

Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna per l'anno 2018

Appendice B

Valutazione modellistica dello stato di qualità dell'aria della Regione Sardegna per l'anno 2018



Autori

C. Silibello

Riferimento

ARIANET R2019.05

Marzo 2019

La presente relazione “Valutazione modellistica dello stato di Qualità dell'aria della Regione Sardegna per l'anno 2018”, è stata elaborata in esecuzione del contratto di manutenzione ordinaria, programmata, correttiva e straordinaria della rete di monitoraggio dell'inquinamento atmosferico regionale ARPAS, eseguito, dalla società Project Automation S.p.A., con sede legale in Monza, Viale Elvezia 42, periodo contrattuale 2017 – 2019.



SOMMARIO

INTRODUZIONE	1
SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI DELLA RETE DI MONITORAGGIO SULL'INTERO TERRITORIO REGIONALE	3
Il Sistema Modellistico QualeAria	3
Rete regionale di qualità dell'aria	5
Calibrazione dell'algoritmo OI	5
Confronto concentrazioni misurate e calcolate	7
Agglomerato di Cagliari	9
Sassari	11
Olbia	13
Assemini	15
Sarroch	17
Portoscuso	19
Porto Torres	21
Sulcis – Iglesiente	23
Campidano Centrale	25
Oristano	27
Nuoro	29
Sardegna Centro – Settentrionale	31
Seulo (Stazione di Fondo Regionale)	33
Valutazione della qualità dell'aria	35
CONCLUSIONI	46
BIBLIOGRAFIA	49



INTRODUZIONE

Mediante l'effettiva integrazione di modelli numerici ed informazioni sperimentali si prevede di migliorare la capacità di descrivere i fenomeni che determinano il degrado della qualità dell'aria e in prospettiva di meglio individuare le più efficaci strategie di mitigazione e risanamento. A tale proposito è opportuno riportare quanto affermato nella "Guidance on Assessment under the EU Air Quality Directives - FINAL DRAFT"¹ [...] *there is an almost continuous spectrum of combinations of measurements and other assessment methods. Neither of the two extremes is useful for investigating the state of compliance in a zone: 100% measuring (i.e. doing measurements that are not generalised at all) gives incomplete information, while, at the other extreme, 100% modelling (i.e. applying models that have not in any sense been validated) gives unreliable information. So, a useful assessment comprises elements of both.*"

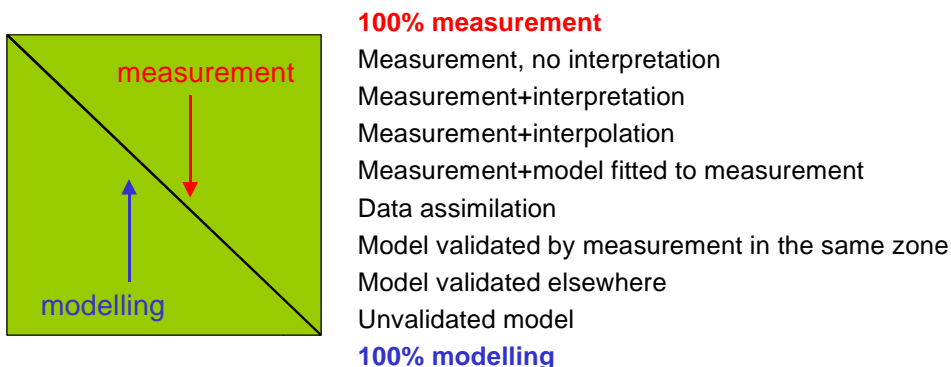


Figura 1. Integrazione di modelli numerici ed informazioni sperimentali
(<http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/guidanceunderairquality.pdf>)

Per tali ragioni la direttiva del Parlamento Europeo relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa (Direttiva 2008/50/CE), recepita dal D.Lgs. n. 155 del 13 agosto 2010, raccomanda l'utilizzo di tecniche di modellazione in combinazione alle misurazioni in siti fissi.

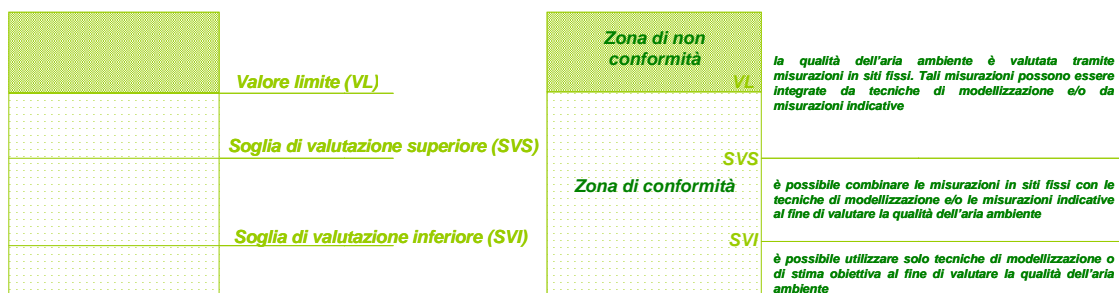


Figura 2. Zone di conformità/non conformità relativamente al valore limite e uso di tecniche di modellazione in relazione alle soglie di riferimento superiore ed inferiore

¹<http://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/guidanceunderairquality.pdf>

Tale integrazione può essere effettuata utilizzando i risultati di simulazioni modellistiche (metodi di tipo passivo, "data fusion") o nel corso della simulazione mediante l'implementazione di tecniche di assimilazione dati all'interno dei modelli di trasporto e chimica dell'atmosfera (metodi di tipo attivo, "data assimilation").

Mediante il primo approccio la combinazione di informazioni di diversa natura (modelli/monitoraggio/satellite/cartografia/ecc.) permette l'ottenimento di una informazione (es. campo di concentrazione) "ottimale" dal punto di vista statistico che, tuttavia, può non preservare le caratteristiche dei processi fisici sottostanti. Mediante il secondo approccio, viceversa, l'assimilazione con i dati osservati avviene nel corso della simulazione e pertanto l'informazione risultante tiene conto dei processi fisici considerati dal modello. Nella figura seguente viene fornita una rappresentazione grafica di tali approcci, dei metodi utilizzati e delle competenze richieste per il loro utilizzo.

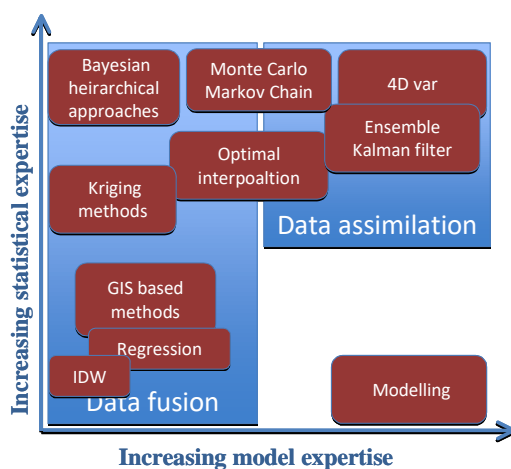


Figura 3. Rappresentazione grafica di metodi di integrazione di misure e modelli e delle competenze richieste per il loro utilizzo

Metodi di tipo passivo vengono comunemente utilizzati nei sistemi di "nowcast" al fine di ottenere campi di "analisi" di qualità dell'aria più realistici rispetto a quelli che si possono ottenere mediante l'interpolazione spaziale dei dati osservati. Nel presente studio è stato utilizzato il metodo di analisi oggettiva detto "Optimal Interpolation" (OI, Gandin, 1965) che combina due tipi di informazione: le osservazioni vere e proprie ed un campo di "background"; in particolare sono state utilizzate le misure di qualità dell'aria fornite dalla rete regionale ed i campi di concentrazione prodotti dal sistema di previsione QualeAria (<http://www.aria-net.it/qualearia/it/>) al fine di produrre mappe regionali, per l'anno 2018, relative agli standard di qualità dell'aria definiti dalla suddetta normativa per i diversi inquinanti.

SPAZIALIZZAZIONE DEI DATI DELLA RETE DI MONITORAGGIO SULL'INTERO TERRITORIO REGIONALE

Il Sistema Modellistico QualeAria

Il sistema di previsione della qualità dell'aria *QualeAria* è stato messo a punto da ARIANET a partire dalle esperienze condotte nell'ambito dell'azione COST ES0602 (Towards a European Network on Chemical Weather Forecasting and Information Systems, <http://chemicalweather.eu/>) e dei seguenti progetti:

- **FUMAPEX** (Integrated Systems for Forecasting Urban Meteorology, Air Pollution and Population Exposure, <http://fumapex.dmi.dk/>), finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del 5° Programma Quadro per la ricerca;
- **MEGAPOLI** (Megacities: Emissions, urban, regional and Global Atmospheric Pollution and climate effects, and Integrated tools for assessment and mitigation, <http://megapoli.dmi.dk/>), finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro per la ricerca;
- **MINNI** (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico, <http://www.minni.org/>) finanziato dal Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio (MATT) nell'ambito dell'“Accordo di programma ENEA-Ministero dell'Ambiente su Cambiamenti Climatici ed Inquinamento Transfrontaliero”.

Obiettivo di tale sistema è prevedere l'inquinamento a scala nazionale mediante la simulazione dei processi chimico-fisici che coinvolgono gli inquinanti presenti in atmosfera: emissione, trasporto, trasformazioni chimiche e deposizione al suolo.

QualeAria utilizza due domini di calcolo innestati che considerano rispettivamente un'ampia porzione dell'Europa continentale e del bacino mediterraneo e l'intera penisola Italiana. La tecnica di nesting dei domini di calcolo permette di simulare sia gli effetti determinati dalle sorgenti esterne al dominio nazionale sia i fenomeni atmosferici che presentano scale spaziali maggiori di quella nazionale (es. episodi di ozono a scala europea). La risoluzione orizzontale dei due domini europeo e nazionale è rispettivamente pari a 48 e 12 km.

QualeAria è basato sul modello euleriano per la dispersione e le reazioni chimiche degli inquinanti in atmosfera FARM (Flexible Air quality Regional Model, <http://www.farm-model.org/>) ed è costituito dalle seguenti catene operative:

- *Meteorologica*, comprendente un modello prognostico che provvede alla effettuazione della previsione meteorologica sui due domini innestati a partire da condizioni al contorno sinottiche rese disponibili dal servizio meteorologico degli Stati Uniti d'America (NCEP);
- *Emissiva*, provvede al trattamento delle emissioni contenute negli inventari nazionale (ISPRA) ed europeo (TNO) che costituiscono la base di partenza per la preparazione dell'input emissivo per i due domini di calcolo;



- *Condizioni al contorno*, fornisce le condizioni al contorno al modello FARM utilizzando le previsioni chimiche a scala globale prodotte da ECMWF nell'ambito dei servizi Copernicus (http://macc.copernicus-atmosphere.eu/oper_info/nrt_info_for_users/)

Nel presente studio sono stati utilizzati i campi orari di concentrazione prodotti da QualeAria relativi al territorio nazionale ed all'anno 2018; tali campi sono stati quindi rigrigliati su un dominio di calcolo che include la Regione Sardegna considerando una risoluzione spaziale pari a 5 km. I parametri della griglia di calcolo relativa a tale dominio sono i seguenti: 32x58 celle con coordinata SW del dominio pari a 420 km Est, 4290 km Nord nel sistema di coordinate UTM WGS84 - zona 32.

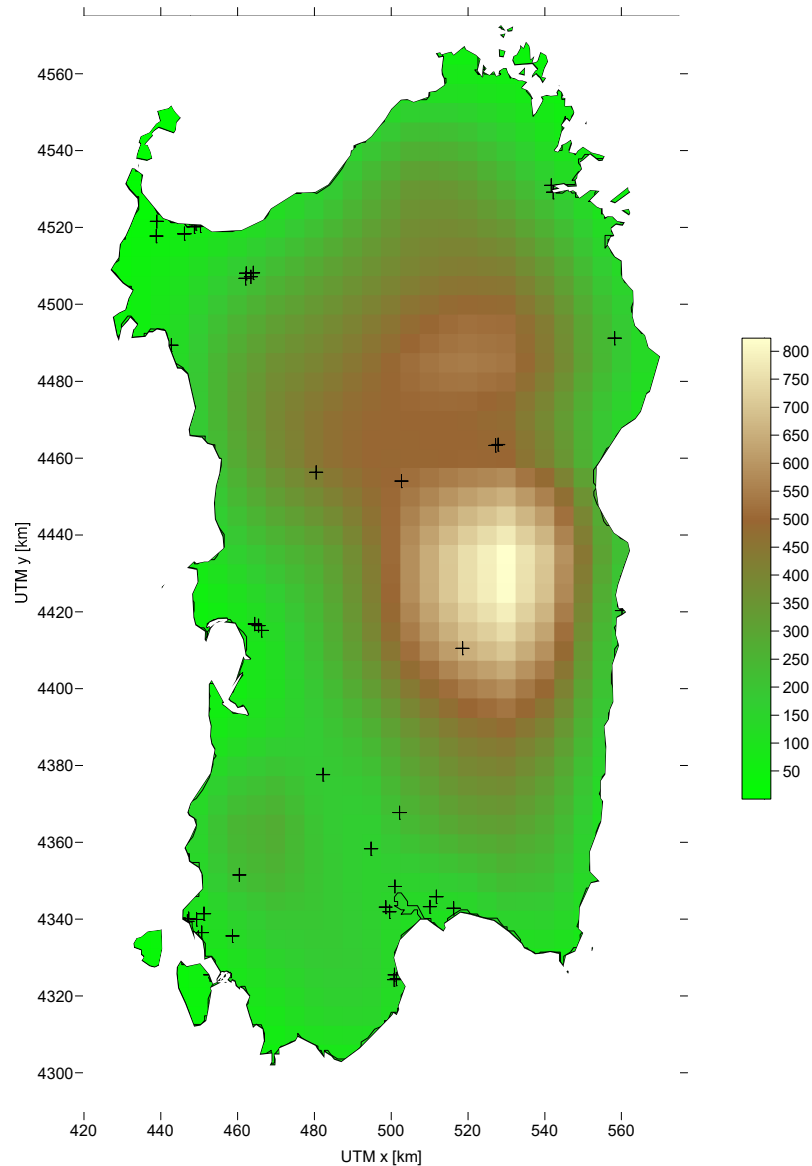


Figura 4. Dominio di calcolo che include la Regione Sardegna e localizzazione delle stazioni di misura della rete di qualità dell'aria

Rete regionale di qualità dell'aria

Nel presente studio sono stati considerati i seguenti inquinanti: benzene (C₆H₆), monossido di carbonio (CO), biossido di azoto (NO₂), ossidi di azoto (NO_x), ozono (O₃) PM₁₀, PM_{2.5}, e biossido di zolfo (SO₂) che vengono rilevati dalle seguenti stazioni di misura della rete regionale di qualità dell'aria (Tabella 1).

Stazione	Comune	C6H6	CO	NO2	NOx	O3	PM10	PM2.5	SO2
CEALG1	ALGHERO	X	X	X	X	X	X		X
CENAS6	ASSEMINI			X	X		X		X
CENAS8	ASSEMINI		X	X	X	X	X		X
CENAS9	ASSEMINI			X	X	X	X		X
CENCA1	CAGLIARI	X	X	X	X	X	X	X	X
CENCB2	CARBONIA	X		X	X	X	X		X
CENIG1	IGLESIAS			X	X	X	X		X
CENMA1	MACOMER	X	X	X	X	X	X	X	X
CENMO1	MONSERRATO	X	X	X	X	X	X	X	X
CENNF1	GONNESA			X	X		X		X
CENNM1	NURAMINIS			X	X	X	X		X
CENNU1	NUORO	X	X	X	X		X		X
CENNU2	NUORO		X	X	X	X	X		X
CENOR1	ORISTANO			X	X	X	X		X
CENOR2	ORISTANO	X	X	X	X	X	X		X
CENOT3	OTTANA	X		X	X	X	X		X
CENPS4	PORTOSCUSO		X	X	X		X		X
CENPS6	PORTOSCUSO			X	X		X	X	X
CENPS7	PORTOSCUSO	X	X	X	X	X	X	X	X
CENPT1	PORTO TORRES	X	X	X	X	X	X	X	X
CENQU1	QUARTU SANTELENA	X		X	X	X	X		X
CENS10	OLBIA		X	X	X		X		X
CENS12	SASSARI		X	X	X	X	X		X
CENS16	SASSARI	X	X	X	X	X	X	X	X
CENSA2	SARROCH	X	X	X	X	X	X	X	X
CENSA3	SARROCH	X	X	X	X	X	X	X	X
CENSE0	SEULO		X	X	X	X	X	X	X
CENSG3	SAN GAVINO			X	X		X		X
CENSN1	SINISCOLA			X	X		X		X
CENSS2	SASSARI			X	X	X	X		X
CENS3	PORTO TORRES		X	X	X	X	X		X
CENS4	PORTO TORRES	X		X	X		X		X
CEOLB1	OLBIA	X	X	X	X	X	X		X
CESG1	SANTA GIUSTA		X	X	X		X		X
LABMOB	ASSEMINI	X	X	X	X	X	X		X
STAMOB	ELMAS	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabella 1. Stazioni di misura ed inquinanti considerati nello studio

Calibrazione dell'algoritmo OI

Il metodo "Optimal Interpolation" si basa sulle seguenti ipotesi: che il campo di background e le osservazioni siano privi di errori sistematici; che i loro errori non siano correlati tra loro e che gli errori osservativi non siano correlati tra una stazione e un'altra. Sotto tali ipotesi, l'algoritmo di analisi è completamente determinato:

- dalla varianza degli errori di osservazione (σ_o^2) e del campo di background (σ_B^2). In particolare, si ipotizza che σ_o^2 sia minore di σ_B^2 , ovvero che le osservazioni siano più accurate rispetto al campo di background ($\varepsilon^2 = \sigma_o^2/\sigma_B^2 < 1$);
- dalla correlazione dell'errore del campo di background tra due punti di osservazione (ρ_B), esprimibile mediante una relazione del tipo:

$$\rho_B(i, j) \propto \exp\left(-\frac{d_h^2(i, j)}{L_h^2}\right) \exp\left(-\frac{d_z^2(i, j)}{L_z^2}\right)$$

ove $d_h(x,y)$ e $d_z(x,y)$ rappresentano rispettivamente la distanza orizzontale e verticale tra i punti i e j e L_h e L_z le lunghezze di scala orizzontale e verticale. Quando si combinano le osservazioni e i risultati del modello, è importante tenere conto dei cosiddetti errori di "mancanza di rappresentatività", che possono essere definiti come le differenze tra le concentrazioni calcolate dal modello e osservate nei siti di misura attribuibili alle loro differenti risoluzioni spaziali e/o temporali (Walker *et al.*, 2006). A tal fine è stato quindi introdotto nell'algoritmo OI la seguente relazione (Silibello *et al.*, 2014):

$$\varepsilon^2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_B^2} = \frac{\sigma_{instr}^2 + \sigma_{repr}^2}{\sigma_B^2} = \frac{\langle \varepsilon_{instr}^2 \rangle + \langle \varepsilon_{repr}^2 \rangle}{\sigma_B^2} = \frac{\langle \varepsilon_{instr}^2 \rangle + \frac{\Delta x}{4L_{repr}} \langle \varepsilon_{instr}^2 \rangle}{\sigma_B^2} = \frac{\sigma_{instr}^2}{\sigma_B^2} \left(1 + \frac{\Delta x}{4L_{repr}} \right)$$

nella quale viene introdotto il rapporto tra la risoluzione spaziale del modello (Δx) e la rappresentatività spaziale delle osservazioni (L_{repr}). Il rapporto $\sigma_{instr}^2/\sigma_B^2$ è stato assunto pari a 0.1 nel presente studio. In Tabella 2 sono riportati i valori di L_{repr} utilizzati per le diverse tipologie di stazioni presenti nella rete regionale di qualità dell'aria.

