

**Qualità dell'aria nel Comune di Sora  
Relazione finale 2014**

**MATRICE DELLE REVISIONI**

<b>Rev.</b>	<b>OGGETTO</b>
0	Prima emissione

**COPIA CONTROLLATA N° : \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_**

**CONSEGNATA A : diffusione libera**

<b>REDAZIONE</b>	<b>VERIFICA</b>	<b>APPROVAZIONE</b>	<b>EMISSIONE</b>
	<i>Resp. Divisione Atmosfera e Impianti</i>	<i>Resp. Divisione Atmosfera e Impianti</i>	<i>Resp. Divisione Atmosfera e Impianti</i>

**INDICE**

<b>1.</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Quadro generale.....</b>	<b>6</b>
2.1	Rete di monitoraggio e zonizzazione .....	7
<b>3.</b>	<b>Localizzazione e strumentazione delle campagne di monitoraggio nel Comune di Sora .....</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Risultati della campagna di monitoraggio n. 1 (19/12/2013 – 07/01/2014).....</b>	<b>11</b>
4.1	Particolato atmosferico (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ).....	11
4.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	13
4.3	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	14
4.4	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	16
4.5	Monossido di carbonio (CO).....	17
<b>5.</b>	<b>Risultati della campagna di monitoraggio n. 2 (20 marzo-10 aprile 2014) .....</b>	<b>18</b>
5.1	Particolato atmosferico (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ).....	18
5.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	20
5.3	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	22
5.4	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	23
5.5	Monossido di carbonio (CO).....	24
<b>6.</b>	<b>Risultati della campagna di monitoraggio n. 3 (02 luglio -26 agosto 2014).....</b>	<b>25</b>
6.1	Particolato atmosferico (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ).....	25
6.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	27
6.3	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	28
6.4	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	29
6.5	Monossido di carbonio (CO).....	30
<b>7.</b>	<b>Risultati della campagna di monitoraggio n. 4 (29 agosto-02 ottobre 2014).....</b>	<b>32</b>
7.1	Particolato atmosferico (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ).....	32
7.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	34
7.3	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	36
7.4	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	37
7.5	Monossido di carbonio (CO).....	38
<b>8.</b>	<b>Risultati della campagna di monitoraggio n. 5 (13 dicembre 2014-13 gennaio 2015).....</b>	<b>39</b>
8.1	Particolato atmosferico (PM <sub>10</sub> e PM <sub>2,5</sub> ).....	39
8.2	Biossido di azoto (NO <sub>2</sub> ) .....	41
8.3	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	43
8.4	Biossido di zolfo (SO <sub>2</sub> ) .....	44
8.5	Benzene (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> ).....	45
<b>9.</b>	<b>Applicazione di tecniche di stima oggettiva per la stima/ricostruzione della concentrazione di PM<sub>10</sub>.....</b>	<b>46</b>
9.1	Metodologia geostatistica per la stima della qualità dell'aria .....	46
9.2	Stima della concentrazione annuale su base giornaliera di PM <sub>10</sub> nel Comune di Sora .....	51
9.2.1	Stima dei livelli di PM10 per l'anno 2014.....	51
<b>10.</b>	<b>Conclusioni .....</b>	<b>53</b>

## 1. Premessa

Per valutazione della qualità dell'aria s'intende la determinazione della distribuzione spaziale e dell'evoluzione temporale dei *livelli* di concentrazione delle sostanze ritenute inquinanti, e quindi dannose per la salute umana e per la vegetazione. Ad oggi il quadro normativo nazionale di riferimento per la qualità dell'aria è quasi totalmente contenuto nel D.Lgs. 155/2010 (e s.m.i) che recepisce la Direttiva Europea 2008/50/CE e che stabilisce i criteri e gli strumenti, e quindi i metodi, per una corretta gestione e valutazione della qualità dell'aria a livello regionale/locale.

Per prima cosa va sottolineato che per ciascuna sostanza inquinante considerata dalla Direttiva (e quindi anche dal Decreto) ad impatto negativo sulla salute umana (e sugli ecosistemi) la Direttiva stabilisce opportuni *valori limite* che, in estrema sintesi, per quasi tutte le sostanze sono costituiti da:

- una concentrazione al livello del suolo ottenuta mediando le concentrazioni istantanee in un opportuno intervallo temporale
- una concentrazione media al livello del suolo che non deve essere superata più di un numero prescritto di volte in un anno.

Tali limiti, come dichiarato con chiarezza dalla Direttiva stessa, derivano dall'insieme di tutte le conoscenze epidemiologiche e sanitarie ad oggi disponibili e quindi sono inevitabilmente anche dei limiti sanitari. Pertanto, se le varie sostanze inquinanti presenti nell'aria di un sito superano tali limiti la situazione può a tutti gli effetti essere considerata critica per la salute umana.

Il termine "livelli di concentrazione" usato dalla Norma richiede alcune spiegazioni. La Norma richiede che ogni punto del territorio regionale sia caratterizzato da un ben preciso valore di Qualità dell'Aria che può essere definita come un insieme di opportuni indicatori statistici (valori medi, numero di superi di valori soglia) costruiti a partire dalle concentrazioni medie orarie (o giornaliere nel caso del particolato sottile) relativi al punto considerato e per tutte le sostanze inquinanti previste dalla Norma. Ovviamente le concentrazioni delle varie sostanze inquinanti sono misurate strumentalmente solo nei punti in cui sono presenti le centraline della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e quindi il poter rispondere ai dettami della Norma richiede che vengano messi in atto metodologie diverse a complemento del monitoraggio strumentale continuo operato dalla rete regionale. Questa procedura di monitoraggio integrato (strumentale e non) viene indicato dalla Norma col termine di *valutazione* e viene appositamente disciplinato. In particolare, secondo la Norma per metodi di valutazione della qualità dell'aria si intende *l'utilizzo dei metodi stabiliti dal presente decreto* (D.Lgs. 155/2010) *per misurare, calcolare, stimare o prevedere i livelli degli inquinanti*. I metodi per la valutazione della qualità dell'aria, individuati dal 2008/50CE e confermati dal D.Lgs.155/2010, sono i seguenti:

- **Misurazioni fisse:** è l'insieme delle stazioni di monitoraggio della Rete Regionale della Qualità dell'Aria (e non da altre postazioni fisse installate e gestite da operatori diversi come Comuni, Aziende, ecc.) che, operando in continuo, forniscono l'evoluzione temporale dei livelli di concentrazione delle sostanze inquinanti per l'arco dell'intero anno. La localizzazione di queste stazioni deve soddisfare i requisiti ed i criteri imposti dal Piano di Zonizzazione Regionale il quale, seguendo le Linee Guida del Ministero dell'Ambiente, deve essere in grado di fornire alle autorità competenti (Regione Lazio e Arpa Lazio per delega) una rete di misura il più possibile adeguata alle caratteristiche orografiche, meteorologiche ed emmissive del territorio regionale. Affinché le stazioni fisse che costituiscono la rete di misura regionale possano essere utilizzate per il controllo della qualità dell'aria, è necessario che siano soddisfatti determinati requisiti come la cosiddetta macrolocalizzazione e micro-localizzazione di ogni singola stazione di misura, l'installazione di strumenti certificati e non ultimo ogni analizzatore deve garantire una copertura minima temporale delle misure nell'arco dell'anno di misura (almeno il 90% di copertura annuale). La consistenza numerica e la localizzazione delle stazioni della Rete Regionale del Lazio è stata stabilita ufficialmente dal Ministero dell'Ambiente e, solo dopo tale

approvazione, è stata recepita dalla normativa regionale. In sostanza, la Regione Lazio, come ogni altra regione italiana, non può autonomamente definire la propria rete di monitoraggio, ma può solo proporla e, solo se si è ottenuta l'approvazione ministeriale, può adottarla. Inoltre, ogni modifica, anche giustificata da oggettive esigenze, deve passare attraverso l'approvazione ministeriale prima di poter essere adottata.

- **Misure indicative:** riprendendo l'ultimo passaggio del punto precedente la normativa prevede, ove ritenuto necessario, di affiancare alla rete di misura fissa anche le cosiddette *misure indicative*. Tali misure sono in tutto e per tutto identiche alle misure effettuate mediante una stazione fissa ma, rispetto a quest'ultima, devono soddisfare dei requisiti minimi di copertura temporale meno rigidi. Di fatto una misura viene chiamata indicativa se la copertura temporale garantita è pari ad almeno il 14% del totale annuo distribuito in maniera uniforme su tutto l'arco dell'anno. Dal punto di vista operativo le misure indicative vengono identificate con le campagne sperimentali condotte mediante mezzo mobile.
- **Metodi di stima oggettiva:** viene previsto l'utilizzo di strumenti matematici/statistici al fine di calcolare e stimare la concentrazione degli inquinanti in funzione di livelli di concentrazione misurati dalle stazioni di monitoraggio fissa. In ambito europeo sono molti gli esempi di metodi oggettivi di stima che vengono comunemente utilizzati per valutare la qualità dell'aria in siti sprovvisti di misurazioni fisse e tali metodi sono stati ben documentati e ne è stata verificata accuratamente la realistica ed i limiti applicativi.
- **Modelli di dispersione degli inquinanti:** i modelli numerici di dispersione degli inquinanti rappresentano di fatto l'unico strumento ad oggi disponibile in grado di fornire contemporaneamente la distribuzione spaziale e l'evoluzione temporale delle singole sostanze inquinanti in atmosfera. La delicatezza dei modelli numerici risiede nel fatto che essi, al fine di fornire delle informazioni realistiche e prossime al caso reale, sono strettamente legati al dettaglio con cui vengono fornite le informazioni di input che devono essere disponibili per il loro corretto funzionamento: informazioni meteorologiche/micrometeorologiche, e tutte le informazioni relative alle sorgenti emissive (di qualsiasi natura) che impattano all'interno e all'esterno del territorio regionale stesso. Questi modelli di dispersione nulla hanno a che fare con i modelli di prima approssimazione che tuttora corredano gli studi di VIA ed AIA, modelli estremamente semplificati, spesso utilizzati senza tener conto della sovrapposizione degli effetti con le altre sorgenti inquinanti presenti sul territorio e la cui realistica è ben limitata, col risultato che le loro stime non possono che essere considerate solo un'indicazione dell'ordine di grandezza del possibile impatto dell'impianto considerato. I modelli a cui si riferisce la Direttiva, invece, sono modelli estremamente complessi che devono considerare tutte insieme le sorgenti inquinanti presenti sul territorio regionale (e oltre) e che devono considerare anche tutte le complesse reazioni chimiche che si realizzano in atmosfera. Dopo vari decenni di ricerca assidua, è ormai dimostrato, come recita la Direttiva, un'elevatissima realistica ed un'aderenza notevole ai valori misurati.

Pertanto all'interno dell'apparato normativo nazionale convivono quindi due aspetti fondamentali strettamente legati tra loro:

- Il primo aspetto è basato sul principio che non è sufficiente conoscere livelli di concentrazione degli inquinanti solamente nei punti in cui sono installate le stazioni di monitoraggio della rete regionale della qualità dell'aria ma in tutto il territorio regionale;
- il secondo aspetto è basato sul principio che, sotto precise condizioni imposte dalla normativa stessa, la conoscenza dei livelli di concentrazione può/deve essere determinata mediante l'uso di strumenti differenti dalle stazioni fisse di misura: misure indicative, modelli di simulazione e metodi di stima oggettiva.

 <p>ARPALAZIO</p>	<p><b>DOCUMENTO TECNICO</b></p>	<p><b>DT DT 01/15</b>  Rev 0 del 20.07.15  Pagina 5 di 55</p>
--	---------------------------------	---

A questo punto è legittimo chiedersi come utilizzare gli strumenti che la normativa ci mette a disposizione per raggiungere gli obiettivi che la stessa normativa ci chiede di raggiungere: la conoscenza dei livelli di concentrazione su tutto il territorio regionale e la loro evoluzione temporale.

Appare subito chiaro che un simile obiettivo non può e non sarà mai raggiunto se si considerano gli strumenti elencati poco fa come una serie di metodi di valutazione (siano questi strumentali o modellistici) *non integrati* tra loro.

Tale considerazione nasce dal fatto che ognuno di questi metodi, se preso singolarmente, non consente di arrivare alla descrizione della distribuzione spaziale e dell'evoluzione temporale dei livelli degli inquinanti. Una misura della concentrazione effettuata tramite stazione fissa (rete regionale di monitoraggio) o mezzo mobile (misura indicativa), se rispettati i requisiti di qualità, è sicuramente dotata di un elevato grado di precisione del livello di concentrazione misurato; d'altro canto il grado di rappresentatività spaziale del punto di misura è strettamente connesso con le caratteristiche orografiche, il livello di urbanizzazione e il contesto emissivo dell'area in cui è operativa. E' sufficiente che anche solo una di queste tre componenti sia dominante per ridurre drasticamente l'area di rappresentatività del punto di misura.

