



## **TERMINALE GALLEGGIANTE DI RIGASSIFICAZIONE FSRU - TOSCANA**



### **ALLEGATO D6**

***Identificazione e Quantificazione degli Effetti delle  
Emissioni in Atmosfera e confronto con SQA per la  
proposta impiantistica per la quale si richiede  
l'autorizzazione***

Agosto 2010



## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MODELLO UTILIZZATO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. SCENARI EMISSIVI E DATI CONSIDERATI .....</b>	<b>6</b>
3.1. CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI EMISSIVE .....	6
3.2. DATI METEOROLOGICI .....	7
3.3. AREA DI INDAGINE .....	8
<b>4. ANALISI DEI RISULTATI.....</b>	<b>9</b>
4.1. OSSIDI DI AZOTO .....	9
4.2. OSSIDI DI ZOLFO .....	9
<b>5. CONCLUSIONI.....</b>	<b>11</b>

## ALLEGATI

**ALLEGATO D06\_02** – Planimetria con indicazione del dominio di calcolo ed ubicazione dei recettori e dei punti di emissione

**ALLEGATO D06\_03** – Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 – Concentrazione Massima Oraria NO<sub>2</sub> – Modulo Short Term, Meteorologia EPA

**ALLEGATO D06\_04** – Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 – Concentrazione Media Annuale NO<sub>2</sub> – Modulo Short Term, Meteorologia EPA

**ALLEGATO D06\_05** – Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 – Concentrazione Massima Oraria SO<sub>2</sub> – Modulo Short Term, Meteorologia EPA

**ALLEGATO D06\_06** – Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 – Concentrazione Media Annuale SO<sub>2</sub> – Modulo Short Term, Meteorologia EPA

## 1. PREMESSA

La presente relazione è finalizzata a valutare le ricadute al suolo delle sostanze emesse in atmosfera dal Terminale galleggiante per la rigassificazione di gas naturale liquefatto "FSRU Toscana", situato a 12 miglia nautiche al largo del litorale tra Livorno e la foce dell'Arno (Marina di Pisa).

Tali ricadute sono riconducibili all'emissione dei prodotti di combustione attraverso il camino delle due caldaie utilizzate per la produzione di vapore necessario al funzionamento dell'impianto e saranno confrontate con i limiti di legge in vigore (DM No. 60 del 02/04/2002 *"Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio"*).

Considerando, comunque, la distanza dalla costa (di circa 22 km) si può ipotizzare, come dimostrato all'interno del presente documento, che le ricadute delle sostanze emesse dall'impianto non vadano ad incidere sulla qualità dell'aria delle province di Livorno e di Pisa.

## 2. MODELLO UTILIZZATO

Per le simulazioni di ricaduta degli inquinanti è stato utilizzato il software "WinDimula3".

WinDimula rappresenta l'evoluzione sotto Windows del noto modello gaussiano DIMULA sviluppato da ENEA.

Il modello DIMULA (Cirillo e Cagnetti, 1982) è inserito nei rapporti ISTISAN 90/32 ("Modelli per la progettazione e valutazione di una rete di rilevamento per il controllo della qualità dell'aria") e ISTISAN 93/36 ("Modelli ad integrazione delle reti per la gestione della qualità dell'aria"), in quanto corrispondente ai requisiti qualitativi per la valutazione delle dispersioni di inquinanti in atmosfera in regioni limitate (caratterizzate da scale spaziali dell'ordine di alcune decine di chilometri) e in condizioni atmosferiche sufficientemente omogenee e stazionarie.

Il programma contiene inoltre una serie di strumenti per la preparazione e gestione dei dati di input e di output e per la preparazione e gestione dei run del modello.

In particolare il programma consente di:

- gestire la preparazione dei file di input contenenti i dati delle sorgenti;
- gestire la preparazione dei file di input contenenti i dati di eventuali recettori discreti;
- gestire la preparazione dei file di input contenenti i dati meteorologici sia short term che climatologici;
- gestire la preparazione del run dei moduli di calcolo implementati;
- gestire la visualizzazione dei valori calcolati in formato testuale;
- gestire la preparazione dei file ausiliari di orografia e rugosità superficiale.

Il modello DIMULA è stato rivisto nel 2000 in un progetto congiunto ENEA – Dipartimento Ambiente e MAIND – Modellistica Ambientale.

DIMULA è un modello gaussiano multisorgente che consente di effettuare simulazioni in versione short-term e in versione climatologica.

I modelli gaussiani si basano su una soluzione analitica esatta dell'equazione di trasporto e diffusione in atmosfera ricavata sotto particolari ipotesi semplificative. La forma della soluzione è di tipo gaussiano, ed è controllata da una serie di parametri che riguardano sia l'altezza effettiva del rilascio per sorgenti calde, calcolata come somma dell'altezza del camino più il sovralzato termico dei fumi, che la dispersione laterale e verticale del pennacchio calcolata utilizzando formulazioni che variano al variare della stabilità atmosferica, descritta utilizzando le sei classi di stabilità introdotte da Pasquill-Turner.

Le caratteristiche principali del software sono riportate di seguito.

### Tipologie di sorgenti emissive:

- sorgenti puntiformi;
- sorgenti areali.

Meteorologia:

- supporto di condizioni di vento con e senza inversione in quota;
- supporto di condizioni di calma con e senza inversione;
- utilizzo di Joint Frequency Function per gestire i calcoli climatologici;
- calcolo della velocità del vento in quota mediante legge esponenziale.

