

4 MODELLI DI SIMULAZIONE

4.1 CALMET

CALMET (Scire et al., 1995) è un modello meteorologico diagnostico, cioè in grado di ricostruire il campo di vento su un dominio di calcolo con orografia complessa a partire da misure al suolo e da almeno un profilo verticale. Esso contiene inoltre degli algoritmi per il calcolo di parametri micrometeorologici dello strato limite planetario sia sulla terra che sull’acqua. Queste caratteristiche lo rendono adatto a generare l’input per modelli di dispersione in atmosfera, che necessitano sia del campo di vento medio che di una accurata descrizione della turbolenza attraverso parametri quali l’altezza di rimescolamento, la lunghezza di Monin-Obukhov, etc.

CALMET ricostruisce il campo di vento in due passi successivi.

- Il primo passo consiste nel generare un campo di vento iniziale su tutto il dominio. Il vento iniziale può essere determinato o come valore medio del vento misurato sul dominio a una certa quota, oppure può essere l’output di un modello meteorologico prognostico. Questo campo iniziale viene poi modificato per tener conto degli effetti cinematici del terreno (viene calcolata una velocità verticale indotta dalla pendenza del terreno e quindi vengono ricalcolate le componenti orizzontali del vento applicando iterativamente un metodo di riduzione della divergenza). Vengono inoltre introdotti i venti di pendenza attraverso delle parametrizzazioni che tengono conto della pendenza e dell’altezza del terreno, del gradiente di temperatura, dell’ora e del giorno dell’anno.
- Il secondo passo consiste nel modificare il vento ottenuto come indicato sopra per tener conto delle misure disponibili. Si utilizza a questo scopo uno schema di interpolazione che attribuisce al dato misurato un peso che decresce con l’aumentare della distanza dalla stazione di misura. In questo modo la misura influenza molto il campo di vento solo nei dintorni della stazione, mentre dove non ci sono misure il vento rimane quello prodotto al primo passo.

CALMET è in grado di leggere direttamente gli output di alcuni modelli meteorologici prognostici come CSUMM, MM4 e MM5.

Il modulo micrometeorologico presente in CALMET utilizza, sopra il suolo, il metodo di Holtslag e Van Ulden (Holtslag e Van Ulden, 1982, 1983), che calcola il flusso di calore sensibile parametrizzando i termini incogniti dell’equazione di bilancio energetico al suolo. Noto il flusso di calore sensibile, la lunghezza di Monin-Obukhov e la velocità di frizione vengono calcolati iterativamente e quindi, tenendo conto delle condizioni di stabilità atmosferica, viene determinata l’altezza dello strato di rimescolamento. Sopra l’acqua si utilizza un modello micrometeorologico diverso, in quanto l’elevata capacità termica dell’acqua non permette lo sviluppo di importanti flussi di calore sensibile verso l’atmosfera per effetto dell’irraggiamento solare. La teoria della similarità di Monin-Obukov viene utilizzata in questo caso per calcolare i flussi iterativamente basandosi su misure di vento, temperatura, gradiente di temperatura e valori della rugosità di superficie.

L’output di CALMET viene utilizzato in maniera diretta dal modello di dispersione Lagrangiano a puff CALPUFF (Scire et al., 1995) e dal modello di dispersione Euleriano fotochimico CALGRID (Yamartino et al., 1989; Yamartino et al., 1992).

CALMET è stato recentemente modificato allo scopo di migliorare gli algoritmi di interpolazione della temperatura e del calcolo delle componenti diretta, riflessa e diffusa della radiazione solare tenendo conto dell’ombra indotta dall’orografia (Bellasio et al., 2005).

4.2 CALPUFF

CALPUFF (Scire et al., 1995) è un modello di dispersione Lagrangiano a puff non stazionario. Esso simula il trasporto, la rimozione per deposizione secca ed umida, ed alcune semplici trasformazioni chimiche per diverse specie inquinanti contemporaneamente.

Il campo meteorologico in input a CALPUFF può essere variabile sia nello spazio che nel tempo. Il modello CALPUFF utilizza in maniera diretta l’output prodotto dal modello meteorologico diagnostico CALMET. Oltre a un campo meteorologico tridimensionale complesso, CALPUFF può utilizzare in input anche misure di vento provenienti da una singola centralina.

CALPUFF può essere utilizzato per simulare la dispersione su diverse scale. Esso infatti contiene sia algoritmi per la descrizione di effetti importanti in prossimità della sorgente che algoritmi importanti su scale regionali. Tra i primi ci sono fenomeni come il *building downwash*, legato alla presenza di edifici vicino al camino, il *transitional plume rise* o il *partial plume penetration*, importanti nel caso di emissioni da camini di dimensioni paragonabili a quelle dello

strato limite. Tra i secondi invece ci sono fenomeni come la deposizione secca e umida, lo *shear* verticale del vento che provoca il trasporto dell'inquinante con velocità e direzioni diverse in funzione della quota, o la descrizione della dispersione sul mare o vicino alle zone costiere.

Le sorgenti di emissione simulate dal modello possono essere puntuali, areali, lineari o volumetriche. Il rateo e gli altri parametri di emissione (velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.) possono essere costanti o variabili nel tempo.

I coefficienti di dispersione turbolenta degli inquinanti possono essere calcolati in diversi modi:

- attraverso misure dirette di turbolenza σ_v e σ_w , per esempio con un anemometro sonico,
- utilizzando i parametri di scala micrometeorologici (lunghezza di Monin-Obukhov, velocità di frizione, velocità di scala convettiva, altezza dello strato limite) presenti nell'output di CALMET,
- utilizzando le classi di stabilità di Pasquill-Gifford-Turner.

CALPUFF è indicato dalla US-EPA come modello preferito per il trasporto su lunghe distanze e suggerito anche per la simulazione del trasporto degli inquinanti su distanze relativamente brevi.

5 STIMA DELLA QUALITÀ DELL’ARIA NEI VARI SCENARI

5.1 PREMESSA

I modelli di simulazione atmosferica ricostruiscono i campi di concentrazione degli inquinanti in un numero finito di punti e per un numero finito di tempi; in altre parole lo spazio ed il tempo in tali modelli sono variabili discrete, non continue. Il dominio di calcolo deve quindi essere suddiviso in celle o griglie all’interno delle quali verrà calcolato un valore di concentrazione medio (ad esempio riferito al centro di griglia o ad un suo angolo) per una determinata ora.

Mentre da una parte è importante utilizzare celle di calcolo di dimensione piccola, dall’altra ci si scontra con i tempi di calcolo e le possibilità dei modelli. Infatti, soprattutto per gli inquinanti primari, l’utilizzo di una cella di dimensioni piccole garantisce che i valori massimi vengano correttamente riprodotti e che lo siano nelle posizioni corrette. Nel contempo però, per un dominio di dimensioni fissate, la diminuzione delle dimensioni di cella implica l’aumento del numero di celle in ogni direzione, e quindi l’aumento dei tempi di calcolo. Per fare un esempio pratico, una simulazione di dispersione con il modello CALPUFF relativa ad un intero anno, ad un dominio di 28x32 celle contenente circa 50 sorgenti puntuali e ad un singolo inquinante, richiede oltre 34000 secondi di tempo di CPU, cioè oltre 9 ore, su un PC di ultima generazione (CPU Pentium Intel 4, 3.7 GHz). Una ipotetica simulazione di dispersione sopra l’intera Sardegna con risoluzione di 1 km sarebbe caratterizzata da un dominio composto all’incirca da 155x285 celle e, ipotizzando una linearità sulla base del numero di celle, richiederebbe un tempo pari a circa 60 volte quello dell’esempio citato sopra. Tale simulazione sarebbe ovviamente improponibile su normali sistemi di calcolo.

Per ovviare a questo problema le simulazioni sono state effettuate su porzioni della regione comprendenti ampiamente le aree critiche individuate durante la fase di zonizzazione (cfr. Figura 1 e Figura 2). Le simulazioni sono state condotte inizialmente con una dimensione di cella pari a 2.5 km poiché la dimensione di cella di 5 km del dominio della simulazione meteorologica è stata ritenuta troppo ampia per fornire informazioni adeguate. Successivamente, per gli inquinanti e per le aree in cui è stato evidenziato il superamento di un valore limite, o in cui è stato giudicato probabile il superamento del valore limite, le simulazioni sono state nuovamente effettuate su un dominio di dimensioni ridotte (20x20 km²), centrato nel punto di massimo, con

una cella di dimensione 1x1 Km² in maniera da evidenziare con maggiore dettaglio il campo di concentrazione.

Le simulazioni di dispersione degli inquinanti primari indicati nel DM60/2002 sono state condotte utilizzando il modello Lagrangiano a puff CALPUFF. Tale modello, oltre ad essere affidabile in quanto raccomandato dalla US-EPA, ha anche la peculiarità di utilizzare 3 tipologie di domini di calcolo che permettono di applicare la procedura sopra descritta:

- il dominio meteorologico è definito dalla simulazione di CALMET ed è la massima area su cui possono essere effettuate simulazioni di dispersione;
- il dominio computazionale indica il dominio all’interno del quale vengono considerate le sorgenti emissive e su cui vengono simulati i fenomeni di avvezione e dispersione degli inquinanti, esso può al massimo coincidere con il dominio meteorologico;
- il dominio di campionamento è il dominio su cui vengono forniti gli output di concentrazione, esso può al massimo coincidere con il dominio computazionale.

Per il dominio di campionamento può essere fornito un fattore di nesting rispetto alle celle del dominio meteorologico, tale fattore permette di calcolare le concentrazioni con maggiore dettaglio spaziale. Ad esempio, con una cella del dominio meteorologico di dimensione pari a 5 km, come nel caso in esame, un fattore di nesting 5 indica di utilizzare celle del dominio computazionale pari a 1 km.

I domini di campionamento utilizzati per le simulazioni di qualità dell’aria relativamente agli inquinanti primari sono stati individuati sulla base delle indicazioni emerse durante la seconda fase del progetto relativamente alle zone potenzialmente critiche per la salute umana e per gli ecosistemi. Coincidono pertanto con quelli riportati nella Figura 1 e nella Figura 2 con l’aggiunta di un dominio corrispondente ad un’ampia porzione della zona di mantenimento, introdotto per verificare l’assenza di superamenti dei limiti di legge.

Le caratteristiche dei domini di calcolo selezionati sono riportate nella successiva Tabella 12, mentre la loro estensione territoriale è riportata nella Figura 28.

Dominio	Descrizione
Domino 0	Comprende l’agglomerato di Cagliari, la zona mista di Assemini, Capoterra e Elmas, e la zona industriale di Sarroch. (Dimensioni: 85x70 km ²).
Domino 1	Comprende la zona di Sassari e la zona industriale di Porto Torres. (Dimensioni: 55x100 km ²).
Domino 2	Comprende la zona di Olbia (Dimensioni: 55x75 km ²).
Domino 3	Comprende la zona industriale di Portoscuso e la zona di Iglesias. (Dimensioni: 60x70 km ²).
Domino 4	Comprende la zona di Macomer, ha interesse esclusivamente per la protezione della vegetazione. (Dimensioni: 35x45 km ²).
Domino 5	Comprende la zona di Siniscola, ha interesse esclusivamente per la protezione della vegetazione. (Dimensioni: 45x65 km ²).
Domino 6	Vasta porzione della zona di mantenimento inclusa per verificare l’assenza di superamenti dei limiti di legge. (Dimensione: 70x60 km ²).

Tabella 12 - Domini di campionamento

Al fine di utilizzare tutte le sorgenti puntuali dell’inventario, quando necessario sono state effettuate le seguenti ipotesi per rimpiazzare i dati mancanti a causa delle incompletezze delle risposte fornite dalle aziende:

- In assenza di un dato di temperatura di emissione è stata utilizzata una temperatura pari a 100 °C;
- In assenza del dato relativo all’altezza del camino è stata utilizzata un’altezza pari a 50 m;
- In assenza del dato relativo al diametro del camino è stato utilizzato un diametro pari a 0.1 m per camini di altezza non superiore a 20 m, un diametro pari a 0.3 m per camini compresi tra 20 m e 50 m di altezza, un diametro pari a 1 m per camini di altezza compresa tra 50 m e 100 m, e un diametro pari a 2 m per camini di altezza superiore a 100 m;

- In assenza della portata volumetrica essa è stata calcolata in maniera tale da ottenere una velocità di uscita dei fumi pari a 5 m/s.

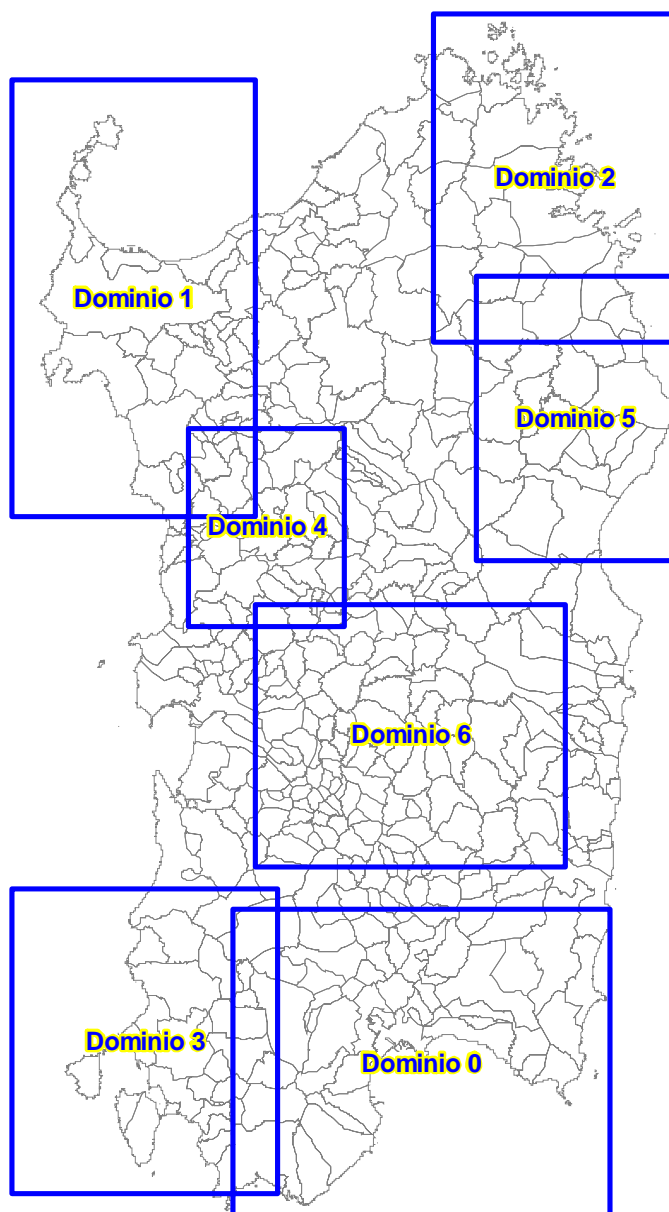


Figura 28 - Domini di campionamento delle concentrazioni degli inquinanti

5.2 CAMPO DI VENTO TRIDIMENSIONALE PER L’ANNO 2001

Il campo di vento tridimensionale per l’anno 2001 è stato “ricostruito” utilizzando il modello CALMET. Oltre al campo di vento sono stati calcolati anche i campi tridimensionali di temperatura ed i campi bidimensionali di altre variabili fondamentali per l’applicazione dei modelli di dispersione atmosferica, ad esempio l’altezza di rimescolamento, la lunghezza di Monin Obukhov, la velocità di frizione ed altre ancora.

Il dominio di simulazione si estende dal punto a sud ovest di coordinate Gauss Boaga (1420500, 4295500) al punto a nord est di coordinate Gauss Boaga (1575500, 4580500); esso è suddiviso in 31 x 57 celle di calcolo ciascuna della dimensione di 5x5 km²; l’altezza massima del dominio di calcolo è pari a 3300 m. L’orografia e le informazioni relative all’utilizzo del suolo su ciascuna cella sono mostrate in Figura 29 e in Figura 30 rispettivamente. L’orografia è stata ottenuta mediando in ogni cella i valori disponibili su un grigliato con maggiore risoluzione, mentre l’uso del suolo è stato stimato a partire dalla carta dell’uso del suolo della Regione Sardegna e valutando il valore prevalente in ogni cella.

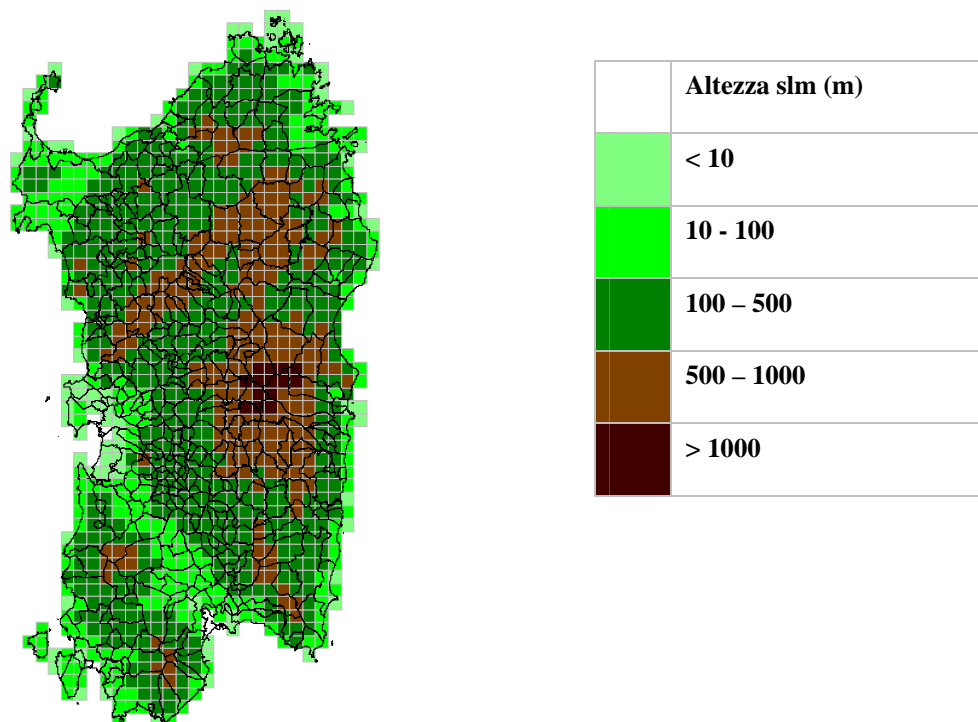


Figura 29 – Orografia della Sardegna mediata sulle celle del dominio di calcolo

Le 29 stazioni di misura delle variabili meteorologiche al suolo e la posizione del profilo verticale (aeroporto di Cagliari Elmas) sono mostrate in Figura 31 rispettivamente con cerchi e con una croce.

A titolo d’esempio, in Figura 32 e in Figura 33 vengono riportati i campi di vento a 10 m calcolati dal modelli per le ore 14 dei giorni 20 gennaio e 30 giugno 2001 rispettivamente. Sono rappresentati con colori diversi i venti caratterizzati da tre diversi intervalli di intensità.

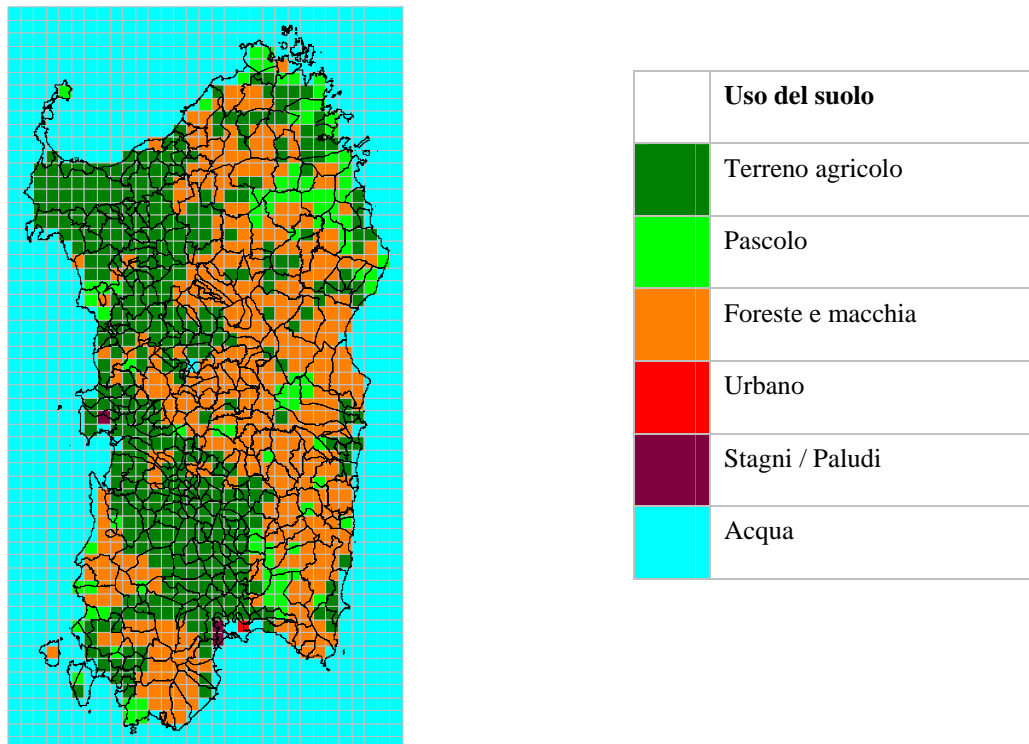


Figura 30 – Uso del suolo della Sardegna sulle celle del dominio di calcolo

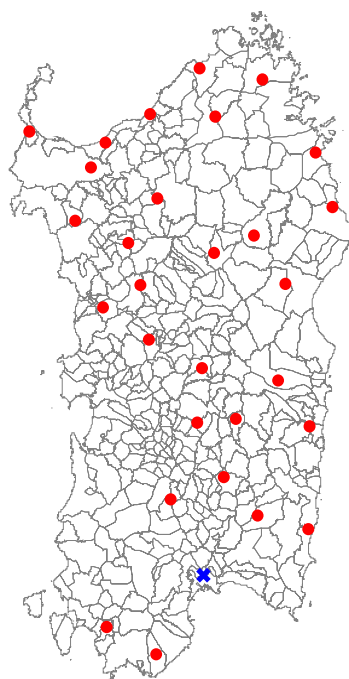


Figura 31 – Posizione delle stazioni meteorologiche superficiali e del profilo verticale.

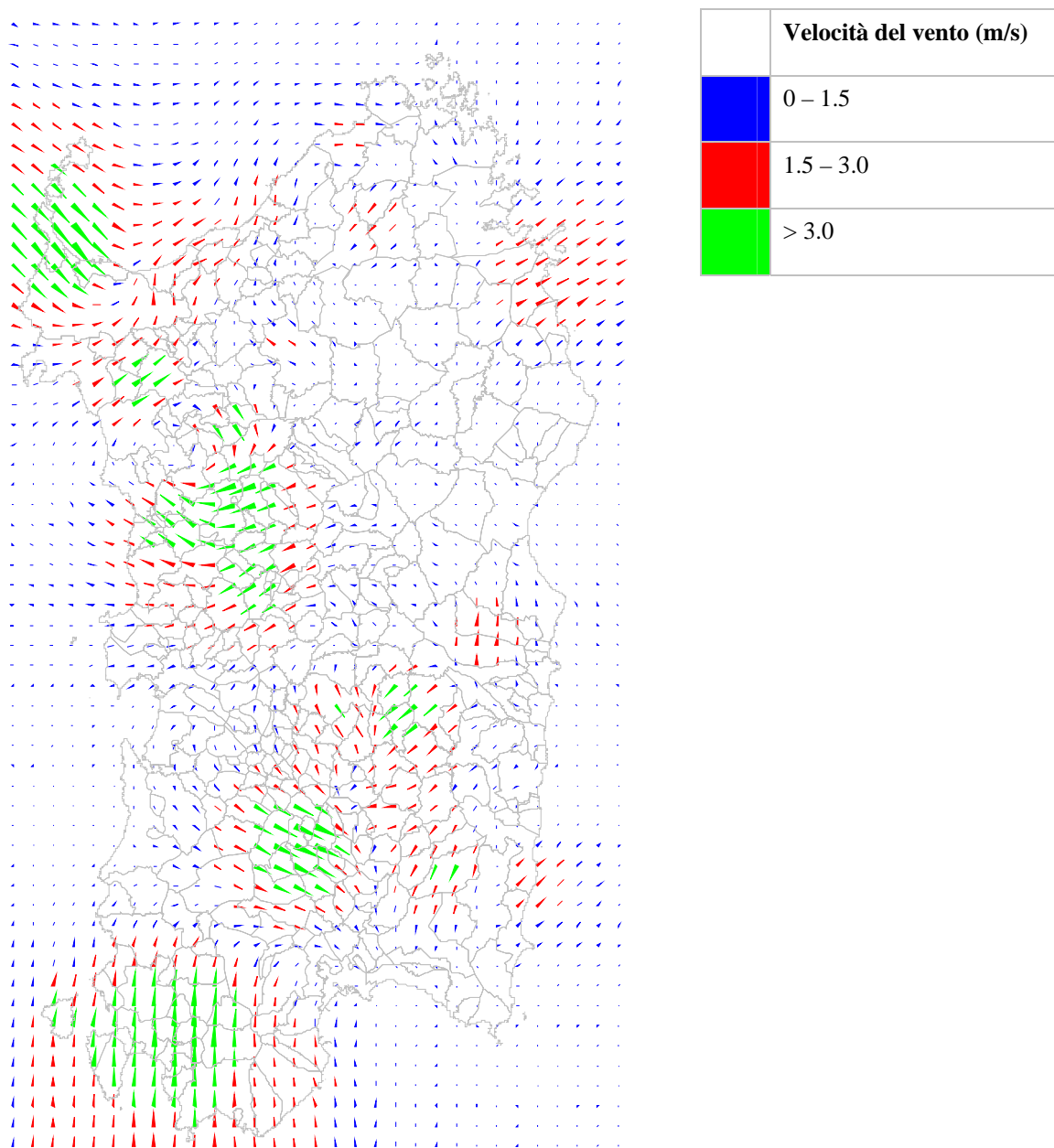


Figura 32 – Campo di velocità del vento a 10 m dal suolo per il 20 gennaio 2001 alle ore 14

