

Proponente

**FLUMINI MANNU**

**FLUMINI MANNU LIMITED**

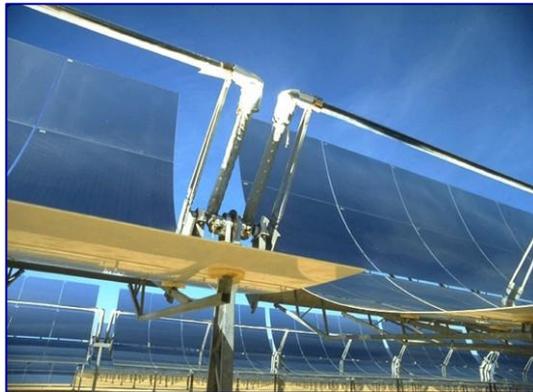
Sede Legale: Bow Road 221 - Londra - Regno Unito  
Filiale Italiana: Corso Umberto I, 08015 Macomer (NU)

**Provincia di Cagliari**

**Comuni di Villasor e Decimoputzu**

Nome progetto

**Impianto Solare Termodinamico della potenza lorda di  
55 MWe denominato "FLUMINI MANNU"**



## VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

Titolo Documento:

**STUDIO DI IMPATTO ATMOSFERICO DEI RISCALDATORI AUSILIARI DELL'IMPIANTO  
SOLARE TERMODINAMICO "FLUMINI MANNU"**

Sviluppo:



**Energogreen Renewables S.r.l.**

Via E. Fermi 19, 62010 Pollenza (MC)

[www.energogreen.com](http://www.energogreen.com)

e-mail: [info@energogreen.com](mailto:info@energogreen.com)

Rev.	Data	Descrizione	Codice di Riferimento
0	11/2014	Emissione per Istanza di VIA	SIATMRIS001

Proprietà e diritti del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

*Gruppo di lavoro Energogreen Renewables:*



*Energogreen Renewables Srl  
Via E. Fermi, 19 - 62010 - Pollenza (MC)*

- 1. Dott. Ing. Cecilia Bubbolini*
- 2. Dott. Ing. Loretta Maccari*
- 3. Dott. Ing. Devis Bozzi*

*Consulenza Esterna:*

- Dott. Arch. Luciano Viridis: Analisi Territoriale*
- Dott. Manuel Floris: "Rapporto Tecnico di Analisi delle Misure di DNI - Sito Flumini Mannu (CA)*
- Dott. Agr. Vincenzo Satta: "Relazioni su Flora, Vegetazione, Pedologia e Uso del Suolo"*
- Dott. Agr. Vincenzo Sechi: "Relazione faunistica"*
- Dott. Agr. V. Satta e Dott. Agr. V. Sechi: "Relazione Agronomica"*
- Dott. Geol. Eugenio Pistolesi: "Indagine Geologica Preliminare di Fattibilità"*
- Studio Associato Ingg. Deffenu e Lostia: "Documento di Previsione d'Impatto Acustico"*
- Dott. Arch. Leonardo Annessi: Rendering e Fotoinserimenti*
- Tecsa S.p.A.: "Rapporto Preliminare di Sicurezza"*
- Enviroware srl, Dott. Roberto Bellasio: "Studio d'impatto atmosferico dei riscaldatori ausiliari dell'impianto solare termodinamico "Flumini Mannu"*
- Geotechna Srl: "Relazione Geologica", "Relazione Geotecnica" e "Studio di compatibilità idraulica"*
- Progetto Engineering srl: "Progetto elettrico definitivo"*

# Studio di impatto atmosferico dei riscaldatori ausiliari dell'impianto solare termodinamico "Flumini Mannu"

Preparato per:

**Energogreen Renewables S.r.l.**

**Via Enrico Fermi, 19**

**62010 Pollenza (MC)**

Ottobre 2014

**Enviroware**  
Air quality consulting

Enviroware srl  
via Dante Alighieri, 142  
208063 Concorezzo MB  
Tel 039/6203636  
info@enviroware.com  
<http://www.enviroware.com>

Approvato da:  
Roberto Bellasio

*Roberto Bellasio*

## Sommario

1	Premessa .....	2
2	Introduzione .....	4
3	Caratterizzazione della qualità dell'aria .....	5
3.1	La normativa .....	5
3.2	La zonizzazione del territorio .....	10
3.3	La qualità dell'aria .....	12
3.3.1	La rete di monitoraggio .....	12
3.3.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	13
3.3.3	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	14
3.3.4	Polveri fini (PM <sub>10</sub> ) .....	15
3.3.5	Idrogeno solforato (H <sub>2</sub> S) .....	16
3.4	Il modello di simulazione AERMOD .....	17
4	Costruzione dell'input meteorologico .....	21
4.1	Velocità e direzione del vento .....	21
4.2	Temperatura .....	26
4.3	Precipitazioni .....	27
4.4	Andamento dello strato limite planetario .....	28
4.4.1	Casi stabile e neutro .....	28
4.4.2	Caso instabile .....	29
4.5	Velocità di frizione .....	29
5	Caratterizzazione delle emissioni in fase di esercizio .....	31
6	Simulazioni di dispersione degli inquinanti .....	33
6.1	Building downwash .....	35
6.2	Ossidi di Azoto .....	36
6.3	Monossido di Carbonio .....	40
6.4	Particolato (PM <sub>10</sub> ) .....	42
6.5	Biossido di zolfo .....	46
7	Conclusioni .....	52
8	Riferimenti .....	54

## 1 Premessa

L'oggetto della presente valutazione previsionale è un impianto solare termodinamico (CSP – *Concentrating Solar Power*) a specchi parabolici di potenza lorda pari a 55 MWe. L'impianto in progetto sarà installato in un'area a destinazione agricola di circa 269 ha, compresa tra i territori comunali di **Villasor** e di **Decimoputzu**, in provincia di Cagliari. Un impianto di questo tipo, che si basa sulla fonte solare, permette la produzione di calore ad alta temperatura e quindi di energia elettrica pulita. La radiazione solare viene concentrata e potenziata al fine di ottenere una quantità di energia termica sufficiente ad avviare cicli efficienti di conversione termodinamica, ovvero l'energia del sole viene trasformata in energia termica e poi convertita in energia elettrica. I sistemi CSP sono quindi impianti che permettono di trasformare la radiazione solare in energia elettrica sfruttando la possibilità di concentrare la luce del sole focalizzandola attraverso lenti o specchi concavi che devono essere sempre allineati al sole.

Le fasi del processo si possono così schematizzare:

1. si fanno convergere i raggi del sole sul contenitore di un fluido, detto fluido termovettore, che accumula calore ad alta temperatura;
2. l'energia termica così concentrata va ad alimentare una caldaia che produce il vapore ad alta pressione che aziona la turbina;
3. proprio come avviene in una centrale termoelettrica tradizionale, la turbina trasmette la sua energia meccanica ad un alternatore;
4. l'alternatore trasforma l'energia meccanica in energia elettrica;
5. l'energia elettrica viene immessa in rete e distribuita alle utenze.

L'impianto, con le strutture che lo compongono, può essere schematizzato come descritto di seguito:

### Sottosistema Solare Termodinamico

- Campo solare;
- Sistema di accumulo termico.

### Sottosistema Blocco di Potenza

- La "Power Block" ospita tutti gli apparati di una convenzionale centrale elettrica a vapore (Generatore di Vapore GV; Turbina a Vapore; Condensatore; Alternatore).

Altri componenti che svolgono un ruolo "secondario", ma comunque di fondamentale importanza, sono:

- **Riscaldatori ausiliari: n. 3 bruciatori da 15,5 MWt alimentati a gasolio, di potenza termica nominale complessiva pari a 46,5 MWt** (oggetto del presente studio di impatto atmosferico);
- Sottosistema BOP (Balance of plant) – Sistemi Ausiliari: include tutto il resto dell’impianto, che può comprendere gli apparati ed i sistemi necessari al funzionamento dello stesso.

La realizzazione dell’impianto comporta anche l’asestamento dell’area e la predisposizione delle opere civili per l’alloggiamento dei vari macchinari, degli uffici e quanto altro indispensabile.

Il Campo solare è il cuore dell’impianto, in esso viene raccolta, concentrata ed assorbita la radiazione solare che sostituisce il combustibile ed il generatore di energia termica degli impianti convenzionali. Esso è costituito dai collettori parabolici lineari disposti in file parallele allineate secondo la direttrice N-S e suddivisi in stringhe (o loops). Nel progetto in oggetto una stringa sarà composta da n. 4 SCA (Solar Collector Assembly) di lunghezza nominale pari a 173 metri (14 moduli assemblati) e larghezza di circa 6,87 metri. Nel layout di progetto, si sono disposti n. 720 SCA (Solar Collector Assembly), che vanno a comporre le 180 stringhe del campo solare, per una superficie captante totale pari a circa 815.600 mq.

Il Sistema di accumulo termico prevede la presenza di due serbatoi con sale fuso. I due serbatoi si differenziano per la temperatura media del sale che viene accumulato al loro interno; le temperature medie dei due serbatoi sono 550°C e 290°C. In presenza di irraggiamento sufficiente il sale viene pompato dal serbatoio freddo al circuito del campo solare dove, circolando all’interno dei collettori solari, si scalda fino a 550 °C; il sale in uscita dal campo viene poi inviato in parte al serbatoio caldo e in parte al generatore di vapore. In assenza di irraggiamento o con un irraggiamento che non consente la piena produzione di vapore, il sale viene prelevato dal serbatoio caldo e, dopo aver prodotto vapore surriscaldato nel generatore di vapore, ritorna al serbatoio freddo.

Il Blocco di Potenza, o Power Block, è la parte d’impianto che comprende le “macchine” tipiche di una convenzionale centrale termoelettrica. È l’area designata alla conversione termodinamica, quindi elettromeccanica. I suoi principali componenti sono: il generatore di vapore, la turbina a vapore accoppiata ad un generatore elettrico e il condensatore (sistema di raffreddamento).

## 2 Introduzione

Questo documento descrive l'impatto atmosferico dovuto alle emissioni dei tre bruciatori diesel da 15.5 MWt ubicati all'interno dell'impianto solare termodinamico nella sezione Power Block. Presumibilmente, i tre bruciatori non funzioneranno contemporaneamente e sicuramente non per tutte le ore dell'anno, ma, non sapendo esattamente in quali periodi le tre sorgenti saranno attive, verrà simulato cautelativamente il loro funzionamento in continuo ed in contemporanea durante l'intero anno, ovvero per 8760 ore.

Durante il loro funzionamento le sorgenti emettono monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOX), biossido di zolfo (SO2) e polveri (PM10). Le concentrazioni al suolo sono state valutate tramite l'applicazione del modello di dispersione degli inquinanti in atmosfera AERMOD, indicato dall'EPA (*Environmental Protection Agency*) degli Stati Uniti come lo strumento modellistico da utilizzare per simulare l'impatto in atmosfera di sostanze inerti a breve distanza dalle sorgenti di emissione (fino a circa 10 km) in presenza di terreno piatto o moderatamente complesso e condizioni micro meteorologiche uniformi sul dominio di simulazione.

I dati meteorologici orari misurati dalla stazione di Villasor per l'intero anno 2012 sono stati acquisiti dal SAR, Servizio Agro-meteorologico Regionale della Sardegna, e quindi elaborati al fine di ottenere tutte le variabili necessarie per il funzionamento del modello.

Le statistiche relative alla qualità dell'aria per gli inquinanti di interesse sono state ottenute dalla "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012" redatta da ARPA Sardegna.

Le simulazioni di dispersione atmosferica sono state condotte con dettaglio orario su tutte le ore dell'anno 2012. I risultati sono stati elaborati al fine di ottenere le statistiche di interesse per il D.Lgs. 155/2010, che sono state quindi confrontate con i limiti di legge e con i valori misurati alla centralina di monitoraggio.

Lo studio si articola attraverso:

- La caratterizzazione della qualità dell'aria e la descrizione della normativa vigente;
- la descrizione del modello di dispersione utilizzato per le simulazioni;
- la caratterizzazione meteorologica del sito per l'anno scelto per le simulazioni;
- la descrizione e la caratterizzazione delle sorgenti emissive;
- la stima, tramite simulazioni modellistiche, delle concentrazioni di inquinanti al suolo;
- la valutazione dei risultati ottenuti dal modello mediante confronto con i valori limite di concentrazione stabiliti dalla normativa e con i valori misurati dalle centraline più vicine all'impianto.

## 3 Caratterizzazione della qualità dell'aria

### 3.1 La normativa

La normativa di interesse sulla qualità dell'aria per il presente studio è stabilita dal **D.Lgs. 155 del 13/08/2010** che recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE (relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa) e abroga una serie di leggi precedenti, tra cui il DM n. 60 del 2 aprile 2002 e il D.Lgs. 351 del 04/08/1999.

Le finalità del Decreto sono:

- a) individuare obiettivi di qualità dell'aria ambiente volti a evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso;
- b) valutare la qualità dell'aria ambiente sulla base di metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale;
- c) ottenere informazioni sulla qualità dell'aria ambiente come base per individuare le misure da adottare per contrastare l'inquinamento e gli effetti nocivi dell'inquinamento sulla salute umana e sull'ambiente e per monitorare le tendenze a lungo termine, nonché i miglioramenti dovuti alle misure adottate;
- d) mantenere la qualità dell'aria ambiente, laddove buona, e migliorarla negli altri casi;
- e) garantire al pubblico le informazioni sulla qualità dell'aria ambiente;
- f) realizzare una migliore cooperazione tra gli Stati dell'Unione Europea in materia di inquinamento atmosferico.

Per raggiungere tali finalità, il decreto stabilisce:

- a) i valori limite per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo, biossido di azoto, benzene, monossido di carbonio, piombo e PM10;
- b) i livelli critici per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e ossidi di azoto;
- c) le soglie di allarme per le concentrazioni nell'aria ambiente di biossido di zolfo e biossido di azoto;
- d) il valore limite, il valore obiettivo, l'obbligo di concentrazione dell'esposizione e l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione per le concentrazioni nell'aria ambiente di PM2.5;
- e) i valori obiettivo per le concentrazioni nell'aria ambiente di arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene;
- f) i valori obiettivo, gli obiettivi a lungo termine, le soglie di allarme e le soglie di informazione per l'ozono.

Per **aria ambiente**, si intende l'aria esterna presente in troposfera, ad esclusione di quella presente nei luoghi di lavoro definiti dal D.Lgs. n. 81 del 09/04/2008.

Il **valore limite** è un livello fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato.

La **soglia di allarme** è il livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati.

La **soglia di informazione** è il livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di assicurare informazioni adeguate e tempestive.

Il **valore obiettivo** è il livello fissato al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, da conseguire, ove possibile, entro una data prestabilita.

**L'obiettivo a lungo termine** è il livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

Per ossidi di azoto (NOX) si intende la somma dei rapporti di mescolamento in volume (ppbv) di monossido di azoto e biossido di azoto, espressa in unità di concentrazione di massa di biossido di azoto ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

I valori limite fissati dal Decreto al fine della protezione della salute umana sono riepilogati in Tabella 1.

Il valore limite riportato per il biossido di zolfo può essere espresso anche in termini di percentili. Il percentile 99.73 della concentrazione media oraria non deve superare i  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre il percentile 99.18 della concentrazione media giornaliera non deve superare i  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Analogamente per il biossido di azoto il percentile 99.79 della concentrazione media oraria non deve superare i  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per quanto riguarda il PM10 il percentile 90.41 delle concentrazioni medie giornaliere non deve superare i  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per il benzene il Decreto stabilisce un valore limite di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media annua.

Il valore limite per il monossido di carbonio è espresso tramite la media massima giornaliera su 8 ore. Essa viene individuata esaminando le medie mobili su 8 ore, calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora.

Il Decreto stabilisce le soglie di allarme per il biossido di zolfo, per il biossido di azoto e per l'ozono:

- SO<sub>2</sub>: 500 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 km<sup>2</sup> oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.
- NO<sub>2</sub>: 400 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive in un sito rappresentativo della qualità dell'aria di un'area di almeno 100 km<sup>2</sup> oppure in una intera zona o un intero agglomerato, nel caso siano meno estesi.
- O<sub>3</sub>: 180 µg/m<sup>3</sup> come media su 1 ora per finalità di informazione; 240 µg/m<sup>3</sup> come media su 1 ora per tre ore consecutive per finalità di allarme.

In caso di superamenti delle soglie di allarme l'informazione deve essere resa pubblica, completa di data e ora del superamento, la causa (nel caso in cui sia nota), le previsioni sui futuri livelli di inquinamento, le categorie di popolazione potenzialmente sensibili al fenomeno e le precauzioni che la popolazione sensibile deve prendere per minimizzare gli eventuali danni.

I livelli critici per la protezione della vegetazione vengono riepilogati in Tabella 2, e sono pari a 20 µg/m<sup>3</sup> e 30 µg/m<sup>3</sup> come media sull'anno civile rispettivamente per SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.

La Tabella 3 riepiloga i valori obiettivo per arsenico, cadmio, nichel e benzo(a)pirene.

Infine, la Tabella 4 e la Tabella 5 riepilogano i valori obiettivo e gli obiettivi a lungo termine per l'ozono.

Inquinante	Periodo di mediazione	Valore limite
Biossido di zolfo	1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte per anno civile
Biossido di zolfo	24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte per anno civile
Biossido di azoto	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 18 volte per anno civile
Biossido di azoto	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>
Benzene	Anno civile	5 µg/m <sup>3</sup>
Monossido di carbonio	Media massima giornaliera di 8 ore <sup>(1)</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>
Piombo	Anno civile	0.5 µg/m <sup>3</sup>
PM10	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 35 volte per anno civile
PM10	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup>
PM2.5 (Fase 1)	Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup>
PM2.5 (Fase 2)	Anno civile	Da stabilire
(1) Media mobile. Ogni media è riferita al giorno in cui si conclude. L'ultima fascia di calcolo per ogni giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00.		

**Tabella 1. Valori limite fissati dal D.Lgs 155/2010 per la protezione della salute umana.**

Inquinante	Periodo di mediazione	Livello critico
Biossido di zolfo	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup>
Biossido di zolfo	1 ottobre – 31 marzo	20 µg/m <sup>3</sup>
Ossidi di azoto	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup>

**Tabella 2. Livelli critici fissati dal D.Lgs 155/2010 per la protezione della vegetazione.**

Inquinante	Valore obiettivo
Arsenico	6.0 ng/m <sup>3</sup>
Cadmio	5.0 ng/m <sup>3</sup>
Nichel	20.0 ng/m <sup>3</sup>
Benzo(a)pirene	1.0 ng/m <sup>3</sup>

**Tabella 3. Valore obiettivo riferito al tenore totale di ciascun inquinante presente nella frazione di PM<sub>10</sub> del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile.**

Finalità	Periodo di mediazione	Valore obiettivo (1)
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore <sup>(2)</sup>	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 25 volte per anno civile come media su tre anni
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40 (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 18000 µg/m <sup>3</sup> h come media su cinque anni (3)

**Tabella 4. Valori obiettivo fissati dal D.Lgs 155/2010 per l'ozono.**

Finalità	Periodo di mediazione	Obiettivo a lungo termine
Protezione della salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 ore nell'arco di un anno civile <sup>(2)</sup>	120 µg/m <sup>3</sup>
Protezione della vegetazione	Da maggio a luglio	AOT40 (calcolato sulla base dei valori di 1 ora) 6000 µg/m <sup>3</sup> h (3)

(1) Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012, per la protezione della salute umana, e nel 2015, con riferimento al quinquennio 2010-2014, per la protezione della vegetazione.

