Sistema modellistico e definizione dei domini di calcolo</b> .....	<b>6</b>
<b>3. Analisi Meteorologica 2017</b> .....	<b>9</b>
3.1 Intensità e direzione del vento.....	10
3.2 Temperatura.....	16
3.3 Radiazione Globale .....	18
3.4 Precipitazione .....	20
3.5 Ricostruzione meteorologica modellistica .....	22
3.6 Confronto dati meteorologici misurati e modellati.....	23
<b>4. Emissioni</b> .....	<b>33</b>
4.1 Emissioni delle regioni limitrofe .....	33
<b>5. Condizioni iniziali ed al contorno</b> .....	<b>34</b>
<b>6. Valutazione delle performance della simulazione modellistica annuale 2017</b> .....	<b>36</b>
6.1 Dominio di simulazione “Regione Puglia” .....	38
<b>7. Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico</b> .....	<b>56</b>
<b>8. Valutazione dello stato della Qualità dell’Aria sulla regione Puglia e sul Salento – Anno 2017</b> .....	<b>59</b>
8.1 Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	60
8.2 Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ).....	64
8.3 Particolato Fine - PM <sub>10</sub> .....	67
8.4 Particolato Fine – PM <sub>2,5</sub> .....	74
8.5 Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	77
8.6 Monossido di carbonio (CO).....	80
8.7 Benzene(C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ).....	81
8.8 Benzo(a)Pirene (B(a)P).....	82
8.9 Arsenico (As).....	85
8.10 Cadmio (Cd) .....	86
8.11 Nichel (Ni) .....	87
8.11 Piombo (Pb) .....	88
<b>Conclusioni</b> .....	<b>89</b>
<b>Riferimenti Bibliografici</b> .....	<b>90</b>

## 1. Introduzione

Il D.Lgs 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.

Nel corso del triennio 2015-2017 ARPA Puglia si è dotata di un sistema modellistico in grado di ricostruire sull'intero territorio regionale, con focus su eventuali sottodomini di interesse, le concentrazioni di inquinanti gassosi e di particolato in modalità sia retrospettiva che predittiva<sup>1</sup>. Tale sistema è inoltre in grado di assimilare le misure fornite dalla rete di monitoraggio della QA gestite 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.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).

Obiettivo della presente relazione è mostrare i risultati delle simulazioni, condotte da ARPA Puglia con il suddetto sistema, utili a valutare, ai sensi del D.Lgs 155/2010, lo stato della QA, riferito all'anno 2017, sull'intera regione Puglia, a 4km di risoluzione spaziale, con uno specifico focus ad 1km sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto. Tale focus è stato condotto per caratterizzare con maggiore dettaglio i livelli di concentrazione e la relativa distribuzione spaziale degli inquinanti normati, con particolare riferimento all'identificazione delle aree di superamento.

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 2017 dalle reti di monitoraggio di 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.

La relazione è così organizzata.

Dopo una descrizione del sistema modellistico e dei relativi input (di tipo emissivo, meteorologico e di inquinamento transfrontaliero) si fornirà:

- a) la valutazione delle condizioni meteorologiche osservate nel corso del 2017, 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 secondari.

---

<sup>1</sup> Il servizio di previsione ed analisi dello stato della qualità dell'aria sulla Puglia e sull'area di Taranto, reso operativo da Arpa Puglia nel corso del 2016, è stato attivato ai sensi degli art.14 e art.18 del D.Lgs 155/2010. Sul sito <http://cloud.arpa.puglia.it/previsioniqualitydellaria/index.html> sono disponibili giornalmente le previsioni a +72 ore dello stato della QA (con risoluzione spaziale rispettivamente di 4 km sulla Puglia e di 1 km sull'area di Taranto) e la ricostruzione (detta analisi) dello stato della QA relativa al giorno precedente (ieri), ottenuta mediante assimilazione dei dati misurati.

- b) la valutazione statistica della performance dei risultati della simulazione condotta con il solo modello fotochimico, mediante l'utilizzo del software DELTA Tool;
- c) la valutazione dello stato della qualità dell'aria relativa al 2017 sulla Regione e sull'intero Salento, ai sensi del D.Lgs 155/2010, ottenuta combinando le simulazioni con le misure delle centraline. In particolare, per i diversi inquinanti normati dal D.Lgs 155/2010, si mostreranno le mappe dei relativi indicatori prescritti rispetto ai limiti previsti per la protezione della salute umana, evidenziando i superamenti laddove presenti.

## 2. Sistema modellistico e definizione dei domini di calcolo

Il cuore del sistema modellistico utilizzato è il modello euleriano tridimensionale di trasporto e chimica dell'atmosfera FARM<sup>2</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 1) viene riportato lo schema del sistema modellistico, implementato sulla piattaforma computazionale ReCaS.

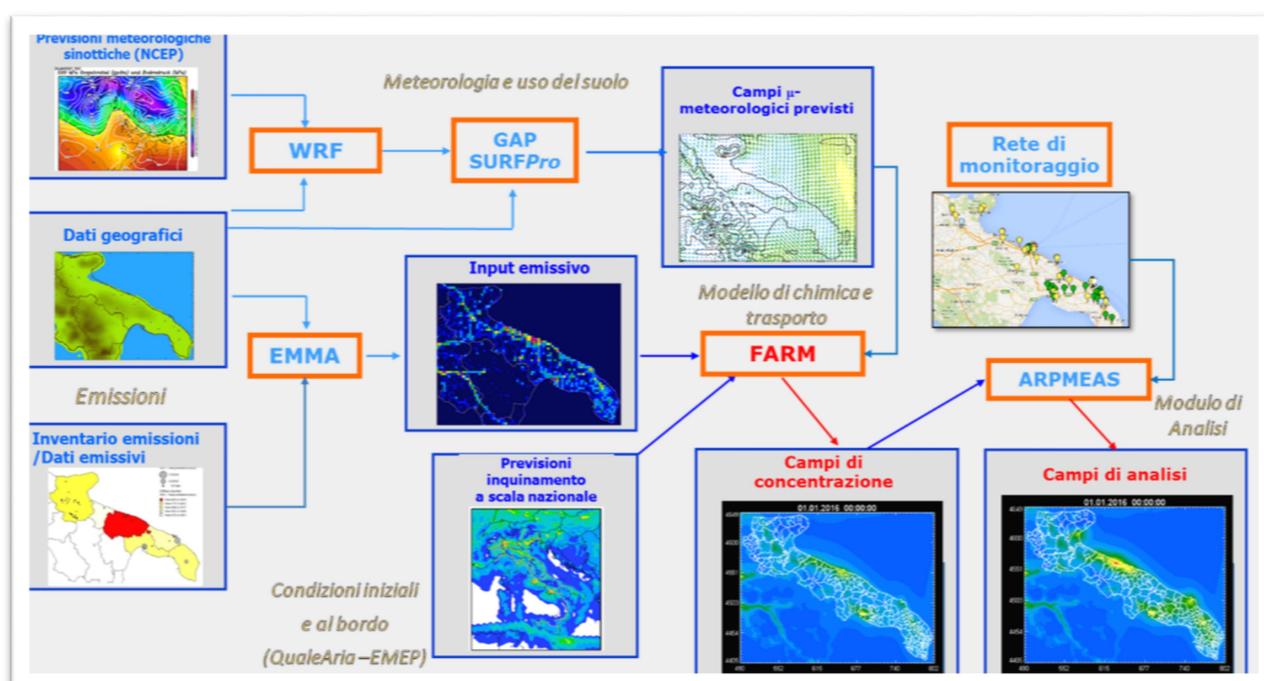


Figura 1 - Sistema modellistico utilizzato per la Valutazione annuale della Qualità dell'aria.

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 2017, FARM è stato alimentato con:

- i campi meteorologici previsionali, prodotti dal SAF di ARPA Puglia relativamente al 2017 mediante l'utilizzo del modello meteorologico prognostico WRF (Weather Research and Forecasting);

<sup>2</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).

- gli inventari delle emissioni, INEMAR per la regione Puglia ed ISPRA per le regioni limitrofe, opportunamente integrati ed aggiornati con le informazioni disponibili;
- le condizioni iniziali ed al contorno, relative all'anno 2017, 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.

I principali elementi che compongono il sistema modellistico sono:

- un modulo di interfaccia (codice GAP) per l'adattamento dei campi meteorologici prodotti dal modello previsionale WRF ai domini di calcolo;
- un processore micrometeorologico (codice SURFPro) che, a partire dai campi meteorologici di ingresso, ricostruisce i campi 2D e 3D della turbolenza e le velocità di deposizione utilizzati dal modello chimico;
- un processore per il trattamento delle emissioni (codice EMMA) che, a partire dagli inventari delle emissioni disponibili sui domini di simulazione, costruisce i campi orari dei ratei di emissione per tutte le specie chimiche trattate dal modello di qualità dell'aria;
- il modulo per le condizioni iniziali e al contorno che, a partire dai campi tridimensionali di concentrazione, previsti dal modello di qualità dell'aria Quale Aria, prepara i campi di condizioni iniziali e al contorno sui domini di simulazione;
- il modello euleriano FARM per la dispersione e le reazioni chimiche degli inquinanti in atmosfera;
- Il modulo di assimilazione dati di QA, ARPMEAS, che provvede alla combinazione dei risultati delle simulazione modellistiche prodotte con FARM con i dati sperimentali forniti dalle reti di monitoraggio della qualità dell'aria.

Il modello FARM è configurabile con diversi schemi chimici. Per tutte<sup>3</sup> le simulazioni svolte da ARPA è stato utilizzato lo schema chimico *SAPRC99* (Carter, 2000) il quale descrive le reazioni fotochimiche che hanno luogo nella bassa atmosfera, relative alle trasformazioni delle specie chimiche in fase gassosa dei composti organici volatili e degli ossidi di azoto, e che portano alla formazione di ozono e di aerosol organici secondari nella bassa atmosfera. Al suddetto modulo è stato accoppiato il modulo chimico per gli aerosol, *Aero3*, messo a punto da EPA (Binkowski, 1999; Binkowski e Shankar, 1995) per la trattazione della chimica dell'aerosol (parte inorganica ed organica). Tale modulo, in particolare, tratta la dinamica delle particelle e la loro interazione con le specie in fase gas, considerando per gli aerosol tre classi dimensionali: "Aitken" (fino a 0,1  $\mu\text{m}$ ), "accumulazione" (0,1-2,5  $\mu\text{m}$ ) e "grossolane" (2,5-10  $\mu\text{m}$ ), nelle quali sono considerate diverse specie chimiche (nitrati, solfati, ammonio, acqua, carbonio, ecc.). Lo stesso modulo considera, inoltre, i principali processi che governano la formazione e l'accrescimento del particolato:

- nucleazione: formazione di particelle per agglomerazione di molecole di vapore supersature;
- condensazione: conversione da gas a particella;
- diffusione di specie gassose verso la superficie delle particelle e successiva cattura;
- dissoluzione e reazioni chimiche eterogenee di solfati e nitrati: solitamente trascurate, ma significative in presenza di acqua liquida (per esempio in condizioni caratterizzate da alti valori di umidità relativa);

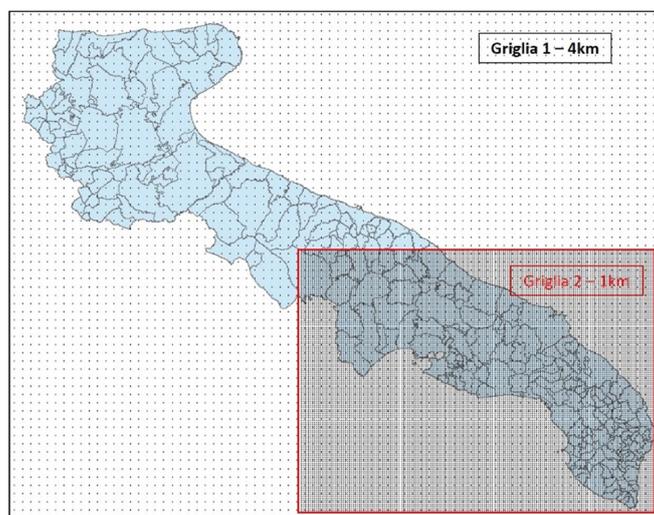
---

<sup>3</sup> Come già detto, nel 2016 ARPA ha svolto la prima valutazione modellistica dello stato della QA sulla Regione e sul Salento, riferita al 2013.

- equilibrio termodinamico tra le specie chimiche inorganiche (Nenes et al., 1998) e organiche (Schell et al., 2001) in fase gassosa, liquida e solida;
- coagulazione: collisione ed adesione di particelle (accrescimento).

Infine è stato utilizzato un modulo per il trattamento chimico del mercurio e dei PAH (B[a]P, B[b]F, B[k]F ed indeno (1,2,3,-cd) pirene). Per quanto riguarda la stima dei ratei di foto-dissociazione è stata utilizzata la versione FAST del modello di trasferimento radiativo TUV (Madronich, 1989).

Il sistema modellistico, così configurato, è stato applicato simultaneamente su un dominio comprendente la regione Puglia, con risoluzione spaziale pari a 4 km, e su un dominio, innestato nel precedente, comprendente le province di Brindisi, Lecce e Taranto (Figura 2) con risoluzione pari ad 1km.



**Figura 2 - 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.

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

<b>Dominio</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Estensione</b>	<b>Risoluzione spaziale</b>
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

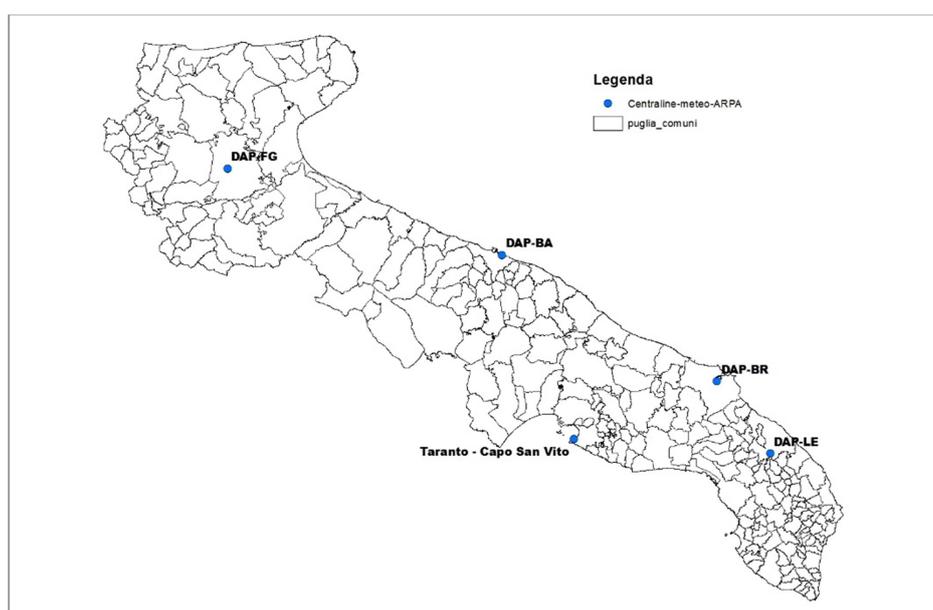
L'estensione verticale dei due domini è pari a 9050 m, con i seguenti 16 livelli di calcolo espressi in metri sopra l'orografia:

10, 35, 70, 120, 195, 305, 465, 695, 1025, 1505, 2200, 3205, 4550, 6050, 7550, 9050.

### 3. Analisi Meteorologica 2017

In tale paragrafo si riporta un'analisi delle condizioni meteorologiche, verificatesi nel 2017, 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 secondari. Per caratterizzare le caratteristiche meteorologiche osservate nel 2017 la suddetta analisi è stata sviluppata avendo l'anno 2016 quale termine di confronto.

Le centraline meteorologiche prese in considerazione sono quelle posizionate (Figura 3) presso le sedi dei Dipartimenti Provinciali (DAP) di ARPA e la sede della Direzione Generale a Bari. 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 3 - Localizzazione delle centraline meteorologiche di ARPA Puglia**

Per tali parametri verranno mostrate le statistiche mensili riferite all'anno in esame ed il confronto con l'anno precedente<sup>4</sup>.

In Tabella 2 si specificano le caratteristiche delle suddette centraline.

<sup>4</sup> Il confronto verrà condotto per tutte le centraline ad eccezione della centralina di Foggia e di Taranto (quest'ultima per le variabili di radiazione globale e di precipitazione), i cui dataset relativi al 2016 presentano un numero di dati validi significativamente inferiore al 75%.

**Tabella 2 – Caratteristiche delle centraline meteorologiche**

STAZIONE	PROV.	COORDINATE		ALTEZZA s.l.m.	PARAMETRI MISURATI
		XUTM (km)	YUTM (km)	m	
Direzione Generale	BA	545.75	4589.45	50	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione precipitazione (ogni 30 minuti)
DAP Foggia	FG	658.99	4553.47	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione precipitazione (ogni 30 minuti)
Taranto Capo San Vito	TA	688.78	4477.12	10	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, precipitazione (orario)
DAP Brindisi	BR	747.90	4501.08	20	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione precipitazione (ogni 30 minuti)
DAP Lecce	LE	769.89	4471.05	30	velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm, radiazione precipitazione (ogni 30 minuti)

In Tabella 3 si riportano le percentuali di validità dei dati meteorologici, misurati nel corso del 2017 dalle suddette postazioni meteorologiche, che indicano per tutte le centraline la disponibilità di dataset con un numero di dati validi superiori al 75%.

**Tabella 3 - Percentuale dati validi per le variabili meteo velocità e direzione del vento, temperatura e precipitazione**

	2017				
	<i>Temperatura</i>	<i>Precipitazione</i>	<i>Vel. Vento</i>	<i>Dir. Vento</i>	<i>Rad. Glob.</i>
<b>Foggia</b>	90%	97%	90%	90%	90%
<b>Bari</b>	94%	99%	94%	93%	93%
<b>SanVito</b>	100%	92%	100%	99%	100%
<b>Brindisi</b>	94%	99%	94%	94%	94%
<b>Lecce</b>	83%	95%	83%	83%	83%

### 3.1 Intensità e direzione del vento

Nelle immagini seguenti si mostrano in corrispondenza delle postazioni meteorologiche di Bari, Brindisi, Lecce, Foggia e Taranto - Capo San Vito, relativamente agli anni 2016 e 2017, le rose dei venti, annuali e stagionali, ed i boxplot, calcolati sulle serie annuali dell'intensità del vento.

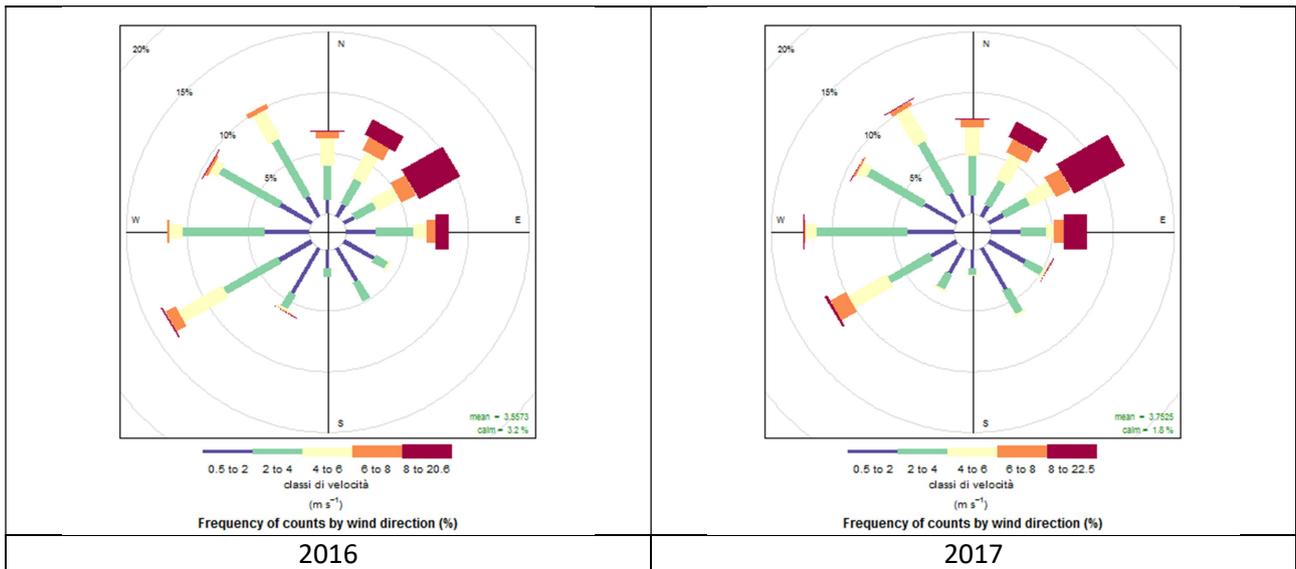


Figura 4 - Rose dei venti annuali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione Direzione Generale - Bari

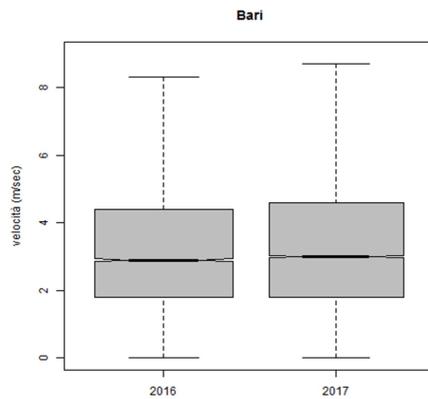


Figura 5 - Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2016 e 2017 - postazione Direzione Generale - Bari

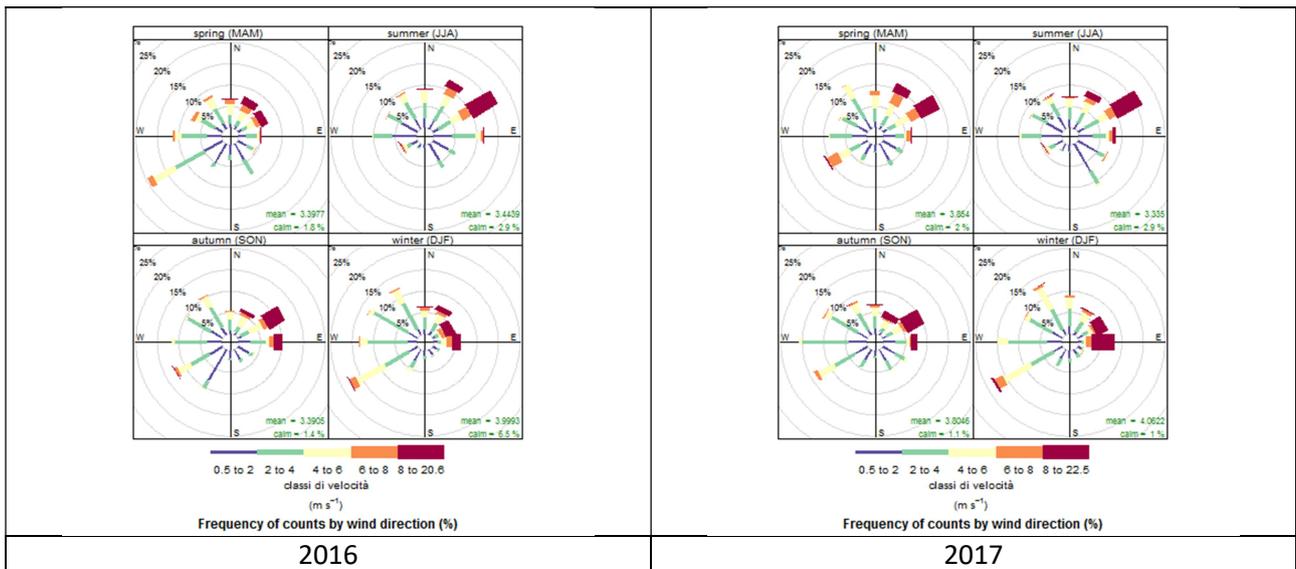


Figura 6 - Rose dei venti stagionali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione Direzione Generale - Bari

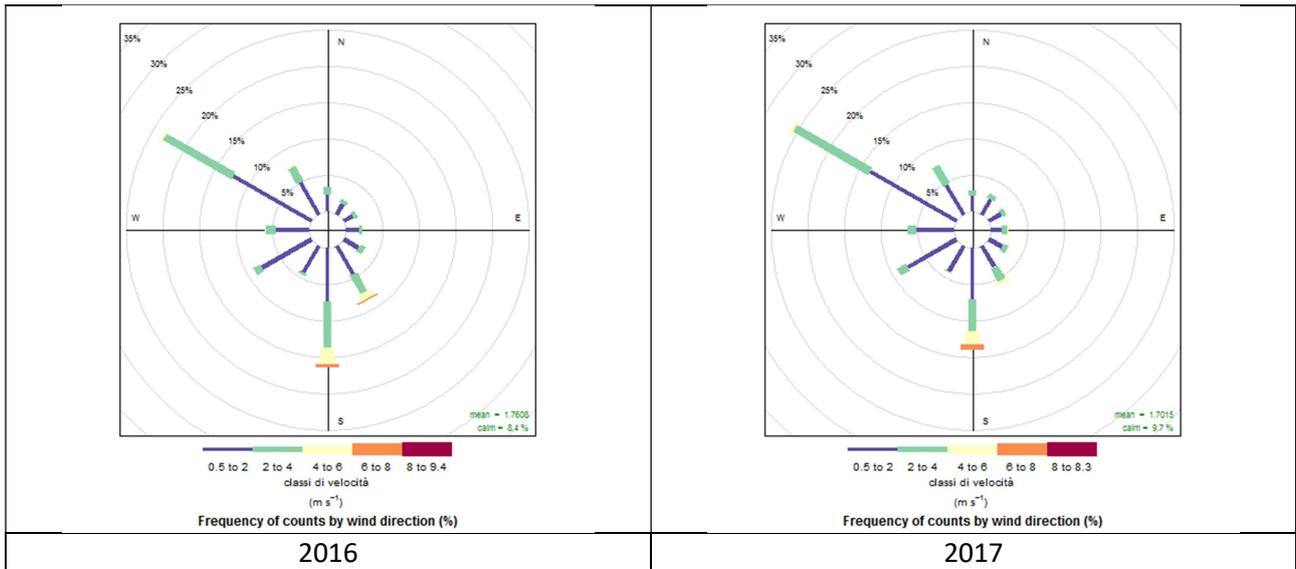


Figura 7 - Rose dei venti annuali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione DAP Brindisi

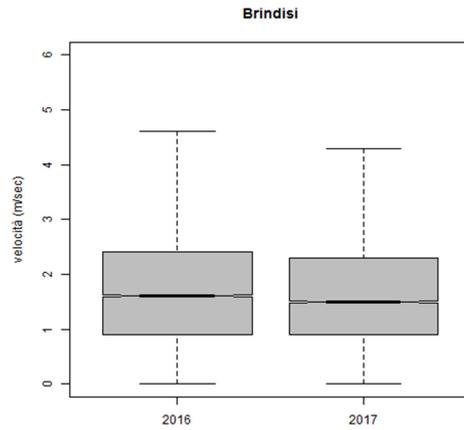


Figura 8 - Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2016 e 2017 - postazione DAP Brindisi

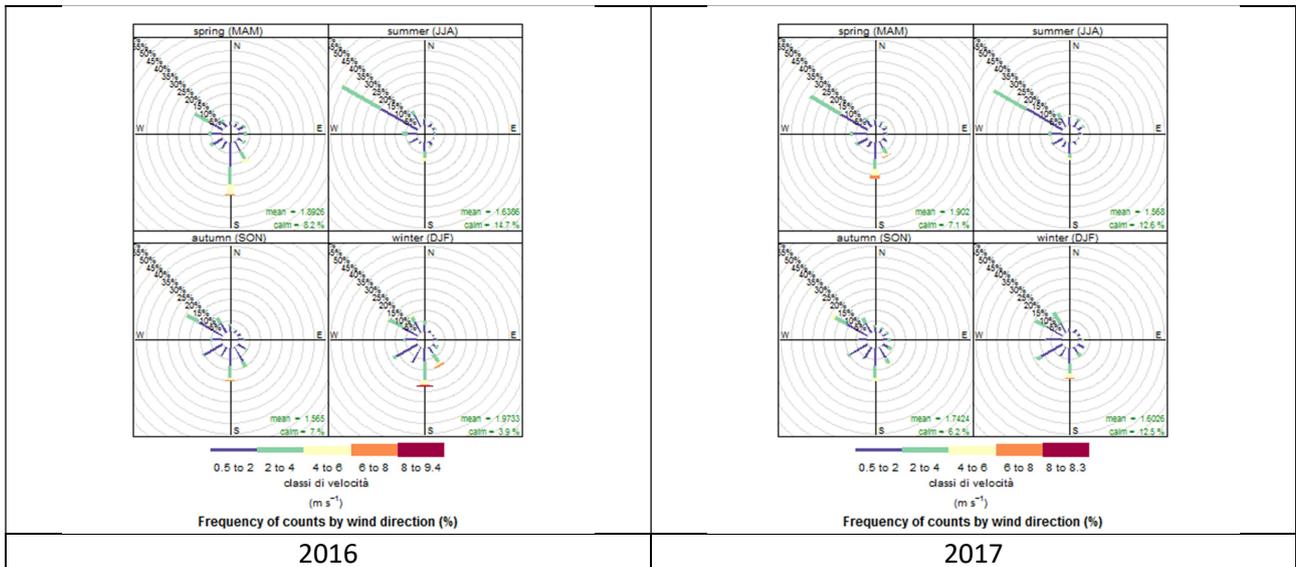


Figura 9 - Rose dei venti stagionali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione DAP Brindisi

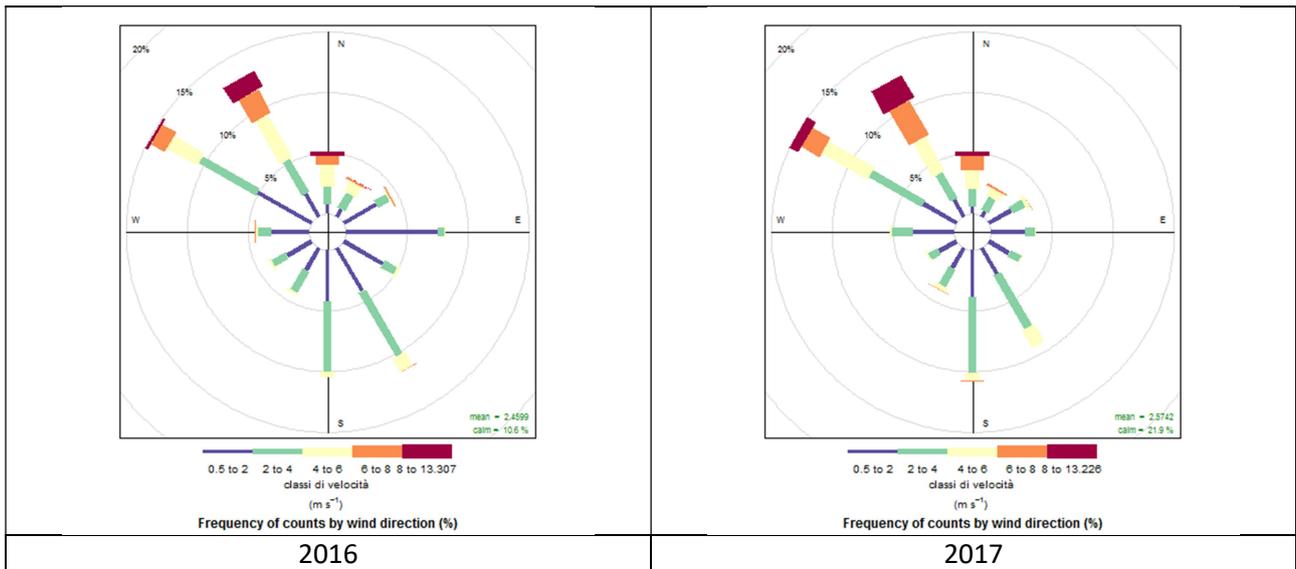


Figura 10 - Rose dei venti annuali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione Taranto – Capo San Vito

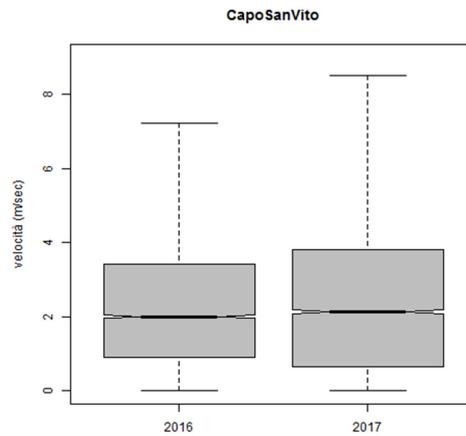


Figura11 - Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2016 e 2017 - postazione Taranto – Capo San Vito

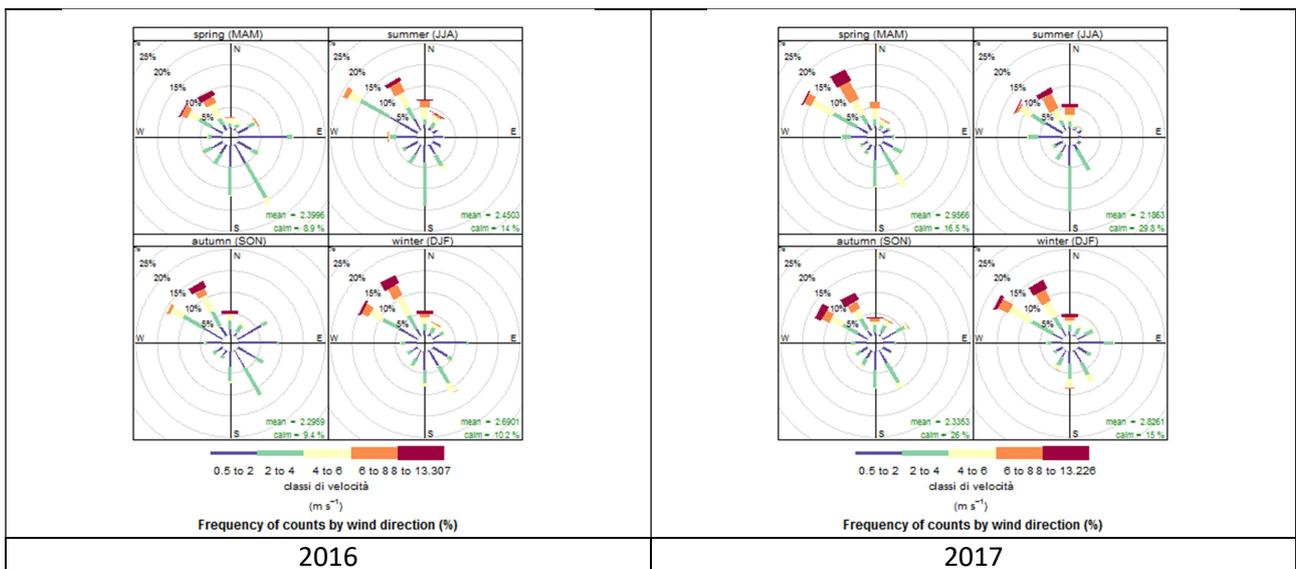


Figura 12 - Rose dei venti stagionali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione Taranto – Capo San Vito

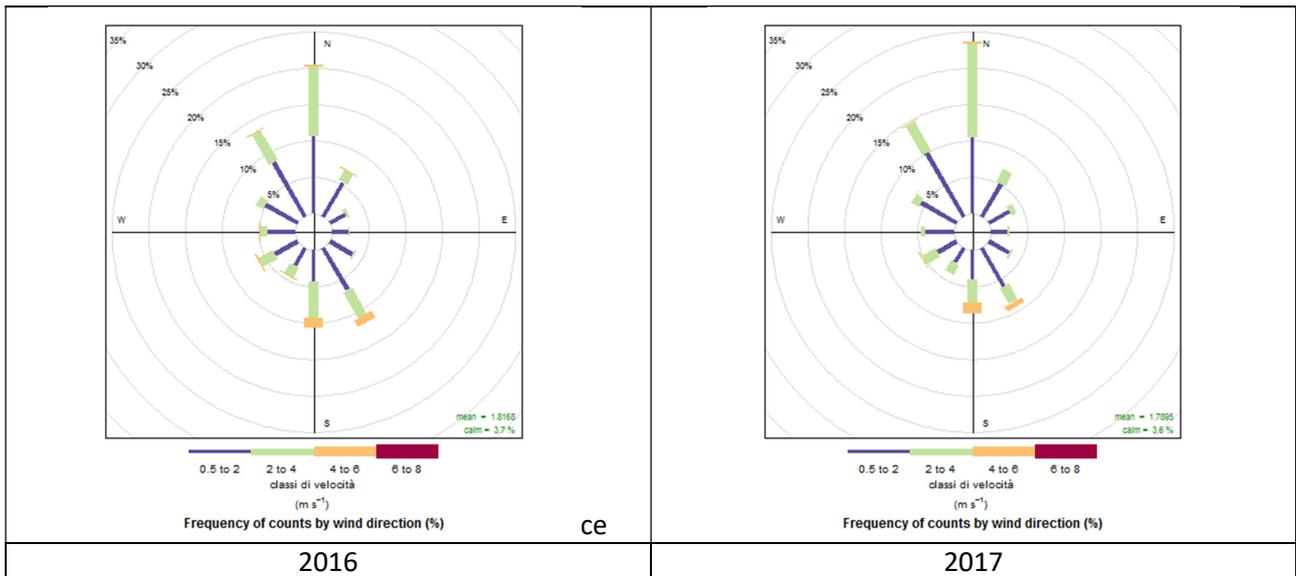


Figura 13 - Rose dei venti annuali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione DAP Lecce

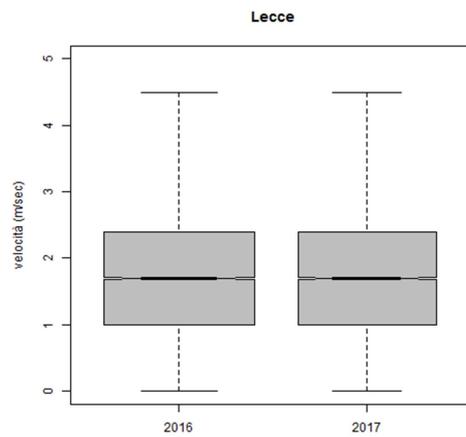


Figura 14 - Boxplot delle serie annuale della velocità del vento relative agli anni 2016 e 2017 - postazione DAP Lecce

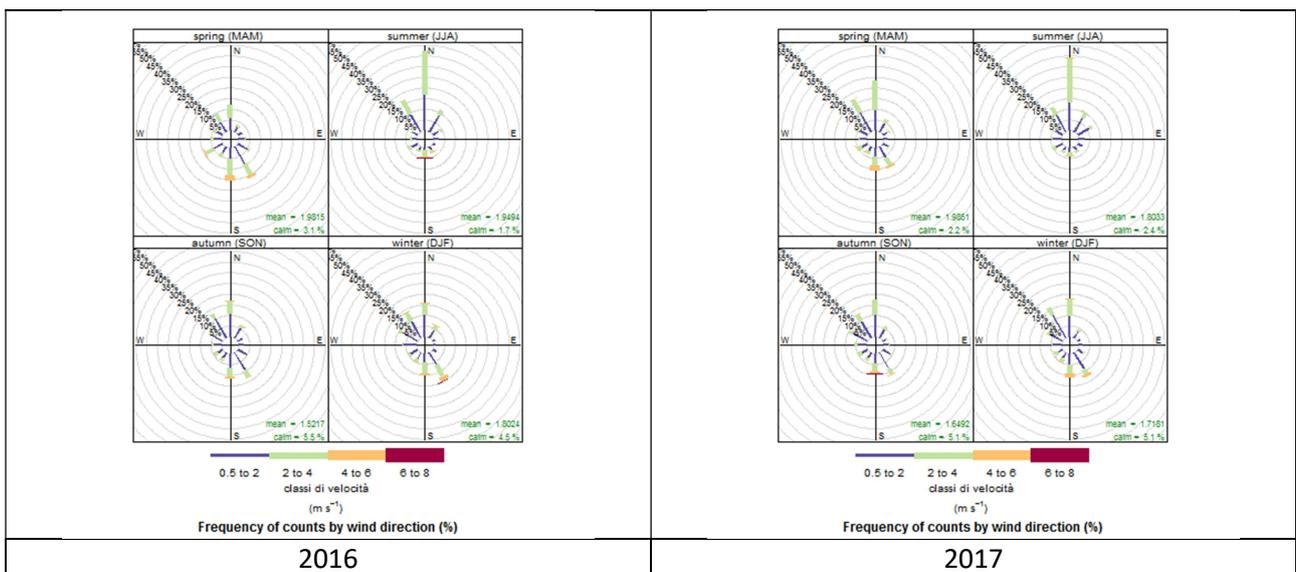


Figura 15 - Rose dei venti stagionali relative agli anni 2016 e 2017 – postazione DAP Lecce