Coefficienti di dispersione laterale e verticale:

- formule di Briggs urbane;
- formule di Briggs rurali;
- formule basate sulla rugosità superficiale;
- formule di Cirillo Poli basate sulla deviazione standard del vento per le condizioni di calma di vento;
- formula di Cirillo e Cagnetti per il calcolo della Sigma laterale per sorgenti areali.

Effetti di DownWash di edifici:

- correzione dell'altezza efficace;
- modello di Huber Snyder per la variazione delle sigma.

Calcolo dell'altezza efficace:

- valutazione dell'effetto scia del camino;
- formule di Briggs;
- formula per la valutazione della BID (Buoyancy Induced Turbulence);
- formule di Briggs per il calcolo del Gradual Plume Rise.

Formulazioni aggiuntive:

- supporto dell'orografia;
- calcolo a quote superiori al suolo;
- valutazione effetti di deposizione umida;
- presenza di un termine di "decadimento" esponenziale;
- valutazione della penetrazione dei fumi in inversioni in quota.

### 3. SCENARI EMISSIVI E DATI CONSIDERATI

#### 3.1. CARATTERIZZAZIONE DELLE SORGENTI EMISSIVE

L'emissione principale generata dal processo in oggetto risulta essere quella prodotta dalle caldaie (di potenza di circa 40 MWt ciascuna) alimentate a metano utilizzate per la produzione di vapore, successivamente inviato alle turbine a vapore per la produzione dell'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'intero ciclo produttivo; si evidenzia che, sebbene le caldaie siano separate, è presente un unico camino di emissione in atmosfera comune alle stesse.

Gli inquinanti emessi dalla combustione del gas metano sono costituiti prevalentemente dagli ossidi di azoto. In considerazione della presenza di zolfo nel gas, sono state inoltre effettuate cautelativamente le simulazioni di dispersione e ricaduta di biossido di zolfo.

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche degli inquinanti presenti nei fumi.

Camino	Portata Nm <sup>3</sup> /h	Inquinanti	Concentrazione	Camino		Temperatura (°C)
				Altezza (m)	Sezione (m <sup>2</sup> )	
Caldaie alimentate a gas	62.916	NO <sub>x</sub>	150 mg/Nm <sup>3</sup>	40,6	2	203
		SO <sub>2</sub>	0,77 mg/Nm <sup>3</sup>			

Tabella 1 - Quadro delle emissioni in atmosfera

La sorgente emissiva è stata caratterizzata nei confronti del sistema di assi cartesiani assoluto individuato, e per essa sono state individuate le caratteristiche geometriche e chimico - fisiche (i.e. entità, temperatura e velocità di emissione). Nella tabella seguente si riportano i dati emissivi della sorgente.

Dato	Unità di misura	Valore
Coordinate (x,y)	m	10000;26000
Altezza camino	m	40,6
Diametro camino	m	1,6
Quota s.l.m. della base del camino punto di emissione	m	0
Rugosità superficiale		999
Tipo di inquinante	-	NO <sub>x</sub>
Emissione totale	g/s	2,62
Temperatura dei fumi	K	476
Velocità di efflusso	m/s	15,24
Diffusività	cm <sup>2</sup> /s	0,1656
Scavenging ratio	h/smm	0
Coefficiente del termine di decadimento	1/s	0
Tipo di inquinante	-	SO <sub>2</sub>

Dato	Unità di misura	Valore
Emissione totale	g/s	0,013
Temperatura dei fumi	K	476
Velocità di efflusso	m/s	15,24
Diffusività	cm <sup>2</sup> /s	0,1509
Scavenging ratio	h/smm	0,00003
Coefficiente del termine di decadimento	1/s	0

Tabella 2 – Dati di input relativi alla sorgente

Sebbene gli ossidi di azoto risultino composti sia da NO<sub>2</sub> che da NO, cautelativamente si è assunto che gli stessi siano costituiti unicamente da NO<sub>2</sub> al fine di consentire un confronto con gli standard di qualità dell'aria definiti dalla normativa vigente (DM 60/02).

### 3.2. DATI METEOROLOGICI

Non essendo disponibile nelle vicinanze dell'area una centralina meteorologica in grado di registrare i dati meteorologici orari di un periodo di riferimento ed avendo il presente studio lo scopo di valutare le peggiori ricadute relative al terminale in oggetto, lo studio è stato basato sul modello EPA, che definisce un set di condizioni meteorologiche standard che permettono la ricerca del massimo di ricaduta. I risultati delle presenti simulazioni possono quindi essere considerati cautelativi.

Al fine di ottenere la stima delle massime ricadute alle diverse distanze dal punto di emissione considerato, le simulazioni sono state condotte con riferimento alle diverse combinazioni meteorologiche tra Classe di Stabilità e Velocità del Vento definite da U.S. EPA e riportate nella tabella seguente.

Velocità del vento a 10 metri dal suolo [m/s]													
Classe di stabilità di Pasquill	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	8,0	10,0	15,0	20,0
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
F	*	*	*	*	*	*	*						

Tabella 3 - Condizioni meteorologiche considerate nel modello

### **3.3. AREA DI INDAGINE**

L'area soggetta ad indagine, pari ad un quadrato di lato 50 km, è stata dimensionata in modo da includere nelle valutazioni anche le località costiere più prossime all'impianto.

La maglia componente il reticolo di calcolo risulta composta di 100 punti in direzione x (ovest) e 100 punti in direzione y (nord).

All'interno dell'area indagata sono stati individuati i principali recettori presenti (si veda l'Allegato D06\_02) e di seguito indicati:

- Isola di Gorgona (R1);
- Centri abitati Livorno (R2 e R3);
- Centro abitato Pisa (R4);
- Centro abitato Torre del Lago Puccini (R5);
- Scuola (R6).



