



RELAZIONE
TECNICA

Dicembre 2017



**Valutazione dello stato della Qualità dell'Aria
sulla regione Puglia con focus sul Salento
Anno 2016**

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

Sommario

| | |
|--|-----------|
| 1. Introduzione | 4 |
| 2. Sistema modellistico e definizione dei domini di calcolo | 6 |
| 3. Campi meteorologici | 9 |
| 3.1 Il modello meteorologico previsionale..... | 9 |
| 3.2 Stazioni di monitoraggio meteo | 10 |
| 3.3 Confronto dati meteorologici misure-modello | 11 |
| 4. Emissioni | 21 |
| 4.1 Emissioni industriali ILVA – aggiornamento al 2015 | 21 |
| 4.2 Aggiornamento del <i>layer</i> cartografico di spazializzazione delle emissioni da riscaldamento residenziale..... | 23 |
| 4.3 Emissioni delle regioni limitrofe | 24 |
| 5. Condizioni iniziali ed al contorno | 25 |
| 6. Valutazione delle performance della simulazione modellistica annuale 2016 | 27 |
| 6.1 Dominio di simulazione “Regione Puglia” | 29 |
| 6.2 Dominio di simulazione “Salento” | 37 |
| 7. Integrazione dei dati sperimentali nel sistema modellistico | 46 |
| 8. Valutazione dello stato della Qualità dell’Aria sulla regione Puglia e sul Salento – Anno 2016 | 49 |
| 8.1 Biossido di azoto (NO ₂) | 51 |
| 8.2 Biossido di zolfo (SO ₂)..... | 55 |
| 8.3 Particolato Fine - PM ₁₀ | 58 |
| 8.4 Particolato Fine – PM _{2,5} | 65 |
| 8.5 Ozono (O ₃) | 68 |
| 8.6 Monossido di carbonio (CO)..... | 70 |
| 8.7 Benzene(C ₆ H ₆)..... | 71 |
| 8.8 Benzo(a)Pirene (BaP)..... | 72 |
| 8.9 Arsenico (As)..... | 76 |
| 8.10 Cadmio (Cd) | 77 |
| 8.11 Nichel (Ni) | 78 |
| 8.11 Piombo (Pb) | 79 |
| Conclusioni | 80 |
| Riferimenti Bibliografici | 81 |

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 delle 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 predittiva¹. 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 2016, 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. A riguardo si precisa che la prima valutazione modellistica di ARPA riferita al 2013 sullo stato della QA sulla Regione, con *nesting* sul Salento, aveva evidenziato proprio su tale area una serie di non conformità per il PM₁₀, PM_{2.5} e Benzo(a)Pirene.

Si precisa inoltre che, rispetto alla valutazione modellistica riferita al 2013, per il 2016 i campi di concentrazione, ricostruiti sulla Puglia e sul Salento dal modello fotochimico, sono stati combinati/integrati con le misure effettuate nel 2016 dalle reti di monitoraggio di ARPA Puglia, al fine di ottenere una migliore e più realistica rappresentazione dello stato della QA 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 statistica della performance dei risultati della simulazione condotta con il solo modello fotochimico, mediante l'utilizzo del software DELTA Tool;
- b) la valutazione dello stato della QA relativa al 2016 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

¹ 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/previsioniqualitadellaria/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.

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 FARM² (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.

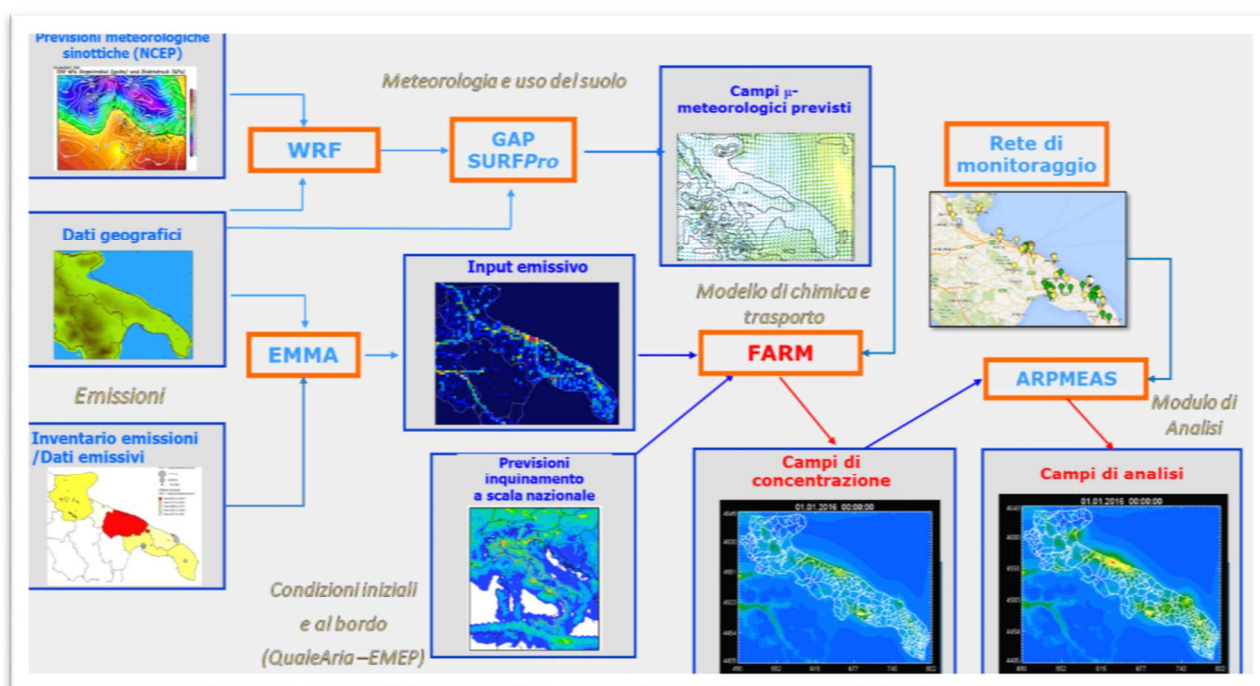


Figura 1 - Sistema modellistico utilizzato per la Valutazione annuale della Qualità dell'aria.

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 2016, FARM è stato alimentato con:

- i campi meteorologici previsionali, prodotti dal SAF di ARPA Puglia relativamente al 2016 mediante l'utilizzo del modello meteorologico prognostico WRF (Weather Research and Forecasting);

² 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 2016, 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 tutte³ 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 μm), "accumulazione" (0,1-2,5 μm) e "grossolane" (2,5-10 μm), 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);

³ 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.

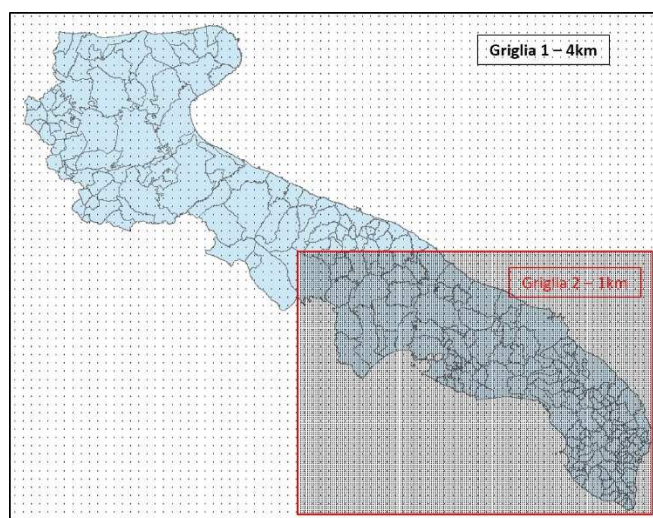


Figura 2 - Domini di calcolo del sistema modellistico

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

| Dominio | Denominazione | Estensione | Risoluzione spaziale |
|----------------|----------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Griglia 1 | Regione Puglia | 316 x 248 km ² | 4km x 4km |
| Griglia 2 | Salento | 172 x 128 km ² | 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. Campi meteorologici

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.

3.1 Il modello meteorologico previsionale

I campi meteorologici necessari al sistema modellistico sono stati forniti dal Servizio Agenti Fisici (SAF) di ARPA Puglia (www.arpa.puglia.it/web/quest/serviziometeo).

Tali campi sono stati prodotti per l'anno 2016 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.

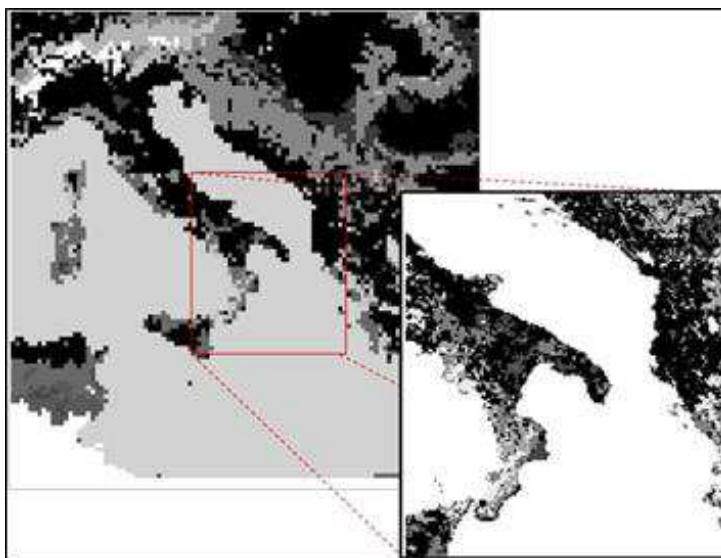


Figura 3 - Domini innestati del modello meteorologico previsionale WRF

Ai fini della valutazione dello stato della QA relativo al 2016, 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 GAP⁴. 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

⁴ 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).

della turbolenza atmosferica (diffusività orizzontali e verticali) e delle velocità di deposizione secca, relative alle specie chimiche considerate dal modello di dispersione.

3.2 Stazioni di monitoraggio meteo

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 presso alcune postazioni meteo di ARPA Puglia ed i dati modellati, estratti in corrispondenza delle suddette centraline.

Le centraline meteorologiche prese in considerazione (Figura 4) sono quelle posizionate presso le sedi dei Dipartimenti Provinciali (DAP) di ARPA. Per quanto riguarda l'area di Taranto si precisa che oltre la centralina meteorologica, posta presso il DAP di Taranto⁵, è stata presa in considerazione anche la centralina della rete regionale di qualità dell'aria, sita presso Capo San Vito⁶, dotata anche di strumentazione di tipo meteorologico. Le centraline meteorologiche, installate presso i DAP, sono gestite dal Servizio Agenti Fisici di Arpa Puglia e misurano, ad intervalli temporali di 30 minuti, i seguenti parametri:

- temperatura,
- velocità e direzione del vento,
- umidità relativa,
- pressione atmosferica,
- radiazione solare globale
- precipitazione.

In Tabella 2 si specificano le caratteristiche delle suddette centraline.

Tabella 2 – Caratteristiche delle centraline meteorologiche site presso i DAP di ARPA Puglia

| STAZIONE | PROV. | COORDINATE | | ALTEZZA | PARAMETRI MISURATI |
|--------------|-------|------------------|------------------|---------------|--|
| | | <i>XUTM (km)</i> | <i>YUTM (km)</i> | <i>s.l.m.</i> | |
| | | | | <i>metri</i> | |
| DAP Foggia | BA | 545,75 | 4589,45 | 30 | velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm., radiazione, precipitazione (ogni 30 minuti) |
| DAP Bari | FG | 658,99 | 4553,47 | 30 | velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm., radiazione, precipitazione (ogni 30 minuti) |
| DAP Taranto | TA | 686,49 | 4483,90 | 30 | velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm., radiazione, precipitazione (ogni 30 minuti) |
| 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 | 35 | velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm., radiazione, precipitazione (ogni 30 minuti) |
| DAP Lecce | LE | 769,89 | 4471,05 | 40 | velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, pressione atm., radiazione, precipitazione (ogni 30 minuti) |

Per il confronto con i dati modellati sono stati presi in considerazione i seguenti parametri: vento, temperatura e precipitazione. Per ciascuna centralina e per ciascuno dei parametri considerati è stata verificata la disponibilità di misure orarie valide (Tabella 3), poiché il confronto modello-misura è stato svolto solo per quelle centraline che avevano almeno il 75% di dati validi.

⁵ A causa della particolare collocazione di tale centralina in un contesto industriale, ricco di "ostacoli", è plausibile ritenere che le relative misure possano essere caratterizzate da una rappresentatività spaziale particolarmente limitata.

⁶ Tale centralina è collocata lontano dal centro abitato e quindi da ostacoli che ne influenzino le misure di vento.

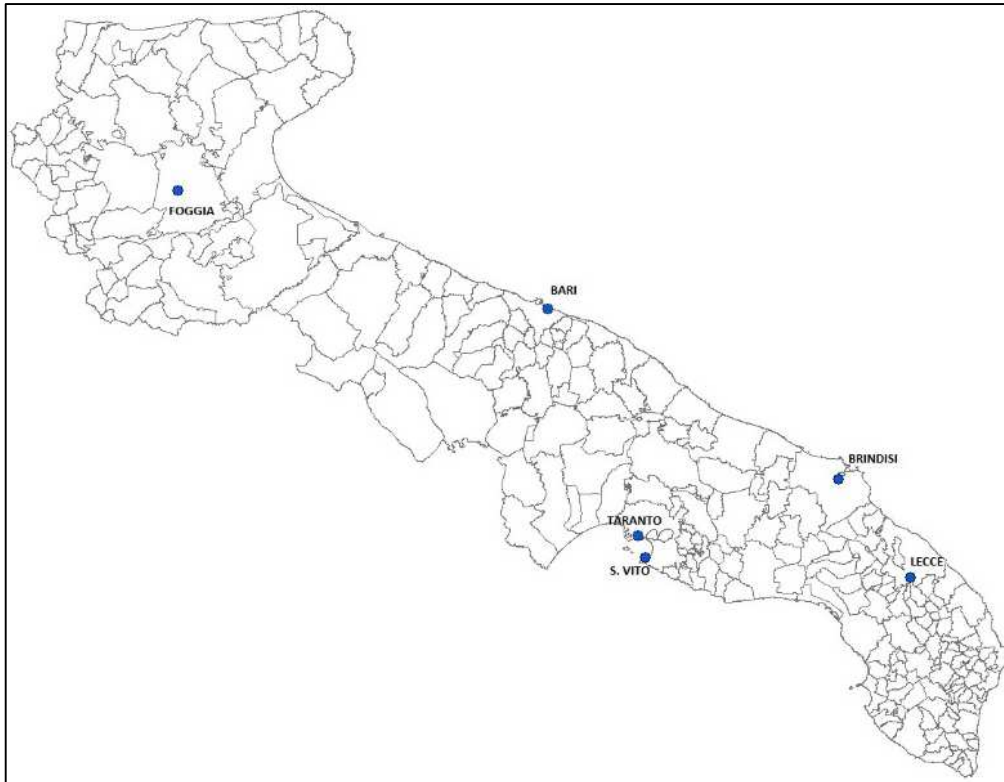


Figura 4 – Localizzazione delle centraline meteorologiche di ARPA Puglia

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

| % Dati validi | | | | | | |
|------------------------|-------------------|-----------------|---------------------|--------------------|-----------------|------------------|
| <i>parametri meteo</i> | <i>DAP-Foggia</i> | <i>DAP-Bari</i> | <i>DAP-Brindisi</i> | <i>DAP-Taranto</i> | <i>San Vito</i> | <i>DAP-Lecce</i> |
| VV | 64,3% | 98,9% | 94,2% | 99,5% | 99,7% | 98,4% |
| DV | 64,3% | 98,9% | 94,2% | 99,5% | 99,7% | 98,4% |
| TEMP | 64,3% | 99,0% | 94,2% | 99,6% | 99,8% | 98,5% |
| PRECIP | 64,3% | 99,7% | 99,2% | 100,0% | 60,0% | 98,9% |

Dalla Tabella 3 è possibile osservare che per l'anno 2016 la postazione sita presso il DAP di Foggia presenta, per tutte le variabili considerate, una percentuale di dati validi significativamente inferiore al 75%. Per tale motivo questa è stata esclusa dal confronto.

3.3 Confronto dati meteorologici misure-modello

Concordemente con la disponibilità dell'output del modello, è stato effettuato un confronto tra dati modellati e dati misurati su base oraria. A tal fine, occorre comunque sottolineare che il *matching* tra modello e misure è sempre limitato 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.

3.3.1 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.

Relativamente alle postazioni meteorologiche, site a Bari (Figura 5) e a Brindisi (Figura 6), si può osservare che il modello ha qualche difficoltà nel riprodurre alcune direttrici del vento. Per la postazione di Brindisi si rileva anche una tendenza da parte del modello a sovrastimare la velocità del vento.

Per quanto riguarda la postazione sita a Lecce (Figura 7), si osserva una buona capacità da parte del modello di riprodurre le direzioni prevalenti. Permane la tendenza a sovrastimare l'intensità del vento.

Confrontando le rose dei venti per le due postazioni site rispettivamente presso il DAP Taranto (Figura 8) e presso Capo San Vito (Figura 9), è possibile notare per la prima la presenza di sostanziali differenze, mentre per la seconda l'accordo è piuttosto buono. Infatti il modello, a parte la tendenza a sovrastimare l'intensità del vento, riproduce in maniera soddisfacente le direzioni prevalenti.

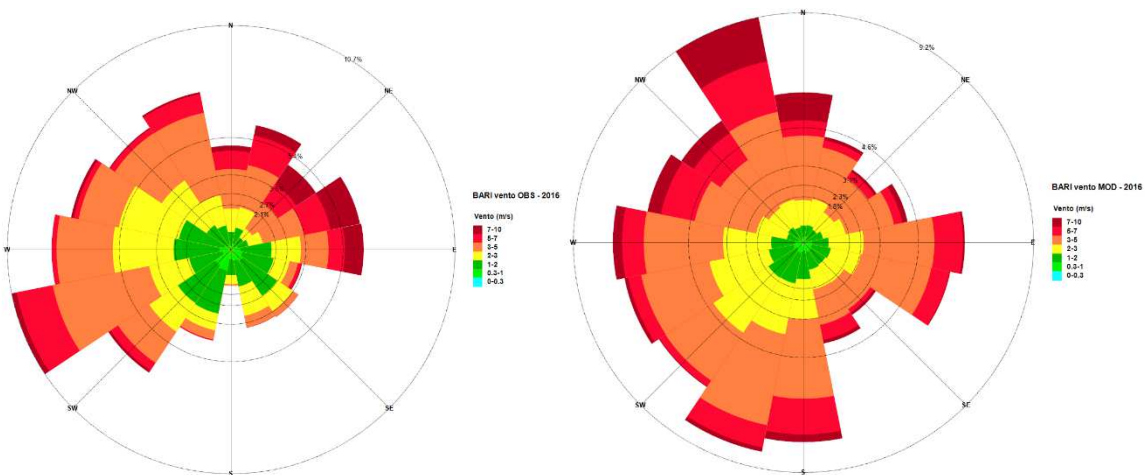


Figura 5 – Confronto tra le Rose del vento misurata (a sx) e modellata (a dx) nella postazione del DAP Bari

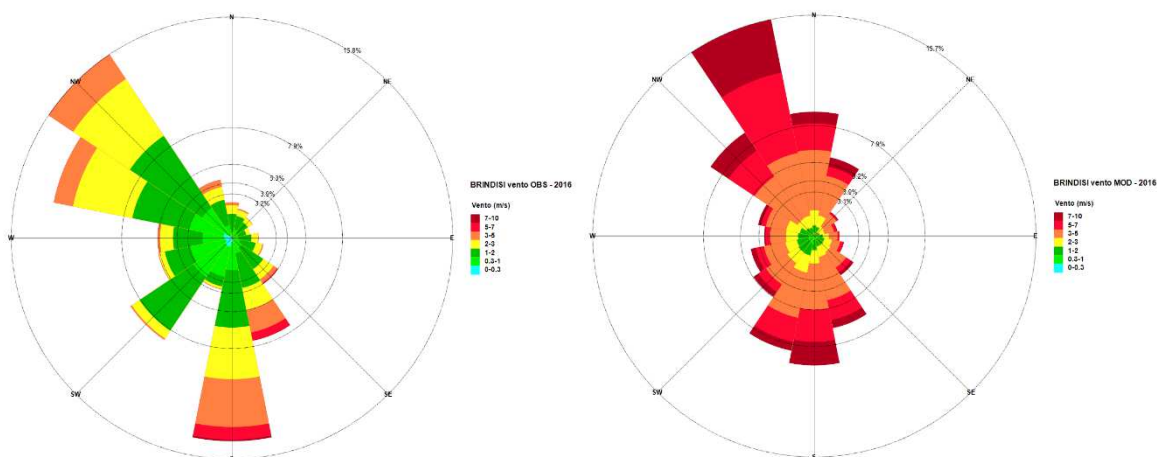


Figura 6 – Confronto tra le Rose del vento misurata (a sx) e modellata (a dx) nella postazione del DAP Brindisi

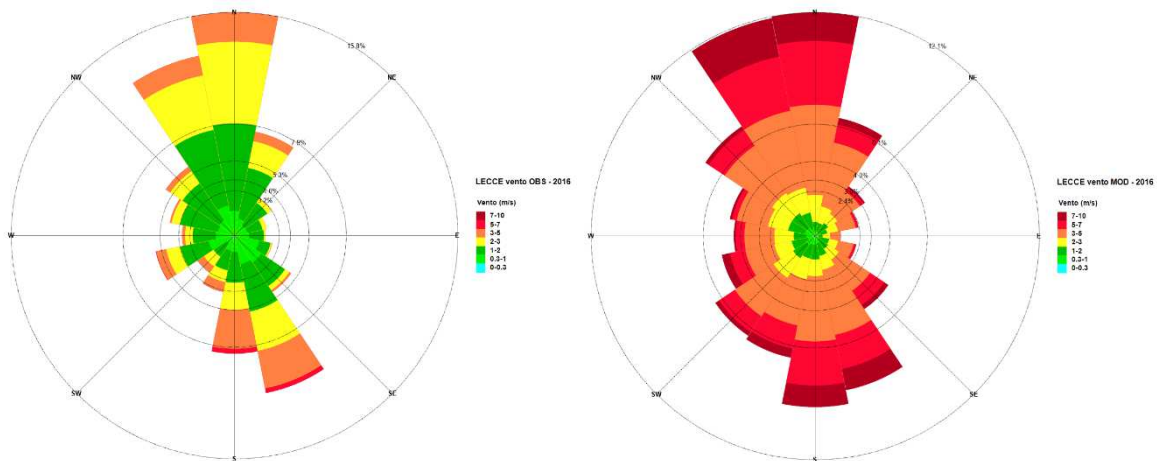


Figura 7 – Confronto tra le Rose del vento misurata (a sx) e modellata (a dx) nella postazione del DAP Lecce

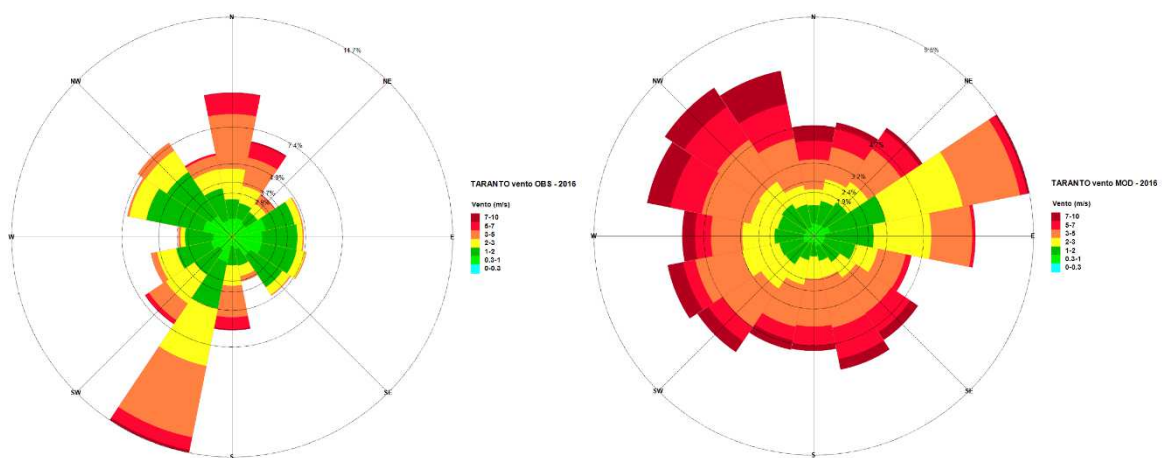


Figura 8 – Confronto tra le Rose del vento misurata (a sx) e modellata (a dx) nella postazione del DAP Taranto

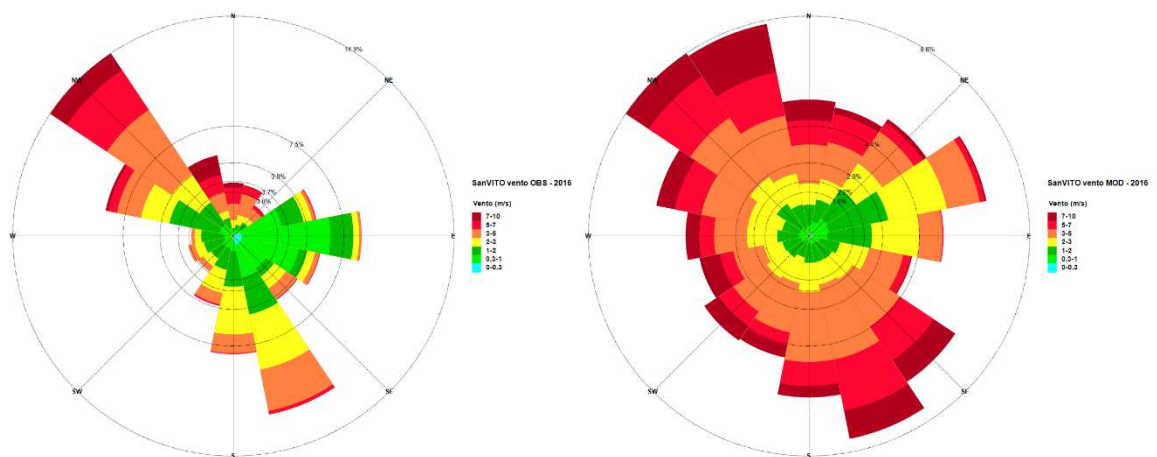


Figura 9 – Confronto tra le Rose del vento misurata (a sx) e modellata (a dx) nella postazione Capo San Vito

Al fine di valutare l'accordo tra i dati di intensità del vento modellati e misurati su base oraria, di seguito sono mostrati (Figure 10, 11 e 12) i relativi *scatter plot* presso le postazioni considerate.

Per la stazione sita a Bari l'accordo è piuttosto soddisfacente, mentre in tutti gli altri casi si osserva una generale sovrastima della velocità del vento da parte del modello meteorologico previsionale.

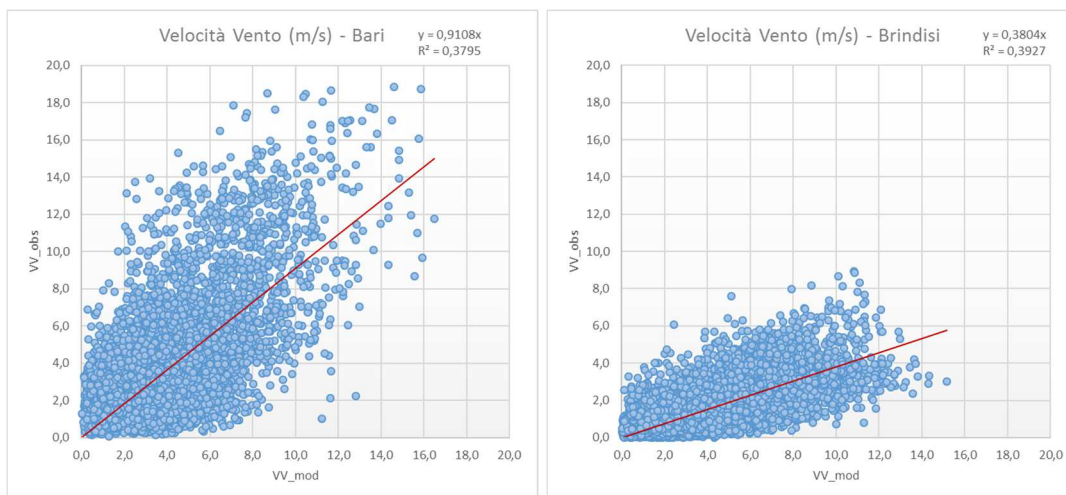


Figura 10 – Scatter plot di confronto tra le velocità del vento orarie misurate e modellate presso le centraline meteo DAP di Bari (a sinistra) e DAP Brindisi (a destra)

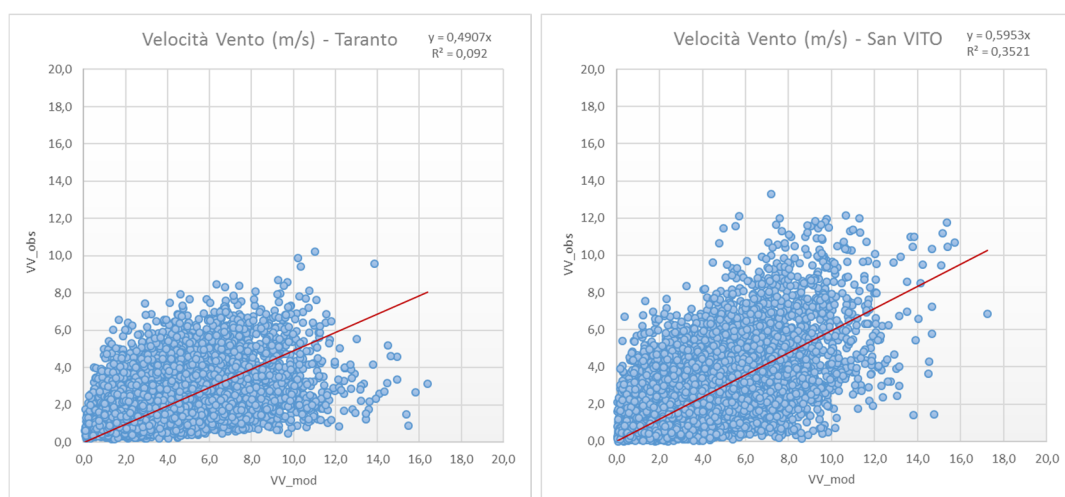


Figura 11 – Scatter plot di confronto tra le velocità del vento orarie misurate e modellate presso la centralina meteo DAP Taranto (a sinistra) e la centralina di QA Capo San Vito (a destra)

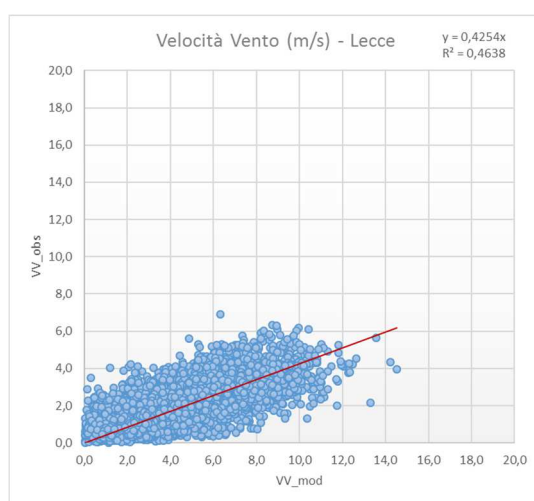


Figura 12 – Scatter plot di confronto tra le velocità del vento orarie misurate e modellate presso la centralina DAP Lecce

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 statistici⁷

| | |
|------------------------------|---|
| 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

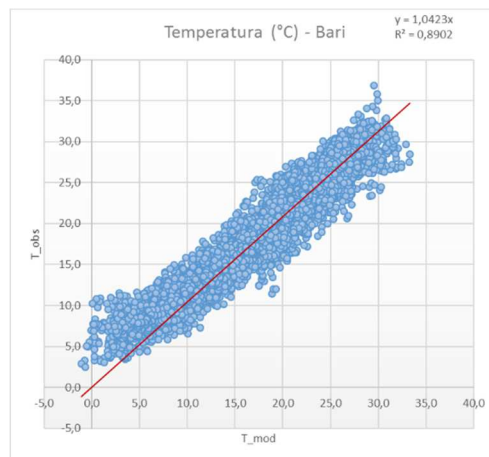
| TARANTO_VV | | | LECCE_VV | | | BRINDISI_VV | | | BARI_VV | | | SanVITO_VV | | |
|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
| | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> |
| <i>media</i> | 2,12 | 3,72 | <i>media</i> | 1,82 | 4,02 | <i>media</i> | 1,78 | 4,43 | <i>media</i> | 3,59 | 3,78 | <i>media</i> | 2,49 | 3,94 |
| <i>Stand.Dev</i> | 1,42 | 2,38 | <i>Stand.Dev</i> | 1,03 | 2,15 | <i>Stand.Dev</i> | 1,20 | 2,34 | <i>Stand.Dev</i> | 2,72 | 2,13 | <i>Stand.Dev</i> | 2,04 | 2,49 |
| <i>Bias</i> | 1,60 | | <i>Bias</i> | 2,23 | | <i>Bias</i> | 2,76 | | <i>Bias</i> | 0,23 | | <i>Bias</i> | 1,46 | |
| <i>FracBias</i> | 0,55 | | <i>FracBias</i> | 0,76 | | <i>FracBias</i> | 0,89 | | <i>FracBias</i> | 0,06 | | <i>FracBias</i> | 0,45 | |
| <i>RMSE</i> | 2,64 | | <i>RMSE</i> | 2,74 | | <i>RMSE</i> | 3,33 | | <i>RMSE</i> | 2,20 | | <i>RMSE</i> | 2,52 | |
| <i>NMSE</i> | 0,88 | | <i>NMSE</i> | 1,02 | | <i>NMSE</i> | 1,41 | | <i>NMSE</i> | 0,35 | | <i>NMSE</i> | 0,65 | |
| <i>Corr</i> | 0,50 | | <i>Corr</i> | 0,71 | | <i>Corr</i> | 0,64 | | <i>Corr</i> | 0,63 | | <i>Corr</i> | 0,61 | |

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 0,23) si rileva per la centralina DAP Bari (Tabella 5). La correlazione tra i dati di vento misurati e modellati è sempre positiva e superiore a 0,50 (fatta eccezione per la stazione di Taranto).