D'altra parte un modello di dispersione degli inquinanti fornisce in ogni punto del territorio la ricostruzione/previsione dei livelli di concentrazione delle sostanze inquinanti ma con una precisione strettamente legata al dettaglio con cui sono descritte le informazioni sulla evoluzione temporale e la distribuzione spaziale delle *emissioni* sul territorio regionale. E' chiaro che una sottostima dell'inventario delle emissioni si riflette su una ricostruzione non realistica dei livelli di concentrazione degli inquinanti.

Al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati risulta pertanto necessario integrare le *capacità interpretative* di un modello numerico di dispersione con la *precisione* delle singole misure strumentali con l'obiettivo di arrivare ad una descrizione realistica dei livelli di concentrazione su tutto il territorio regionale. Come previsto dalla normativa, l'integrazione di due sistemi di monitoraggio, misure e modelli, apparentemente così differenti viene effettuata mediante tecniche di *assimilazione dati (data assimilation/fusion)* attraverso le quali si costringe il modello numerico a ricostruire i livelli di concentrazione tenendo conto che in alcuni punti del territorio sono disponibili delle misure verso cui la stima modellistica deve necessariamente tendere.

Nasce a questo punto l'esigenza di rendere coerenti, dal punto di vista della continuità temporale, le misure effettuate tramite un mezzo mobile (misure indicative) e le misure effettuate tramite una stazione di monitoraggio fissa. A complemento delle misure fisse, il D.Lgs. 155/2010 prevede l'utilizzo di tecniche geostatistiche (metodi di stima oggettiva) in grado di ricostruire i livelli di concentrazione annuale delle sostanze inquinanti a partire da misure periodiche e omogeneamente sparse lungo l'arco dell'anno in uno specifico sito di interesse, oltre che avendo a disposizione misure continue della concentrazione delle sostanze inquinanti nella rete di misura fissa che costituisce sempre il punto di riferimento indispensabile per il modello di stima oggettiva. Tale operazione consentirebbe di applicare le tecniche di assimilazione dati tra modello e misure strumentali non solamente nei punti del territorio in cui sono localizzate storicamente le stazioni di monitoraggio delle rete regionale di qualità dell'aria, ma anche nei punti in cui viene periodicamente localizzato il mezzo mobile in modo tale da fornire al modello numerico una griglia di punti di misura ben più densa (e quindi più dettagliata) da utilizzare per ricostruire la distribuzione spaziale della concentrazione delle sostanze inquinanti.

Pertanto è necessario evidenziare come la filosofia da cui nasce ogni singola campagna di misura effettuata con il mezzo mobile, previste dal D.Lgs. 155/2010 come *misura indicativa*, sia parte integrante di un contesto ben più ampio del semplice monitoraggio limitato nel tempo, ma faccia parte del sistema di valutazione della qualità dell'aria inteso nella sua accezione più ampia. A tale proposito, Arpa Lazio ha elaborato un piano di monitoraggio regionale con i propri mezzi mobili improntato a questo spirito ed in Allegato 1 viene allegato il documento tecnico che lo descrive, indicando chiaramente le motivazioni, i siti

	<b>DOCUMENTO TECNICO</b>	<b>DT DT 01/15</b> <i>Rev 0 del 20.07.15</i>  <i>Pagina 6 di 55</i>
---	--------------------------	--

individuati (tra cui Sora) e l'utilizzo previsto per le misure raccolte durante le campagne periodiche. Tale piano è stato presentato alla Regione Lazio che l'ha approvato.

## 2. Quadro generale

La Valle del Sacco rappresenta storicamente, insieme alla città di Roma, una delle maggiori criticità regionali dal punto di vista della qualità dell'aria. L'area della Valle del Sacco, che comprende interamente la provincia di Frosinone ed una porzione della Provincia di Roma, presenta le classiche caratteristiche di una zona ad elevata complessità orografica che si ripercuote sulle caratteristiche termiche e dinamiche delle masse d'aria decisamente uniche e completamente scollegate dal resto del territorio regionale. Di fatto, tale territorio presenta un'elevata criticità ambientale perché presenta contemporaneamente almeno due caratteristiche decisamente sfavorevoli alla dispersione delle sostanze inquinanti emesse entro la valle: la presenza di una zona pianeggiante completamente circondata da formazioni montuose di rimarchevole quota e la separazione quasi completa rispetto al resto del territorio regionale. Le masse d'aria ristagnano con pochi ricambi d'aria e le sostanze inquinanti si accumulano progressivamente nell'aria. Ancora più complessa e delicata dal punto di vista ambientale è la situazione che presentano le piccole vallate laterali in cui i ristagni d'aria e gli incanalamenti sono ancora più frequenti. Oltre a ciò è presente nella zona un'elevata densità di insediamenti industriali di differenti dimensioni e differente tipologia, prevalentemente nel fondo della parte valliva pianeggiante, ma anche in alcune zone appenniniche laterali. Da qui nasce il lavoro d'indagine che da alcuni anni Arpa Lazio sta conducendo sulla situazione ambientale della Valle del Sacco e la ragione della presenza tra i siti da monitorare coi mezzi mobili (in aggiunta a quelli monitorati dalla rete fissa) di alcune località di questa zona ed in particolare di Sora.

Proprio per questa ragione dal febbraio del 2012 è iniziata la sorveglianza di Sora con un mezzo mobile di Arpa Lazio. Le campagne realizzate nel 2012 avevano uno scopo esplorativo per verificare la situazione della qualità dell'aria locale e, visti i risultati ottenuti, dal 2013 in questa località, come in tutte quelle elencate nel piano di monitoraggio con i mezzi mobili di Arpa Lazio, vengono realizzate quattro campagne annuali in modo da consentire l'applicabilità delle modalità previste dalla Norma per ottenere una valutazione in termini di legge della qualità dell'aria di Sora. È già stato prodotto un documento di sintesi relativo alle campagne realizzate nel periodo 2012-2013 in cui veniva valutata la qualità dell'aria della zona. Qui di seguito sono riportati i risultati ottenuti nelle campagne realizzate nell'anno 2014.

## 2.1 Rete di monitoraggio e zonizzazione

La rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria è costituita, ad oggi, da 41 stazioni di monitoraggio fisse di cui 10 dislocate nella Valle del Sacco. Nella Fig. 2.1 viene presentata una cartina in cui sono indicati i siti sedi delle stazioni fisse della rete regionale del Lazio, mentre nella Tab. 2.1 di questi siti viene fornita l'ubicazione, la quota e la dotazione strumentale.

NOME_STAZ	Longitudine	Latitudine	Quota s.l.m. (m)	PM10	PM2.5	NOX	CO	BTX	O3	SO2
Colleferro Oberdan	13.0044	41.731	219	X		X	X		X	X
Colleferro Europa	13.0096	41.725	223	X		X				
Alatri	13.3383	41.730	445	X		X	X			
Anagni	13.1497	41.750	401	X		X				
Cassino	13.8307	41.490	41	X	X	X				X
Ceccano	13.3372	41.570	130	X		X				
Ferentino	13.2504	41.690	316	X		X	X			
Fontechiari	13.6745	41.670	388	X	X	X			X	
Frosinone Mazzini	13.3489	41.6397	260	X	X	X	X		X	X
Frosinone scalo	13.3308	41.620	161	X		X	X	X		

Tabella 2.1 – localizzazione e dotazioni strumentale delle postazioni fisse della rete di monitoraggio all'interno della Valle del Sacco.

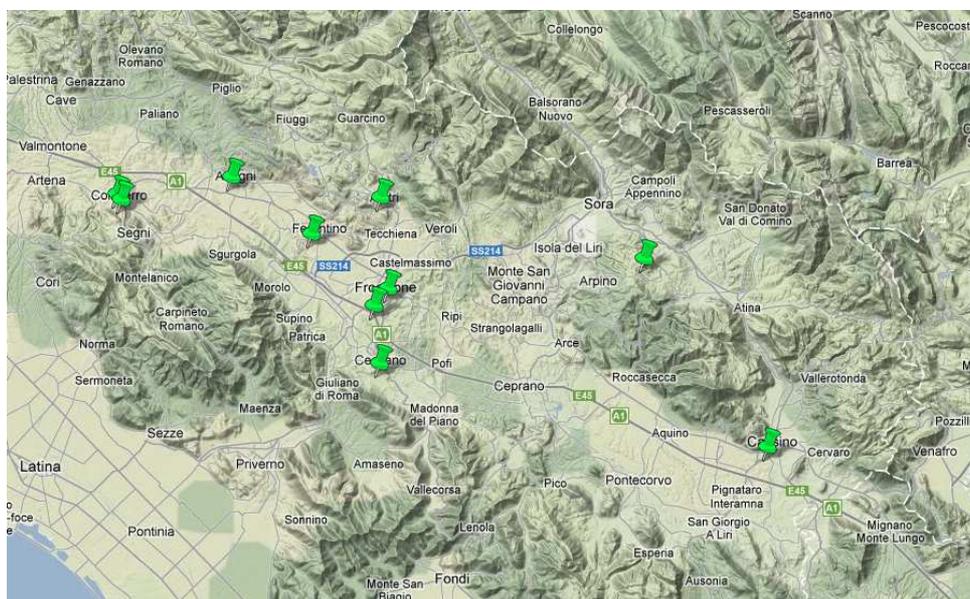


Figura 2.1 – Rete di monitoraggio regionale della qualità dell'aria attuale.

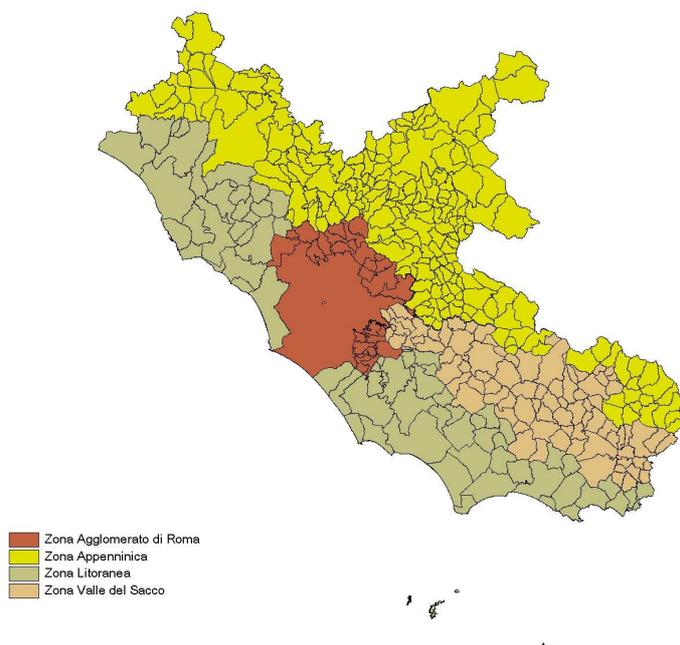


Figura 2.2 – Zonizzazione del territorio regionale

La nuova zonizzazione regionale, approvata con D.G.R. n. 217 del 2012, non prevede più una suddivisione del territorio regionale nelle Province, come nel recente passato, ma prevede invece la suddivisione del territorio regionale in aree sulla base delle caratteristiche orografiche, la densità di popolazione, del grado di urbanizzazione, delle caratteristiche meteorologiche e del carico emissivo. Quest'ultimo elemento è stato e continua ad essere un elemento di notevole incertezza vista la quasi totale inesistenza delle informazioni relative alle emissioni industriali, di a volte sono note le emissioni ritenute maggiori (in sostanza quelle convogliate) mentre sono quasi completamente assenti le informazioni sulle emissioni diffuse (che normalmente sono ben superiori a quelle convogliate e quindi misurabili) e quelle relative al traffico pesante e non indotto dalle stesse attività industriali che pesano gravemente sia sulla viabilità locale sia, soprattutto, sulla qualità dell'aria. Nonostante queste incertezze, ad oggi per la Regione Lazio la nuova zonizzazione prevede la suddivisione nelle zone indicate nella Fig. 2.2.

### 3. Localizzazione del mezzo mobile e strumentazione delle campagne di monitoraggio nel Comune di Sora

Nel 2014 sono state eseguite 5 campagne di monitoraggio con il mezzo mobile di Arpa Lazio di durata variabile, la prima con inizio a metà dicembre 2013 e l'ultima con fine a metà gennaio 2015:

- Campagna I (Via Tofaro) : dal 19/12/2013 al 07/01/2014;
- Campagna II (Piazzale S. Domenico) : dal 20/03/2014 al 10/04/2014;
- Campagna III (Piazzale S. Domenico) : dal 02/07/2014 al 26/08/2014;
- Campagna IV (Piazza S. Restituta) : dal 29/08/2014 al 02/10/2014;
- Campagna V (Piazzale S. Giuliano) : dal 13/12/2014 al 13/01/2015.