Classificazione Stazioni	L_{repr} [km]
Fondo – Rurale	10
Fondo - Rurale/Regionale	10
Fondo – Suburbana	6
Fondo – Urbana	4
Industriale – Rurale	8
Industriale – Suburbana	6
Industriale – Urbana	4
Traffico – Urbana	2

Tabella 2. Stazioni di misura ed inquinanti considerati nello studio

Per individuare le lunghezze di correlazione orizzontali e verticali L_h e L_z ottimali per i diversi inquinanti è stata quindi effettuata la cosiddetta "leave-one-out cross validation analysis" mediante la quale è stato calcolato, per ciascuna stazione, l'errore quadratico medio dell'analisi senza tener conto della sua osservazione. Minore è tale parametro, migliore è l'analisi e quindi ottimali i valori di L_h e L_z considerati. Per effettuare tale stima, è stato quindi applicato l'algoritmo OI considerando due periodi di una settimana, rispettivamente durante la stagione estiva ed invernale, ed i seguenti valori per tali parametri:

- L_h : 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 km;
- L_z : 300, 500, 700, 1000 m.

Nella tabella seguente sono riportati i valori ottimali di L_h e L_z individuati per i diversi inquinanti.

Inquinante	L_h [km]	L_z [km]
PM ₁₀	60	1000
PM _{2.5}	60	1000
NO ₂	40	1000
NO _x	40	1000
O ₃	50	300
SO ₂	20	300
CO	60	1000
C ₆ H ₆	40	1000

Tabella 3. Valori ottimali di L_h e L_z stimati per i diversi inquinanti

Confronto concentrazioni misurate e calcolate

Definiti quindi i valori ottimali di L_h e L_z per i diversi inquinanti ed i valori di L_{repr} per le diverse tipologie di stazioni è stato quindi applicato l'algoritmo OI a tutto l'anno 2018, su base temporale oraria, considerando i dati di qualità rilevati dalle stazioni di cui alla Tabella 1 ed i campi di concentrazione al suolo calcolati da QualeAria e rigigliati sul dominio di calcolo di cui alla Figura 4. A tale proposito è necessario sottolineare che il sistema QualeAria adotta una risoluzione spaziale pari a 12 km e che il metodo di analisi oggettiva qui utilizzato consente di integrare i campi prodotti da tale sistema con le osservazioni fornite dalla rete di monitoraggio ma non di aumentare la risoluzione spaziale dei campi ottenuti. Di seguito vengono presentati i confronti tra le concentrazioni medie giornaliere misurate dalla rete regionale e calcolate rispettivamente da QualeAria e mediante l'utilizzo del metodo OI. Vista la risoluzione spaziale della modellistica utilizzata (12 km), nei confronti che seguono saranno selezionate preferibilmente stazioni di fondo considerando le seguenti aree definite dalla zonizzazione del territorio approvata dalla Regione Sardegna (Delibera di Giunta Regionale n.52/19 del 10/12/2013):

- Agglomerato di Cagliari;
- Sassari;
- Olbia;
- Assemini;
- Sarroch;
- Portoscuso;
- Porto Torres;

- Sulcis – Iglesiente;
- Campidano Centrale;
- Oristano;
- Nuoro;
- Sardegna Centro – Settentrionale;
- Seulo - Stazione di Fondo Regionale.



Agglomerato di Cagliari

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nelle stazioni di Quartu Sant'Elena - CENQU1 o, se non disponibili, nella stazione di Monserrato - CENMO1, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

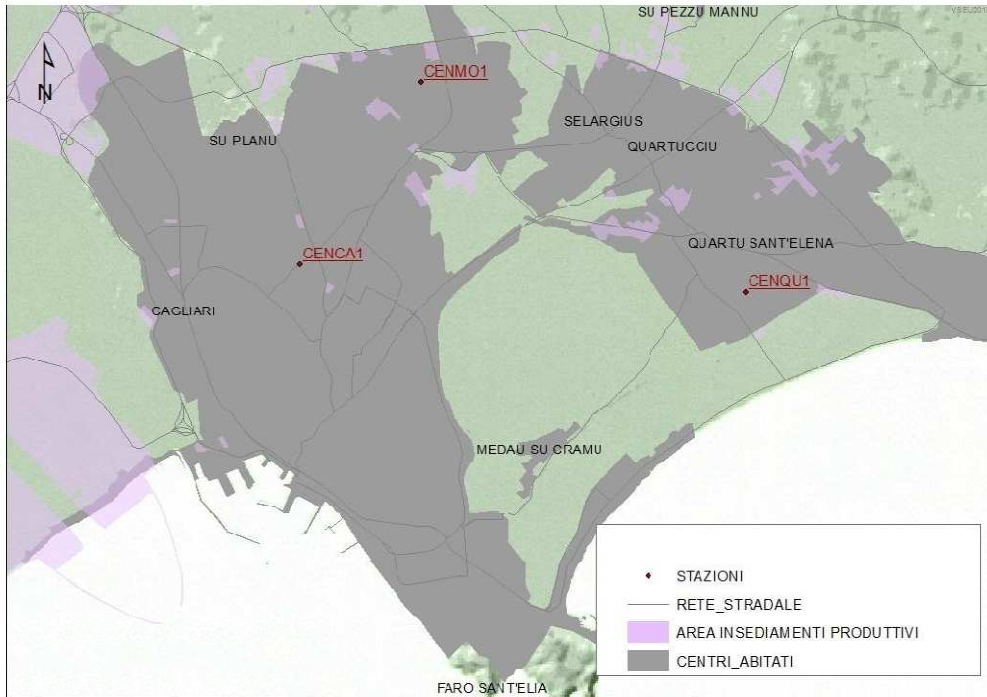


Figura 5. Posizione delle stazioni di misura dell'agglomerato di Cagliari: CENCA1, CENMO1, CENQU1 (viene sottolineata la stazione utilizzata preferibilmente per i confronti)

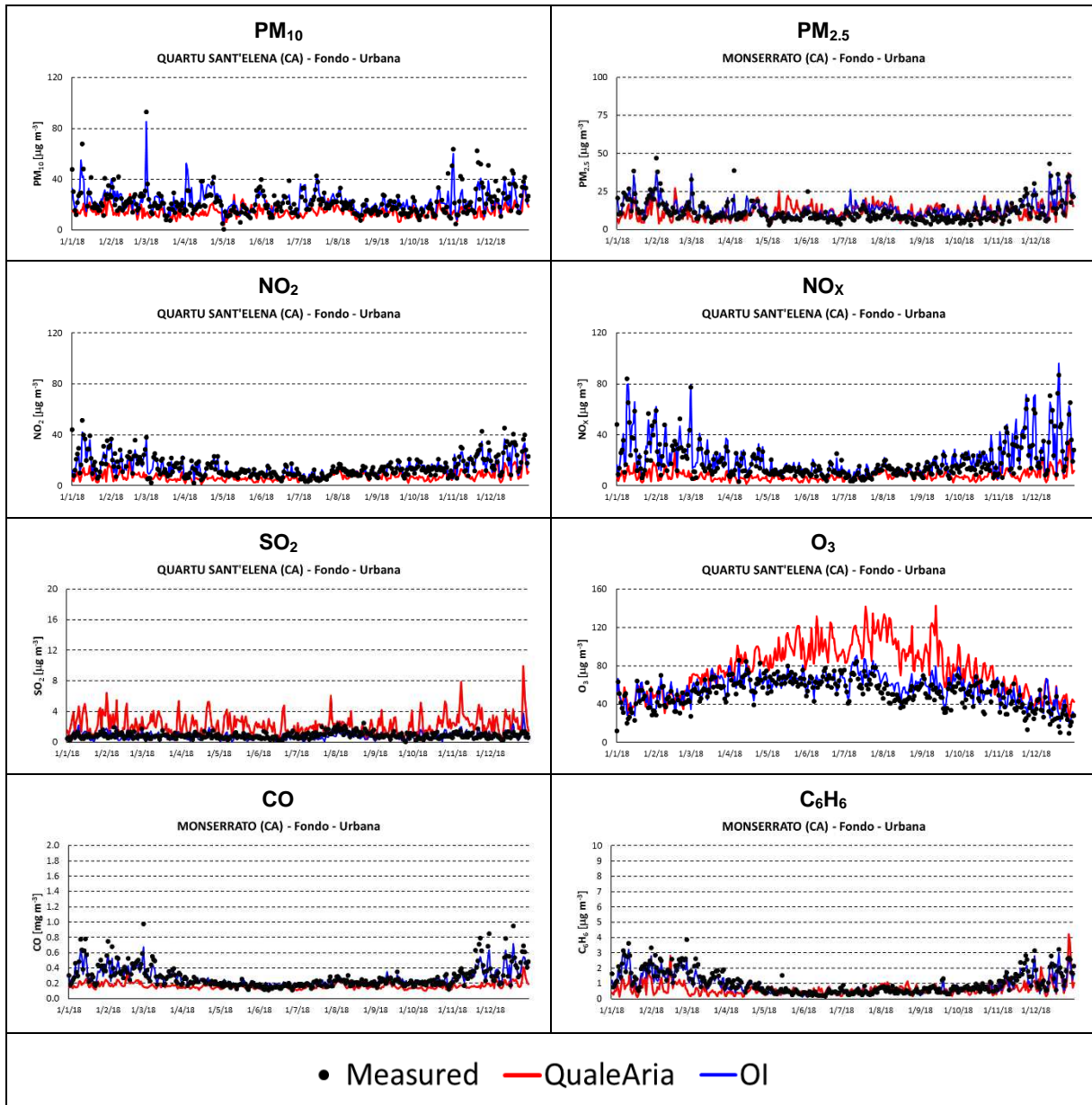


Figura 6. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Sassari

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Sassari - CENS16, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

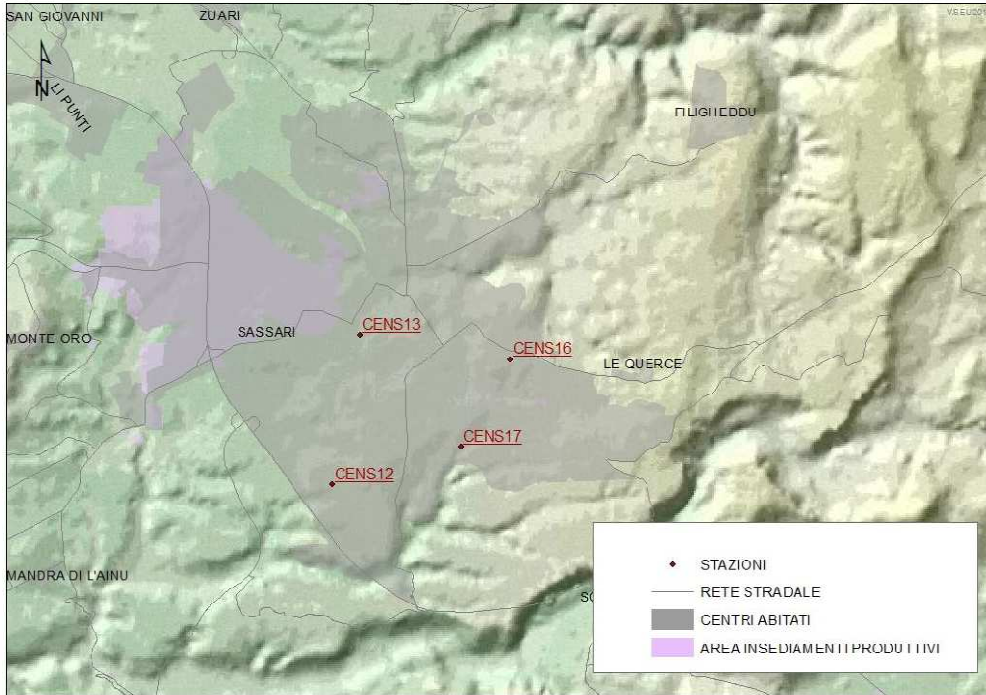


Figura 7. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Sassari (esclusa l'area industriale di Fiume Santo): CENS12, CENS13, CENS16, CENS17

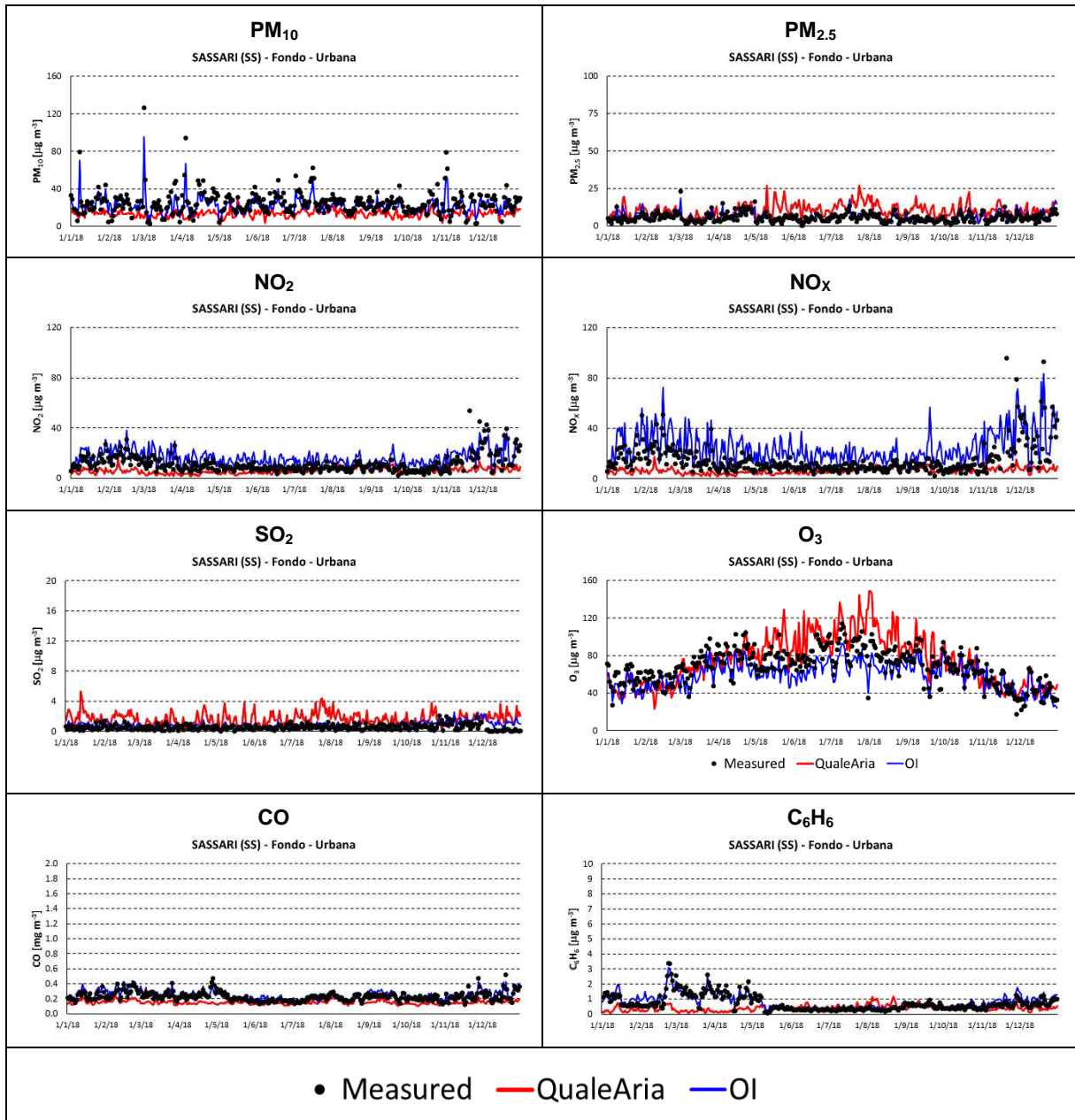


Figura 8. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Olbia

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Olbia - CEOLB1, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

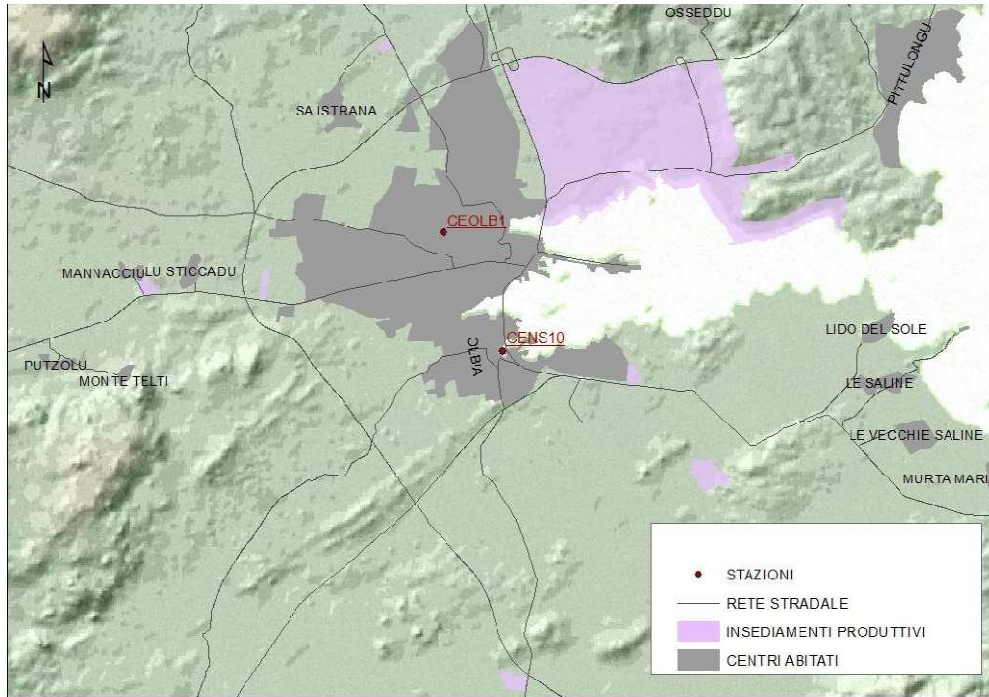


Figura 9. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Olbia: CENS10, CEOLB1