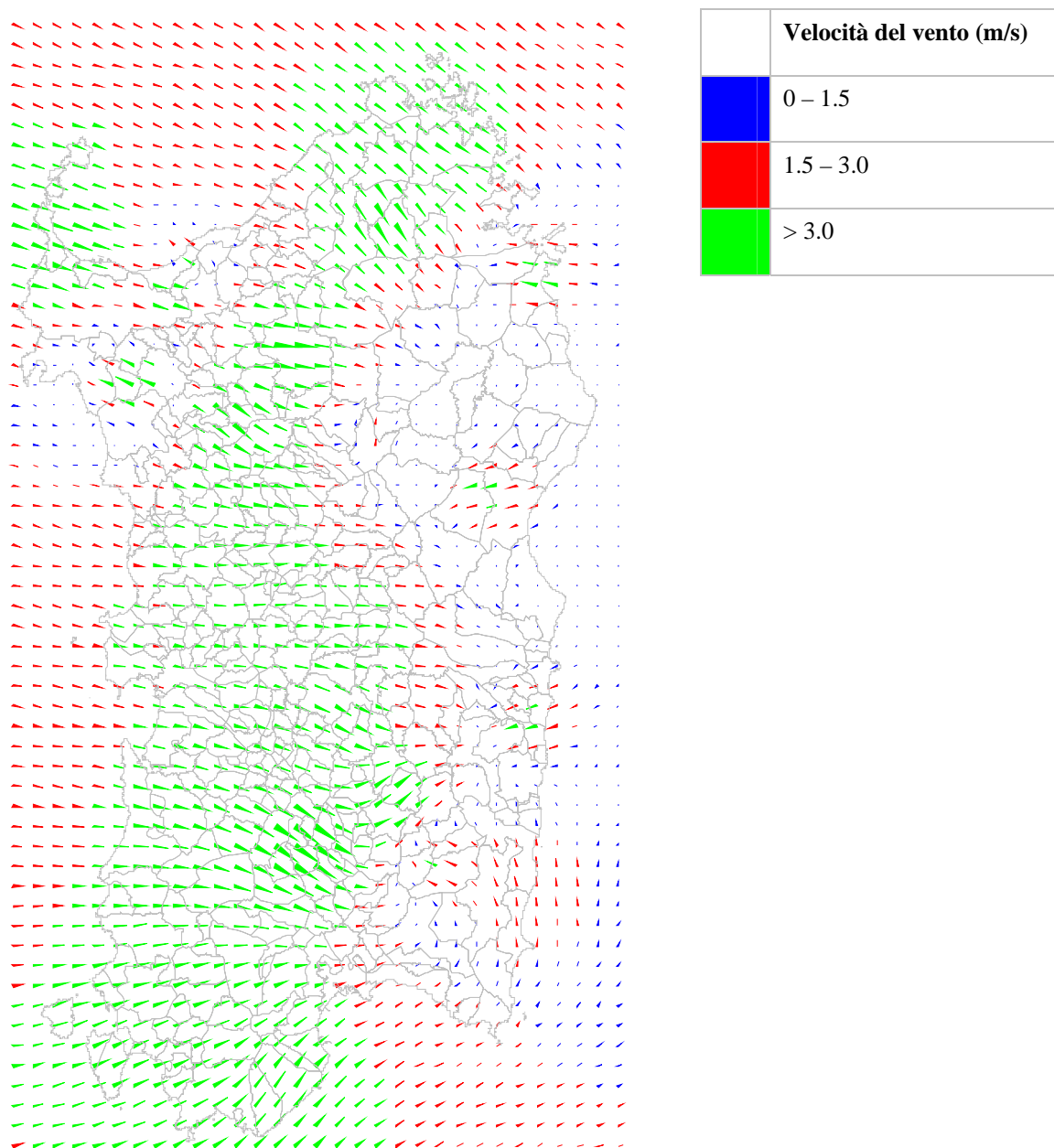


Figura 33 – Campo di velocità del vento a 10 m dal suolo per il 30 giugno 2001 alle ore 14

5.3 BENZENE - SCENARIO 2010

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce che la media annuale delle concentrazioni di benzene non superi $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; tale valore, come mostrato dai valori massimi della media annuale riportati in Tabella 13 non viene mai superato. Il dominio in cui il modello predice le concentrazioni medie più basse, pari a pochi ng/m^3 , è quello che comprende una parte della zona di mantenimento. Anche nel dominio comprendente Portoscuso le concentrazioni sono relativamente basse, il benzene infatti è un inquinante emesso principalmente dal traffico autoveicolare, in particolare dai veicoli alimentati a benzina. Le concentrazioni medie più elevate, come si evince anche dalla Figura 34, vengono predette nel dominio comprendente Olbia. Si osserva che i valori riportati nella figura sono espressi in ng/m^3 . I valori di concentrazione relativi al dominio comprendente Olbia sono dovuti al traffico autoveicolare e anche alle imbarcazioni da diporto alimentate a benzina. Il massimo relativo al dominio comprendente Porto Torres è dovuto probabilmente ad una sorgente puntuale (la sorgente puntuale di maggiore intensità per il benzene nell’intera Sardegna è ubicata in Porto Torres); in questo dominio si notano anche valori relativamente elevati che si estendono verso Sassari dovuti alle emissioni da traffico autoveicolare. Infine anche le concentrazioni elevate attorno a Cagliari sono probabilmente dovute alle emissioni del traffico autoveicolare. Per i tre domini in cui sono state predette le concentrazioni più elevate le simulazioni sono state effettuate anche su una scala ridotta utilizzando una dimensione di griglia pari ad 1 km. Tuttavia non sono state riscontrate variazioni di concentrazione fatta eccezione per il dominio comprendente Porto Torres, cioè l’unico comprendente sorgenti puntuali di benzene, in cui il valore massimo della concentrazione media annuale passa a $0.184 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

C₆H₆ – 2010	Massima media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	0.083
Dominio 1	0.114
Dominio 2	0.123
Dominio 3	0.032

C₆H₆ – 2010	Massima media annuale (µg/m³)
Dominio 6	0.009

Tabella 13 - Valori massimi della media annuale di C₆H₆ (cella di 2.5 km)

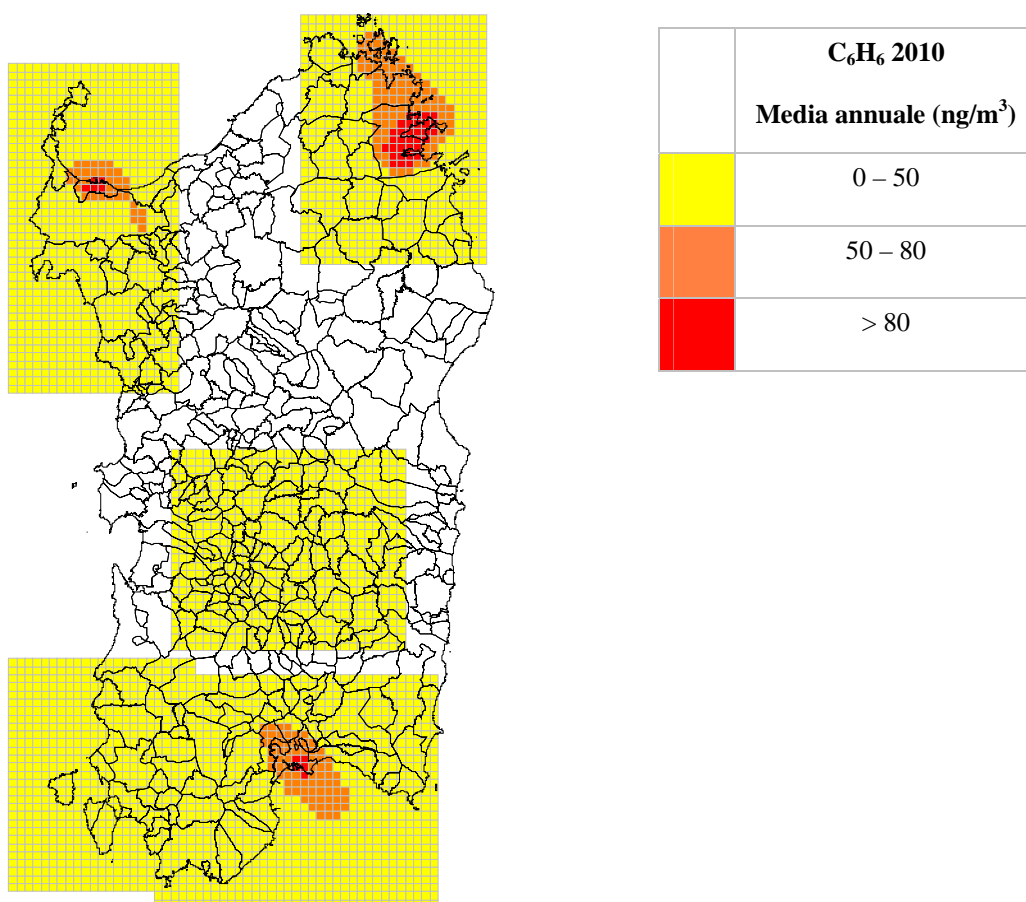


Figura 34 - Media annuale di C₆H₆ nel 2010 (domini con celle di 2.5 km)

5.4 MONOSSIDO DI CARBONIO - SCENARIO 2005

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce che la massima media giornaliera di 8 ore non superi i 10 mg/m³ (10000 µg/m³). I valori massimi delle medie di 8 ore predette dal modello per il CO nel 2005 sono riportati in Tabella 14, si osserva che il valore più elevato viene predetto per il dominio comprendente Porto Torres, ma è pari a circa un quarto del valore limite. Le mappe delle massime medie di 8 ore delle concentrazioni sono riportate in Figura 35, si nota che il dominio comprendente Portoscuso, spesso caratterizzato dai valori più elevati di concentrazione, per il CO che è un inquinante tipico da inquinamento da traffico autoveicolare, ha i valori più bassi assieme al dominio comprendente una parte della zona di mantenimento. I massimi assoluti delle concentrazioni medie di 8 ore di CO sono predetti al confine tra Porto Torres e Sassari (si ricorda che Prototorres è il comune caratterizzato dalla presenza di sorgenti puntuali di monossido di carbonio di maggiore intensità). Le zone di Olbia e di Cagliari sono caratterizzate da valori di concentrazione molto minori del limite di legge.

CO – 2005	Massima media di 8 ore (µg/m ³)
Dominio 0	517
Dominio 1	2419
Dominio 2	370
Dominio 3	79
Dominio 6	54

Tabella 14 - Valori massimi della media di 8 ore di CO (cella di 2.5 km)

Le simulazioni di dispersione relative al CO sono state effettuate con maggiore dettaglio sui tre domini in cui sono state predette le concentrazioni massime utilizzando celle di dimensione di 500 m ed un dominio di 10 km di lato centrato attorno al punto di massimo. I valori massimi delle medie di 8 ore sono riportati in Tabella 14; si nota che i massimi relativi ai domini comprendenti Cagliari e Olbia rimangono pressoché invariati, mentre il massimo relativo al dominio comprendente Porto Torres aumenta fino ad arrivare quasi al valore limite di legge. La mappa di concentrazione relativa a tale dominio è riportata in Figura 36. Le mappe di

concentrazione relative agli altri due domini indagati in dettaglio sono riportate in Figura 37 e in Figura 38.

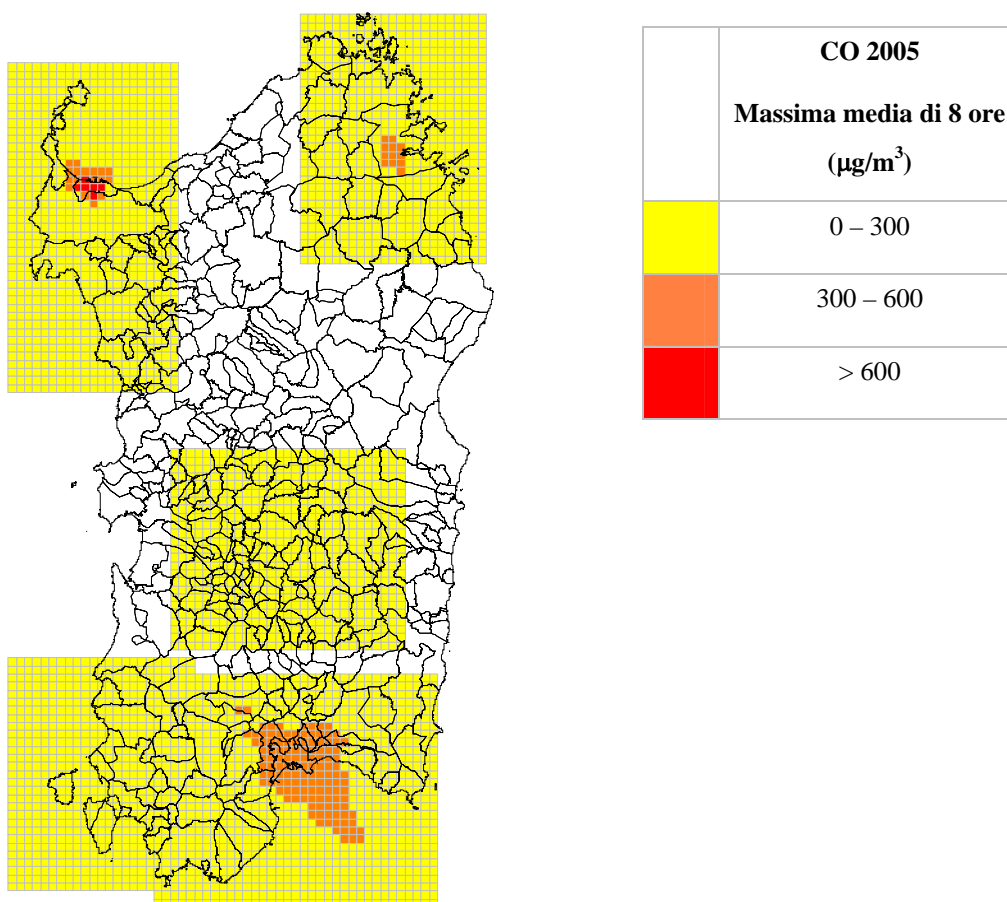


Figura 35 - Massima media di 8 ore di CO nel 2005 (domini con celle di 2.5 km)

CO – 2005	Massima media di 8 ore ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	527
Dominio 1	9261
Dominio 2	380

Tabella 15 - Valori massimi della media di 8 ore di CO (cella di 0.5 km)

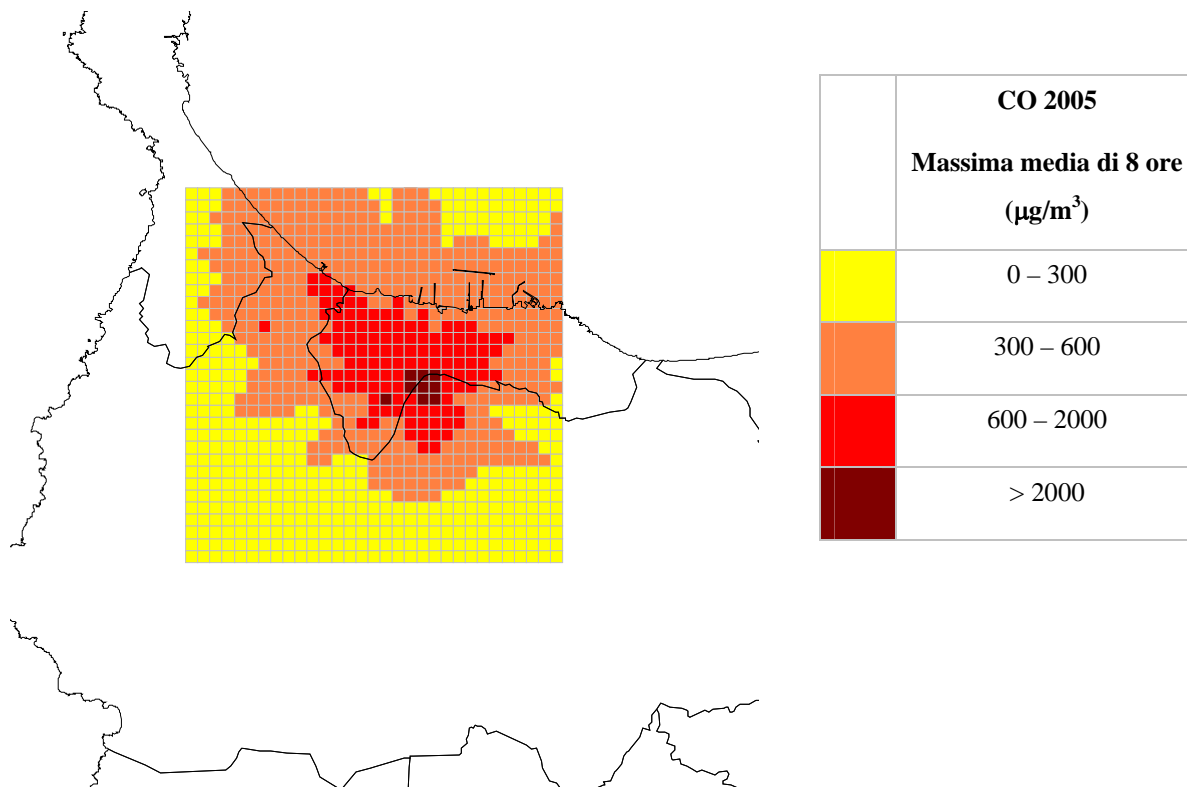


Figura 36 - Massima media di 8 ore di CO nel 2005 (dominio con celle di 0.5 km; Sardegna nord occidentale)

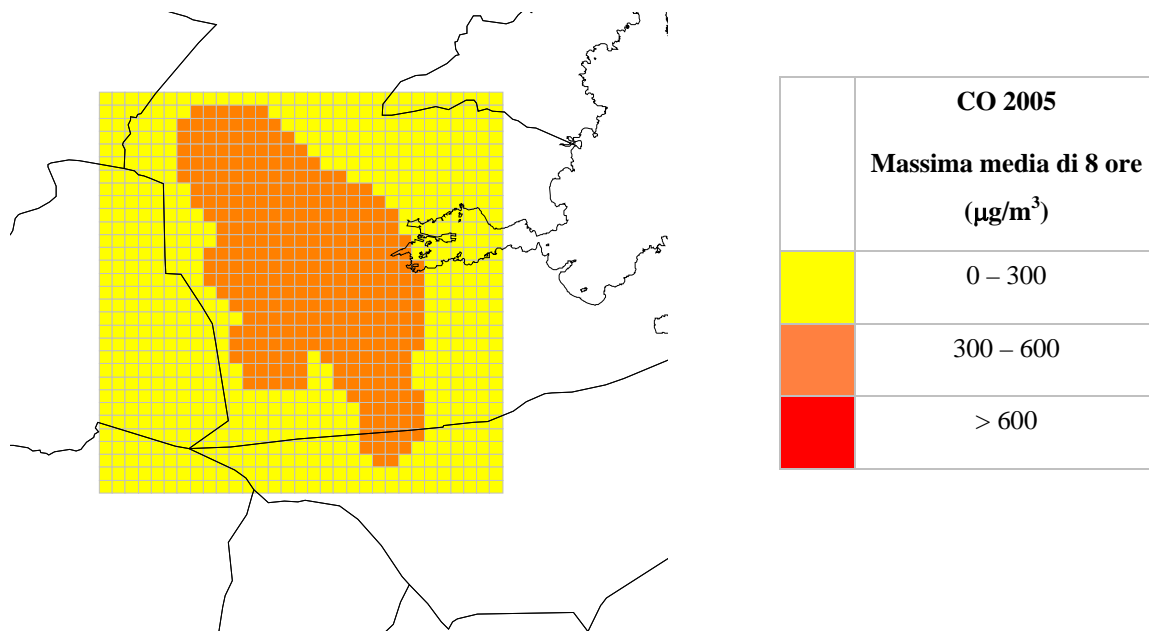


Figura 37 - Massima media di 8 ore di CO nel 2005 (dominio con celle di 0.5 km; Sardegna nord orientale)

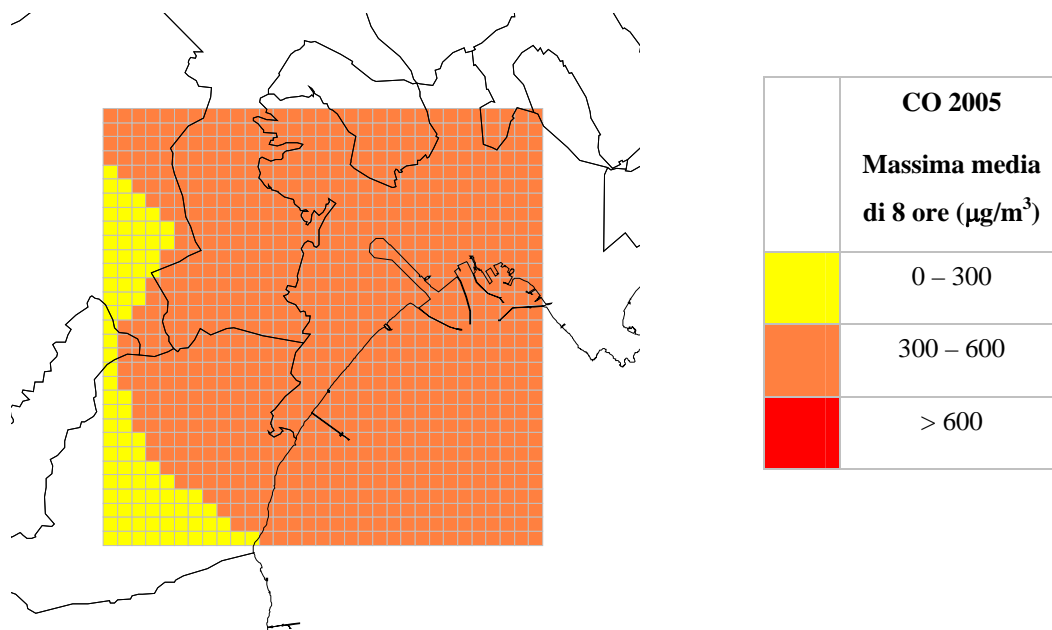


Figura 38 - Massima media di 8 ore di CO nel 2005 (dominio con celle di 0.5 km; Sardegna meridionale)

5.5 PIOMBO - SCENARIO 2005

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce che la media annuale delle concentrazioni di piombo non superi $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; tale valore, come mostrato dai valori massimi della media annuale riportati in Tabella 16 non viene mai superato. Si osserva che il dominio in cui si hanno concentrazioni più elevate è quello che comprende il comune di Portoscuso; l’elevata presenza di metalli in tale zona è stata confermata anche dalla campagna di monitoraggio condotta con i deposimetri nell’ambito di questo progetto. Tuttavia anche i valori di concentrazione predetti per questo dominio sono al massimo poco superiori a $10 \text{ ng}/\text{m}^3$, cioè 50 volte inferiori al limite stabilito dalla legge. All’interno del dominio di simulazione comprendente una vasta porzione della zona di mantenimento i valori massimi calcolati risultano addirittura dell’ordine di qualche pg/m^3 , cioè centomila volte inferiori al limite di legge.

La Figura 39 illustra le mappe di concentrazione relative alle medie annuali di piombo nei domini di simulazione; si osserva che i valori riportati sono espressi in ng/m^3 . Come si nota in tutti i domini di simulazione, fatta eccezione per una cella di calcolo tra Cagliari e Capoterra e per una vasta zona attorno a Portoscuso, i valori medi di concentrazione sono inferiori ad $1 \text{ ng}/\text{m}^3$. E’ stato effettuato uno studio con maggiore dettaglio spaziale (cella di 1 km) attorno al massimo predetto nel dominio di Portoscuso; il valore massimo della media annuale tuttavia rimane lontano dal limite di legge, attestandosi attorno a $26 \text{ ng}/\text{m}^3$. La mappa di concentrazione relativa a questa simulazione viene riportata in Figura 40.

Pb – 2005	Massima media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	0.001335
Dominio 1	0.000103
Dominio 2	0.000028
Dominio 3	0.012143
Dominio 6	0.000004

Tabella 16 - Valori massimi della media annuale di Pb (cella di 2.5 km)

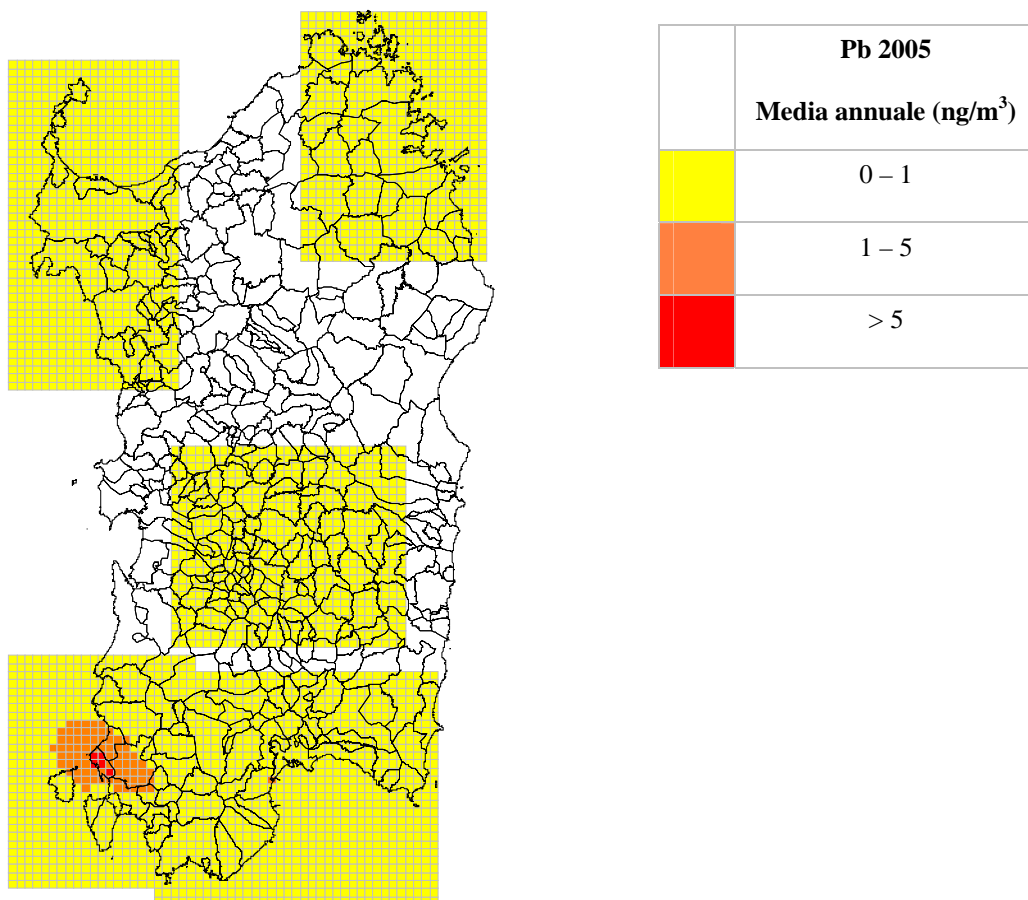


Figura 39 - Media annuale di Pb nel 2005 (domini con celle di 2.5 km)

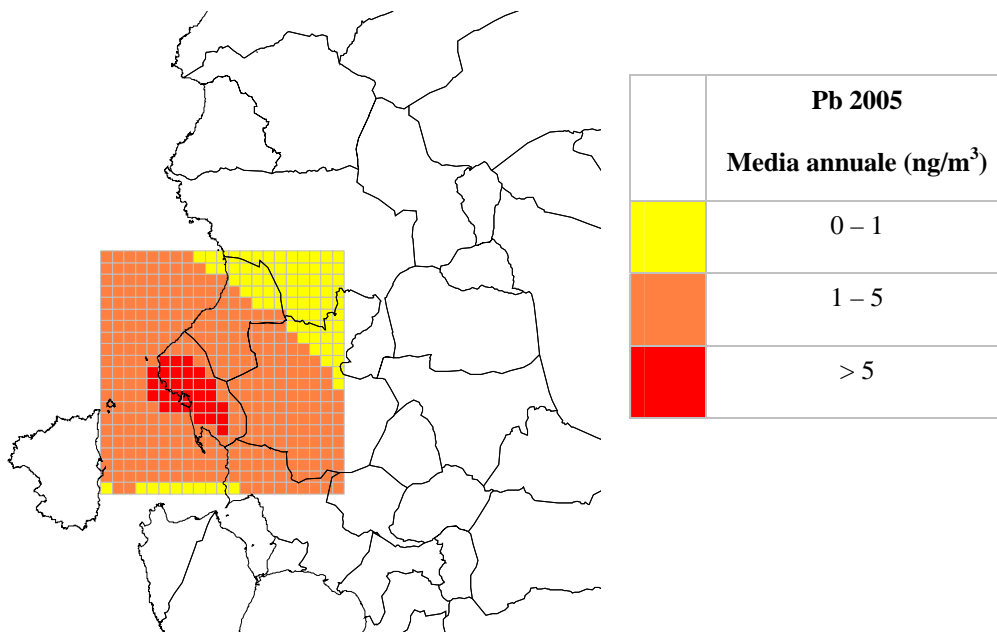


Figura 40 - Media annuale di Pb nel 2005 attorno a Portofino (domini con celle di 1.0 km)