(2) Media mobile. Ogni media è riferita al giorno in cui si conclude. L'ultima fascia di calcolo per ogni giorno è quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00.

(3) Per AOT40 (espresso in µg/m<sup>3</sup> h) si intende la somma della differenza tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m<sup>3</sup> (40 ppb) e 80 µg/m<sup>3</sup> 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 (CET).

**Tabella 5. Obiettivi a lungo termine fissati dal D.Lgs 155/2010 per l'ozono.**

## 3.2 La zonizzazione del territorio

La zonizzazione del territorio della Regione Sardegna ai sensi del decreto legislativo n. 155 del 13 agosto 2010, approvata con Deliberazione della Giunta Regionale numero 52/19 del 10/12/2013 è mostrata in Figura 1. La zonizzazione ai fini della protezione della salute umana è stata realizzata considerando gli inquinanti PM10, PM2.5, NO2, SO2, CO, Pb, C6H6, As, Cd, Ni, B(a)P.

Secondo tale zonizzazione il territorio della regione viene suddiviso nelle seguenti zone:

- IT2007 - Agglomerato di Cagliari;
- IT2008 - Zona urbana;
- IT2009 - Zona industriale;
- IT2010 - Zona rurale;
- IT2011 - Zona Ozono;

L'**agglomerato di Cagliari** include, oltre al capoluogo, altri cinque comuni per un totale di circa trecentomila abitanti: Monserrato, Quartucciu, Quartu Sant'Elena, Selargius ed Elmas.

La **zona urbana** è costituita dalle aree urbane rilevanti sul cui territorio si registrano livelli emissivi significativi, principalmente prodotti dal trasporto stradale e dal riscaldamento domestico, ma anche da altre sorgenti, quali le attività portuali e aeroportuali. Tale area comprende i comuni di Olbia e Sassari, fatta eccezione per la zona industriale di Fiume Santo.

La **zona industriale** è costituita dai comuni in cui ricadono aree industriali in cui il carico emissivo è determinato prevalentemente da più attività energetiche e/o industriali localizzate nel territorio, caratterizzate prevalentemente da emissioni puntuali. Tale area comprende i comuni di Assemini, Capoterra, Portoscuso, Porto Torres (inclusa l'area industriale di Fiume Santo) e Sarroch.

La **zona rurale** è invece costituita dalla rimanente parte del territorio regionale. Essa risulta caratterizzata da livelli emissivi dei vari inquinanti piuttosto contenuti, dalla presenza di poche attività produttive isolate e generalmente con un basso grado di urbanizzazione.

Per quanto riguarda l'ozono invece l'intera isola costituisce un'unica zona, fatta eccezione per l'agglomerato di Cagliari, che viene già monitorato per tale inquinante.

Concentrandosi comunque sulla zonizzazione ai fini della protezione della salute umana, si osserva che i comuni di Villasor e Decimoputzu, dove è ubicato l'impianto oggetto dello studio, sono situati all'interno della zona rurale.

Poiché la nuova zonizzazione è datata dicembre 2013 mentre l'anno di riferimento delle simulazioni di questo studio è il 2012, si ritiene utile richiamare brevemente anche la precedente zonizzazione della Regione Sardegna, riportata in Figura 2. Si osserva che anche nella precedente zonizzazione i

comuni di Villasor e Decimoputzu erano in una zona, denominata di mantenimento, caratterizzata da contenuti livelli emissivi degli inquinanti (Villasor però era indicato anche come area da tenere sotto controllo con un adeguato monitoraggio).

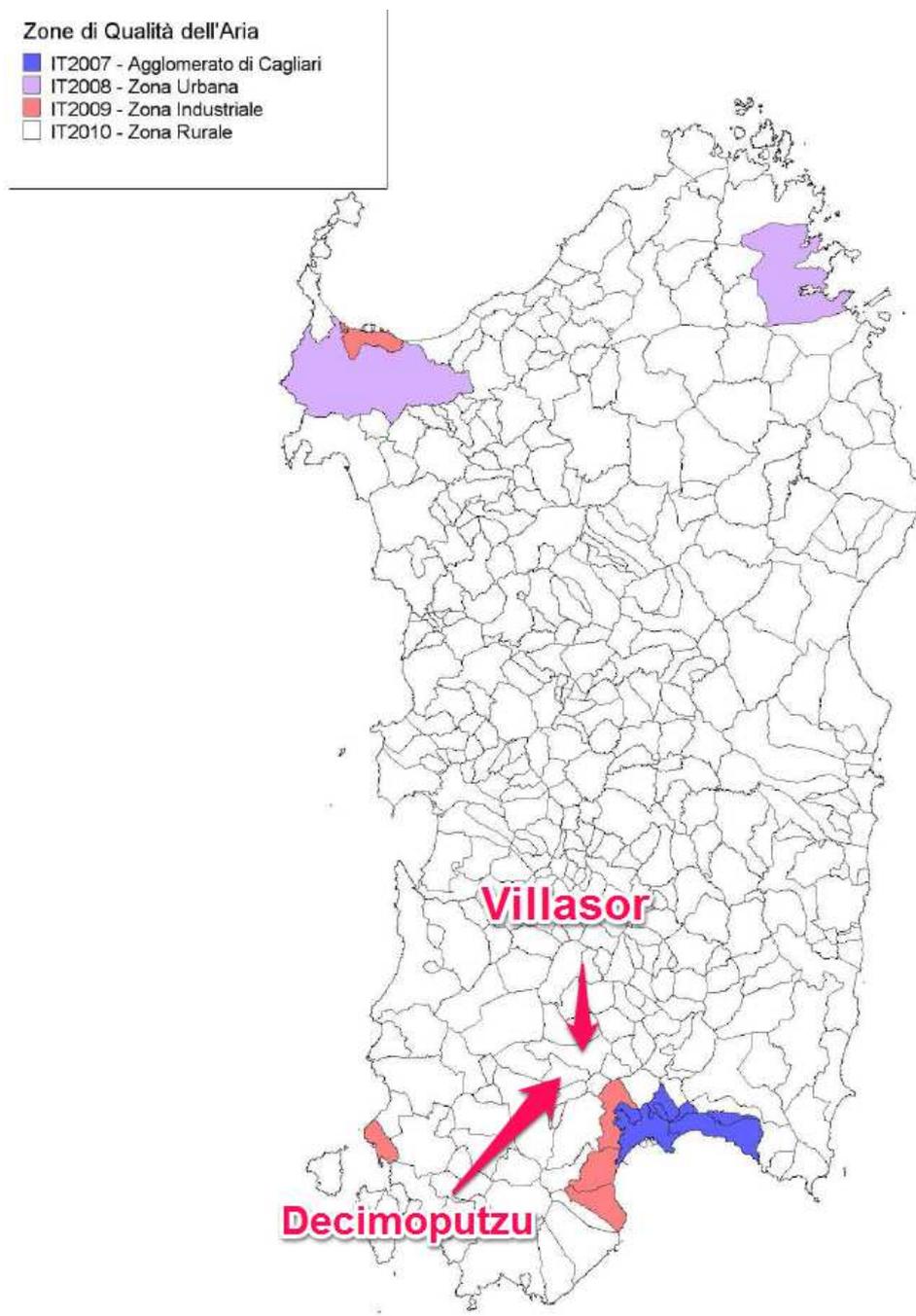


Figura 1. Zonizzazione del territorio della Regione Sardegna ai fini della protezione della salute umana. Fonte: Allegato A della Deliberazione della Giunta Regionale della Sardegna numero 52/19 del 10/12/2013.

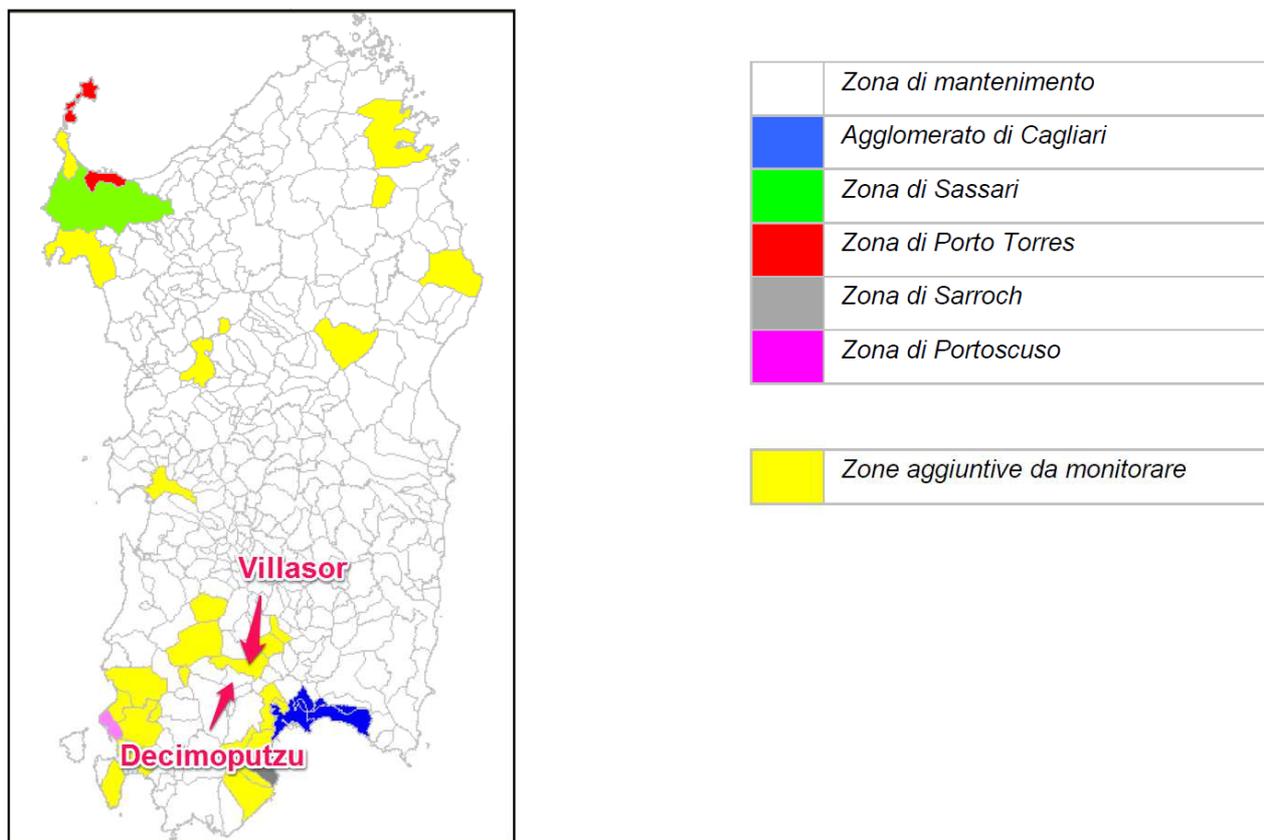


Figura 2. Precedente zonizzazione del territorio della Regione Sardegna. Fonte: “Relazione annuale sulla qualità dell’aria in Sardegna, Anno 2012”.

### 3.3 La qualità dell’aria

#### 3.3.1 La rete di monitoraggio

La stazione di Villazor (CENVS1) è una delle tre, assieme a quelle di Nuraminis (CENNM1) e di San Gavino M. (CENSG3), che coprono il Campidano Centrale.

La stazione CENVS1 è ubicata nella zona meridionale di Villazor, alla periferia del centro abitato, nel punto di coordinate metriche UTM 32S E=494798, N=4358267. La posizione della stazione di monitoraggio (cerchio giallo) rispetto all’impianto (poligono blu) è mostrata in Figura 3. La stazione è a circa 6 km a Est rispetto all’impianto.

Durante l’anno 2012 la stazione CENVS1 ha monitorato H2S, NO2, PM10 e SO2 con una percentuale di validità dei dati non minore del 93%. Si osserva che il monossido di carbonio (CO), di interesse in questo studio, non è monitorato dalla stazione, né dalle altre stazioni del Campidano Centrale.



**Figura 3. Posizione dell'impianto (poligono blu) e della stazione di monitoraggio della qualità dell'aria (cerchio giallo).**

Nel seguito vengono descritte e commentate le statistiche di interesse normativo (D.Lgs. 155/2010). Tutti i dati ed i grafici sono stati ottenuti dalla "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012" di ARPA Sardegna.

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

In tutte le stazioni del Campidano Centrale durante l'anno 2012 le medie annuali sono state minori di 12.2 µg/m<sup>3</sup> mentre le medie orarie sono state minori di 122.8 µg/m<sup>3</sup>. Tali valori risultano minori dei rispettivi limiti di 40 µg/m<sup>3</sup> e di 200 µg/m<sup>3</sup> stabiliti dal D.Lgs. 155/2010.

La Figura 4 mostra le distribuzioni mensili e annuale dei valori misurati. Gli estremi di ogni barra indicano rispettivamente il valore massimo e il valore minimo, le basi del rettangolo indicano il 5° e il 98° percentile, il tratto rosso orizzontale indica la mediana (50° percentile) mentre il rombo indica la media. La linea azzurra, i cui valori devono essere letti sulle ordinate di destra, indicano la percentuale di validità dei dati. Si osserva che per il caso specifico di Villasor la media annuale è stata pari a 12.2 µg/m<sup>3</sup>, mentre la massima media oraria è stata di 59.4 µg/m<sup>3</sup>.

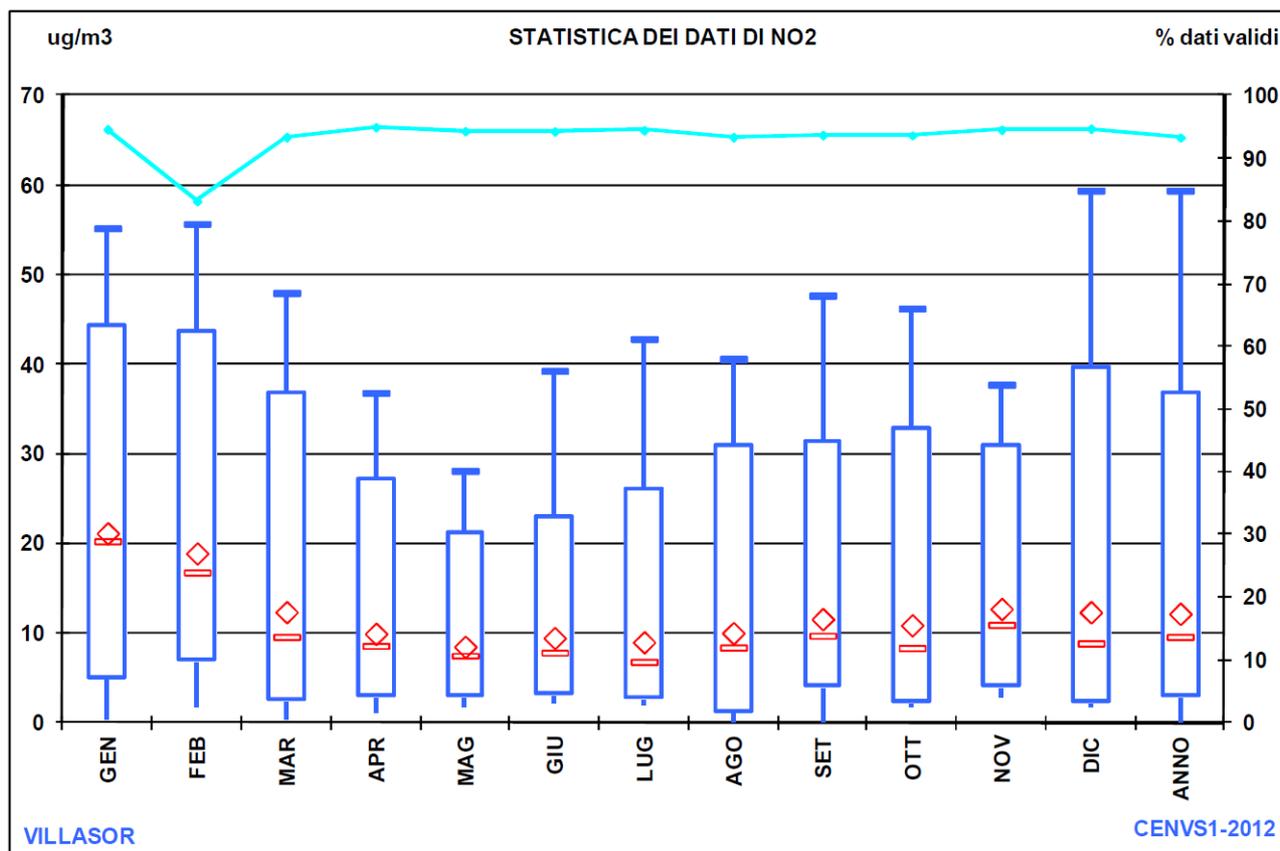


Figura 4. Box plot delle distribuzioni mensili e annuale delle misure di NO2 della stazione di Villasor per l'anno 2012. Fonte: "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012".

### 3.3.3 Biossido di zolfo (SO2)

La Figura 5 mostra le distribuzioni mensili e annuale dei valori misurati. La massima media oraria registrata nella stazione CENVS1 è stata pari a 10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , la massima media giornaliera è stata pari a 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre la media annuale è stata di 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tali valori risultano minori dei rispettivi limiti stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media annuale, 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media di 24 ore, e 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media di 1 ora).