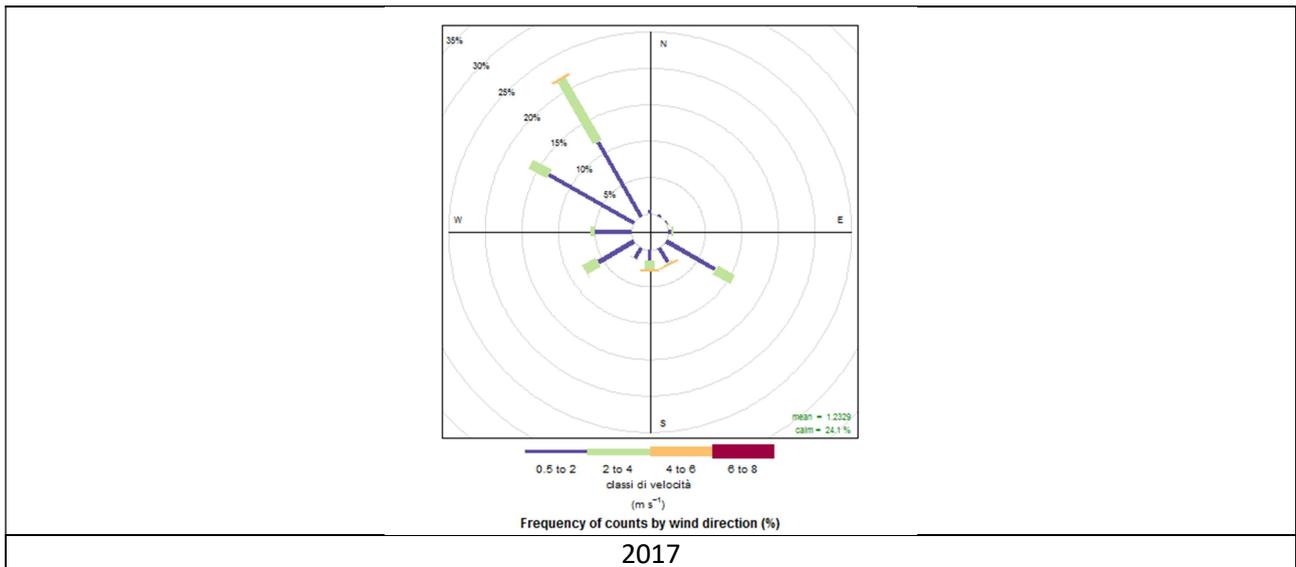


Figura 16 - Rosa dei venti annuale relativa all'anno 2017 – postazione DAP Foggia

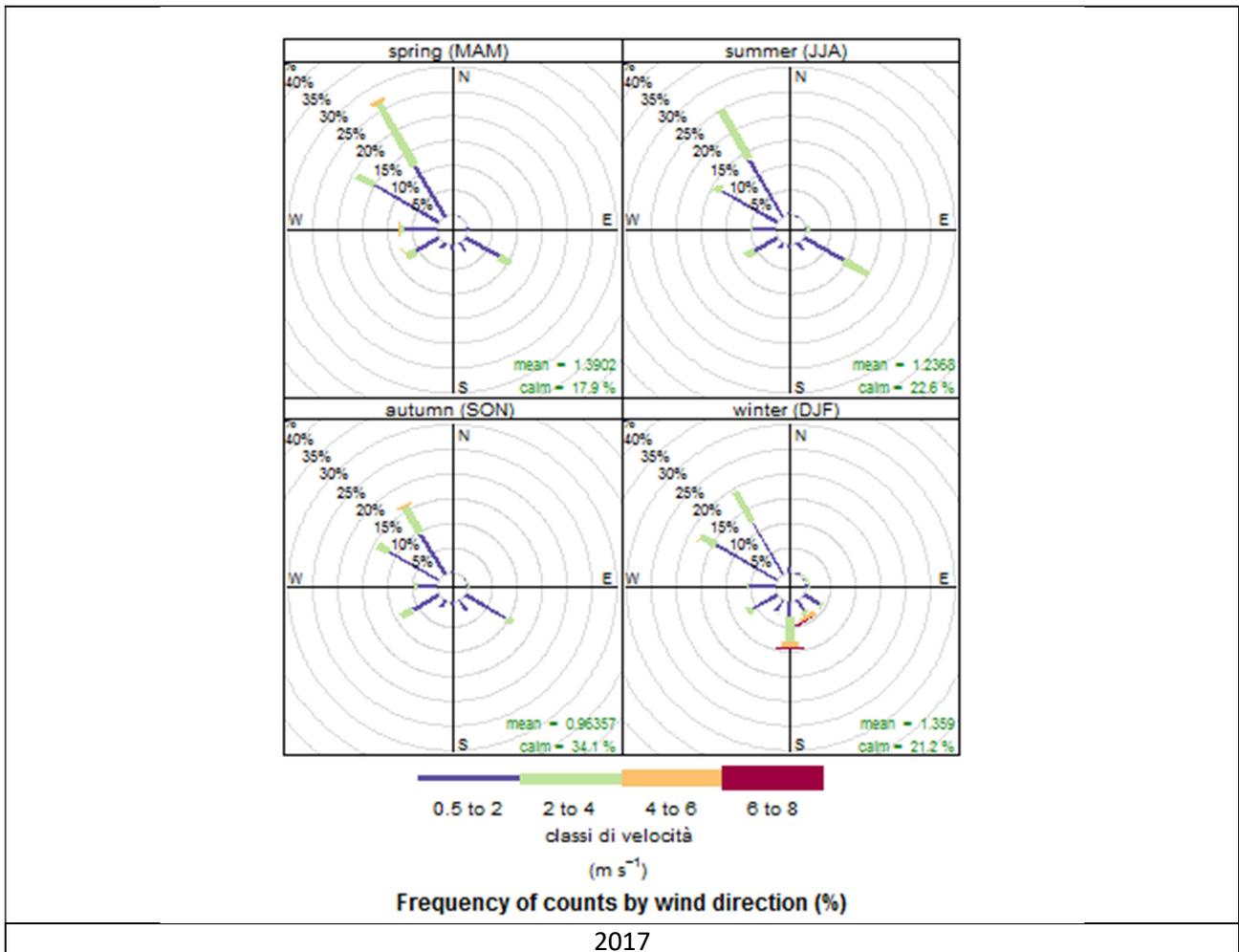


Figura 17 - Rosa dei venti annuale stagionale relativa all'anno 2017 – postazione DAP Foggia

E' opportuno precisare che la velocità del vento è una variabile che può essere fortemente influenzata dal contesto in cui è posizionato l'anemometro. Il vento può infatti risentire degli effetti

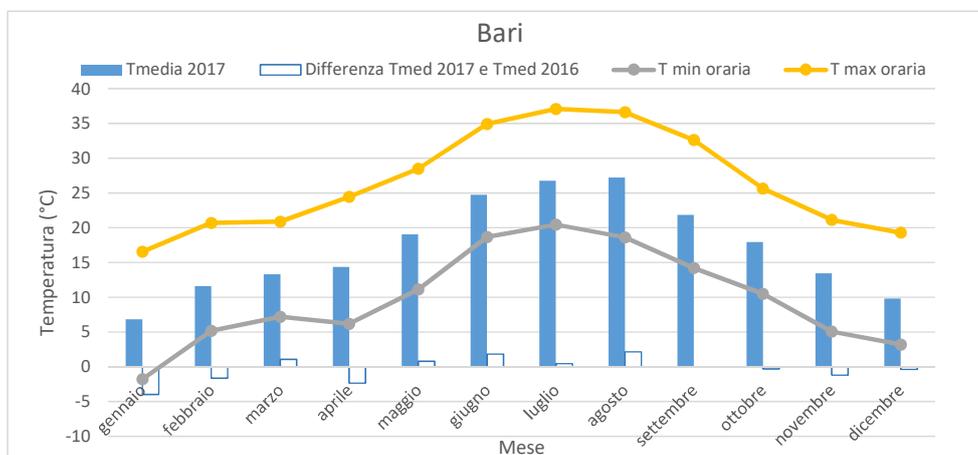
prodotti da caratteristiche locali del sito (quali rugosità, altitudine, esposizione, eventuali ostacoli, ecc.). Ciò è particolarmente evidente se si confrontano le elaborazioni meteorologiche tra le varie postazioni. La postazione della Direzione Generale a Bari è, ad esempio, quella caratterizzata dai valori più elevati di velocità del vento, perché posta ad un'altezza maggiore rispetto a tutte le altre postazioni; d'altro canto 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 Brindisi, Lecce e Foggia, poste invece in piena zona urbana.

Fatte salve queste premesse, le elaborazioni mostrate evidenziano come per tutte le postazioni considerate la distribuzione dell'intensità del vento per settore di provenienza, riferita al 2017, sia analoga a quella del 2016 con qualche piccola differenza rilevabile solo su base stagionale.

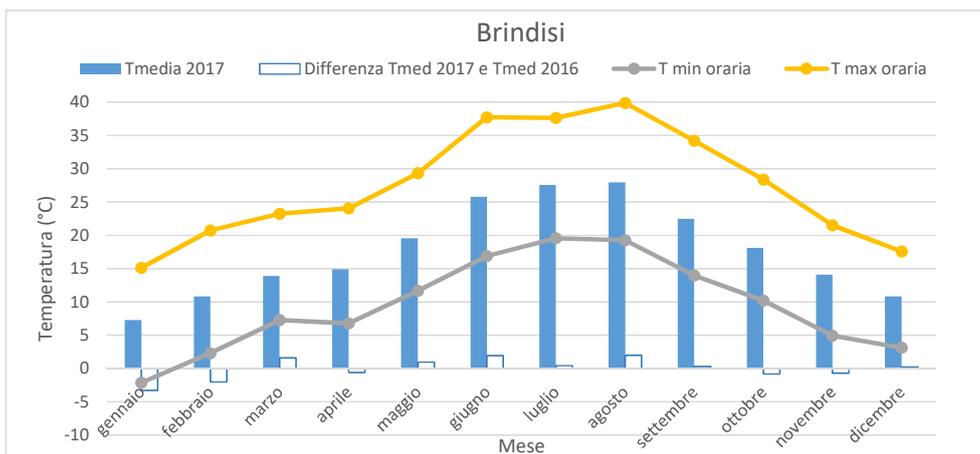
Nella postazione di Bari si osserva nel 2017 un aumento significativo della ventilazione (in tutte le stagioni tranne quella estiva) con una contestuale diminuzione delle calme di vento. A Taranto si rileva un aumento della ventilazione, anche se la percentuale di calme di vento tende ad aumentare. A Brindisi si osserva per il 2017 una riduzione della ventilazione (in particolare nella stagione estiva ed invernale). A Lecce non si osservano significative variazioni.

### 3.2 Temperatura

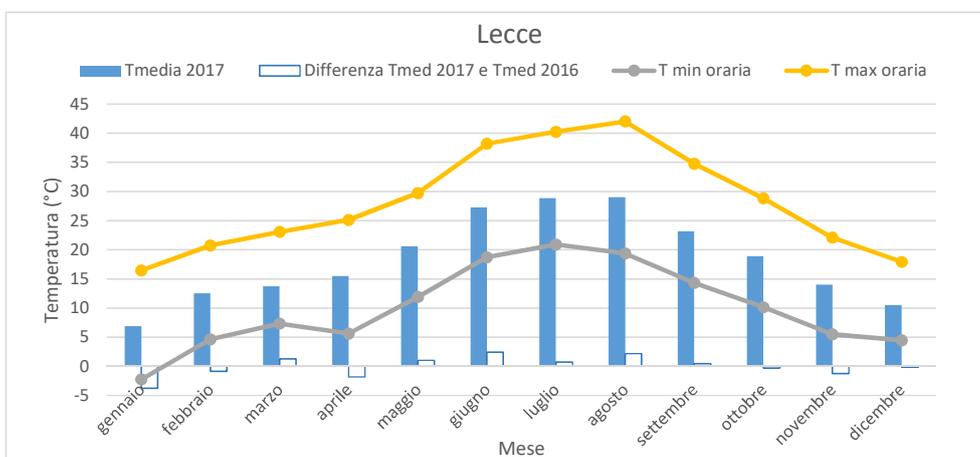
Nelle figure successive si mostrano per le centraline considerate gli andamenti delle temperature minima, media, massima mensili per l'anno in esame. Sono inoltre riportate le variazioni della temperatura media mensile relativa al 2017 rispetto al 2016.



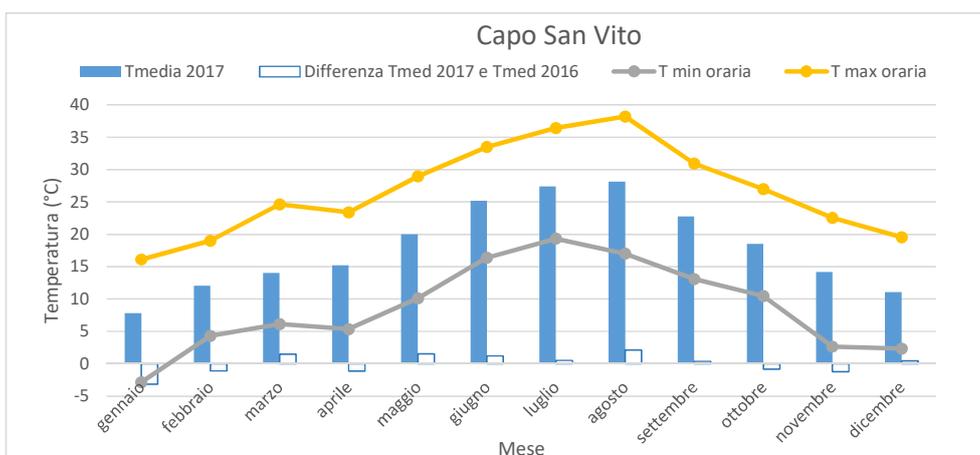
**Figura 18 - Temperature massime, medie e minime mensili relative al 2017 e scostamenti rispetto al 2016 – postazione Direzione Generale (Bari)**



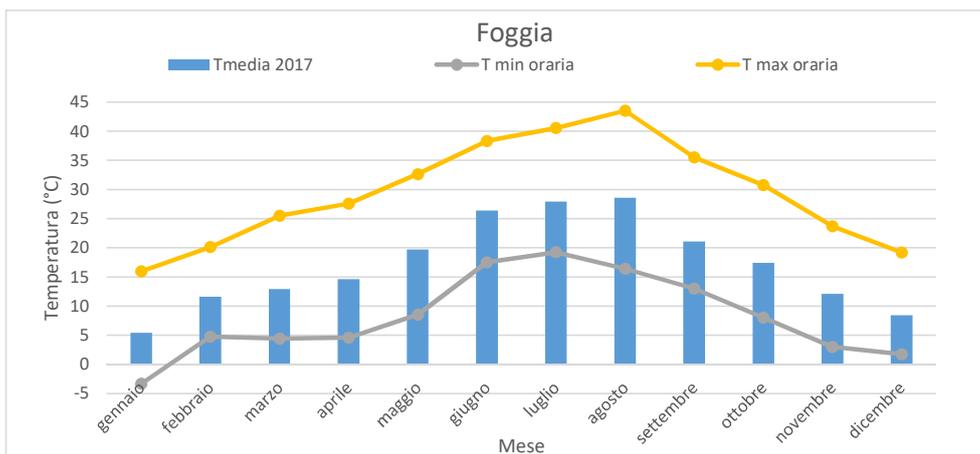
**Figura 19 - Temperature massime, medie e minime mensili relative al 2017 e scostamenti rispetto al 2016 – postazione Brindisi**



**Figura 20 - Temperature massime, medie e minime mensili relative al 2017 e scostamenti rispetto al 2016 – postazione Lecce**



**Figura 21 - Temperature massime, medie e minime mensili relative al 2017 e scostamenti rispetto al 2016 – postazione Taranto - Capo San Vito**

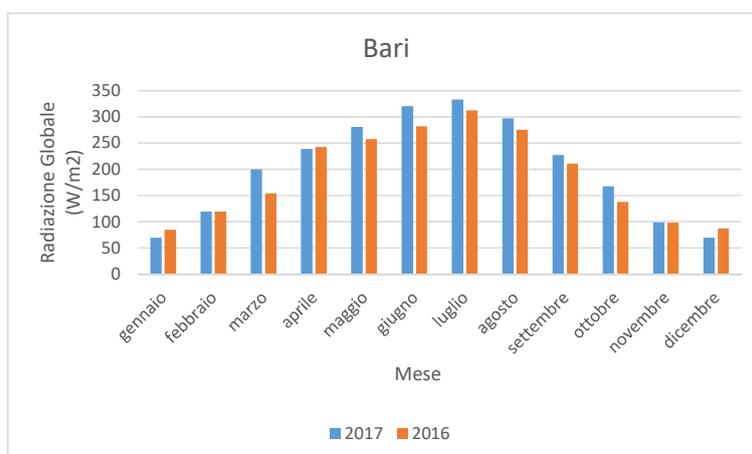


**Figura 22 - Temperature massime, medie e minime mensili relative al 2017 e scostamenti rispetto al 2016 – postazione Foggia**

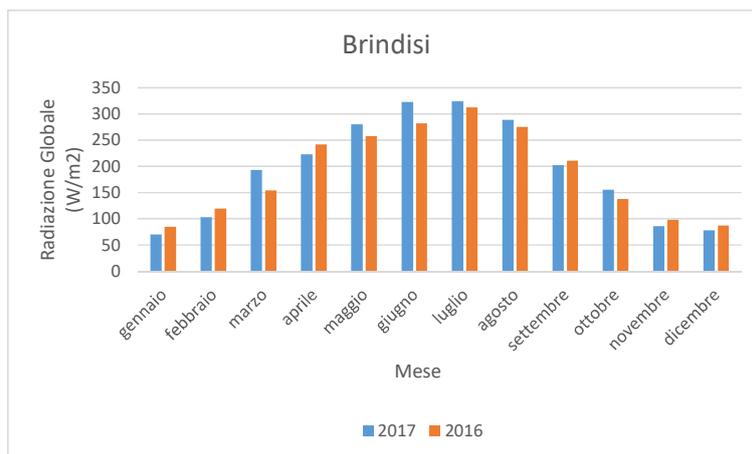
In corrispondenza di tutte le postazioni per le quali è disponibile il dataset relativo al 2016 si riscontra per il 2017 una diminuzione delle temperature nei mesi gennaio, febbraio, aprile, ottobre e novembre. I mesi estivi (giugno-agosto) ed i mesi di marzo e maggio risultano invece tutti più caldi rispetto all'anno precedente. Per tutte le postazioni il mese di gennaio è risultato in media il più freddo, mentre il mese più caldo è risultato agosto.

### 3.3 Radiazione Globale

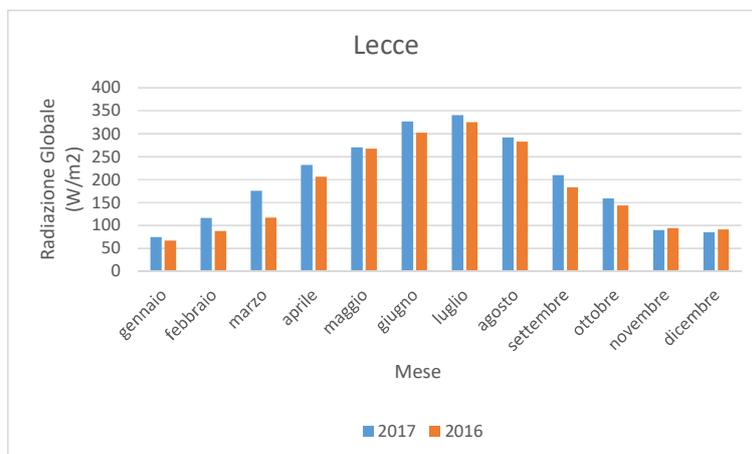
Nelle figure successive si mostrano per le centraline considerate l'andamento dei valori medi mensili della radiazione globale riferito al 2017. Laddove disponibili, tali dati sono confrontati con quelli dell'anno precedente.



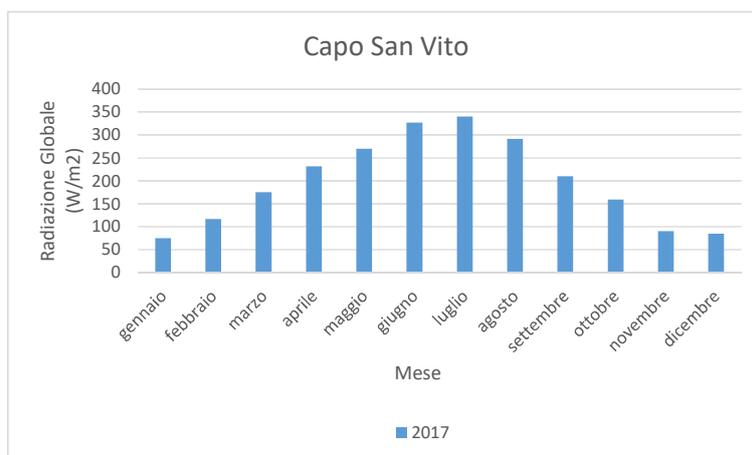
**Figura 23 – Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Bari**



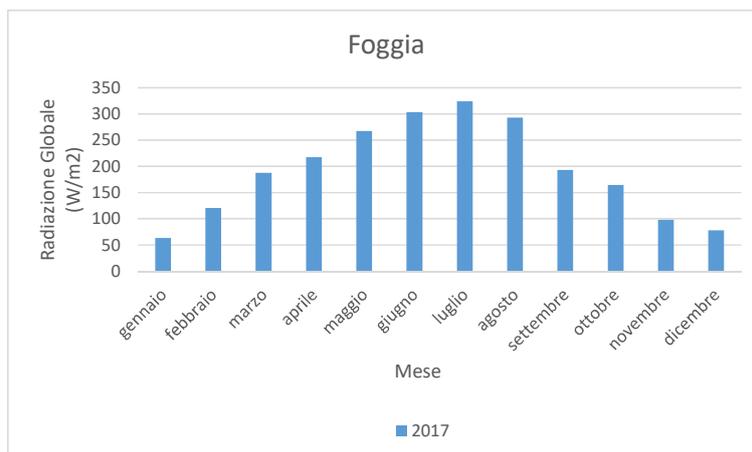
**Figura 24 – Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Brindisi**



**Figura 25 – Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Lecce**



**Figura 26 – Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Capo San Vito - Taranto**

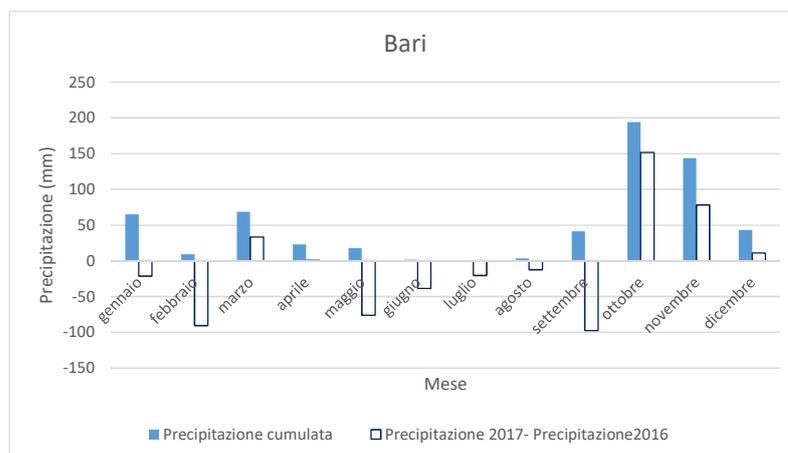


**Figura 27 – Andamento della radiazione globale media mensile – postazione Foggia - Taranto**

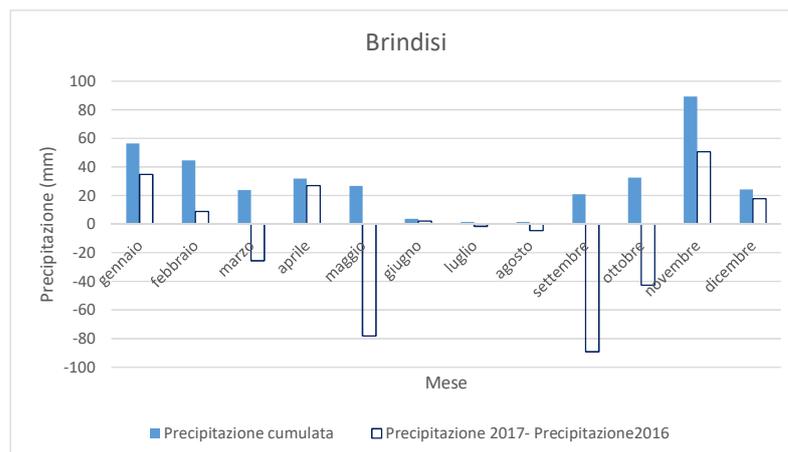
In corrispondenza di tutte le postazioni, per le quali è disponibile il dataset relativo al 2016, si riscontra per il 2017 un aumento della radiazione globale nei mesi estivi, in analogia con quanto già evidenziato per la temperatura. Tali condizioni possono nel 2017 aver favorito la formazione di ozono nel periodo estivo.

### 3.4 Precipitazione

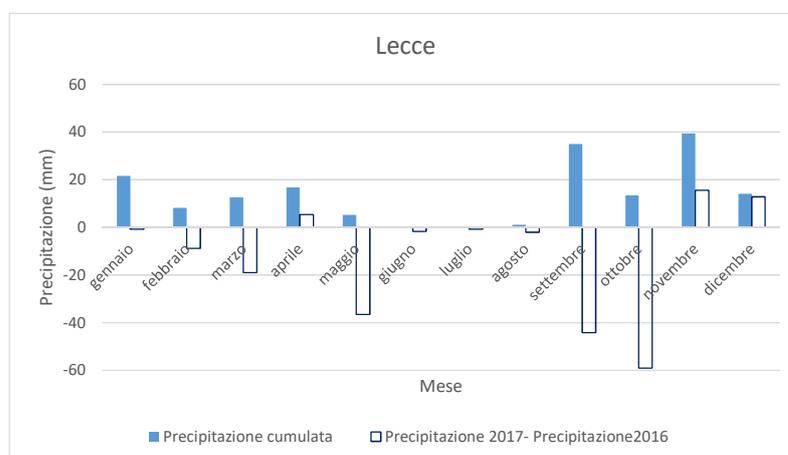
Nelle figure successive si mostrano per le centraline considerate le precipitazioni cumulate mensili e la loro variazione rispetto all'anno precedente.



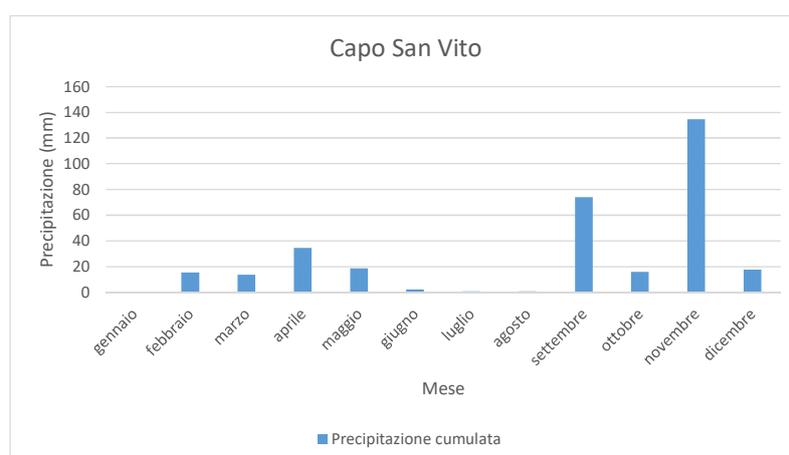
**Figura 28 - Precipitazioni cumulate mensili e variazioni rispetto all'anno 2016 – postazione Bari**



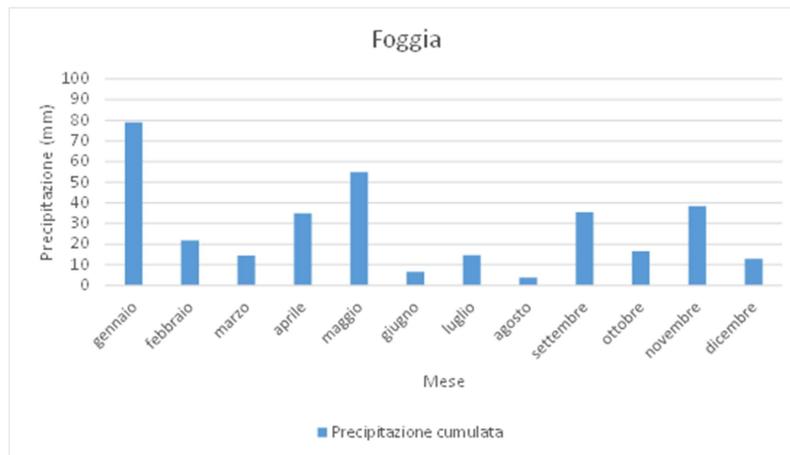
**Figura 29 - Precipitazioni cumulate mensili e variazioni rispetto all'anno 2016 – postazione Brindisi**



**Figura 30 - Precipitazioni cumulate mensili e variazioni rispetto all'anno 2016 – postazione Lecce**



**Figura 31 - Precipitazioni cumulate mensili – postazione Taranto - Capo San Vito**



**Figura 32- Precipitazioni cumulate mensili – postazione Foggia**

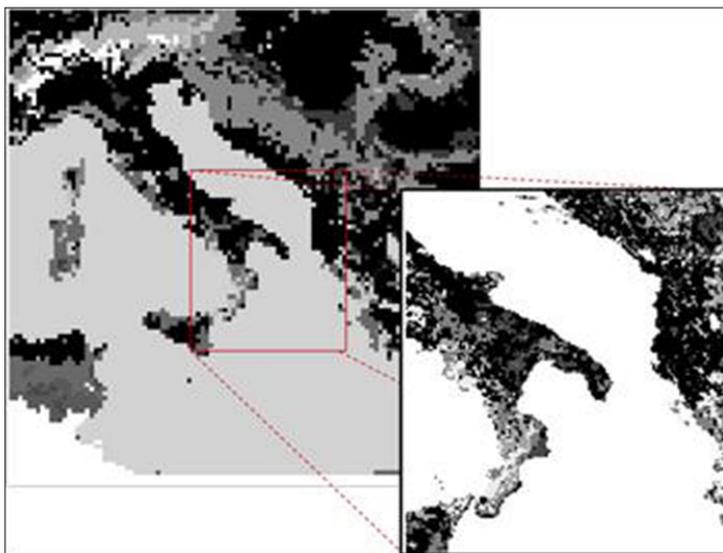
In corrispondenza di tutte le postazioni, per le quali è disponibile il dataset relativo al 2016, si riscontra per il 2017 una diminuzione del quantitativo di pioggia valutato su base annuale. E' opportuno però segnalare che rispetto al 2016 presso le centraline di Brindisi e di Lecce i mesi invernali del 2017 sono stati caratterizzati da quantitativi di pioggia più elevati. Ciò può aver contribuito, come si vedrà nel seguito, al miglioramento rispetto all'anno precedente dello stato della qualità dell'aria nell'area salentina durante il periodo invernale. Come noto, infatti, la precipitazione è un fattore che influenza i meccanismi di rimozione degli inquinanti, la cui efficacia dipende dalla quantità di pioggia e dal rinnovamento delle masse d'aria associato al passaggio delle perturbazioni.

### 3.5 Ricostruzione meteorologica modellistica

Il sistema modellistico di QA necessita di un input meteorologico che fornisca al modello di dispersione FARM le condizioni meteorologiche su base oraria sui domini di simulazione considerati. I campi meteorologici necessari al sistema modellistico sono stati forniti dal Servizio Agenti Fisici (SAF) di ARPA Puglia ([www.arpa.puglia.it/web/guest/serviziometeo](http://www.arpa.puglia.it/web/guest/serviziometeo)).

Tali campi sono stati prodotti per l'anno 2017 dal modello meteorologico WRF (Weather Research and Forecasting): un modello meteorologico prognostico ad area limitata, gestito operativamente dal SAF di ARPA Puglia per fornire giornalmente le previsioni fino a 72h dei principali campi meteorologici sull'intero territorio regionale con una risoluzione spaziale di 4km (F. Fedele et al., 2015). Il WRF è, a sua volta, inizializzato con i dati GFS (Global Forecast System), run delle 12Z, scaricati dai server del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) ad una risoluzione di 0.5°.

Il modello WRF è stato implementato con 41 livelli verticali, in una configurazione *one-way nesting*, che comprende due domini,  $d_{01}$  e  $d_{02}$  (Figura 3). Il dominio più grande ( $d_{01}$ ), che copre il Mediterraneo centrale, ha 108 x 108 punti di griglia ed una risoluzione di 16 km, mentre il dominio nidificato ( $d_{02}$ ), che copre l'Italia meridionale, ha 145 x 169 punti di griglia ed una risoluzione di 4 km.



**Figura 33 - Domini innestati del modello meteorologico previsionale WRF**

Ai fini della valutazione dello stato della QA relativo al 2017, per le simulazioni condotte con il modello fotochimico FARM sono stati utilizzati, relativamente al periodo di interesse, i campi orari di previsione a +24h prodotti giornalmente dal modello WRF sul dominio a più alta risoluzione ( $d_{02}$ ). Tali campi sono stati quindi interpolati sui domini di calcolo del modello di qualità dell'aria attraverso l'applicazione del modulo di interfaccia GAP<sup>5</sup>. Successivamente è stato utilizzato il processore meteorologico SURFPro per il calcolo dei parametri associati allo strato limite atmosferico (lunghezza di Monin-Obukhov, friction velocity, altezza di mescolamento, ecc.), delle caratteristiche della turbolenza atmosferica (diffusività orizzontali e verticali) e delle velocità di deposizione secca, relative alle specie chimiche considerate dal modello di dispersione.

### 3.6 Confronto dati meteorologici misurati e modellati

Per verificare l'attendibilità dei campi meteorologici previsionali utilizzati, nonché la relativa capacità nel descrivere le caratteristiche dei flussi locali sul territorio regionale, viene di seguito mostrato, per i principali parametri meteorologici, un confronto tra i dati misurati di vento, precipitazione e temperatura presso le postazioni meteorologiche di ARPA Puglia ed i dati modellati, estratti in corrispondenza delle suddette centraline.

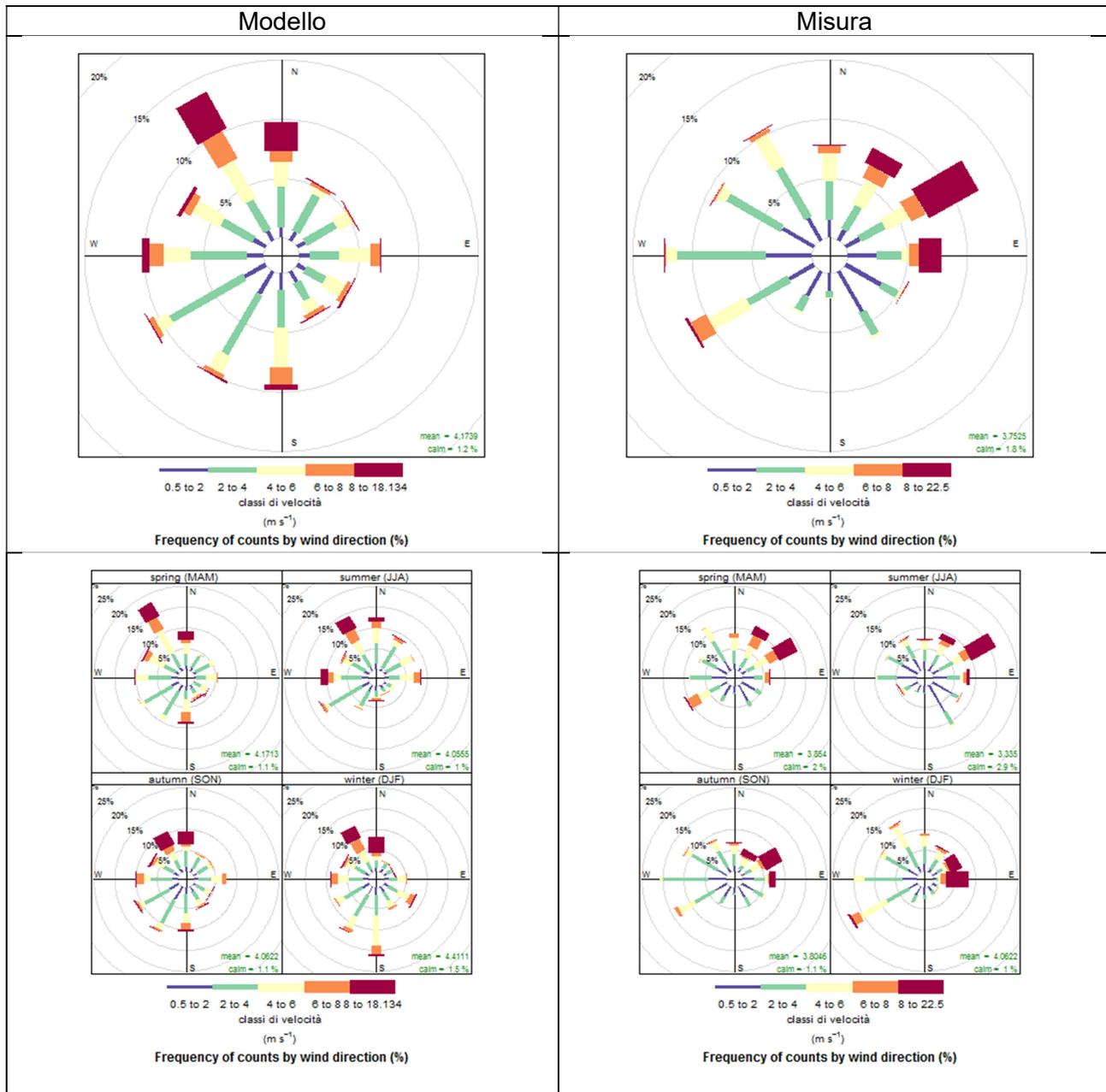
A tal fine, occorre premettere che la bontà del *matching* tra modello e misure è comunque sempre limitata dal fatto che il dato modellato è un dato mediato su un volume di cella (di estensione 4000m x 4000m x 10m), mentre il dato osservato è un dato puntuale, che può quindi risentire degli effetti prodotti da caratteristiche locali del sito (quali rugosità, altitudine, esposizione, eventuali ostacoli, ecc.), di cui il modello meteorologico non può tenere conto alla risoluzione considerata. Il confronto modello-misura è stato svolto relativamente al 2017 e solo per quelle centraline la cui percentuale annuale di validità delle misure fosse almeno pari al 75%<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Il database così ottenuto è costituito da archivi in formato NetCDF, che contengono i campi meteorologici orari relativi alle variabili tridimensionali (vento, temperatura, umidità, pressione atmosferica) e bidimensionali (radiazione solare, copertura nuvolosa, precipitazione e temperatura superficiale del mare).

<sup>6</sup> Non è stato condotto il confronto della precipitazione solo presso il DAP Foggia, poiché il dataset misurato non aveva una percentuale di validità superiore al 75%.