## 4. ANALISI DEI RISULTATI

### 4.1. OSSIDI DI AZOTO

Confrontando i risultati ottenuti con il valore limite orario per la protezione della salute umana ( $200 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$  di  $\text{NO}_2$ ), si può notare che il contributo dell'impianto risulta ovunque trascurabile; i valori di concentrazione più elevati, comunque inferiori di più di un ordine di grandezza al limite normativo (valori intorno a  $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) si riscontrano nelle aree a circa 500 m dal terminale e quindi sul Mar Tirreno, mentre sulla costa si ottengono valori inferiori a  $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il contributo delle emissioni del terminale al valore medio annuo delle concentrazioni di  $\text{NO}_x$ , che è stato confrontato cautelativamente con il valore limite per la protezione della salute umana per l'  $\text{NO}_2$  (valore medio annuo di  $\text{NO}_2$  pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), risulta anch'esso ovunque trascurabile; i valori di concentrazione più elevati ( $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) si riscontrano a circa 1000 m dall'impianto, mentre sulla costa si riscontrano valori di circa  $0,002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ossia di circa quattro ordini di grandezza inferiori ai limiti normativi.

Infine, confrontando i risultati con il valore limite annuale per la protezione della vegetazione ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), si evidenzia come il contributo delle emissioni del terminale risulti irrisorio.

Di seguito si riporta la valutazione delle concentrazioni ottenute per i recettori presenti all'interno del dominio di calcolo.

Recettori	Distanza dall'emissione (m)	Valore massimo media oraria di concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore massimo media annuale di concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
R1	24.670	$8,582 \text{ e}^{-02}$	$2,035 \text{ e}^{-03}$
R2	28.380	$7,442 \text{ e}^{-02}$	$1,552 \text{ e}^{-03}$
R3	30.187	$6,967 \text{ e}^{-02}$	$1,382 \text{ e}^{-03}$
R4	33.470	$6,175 \text{ e}^{-02}$	$1,134 \text{ e}^{-03}$
R5	31.484	$6,645 \text{ e}^{-02}$	$1,273 \text{ e}^{-03}$
R6	23.135,5	$9,13 \text{ e}^{-02}$	$2,296 \text{ e}^{-03}$
		Valore limite di concentrazione	Valore limite di concentrazione
		$200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $\text{NO}_2$ )	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $\text{NO}_2$ ) $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $\text{NO}_x$ )

Tabella 4 – Concentrazione di  $\text{NO}_x$  ai recettori

Come si può notare, i valori di concentrazione di  $\text{NO}_x$  ai recettori risultano essere ben inferiori ai valori limite (relativi a  $\text{NO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) indicati dal DM 60/2002.

Negli Allegati D06\_03 e D06\_04 si riportano le restituzioni grafiche delle simulazioni effettuate.

### 4.2. OSSIDI DI ZOLFO

Confrontando i risultati ottenuti con il valore limite orario per la protezione della salute umana ( $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), si può notare che il contributo del Terminale risulta ovunque trascurabile; i valori di

concentrazione più elevati si riscontrano a meno di 1 km dal terminale, sul Mar Tirreno, mentre sulla costa si ottengono valori ulteriormente inferiori. Tutte le concentrazioni risultano comunque di alcuni ordini di grandezza inferiori al limite normativo. Da tale confronto si deduce come anche i valori di concentrazione giornaliera siano ovunque inferiori al valore limite per la protezione della salute umana ( $125 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ).

Il contributo delle emissioni del Terminale al valore limite per la protezione degli ecosistemi ( $20 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ) risulta irrisorio.

Di seguito si riporta la valutazione delle concentrazioni ottenute per i recettori presenti all'interno del dominio di calcolo.

Recettori	Distanza dall'emissione (m)	Valore massimo della media oraria di concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Valore massimo della media annuale di concentrazione ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
R1	24.670	$4,424 \times 10^{-4}$	$1,05 \times 10^{-5}$
R2	28.380	$3,863 \times 10^{-4}$	$8,015 \times 10^{-6}$
R3	30.187	$3,587 \times 10^{-4}$	$7,11 \times 10^{-6}$
R4	33.470	$3,184 \times 10^{-4}$	$5,825 \times 10^{-6}$
R5	31.484	$3,422 \times 10^{-4}$	$6,551 \times 10^{-6}$
R6	23.135,5	$4,72 \times 10^{-4}$	$1,188 \times 10^{-5}$
		<b>Valore limite di concentrazione</b>	<b>Valore limite di concentrazione</b>
		$350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $\text{SO}_2$ )	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $\text{SO}_2$ )

Tabella 5 - Concentrazione di  $\text{SO}_2$  ai recettori

Come si può notare, i valori di concentrazione di  $\text{SO}_2$  ai recettori risultano essere ben inferiori ai valori limite indicati dal DM 60/2002.

Negli Allegati D06\_05 e D06\_06 si riportano le restituzioni grafiche delle simulazioni effettuate.

## 5. CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha consentito di valutare gli effetti ambientali associati all'emissione delle sostanze inquinanti ad opera del terminale galleggiante.

Per valutare le ricadute si è fatto uso del software WinDimula3, che ha consentito di simulare gli effetti della ricaduta al suolo degli inquinanti mediante la concentrazione oraria massima e media delle sostanze emesse, in funzione degli scenari meteorologici, in un'area di studio quadrata di lato pari a 50 km.