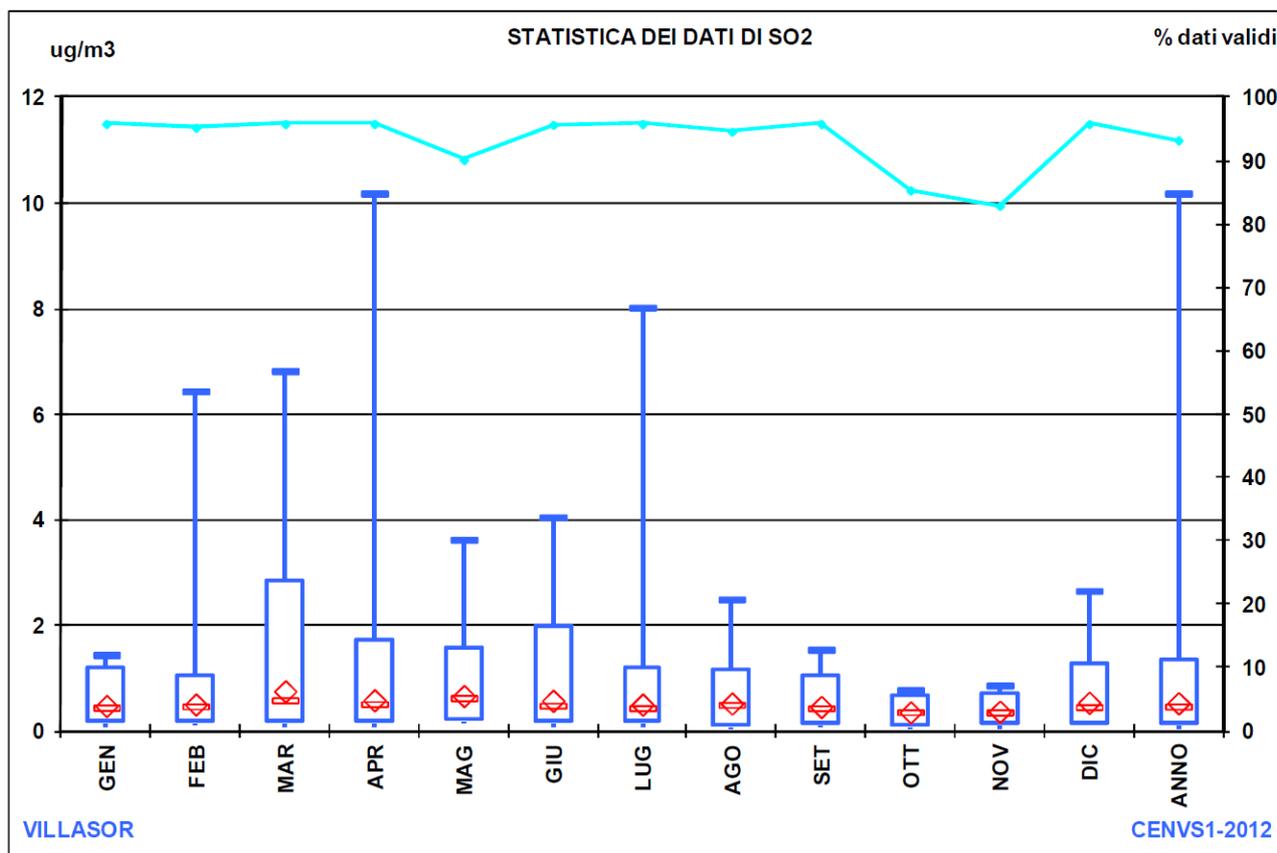


Figura 5. Box plot delle distribuzioni mensili e annuale delle misure di SO2 della stazione di Villasor per l'anno 2012. Fonte: "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012".

### 3.3.4 Polveri fini (PM10)

La Figura 6 mostra le distribuzioni mensili e annuale dei valori misurati. Si osserva che il massimo valore riportato si riferisce alla media oraria, che non è di interesse dal punto di vista normativo. La media annuale è stata di 28.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cioè minore del valore limite di 40 stabilito dal D.Lgs. 155/2010. La massima media di 24 ore misurata nella stazione CENVS1 è stata pari a 70.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Durante l'anno 2012 sono stati registrati 12 superamenti del limite di 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  stabilito dal D.Lgs. 155/2010 per la media di 24 ore. Tale numero di superamenti si riscontra nel periodo invernale, ma è minore del numero massimo consentito dalla normativa (pari a 35). E' necessario evidenziare che le fonti di emissione per le polveri sottili (PM10 e PM2,5), nel periodo invernale, hanno un elevato contributo derivante dalla combustione degli impianti di riscaldamento, oltre che dalle emissioni industriali e da traffico stradale. Inoltre, soprattutto in ambito locale, gli impianti di riscaldamento sono in larga parte a legna, come caminetti o stufe, i quali non garantiscono un'efficace combustione con elevati rendimenti. Questi impianti termici non industriali mostrano elevate emissioni di PM10, tali da compromettere la qualità dell'aria.

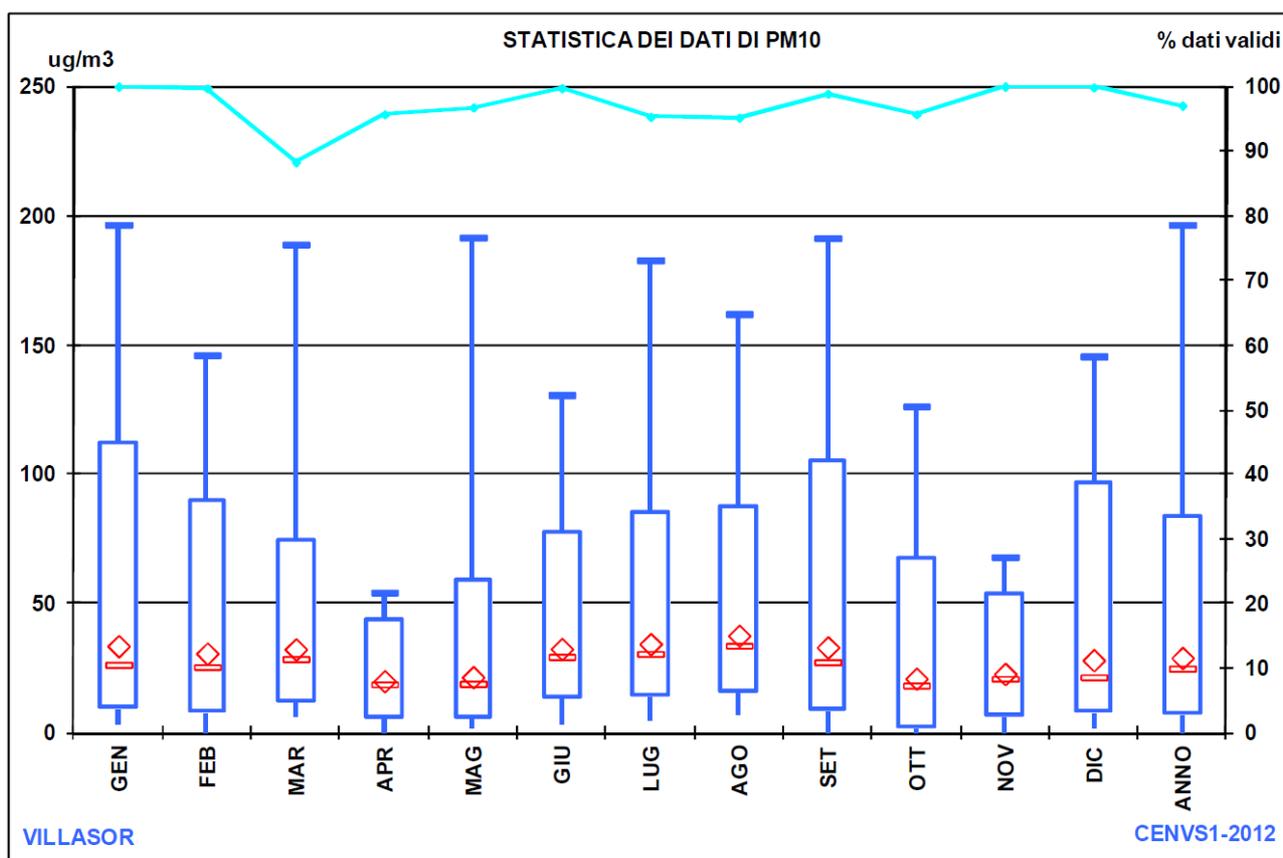


Figura 6. Box plot delle distribuzioni mensili e annuale delle misure di PM10 della stazione di Villasor per l'anno 2012. Fonte: "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012".

### 3.3.5 Idrogeno solforato (H2S)

Per l'idrogeno solforato non esiste un limite normativo, tuttavia le misure della stazione CENVS1 (Figura 7) hanno mostrato valori molto contenuti, pari a 6.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la massima media oraria e 3.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la massima media giornaliera. Al fine di permettere una valutazione dei valori indicati si ricorda che l'OMS indica un valori di riferimento da non superare pari a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per la media di 24 ore (WHO Guidelines ed. 2000).

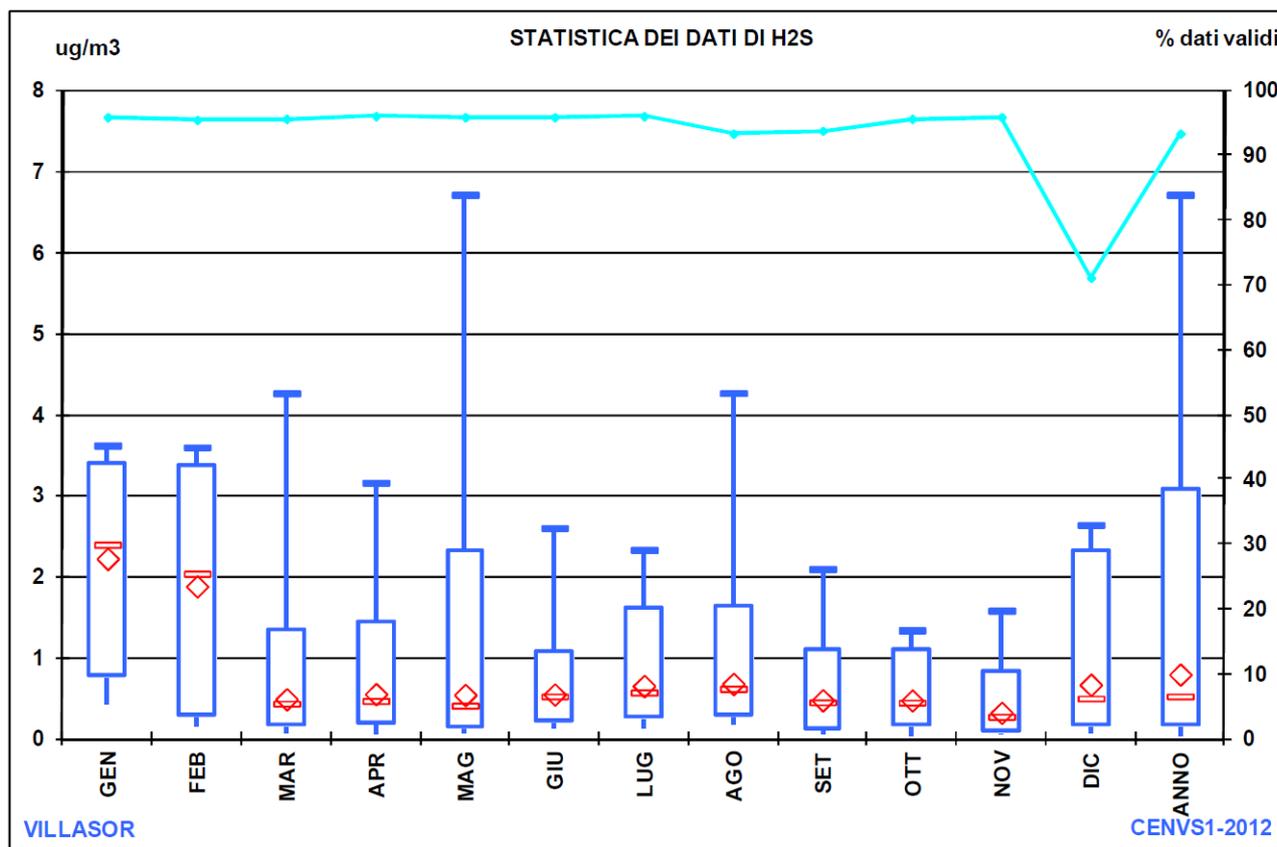


Figura 7. Box plot delle distribuzioni mensili e annuale delle misure di H2S della stazione di Villasor per l'anno 2012. Fonte: "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna, Anno 2012".

### 3.4 Il modello di simulazione AERMOD

Per le simulazioni qui presentate è stato utilizzato il modello di dispersione AERMOD. Lo sviluppo di AERMOD (EPA 2004a, 2004b) è iniziato nel 1991 sulla base delle conclusioni del gruppo AERMIC (American Meteorological Society/Environmental Protection Agency Regulatory Model Improvement Committee) che hanno delineato una nuova piattaforma per i modelli stazionari da utilizzare a fini regolatori, che abbia la capacità di simulare emissioni vicine al suolo o elevate e la capacità di trattare sia terreno piano che complesso. A partire dal 9 dicembre 2006 AERMOD ha sostituito ISC3 tra i modelli di dispersione raccomandati dalla US-EPA (Environmental Protection Agency) per la simulazione dell'impatto di sorgenti industriali.

AERMOD è un sistema composto da tre componenti: il modello di dispersione atmosferica (anch'esso denominato AERMOD), un processore del terreno (AERMAP) e un processore dei dati meteorologici (AERMET).

Caratteristiche peculiari di AERMOD includono la capacità di trattare la disomogeneità verticale all'interno dello strato limite planetario (anche attraverso l'utilizzo di un profilo verticale di variabili meteorologiche), l'utilizzo di sorgenti areali di forma irregolare, un trattamento particolare per

rilasci che avvengono al suolo e una limitazione del rimescolamento verticale nel caso di condizioni atmosferiche stabili.

La dispersione atmosferica in presenza di terreno complesso viene descritta da AERMOD in maniera più efficace rispetto ad ISC3.

La struttura del file di controllo di AERMOD (il file di input principale) e degli altri file di input è stata progettata, per comodità, identica a quella di ISC3, pur con delle differenze tra alcune delle voci di input.

Il modulo AERMET è utilizzato per creare i file di input meteorologici di AERMOD a partire dai valori misurati, tipicamente dalle stazioni meteorologiche statunitensi. Il suo utilizzo non è tuttavia necessario qualora vengano utilizzati altri processori per creare i file di input di AERMOD a partire dalle misure. Anzi, l'utilizzo di appositi processori è talvolta necessario data la varietà dei formati con cui vengono fornite le misure, e date le diverse variabili meteorologiche misurate ad ogni diversa applicazione del modello.

AERMOD richiede la disponibilità di input meteorologici da due punti, uno in superficie e l'altro da profilo verticale. Entrambi devono avere risoluzione oraria. Le variabili meteorologiche che devono essere contenute nel file di input superficiale sono il calore sensibile, la velocità di frizione, la velocità di scala convettiva, il gradiente di temperatura verticale nei 500 m sopra lo strato limite planetario, la dimensione dello strato limite di origine convettiva, la dimensione dello strato limite di origine meccanica, la lunghezza di Monin Obukhov, la rugosità superficiale, il rapporto di Bowen, l'albedo, la velocità del vento, la direzione del vento, la quota dell'anemometro, la temperatura e la quota del termometro. Le variabili meteorologiche che devono essere contenute nel profilo verticale sono, per ogni quota, la quota stessa, la direzione del vento, la velocità del vento, la temperatura, la deviazione standard della direzione del vento e la deviazione standard della velocità verticale.

Il modulo AERMAP è un processore del terreno utilizzato, nel caso di simulazione su terreno complesso, per determinare l'altezza di scala di ciascun recettore.

AERMOD contiene numerosi miglioramenti nella trattazione degli aspetti significativi della dispersione degli inquinanti in atmosfera, rispetto ai modelli gaussiani convenzionali, tra cui ISC3.

Tali miglioramenti sono discussi in EPA (2003) e sintetizzati nel seguito:

### Input meteorologico

AERMOD può funzionare sia con dati meteorologici ad un singolo livello prossimo al suolo, ricostruendo la struttura verticale dell'atmosfera sulla base dei dati di input e degli algoritmi che

esso implementa, sia integrando l'informazione sulla struttura verticale eventualmente disponibile con frequenza oraria.

### Uso dei parametri meteorologici

I modelli gaussiani convenzionali utilizzano il valore - eventualmente estrapolato - alla bocca del camino per tutte le variabili. In AERMOD, le variabili vengono stimate entro l'intero pennacchio (mediate dal centro del pennacchio fino a 2.15 sigma z al di sotto dell'asse, tenendo conto dei cambiamenti con la distanza sottovento).

### Turbolenza

I modelli gaussiani si basano su 6 classi di stabilità discrete; inoltre, le curve per i parametri di dispersione corrispondenti (Pasquill Gifford) si basano su rilasci in superficie (e.g. Prairie Grass). Al contrario, AERMOD usa profili di turbolenza orizzontale e verticale (da misure e/o teoria dello strato limite) ed utilizza funzioni continue piuttosto che discrete come nel caso della formulazione basata sulle classi di stabilità.

### Dispersione in condizioni convettive

AERMOD è in grado di descrivere la dispersione verticale non gaussiana dovuta alla presenza di updraft e downdraft, con un approccio basato sulla funzione di densità di probabilità dei moti convettivi.

Mentre i modelli gaussiani come ISCST3 assumono una concentrazione nulla al suolo se l'asse centrale del pennacchio è al di sopra del limite superiore dello strato rimescolato, in AERMOD si considerano – in condizioni convettive - tre componenti del pennacchio: un pennacchio "diretto" che viene portato al suolo da un downdraft, un pennacchio indiretto che viene catturato da un updraft, raggiunge il lid superiore e viene eventualmente riportato in basso al suolo da un downdraft, e un pennacchio che penetra il mixing lid e si disperde più lentamente nello strato limite stabile al di sopra (e che può successivamente rientrare nello strato rimescolato e disperdersi al suolo).

Il trattamento di AERMOD evita quindi le potenziali sottostime dovute al trattamento "tutto o niente" del pennacchio.

### Dispersione in condizioni stabili

In condizioni stabili entrambi i modelli descrivono in termini gaussiani la dispersione lungo la componente orizzontale e la componente verticale. Tuttavia, mentre in genere nei modelli gaussiani convenzionali si ipotizza uno strato limite infinito, AERMOD tiene conto di una possibile riflessione da parte di un lid superiore.

### Innalzamento del pennacchio

I modelli gaussiani convenzionali utilizzano tipicamente le equazioni di Briggs con velocità del vento all'altezza della bocca del camino e gradiente verticale di temperatura, AERMOD in condizioni stabili usa le equazioni di Briggs con venti e gradienti di temperatura all'altezza della bocca del camino e a metà distanza dall'innalzamento finale del pennacchio; in condizioni convettive l'innalzamento viene sovrapposto agli spostamenti causati dalle componenti random delle velocità convettive.

### Trattazione dell'ambiente urbano

In AERMOD le sorgenti possono essere individualmente trattate come rurali o urbane, oltre a poter specificare la distribuzione di popolazione a partire dalla quale le sorgenti possono essere discriminate dal codice tra urbane e rurali.

### Terreno complesso

AERMOD dispone di un preprocessore per il terreno (AERMAP) che predispone i dati per l'utilizzo di algoritmi avanzati che discriminano la divisione della streamline in base ad un'altezza critica.

## 4 Costruzione dell'input meteorologico

Per la costruzione dell'input meteorologico di AERMOD sono state utilizzate le misure della stazione ARPA Sardegna di Villasor, la stessa che misura i parametri di qualità dell'aria. La stazione è situata a circa 6 km a Est rispetto all'impianto. I dati forniti dal Dipartimento Meteorologico di ARPAS sono i seguenti: intensità del vento (m/s), direzione del vento (gradi), temperatura (°C), precipitazione (mm), umidità relativa (%), pressione (hPa) e radiazione solare (w/m<sup>2</sup>).

Tali dati sono stati integrati con le misure di copertura nuvolosa effettuate presso la stazione meteorologica di Decimomannu (METAR codice ICAO: LIED).