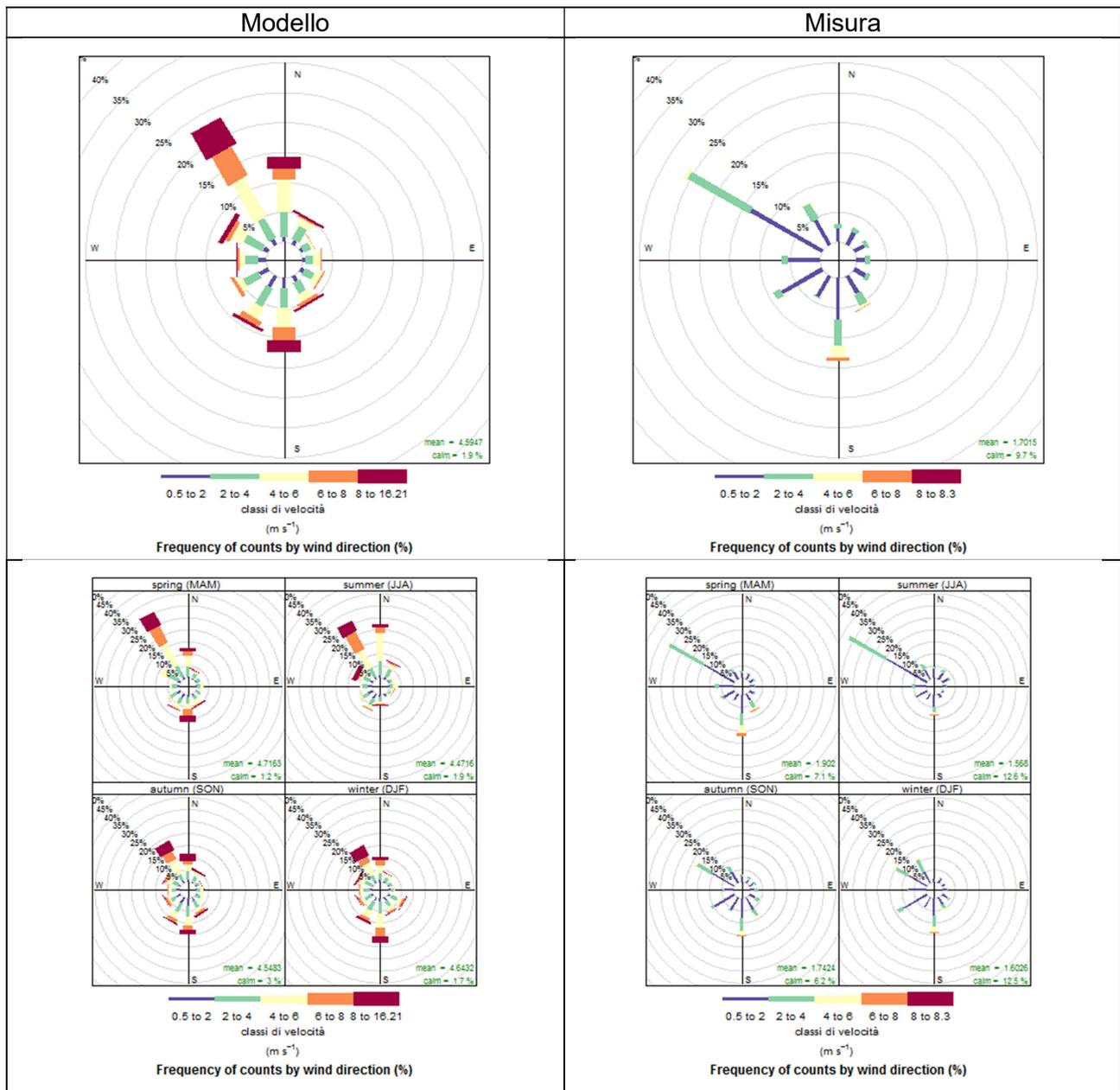
### 3.6.1 Vento

Di seguito si confrontano le rose dei venti elaborate a partire rispettivamente dai dati misurati dalle centraline di monitoraggio e dai dati modellati, estratti nei punti di griglia corrispondenti.



**Figura 34 – Confronto tra le rose del vento annuali e stagionali, modellate (a sx) e misurate (a dx) e nella postazione - Bari**

Relativamente alla postazione meteorologica, sita a Bari, si può osservare che il modello ha qualche difficoltà nel riprodurre alcune direttrici del vento. Ciò potrebbe essere dovuto alla risoluzione del modello meteorologico (4km) non adeguata a rappresentare il campo di vento rilevato dalla centralina, posta sulla linea di costa.



**Figura 35– Confronto tra le rose del vento annuali e stagionali, modellate (a sx) e misurate (a dx) e nella postazione DAP – Brindisi**

Per la postazione di Brindisi, ed in modo analogo per le postazioni di Lecce e Foggia considerate successivamente, si rileva una tendenza da parte del modello a sovrastimare la velocità del vento. Come già detto, ciò può dipendere dalla risoluzione spaziale considerata, non adatta a descrivere il campo di vento rilevato in ambito urbano dalla centralina.

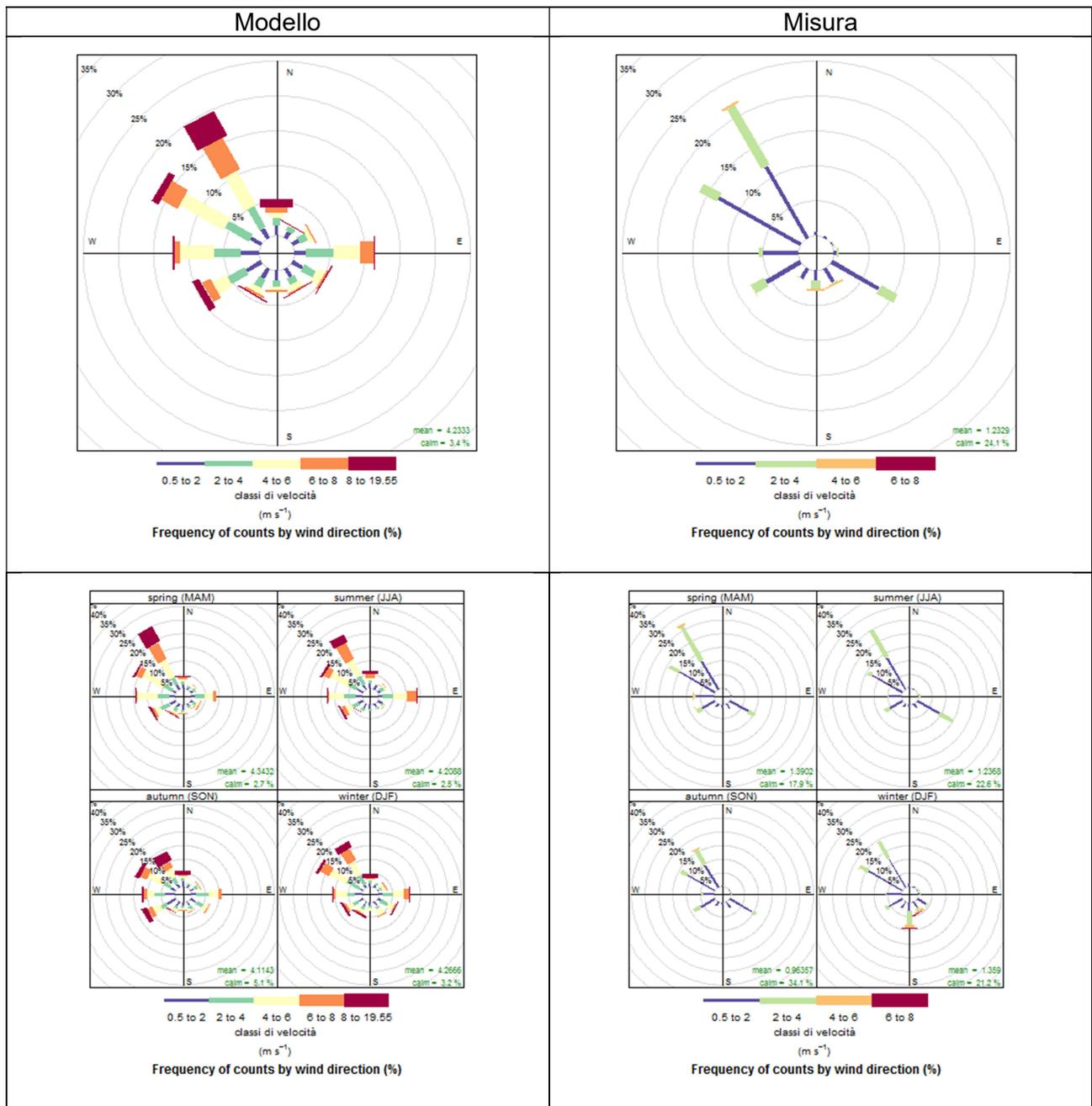


Figura 36 – Confronto tra le rose del vento annuali e stagionali, modellate (a sx) e misurate (a dx) e nella postazione di Foggia

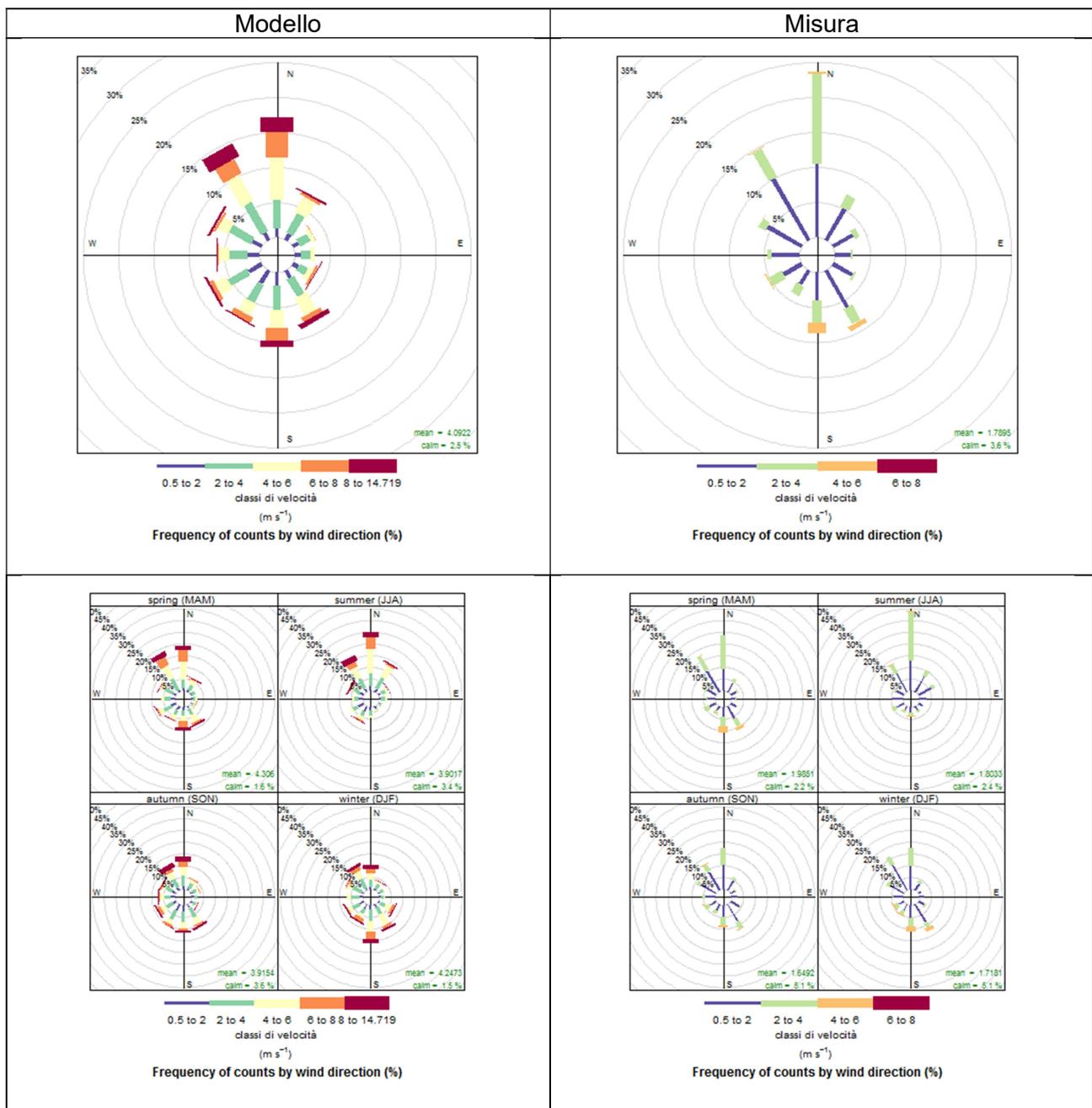


Figura 37 – Confronto tra le rose del vento annuali e stagionali, modellate (a sx) e misurate (a dx) e nella postazione di Lecce

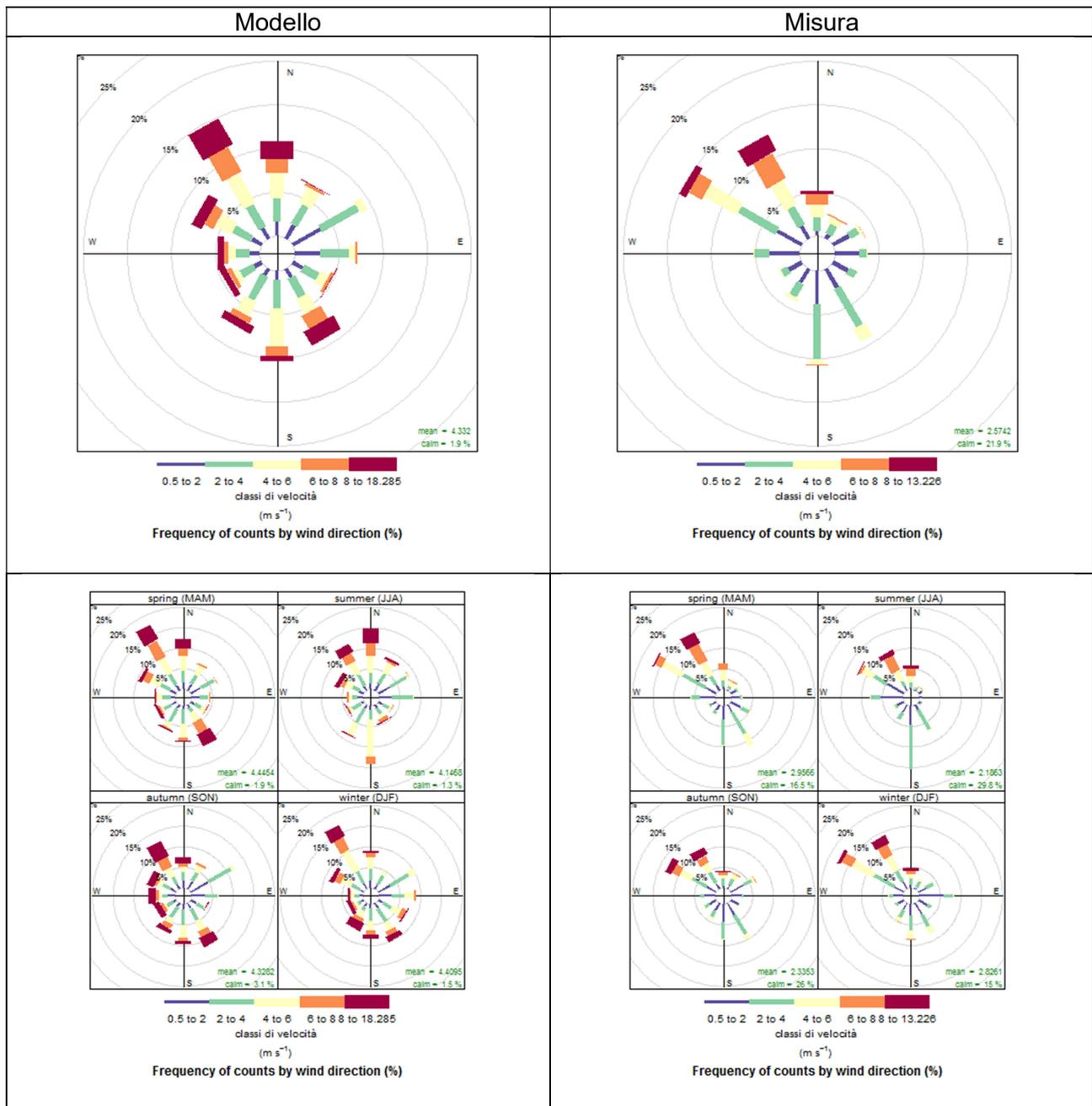


Figura 38 – Confronto tra le rose del vento annuali e stagionali, modellate (a sx) e misurate (a dx) e nella postazione – San Vito - Taranto

Infine, la valutazione dell'abilità del modello nel rappresentare l'intensità del vento è stata anche valutata attraverso il calcolo di alcuni indici statistici, indicati in Tabella 4.

**Tabella 4 – indicatori statistici<sup>7</sup>**

Mean value	$\text{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i) = \bar{M}$
Bias	$\text{BIAS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) = \bar{M} - \bar{O}$
Standard Deviation	$\sigma_o = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}$
Mean Fractional Bias	$\text{MFB} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{M_i - O_i}{\frac{(M_i + O_i)}{2}}$
Root Mean Square Error	$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}$
Normalized Mean Square Error	$\text{NMSE} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\bar{M}\bar{O}}$
Mean Fractional Error	$\text{MFE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{ M_i - O_i }{\frac{(M_i + O_i)}{2}}$

**Tabella 5 – indicatori statistici per la velocità del vento**

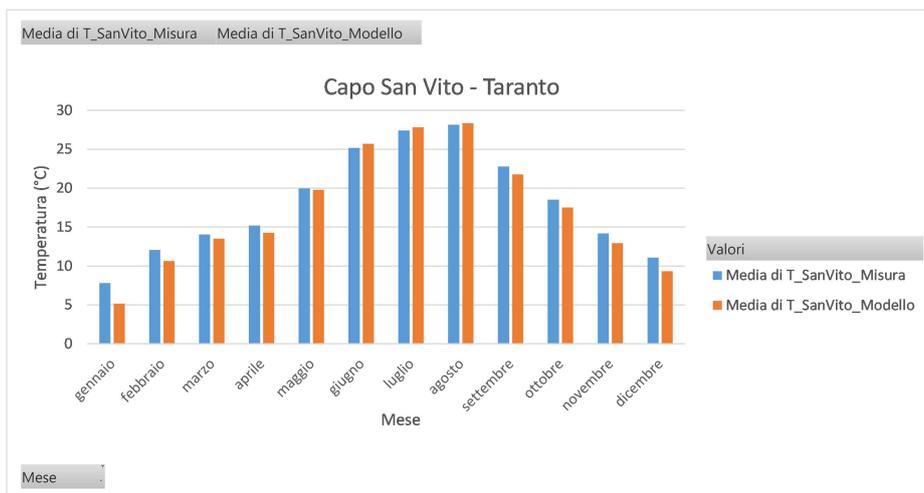
	FOGGIA_VV		LECCE_VV		BRINDISI_VV		BARI_VV		SanVITO_VV	
	obs	mod	obs	mod	obs	mod	obs	mod	obs	mod
<b>media</b>	1.3	4.2	1.8	4.1	1.7	4.6	3.8	4.2	2.6	4.3
<b>Stand.Dev</b>	1.0	2.7	1.0	2.4	1.2	2.6	3.0	2.5	2.4	2.8
<b>Bias</b>	3.0		2.3		2.9		0.4		1.7	
<b>FracBias</b>	1.1		0.8		0.9		0.1		0.5	
<b>RMSE</b>	3.7		2.9		3.5		2.2		2.7	
<b>NMSE</b>	2.6		1.2		1.6		0.3		0.7	
<b>Corr</b>	0.6		0.7		0.7		0.7		0.7	

E' evidente, come già detto, la presenza di un *bias* sempre positivo, a conferma della sovrastima della velocità del vento da parte del modello, il cui valore più basso (pari a 0.4) si rileva per la centralina DAP Bari. Per tutte le postazioni considerate la correlazione tra i dati di vento misurati e modellati è sempre positiva e superiore a 0,50.

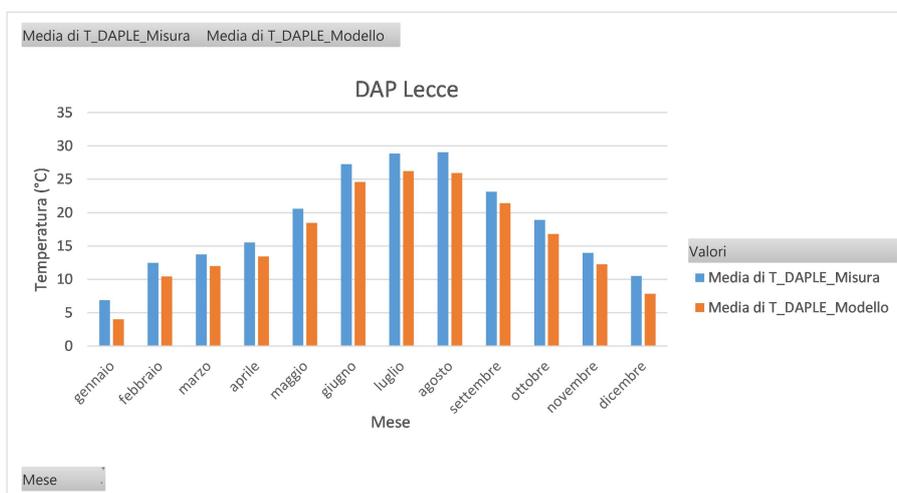
### 3.6.2 Temperatura

Nelle figure successive si confrontano le temperature medie mensili, modellate e misurate, presso le varie postazioni di misura.

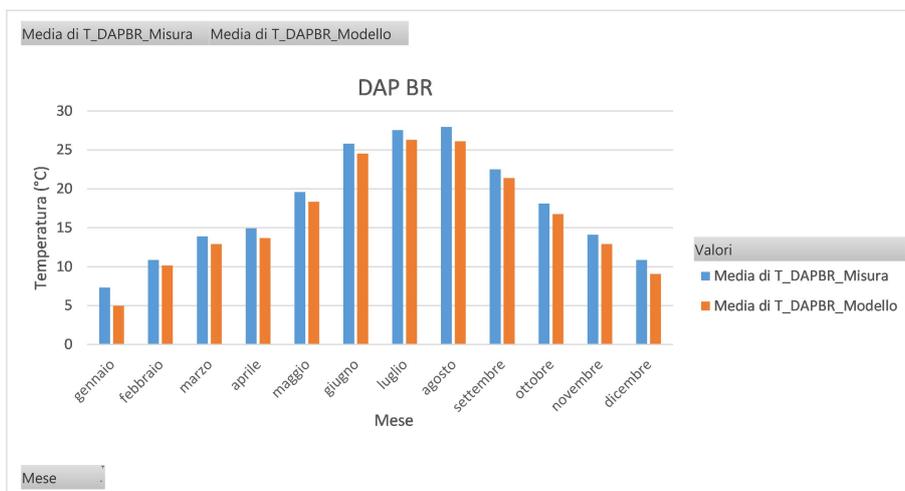
<sup>7</sup> Nelle formule O indica il dato osservato e M il dato modellato.



**Figura 39– Confronto tra le temperature medie mensili modellate e misurate presso Capo San Vito - Taranto**



**Figura 40 – Confronto tra le temperature medie mensili modellate e misurate presso DAP Lecce**



**Figura 41– Confronto tra le temperature medie mensili modellate e misurate presso DAP Brindisi**

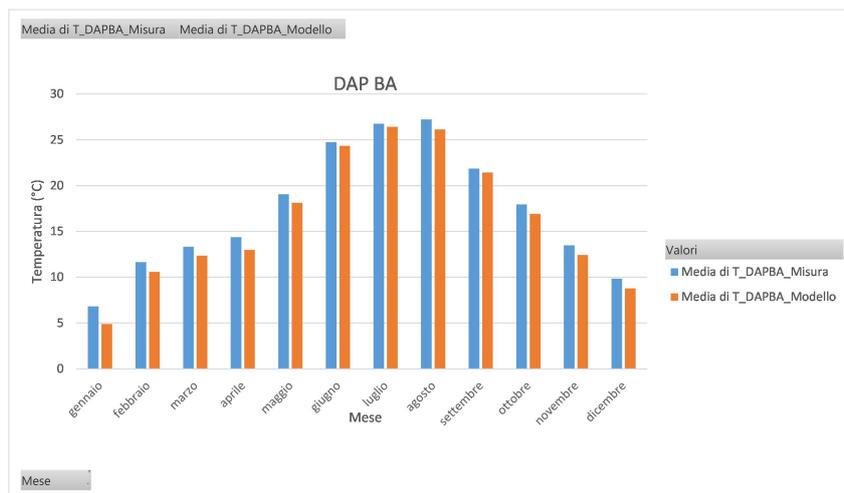


Figura 42 – Confronto tra le temperature medie mensili modellate e misurate presso DAP Bari

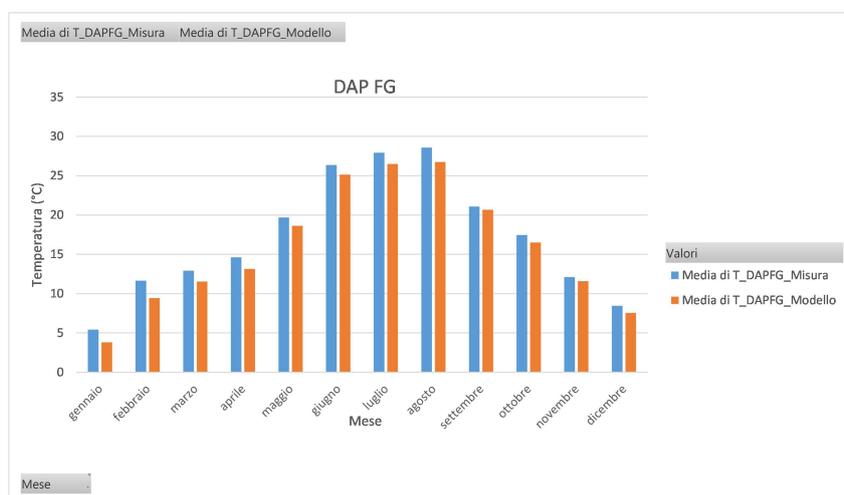


Figura 43– Confronto tra le temperature medie mensili modellate e misurate presso DAP Foggia

Il confronto tra gli andamenti delle temperature medie mensili, modellate e misurate, evidenzia una tendenza del modello a sottostimare i livelli misurati, in particolare nella prima parte dell'anno.

Di seguito si riportano gli indicatori statistici valutati, che confermano quanto già detto.

Tabella 6 - indicatori statistici per la temperatura

FOGGIA_TEMP			LECCE_TEMP			BRINDISI_TEMP			BARI_TEMP			S.VITO_TEMP		
	<i>obs</i>	<i>mod</i>												
<i>media</i>	17.41	16.14	<i>media</i>	19.28	16.98	<i>media</i>	18.00	16.63	<i>media</i>	17.55	16.58	<i>media</i>	18.12	17.33
<i>Stand.Dev</i>	8.36	8.43	<i>Stand.Dev</i>	8.14	8.00	<i>Stand.Dev</i>	7.68	7.73	<i>Stand.Dev</i>	7.27	7.75	<i>Stand.Dev</i>	7.35	7.99
<i>Bias</i>	-1.26		<i>Bias</i>	-2.30		<i>Bias</i>	-1.37		<i>Bias</i>	-0.97		<i>Bias</i>	-0.79	
<i>FracBias</i>	-0.08		<i>FracBias</i>	-0.13		<i>FracBias</i>	-0.08		<i>FracBias</i>	-0.06		<i>FracBias</i>	-0.04	
<i>RMSE</i>	2.52		<i>RMSE</i>	3.07		<i>RMSE</i>	2.46		<i>RMSE</i>	2.27		<i>RMSE</i>	2.49	
<i>NMSE</i>	0.02		<i>NMSE</i>	0.03		<i>NMSE</i>	0.02		<i>NMSE</i>	0.02		<i>NMSE</i>	0.02	
<i>Corr</i>	0.97		<i>Corr</i>	0.97		<i>Corr</i>	0.96		<i>Corr</i>	0.96		<i>Corr</i>	0.96	

### 3.6.3 Precipitazione

Di seguito viene mostrato il confronto tra le precipitazioni cumulate mensili modellate e misurate per ciascuna delle stazioni di monitoraggio.

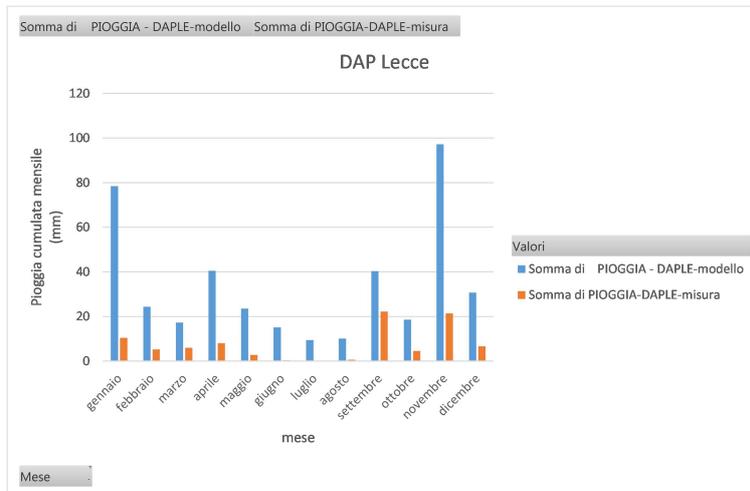


Figura 44 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate a Lecce

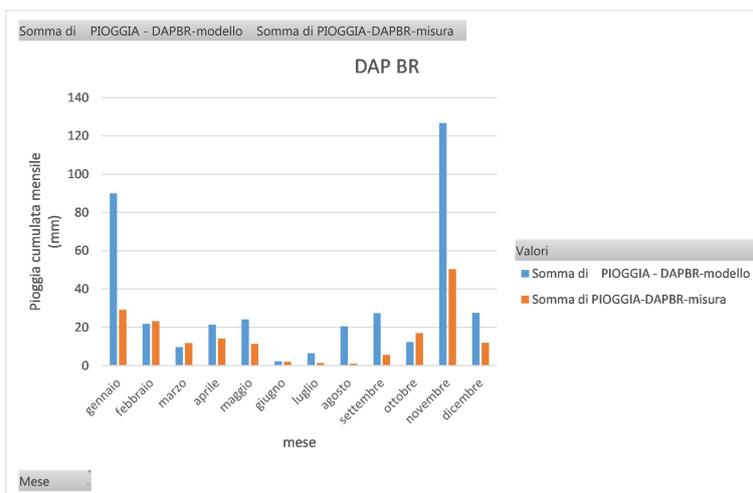


Figura 45 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate a Brindisi

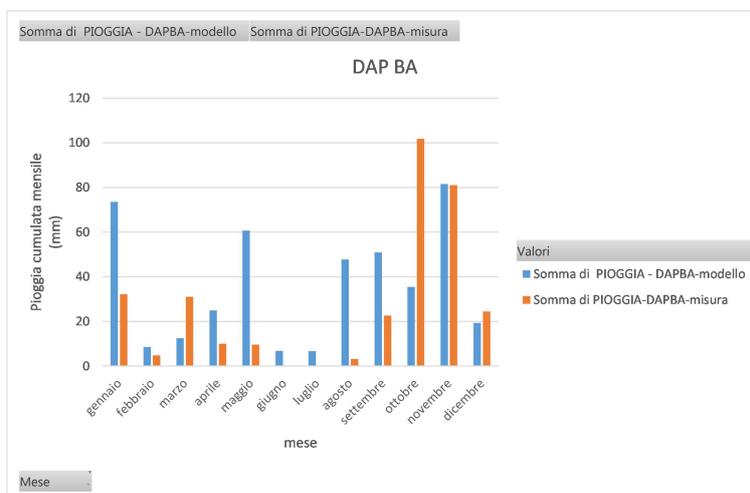
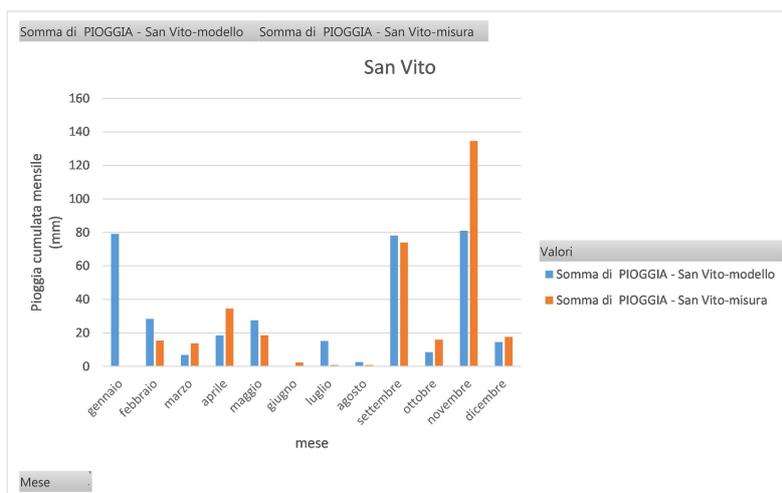


Figura 46 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate a Bari



**Figura 47 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate presso San Vito - Taranto**

## 4. Emissioni

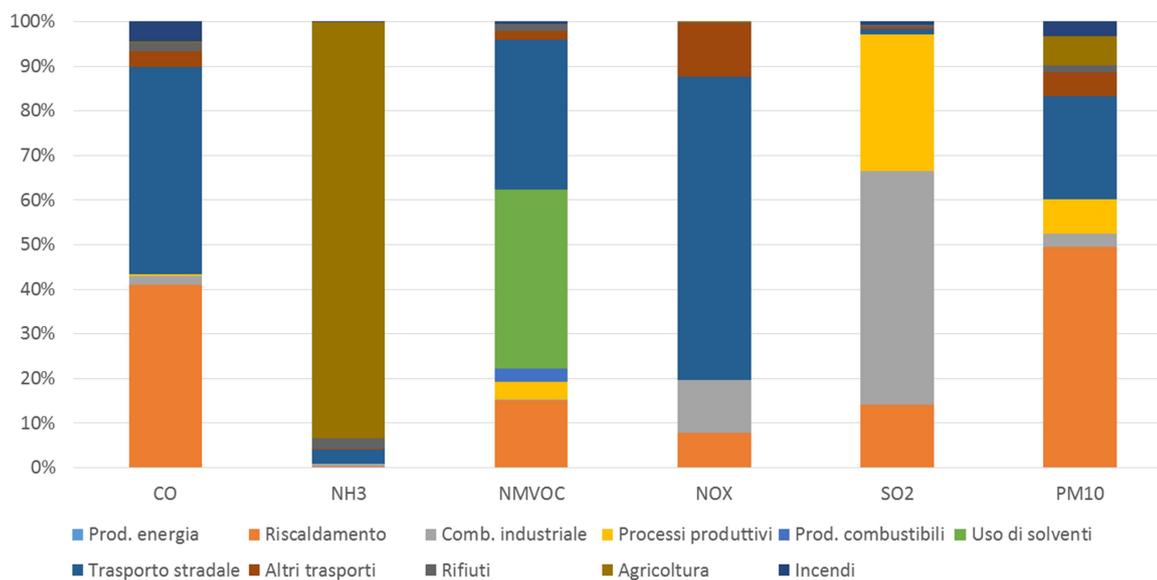
L'input emissivo, che ha alimentato la simulazione modellistica relativa al 2017, è analogo a quello utilizzato per la valutazione modellistica condotta da ARPA per il 2016. Per una descrizione dettagliata di tutte le attività svolte per la ricostruzione dell'input emissivo si rimanda quindi alla relazione "Valutazione modellistica della Qualità dell'Aria nella regione Puglia con focus sul Salento - Anno 2016", pubblicata sul sito di ARPA al seguente link <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>.

### 4.1 Emissioni delle regioni limitrofe

Per ricostruire lo stato della QA sul dominio di simulazione regionale, che si estende (Figura 2) ben oltre i confini della Puglia, è stato opportuno alimentare il modello anche con le emissioni, espresse su base provinciale, dell'inventario nazionale ISPRA relativo all'anno 2010. Relativamente al macrosettore 11 del suddetto database sono state considerate solo le emissioni degli incendi, in quanto le emissioni biogeniche di VOC e le emissioni naturali di aerosol e metalli, di origine terrigena e marina, sono state calcolate su base oraria nel corso della simulazione con specifici moduli (MEGAN e SURFPro). Dall'inventario nazionale ISPRA sono state inoltre acquisite sul suddetto dominio di simulazione le emissioni di particolato di origine antropogenica dovute al risollevarimento da traffico stradale e da attività agricole. Nella Tabella 7 sono mostrati i totali annuali delle emissioni afferenti alle regioni confinanti con la Puglia, suddivisi per macrosettore, il cui peso relativo è mostrato in Figura 48.

**Tabella 7 - Totali emissivi per macrosettore – emissioni diffuse – macroinquinanti (t/anno)**

Macrosettore	CO	NH3	NMVOC	NOX	SO2	PM10
Prod. energia	0	0	0	0	0	0
Riscaldamento	115791	123	16005	6264	676	8561
Comb. industriale	5605	169	197	9385	2503	537
Processi produttivi	660	0	4228	66	1462	1306
Prod. combustibili	0	0	3180	0	0	0
Uso di solventi	0	0	42335	0	0	1
Trasporto stradale	131288	1185	35639	54338	53	4016
Altri trasporti	9855	2	2186	9630	23	942
Rifiuti	5583	900	1526	280	22	252
Agricoltura	855	33365	113	27	0	1142
Incendi	12339	41	483	10	37	562

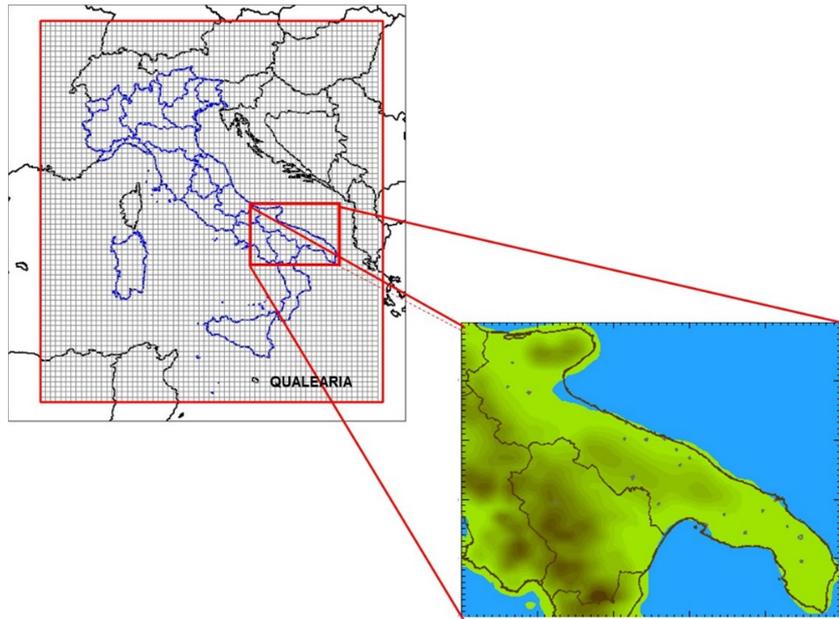


**Figura 48 - Peso relativo dei macrosettori – emissioni diffuse – macroinquinanti**

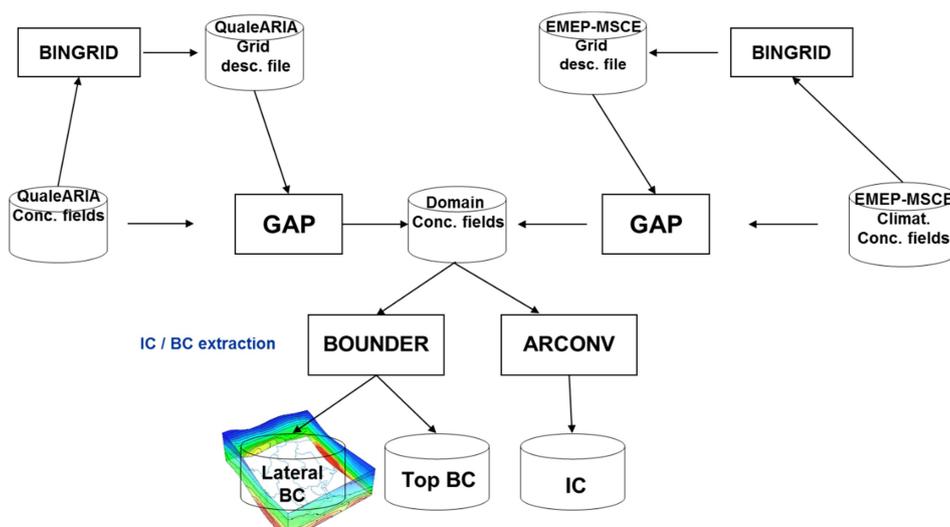
## 5. Condizioni iniziali ed al contorno

Per stimare il flusso di inquinanti che entra nel dominio a risoluzione regionale a 4km, ad 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 omogenea gassosa e particellare (Figura 49), ed EMEP-MSCE, relativamente ai metalli pesanti, diossine e furani. I primi sono riferiti all'anno 2017 e sono disponibili su base temporale trioraria<sup>8</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. I campi prodotti dai due sistemi modellistici sono stati quindi elaborati mediante l'utilizzo di una procedura (schematizzata nella Figura 50) al fine di estrarre le condizioni iniziali ed al contorno (laterali ed al top).