La determinazione del quantitativo delle sostanze emesse dalla sorgente (due caldaie utilizzate per la produzione di vapore) è stata condotta a partire dai valori di concentrazione attesi indicati all'interno della documentazione di progetto; le ricadute al suolo di ossidi di azoto, cautelativamente, sono stati confrontati con i limiti normativi vigenti definiti per il solo biossido di azoto.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando il modello EPA, set predefinito di dati meteorologici in grado di valutare il massimo di ricaduta. La versione short-term del modello ha quindi permesso di calcolare la distribuzione spaziale sul territorio delle concentrazioni degli inquinanti considerati.

Lo studio diffusionale ha permesso il confronto dei livelli di concentrazione risultanti dal codice di calcolo con i limiti di qualità dell'aria imposti dalla normativa vigente (DM 60/2002). Da tale confronto è emersa una completa conformità ai limiti vigenti, come sintetizzato dalla tabella seguente:

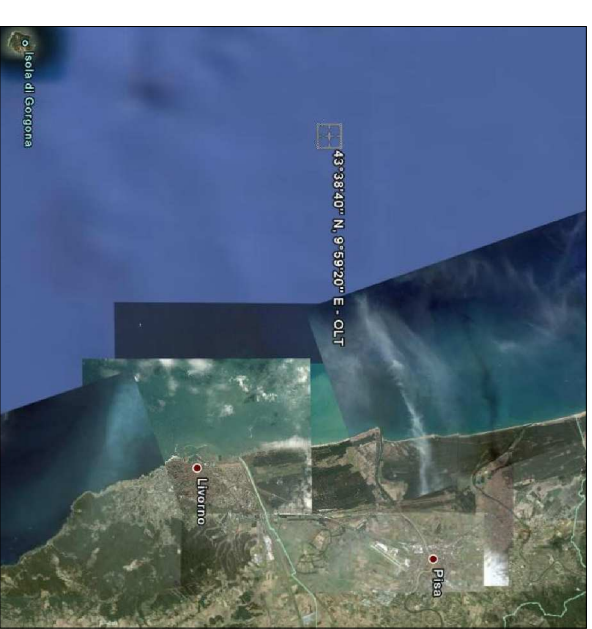
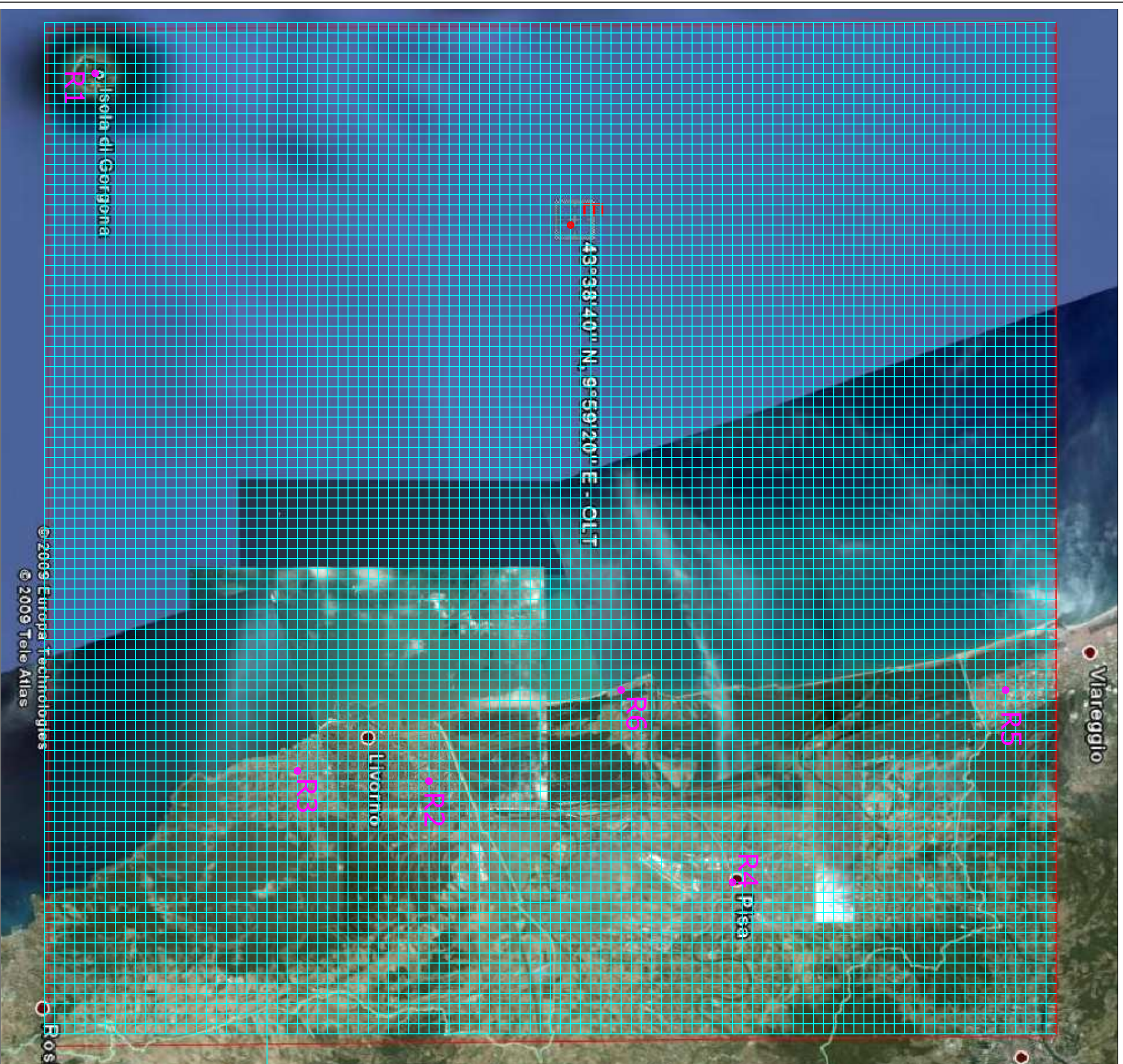
	Massima ricaduta	Standard normativo
<b>Valore di concentrazione massimo oraria di NO<sub>2</sub></b>	7,8 µg/m <sup>3</sup>	200 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valore di concentrazione massimo annuale di NO<sub>2</sub></b>	0,23 µg/m <sup>3</sup>	40 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valore di concentrazione massimo oraria di SO<sub>2</sub></b>	0,04 µg/m <sup>3</sup>	350 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valore di concentrazione massimo giornaliera di SO<sub>2</sub></b>	0,04 µg/m <sup>3</sup> (media oraria)	125 µg/m <sup>3</sup>
<b>Valore di concentrazione massimo annuale di SO<sub>2</sub></b>	0,001 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 6 – Massime ricadute e confronto con i limiti normativi