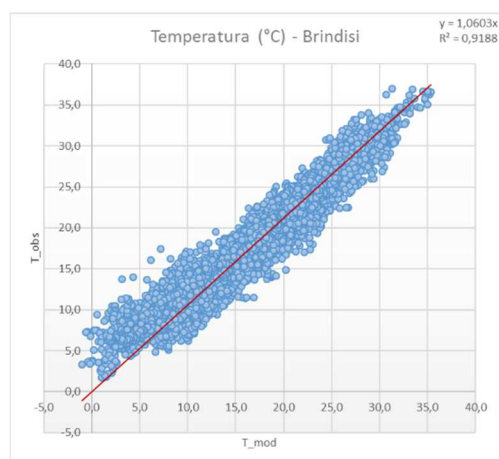
⁷ Nelle formule O indica il dato osservato e M il dato modellato.

3.3.2 Temperatura

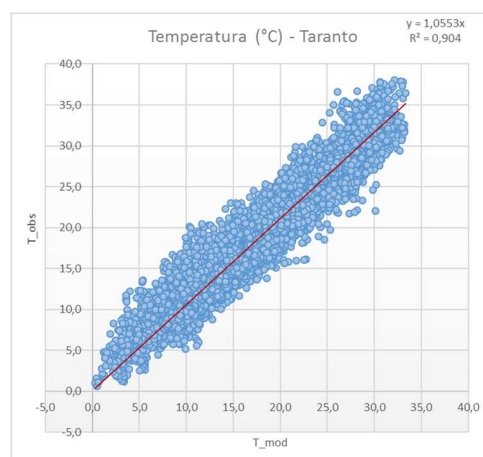
Di seguito (Figure 13, 14, 15, 16, 17) si confrontano gli *scatter plot* elaborati a partire dai dati orari di temperatura, misurati dalle centraline di monitoraggio e dai dati modellati, estratti nei corrispondenti punti di griglia.



**Figura 13 – Scatter plot di confronto tra le temperature orarie misurate e modellate presso le centraline meteo DAP
Bari**



**Figura 14 – Scatter plot di confronto tra le temperature orarie misurate e modellate presso le centraline meteo DAP
Brindisi**



**Figura 15 – Scatter plot di confronto tra le temperature orarie misurate e modellate presso la centralina meteo DAP
Taranto**

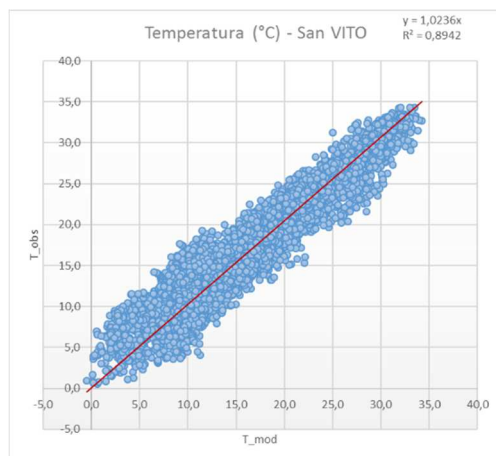


Figura 16 – Scatter plot di confronto tra le temperature orarie misurate e modellate presso la centralina meteo la centralina QA Capo San Vito

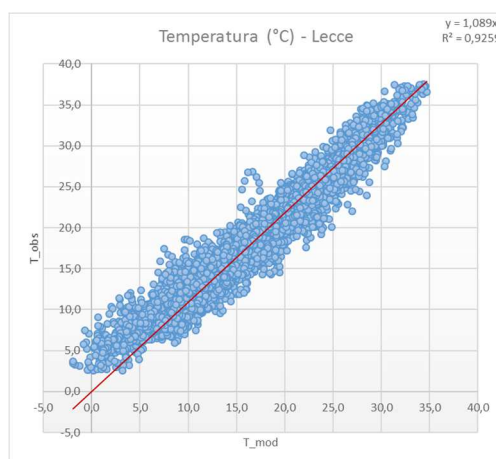


Figura 17 – Scatter plot di confronto tra le temperature orarie misurate e modellate presso la centralina meteo DAP Lecce

La valutazione dell'abilità del modello nel rappresentare la temperatura è stata anche valutata attraverso il calcolo di alcuni indici statistici (Tabella 6), indicati nella precedente Tabella 4.

Tabella 6 - indicatori statistici per la temperatura

| TARANTO_TEMP | | | LECCE_TEMP | | | BRINDISI_TEMP | | | BARI_TEMP | | | S.VITO_TEMP | | |
|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
| | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> | | <i>obs</i> | <i>mod</i> |
| <i>media</i> | 18,52 | 17,38 | <i>media</i> | 18,42 | 16,65 | <i>media</i> | 17,91 | 16,61 | <i>media</i> | 17,62 | 16,54 | <i>media</i> | 18,02 | 17,29 |
| <i>Stand.Dev</i> | 7,13 | 6,80 | <i>Stand.Dev</i> | 7,24 | 6,82 | <i>Stand.Dev</i> | 7,78 | 6,67 | <i>Stand.Dev</i> | 6,41 | 6,53 | <i>Stand.Dev</i> | 6,57 | 6,88 |
| <i>Bias</i> | -1,06 | | <i>Bias</i> | -1,50 | | <i>Bias</i> | -0,28 | | <i>Bias</i> | -0,90 | | <i>Bias</i> | -0,70 | |
| <i>FracBias</i> | -0,06 | | <i>FracBias</i> | -0,09 | | <i>FracBias</i> | -0,02 | | <i>FracBias</i> | -0,05 | | <i>FracBias</i> | -0,04 | |
| <i>RMSE</i> | 2,70 | | <i>RMSE</i> | 3,31 | | <i>RMSE</i> | 4,63 | | <i>RMSE</i> | 2,61 | | <i>RMSE</i> | 2,25 | |
| <i>NMSE</i> | 0,02 | | <i>NMSE</i> | 0,04 | | <i>NMSE</i> | 0,07 | | <i>NMSE</i> | 0,02 | | <i>NMSE</i> | 0,02 | |
| <i>Corr</i> | 0,95 | | <i>Corr</i> | 0,97 | | <i>Corr</i> | 0,97 | | <i>Corr</i> | 0,96 | | <i>Corr</i> | 0,95 | |
| <i>MFB</i> | -0,06 | | <i>MFB</i> | -0,11 | | <i>MFB</i> | 0,02 | | <i>MFB</i> | -0,07 | | <i>MFB</i> | -0,06 | |
| <i>MFE</i> | 0,13 | | <i>MFE</i> | 0,18 | | <i>MFE</i> | 0,24 | | <i>MFE</i> | 0,15 | | <i>MFE</i> | 0,13 | |

Dalla Tabella 6 si può notare che la correlazione tra i dati modellati e i dati misurati è piuttosto alta, con valori da 0,95 a 0,97 per tutte le stazioni. I valori del bias sono sempre negativi ma bassi in

valore assoluto, ad indicare la lieve sottostima della temperatura da parte del modello, come peraltro si può osservare anche dagli *scatter plot* sopra riportati.

3.3.3 Precipitazioni

Il confronto tra i dati di precipitazione misurati e modellati è stato effettuato su base giornaliera (Figure 18, 19, 20, 21) e mensile (Figure 22, 23, 24, 25).

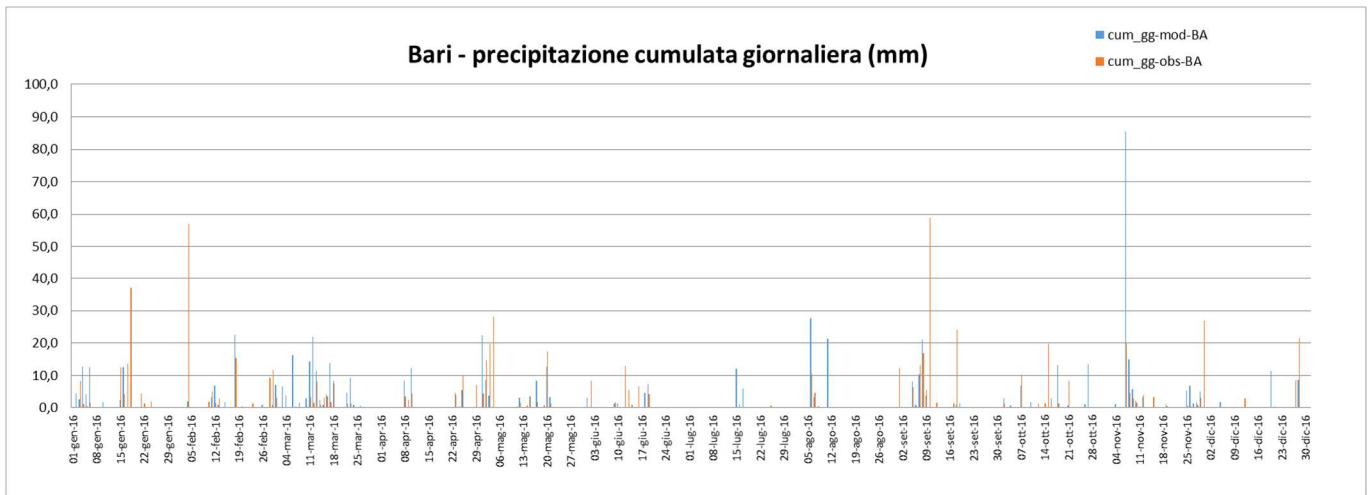


Figura 18 – Precipitazioni cumulate giornaliere misurate e modellate nella postazione meteo DAP Bari

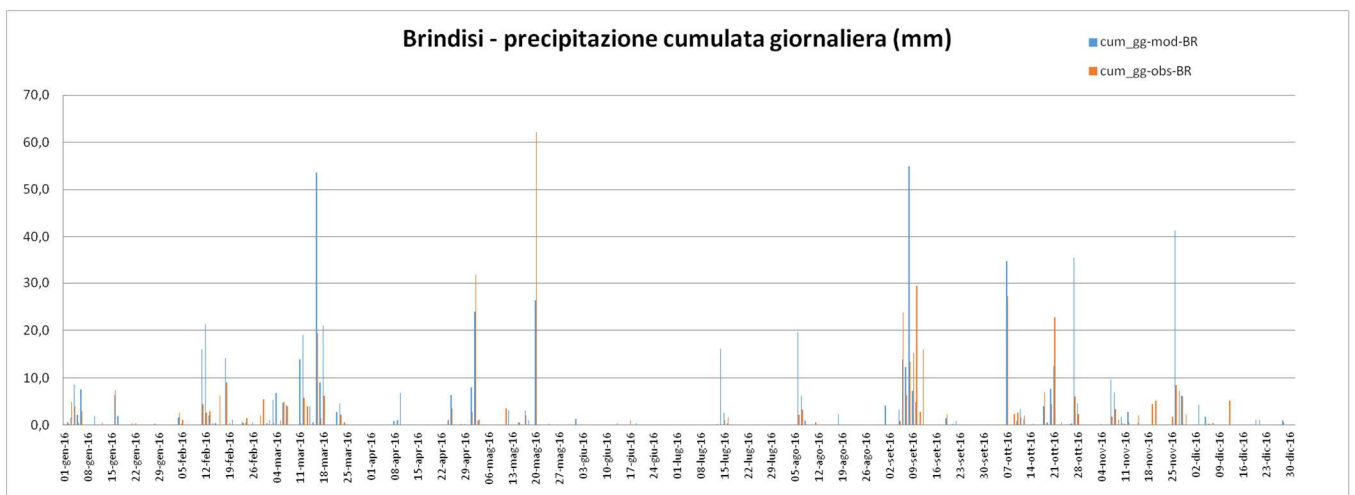


Figura 19 – Precipitazioni cumulate giornaliere misurate e modellate nella postazione meteo DAP Brindisi

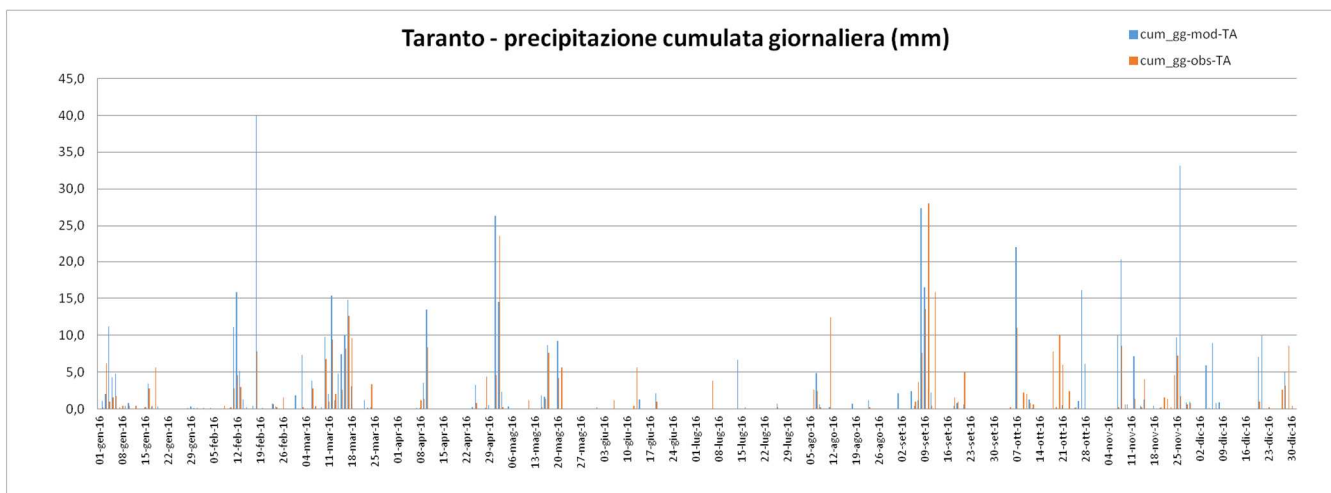


Figura 20 – Precipitazioni cumulate giornaliere misurate e modellate nella postazione meteo di Taranto

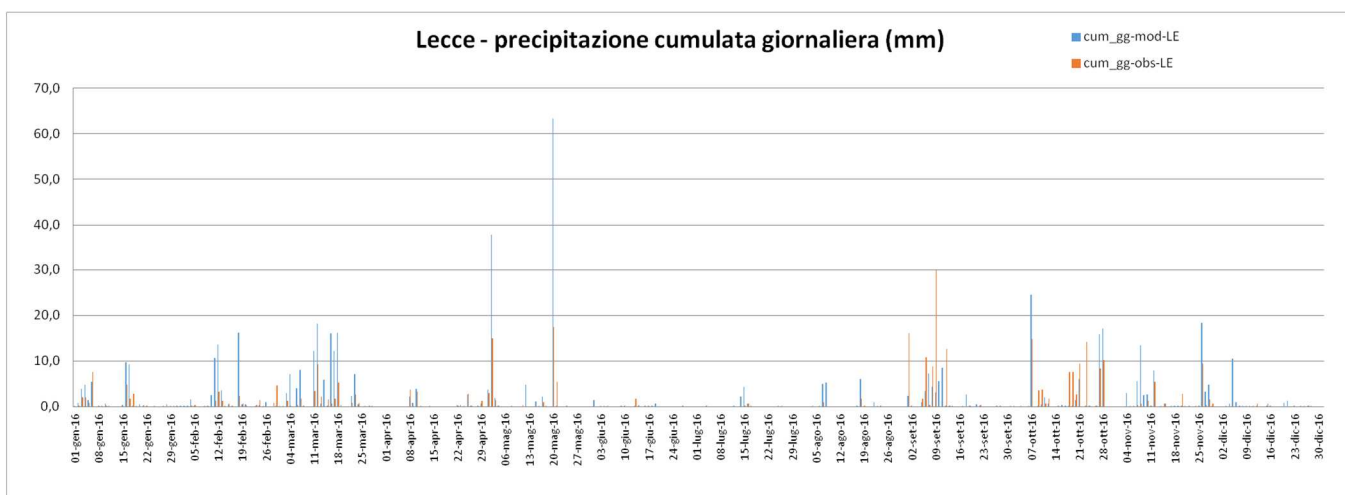


Figura 21 – Precipitazioni cumulate giornaliere misurate e modellate nella postazione meteo DAP Lecce

Nella maggior parte dei casi il modello si è mostrato in grado di prevedere l'evento di precipitazione, nel punto di griglia corrispondente alla stazione di misura, con valori cumulati mediamente dello stesso ordine di grandezza di quelli misurati.

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

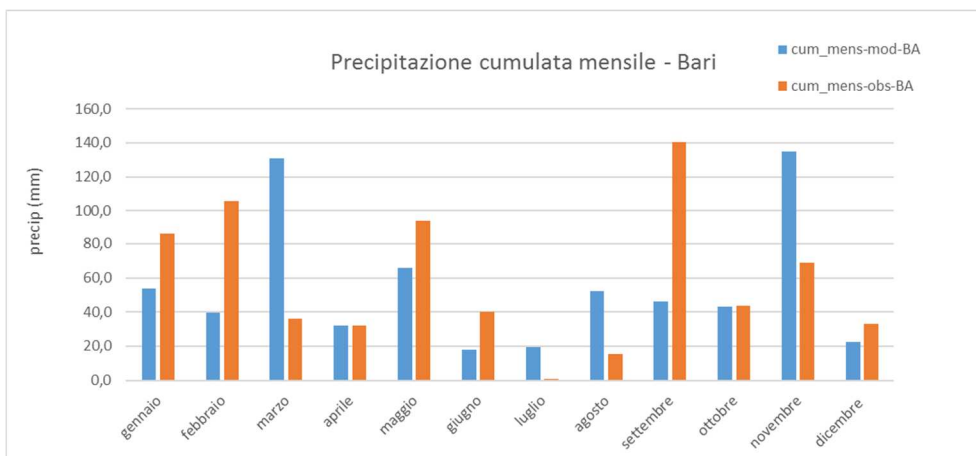


Figura 22 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate nella postazione meteo DAP Bari

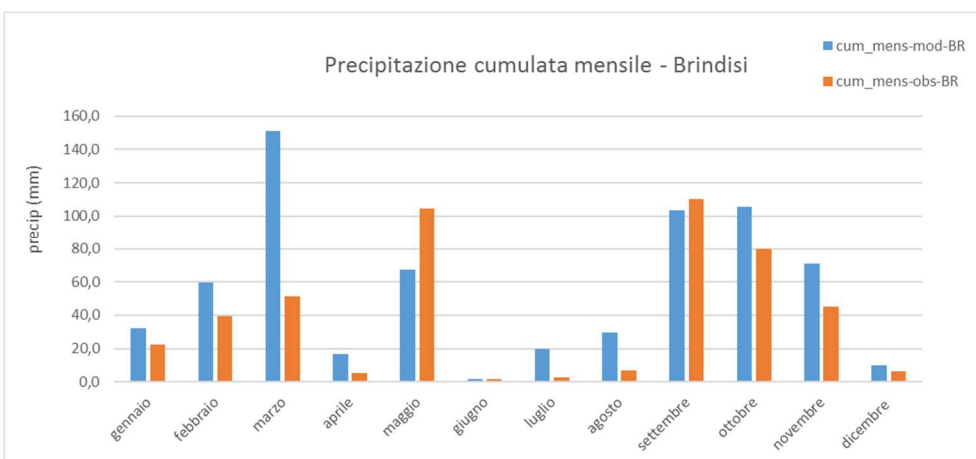


Figura 23 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate nella postazione meteo DAP Brindisi

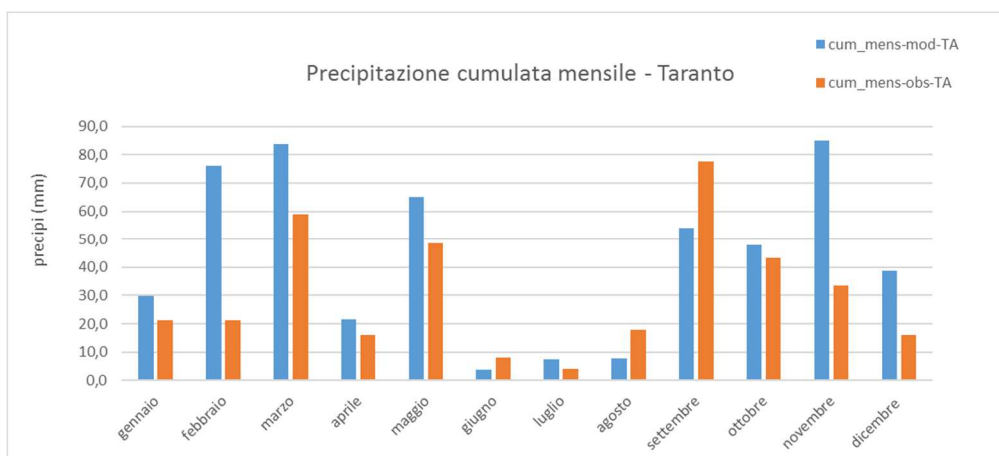


Figura 24 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate nella postazione meteo DAP Taranto

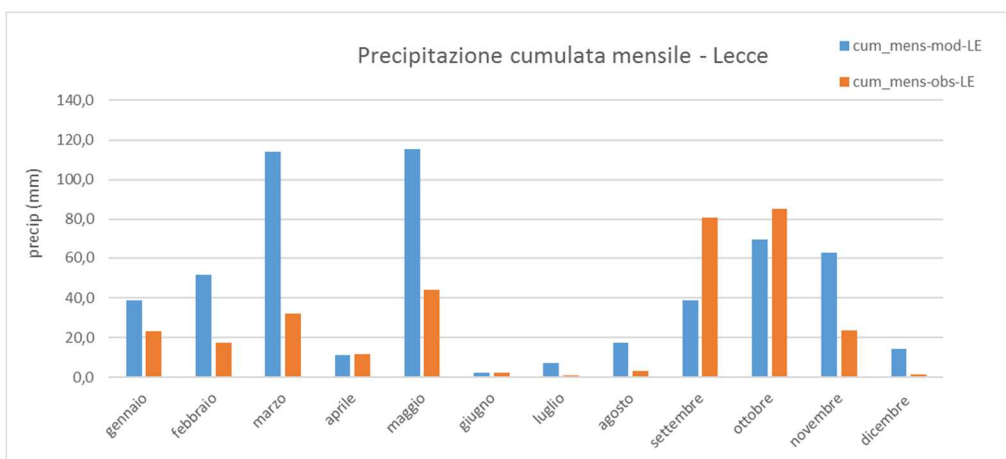


Figura 25 – Confronto tra le precipitazioni cumulate mensili misurate e modellate nella postazione meteo DAP Lecce

4. Emissioni

L'input emissivo, che ha alimentato la simulazione modellistica relativa al 2016, è analogo a quello utilizzato per la valutazione modellistica condotta da ARPA per il 2013, ad eccezione delle emissioni dello stabilimento ILVA e del *layer* cartografico utilizzato per spazializzare le emissioni prodotte dal riscaldamento residenziale (Settore SNAP 0202), che hanno subito un aggiornamento. 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 - Anno 2013", pubblicata sul sito di ARPA al seguente link <http://www.arpa.puglia.it/web/quest/modellistica>. Di seguito si mostra una descrizione dell'aggiornamento condotto su Ilva e sulla spazializzazione delle emissioni da riscaldamento.

4.1 Emissioni industriali ILVA – aggiornamento al 2015

L'aggiornamento al 2015 del database delle emissioni prodotte dallo stabilimento ILVA ha riguardato le sorgenti convogliate e le sorgenti diffuse, calde e fredde.

In particolare per le emissioni convogliate, a partire dai dati ILVA contenuti nel Catasto Emissioni Territoriale (CET) della Regione Puglia relativo al 2015, si sono svolte le attività di seguito elencate:

- aggiornamento delle caratteristiche geometriche e termodinamiche dei camini censiti nel 2015 (in numero pari a 207);
- aggiornamento per ogni camino dei flussi massici per gli inquinanti soggetti ad autocontrollo da parte dell'azienda. Laddove disponibili sono stati utilizzati i dati dei rapporti di prova dei controlli a camino ARPA (ad es. camino E312).

Relativamente ai profili di modulazione temporale sono stati introdotti nuovi profili di modulazione annuale solo per quei camini per i quali, nel database estratto dal CET, fosse indicata la relativa data di *accensione e/o spegnimento*. Per tutti gli altri sono stati considerati i profili di letteratura previsti per le diverse attività SNAP.

L'aggiornamento delle emissioni diffuse calde ILVA (cokeria, agglomerato, altoforno e acciaieria) è avvenuto a partire dalle stime emissive INEMAR, relative al 2010, utilizzando i dati CET e la documentazione aggiornata al 2015 che ILVA invia alle autorità competenti in attuazione dell'AIA.

Per quanto riguarda le emissioni diffuse fredde, l'aggiornamento delle emissioni prodotte dall'erosione eolica dei parchi è avvenuta secondo la metodologia AP-42 proposta da EPA a partire dalla tipologia di materiale stoccato, dalle caratteristiche⁸ geometriche dei cumuli e dalla velocità del vento agente sui cumuli⁹, ricostruita in prossimità dei parchi a partire dai campi meteorologici 2016. Alle emissioni così calcolate sono stati applicati dei fattori di riduzione in ragione del tipo di misure di mitigazione della polverosità messe in atto dal gestore.

In Figura 26 si mostrano i parchi simulati (in numero pari a 8): parchi primari (carboniferi, minerali, recuperi), parco agglomerato sud, parco agglomerato nord, parco loppa, parco omogeneizzato omo2, parco calcare tvpca cava, parco calcare 30-60 pca, parco calcare 3-30 pca.



Figura 26 – Localizzazione dei parchi ILVA (aggiornati al 2015)

Per quanto riguarda le emissioni diffuse prodotte dalla movimentazione stradale e trasporto materiale, queste sono state aggiornate a partire dalla stima emissiva dell'inventario 2010 attualizzata al 2015 sulla base del quantitativo di materiale stoccato nei parchi. Tali emissioni sono state spazializzate su tutta l'area di pertinenza ILVA.

Al fine di confrontare il database emissivo aggiornato ILVA rispetto a quello relativo al 2013, si riportano nella tabella successiva (Tabella 7) le emissioni totali riferite all'insieme di tutte le sorgenti convogliate, alle sorgenti areali calde e fredde, con le percentuali di variazione tra i due scenari emissivi.

⁸ Le caratteristiche geometriche dei cumuli sono state acquisite dai rapporti 2015 predisposti dal gestore in ottemperanza all'AIA.

⁹ Tale algoritmo di calcolo è stato implementato a partire dal 2016 nel sistema modellistico previsionale di ARPA in modalità operativa, al fine di calcolare tale emissione su base oraria. Nella simulazione modellistica 2016 è stata utilizzata l'emissione totale annuale così calcolata per ogni parco.

Tabella 7: Confronto tra gli scenari emissivi ILVA 2013 e 2015

| | As | Cd | CH4 | CO | CO2 | NMVOC | Cr | Cu | DIOX | Hg | IPA | N2O | NH3 | Ni | NOx | Pb | PM2.5 | PM10 | Se | SO2 | Zn | C6H6 |
|---------------------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) | (t/a) |
| convogliate 2013 | 1.13 | 1.14 | 3296 | 211350 | 6459532 | 1282 | 2.28 | 9.81 | 3.39E-05 | 0.41 | 0.332 | 56 | 61 | 0.79 | 6227 | 34.7 | 364 | 1146 | 0.37 | 5728 | 72 | 110 |
| convogliate 2015 | 0.09 | 0.16 | 2406 | 77207 | 4178457 | 694 | 0.99 | 0.52 | 3.95E-06 | 0.08 | 0.005 | 34 | 46 | 0.68 | 5678 | 2.3 | 98 | 184 | 0.04 | 4505 | 10 | 50 |
| % riduzione | -92% | -86% | -27% | -63% | -35% | -46% | -56% | -95% | -88% | -80% | -99% | -39% | -24% | -14% | -9% | -93% | -73% | -84% | -89% | -21% | -86% | -54% |
| diffuse calde 2013 | 0.002 | 0.003 | | | | | 0.017 | 0.019 | 6.39E-07 | 0.002 | 0.339 | | | 0.015 | | 0.022 | 388 | 430 | 0.017 | 0.018 | 1.504 | |
| diffuse calde 2015 | 0.002 | 0.002 | | | | | 0.015 | 0.015 | 4.82E-07 | 0.001 | 0.041 | | | 0.012 | | 0.019 | 185 | 209 | 0.015 | 0.015 | 1.321 | |
| % riduzione | -15% | -14% | | | | | -15% | -20% | -25% | -12% | -88% | | | -20% | | -15% | -52% | -51% | -12% | | -17% | -12% |
| diffuse fredde 2013 | 0.019 | 0.015 | | | | | 0.318 | 0.525 | | | | | | 1.070 | | 0.263 | 57 | 223 | 0.005 | | | |
| diffuse fredde 2015 | 0.013 | 0.010 | | | | | 0.218 | 0.359 | | | | | | 0.732 | | 0.180 | 29 | 174 | 0.003 | | | |
| % riduzione | -32% | -32% | | | | | -32% | -32% | | | | | | -32% | | -32% | -48% | -22% | -32% | | | |

Rispetto allo scenario emissivo ILVA 2013, le emissioni 2015 mostrano una generale riduzione del carico emissivo.

4.2 Aggiornamento del *layer* cartografico di spazializzazione delle emissioni da riscaldamento residenziale

Nella valutazione modellistica condotta per il 2013 la spazializzazione delle emissioni da riscaldamento residenziale (comprensive, quindi, anche del riscaldamento a legna) avveniva su base comunale, utilizzando il *layer* costruito a partire dalle categorie 111 - *Continuous urban fabric* e 112 - *Discontinuous urban fabric* del Corine Landcover relativo al 2006, in base al grado di urbanizzazione espresso in termini di aree fabbricate. Per la valutazione dello stato della QA riferito al 2016 è stato messo a punto da ARPA un *layer* cartografico predisposto a partire dalla densità di popolazione effettivamente residente (fonte Censimento ISTAT 2011).

Nelle Figure 27 e 28 si confrontano le spazializzazioni delle emissioni annuali prodotte per il PM₁₀ dal settore del riscaldamento residenziale sul dominio Salento, ottenute utilizzando i due suddetti *layer* cartografici.