**Figura 49 - Schematizzazione della griglia di calcolo utilizzata dal sistema modellistico Quale Aria e dalla griglia di FARM.**



**Figura 50 - Procedura per la preparazione delle condizioni iniziali ed al contorno.**

<sup>8</sup> Tali campi sono successivamente interpolati su base oraria nel corso della simulazione.

## 6. Valutazione delle performance della simulazione modellistica annuale 2017

Al fine di valutare il grado di accuratezza delle simulazioni modellistiche e quindi la confrontabilità con altri modelli è importante sottoporre gli stessi ad una rigorosa procedura di valutazione della performance. Nell'appendice III del D.Lgs 155/2010 vengono indicati una serie di metodi. Tra questi vi è l'analisi statistica, ovvero il confronto dei risultati della simulazione con le misure effettuate dalle stazioni di monitoraggio, al fine di ricavare una serie di indicatori (indicatori di qualità) che descrivono la capacità del modello di avvicinarsi alle misure.

Di seguito verrà mostrato l'esito della valutazione della performance della simulazione modellistica condotta con FARM per l'anno 2017 su entrambi i domini di simulazione. Tale valutazione è stata condotta con il DELTA TOOL (versione 5.6.1, 2018), un software di analisi statistica, realizzato dal JRC nell'ambito del FAIRMODE per valutare la performance del modello in applicazioni specifiche, condotte proprio ai sensi del D.Lgs 155/2010. Tale software è ampiamente utilizzato dalla comunità scientifica e dalle ARPA ed è considerato uno strumento di validazione di riferimento per i modelli di dispersione.

Sebbene gli indicatori statistici (RMSE, CORR, FB, ecc.) forniscano una indicazione delle performance del modello, essi non dicono nulla sul livello globale di qualità dei risultati del modello rispetto ad una data applicazione. Per questo motivo nel DELTA TOOL è definito un criterio di performance del modello (MQO) quale livello minimo di qualità che deve essere raggiunto dal modello per *policy use*.

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 (MQO) nel DELTA TOOL si raggiunge se l'indicatore di qualità del modello (MQI) definito come:

$$MQI = \frac{1}{\beta} \frac{RMSE}{RMS_U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}}{\beta RMS_U}, \quad (1) \text{ risulta } \leq 1 \text{ per almeno il 90\% delle stazioni disponibili.}$$

Per una data centralina RMSE è la radice dell'errore quadratico medio tra i dati osservati  $O_i$  e i dati modellati  $M_i$ , definita come:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - M_i)^2}, \quad (2)$$

$RMS_U$  è l'incertezza delle misure, definita come:

$$RMS_U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_{95}(O_i))^2} = U_{95,r}^{RV} \sqrt{(1 - \alpha^2)(\bar{O}^2 + \sigma_O^2) + \alpha^2 RV^2}, \quad (3)$$

e  $\beta$  è uguale a 2.

Nel calcolo dell' $RMS_U$ ,  $\bar{O}$  è la media della serie temporale delle misure e  $\sigma_O$  è la deviazione standard delle misure. Il coefficiente  $U_{95,r}^{RV}$  rappresenta l'incertezza relativa delle misure stimata attorno al valore limite di riferimento (RV, es. valore limite giornaliero/orario come definito nella AQD) mentre  $\alpha^2$  rappresenta la frazione di incertezza attorno al valore limite RV non proporzionale ai livelli di concentrazione. Questi coefficienti sono stati stimati per ogni specie inquinante nei lavori di Pernigotti et al. (2013) e Thunis et al. (2012).

Come già detto ed indicato nell'Appendice 3 del D.Lgs 155/2010, l'MQO deve essere soddisfatto per almeno il 90% delle stazioni disponibili. L'implementazione di questo approccio nel DELTA TOOL consiste nel calcolare l'MQI associato ad ogni stazione, ordinare i valori ottenuti in senso crescente e calcolare il 90° percentile secondo la seguente interpolazione lineare:

$$MQI_{90\%perc} = MQI(stat_{90}) + [MQI(stat_{90} + 1) - MQI(stat_{90})] * dist \quad (4)$$

dove

$$stat_{90} = int(numero\ stazioni * 0.9)$$

$$dist = [numero\ stazioni * 0.9 - int(numero\ stazioni * 0.9)]$$

L'MQO è quindi espresso come  $MQI_{90\%perc} \leq 1$ .

Nel DELTA TOOL viene inoltre calcolato l'MQO su base annuale, ottenuto normalizzando il bias tra la concentrazione media annua osservata e modellata con l'incertezza della concentrazione media misurata (Pernigotti et al. 2013).

Una caratteristica dell'MQI è che gli errori associati al BIAS, alla deviazione standard dei dati modellati  $\sigma_M$  e alla correlazione R sono condensati in un singolo numero e sono collegati mediante la seguente relazione:

$$MQI^2 = \frac{RMSE^2}{(\beta RMS_U)^2} = \frac{BIAS^2}{(\beta RMS_U)^2} + \frac{(\sigma_M - \sigma_O)^2}{(\beta RMS_U)^2} + \frac{2\sigma_M\sigma_O(1-R)}{(\beta RMS_U)^2} \quad (5)$$

Ipotizzando casi ideali in cui, a coppie, due di questi indicatori risultano perfetti (p.e.  $R=1$  e  $\sigma_M = \sigma_O$ ), possono essere ricavati criteri di performance (MPI) per ognuno di questi tre indicatori. Il vantaggio di questo approccio è che mentre l'MQI, basato sul RMSE, fornisce una panoramica generale sulla performance del modello, gli indicatori relativi al bias, alla deviazione standard e alla correlazione possono essere utilizzati per mettere in evidenza quali aspetti migliorare al fine di migliorare le performance del modello.

Nel DELTA TOOL il criterio di performance del modello (MQO) è attivato solo per  $O_3$  (relativamente alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore),  $NO_2$  (relativamente alla concentrazione oraria),  $PM_{10}$  (relativamente alla concentrazione media giornaliera) e  $PM_{2.5}$  (relativamente alla concentrazione media giornaliera) sull'anno. Per l' $O_3$  il criterio di performance è fornito anche sul periodo estivo.

Il DELTA TOOL consente di visualizzare l'MQO su un diagramma specifico, denominato *target plot*, i cui assi X e Y rappresentano rispettivamente il CRMSE (*centered root mean square error*, somma del secondo e terzo termine a destra dell'eq. 5) ed il BIAS (primo termine a destra dell'equazione 5), normalizzati rispetto all'incertezza delle osservazioni. L'area colorata in verde identifica il raggiungimento del criterio di performance per almeno il 90% delle stazioni. L' $MQI_{90\%perc}$  è indicato in alto a sinistra del diagramma (MQI\_HD), insieme al MQO annuale (MQI\_YR). L'asse negativo e positivo delle ordinate identificano rispettivamente un bias negativo e positivo, mentre le zone a sinistra e a destra dell'asse Y identificano gli errori dominati rispettivamente dalla correlazione o dalla deviazione standard, secondo il rapporto, derivato dall'equazione 5:

$$\frac{(\sigma_M - \sigma_O)}{\sqrt{2\sigma_M\sigma_O(1-R)}} \begin{cases} > 1 \text{ SD dominates on R} \\ < 1 \text{ R dominates on SD} \end{cases}$$

Di seguito si riportano quindi i risultati del confronto in termini di *scatter plot* e *target 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.

Riguardo alle stazioni di monitoraggio da considerare nel confronto, è importante osservare che nella stessa appendice del D.Lgs 155/2010 si precisa l'opportunità di considerare solo le centraline la cui rappresentatività risulti almeno confrontabile con la risoluzione spaziale adottata dal modello, poiché il modello non può essere in grado di riprodurre fenomeni che avvengono a scale inferiori alla risoluzione spaziale adottata.

Si evidenzia, 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.

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

## 6.1 Dominio di simulazione “Regione Puglia”

Di seguito si mostrano i risultati delle elaborazioni condotte con il DELTA TOOL per tutti gli inquinanti normati sul dominio di simulazione a 4km di risoluzione, comprendente l'intero territorio regionale.

A tale risoluzione è opportuno osservare che situazioni di inquinamento locale o *hotspot*, quali ad esempio quelle dovute al traffico di prossimità o a emissioni locali (ad esempio incroci, parcheggi, carico/scarico materiale, combustione locale da biomassa), possono essere difficilmente riproducibili dal modello, se prodotte localmente o anche da aree con un'estensione inferiore a 4km\*4km. In questi casi, infatti, tali emissioni vengono diluite sull'intero volume di cella, provocando un impatto mediato sullo stato della QA nella cella corrispondente.

La variabilità del numero di stazioni valide per ogni inquinante considerato è legata non solo al raggiungimento del 75% di dati validi, ma anche alla scelta legata alla rappresentatività della centralina rispetto alla risoluzione di 4km: per esempio, per tale risoluzione una centralina può ben rappresentare i valori di ozono, ma non essere rappresentativa per quelli di NO<sub>2</sub>.

La Figura 51 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* per il PM<sub>10</sub>. Ogni punto dello scatter plot e target plot rappresenta una centralina di monitoraggio. Nello *scatter plot* le linee continue e tratteggiate rappresentano rispettivamente il rapporto RMSE/2RMSU pari rispettivamente a 1 e 0.5. In particolare l'*appartenenza* di una centralina alla zona arancione indica il soddisfacimento dell'MQI con un errore che risulta dominato da uno dei tre indicatori (bias, deviazione standard e correlazione) della equazione (5). Si precisa inoltre che l'uso di analoghi colori per i simboli associati alle diverse centraline indica l'appartenenza di queste ad una stessa provincia.

Il confronto nello *scatter plot* per il PM10 tra le concentrazioni medie annuali, misurate e modellate, risulta soddisfacente. E' possibile osservare che in tutte le postazioni il modello sottostima il dato misurato. Il *target plot* mostra, d'altro canto, che l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni (indicato in alto a sinistra del diagramma) risulta maggiore di 1, non soddisfacendo l'obiettivo di qualità.

Le centraline che non soddisfano l'obiettivo di qualità (ovvero che si trovano al di fuori dell'area verde del target plot) sono Torchiarolo, San Pietro Vernotico, Casamassima e Bitonto EN1<sup>9</sup>: per le prime due l'errore risulta associato alla deviazione standard, per le altre alla correlazione.

La Figura 52 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* per il PM<sub>2,5</sub>, quest'ultimo elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline pari a 8. Il confronto per il PM<sub>2,5</sub> tra le concentrazioni medie annuali osservate e modellate risulta soddisfacente. In tutte le postazioni il modello sottostima leggermente il dato misurato. Il target plot mostra che l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni risulta minore di 1, soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità.

Per quanto riguarda l'NO<sub>2</sub> la Figura 53 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline pari a 23. Tali grafici evidenziano la capacità del sistema modellistico a riprodurre con un buon livello di accuratezza le concentrazioni misurate.

Per quanto riguarda l'ozono le Figure 54 e 55 mostrano lo *scatter plot* e il *target plot* elaborato dal DELTA TOOL e riferito alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore

---

<sup>9</sup> In particolare per le centraline Torchiarolo e San Pietro Vernotico il modello ha difficoltà a ricostruire le concentrazioni di PM10 rilevate nel periodo invernale (probabilmente dovuta ad una non corretta stima o rappresentazione della distribuzione spaziale delle emissioni dovute al riscaldamento residenziale). Per tutte le altre il modello mostra una tendenza generale su tutto l'anno alla sottostima.

relativamente sia al periodo annuale che al solo periodo estivo. I grafici elaborati sia sull'anno che sul solo periodo estivo evidenziano come il modello soddisfi il criterio MQO di performance.

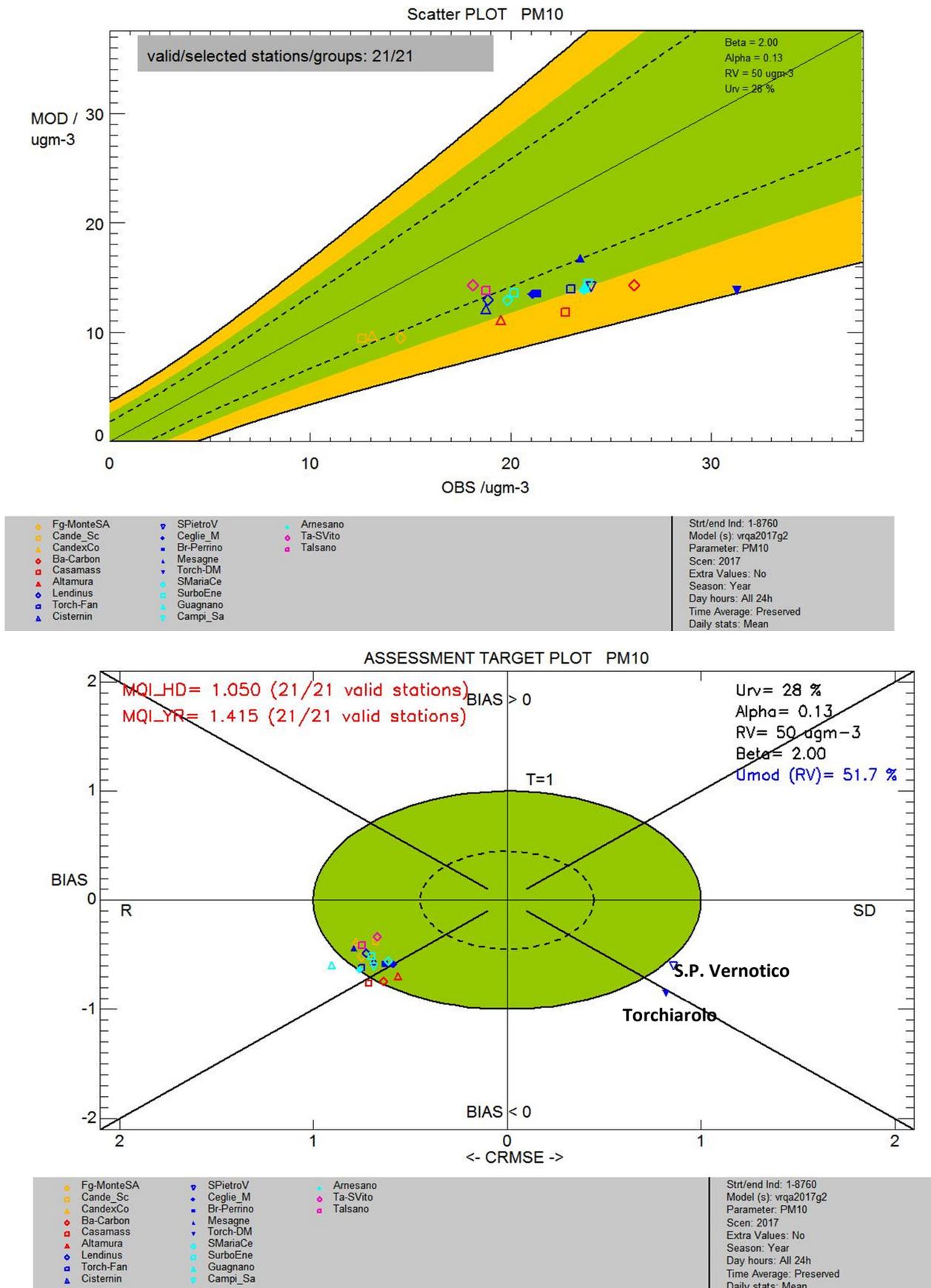


Figura 51: Scatter plot e target plot relativo al  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sul dominio della Puglia.

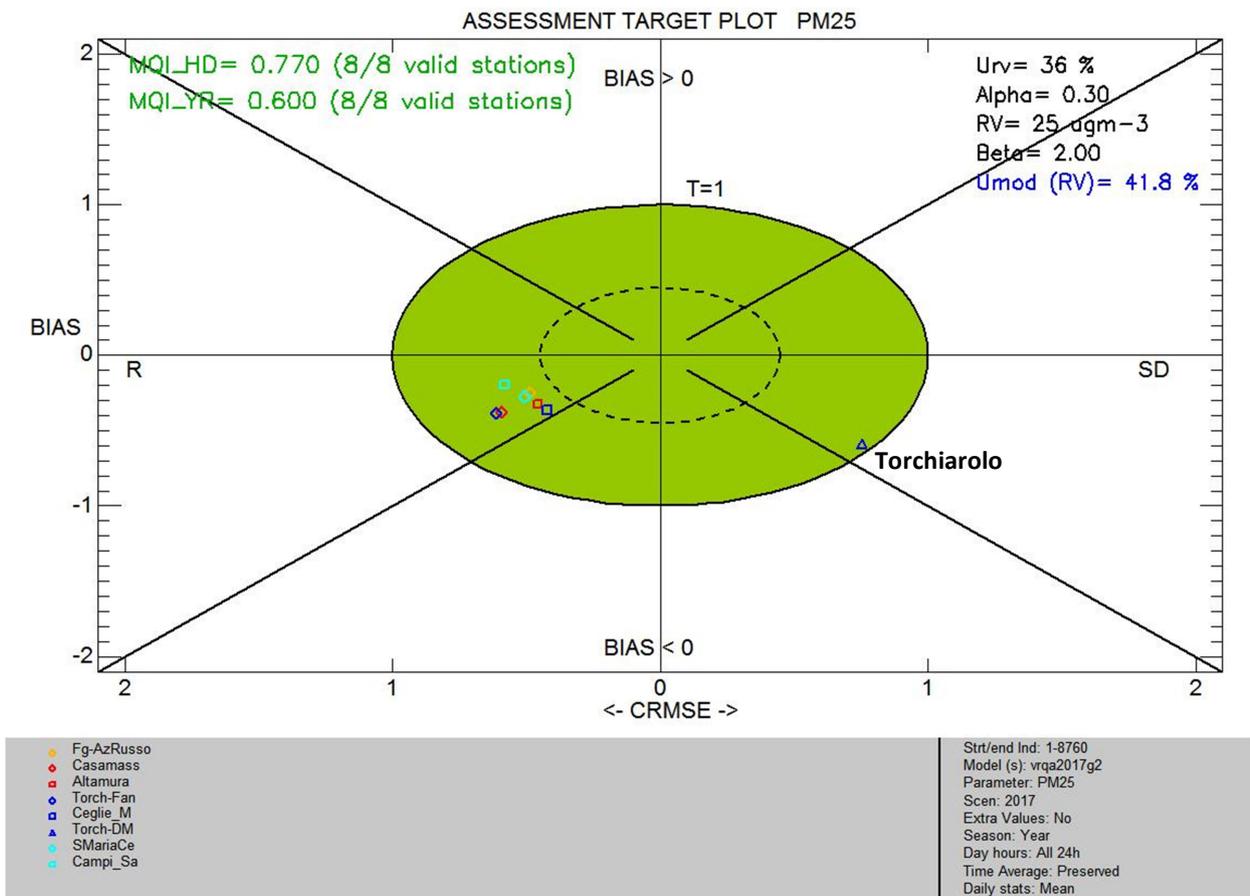
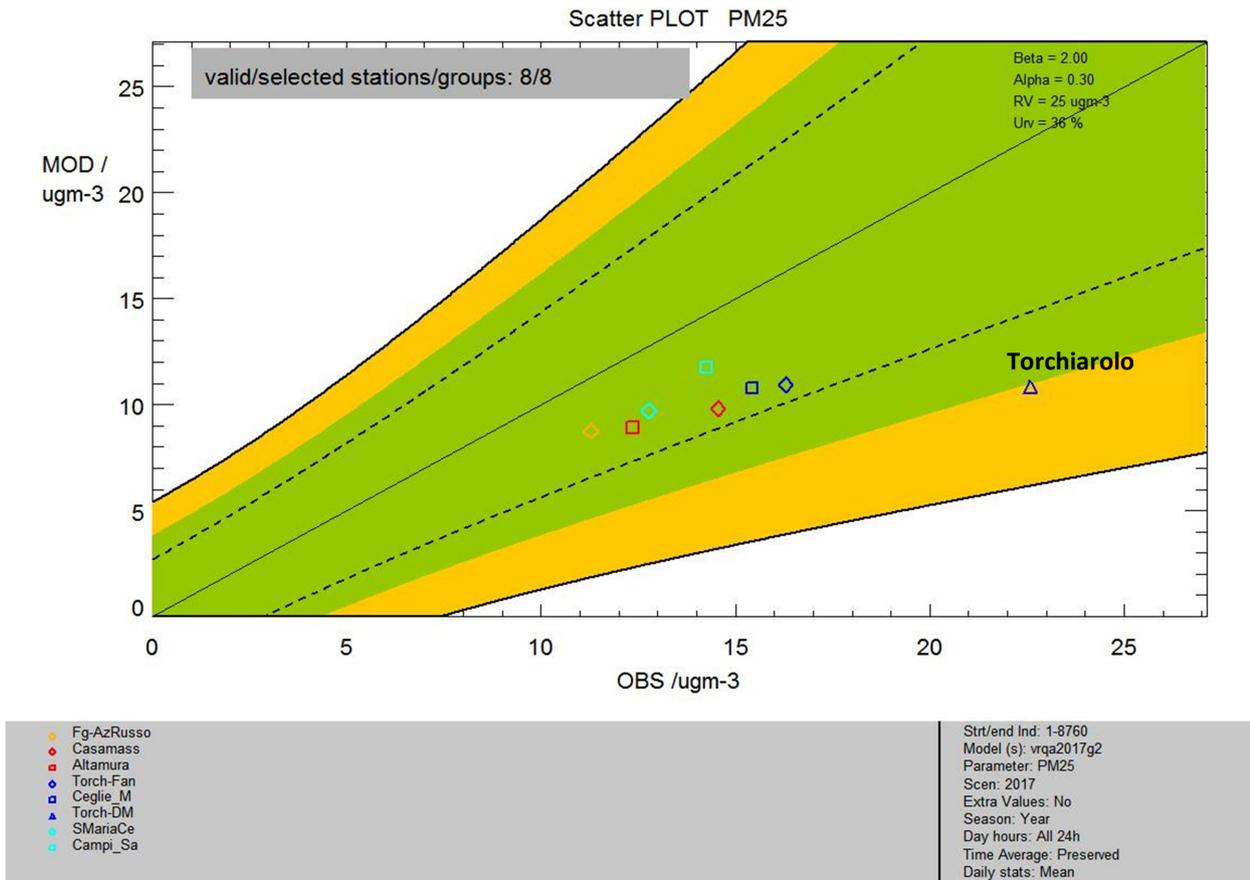


Figura 52: Scatter plot e Target plot relativo al  $PM_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sul dominio della Puglia.

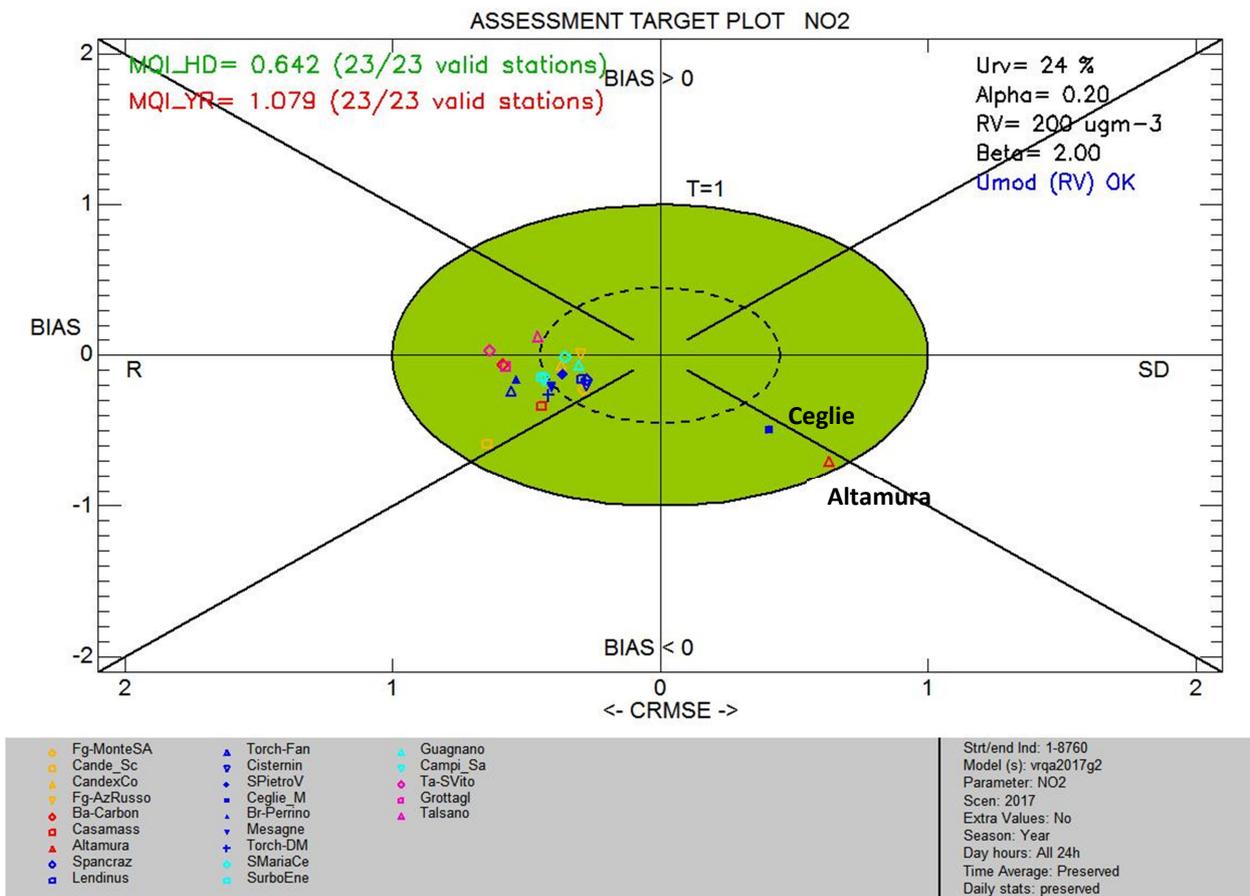
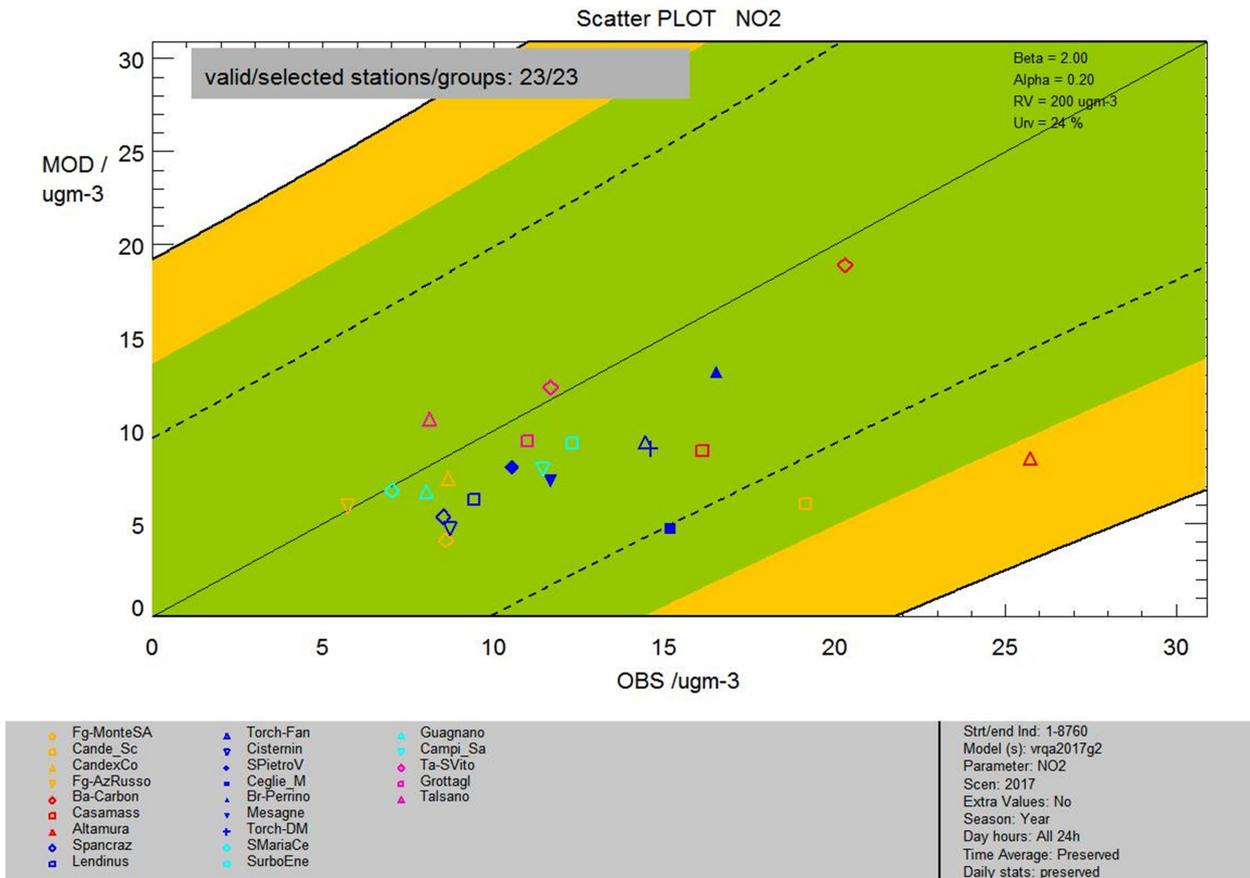
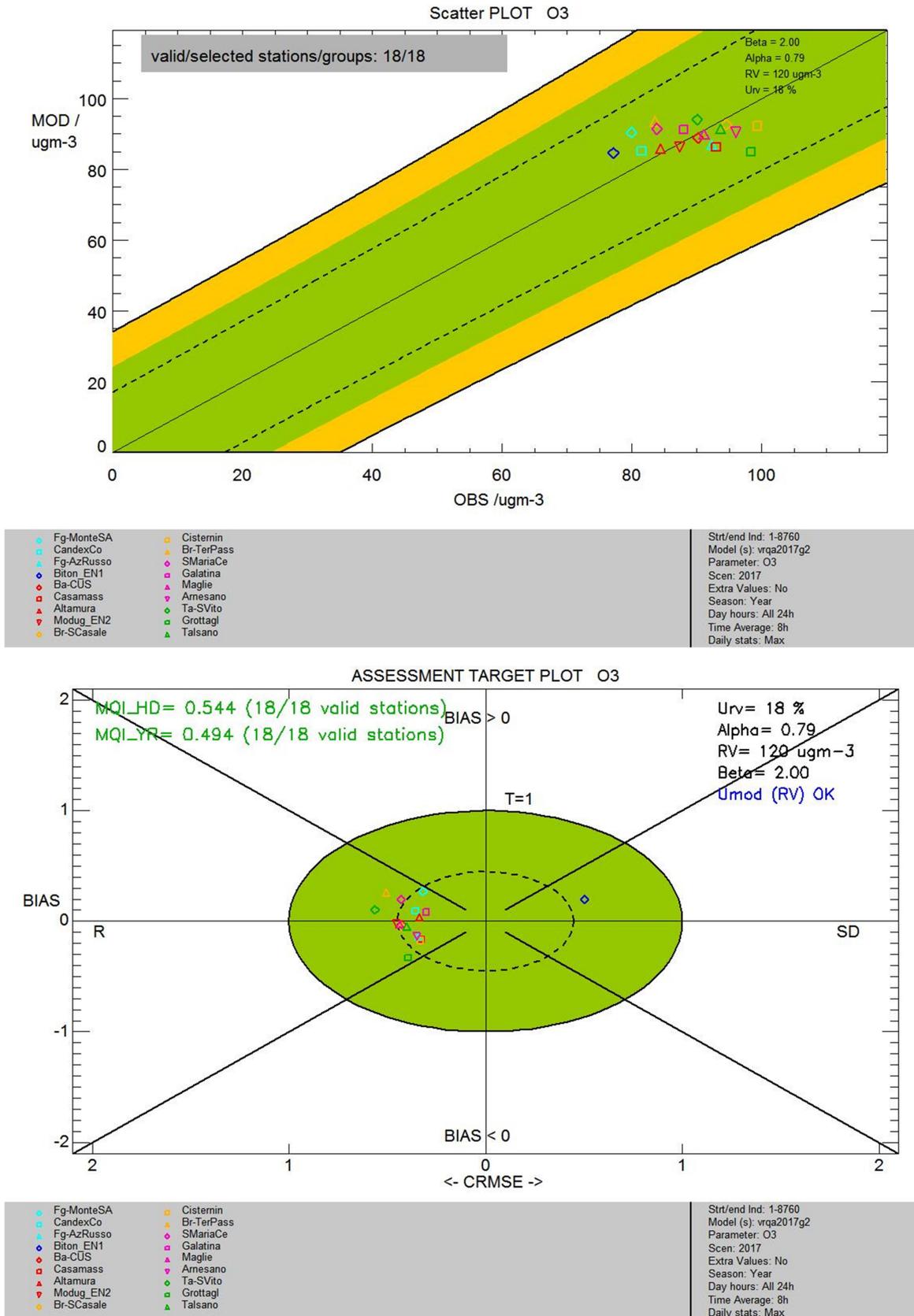


Figura 53: Scatter plot e target plot relativo all'NO2 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sul dominio della Puglia.



**Figura 54: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) relativi all'anno sul dominio della Puglia.**

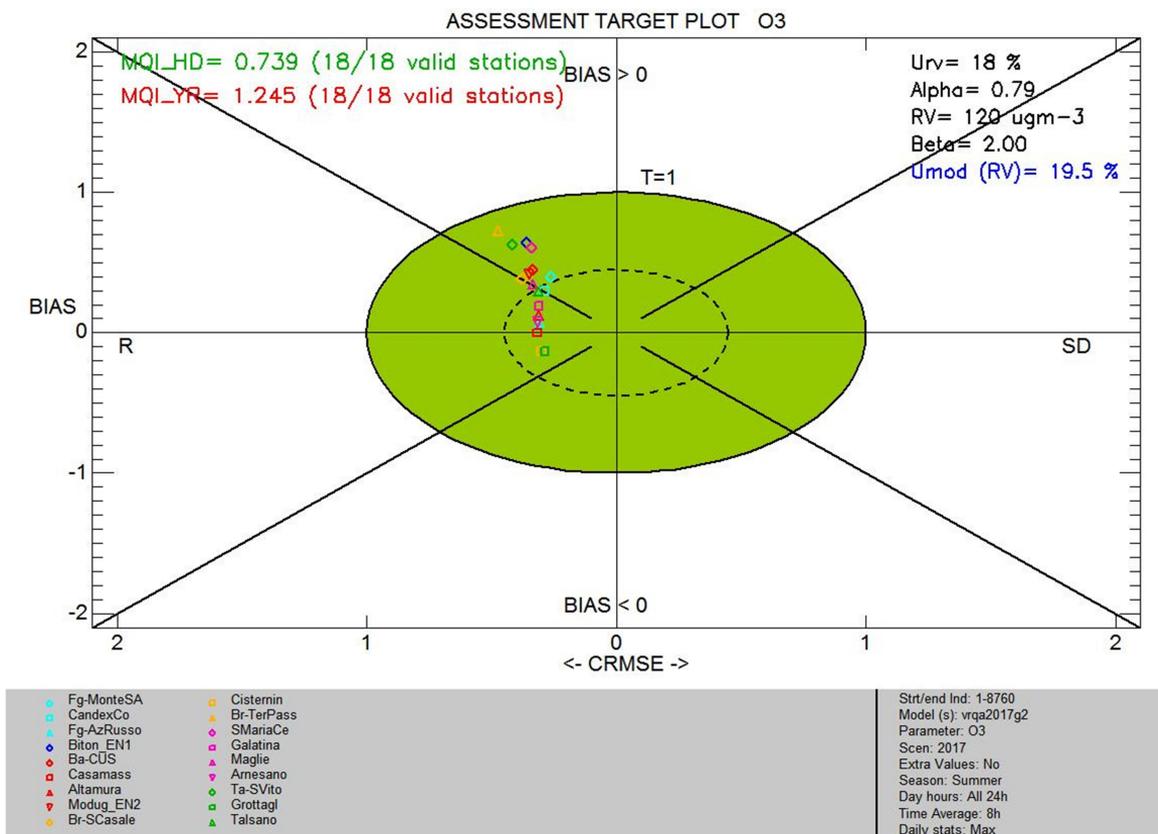
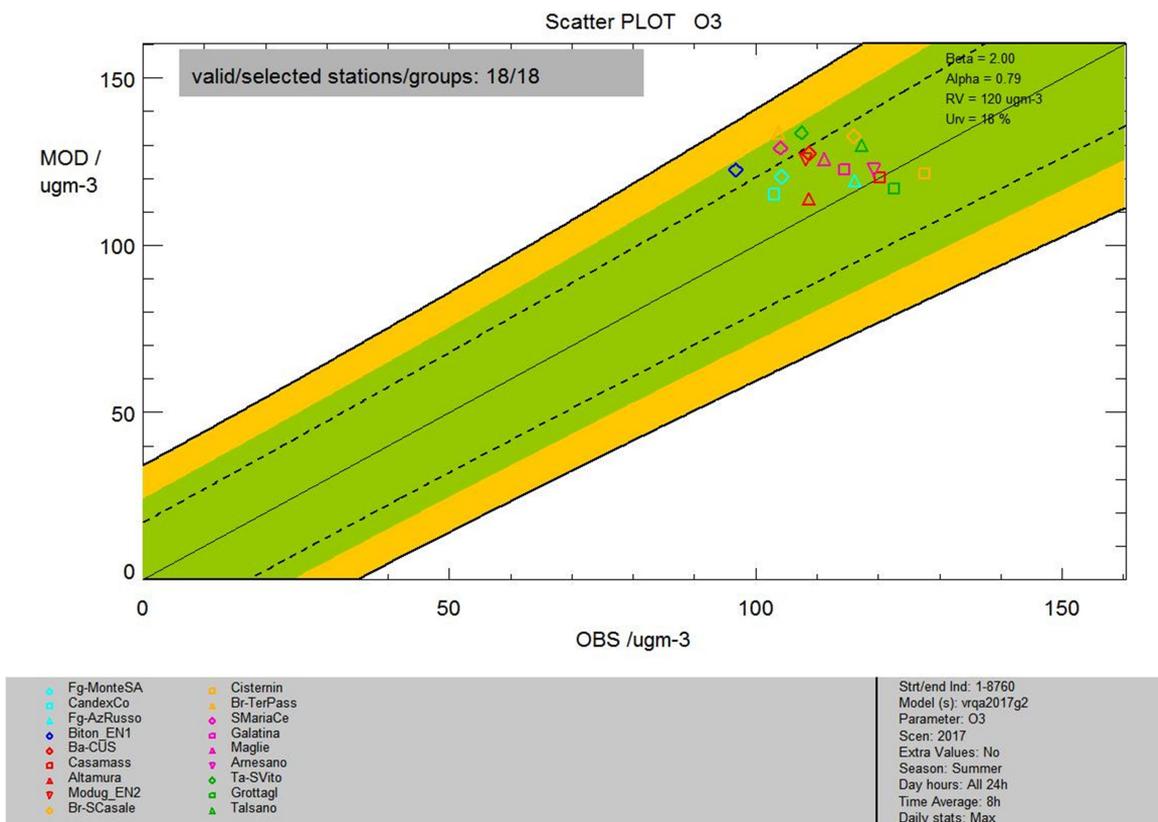
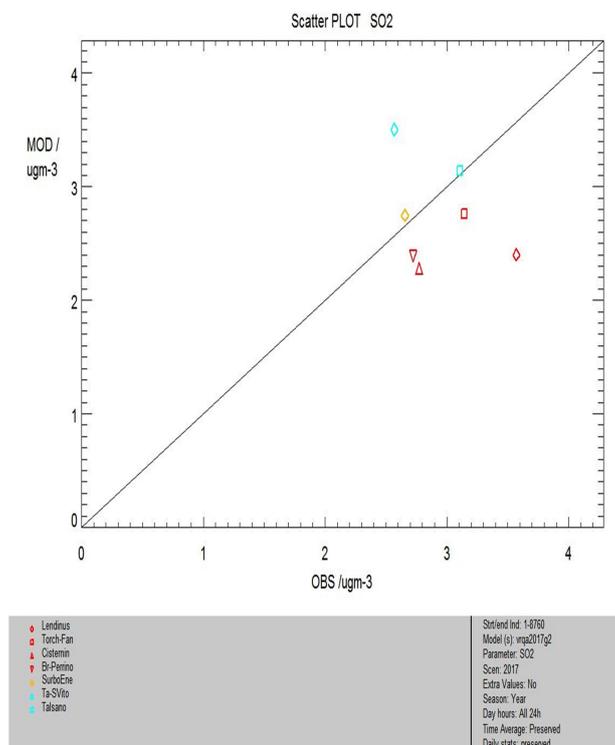


Figura 55: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O3 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) per la sola stagione estiva (G-L-A) sul dominio della Puglia.