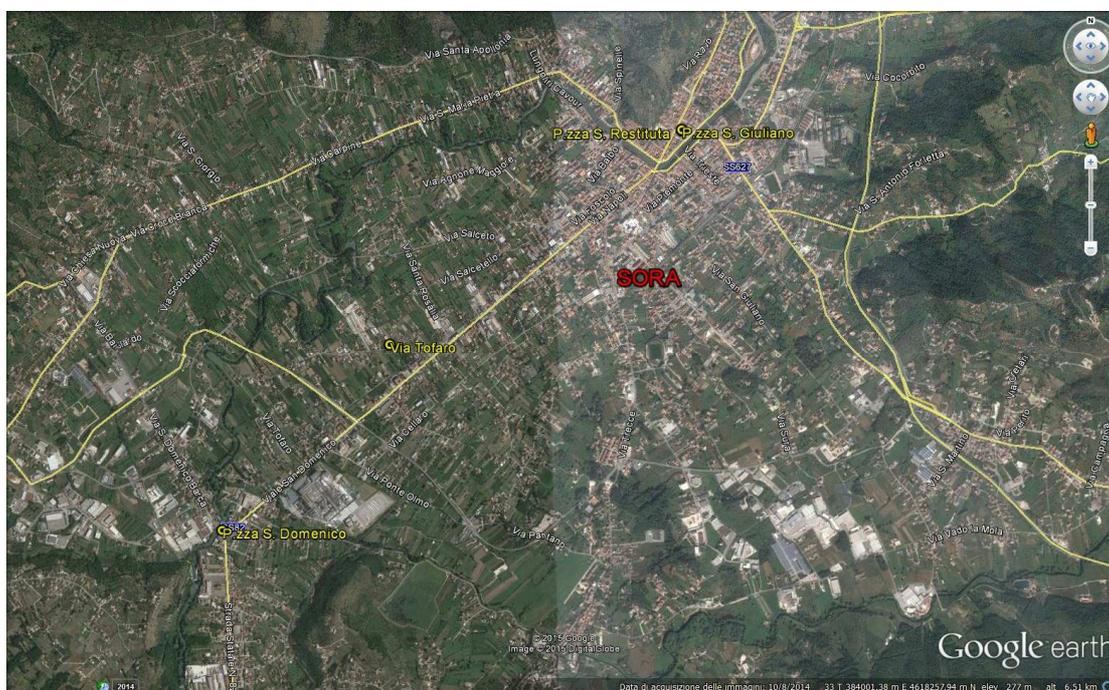


Figura 3.1 – Localizzazione delle campagne di misura del 2014 nel Comune di Sora

La dotazione strumentale del mezzo mobile è costituita dai seguenti analizzatori in continuo:

- un analizzatore per gli ossidi di azoto (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>);
- un analizzatore di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>);
- un analizzatore di ozono (O<sub>3</sub>);
- un analizzatore di monossido di carbonio (CO) per le campagne da I a IV;
- un analizzatore di benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) solo per la campagna V;
- un analizzatore di particolato sottile PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>.

Tutti gli analizzatori impiegati rispettano quanto previsto dalla normativa vigente. Nella *Tab. 3.1* sono riportati gli inquinanti monitorati con i relativi tempi di mediazione previsti dalla normativa vigente e le unità di misura utilizzate. In particolare, per tutti gli inquinanti considerati, ad eccezione del particolato atmosferico, il periodo di mediazione è l'ora, mentre per il particolato atmosferico il tempo di mediazione è il giorno.

Laboratorio mobile	Tempo di mediazione	Unità di misura
<b>NO</b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>NO<sub>2</sub></b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>NO<sub>x</sub></b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>CO</b>	1 ora	$\text{mg}/\text{m}^3$
<b>C<sub>6</sub>H<sub>6</sub></b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>O<sub>3</sub></b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>SO<sub>2</sub></b>	1 ora	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM<sub>10</sub></b>	24 ore	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	24 ore	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabella 3.1 – Inquinanti e rispettivi tempi di mediazione

Per completezza, di seguito sono riportati i valori limiti per la protezione della salute umana imposti dal D.Lgs. 155/2010 (e naturalmente anche dalla Direttiva 2008/50/CE). Da ricordare che tali valori limite sono riferiti sempre ad un arco temporale pari ad 1 anno civile.

#### PM<sub>10</sub>

- Valore limite di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sui livelli medi giornalieri da non superare più di 35 volte per anno civile;
- Valore limite  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media annuale.

#### PM<sub>2.5</sub>

- Valore limite  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media annuale da raggiungere entro il 2015. A partire dal 2009 è applicato un margine di tolleranza decrescente secondo un percentuale annua costante e tale da annullarsi il 2015. Nell'anno 2014 il valore limite incrementato del margine di tolleranza è pari a  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### NO<sub>2</sub>

- Valore limite di  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sui livelli orari di concentrazione da non superare più di 18 volte per anno civile;
- Valore limite  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media annuale.

#### O<sub>3</sub>

- Valore limite di  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sui livelli orari di concentrazione rispettivamente soglia di informazione e di allarme;
- Valore limite di  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore da non superare più di 25 volte nell'anno civile.

#### SO<sub>2</sub>

- Valore limite  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sui livelli orari;
- Valore limite  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulla media giornaliera da non superare più di 3 volte per anno civile.

#### CO

- Valore limite di  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  come massimo giornaliero della media mobile su 8 ore.

#### 4. Risultati della campagna di monitoraggio n. 1 (19/12/2013 – 07/01/2014)

Di seguito vengono riportati i risultati della campagna di monitoraggio, effettuata dal 19/12/2013 al 07/01/2014 nel Comune di Sora a Via Tofaro, con alcuni confronti con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco. Questa campagna è stata realizzata nella parte tradizionalmente più critica del periodo invernale e fornisce i tipici valori invernali per le varie sostanze inquinanti previste dalla Norma.

##### 4.1 Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Di seguito sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio del 19/12/2013-07/01/2014.

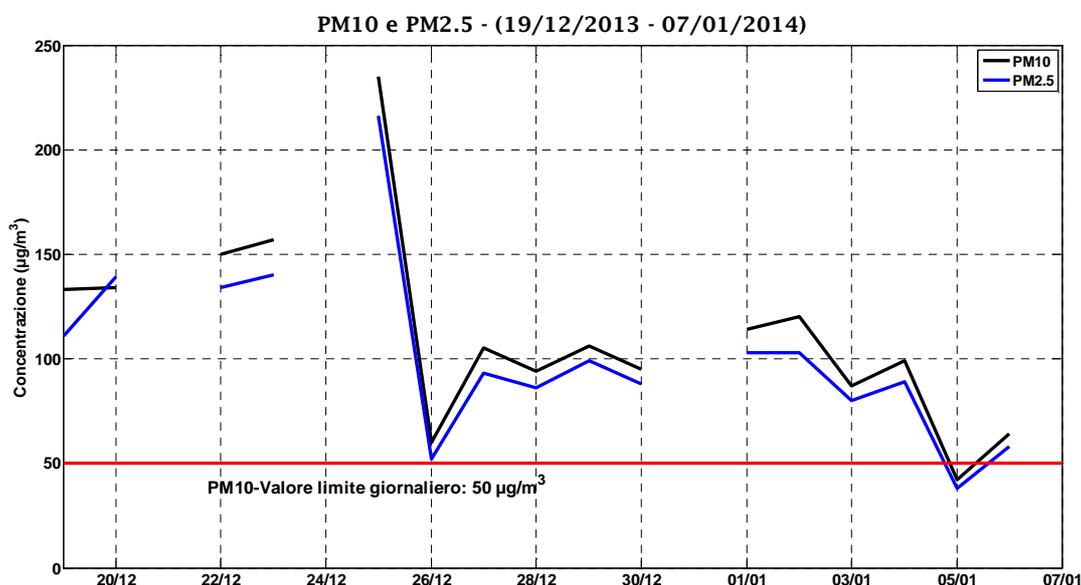


Figura 4.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I livelli giornalieri di PM<sub>10</sub> sono quasi sempre elevatissimi e superiori al limite di 50 µg/m<sup>3</sup> e ciò è vero anche per il PM<sub>2.5</sub>. I picchi massimi di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> si riscontrano il 25 dicembre con valori pari a, rispettivamente, 235 µg/m<sup>3</sup> e 216 µg/m<sup>3</sup> pari rispettivamente a circa 5 volte e 8 volte il limite giornaliero. Inoltre va sottolineata come la concentrazione di PM<sub>2.5</sub> sia sempre prossima alla concentrazione di PM<sub>10</sub> e ciò sta a significare che il particolato presente nella zona e nel periodo della campagna era costituito quasi totalmente da particolato molto sottile.

Di seguito è mostrato il confronto tra i valori medi giornalieri rilevati dal mezzo mobile con i valori rilevati, nello stesso periodo, in alcune delle stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale. Come si vede, i valori rilevati a Sora sono sostanzialmente paragonabili a quelli rilevati nelle stazioni di monitoraggio di Ceccano, Frosinone Scalo e Cassino e presenta i medesimi andamenti nel tempo. Le concentrazioni rilevate dal mezzo mobile a Sora e dalle postazioni fisse in queste località, queste ultime localizzate nel fondovalle, sono elevatissime e il fatto che anche la situazione di Sora sia comparabile suggerisce il fatto che l'intera Valle del Sacco e le vallate in essa confluenti sono interessate da un generale ristagno d'aria con conseguente accumulo di inquinanti particellari.

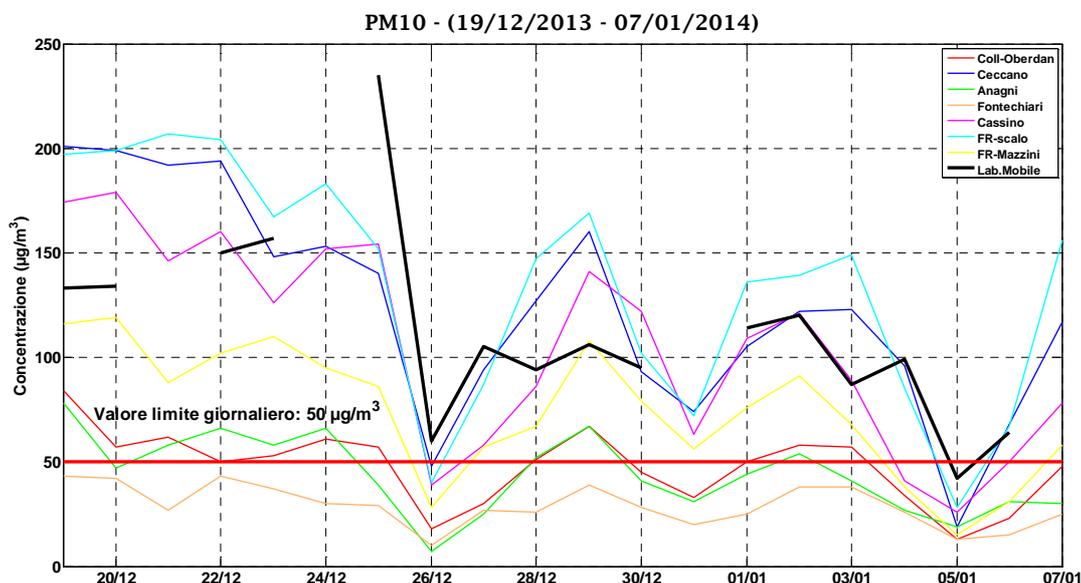


Figura 4.2 – PM<sub>10</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile e in alcune stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale di qualità dell'aria.

Nella Tabella qui di seguito presentata sono riportati i valori medi ed il numero di superamenti del limite giornaliero rilevati nella campagna dal 19/12/2013 al 07/01/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco. Come si può notare la situazione risulta altamente critica in tutta la Valle del Sacco ed anche a Sora.

<b>Periodo 19/12/2013-07/01/2014</b>			
stazione	media di periodo (µg/m <sup>3</sup> )		numero di superamenti di 50 µg/m <sup>3</sup>
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>Laboratorio Mobile</b>	112	102	15
<b>Alatri</b>	62		15
<b>Anagni</b>	44		8
<b>Cassino</b>	106	87	16
<b>Ceccano</b>	124		18
<b>FR-scalo</b>	134		18
<b>FR-Mazzini</b>	74	69	16
<b>Ferentino</b>	69		12
<b>Fontechiari</b>	29	26	0
<b>Colleferro Obe.</b>	48		10
<b>Colleferro Eur.</b>	62		15

Tabella 4.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

Val la pena ricordare durante il periodo di campagna la maggior parte delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria della zona hanno registrato un numero di superi a poco meno la metà del numero di superi che la Norma consente nell'intero anno e ciò è risultato anche per la località di Sora, sede della campagna di misura.

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

Nella Fig.4.3 seguente è riportata la concentrazione oraria di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio dal 19/12/2013 al 07/01/2014.