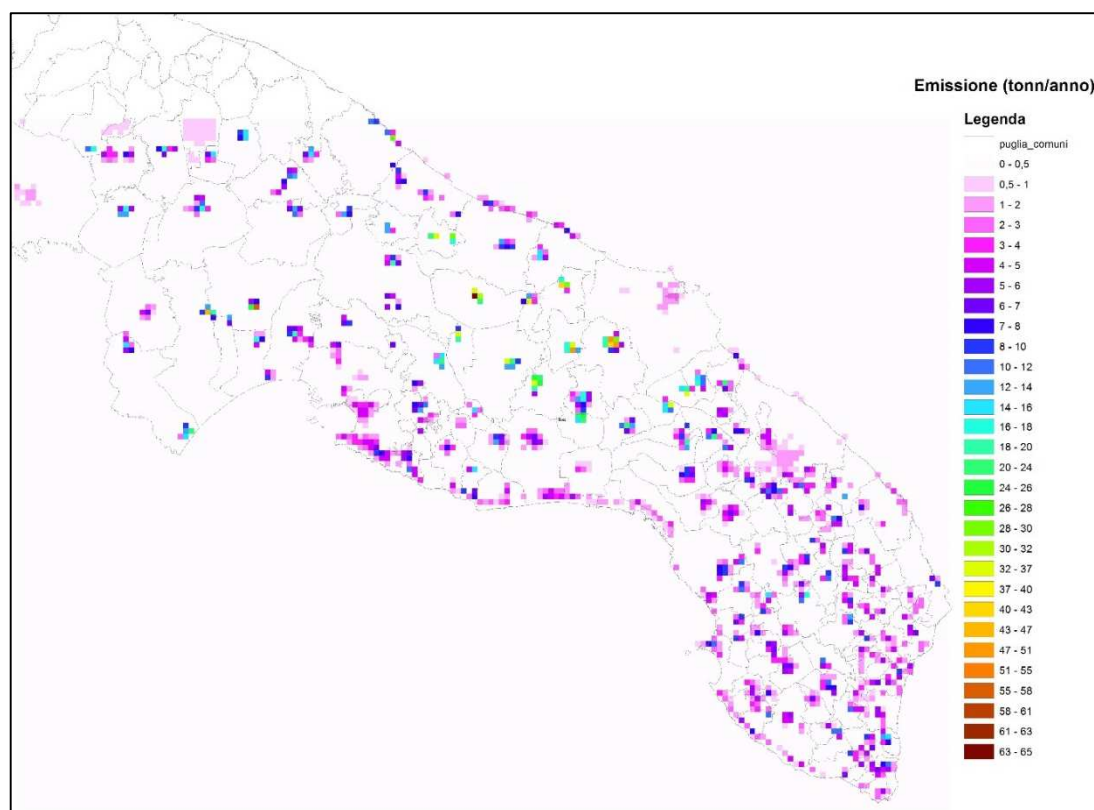


Figura 27 – Spazializzazione sul dominio Salento delle emissioni annuali di PM₁₀ prodotte dal riscaldamento residenziale - *Layer* Corine LandCover 2006

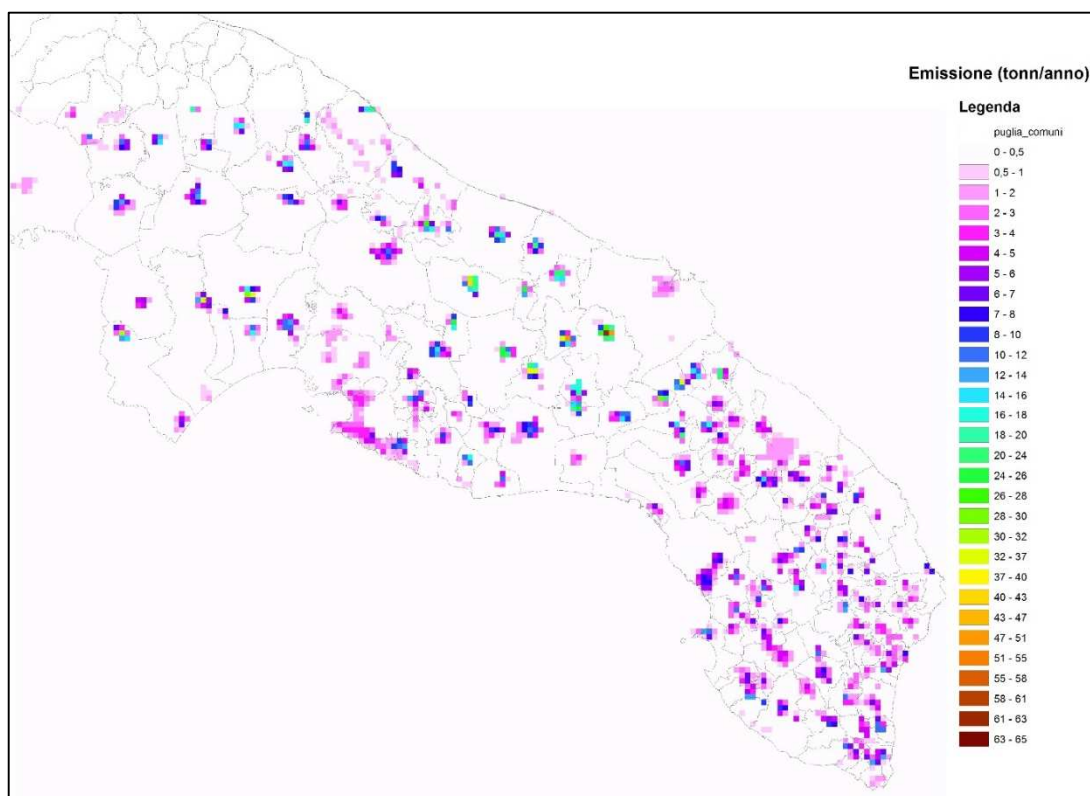


Figura 28 – Spazializzazione sul dominio Salento delle emissioni annuali di PM₁₀ prodotte dal riscaldamento residenziale – Layer densità di popolazione residente da Censimento Istat 2011

E' evidente come nella spazializzazione utilizzata per la valutazione dello stato della QA al 2016, elaborata a partire dalla densità di popolazione residente, vengano meno le aree costiere corrispondenti alle zone di residenza prettamente di tipo estivo.

4.3 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 attualmente disponibile per l'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 8 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 29.

Tabella 8 - 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 |

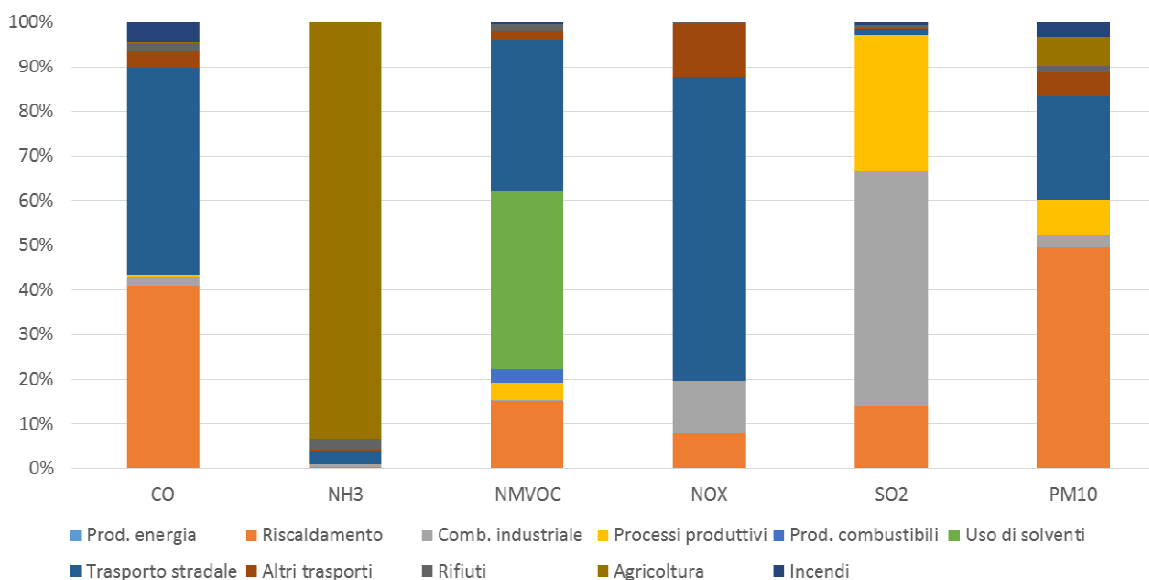


Figura 29 - Peso relativo dei macrosettori – emissioni diffuse – macroinquinanti

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 particolare (Figura 30), ed EMEP-MSCE, relativamente ai metalli pesanti, diossine e furani. I primi sono riferiti all'anno 2016 e sono disponibili su base temporale trioraria¹⁰; i secondi sono di tipo climatologico (giorno tipo mensile su base temporale trioraria) e sono stati

¹⁰ Tali campi sono successivamente interpolati su base oraria nel corso della simulazione.

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 31) al fine di estrarre le condizioni iniziali ed al contorno (laterali ed al top).

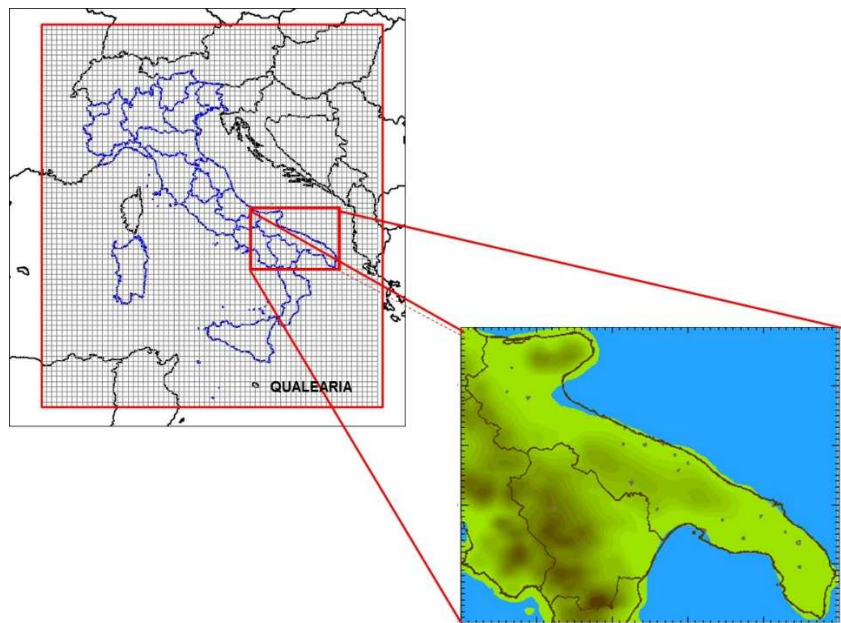


Figura 30 - Schematizzazione della griglia di calcolo utilizzata dal sistema modellistico Quale Aria e dalla griglia di FARM.

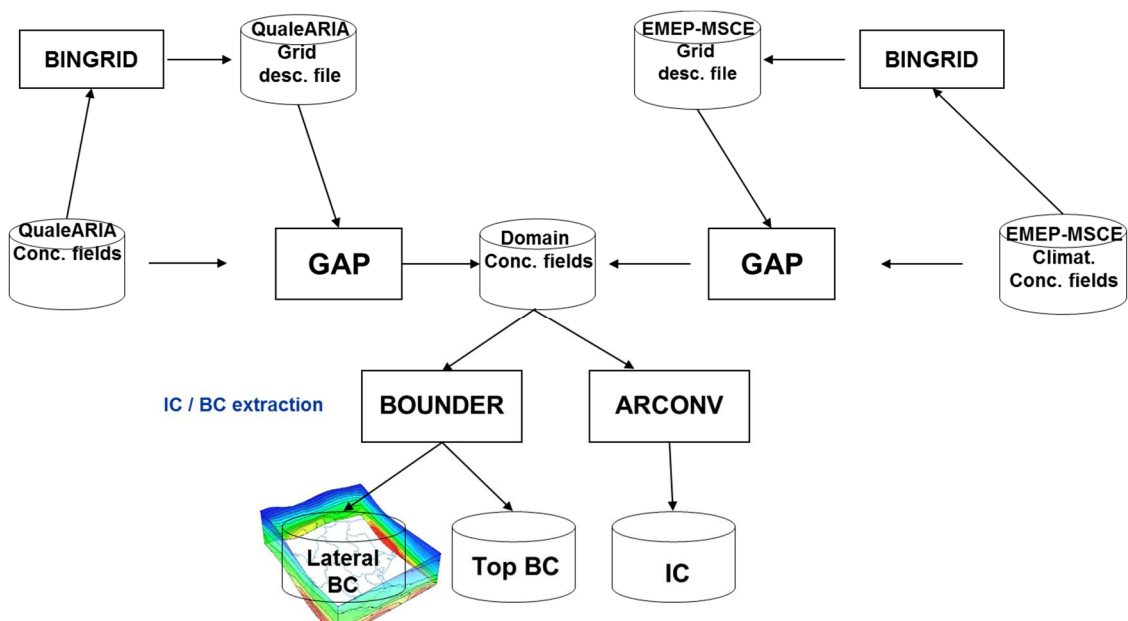


Figura 31 - Procedura per la preparazione delle condizioni iniziali ed al contorno.

6. Valutazione delle performance della simulazione modellistica annuale 2016

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. A tale scopo, 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 2016 su entrambi i domini di simulazione. Tale valutazione è stata condotta con il DELTA TOOL, un software di analisi statistica, realizzato dal JRC (European Commission Joint Research Centre) nell'ambito del FAIRMODE (Forum for air quality modelling in Europe) 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 β è uguale a 2.

Nel calcolo dell' RMS_U , \bar{O} è la media della serie temporale delle misure e σ_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 α^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 III 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 σ_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.

Il criterio di performance del modello (MQO) è attivato solo per O₃ (relativamente alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore), NO₂ (relativamente alla concentrazione oraria), PM₁₀ (relativamente alla concentrazione media giornaliera) e PM_{2.5} (relativamente alla concentrazione media giornaliera) sull'anno. Per l'O₃ 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, insieme al MQO annuale (indicato con Y sul diagramma). L'asse negativo e positivo delle ordinate identifica 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 precisa inoltre che affinché i dati di una centralina di monitoraggio siano utilizzati dal DELTA TOOL è necessario che, relativamente al periodo temporale selezionato per la statistica, la centralina disponga di almeno il 75% di dati validi.

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 inquinati 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 4kmx4km. 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 Figura 32 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* per il PM₁₀. 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/2RMS_U 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 confronto¹¹ nello *scatter plot* per il PM₁₀ tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate risulta soddisfacente. In tutte le postazioni il modello sottostima leggermente il dato misurato¹². Il *target plot* mostra che l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni¹³ (indicato in alto a sinistra del diagramma) risulta minore di 1, soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità.

La Figura 33 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* per il PM_{2.5} elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline¹⁴ pari a 6. Il confronto per il PM_{2.5} 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'NO₂ la Figura 34 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* elaborato dal DELTA TOOL considerando un numero totale di centraline pari a 24. 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 35 e 36 mostrano lo *scatter plot* e il *target plot* elaborato dal DELTA TOOL riferito alla massima concentrazione media mobile giornaliera su 8 ore 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 soddisfi¹⁵ il criterio di performance MQO.

¹¹ Tale confronto ha riguardato per il PM₁₀ un numero di centraline pari in particolare a 24, perché per tali centraline il dataset misurato aveva più del 75% dei dati validi.

¹² La sottostima è più evidente nelle centraline di Arnesano e Torchiarolo, poste infatti nella zona arancione dello *scatter plot*.

¹³ E' opportuno osservare che l'unica centralina che non soddisfa il criterio dell'MQI (e pertanto si trova all'esterno dell'area verde del *target plot*) è quella di Torchiarolo a causa di un errore associato al bias (negativo) e alla deviazione standard, attribuibile ad una rappresentazione non adeguata delle emissioni locali (ad es. combustione della biomassa). Tutte le altre centraline soddisfano l'MQI.

¹⁴ 6 è il numero di centraline della rete regionale di QA con rappresentatività superiore a 4km, il cui database di dati giornalieri è costituito da una percentuale di dati validi ≥ 75%.

¹⁵ E' interessante osservare come il modello mostri una tendenza globale a sovrastimare le concentrazioni di O₃.

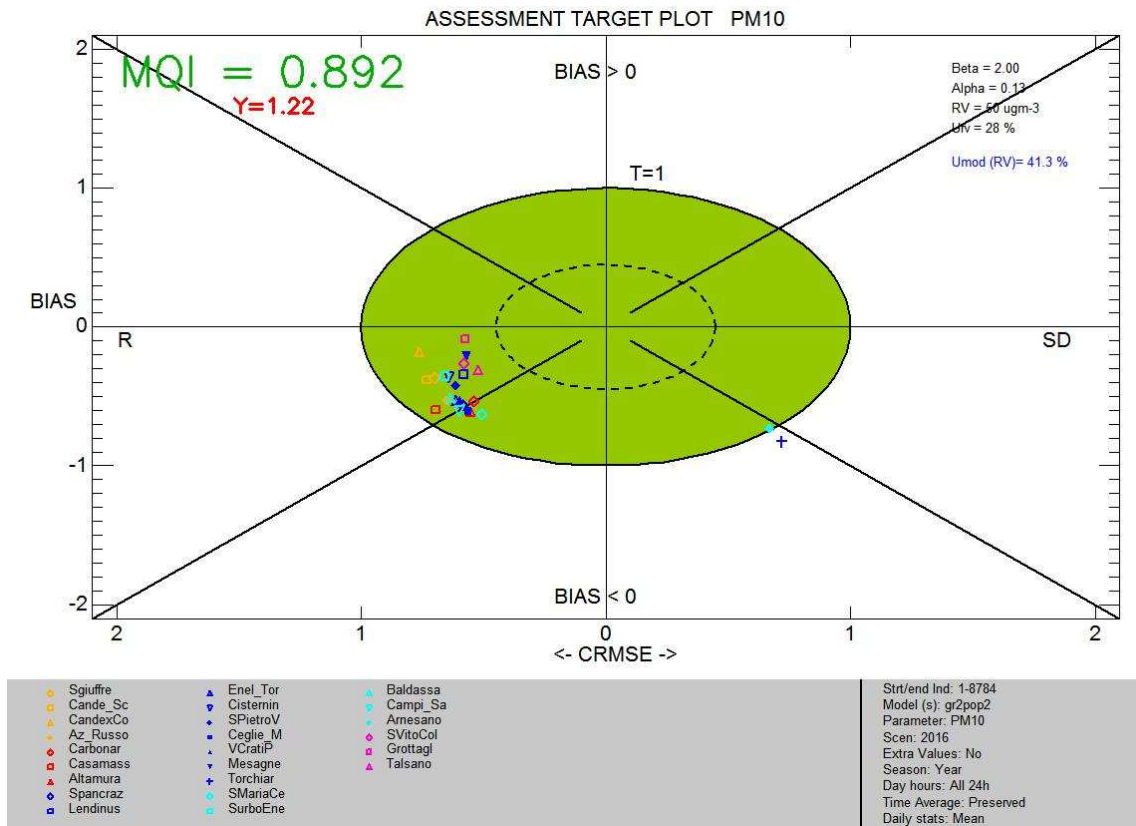
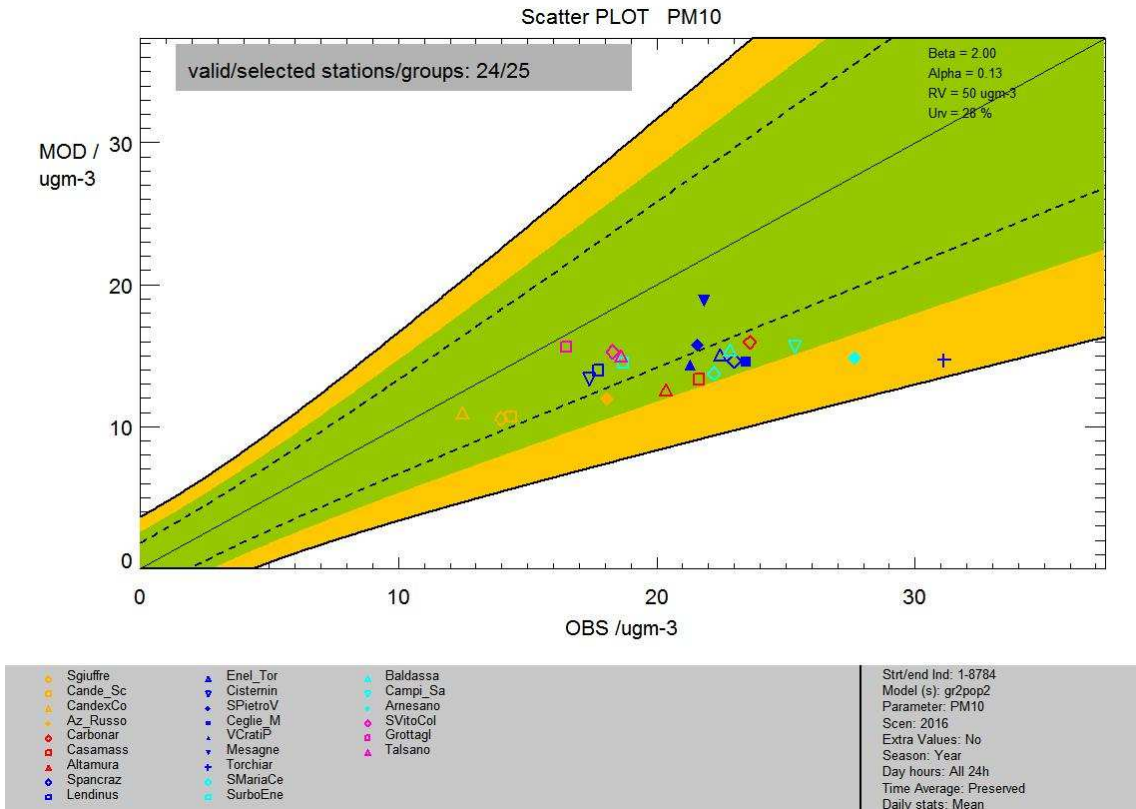


Figura 32: Scatter plot e target plot relativo al PM₁₀ (µg/m³) sul dominio della Puglia.

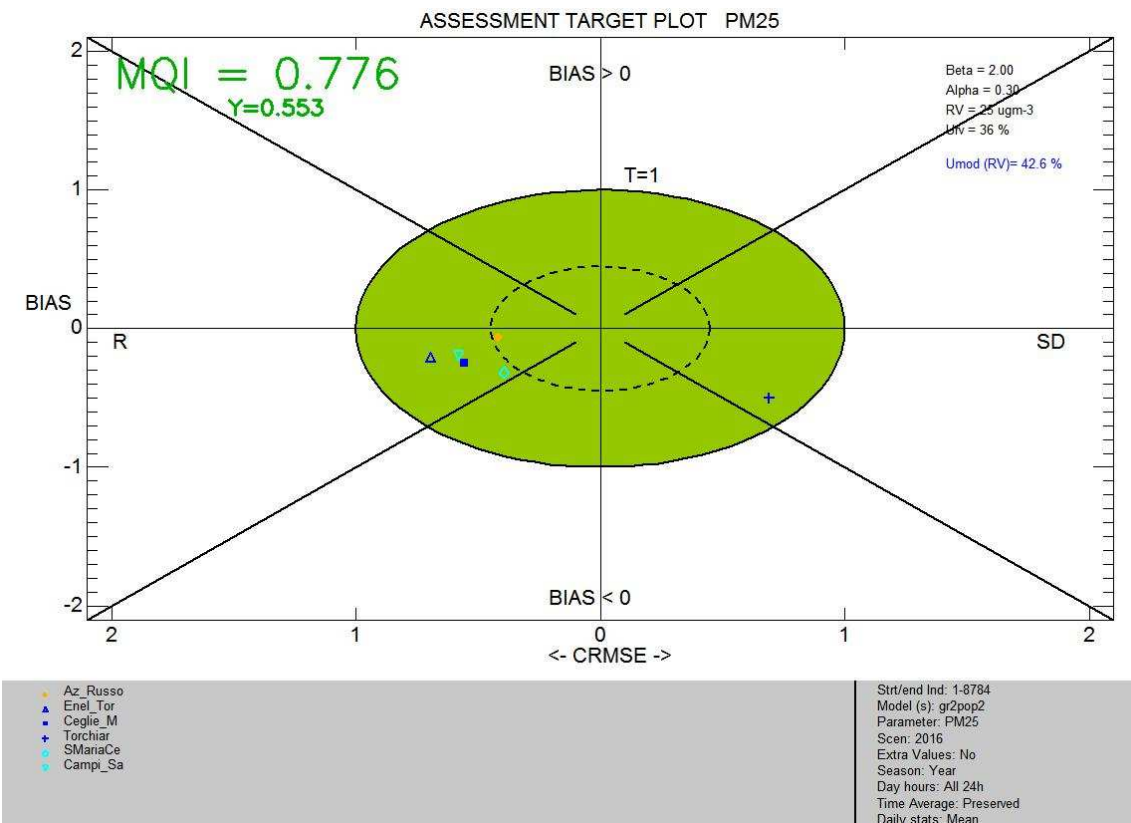
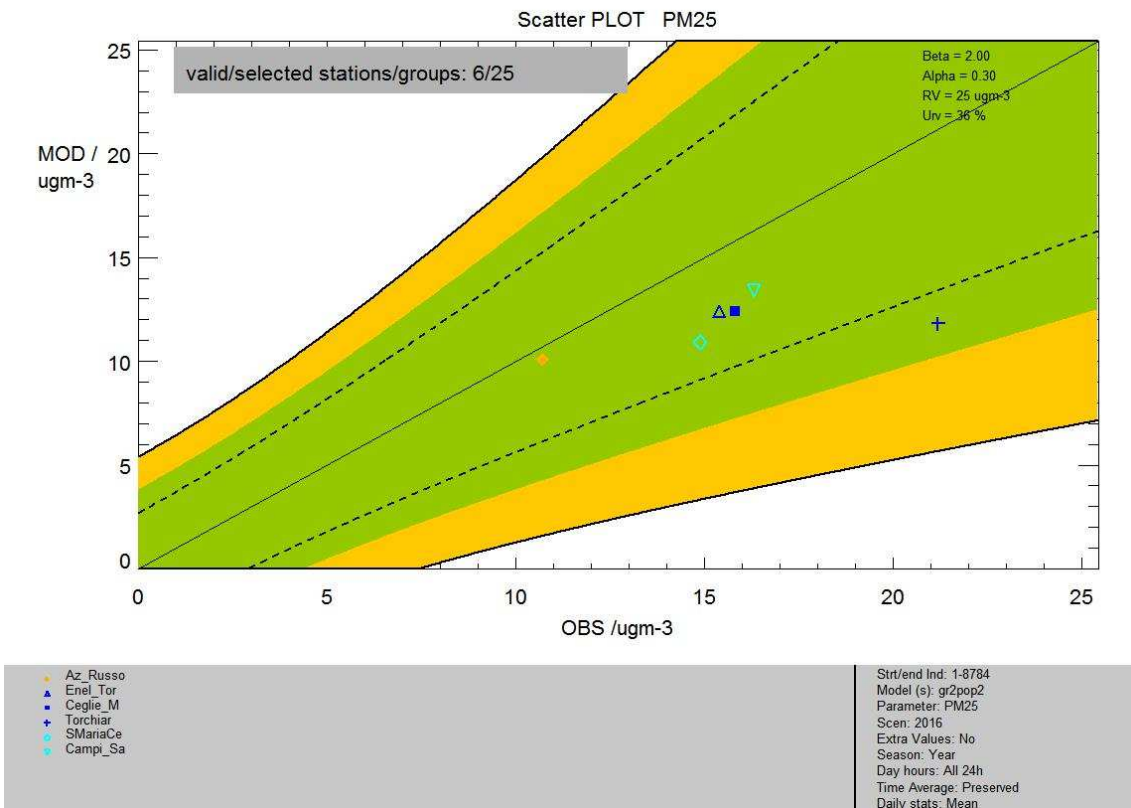


Figura 33: Scatter plot e Target plot relativo al $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sul dominio della Puglia.

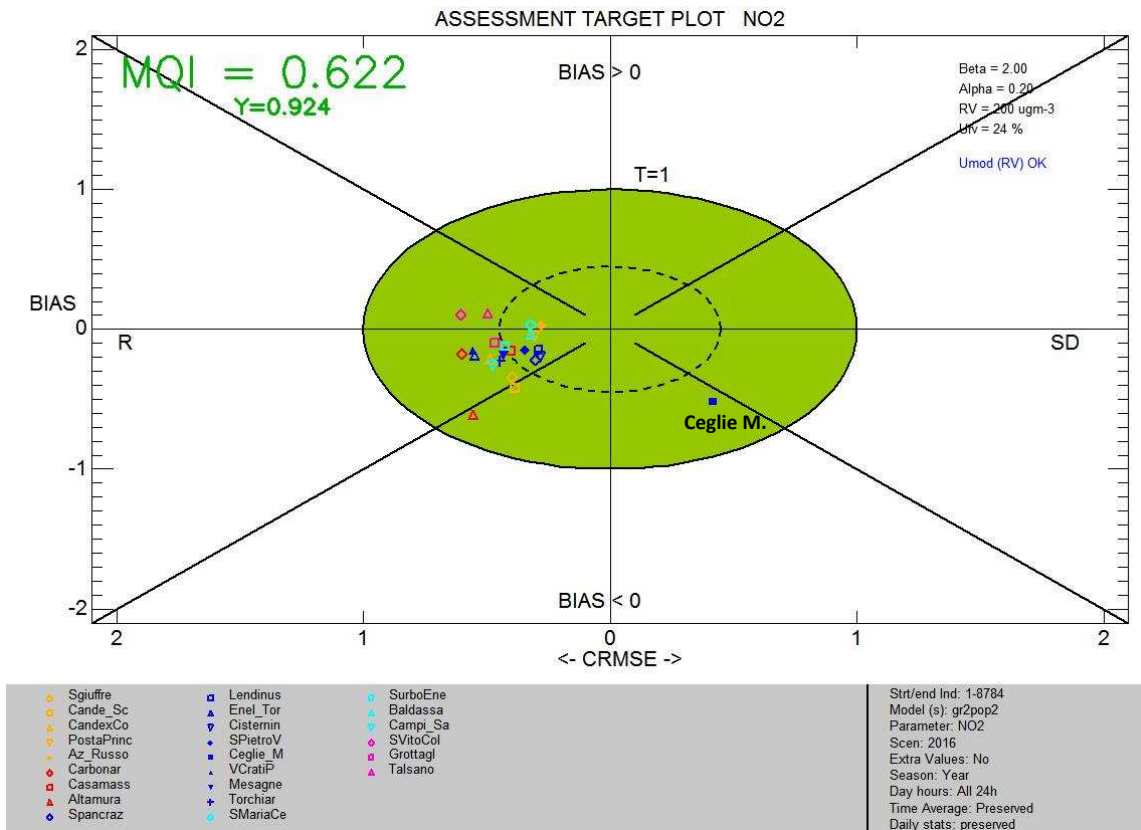
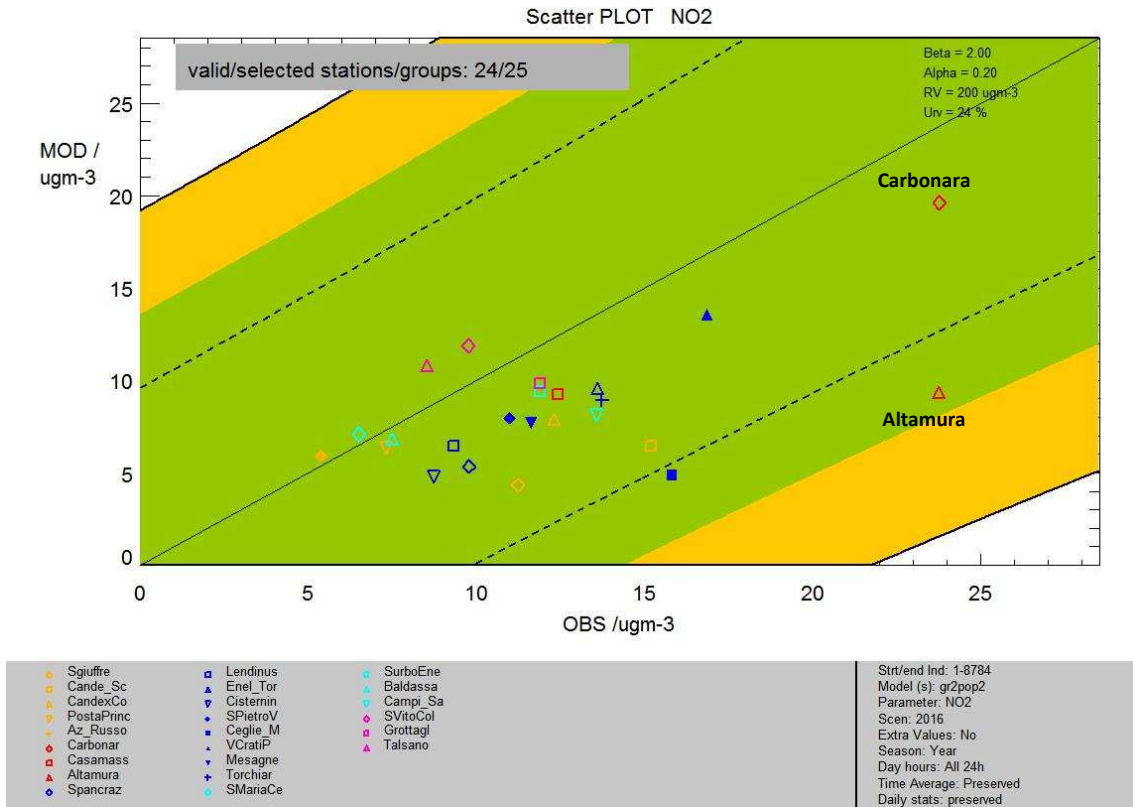


Figura 34: Scatter plot e target plot relativo all'NO₂ (µg/m³) sul dominio della Puglia.