5.6 OSSIDI DI AZOTO - SCENARIO 2001

Il valore medio sull’anno civile che non deve essere superato ai fini della protezione della vegetazione è pari a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori massimi delle concentrazioni medie annuali predetti sui domini di simulazione sono riportati in Tabella 17, mentre i le mappe relative alle concentrazioni medie annuali sono illustrate in Figura 52. I valori massimi delle medie annuali di ossidi di azoto sono così bassi ovunque che non si ritiene probabile il superamento del valore limite all’interno di nessun dominio. Si nota come, nel caso della zona di Cagliari, i massimi di concentrazione sono sia sul mare che su diversi comuni costieri. Si osserva comunque che i massimi indicano concentrazioni non superiori a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cioè 6 volte più piccole del valore limite. I valori relativamente elevati che si osservano nella zona nord del dominio comprendente Cagliari sono dovuti alla presenza di una sorgente puntuale, mentre i valori a sud di Cagliari sono dovuti alle emissioni industriali di Sarroch, al traffico autoveicolare ed al traffico marittimo. Nel dominio comprendente una porzione della zona di mantenimento il valore massimo della concentrazione media annuale di NO_x risulta inferiore ad $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

NO_x - 2001	Massima media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	4.7
Dominio 1	4.8
Dominio 2	0.7
Dominio 3	4.4
Dominio 4	0.3
Dominio 5	2.6
Dominio 6	< 1

Tabella 17 - Valori massimi delle medie annuali di NO_x (Cella di 2.5 km)

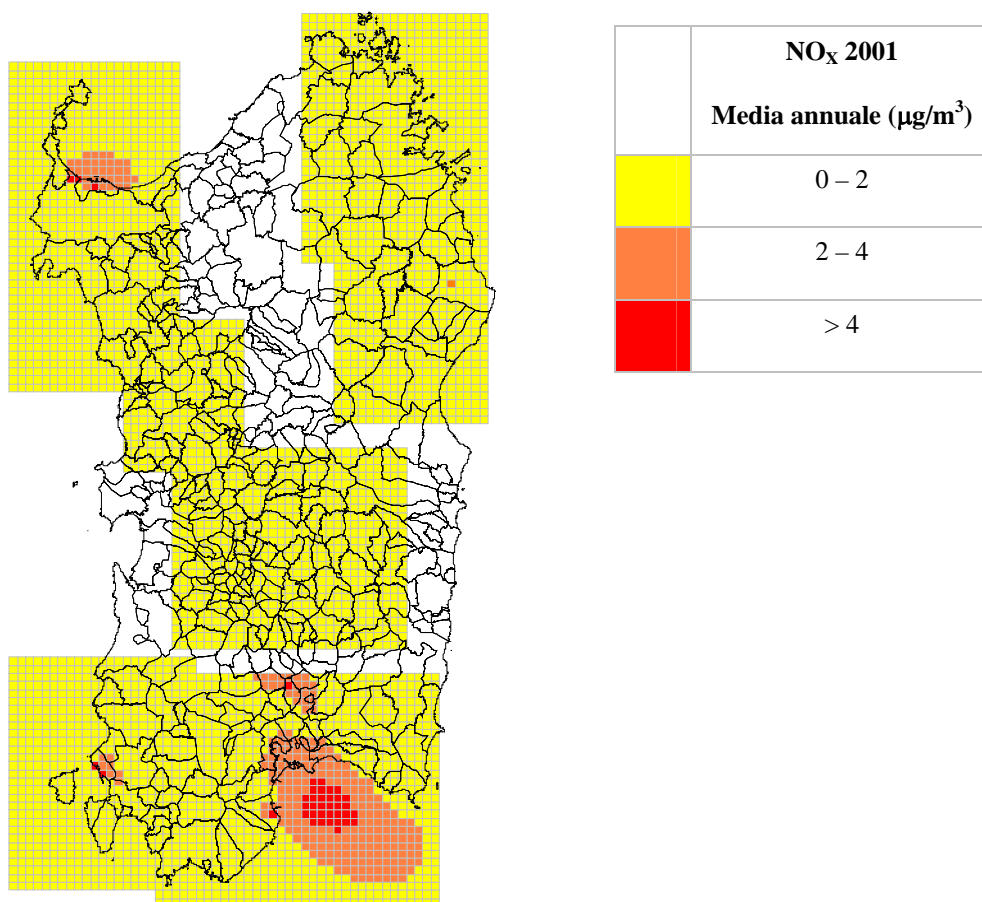


Figura 41 - Concentrazioni medie annuali di NO_x nel 2001 (domini con celle di 2.5 km)

5.7 PM10 - SCENARIO 2005

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce due parametri: il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera che non deve essere superato più di 35 volte in un anno e il valore medio annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale. Tenendo conto del numero di giorni in un anno, il primo limite equivale a dire che il percentile 90.41 della media giornaliera non deve superare il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I valori massimi dei parametri calcolati per lo scenario 2005 relativo al PM10 sono indicati in Tabella 18. Si nota che la tabella non contiene informazioni relative alle zone di esclusivo interesse per la protezione della vegetazione (Dominio 4 e Dominio 5). Dai valori riportati in tabella si osserva che: nel dominio di simulazione comprendente una vasta porzione della zona di mantenimento i valori calcolati risultano molto bassi, ad ulteriore conferma della scelta effettuata durante la fase di zonizzazione. Il percentile relativo alla concentrazione media giornaliera non viene mai superato, e nemmeno le concentrazioni massime giornaliere superano mai il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (la massima media giornaliera viene predetta per il dominio comprendente Portoscuso ed è pari a $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Anche la concentrazione media annuale predetta risulta molto inferiore al limite di legge.

La Figura 42 e la Figura 43 illustrano le mappe di concentrazione relative ai percentili delle concentrazioni medie giornaliere ed alle concentrazioni medie annuali. Si osserva che non vi sono superamenti ed i valori rappresentati sono molto bassi.

Per i domini comprendenti Portoscuso, in cui viene predetta la massima concentrazione oraria, e per i domini comprendenti Sarroch e Porto Torres, sono state effettuate simulazioni di maggior dettaglio utilizzando celle di dimensione 1 km. Anche con questa indagine di dettaglio, come mostrato in Tabella 19, non sono stati rilevati superamenti dei valori limite. La mappa dei percentili delle concentrazioni medie giornaliere corrispondenti alle simulazioni di dettaglio è illustrata in Figura 44 per Portoscuso, in Figura 45 per Porto Torres e in Figura 46 per Sarroch.

PM10 – 2005	Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentile 90.41 della media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	7.6	2.1	0.8
Dominio 1	6.2	3.1	1.1
Dominio 2	2.9	1.6	0.5
Dominio 3	22.4	5.4	1.8
Dominio 6	< 1	< 1	< 1

Tabella 18 - Valori massimi dei parametri calcolati per PM10 (cella di 2.5 km)

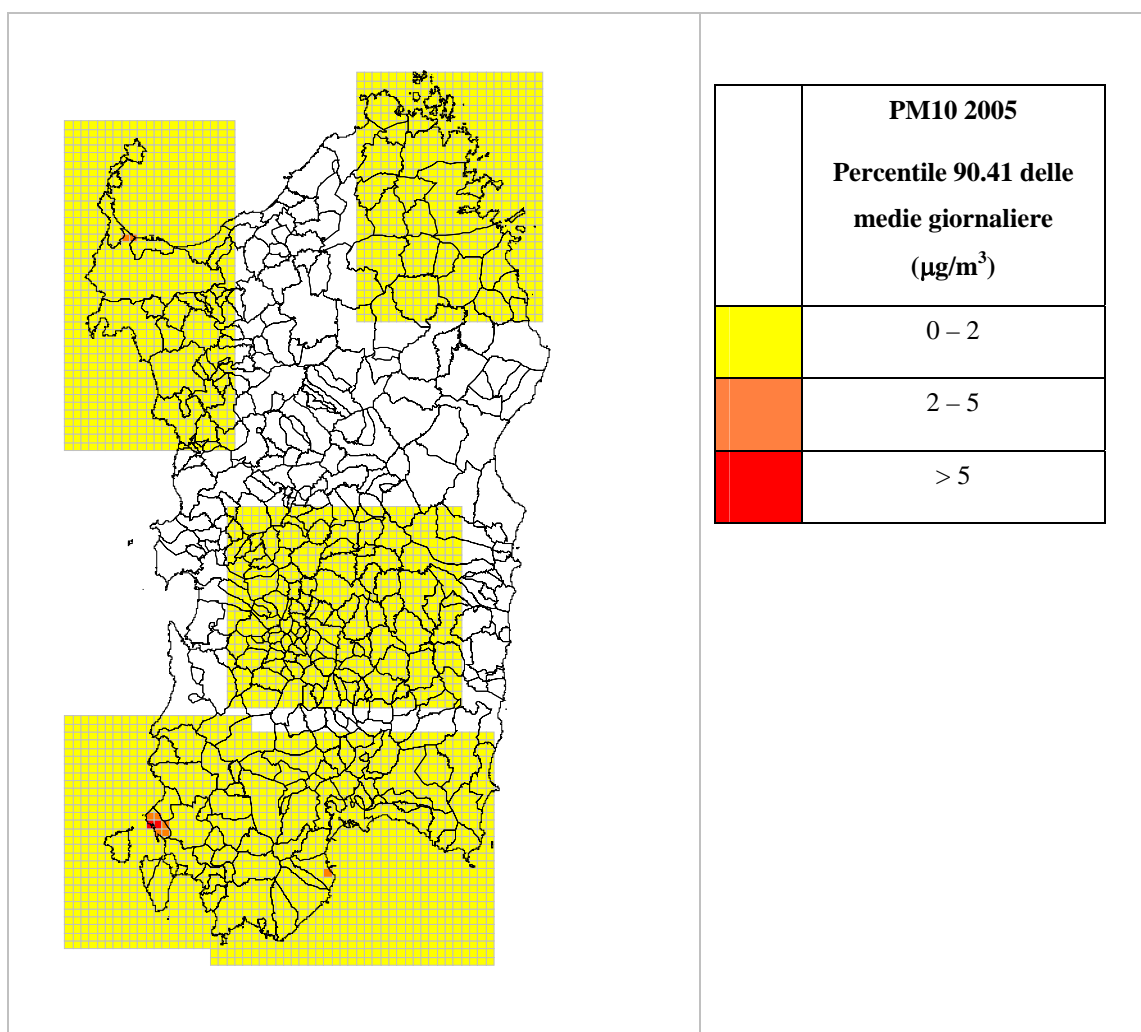


Figura 42 - Percentile 90.41 delle medie giornaliere di PM10 nel 2005 (domini con celle di 2.5 km)

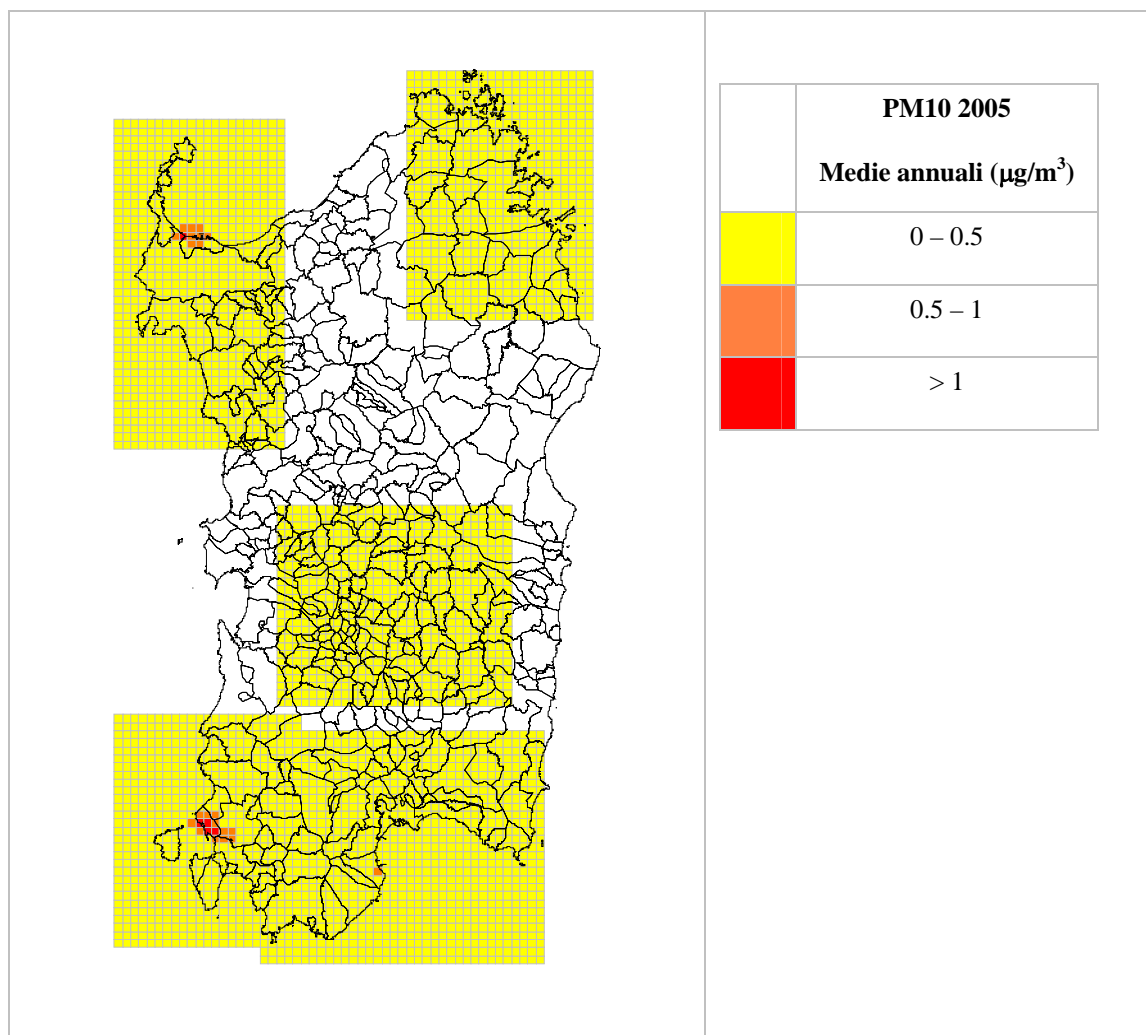


Figura 43 - Medie annuali di PM10 nel 2005 (domini con celle di 2.5 km).

PM10 – 2005	Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentile 90.41 della media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	13.6	3.4	1.0
Dominio 1	27.5	9.7	3.6
Dominio 3	50.0	10.1	3.7

Tabella 19 - Valori massimi dei parametri calcolati per PM10 (cella di 1.0 km)

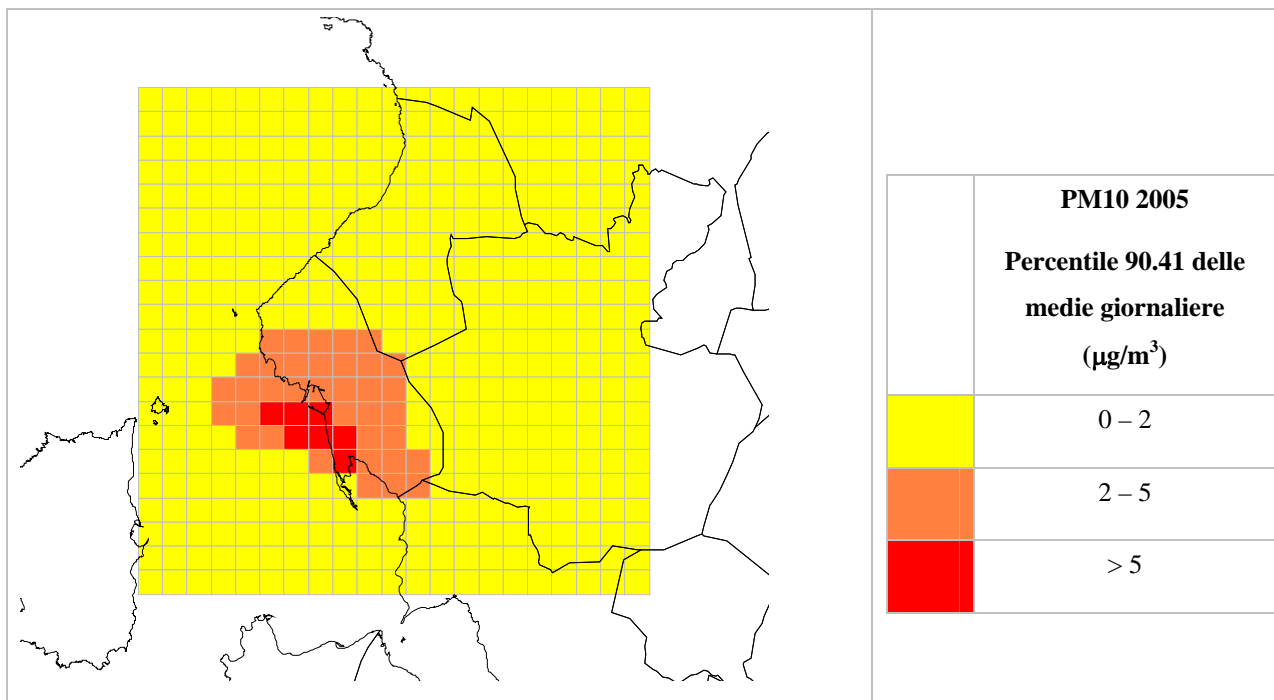


Figura 44 - Percentile 99.41 delle medie giornaliere di PM10 nel 2005 (dominio comprendente Portoscuso; celle di 1.0 km)

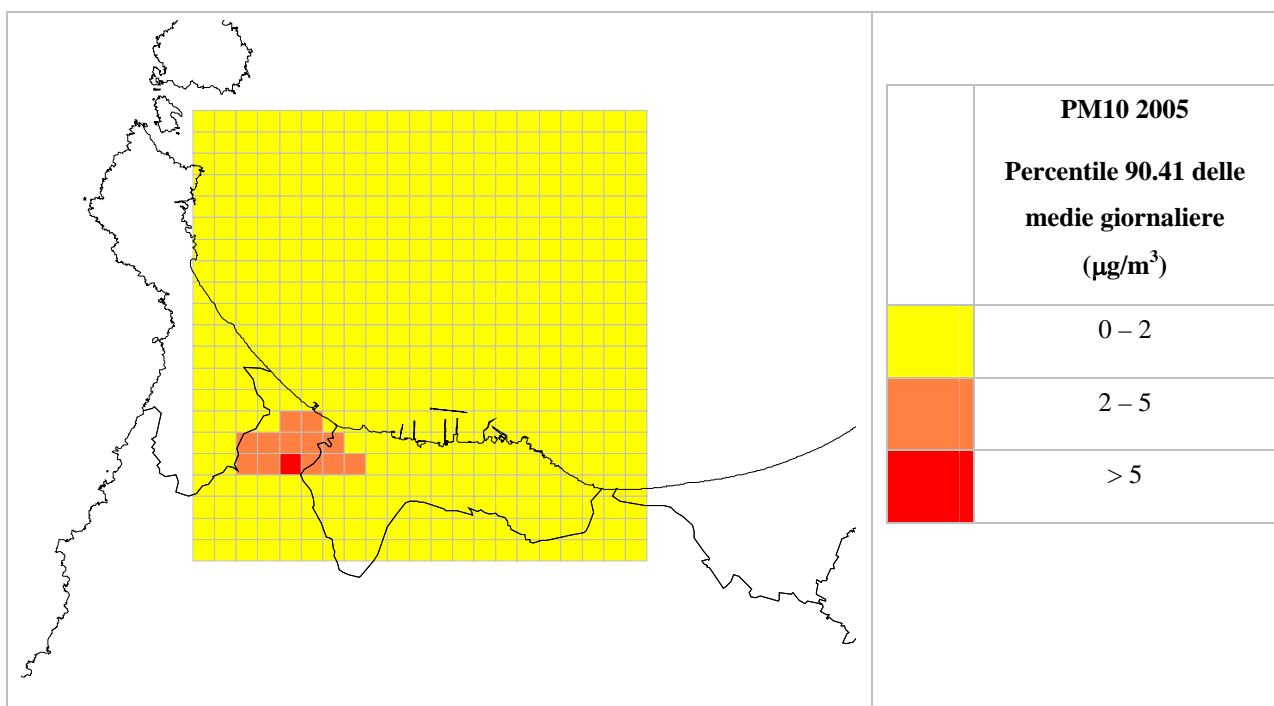


Figura 45 - Percentile 99.41 delle medie giornaliere di PM10 nel 2005 (dominio comprendente Porto Torres; celle di 1.0 km)

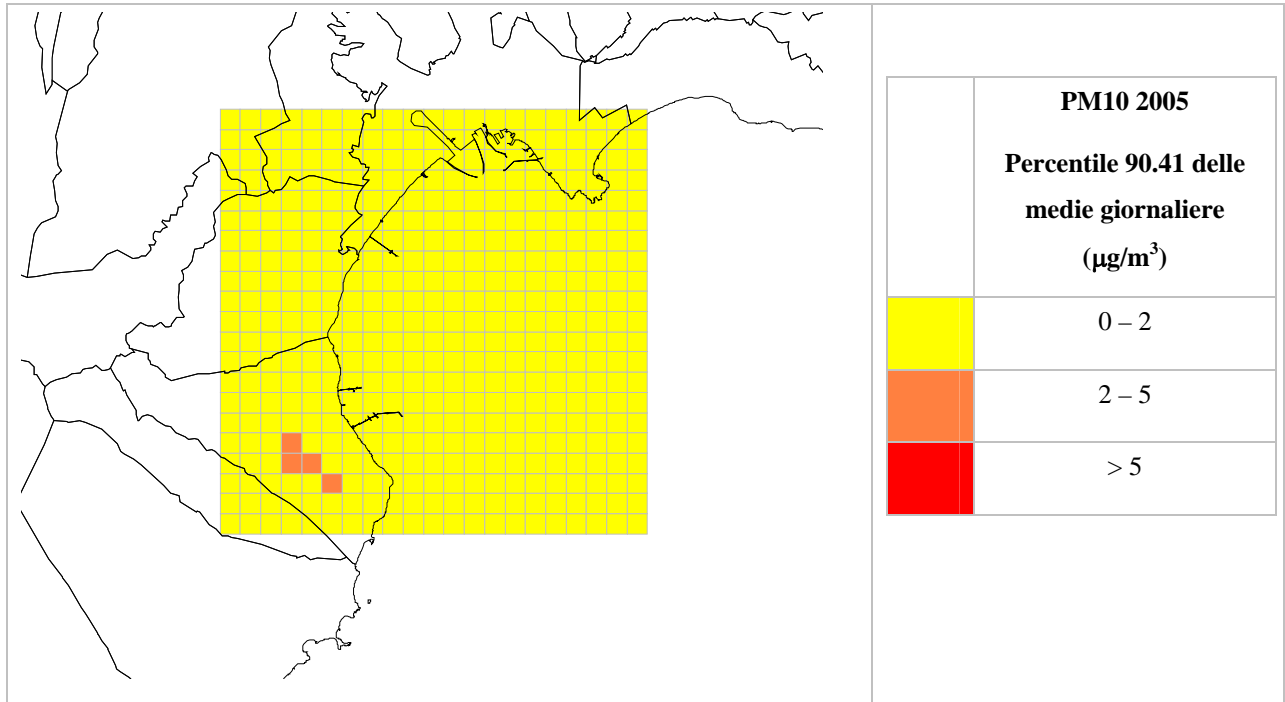


Figura 46 - Percentile 99.41 delle medie giornaliere di PM10 nel 2005 (dominio comprendente Sarroch; celle di 1.0 km)

5.8 PM10 - SCENARIO 2010

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce due parametri: il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera che non deve essere superato più di 7 volte in un anno, e il valore medio annuale di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale. Tenendo conto del numero di giorni in un anno, il primo limite equivale a dire che il percentile 98.08 della media giornaliera non deve superare il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I valori massimi dei parametri calcolati per lo scenario 2010 relativo al PM10 sono indicati in Tabella 20. Si nota che la tabella non contiene informazioni relative alle zone di esclusivo interesse per la protezione della vegetazione (Dominio 4 e Dominio 5). Si osserva che per lo scenario 2010 la situazione rimane pressoché invariata rispetto allo scenario 2005, ciò è coerente con la variazione delle emissioni dal 2005 al 2010 (Tabella 10) che è pari al -3.7%.

Dai valori riportati in tabella si osserva che anche questo scenario conferma l’assenza di problemi di qualità dell’aria all’interno dello scenario comprendente una porzione della zona di mantenimento. Il percentile relativo alla concentrazione media giornaliera non viene mai superato, e nemmeno le concentrazioni massime giornaliere superano mai il valore di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (la massima media giornaliera viene predetta per il dominio comprendente Portoscuso ed è pari a $22.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Anche la concentrazione media annuale predetta risulta molto inferiore al limite di legge.

La Figura 47 e la Figura 48 illustrano le mappe di concentrazione relative ai percentili delle concentrazioni medie giornaliere ed alle concentrazioni medie annuali. Rispetto allo scenario 2005 per il PM10 si osserva che la mappa relativa ai percentili mostra un’area di concentrazioni elevate (nel senso di maggiori di $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) più ampia nel dominio comprendente Portoscuso, che compare uno spot di concentrazione elevata anche in Cagliari, dovuto probabilmente alle emissioni autoveicolari, e che si evidenziano concentrazioni elevate anche attorno ad Olbia. Si ricorda che il percentile di interesse nello scenario di riferimento 2005 è il 90.41, mentre nell’attuale scenario è il 98.08.

Anche per lo scenario 2010 del PM10 sono stati ulteriormente studiati i domini comprendenti Portoscuso, Porto Torres e Sarroch con celle di calcolo di dimensione 1 km.. La Tabella 21 mostra che, come per lo scenario 2005, in questa indagine di dettaglio non sono stati rilevati superamenti del valore limite; tuttavia si nota un aumento dei valori di concentrazione rispetto al

2005, aumento dovuto al fatto che i valori limite per il 2010 sono più restrittivi rispetto a quelli del 2005. La mappa dei percentili delle concentrazioni medie giornaliere corrispondenti alle simulazioni di dettaglio è illustrata in Figura 49 per Portoscuso, in Figura 50 per Porto Torres e in Figura 51 per Sarroch.