Tutti i dati forniti da ARPAS e relativi a variabili scalari sono risultati validi ed utilizzati così come ricevuti. I dati di vento invece sono stati modificati come descritto nel paragrafo seguente al fine di gestire le calme e i dati non validi.

### 4.1 Velocità e direzione del vento

I dati di vento ottenuti da ARPAS contengono 121 ore (circa 1.4% delle ore dell'anno) caratterizzate da calme di vento, cioè da velocità nulla e, conseguentemente, direzione non determinabile. Poiché AERMOD non può gestire tali situazioni, alle calme è stata assegnata la stessa direzione dell'ora precedente ed una velocità pari al valore valido minimo presente nelle misure (0.4 m/s). Nel caso di due ore consecutive di calma, alla prima ora si è assegnata la direzione dell'ora precedente la calma, e alla seconda ora la direzione della prima ora successiva alla calma. Al massimo le calme hanno interessato periodi consecutivi di tre ore, e in questo caso alle prime due ore si è assegnata la direzione dell'ora precedente la calma, e alla terza ora la direzione della prima ora successiva al periodo di calma. Si osserva che AERMOD è in grado di simulare situazioni con velocità del vento anche minore di 0.4 m/s (e.g. Sims, 2009).

Oltre alle calme i dati di vento contengono anche 15 ore (meno dello 0.2% delle ore dell'anno) caratterizzate da misure non valide; AERMOD scarterà automaticamente tali ore dalle simulazioni.

La rosa dei venti ottenuta dall'analisi delle misure effettuata con il software WindRose PRO3<sup>1</sup> è riportata in Figura 8. Si osserva che la direzione del vento più probabile è Nord Nord Ovest (22.8% delle probabilità), seguita da Nord Ovest (15.7% delle probabilità), da Nord (10.2% delle probabilità) e da Sud Sud Est (9.0% delle probabilità). Le calme di vento, definite come le misure caratterizzate da un'intensità inferiore a 0.5 m/s, interessano il 4.3% delle misure orarie effettuate. La correttezza

---

<sup>1</sup> <http://www.enviroware.com/portfolio/windrose-pro3/>

della rosa del vento è corroborata dal fatto che il suo asse principale è parallelo alla pista dell'aeroporto di Decimomannu (Figura 9). Le piste aeroportuali infatti sono progettate in maniera tale da diminuire i venti trasversali (*crosswinds*) che potrebbero dare origine ad incidenti in fase di atterraggio e decollo. Inoltre la rosa dei venti riportata è del tutto simile a quella ottenuta dai dati METAR misurati durante l'anno 2012 nell'aeroporto di Decimomannu<sup>2</sup>.

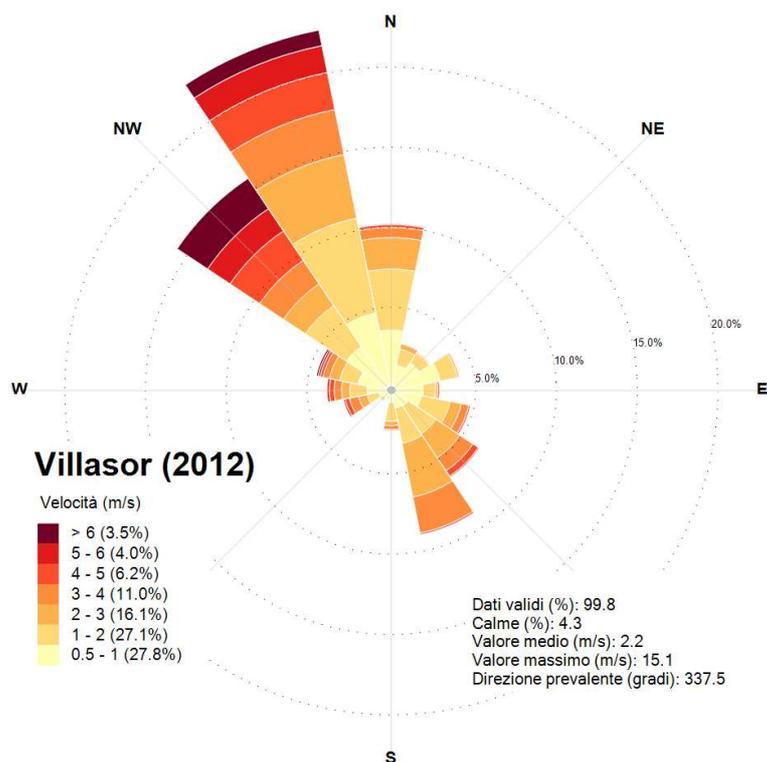
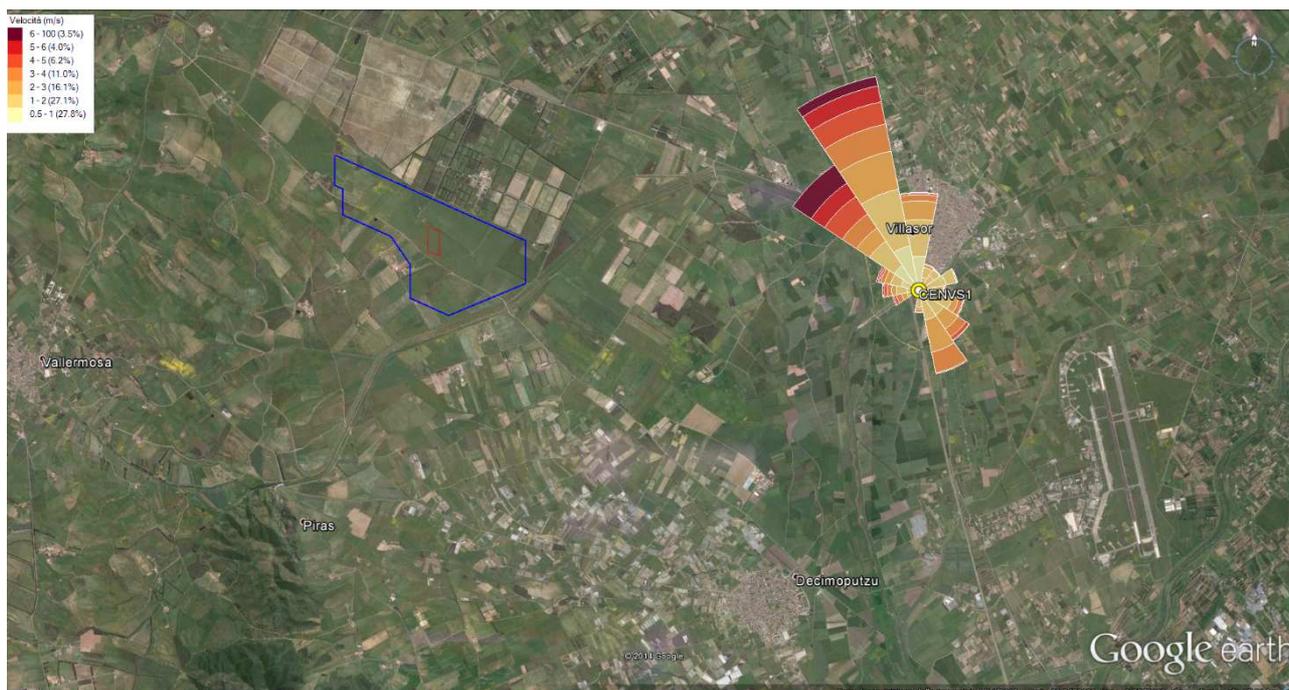


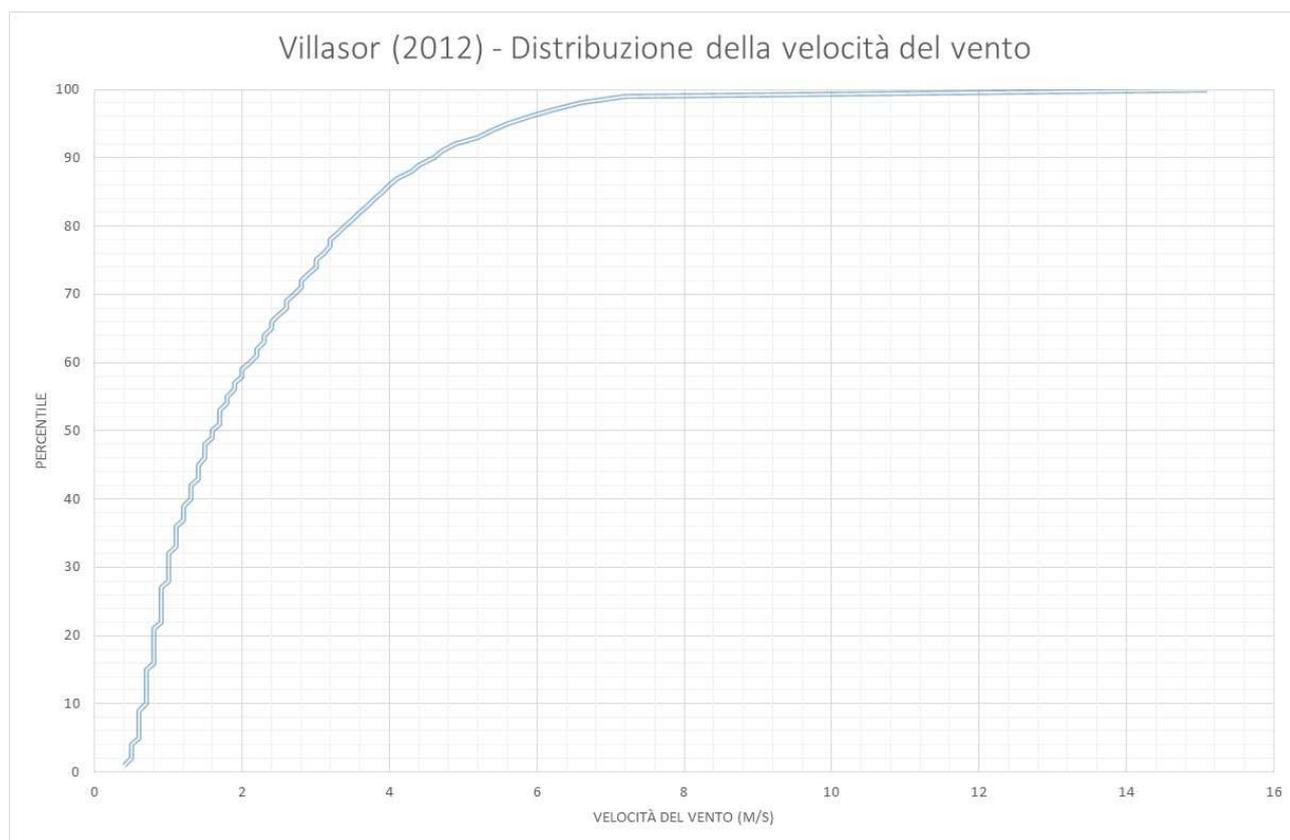
Figura 8. Rosa dei venti della stazione Villazor relativa all'intero anno 2012.

<sup>2</sup> [http://www.enviroware.com/METAR/METAR\\_WindRoses\\_2012\\_maps.html](http://www.enviroware.com/METAR/METAR_WindRoses_2012_maps.html)



**Figura 9. Rosa dei venti della stazione Villasor relativa all'intero anno 2012 sovrapposta a Google Earth.**

La Figura 10 mostra la distribuzione delle velocità del vento misurate nel 2012. La probabilità di avere vento con intensità inferiore ai 2 m/s è circa del 58%, mentre venti di intensità inferiore a 1 m/s interessano il 28% dei casi (incluso anche le calme). Velocità del vento elevate (superiori ai 5 m/s) si manifestano per circa l'8% delle ore dell'anno. I venti più intensi provengono sempre dal quadrante nord occidentale, infatti i venti con intensità maggiore di 5 m/s hanno una direzione media di circa 322 gradi ed un persistenza maggiore di 0.9.



**Figura 10. Distribuzione della velocità del vento nel periodo di misura (2012).**

In Figura 11 è illustrato il giorno tipo di vento sia per la velocità che per la direzione. La velocità del vento risulta essere mediamente bassa nelle ore notturne (dalle 23 alle 8 del mattino è sempre inferiore a 1.5 m/s circa). Aumenta poi nel corso della giornata sino a raggiungere il valore massimo alle 15. Il vento proviene mediamente da Nord nelle ore notturne, mentre proviene da Nord Ovest nel primo pomeriggio.

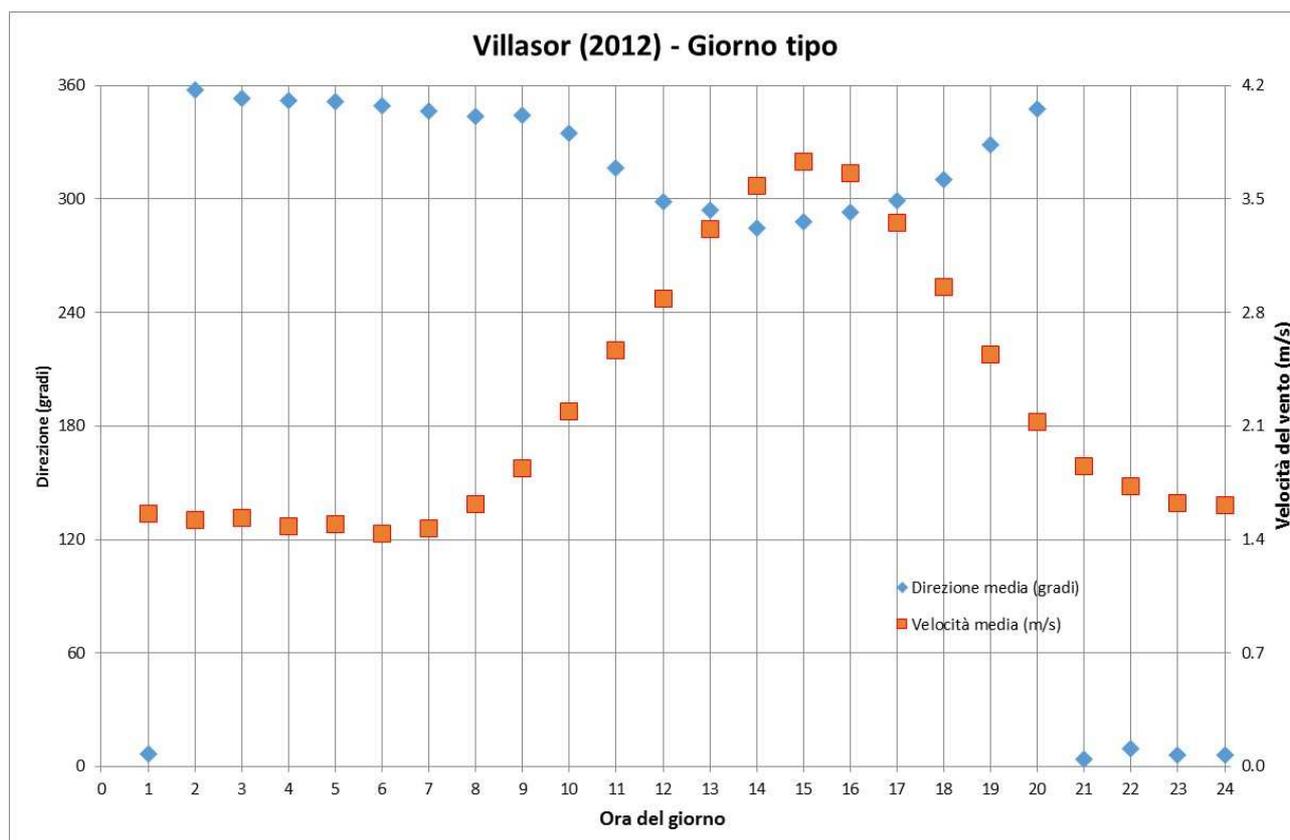


Figura 11. Giorno tipo calcolato per velocità e direzione del vento.

In Figura 12 è riportata la distribuzione oraria delle direzione del vento. I venti provenienti da NW e NNW sono frequenti in tutte le ore del giorno, mentre i venti da N tendono a diminuire nelle ore centrali della giornata. Al contrario, ad esempio, i venti da SSE sono presenti durante le ore centrali della giornata mentre tendono a scomparire durante la notte e il primo mattino.

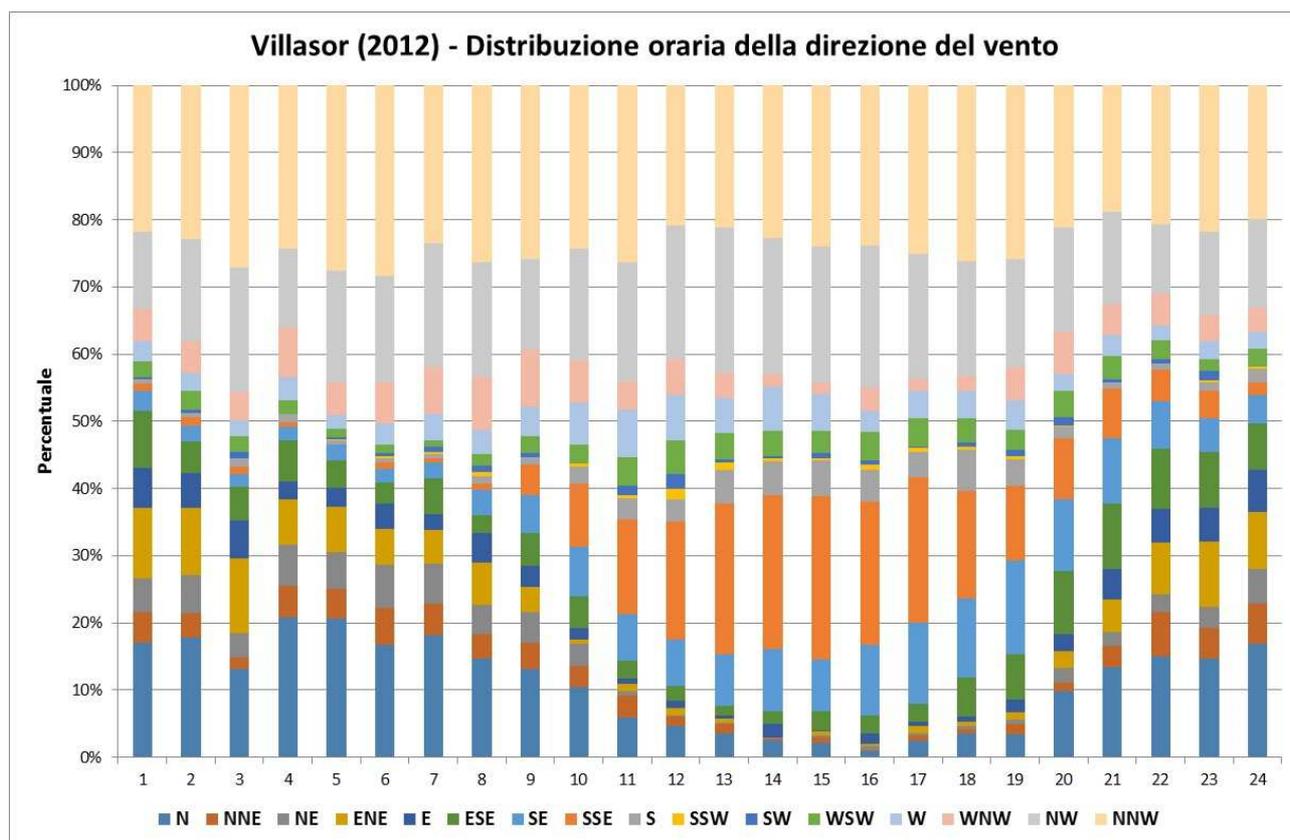


Figura 12. Distribuzione oraria delle direzioni del vento.