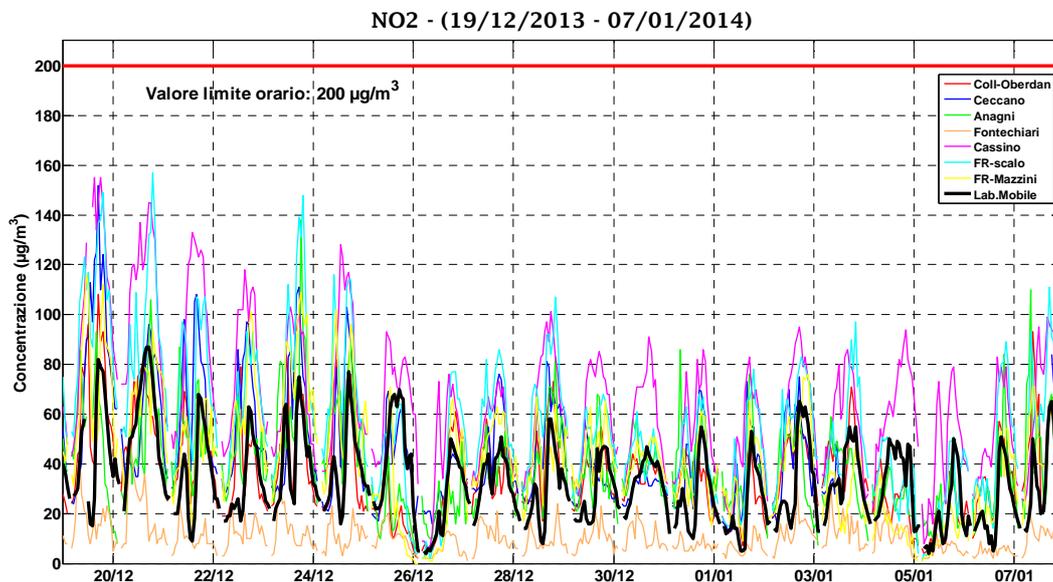


Figura 4.3 – NO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I livelli di NO<sub>2</sub> non presentano superamenti del valore limite di 200 µg/m<sup>3</sup> per tutto l'arco della campagna di misura. Il picco massimo, pari a 87 µg/m<sup>3</sup>, è stato osservato il 20/12/2013.

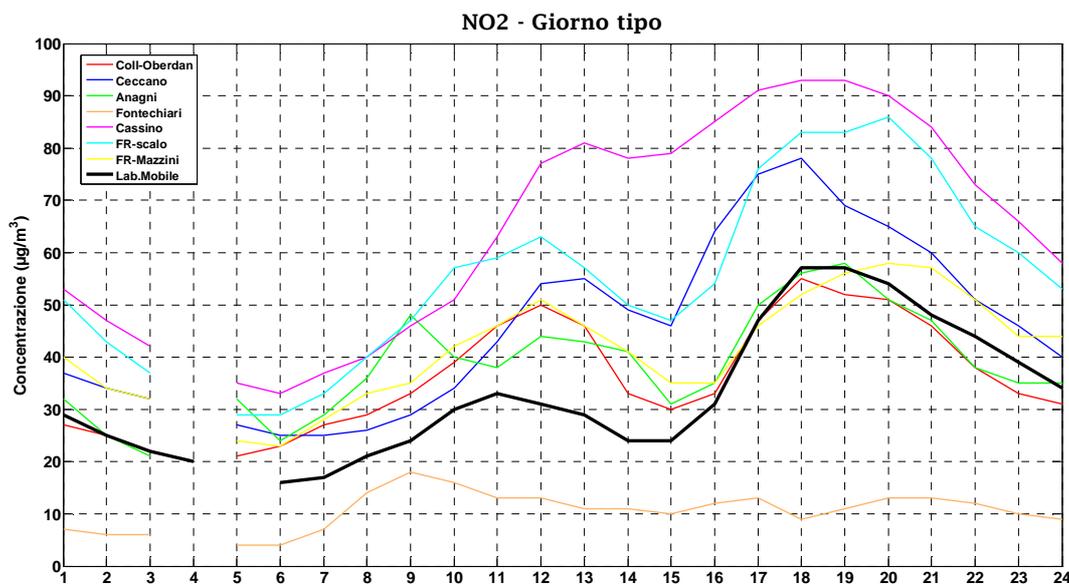


Figura 4.4– NO<sub>2</sub>: Giorno tipo della concentrazione rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria nel periodo della campagna di monitoraggio.

Nella *Fig.4.4* è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni di monitoraggio della rete regionale della qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco. L'andamento del giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> evidenzia il classico andamento oscillante nelle 24 ore del giorno con il picco massimo raggiunto alle 18-20 della sera corrispondente all'incremento del traffico autoveicolare locale.

Di seguito sono riportati i valori medi rilevati nella campagna dal 19/12/2013 al 07/01/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

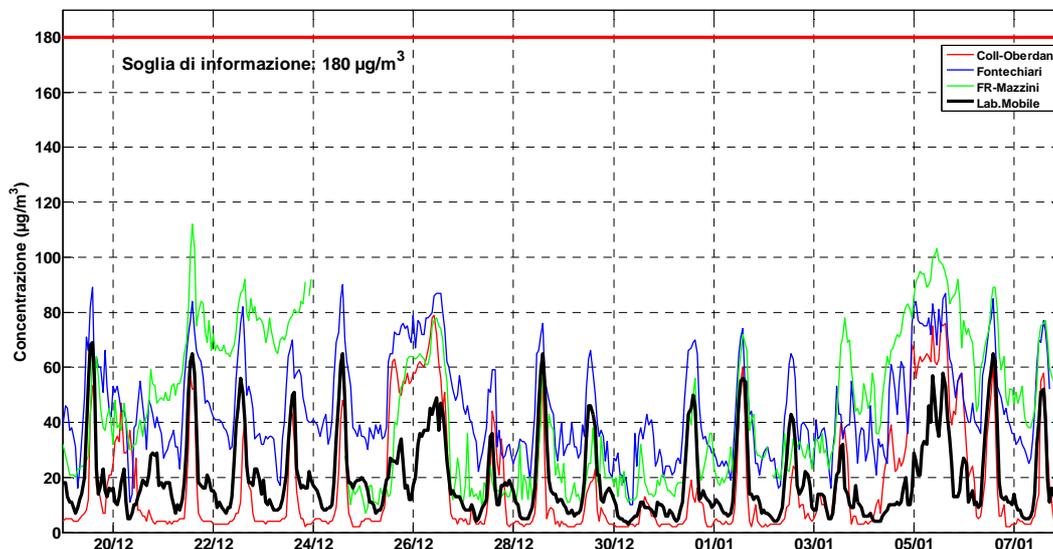
<b>NO<sub>2</sub> – Periodo 19/12/2013 – 07/01/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>Media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 200 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	33	0
<b>Alatri</b>	57	0
<b>Anagni</b>	39	0
<b>Cassino</b>	65	0
<b>Ceccano</b>	46	0
<b>FR-scalo</b>	56	0
<b>FR-Mazzini</b>	41	0
<b>Ferentino</b>	51	0
<b>Fontechiari</b>	11	0
<b>Colleferro Obe.</b>	36	0
<b>Colleferro Eur.</b>	38	0

Tabella 4.2 – NO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

### 4.3 Ozono (O<sub>3</sub>)

Di seguito in *Fig. 4.5* sono riportate le concentrazioni orarie di O<sub>3</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio 19/12/2013 – 07/01/2014 effettuata con il mezzo mobile.

Nel periodo in cui si è svolta la campagna di misura non sono stati osservati, né a Sora né nelle altre postazioni della rete di monitoraggio regionale site nella Valle del Sacco (come si può vedere in *Tab. 4.3*), valori superiori ai limiti imposti dalla normativa a protezione della salute umana: la soglia di informazione di 180 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup> come media mobile massima sulle 8 ore.

**O<sub>3</sub> - (19/12/2013 - 07/01/2014)**

 Figura 4.5 – O<sub>3</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

Il risultato ottenuto, che non deve essere visto comunque con eccessivo ottimismo, è solo legato alla bassa attività fotochimica caratteristica del periodo invernale in cui la radiazione solare è relativamente bassa e quindi le reazioni fotochimiche hanno difficoltà ad attivarsi.

<b>O<sub>3</sub> – Periodo 19/12/2013 – 07/01/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 180 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti di 120 µg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio mobile(*)</b>	19	0	0
<b>Fontechiari</b>	45	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	45	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	17	0	0

 Tabella 4.3 – O<sub>3</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

#### 4.4 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

Nella Fig. 4.6 sono riportate le concentrazioni orarie di SO<sub>2</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio 19/12/2013 – 07/01/2014 effettuata con il mezzo mobile a Sora.

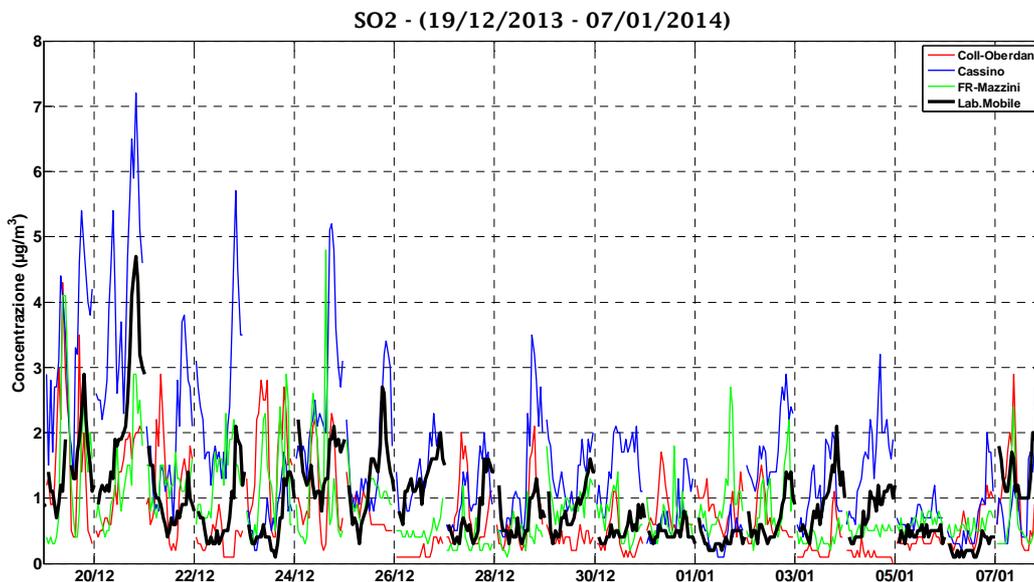


Figura 4.6 – SO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I valori orari di SO<sub>2</sub> rilevati dal mezzo mobile risultano ben al di sotto del valore limite orario imposto dalla normativa (350 µg/m<sup>3</sup>). Un situazione analoga è stata registrata nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. In sostanza nella Valle del Sacco l'uso di combustibili ad elevato tenore di zolfo è limitata o quasi assente.

<b>SO<sub>2</sub> – Periodo 19/12/2013 – 07/01/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 350 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti giornalieri di 125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio mobile</b>	0.9	0	0
<b>Cassino</b>	1.6	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	0.8	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	0.8	0	0

Tabella 4.4 – SO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

#### 4.5 Monossido di carbonio (CO)

Di seguito è riportata la serie temporale oraria della concentrazione di CO rilevata dal mezzo mobile operativo a Sora nella campagna di monitoraggio dal 19/12/2013 al 07/01/2014.

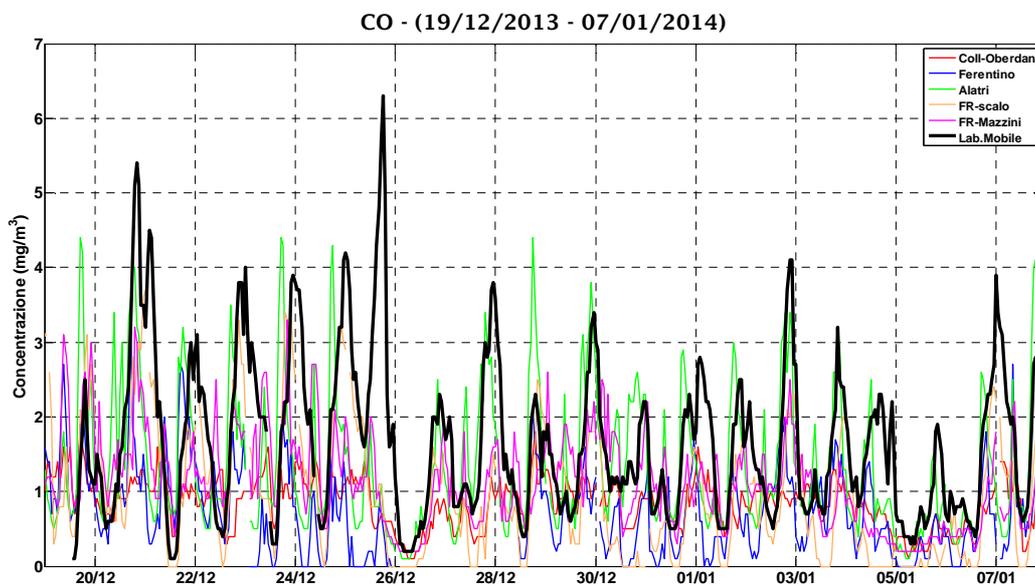


Figura 4.7 – CO: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

Il picco massimo della concentrazione oraria di CO si osserva il 25/12/2013 con un valore pari a  $6.3 \text{ mg/m}^3$ .