PM10 – 2010	Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentile 98.08 della media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	7.4	3.5	0.8
Dominio 1	7.5	6.1	1.1
Dominio 2	2.9	2.4	0.5
Dominio 3	22.4	8.6	1.8
Dominio 6	< 1	< 1	< 1

Tabella 20 - Valori massimi dei parametri calcolati per PM10 (cella di 2.5 km)

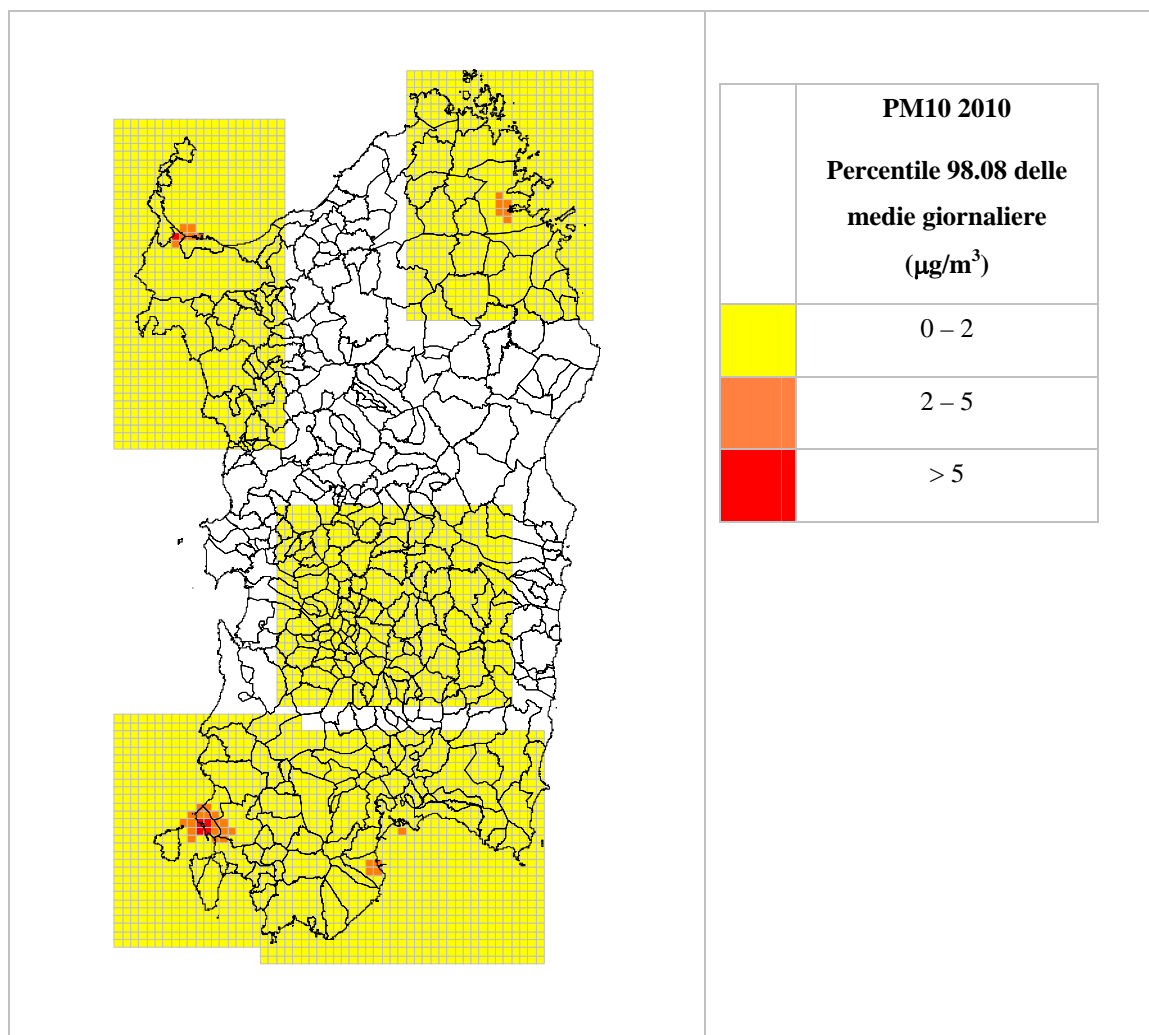


Figura 47 - Percentile 98.08 delle medie giornaliere di PM10 nel 2010 (domini con celle di 2.5 km)

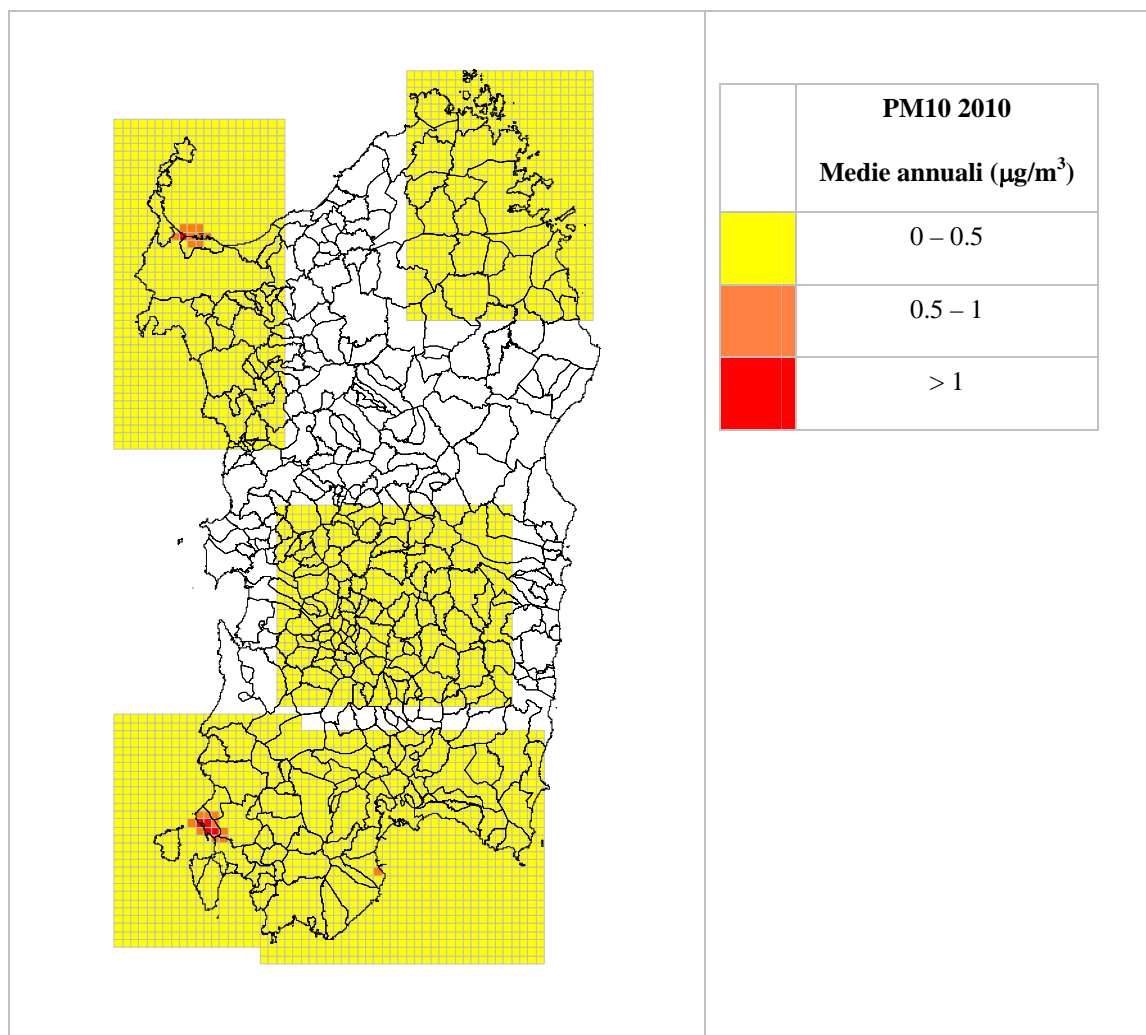


Figura 48 - Medie annuali di PM10 nel 2010 (domini con celle di 2.5 km)

PM10 – 2010	Massima media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Percentile 90.41 della media giornaliera ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	13.6	6.9	1.0
Dominio 1	29.2	15.1	3.7
Dominio 3	50.0	23.2	3.7

Tabella 21 - Valori massimi dei parametri calcolati per PM10 (2010; cella di 1.0 km)

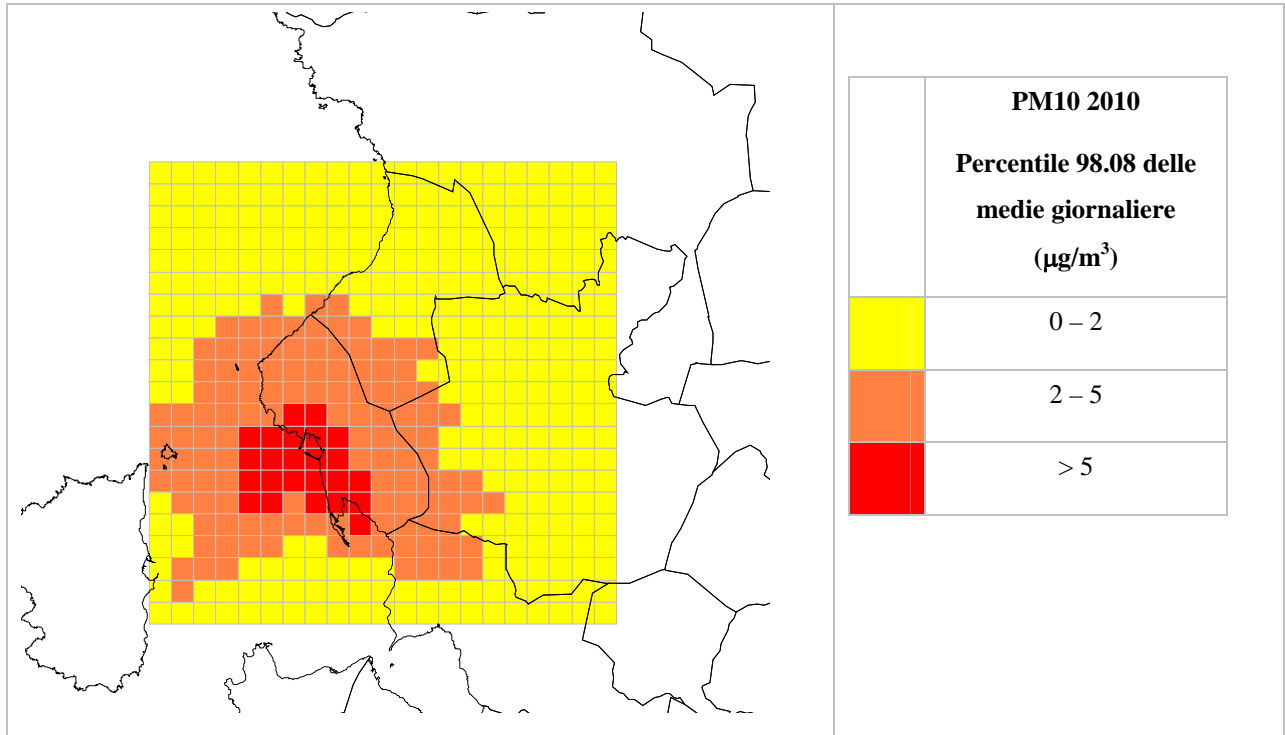


Figura 49 - Percentile 98.08 delle medie giornaliere di PM10 nel 2010 (dominio comprendente Portoscuso; celle di 1.0 km)

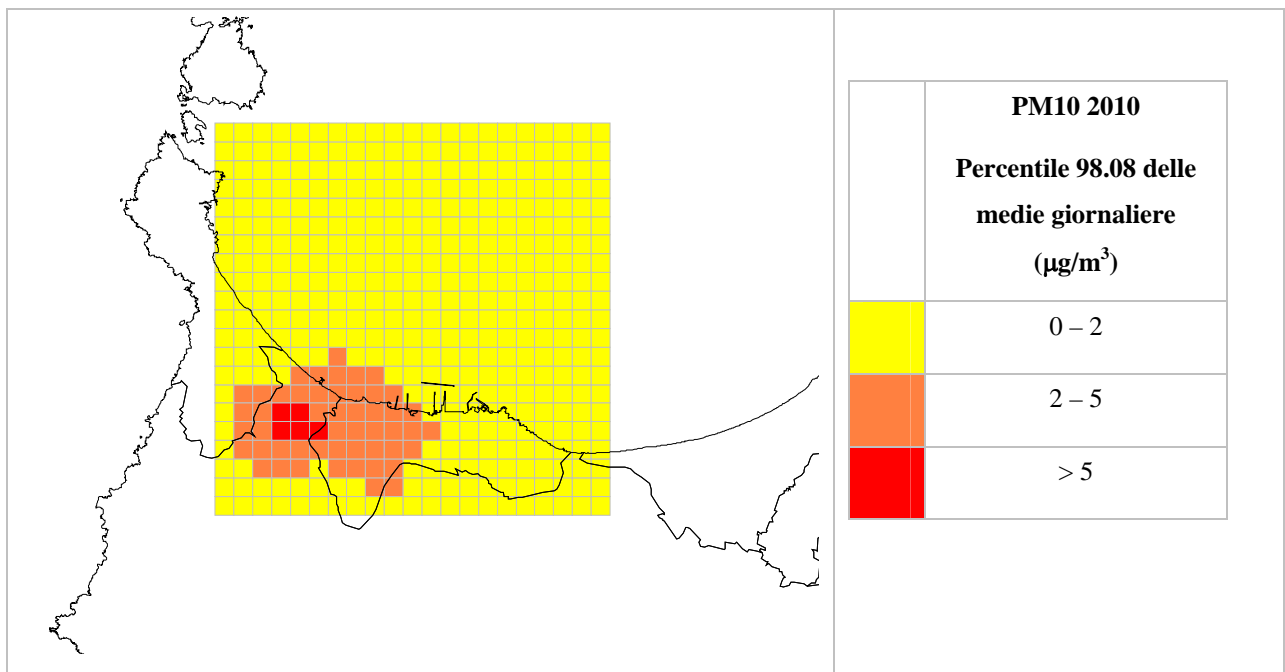


Figura 50 - Percentile 98.08 delle medie giornaliere di PM10 nel 2010 (dominio comprendente Porto Torres; celle di 1.0 km)

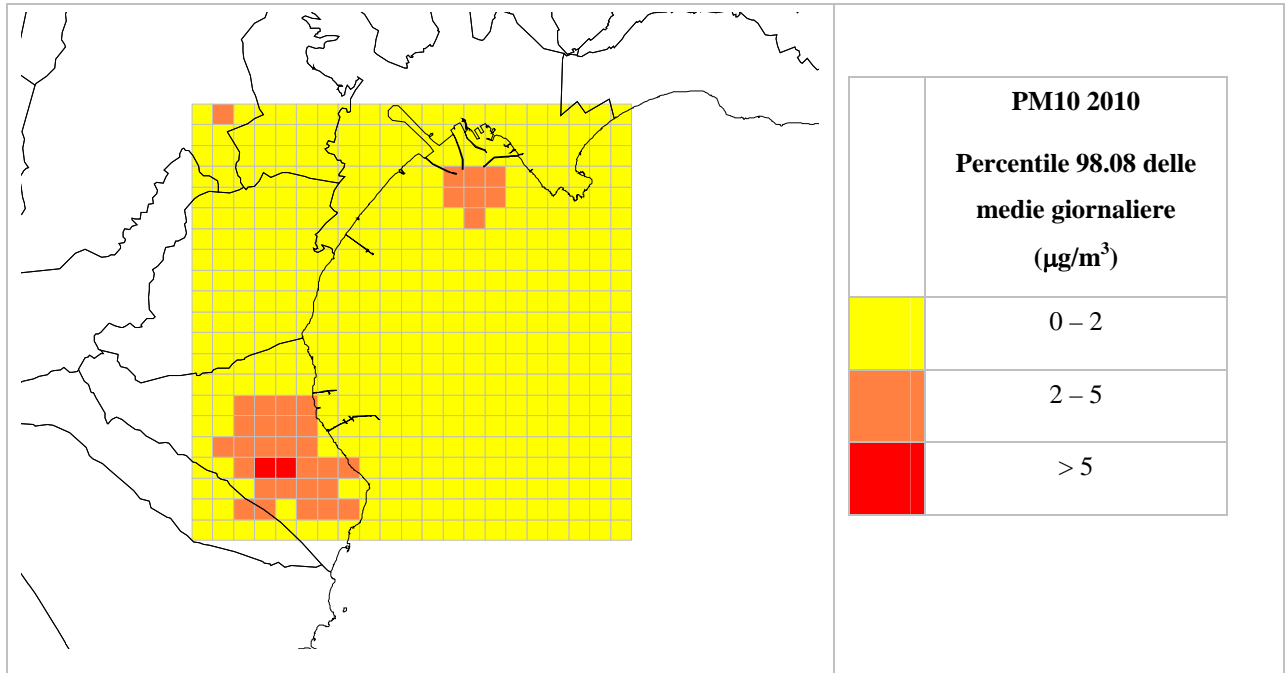


Figura 51 - Percentile 98.08 delle medie giornaliere di PM10 nel 2010 (dominio comprendente Sarroch; celle di 1.0 km)

5.9 BIOSSIDO DI ZOLFO - SCENARIO 2001

Il valore medio sull’anno civile che non deve essere superato ai fini della protezione della vegetazione è pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori massimi delle concentrazioni medie annuali predetti sui domini di simulazione sono riportati in Tabella 22, mentre i le mappe relative alle concentrazioni medie annuali sono illustrate in Figura 52. Il valore massimo della concentrazione media annuale non supera mai il valore limite all’interno di nessun dominio di calcolo; i valori più elevati sono predetti, nell’ordine, nei domini che comprendono Porto Torres, Portoscuso e Cagliari. Nel dominio comprendente una porzione della zona di mantenimento il valore massimo della concentrazione media annuale di SO_2 risulta inferiore ad $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo stesso avviene per i domini comprendenti Macomer e Siniscola. Per i tre domini in cui sono stati predetti i valori più elevati sono state condotte ulteriori simulazioni utilizzando una dimensione di cella pari ad 1 km. I valori massimi delle concentrazioni medie annuali di SO_2 all’interno di questi domini sono riportati in Tabella 23; come logico tutti i valori sono aumentati, ma in nessun dominio viene superato il valore limite di legge. Le mappe di concentrazione corrispondenti a queste nuove simulazioni sono illustrate in Figura 53 per la parte settentrionale della Sardegna ed in Figura 54 per la parte meridionale..

SO₂ - 2001	Massima media annuale ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dominio 0	7.9
Dominio 1	10.6
Dominio 2	4.8
Dominio 3	9.1
Dominio 4	< 1
Dominio 5	< 1
Dominio 6	< 1

Tabella 22 - Valori massimi delle medie annuali di SO_2 (cella di 2.5 km)

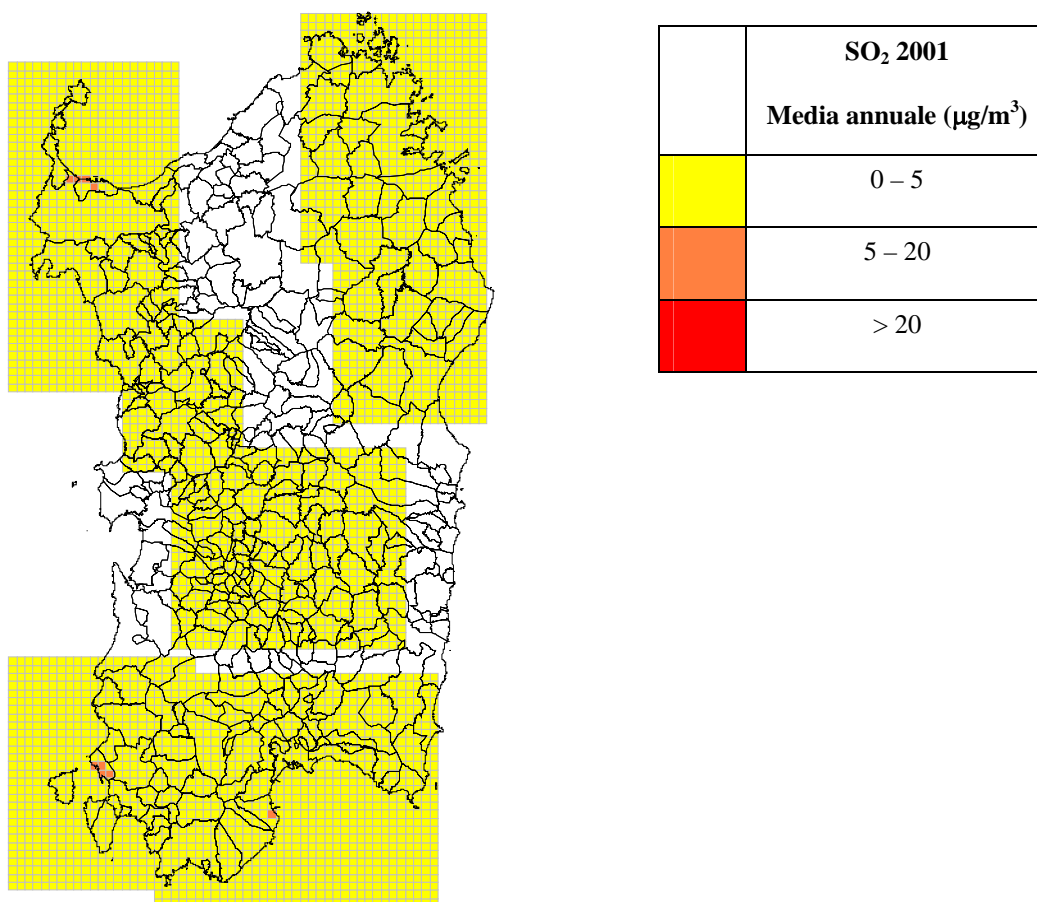


Figura 52 - Concentrazioni medie annuali di SO₂ nel 2001 (domini con celle di 2.5 km)

SO ₂ - 2001	Massima media annuale (µg/m ³)
Dominio 0	12.2
Dominio 1	16.3
Dominio 3	17.8

Tabella 23 - Valori massimi delle medie annuali di SO₂ (cella di 1.0 km)

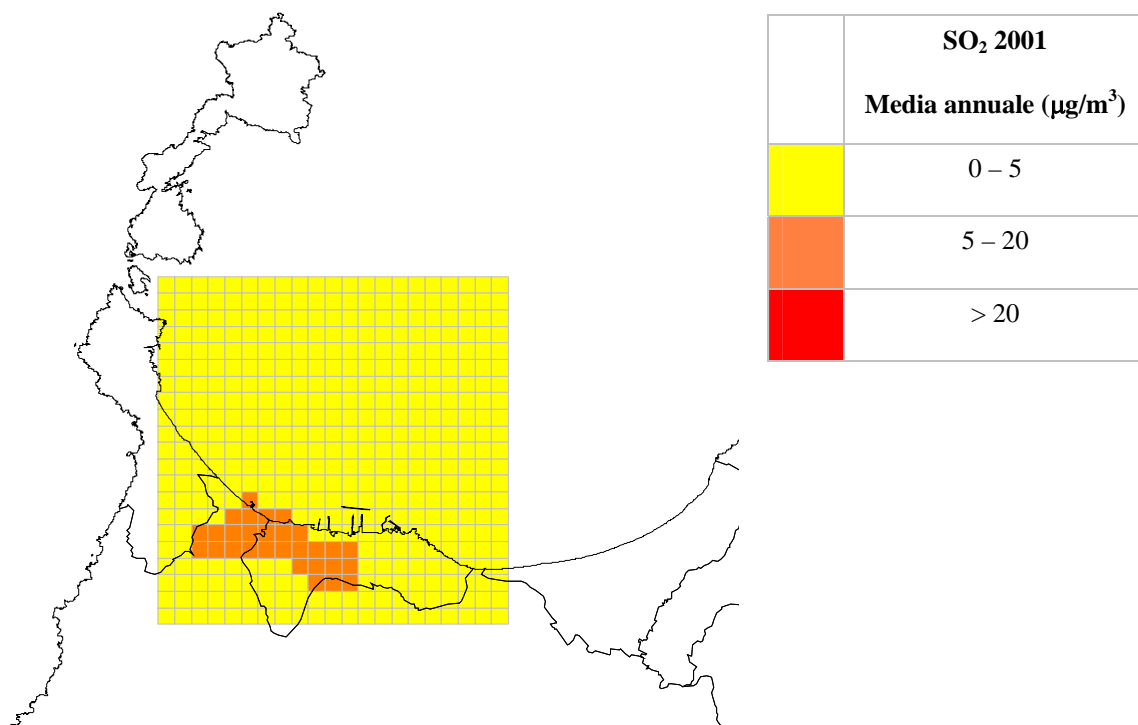


Figura 53 - Concentrazioni medie annuali di SO₂ nel 2001 (domini con celle di 1.0 km; Sardegna settentrionale)

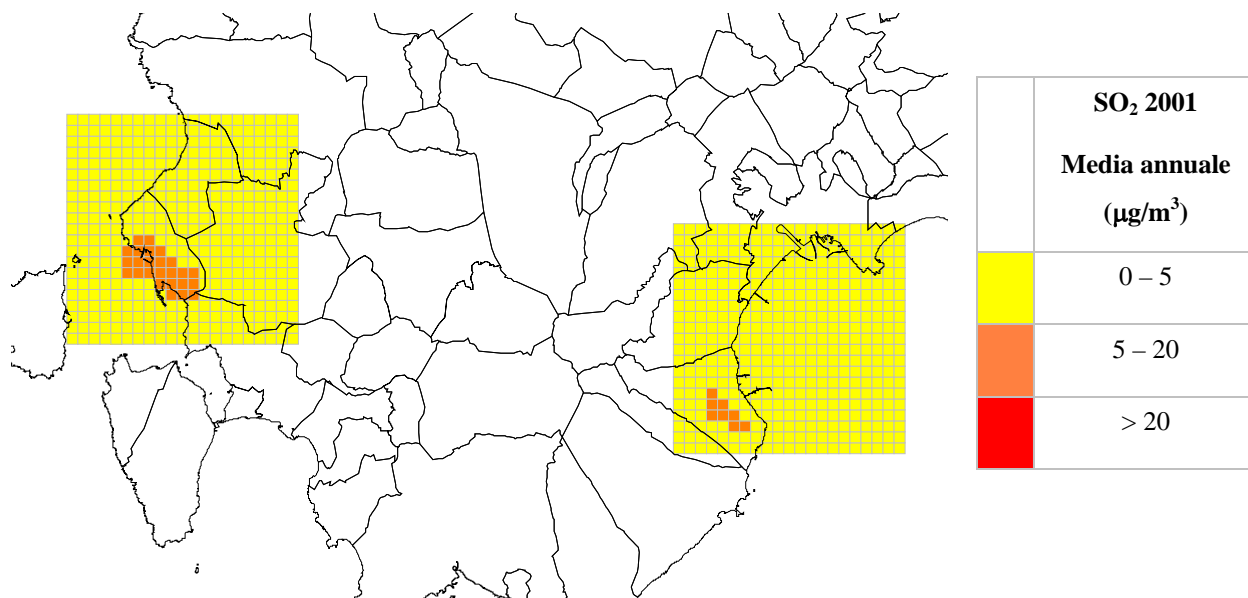


Figura 54 - Concentrazioni medie annuali di SO₂ nel 2001 (domini con celle di 1.0 km; Sardegna meridionale)

5.10 BIOSSIDO DI ZOLFO – SCENARIO 2005

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce due parametri: il valore di 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media oraria che non deve essere superato più di 24 volte in un anno, e il valore di 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera che non deve essere superato più di 3 volte in un anno. Tenendo conto del numero di ore e del numero di giorni in un anno, tali limiti equivalgono a dire che il percentile 99.73 della media oraria e il percentile 99.18 della media giornaliera non devono superare rispettivamente i valori di 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I valori massimi dei parametri calcolati per lo scenario 2005 relativo al biossido di zolfo sono indicati in Tabella 24. Si nota che la tabella non contiene informazioni relative alle zone di esclusivo interesse per la protezione della vegetazione (Dominio 4 e Dominio 5). Dai valori riportati in tabella si osserva che:

- Nel dominio di simulazione comprendente una vasta porzione della zona di mantenimento i valori calcolati risultano molto bassi, ad ulteriore conferma della scelta effettuata durante la fase di zonizzazione.
- Il percentile relativo alla concentrazione media giornaliera non viene mai superato e nemmeno le concentrazioni massime giornaliere superano mai il valore di 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Il percentile relativo alla concentrazione media oraria viene superato all’interno del dominio comprendente Porto Torres e i valori massimi orari sono superiori a 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sia in questo dominio che nei domini comprendenti Portoscuso e Cagliari; si ritiene quindi probabile il superamento del valore limite anche all’interno di questi domini che verranno ulteriormente indagati con celle di dimensione 1 km.