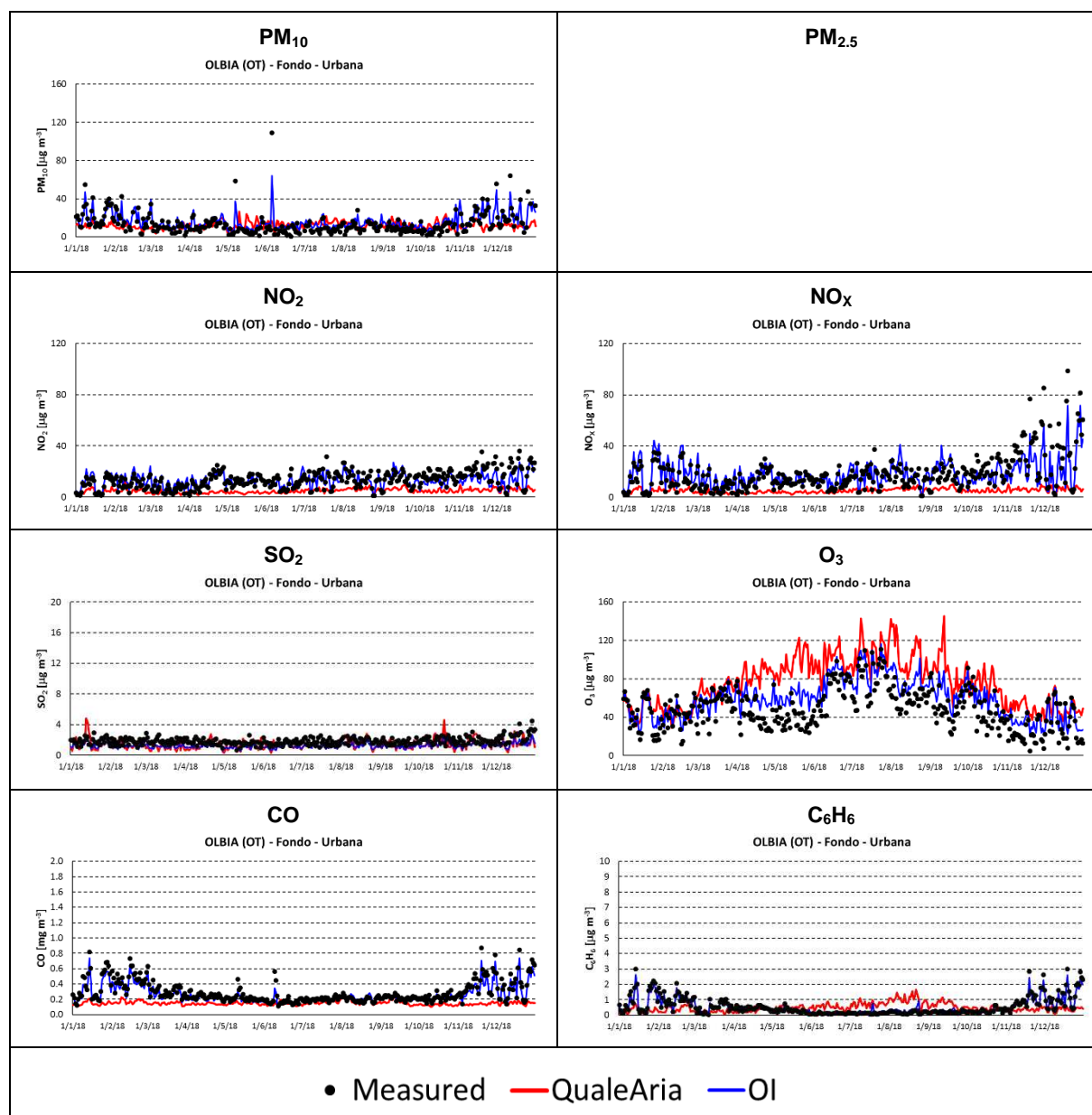


Figura 10. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Assemini

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Assemini - CENAS9 o, se non disponibili, nel sito “Laboratorio Mobile” (ubicato presso la scuola G. Asproni di Assemini), e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

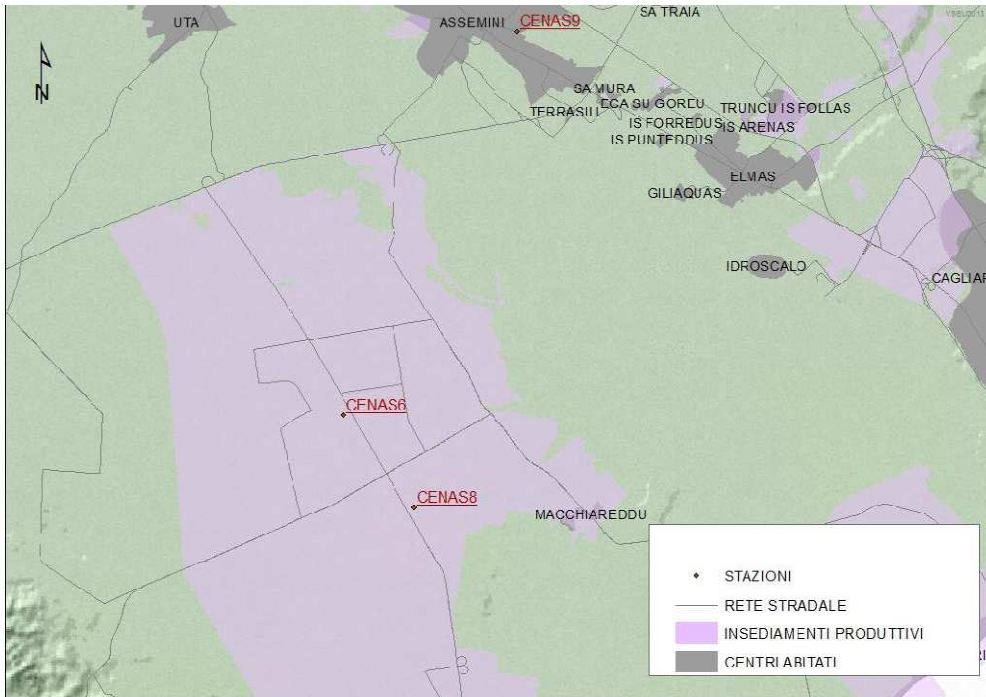


Figura 11. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Assemini: CENAS6, CENAS8, CENAS9

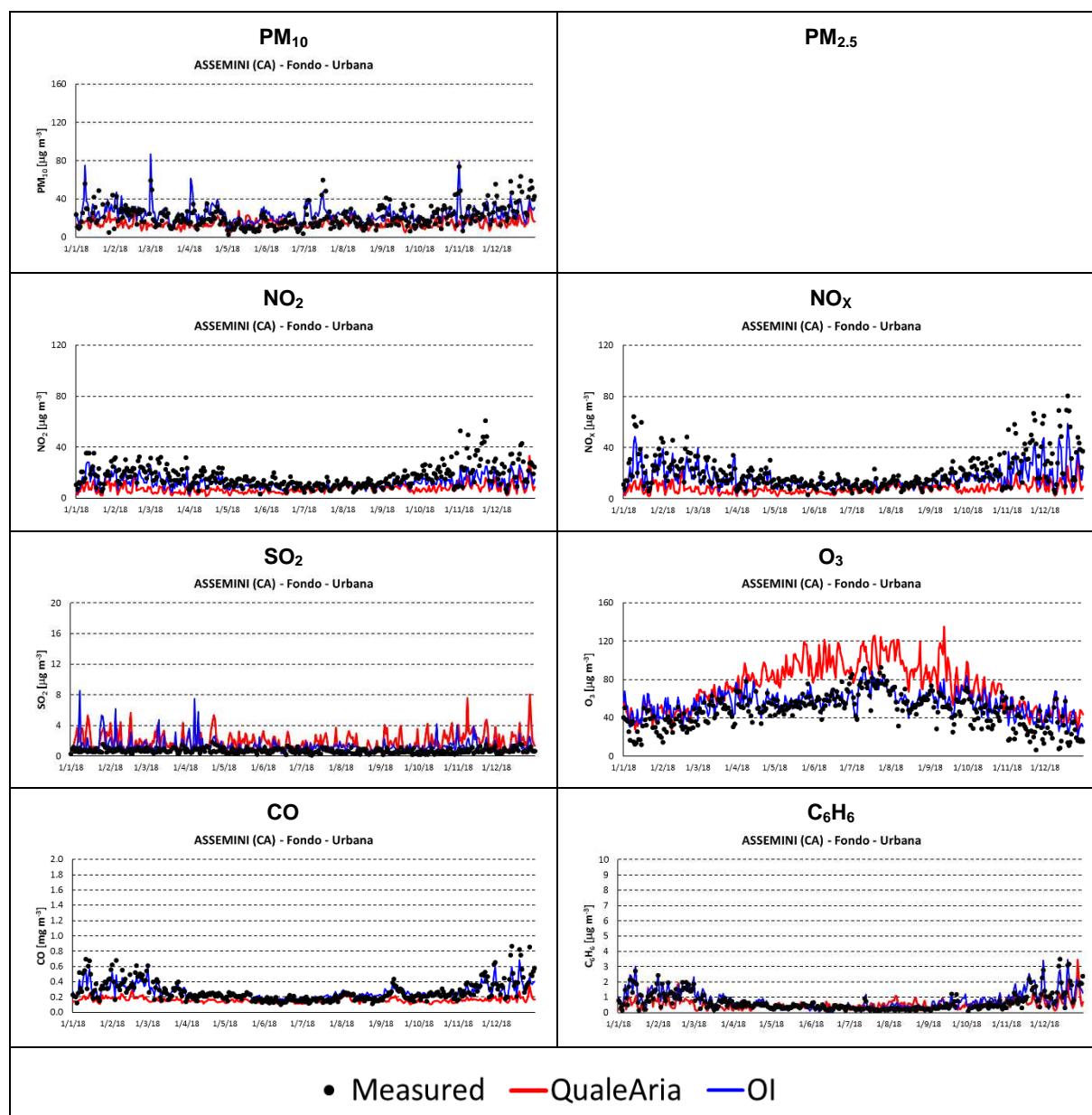


Figura 12. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Sarroch

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Sarroch - CENSA3, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

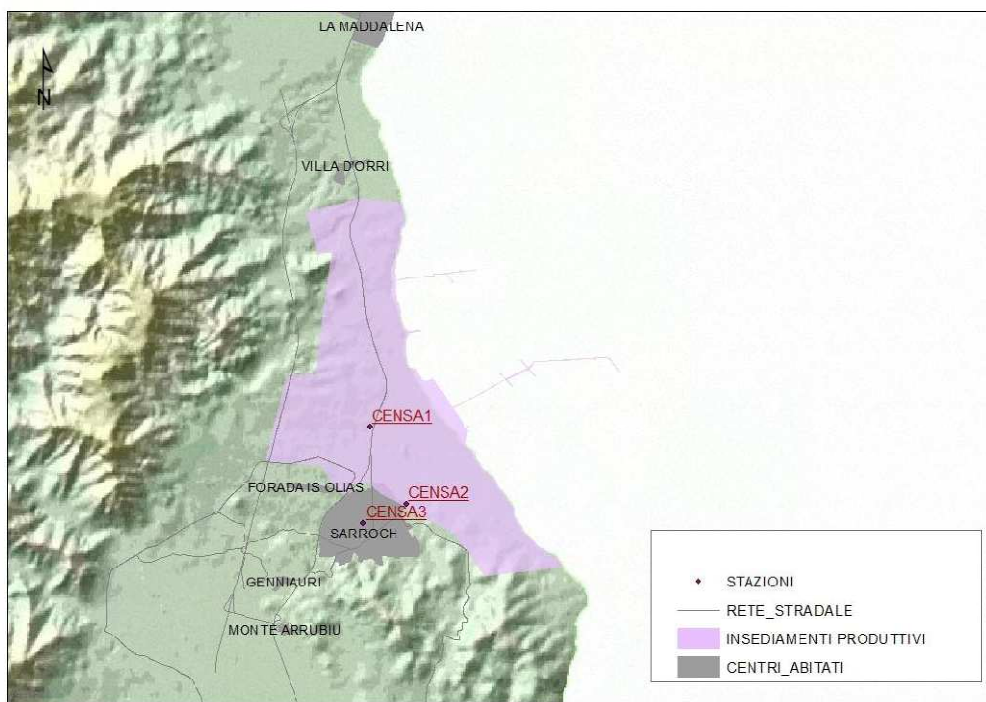


Figura 13. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Sarroch: CENSA1, CENSA2, CENSA3

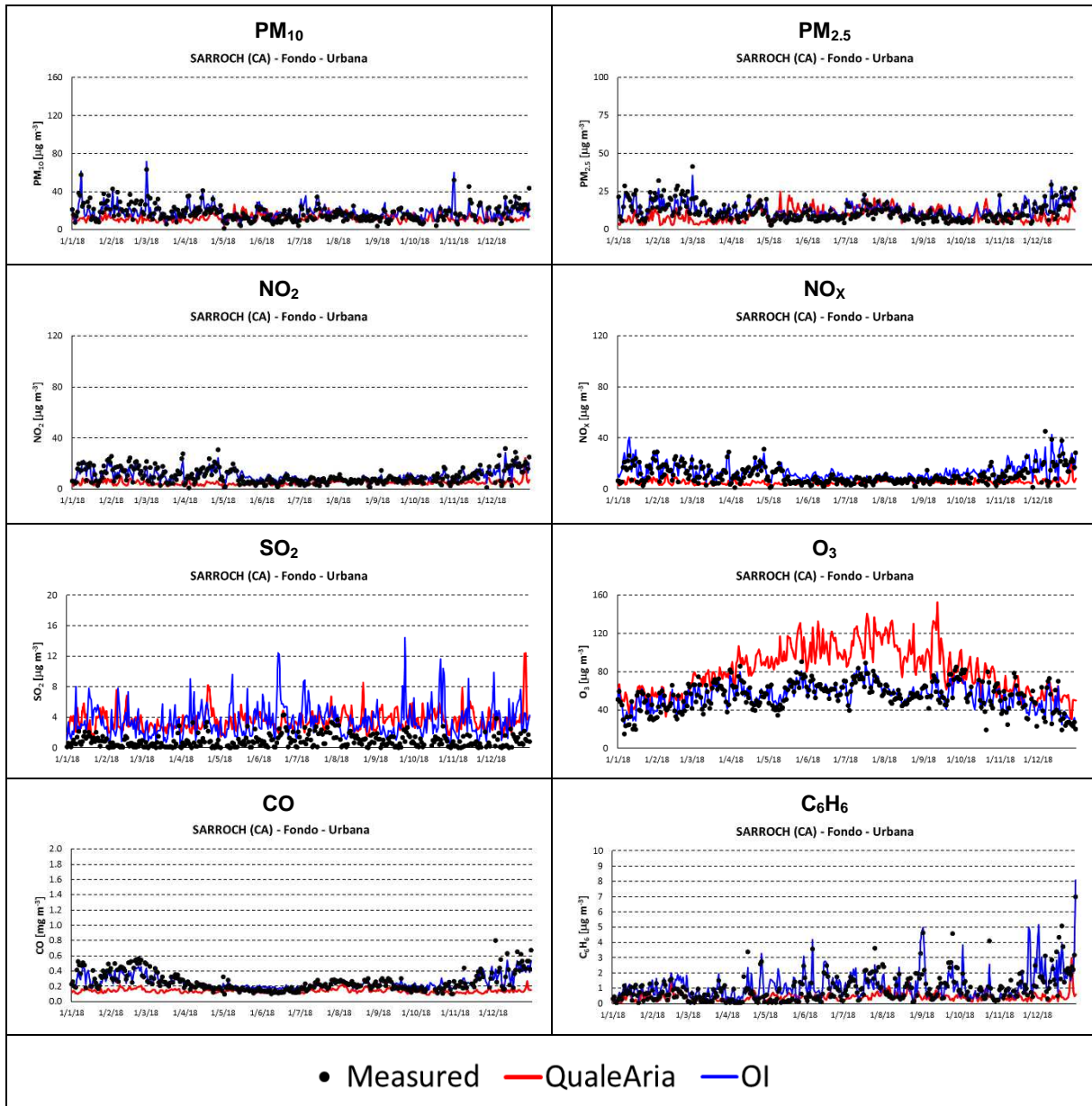


Figura 14. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Portoscuso

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Portoscuso - CENPS7, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

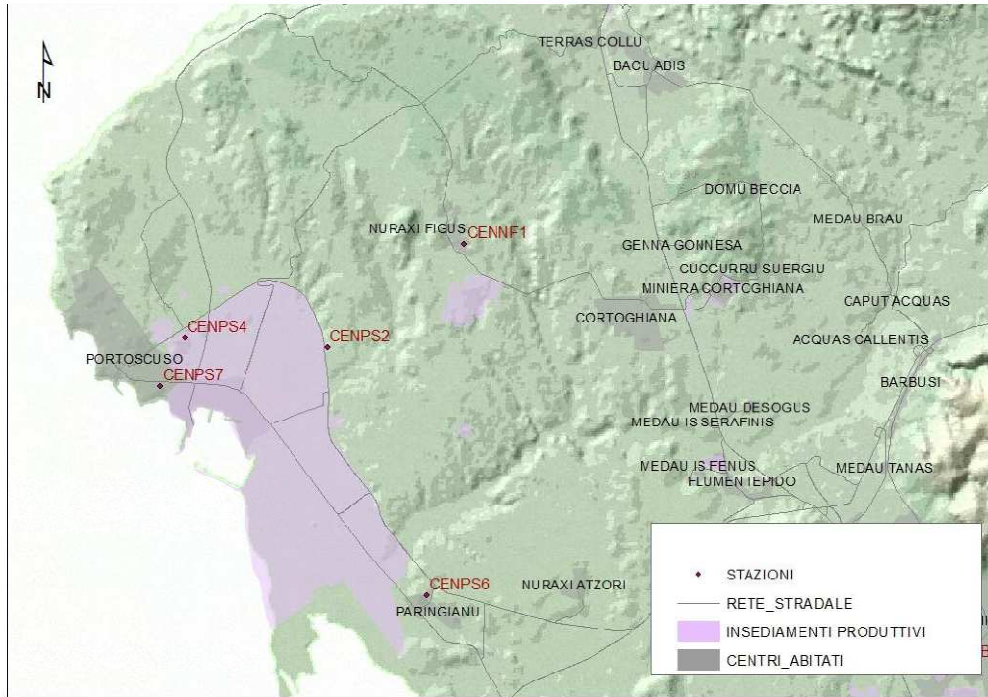


Figura 15. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Portoscuso: CENPS2, CENPS4, CENPS6, CENPS7