Di seguito è riportata una sintesi dei valori di CO rilevati nel periodo della campagna di monitoraggio.

<b>CO – Periodo 19/12/2013 – 07/01/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>Media di periodo (<math>\text{mg/m}^3</math>)</b>	<b>numero di superamenti di <math>10 \text{ mg/m}^3</math> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio mobile</b>	1.7	0
<b>Ferentino</b>	0.7	0
<b>Alatri</b>	1.4	0
<b>Fros-Mazzini</b>	1.1	0
<b>Fros-scalo</b>	0.9	0
<b>Colleferro Ob.</b>	0.9	0

Tabella 4.5 – CO: valori medi di periodo e numero di superamenti

Tutti i valori rilevati sono ben al di sotto dei limiti di legge.

## 5. Risultati della campagna di monitoraggio n. 2 (20 marzo-10 aprile 2014)

Di seguito vengono riportati i risultati della campagna di monitoraggio, effettuata dal 20/03/2014 al 10/04/2014 nel Comune di Sora a P.zza S. Domenico, con alcuni confronti con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

L'obiettivo principale di questa campagna era quello di individuare i valori tipi di qualità dell'aria nel periodo primaverile.

### 5.1 Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Di seguito sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio del 20/03/2014-10/04/2014. Come si nota, a differenza dei risultati ottenuti durante la campagna invernale, la concentrazione di PM<sub>10</sub> è significativamente superiore a quella di PM<sub>2.5</sub> e ciò sta ad indicare che solo una parte del particolato sospeso ha granulometria ridotta.

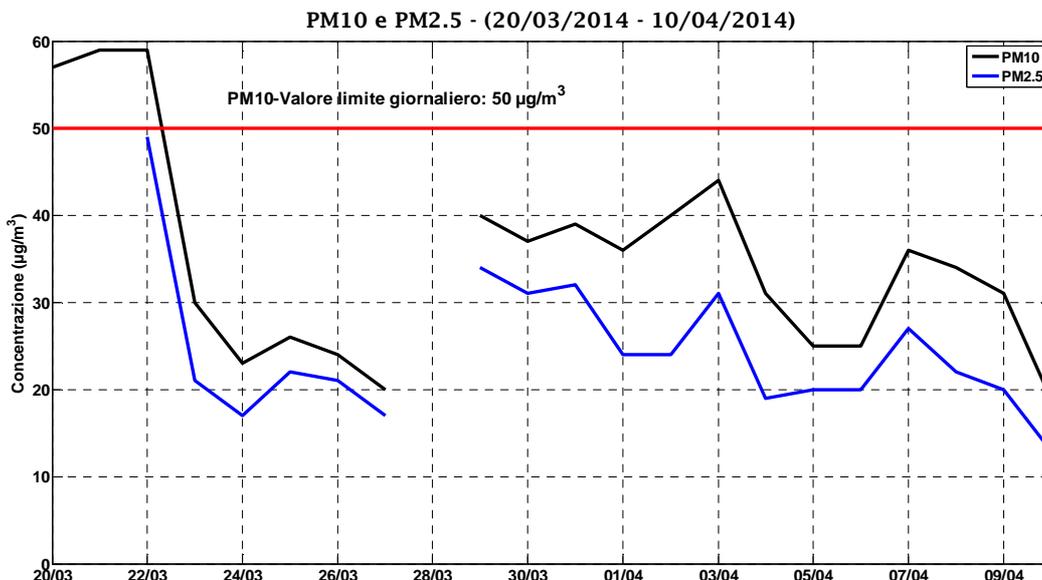


Figura 5.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I livelli di PM<sub>10</sub> superiori al limite di 50 µg/m<sup>3</sup> si osservano nei primi 3 giorni della campagna, il 20/03 (57 µg/m<sup>3</sup>) il 21/03 (59 µg/m<sup>3</sup>) ed il 22/03 (59 µg/m<sup>3</sup>).

Di seguito è mostrato il confronto tra i valori medi giornalieri rilevati dal mezzo mobile con i valori rilevati, nello stesso periodo, in alcune delle stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale. Come si può vedere, il periodo di misura inizia con una situazione tipicamente invernale in cui tutte le postazioni (tranne la postazione rurale di Fontechiari) presentano valori medi giornalieri di PM<sub>10</sub> superiori al limite.

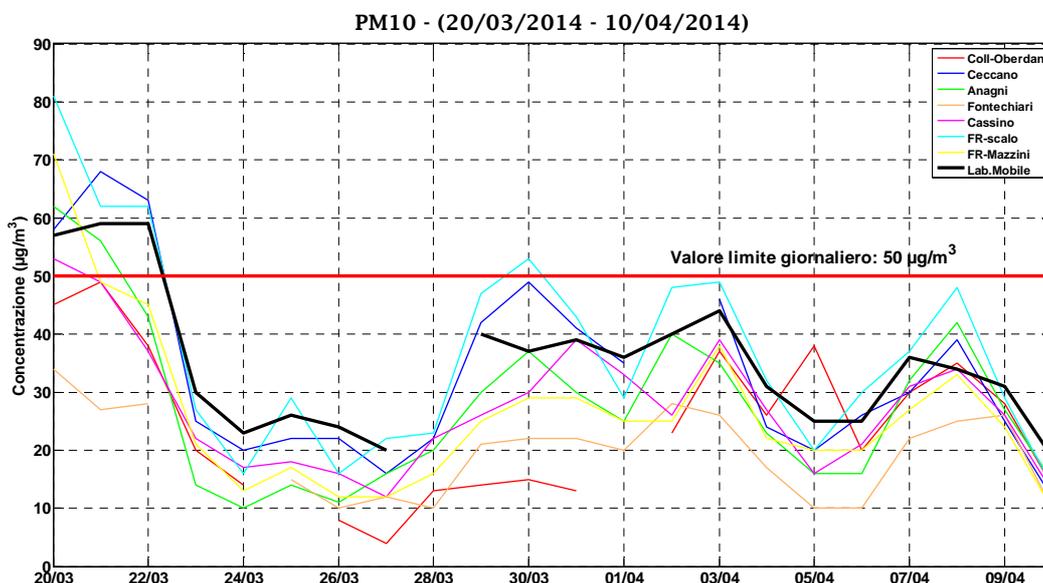


Figura 5.2 – PM10: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile e in alcune stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale di qualità dell'aria.

La Fig. 5.2 mostra un incremento dei livelli giornalieri di PM<sub>10</sub> nei primi giorni della campagna in tutta la rete di monitoraggio di qualità dell'aria della Valle del Sacco evidenziando, in questi giorni, la criticità della zona nel suo insieme.

Di seguito sono riportati i valori medi ed il numero di superamenti rilevati nella campagna dal 20/03/2014 al 10/04/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

<b>Periodo 20/03/2014-10/04/2014</b>			
stazione	media di periodo (µg/m <sup>3</sup> )		numero di superamenti di 50 µg/m <sup>3</sup>
	PM10	PM2.5	PM10
<b>Laboratorio Mobile</b>	35	24	3
<b>Alatri</b>	28	-	1
<b>Anagni</b>	28	-	2
<b>Cassino</b>	28	18	1
<b>Ceccano</b>	34	-	3
<b>FR-scalo</b>	37	-	4
<b>FR-Mazzini</b>	27	21	1
<b>Ferentino</b>	34	-	3
<b>Fontechiari</b>	20	14	0
<b>Colleferro Obe.</b>	24	-	0
<b>Colleferro Eur.</b>	27	-	1

Tabella 5.1 – PM10 e PM2.5: valori medi di periodo e numero di superamenti

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

Nella Fig.5.3 seguente è riportata la concentrazione oraria di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio dal 20/03/2014 al 10/04/2014.

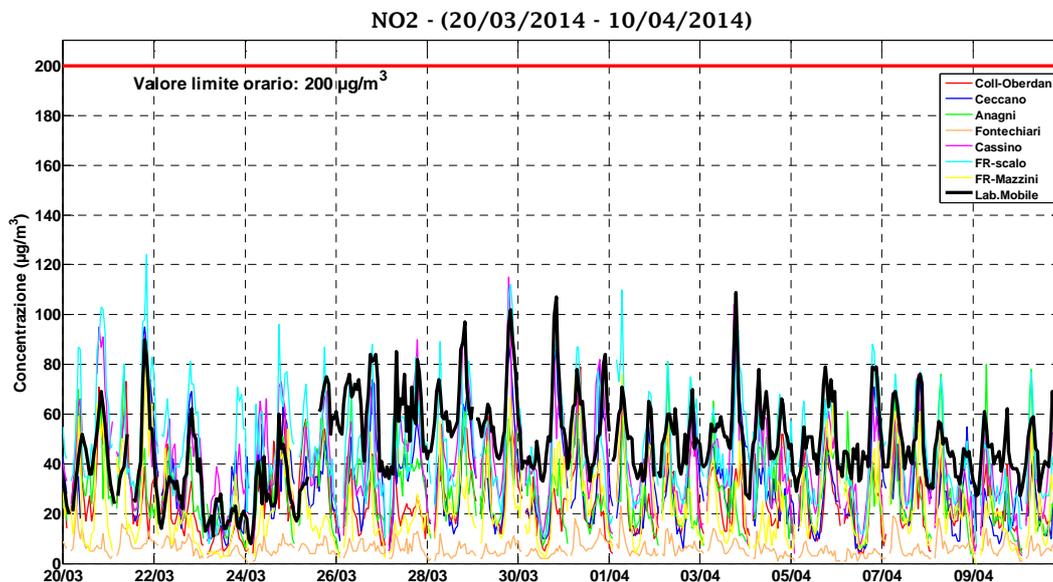


Figura 5.3 – NO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I livelli orari di NO<sub>2</sub> (Fig. 5.3) non presentano superamenti del valore limite di 200 µg/m<sup>3</sup> per tutto l'arco della campagna di misura. Il picco massimo registrato dal Laboratorio mobile, pari a 109 µg/m<sup>3</sup>, è stato osservato il 03/04/2014.

Nella Fig.5.4 è riportato il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni di monitoraggio della rete regionale della qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco. L'andamento del giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> evidenzia il classico andamento oscillante nelle 24 ore del giorno con i picchi massimi raggiunti alle 08-09 del mattino ed alle 19-20 della sera.

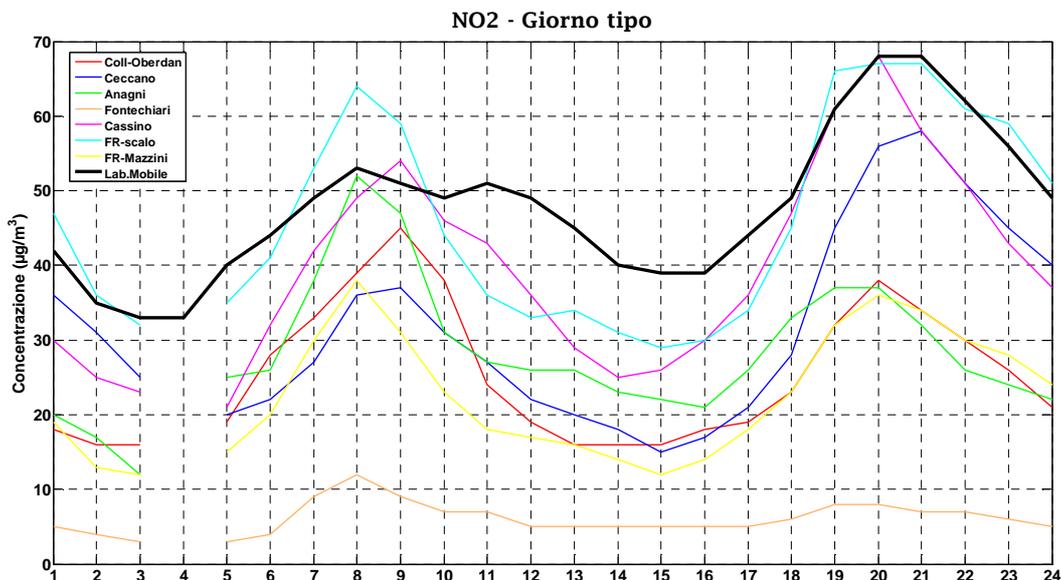


Figura 5.4– NO<sub>2</sub>: Giorno tipo della concentrazione rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria nel periodo della campagna di monitoraggio.