La Figura 55 e la Figura 56 illustrano le mappe di concentrazione relative ai percentili di interesse per la media oraria e la media giornaliera rispettivamente. Si osserva che i superamenti del valore limite avvengono nella parte più settentrionale del comune di Sassari che si incunea tra i comuni di Porto Torres e di Stintino. I valori massimi di concentrazione per il dominio comprendente Cagliari sono predetti all’interno del comune di Sarroch, mentre i valori massimi all’interno del dominio comprendente Portoscuso sono predetti sul territorio del comune stesso.

Come anticipato, per i tre domini in cui sono stati predetti i valori massimi orari più elevati sono state condotte ulteriori simulazioni utilizzando una dimensione di cella pari ad 1 km. La Tabella

25 riporta i valori massimi dei parametri predetti dal modello in queste simulazioni di dettaglio. Si nota che il percentile relativo alla media giornaliera risulta sempre inferiore al limite di legge, mentre il percentile relativo alla media oraria viene superato nei tre domini per cui è stata condotta l’analisi di dettaglio.

Le mappe dei percentili delle concentrazioni medie orarie corrispondenti alle simulazioni di dettaglio sono illustrate in Figura 57 per il dominio comprendente Porto Torres e in Figura 58 per i domini comprendenti Portoscuso e Cagliari. La Figura 59 mostra la posizione e il numero di superamenti del valore limite relativo alla media oraria di SO₂ per il dominio comprendente Porto Torres. I superamenti del limite di legge sono indicati in grassetto e in rosso, essi avvengono in due zone distinte e sono quindi attribuibili, con molta probabilità, a due diverse sorgenti. La Figura 60 mostra i superamenti per il dominio comprendente Portoscuso; si osserva che il massimo numero di superamenti viene predetto sopra il mare, mentre il secondo massimo, sempre superiore al limite di legge, è predetto in una cella di calcolo che contiene una parte della cittadina. La Figura 61 mostra i superamenti per il dominio comprendente Sarroch; si osserva che il limite di legge viene superato in due celle di calcolo situate a Est della cittadina, in particolare la cella in cui è predetto il massimo numero di superamenti contiene una parte di Sarroch. La Figura 62, la Figura 63 e la Figura 64 mostrano infine i superamenti della media giornaliera di SO₂ nei tre domini di simulazione in esame. Si osserva che il limite di legge (3 superamenti) non viene mai superato.

SO ₂ – 2005	Massima media oraria (µg/m ³)	Percentile 99.73 della media oraria (µg/m ³)	Massima media giornaliera (µg/m ³)	Percentile 99.18 della media giornaliera (µg/m ³)
Dominio 0	1014.4	254.7	68.2	55.8
Dominio 1	1031.0	531.5	87.9	59.3
Dominio 2	122.7	62.7	28.7	24.3
Dominio 3	896.4	278.2	72.0	57.3
Dominio 6	< 1	< 1	< 1	< 1

Tabella 24 - Valori massimi dei parametri calcolati per SO₂ (cella di 2.5 km)

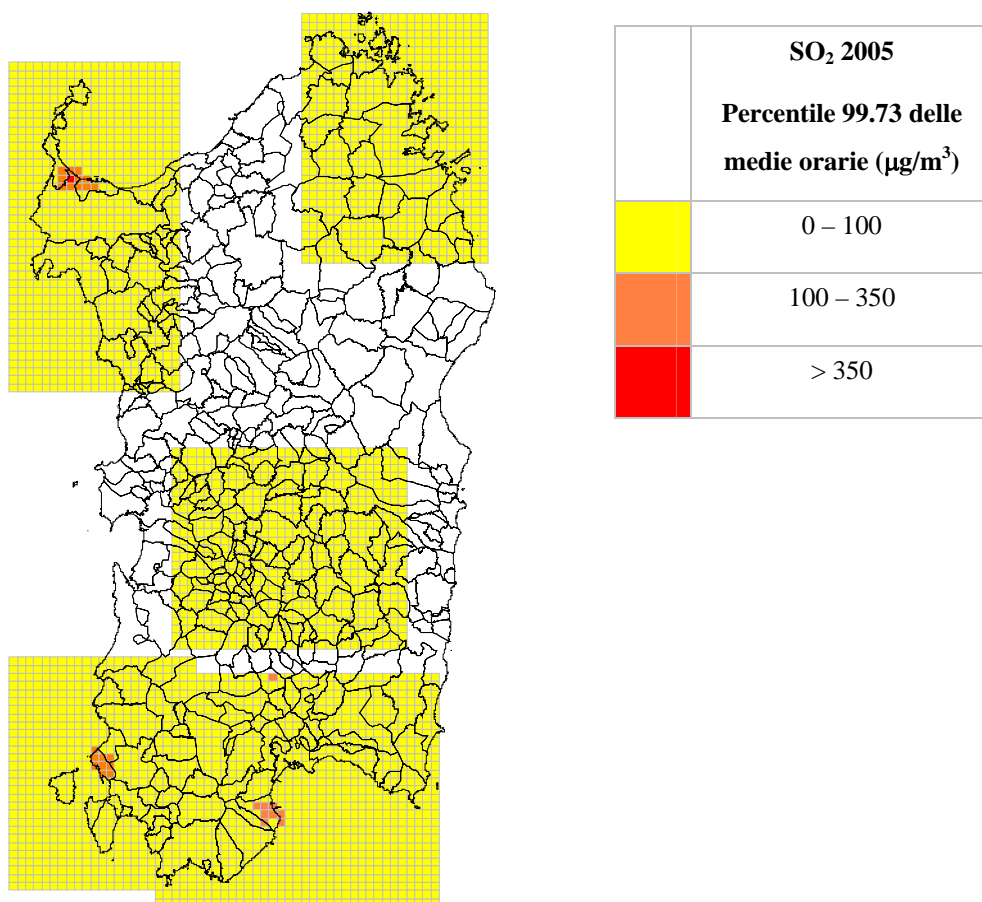


Figura 55 - Percentile 99.73 delle medie orarie di SO₂ nel 2005 (domini con celle di 2.5 km)

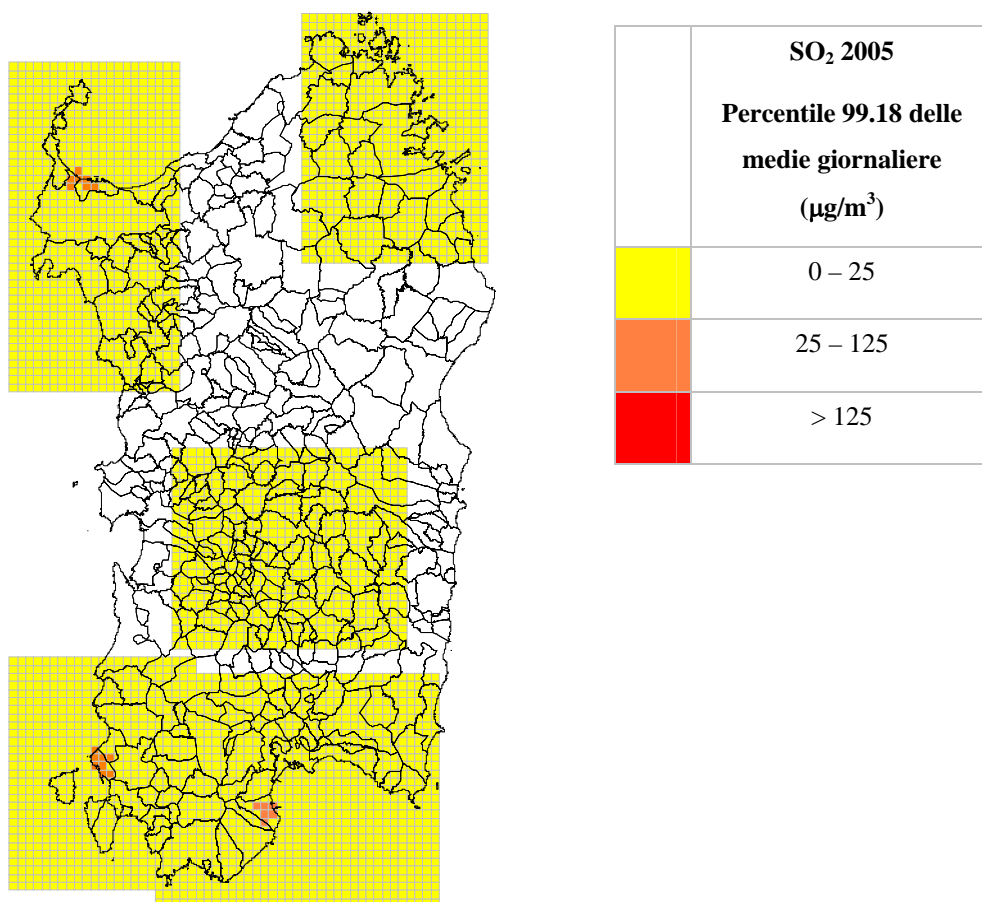


Figura 56 - Percentile 99.18 delle medie giornaliere di SO₂ nel 2005 (domini con celle di 2.5 km)

SO ₂ – 2005	Massima media oraria (µg/m ³)	Percentile 99.73 della media oraria (µg/m ³)	Massima media giornaliera (µg/m ³)	Percentile 99.18 della media giornaliera (µg/m ³)
Dominio 0	1767.10	493.03	195.18	101.09
Dominio 1	1134.9	540.8	187.8	101.2
Dominio 3	1531.19	454.06	130.32	91.44

Tabella 25 - Valori massimi dei parametri calcolati per SO₂ (cella di 1.0 km)

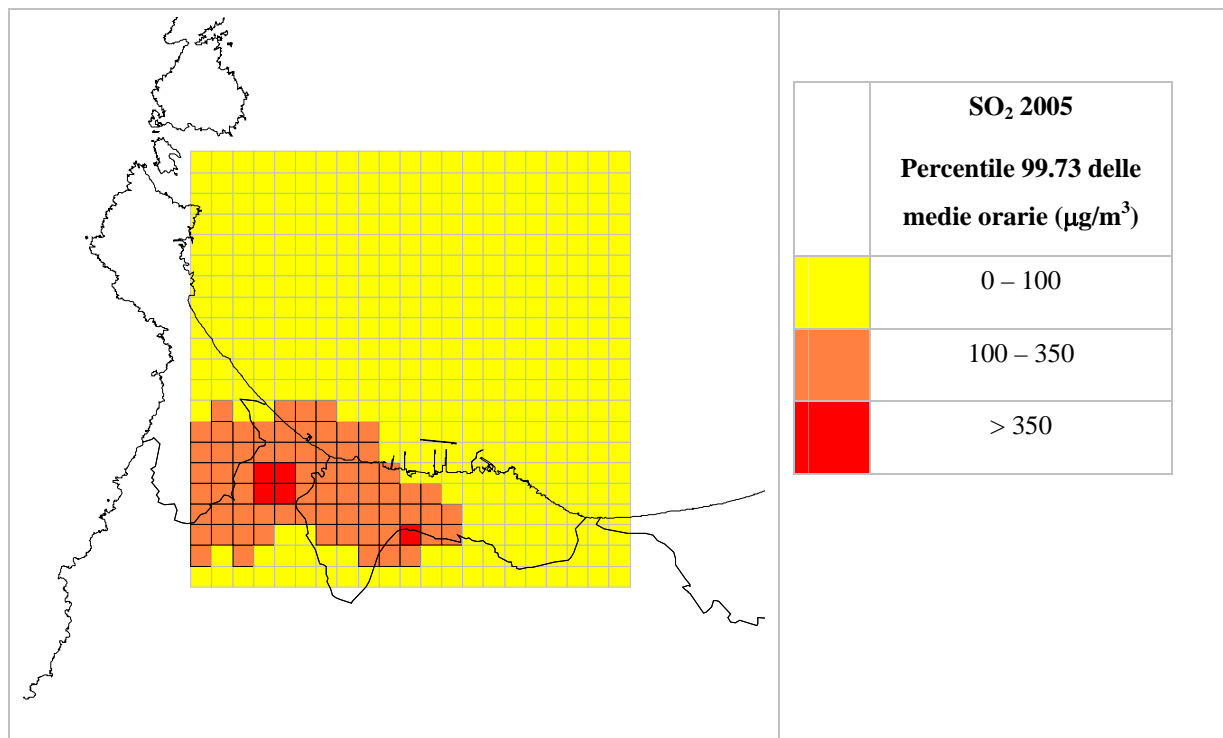


Figura 57 - Percentile 99.73 delle medie orarie di SO₂ nel 2005 (Nord Sardegna - Dominio con celle di 1.0 km)

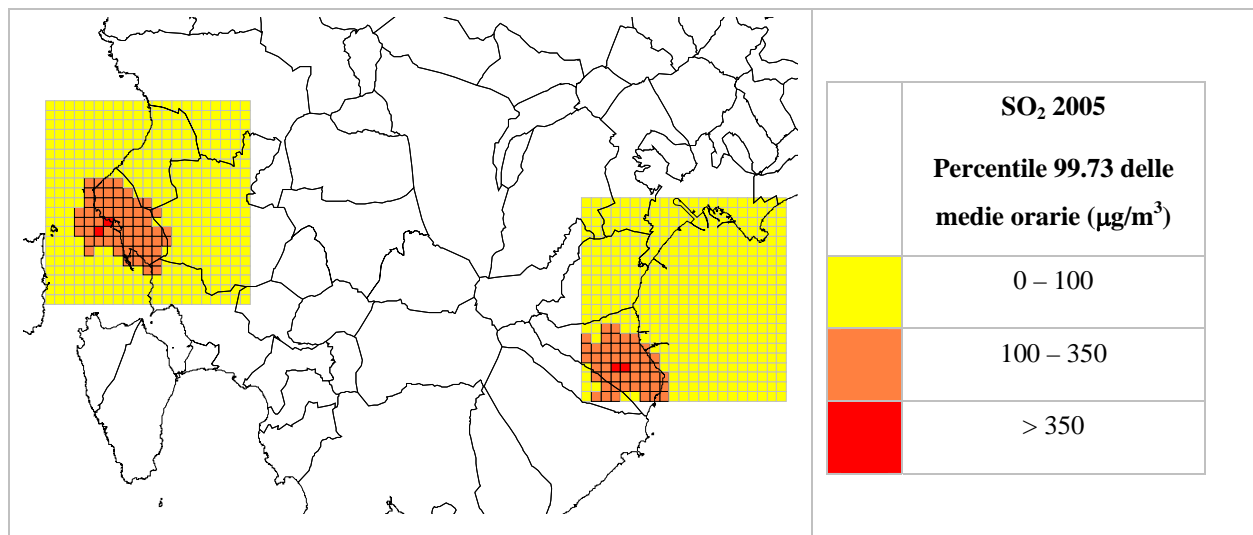


Figura 58 - Percentile 99.73 delle medie orarie di SO₂ nel 2005 (Sud Sardegna - Domini con celle di 1.0 km)

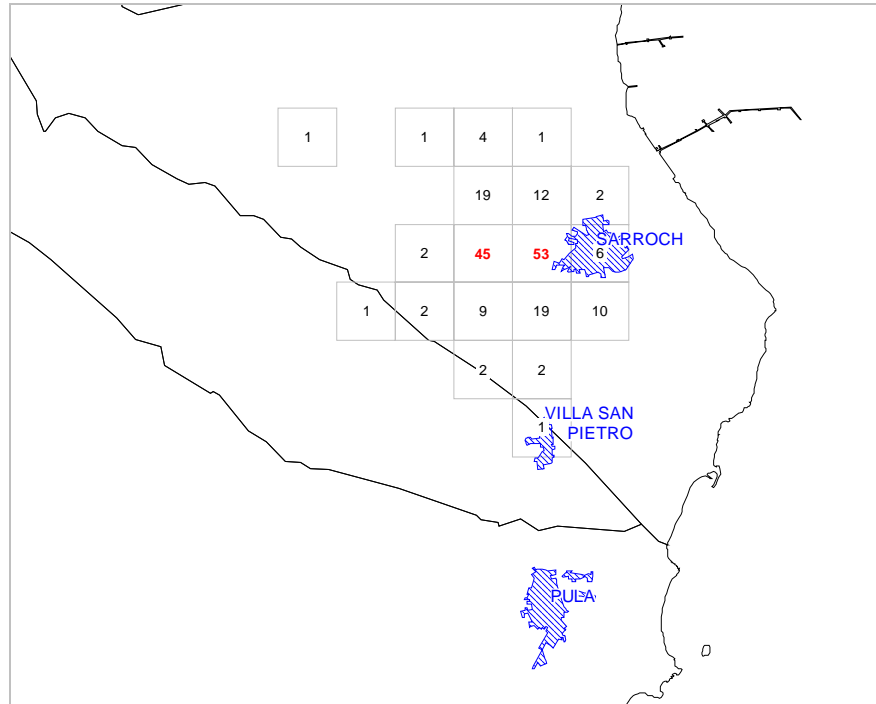


Figura 61 – Posizione e numero di superamenti delle medie orarie di SO₂ nel 2005 (Sud Ovest Sardegna - Dominio con celle di 1.0 km).

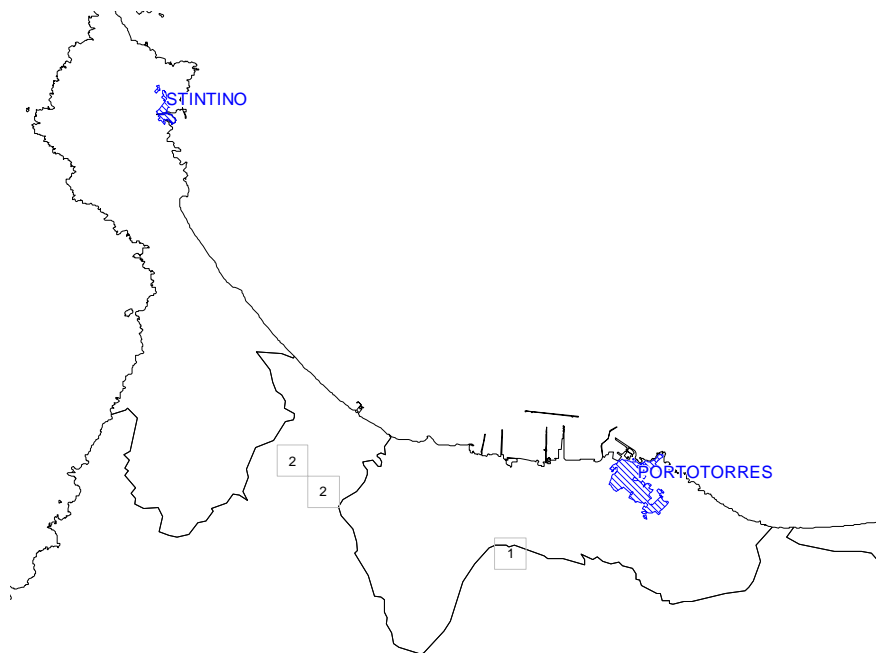


Figura 62 – Posizione e numero di superamenti delle medie giornaliere di SO₂ nel 2005 (Nord Sardegna - Dominio con celle di 1.0 km).

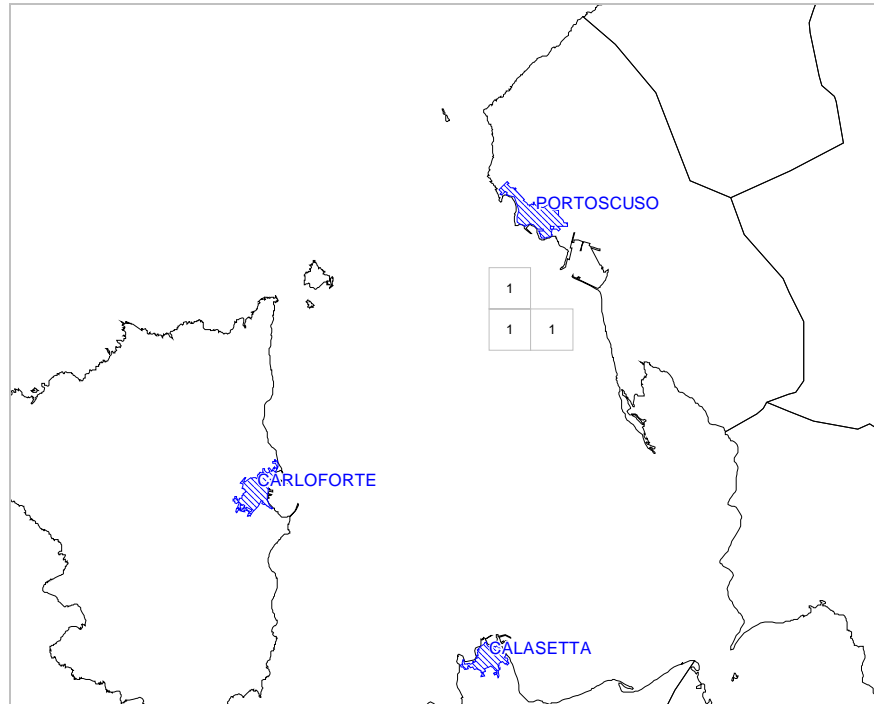


Figura 63 – Posizione e numero di superamenti delle medie giornaliere di SO₂ nel 2005 (Sud Ovest Sardegna - Dominio con celle di 1.0 km).

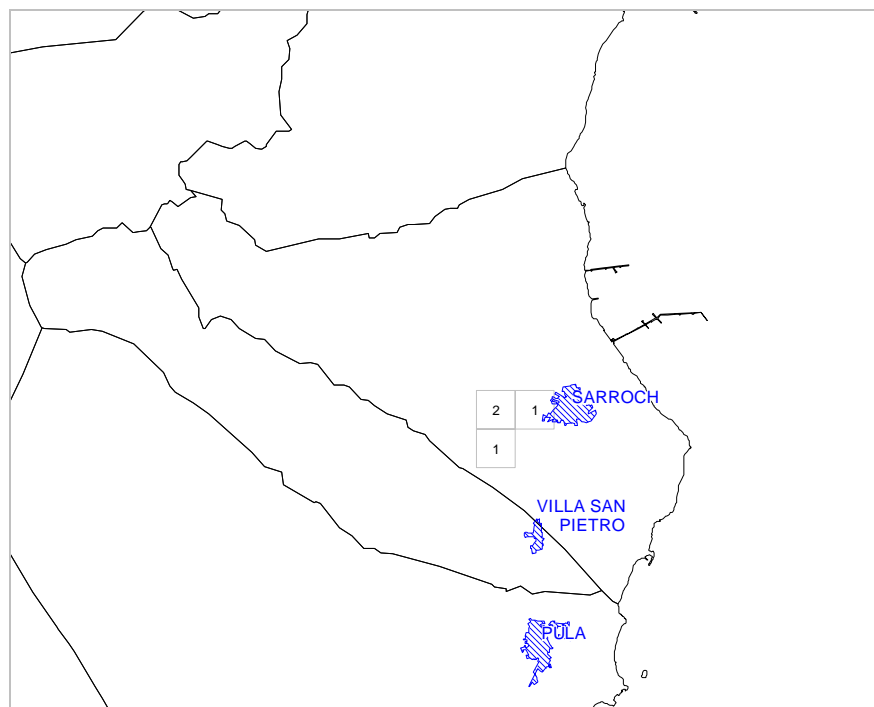


Figura 64 – Posizione e numero di superamenti delle medie giornaliere di SO₂ nel 2005 (Sud Ovest Sardegna - Dominio con celle di 1.0 km).

6 RISCONTRO CON I DATI DI MONITORAGGIO

6.1 PREMESSA

Benché la modellistica dipinga un quadro ambientale in larga parte tranquillizzante, i dati di qualità dell’aria rilevati dalle reti di monitoraggio pubbliche (della Regione Autonoma della Sardegna e del comune di Cagliari) e sintetizzati in varie relazioni, alcune pubbliche, prodotte direttamente dalle singole Province (relazioni annuali sulla qualità dell’aria) o dallo stesso Assessorato Difesa Ambiente sembrano proporre una situazione di maggiore compromissione per più inquinanti e più ambiti territoriali. Sono particolarmente noti anche al pubblico, per la rilevanza che hanno assunto negli organi di informazione regionale, i casi di superamento dei livelli di riferimento per l’SO₂ rilevati in alcune stazioni di monitoraggio site a Portoscuso e a Sarroch e di superamento dei livelli di riferimento per le polveri sottili (PM₁₀) rilevati a Cagliari.

La discordanza è dovuta, con elevata probabilità, ad almeno tre fattori:

- l’insufficiente rappresentatività, per posizionamento non ottimale, delle stazioni fisse di monitoraggio;
- la presenza, in ambito industriale, di episodi emissivi abnormi (in termini di ratei e di geometria), per quanto generalmente di breve durata, rispetto ai dati dichiarati dalle aziende in fase di censimento e utilizzati per le stime modellistiche;
- le imprecisioni insite nei modelli, in particolare per il PM₁₀.

Va poi aggiunto che una modellistica utilizzata a scala regionale o sub regionale non può assolutamente discriminare alcuni fenomeni localizzati (a livello di quartiere o di singola strada, per esempio), prodotti soprattutto dalle sorgenti diffuse, in particolare dal traffico.

Per quanto riguarda il primo punto bisogna ricordare che la rete regionale fu progettata circa quindici anni fa in base ad una distribuzione delle attività industriali ed una consistenza della popolazione urbana oggi in parte mutate e con un quadro normativo completamente diverso da quello attuale. Per tali ragioni, a quel tempo le stazioni di rilevamento della rete furono posizionate ricorrendo a modelli matematici di massima ricaduta degli inquinanti emessi da

impianti industriali e da attività urbane, non essendo il monitoraggio direttamente finalizzato a valutare l’esposizione della popolazione e degli ecosistemi ai fenomeni di inquinamento.

Per fare un esempio, tutte le stazioni della rete comunale di Cagliari, tranne una (Tuvixeddu), sono posizionate lungo strade di elevato traffico, generalmente nelle immediate vicinanze di incroci e/o semafori; la stazione di viale Ciusa si trova addirittura nella piazzola spartitraffico del relativo incrocio, particolarmente interessato dal traffico veicolare e dotato peraltro di regolazione semaforica. Ai sensi della normativa vigente (in particolare DM 60/2002, *Criteria for EUROAIRNET* dell’EEA, D.Lgs. 183/2004) tutte queste stazioni non possono essere considerate rappresentative della qualità dell’aria nella città perché forniscono informazioni valide in un intorno molto circoscritto, probabilmente di poche centinaia di metri quadri; al più possono essere considerate rappresentative dei picchi di concentrazione. Secondo le “Linee guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell’aria in Italia” dell’APAT, documento che sintetizza la normativa sopra citata, reperibile su internet all’indirizzo http://www.sinanet.apat.it/site/_contentfiles/00037000/37045_ACE4.pdf, in una città delle dimensioni di Cagliari il numero minimo richiesto di stazioni di monitoraggio della qualità dell’aria è pari a uno, della tipologia “background urbano”. Sono così definite le “... stazioni usate per monitorare i livelli medi d’inquinamento all’interno di ampie aree urbane (tessuto urbano continuo, prevalentemente capoluoghi di regione e/o provincia) dovuto a fenomeni prodotti all’interno della città che si vuole monitorare con possibili significativi contributi dovuti a fenomeni di trasporto provenienti dall’esterno della città. Sono poste preferibilmente all’interno d’aree verdi pubbliche e aree pedonali (parchi, impianti sportivi, scuole, ...) non direttamente sottoposte a sorgenti d’inquinamento specifiche quali il traffico autoveicolare e le emissioni industriali.”.