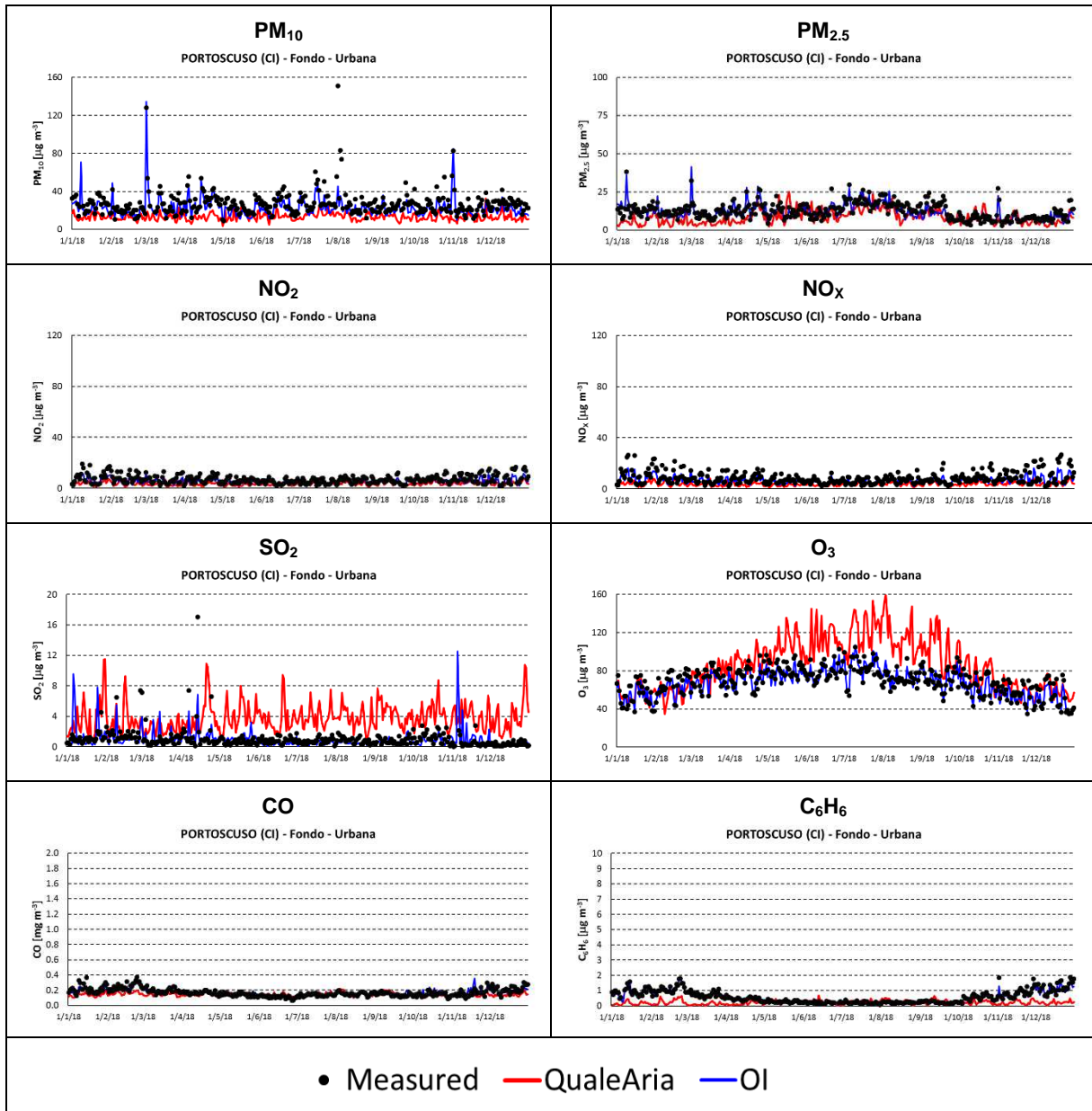


Figura 16. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Porto Torres

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Porto Torres - CENPT1, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

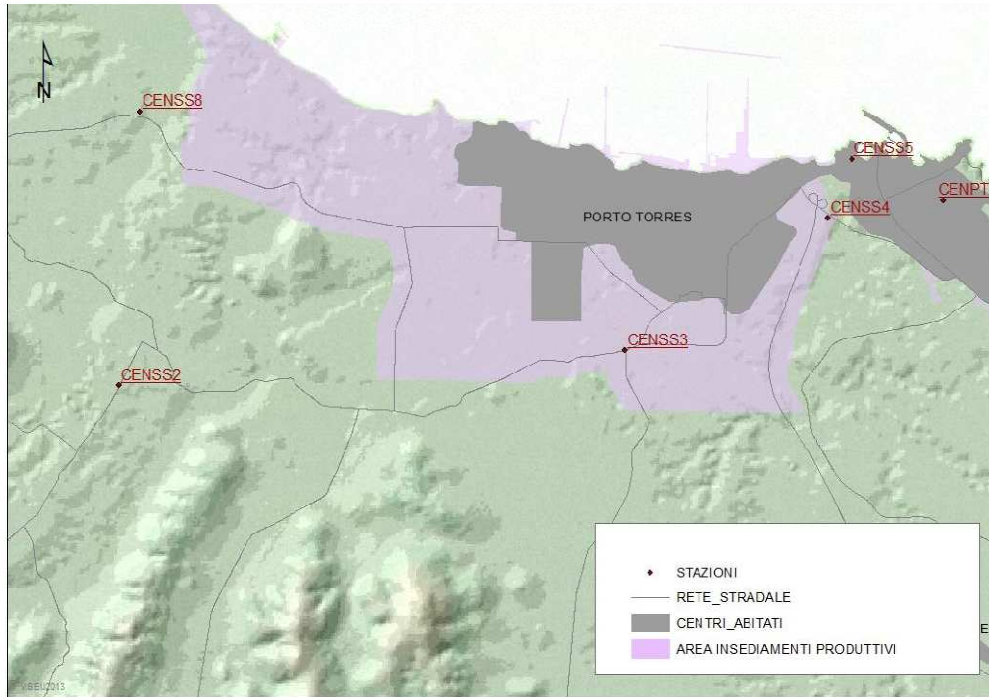


Figura 17. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Porto Torres (più l'area industriale di Fiume Santo): CENPT1, CENSS2, CENSS3, CENSS4, CENSS5, CENSS8

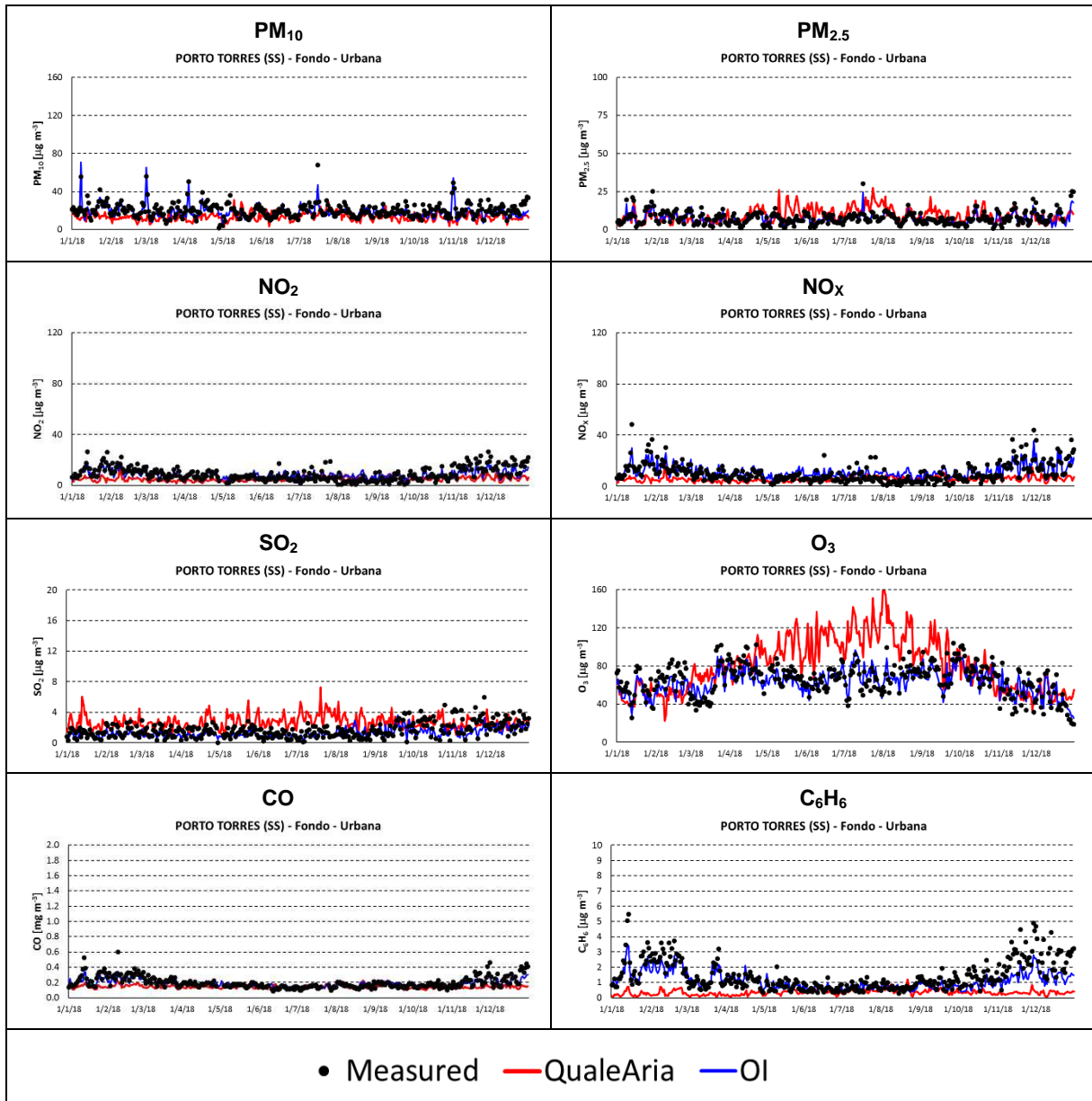


Figura 18. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Sulcis – Iglesiente

Nella figura seguente è mostrata la localizzazione della stazione di misura Carbonia - CENCB2, ed i confronti tra le concentrazioni misurate in tale stazione e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

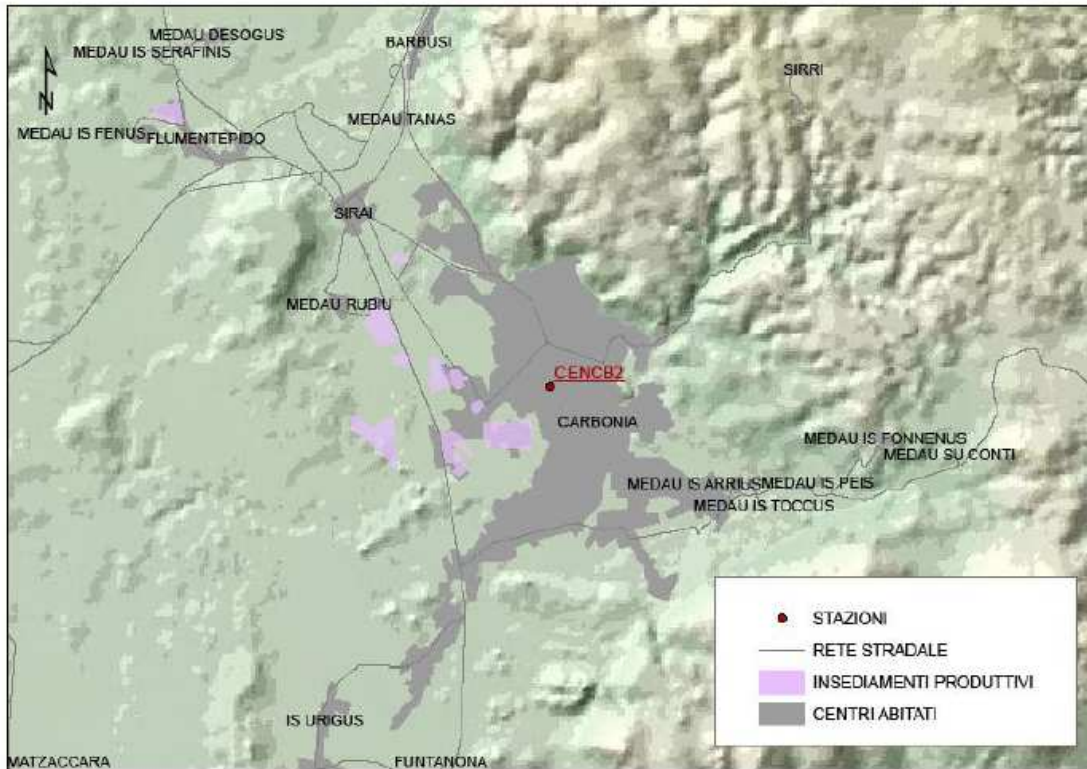


Figura 19. Posizione della stazione di misura Carbonia dell'area di Sulcis – Iglesiente: CENCB2

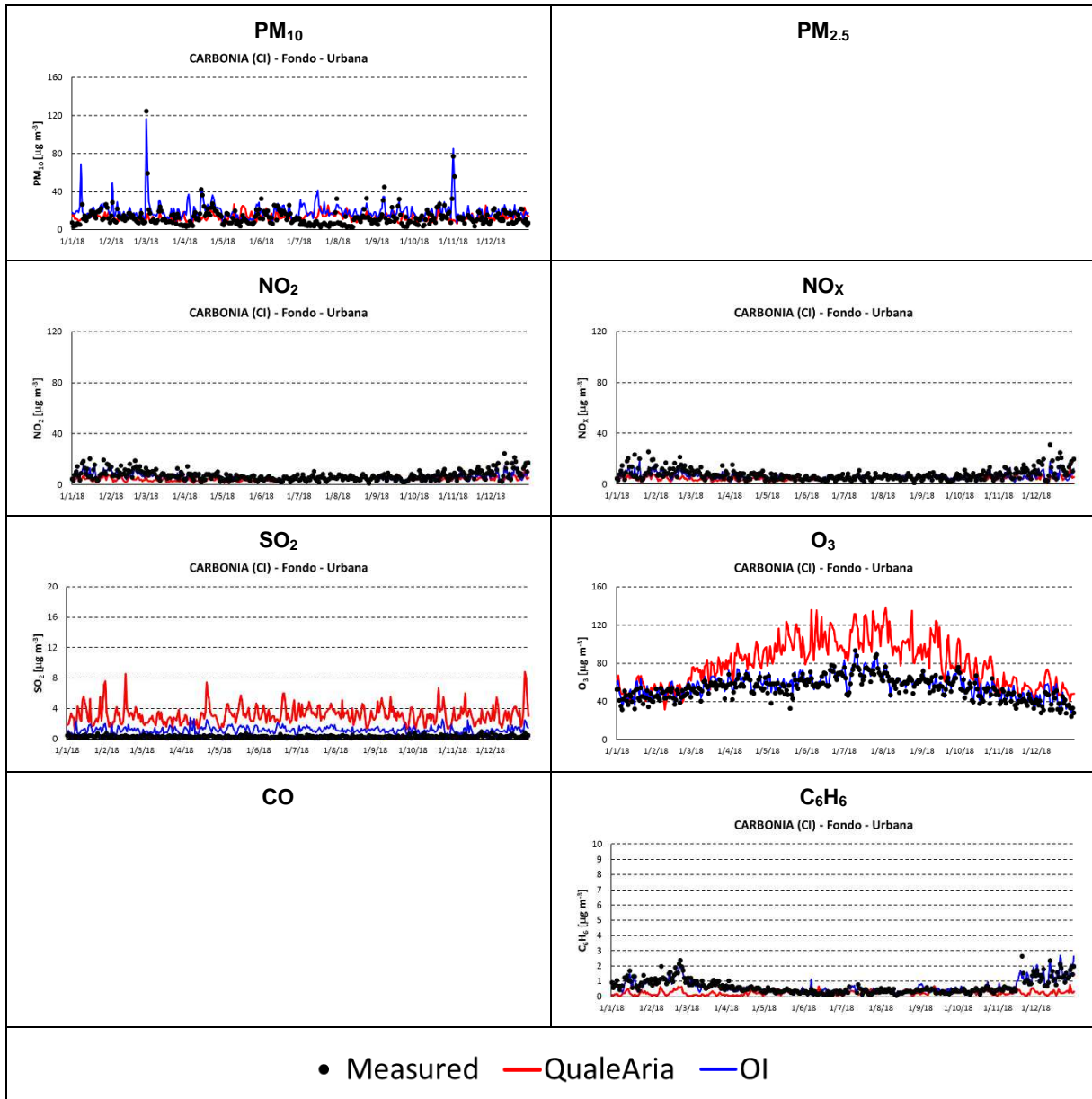


Figura 20. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Campidano Centrale

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di San Gavino - CENSG3 o, se non disponibili, nella stazione Nuraminis - CENNM1, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

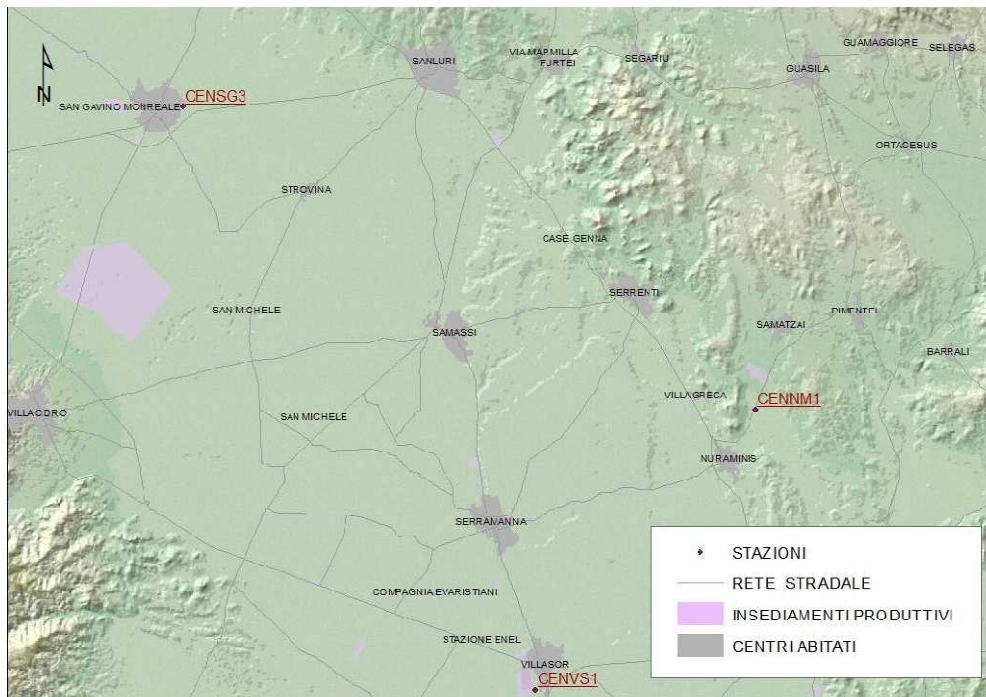


Figura 21. Posizione delle stazioni di misura dell'area Campidano Centrale: CENNM1, CENSG3, CENVS1