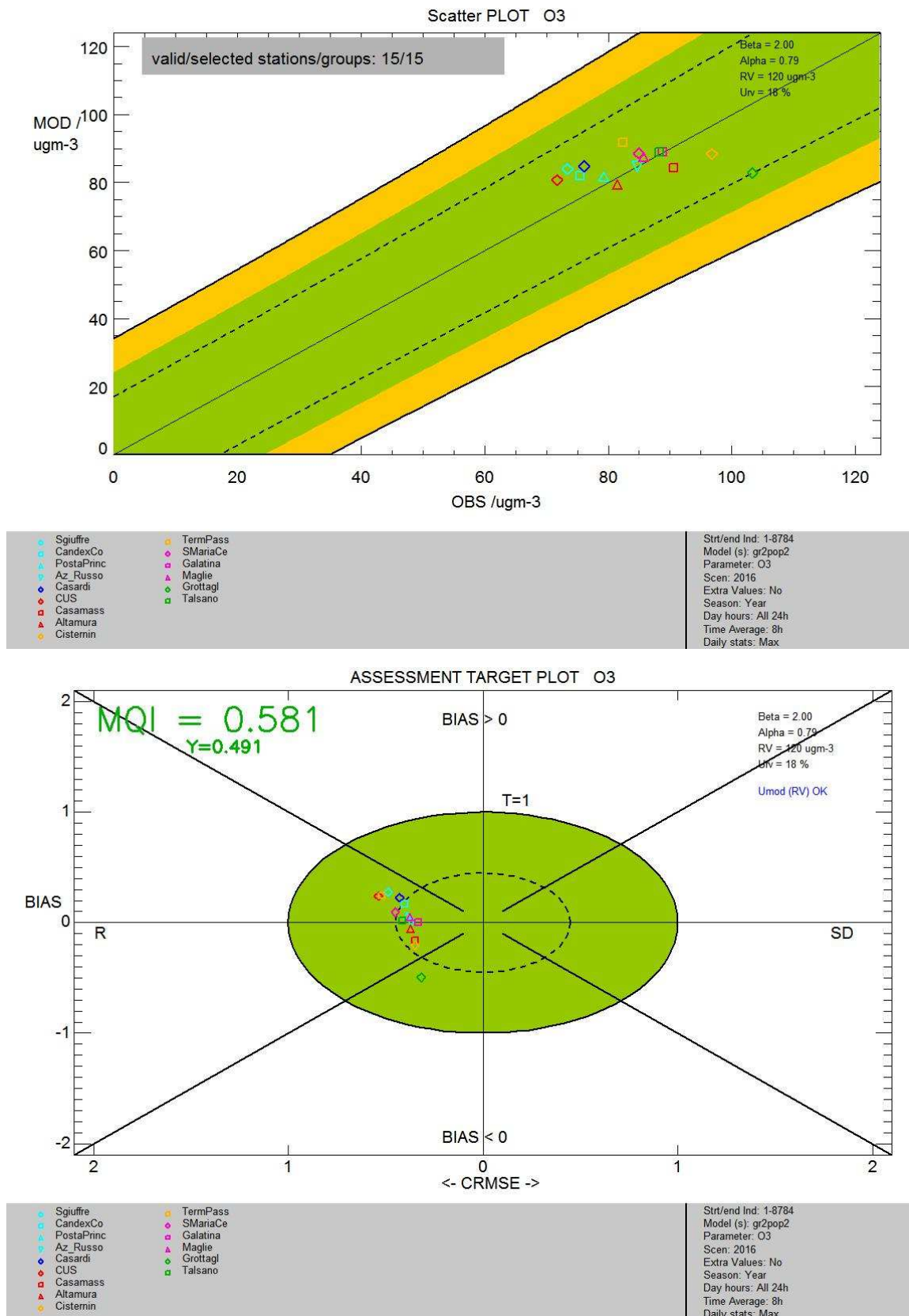


Figura 35: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ (µg/m³) relativi all'anno sul dominio della Puglia.

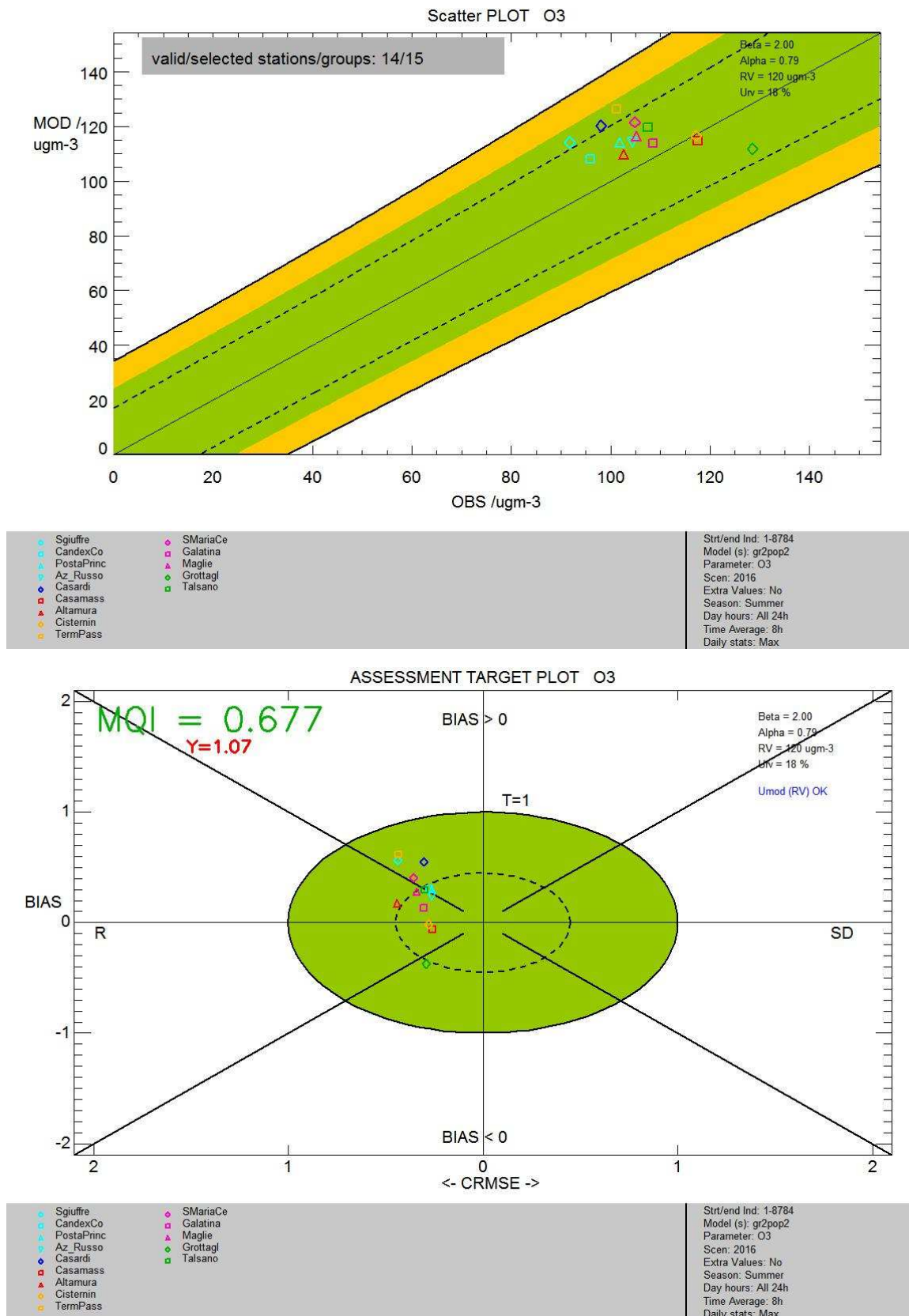


Figura 36: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ (µg/m³) per la sola stagione estiva (G-L-A) sul dominio della Puglia.

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 SO₂ il confronto è in generale soddisfacente (Figura 37). Si rileva una tendenza da parte del modello a sovrastimare¹⁶ le concentrazioni modellate nelle postazioni localizzate nel comune di Taranto (simboli color fucsia).

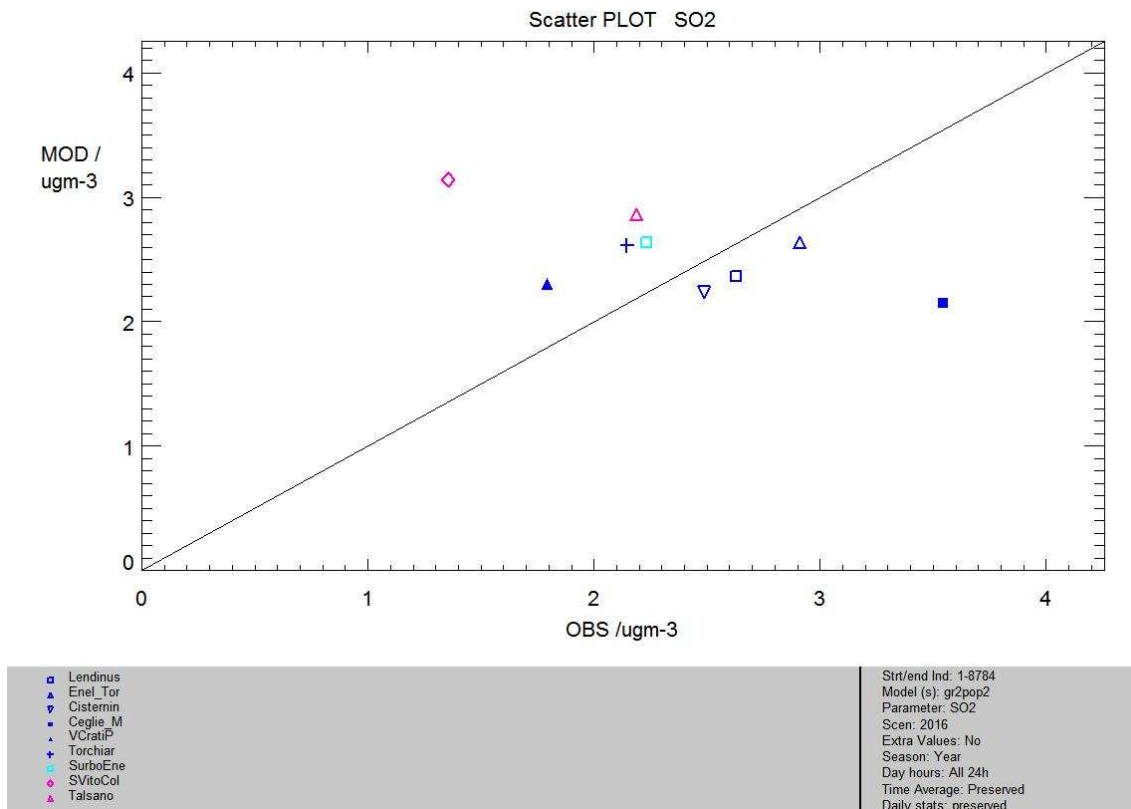


Figura 37: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di SO₂ (µg/m³) sul dominio della Puglia

Per quanto riguarda il monossido di carbonio (CO) ed il benzene (C₆H₆), dai relativi *scatter plot* (Figura 38 e Figura 39) 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.

¹⁶ Tale sovrastima potrebbe essere dovuta ad una sovrastima delle emissioni industriali dell'area tarantina. È comunque opportuno rilevare che i valori misurati di SO₂ dalle centraline sono in generale molto bassi e prossimi ai limiti di rilevabilità degli analizzatori, quindi potenzialmente affetti da errori di misura.

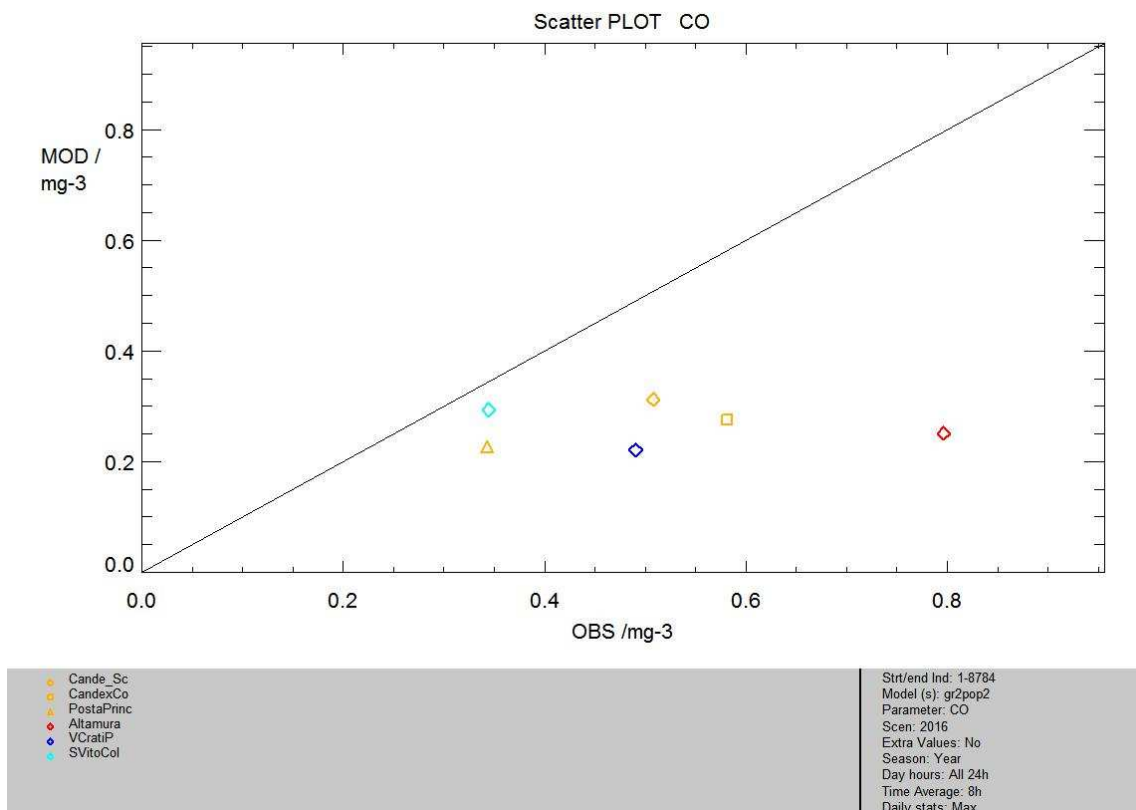


Figura 38: Scatter plot di confronto tra i massimi annuali delle concentrazioni medie mobili su 8 ore misurate e modellate di CO (mg/m3) sul dominio della Puglia

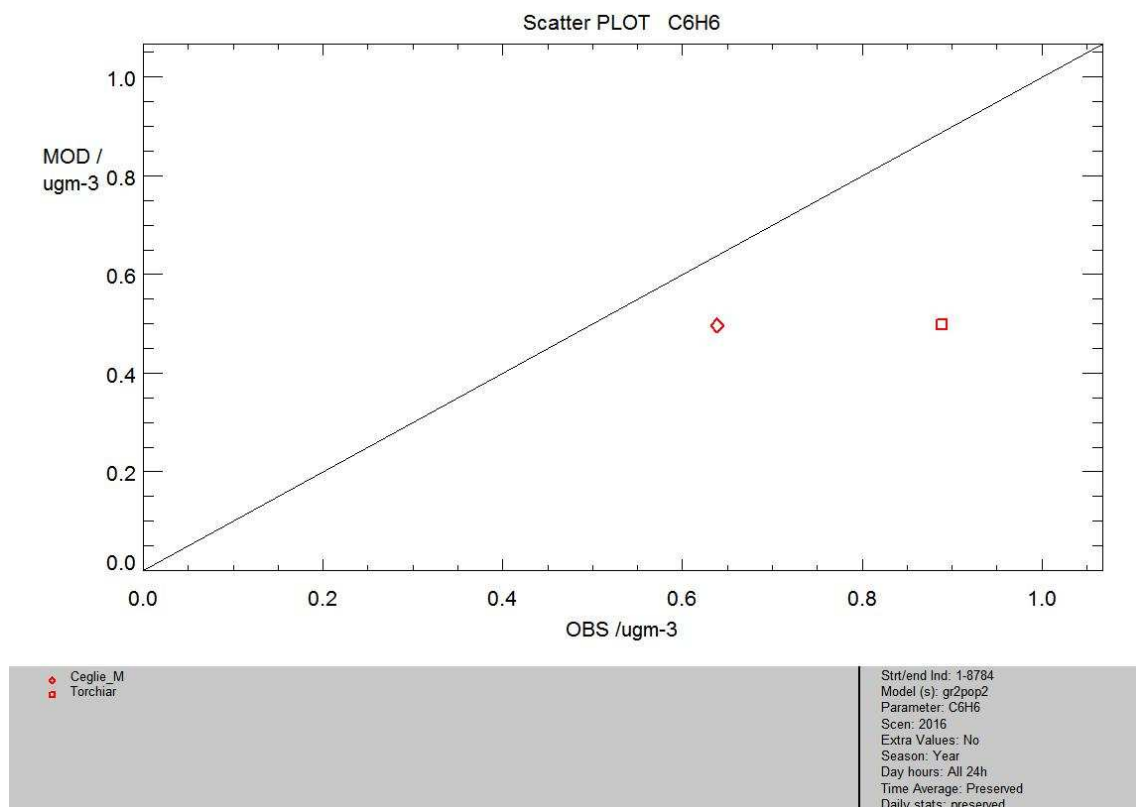


Figura 39: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di C6H6 (ug/m3) sul dominio della Puglia

6.2 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 40 mostra lo *scatter plot* e il *target plot* per il PM_{10} sul dominio del Salento. Il confronto¹⁷ 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} ¹⁸. Il *target plot* mostra che l'MQI associato al 90° percentile delle stazioni¹⁹ (indicato in alto a sinistra del diagramma) risulta minore di 1, soddisfacendo quindi l'obiettivo di qualità.

La Figura 41 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 17. Il confronto nello *scatter plot* per il $PM_{2.5}$ tra le concentrazioni medie annuali osservate e modellate risulta soddisfacente²⁰. 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 42 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 misurate²¹.

I confronti sull' O_3 sia per l'intero anno (Figura 43) che per il solo periodo estivo (Figura 44) mostrano la buona capacità del modello di riprodurre tale inquinante. Quanto osservato sul dominio della Regione, ovvero una tendenza del modello a sovrastimare nel periodo estivo, si osserva anche sul dominio del Salento. L'obiettivo di qualità viene comunque raggiunto²² in entrambi i periodi temporali.

¹⁷ Tale confronto ha riguardato un numero di centraline pari in particolare a 34, perché per tali centraline il dataset misurato aveva più del 75% dei dati validi.

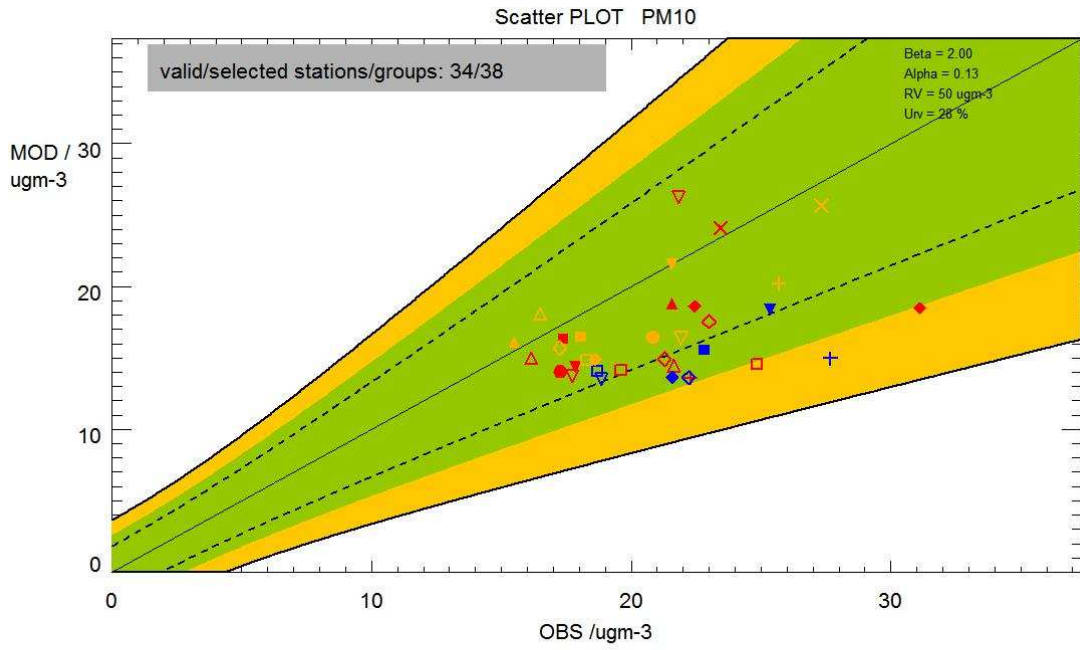
¹⁸ La sottostima è più evidente nella centralina di Arnesano, posta infatti nella zona arancione dello scatter plot.

¹⁹ E' opportuno osservare che l'unica centralina che non soddisfa il criterio dell'MQI (e pertanto si trova all'esterno dell'area verde del target plot) è quella di Mesagne a causa di un errore associato al bias (positivo) e alla correlazione, attribuibile ad una rappresentazione non adeguata delle emissioni locali (ad es. combustione della biomassa). Tutte le altre centraline soddisfano l'MQI.

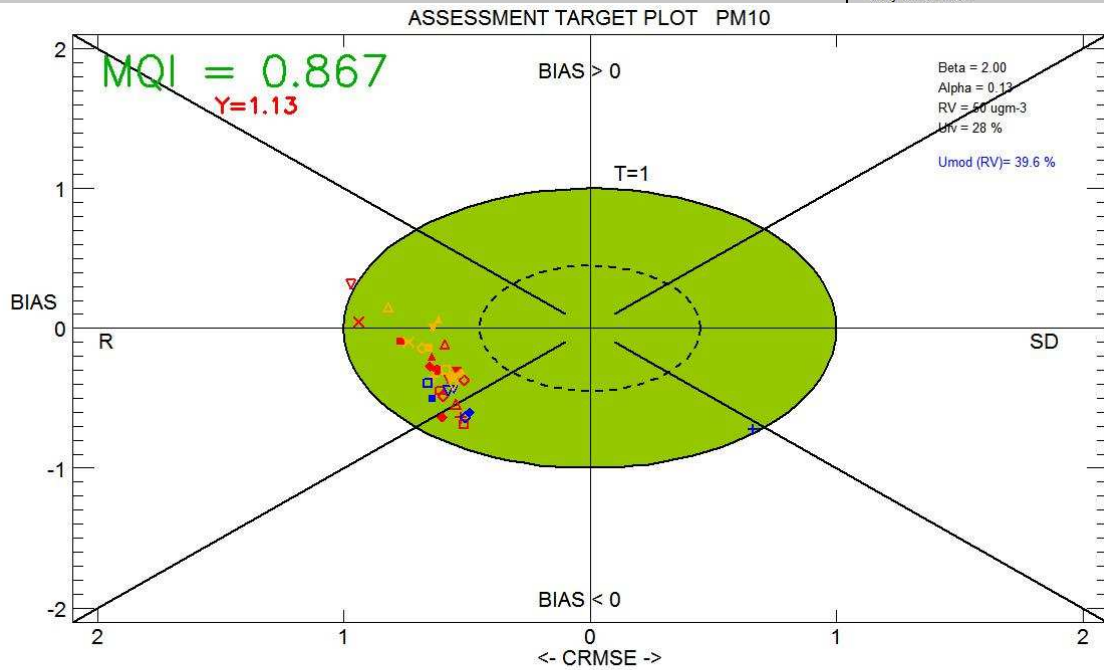
²⁰ E' opportuno osservare che il modello in corrispondenza di tutte le centraline della provincia di Taranto (colore giallo) tende leggermente a sovrastimare le concentrazioni, presumibilmente per una sovrastima delle emissioni locali (ad es. industriali).

²¹ E' interessante osservare come il modello tenda a sovrastimare le concentrazioni di NO_2 in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio dell'area di Taranto, poste sottovento alle emissioni industriali, presumibilmente per una sovrastima di tali emissioni. D'altro canto, in corrispondenza delle postazioni di monitoraggio (Via Libertini – Lecce, Via Adige – Taranto, Via Cappuccini – Brindisi e Martina Franca – Taranto) influenzate dalle emissioni da traffico veicolare, il modello tende a sottostimare le concentrazioni (bias negativo), presumibilmente per una sottostima delle suddette emissioni.

²² Analogamente alla griglia regionale anche sulla griglia Salento il modello conserva la tendenza a sovrastimare le concentrazioni di O_3 .



| | | | | |
|-------------|------------|------------|------------|-------------------------|
| ◊ Spancraz | ◊ VdMille | ▽ Vgarigli | ● Talsano | Strt/end Ind: 1-8784 |
| ◻ SGiustoC | × Ceglie_M | ● Libertin | ● SS7_Wind | Model (s): newxpm10g3 |
| ▲ SISRI | ◊ VCratIP | ● Baldassa | ● Paolo_VI | Parameter: PM10 |
| ▲ Lendinus | ◊ Vtaranto | ● Campi_Sa | ● Archimed | Scen: 2016 |
| ◊ Enel_Tor | ▲ Vcappucc | ● Arnesano | ● TAVMach | Extra Values: No |
| ◊ Cistermin | ▲ Mesagne | ● StatteSE | ● VA_Adige | Season: Year |
| ▲ SPietroV | ◊ Torchiar | ● SVitoCol | ● Grottagl | Day hours: All 24h |
| ▼ TermPass | ◊ SManiaCe | ● MartinaF | ● tamburi | Time Average: Preserved |
| ◊ C_M_Diga | ◊ SurboEne | | | Daily stats: Mean |



| | | | | |
|-------------|------------|------------|------------|-------------------------|
| ◊ Spancraz | ◊ VdMille | ▽ Vgarigli | ● Talsano | Strt/end Ind: 1-8784 |
| ◻ SGiustoC | × Ceglie_M | ● Libertin | ● SS7_Wind | Model (s): newxpm10g3 |
| ▲ SISRI | ◊ VCratIP | ● Baldassa | ● Paolo_VI | Parameter: PM10 |
| ▲ Lendinus | ◊ Vtaranto | ● Campi_Sa | ● Archimed | Scen: 2016 |
| ◊ Enel_Tor | ▲ Vcappucc | ● Arnesano | ● TAVMach | Extra Values: No |
| ◊ Cistermin | ▲ Mesagne | ● StatteSE | ● VA_Adige | Season: Year |
| ▲ SPietroV | ◊ Torchiar | ● SVitoCol | ● Grottagl | Day hours: All 24h |
| ▼ TermPass | ◊ SManiaCe | ● MartinaF | ● tamburi | Time Average: Preserved |
| ◊ C_M_Diga | ◊ SurboEne | | | Daily stats: Mean |

Figura 40: Scatter plot e target plot relativo al PM₁₀ (µg/m³) sulla griglia del Salento.

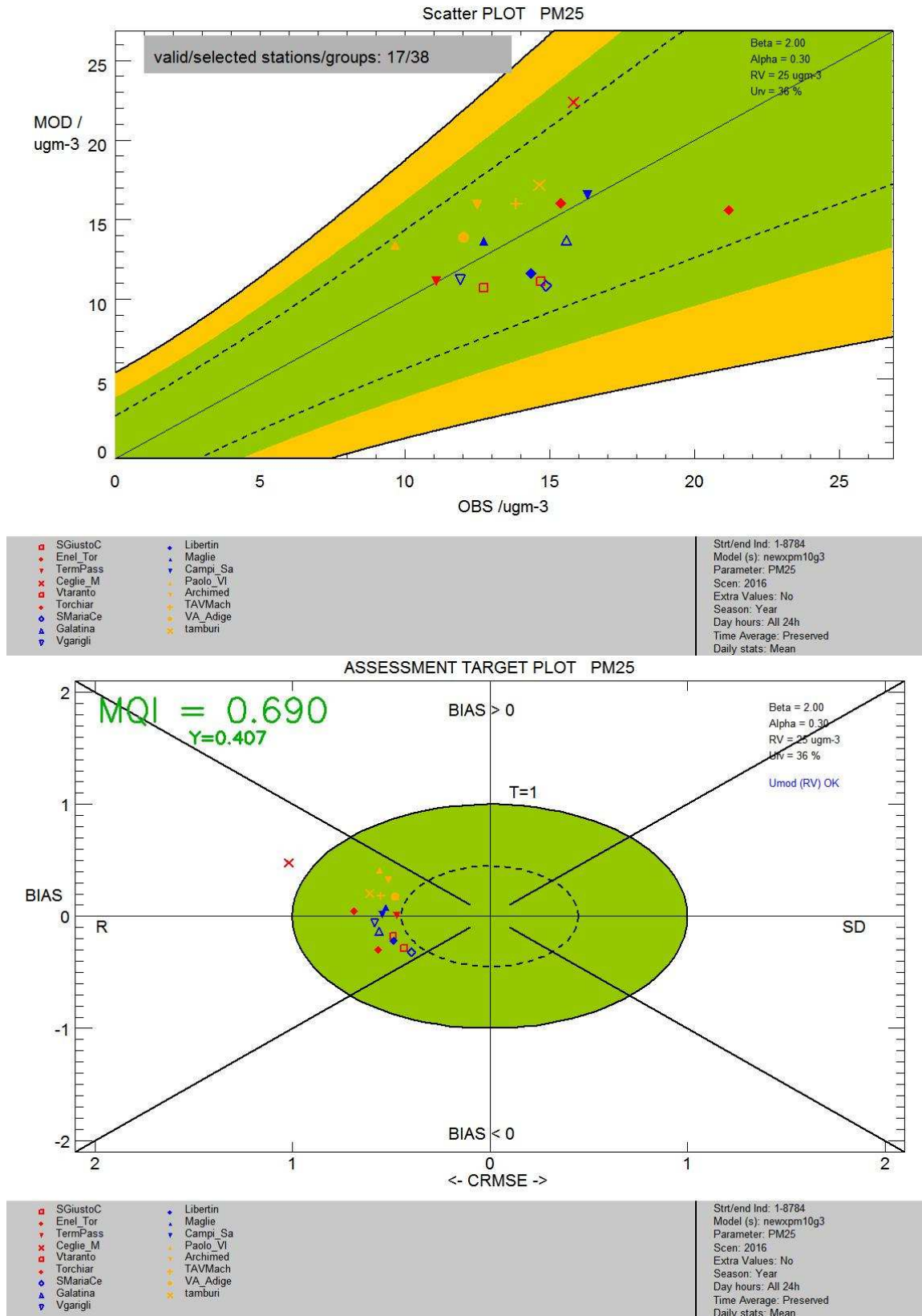


Figura 41: Scatter plot e target plot relativo al PM_{2.5} (µg/m³) sulla griglia del Salento.

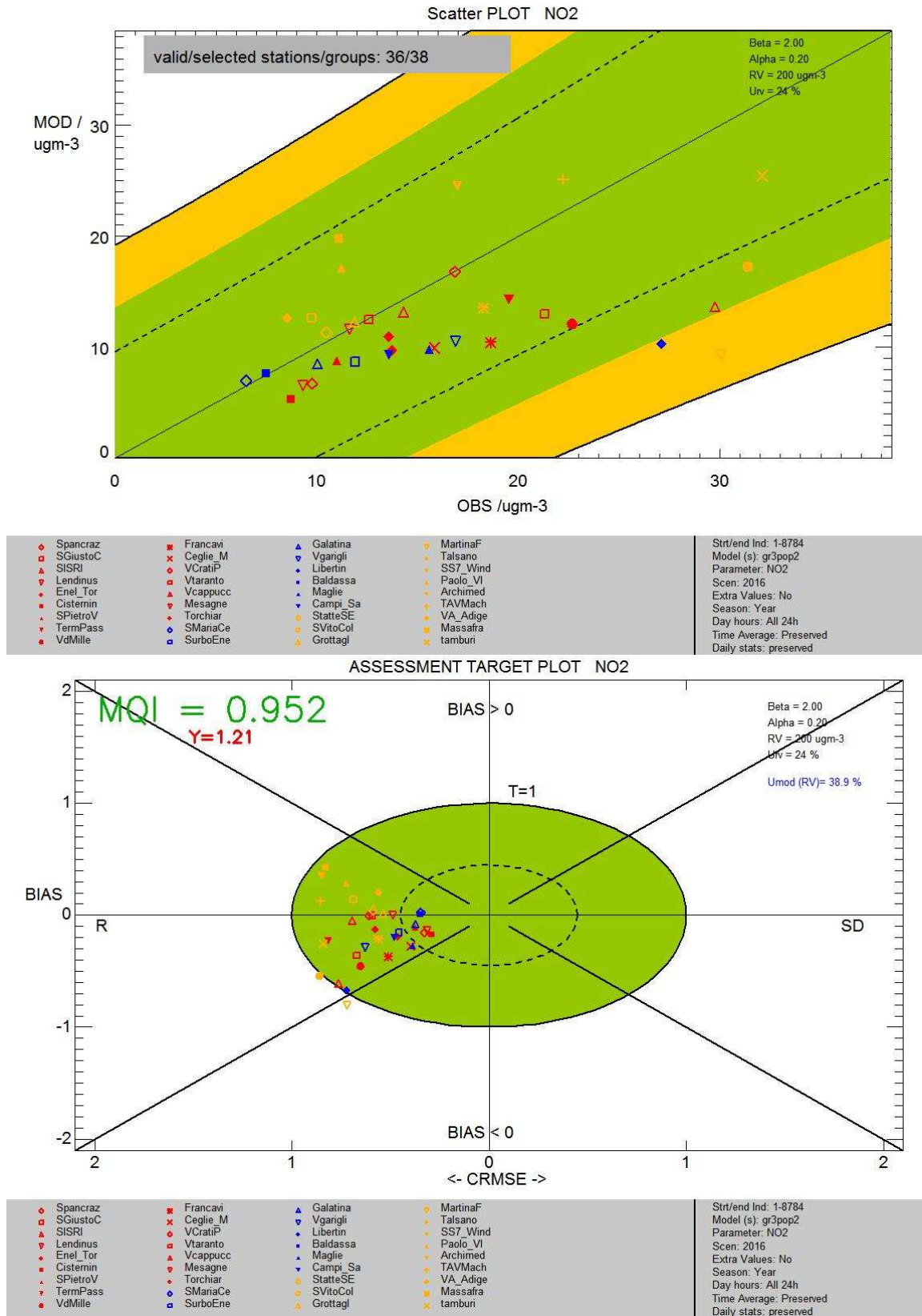


Figura 42: Scatter plot e Target plot relativo all'NO₂ (µg/m³) sul dominio del Salento.