Per le altre specie normate il DELTA TOOL non prevede il soddisfacimento di alcun criterio di qualità.

Di seguito si mostrano i relativi scatter plot.

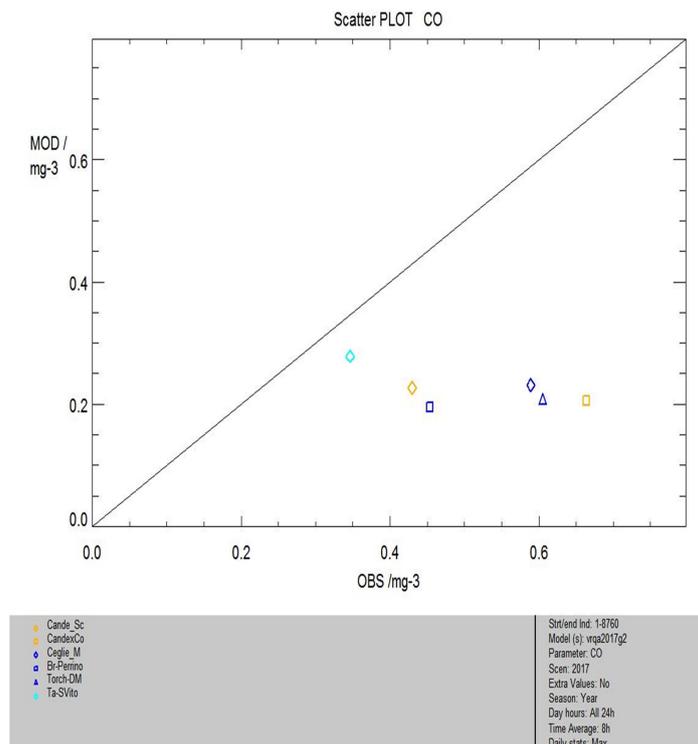
Per la specie SO<sub>2</sub> il confronto è in generale soddisfacente (Figura 56).



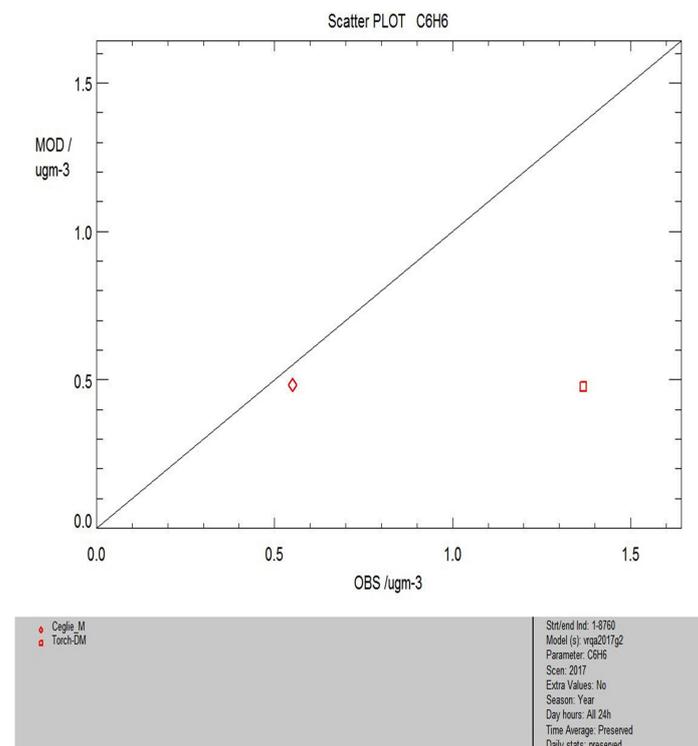
**Figura 56: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sul dominio della Puglia**

Per quanto riguarda il monossido di carbonio, dal relativo *scatter plot* (Figura 57) risulta evidente una sottostima generale del dato misurato. Tale sottostima è attribuibile potenzialmente a vari fattori (non corretta stima delle emissioni, presenza di sorgenti emissive locali, la cui emissione è diluita sull'intero volume di cella, ecc.). Non si esclude, d'altro canto, per alcune postazioni di monitoraggio la presenza di anomalie sperimentali.

Relativamente al benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), lo *scatter plot* (Figura 58) mostra una buona riproduzione del dato misurato nelle postazioni di Ceglie Messapica, mentre una decisa sottostima a Torchiarolo, probabilmente a causa di una sottostima delle emissioni legate rispettivamente al riscaldamento domestico e traffico stradale.



**Figura 57: Scatter plot di confronto tra i massimi annuali delle concentrazioni medie mobili su 8 ore misurate e modellate di CO (mg/m<sup>3</sup>) sul dominio della Puglia**



**Figura 58: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sul dominio della Puglia**

## Dominio di simulazione “Salento”

Di seguito si mostrano i risultati delle elaborazioni condotte con il DELTA TOOL per tutti gli inquinanti normati sul dominio di simulazione a 1km di risoluzione, comprendente le province di Brindisi, Lecce e Taranto.

La Figura 59 mostra lo scatter plot ed il target plot per il  $PM_{10}$  sul dominio del Salento. Il confronto nello scatter plot tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate risulta soddisfacente. Come per la griglia a 4km, anche sul dominio ad 1km si osserva una tendenza del modello a sottostimare leggermente i livelli di concentrazione di  $PM_{10}$ . Il target plot mostra inoltre che l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni (indicato in alto a sinistra del diagramma) risulta maggiore di 1, non soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità<sup>10</sup>.

La Figura 60 mostra lo scatter plot e il target plot per il  $PM_{2.5}$  elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline pari a 16. Il confronto nello scatter plot per il  $PM_{2.5}$  tra le concentrazioni medie annuali osservate e modellate risulta soddisfacente. Il target plot mostra che

l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni risulta minore di 1, soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità.

Per quanto riguarda l' $NO_2$  la Figura 61 mostra lo scatter plot e il target plot elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline pari a 36. Tali grafici evidenziano la capacità del

sistema modellistico a riprodurre con un buon livello di accuratezza le concentrazioni misurate.

I confronti sull' $O_3$  sia per l'intero anno (Figura 62) che per il solo periodo estivo (Figura 63) mostrano la buona capacità del modello di riprodurre tale inquinante. In analogia a quanto osservato sul dominio regionale, anche nel dominio relativo al Salento si rileva una tendenza del modello a sovrastimare le concentrazioni modellate nel periodo estivo. L'obiettivo di qualità viene comunque raggiunto in entrambi i periodi temporali.

---

<sup>10</sup> Le centraline, in corrispondenza delle quali l'MQI è maggiore di 1, sono Ceglie M., Mesagne, Massafra, Guagnano e Torchiarolo Don Minzoni. Per queste centraline, tranne Massafra influenzata dalle emissioni di un cantiere posto nelle vicinanze, si rileva il miglioramento del modello, rispetto a quanto già rilevato per la griglia regionale, a ricostruire le concentrazioni di  $PM_{10}$  nel periodo invernale. Ciò ad evidenziare l'importanza della risoluzione spaziale che consente di rappresentare in modo più realistico la distribuzione delle emissioni da riscaldamento residenziale. D'altro canto nel periodo estivo il modello ha maggiore difficoltà a ricostruire l'andamento e l'entità delle concentrazioni misurate (ciò potrebbe essere dovuto ad una rappresentazione non esaustiva di tutte le sorgenti emissive).

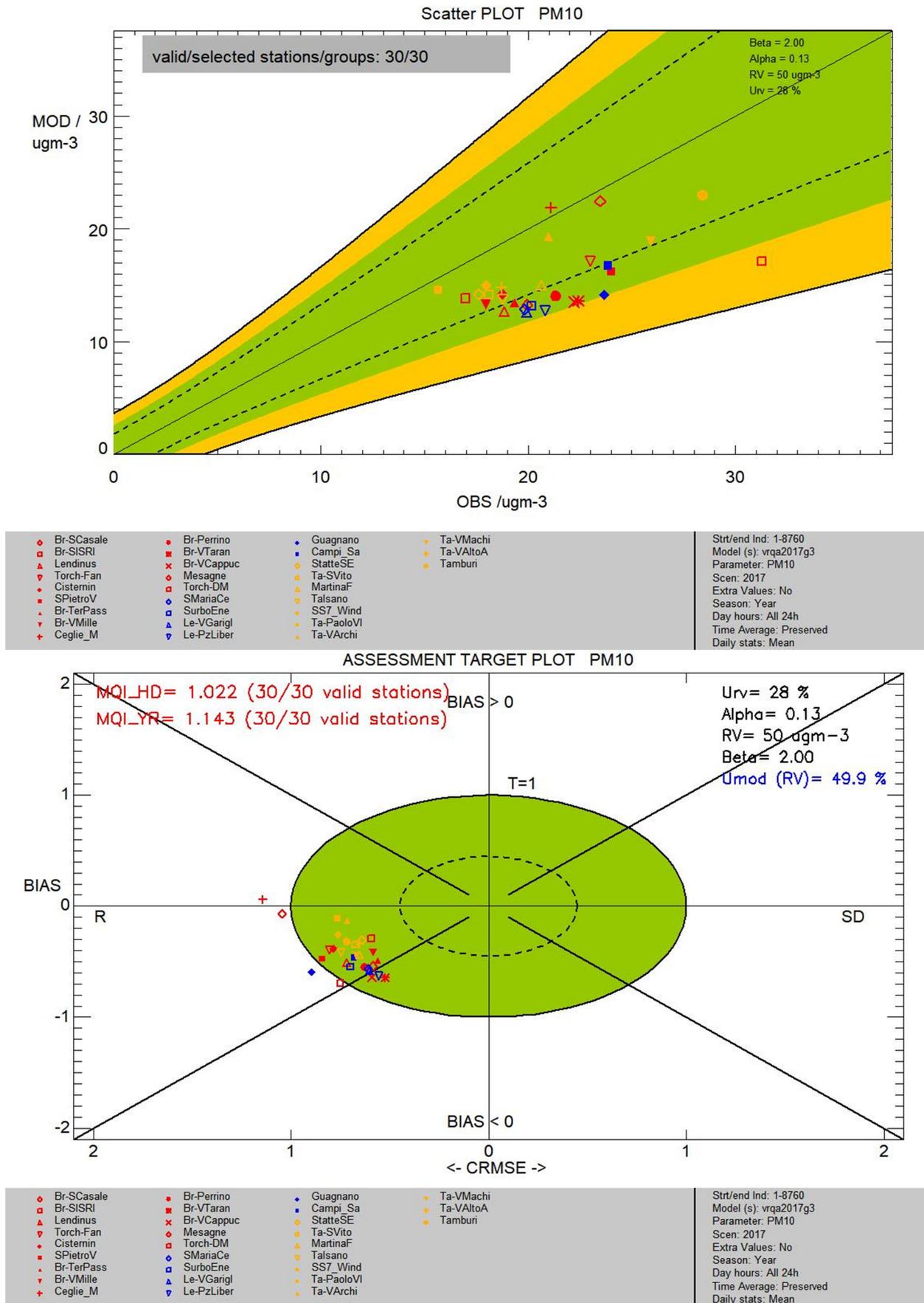


Figura 59: Scatter plot e target plot relativo al PM<sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla griglia del Salento.

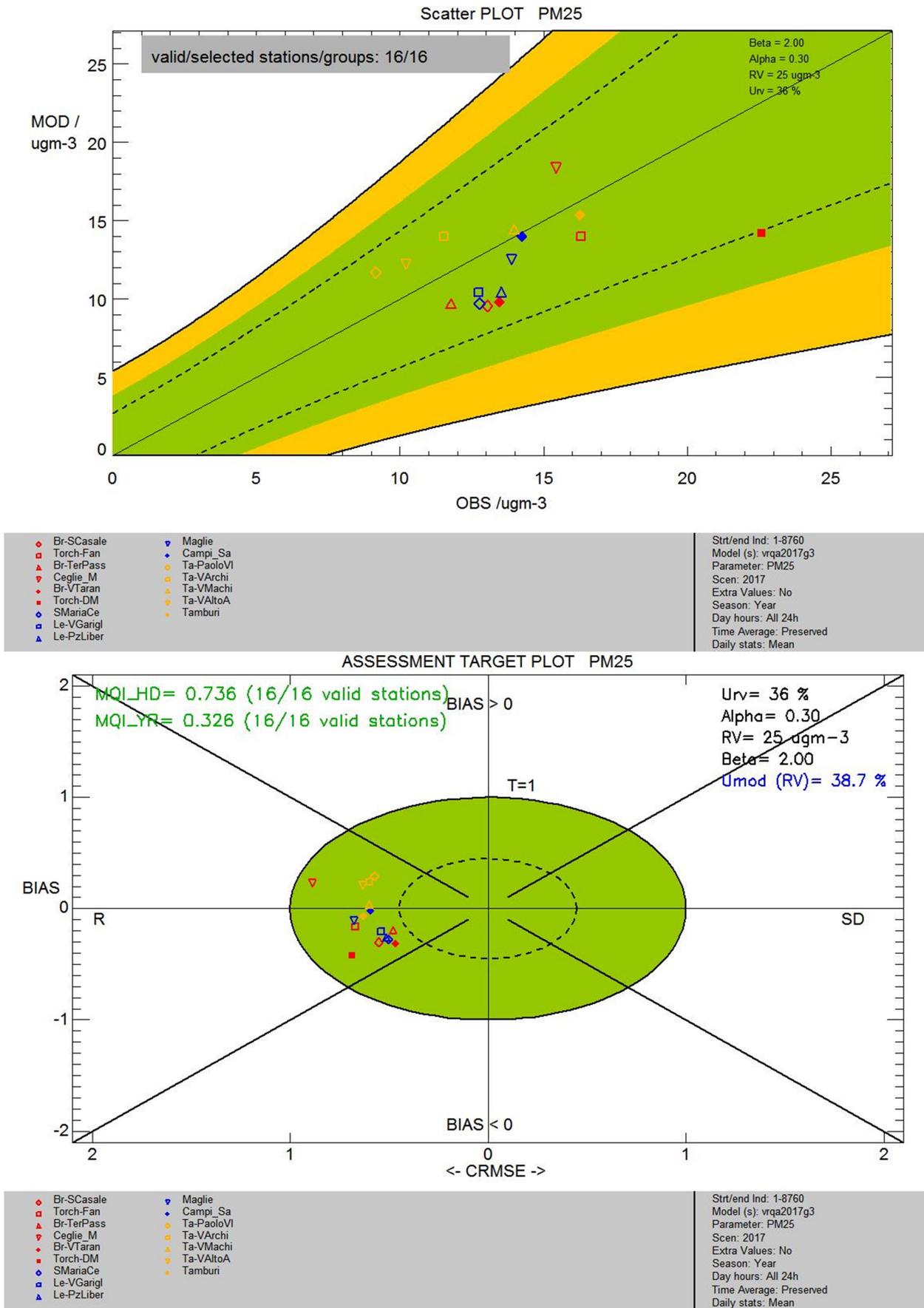


Figura 60: Scatter plot e target plot relativo al  $\text{PM}_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla griglia del Salento.

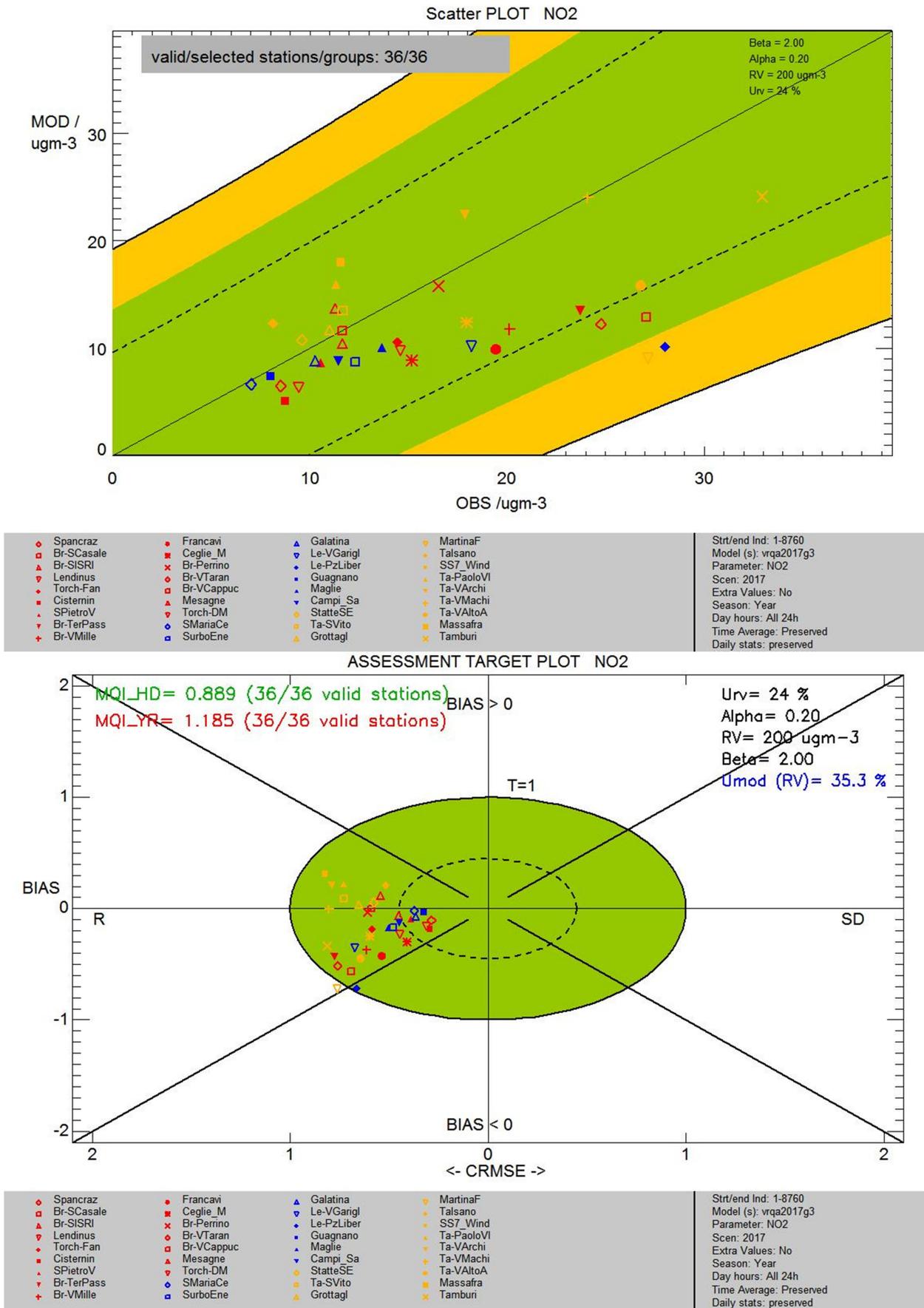


Figura 61: Scatter plot e Target plot relativo all'NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

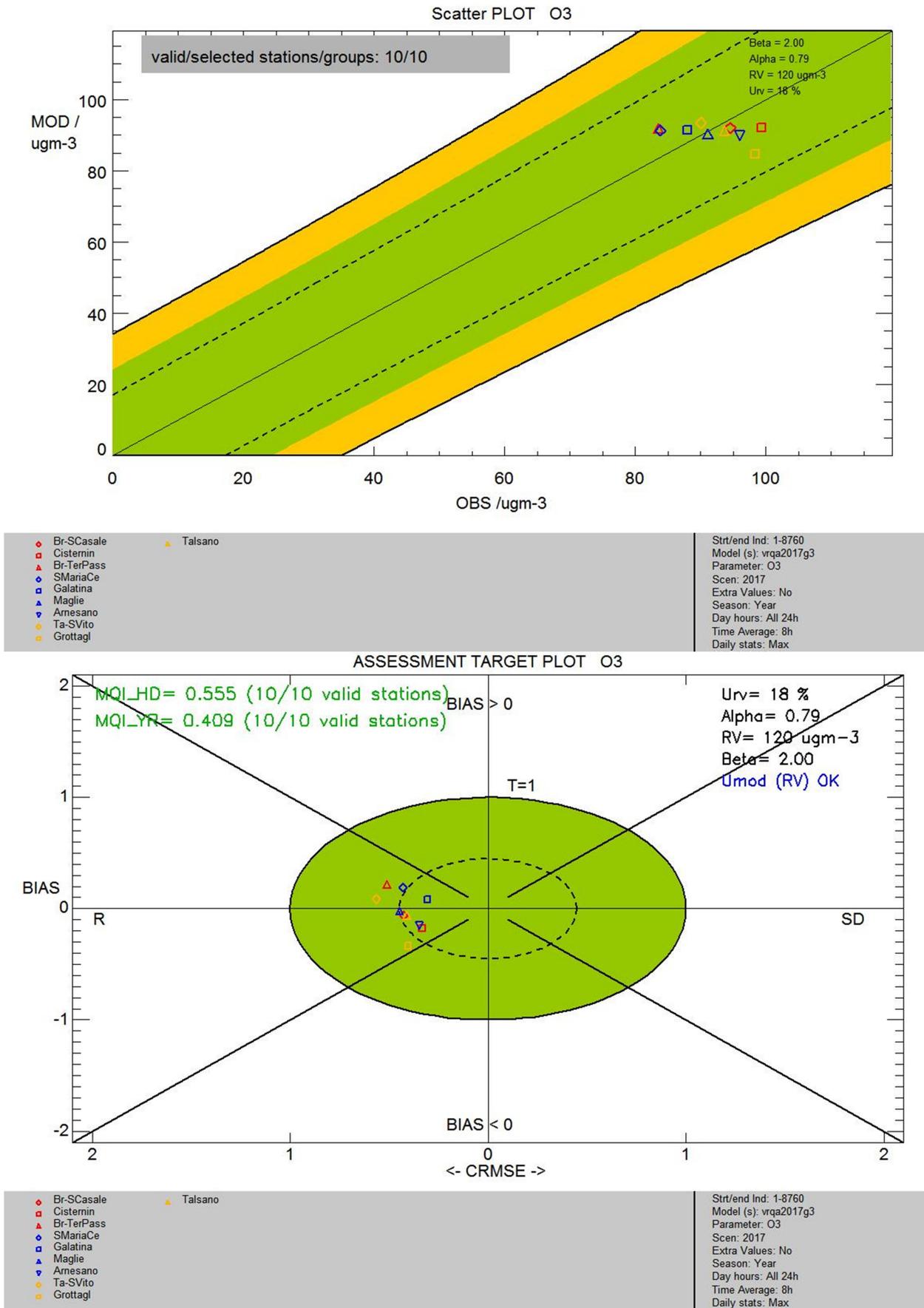
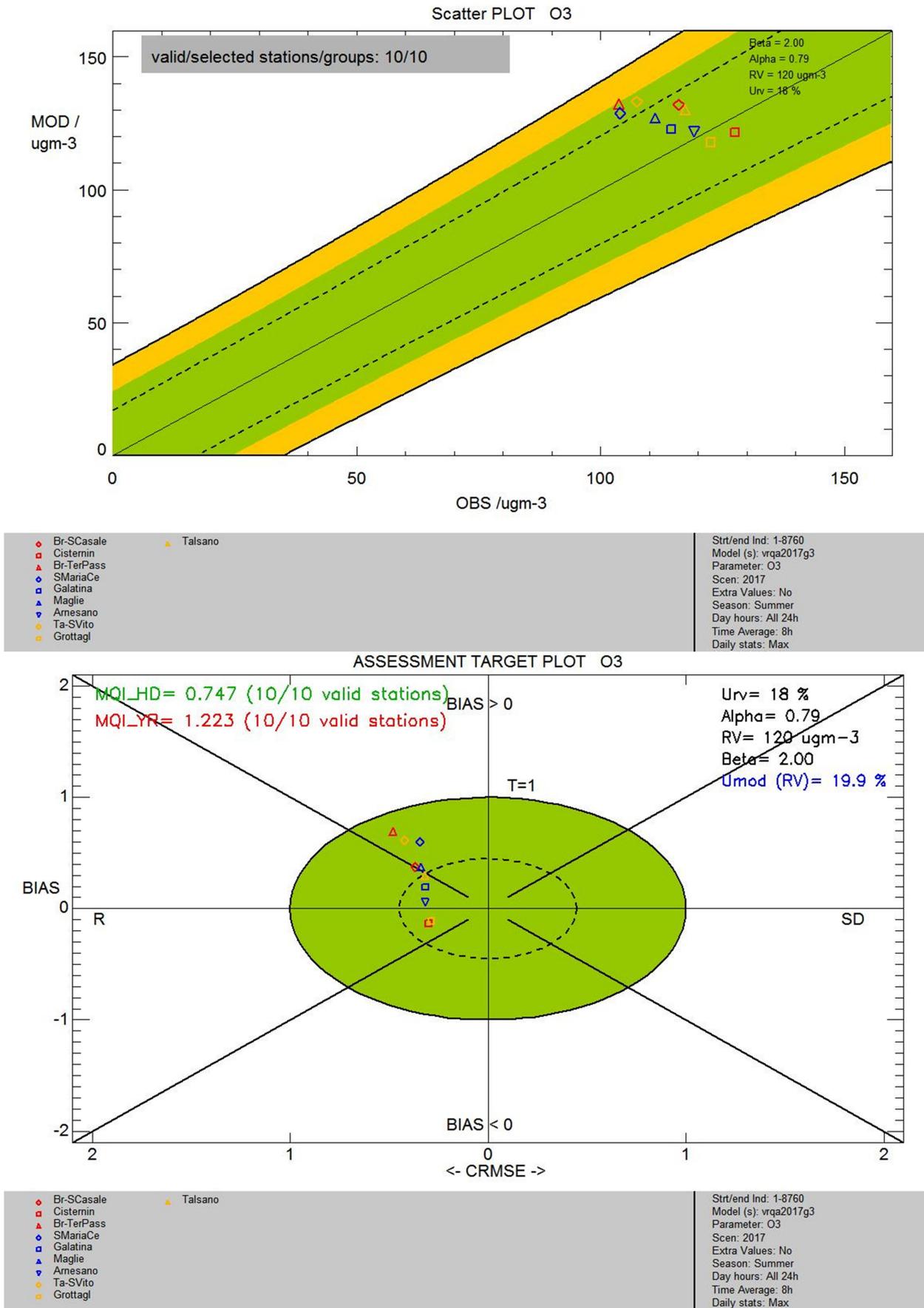


Figura 62: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di  $\text{O}_3$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), per l'anno sul dominio del Salento.



**Figura 63: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) per la sola stagione estiva (G-L-A), sul dominio del Salento.**

Per le altre specie normate (comprehensive anche dei microinquinanti) si mostrano i relativi *scatter plot*.

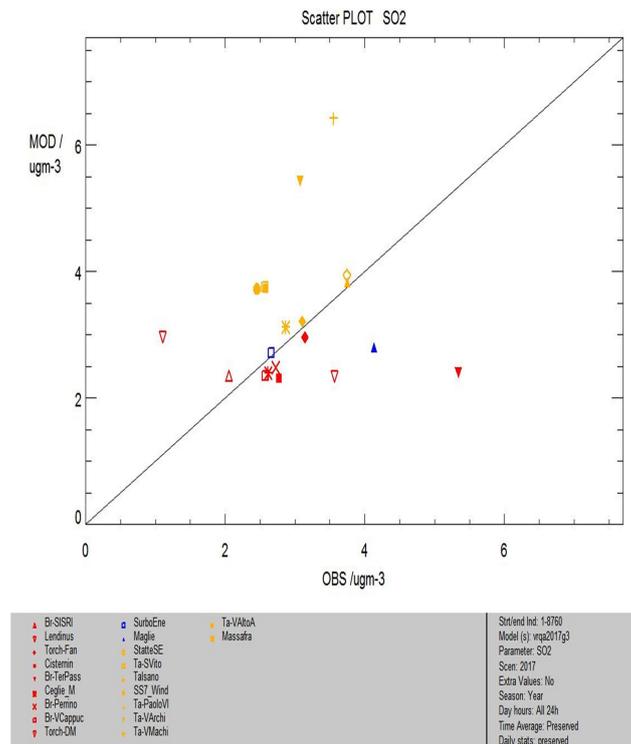


Figura 64: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

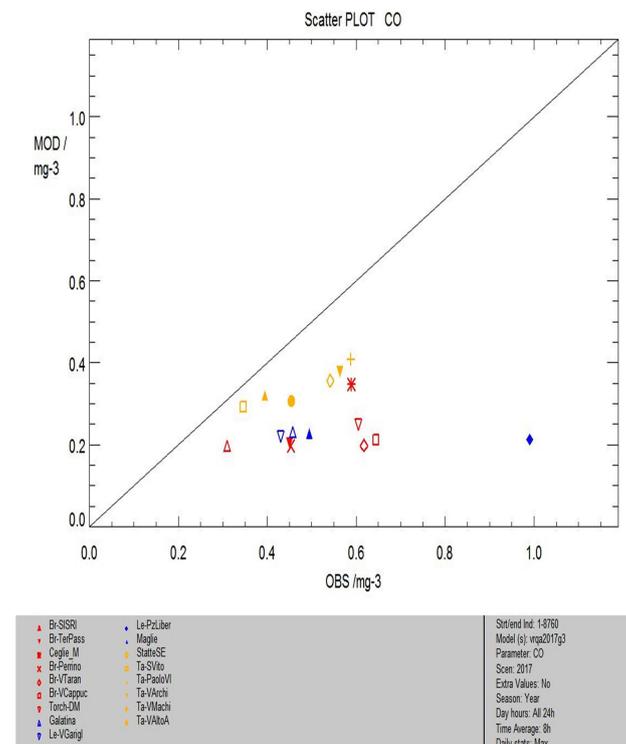


Figura 65: Scatter plot di confronto tra i massimi annuali delle concentrazioni medie mobili su 8 ore misurate e modellate di CO (mg/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

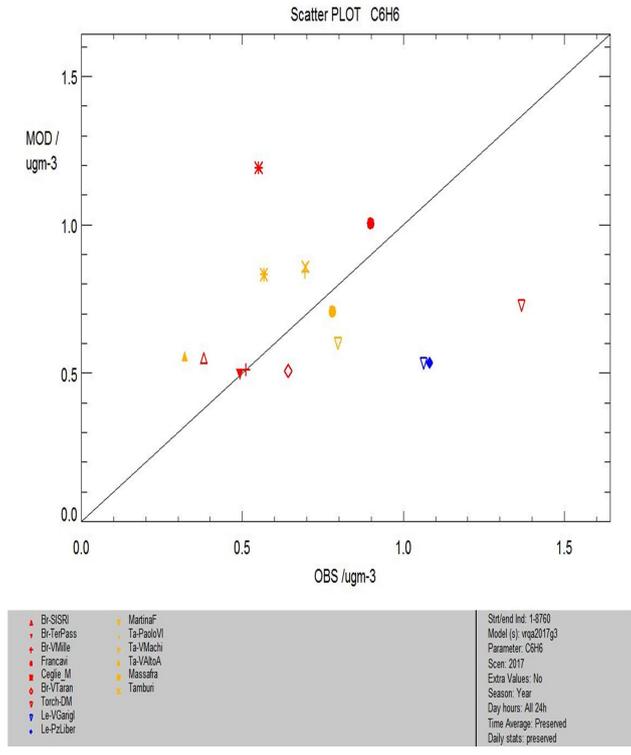


Figura 66: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

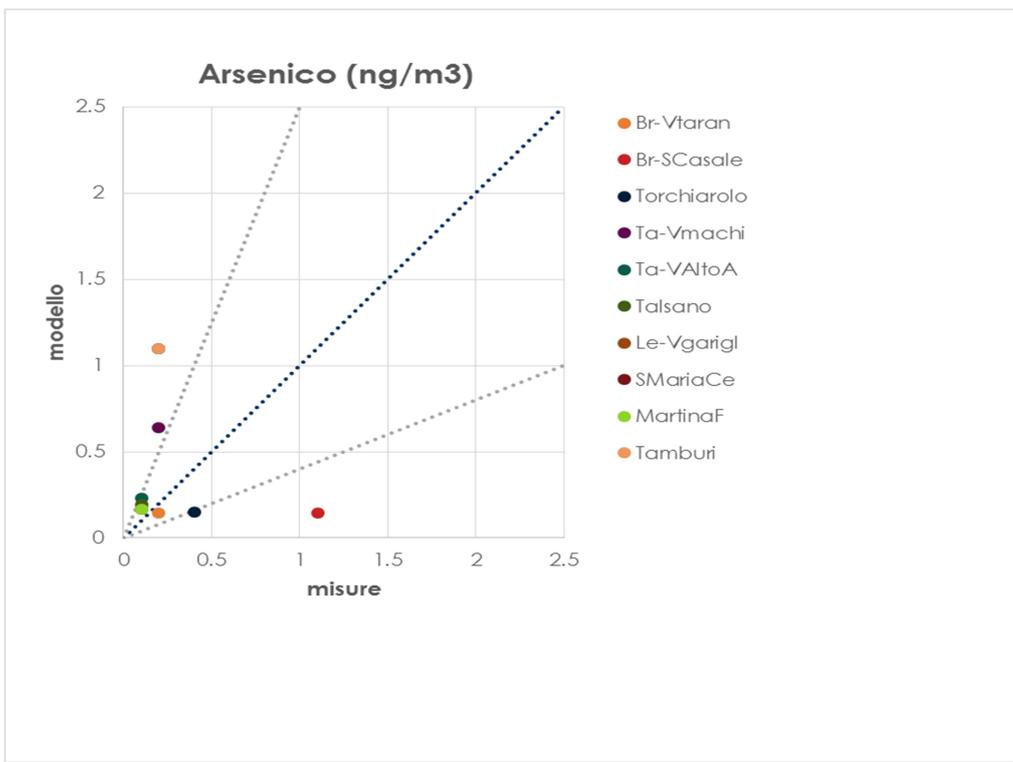


Figura 67: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di Arsenico (ng/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

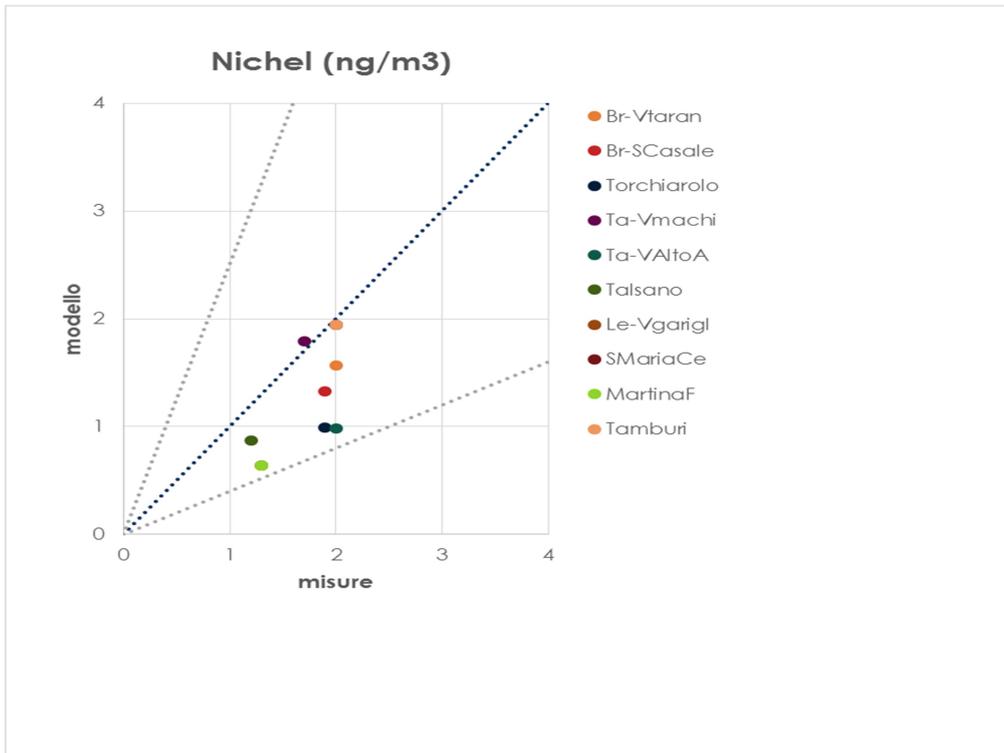


Figura 68: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di Nichel (ng/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

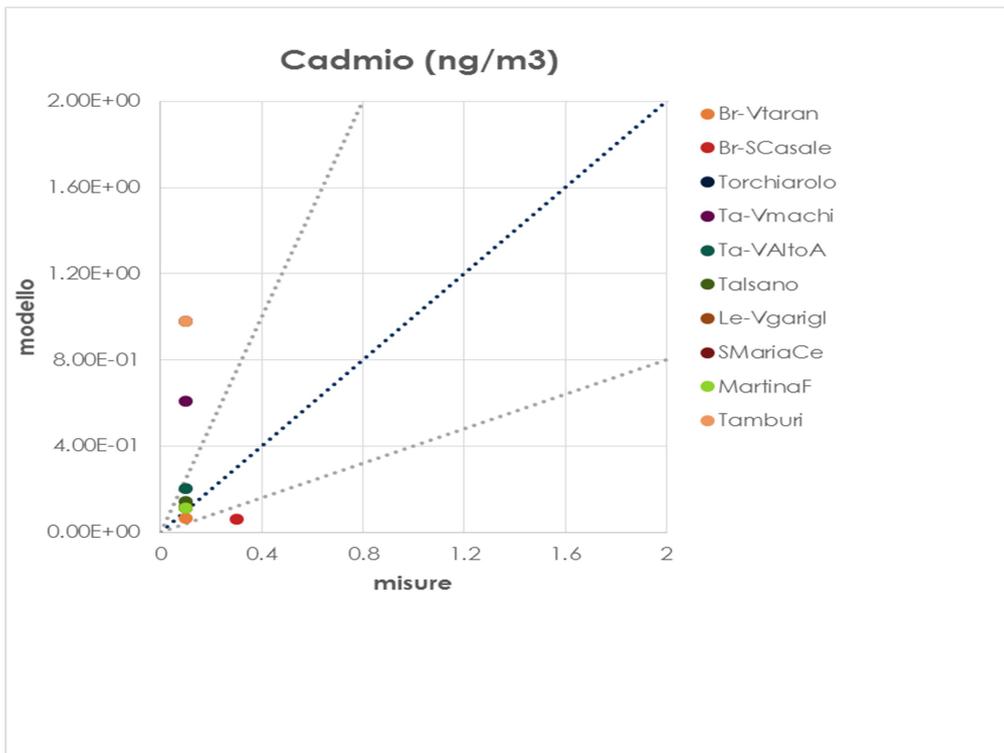


Figura 69: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di Cadmio (ng/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

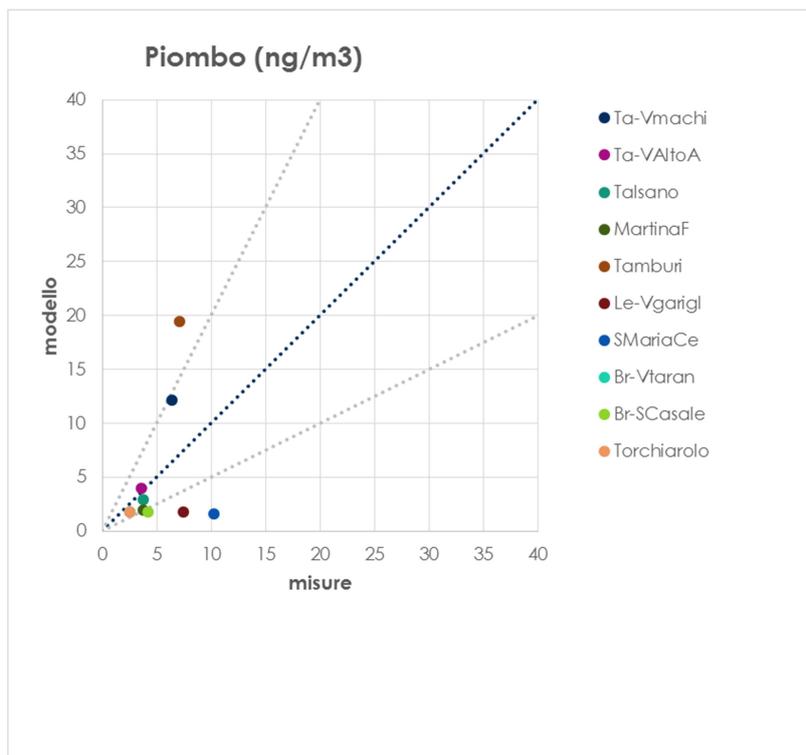


Figura 70: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di Piombo (ng/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

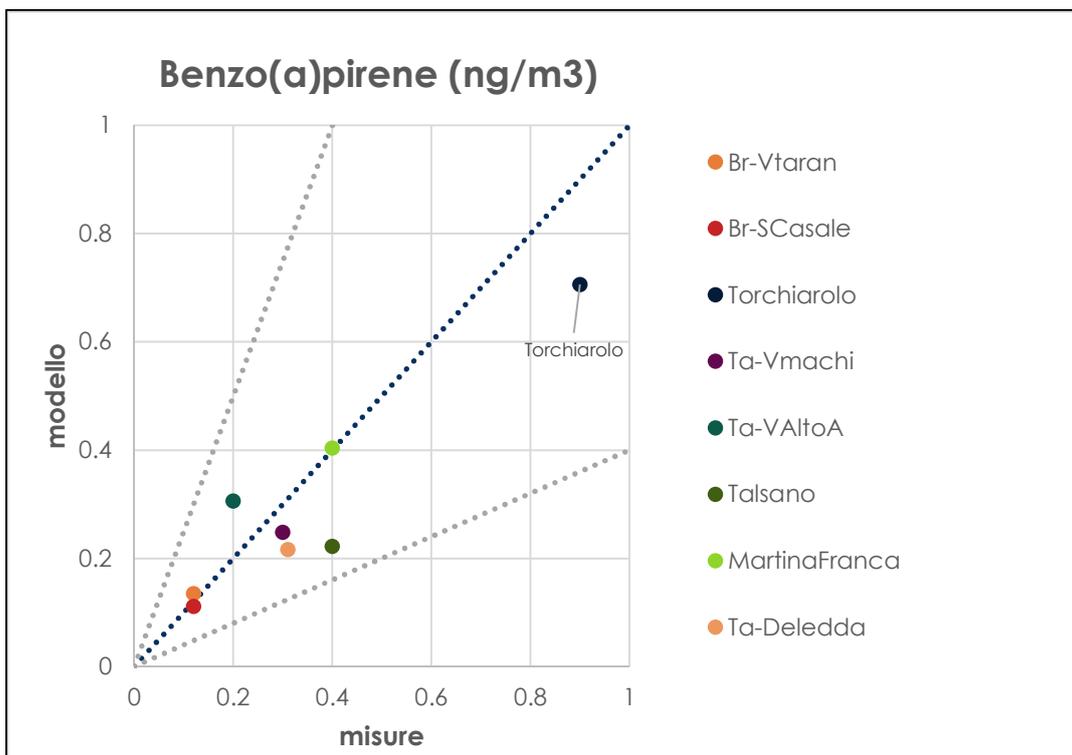


Figura 71: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di Benzoapirene (ng/m<sup>3</sup>) sul dominio del Salento.