Le simulazioni modellistiche hanno evidenziato come le ricadute sulla costa siano inferiori di diversi ordini di grandezza ai limiti normativi e determinino un contributo assolutamente trascurabile rispetto agli attuali livelli di qualità dell'aria nelle Province di Pisa e Livorno.

## **Allegato D06\_02**

Planimetria con indicazione del dominio di calcolo ed  
ubicazione dei recettori e dei punti di emissione



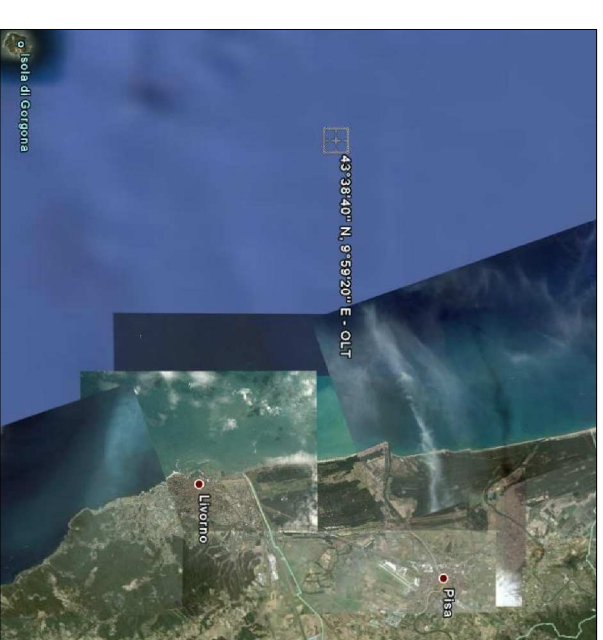
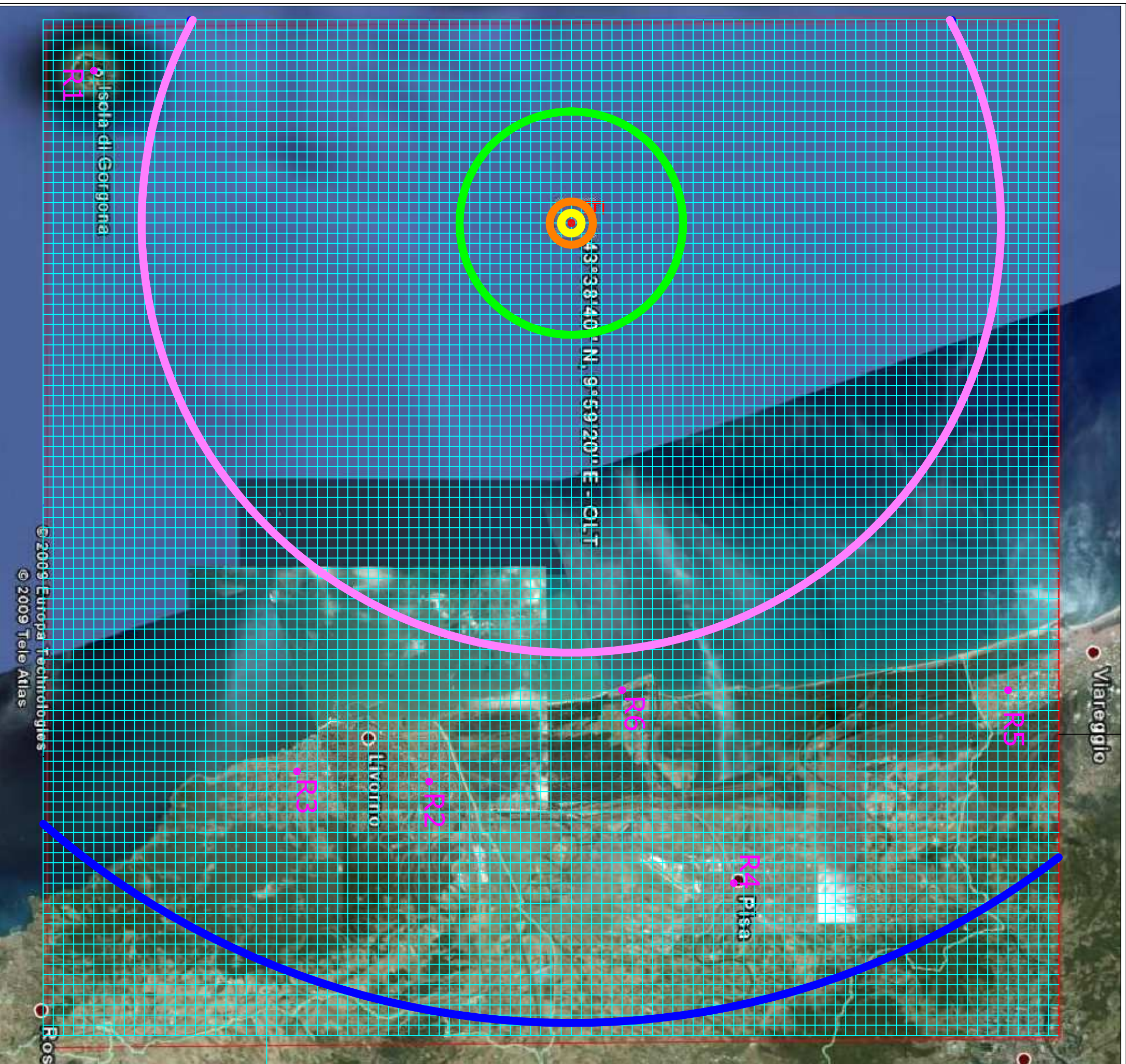
LEGENDA