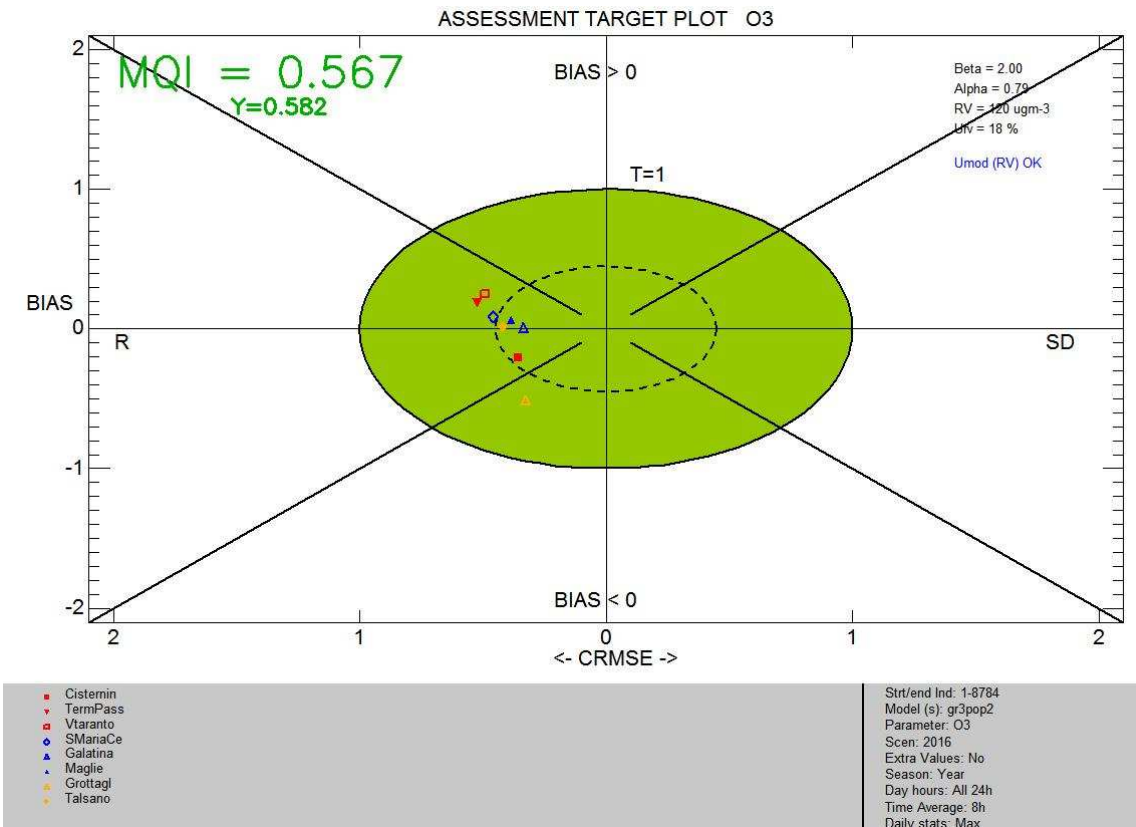
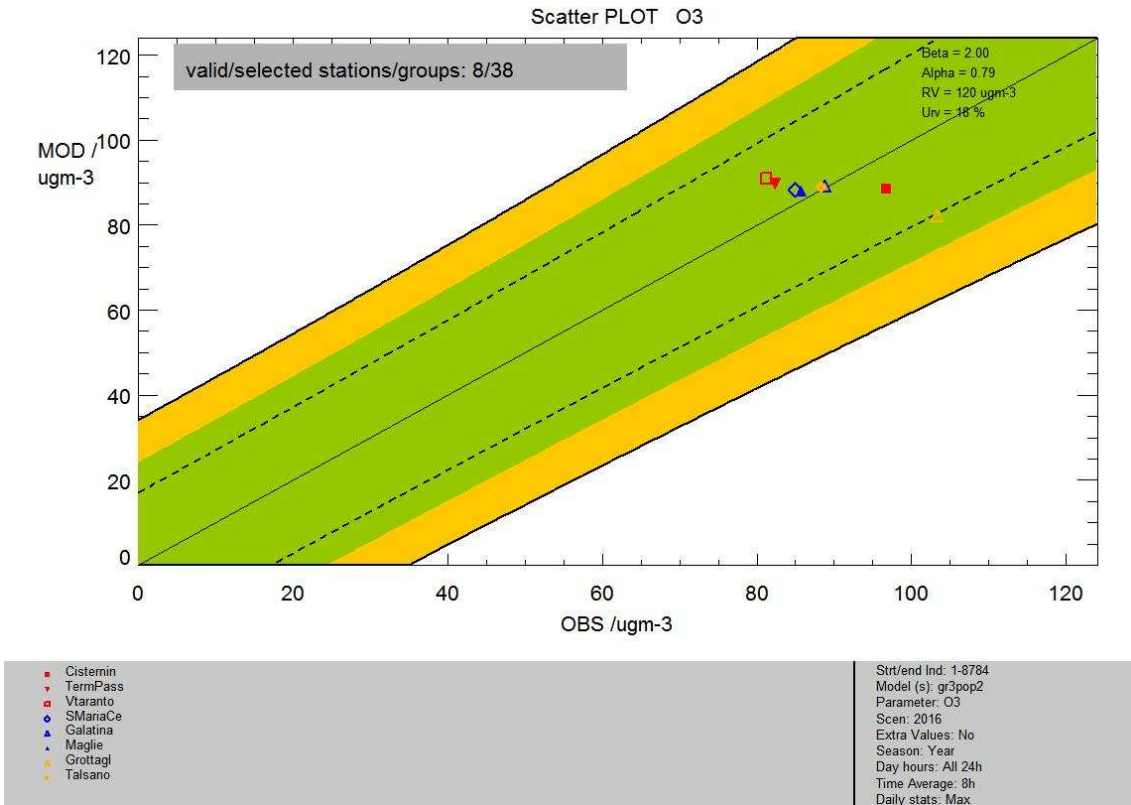


Figura 43: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), per l'anno sul dominio del Salento.

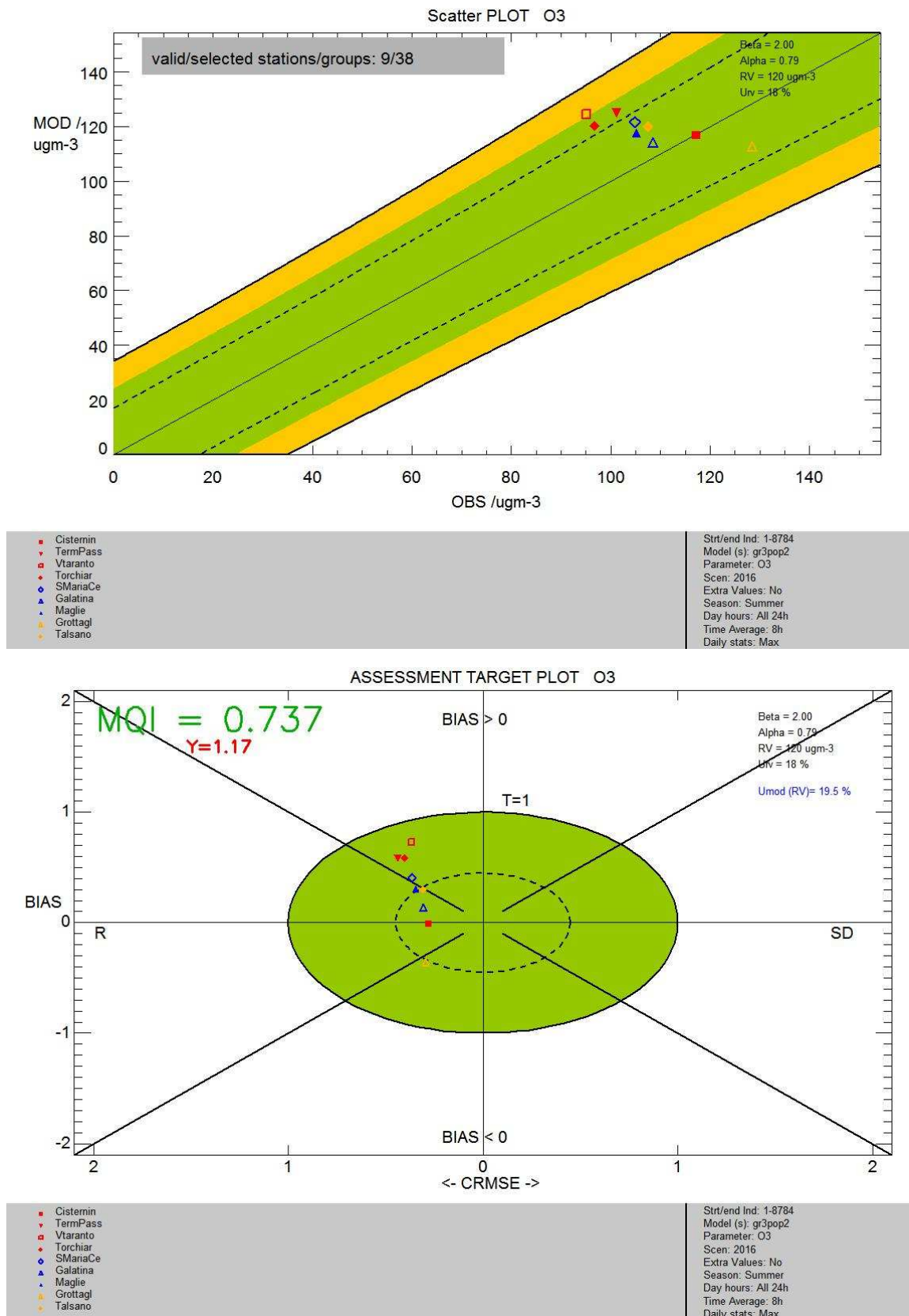


Figura 44: Scatter plot e target plot relativi ai massimi delle medie mobili su 8 ore di O₃ (µg/m³) per la sola stagione estiva (G-L-A), sul dominio del Salento.

Per le altre specie normate si mostrano i relativi *scatter plot*.

Per la specie SO₂ il confronto è in generale soddisfacente (Figura 45). Si rileva, analogamente alla griglia regionale, una tendenza da parte del modello a sovrastimare²³ le concentrazioni modellate nelle postazioni localizzate nel comune di Taranto (simboli color giallo). Più soddisfacente risulta invece il confronto per le centraline di Brindisi e Lecce, ad eccezione della postazione Terminal Passeggeri - Brindisi (BR) in corrispondenza della quale il modello mostra una evidente sottostima, presumibilmente dovuta ad una sottostima delle emissioni locali di tipo portuale.

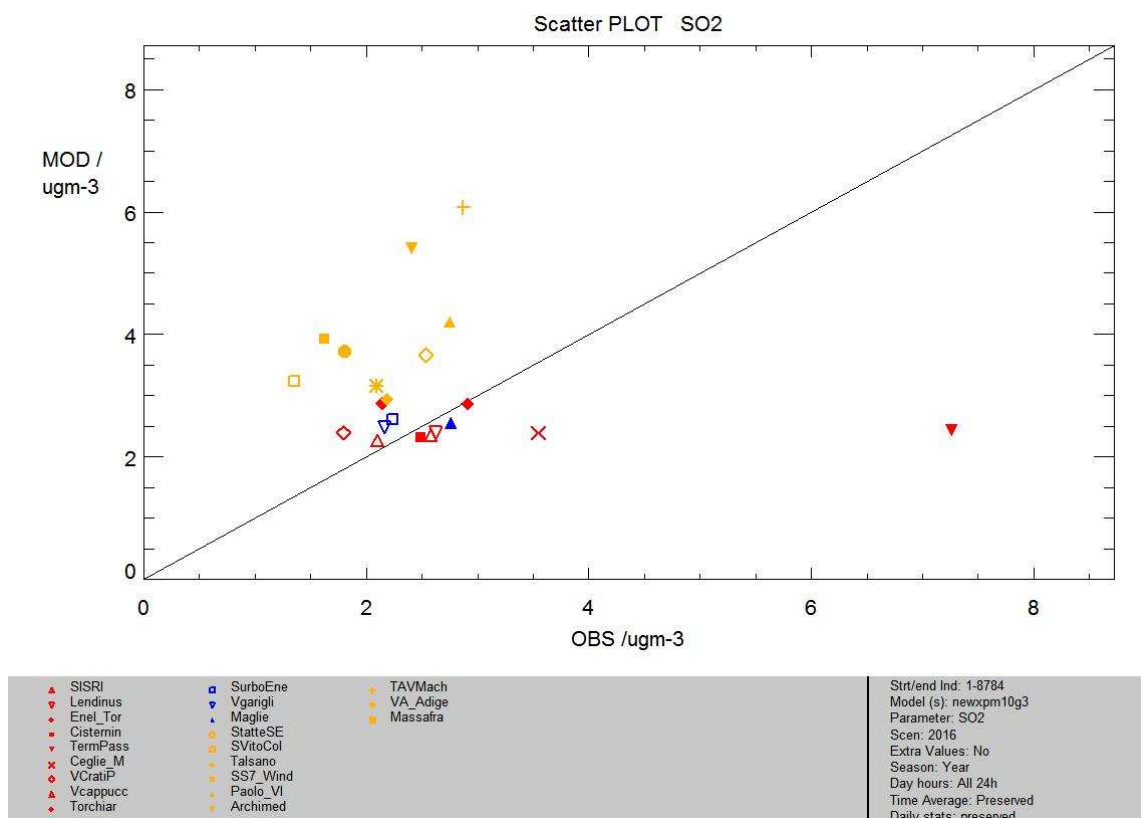


Figura 45: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di SO₂ (µg/m3) sul dominio del Salento.

Analogamente alla griglia regionale, anche sul Salento lo *scatter plot* del monossido di carbonio (Figura 46) mostra una tendenza del modello a sottostimare le concentrazioni misurate, anche se è evidente un miglioramento nella riproduzione dei dati misurati a Taranto.

²³ Tale sovrastima potrebbe essere dovuta ad una sovrastima delle emissioni industriali dell'area tarantina. È comunque opportuno rilevare che i valori misurati di SO₂ dalle centraline sono in generale molto bassi e prossimi ai limiti di rilevabilità degli analizzatori, quindi potenzialmente affetti da errori di misura.

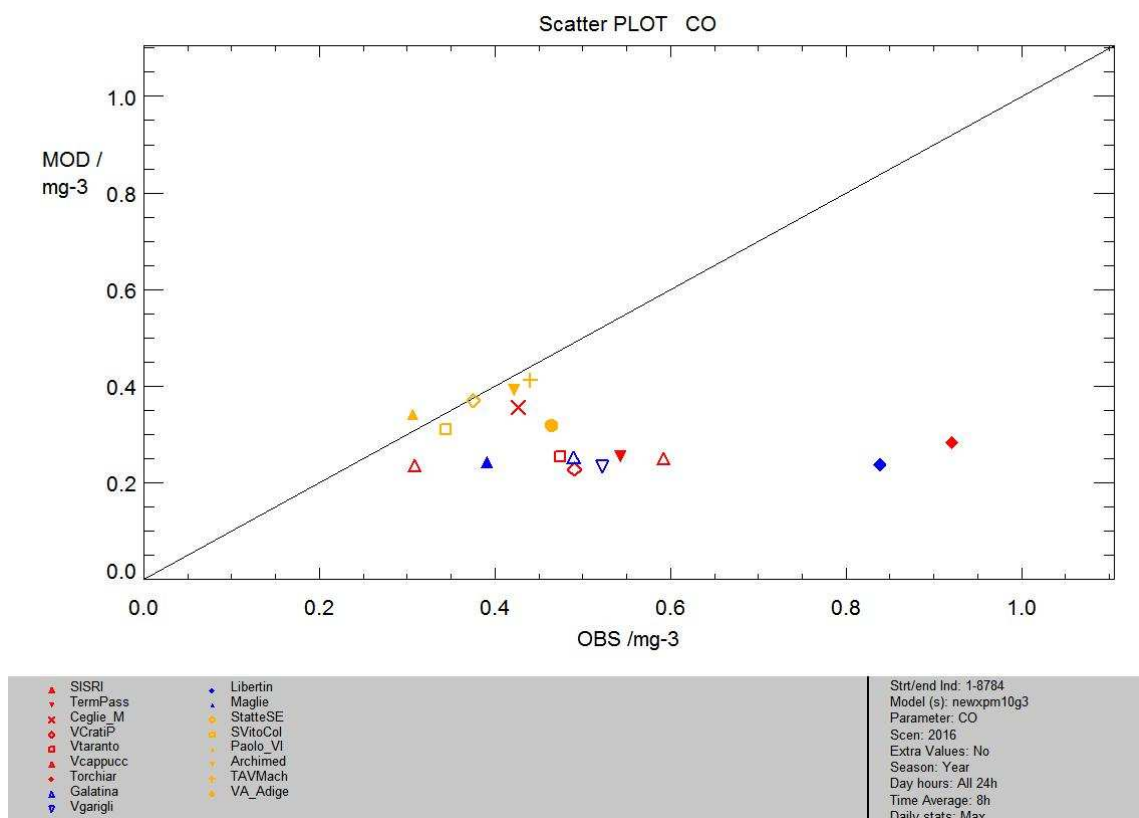


Figura 46: Scatter plot di confronto tra i massimi annuali delle concentrazioni medie mobili su 8 ore misurate e modellate di CO (mg/m3) sul dominio del Salento.

Rispetto a quanto già osservato per la griglia regionale, anche per il benzene il modello sulla griglia salentina migliora la capacità di rappresentarne le concentrazioni misurate (Figura 47). Si deve infatti tener conto che le emissioni sulla griglia del Salento vengono “spalmate” su celle di dimensioni più piccole (1kmx1km): ciò determina un impatto modellato di entità maggiore specialmente per le centraline localizzate nei centri urbani²⁴.

²⁴ In corrispondenza della centralina di Ceglie Messapica si passa addirittura dalla tendenza del modello a sottostimarne le concentrazioni misurate sulla griglia regionale ad una sovrastima sul dominio del Salento.

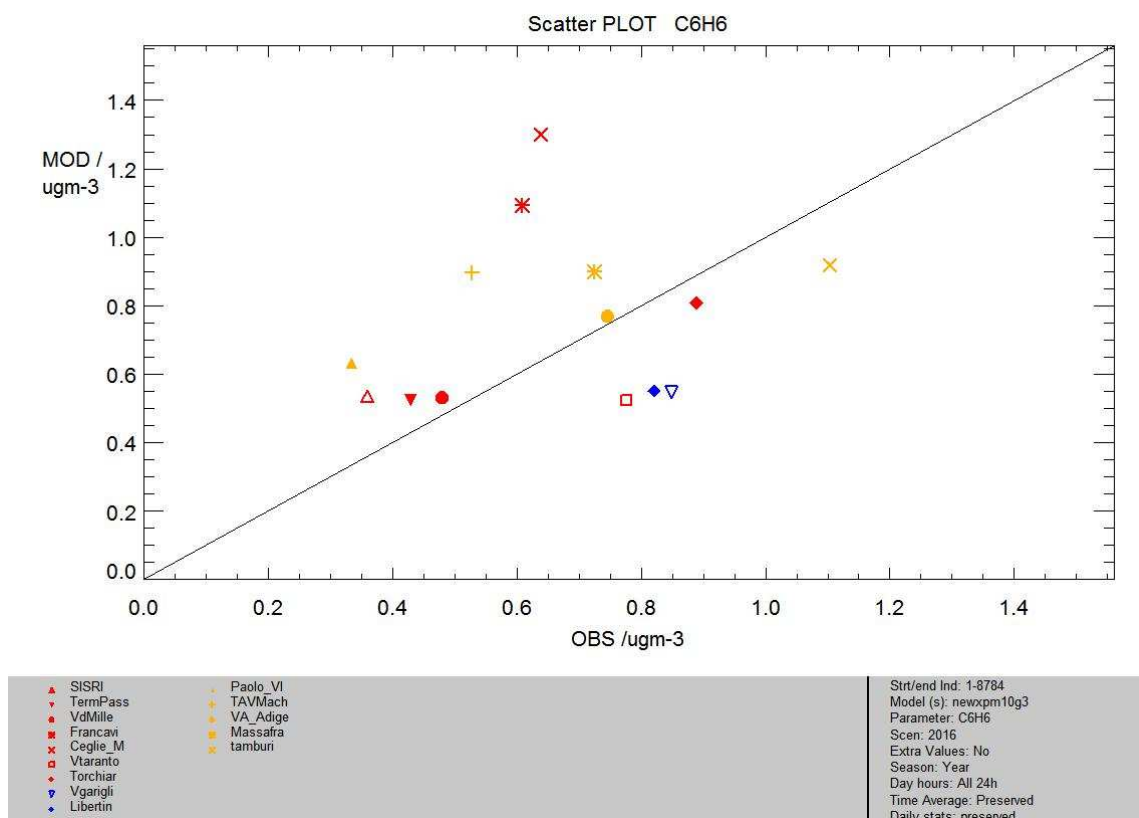


Figura 47: Scatter plot di confronto tra le concentrazioni medie annuali misurate e modellate di C₆H₆ (µg/m³) sul dominio del Salento.

In definitiva la valutazione statistica condotta con il DELTA TOOL ha evidenziato per gli inquinanti PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ e O₃ la capacità del modello di ricostruire adeguatamente le concentrazioni misurate sia sulla griglia regionale che su quella salentina, poiché il criterio di qualità risulta essere sempre soddisfatto. D'altro canto, al fine di migliorare la ricostruzione modellistica dei livelli di concentrazione e la relativa distribuzione spaziale, il D. Lgs 155/2010 prevede che le simulazioni modellistiche siano combinate con i dati misurati. Tale integrazione, denominata assimilazione, rappresenta la modalità migliore per giungere ad una valutazione realistica dello stato di qualità dell'aria (nel senso di conoscenza della distribuzione nello spazio e nel tempo degli inquinanti di interesse), valorizzando al massimo ogni tipo di misura, ciascuno col proprio grado di precisione e di affidabilità. Nei successivi paragrafi verrà quindi descritto il processo di assimilazione e verranno mostrati i risultati della valutazione dello stato della QA sulla regione Puglia e sul Salento relativa al 2016. Per gli inquinanti normati dal D. Lgs 155, per i quali sono disponibili le misure per il 2016, la corrispondente valutazione sarà il risultato di tale processo di assimilazione.

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 risultano essere 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 2016, 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 minima²⁵.

L'assimilazione ha coinvolto gli inquinanti NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO e C₆H₆ monitorati dalle reti di monitoraggio della QA gestite da ARPA. In particolare, l'assimilazione è avvenuta su base oraria per le specie NO₂, SO₂, O₃, CO e C₆H₆; mentre per le specie PM₁₀ e PM_{2.5} 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. PM₁₀) 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 modello²⁶.

²⁵ 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).

²⁶ Ad esempio nel caso della centralina di Torchiarolo – Via Don Minzoni si è scelto di non assimilare il particolato PM₁₀, misurato durante il periodo invernale, perché si è ritenuto che la centralina fosse posta in un *hotspot* causato dalle emissioni di qualche camino posto nelle immediate vicinanze della centralina; i dati di PM₁₀ misurati dalla centralina di Costa Morena Diga sono stati esclusi dall'assimilazione, perché ritenuti condizionati dalle emissioni prodotte dalla movimentazione del carbone sulla banchina, mentre, relativamente alla centralina di Bari - Corso Cavour si è scelto di non assimilare la specie NO₂ perché si è ipotizzato che fosse condizionata dalle emissioni da traffico di prossimità.

Infine, si fa presente che dal processo di assimilazione sono state escluse le misure di PM_{10} e $PM_{2.5}$ 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.

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).

Di seguito si riporta nella Figura 48 la collocazione delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, gestite da ARPA Puglia, utilizzate nell'assimilazione. Nella successiva Tabella 9 si indicano con il simbolo x le specie chimiche assimilate per ciascuna centralina, sia sul dominio regionale che su quello locale.

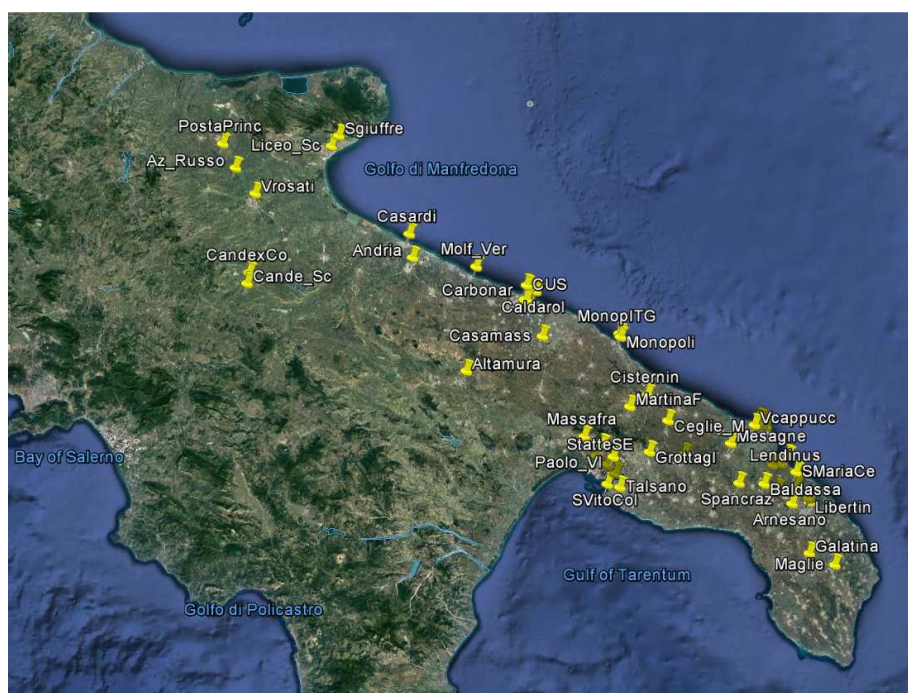


Figura 48. Collocazione delle stazioni di monitoraggio della RRQA assimilate.

Tabella 9 - Elenco delle centraline e dei relativi analizzatori

| Provincia | nome | tipo zona | tipo stazione | Dominio Regionale | Dominio Locale | PM25 | PM10 | NO2 | O3 | CO | C6H6 | SO2 |
|-----------|------------|-----------|----------------------|-------------------|----------------|------|------|-----|----|----|------|-----|
| FG | Liceo_Sc | Suburbana | Traffico | x | | | x | x | | x | x | |
| FG | Sgiuffre | Rurale | Fondo | x | | | x | x | x | | | |
| FG | Cande_Sc | Suburbana | Fondo | x | | | x | x | | x | x | x |
| FG | CandexCo | Rurale | Fondo | x | | | x | x | x | x | | |
| FG | PostaPrinc | Rurale | fondo | x | | x | | x | x | x | | |
| FG | Az_Russo | Rurale | fondo | x | | x | x | x | x | | | |
| FG | Vrosati | Urbana | fondo | x | | x | x | x | | x | | |
| BAT | Casardi | Urbana | fondo | x | | x | x | x | x | | x | |
| BAT | Andria | Urbana | Traffico | x | | | x | x | | x | x | |
| BAT | Biton_EN1 | Suburbana | Industriale | | | | | | | | | |
| BA | CUS | Suburbana | Traffico | x | | | x | x | x | | | |
| BA | Carbonar | Suburbana | Fondo | x | | | x | x | | x | | |
| BA | Kennedy | urbana | Fondo | x | | | x | x | x | | | |
| BA | Casamass | Suburbana | Fondo | x | | | x | x | x | | | |
| BA | Monopoli | Suburbana | Traffico | x | | x | | | | x | | |
| BA | Altamura | Suburbana | Fondo | x | | | x | x | x | x | | |
| BA | MonopITG | Suburbana | Traffico | x | | x | x | x | | | x | |
| BA | Molf_Ver | urbana | traffico | x | | | x | x | | | | |
| BA | C_Cavour | urbana | traffico | x | | x | x | | | x | x | |
| BA | Caldarol | urbana | traffico | x | | x | x | x | | x | x | |
| BA | Modug_EN2 | Suburbana | Industriale | | | | | | | | | |
| BA | Modug_EN3 | Urbana | Industriale | | | | | | | | | |
| BA | Modug_EN4 | Suburbana | Industriale | | | | | | | | | |
| BA | PaloC_EN5 | Suburbana | Industriale | | | | | | | | | |
| TA | StatteSE | Suburbana | Industriale | x | x | | x | x | | x | | x |
| TA | SVitoCol | Suburbana | fondo | x | x | | x | x | | x | | x |
| TA | Grottagl | 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 | Rurale | Industriale | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| TA | Archimed | Suburbana | Industriale | x | x | x | x | x | | x | | x |
| TA | TAVMach | Suburbana | Industriale | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| TA | VA_Adige | Urbana | Traffico | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| TA | MartinaF | Urbana | Traffico | x | x | | x | | | | | |
| TA | Massafra | Urbana | industriale | x | x | | | x | | | x | x |
| TA | tamburi | Urbana | industriale | x | x | x | x | x | | | x | |
| BR | Spancraz | Suburbana | Fondo | x | x | | x | x | | | | |
| BR | SGiustoC | Urbana | Fondo | x | x | x | x | x | | | | x |
| BR | SISRI | Suburbana | Industriale | x | x | | x | x | | x | x | x |
| BR | Lendinus | Rurale | Industriale | x | x | | x | x | | | | x |
| BR | Enel_Tor | Suburbana | Industriale | x | x | x | x | x | | | | x |
| BR | Cisternin | Suburbana | Fondo | x | x | | x | x | x | | | x |
| BR | SPietroV | Suburbana | Industriale | x | x | | | | | | | |
| BR | TermPass | Suburbana | Industriale/traffico | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| BR | VdMille | Urbana | traffico | x | x | | x | x | | | x | |
| BR | Francavi | Suburbana | Traffico | x | x | | | x | | | x | |
| BR | Ceglie_M | Suburbana | Fondo | x | x | x | x | x | | | | x |
| BR | VCratiP | Suburbana | Fondo | x | x | | x | x | | x | | x |
| BR | Vtaranto | Urbana | Traffico | x | x | x | x | x | | x | x | |
| BR | Vcappucc | Urbana | Traffico | x | x | | x | x | | x | | x |
| BR | Mesagne | Suburbana | Fondo | x | x | | | | | | | |
| BR | Torchiar | Suburbana | Industriale | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| BR | C_M_Diga | Suburbana | Industriale | | | | | | | | | |
| LE | SMariaCe | Rurale | Fondo | x | x | x | x | x | x | | | |
| LE | SurboEne | Rurale | Industriale | x | x | | x | x | | | | x |
| LE | Galatina | Suburbana | Industriale | x | x | x | | x | x | x | | |
| LE | Vgarigli | Urbana | Traffico | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| LE | Libertin | Urbana | Traffico | x | x | x | x | x | | x | x | |
| LE | Baldassa | Suburbana | Fondo | x | x | | x | x | | | | |
| LE | Arnesano | Suburbana | Fondo | x | x | | x | | | | | |
| LE | Maglie | Suburbana | Traffico | x | x | x | | x | x | x | | x |
| LE | Campi_Sa | Suburbana | Fondo | x | x | x | x | x | | | | |

8. Valutazione dello stato della Qualità dell'Aria sulla regione Puglia e sul Salento – Anno 2016

In questo paragrafo si mostrano i risultati della valutazione dello stato della qualità dell'aria, riferita all'anno 2016, 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 NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO e C₆H₆ monitorati dalle centraline di monitoraggio della QA 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 2016, la valutazione dello stato della QA è stata condotta con l'ausilio del solo modello fotochimico FARM.