## 7. Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico

Il risultato della simulazione modellistica è connotato da un certo grado di incertezza, che risulta dalla composizione dell'incertezza intrinseca al modello (dovuta all'incapacità di descrivere perfettamente i fenomeni fisici) e di quella associata ai dati di ingresso, in particolare alle emissioni e ai parametri meteorologici. Di conseguenza, le concentrazioni dei diversi inquinanti ricostruite dal sistema modellistico possono risultare in alcuni casi distanti dalle concentrazioni misurate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

Per ovviare a ciò risulta molto importante assimilare i dati misurati dalle stazioni di monitoraggio nei campi di concentrazione al suolo prodotti dal modello fotochimico, al fine di ottenere campi di "analisi" di qualità dell'aria più realistici rispetto a quelli prodotti dal solo modello di simulazione.

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 per il 2017, 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>11</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> l'assimilazione 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 per alcuni inquinanti (ad es. PM<sub>10</sub>) da un andamento temporale tipicamente stagionale, si è scelto di attribuire un raggio di influenza differente per la stagione invernale. In altri casi si è scelto di non assimilare le misure di una data specie chimica per una data centralina, perché ritenute condizionate da emissioni molto locali, tali da rendere la rappresentatività della centralina di molto inferiore alla risoluzione del modello<sup>12</sup>.

Infine, si fa presente 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 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.

<sup>11</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).

<sup>12</sup> E' il caso delle misure di PM10 rilevate dalle centralina di Massafra, influenzate dalle attività di un cantiere.

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

Nella Figura 72, mostrata di seguito, si riporta la collocazione delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, gestite da ARPA Puglia, i cui dati misurati sono stati assimilati. Nella successiva Tabella 8 si indicano con il simbolo x le specie chimiche assimilate per ciascuna centralina, sia sul dominio regionale che su quello locale.

Rispetto alla valutazione modellistica condotta nel 2016, è stato assimilato il PM10 misurato a Torchiarolo anche nel periodo invernale<sup>13</sup> e le misure di NO2 rilevate dalla stazione di Bari-Cavour.



**Figura 72: Collocazione delle stazioni di monitoraggio della RRQA assimilate.**

<sup>13</sup> Nel 2016 la scelta di non assimilare la misura di PM10 rilevata dalla centralina sita in Via Don Minzoni a Torchiarolo è stata determinata dal fatto che si riteneva che la centralina di monitoraggio potesse essere collocata su un *hotspot* di concentrazione (prodotto da qualche camino posto nelle immediate vicinanze), tale da rendere le misure di PM10 effettuate presso la centralina poco rappresentative dello stato della QA riferito all'intero comune di Torchiarolo. Lo studio modellistico condotto per valutare l'impatto alla microscala prodotto dal riscaldamento residenziale con biomassa sul comune di Torchiarolo nel periodo 1-13 dicembre 2016", disponibile alla pagina <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>, ha invece dimostrato come il suddetto sito non costituisca di fatto un particolare *hotspot*, poiché le concentrazioni ivi modellate sono analoghe a quelle di altre aree del comune. Per tale motivo si è ritenuto cautelativamente opportuno assimilare nelle valutazioni modellistiche dello stato della QA successive al 2016 anche le concentrazioni di PM10 misurate presso la suddetta centralina nel periodo invernale.

**Tabella 8 - Elenco delle centraline e dei relativi analizzatori**

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
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		
BAT	Andria	Urbana	Traffico	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		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	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	X	X
BA	Modug_EN3	urbana	industriale	x			X	X		X		X
BA	Modug_EN4	Suburbana	industriale	x			X	X	X	X		
BA	PaloC_EN5	Suburbana	industriale	x			X	X		X		
TA	STATTE sc.elementare	Suburbana	Industriale	x	x		X	X		X		X
TA	S.VITO Colonia Marina	Suburbana	fondo	x	x		X	X	X	X		X
TA	Grottaglie	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			
TA	Talsano	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			X
TA	SS7 Wind	Rurale	industriale	x	x		X	X				X
TA	Paolo VI -CISI	Rurale	Industriale	x	x	X	X	X		X	X	X
TA	Molfetta Verdi	urbana	traffico	x	x		X	X				
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
TA	TAMBURI	Urbana	industriale	x	x	X	X	X			X	
BR	S. Pancrazio S.	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			
BR	P.za San Giusto Casale	Urbana	Fondo	x	x	X	X	X	X			X
BR	S.I.S.R.I.	Suburbana	Industriale	x	x		X	X		X	X	X
BR	Lendinuso	Rurale	Industriale	x	x		X	X				X
BR	Enel Torchiarolo	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X				X
BR	Cisternino	Suburbana	Fondo	x	x		X	X	X			X
BR	S. Pietro Vernotico	Suburbana	Industriale	x	x		X	X				
BR	Terminale Passeggeri	Suburbana	Industriale/traffico	x	x	X	X	X	X	X	X	X
BR	Via dei Mille	Urbana	traffico	x	x		X	X			X	
BR	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		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 BALDASSARRE	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			X
LE	Galatina	Suburbana	Industriale	x	x	X	X	X	X	X		

## 8. Valutazione dello stato della Qualità dell’Aria sulla regione Puglia e sul Salento – Anno 2017

In questo paragrafo si mostrano i risultati della valutazione dello stato della qualità dell’aria, riferita all’anno 2017, sulla regione Puglia con risoluzione 4kmx4km e sul Salento con risoluzione 1kmx1km, condotta ai sensi del D.Lgs 155/2010 assimilando le misure degli 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 centraline di monitoraggio della qualità dell’aria gestite da ARPA, sui corrispondenti campi di concentrazione al suolo prodotti sugli stessi domini dal modello fotochimico FARM. Per gli inquinanti As, Cd, Ni, Pb e B(a)P, per i quali non sono ancora disponibili su tutta la regione le misure relative al 2017, la valutazione dello stato della qualità dell’aria è stata condotta con l’ausilio del solo modello fotochimico FARM.

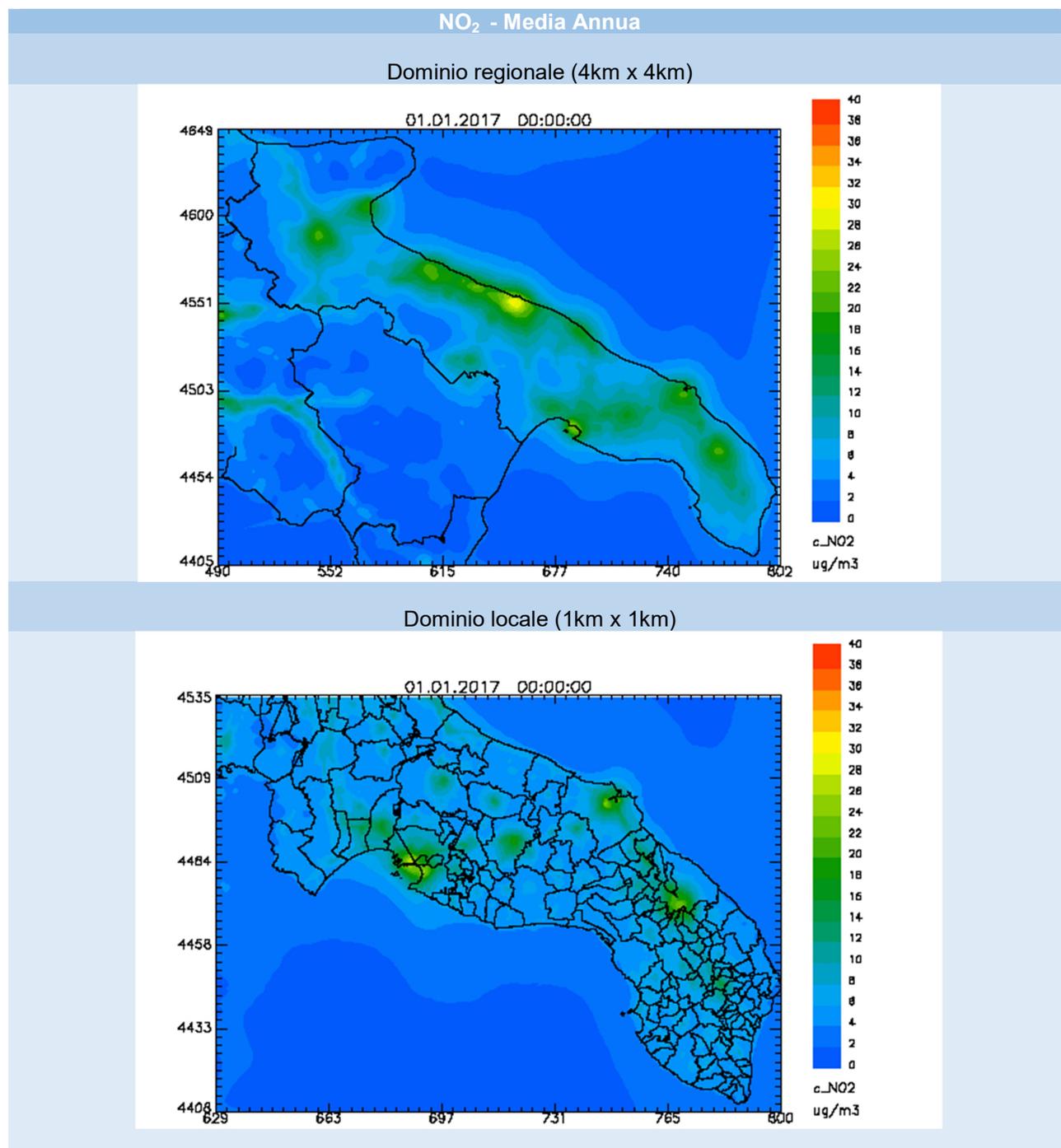
Al fine, quindi, di valutare la conformità dello stato della qualità dell’aria della regione Puglia e del Salento ai sensi del D.Lgs 155/2010, verranno di seguito mostrate per ogni inquinante normato le mappe dei relativi indicatori prescritti. Tali mappe saranno confrontate con i corrispondenti valori limite previsti per la protezione della salute umana dallo stesso decreto. Di seguito nella Tabella 9 si riportano i relativi limiti prescritti per ogni inquinante normato dal D.Lgs 155/2010. In particolare, in presenza di una non conformità per i suddetti indicatori, verranno identificati i corrispondenti comuni interessati dal superamento e per ognuno di essi verrà fornito il valore massimo dell’indicatore, calcolato sulle celle che ricoprono il relativo territorio.

**Tabella 9 – Valori limite prescritti dal D.Lgs 155/2010**

Inquinante	Limite	Periodo di mediazione	Limite	Superamenti in un anno
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana	Media giornaliera	50 µg/m <sup>3</sup>	massimo 35
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	
PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	Valore Limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	25 µg/m <sup>3</sup>	
NO2 (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima oraria	200 µg/m <sup>3</sup>	massimo 18
	Valore limite annuale per la protezione della salute umana	anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>	
O3 (µg/m <sup>3</sup> )	Soglia d'informazione	Media massima oraria	180 µg/m <sup>3</sup>	
	Soglia d'allarme	Media massima oraria	240 µg/m <sup>3</sup>	
	Valore obiettivo	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	120 µg/m <sup>3</sup>	<= 25 volte/anno come media su 3 anni
CO (mg/m <sup>3</sup> )	Valore limite orario per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>	
SO2 (µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite giornaliero	Media giornaliera	125 µg/m <sup>3</sup>	massimo 3
	Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana	Media massima oraria	350 µg/m <sup>3</sup>	massimo 24
Benzene(µg/m <sup>3</sup> )	Valore limite su base annua	anno civile	5 µg/m <sup>3</sup>	
Benzo(a)pirene(ng/m <sup>3</sup> )	Concentrazione presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	anno civile	1 ng/m <sup>3</sup>	
Metalli pesanti(ng/m <sup>3</sup> )	Arsenico	anno civile	6 ng/m <sup>3</sup>	
	Cadmio	anno civile	5 ng/m <sup>3</sup>	
	Nichel	anno civile	20 ng/m <sup>3</sup>	
	Piombo	anno civile	0,5 µg/m <sup>3</sup>	

## 8.1 Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

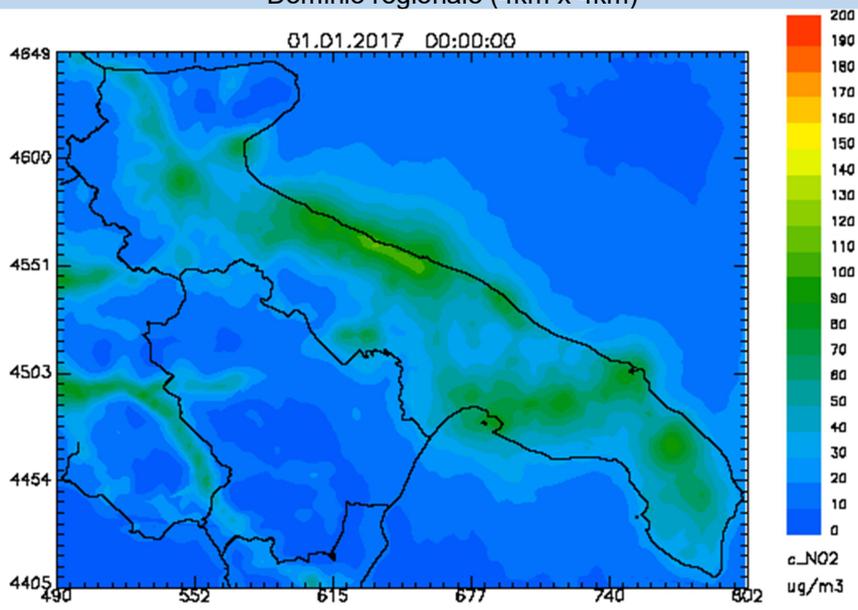
Di seguito nelle Figure 73, 74 e 75 si mostreranno, per gli indicatori statistici che il D.Lgs 155/2010 prescrive per l'NO<sub>2</sub>, le relative mappe di *analisi*, ovvero le mappe ottenute dall'assimilazione delle misure, fornite dalle reti di monitoraggio gestite da ARPA, sui campi di concentrazione elaborati dal sistema modellistico FARM sulla griglia regionale e sul Salento.



**Figura 73 – Mappe della concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) riferite al 2017 sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

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

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

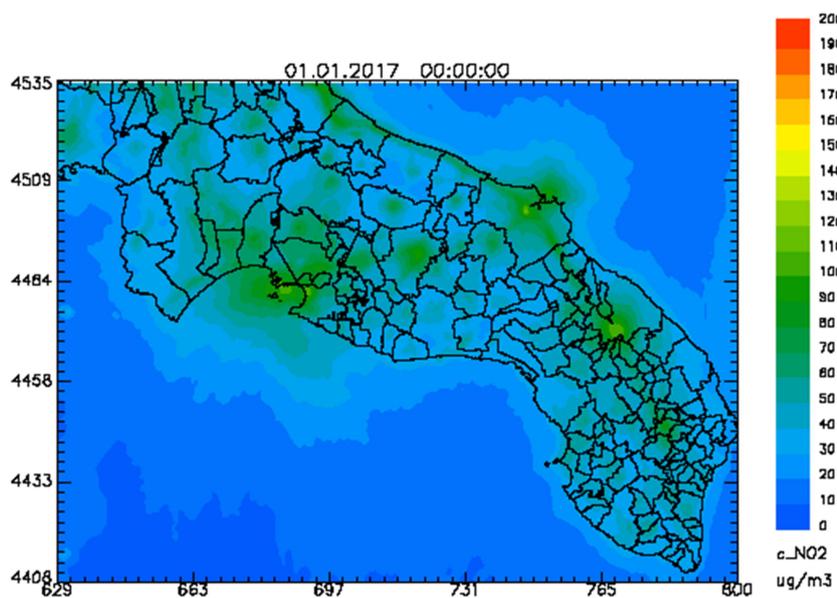
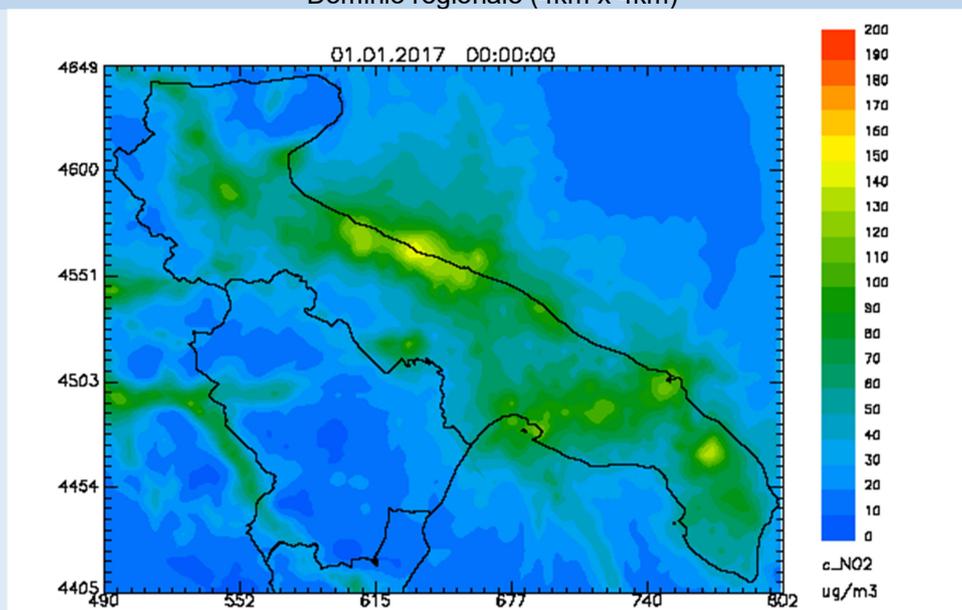


Figura 74 - Mappe riferite al 2017 del 99.8° percentile di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

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

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

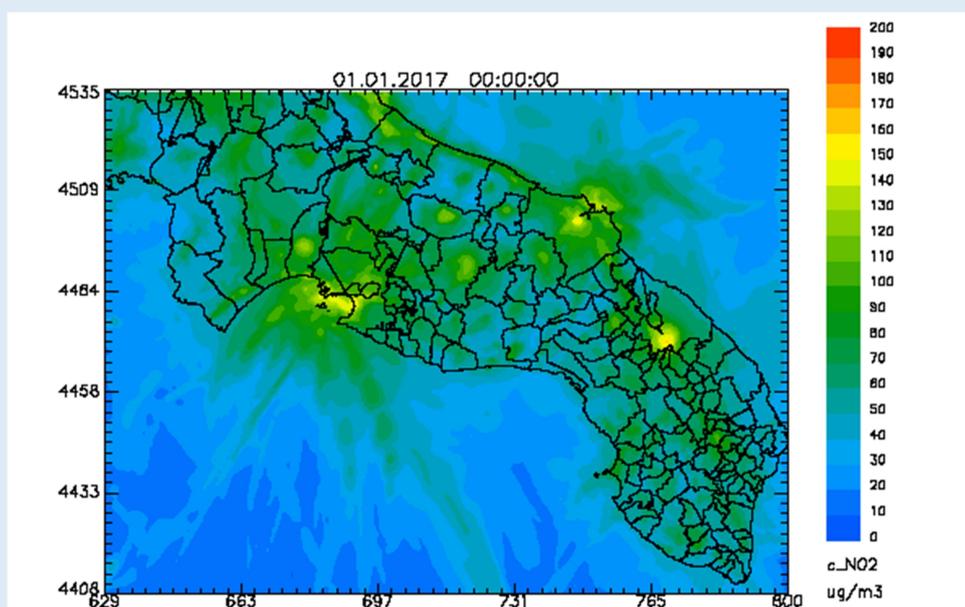


Figura 75 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione massima oraria di NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

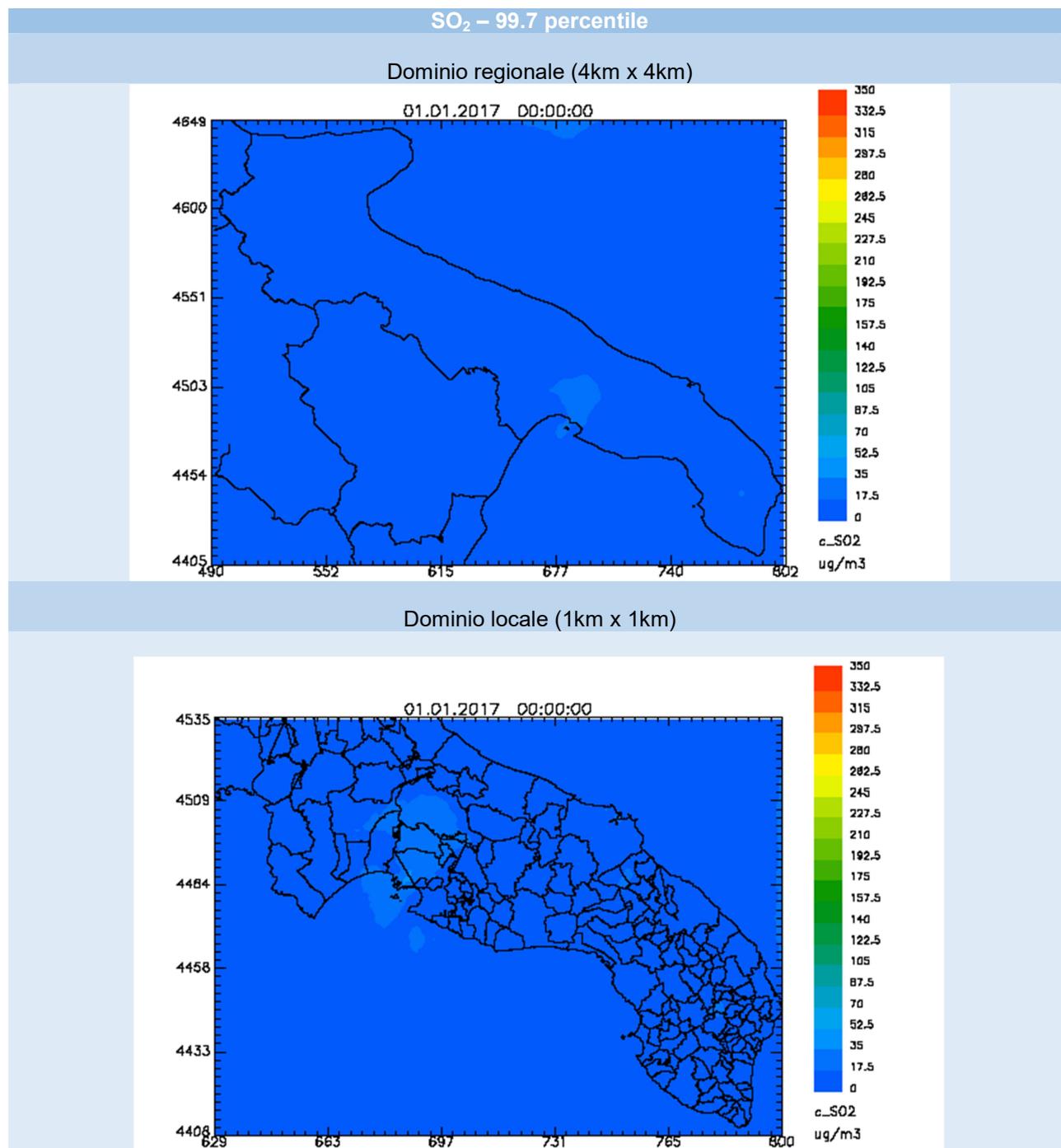
Sulla griglia regionale (risoluzione 4kmx4km) non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti. Ciò è in accordo con quanto osservato per il 2017 dalle centraline di monitoraggio di qualità dell'aria, ad eccezione della postazione di monitoraggio da traffico "Corso Cavour – Bari", dove per il suddetto anno presso tale centralina si è verificato il superamento del valore limite annuale per la protezione della salute umana. In questo caso è opportuno ricordare che il solo modello fotochimico a tale risoluzione ha difficoltà a riprodurre situazioni di inquinamento locale o *hotspot*, quali ad esempio quelle dovute al traffico di prossimità o a emissioni locali (ad esempio incroci, parcheggi, carico/scarico materiale, combustione locale da biomassa). In questi casi, infatti, tali emissioni vengono diluite sull'intero volume di cella, provocando un impatto mediato sullo stato della qualità dell'aria nella cella corrispondente. L'assimilazione dei dati di centralina, effettuata solo se la corrispondente rappresentatività spaziale è confrontabile con la risoluzione spaziale del modello (ovvero 4km x 4km), consente di correggere tale sottostima.

Sulla griglia relativa al Salento (1km di risoluzione) non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti per l'NO<sub>2</sub>.

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

## 8.2 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

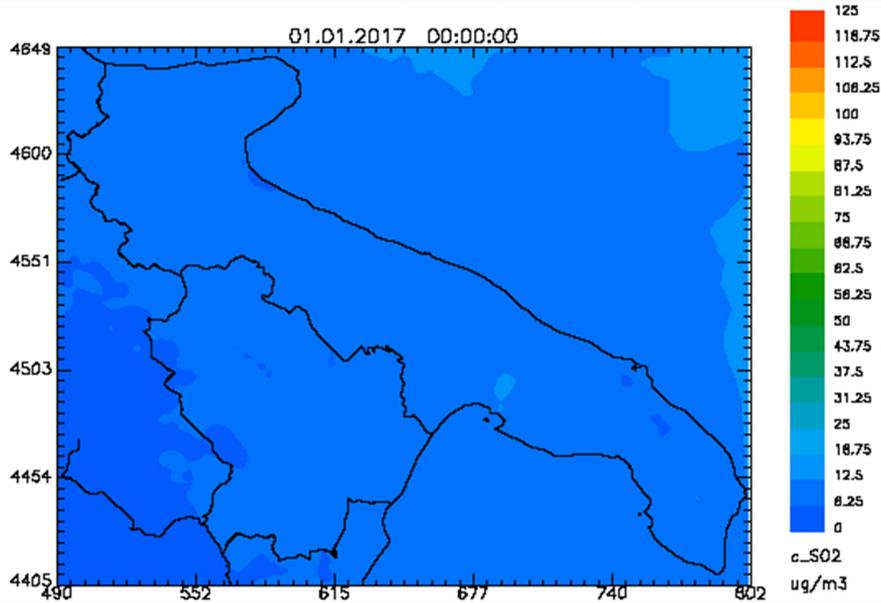
Di seguito nelle Figure 76, 77 e 78 si mostreranno, per gli indicatori statistici che il D.Lgs 155/2010 prescrive per l'SO<sub>2</sub>, le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.



**Figura 76 - Mappe riferite al 2017 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 sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione**

SO<sub>2</sub> – 99.2 percentile

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

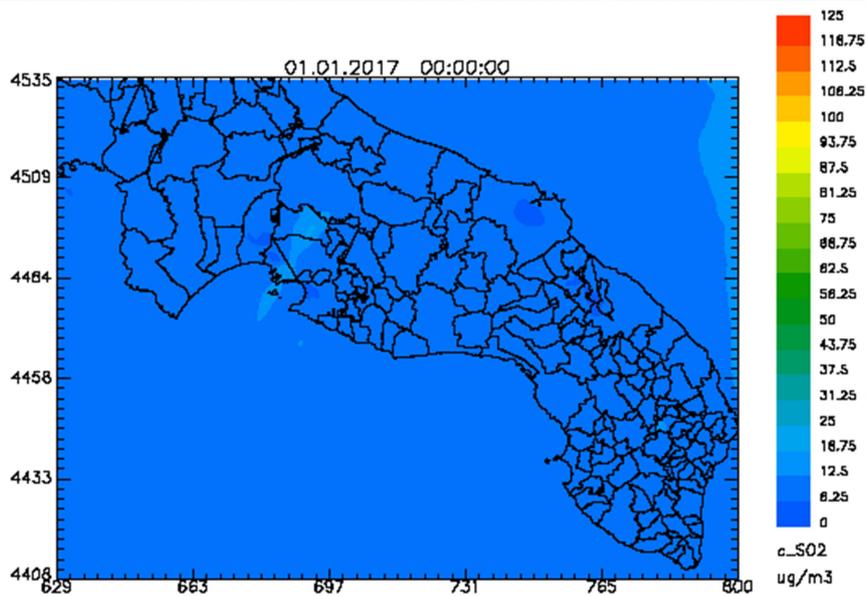
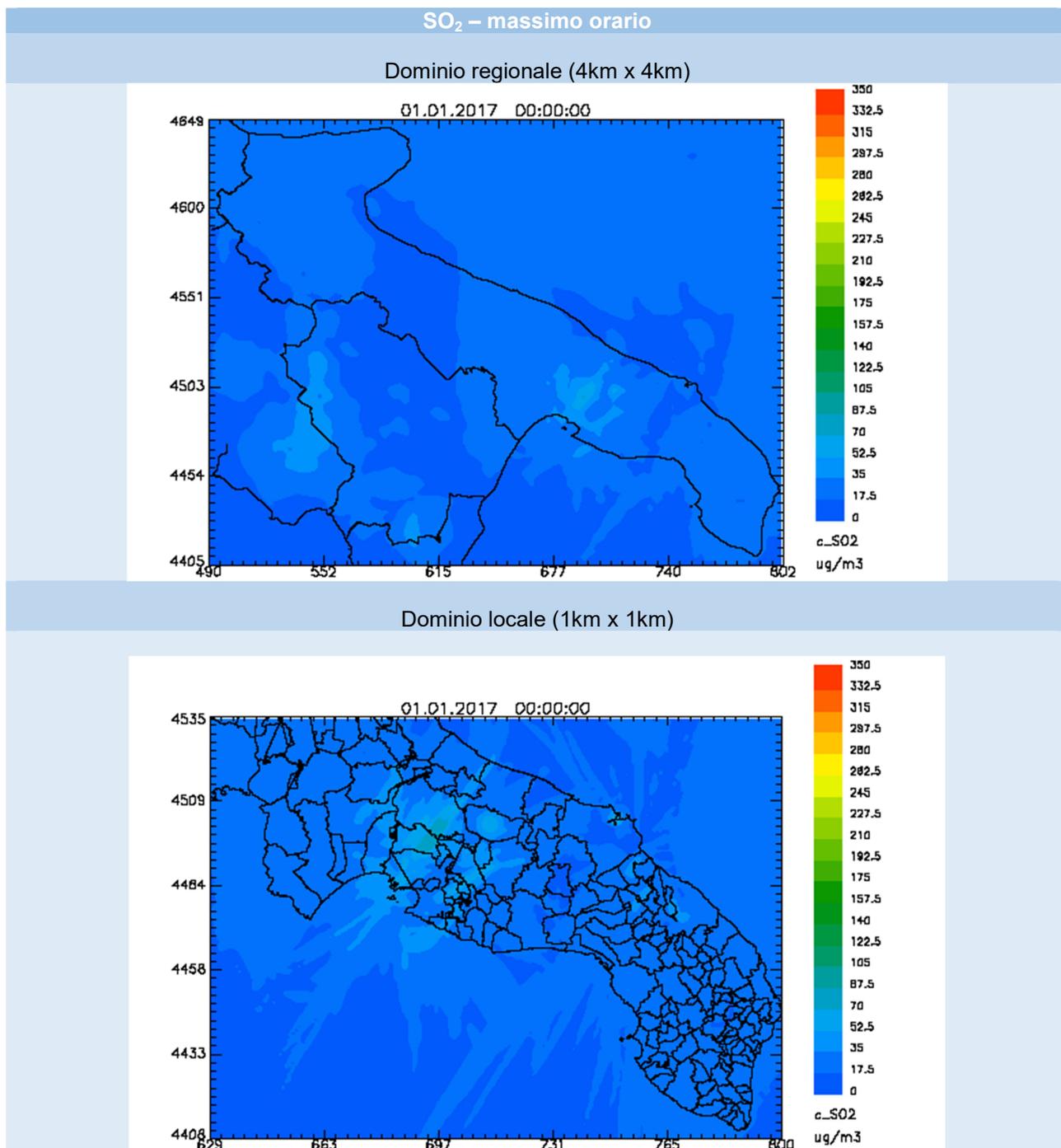


Figura 77 - Mappe riferite al 2017 del 99.2° percentile di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione

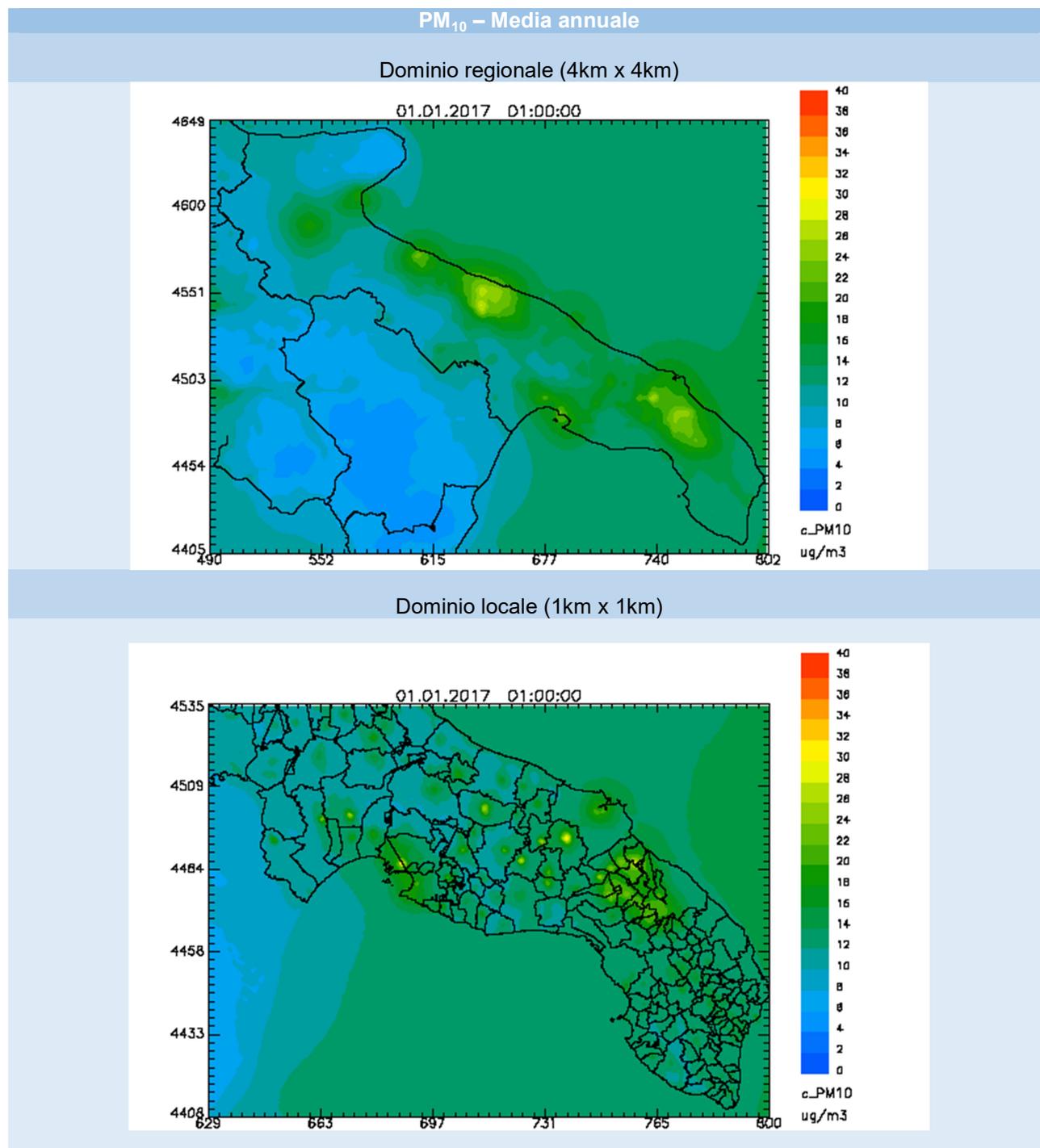


**Figura 78 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione massima oraria di SO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione**

Su entrambi i domini di simulazione non si verifica 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.