- # Dominio di calcolo - griglia
- Emissioni puntuali
- Recettori

**Allegato D6\_02**  
 Planimetria con  
 indicazione del dominio di calcolo  
 ed ubicazione dei recettori  
 e punti di emissione

## **Allegato D06\_03**

Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 -  
Concentrazione Massima Oraria NO<sub>2</sub> – Modulo Short Term,  
Meteorologia EPA



**ambiente**  
Ingegneria ambientale e laboratori

**LEGENDA**

# Dominio di calcolo - griglia      ● Emissioni puntuali  
● Recettori

Concentrazione massima oraria - NO<sub>2</sub>

- 7,79 ug/m<sup>3</sup>      1 ug/m<sup>3</sup>
- 5 ug/m<sup>3</sup>      0,1 ug/m<sup>3</sup>
- 0,05 ug/m<sup>3</sup>

Concentrazione massima di riferimento

Concentrazione massima oraria: 200 ug/m<sup>3</sup>  
(da non superare più di 18 volte per anno civile)

**Allegato D6\_03**

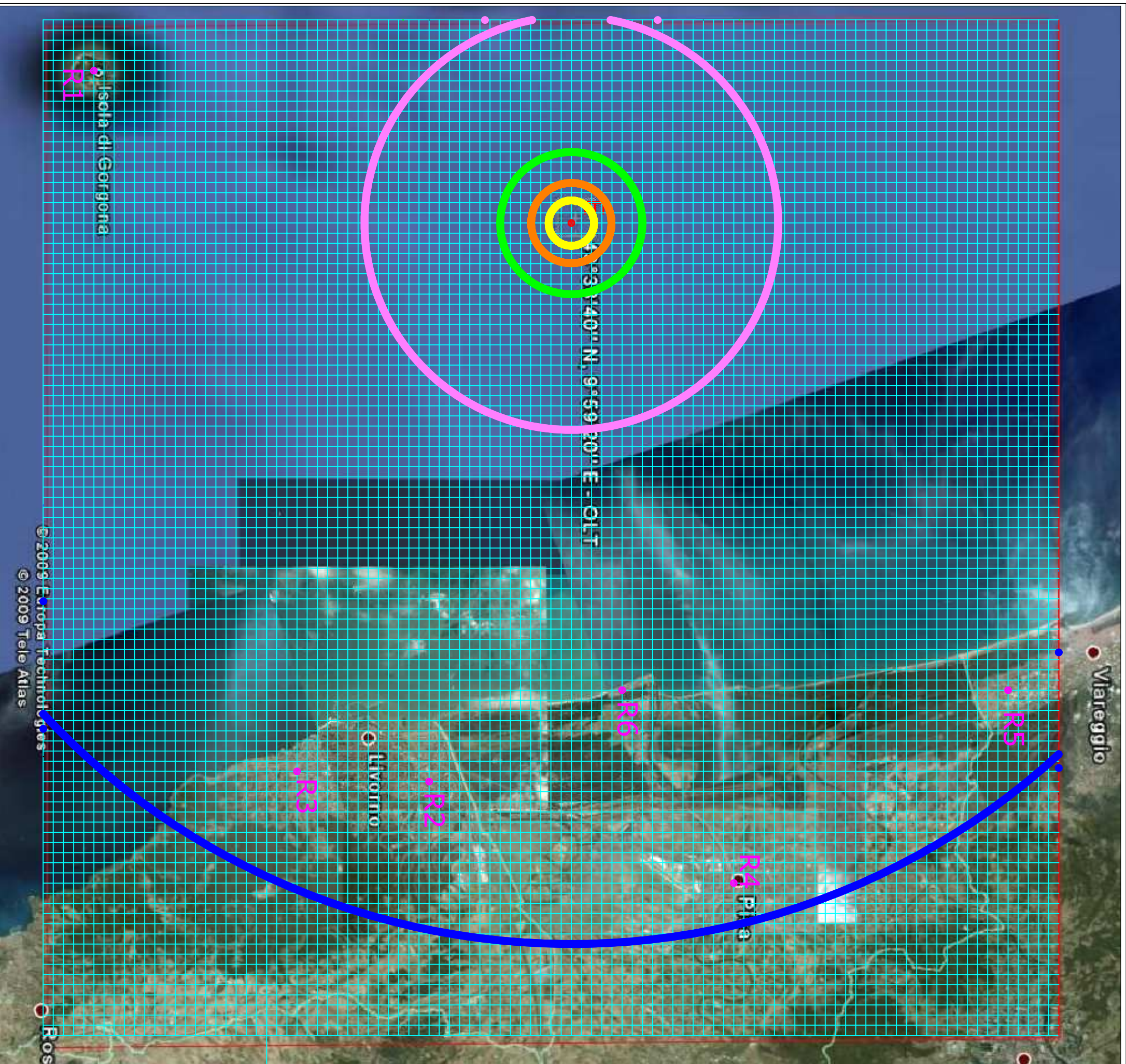
**Mappe isoconcentrazione**

Concentrazione massima oraria NO<sub>2</sub>  
modulo short term - meteorologia EPA