Al fine, quindi, di valutare la conformità dello stato della QA 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 10 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 10 – Valori limite prescritti dal D. Lgs 155/2010

| Inquinante | Limite | Periodo di mediazione | Limite | Superamenti in un anno |
|------------------------|---|--|-----------|---------------------------------------|
| PM10 (µg/m3) | Valore limite sulle 24 ore per la protezione della salute umana | Media giornaliera | 50 µg/m3 | massimo 35 |
| | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | anno civile | 40 µg/m3 | |
| PM2.5 (µg/m3) | Valore Limite annuale per la protezione della salute umana | anno civile | 25 µg/m3 | |
| NO2 (µg/m3) | Valore limite orario per la protezione della salute umana | Media massima oraria | 200 µg/m3 | massimo 18 |
| | Valore limite annuale per la protezione della salute umana | anno civile | 40 µg/m3 | |
| O3 (µg/m3) | Soglia d'informazione | Media massima oraria | 180 µg/m3 | |
| | Soglia d'allarme | Media massima oraria | 240 µg/m3 | |
| | Valore obiettivo | Media massima giornaliera calcolata su 8 ore | 120 µg/m3 | <= 25 volte/anno come media su 3 anni |
| CO (mg/m3) | Valore limite orario per la protezione della salute umana | Media massima giornaliera calcolata su 8 ore | 10 mg/m3 | |
| SO2 (µg/m3) | Valore limite giornaliero | Media giornaliera | 125 µg/m3 | massimo 3 |
| | Valore limite su 1 ora per la protezione della salute umana | Media massima oraria | 350 µg/m3 | massimo 24 |
| Benzene(µg/m3) | Valore limite su base annua | anno civile | 5 µg/m3 | |
| Benzo(a)pirene(ng/m3) | Concentrazione presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile | anno civile | 1 ng/m3 | |
| Metalli pesanti(ng/m3) | Arsenico | anno civile | 6 ng/m3 | |
| | Cadmio | anno civile | 5 ng/m3 | |
| | Nichel | anno civile | 20 ng/m3 | |
| | Piombo | anno civile | 0,5 µg/m3 | |

8.1 Biossido di azoto (NO₂)

Di seguito nelle Figure 49, 50 e 51 si mostreranno, per gli indicatori statistici che il D. Lgs 155/2010 prescrive per l'NO₂, 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.

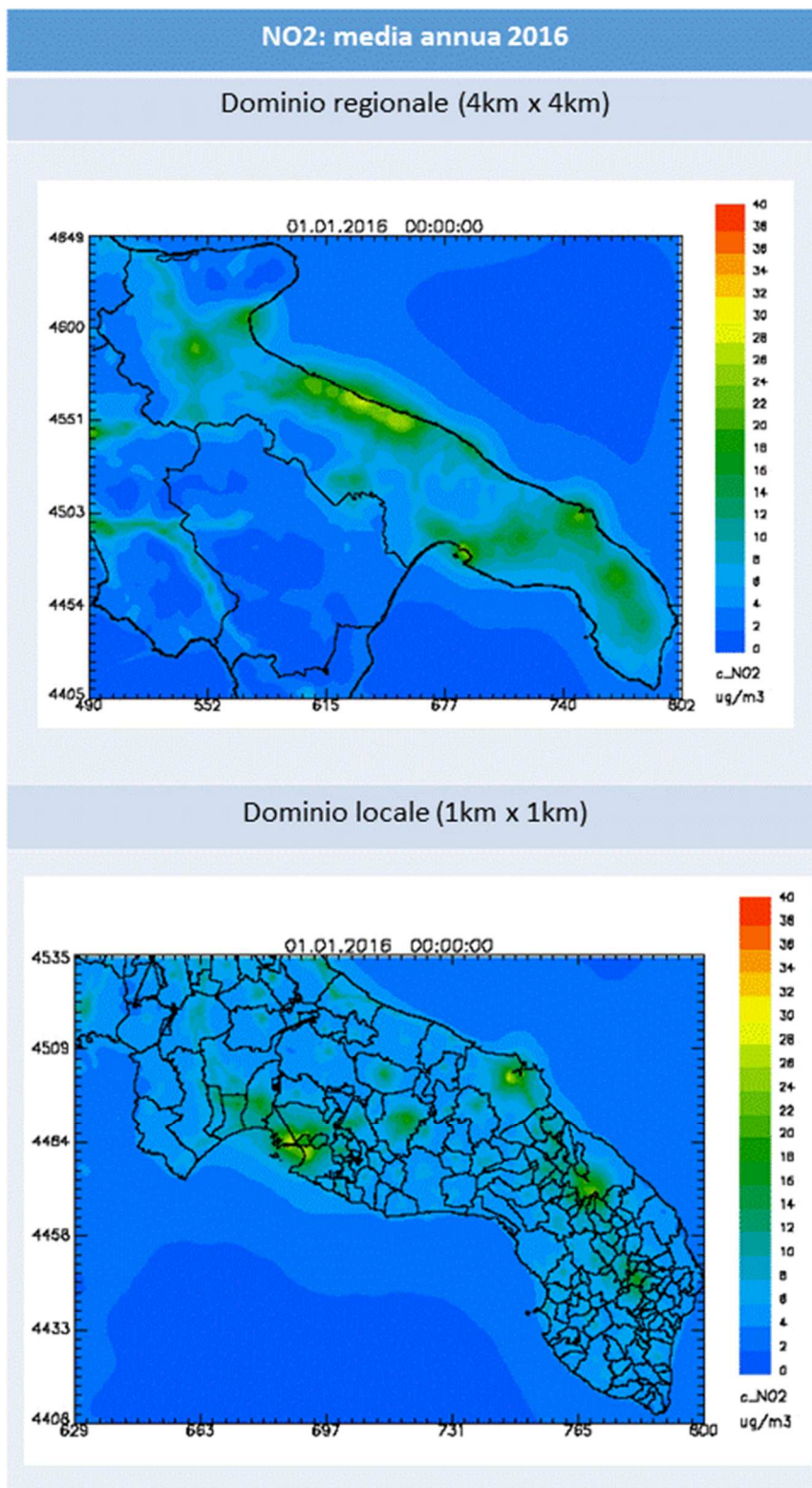


Figura 49 – Mappe della concentrazione media annuale di NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) riferite al 2016 sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

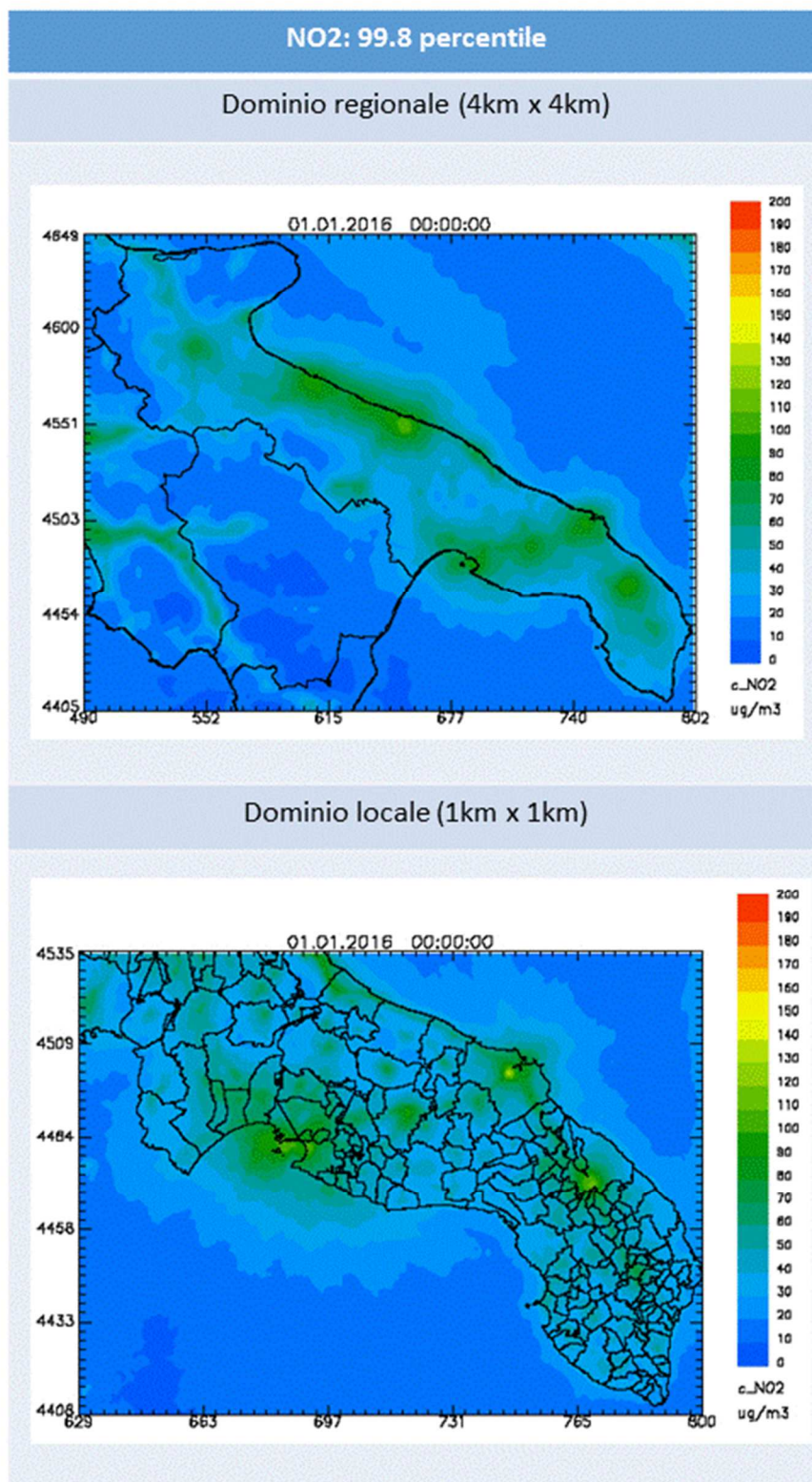


Figura 50 - Mappe riferite al 2016 del 99.8° percentile di NO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

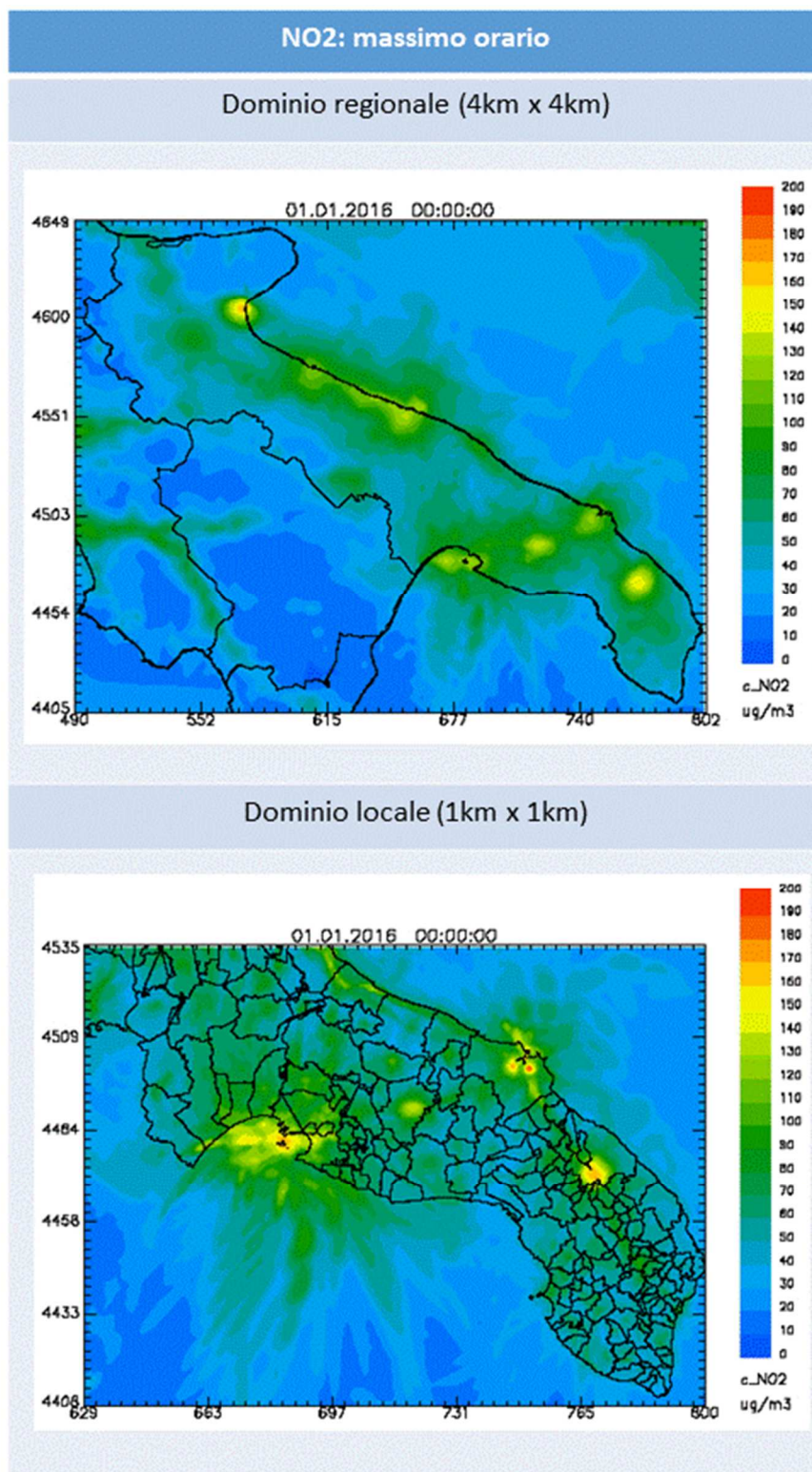


Figura 51 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione massima oraria di NO₂ sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

Sulla griglia regionale (risoluzione 4kmx4km) non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti. Ciò è in accordo con quanto osservato per il 2016 dalle centraline di monitoraggio di QA, 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 QA nella cella corrispondente. Pertanto, per caratterizzare al meglio lo stato della QA in corrispondenza della postazione Cavour, anche al fine di provare ad identificare l'area di superamento, è necessario condurre una ulteriore specifica simulazione modellistica sul territorio barese ad una risoluzione spaziale pari ad 1km.

Sulla griglia relativa al Salento (1km di risoluzione) non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti per l' NO_2 .

Dalle mappe presentate è evidente comunque come le concentrazioni di NO_2 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 (SO₂)

Di seguito nelle Figure 52, 53 e 54 si mostreranno, per gli indicatori statistici che il D. Lgs 155/2010 prescrive per l'SO₂, le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

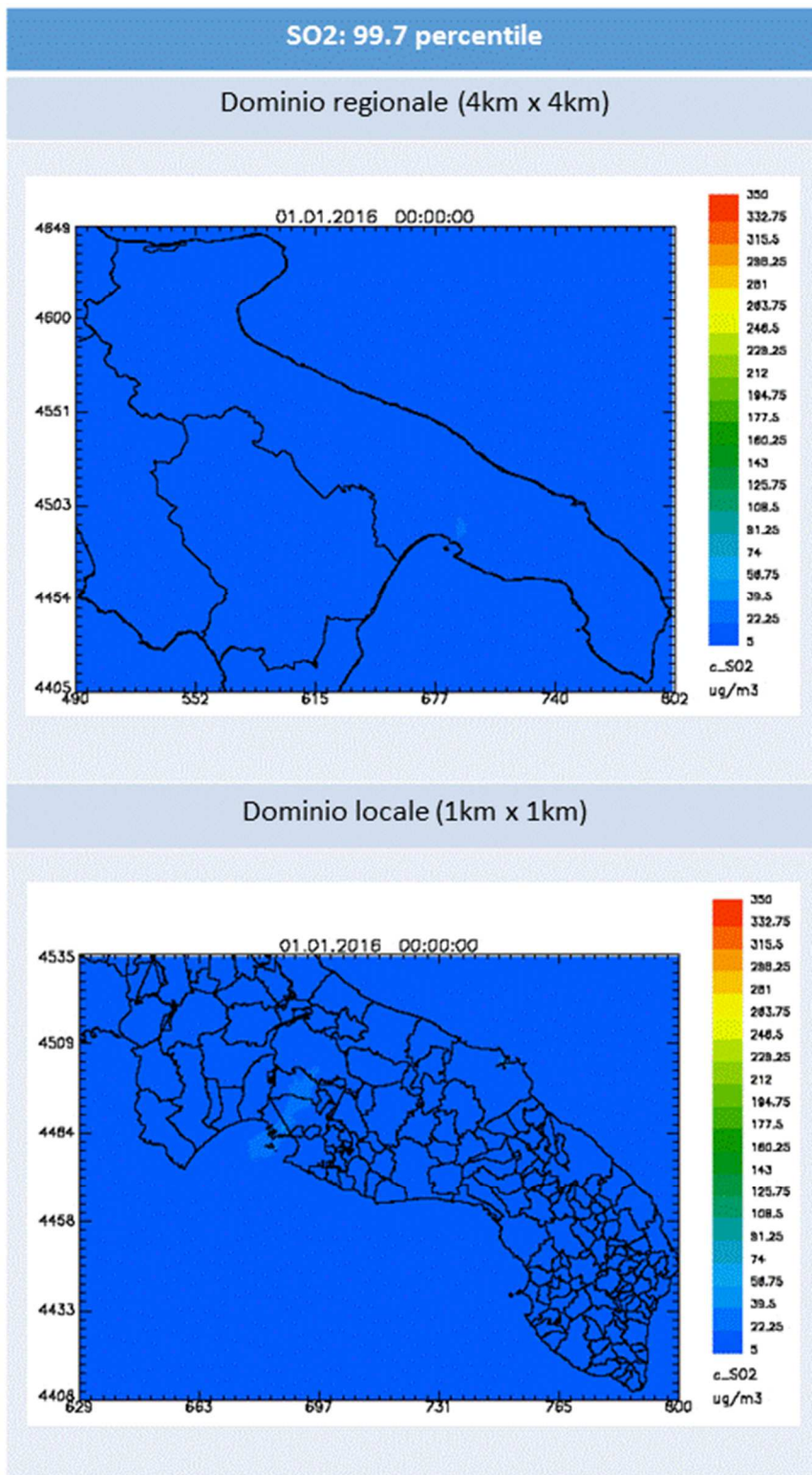


Figura 52 - Mappe riferite al 2016 del 99.7° percentile di SO₂, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni orarie, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione

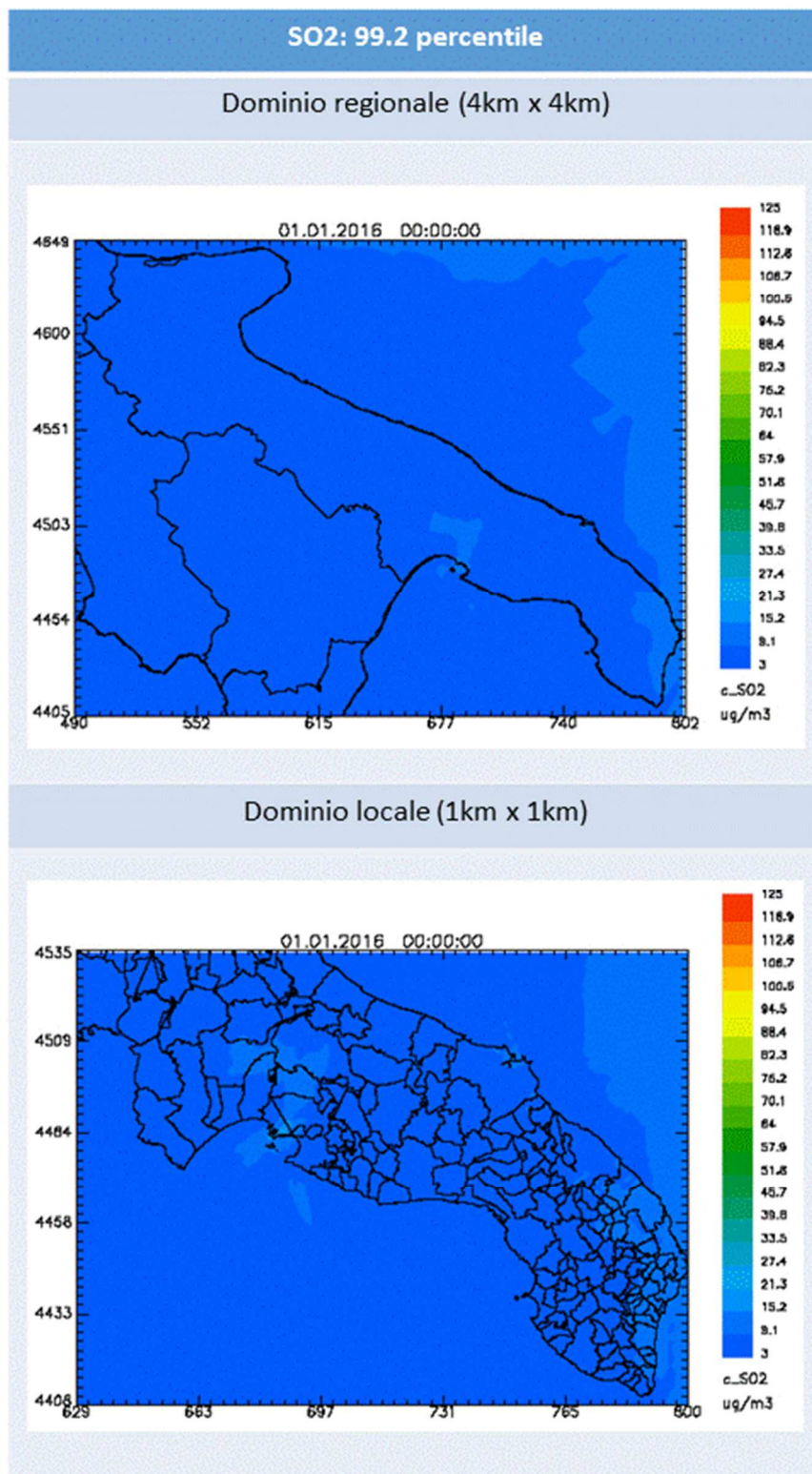


Figura 53 - Mappe riferite al 2016 del 99.2° percentile di SO₂ (µg/m³), calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione

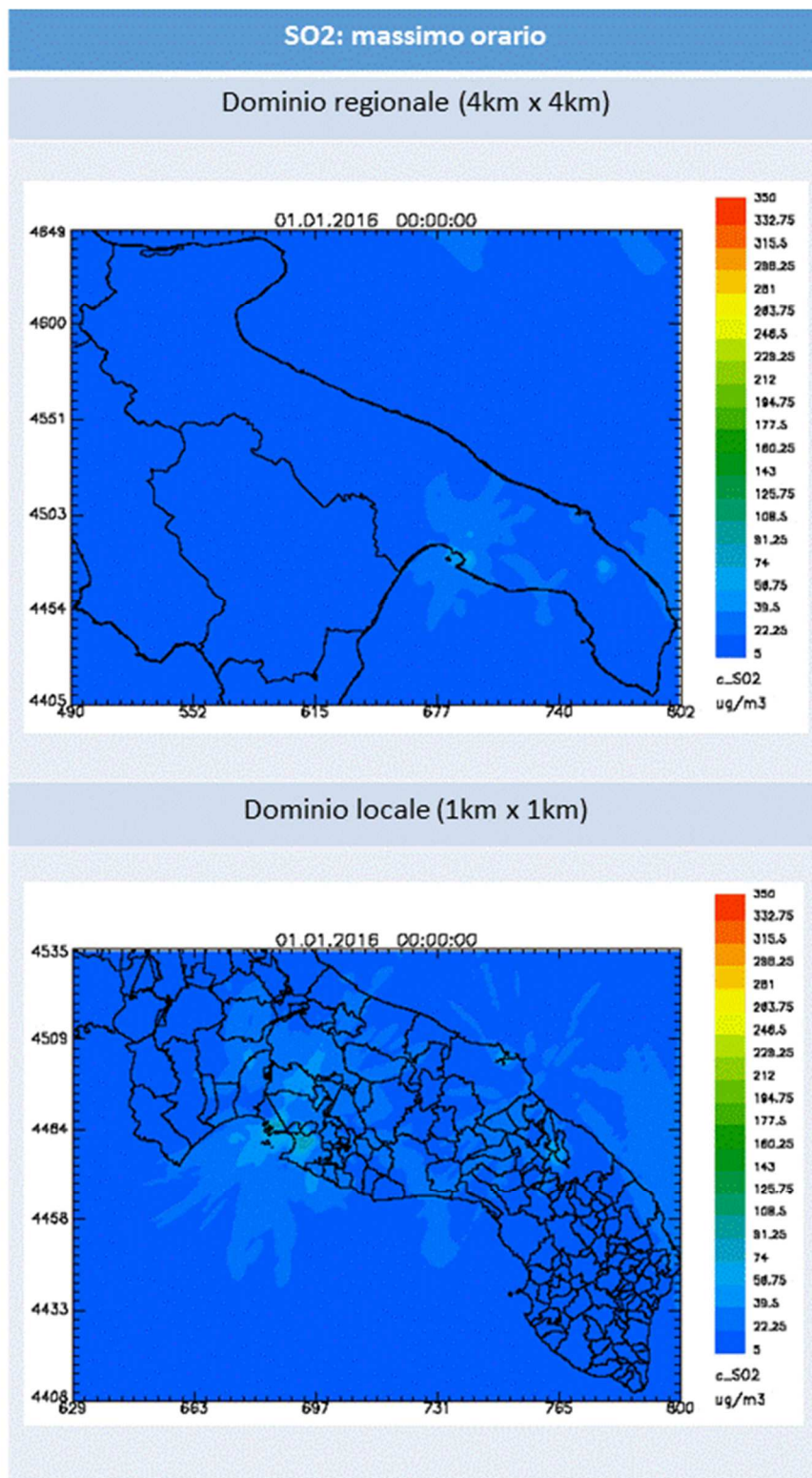


Figura 54 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione massima oraria di SO₂ (µg/m³) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso,) ottenute tramite l'assimilazione

Su entrambi i domini di simulazione non si verifica alcun superamento dei valori limite prescritti per l'SO₂. I valori più elevati per gli indicatori considerati vengono stimati in corrispondenza dell'area industriale di Taranto.

8.3 Particolato Fine - PM₁₀

Di seguito nelle Figure 55 e 57 si mostreranno per gli indicatori statistici prescritti dal D. Lgs 155/2010 per il PM₁₀ le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

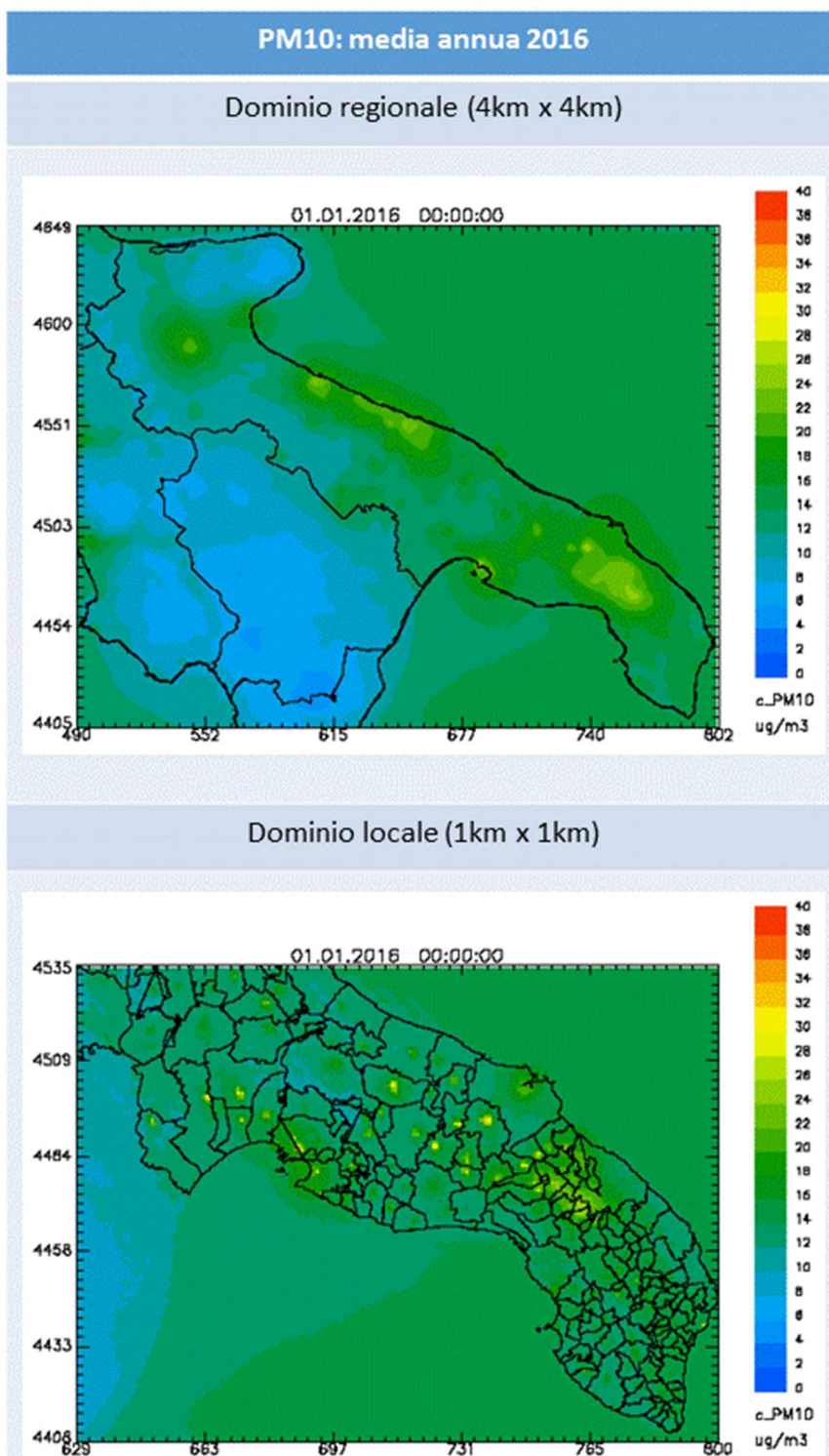


Figura 55 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di PM₁₀ sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

Per l'indicatore della media annuale, come si desume dalle mappe, non si verifica alcun superamento²⁷ del corrispondente valore limite né sul dominio regionale né sul Salento. E' opportuno rilevare come le concentrazioni medie annuali più elevate siano stimate sul dominio regionale in corrispondenza del comune di Foggia, di alcuni comuni della provincia di Bari, del comune di Taranto e di alcuni comuni della provincia di Brindisi, Lecce e Taranto. Lo zoom ad 1km sul Salento consente di apprezzare con miglior dettaglio la distribuzione spaziale ed i livelli di concentrazione, che, analogamente a quanto evidenziato nella valutazione modellistica relativa al 2013, nei comuni di Mesagne, Latiano, Oria, Mottola e Massafra raggiungono valori di un certo rilievo. Come già ampiamente trattato nella valutazione modellistica del 2013 (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 PM₁₀ su base comunale. La mappa in Figura 56 mostra come i comuni, in corrispondenza dei quali si stimano le emissioni di PM₁₀ più elevate, siano, in ordine decrescente per entità di emissioni, Mesagne, Ceglie Messapica, Oria e Latiano, appartenenti tutti alla provincia di Brindisi.

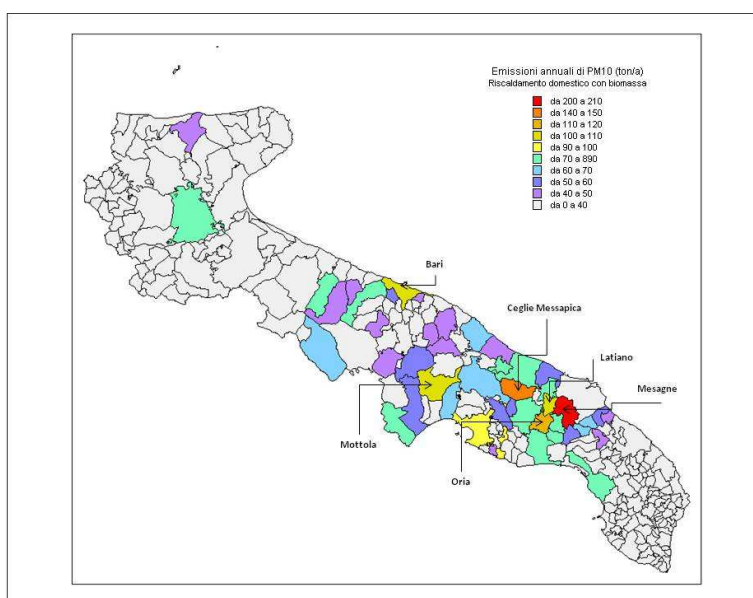


Figura 56 - Mappa su base comunale delle emissioni annuali di PM₁₀ (tonn/anno) da combustione per riscaldamento domestico con biomassa

²⁷ 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 µg/m³.