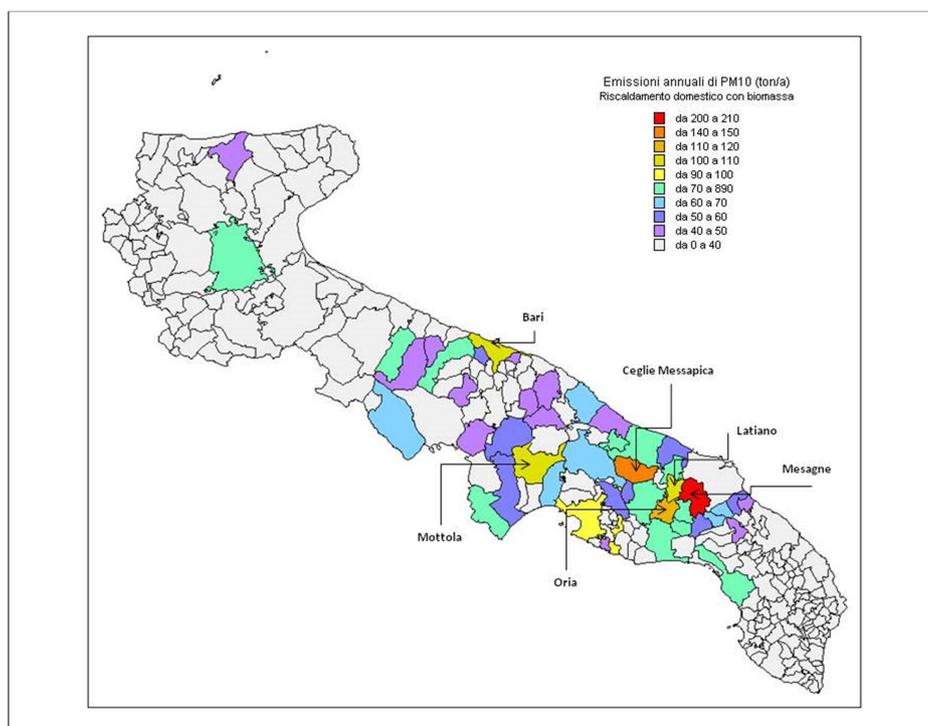
### 8.3 Particolato Fine - PM<sub>10</sub>

Di seguito nelle Figure 79 e 81 si mostreranno per gli indicatori statistici prescritti dal D.Lgs 155/2010 per il PM<sub>10</sub> le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.



**Figura 79 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

Per l'indicatore della media annuale, come si desume dalle mappe, non si verifica alcun superamento<sup>14</sup> del corrispondente valore limite né sul dominio regionale né sul Salento. Le concentrazioni medie annuali più elevate sono stimate sul dominio regionale in corrispondenza 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 ad 1km sul Salento 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 e al 2016, in alcuni comuni delle province di Brindisi e Taranto (Mesagne, Latiano, Ceglie Messapica, Oria, Torchiarolo, Mottola e Castellaneta) raggiungono valori di un certo rilievo. Come già ampiamente trattato in tali valutazioni (alle cui relazioni, disponibili sul sito <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>, si rimanda per ulteriori dettagli) la causa di ciò è da attribuirsi alle emissioni locali prodotte dal riscaldamento residenziale a legna, relativamente alle quali si riporta nella figura successiva la mappa di distribuzione delle emissioni per il PM<sub>10</sub> su base comunale. La mappa in Figura 80 mostra come i comuni, in corrispondenza dei quali si stimano le emissioni di PM<sub>10</sub> più elevate, siano, in ordine decrescente per entità di emissioni, Mesagne, Ceglie Messapica, Oria e Latiano, appartenenti tutti alla provincia di Brindisi.

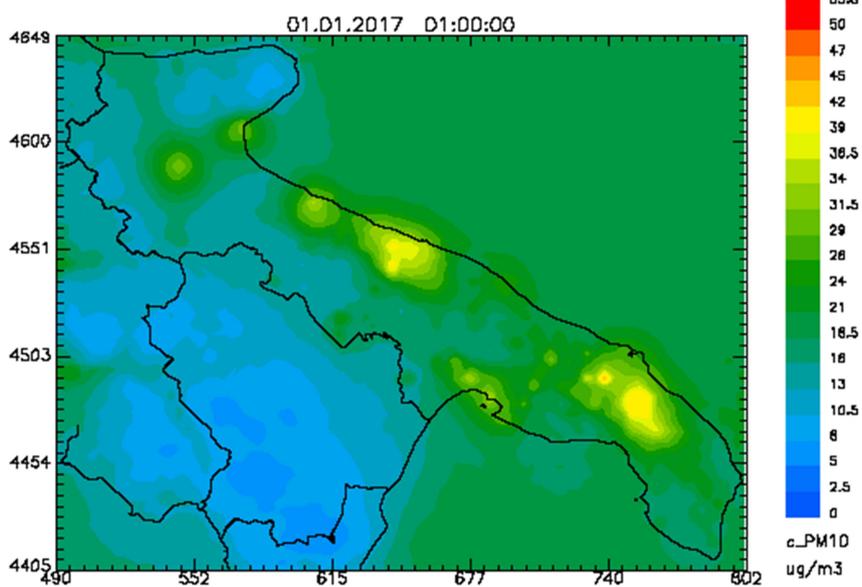


**Figura 80 - Mappa su base comunale delle emissioni annuali di PM<sub>10</sub> (tonn/anno) da combustione per riscaldamento domestico con biomassa**

<sup>14</sup> E' opportuno precisare 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  $40.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

PM<sub>10</sub> – 90.4 percentile

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

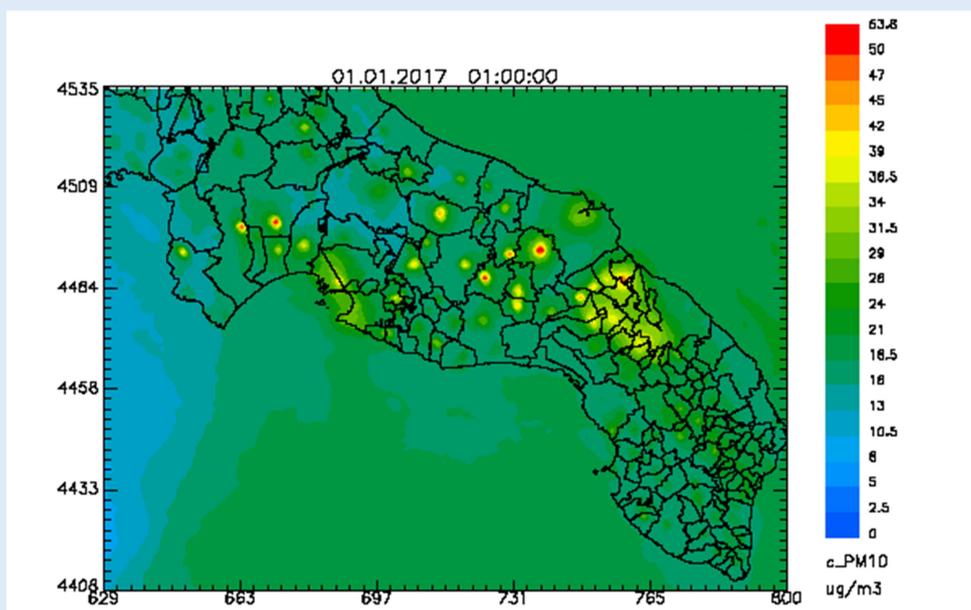
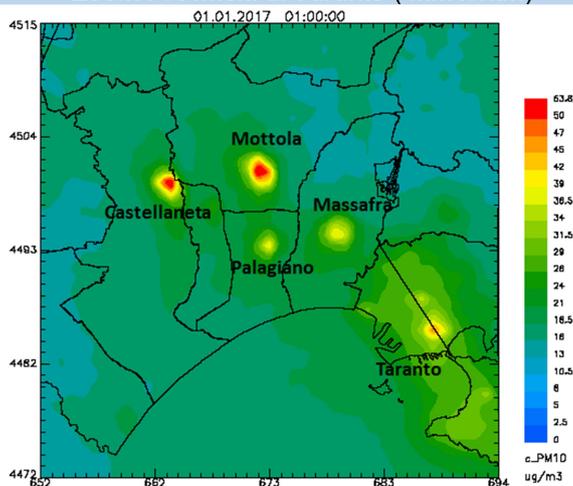


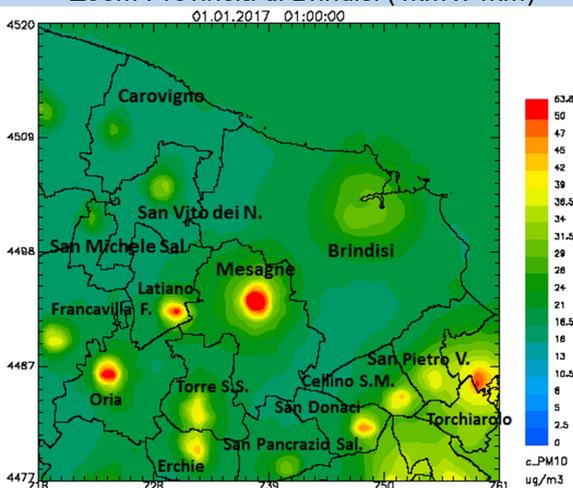
Figura 81 - Mappe riferite al 2017 del 90.4° percentile di PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione

PM<sub>10</sub> – 90.4 percentile

Zoom Provincia di Taranto (1km x1km)



Zoom Provincia di Brindisi (1km x 1km)



Zoom Provincia di Lecce (1km x 1km)

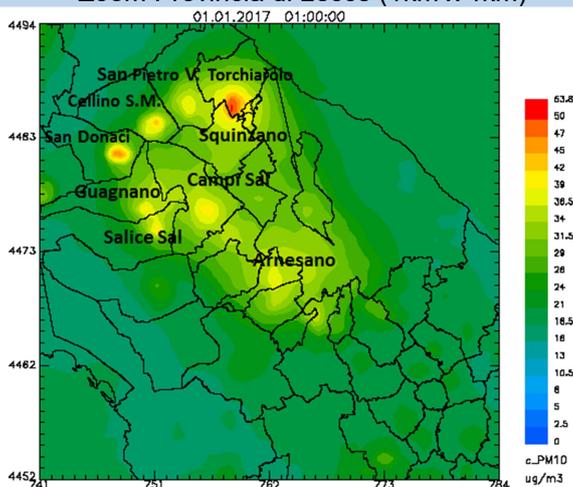
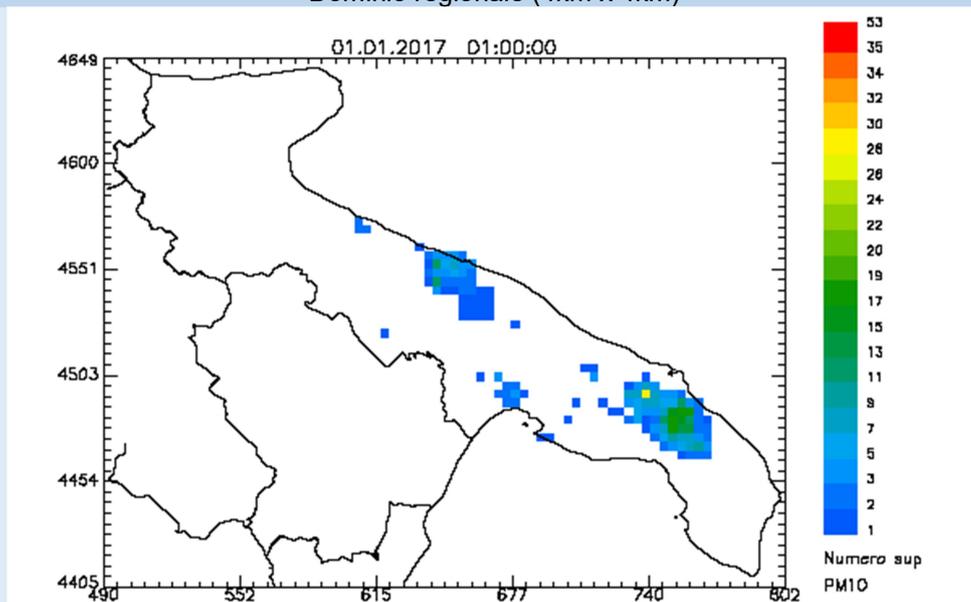


Figura 82 – Dettaglio sul Salento della mappa del 90.4° percentile di PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) nelle province di Taranto, Brindisi e Lecce.

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

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

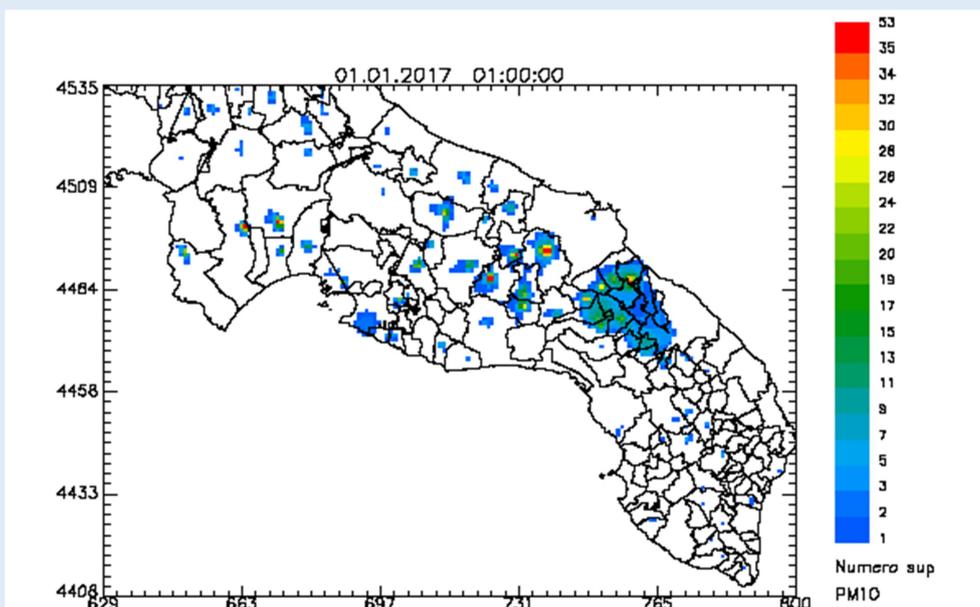
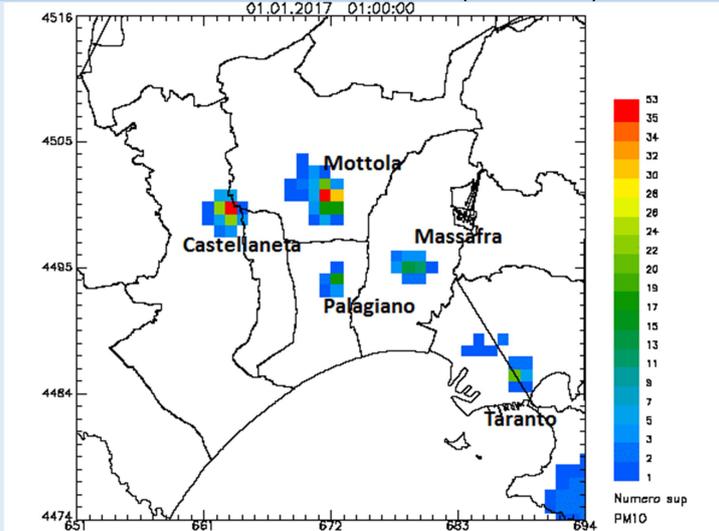


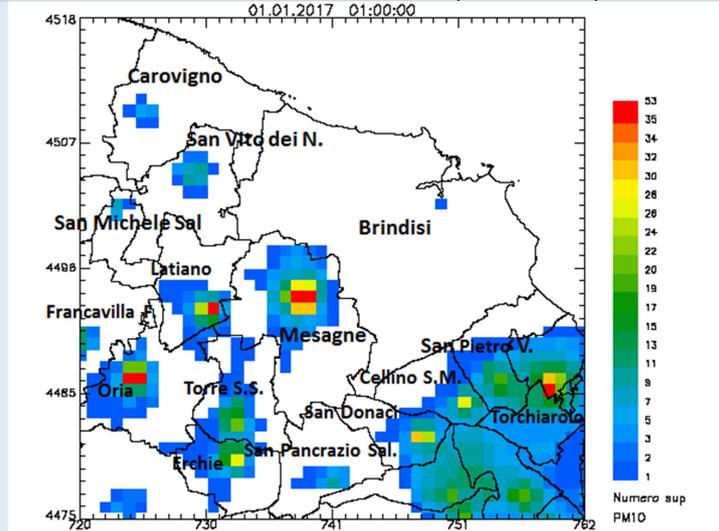
Figura 83 – Mappe, riferite al 2017, del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM<sub>10</sub> sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute tramite assimilazione

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

Zoom Provincia di Taranto (1km x1km)



Zoom Provincia di Brindisi (1km x 1km)



Zoom Provincia di Lecce (1km x 1km)

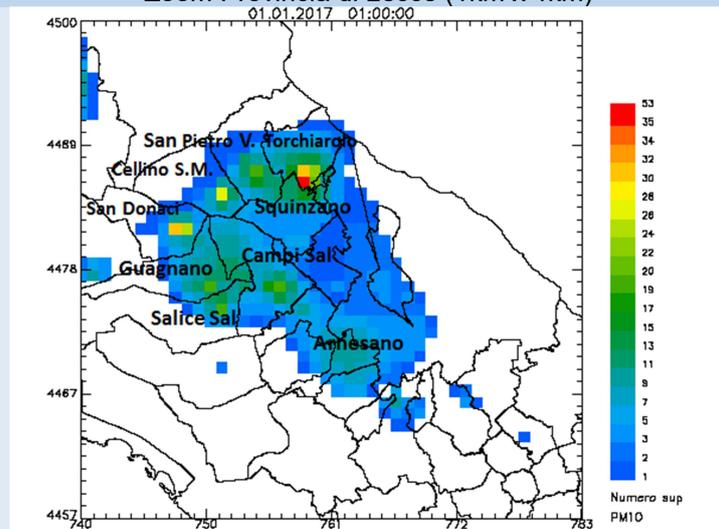


Figura 84 - Dettaglio della mappa sul Salento del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM<sub>10</sub> nelle province di Taranto e Brindisi

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, relativa all'indicatore del 90.4° percentile sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere (Figura 81), non mostra alcuna non conformità sul dominio regionale.

Sul Salento, ad 1km di risoluzione spaziale, emergono alcune non conformità in corrispondenza di alcuni comuni sia della provincia di Taranto che di Brindisi. Ciò è mostrato chiaramente sia dalle mappe del 90.4° percentile (Figure 81 e 82) sia dalle mappe (Figura 83 e 84) che mostrano il numero di superamenti del valore limite giornaliero sulle celle del dominio di simulazione. Nella Tabella 10 si riporta l'elenco dei comuni per i quali il numero totale dei superamenti valutati supera il massimo numero ammesso in un anno (pari a 35). In tale elenco non compare il comune di Torchiarolo, in corrispondenza del quale l'analisi modellistica prevede un numero massimo di superamenti pari a 35, nonostante la centralina di monitoraggio, sita in Via don Minzoni, abbia registrato per il 2017 un numero di superamenti pari a 40 (escluse le sahariane). Ciò è dovuto al fatto che nella fase di assimilazione delle misure, il modello, sebbene tenda ad avvicinare il dato stimato al dato misurato, non può discostarsi eccessivamente dal dato modellato, che, in alcuni casi, può essere di molto inferiore al valore misurato<sup>15</sup>.

**Tabella 10 - Comuni nei quali il numero dei superamenti del valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub> è superiore a 35**

Comune	Provincia	Numero superamenti del valore limite giornaliero per il PM10
Mottola	TA	45
Castellaneta	TA	48
Mesagne <sup>16</sup>	BR	53
Latiano	BR	40
Oria	BR	42

Si osserva che, per quanto attiene tali superamenti, il 2017 è risultato meno critico rispetto al 2016<sup>17</sup>, probabilmente anche a causa della maggiore piovosità osservata nel brindisino durante il periodo invernale dell'anno.

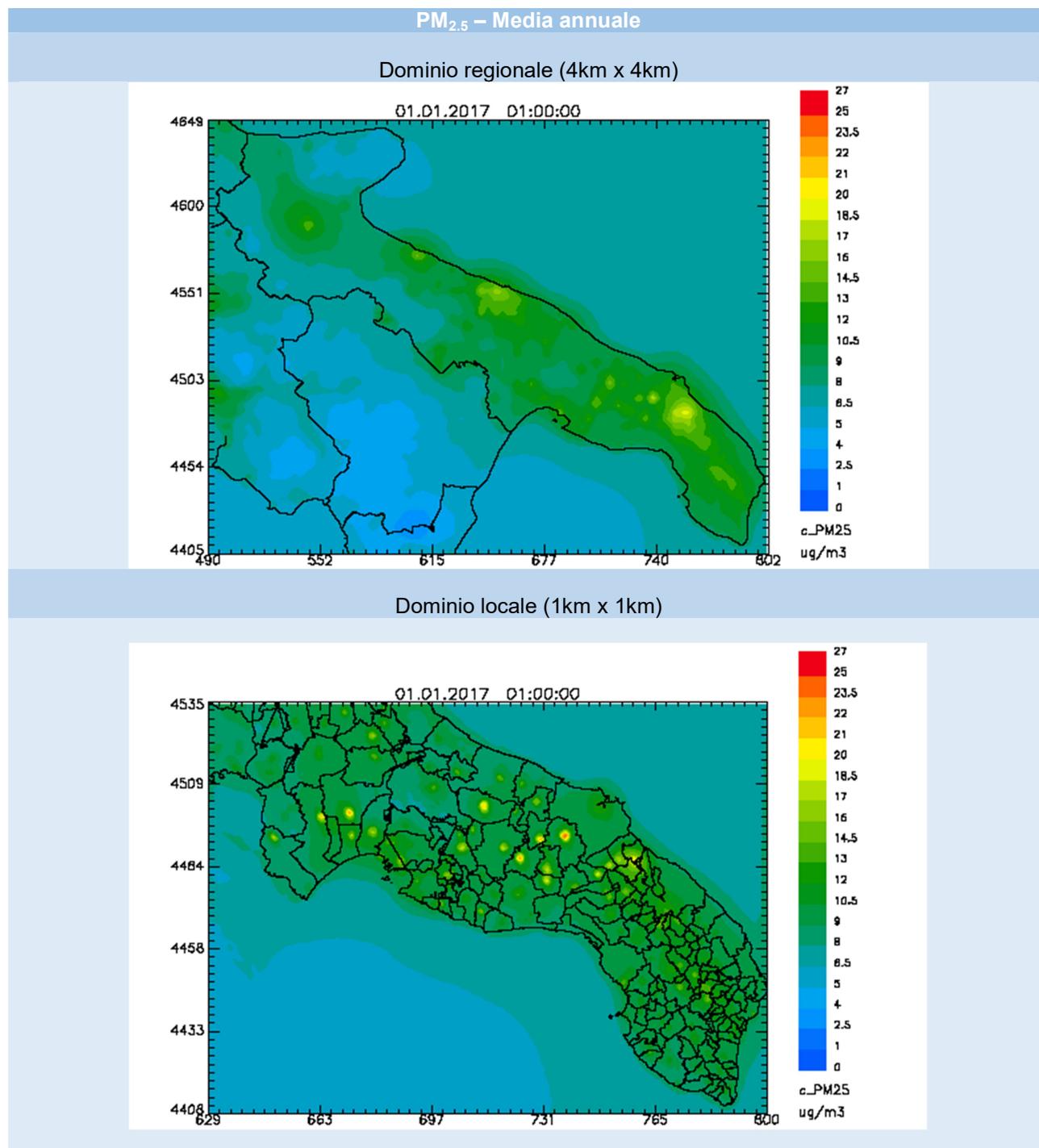
<sup>15</sup> Come già messo in evidenza nelle relazioni del 2013 e del 2016 ed anche evidenziato nel paragrafo precedente, la stima che il modello fornisce delle concentrazioni di PM10 in corrispondenza della centralina Via Don Minzoni risulta fortemente sottostimata (inserire valore di celle del 90\_4 percentile non interpolato solo modello) a differenza di quanto invece si verifica nell'altra centralina (Via Fanin) ubicata sempre a Torchiarolo. Ciò potrebbe essere dovuto al fatto che le emissioni spalmate su celle non rendono conto in modo adeguato della reale distribuzione, molto più articolata, dei comignoli in corrispondenza della centralina.

<sup>16</sup> Per il comune di Mesagne, presso il quale è installata una centralina di monitoraggio della QA, è necessario precisare che la valutazione dello stato della QA 2016 sul dominio ad 1km, non prevede in corrispondenza del sito di monitoraggio (coerentemente con quanto misurato) alcun superamento del valore limite giornaliero. Il superamento del valore limite giornaliero per il PM<sub>10</sub> nei suddetti comuni si verifica in corrispondenza delle aree del centro più urbanizzate.

<sup>17</sup> Nel 2016 analoghi superamenti sono stati riscontrati in 8 comuni: Mottola, Castellaneta, Mesagne, Latiano, Oria, Ceglie Messapica, Erchie, San Donaci.

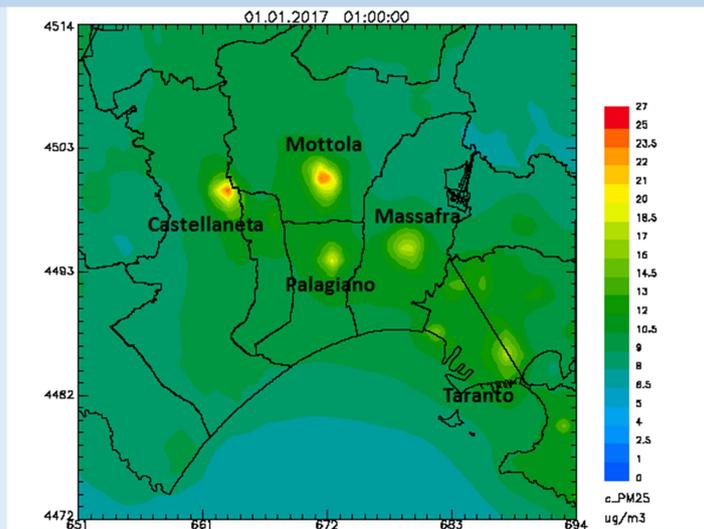
## 8.4 Particolato Fine – PM<sub>2.5</sub>

Di seguito nella Figura 85 si mostrerà per l'indicatore statistico media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per il PM<sub>2.5</sub>, la relativa mappa di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

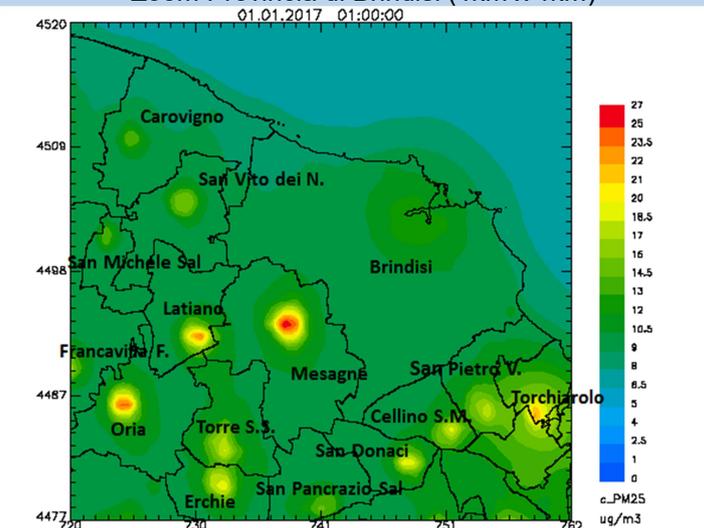


**Figura 85 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di PM<sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione.**

PM<sub>2.5</sub> – Media annuale  
Zoom Provincia di Taranto (1km x1km)



Zoom Provincia di Brindisi (1km x 1km)



Zoom Provincia di Lecce (1km x 1km)

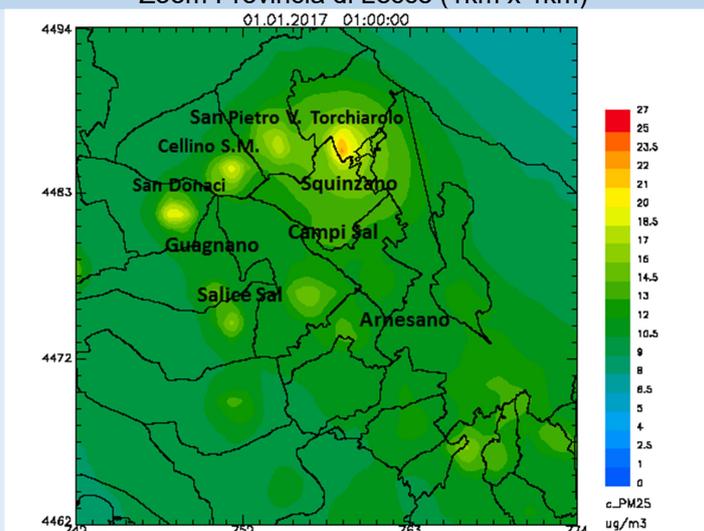


Figura 86 - Dettaglio della mappa sul Salento della concentrazione media annuale di PM<sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle province di Taranto e Brindisi

Per l'indicatore di media annuale prescritto per il PM<sub>2.5</sub> non si verifica alcun superamento del corrispondente valore limite sul dominio regionale.

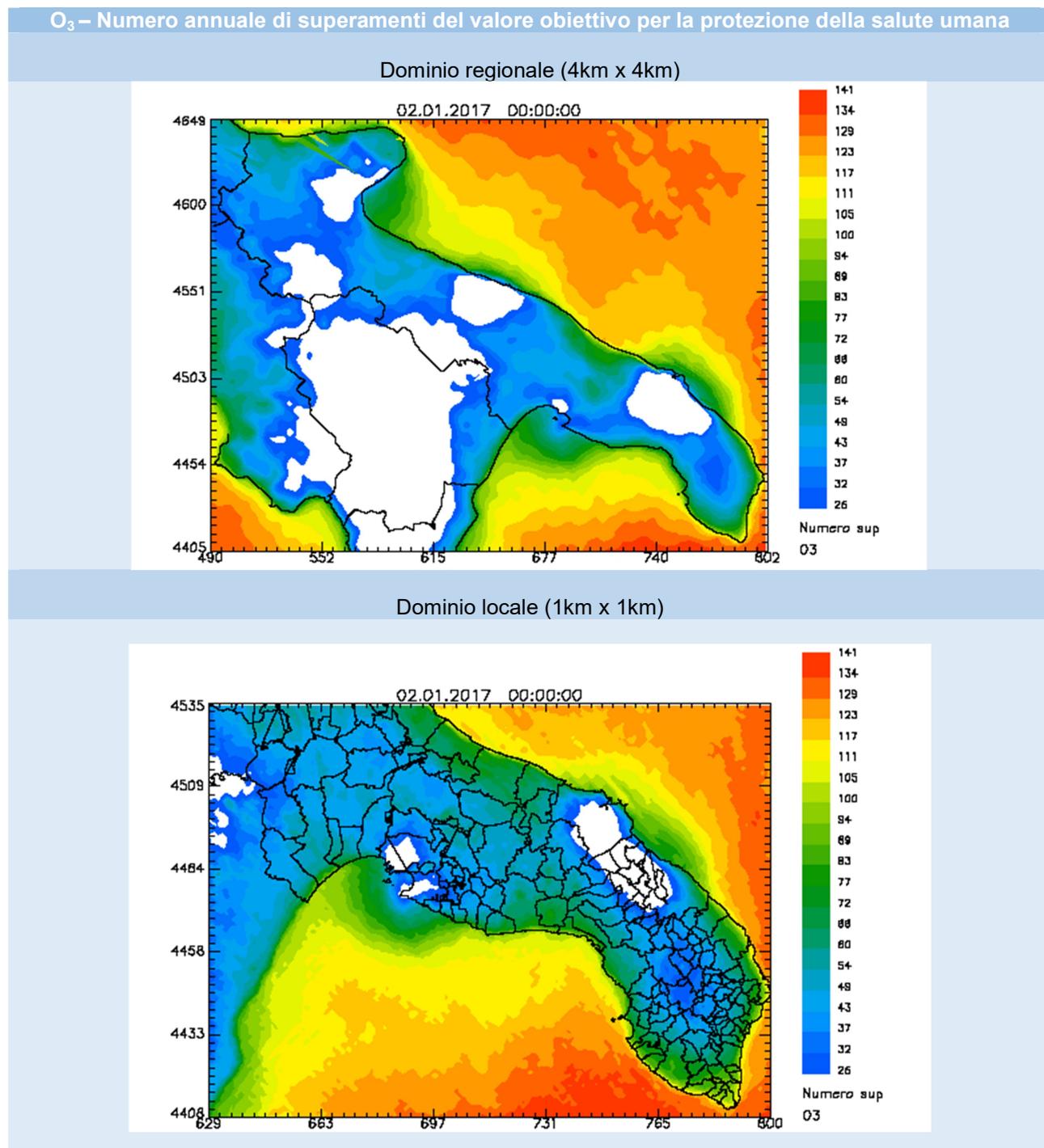
Rispetto alle valutazioni modellistiche condotte sul Salento ad 1km relativamente agli anni 2013 e 2016 che evidenziano diverse non conformità sul territorio brindisino e tarantino, nel 2017 (Figure 85 e 86) emerge una condizione di non conformità nel solo comune di Mesagne, in provincia di Brindisi, dove il massimo valore di concentrazione media annuale stimata per il PM<sub>2.5</sub> risulta pari a 26.9 µg/m<sup>3</sup>. A tale miglioramento dello stato della qualità dell'aria<sup>18</sup> si ritiene possa aver contribuito, come già detto, la maggiore piovosità verificatasi nel 2017 nel corso del periodo invernale.

---

<sup>18</sup> Nei comuni di Latiano e Oria, in provincia di Brindisi, e di Mottola e Castellaneta, in provincia di Taranto i livelli di PM<sub>2.5</sub> stimati dal modello risultano comunque prossimi al valore limite annuale.

## 8.5 Ozono (O<sub>3</sub>)

Di seguito nelle Figure 87 e 88 si mostreranno, per gli indicatori prescritti per la protezione della salute umana dal D.Lgs 155/2010 per O<sub>3</sub>, le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

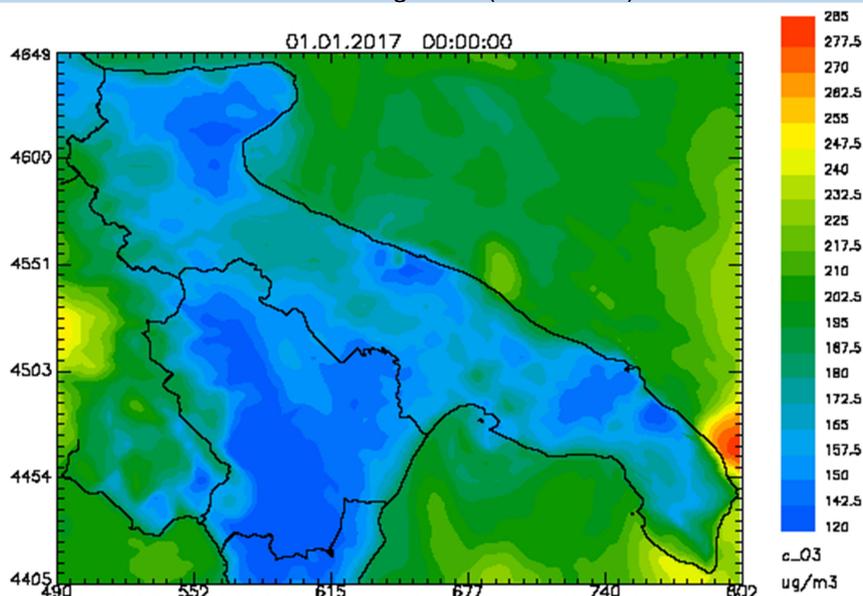


**Figura 87– Mappe del numero annuale di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per O<sub>3</sub>, ottenuta tramite assimilazione**

Sulla regione si verifica un numero di superamenti del valore obiettivo maggiore di quello ammesso in un anno (pari a 25) in diverse aree della regione, con particolare riferimento alle zone costiere. Ad 1km di risoluzione l'area di superamento risulta estesa a buona parte del territorio salentino.

### O<sub>3</sub> – Massimo orario

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

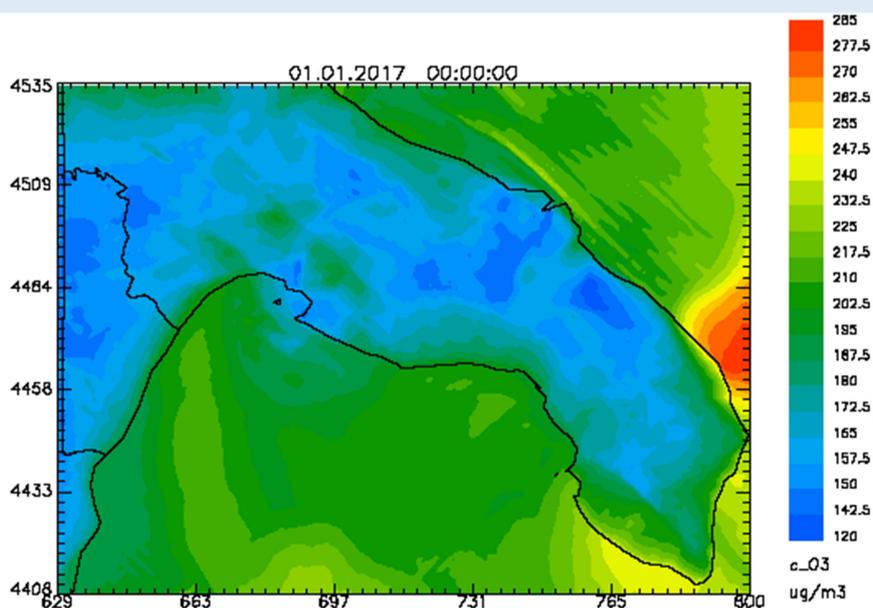


Figura 88 – Mappe della massima concentrazione oraria di O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione

E' opportuno osservare che, sebbene il modello mostri, come indicato nel paragrafo precedente, una capacità soddisfacente di riprodurre il dato misurato in corrispondenza delle centraline di monitoraggio, in corrispondenza del mare e della linea di costa meridionale della penisola salentina è evidente una sovrastima delle concentrazioni. Considerato che l'ozono è fortemente influenzato dai fenomeni di larga scala, tale sovrastima potrebbe dipendere dalle condizioni al

contorno<sup>19</sup> che alimentano il sistema modellistico di Arpa Puglia, come emerso da specifici approfondimenti condotti per individuarne le possibili cause.