Nessuna delle stazioni della rete regionale attuale può inoltre essere considerata rappresentativa ai fini della protezione della vegetazione, secondo la normativa, riassunta, per esempio, negli “Indirizzi per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell’aria in Italia” del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Direzione Generale per la Salvaguardia Ambientale. Nel documento viene ricordato come la distanza minima per le stazioni di misurazione per la protezione della vegetazione e degli ecosistemi, ai sensi del DM 60/2002, debba essere maggiore di 20 Km dagli agglomerati urbani e maggiore di 5 Km dalle aree edificate diverse dagli agglomerati, dagli impianti industriali e dalle autostrade.

Per quanto riguarda il secondo punto va sottolineato che le stime prodotte con i modelli si basano sul fondamentale presupposto che le emissioni industriali siano esattamente, in quantità e qualità (rateo emissivo per camino, ecc.), quelle dichiarate dalle aziende.

I dati rilevati dalla rete di monitoraggio, in effetti, mostrano in alcuni casi valori molto più elevati e un numero di superamenti maggiore di quelli previsti dalla modellistica. Il caso più eclatante e anche meglio conosciuto, come si diceva prima, è quello dei superamenti di SO₂ rilevati a Portoscuso, principalmente dalla stazione CENPS2, ma anche dalla CENPS4. Nell’appendice B a questo documento sono brevemente sintetizzati alcuni risultati dello studio di dettaglio eseguito dalla Enviroware srl per conto della Progemisa, nell’ambito di un progetto in essere per conto dell’Assessorato della Difesa dell’Ambiente della regione Sardegna; lo studio, centrato sul periodo Giugno 2003-Settembre 2004, dimostra come le emissioni dichiarate dalle aziende nel periodo non possano giustificare le concentrazioni misurate dalle stazioni fisse della rete di monitoraggio pubblica, pur considerando le imprecisioni sempre insite nei modelli. Considerazioni aggiuntive sul regime di funzionamento delle industrie dell’area fanno ritenere che i picchi più elevati di concentrazione siano direttamente riconducibili a situazioni particolari, soprattutto ai riavvii di impianti e/o a emissioni che avvengono a basse quote, ad esempio da sfiati o valvole di emergenza.

Questo aspetto del problema è particolarmente importante per le misure da attuare ai fini del risanamento della qualità dell’aria, come si vedrà in un successivo capitolo.

Per quanto riguarda i PM₁₀ le discrepanze sono dovute, almeno in parte, al fatto che la maggior parte dei modelli di simulazione atmosferica attualmente disponibili, tra questi il modello CALPUFF utilizzato in questo studio, sono in grado di simulare la dispersione atmosferica delle polveri sottili esclusivamente trattando questo inquinante come primario. In realtà una frazione importante delle polveri fini ha un’origine secondaria e oltre al trasporto in atmosfera per avvezione e diffusione, alla deposizione sul suolo o sull’acqua, molti altri fenomeni chimico fisici interessano la formazione e l’evoluzione delle polveri. Tra i fenomeni che un modello di dispersione atmosferica deve descrivere al fine di simulare correttamente la formazione delle polveri fini vi sono (Monforti et al., 2001):

- la nucleazione (processo attraverso il quale, tramite l’agglomerazione di molecole di vapore supersaturate, si formano nuove particelle in atmosfera);

- la condensazione e l’evaporazione;
- la coagulazione (cioè l’insieme dei processi di collisione ed adesione che porta ad una diminuzione in numero delle particelle e ad un aumento del loro volume);
- le reazioni chimiche in fase acquosa (ad esempio all’interno delle gocce che formano le nubi, importanti poiché portano alla formazione di sali, ad esempio, che non sono emessi direttamente in atmosfera, ma che vi si trovano successivamente all’evaporazione della goccia);
- le reazioni fisiche in fase gassosa con un meccanismo chimico adeguato (ad esempio SAPRC99) che non perda memoria della lunghezza delle catene carboniose (informazione fondamentale per la formazione di aerosol organici secondari - SOA).

Questa categoria di modelli necessita in input delle emissioni delle polveri in termini di granulometria, anche 20 o 30 diverse dimensioni, e di specie chimiche contenute in ogni granulometria; queste informazioni sono di difficile reperibilità e comunque non erano disponibili per il presente studio.

I modelli di dispersione atmosferica in grado di simulare completamente i meccanismi di formazione secondaria, trasporto e rimozione del particolato sono attualmente utilizzati solo a scopi di ricerca, sia perché è difficile ottenere i dati di input necessari, sia perché sono di difficile utilizzo, sia perché richiedono notevoli tempi di calcolo. Un esempio di questi modelli è GATOR (Jacobson et al., 1996; Jacobson, 1997) utilizzato presso l’Università di Stanford (USA). Altri modelli sono in grado di descrivere i meccanismi chimico fisici che portano alla formazione del particolato, ma includono delle semplificazioni in merito al trasporto. E’ il caso ad esempio di modelli a box come MAPS, utilizzato presso l’Università del Colorado, o AERBOX utilizzato in Italia da ENEA (Monforti et al., 2004).

Per quanto riguarda in particolare il PM10 secondario, i principali processi responsabili della formazione sono la nucleazione e la condensazione. Mentre la condensazione è il processo inverso dell’evaporazione ed è noto a tutti, la nucleazione è meno nota; si tratta (Conforti et al., 2001) del processo attraverso il quale, tramite l’agglomerazione di molecole di vapore, si formano nuove particelle in atmosfera (aerosol). Si parla di nucleazione omomolecolare quando il processo interessa una singola specie, e di nucleazione eteromolecolare quando il processo interessa più specie chimiche. Inoltre si parla di nucleazione omogenea quando il processo

avviene in assenza di superfici o materiale esterno estraneo, viceversa si parla di nucleazione eterogenea. L’aerosol secondario appartiene alla granulometria più fine del particolato, quindi è molto pericoloso per la salute umana.

Per determinare la quantità di aerosol secondario che si forma a seguito di emissioni gassose è necessario ricorrere a modelli di simulazione complessi che contengono moduli per la chimica in fase eterogenea. Esiste tuttavia una formula empirica proposta da de Leeuw (2002) per stimare la quantità di aerosol secondario che si forma:

$$PM10_{sec} = 0.88 NO_x + 0.54 SO_2 + 0.63 NH_3$$

Considerando che le emissioni di NO_x, SO₂, NH₃ e PM10 (primario) stimate nell’ambito dell’inventario delle emissioni per la Sardegna sono pari rispettivamente (in tonnellate) a 48245, 47940, 8605 e 4820, si ottiene che il PM10 secondario prodotto è pari a 73765 t, in altre parole il PM10 primario è poco più del 6% del PM10 totale (una stima simile è stata fatta per la Lombardia, dove il PM10 secondario è pari a circa l’8% del totale). La formula sopra riportata avrebbe bisogno di ulteriori riscontri, ma fornisce un’idea di quanto sia importante ridurre le emissioni in fase gassosa di ossidi di azoto, ossidi di zolfo e ammoniaca al fine di ridurre anche il particolato secondario che si forma in atmosfera.

Mostra anche come si possa agire in maniera differenziata sulle varie realtà a seconda della importanza relativa che vi assumono le sorgenti emmissive; in ambito urbano sono infatti preponderanti le emissioni di NO_x dovute al traffico, in ambito industriale le emissioni di NO_x e SO₂, in ambito rurale le emissioni di NH₃. Ad esempio, a Cagliari città le emissioni, ripartite per macrosettori, sono rappresentate nel seguente grafico. È evidente l’importanza dei macrosettori 2 (Combustione non industriale, prevalentemente il riscaldamento degli edifici), 8 (Altre sorgenti mobili, in questo caso, prevalentemente, il traffico portuale e ferroviario) e, soprattutto, 7 (Trasporti stradali); è anche evidente la maggiore incidenza delle emissioni di NO_x rispetto a quelle di SO₂ e di NH₃, le ultime delle quali risultano le meno importanti.

Utilizzando, pur con tutte le cautele del caso, la formula di de Leeuw e considerando che questa è lineare e contiene coefficienti dello stesso ordine di grandezza, le emissioni da traffico e tra queste le emissioni di NO_x, sono quelle che in misura maggiore contribuiscono alla formazione di PM10 secondario; le emissioni di NO_x del macrosettore 7 incidono infatti per circa l’85%

nella formazione di PM10 secondario. La percentuale risultante di PM10 primario sul PM10 totale risulta pari a circa il 12%.

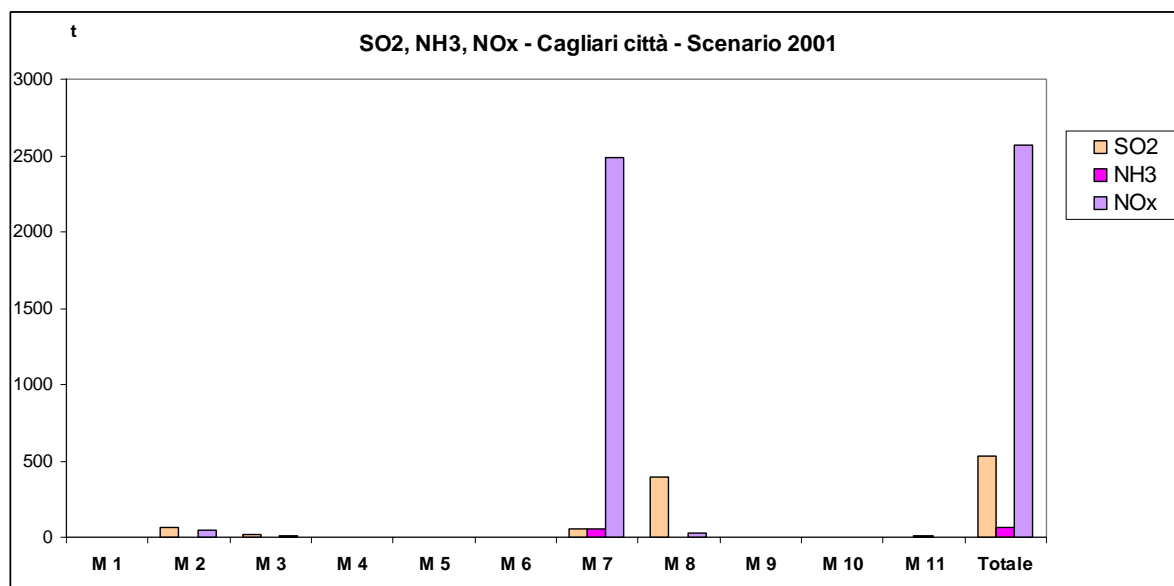


Figura 65 – SO2, NOx e NH3 emessi a Cagliari per macrosettore – Scenario 2001

Lo stesso grafico, ma per Sarroch, mostra la differenza tra un sito industriale e un sito urbano come Cagliari; in questo caso sono di gran lunga predominanti i macrosettori 1 (Combustione-Energia e industria di trasformazione) e 4 (Processi produttivi), mentre del tutto trascurabili sono gli altri macrosettori, compresi il 7 e l’8. L’emissione predominante è quella di SO2, che incide nella formazione di PM10 secondario per un 21% relativamente al macrosettore 1 e per un 38% relativamente al macrosettore 4. La percentuale risultante di PM10 primario sul PM10 totale risulta pari a circa il 4%.

Infine lo stesso grafico, ma per un centro a economia prevalentemente agricola e zootecnica (Arborea), mostra come siano preponderati nella formazione di PM10 secondario le emissioni di NH3, soprattutto dal macrosettore 10 (Agricoltura e allevamento), seguite a debita distanza dalle emissioni di NOx dei macrosettori 7 e 8; in questo caso l’emissione di NH3 del macrosettore 10 incide per circa l’83% sulla formazione del PM10 secondario. La percentuale risultante di PM10 primario sul PM10 totale risulta pari a circa il 2%.

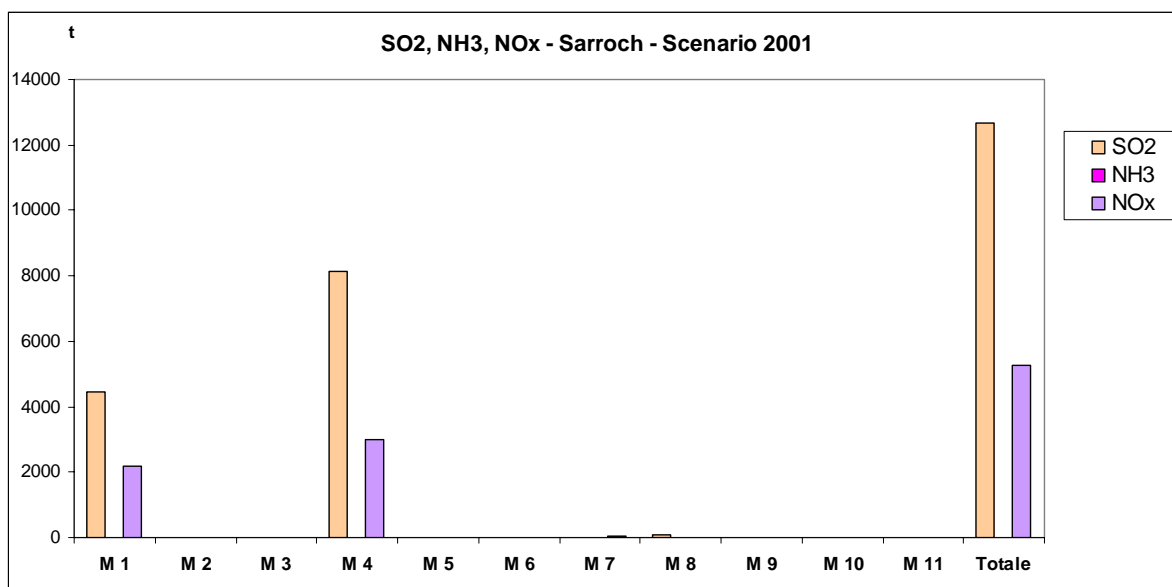


Figura 66 – SO2, NOx e NH3 emessi a Sarroch – Scenario 2001

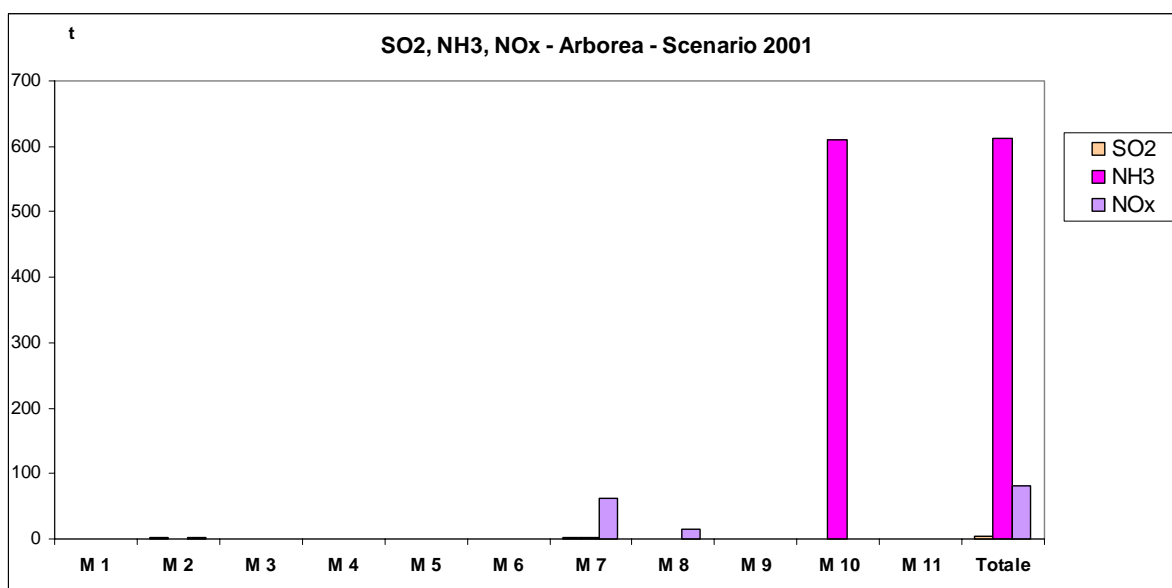


Figura 67 – SO2, NOx e NH3 emessi a Arborea – Scenario 2001

Poiché, tuttavia, le sostanze inquinanti (e quindi l’SO2, l’NOx e l’NH3 e il PM10 secondario che da essi deriva) non rimangono confinati nel territorio comunale di emissione o formazione, è necessario prendere in considerazione per la formulazione di strategie di risanamento un intero bacino aerologico o un dominio di calcolo che comprenda tutte le fonti emissive che possono in qualche modo incidere sul territorio da risanare.

Un’ulteriore prova dell’importanza del particolato secondario è fornita dalla metodologia AP42 della US-EPA (cioè l’analogo della metodologia CORINAIR ma per gli Stati Uniti). Questa metodologia divide il particolato che viene emesso in filtrabile e condensabile: il particolato filtrabile è quello che viene emesso direttamente dalla sorgente in forma solida o liquida e può essere misurato con una metodologia di riferimento; il particolato condensabile è quello che viene emesso come gas ma condensa rapidamente a causa della minore temperatura dell’ambiente rispetto alla sorgente. Per convenzione al particolato condensabile viene attribuita una granulometria inferiore a 1 μm . La metodologia AP42, per alcune tipologie di sorgenti, fornisce un fattore di emissione per il particolato filtrabile ed uno per il particolato condensabile. Ad esempio, per le turbine a gas, il fattore di emissione per il particolato filtrabile è 0.0019, mentre per il particolato condensabile è 0.0047 (le unità sono lb/MMBtu, comunque l’importante è il rapporto numerico che in qualsiasi unità sia espresso non varia). Quindi il particolato primario contribuisce, in questo caso, solo per il 29% sul totale emesso dalla tipologia di sorgente considerata.

E’ evidente che, qualsiasi sia il numero esatto, 6% o 29%, le emissioni di particolato primario costituiscono solo una piccola parte del PM10 totale presente in atmosfera e questo spiega almeno in parte le differenze tra monitoraggio e modelli; questi sono tuttavia utili sia per evidenziare la distribuzione territoriale del fenomeno, sia per fornire indicazioni sulle misure di risanamento da adottare, che non possono consistere solamente nella riduzione del PM10 primario, ma devono agire anche sulle emissioni di NO_x, SO₂ e NH₃.

6.2 LA RETE REGIONALE DI MONITORAGGIO

La rete regionale di monitoraggio è costituita da quattro reti provinciali (Cagliari, Nuoro, Oristano e Sassari), composte rispettivamente di 20, 7, 3 e 14 stazioni fisse. Esiste inoltre la rete del comune di Cagliari, composta da 9 stazioni fisse, di cui 2 attualmente non funzionanti.

La rete della provincia di Cagliari è posta a presidio di alcune importanti aree industriali (Portoscuso, Sarroch e Macchiareddu) e di aree o realtà industriali meno rilevanti (Nuraminis-Samatzai, Villacidro, Villasor, San Gavino), spesso confinanti con centri abitati di piccole o medie dimensioni (relativamente alle dimensioni dei comuni della Sardegna).

La tabella e la figura successive descrivono brevemente la composizione e la dislocazione della rete provinciale di Cagliari.

Zona	Stazione	BTX	CO	H2S	COV	NOX	O3	PM10	SO2	TSP	meteo
Macchiareddu	CENAS5					✓	✓		✓	✓	
Macchiareddu	CENAS6					✓			✓	✓	✓
Macchiareddu	CENAS7				✓	✓	✓		✓	✓	
Macchiareddu	CENAS8		✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Portoscuso	CENPS2					✓		✓	✓		✓
Portoscuso	CENPS4		✓			✓			✓	✓	
Portoscuso	CENPS6					✓		✓	✓		
Portoscuso	CENPS7	✓				✓	✓	✓	✓		
S. Antioco	CENST1					✓			✓	✓	✓
S. Antioco	CENST2					✓		✓	✓		
Carbonia	CENCB1				✓	✓	✓	✓	✓		
Sarroch	CENSA0			✓		✓			✓	✓	
Sarroch	CENSA1	✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
Sarroch	CENSA2	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		
Sarroch	CENSA9	✓		✓		✓	✓		✓	✓	
Nuraminis	CENNM1					✓		✓	✓		✓
San Gavino	CENSG1				✓	✓	✓	✓	✓		
San Gavino	CENSG2					✓			✓	✓	
Villacidro	CENVC1				✓	✓	✓		✓	✓	✓
Villasor	CENVS1			✓		✓		✓	✓		✓

Tabella 26 - Composizione della rete provinciale di Cagliari



Figura 68 - Dislocazione delle stazioni della rete provinciale di Cagliari

La tabella e la figura successive descrivono brevemente la composizione e la dislocazione della rete provinciale di Nuoro.

La rete presidia l’area industriale di Ottana, la città di Nuoro e i centri di Siniscola e Tortolì, questi ultimi interessati da attività inquinanti (cementificio, porto industriale; la cartiera di Arbatax non è attualmente in attività). La stazione di Tortolì non è funzionante.

Zona	Stazione	BTX	CO	H2S	COV	NOX	O3	PM10	SO2	TSP	meteo
Nuoro	CENNU1		✓			✓			✓	✓	
Nuoro	CENNU2		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓
Nuoro	CENNU3		✓			✓			✓		
Ottana	CENOT2				✓	✓	✓		✓	✓	
Ottana	CENOT3		✓			✓	✓		✓	✓	✓
Siniscola	CENSN1								✓	✓	✓
Tortolì	CENTO1								✓	✓	✓

Tabella 27 - Composizione della rete provinciale di Nuoro

Si rileva l’assenza di misuratori di BTX e di PM10.



Figura 69 - Dislocazione delle stazioni della rete provinciale di Nuoro

La rete della provincia di Sassari è posta a presidio di una importante area industriale (Porto Torres), dei centri urbani di Sassari e Olbia e della termocentrale di Codrongianus. La tabella e la figura successive descrivono brevemente la composizione e la dislocazione della rete provinciale di Sassari.

Zona	Stazione	BTX	CO	H2S	COV	NOX	O3	PM10	SO2	TSP	meteo
Olbia	CENS09		✓			✓			✓	✓	
Olbia	CENS10		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓
Sassari	CENS11		✓		✓	✓	✓		✓	✓	
Sassari	CENS12		✓		✓	✓	✓		✓	✓	
Sassari	CENS13		✓			✓			✓	✓	
Sassari	CENS14		✓						✓	✓	
Sassari	CENSS6					✓			✓		
P. Torres	CENS15				✓	✓	✓		✓	✓	
P. Torres	CENSS1				✓	✓	✓		✓	✓	
P. Torres	CENSS3		✓		✓	✓	✓		✓	✓	
P. Torres	CENSS4								✓	✓	✓
P. Torres	CENSS5								✓		
P. Torres	CENSS8								✓		
Codrongianus	CENSS7					✓			✓		

Tabella 28 - Composizione della rete provinciale di Sassari



Figura 70 – Dislocazione delle stazioni della rete provinciale di Sassari

Anche nella rete provinciale di Sassari non sono presenti misuratori di BTX e di PM10.

Non viene qui descritta la rete di Oristano, perché non attiva nell’anno 2002.

La rete del comune di Cagliari è di tipo urbano . La tabella e la figura successive descrivono brevemente la composizione e la dislocazione della rete comunale di Cagliari.

Zona	Stazione	BTX	CO	H2S	COV	NOX	O3	PM10	SO2	TSP	meteo
Cagliari	Avendrace	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Cagliari	Tuvixeddu	✓	✓			✓	✓	✓			✓
Cagliari	M. Ittico	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Cagliari	Repubblica	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
Cagliari	Diaz	✓	✓			✓	✓	✓			
Cagliari	Ciusa	✓	✓			✓	✓	✓	✓		
Cagliari	Italia	✓	✓			✓	✓	✓			

Tabella 29 - Composizione della rete comunale di Cagliari

La stazione posta nei pressi del Mercato Ittico non era attiva nell’anno 2002; lo stesso dicasi per le due stazioni non convenzionali (DOAS) di viale Poetto e viale Marconi, che non compaiono

nemmeno in tabella. Va rimarcato che nel seguito, per comodità, le stazioni della rete comunale di Cagliari saranno denominate con una sigla abbreviata, come quelle del resto della rete:

- **CAGAVE: Piazza Sant’Avendrace;**
- **CaGTUV: Colle di Tuvixeddu;**
- **CAGMIT: Mercato Ittico;**
- **CAGREP: Piazza Repubblica;**
- **CAGDIA: Viale Armando Diaz;**
- **CAGCIU: Viale Francesco Ciusa;**
- **CAGITA: Via Italia (Pirri).**

Con queste sigle appaiono anche nella mappa seguente.

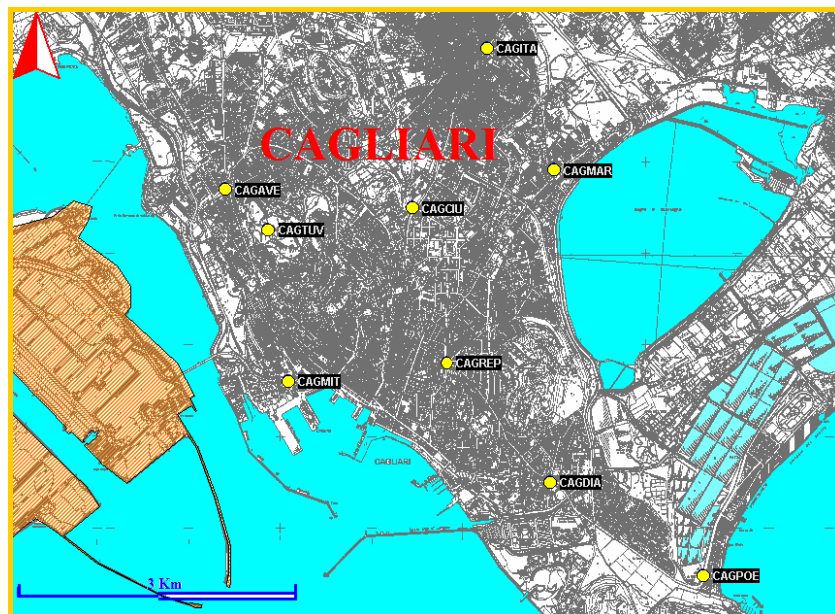


Figura 71 - Dislocazione delle stazioni della rete comunale di Cagliari

6.3 I DATI DI MONITORAGGIO

Purtroppo non è possibile un riscontro preciso ed esaustivo dei dati di monitoraggio con quelli forniti dalla modellistica per lo scenario base (anno 2001). Il motivo principale è che la rete di monitoraggio non copre l’intero territorio regionale, come invece le stime della modellistica, e fornisce informazioni che quasi sempre sono rappresentative solo di una zona abbastanza circoscritta attorno alle attuali stazioni di misura, posizionate in genere per rilevare i massimi di concentrazione.