## 4.2 Temperatura

L'andamento mensile delle temperature minime, medie e massime registrate dalla stazione di Villasor durante l'anno 2012 è mostrato in Figura 13. Il valore minimo assoluto di temperatura, -3.4 °C, è stato misurato nel mese di febbraio, mentre la massima temperatura assoluta, quasi 40 °C, è stata misurata in agosto. Le temperature medie mensili non sono mai negative, e vanno da circa 6 °C di febbraio a circa 27 °C di agosto.

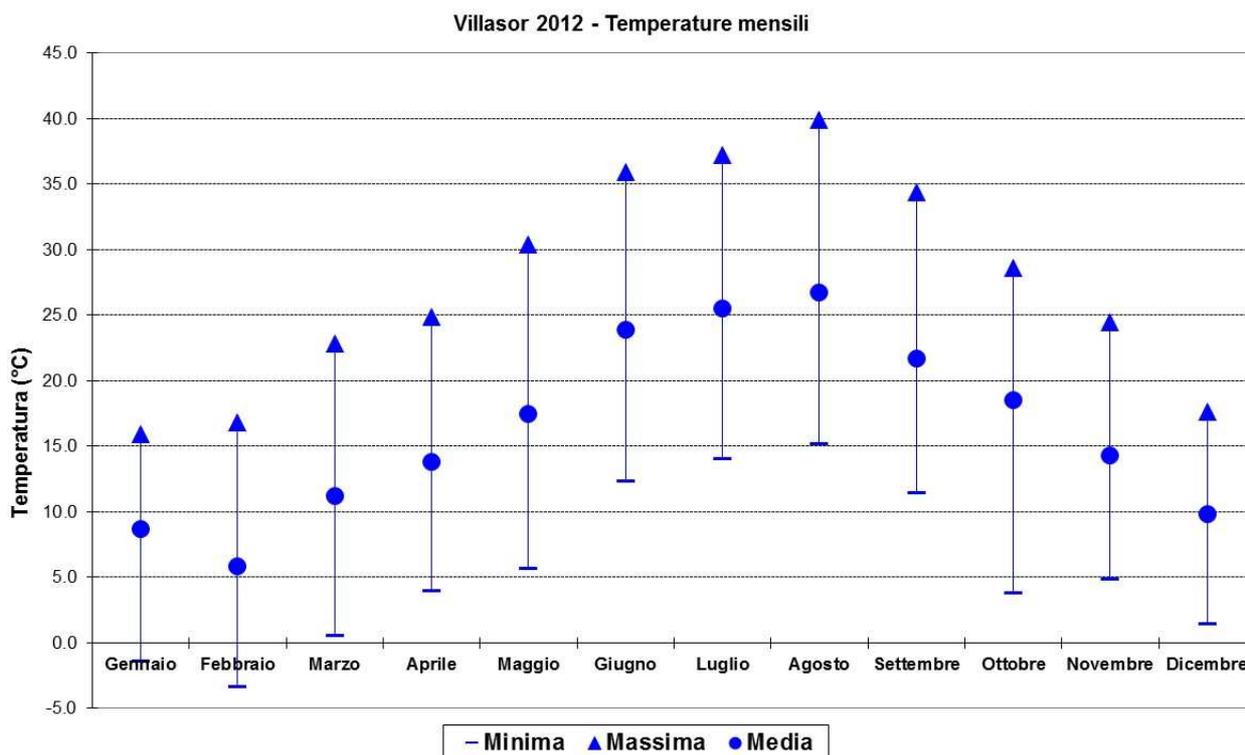


Figura 13. Andamento mensile dei valori minimo, medio e massimo delle temperature nell'anno 2012.

### 4.3 Precipitazioni

La Figura 14 mostra l'andamento mensile delle precipitazioni massime orarie e cumulate. Si osserva che i mesi più secchi sono stati marzo, giugno e agosto, in cui non si è verificato nessun evento di precipitazione. Il mese caratterizzato dalle maggiori precipitazioni è stato febbraio, con un totale mensile di 52 mm. La precipitazione totale annuale è stata pari a 216 mm.

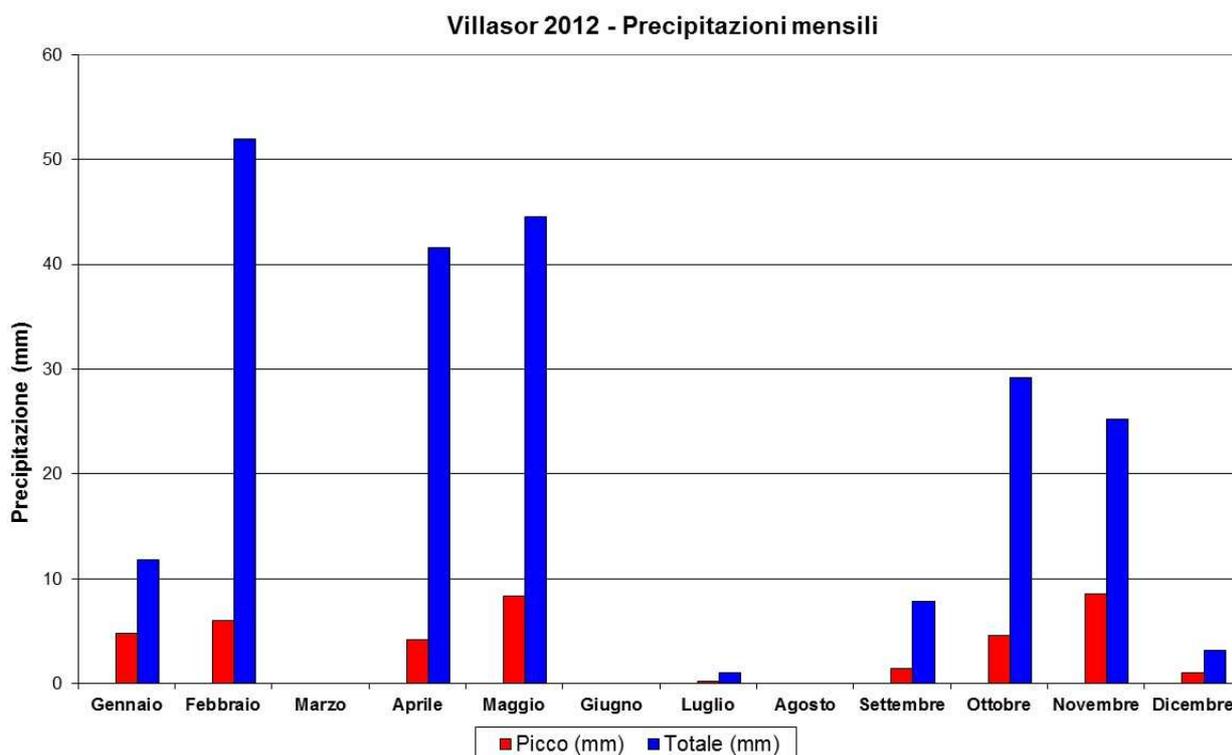


Figura 14. Andamento delle precipitazioni di picco e cumulate mensili nell'anno 2012.

## 4.4 Andamento dello strato limite planetario

Una rassegna esaustiva sui metodi di calcolo dell'altezza dello strato limite, cioè la parte di troposfera direttamente influenzata dalla presenza della superficie terrestre, è stata condotta da Siebert et al. (2000). Nei casi stabile e neutro le formule più attendibili sono quelle diagnostiche che forniscono l'altezza del PBL (*Planetary Boundary Layer*) in funzione della turbolenza meccanica e/o convettiva. Nel caso convettivo il processo di crescita del PBL è non stazionario e le formule prognostiche sono da preferirsi a quelle diagnostiche. La scala temporale per la variazione dell'altezza del PBL è molto più breve rispetto a quella dei casi stabile e neutro.

### 4.4.1 Casi stabile e neutro

Per calcolare l'altezza del PBL nei casi stabile e neutro è stata adottata la formula di Zilitinkevich (1989). Nel caso neutro (classe D) l'altezza del PBL dipende solamente dalla turbolenza meccanica ( $u^*$ ), mentre nel caso stabile essa è funzione anche della turbolenza convettiva che, assieme alla turbolenza meccanica, è contenuta nella formulazione della lunghezza di Monin Obukhov.

La formula di Zilitinkevich (1989) è la seguente:

$$h = \frac{u_*}{f} \left( \frac{1}{\Lambda_0} + \frac{\sqrt{\mu}}{kC_h} \right)^{-1}$$

dove  $\Lambda_0 = 0.3$ , e  $C_h = 0.85$ , e

$\mu = \frac{ku_*}{fL}$  con  $k = 0.4$  (costante di von Karman),  $f$  parametro di Coriolis (1/s),  $u_*$  velocità di frizione (m/s) e  $L$  lunghezza di Monin Obukhov (m).

#### 4.4.2 Caso instabile

Nel caso instabile l'altezza del PBL è stata calcolata con il metodo prognostico descritto da Batcharova e Gryning (1991). Tale metodo considera l'effetto spin up, cioè il fatto che aria proveniente dalla libera troposfera che entra nel mixing layer per entrainment deve aggiustare il suo livello energetico a quello medio del PBL. Questo effetto assume particolare importanza (Fisher et al., 1998) per:

- condizioni prossime alla neutralità (presenza di flusso convettivo di bassa entità dalla superficie verso l'atmosfera),
- piccoli valori dell'altezza del PBL (tipicamente nella transizione notte/giorno).

L'equazione utilizzata è quindi la seguente:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \langle w'\Theta' \rangle_0 \left[ \frac{\gamma_\Theta h^2}{(1+2A)h - 2kBL} + \frac{c_T u_*^2}{\beta(1+A)h - kBL} \right]^{-1}$$

dove  $\gamma_\Theta$  è il gradiente di temperatura nello strato sopra il PBL (K/m),  $\beta$  è il parametro di galleggiamento (m/(K s<sup>2</sup>)),  $A = 0.2$ ,  $B = 2.5$ ,  $c_T = 8$ . Il flusso turbolento di calore al suolo ( $\langle w'\Theta' \rangle_0$ ) si ottiene invertendo l'espressione della lunghezza di Monin Obukhov una volta nota la velocità di frizione:

$$L = -\frac{u_*^3}{k\beta \langle w'\Theta' \rangle_0}$$

## 4.5 Velocità di frizione

Il bilancio energetico, necessario per ottenere la lunghezza di Monin Obukhov, viene calcolato come indicato in Bellasio et al. (1994).

Note la lunghezza di Monin Obukhov  $L$ , la rugosità  $z_0$ , la velocità del vento  $u$  e l'altezza dell'anemometro  $z$ , si ottiene la velocità di frizione  $u_*$  invertendo la formula seguente:

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \left( \ln \frac{z}{z_0} - \Psi_m \left( \frac{z}{L} \right) \right)$$

dove  $k$  è la costante di von Karman ( $k=0.4$ ). La funzione universale è data da (e.g. Zannetti, 1990):

$$\Psi_m = \begin{cases} -5 \frac{z}{L} & L > 0 \\ 0 & \frac{z}{L} = 0 \\ \ln \left( \frac{1+x^2}{2} \left( \frac{1+x}{2} \right)^2 \right) - 2 \operatorname{arctg}(x) + \frac{\pi}{2} & L < 0 \end{cases}$$

dove  $x = (1 - 16 z/L)^{0.25}$ .

## 5 Caratterizzazione delle emissioni in fase di esercizio

Le emissioni in atmosfera avvengono da tre bruciatori diesel da 15.5 MWt ubicati all'interno della sezione Power Block dell'impianto. Tali bruciatori nella realtà non saranno sempre attivi e probabilmente non saranno sempre in funzione contemporaneamente. Tuttavia, non sapendo esattamente in quali ore le sorgenti saranno attive, verrà simulato cautelativamente il funzionamento in continuo e in contemporanea durante l'intero anno delle tre sorgenti.

Le emissioni dei tre bruciatori verranno convogliate in un unico camino allo scopo di diminuire l'impatto paesaggistico. Le caratteristiche geometriche ed emissive del camino sono riportate rispettivamente in Tabella 6 e Tabella 7. Le coordinate del camino si riferiscono alla zona UTM 32S.

E (m)	N (m)	H (m)	D (m)	Deq (m)
488084	4358930	25	0.85	1.47

Tabella 6. Caratteristiche geometriche del camino. (D = diametro di un camino; Deq = diametro equivalente dei tre camini)

			C dry 3% O2 (mg/Nm3)			
T (°C)	V (m/s)	Q dry 3%O2 (Nm3/h)	NOX	SOX	CO	PM10
200	16	16900 (50700)	200	160	100	100

Tabella 7. Caratteristiche emissive del camino. La portata indicata si riferisce ad un singolo bruciatore, tra parentesi il valore riferito ai tre bruciatori.

La posizione del camino e delle principali strutture che potrebbero dare luogo a *building downwash* sono rappresentate in Figura 15.

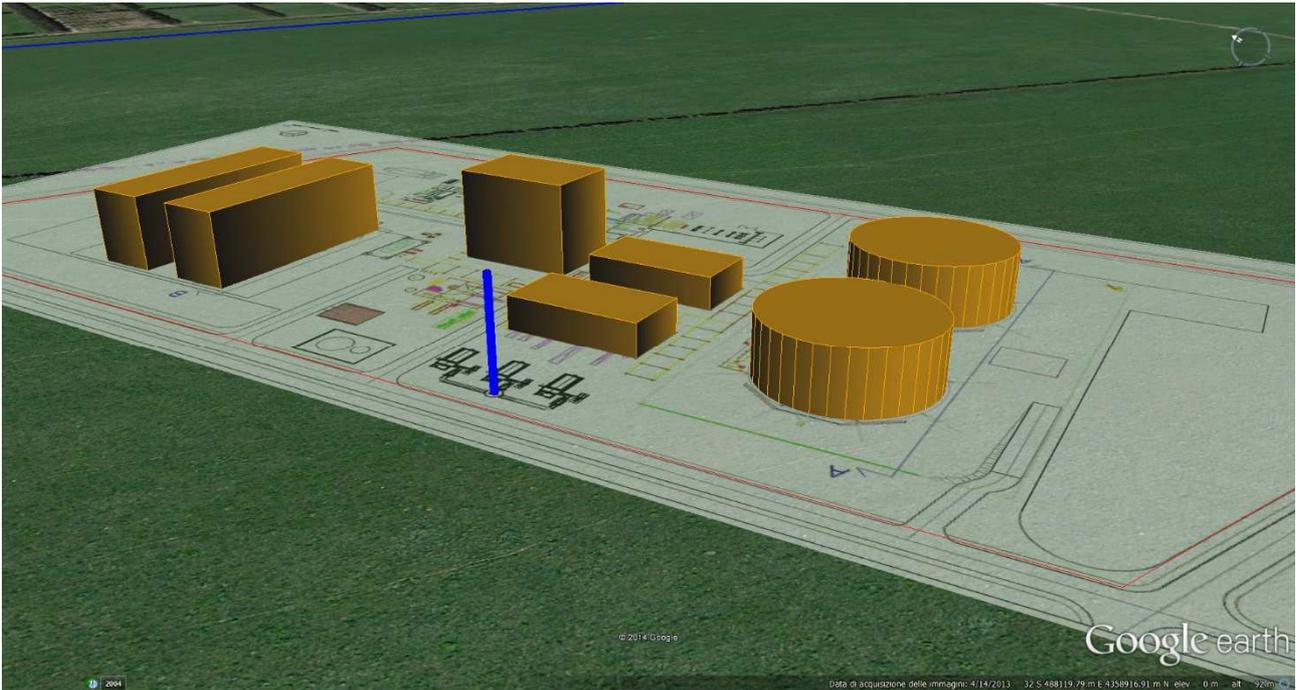


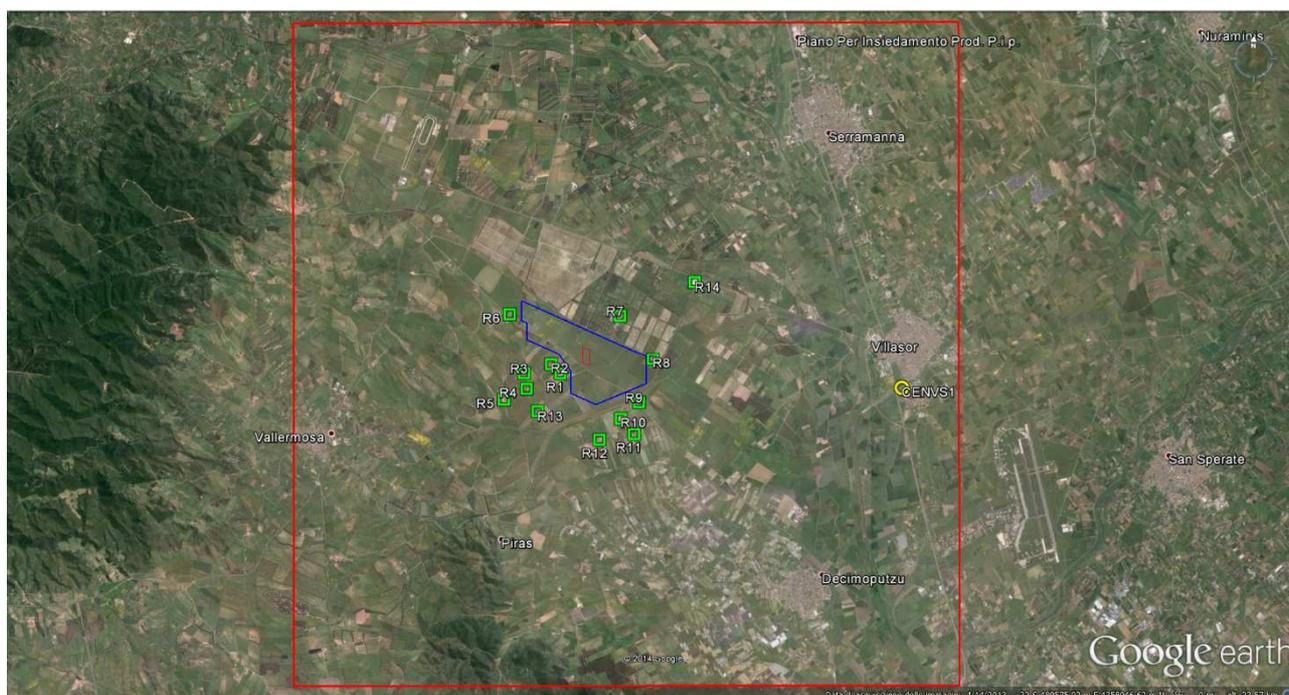
Figura 15. Posizione del camino (blu) e delle principali strutture che potrebbero dare luogo a building downwash.