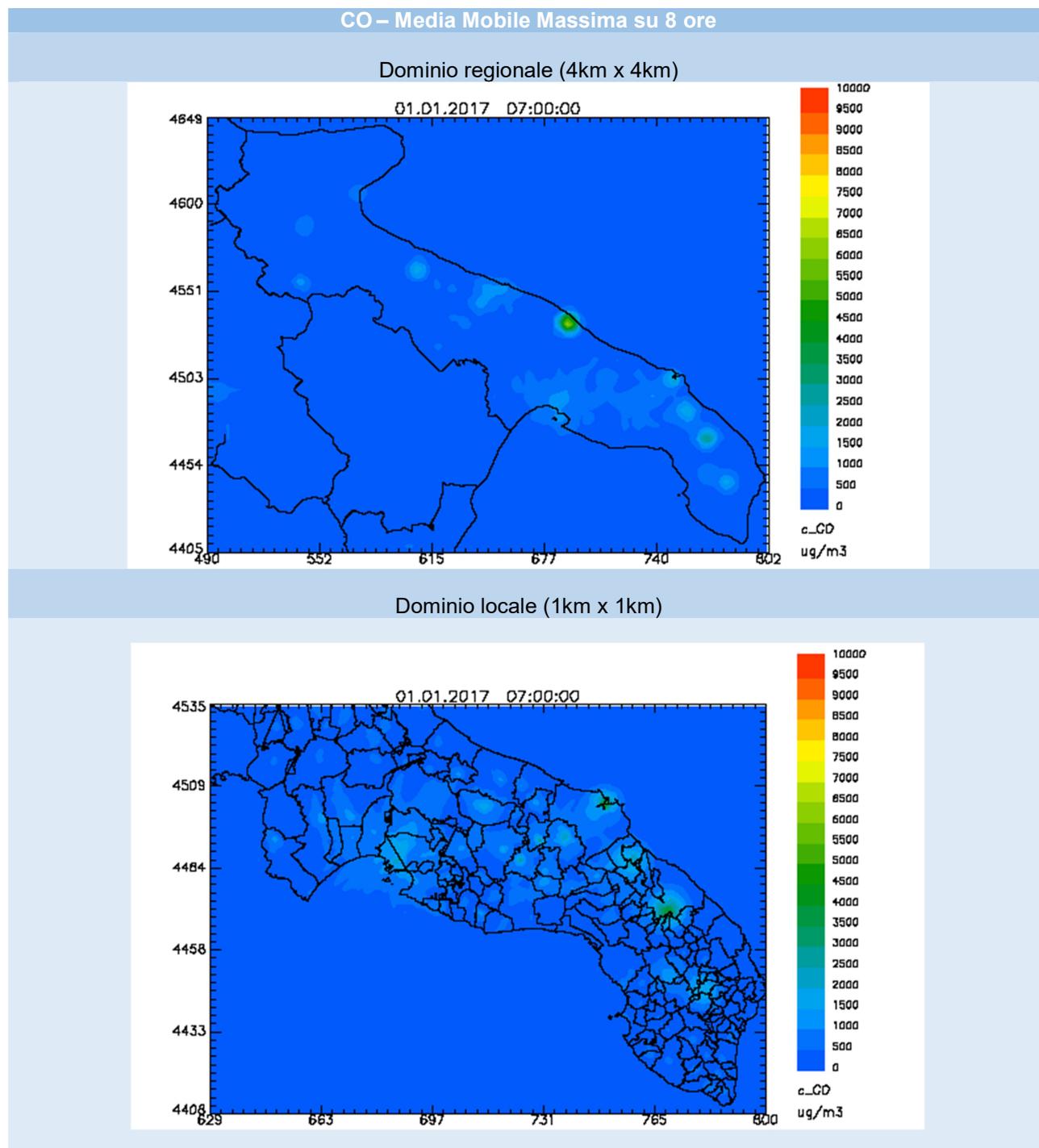
Pertanto, al netto della sovrastima del modello nella parte meridionale della penisola salentina, si rileva il superamento della sola soglia di informazione prescritta per l'ozono solo in prossimità delle coste.

---

<sup>19</sup> Il confronto tra le condizioni al contorno, prodotte dal sistema modellistico previsionale globale Quale Aria e gli output forniti da analoghi sistemi modellistici, ha evidenziato che Quale Aria stima concentrazioni più elevate sul mare circondante la regione. Le condizioni al contorno prodotte da QualeAria, potrebbero probabilmente migliorare implementando il nuovo inventario delle emissioni europeo (CAMS-REG-AP TNO) che ha una rappresentazione più accurata delle emissioni prodotte dalle navi (ciò potrebbe determinare una conseguente riduzione dei livelli di ozono modellati sul mare).

## 8.6 Monossido di carbonio (CO)

Nella Figura 89 si mostreranno per il CO le mappe di analisi prodotte sul dominio regionale e sul Salento.

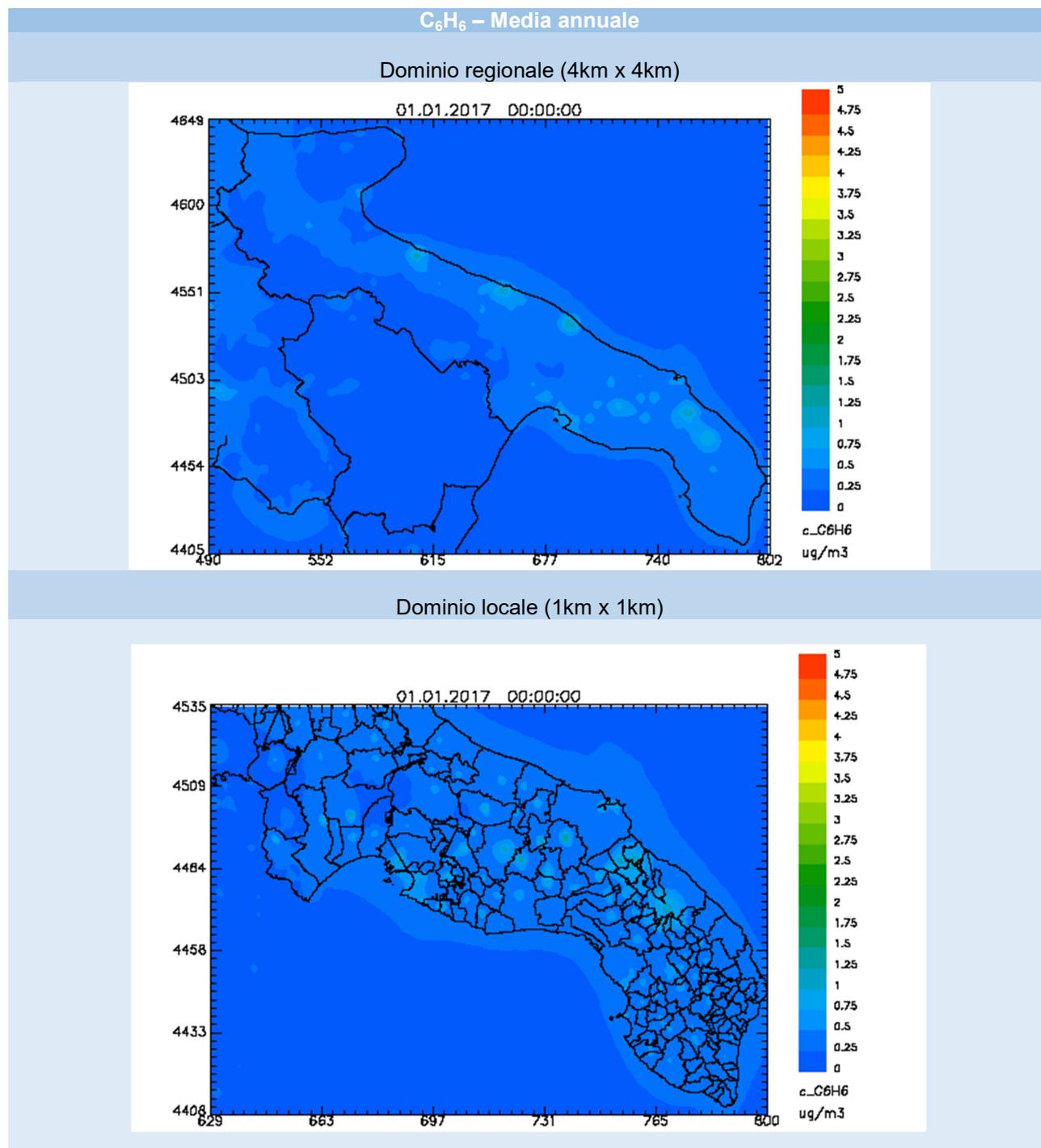


**Figura 89 - Mappe riferite al 2017 della massima concentrazione media mobile su 8 ore di CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione**

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

## 8.7 Benzene(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Nella Figura 90 si mostreranno per l'indicatore media annuale del benzene, prescritto dal D.Lgs 155/2010, le mappe di analisi prodotte sul dominio regionale e sul Salento.



**Figura 90 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di benzene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione**

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

## 8.8 Benzo(a)Pirene (B(a)P)

Nella Figura 91 si mostrano per l'indicatore media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per il Benzo(a)Pirene, le mappe simulate dal solo modello fotochimico sul dominio regionale e sul Salento.

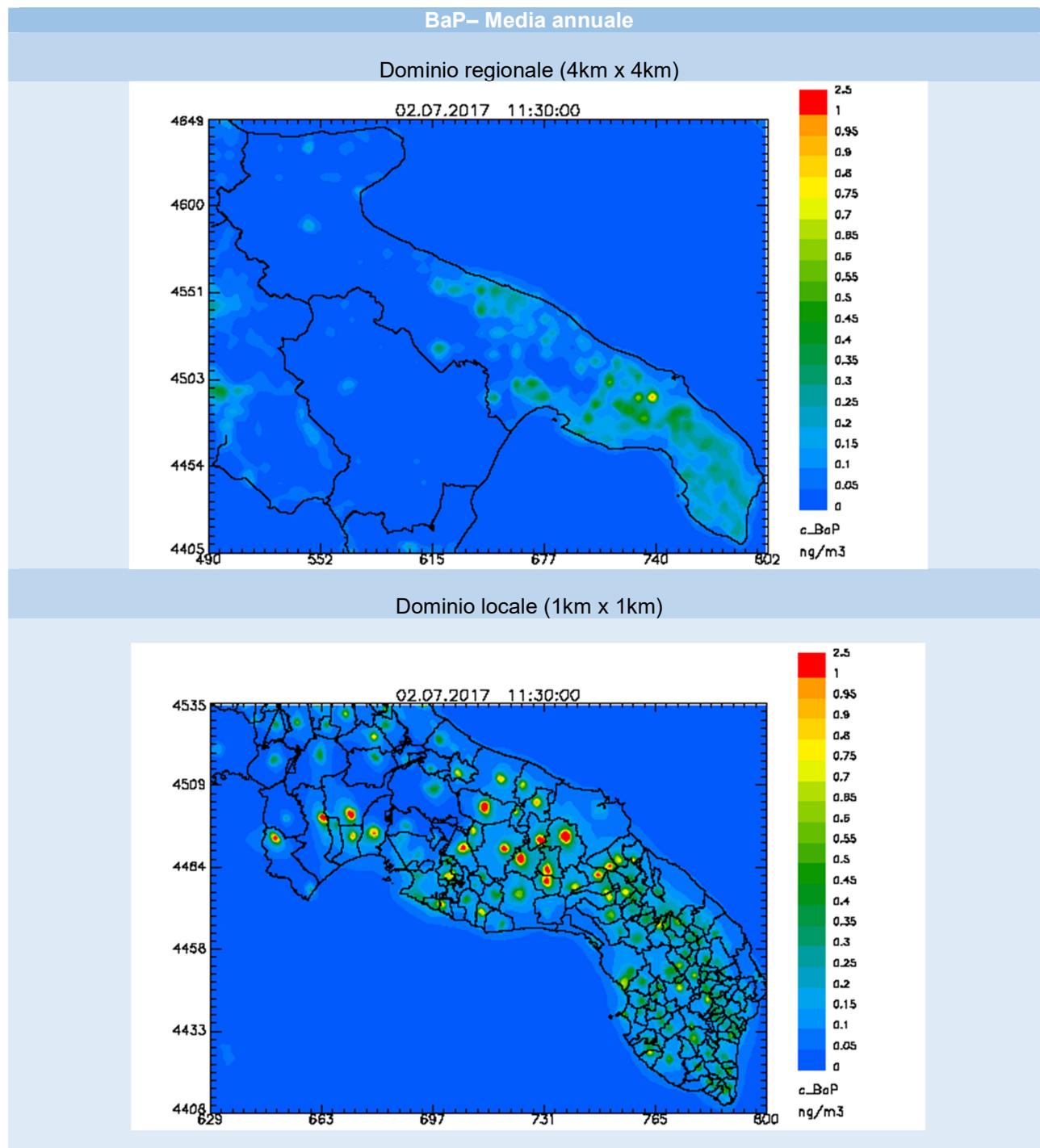
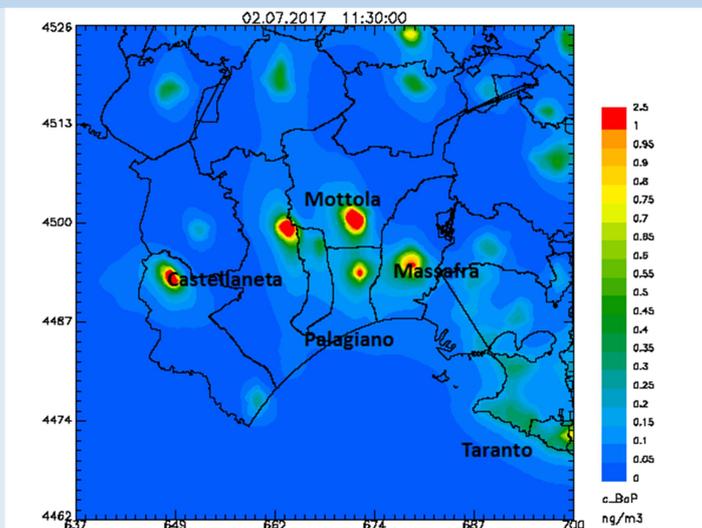
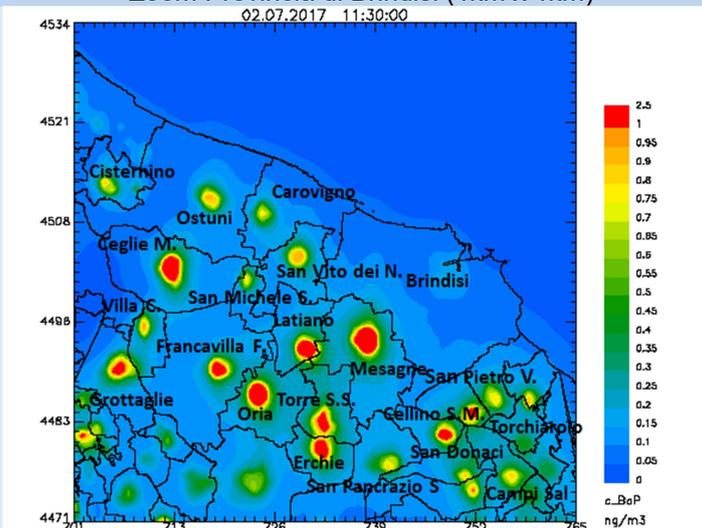


Figura 91 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di Benzo(a)Pirene (ng/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

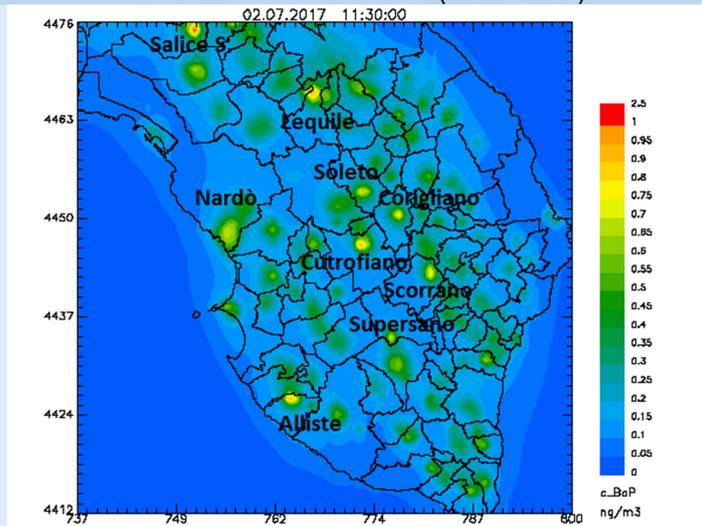
**BaP – Media annuale**  
**Zoom Provincia di Taranto (1km x1km)**



**Zoom Provincia di Brindisi (1km x 1km)**



**Zoom Provincia di Lecce (1km x 1km)**



**Figura 92 - Dettaglio della mappa sul Salento della concentrazione media annua di B(a)P (ng/m<sup>3</sup>), modellata da FARM**

**Tabella 11 - Comuni sul cui territorio si prevede il superamento del valore limite annuale per il B(a)P**

<b>Comune</b>	<b>Provincia</b>	<b>Concentrazione media annuale B(a)P (ng/m<sup>3</sup>)</b>
Mottola	TA	2.0
Castellaneta	TA	2.0
Ginosa	TA	1.5
Massafra	TA	1.1
Palagiano	TA	1.3
San Giorgio Jonico	TA	1.1
Grottaglie	TA	1.2
Mesagne	BR	2.5
Latiano	BR	2.0
Oria	BR	2.0
Ceglie Messapica	BR	1.7
Francavilla	BR	1.3
Torre Santa Susanna	BR	1.4
Erchie	BR	1.5
Cellino San Marco	BR	1.3
San Donaci	BR	1.5
Salice Salentino	LE	1.1

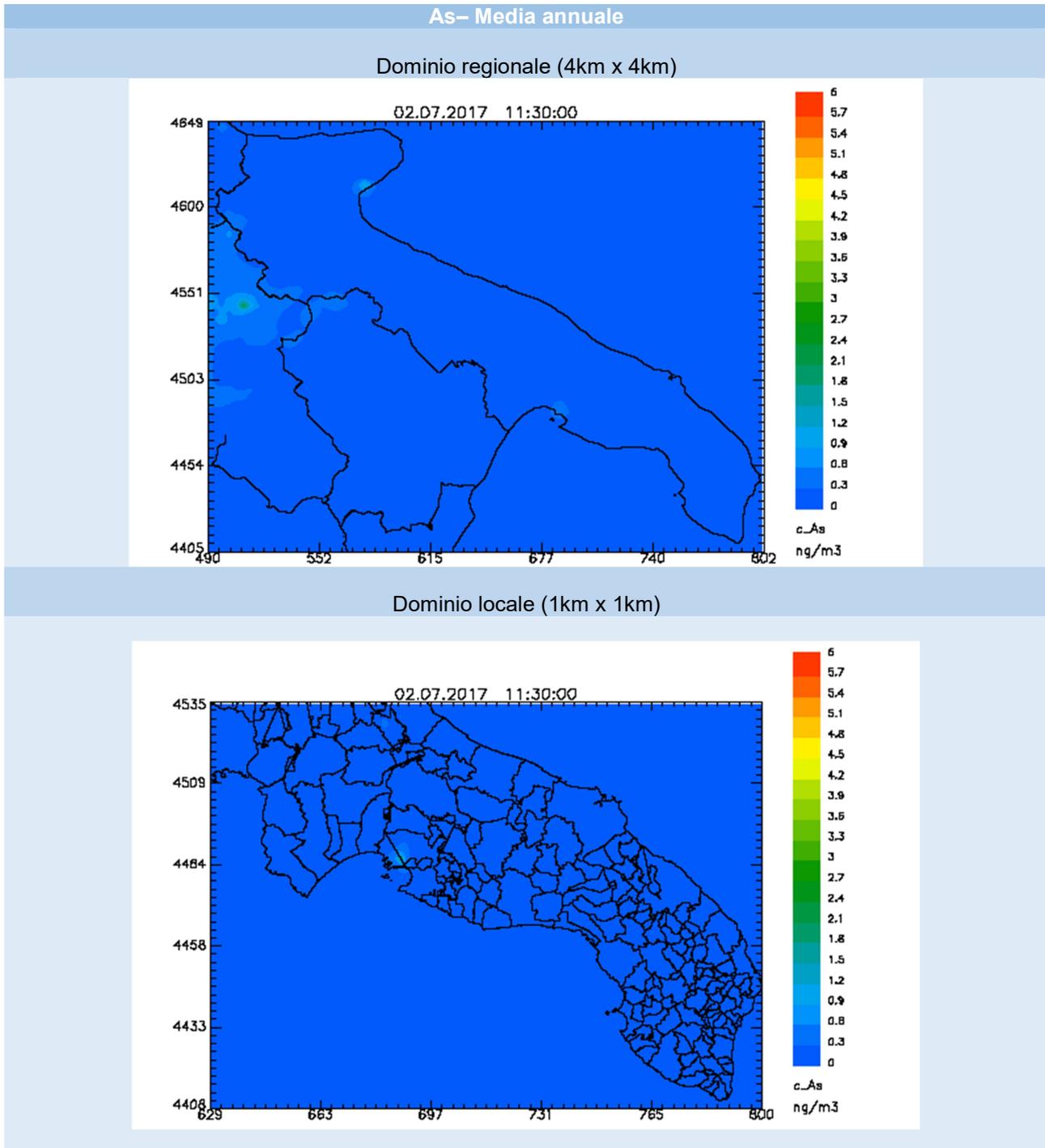
Sul territorio regionale il superamento del valore limite per il B(a)P si riscontra in corrispondenza del comune di Mesagne. In generale le concentrazioni medie annuali più elevate di B(a)P si osservano in corrispondenza dei comuni del brindisino, del leccese e del tarantino.

La mappa sul Salento (ad 1km di risoluzione) consente di rappresentare con miglior dettaglio sia la distribuzione spaziale della concentrazione media annuale che gli stessi livelli di concentrazione. Sul Salento sono presenti numerosi superamenti<sup>20</sup> in diversi comuni posti (Tabella 11) sia nell'area a nord di Taranto che nel territorio brindisino. Le concentrazioni più elevate di B(a)P si riscontrano in particolare nei comuni di Mesagne, Latiano, Oria, Castellaneta e Mottola con valori superiori intorno ai 2 ng/m<sup>3</sup>. E' opportuno rilevare che nei comuni della provincia di Taranto i livelli di B(a)P superano i livelli del comune di Taranto. Come già evidenziato per il PM<sub>10</sub> ed il PM<sub>2.5</sub>, anche per il B(a)P si osserva nel 2017 una riduzione del numero di comuni in corrispondenza dei quali si stima il superamento del valore limite. Ciò potrebbe essere dovuto alle condizioni meteorologiche del 2017, caratterizzate da maggiore piovosità nel periodo invernale rispetto al 2016.

<sup>20</sup> E' 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 al km<sup>2</sup> nelle quali si verificano dei superamenti del valore limite.

## 8.9 Arsenico (As)

Nella Figura 93 si mostreranno per l'indicatore media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per l'Arsenico, le mappe simulate dal solo modello fotochimico sul dominio regionale e sul Salento.

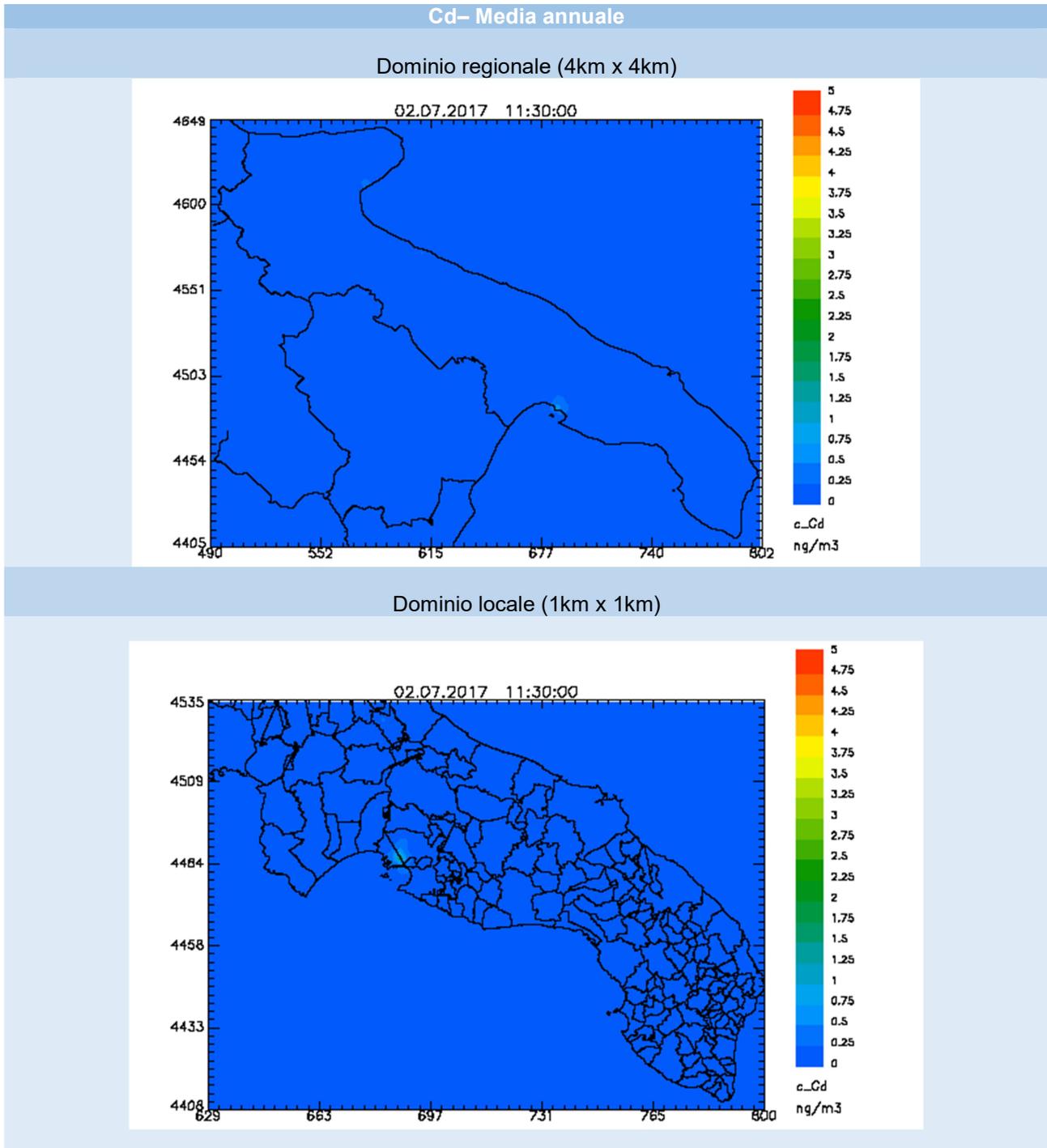


**Figura 93 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di Arsenico (ng/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

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

## 8.10 Cadmio (Cd)

Nella Figura 94 si mostreranno per l'indicatore media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per il Cadmio, le mappe simulate dal solo modello fotochimico sul dominio regionale e sul Salento.

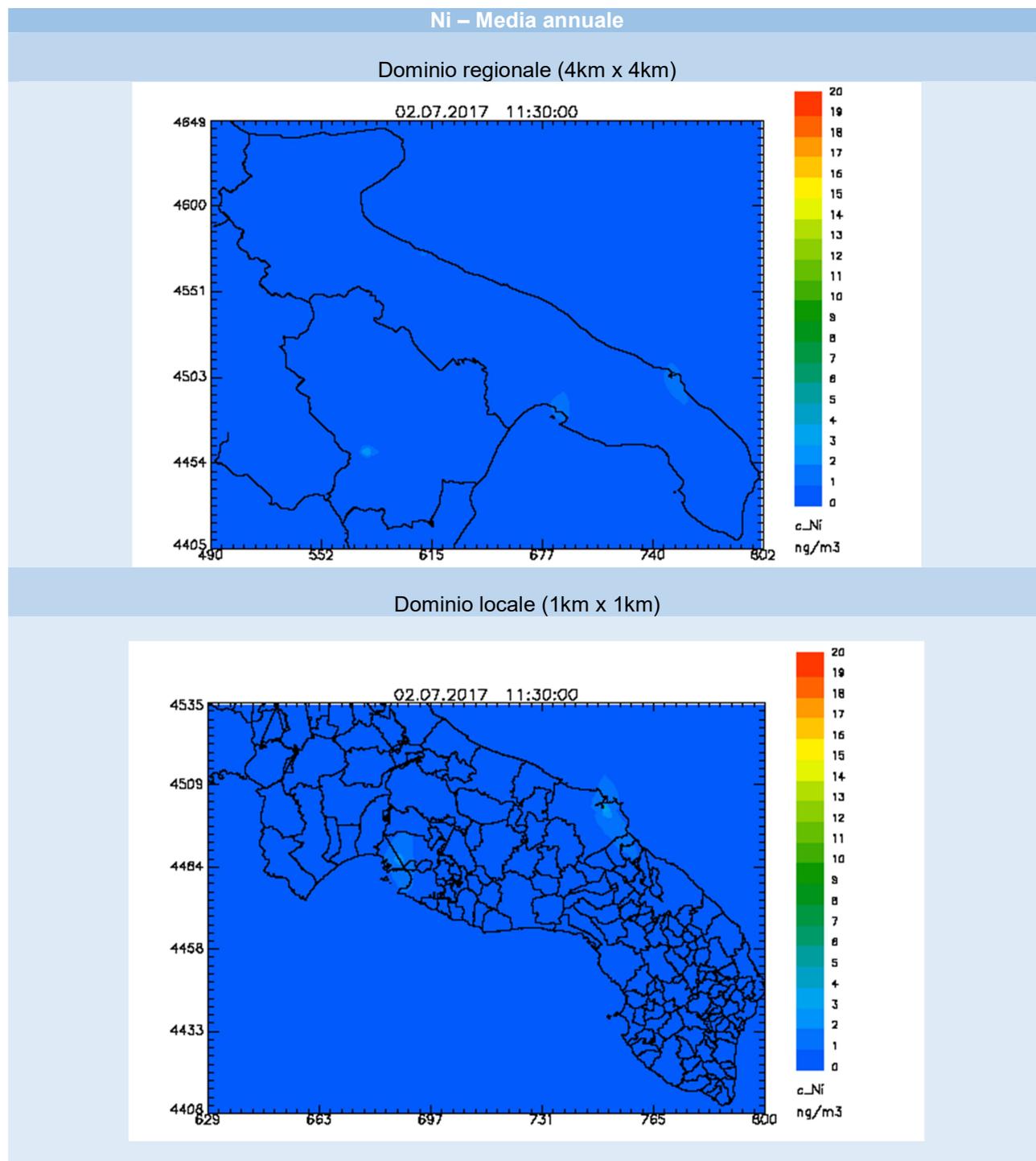


**Figura 94 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di Cadmio ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

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

## 8.11 Nichel (Ni)

Nella Figura 95 si mostreranno per l'indicatore media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per il Nichel, le mappe simulate dal solo modello fotochimico sul dominio regionale e sul Salento.

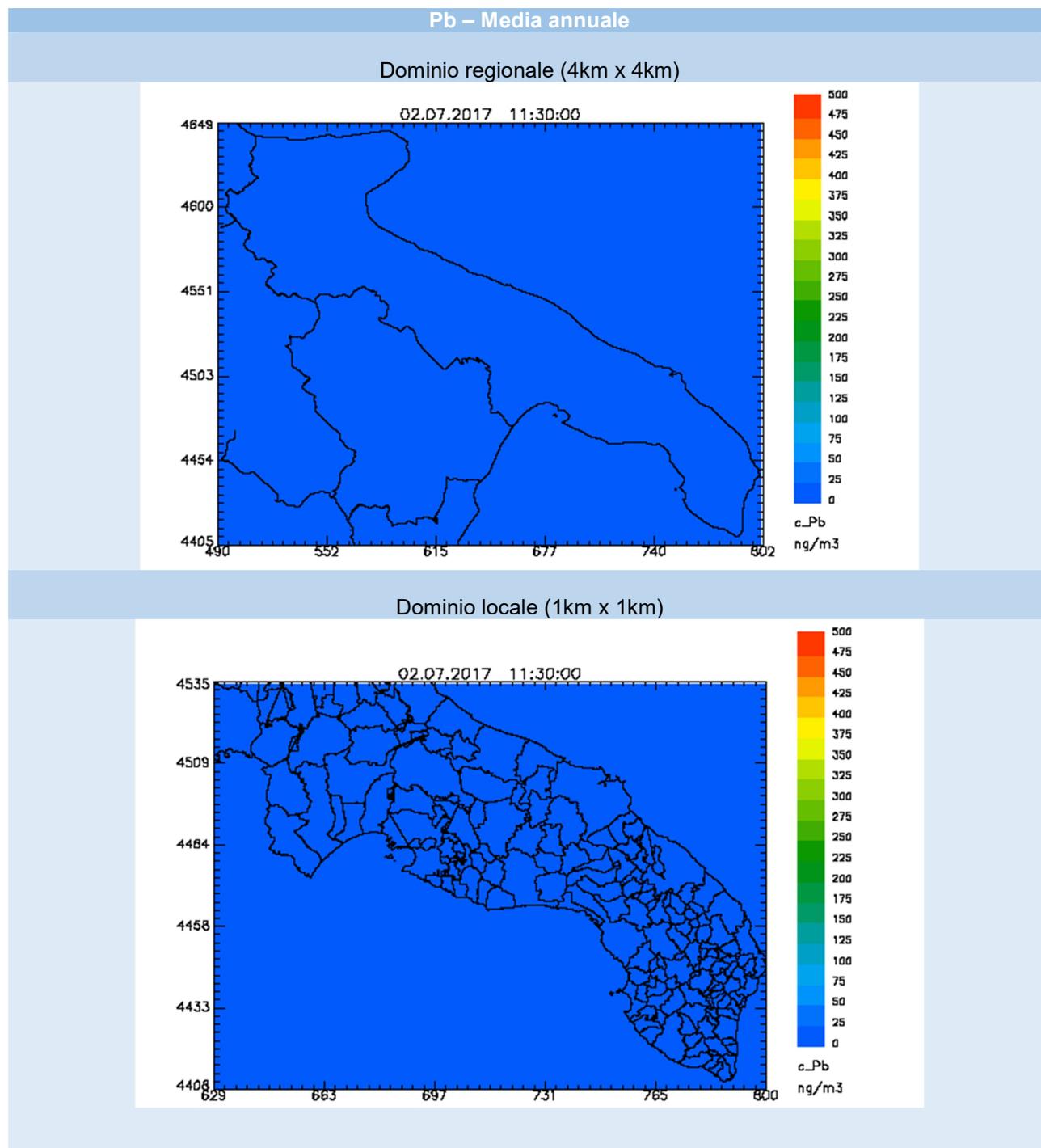


**Figura 95 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di Nichel (ng/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

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

## 8.11 Piombo (Pb)

Nella Figura 96 si mostreranno per l'indicatore media annuale, prescritto dal D.Lgs 155/2010 per il Piombo, le mappe simulate dal solo modello fotochimico sul dominio regionale e sul Salento.



**Figura 96 - Mappe riferite al 2017 della concentrazione media annuale di Piombo (ng/m<sup>3</sup>) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM**

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

## Conclusioni

Nel presente rapporto sono stati mostrati i risultati della valutazione modellistica dello stato della qualità dell'aria relativamente al 2017 sulla regione Puglia, a 4km di risoluzione spaziale, e sulle province di Brindisi, Lecce e Taranto ad 1km di risoluzione. Tale valutazione è stata condotta per 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> combinando le relative misure, effettuate nel 2017 dalle reti di monitoraggio di ARPA Puglia, con i campi di concentrazione, ricostruiti sulla Puglia e sul Salento dal modello fotochimico FARM. Per gli inquinanti As, Cd, Ni, Pb e B(a)P (per i quali non sono disponibili su tutta la regione le relative misure aggiornate al 2017) la valutazione è stata condotta con l'ausilio del solo modello fotochimico.

Il confronto con i limiti della normativa, prescritti dal D.Lgs 155/2010, ha evidenziato per gli inquinanti NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, As, Cd, Ni e Pb la conformità dello stato della QA su entrambi i domini considerati.

Per l'ozono si rileva sul territorio regionale il superamento del valore obiettivo e della soglia di informazione lungo le coste. La valutazione modellistica ad 1km sul Salento, che ricostruisce lo stato della qualità dell'aria con un migliore dettaglio spaziale, conferma tali criticità in particolare lungo le coste salentine.

Inoltre, sul territorio delle province di Brindisi, Lecce e Taranto (dominio Salento), analogamente a quanto già riscontrato per gli anni 2013 e 2016, la valutazione dello stato della QA, condotta ad 1km di risoluzione, ha rilevato anche per il 2017 la presenza di alcune non conformità per il PM<sub>10</sub>, per il B(a)P, per il PM<sub>2.5</sub>, anche se in numero e di entità inferiori rispetto agli anni precedenti, presumibilmente anche a causa delle condizioni meteorologiche più favorevoli alla diluizione e alla rimozione degli inquinanti.

In particolare, riguardo al valore limite giornaliero per il particolato fine – frazione PM<sub>10</sub>, da non superare per più di 35 volte all'anno, l'analisi condotta per il 2017, assimilando le misure di PM<sub>10</sub> delle centraline della rete di monitoraggio sui corrispondenti campi di concentrazione previsti dal modello fotochimico FARM, ha evidenziato alcune non conformità sia in corrispondenza della provincia di Taranto (nei comuni di Mottola e Castellaneta), che in alcuni comuni dell'area brindisina (Mesagne, Latiano, Oria).

Rispetto alle valutazioni modellistiche condotte sul Salento ad 1km relativamente agli anni 2013 e 2016, nel 2017 emerge una condizione di non conformità nel solo comune di Mesagne in provincia di Brindisi.

Relativamente al Benzo(a)pirene la valutazione condotta con il solo modello fotochimico ha evidenziato la presenza di alcuni superamenti in provincia di Taranto (nei comuni di Mottola, Castellaneta, Ginosa, Massafra, Grottaglie, Palagiano e San Giorgio Jonico) e in provincia di Brindisi (nei comuni di Mesagne, Latiano, Ceglie Messapica, Oria, Cellino San Marco, San Donaci, Francavilla Fontana, Erchie, Torre Santa Susanna), interessando in provincia di Lecce soltanto il comune di Salice Salentino.

## Riferimenti Bibliografici

Binkowski F. S. (1999) The aerosol portion of Models-3 CMAQ. In Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System. Part II: Chapters 9-18. D. W. Byun and J. K. S. Ching (Eds.) EPA-600/R-99/030, National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 10-1-10-16.

Binkowski, F. S. and U. Shankar (1995) The regional particulate matter model, 1. mode description and preliminary results. *J. Geophys. Res.*, 100, 26191-26209.

Carter WPL (2000) Documentation of the SAPRC-99 Chemical Mechanism for VOC Reactivity Assessment. Final Report to California Air Resources Board, Contract 92-329 and 95-308, SAPRC, University of California, Riverside, CA.

Fedele F., et al., 2015, Impact of Planetary Boundary Layer parametrization scheme and land cover classification on surface processes: wind speed and temperature bias spatial distribution analysis over south Italy, 15th EMS Annual Meeting & 12th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), September 2015, Sofia, Bulgaria.

Madronich, S (1989) Photodissociation in the atmosphere 1. Actinic flux and the effect of ground reflections and clouds. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 9740-9752.

Nenes A., Pandis S. N., Pilinis C. (1998) ISORROPIA: A new thermodynamic equilibrium model for multiphase multicomponent inorganic aerosols. *Aquat. Geoch.*, 4, 123-152.

Pernigotti, D., Gerboles, M., Belis, C.A. and Thunis, P. (2013) 'Model quality objectives based on measurement uncertainty. Part II: NO<sub>2</sub> and PM<sub>10</sub>', *Atmospheric Environment*, Vol. 79, pp.869–878.

Schell B., Ackermann I. J., Hass H., Binkowski F. S., Abel A. (2001) Modeling the formation of secondary organic aerosol within a comprehensive air quality modeling system. *J. Geophys. Res.*, 106, D22, 28275-28293.

Stauffer, D. R. and N. L. Seaman, 1990, Use of four-dimensional data assimilation in a limited-area mesoscale model. Part I: Experiments with synoptic-scale data, *Mon. Wea. Rev.*, 118:1250–1277.

Thunis, P., Pederzoli, A. and Pernigotti, D. (2012a) 'Performance criteria to evaluate air quality modelling applications', *Atmospheric Environment*, Vol. 59, pp.476–482.

Thunis, P., Georgieva, E. and Pederzoli, A. (2012b) 'A tool to evaluate air quality model performances in regulatory applications', *Environmental Modelling & Software*, Vol. 38, pp.220–230.

Thunis, P., Pernigotti, D. and Gerboles, M. (2013) 'Model quality objectives based on measurement uncertainty. Part I: ozone', *Atmospheric Environment*, Vol. 79, pp.861–868.

Bari, 13/06/2019

**Simulazioni con modello fotochimico, assimilazione dati, post-elaborazione e predisposizione mappe** a cura di Ing. Ilenia Schipa;

**Valutazione performance modello fotochimico** a cura di Dott.ssa Annalisa Tanzarella;

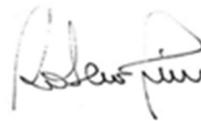
**Analisi condizioni meteorologiche e confronto dati meteorologici osservati e modellati** a cura di Dott.ssa Francesca Intini

**Redazione della relazione a cura di** Angela Morabito, Ilenia Schipa, Annalisa Tanzarella e Francesca Intini

Si ringraziano della collaborazione le Strutture Organizzative Qualità dell'aria di BA-BT-FG e di BR-LE-TA e la Sub-Struttura Inventario e banche dati emissive del Centro Regionale Aria di ARPA Puglia.

Il Direttore del Centro Regionale Aria

Dott. Roberto Giua



P.O. Emissioni

Dott.ssa Angela Morabito