La modellistica descrive invece porzioni di territorio molto più ampie (cioè celle di $5 \times 5 \text{ Km}^2$, $2.5 \times 2.5 \text{ Km}^2$, $1 \times 1 \text{ Km}^2$, $0.5 \times 0.5 \text{ Km}^2$), fornendo concentrazioni per ogni cella di calcolo che possono essere equiparate a concentrazioni medie e attenuando, di conseguenza, tutti i picchi estremamente localizzati (come quelli rilevabili, ad esempio, ad un incrocio nei centri urbani o in hot spot in area industriale).

Un altro motivo è che la rete regionale non era tutta funzionante nell’anno di studio: la rete della provincia di Cagliari era parzialmente in adeguamento, la rete del comune di Cagliari e la rete della provincia di Oristano non erano attive, la rete della provincia di Nuoro era parzialmente attiva; da questo punto di vista l’anno con maggiore completezza di dati è stato il 2002. Infine, l’attendibilità dei dati di qualche stazione è, in alcuni casi, perlomeno dubbia, generalmente a causa di una manutenzione non ottimale.

Ciò detto, un esame dei dati di monitoraggio può fornire informazioni su fenomeni locali che sfuggono ai modelli a causa del livello di dettaglio utilizzato e della incertezza insita nei dati di input. Nei paragrafi seguenti, dunque, verranno brevemente presentati la rete di monitoraggio e i principali indicatori per i dati di monitoraggio dell’anno 2002, cioè l’anno con dati più completi, limitatamente agli inquinanti normati, ove misurati.

Verranno anche riportati i principali dati della campagna di monitoraggio dell’anno 2004 effettuata appositamente per questo progetto con un laboratorio mobile e, in estrema sintesi, anche i risultati di alcune campagne di monitoraggio, sempre con laboratorio mobile, effettuate negli anni trascorsi da o per enti pubblici e i cui risultati sono stati resi disponibili per il presente studio; queste sono una campagna su cinque siti (Santa Giusta, Oristano, Macomer, Borore e Porto Torres) effettuate per conto dell’Assessorato della Difesa dell’Ambiente della RAS nell’estate del 2003 e una campagna su quattro siti (Capoterra, Quartu S. Elena, Nuraminis e

Samtazai) effettuate dalla Provincia di Cagliari nel 2002. A queste campagne si farà anche riferimento come le campagne del 2004, 2003 e 2002 rispettivamente.

Scopo della campagna del 2004, in particolare, è stato ricavare informazioni su siti di particolare interesse, mai monitorati in precedenza, in particolare alcune città rilevanti per la Sardegna (Alghero, Elmas, Iglesias, Monserrato, Serlargius), alcuni siti industriali minori (Oristano, Tempio), alcuni siti di fondo (Villasalto, Pattada, Seulo). I dati della campagna sono riportati dettagliatamente nell’Appendice A alla relazione. Nel capitolo 6 del documento di fase 2 intitolato “Valutazione della qualità dell’aria e zonizzazione”, a cui si rimanda, sono invece brevemente commentati i dati della rete di monitoraggio per l’anno 2001.

Le due tabelle seguenti riassumono in estrema sintesi i dati della campagna di monitoraggio effettuata nell’anno 2004 appositamente per questo progetto; sono riportati i valori medi e i valori massimi orari rilevati nel periodo di osservazione (circa una settimana per sito); l’ultima riga della prima tabella riporta i valori medi sui vari siti, mentre l’ultima riga della seconda tabella i valori massimi sui vari siti.

		Benzene	CO	NO2	NOX	PM10	O3	SO2
	Sito	ug/m3	mg/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
Medie	Alghero	1.2	0.3	11.9	15.9	10.2	77.7	2.7
	Arborea		0.1	6.9	12.4	22.3	65.4	0.2
	Birori	1.7	0.0	7.0	7.7	2.4	77.1	9.4
	Decimomannu	1.6	0.0	6.3	6.0	11.9	72.8	1.1
	Elmas	0.2	0.1	5.7	7.8	7.9	69.4	0.5
	Iglesias	1.4	0.0	1.1	1.3	6.2	81.4	0.3
	Monserrato	1.3	0.0	15.6	18.6	7.0	72.3	2.2
	Oristano	2.6	0.1	5.0	7.0	7.3	73.4	1.5
	Palau	1.5	0.1	1.8	3.3	9.8	74.0	0.4
	Pattada	1.6	0.1	1.9	2.8	5.7	86.7	3.9
	Selargius	0.7	0.3	25.6	32.3	11.2	53.5	0.8
	Seulo	1.8	0.1	1.0	1.0	1.9	85.6	3.2
	Stintino		0.1	3.0	2.4	4.3	74.8	1.1
	Tempio	0.7	0.1	2.7	4.3	2.8	68.1	1.8
Villasalto	1.4	0.0			10.4	94.1	0.6	
Medie		1.6	0.1	6.6	10.6	8.1	75.1	2.0

Tabella 30 – Dati di sintesi della campagna di monitoraggio (medie)

		Benzene	CO	NO2	NOX	PM10	O3	SO2
	Sito	ug/m3	mg/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3	ug/m3
Massimi	Alghero	18.7	15.2	45.6	75.6	20.2	135.5	9.0
	Arborea		5.1	39.5	114.5	71.4	136.6	10.4
	Birori	7.7	1.6	67.5	109.2	14.5	125.5	36.9
	Decimomannu	15.3	1.3	28.5	29.1	40.5	146.6	27.8
	Elmas	0.3	3.1	22.0	39.5	113.6	121.2	8.2
	Iglesias	2.5	0.8	15.1	17.2	16.3	119.0	8.0
	Mon serrato	8.5	1.5	48.2	74.5	20.1	140.0	26.5
	Oristano	4.6	13.9	50.5	70.5	28.9	121.8	9.7
	Palau	5.9	3.8	9.1	16.8	30.1	113.3	2.2
	Pattada	7.6	4.9	7.7	13.3	21.1	126.6	7.5
	Selargius	4.7	4.2	58.3	77.0	28.8	110.9	16.3
	Seulo	3.9	4.8	51.4	9.7	9.5	125.6	17.0
	Stintino		4.5	13.7	13.4	32.0	125.8	6.2
	Tempio	3.3	5.2	21.7	28.1	14.0	107.8	14.3
Villasalto	2.6	2.1			34.7	142.6	5.2	
Massimi		18.7	15.2	67.5	114.5	113.6	146.6	36.9

Tabella 31 – Dati di sintesi della campagna di monitoraggio (massimi)

Nelle due tabelle i dati di NO₂ e NO_x di Villasalto sono stati rimossi perché ritenuti non attendibili. Questi dati, particolarmente alti, sono difficilmente spiegabili, trattandosi di un sito remoto che avrebbe dovuto fornire informazioni sul fondo di inquinamento simili a Pattada e a Seulo, dove si sono misurati rispettivamente valori medi del periodo pari a 2.8 µg/m³ e 1.0 µg/m³ e valori massimi orari pari a 13.3 µg/m³ e 9.7 µg/m³. Esaminando i dati di Villasalto più in dettaglio appare evidente come dopo due interi giorni di misurazione con livelli di ossidi di azoto prossimi a 0 µg/m³, improvvisamente i livelli di concentrazione si siano portati attorno ai 40 µg/m³, rimanendo dal 18 Luglio sino al 23 Luglio (data di fine monitoraggio) sempre compresi tra 44 µg/m³ e 52 µg/m³. Questo fa pensare ad una anomalia strumentale o alla presenza di una sorgente molto vicina e costante di emissione, per quanto contenuta visto che nella zona non sono presenti sorgenti industriali e il sito di monitoraggio era in aperta campagna. Per motivi analoghi sono stati rimossi anche i dati di benzene di Arborea e Stintino.

6.3.1 BENZENE

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce che la media annuale delle concentrazioni di benzene non superi $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; questo limite entrerà in vigore nel 2010. Fino al 2005 il limite è pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il benzene viene misurato solo da alcune stazioni della rete provinciale di Cagliari e dalle stazioni della rete comunale di Cagliari; la tabella seguente riporta gli indicatori più significativi per questo inquinante.

Sono state considerate significative solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Portoscuso	CENPS7	82	0.8
Sarroch	CENSA1	86	1.6
Sarroch	CENSA2	92	0.7
Sarroch	CENSA9	87	1.1
Cagliari	CAGAVE	34	-
Cagliari	CAGTUV	52	0.6
Cagliari	CAGREP	45	-
Cagliari	CAGCIU	66	9.7
Cagliari	CAGDIA	-	-
Cagliari	CAGITA	73	5.1

Tabella 32 – Principali indicatori per il benzene

Come si può vedere sia nella stazione CENPS7 di Portoscuso, sia nelle tre stazioni di Sarroch, la media annua è notevolmente lontana dal limite di legge del 2010 e, a maggiore ragione, del 2005.

A Cagliari città la stazione di Tuvixeddu registra concentrazioni ben al di sotto del limite di legge, mentre le altre stazioni o hanno serie storiche con quantità insufficiente di dati o registrano una media annua superiore al limite. Questo è sicuramente dovuto alla posizione delle stazioni, scarsamente rappresentative, come già detto, perché dislocate in maniera da registrare i valori massimi dovuti al traffico.

Se si analizza l’andamento mensile dei valori della stazione di viale Ciusa, riportato nella figura seguente con il metodo dei plot-box, si scopre che l’andamento di Gennaio (periodo di avvio della stazione) è anomalo rispetto al resto dell’anno, influenzando decisamente la media annua. L’esame di dettaglio dei dati di Gennaio mostra chiaramente l’anomalia dei dati, dovuta probabilmente alle fasi di avvio e test della stazione o ad altre anomalie. Escludendo i dati del mese di Gennaio, la media annua risulta pari a 5.6 µg/m³, cioè appena superiore al limite di legge; se si analizzano i dati dell’anno 2003 per la stessa stazione, la media annua risulta pari a 4.60 µg/m³, confermando le osservazioni fatte.

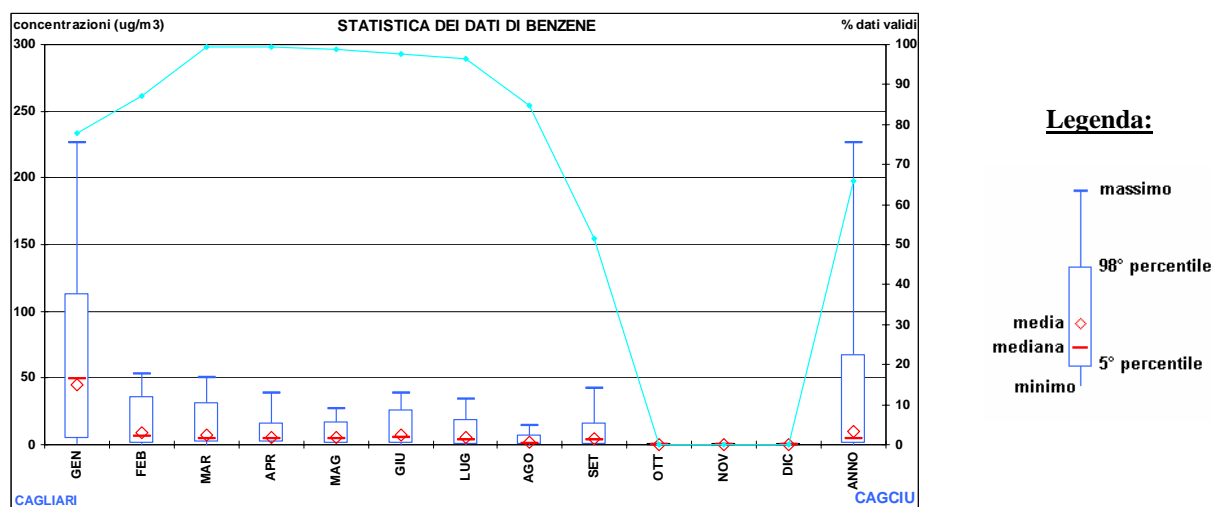


Figura 72 – Andamento annuo del benzene nella stazione di viale Ciusa a Cagliari

In conclusione, relativamente ai dati della rete fissa:

- nelle poche aree non urbane in cui è monitorato, il benzene è ben al di sotto dei limiti di legge;
- nell’area urbana di Cagliari, l’unica stazione sufficientemente lontana dal traffico veicolare rileva valori di tutta tranquillità; le altre stazioni, pur non sufficientemente

rappresentative perché mal posizionate, mostrano valori vicini al limite di legge, inducendo a credere che un posizionamento ottimale avrebbe permesso di riscontrare valori nei limiti.

I dati delle campagne di Alghero, Monserrato, Iglesias e Selargius del 2004 sono interessanti per un raffronto con i dati di Cagliari; i quattro centri infatti, pur non essendo delle dimensioni del capoluogo regionale, sono comunque sufficientemente grandi da essere considerati indicativi; Monserrato e Selargius, poi, appartengono all’area vasta di Cagliari e sono collegate al capoluogo da un tessuto urbano e da una viabilità che non ha con esso soluzione di continuità.

Inoltre i quattro siti, pur collocati in pieno centro urbano (Iglesias) o in prossimità di strade a traffico elevato (Alghero-scuola La Pietraia, Monserrato-Cimitero e Selargius-Salesiani), non sono così vicini all’asse stradale o agli incroci da rappresentare solamente l’inquinamento di una microzona altamente inquinata, ma bensì di una più vasta area cittadina. Per quanto una settimana di dati non sia indicativa di un intero anno, si può osservare come le medie si mantengano sotto gli 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anche se i valori massimi orari oscillano in una fascia molto più ampia, però al di sotto dei 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Altri dati interessanti, che confermano quelli appena esposti, provengono da una campagna di monitoraggio con laboratorio mobile effettuata dalla provincia di Cagliari nel Giugno-Luglio del 2002 a Quartu S. Elena; la posizione del punto di misura era viale Marconi all’angolo con viale Colombo, cioè uno dei punti più trafficati della città. La relazione afferma che, per quanto l’analizzatore abbia subito un guasto il 3 Luglio, le concentrazioni misurate sino a tale data a partire dal 22 Giugno (quindi per circa dodici giorni) non destano preoccupazione essendo le medie giornaliere al di sotto dei 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in linea con i dati sopra riportati.

Ulteriori conferme provengono dalla campagna del 2003, soprattutto dal sito di Oristano, in via Rockefeller, nel Maggio 2003 e di Porto Torres, via Monte Angellu, nel Giugno 2003.

Nel primo caso si tratta di un sito periferico, ma con traffico abbastanza elevato e i risultati sono in linea con quelli delle altre campagne effettuate con le stesse metodiche: media del periodo uguale a 1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valore orario massimo pari a 2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nel secondo caso si tratta ugualmente di un sito periferico, però posto nelle vicinanze di una via extraurbana di grande comunicazione a ovest del territorio di Porto Torres e, quindi, a non molta

distanza dal polo industriale; la media del periodo è di 2.8 µg/m³, con valore orario massimo pari a 15.9 µg/m³.

In definitiva i dati del monitoraggio supportano l’ipotesi che anche nei siti urbani, sia pure nelle vicinanze di strade a traffico medio-elevato, una posizione più accurata delle stazioni fisse farebbe riscontrare valori entro i limiti di legge.

6.3.2 CO

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce che la massima media giornaliera di 8 ore non superi i 10 mg/m³ (10000 µg/m³); il limite è entrato in vigore nel 2005.

Il CO viene misurato in alcune stazioni della rete provinciale di Cagliari (aree industriali) e da tutte le stazioni urbane esclusa una di Sassari città; la tabella seguente riporta gli indicatori più significativi per questo inquinante.

Sono state prese in considerazione solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Massima media di otto ore in un anno (mg/m ³)
Portoscuso	CENPS4	77	5.4
Macchiareddu	CENAS8	90	0.7
Sarroch	CENSA2	74	1.4
Cagliari	CAGAVE	70	3.6
Cagliari	CAGTUV	75	4.8
Cagliari	CAGREP	99	5.8
Cagliari	CAGCIU	87	4.7
Cagliari	CAGDIA	98	4.4
Cagliari	CAGITA	95	7.0
Nuoro	CENNU1	71	3.4
Nuoro	CENNU2	71	2.8
Nuoro	CENNU3	72	2.1
Ottana	CENOT3	89	2.0
Olbia	CENS09	85	4.4
Olbia	CENS10	88	3.6

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Massima media di otto ore in un anno (mg/m ³)
Sassari	CENS11	64	4.9
Sassari	CENS12	69	5.0
Sassari	CENS13	86	7.1
Sassari	CENS14	69	11.7
Porto Torres	CENSS3	-	-

Tabella 33 – Principali indicatori per il CO

In tutte le stazioni tranne una (CENS14), la massima media annua rimane al di sotto dei limiti di legge; la migliore situazione si riscontra nelle città di Nuoro e di Olbia e presso alcuni poli industriali. Le massime medie di otto ore registrate a Sassari sono paragonabili a quelle di Cagliari.

Anche in questo caso il superamento avviene in una stazione, quella di corso Vico, estremamente influenzata dal traffico veicolare, come del resto tutte le stazioni di Sassari e Olbia. Analizzando la serie storica di tutto l’anno si osserva che la massima media di otto ore ha conseguito il superamento dei 10 mg/m³ solo nei giorni 4 e 5 Aprile 2002, mentre nel tempo rimanente si mantiene sempre sotto gli 8 mg/m³. In ogni caso, tre centraline su quattro nella città rimangono perfettamente nei limiti.

Anche per il CO le informazioni fornite dalle campagne con il laboratorio mobile ad Alghero, Iglesias, Monserrato, Selargius (2004), Quartu S. Elena (2002), Oristano e Porto Torres (2003) permettono di avere riscontri sulle concentrazioni di questo inquinante in ambito urbano o suburbano. La Tabella 31 evidenzia come il limite non possa essere superato, in teoria, che ad Oristano e ad Alghero (unici casi in cui almeno una media oraria supera i 10 µg/m³, benché le medie del periodo siano paragonabili a quelle degli altri siti). Andando ad analizzare i dati orari si scopre che ad Alghero un’unica media oraria supera i 10 µg/m³ e la media mobile di otto ore è, in corrispondenza, sotto i 4 µg/m³; per Oristano la situazione è analoga e, di conseguenza, non si rilevano superamenti.

Nel sito di Quartu S. Elena le medie sulle otto ore non hanno mai superato, nel periodo di monitoraggio, i 2.5 µg/m³, mentre nei siti di Oristano e Porto Torres i valori orari non hanno mai superato, nel periodo di monitoraggio, 1.0 µg/m³.

Anche i dati del monitoraggio, in definitiva, confermano le stime della modellistica riguardo lo stato di qualità dell’aria per il CO del tutto nei limiti.

6.3.3 PIOMBO

Non è possibile alcun riscontro con i limite i legge perché la rete di monitoraggio non misura il piombo; anche le campagne con il laboratorio mobile non hanno mai avuto come obiettivo la misura di questo inquinante. A parte le considerazioni possibili sui risultati dello studio modellistico, gli unici dati significativi sono dati dall’analisi effettuata sulle polveri raccolte con deposimetri nell’ambito della campagna del 2004. I risultati, espressi come flusso di massa ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{g})$), cioè come quantità media che si deposita su un metro quadro di suolo per giorno, sono riepilogati nel seguente grafico; purtroppo essi non sono direttamente correlabili alle concentrazioni in atmosfera che costituiscono il vero oggetto dello studio.

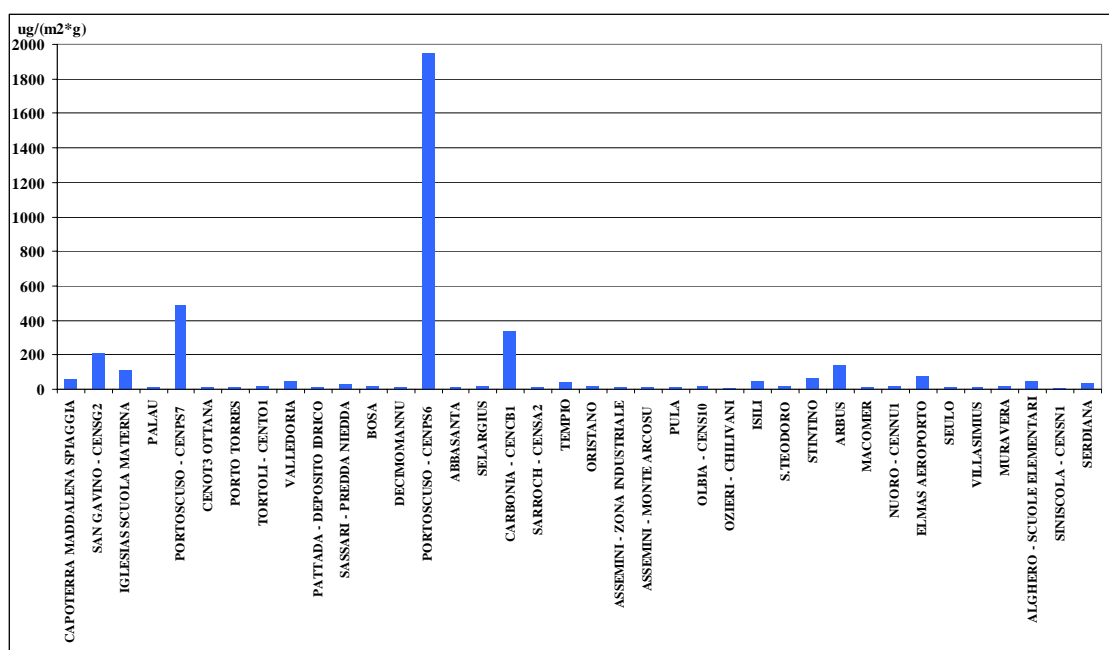


Figura 73 – Flusso di massa per il piombo in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{g})$

È evidente il dato anomalo di Portoscuso (CENPS6) rispetto a tutti gli altri.

6.3.4 NOX

Il valore medio sull’anno civile che non deve essere superato ai fini della protezione della vegetazione è pari a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I dati forniti dalla rete fissa nel 2002 non sono tutti utilizzabili, perché forniti spesso con unità di misura (ppm) non immediatamente trasformabili in $\mu\text{g}/\text{m}^3$; è il caso di molte stazioni della rete provinciale di Cagliari e di tutte le stazioni della rete provinciale di Sassari. Quelli disponibili nell’unità di misura corretta devono inoltre essere presi con una certa cautela, perché nel 2002 generalmente venivano validati dai gestori delle reti solo i dati di NO₂ e non quelli di NO e NO_x.

Nessuna delle stazioni inoltre, come detto in un paragrafo precedente, soddisfa i requisiti di rappresentatività per la protezione degli ecosistemi. È interessante osservare come nemmeno i siti prescelti nella campagna di misura del 2004 soddisfino questi requisiti, tranne approssimativamente il sito di Seulo (che dista circa 4 Km dal più vicino centro abitato e si trova all’interno di un’area forestata), tuttavia l’esame dei dati di monitoraggio mostra come in tredici siti su quattordici (escluso Selargius, sito urbano con traffico elevato) le medie siano al di sotto dei 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e, in dieci casi su tredici, ampiamente al di sotto dei 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nella campagna del 2003, svolte a Borore, Macomer, Oristano, Santa Giusta e Porto Torres la media delle concentrazioni di NO_x è stata rispettivamente di 19.8, 7.4, 14.0, 10.2 e 18.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi sempre sotto il limite di 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ della media annua.

In definitiva, i dati di monitoraggio confermano le stime degli strumenti modellistici, rappresentando un quadro della qualità dell’aria per gli NO_x di rispetto dei limiti di legge.

6.3.5 NO2

Per quanto riguarda le stime di concentrazione di NO2 ottenute con la modellistica ambientale si rimanda all’Appendice A al presente documento nel quale i meccanismi di formazione e di trasporto di questo inquinante vengono esaminati congiuntamente a quelli dell’ozono e dei COV.

La legge stabilisce un valore limite per la protezione della salute umana sulla media oraria di 200 µg/m3, da non superare più di 18 volte in un anno (a partire dal 2010); la legge stabilisce altresì un valore limite per la protezione della salute umana sulla media annuale di 40 µg/m3.

L’NO2 viene misurato in quasi tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio; le tabelle seguenti riportano gli indicatori più significativi per questo inquinante.

Sono state considerate significative solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua (µg/m3)	Numero superamenti della media oraria
Macchiareddu	CENAS5	86	10.1	0
Macchiareddu	CENAS6	92	15.3	0
Macchiareddu	CENAS7	84	9.5	0
Macchiareddu	CENAS8	88	13.1	0
Sarroch	CENSA0	91	5.5	0
Sarroch	CENSA1	90	7.8	0
Sarroch	CENSA2	86	22.3	0
Sarroch	CENSA9	90	10.2	0
Portoscuso	CENPS2	48	-	-
Portoscuso	CENPS4	77	15.6	0
Portoscuso	CENPS6	90	10.4	0
Portoscuso	CENPS7	87	12.5	0
Sant’Antioco	CENST1	89	5.3	0

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua (µg/m3)	Numero superamenti della media oraria
Sant’Antioco	CENST2	90	5.4	0
Carbonia	CENCB1	92	35.9	0
Nuramins	CENNM1	87	10.1	0
San Gavino	CENSG1	86	7.6	0
San Gavino	CENSG2	89	13.4	0
Villacidro	CENVC1	85	10.9	0
Villasor	CENVS1	82	17.6	0

34 – Principali indicatori per l’NO2 in provincia di Cagliari

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua (µg/m3)	Numero superamenti della media oraria
Nuoro	CENNU1	77	26.6	0
Nuoro	CENNU2	77	25.9	0
Nuoro	CENNU3	70	10.9	0
Ottana	CENOT2	92	11.2	0
Ottana	CENOT3	93	15.6	0
Olbia	CENS09	79	16.1	0
Olbia	CENS10	75	27.1	0
Sassari	CENS11	59	38.2	0
Sassari	CENS12	81	22.2	0
Sassari	CENS13	56	19.6	0
Sassari	CENSS6	96	35.6	2
Porto Torres	CENSS1	73	16.6	0
Porto Torres	CENSS7	54	6.4	0

Tabella 35 - Principali indicatori per l’NO2 in provincia di Nuoro e di Sassari

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria
Cagliari	CAGAVE	70	31.8	0
Cagliari	CAGTUV	52	13.8	0
Cagliari	CAGREP	99	82.7	10
Cagliari	CAGCIU	92	56.4	88
Cagliari	CAGDIA	97	34.1	0
Cagliari	CAGITA	94	44.7	2

Tabella 36 - Principali indicatori per l’NO₂ a Cagliari città

Come evidenziano le tabelle gli unici superamenti vengono rilevati a Cagliari, in una stazione su sei (sempre viale Ciusa!) per quanto riguarda il valore limite sulla media oraria e da tre stazioni su sei per quanto riguarda la media annuale (viale Ciusa, piazza Repubblica e via Italia). In effetti anche le altre reti, pur non rilevando superamenti, hanno mostrato valori più elevati rispetto al limite della media annua rispetto alla media oraria.

Per i superamenti di NO₂ a Cagliari valgono le stesse considerazioni fatte per i PM₁₀ sulla scarsa attendibilità di questa dati come rappresentativi della situazione globale della città, a causa del posizionamento delle stazioni in punti di elevato traffico. Oltre le stazioni di Cagliari, altre due si avvicinano alla media annua dei 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e sono entrambe dislocate a Sassari.