Di seguito sono riportati i valori medi rilevati nella campagna dal 20/03/2014 al 10/04/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

<b>NO<sub>2</sub> – Periodo 20/03/2014 – 10/04/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>Media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 200 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	48	0
<b>Alatri</b>	40	0
<b>Anagni</b>	28	0
<b>Cassino</b>	40	0
<b>Ceccano</b>	32	0
<b>FR-scalo</b>	46	0
<b>FR-Mazzini</b>	22	0
<b>Ferentino</b>	40	0
<b>Fontechiari</b>	6	0
<b>Colleferro Obe.</b>	25	0
<b>Colleferro Eur.</b>	28	0

Tabella 5.2 – NO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

Riassumendo, in tutta la Valle del Sacco ed anche a Sora i livelli orari di concentrazione di NO<sub>2</sub> sono stati nel periodo primaverile ben inferiori alla soglia prevista dalla Norma.

### 5.3 Ozono (O<sub>3</sub>)

Di seguito in Fig. 5.5 sono riportate le concentrazioni orarie di O<sub>3</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio 20/03/2014 – 10/04/2014 effettuata con il mezzo mobile. Nel Laboratorio mobile non sono stati osservati valori superiori ai limiti imposti dalla normativa a protezione della salute umana: la soglia di informazione di 180 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup> come media mobile massima sulle 8 ore.

Nella Fig. 5.5 e nella Tab. 5.3 sono riportate le analoghe misure rilevate nelle principali postazioni di monitoraggio della rete regionale site nella Valle del Sacco. Come si vede nessuna presenta superamenti del limite di 180 µg/m<sup>3</sup> mentre il limite di 120 µg/m<sup>3</sup>, non superato a Sora, viene invece superato a Fontechiari.

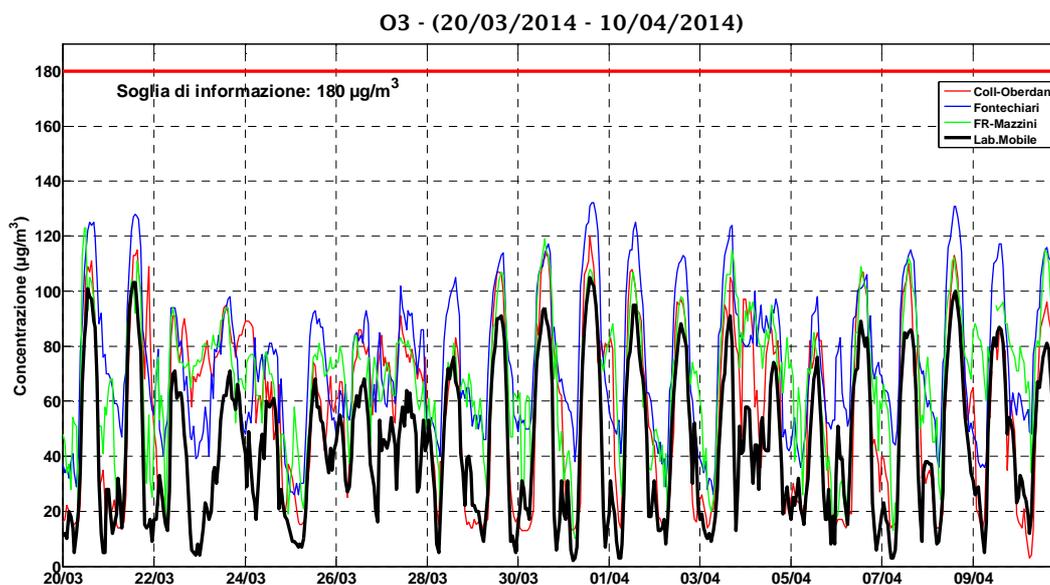


Figura 5.5 – O<sub>3</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella prima campagna di monitoraggio.

<b>O<sub>3</sub> – Periodo 20/03/2014 – 10/04/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 180 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti di 120 µg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio mobile(*)</b>	44	0	0
<b>Fontechiari</b>	74	0	2
<b>Fros-Mazzini</b>	68	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	57	0	0

Tabella 5.3 – O<sub>3</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

#### 5.4 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

In Fig. 5.6 sono riportate le concentrazioni orarie di SO<sub>2</sub> rilevate nella campagna di monitoraggio 20/03/2014 – 10/04/2014 effettuata con il mezzo mobile.

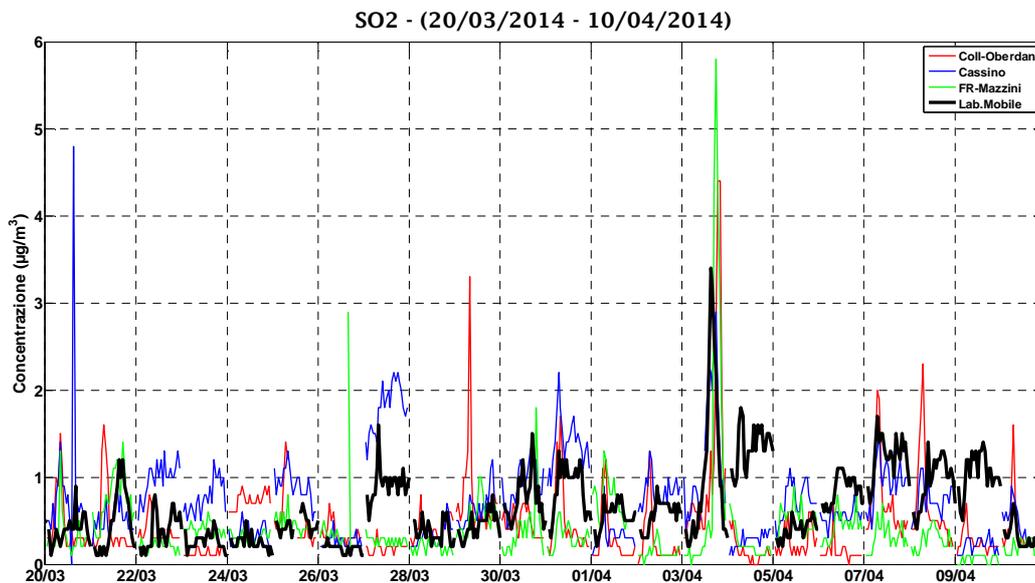


Figura 5.6 – SO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I valori orari di SO<sub>2</sub> rilevati dal mezzo mobile risultano ben al di sotto del valore limite orario imposto dalla normativa (350 µg/m<sup>3</sup>). Un situazione analoga è stata registrata nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria.

SO <sub>2</sub> – Periodo 20/03/2014 – 10/04/2014			
stazione	media di periodo (µg/m <sup>3</sup> )	numero di superamenti orari di 350 µg/m <sup>3</sup>	numero di superamenti giornalieri di 125 µg/m <sup>3</sup>
Laboratorio mobile	0.6	0	0
Cassino	0.7	0	0
Fros-Mazzini	0.4	0	0
Coll-Ob.	0.4	0	0

Tabella 5.4 – SO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

### 5.5 Monossido di carbonio (CO)

Di seguito è riportata la serie temporale oraria della concentrazione di CO rilevata dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio dal 20/03/2014 al 10/04/2014.

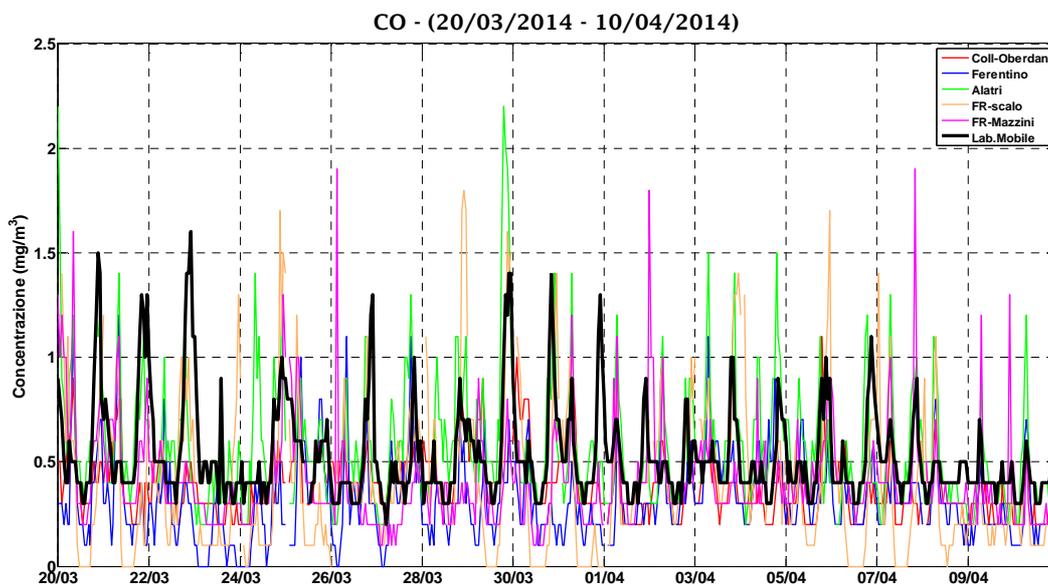


Figura 5.7 – CO: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

Il valore massimo orario di CO registrato nel laboratorio mobile rimane inferiore a 2 mg/m<sup>3</sup>.

Di seguito è riportata una sintesi dei valori di CO rilevati nella campagna di misura.

CO – Periodo 20/03/2014 – 10/04/2014		
stazione	Media di periodo (mg/m <sup>3</sup> )	numero di superamenti di 10 mg/m <sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore
<b>Laboratorio mobile</b>	0.5	0
<b>Ferentino</b>	0.3	0
<b>Alatri</b>	0.6	0
<b>Fros-Mazzini</b>	0.4	0
<b>Fros-scalo</b>	0.4	0
<b>Colleferro Ob.</b>	0.4	0

Tabella 5.5 – CO: valori medi di periodo e numero di superamenti

Le concentrazioni rilevate dal mezzo mobile a Sora e dalle stazioni fisse presentano valori ben lontani dal limite di legge.

## 6. Risultati della campagna di monitoraggio n. 3 (02 luglio -26 agosto 2014)

Di seguito vengono riportati i risultati della seconda campagna di monitoraggio, effettuata dal 02/07/2014 al 26/08/2014 nel Comune di Sora a P.zza S. Domenico, con alcuni confronti con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

L'obiettivo di questa campagna era quello di ottenere il quadro della qualità dell'aria nella zona durante il periodo estivo.

### 6.1 Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Nella Fig. 6.1 sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> rilevate nella seconda campagna di monitoraggio, dal 02/07/2014 al 26/08/2014.

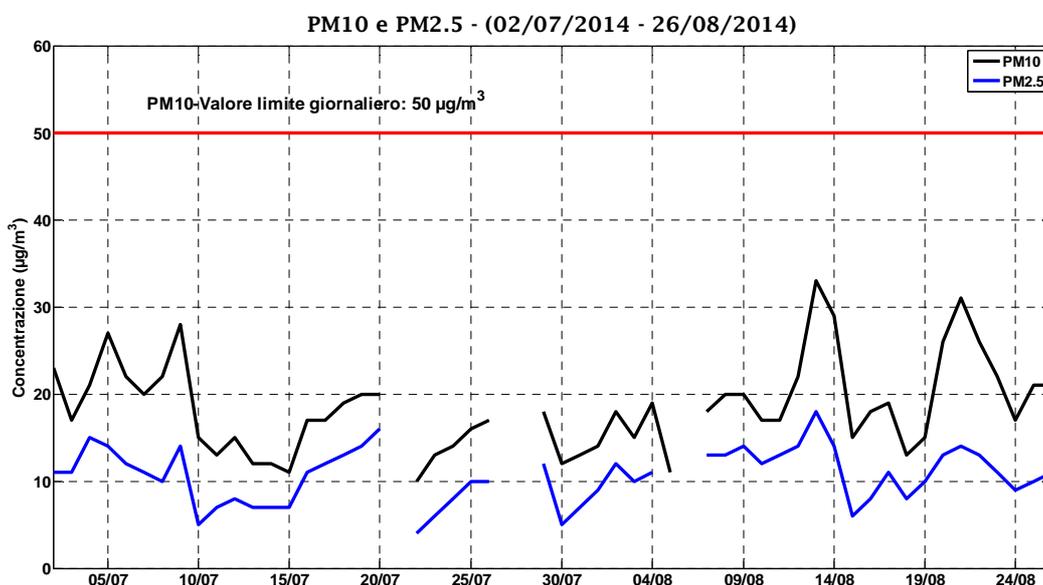


Figura 6.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio.