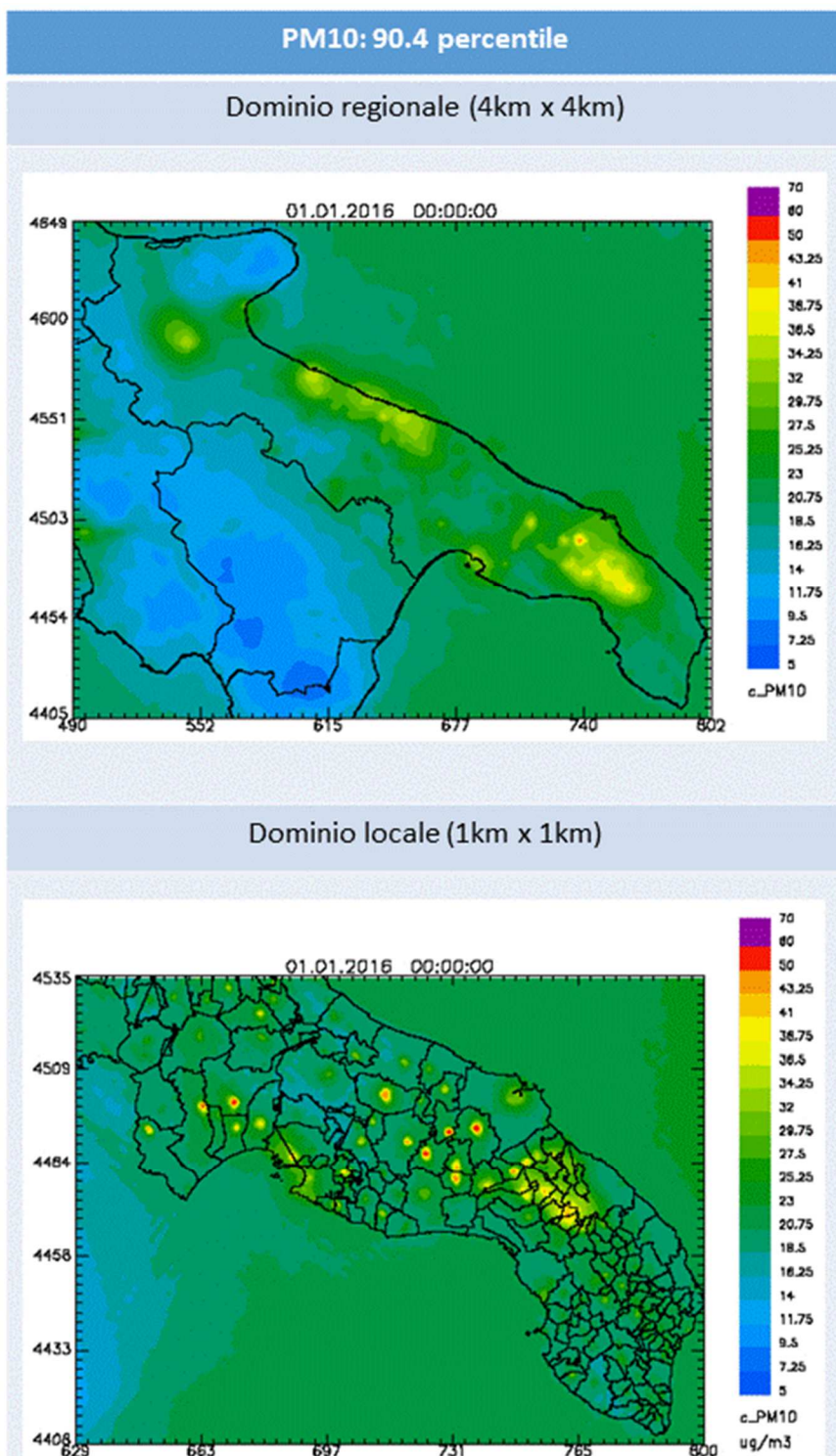
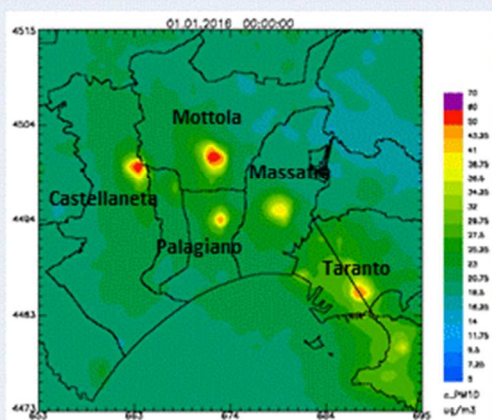


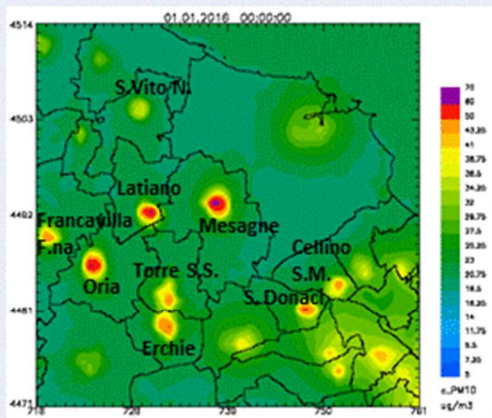
Figura 57 - Mappe riferite al 2016 del 90.4° percentile di PM₁₀, calcolato sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione

PM10 : 90.4 percentile

Zoom provincia di Taranto (1km x 1km)



Zoom provincia di Brindisi (1km x 1km)



Zoom provincia di Lecce (1km x 1km)

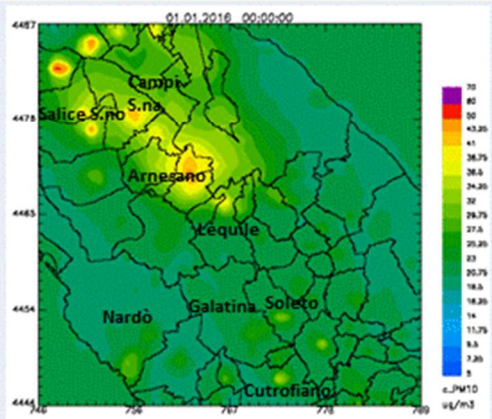
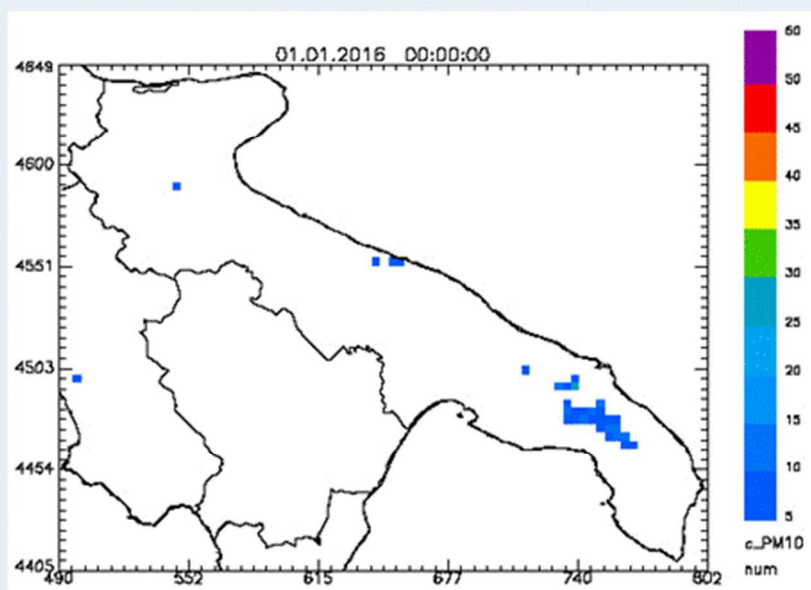


Figura 58 – Dettaglio della mappa sul Salento del 90.4° percentile di PM₁₀ nelle province di Taranto, Brindisi e Lecce.

PM10 : numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera

Dominio regionale (4km x 4km)



Dominio locale (1km x 1km)

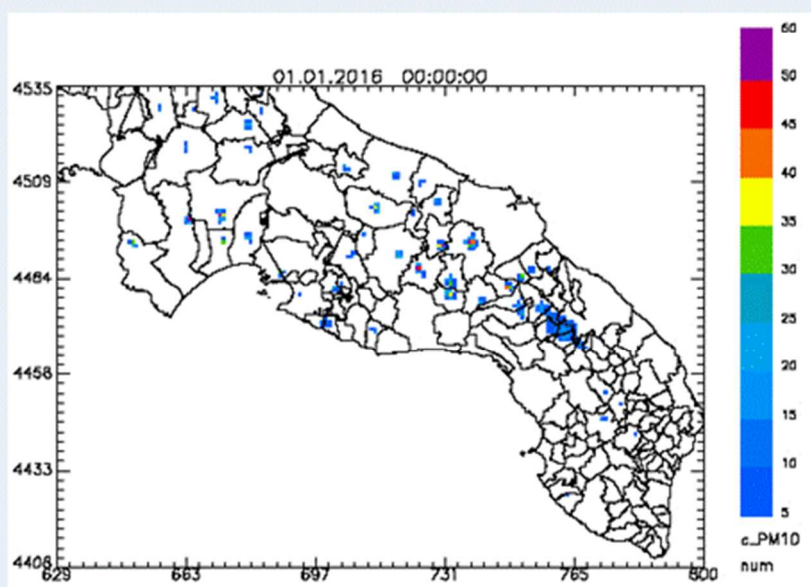
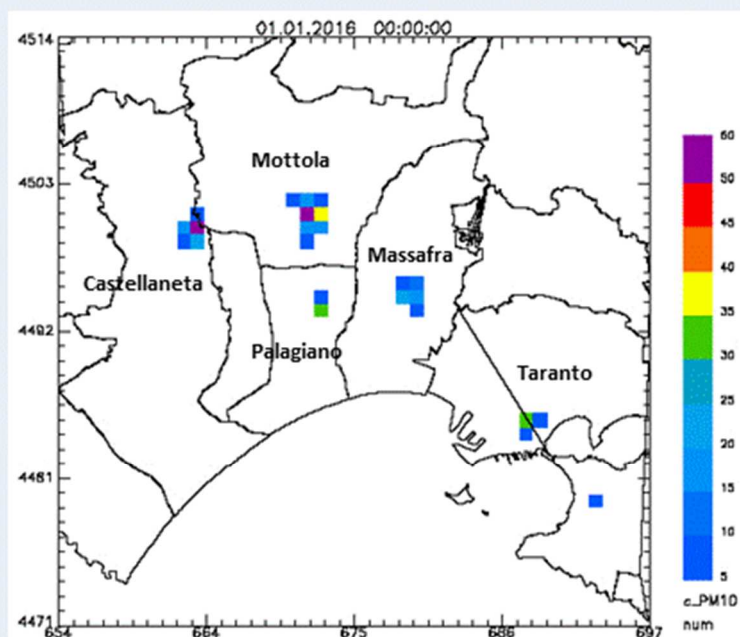


Figura 59 – Mappe, riferite al 2016, del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM₁₀ sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute tramite assimilazione

PM10 : numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera

Provincia di Taranto (1km x 1km)



Provincia di Brindisi(1km x 1km)

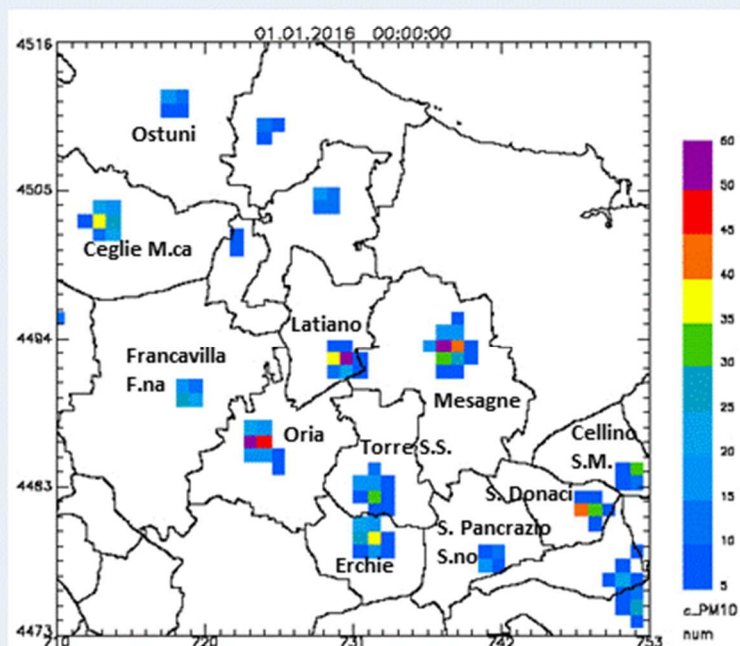


Figura 60 - Dettaglio della mappa sul Salento del numero annuale di superamenti del valore limite sulla media giornaliera di PM10 nelle province di Taranto e Brindisi

Riguardo al valore limite giornaliero per il PM₁₀, da non superare per più di 35 volte all'anno, la mappa di analisi (Figura 57) sul dominio regionale, elaborata relativamente all'indicatore del 90.4° percentile sulla serie annuale delle concentrazioni medie giornaliere, non mostra alcuna non conformità sul dominio regionale.

Sul Salento, ad 1km di risoluzione spaziale, emergono alcune non conformità sia in corrispondenza di alcuni comuni della provincia di Taranto che in diversi comuni dell'area brindisina. Ciò è mostrato chiaramente sia dalle mappe del 90.4° percentile (Figure 57 e 58) sia dalle mappe (Figura 59 e 60) che mostrano il numero di superamenti del valore limite giornaliero sulle celle del dominio di simulazione. Nella Tabella 11 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). Al suddetto elenco non appartiene il comune di Torchiarolo, la cui centralina di monitoraggio, sita in Via don Minzoni, ha registrato per il 2016 un numero di superamenti superiore a 35. E' opportuno osservare che tale risultato era atteso, avendo escluso, come già detto, volontariamente dall'assimilazione i dati di PM₁₀ misurati dalla suddetta centralina proprio nel periodo invernale²⁸. A riguardo si precisa che, relativamente al comune di Torchiarolo, solo i dati di PM₁₀ della centralina di monitoraggio sita in Via Fanin sono stati assimilati sui campi di concentrazione elaborati dal modello fotochimico ad 1km di risoluzione.

Tabella 11 - Comuni nei quali il numero dei superamenti del valore limite giornaliero per il PM₁₀ è superiore a 35

| Comune | Provincia | Numero superamenti del valore limite giornaliero per il PM10 |
|--------------------------------|------------------|---|
| Mottola | TA | 54 |
| Castellaneta | TA | 57 |
| Mesagne ²⁹ | BR | 59 |
| Latiano | BR | 50 |
| Oria | BR | 51 |
| Ceglie Messapica ²⁹ | BR | 36 |
| Erchie | BR | 38 |
| San Donaci | BR | 40 |

²⁸ Tale scelta 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. In merito a tale questione si rimanda allo studio modellistico "Valutazione modellistica dell'impatto alla microscala prodotto sul comune di Torchiarolo dal riscaldamento residenziale con biomassa nel periodo 1-13 dicembre 2016", disponibile alla pagina <http://www.arpa.puglia.it/web/guest/modellistica>, che 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. Si può quindi ritenere cautelativamente opportuno assimilare nelle valutazioni dello stato della QA relative ai prossimi anni anche le concentrazioni di PM₁₀ misurate presso la suddetta centralina nel periodo invernale.

²⁹ Per i comuni di Mesagne e Ceglie Messapica, presso i quali è rispettivamente 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 PM₁₀ nei suddetti comuni si verifica in corrispondenza delle aree del centro più urbanizzate.

8.4 Particolato Fine – PM_{2.5}

Di seguito nella Figura 61 si mostrerà per l'indicatore statistico media annuale, prescritto dal D. Lgs 155/2010 per il PM_{2.5}, la relativa mappa di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

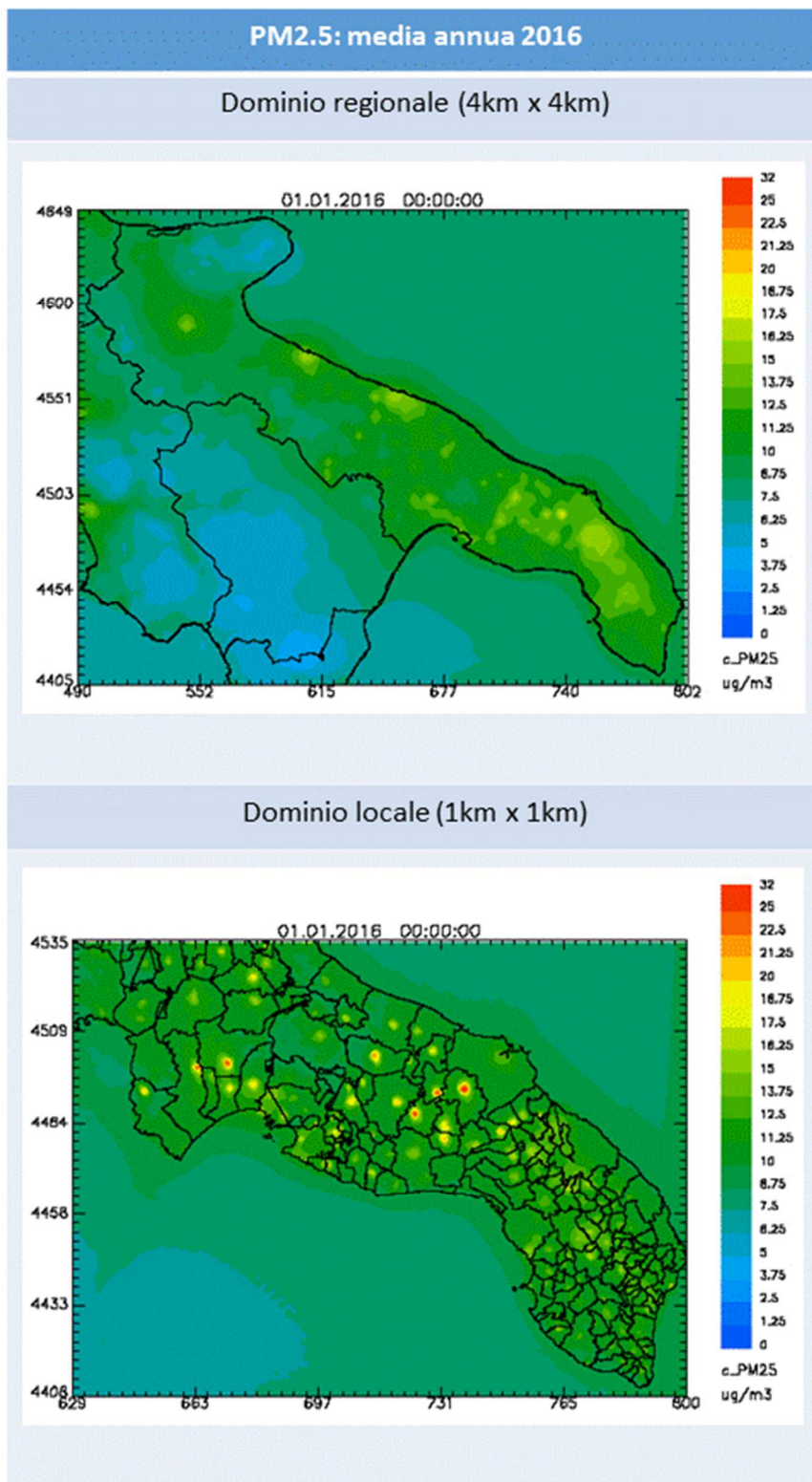


Figura 61 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di PM_{2.5} sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione.

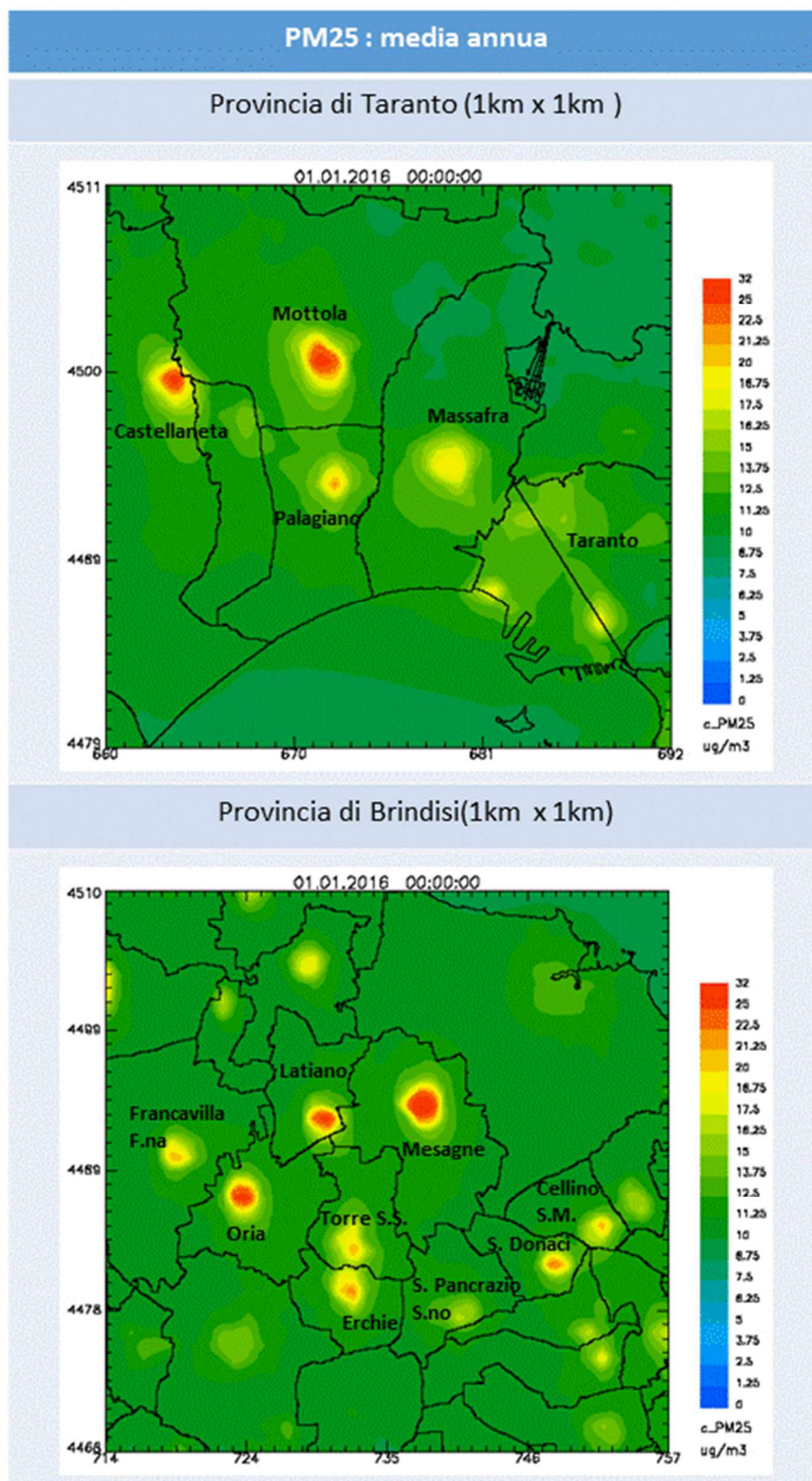


Figura 62 - Dettaglio della mappa sul Salento della concentrazione media annuale di PM_{2.5} (µg/m³) nelle province di Taranto e Brindisi

Per l'indicatore di media annuale prescritto per il PM_{2.5} non si verifica alcun superamento del corrispondente valore limite sul dominio regionale.

Analogamente a quanto accadeva per la valutazione modellistica dello stato della QA riferita al 2013, anche per il 2016 sul Salento, ad 1km di risoluzione spaziale, emergono alcune non conformità.

In provincia di Taranto la valutazione 2016 mostra superamenti presso i comuni di Mottola e Castellaneta. In provincia di Brindisi i superamenti interessano i comuni di Mesagne, Latiano e Oria, come evidenziato dalla seguente tabella.

Tabella 12 - Comuni sul cui territorio si prevede il superamento del valore limite annuale per il PM2.5

| Comune | Provincia | Concentrazione media annuale PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---------------|------------------|---|
| Mottola | TA | 27 |
| Castellaneta | TA | 28 |
| Mesagne | BR | 31 |
| Latiano | BR | 27 |
| Oria | BR | 26 |

8.5 Ozono (O₃)

Di seguito nelle Figure 63 e 64 si mostreranno, per gli indicatori prescritti per la protezione della salute umana dal D. Lgs 155/2010 per O₃, le relative mappe di *analisi* sul dominio regionale e sul Salento.

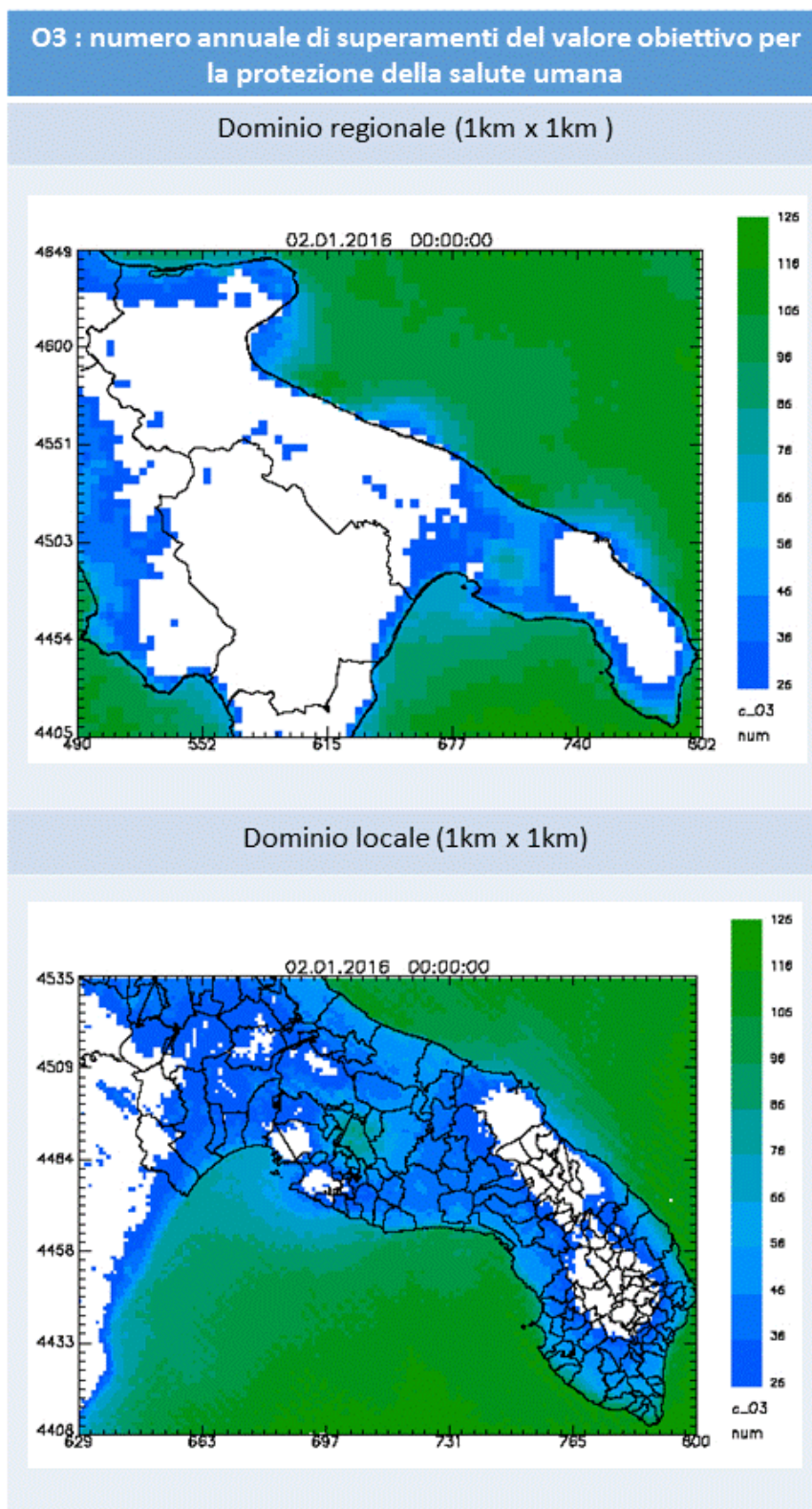


Figura 63 – Mappe del numero annuale di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per O₃, ottenuta tramite assimilazione

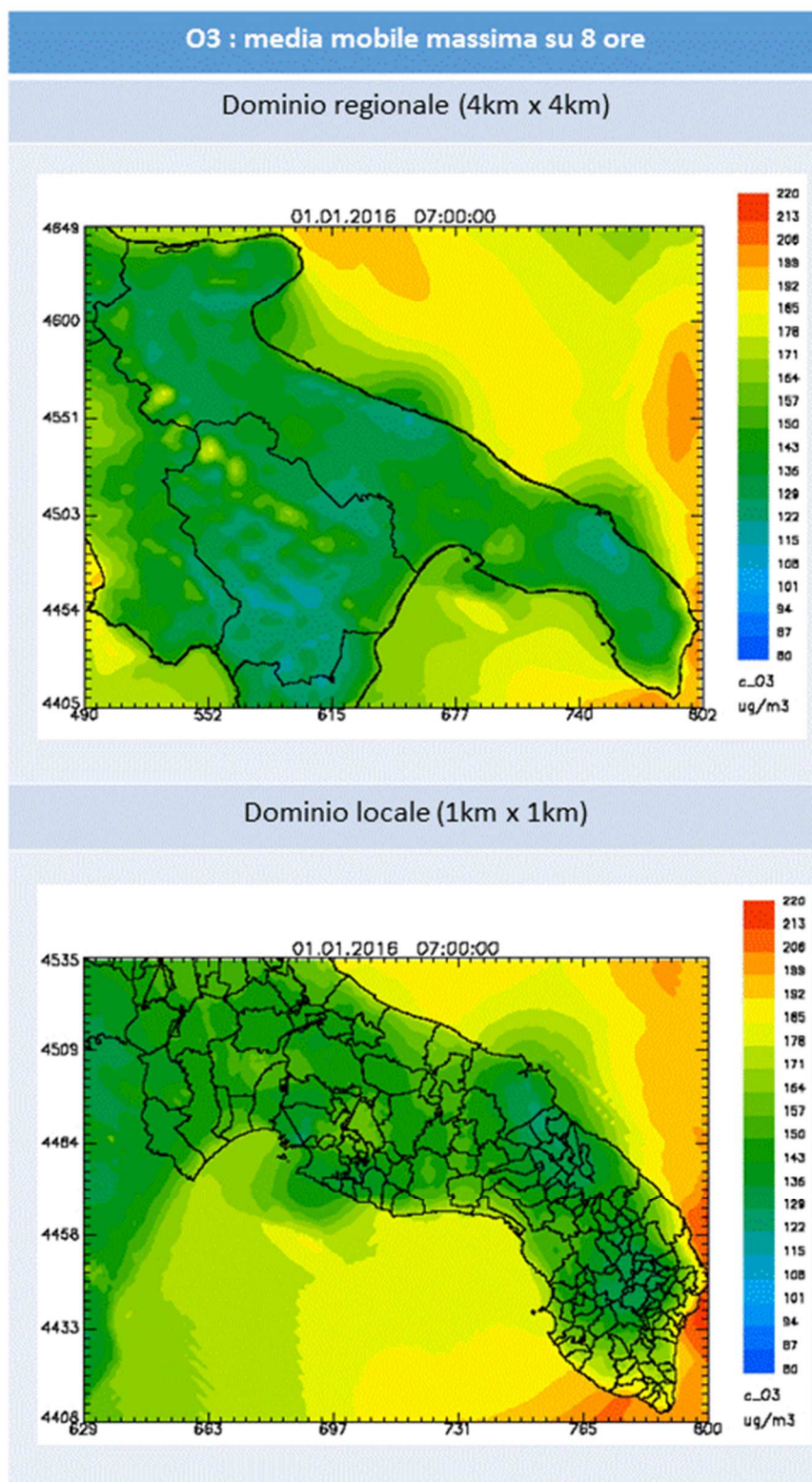


Figura 64 - Mappe della massima concentrazione oraria di O₃ (µg/m₃) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione

Sulla regione si verifica un numero di superamenti maggiore di quello ammesso in un anno (pari a 25) lungo le zone costiere e nella parte settentrionale del Salento. Ad 1km di risoluzione l'area di superamento risulta estesa a buona parte di questo. Non si riscontrano superamenti delle soglie.

8.6 Monossido di carbonio (CO)

Nella Figura 65 si mostreranno per il CO le mappe di analisi prodotte sul dominio regionale e sul Salento.