I dati della campagna di monitoraggio del 2004 riportano valori medi e massimi nella norma; è interessante osservare come i valori medi più elevati si riscontrino in siti urbani (Alghero, Monserrato e Selargius). Del tutto nella norma anche i dati della campagna del 2003 a Santa Giusta, Oristano, Borore, Macomer e Porto Torres. Nella campagna del 2002 a Quartu S. Elena, terza città della Sardegna per numero di abitanti, il valore orario massimo registrato di NO₂ è stato pari a 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valore medio per l’intero periodo di circa 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.3.6 OZONO

Per quanto riguarda le stime di concentrazione di O₃ ottenute con la modellistica ambientale si rimanda all’Appendice A al presente documento nel quale i meccanismi di formazione e di trasporto di questo inquinante vengono esaminati congiuntamente a quelli del biossido di azoto e dei COV.

La normativa stabilisce il valore bersaglio per la protezione della salute umana, pari a 120 µg/m³ sulla massima media mobile giornaliera di otto ore da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media sui tre anni (il limite entrerà in vigore nel 2010). Per quanto riguarda la protezione della vegetazione, la normativa stabilisce il valore bersaglio come AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio; per AOT40 si intende la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (= 40 parti per miliardo) e 80 µg/m³ rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 08:00 e le 20:00 ora dell’Europa centrale.

L’O₃ viene misurato in un buon numero di stazioni della rete regionale di monitoraggio; la tabella seguente riporta gli indicatori più significativi per questo inquinante.

Sono state considerate significative solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Numero di superamenti della massima media mobile di otto ore	AOT40 (18000 µg/m ³ •h)
Macchiareddu	CENAS5	93	27	22902
Macchiareddu	CENAS7	85	25	23695
Macchiareddu	CENAS8	93	39	28975
Sarroch	CENSA1	92	24	26574
Sarroch	CENSA2	86	21	22116
Sarroch	CENSA9	84	19	20073

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Numero di superamenti della massima media mobile di otto ore	AOT40 (18000 µg/m ³ •h)
Portoscuso	CENPS7	92	33	17931
Carbonia	CENCB1	92	18	14076
San Gavino	CENSG1	89	29	28344
Villacidro	CENVC1	87	0	4578
Nuoro	CENNU2	77	0	4113
Ottana	CENOT2	91	14	19421
Ottana	CENOT3	93	3	9960
Olbia	CENS10	87	0	2342
Sassari	CENS11	61	0	1554
Sassari	CENS12	69	0	1375
Porto Torres	CENSS1	59	5	2120
Cagliari	CAGAVE	57	1	0
Cagliari	CAGTUV	81	5	0
Cagliari	CAGREP	90	0	0
Cagliari	CAGDIA	88	2	0
Cagliari	CAGCIU	93	1	0
Cagliari	CAGITA	93	3	0

37 – Principali indicatori per l’O3

La tabella evidenzia due situazioni differenti, dovute alle dinamiche di formazione dell’ozono in presenza o meno di precursori e di ossidi di azoto:

- superamenti di entrambi i limiti quasi dappertutto nelle aree industriali;
- assenza di superamenti in area urbana.

L’esame degli andamenti dimostra inoltre che, salvo qualche dato anomalo, non vengono mai superate le soglie di informazione e di allarme (rispettivamente 180 e 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media oraria), anzi i valori si mantengono generalmente sotto i 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ anche nel periodo estivo.

L’assenza di superamenti in area urbana (Cagliari, Sassari e Olbia) è dovuta, tra l’altro, alla presenza di ossidi di azoto, emessi principalmente dal traffico, che abbattano le concentrazioni di ozono. Anche in questo caso il posizionamento delle stazioni non è ritenuto rappresentativo, anche se, in un certo senso, per il motivo contrario rispetto agli altri inquinanti: nei siti di alto traffico si registrano solitamente i valori più bassi di questo inquinante rispetto al resto del tessuto urbano.

Per quanto riguarda le altre aree possono fornire delle utili indicazioni i dati forniti dalla campagna del 2004; la Tabella 30 mostra come nell’estate dello scorso anno le medie di concentrazione di O₃ nel periodo di osservazione abbiano oscillato tra i 53.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di Selargius (sito urbano) e i 94.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di Villasalto (sito rurale); altrettanto significative le medie di Pattada (86.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e Seulo (85.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), entrambi siti di fondo; la Tabella 31 indica che i valori orari più elevati di O₃ hanno oscillato tra i 107.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di Tempio e i 146.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di Decimomannu. È da rimarcare che la campagna è stata svolta con un unico laboratorio mobile che si è spostato dal Sud al Nord della Sardegna a partire dal 3 Giugno a Elmas per finire il 7 Ottobre a Palau; le diverse condizioni meteorologiche (temperatura e radiazione solare), pertanto, hanno certamente influito sulle misure, rendendole non perfettamente comparabili tra sito e sito.

Lo studio modellistico dell’Appendice A evidenzia nella figura 5 valori medi nel periodo Maggio-Settembre che oscillano tra i 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dell’interno e gli 80-85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ delle coste. Scartando le stazioni di monitoraggio situate nelle città più grandi e calcolando la media per le stazioni rimanenti del periodo corrispondente per l’anno 2002 si ottengono i seguenti valori:

- CENOT2 e CENOT3 (Ottana, Sardegna interna): 71.7 e di 67.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente;
- CENAS5, CENAS7 e CENAS8 (Assemini, Sardegna meridionale, a poca distanza dalla costa) 83.0, 86.3 e 86.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente;
- CENPS7 (Portoscuso, Sardegna meridionale, sulla costa): 82.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- CENSG1 (San Gavino, Sardegna centro-meridionale): 80.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;

- CENVC1 (Villacidro, Sardegna centro-meridionale): 64.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- CENSS1 (Porto Torres, Sardegna settentrionale, quasi sulla costa): 22.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L’accordo, come si vede, è buono o ottimo in tutte le stazioni tranne la CENSS1, forse influenzata dal traffico locale da e per l’area industriale.

6.3.7 PM10

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce due parametri: il valore di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera che non deve essere superato più di 35 volte in un anno e il valore medio annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale; questi sono limiti di fase 1, cioè da non superare a partire dal 2005. I limiti di fase 2 prevedono che il valore di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera non sia superato più di 7 volte in un anno e un valore medio annuale di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media annuale (da raggiungere progressivamente a partire dal 2006); in ogni caso questi limiti sono ancora indicativi, da rivedere sulla base della futura normativa comunitaria.

Il PM10 viene misurato, nel 2002, solamente nelle stazioni comunali di Cagliari e in diverse stazioni della rete provinciale di Cagliari. La tabella seguente riporta gli indicatori più significativi per questo inquinante. Sono considerate significative solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media giornaliera
Macchiareddu	CENAS8	92	35.9	52
Portoscuso	CENPS2	89	39.8	75
Portoscuso	CENPS6	91	21.3	5
Portoscuso	CENPS7	97	19.8	0
S.Antioco	CENST2	91	20.1	0
Carbonia	CENCB1	91	25.3	16
Sarroch	CENSA2	89	32.5	37
Nuraminis	CENNM1	89	8.1	0
San Gavino	CENSG1	86	32.6	22
Villasor	CENVS1	91	36.0	45
Cagliari	CAGAVE	68	25.9	20
Cagliari	CAGTUV	68	20.6	8

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media giornaliera
Cagliari	CAGREP	98	29.3	20
Cagliari	CAGCIU	84	47.4	109
Cagliari	CAGDIA	96	20.6	11
Cagliari	CAGITA	94	37.3	68

Tabella 38 – Principali indicatori per il PM10

Per quanto riguarda la città di Cagliari, focalizzando il discorso solo sulla fase 1 dell’applicazione della normativa, solo in una stazione (viale Ciusa) si riscontra il superamento del valore limite sulla media annuale, mentre in due stazioni (viale Ciusa e via Italia) si riscontra il superamento del valore limite sulla media giornaliera. La situazione più grave si riscontra, ancora una volta, nella stazione di viale Ciusa, cioè la stazione peggio posizionata tra tutte perché situata nella piazzola spartitraffico di un incrocio molto trafficato, a pochi metri dai semafori e per di più in prossimità dell’ingresso al deposito degli automezzi dell’azienda comunale dei trasporti. La posizione della stazione si può evincere dalla figura seguente; la stazione è rappresentata dal pallino rosso, le strade principali sono in giallo, il deposito automezzi in celeste.

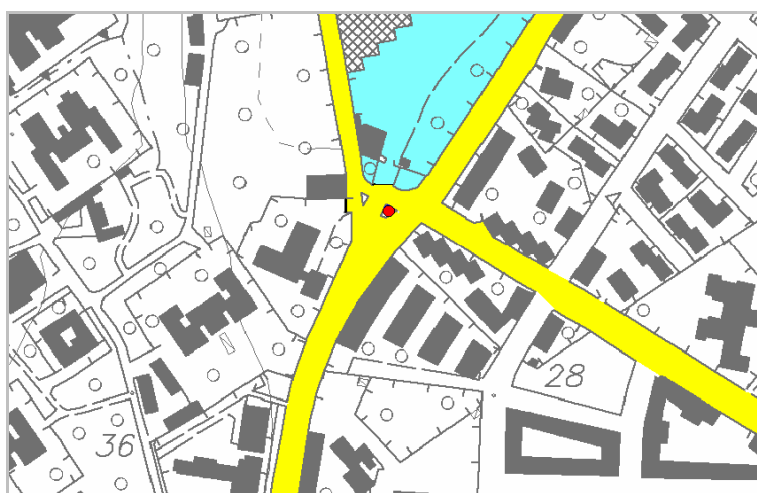


Figura 74 – Posizione della stazione di misura di viale Ciusa

Considerando che in quattro stazioni su sei, pur sempre posizionate in siti di alto traffico (tranne la stazione di Tuvixeddu), non viene superato il limite sulla media giornaliera (cinque su sei per la media annuale) e che la stazione più lontana dal traffico (Tuvixeddu appunto) mostra valori ampiamente nei limiti, si può ipotizzare che la situazione “media” a Cagliari sia da ritenersi in genere soddisfacente anche per le polveri sottili. Tuttavia solo ulteriori misure, effettuate in siti rappresentativi (ad esempio con un laboratorio mobile), potranno permettere di stabilire questo fatto con certezza.

Nell’area di Portoscuso le stazioni CENPS7, posta ai limiti del centro abitato, e la stazione CENPS6 (posta nella frazione di Paringianu) rilevano valori nei limiti, mentre la CENPS2 riporta il superamento del limite di legge sulla media giornaliera; si tratta, tuttavia, di una stazione posta ai limiti dell’area industriale, in direzione opposta al centro abitato, come si può desumere dalla figura seguente.

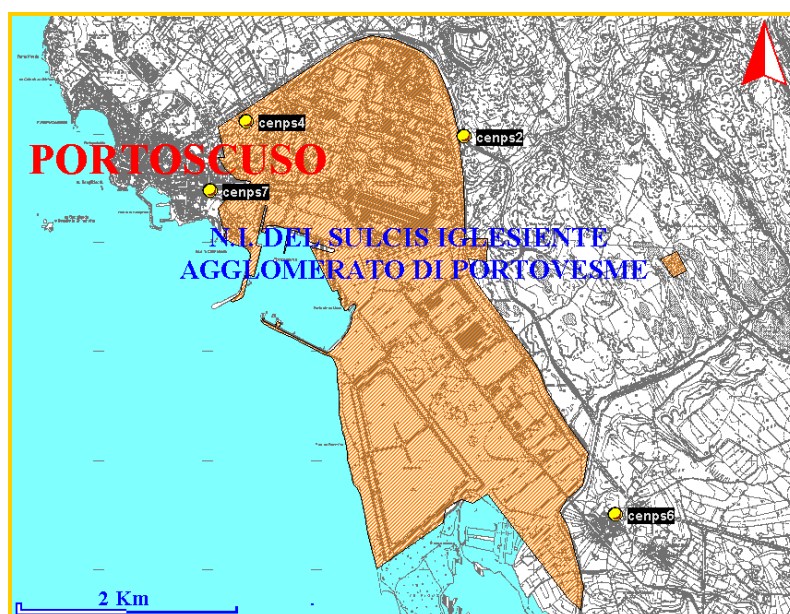


Figura 75 – Dislocazione delle stazioni di misura di Portoscuso

Nell’area industriale di Macchiareddu, la stazione CENAS8 (l’unica che misurava PM10 nel 2002) rileva il superamento dei limiti di legge sulla media giornaliera; la stazione è posta nelle vicinanze da uno stabilimento chimico e a non molta distanza da una delle strade principali dell’agglomerato industriale. Questa stazione ha comunque minore rilevanza per la protezione

della salute umana perché i centri abitati più vicini si trovano a non meno di 5 Km di distanza in linea retta centralina.

Nell’area industriale di Sarroch la stazione CENSA2 (l’unica che nel 2002 misurava PM10), posizionata ai limiti del centro abitato, riscontra il superamento del limite di legge sulla media giornaliera.

Le stazioni di Carbonia, Nuraminis, San Gavino e Sant’Antioco rilevano valori nei limiti di legge, mentre la stazione di Villasor riporta la violazione del limite sulla media giornaliera. La stazione di Villasor è posizionata alla periferia del centro abitato, che conta un numero di abitanti abbastanza modesto (circa 7000); nelle immediate vicinanze è sito uno stabilimento per la produzione dello zucchero a partire dalla barbabietola, la cui attività più rilevante è però limitata a circa un mese all’anno. In effetti gli elevati livelli di polverosità, non giustificabili con le fonti urbane e industriali, sembrano dipendere più che altro dalla vicinanza di un cantiere in attività per la sistemazione degli argini del canale Riu Malu che passa a pochi metri dalla stazione di monitoraggio e sono quindi rappresentativi solo di una situazione molto localizzata.

I dati rilevati nella campagna del 2004 mostrano medie del periodo di osservazione sempre inferiori a 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la media giornaliera più alta è rilevata a Arborea (sito rurale) con 31.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In genere le medie giornaliere si mantengono attorno ai 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. È interessante rilevare che anche nel sito di Elmas, posto alla periferia dell’omonima città (la più vicina in retta all’area industriale di Macchiareddu) e a poche centinaia di metri dall’aeroporto, i valori di PM10 rimangono nella norma.

Le campagne della provincia di Cagliari di cui si è in possesso forniscono solo i valori delle polveri totali sospese e, pertanto, non è possibile un confronto immediato con i PM10. Tuttavia nel sito di Samatzai, in prossimità di un cementificio, la campagna di misura effettuata nel Novembre del 2002 ha rilevato concentrazioni di polveri totali (PTS), non di PM10, la cui media giornaliera massima non arriva a 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (vengono pertanto automaticamente rispettati i due limiti di legge sui PM10, almeno per il periodo di osservazione).

Le campagne effettuate nel 2003 a Porto Torres, Oristano, Santa Giusta, Borore e Macomer forniscono medie del periodo di osservazione pari rispettivamente a 12.3, 13.0, 7.8, 14.1, 37.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L’unico dato di rilievo è quello di Macomer, vicino al limite per la media annuale (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con due medie giornaliere vicine ai 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), peraltro di dubbia attendibilità in quanto

sia le condizioni atmosferiche (in particolare la direzione e la velocità del vento), sia le concentrazioni degli altri inquinanti non manifestano andamenti anomali in quel periodo. In ogni caso, in tutto il periodo restante le medie si sono mantenute dell’ordine di grandezza di quelle degli altri siti.

Trascurando il dato in apparenza anomalo di Macomer, i dati rilevati dalle campagne con il laboratorio mobile, sia in ambito urbano o suburbano, sia in siti rurali o industriali, mostrano valori al di sotto dei limiti di legge, pur con i problemi di rappresentatività di campagne di breve durata.

Volendo analizzare anche i dati di polveri totali sospese (PTS) per estrapolare informazioni sui PM10 si può utilizzare un fattore di conversione, ad esempio si può ipotizzare che l’80% delle polveri totali sia composto da PM10. Questa ipotesi dovrebbe essere validata sito per sito e periodo per periodo, ma, in mancanza di altre dati, può fornire informazioni utili in alcuni centri rilevanti, cioè Sassari, Olbia, Nuoro e Siniscola e nelle aree industriali di Porto Torres e Ottana. In questi siti, infatti, le stazioni automatiche di misura non forniscono dati di PM10, bensì di PTS. La seguente tabella riassume i dati di PM10 estrapolati dalle PTS. Come al solito vengono prese in considerazione solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua (µg/m3)	Numero superamenti della media giornaliera
Nuoro	CENNU1	71	21.9	6
Nuoro	CENNU2	73	22.7	5
Olbia	CENS09	50	22.7	0
Olbia	CENS10	75	23.4	6
Sassari	CENS11	30	-	-
Sassari	CENS12	48	-	-
Sassari	CENS13	70	28.9	6
Sassari	CENS14	75	45.8	95
Ottana	CENOT2	95	12.2	4

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media giornaliera
Ottana	CENOT3	95	18.8	4
Porto Torres	CENS15	67	29.2	5
Porto Torres	CENSS1	47	-	-
Porto Torres	CENSS4	91	7.2	0
Siniscola	CENSN1	47	-	-

Tabella 39 – Principali indicatori per il PM10, estrapolato da PTS

Purtroppo negli anni 2003 e 2004 la rete di Sassari non ha funzionato; l’elaborazione dei dati delle stazioni di Nuoro, Ottana e Siniscola non solo conferma i dati della tabella precedente, ma indica la mancanza di superamenti per il PM10 così estrapolato.

Riassumendo, sempre in focalizzando il discorso sui limiti di fase 1:

- i superamenti in ambito urbano (Cagliari) non si verificano in tutte le stazioni e sono probabilmente imputabili, almeno in parte, al particolare posizionamento delle stazioni di misura;
- i superamenti a Portoscuso riguardano una stazione su tre, CENPS2, posizionata su un hot spot, abbastanza lontana dal centro urbano; la stazione CENPS7, alla periferia del centro abitato, non rileva superamenti;
- i superamenti nell’area industriale di Macchiareddu sono rilevati in un sito distante oltre 5 Km dal più vicino centro abitato e quindi con valenza ridotta per la protezione della salute umana;
- le campagne di misura con laboratorio mobile hanno fornito informazioni abbastanza rassicuranti sulle concentrazioni di polveri sottili sia in ambito urbano, sia in ambito extraurbano;
- a Sarroch la stazione CENSA2 posta alla periferia del centro abitato rileva superamenti dei limiti di legge; è altamente probabile che questi derivino dalle stesse cause che provocano i superamenti di SO₂ (cioè le emissioni industriali) e che le misure che

dovranno essere adottate per ridurre le concentrazioni di questo inquinante siano contemporaneamente efficaci anche per le polveri sottili;

- a Nuoro, Ottana, Siniscola, Olbia, Sassari, Porto Torres i dati di PM10 estrapolati dai dati di PTS indicano il rispetto dei limiti di legge.

È chiaro come la situazione, rapportata ai più restrittivi limiti di fase 2, sia da considerare più seria rispetto alle conclusioni appena tratte; tuttavia i miglioramenti tecnologici previsti per le fonti emissive dei macrosettori più rilevanti in ambito urbano per l’inquinamento da polveri (vedere soprattutto il paragrafo 3.2 e le stime di emissione di PM10 del paragrafo 3.4.5) comporteranno certamente, anche in assenza di interventi specifici, un miglioramento del quadro ambientale che sarà, comunque, necessario monitorare con attenzione.

6.3.8 SO2

Ai fini della protezione della salute umana la legge stabilisce due parametri: il valore di 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media oraria che non deve essere superato più di 24 volte in un anno e il valore di 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media giornaliera che non deve essere superato più di 3 volte in un anno.

Il valore medio sull’anno civile che non deve essere superato ai fini della protezione della vegetazione è pari a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L’S₀₂ viene misurato in quasi tutte le stazioni della rete regionale di monitoraggio; le tabelle seguenti riportano gli indicatori più significativi per questo inquinante.

Sono state considerate significative solo le serie storiche con almeno il 50% di dati validi disponibili.

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria	Numero di superamenti della media giornaliera
Macchiareddu	CENAS5	92	5.2	0	0
Macchiareddu	CENAS6	92	13.3	0	0
Macchiareddu	CENAS7	89	7.8	0	0
Macchiareddu	CENAS8	92	12.7	0	0
Sarroch	CENSA0	92	7.7	6	1
Sarroch	CENSA1	93	10.2	10	0
Sarroch	CENSA2	91	28.1	159	12
Sarroch	CENSA9	93	5.6	0	0
Portoscuso	CENPS2	92	135.2	977	125
Portoscuso	CENPS4	79	47.1	201	37
Portoscuso	CENPS6	93	34.5	10	2
Portoscuso	CENPS7	93	34.5	57	16

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria	Numero di superamenti della media giornaliera
Sant’Antioco	CENST1	92	11.0	0	0
Sant’Antioco	CENST2	91	12.2	0	0
Carbonia	CENCB1	92	26.4	0	0
Nuramins	CENNM1	91	0.5	0	0
San Gavino	CENSG1	87	1.1	0	0
San Gavino	CENSG2	88	1.1	0	0
Villacidro	CENVC1	89	1.4	0	0
Villasor	CENVS1	91	1.5	0	0

Tabella 40 - Principali indicatori per l’SO₂ in provincia di Cagliari

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria	Numero di superamenti della media giornaliera
Nuoro	CENNU1	77	6.6	0	0
Nuoro	CENNU2	76	10.0	0	0
Nuoro	CENNU3	76	8.5	0	0
Ottana	CENOT2	92	6.1	0	0
Ottana	CENOT3	93	15.7	0	0
Siniscola	CENSN1	76	10.2	0	0

Tabella 41 - Principali indicatori per l’SO₂ in provincia di Nuoro

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria	Numero di superamenti della media giornaliera
Olbia	CENS09	84	8.0	0	0
Olbia	CENS10	89	7.2	0	0
Sassari	CENS11	56	5.0	0	0
Sassari	CENS12	58	11.7	0	0
Sassari	CENS13	7	-	-	-
Sassari	CENS14	90	3.4	0	0
Sassari	CENSS6	89	0.3	0	0
Porto Torres	CENSS1	79	11.1	0	0
Porto Torres	CENSS4	90	7.0	0	0
Porto Torres	CENSS5	92	0.5	0	0
Porto Torres	CENSS7	80	1.9	0	0
Porto Torres	CENSS8	72	7.7	0	0

42 – Principali indicatori per l’SO2 in provincia di Sassari

Zona	Stazione	Percentuale di dati validi	Media annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Numero superamenti della media oraria	Numero di superamenti della media giornaliera
Cagliari	CAGAVE	27	-	-	-
Cagliari	CAGREP	98	4.8	0	0
Cagliari	CAGCIU	93	3.1	0	0

43 – Principali indicatori per l’SO2 a Cagliari città

Come è evidente dai dati, l’SO2 costituisce sicuramente una emergenza nei pressi dei poli industriali di Portoscuso, soprattutto, e Sarroch, confermando i risultati della modellistica.

A differenza di quanto previsto dai modelli la situazione sembrerebbe più tranquillizzante attorno all’area industriale di Porto Torres, soprattutto per i dati forniti dalla stazione CENSS8 che si

trova posizionata sulla propaggine del territorio di Sassari (tra i territori di Stintino e di Porto Torres) dove la modellistica prevede il maggior numero di superamenti (cfr. Figura 59); la stazione CENSS3, posta nell’altro punto del territorio (sud della zona industriale, al limite tra il territorio di Sassari e di Porto Torres) dove si riscontrano gli altri superamenti non ha purtroppo funzionato nell’anno 2002. Anche le stazioni CENSS1, CENSS4 e CENSS5 (tutte posizionate attorno all’area industriale) forniscono dati di tutta tranquillità. Resta da stabilire se la causa di questa discrepanza sia dovuta ai dati di input ai modelli o alla rete di monitoraggio; in ogni caso le stime dei modelli possono essere considerate, al più, conservative.

Nella stazione di Carbonia CENCB1 si riscontra il superamento della media annua per la protezione della vegetazione pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; analizzando i dati orari dell’intero anno si riscontra un andamento “*a plateau*” molto marcato, con valori che rimangono per periodi di oltre un mese superiori ad una soglia minima oltre i $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e non oscillano significativamente sopra di questa.

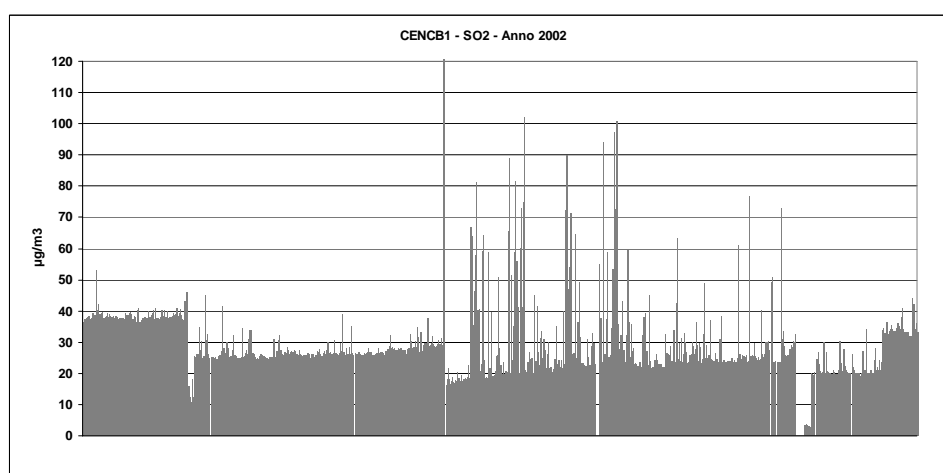


Figura 76 - Andamento dell’SO2 nella stazione CENCB1 di Carbonia – anno 2002

Ad esempio, nel mese di Gennaio 2002 il valore minimo è stato di $35.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il valore medio di $37.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, il valore massimo di $53.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e la deviazione standard pari a solo $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; inoltre ben il 98.6 % delle medie orarie sono state comprese tra il valore minimo e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cioè entro un intervallo non più ampio di $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Non è ipotizzabile pensare a un fondo di inquinamento da SO2 di questo tenore, visto che a Portoscuso (dove sono presenti le emissioni di cui dovrebbe risentire la CENCB1) la stazione sita nel punto più compromesso (CENPS2) registra nello stesso periodo un valore minimo di $3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un valore medio di $33.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un

valore massimo di 1255.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e una deviazione standard pari a 75.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La stazione di Paringianu (CENPS6), giusto per avere un altro termine di confronto nell’area, registra, sempre nel gennaio 2002, un valore minimo di 13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un valore medio di 28.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un valore massimo di 196.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e una deviazione standard pari a 26.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si tratta probabilmente di un problema dello strumento di misura o di una insufficiente sensibilità dello stesso; pertanto il dato non può essere ritenuto attendibile.

La campagna di monitoraggio del 2004 non ha interessato i poli industriali di Portoscuso, Sarroch e Porto Torres; nel Giugno 2003 é stato invece effettuato un monitoraggio alla periferia ovest di Porto Torres (scuola di via Monte Angellu) i cui risultati, in estrema sintesi, sono dati da un valore medio di una settimana circa pari a 9.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e un valore orario massimo pari a 88.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cioè valori di tutta tranquillità, anche se gli episodi acuti di inquinamento da biossido di zolfo (come insegnano i casi di Sarroch e Portoscuso) sono in genere di breve durata e potrebbero essere sfuggiti ad un monitoraggio di soli dieci giorni come questo.

Nelle città e nelle altre zone l’SO₂ non costituisce un problema, come del resto indicato dai modelli.