## 6 Simulazioni di dispersione degli inquinanti

La stima degli impatti è stata condotta mediante le simulazioni della dispersione di inquinanti in atmosfera per lo scenario emissivo precedentemente descritto. La concentrazione al suolo degli inquinanti emessi è stata calcolata per mezzo del modello di dispersione atmosferica AERMOD (versione 14134). AERMOD appartiene alla lista degli strumenti suggeriti dalla US-EPA in situazioni di terreno semplice o moderatamente complesso e il suo utilizzo sul dominio in esame è giustificato poiché l'impianto oggetto dello studio si trova in una zona essenzialmente pianeggiante, con qualche collina solo a circa 5 km dalle sorgenti nella zona sud ovest del dominio.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando l'anno di riferimento meteorologico 2012 poiché per tale anno è disponibile la relazione annuale di qualità dell'aria (per il 2013 invece, al momento della scrittura di questa relazione, sono disponibili solo i rapporti mensili).

E' stato utilizzato un dominio di simulazione quadrato con lato di 14 km (quadrato rosso in Figura 16). L'angolo in basso a sinistra del dominio di calcolo ha coordinate UTM32S E=482400, N=4352000. All'interno di tale dominio sono stati posizionati dei recettori su griglia cartesiana regolare con maglie quadrate di 200 m di lato. Inoltre, sono stati utilizzati anche 15 recettori discreti posizionati in corrispondenza di alcune abitazioni prossime all'impianto, di stabilimenti produttivi (quadrati verdi in Figura 16) e della centralina CENVS1 (cerchio giallo in Figura 16). Le coordinate di tali recettori sono indicate in Tabella 8.



**Figura 16. Dominio di calcolo di AERMOD (quadrato rosso), recettori discreti (markers verdi), posizione dell'impianto (poligono blu) e della centralina di monitoraggio CENVS1 (marker giallo).**

<b>Recettore</b>	<b>E UTM32S</b>	<b>N UTM 32S</b>
R1	487612	4358585
R2	487416	4358782
R3	486848	4358592
R4	486901	4358262
R5	486423	4358036
R6	486547	4359853
R7	488867	4359818
R8	489557	4358889
R9	489266	4357975
R10	488880	4357630
R11	489161	4357306
R12	488431	4357188
R13	487131	4357791
R14	490441	4360527
CENVS1	494798	4358267

**Tabella 8. Coordinate dei recettori discreti.**

In accordo con il D.Lgs. 155/2010, le predizioni del modello di dispersione AERMOD sono state processate al fine di ottenere, per ogni inquinante, le statistiche indicate in Tabella 9. Sono state considerate le statistiche sul breve periodo, perché i bruciatori non saranno sempre attivi, e le statistiche a lungo termine così da sovrastimare i risultati ed avere una simulazione cautelativa.

Si osserva che il D.Lgs. 155/2010 stabilisce un limite per la concentrazione media oraria di NO<sub>2</sub>, non di NO<sub>x</sub>; tuttavia, in maniera cautelativa, si considererà che tutti gli ossidi di azoto emessi si trasformino istantaneamente in biossido di azoto.

Si è inoltre cautelativamente assimilato a PM<sub>10</sub> tutto il materiale particellare. In realtà le particelle di taglia maggiore si disperdono in misura minore, depositandosi per effetto gravimetrico.

Inquinante	Statistica	Valore limite ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
NO2	Massima media oraria	200 (max 18 superamenti)
NO2	Percentile 99.79 delle medie orarie	200
NO2	Media annuale	40
CO	Massima media mobile 8h	10000
PM10	Massima media giornaliera	50 (max 35 superamenti)
PM10	Percentile 90.41 delle medie giornaliere	50
PM10	Media annuale	40
SO2	Massima media oraria	350 (max 24 superamenti)
SO2	Percentile 99.73 delle medie orarie	350
SO2	Massima media giornaliera	125 (max 3 superamenti)
SO2	Percentile 99.18 delle medie giornaliere	125
SO2	Media annuale	20

Tabella 9. Statistiche di interesse per ogni inquinante in accordo al D.Lgs. 155/2010 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Nel seguito sono riportati i valori massimi delle statistiche considerate raggiunte sul dominio e ai recettori. Per le statistiche previste dalla normativa è riportato nelle tabelle anche il rapporto tra il contributo della sorgente e i valori misurati in corrispondenza della centralina ARPA Sardegna di Villasor (CENV51).

## 6.1 Building downwash

Le piume inquinanti emesse in prossimità di strutture opache al vento possono essere spinte verso il suolo per effetto della turbolenza nella zona sottovento a tali strutture. Questo effetto, noto con il nome di *building downwash*, può dare origine immediatamente sottovento alle strutture a concentrazioni più elevate rispetto a quelle che si avrebbero se esse non fossero presenti.

Come mostrato in Figura 15 la planimetria dell'impianto è stata georeferenziata in Google Earth e le principali strutture sono state ricostruite tridimensionalmente al fine di determinare i parametri necessari per simulare il building downwash. Tali parametri sono stati determinati con il metodo PRIME (*Plume Rise Model Enhancements*) utilizzando il software BPIP. Rispetto al classico metodo per il calcolo del *building downwash* il metodo PRIME ha due importanti caratteristiche: 1) aumenta la dispersione dovuta alla turbolenza nella scia degli edifici e 2) diminuisce il *plume rise* a causa del flusso discendente in prossimità degli edifici e dell'aumento di *entrainment* nella loro scia.

## 6.2 Ossidi di Azoto

I risultati delle simulazioni sulla griglia di calcolo cartesiana sono riportati in Tabella 10, mentre i risultati in corrispondenza dei recettori discreti sono riportati in Tabella 11.

La Tabella 10 riporta il valore massimo orario, la media annuale e il percentile 99.79 delle medie orarie, predetti all'esterno dell'impianto, valori a cui solitamente si è interessati negli studi di qualità dell'aria, e quelli predetti all'interno dell'impianto.

Per entrambi i valori vengono indicate le coordinate a cui sono predetti e, tra parentesi, la percentuale rispetto al valore limite stabilito (per NO<sub>2</sub>) dal D.Lgs 155/2010. Il limite massimo orario (200 µg/m<sup>3</sup>) non deve essere superato per più di 18 volte in un anno.

Come anticipato si è cautelativamente ipotizzato che tutti gli ossidi di azoto si trasformino immediatamente in biossido di azoto (NO<sub>2</sub>).

Sul dominio la massima concentrazione media oraria calcolata dal modello è pari a 32.6 µg/m<sup>3</sup>, ed è quindi molto minore del valore limite sopra citato. Anche la massima media annuale, pari a 1.2 µg/m<sup>3</sup>, risulta molto minore del valore limite stabilito dalla normativa per la protezione della salute umana (40 µg/m<sup>3</sup>) e della vegetazione (30 µg/m<sup>3</sup>).

Inquinante	Statistica	Esterni			Interni		
		Valore (µg/m <sup>3</sup> )	X	Y	Valore (µg/m <sup>3</sup> )	X	Y
NO <sub>2</sub>	Max 1 ora	17.0 (8.5%)	487600	4358600	32.6 (16.3%)	488400	4358800
NO <sub>2</sub>	Pct 1 ora	12.0 (6.0%)	488600	4358000	22.8 (11.4%)	488400	4358600
NO <sub>2</sub>	Media anno	0.6 (1.4%)	488600	4358000	1.2 (3.1%)	488200	4358600

**Tabella 10. NO<sub>2</sub>. Valori massimi orari, dei percentili 99.79 delle medie di 1 ora e delle medie annuali calcolati sul dominio. In parentesi la percentuale rispetto al valore limite.**

Ai recettori discreti il massimo valore della media oraria è predetto presso R1, che dista circa 600 m dalla sorgente. Tale valore tuttavia, pur con le ipotesi cautelative adottate, risulta minore del 10% rispetto al valore limite. La massima media oraria di NO<sub>2</sub> predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1 è pari a 3.4 µg/m<sup>3</sup>, cioè circa l'1.7% del valore limite e il 5.6% del massimo valore orario misurato nel 2012 (circa 60 µg/m<sup>3</sup>). Le medie annuali ai recettori sono sempre pari a qualche frazione di µg/m<sup>3</sup>.

Recettore	Max 1h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pct 1h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
R1	19.6	3.8	0.12
R2	5.0	3.1	0.10
R3	6.3	2.5	0.06
R4	4.8	2.7	0.06
R5	4.6	2.6	0.05
R6	8.7	2.5	0.07
R7	4.6	1.2	0.05
R8	8.3	3.8	0.09
R9	10.5	9.2	0.30
R10	10.4	9.0	0.39
R11	8.3	7.3	0.30
R12	14.8	6.0	0.22
R13	4.6	2.5	0.06
R14	4.9	1.0	0.02
CENVS1	3.4	1.2	0.02

**Tabella 11. NO2. Valori massimi orari, percentili 99.79 delle medie di 1 ora e medie annuali calcolati ai recettori discreti.**

Gli isolivelli delle massime medie di 1 ora di NO2 (ipotizzato in maniera cautelativa coincidente con NOX) sono mostrati in Figura 17, mentre gli isolivelli delle medie annuali sono mostrati in Figura 18.

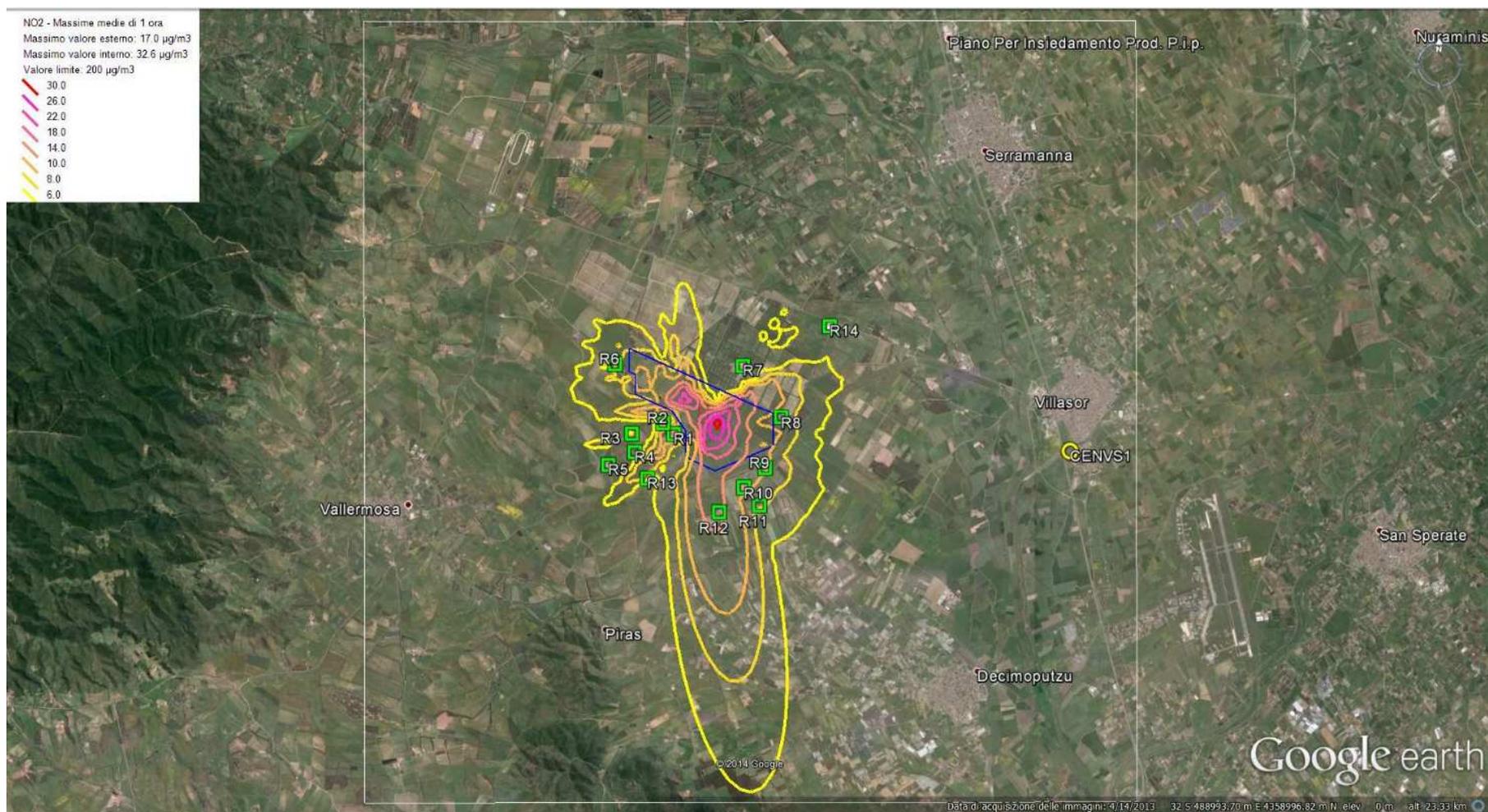


Figura 17. Isolinee di concentrazione delle massime medie orarie di NO<sub>2</sub> (ipotizzato coincidente con NO<sub>x</sub>). In blu è riportato il perimetro di impianto.

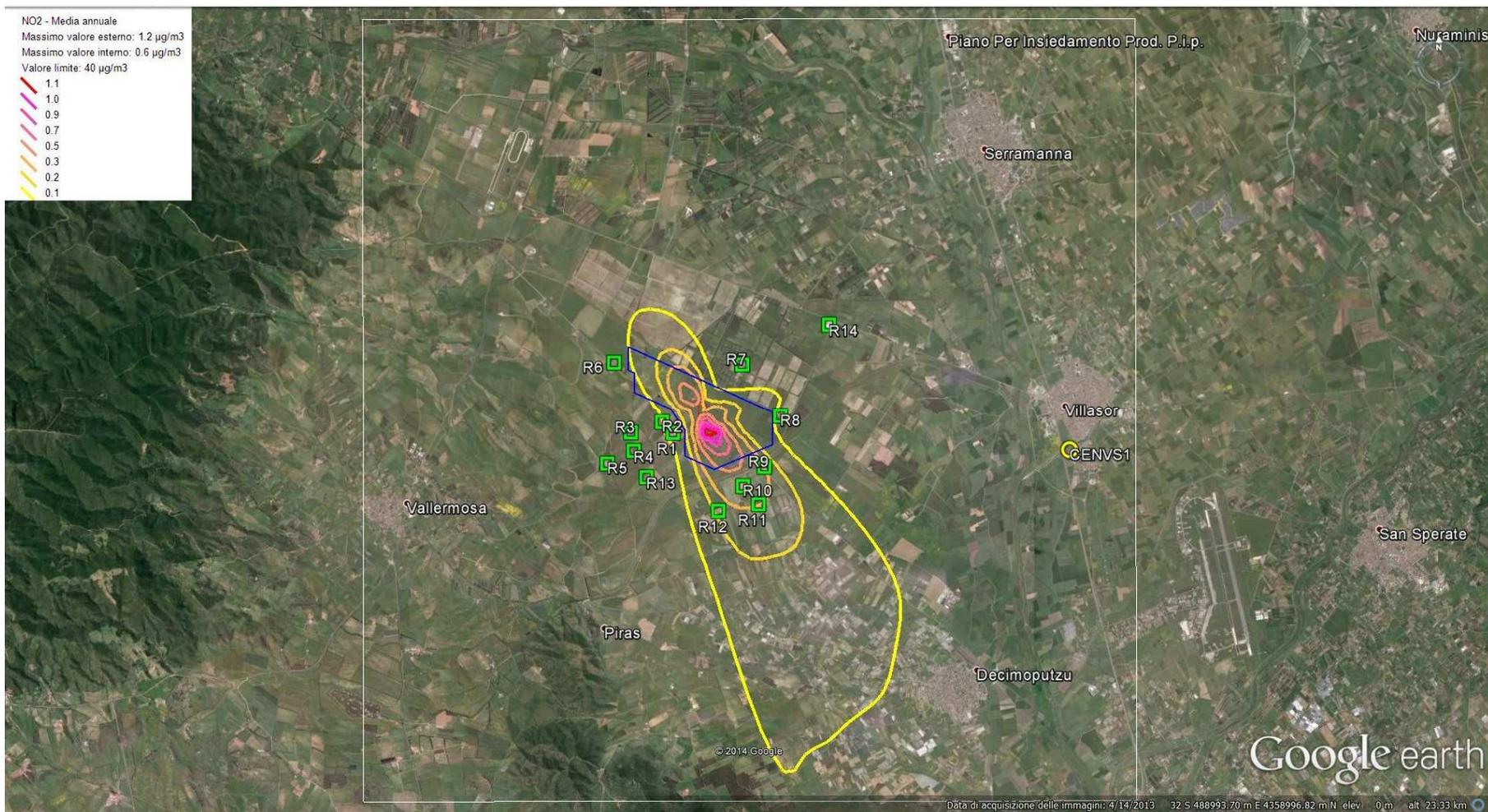


Figura 18. Isolinee di concentrazione delle medie annuali di NO<sub>2</sub> (ipotizzato coincidente con NO<sub>x</sub>). In blu è riportato il perimetro di impianto.

### 6.3 Monossido di Carbonio

I risultati delle simulazioni sulla griglia di calcolo cartesiana sono riportati in Tabella 12, mentre i risultati in corrispondenza dei recettori discreti sono riportati in Tabella 13.

La Tabella 12 riporta il valore massimo della media mobile di 8 ore predetto all'esterno dell'impianto e quello predetto all'interno dell'impianto. Per entrambi i valori vengono indicate le coordinate a cui sono predetti e, tra parentesi, la percentuale rispetto al valore limite di 10 mg/m<sup>3</sup> (cioè 10000 µg/m<sup>3</sup>) stabilito dal D.Lgs 155/2010. La massima concentrazione media oraria calcolata sul dominio dal modello è pari a 11.4 µg/m<sup>3</sup>, ed è quindi molto minore del valore limite sopra citato.

Inquinante	Statistica	Esterni			Interni		
		Valore (µg/m <sup>3</sup> )	X	Y	Valore (µg/m <sup>3</sup> )	X	Y
CO	Max 8 ore	4.7 (0.05%)	489000	4358000	11.4 (0.11%)	488400	4358600

**Tabella 12. CO. Valori massimi delle medie mobili di 8 ore calcolati sul dominio. In parentesi la percentuale rispetto al valore limite.**

Ai recettori discreti il massimo valore della media mobile di 8 ore è predetto presso R9, che dista circa 1.5 km dalla sorgente. Tale valore tuttavia risulta migliaia di volte minore rispetto al valore limite. La massima media di 8 ore di CO predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1, che non misura CO, è pari a 0.4 µg/m<sup>3</sup>, cioè oltre diecimila volte minore del valore limite.

Recettore	Max 8h (µg/m <sup>3</sup> )
R1	1.7
R2	0.8
R3	0.6
R4	0.5
R5	0.4
R6	1.4
R7	0.4
R8	1.2
R9	3.5
R10	2.3
R11	1.7
R12	2.0
R13	0.6
R14	0.3
CENVS1	0.4

**Tabella 13. CO. Valori massimi delle medie mobili di 8 ore calcolati ai recettori discreti.**

Gli isolivelli della massima media mobile di 8 ore di CO sono mostrati in Figura 19.