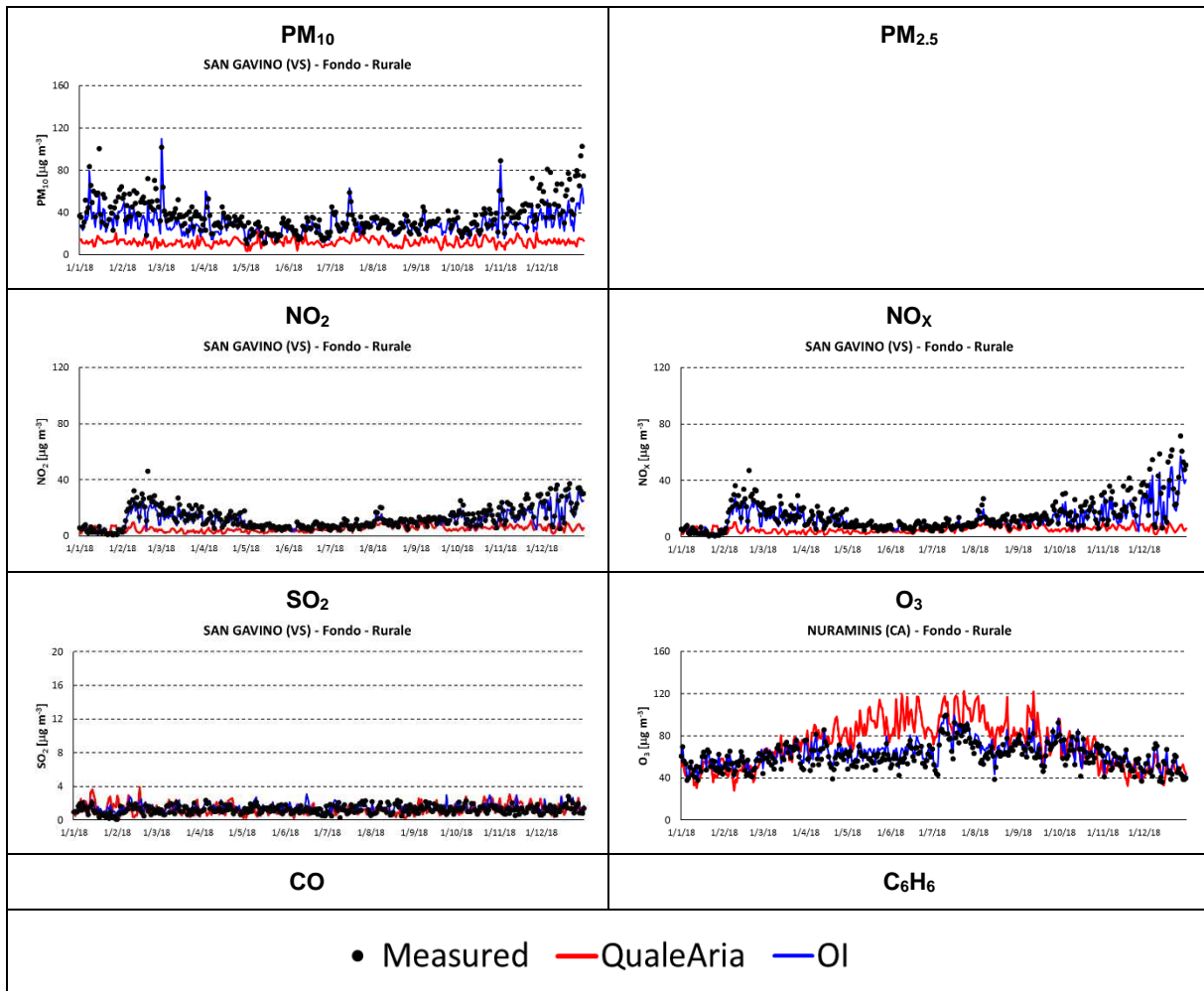


Figura 22. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Oristano

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nella stazione di Oristano - CENOR1 o, se non disponibili, nelle stazioni di Santa Giusta - CESGI1 e di Oristano - CENOR2, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

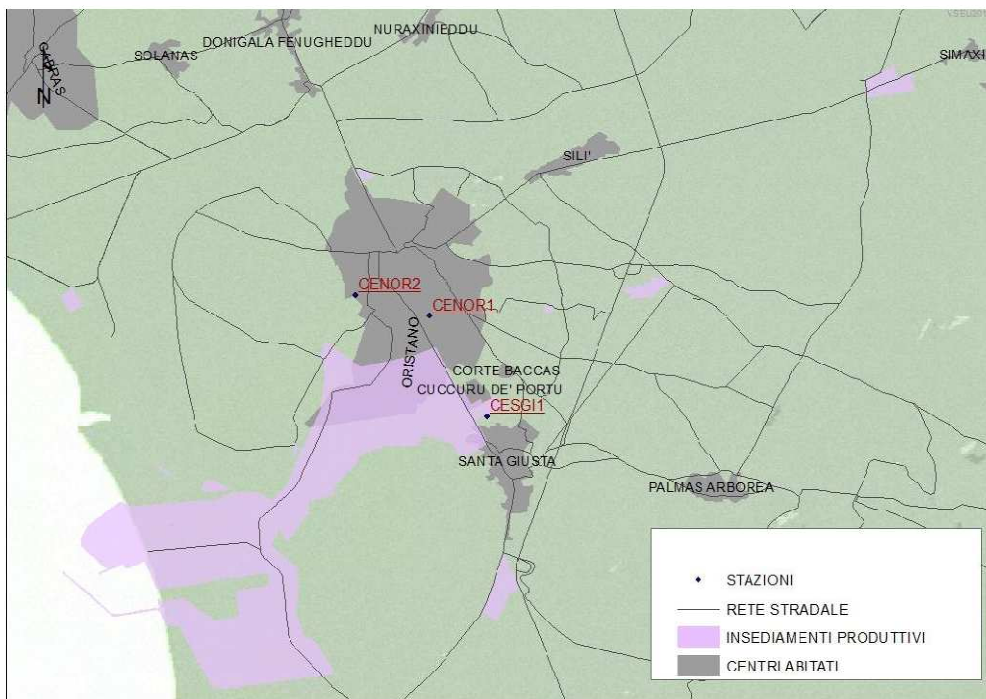


Figura 23. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Oristano: CENOR1, CENOR2, CESGI1

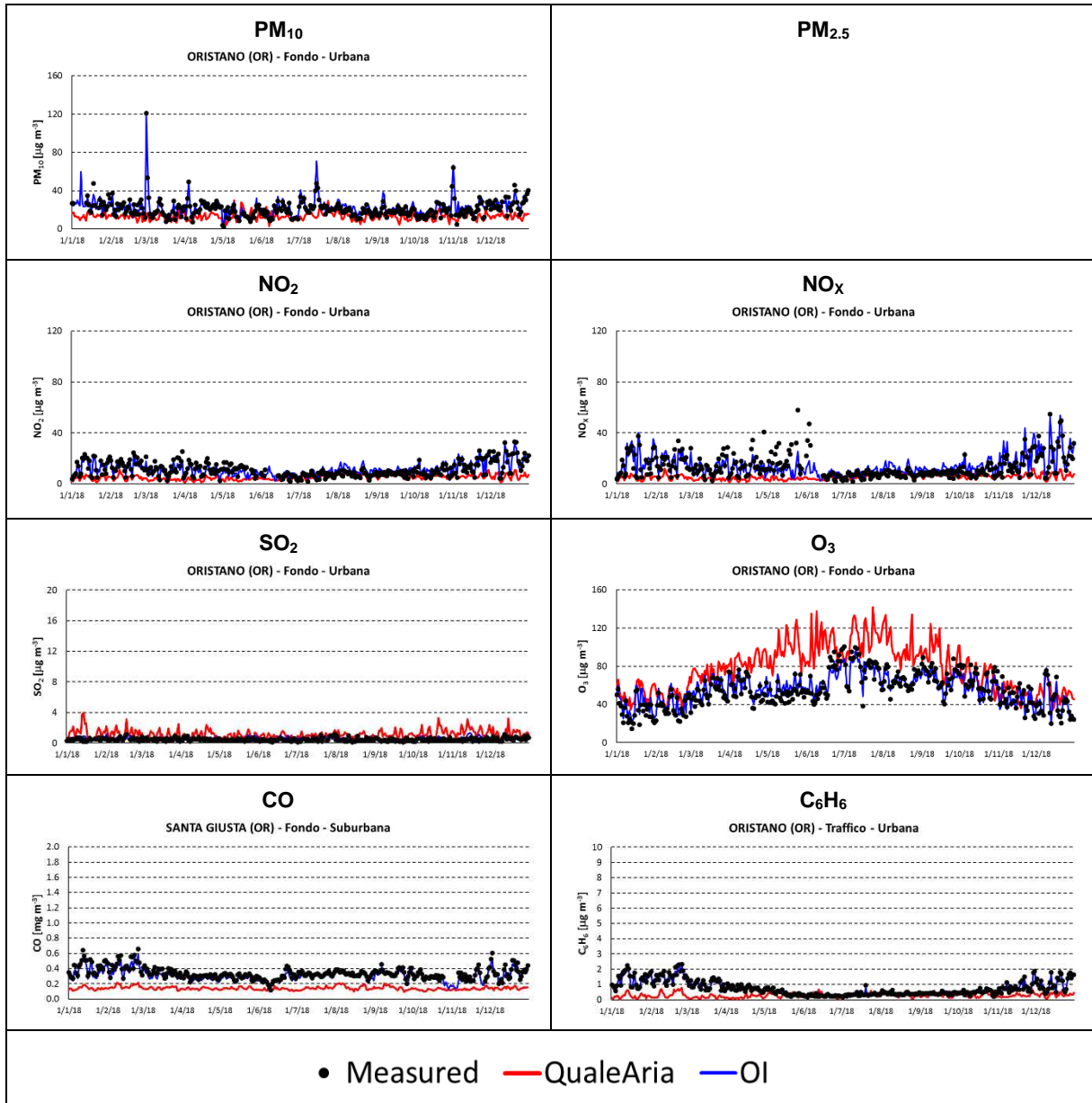


Figura 24. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Nuoro

Nella figura seguente sono mostrate rispettivamente le dislocazioni delle stazioni di misura presenti in tale area ed i confronti tra le concentrazioni misurate nelle stazioni di Nuoro - CENNU2 o, se non disponibili, nella stazione di Nuoro - CENNU1, e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

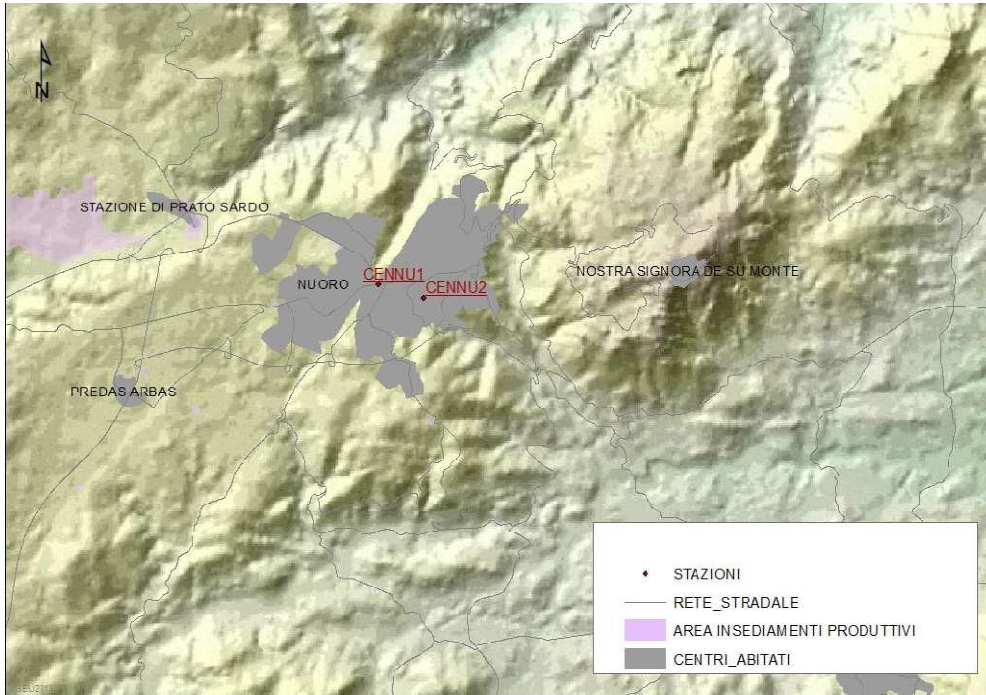


Figura 25. Posizione delle stazioni di misura dell'area di Nuoro: CENNU1, CENNU2

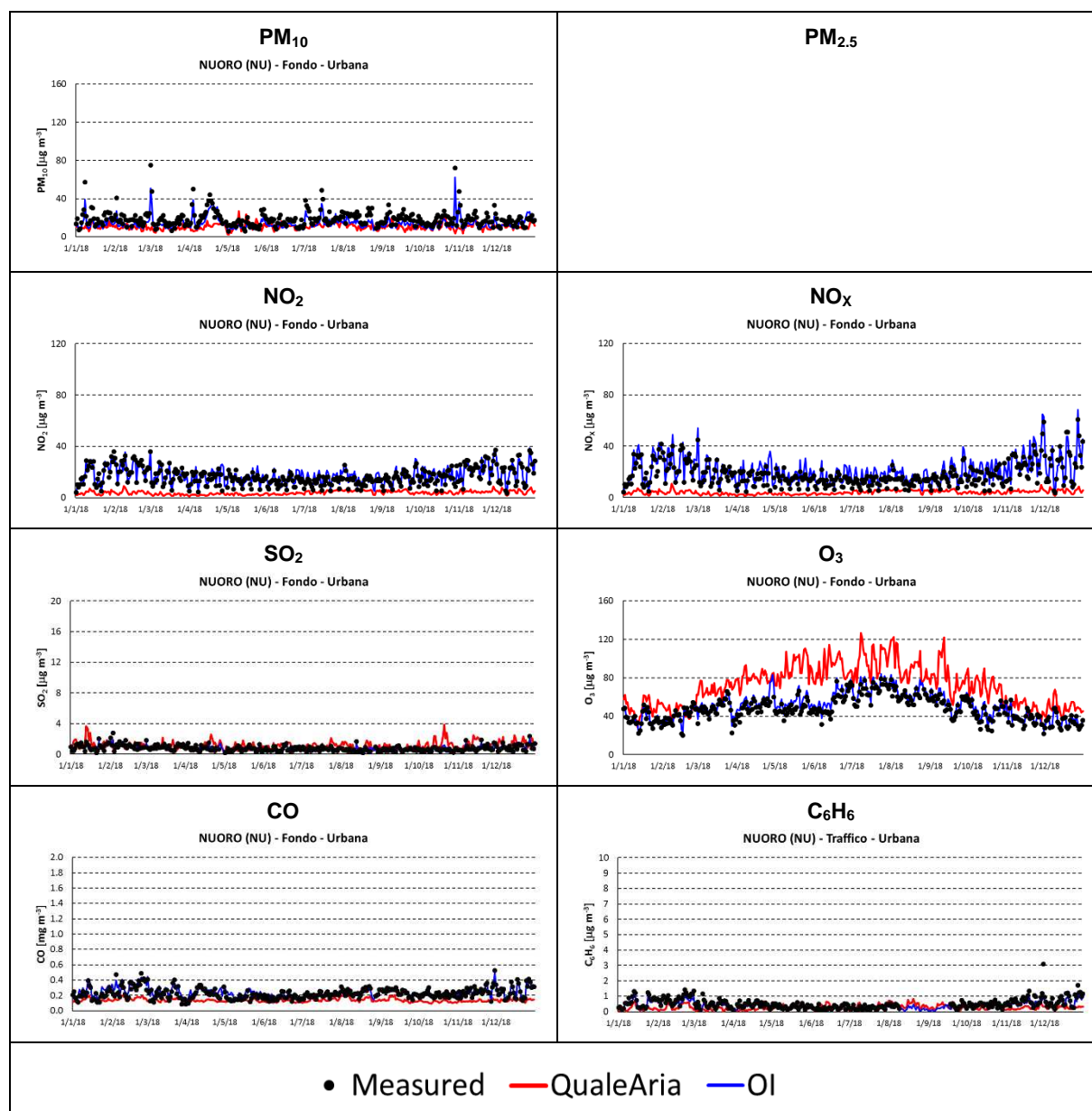


Figura 26. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Sardegna Centro – Settentrionale

Nella figura seguente è mostrata la localizzazione della stazione di misura Macomer - CENMA1 ed i confronti tra le concentrazioni misurate in tale stazione e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

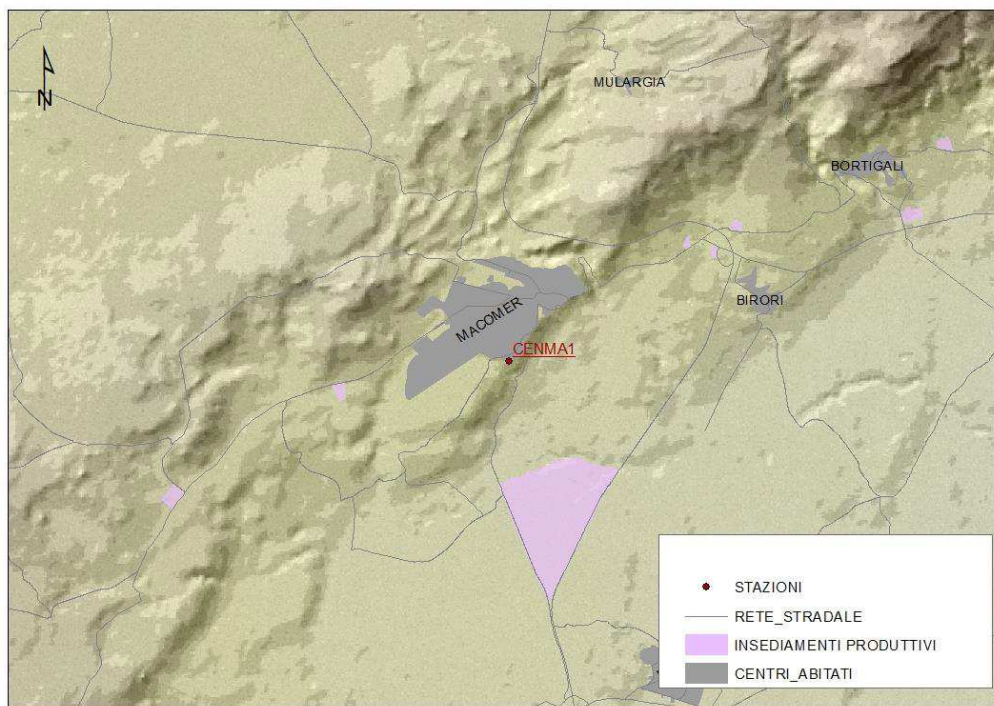


Figura 27. Posizione delle stazioni di misura MACOMER dell'area Sardegna Centro – Settentrionale: CENMA1