## **Allegato D06\_04**

Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 -  
Concentrazione Media Annua NO<sub>2</sub> – Modulo Short Term,  
Meteorologia EPA





**LEGENDA**

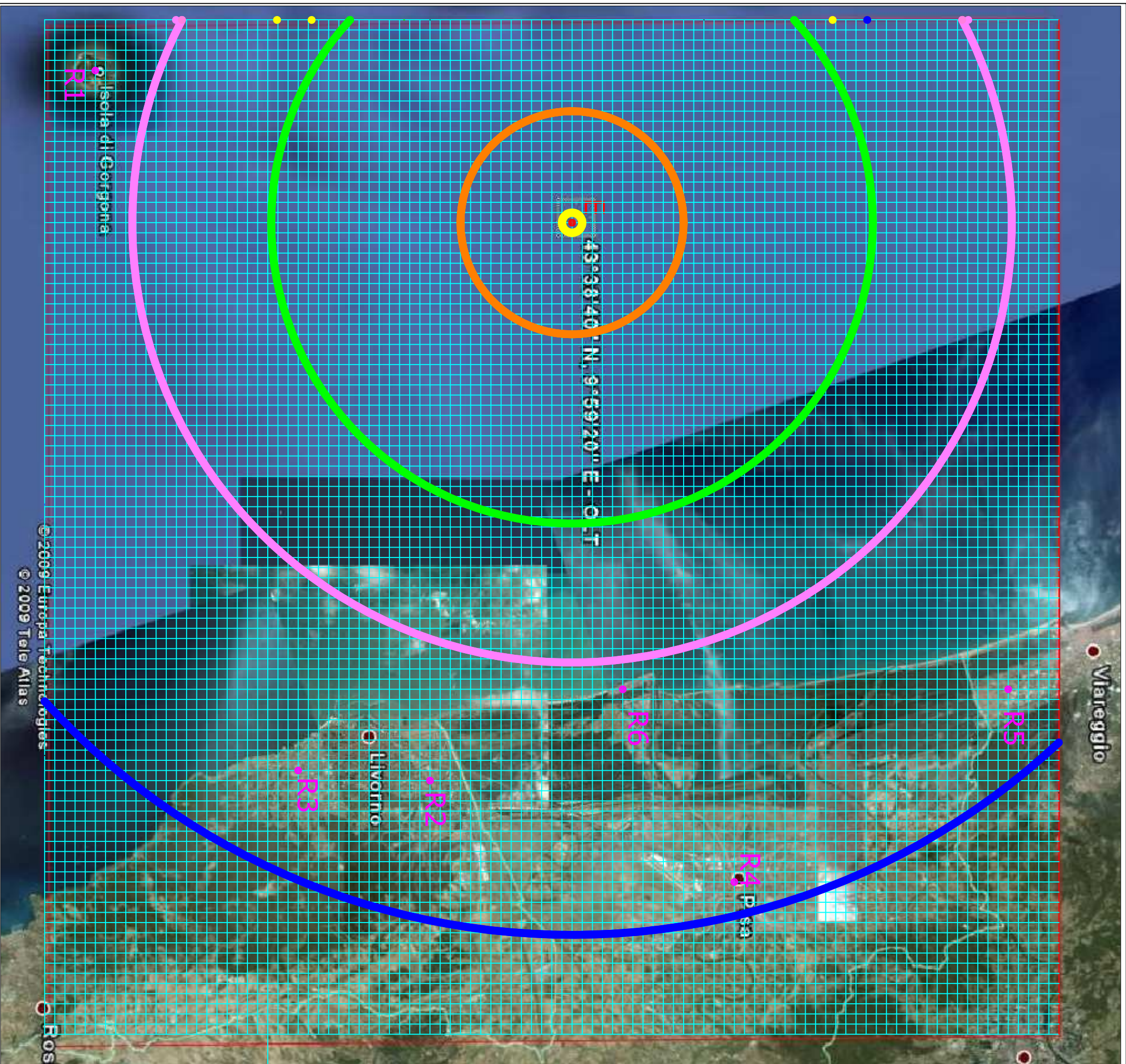
-  Dominio di calcolo - griglia
-  Emissioni puntuali
-  Recettori
- Concentrazione media annua - NO<sub>2</sub>**
-  0,231 ug/m<sup>3</sup>
-  0,1 ug/m<sup>3</sup>
-  0,05 ug/m<sup>3</sup>
-  0,01 ug/m<sup>3</sup>
-  0,001 ug/m<sup>3</sup>
- Concentrazione massima di riferimento**
- Concentrazione media annua: 40 ug/m<sup>3</sup>

**Allegato D6\_04**

**Mappe isoconcentrazione**  
 Concentrazione media annua NO<sub>2</sub>  
 modulo short term - meteorologia EPA

## **Allegato D06\_05**

Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 -  
Concentrazione Massima Oraria SO<sub>2</sub> – Modulo Short Term,  
Meteorologia EPA