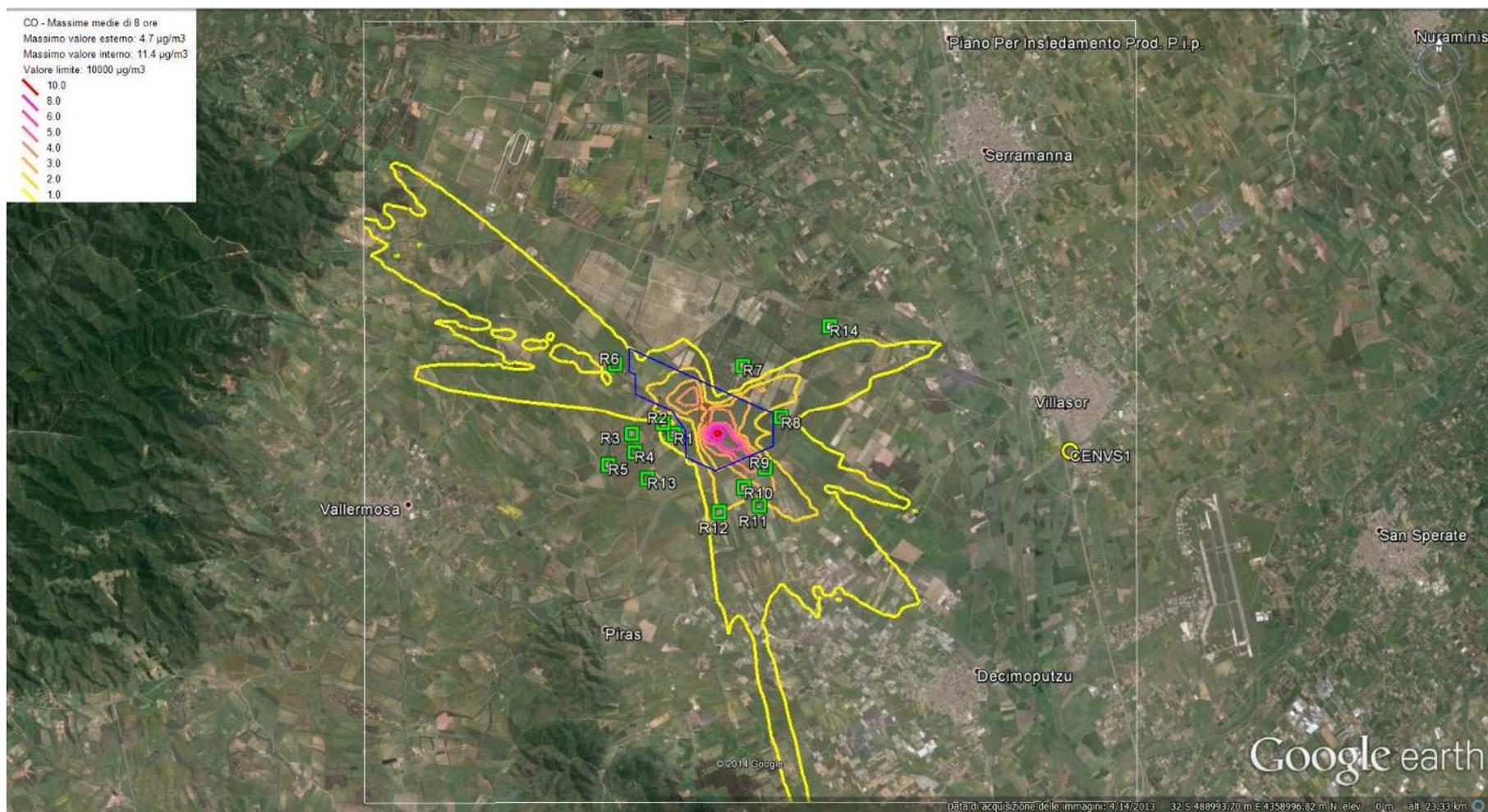


Figura 19. Isolinee di concentrazione della massima media mobile di 8 ore di CO. In blu è riportato il perimetro di impianto.

## 6.4 Particolato (PM10)

I risultati delle simulazioni sulla griglia di calcolo cartesiana sono riportati in Tabella 14, mentre i risultati in corrispondenza dei recettori discreti sono riportati in Tabella 15.

La Tabella 14 riporta il valore massimo giornaliero, la media annuale e il percentile 90.41 delle medie giornaliere, predetti all'esterno dell'impianto e quelli predetti all'interno dell'impianto. Per tutti i valori vengono indicate le coordinate a cui sono predetti e, tra parentesi, la percentuale rispetto al valore limite stabilito dal D.Lgs 155/2010. Il limite massimo giornaliero ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) non deve essere superato per più di 35 volte in un anno.

Sul dominio la massima concentrazione media oraria calcolata dal modello è pari a  $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ed è quindi molto minore del valore limite sopra citato. Il massimo percentile 90.41 delle medie di 24 ore vale invece  $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La massima media annuale vale  $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ed è minore del valore limite di  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stabilito dal D.Lgs 155/2010.

Inquinante	Statistica	Esterni			Interni		
		Valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	X	Y	Valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	X	Y
PM10	Max 24 ore	2.3 (4.6%)	489000	4358000	5.5 (10.9%)	488400	4358600
PM10	Pct 24 ore	0.7 (1.4%)	488800	4358000	1.7 (3.5%)	488200	4358600
PM10	Media anno	0.3 (0.7%)	488600	4358000	0.6 (1.5%)	488200	4358600

**Tabella 14. PM10. Valori massimi giornalieri, del percentile 90.41 delle medie di 24 ore e delle medie annuali calcolati sul dominio. In parentesi la percentuale rispetto al valore limite.**

Ai recettori discreti il massimo valore della media oraria è predetto presso R9, che dista circa 1.5 km dalla sorgente. Tale valore tuttavia risulta oltre trenta volte minore rispetto al valore limite. La massima media oraria di PM10 predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1 è pari a  $0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cioè circa lo 0.24% del valore limite e lo 0.17% del massimo valore giornaliero misurato nel 2012 ( $70.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La media annuale predetta presso la CENVS1 è un centesimo di  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

<b>Recettore</b>	<b>Max 24h (µg/m3)</b>	<b>Pct 24h (µg/m3)</b>	<b>Annuale (µg/m3)</b>
R1	0.64	0.13	0.06
R2	0.31	0.10	0.05
R3	0.28	0.07	0.03
R4	0.17	0.07	0.03
R5	0.15	0.06	0.02
R6	0.81	0.07	0.04
R7	0.13	0.05	0.02
R8	0.57	0.13	0.05
R9	1.50	0.34	0.15
R10	1.29	0.48	0.19
R11	0.94	0.39	0.15
R12	0.92	0.26	0.11
R13	0.27	0.07	0.03
R14	0.11	0.03	0.01
CENVS1	0.12	0.03	0.01

**Tabella 15. PM10. Valori massimi giornalieri, dei percentili 90.41 delle medie di 24 ore, e delle medie annuali calcolati ai recettori discreti.**

Gli isolivelli delle massime medie di 24 ore e delle medie annuali di PM10 sono mostrati rispettivamente in Figura 22 e in Figura 23.

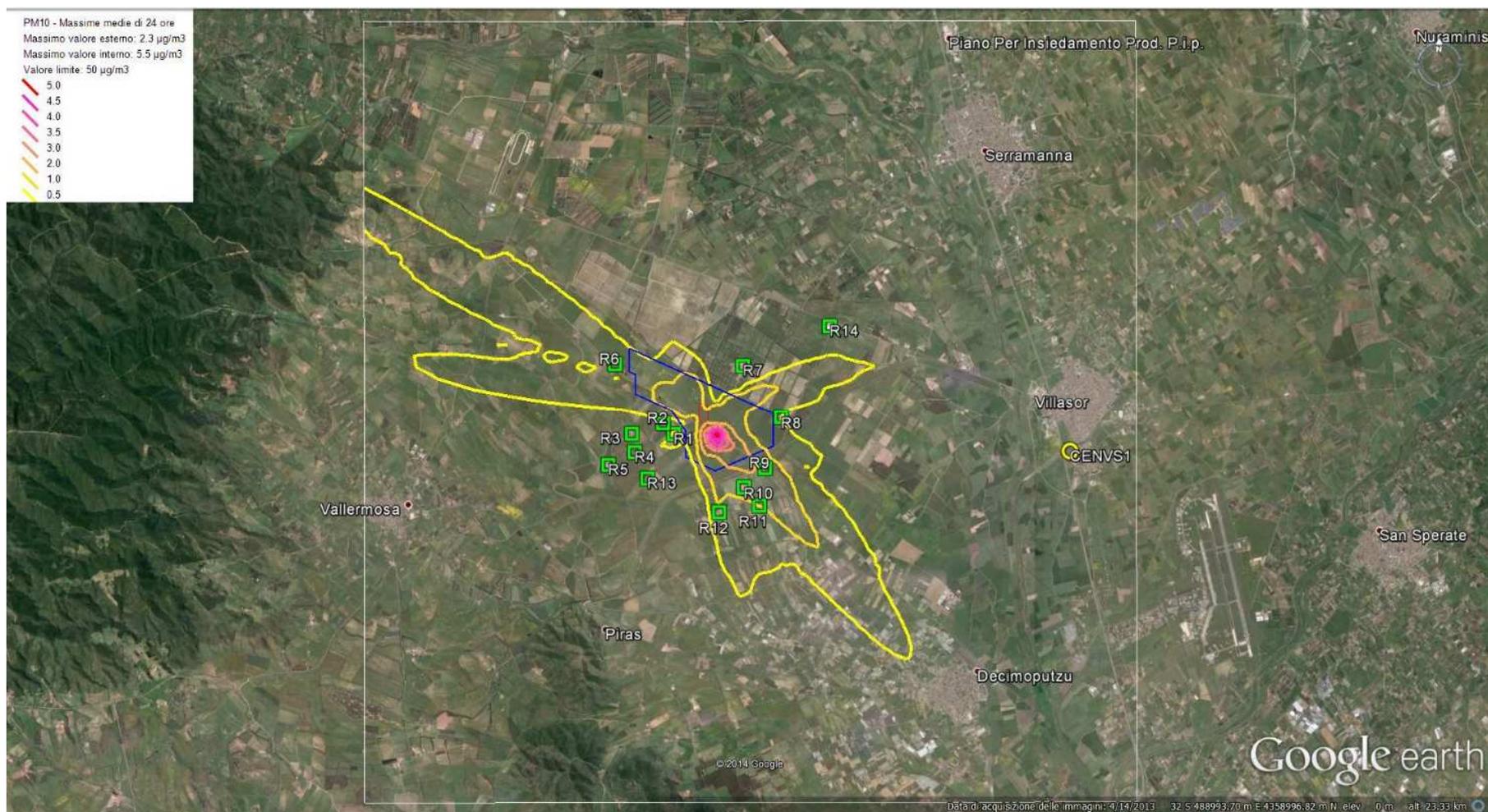


Figura 22. Isolinee di concentrazione delle massime medie giornaliere di PM10. In blu è riportato il perimetro di impianto.

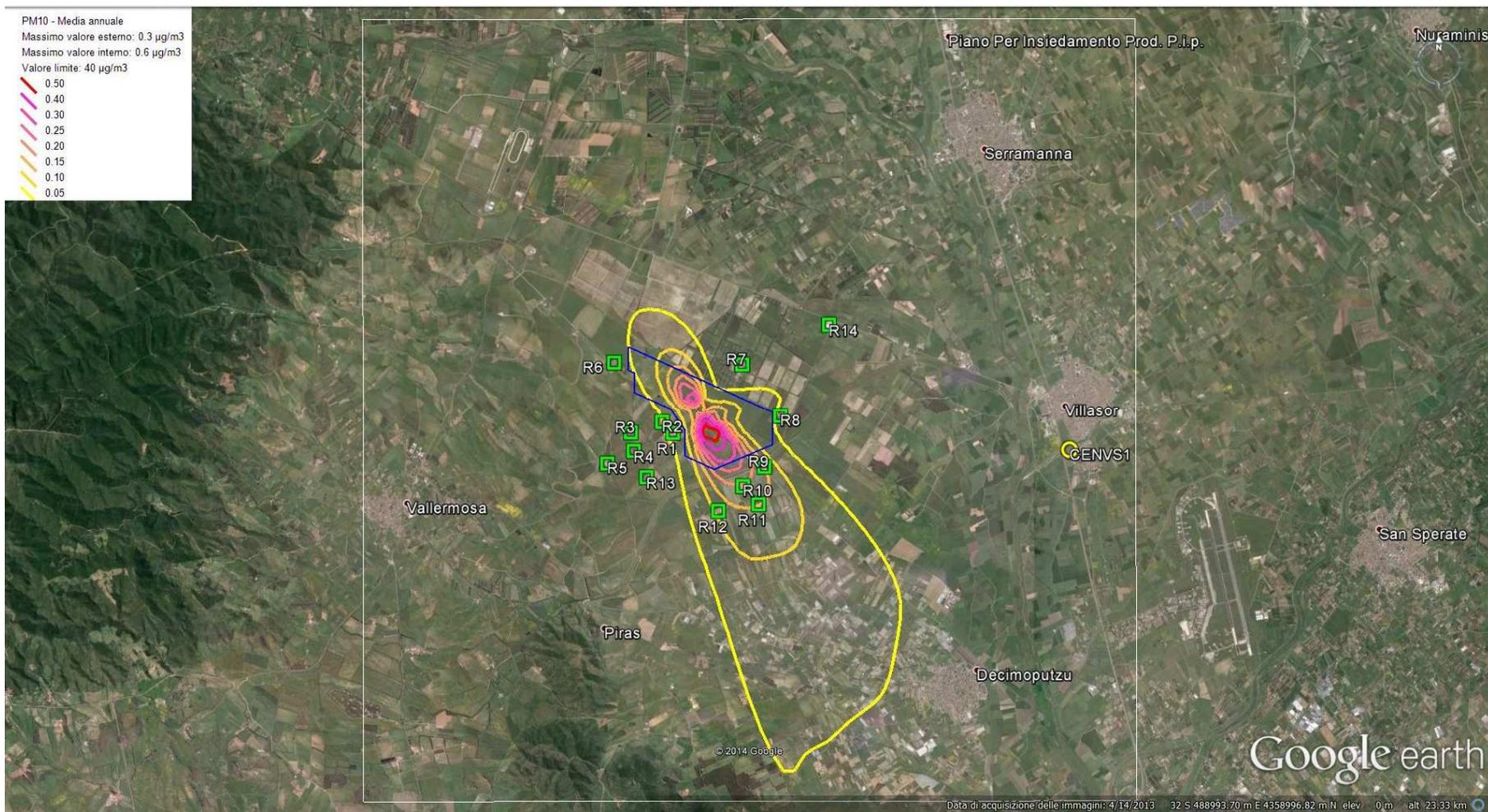


Figura 20. Isolinee di concentrazione delle medie annuali di PM10. In blu è riportato il perimetro di impianto.

## 6.5 Biossido di zolfo

I risultati delle simulazioni sulla griglia di calcolo cartesiana sono riportati in Tabella 16, mentre i risultati in corrispondenza dei recettori discreti sono riportati in Tabella 17.

La Tabella 16 riporta i valori massimi orari e giornalieri, i percentili delle medie orarie e giornaliere, e la media annuale, predetti all'esterno dell'impianto e quelli predetti all'interno dell'impianto. Per tutti i valori vengono indicate le coordinate a cui sono predetti e, tra parentesi, la percentuale rispetto al corrispondente valore limite stabilito dal D.Lgs 155/2010. Il limite massimo orario (350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) non deve essere superato per più di 24 volte in un anno, invece, il limite massimo giornaliero (125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) non deve essere superato per più di 3 volte in un anno.

Sul dominio la massima concentrazione media oraria calcolata dal modello è pari a 26.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre la massima concentrazione media giornaliera è pari a 8.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Entrambi i valori sono molto minori dei valori limite sopra citati. Anche la massima media annuale (1.0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) risulta molto minore del corrispondente valore limite (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Inquinante	Statistica	Esterni			Interni		
		Valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	X	Y	Valore ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	X	Y
SO2	Max 1 ora	13.6 (3.9%)	487600	4358600	26.0 (7.4%)	488400	4358800
SO2	Pct 1 ora	9.2 (2.6%)	488600	4358000	16.4 (4.7%)	488400	4358600
SO2	Max 24 ore	3.7 (2.9%)	489000	4358000	8.7 (7.0%)	488400	4358600
SO2	Pct 24 ore	2.5 (2.0%)	489000	4358000	5.4 (4.4%)	488400	4358600
SO2	Media anno	0.4 (2.2%)	488600	4358000	1.0 (4.9%)	488200	4358600

**Tabella 16. SO2. Valori massimi orari, del percenti 99.73 delle medie di 1 ora, delle medie di 24 ore, del percentile 99.18 delle medie di 24 ore, e delle medie annuali calcolati sul dominio. In parentesi la percentuale rispetto ai corrispondenti valori limite.**

Ai recettori discreti il massimo valore della media oraria è predetto presso R1 mentre il massimo valore della media giornaliera è predetto presso R9. Tali valori tuttavia risultano pari a pochi per cento dei rispettivi valori limite. La massima media oraria di SO2 predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1 è pari a 2.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cioè circa lo 0.8% del valore limite e il 26.4% del massimo valore orario misurato nel 2012 (10.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La massima media giornaliera di SO2 predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1 è pari a 0.2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cioè meno dello 0.2% del valore limite, e il 12.2% del massimo valore giornaliero misurato nel 2012 (1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Infine, la media annuale predetta presso la centralina di qualità dell'aria CENVS1 è pari a 0.02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , cioè circa lo 0.1% del valore limite e il 3.6% della media annuale misurata nel 2012 (0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Recettore	Max 1h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pct 1h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Max 24h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Pct 24h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
R1	15.7	2.9	1.0	0.4	0.10
R2	4.0	2.5	0.5	0.3	0.08
R3	5.0	1.9	0.4	0.2	0.05
R4	3.8	2.0	0.3	0.2	0.05
R5	3.7	1.9	0.2	0.2	0.04
R6	7.0	1.7	1.3	0.6	0.06
R7	3.7	0.9	0.2	0.2	0.04
R8	6.6	2.2	0.9	0.5	0.07
R9	8.4	7.2	2.4	2.1	0.24
R10	8.4	7.0	2.1	1.5	0.31
R11	6.6	5.5	1.5	1.2	0.24
R12	11.8	4.5	1.5	1.0	0.18
R13	3.7	1.7	0.4	0.2	0.04
R14	4.0	0.6	0.2	0.2	0.02
CENVS1	2.7	0.8	0.2	0.1	0.02

**Tabella 17. SO<sub>2</sub>. Valori massimi orari, del percentile 99.73 delle medie di 1 ora, delle medie di 24 ore, del percentile 99.18 delle medie di 24 ore, e annuali calcolati ai recettori discreti.**

Gli isolivelli delle massime medie di 1 ora, delle massime medie di 24 ore e delle medie annuali di SO<sub>2</sub> sono mostrati rispettivamente in Figura 21, in Figura 22 e in Figura 23.