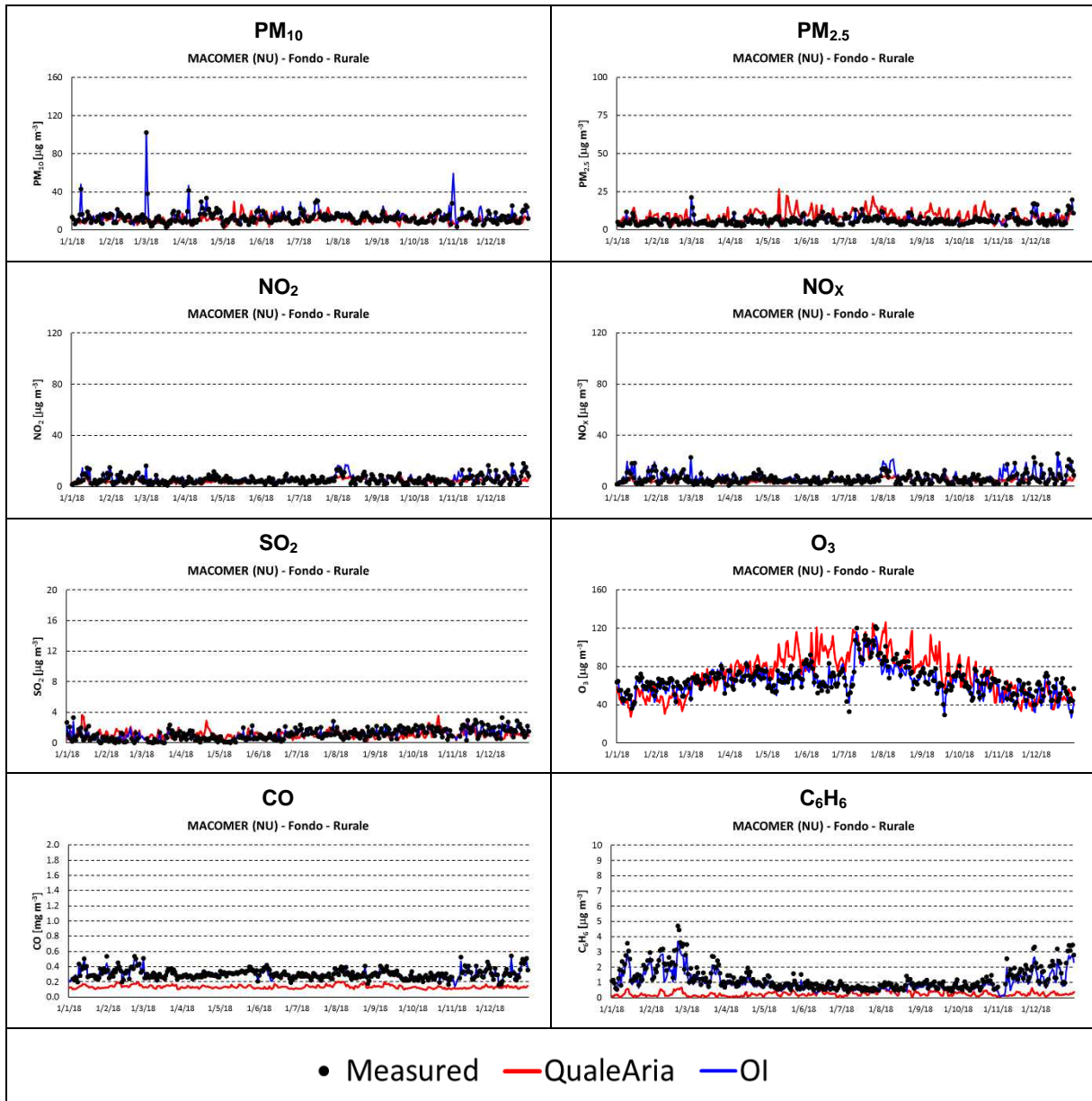


Figura 28. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Seulo (Stazione di Fondo Regionale)

Nella figura seguente è mostrata la localizzazione della stazione di misura Seulo - CENSE0 ed i confronti tra le concentrazioni misurate in tale stazione e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI.

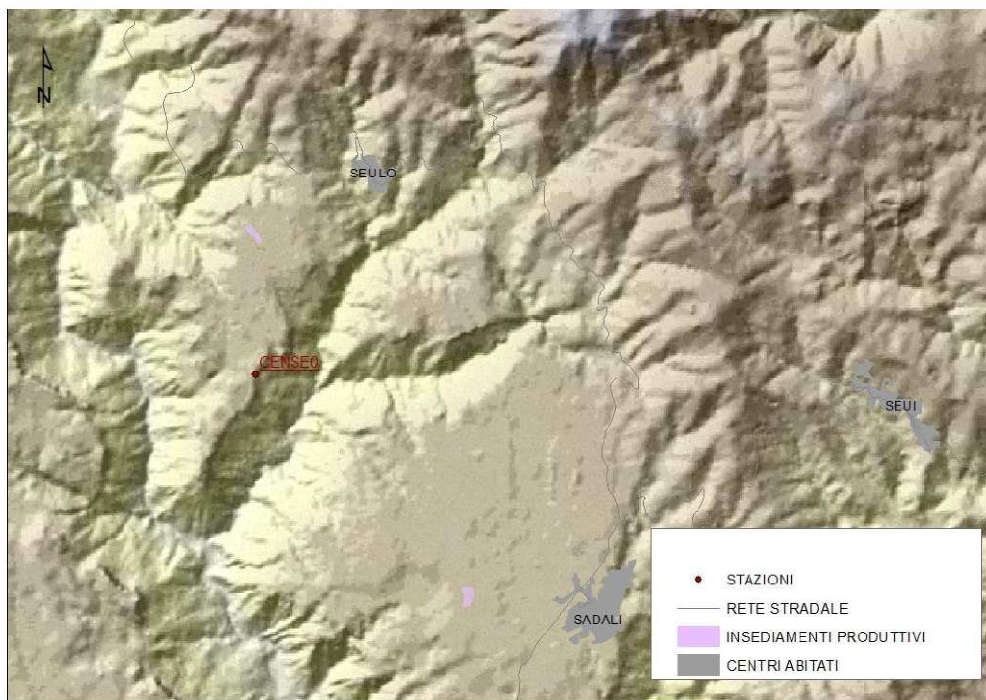


Figura 29. Posizione della stazione di misura Seulo, Stazione di Fondo Regionale: CENSE0

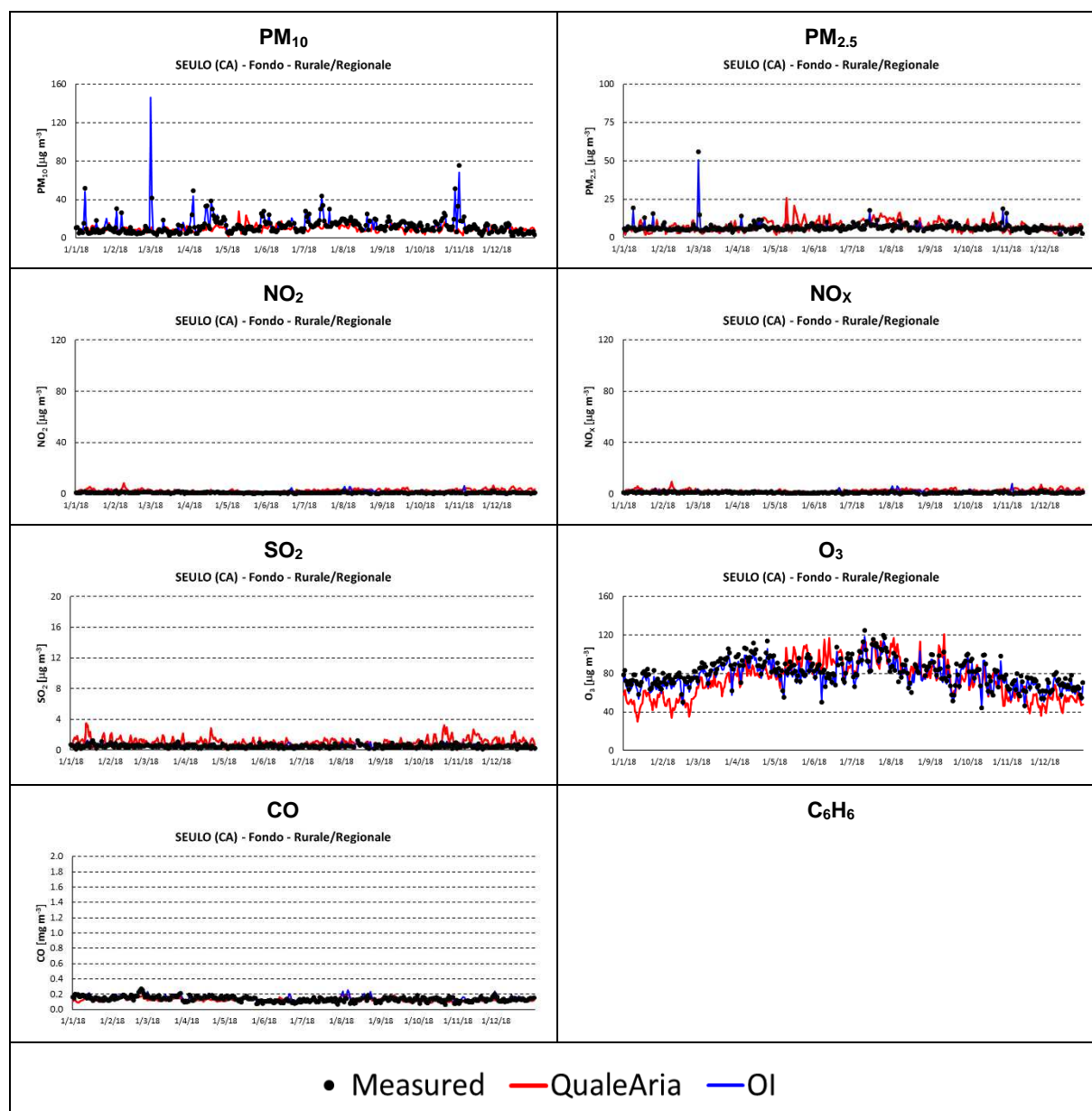


Figura 30. Confronti tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale e stimate rispettivamente da QualeAria e dal metodo OI

Valutazione della qualità dell'aria

I risultati mostrati nel paragrafo precedente evidenziano:

- la capacità del sistema QualeAria di riprodurre le concentrazioni calcolate in particolare nelle stazioni non influenzate da sorgenti vicine (es. Seulo). Per quanto riguarda l'ozono risulta una generale sovrastima delle concentrazioni osservate in particolare durante le stagioni primaverile ed estiva. Tale risultato può essere determinato dalla risoluzione spaziale adottata (12 km) che può avere i seguenti effetti:
 - determinare una eccessiva diluizione di precursori emessi da sorgenti vicine, siano esse di tipo industriale e/o urbane, modificando conseguentemente il regime fotochimico dell'area in esame (es. il cosiddetto effetto "ozone titration" in prossimità di sorgenti di ossidi di azoto, rilevato dalle stazioni di misura e "non visto" dal modello);
 - associare a stazioni di misura poste in prossimità della linea di costa concentrazioni stimate in realtà sul mare ove le concentrazioni di ozono sono tendenzialmente più elevate;
- un ottimo accordo tra le concentrazioni misurate dalla rete regionale, nelle diverse aree definite dalla zonizzazione del territorio, e stimate mediante l'utilizzo del metodo OI.

Quest'ultimo risultato giustifica quindi l'utilizzo dei campi medi orari prodotti mediante l'applicazione del metodo OI per produrre le mappe regionali relative agli standard di qualità dell'aria, definiti dal D.Lgs. 155/2010, per i seguenti inquinanti: SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, benzene ed O₃.

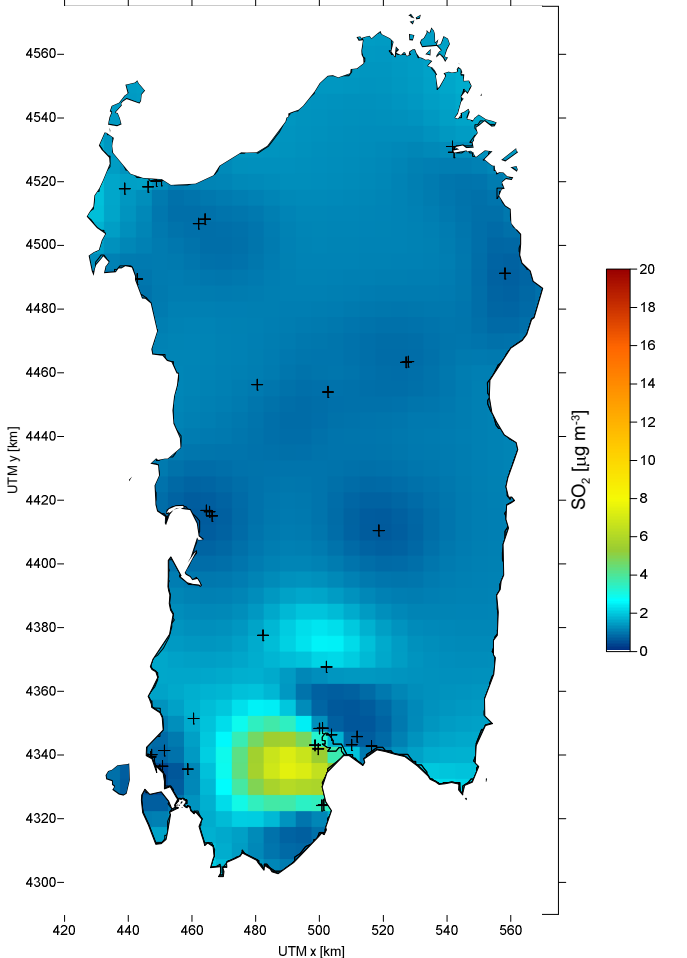
Valore limite	Mappa regionale
<p>Numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie orarie di SO₂. Valore limite per la protezione della salute: 350 µg/m³ da non superare più di 24 volte per anno civile.</p>	<p>NESSUN SUPERAMENTO</p>
<p>Numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere di SO₂. Valore limite per la protezione della salute: 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte per anno civile.</p>	<p>NESSUN SUPERAMENTO</p>
<p>Concentrazioni medie annuali di SO₂. Valore limite per la protezione della vegetazione: 20 µg/m³</p>	
<p>Non si evidenziano particolari criticità ambientali relativamente al biossido di zolfo (SO₂). Non risultano superamenti del valore limite per le concentrazioni medie orarie e giornaliere e le concentrazioni medie annuali risultano inferiori al valore limite per la protezione della vegetazione (20 µg/m³). I valori più elevati si raggiungono nell'area industriale a ovest di Cagliari. Il simbolo "+" indica le stazioni considerate.</p>	