I livelli medi giornalieri di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> risultano considerevolmente inferiori a quelli registrati nella campagna invernale (dal 19/12/2013 al 07/01/2014, cap. 4) con valori che non superano il limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> imposto dal D.Lgs. 155/2010. Ciò non deriva ovviamente da una qualche forma di miglioramento della situazione emissiva locale o di quella della Valle del Sacco, ma solo dal fatto che nel periodo estivo si ha in generale una situazione più favorevole alla dispersione degli inquinanti in aria.

Al fine di verificare l'andamento generale della concentrazione di PM<sub>10</sub> nel periodo considerato nell'intera Valle del Sacco, di seguito è riportato il confronto tra i livelli giornalieri rilevati dal mezzo mobile e quelli rilevati dalle stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria. I livelli di PM<sub>10</sub> risultano aver un andamento oscillante nel periodo considerato con valori inferiori a 50 µg/m<sup>3</sup> in tutta la rete di monitoraggio.

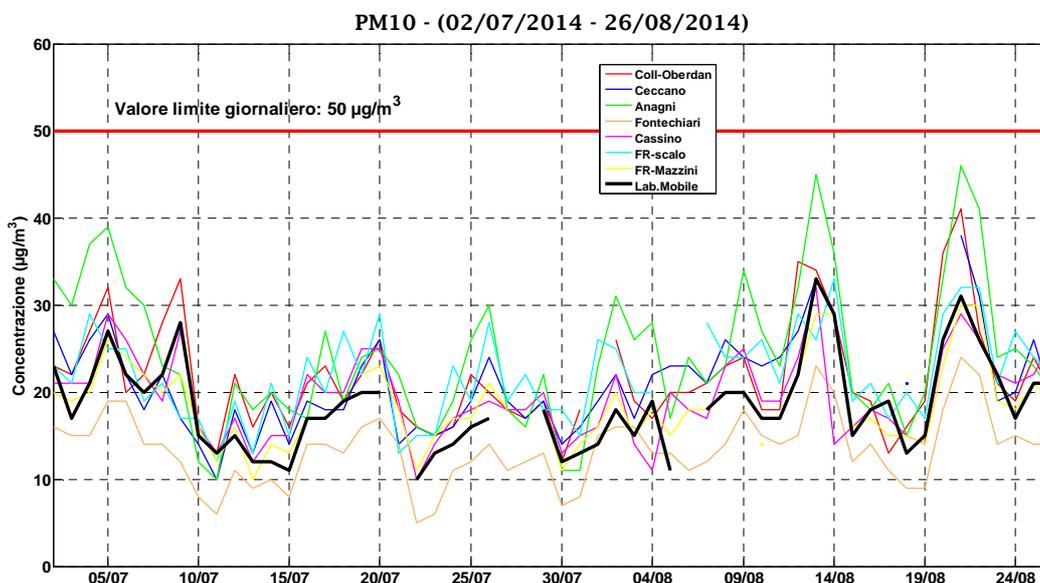


Figura 6.2 – PM10: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile e in alcune stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale di qualità dell'aria nella campagna di misura.

Di seguito nella *Tab. 6.1* sono riportati i valori medi ed il numero di superamenti, rilevati nella campagna effettuata dal 02/07/2014 al 26/08/2014, dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella valle del Sacco.

<b>Periodo 02/07/2014-26/08/2014</b>			
<b>stazione</b>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>		<b>numero di superamenti di 50 µg/m<sup>3</sup></b>
	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>PM10</b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	18	11	0
<b>Alatri</b>	16	-	0
<b>Anagni</b>	24	-	0
<b>Cassino</b>	20	9	0
<b>Ceccano</b>	21	-	0
<b>Ferentino</b>	19	-	0
<b>Fontechiari</b>	13	9	0
<b>FR-Mazzini</b>	19	11	0
<b>FR-scalo</b>	22	-	0
<b>Colleferro Obe.</b>	22	-	0
<b>Colleferro Eur.</b>	22	-	0

Tabella 6.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

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

Nelle Fig. 6.3 e 6.4 sono riportate, rispettivamente, le concentrazioni orarie ed il giorno tipo di NO<sub>2</sub> rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio effettuata dal 02/07/2014 al 26/08/2014.

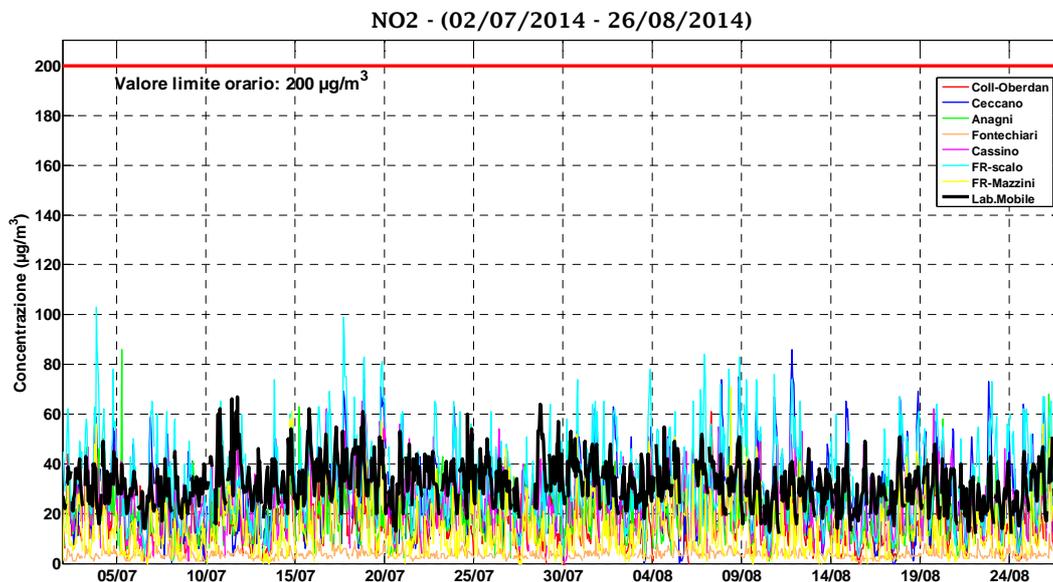


Figura 6.3 – NO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

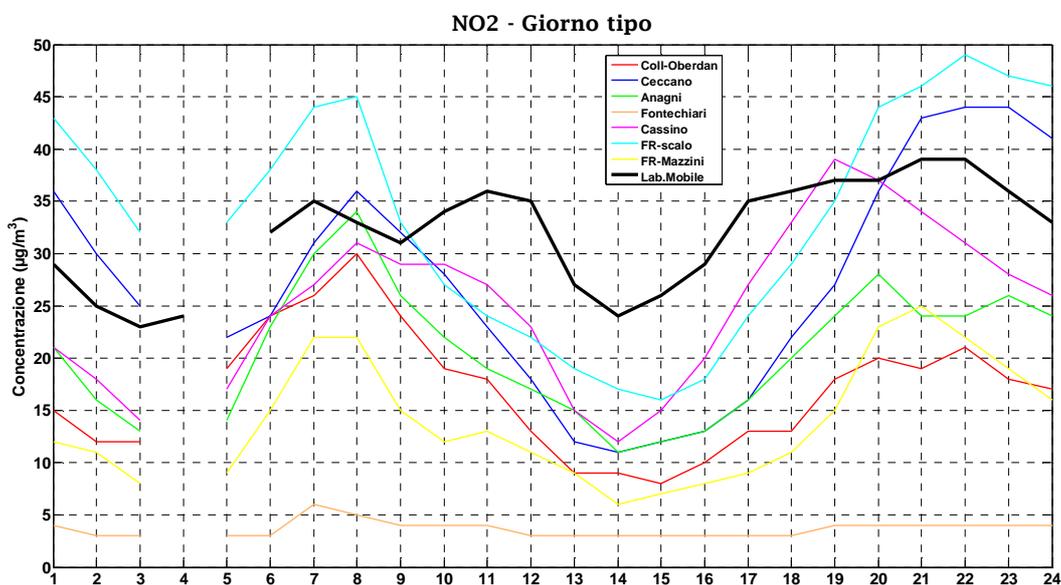


Figura 6.4– NO<sub>2</sub>: Giorno tipo della concentrazione rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria nel periodo della campagna di monitoraggio.

I livelli di NO<sub>2</sub> non presentano superamenti del valore limite di 200 µg/m<sup>3</sup> per tutto l'arco della campagna di misura. Il picco massimo rilevato nel mezzo mobile, pari a 67 µg/m<sup>3</sup>, è stato osservato il giorno 11/07/2014.

Il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> evidenzia, come ci si aspetta, i due picchi massimi, con valori superiori nelle ore serali. I due picchi sono caratteristici della presenza del traffico veicolare ed il fatto che il

picco serale sia superiore al picco mattutino deriva dalla scarsa capacità disperdente degli inquinanti che i bassi strati dell'atmosfera presentano nelle ore serali (da poco prima del tramonto e fino a poco dopo l'alba).

Di seguito sono riportati i valori medi rilevati nella campagna dal 02/07/2014 al 26/08/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

<b>NO<sub>2</sub> – Periodo 02/07/2014 – 26/08/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 200 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	32	0
<b>Alatri</b>	27	0
<b>Anagni</b>	20	0
<b>Cassino</b>	25	0
<b>Ceccano</b>	27	0
<b>Ferentino</b>	30	0
<b>Fontechiari</b>	4	0
<b>FR-Mazzini</b>	14	0
<b>FR-scalo</b>	33	0
<b>Colleferro Obe.</b>	17	0
<b>Colleferro Eur.</b>	17	0

Tabella 6.2 – NO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

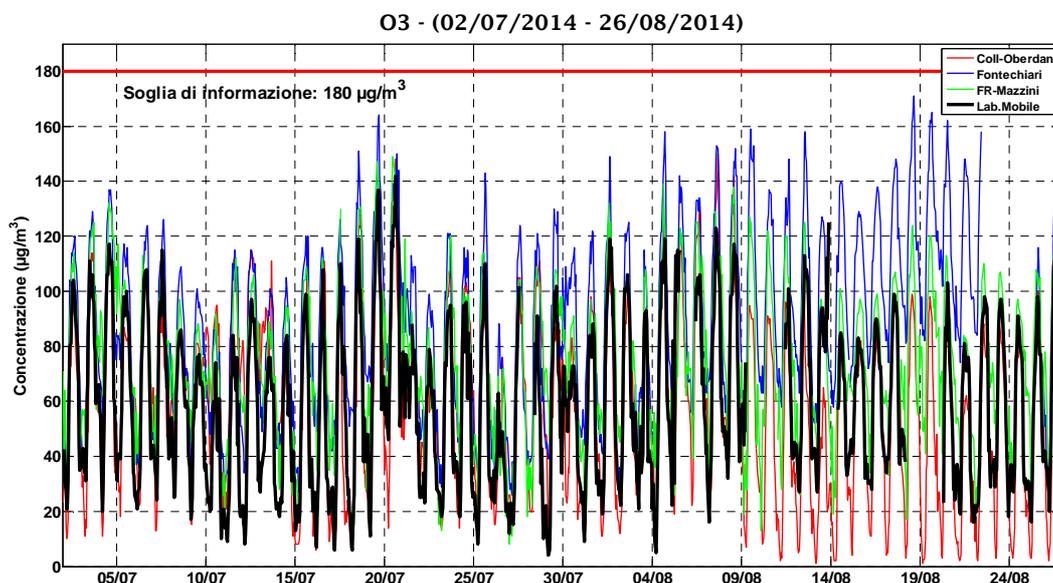
Come si nota, non sono stati rilevati superi neppure nelle postazioni della rete fissa regionale.

### **6.3 Ozono (O<sub>3</sub>)**

La concentrazione oraria di O<sub>3</sub> è riportata nella Fig.6.5 e mostra valori inferiori dal valore limite orario. Il suo andamento durante il periodo di campagna mostra il classico andamento oscillante con valori più elevati durante le ore diurne rispetto alle ore notturne, questo perché l'ozono, che non viene emesso dalle sorgenti inquinanti, si forma in atmosfera grazie a reazioni fotochimiche che richiedono la presenza della radiazione solare per essere attivate e sostenute.

L'analizzatore di O<sub>3</sub> del mezzo mobile ha comunque rilevato valori orari al di sotto della soglia di informazione (180 µg/m<sup>3</sup>). Nella Tab. 6.3 viene sintetizzata la situazione riscontrata dalla rete fissa regionale e viene messa a confronto con le misure del mezzo mobile.

Nello stesso periodo sono stati osservati valori superiori al limite di 120 µg/m<sup>3</sup> come media mobile massima sulle 8 ore nelle stazioni all'interno della Valle del Sacco, con particolare riferimento a Fontechiari (stazione di fondo regionale) in cui si sono osservati 25 superamenti del valore limite. Anche a Sora sono stati osservati due superamenti di questo limite.


 Figura 6.5 – O<sub>3</sub>: Concentrazioni orarie nella campagna di monitoraggio.