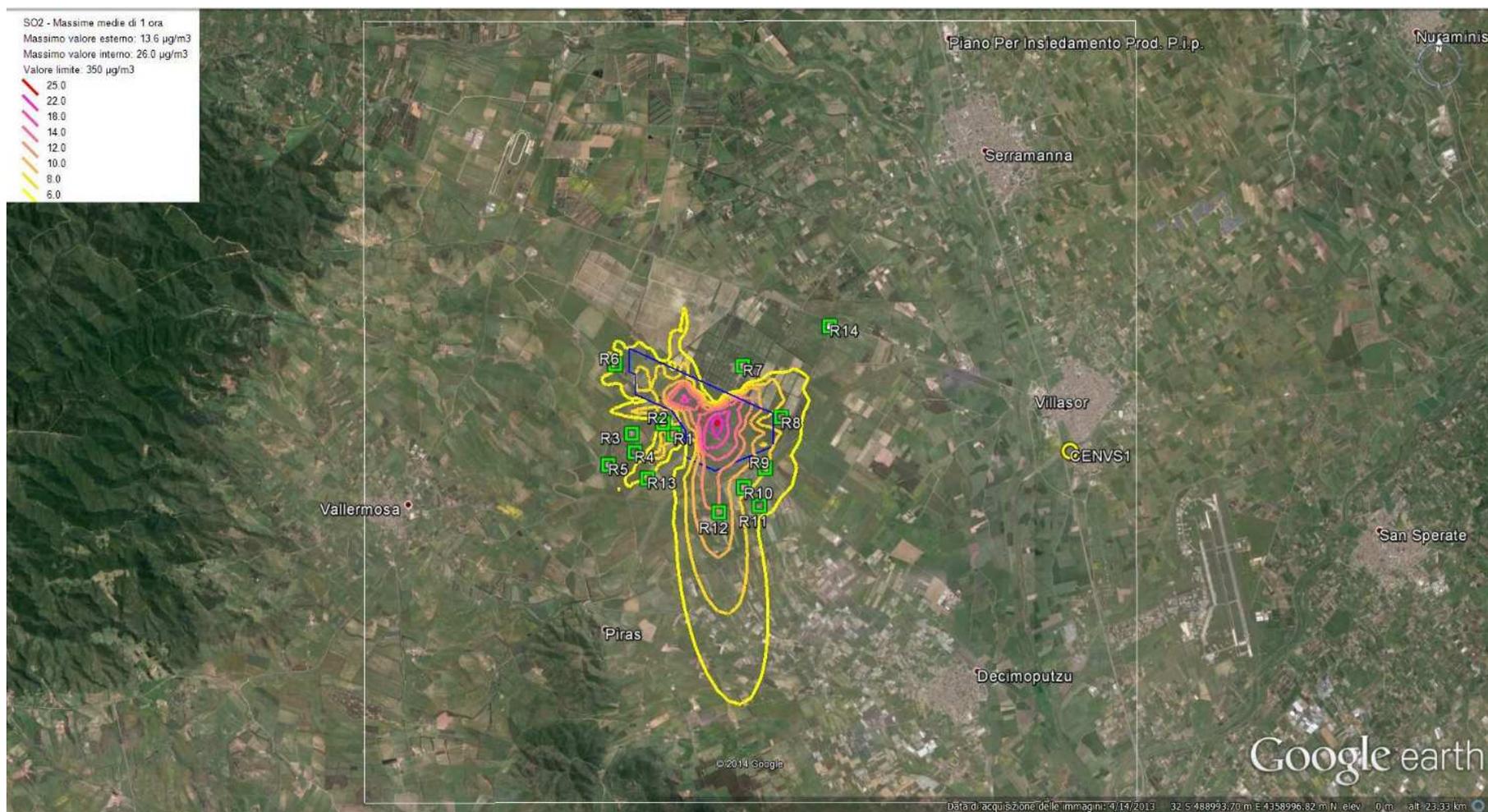


Figura 21. Isolinee di concentrazione delle massime medie orarie di SO<sub>2</sub>. In blu è riportato il perimetro di impianto.

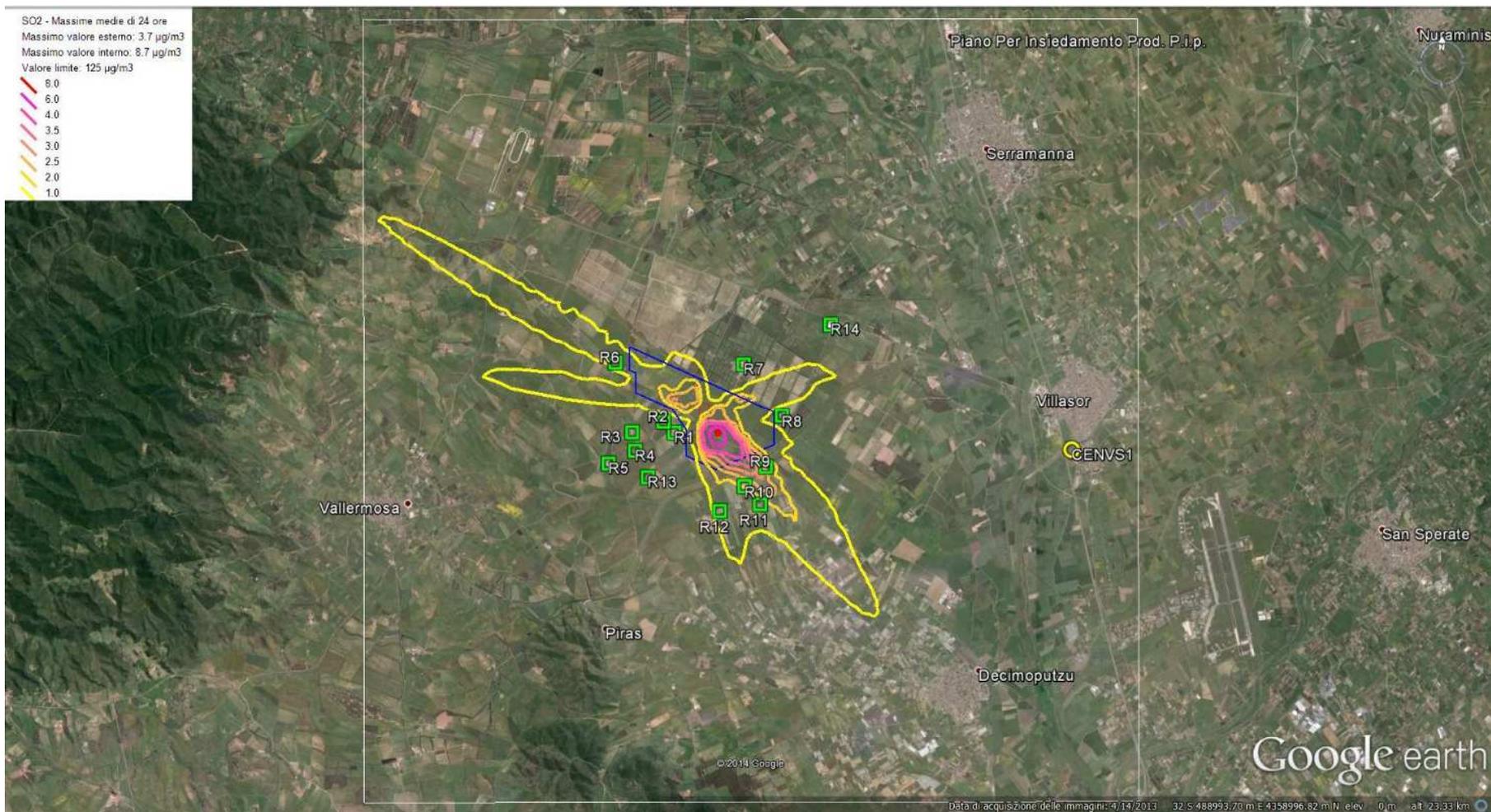


Figura 22. Isolinee di concentrazione delle massime medie giornaliere di SO<sub>2</sub>. In blu è riportato il perimetro di impianto.

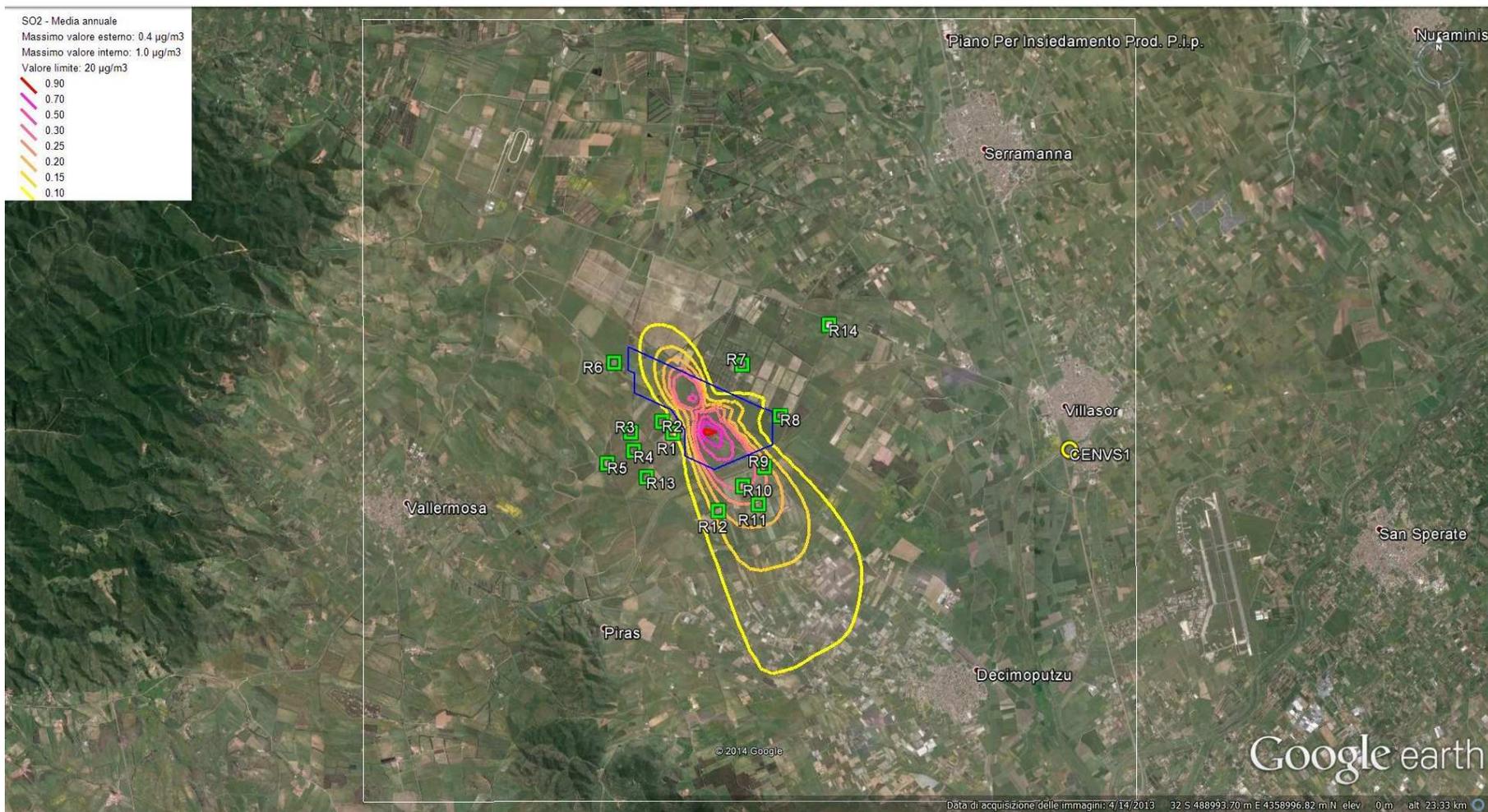


Figura 23. Isolinee di concentrazione delle medie annuali di SO2. In blu è riportato il perimetro di impianto.



## 7 Conclusioni

Le simulazioni di dispersione in atmosfera degli inquinanti emessi dai bruciatori dell'impianto solare termodinamico, in progetto in un'area compresa tra i territori comunali di Villasor e di Decimoputzu (CA), sono state realizzate con il modello di dispersione atmosferica AERMOD dell'US-EPA. La meteorologia è stata descritta utilizzando le osservazioni locali della rete di monitoraggio ARPA Sardegna (centralina di Villasor) per l'intero anno 2012.

I risultati delle simulazioni mostrano che i livelli di concentrazione al suolo rispettano i valori prescritti dalla normativa vigente (D. Lgs. 155/2010). Nello specifico i valori massimi assoluti, comunque minori dei rispettivi valori limite, sono sempre predetti all'interno del perimetro di impianto e diminuiscono velocemente allontanandosi da esso.

Diverse ipotesi cautelative sono state effettuate durante l'esecuzione dello studio:

- i bruciatori sono stati ipotizzati in funzione contemporaneamente per tutte le ore dell'anno, mentre nella realtà essi non saranno sempre attivi;
- le statistiche relative al biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) sono state calcolate ipotizzando cautelativamente la completa ed istantanea coincidenza di tale inquinante con gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) emessi;
- le statistiche relative alle polveri sono state calcolate ipotizzando cautelativamente che siano tutte costituite da PM<sub>10</sub>.

Per quanto riguarda l'ipotesi relativa agli ossidi di azoto si ricorda che in realtà il biossido di azoto è solo una frazione degli ossidi di azoto, il cui valore varia in funzione delle caratteristiche dell'atmosfera (presenza di altri inquinanti), del tipo di statistica di interesse (media oraria, media annuale, ecc.) e di altri fattori. La US EPA, ad esempio, suggerisce di utilizzare l' Ambient Ratio Method (Chu e Meyer, 1991, EPA 2010) per convertire la media annuale di NO<sub>x</sub> in media annuale di NO<sub>2</sub>. Secondo tale metodo si ha semplicemente  $[NO_2] = 0.7 * [NO_x]$ . Altre metodologie si basano su equazioni un po' più complicate, o sull'analisi dei dati di qualità dell'aria locali. In ogni caso le concentrazioni di NO<sub>2</sub> risulteranno sempre una frazione rispetto a quelle di NO<sub>x</sub>.

Tutte le medie annuali degli ossidi di azoto, del PM<sub>10</sub> e del biossido di zolfo sono molto bassi rispetto ai limite di legge stabiliti dal D. Lgs. 155/2010.

Nonostante l'approccio cautelativo il valore massimo della media oraria di NO<sub>2</sub> predetto dal modello AERMOD è minore rispetto al valore limite di 200 µg/m<sup>3</sup> stabilito dal D.Lgs. 155/2010. Le stesse considerazioni valgono in corrispondenza dei recettori di interesse individuati per lo studio (le abitazioni e gli stabilimenti produttivi più vicini agli impianti). Il recettore discreto R7 è posizionato sopra l'AGRIS (Agenzia della Regione Sardegna per la ricerca nel settore agricolo) dove

si riscontra un valore medio annuo di ossidi di azoto ( $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) molto basso rispetto al limite di legge per la vegetazione pari a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il massimo valore della media mobile di 8 ore di CO risulta trascurabile rispetto al valore limite di  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  stabilito dal D.Lgs 155/2010.

I valori massimi della media giornaliera di PM10 risultano essere minori rispetto ai valori limite stabiliti dal D.Lgs 155/2010. Per il recettore discreto R7, dove è presente l'AGRIS, si è riscontrato un valore medio annuo di PM10 ( $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) praticamente trascurabile rispetto al limite di legge per la salute umana pari a  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Si ricorda che tale inquinante non ha un limite di legge per la protezione della vegetazione, ma il suo valore così basso non desta nessuna preoccupazione per le attività del centro AGRIS.

Infine, anche per il biossido di zolfo tutte le statistiche calcolate sono inferiori ai limiti previsti dalla normativa. Sempre sul recettore discreto R7 dove è presente l'AGRIS si è riscontrato un valore medio annuo di biossido di zolfo ( $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) molto basso rispetto al limite di legge per la vegetazione pari a  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ovviamente, dati i risultati commentati sopra per l'intero dominio, anche le predizioni del modello al recettore discreto posto in corrispondenza della stazione di qualità dell'aria di Villasor (CENVS1) sono sempre molto minori rispetto ai valori limite stabiliti dal D.Lgs. 155/2010. In particolare, per quanto riguarda il PM10 che nel 2012 ha fatto registrare 12 superamenti del limite della media di 24 ore (pari a  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), si osserva che la massima media di 24 ore predetta dal modello alla CENVS1 è pari a  $0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre la media annuale è pari a  $0.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Come descritto nella "Relazione annuale sulla qualità dell'aria in Sardegna 2012", i superamenti sopradetti sono per lo più imputabili agli impianti di riscaldamento domestici, alimentati per lo più a legna.

Infine si osserva nuovamente che i risultati sopra descritti sono stati ottenuti considerando tutte le ore dell'anno quindi, potenzialmente, anche ore in cui l'impianto potrebbe non essere in funzione. I valori relativi alle medie annuali devono essere considerati particolarmente cautelativi.

## 8 Riferimenti

- Batcharova E. and Gryning S.-E. (1991) Applied model for the growth of the daytime mixed layer', *Boundary-Layer Meteorol.*, 56, 261-274.
- Bellasio R., G. Lanzani, M. Tamponi and T. Tirabassi (1994) Boundary layer parameterisation for atmospheric diffusion models by meteorological measurements at ground level. *Il Nuovo Cimento*, 17C, 163-174.
- Chu, S.H. and E.L. Meyer. (1991) Use of Ambient Ratios to Estimate Impact of NOx Sources on Annual NO2 Concentrations. Air and Waste Management Association 84 2'th Annual Meeting, June 1991. (AWMA Document Number 91-180.6).
- Deliberazione della Giunta Regionale della Sardegna numero 52/19 del 10/12/2013.
- EPA (2003) AERMOD: Latest features and Evaluation Results. EPA-454/R-03-003.
- EPA (2004a) User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model – AERMOD. EPA-454/B-03-001. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711.
- EPA (2004b) AERMOD: description of model formulation. EPA-454/R-03-004.
- EPA (2010) Applicability of Appendix W Modeling guidance for the 1-hour NO2 National Ambient Air Quality Standard. Memorandum to Regional Air Division Directors, June 28, 2010.
- Seibert, P., Beyrich F., Gryning S.-E., Joffre S., Rasmussen A. and Tercier P (2000) Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height, *Atmospheric Environment*, 34, 7, 1001-1027.
- Sims J. (2009) Impacts of light winds on AERMOD. A case study. Region 4 Modelers Workshop. March 18, 2009.
- Zilitinkevich, S.S. (1989) Velocity profile, the resistance law and the dissipation rate of mean flow kinetic energy in a neutrally and stably stratified planetary boundary layer, *Boundary-Layer Meteorol.*, 46, 367-387.