Figura 31. SO₂: Mappe regionali relative ai valori limite di qualità dell'aria



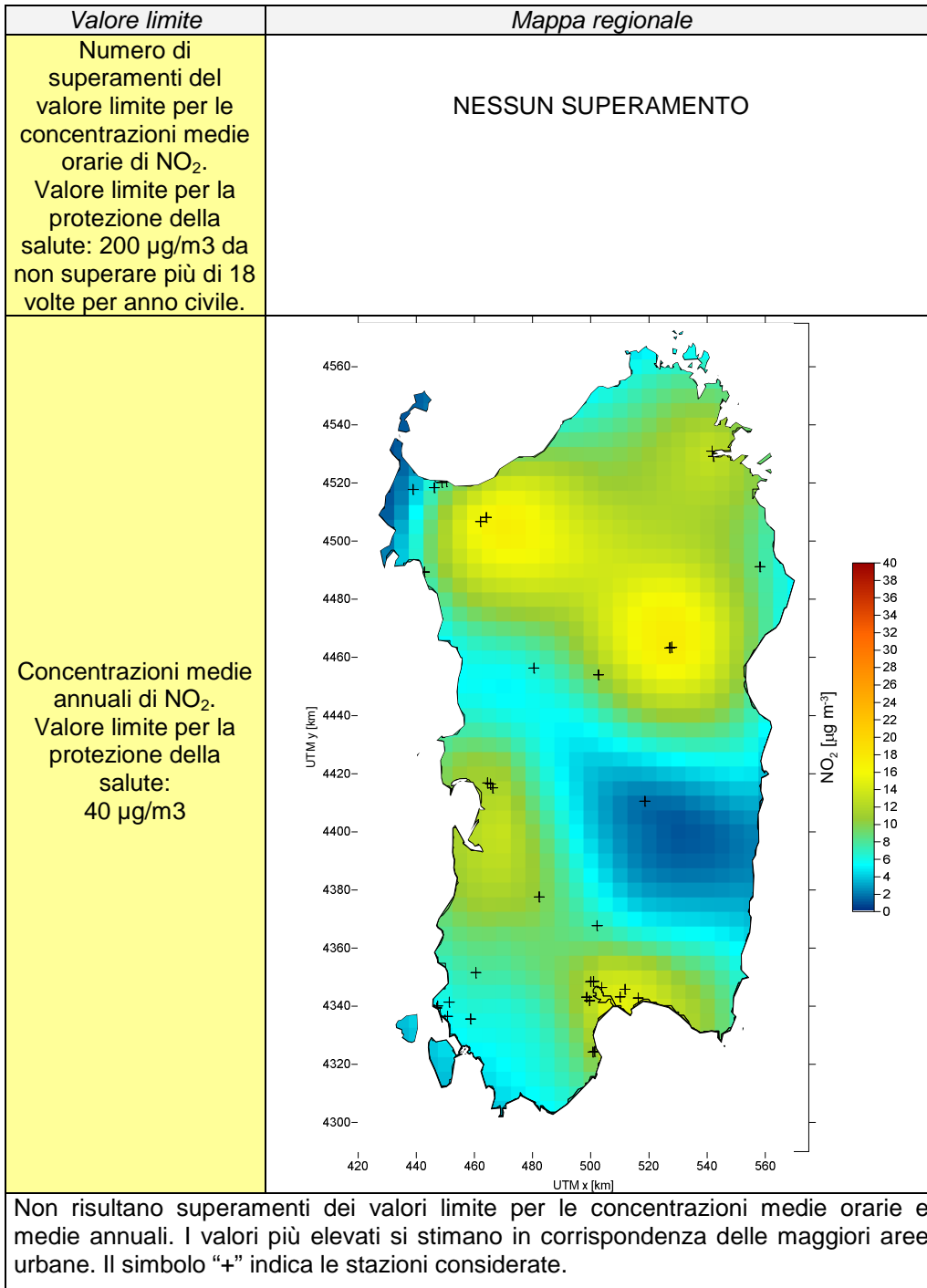


Figura 32. NO₂: Mappe regionali relative ai valori limite di qualità dell'aria

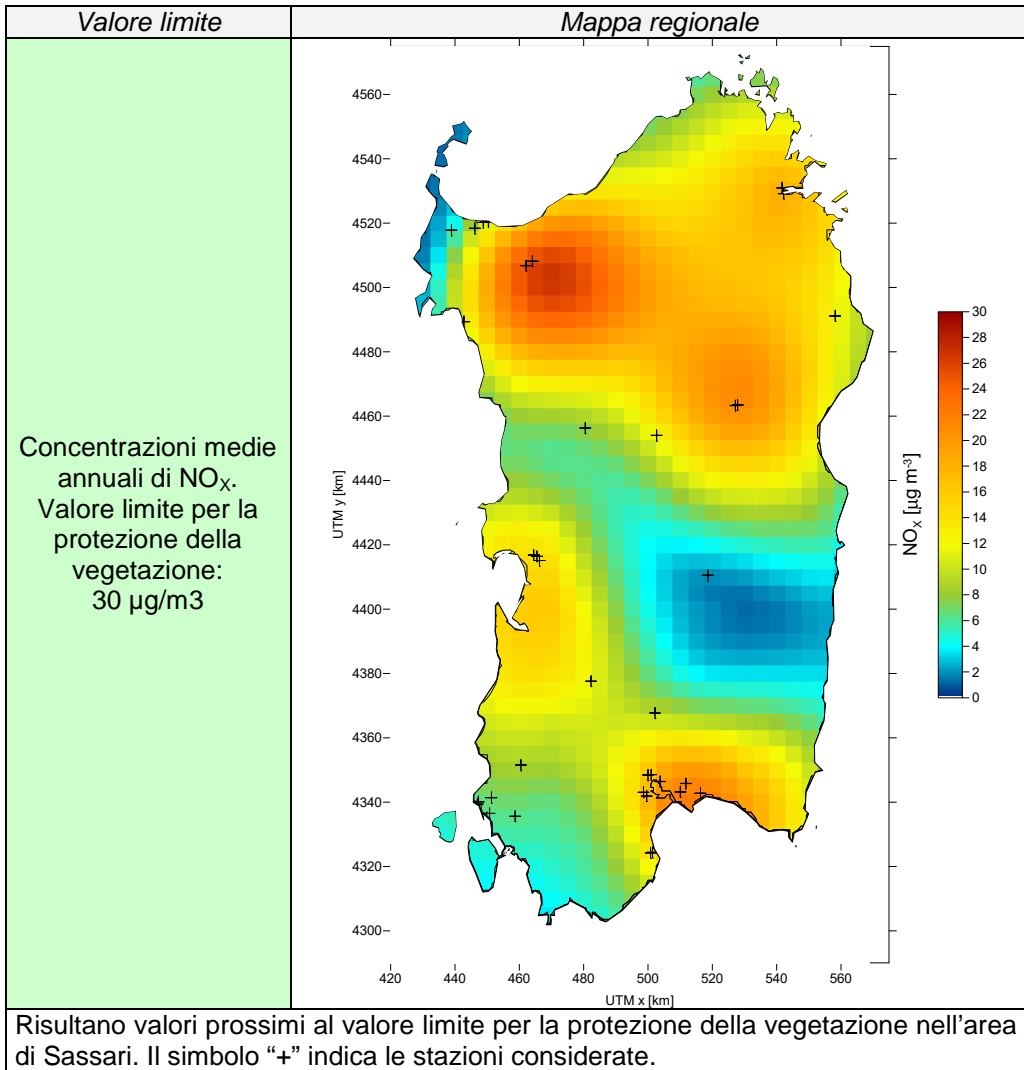


Figura 33. NO_x: Mappa regionale relativa alle concentrazioni medie annuali

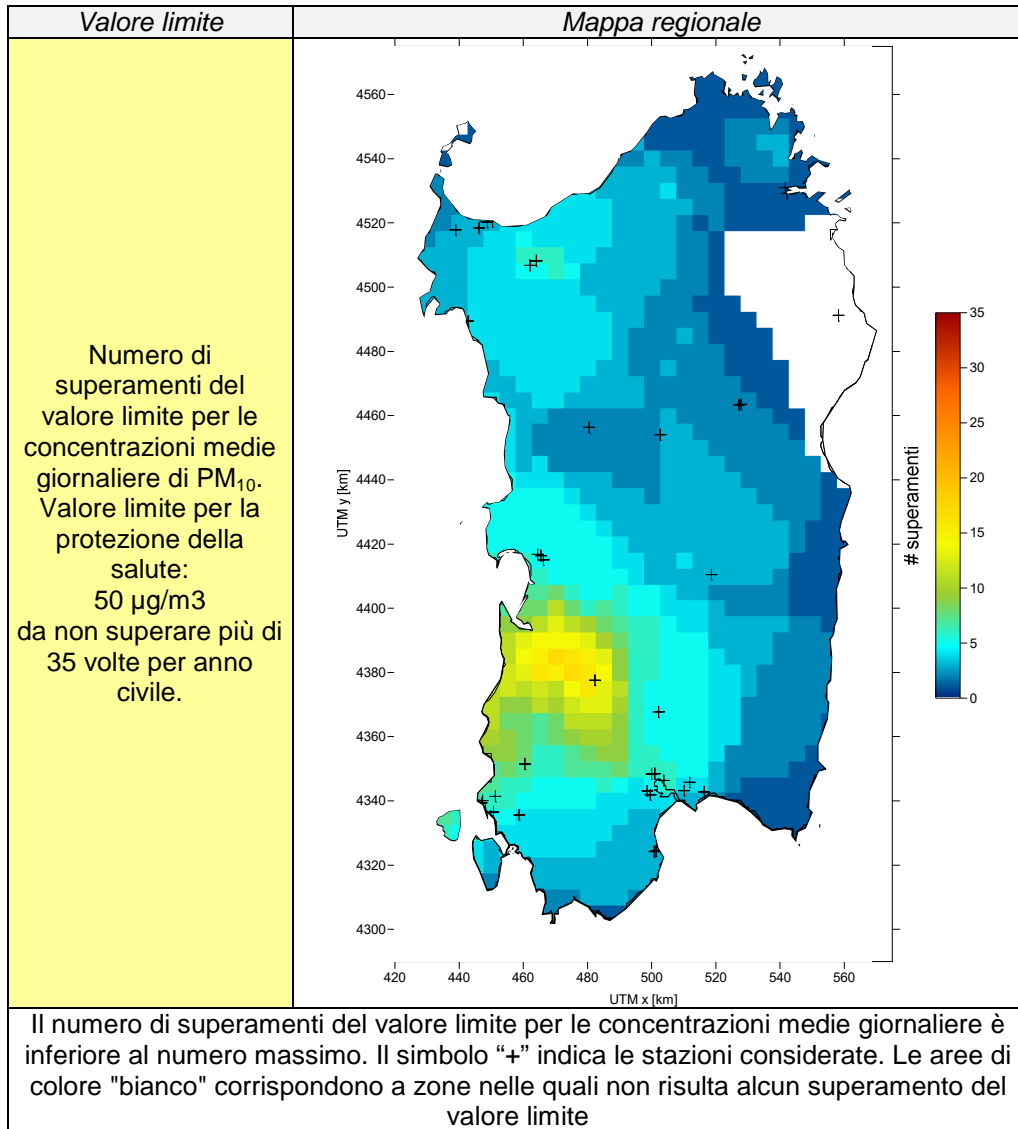


Figura 34. PM10: Mappa regionale relativa al numero di superamenti del valore limite per la protezione della salute

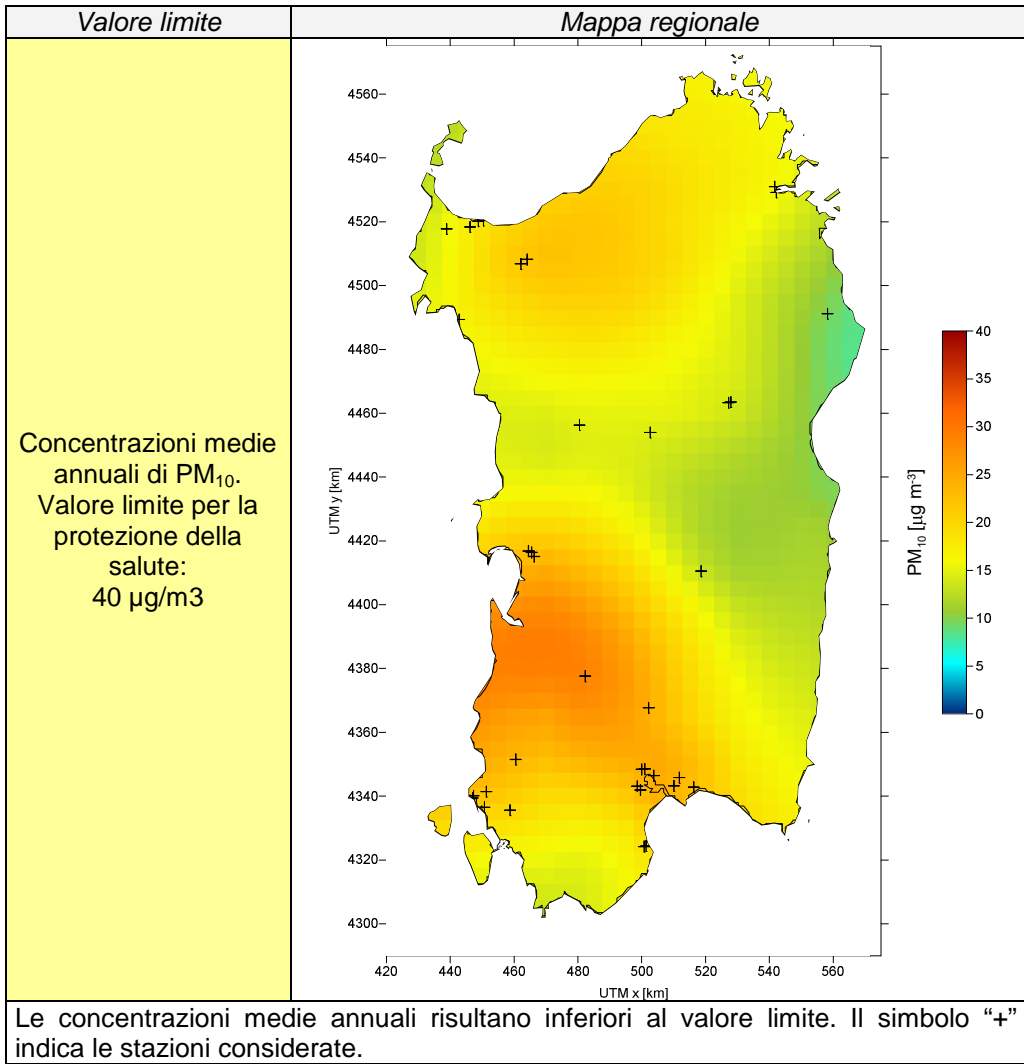


Figura 35. PM₁₀: Mappa regionale relativa alle concentrazioni medie annuali

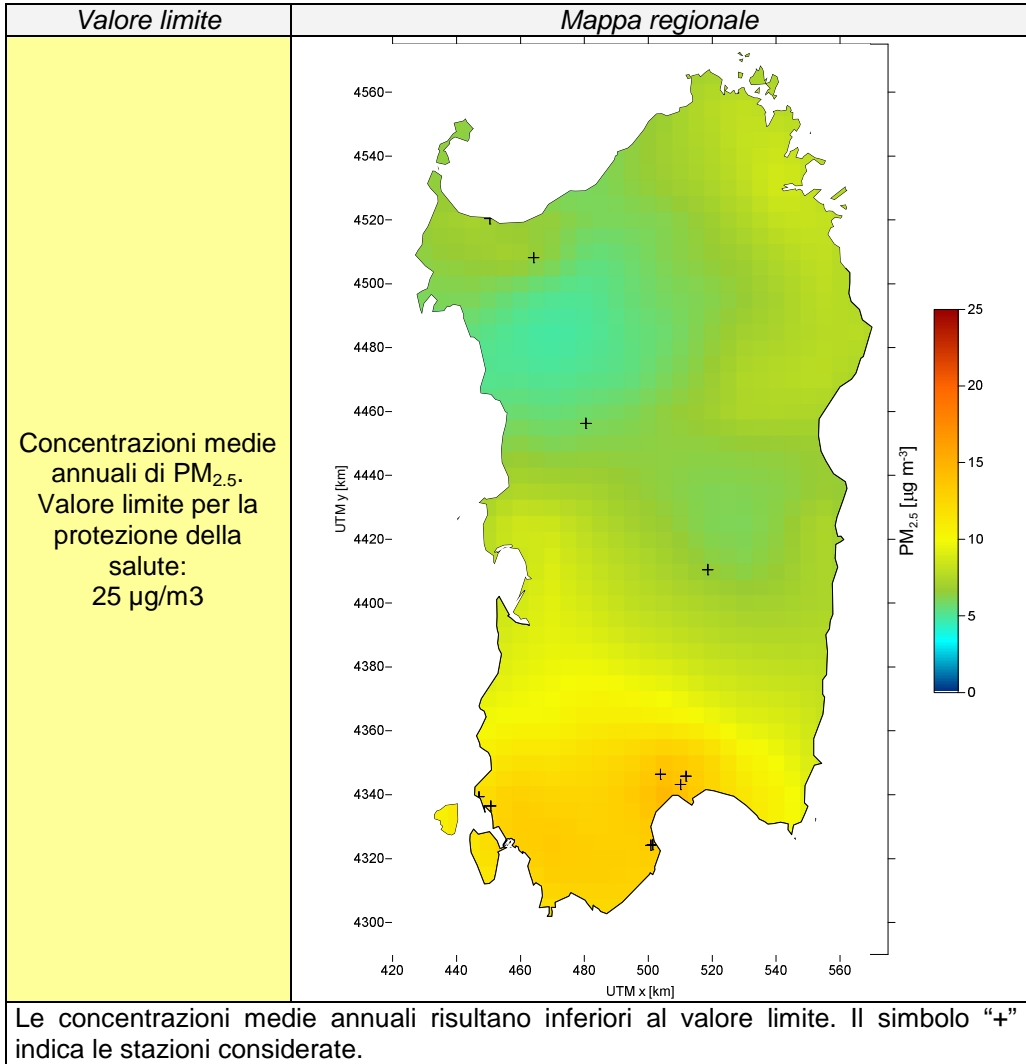


Figura 36. $PM_{2.5}$: Mappa regionale relativa alle concentrazioni medie annuali

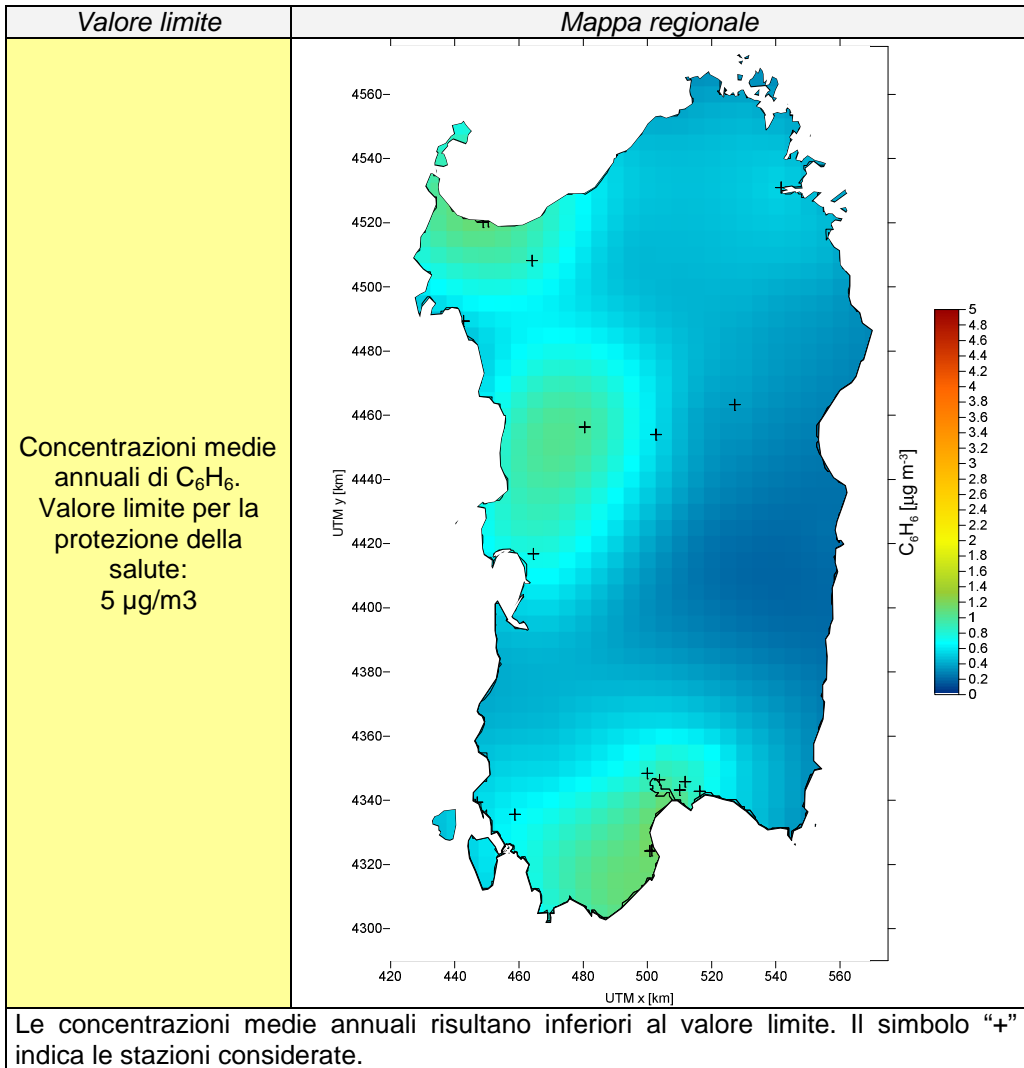


Figura 37. C_6H_6 : Mappa regionale relativa alle concentrazioni medie annuali

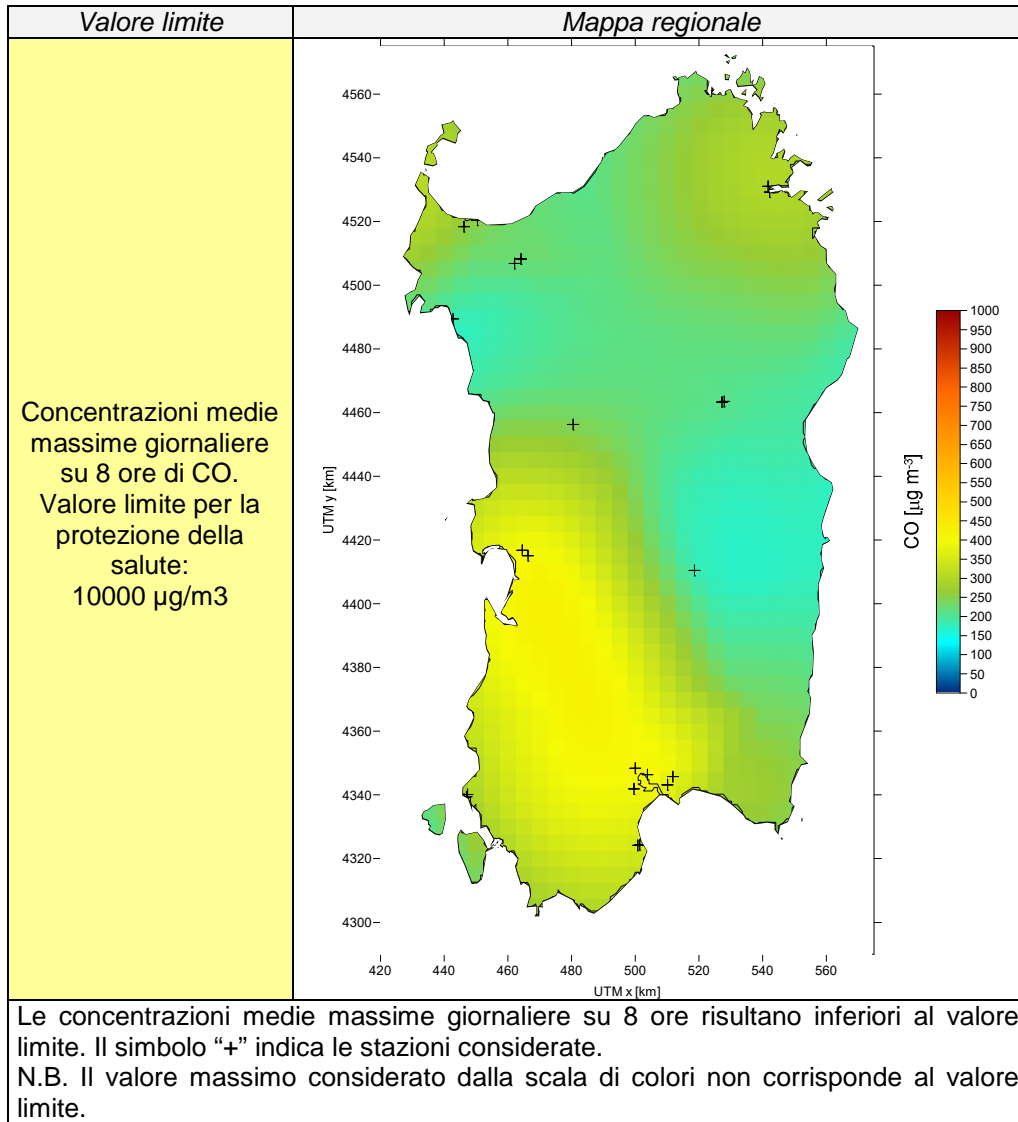


Figura 38. CO: Mappa regionale relativa alle concentrazioni medie massime giornaliere su 8 ore