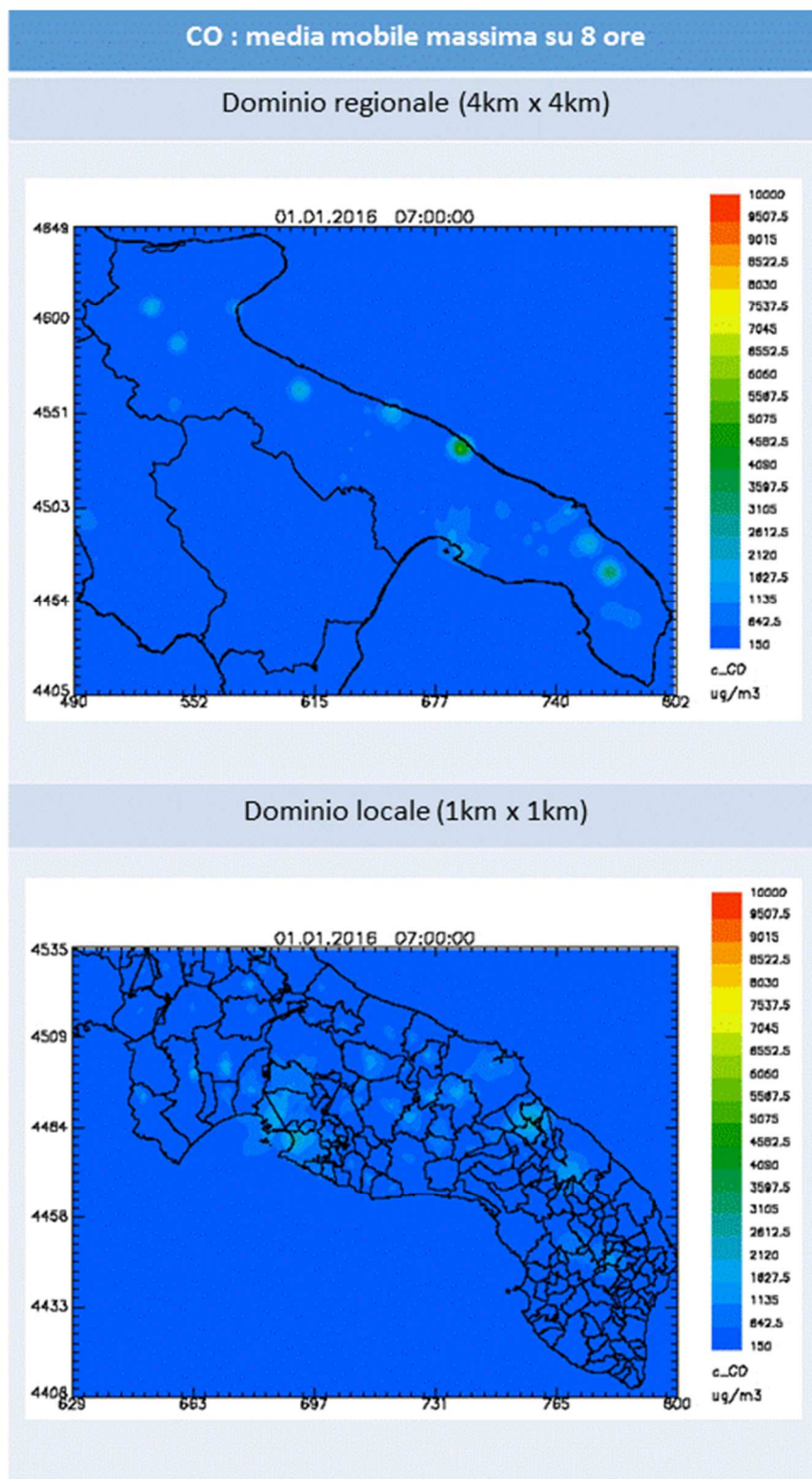


Figura 65 - Mappe della massima concentrazione media mobile su 8 ore di CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite assimilazione

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

8.7 Benzene(C₆H₆)

Nella Figura 66 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.

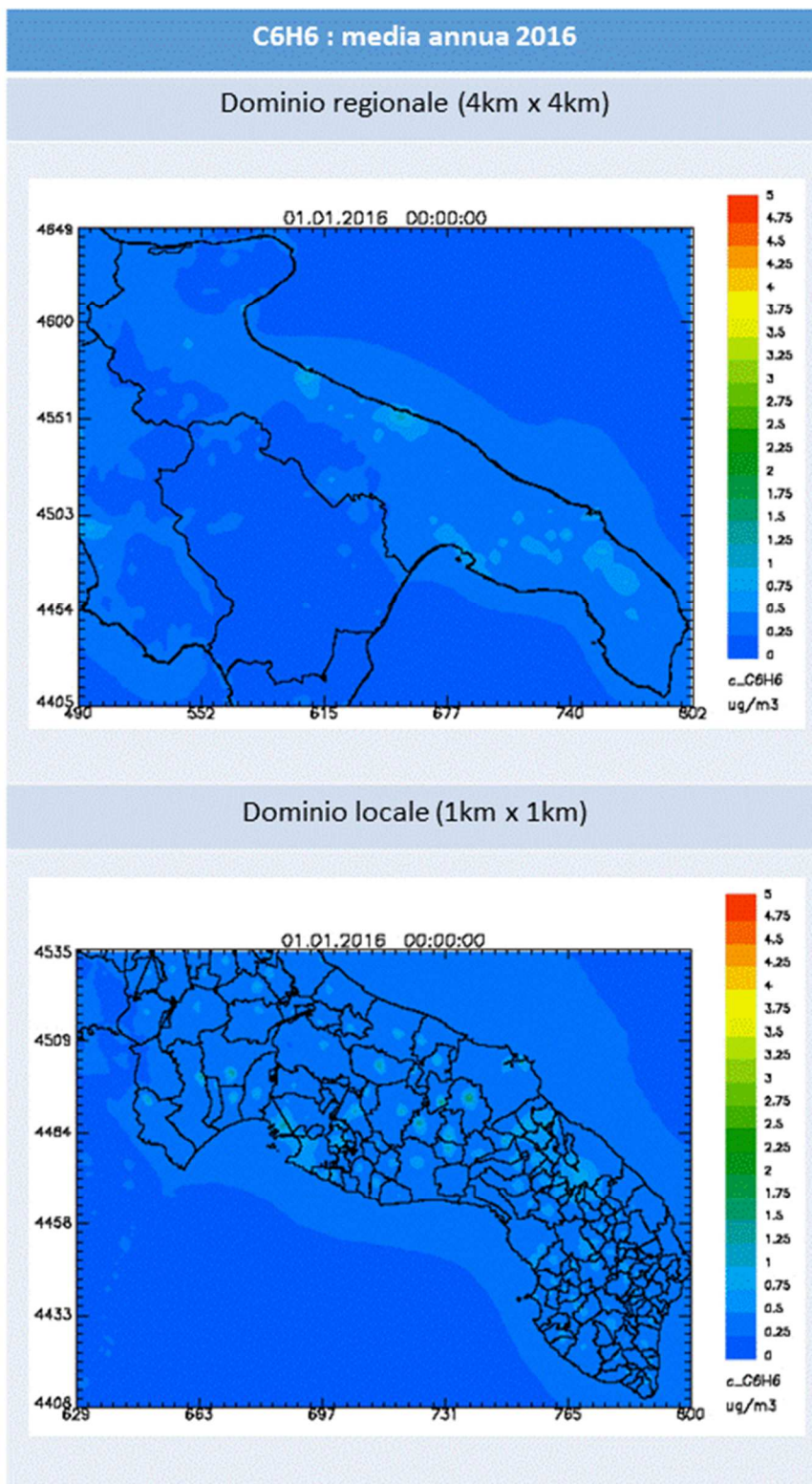


Figura 66 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di benzene sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso) ottenute tramite l'assimilazione

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

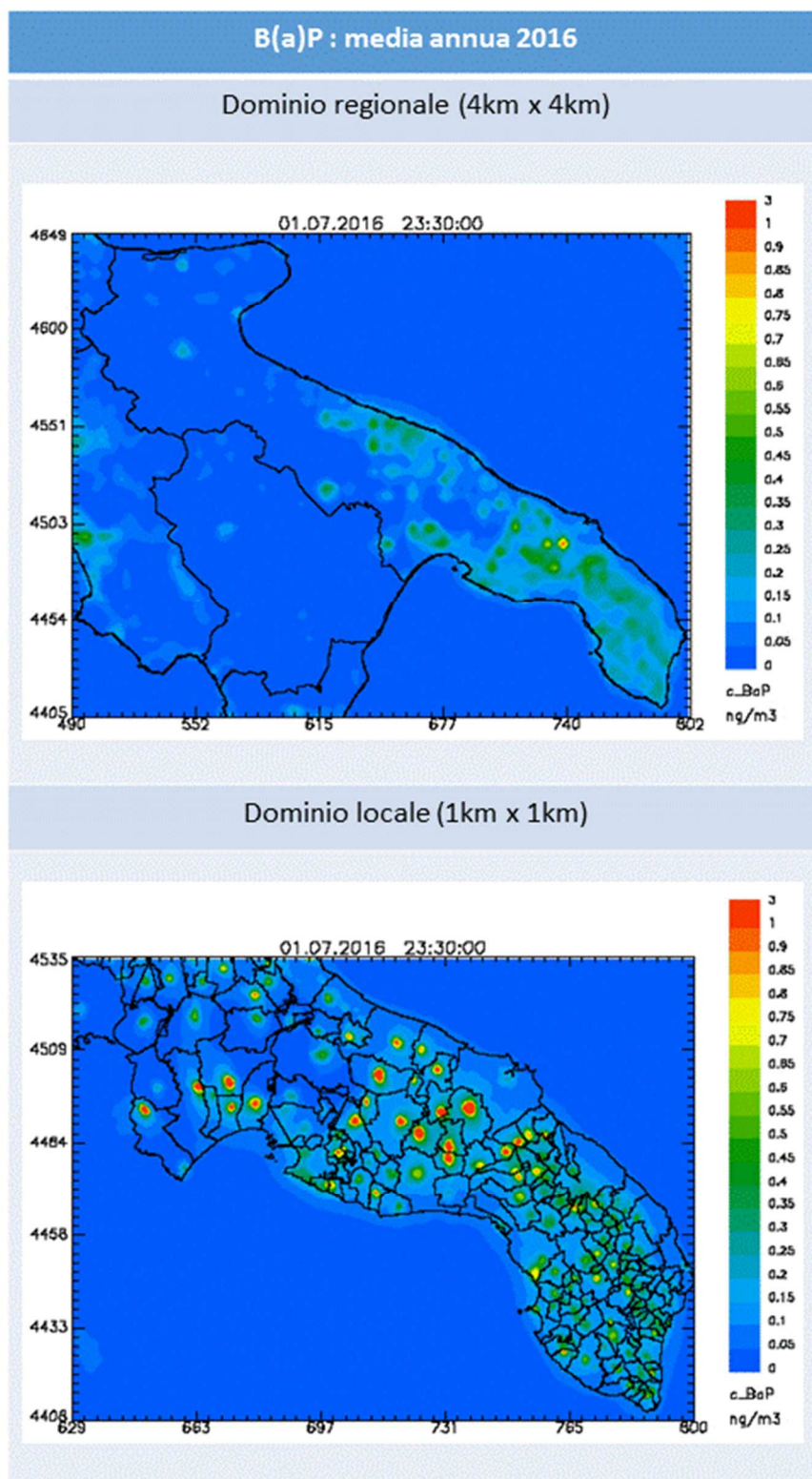
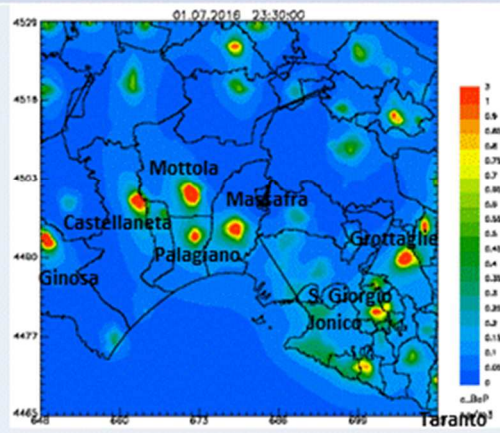


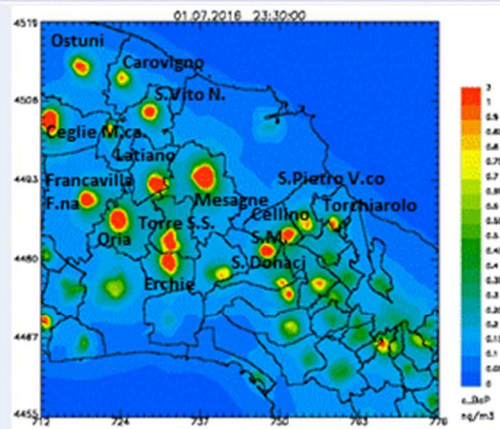
Figura 67 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di Benzo(a)Pirene sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

B(a)P : media annua 2016

Zoom provincia di Taranto (1km x 1km)



Zoom provincia di Brindisi (1km x 1km)



Zoom provincia di Lecce (1km x 1km)

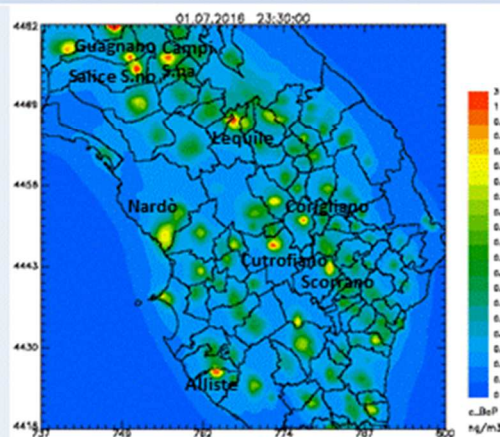


Figura 68 - Dettaglio della mappa sul Salento della concentrazione media annua di B(a)P (ng/m3), modellata da FARM

Tabella 13 - Comuni sul cui territorio si prevede il superamento del valore limite annuale per il B(a)P

| Comune | Provincia | Concentrazione media annuale B(a)P (ng/m³) |
|---------------------------|------------------|--|
| Mottola | TA | 2 |
| Castellaneta | TA | 2.5 |
| Ginosa | TA | 1.4 |
| Massafra | TA | 1.2 |
| Palagiano | TA | 1.4 |
| San Giorgio Jonico | TA | 1.2 |
| Grottaglie | TA | 1.3 |
| Villa Castelli | TA | 1.2 |
| Mesagne | BR | 2.8 |
| Latiano | BR | 2.3 |
| Oria | BR | 2.2 |
| Ceglie Messapica | BR | 1.4 |
| Cisternino | BR | 1.1 |
| Ostuni | BR | 1.2 |
| San Vito dei Normanni | BR | 1.1 |
| Francavilla | BR | 1.5 |
| Oria | BR | 2.2 |
| Torre Santa Susanna | BR | 1.5 |
| Erchie | BR | 1.6 |
| Torchiarolo ³⁰ | BR | 1.1 |
| Cellino San Marco | BR | 1.5 |
| San Donaci | BR | 1.7 |
| Guagnano | LE | 1.5 |
| Salice Salentino | LE | 1.3 |
| Cutrofiano | LE | 1.1 |
| Lequile | LE | 1.1 |
| San Pietro in lama | 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 superamenti³¹ in diversi comuni posti (Tabella 13) sia nell'area a

³⁰ Si precisa che nel comune di Torchiarolo la sola simulazione condotta con il modello fotochimico rileva un superamento del valore limite, ma non in corrispondenza della centralina sita in Via don Minzoni, coerentemente con quanto misurato nel 2016.

³¹ 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/m³. E' opportuno inoltre precisare che 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 km² nelle quali si verificano dei superamenti del valore limite.

nord di Taranto che nel territorio brindisino e leccese (anche nel basso Salento). In provincia di Lecce i superamenti riguardano i comuni di Guagnano, Salice Salentina, Lequile, Cutrofiano e San Pietro in Lama. Le concentrazioni più elevate di B(a)P si riscontrano in particolare nei comuni di Mesagne, Latiano, Castellaneta con valori superiori ai 2 ng/m³. E' opportuno rilevare che nei comuni della provincia di Taranto i livelli di B(a)P superano i livelli del comune di Taranto.

8.9 Arsenico (As)

Nella Figura 69 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.

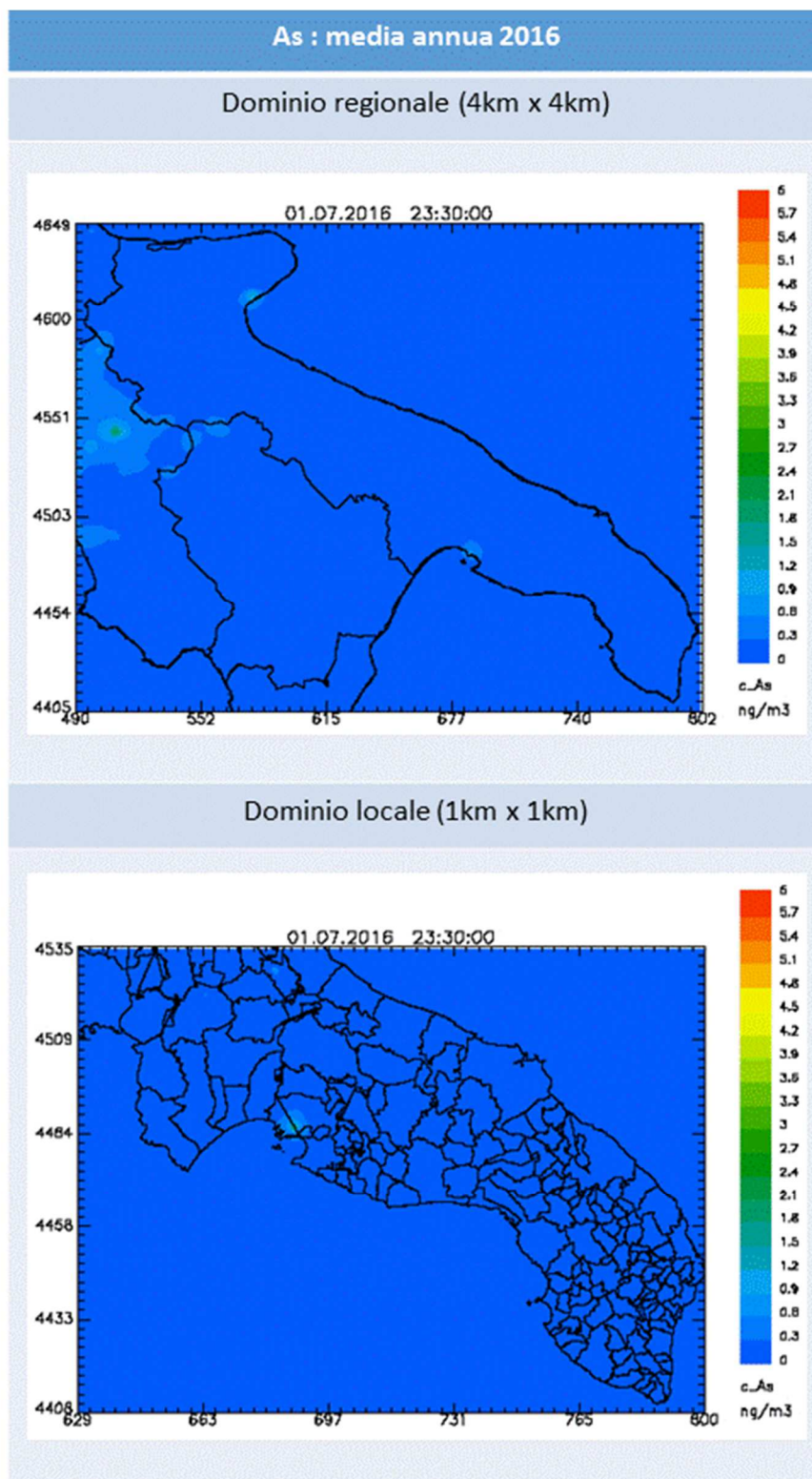


Figura 69 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di Arsenico sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

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 70 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.

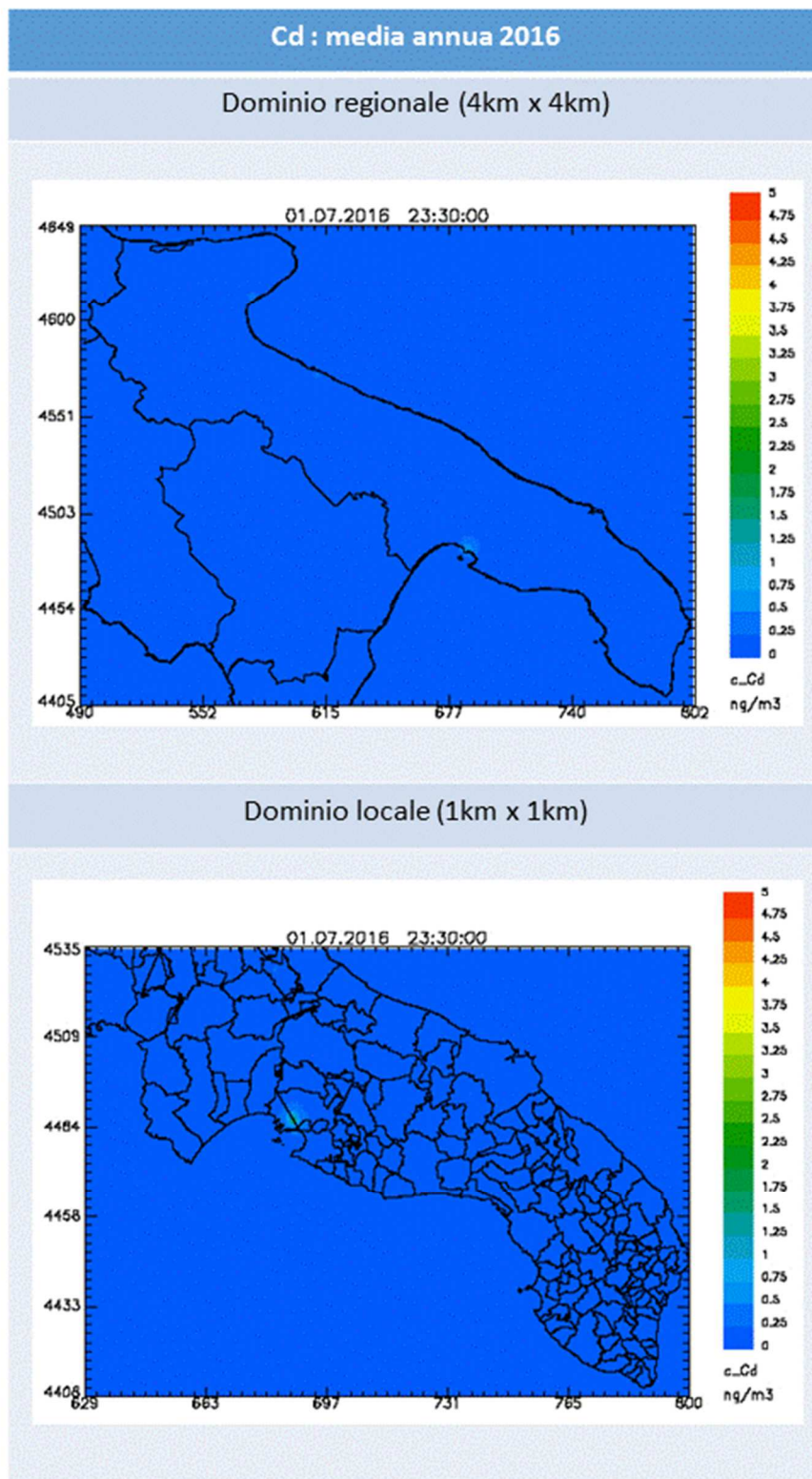


Figura 70 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di Cadmio sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

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 71 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.

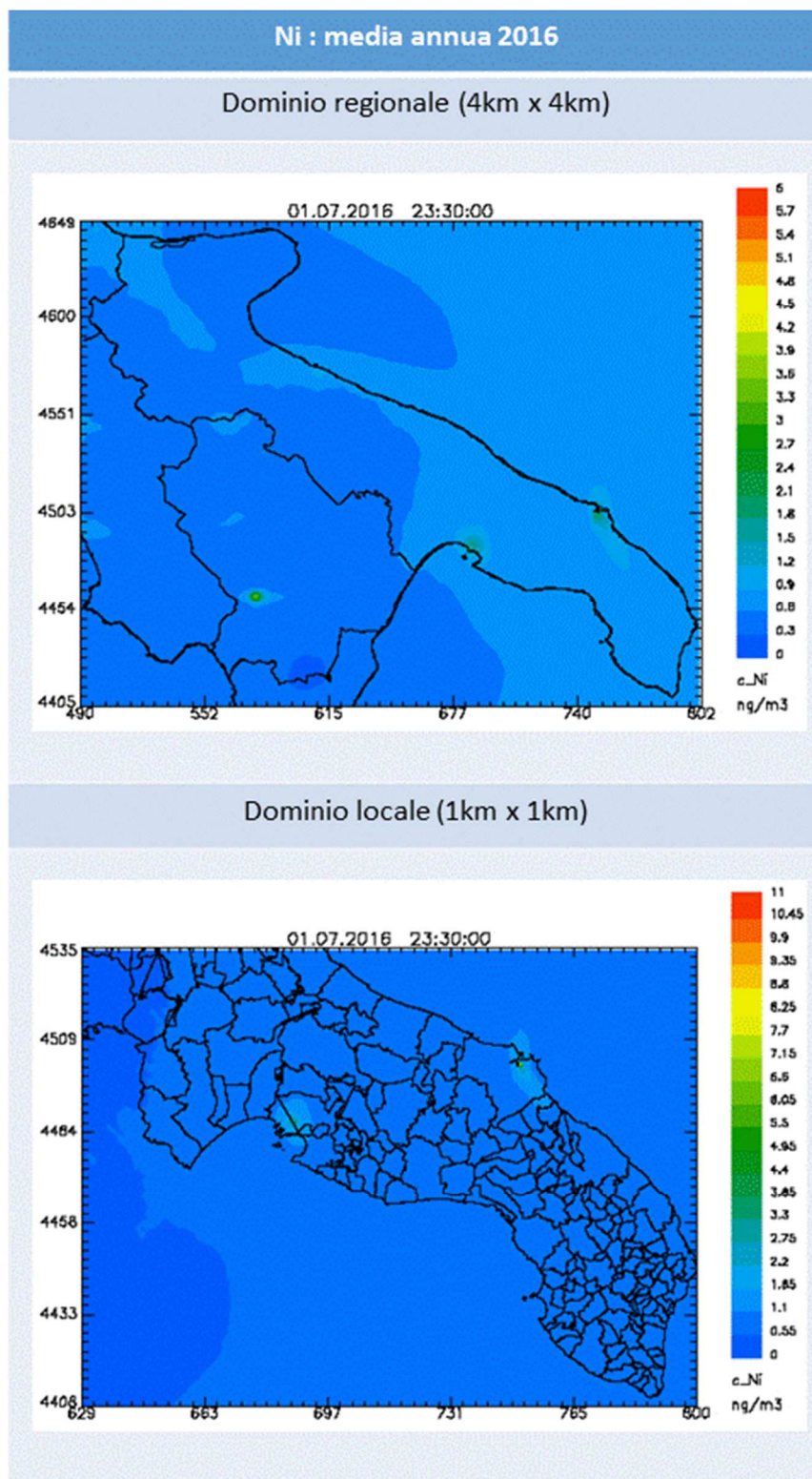


Figura 71 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di Nichel sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

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 72 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.

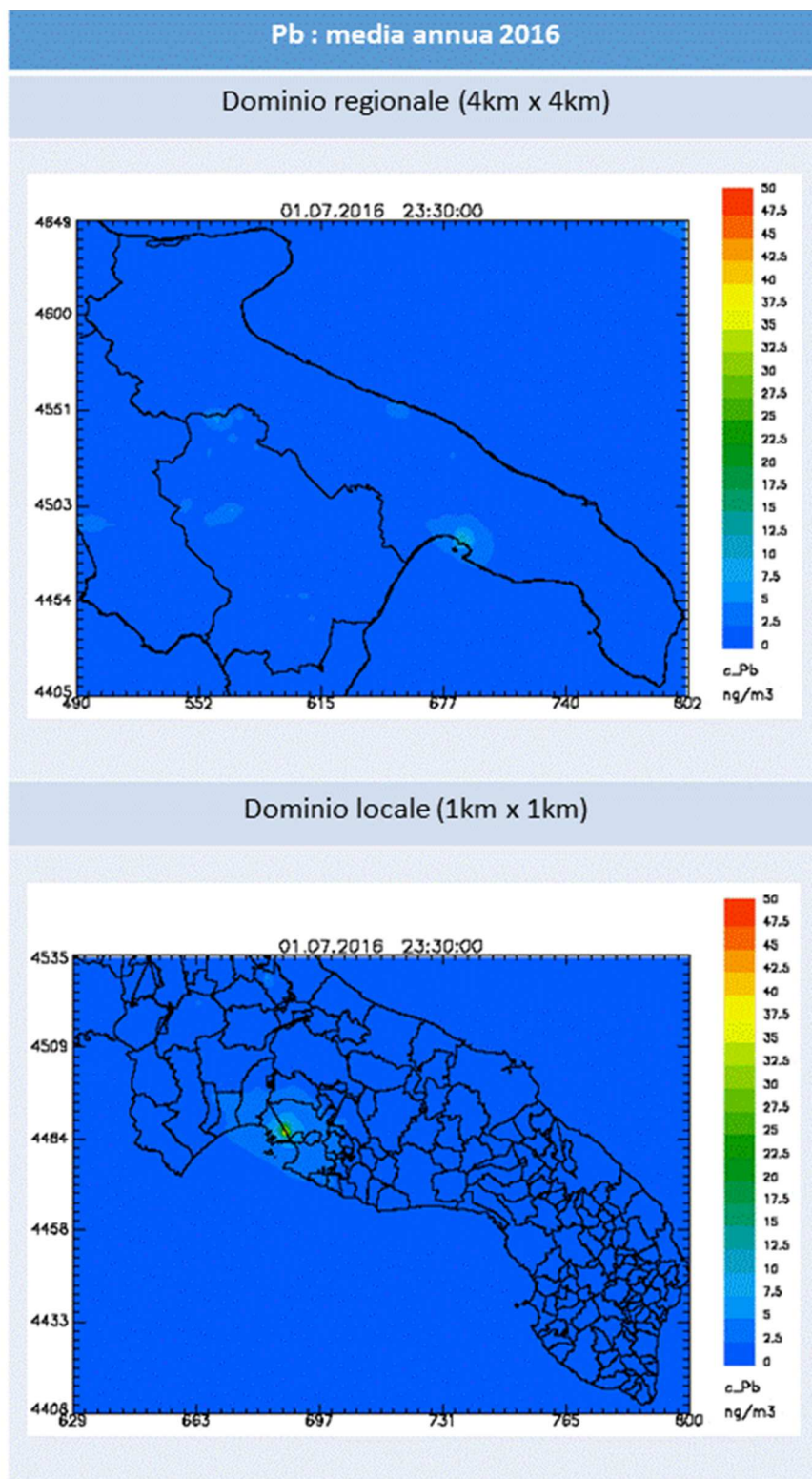


Figura 72 - Mappe riferite al 2016 della concentrazione media annuale di Piombo sulla regione Puglia (in alto) e sul Salento (in basso), ottenute dal solo modello FARM

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 dello stato della qualità dell'aria relativamente al 2016 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 NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO e C₆H₆ combinando le relative misure, effettuate nel 2016 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 2016) 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 NO₂, SO₂, CO, C₆H₆, As, Cd, Ni e Pb la conformità dello stato della QA su entrambi i domini considerati.

Sul dominio regionale le criticità riguardano unicamente l'ozono con il superamento del valore obiettivo nelle aree costiere e nel Nord Salento.

Sul territorio delle province di Brindisi, Lecce e Taranto (dominio Salento), analogamente a quanto già riscontrato per l'anno 2013, la valutazione dello stato della QA relativa al 2016 ha rilevato la presenza di alcune non conformità per il PM₁₀, per il B(a)P, per il PM_{2.5}.

In particolare, riguardo al valore limite giornaliero per il particolato fine – frazione PM₁₀, da non superare per più di 35 volte all'anno, l'analisi condotta per il 2016, assimilando le misure di PM₁₀ 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 diversi comuni dell'area brindisina (Mesagne, Latiano, Oria, Ceglie Messapica, San Donaci ed Erchie).

Anche relativamente alla media annuale del particolato fine – frazione PM_{2.5} l'analisi ha mostrato per il 2016 sul dominio salentino diversi superamenti del valore limite vigente. In provincia di Taranto tali superamenti sono stati stimati nei comuni di Mottola e Castellaneta. In provincia di Brindisi i superamenti sono stati riscontrati presso i comuni di Mesagne, Latiano ed Oria.

Relativamente al Benzo(a)pirene la valutazione condotta con il solo modello fotochimico ha evidenziato la presenza di numerosi 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, Cisternino, Villa Castelli, Torre Santa Susanna, Torchiarolo, San Pietro Vernotico, Ostuni e San Vito dei Normanni), interessando anche 5 comuni della provincia di Lecce (Guagnano, Lequile, Cutrofiano, Salice Salentino e San Pietro in Lama).

Infine, su buona parte del territorio salentino si è verificato il superamento del valore limite obiettivo previsto per l'ozono.

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: NO₂ and PM₁₀', *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, 21 Dicembre 2017

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

Aggiornamento delle emissioni ILVA al 2015 e valutazione performance modello fotochimico a cura di Dott.ssa Annalisa Tanzarella;

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