#### LEGENDA

# Dominio di calcolo - griglia

● Emissioni puntuali

● Recettori

#### Concentrazione massima oraria

0,0401 ug/m<sup>3</sup>      0,001 ug/m<sup>3</sup>

0,005 ug/m<sup>3</sup>      0,0005 ug/m<sup>3</sup>

0,0003 ug/m<sup>3</sup>

#### Concentrazione massima di riferimento

Concentrazione massima oraria: 350 ug/m<sup>3</sup>  
(da non superare più di 24 volte per anno civile)

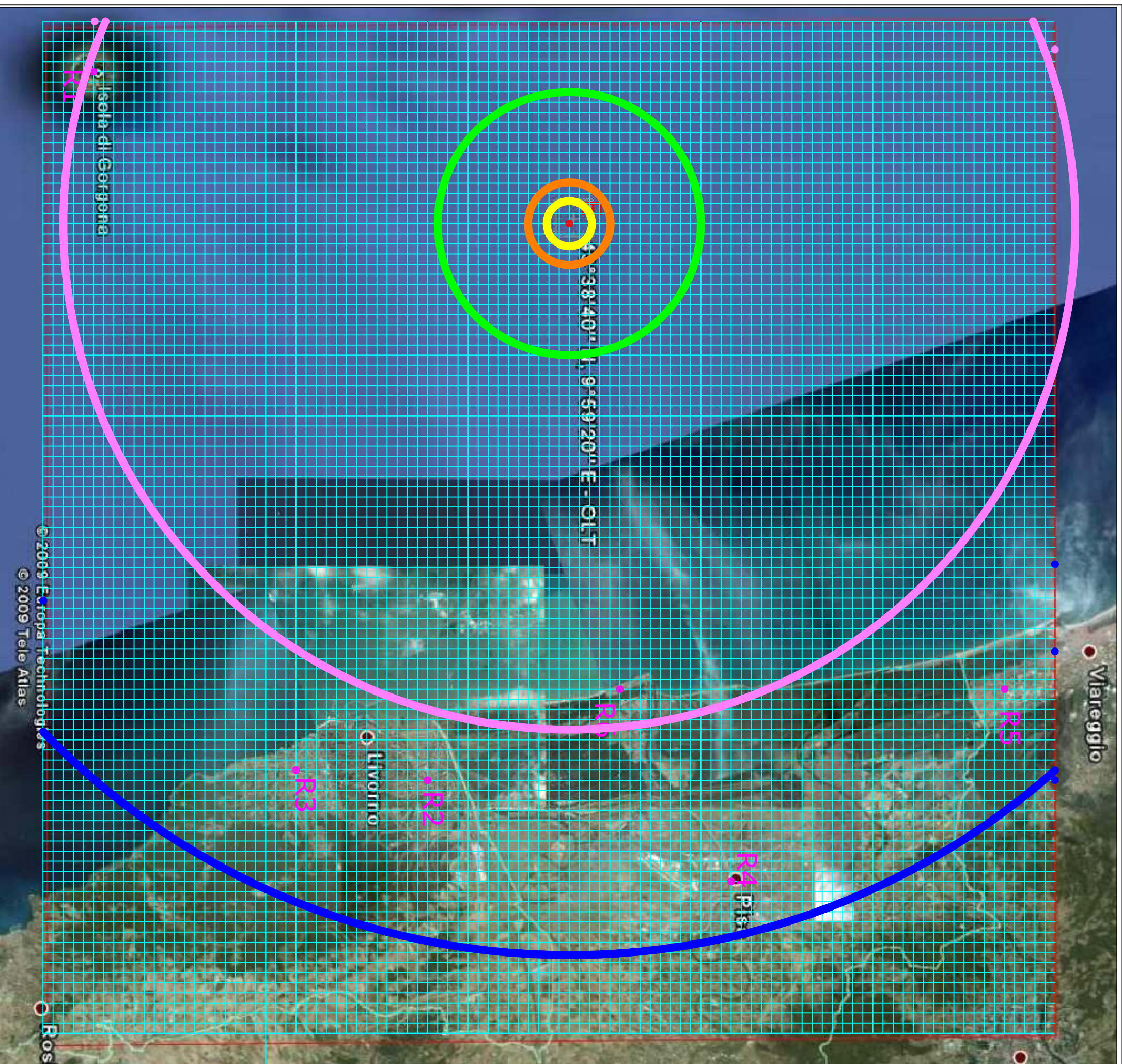
#### Allegato D6\_05

#### Mappe isoconcentrazione









Concentrazione massima oraria SO<sub>2</sub>  
modulo short term - meteorologia EPA

## **Allegato D06\_06**

Mappe di isoconcentrazione – WinDimula3 -  
Concentrazione Media Annua SO<sub>2</sub> – Modulo Short Term,  
Meteorologia EPA



**LEGENDA**

-  Dominio di calcolo - griglia
  -  Emissioni puntuali
  -  Recettori
- Concentrazione media annua**
-  0,00119 ug/m<sup>3</sup>
  -  0,0005 ug/m<sup>3</sup>
  -  0,0001 ug/m<sup>3</sup>
  -  0,00001 ug/m<sup>3</sup>
  -  0,000001 ug/m<sup>3</sup>
- Concentrazione massima di riferimento**  
Concentrazione media annua: 20 ug/m<sup>3</sup>

**Allegato D6\_06**

**Mappe isoconcentrazione**  
Concentrazione media annua SO<sub>2</sub>  
modulo short term - meteorologia EPA