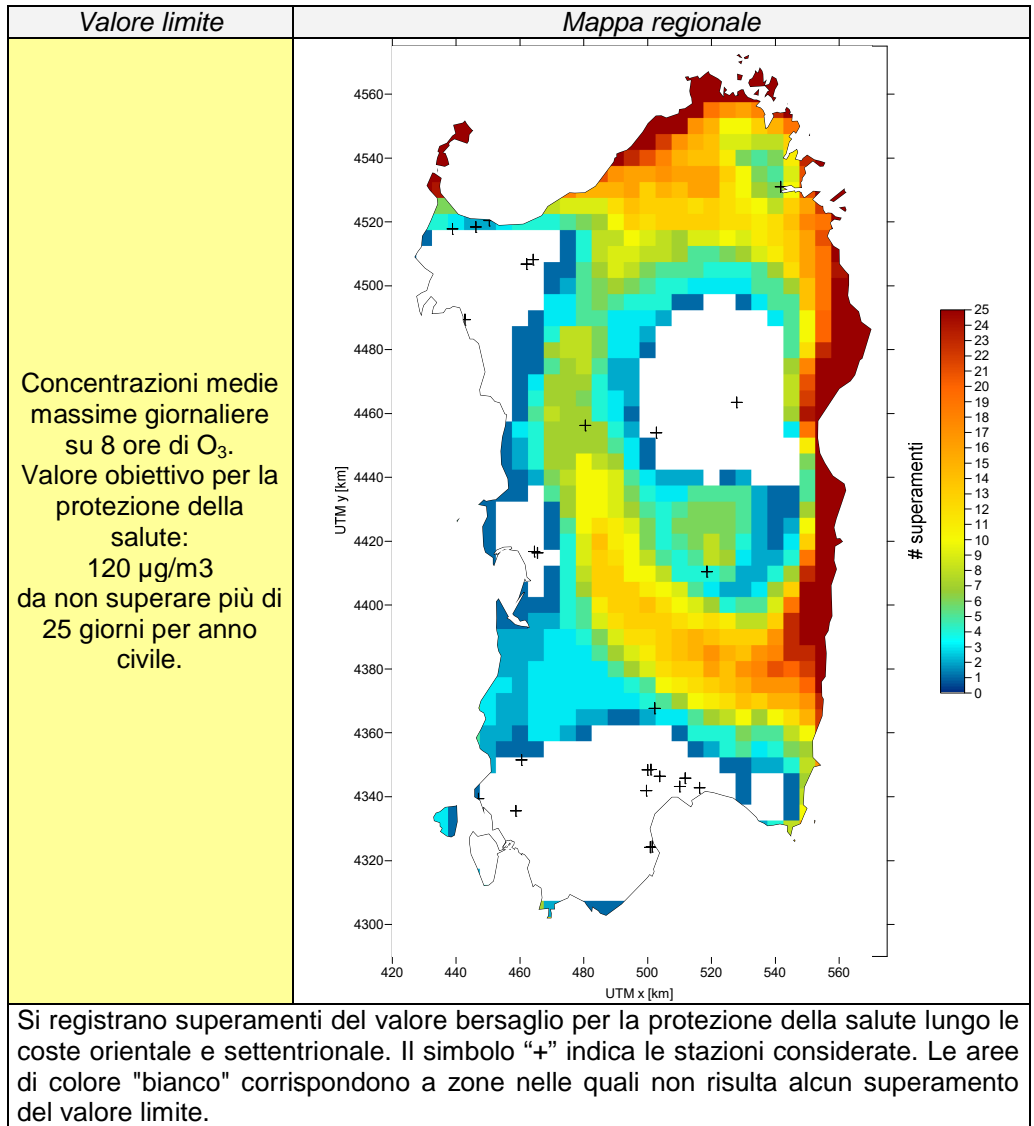


Figura 39. O₃: Mappa regionale relativa al numero di superamenti del valore limite per la protezione della salute

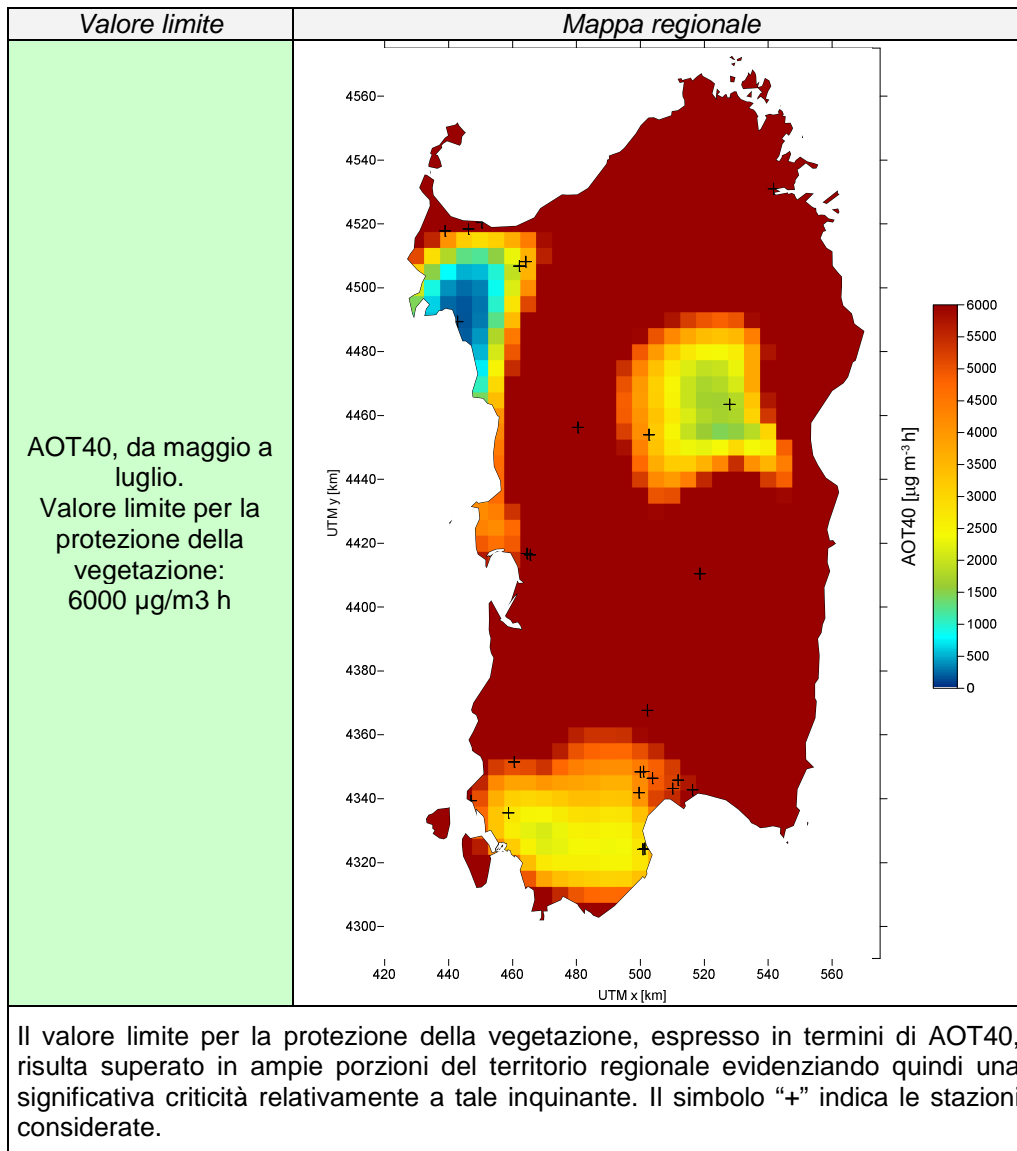


Figura 40. AOT40: Mappa regionale relativa all'indicatore AOT40

CONCLUSIONI

Nel presente studio sono mostrati i risultati di elaborazioni effettuate, mediante l'applicazione del metodo di analisi oggettiva "Optimal Interpolation", al fine di effettuare la spazializzazione dei dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio regionale. In tale studio sono stati considerati i seguenti inquinanti: SO₂, NO₂, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, CO, benzene ed O₃. Il primo passo è consistito nella calibrazione del metodo allo scopo di individuare, per tali inquinanti, le lunghezze caratteristiche di scala orizzontale e verticale. Tali lunghezze tengono conto della distribuzione spaziale delle stazioni di misura e della complessità orografica del territorio in esame. Definiti i valori ottimali per tali parametri è stato quindi applicato tale metodo a tutto l'anno 2018, su base temporale oraria, considerando i dati di qualità dell'aria rilevati dalla rete regionale ed i campi di concentrazione al suolo prodotti dal sistema modellistico QualeAria. Il confronto tra le concentrazioni così calcolate e misurate nelle diverse aree definite dalla zonizzazione del territorio regionale ha evidenziato un ottimo accordo ed ha quindi confermato l'utilità del metodo proposto allo scopo di produrre mappe regionali relative agli standard di qualità dell'aria per i suddetti inquinanti. Le mappe prodotte hanno evidenziato quanto segue:

- SO₂: non si evidenziano particolari criticità ambientali relativamente al biossido di zolfo. Non risultano superamenti del valore limite per le concentrazioni medie orarie e giornaliere e le concentrazioni medie annuali risultano inferiori al valore limite per la protezione della vegetazione (20 µg/m³). I valori più elevati si raggiungono nell'area industriale a ovest di Cagliari;
- NO₂: non risultano superamenti dei valori limite per le concentrazioni medie orarie e medie annuali. I valori più elevati si stimano in corrispondenza delle maggiori aree urbane;
- NO_x: non risultano superamenti del valore limite per le concentrazioni medie annuali, risultano valori prossimi al valore limite per la protezione della vegetazione nell'area di Sassari;
- PM₁₀: il numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere è inferiore al numero massimo (35 volte) su tutto il territorio regionale e le concentrazioni medie annuali risultano inferiori al valore limite (40 µg/m³);
- PM_{2.5}: le concentrazioni medie annuali risultano inferiori al valore limite su tutto il territorio regionale;
- benzene (C₆H₆): le concentrazioni medie annuali risultano inferiori al valore limite su tutto il territorio regionale;
- CO: le concentrazioni medie massime giornaliere su 8 ore risultano inferiori al valore limite su tutto il territorio regionale;
- ozono: si registrano superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute (120 µg/m³, calcolati come medie massime giornaliere su 8 ore superiori 25 giorni per anno civile) lungo le coste orientali e settentrionali. Il valore limite per la protezione della vegetazione, espresso in

termini di AOT40, risulta superato in ampie porzioni del territorio regionale evidenziando quindi una significativa criticità relativamente a tale inquinante.

Come sottolineato nel presente documento, il metodo di analisi oggettiva utilizzato consente di integrare i campi prodotti dal sistema QualeAria (che adotta una risoluzione spaziale pari a 12 km ed utilizza l'inventario delle emissioni prodotto da ISPRA a livello nazionale) con le osservazioni fornite dalla rete di monitoraggio ma non di aumentare la risoluzione spaziale dei campi da esso ottenuti. Risultati migliori potrebbero essere senz'altro ottenuti utilizzando:

- prodotti di simulazioni modellistiche effettuate considerando una maggiore risoluzione spaziale (es. 4-5 km) e dati emissivi di maggior dettaglio quali quelli contenuti nell'inventario regionale delle emissioni (<https://portal.sardegناسira.it/aria-report-e-indicatori-ambientali>);
- algoritmi "Machine Learning", quali ad esempio Random Forest (RF, Breiman, 2001), che in aggiunta ai dati qui considerati prevedono l'utilizzo di variabili spazio-temporali (predittori) associate ai processi che determinano la qualità dell'aria nelle diverse zone del territorio regionale (es. uso suolo, prossimità a strade, porti, etc.). Tali algoritmi consentono di aumentare la risoluzione spaziale delle mappe prodotte in funzione della risoluzione spaziale dei predittori considerati.

A titolo di esempio nella figura seguente sono mostrati, relativamente all'anno 2015 ed al territorio nazionale, i campi associati alle concentrazioni medie annue e medie estive (giugno-agosto) rispettivamente per il biossido di azoto e l'ozono prodotti mediante l'utilizzo di un modello di dispersione (12 e 5 km di risoluzione) e dell'algoritmo RF (1 km di risoluzione). Dall'analisi di tale figura si evidenzia la potenzialità degli algoritmi Machine Learning, in crescente utilizzo in ambito epidemiologico (si veda ad es. Stafoggia *et al.*, 2019), di rappresentare con notevole efficacia la distribuzione spaziale degli inquinanti. A tale riguardo è opportuno citare la nota degli autori del metodo RF "[...] *Take the output of random forests not as absolute truth, but as smart computer generated guesses that may be helpful in leading to a deeper understanding of the problem*" che sottolinea l'utilità di tali algoritmi nel portare ad una migliore comprensione del problema in esame (https://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/reg_philosophy.htm). Tali algoritmi potrebbero essere applicati al territorio regionale al fine di produrre mappe analoghe a quelle qui presentate ad una risoluzione spaziale decisamente superiore (es. 500-1000 m).

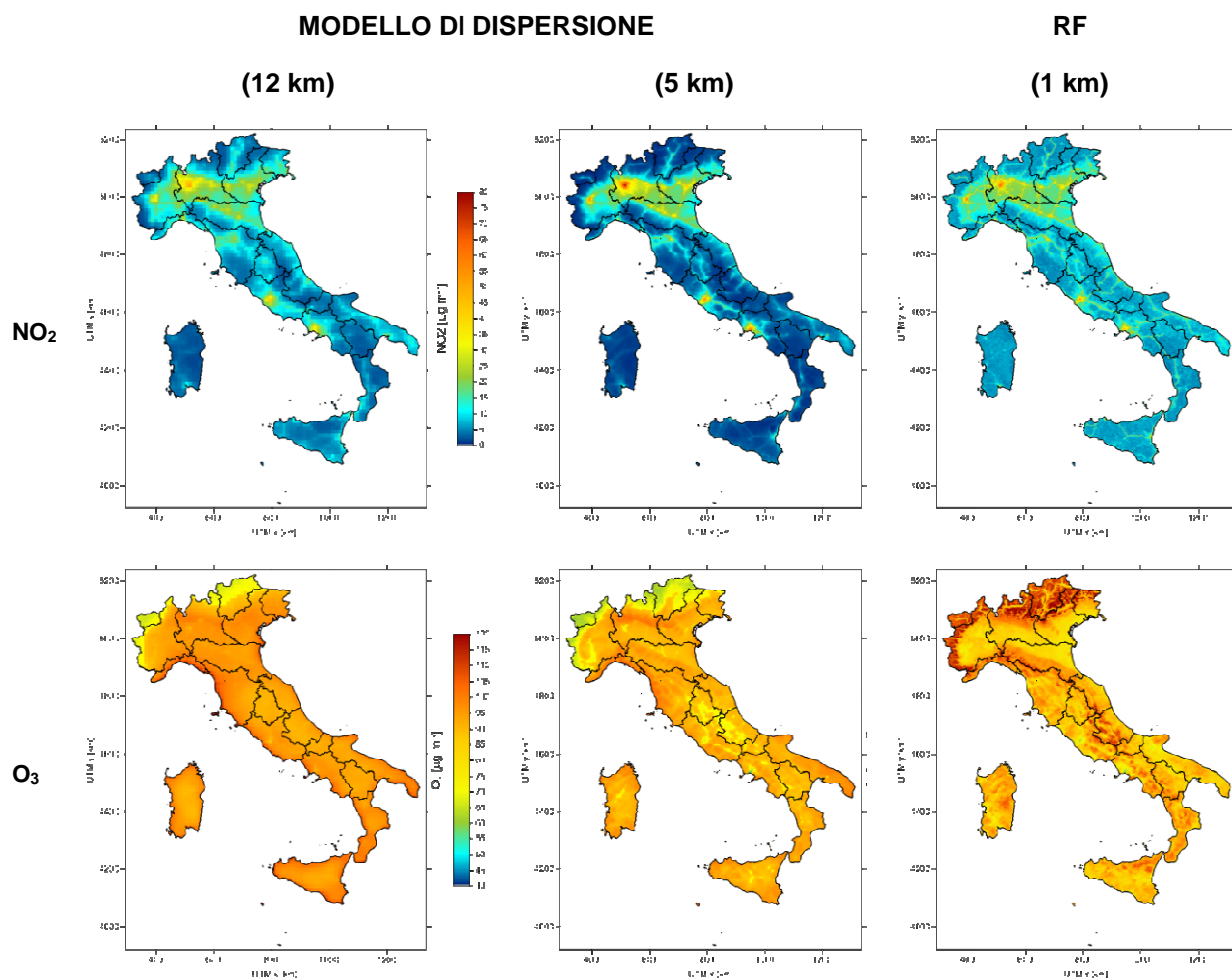


Figura 41. Concentrazioni medie annue (NO₂) e medie estive (giugno-agosto, O₃) relative all'anno 2015, a 12, 5 ed 1 km di risoluzione spaziale sul territorio nazionale

BIBLIOGRAFIA

- Breiman, L. (2001) Random Forests. *Machine Learning*, **45**, 5–32. doi:10.1023/A:1010933404324.
- Gandin, L.S. (1965) Objective analysis of meteorological fields. Israeli Program for Scientific Translation.
- Silibello, C., Bolignano, A., Sozzi, R., Gariazzo, C. (2014) Application of a chemical transport model and optimized data assimilation methods to improve air quality assessment. *Air Quality, Atmosphere & Health*, **7**, 3, 283-296. doi: 10.1007/s11869-014-0235-1.
- Stafoggia, M., Bellander, T., and others, 2019: Estimation of daily PM10 and PM2.5 concentrations in Italy, 2013–2015, using a spatiotemporal land-use random-forest model. *Environ. Int.*, **124**, 170–179.
- Walker, S.E, Schaap, M., Slini, L. (2006) Data assimilation, Air4EU WP6 synthesis, Milestone report 6.8.