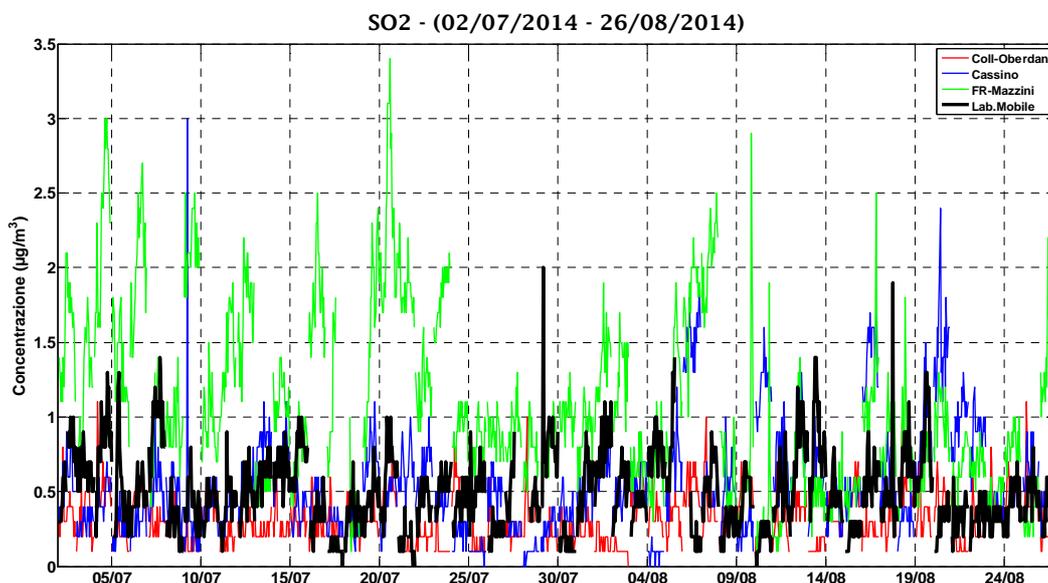
<b>O<sub>3</sub> – Periodo 02/07/2014 – 26/08/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 180 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti di 120 µg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<i>Laboratorio Mobile</i>	59	0	2
<b>Fontechiari</b>	89	0	25
<b>FR-Mazzini</b>	75	0	4
<b>Colleferro Obe.</b>	57	0	5

 Tabella 6.3 – O<sub>3</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

#### 6.4 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

Nella Fig. 6.6 seguente sono riportate le concentrazioni orarie di SO<sub>2</sub> rilevate nella campagna di misura effettuata con il mezzo mobile dal 02/07/2014 al 26/08/2014, mentre nella Tab. 6.4 queste misure sono state messe a confronto con quanto è stato rilevato dalle postazioni fisse.

La concentrazione oraria di SO<sub>2</sub> si mantiene, durante tutto l'arco della seconda campagna di misura, inferiore a 2 µg/m<sup>3</sup> ben al di sotto del limite orario imposto dal D.Lgs. 155/2010 (350 µg/m<sup>3</sup>).


 Figura 6.6 – SO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

<b>SO<sub>2</sub> – Periodo 02/07/2014 – 26/08/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 350 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti giornalieri di 125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio mobile</b>	0.5	0	0
<b>Cassino</b>	0.5	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	1.1	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	0.3	0	0

 Tabella 6.4 – SO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 6.5 Monossido di carbonio (CO)

Nella Fig. 6.7 è riportata la concentrazione oraria di CO rilevata nella campagna di monitoraggio effettuata dal 02/07/2014 al 26/08/2014, mentre nella Tab. 6.5 tali misure sono messe a confronto con le analoghe misure rilevate dalla rete fissa.

Nel Laboratorio mobile, i valori orari della concentrazione di CO si mantengono inferiori ad 2.5 mg/m<sup>3</sup>. I livelli misurati da tutte le postazioni di misura sono ben lontani dal limite prescritto dalla Norma.

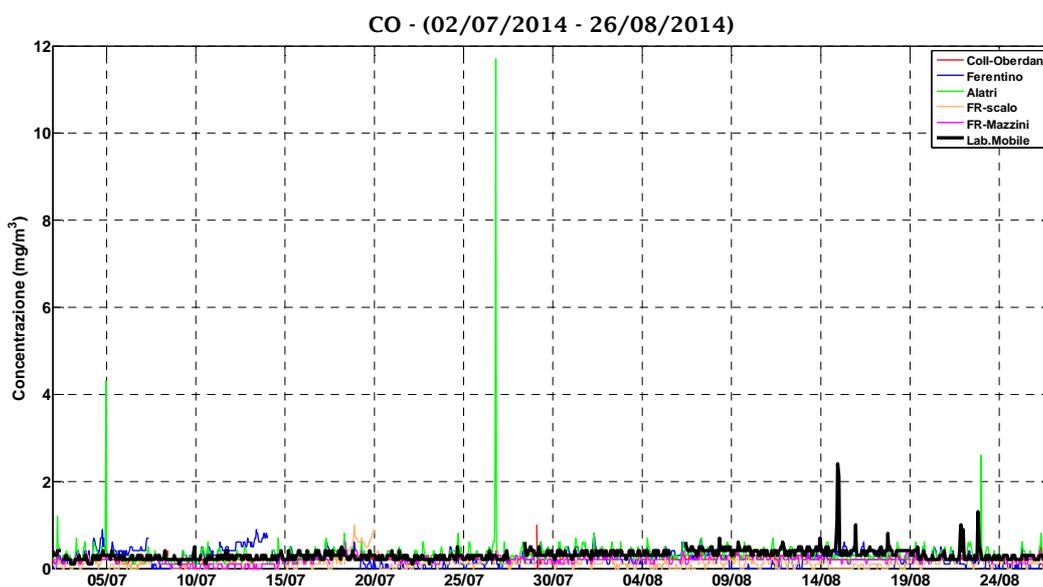


Figura 6.7 – CO: Concentrazioni orarie rilevate dal mezzo mobile nella seconda campagna di monitoraggio.

<b>CO – Periodo 02/07/2014 – 26/08/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 10 mg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	0.3	0
<b>Alatri</b>	0.3	0
<b>Ferentino</b>	0.2	0
<b>FR-Mazzini</b>	0.2	0
<b>FR-scalo</b>	0.1	0
<b>Colleferro Obe.</b>	0.2	0

Tabella 6.5 – CO: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 7. Risultati della campagna di monitoraggio n. 4 (29 agosto-02 ottobre 2014)

Di seguito vengono riportati i risultati della terza campagna di monitoraggio, effettuata dal 29/08/2014 al 02/10/2014 nel Comune di Sora a P.zza S. Restituta, con alcuni confronti con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

L'obiettivo principale della campagna era individuare la qualità dell'aria tipica del periodo autunnale.

### 7.1 Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Nella Fig. 7.1 seguente viene riportato l'andamento dei livelli medi giornalieri di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> rilevati con il mezzo mobile nella campagna di monitoraggio effettuata dal 29/08/2014 al 02/10/2014 nel Piazzale di S. Restituta nel Comune di Sora.

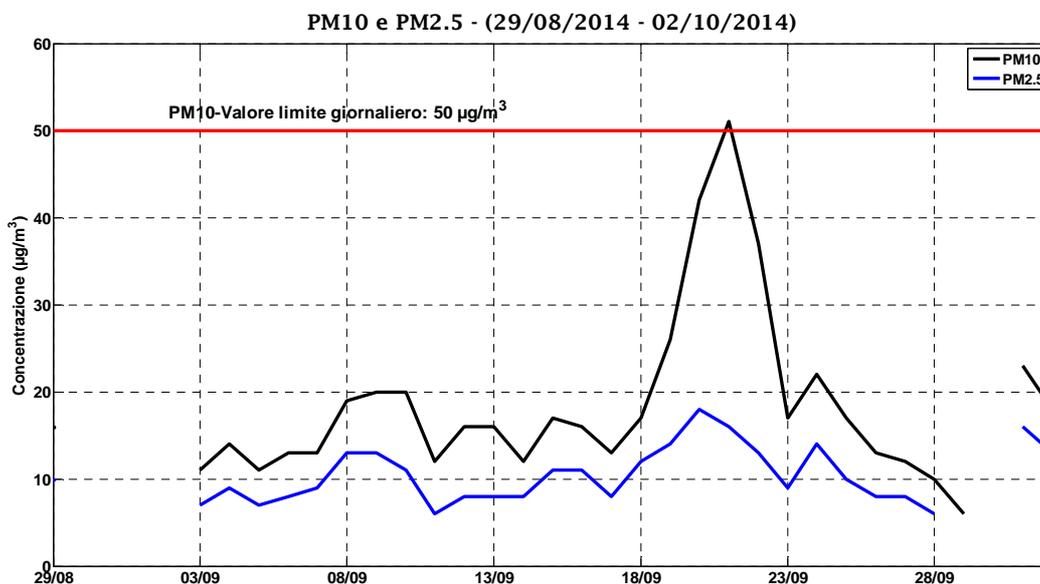


Figura 7.1 – PM10 e PM2.5: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio effettuata nel Comune di Sora.

La concentrazione media giornaliera rilevata dal mezzo mobile risulta essere sempre inferiore al valore limite di 50 µg/m<sup>3</sup> durante il periodo 29/08/2014 – 02/10/2014 ad eccezione del 21/09 quando si registra un valore di PM<sub>10</sub> pari a 51 µg/m<sup>3</sup>.

Per meglio valutare il comportamento della concentrazione di PM<sub>10</sub> osservata nel sito in esame si riporta, di seguito nella Fig. 7.2, il confronto tra i livelli di PM<sub>10</sub> osservati con il mezzo mobile e le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco. Come si vede chiaramente, il 21/09 la concentrazione giornaliera di PM<sub>10</sub> risulta essere superiore al valore limite in quasi tutte le stazioni della Valle del Sacco.

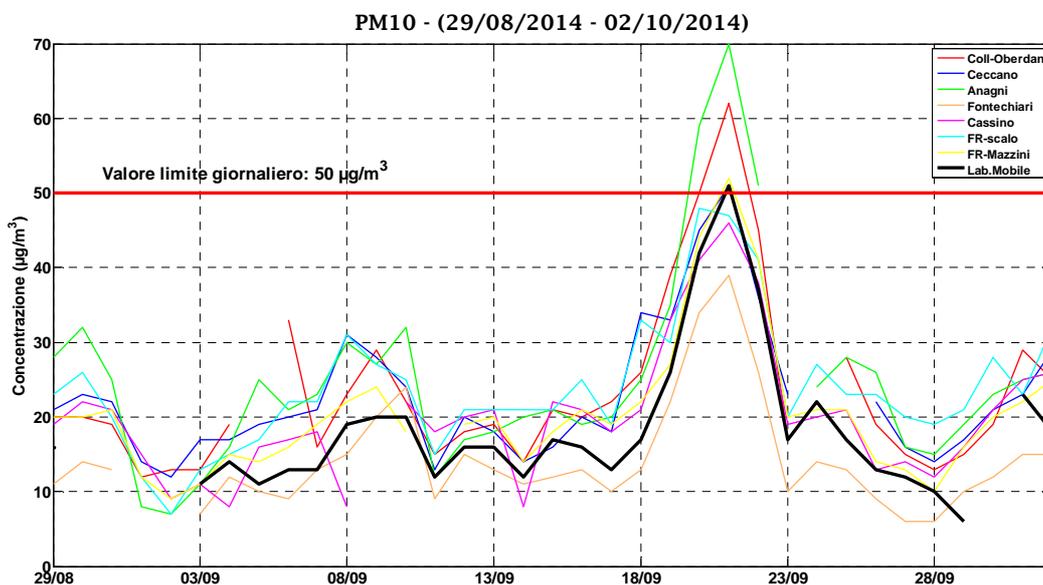


Figura 7.2 – PM<sub>10</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile e in alcune stazioni di monitoraggio fisse della rete regionale di qualità dell'aria.

Nella Tab. 7.1 sono riportati il numero di superamenti per il PM<sub>10</sub> ed il PM<sub>2.5</sub> ed i valori medi del PM<sub>10</sub>.

<b>Periodo 29/08/2014-02/10/2014</b>			
stazione	media di periodo (µg/m <sup>3</sup> )		numero di superamenti di 50 µg/m <sup>3</sup>
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
<b>Laboratorio Mobile</b>	18	10	1
<b>Alatri</b>	19	-	1
<b>Anagni</b>	25	-	3
<b>Cassino</b>	20	10	0
<b>Ceccano</b>	23	-	1
<b>Ferentino</b>	21	-	1
<b>Fontechiari</b>	14	10	0
<b>FR-Mazzini</b>	21	14	1
<b>FR-scalo</b>	24	-	0
<b>Colleferro Obe.</b>	23	-	1
<b>Colleferro Eur.</b>	23	-	1

Tabella 7.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

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

In Fig. 7.3 sono riportate le concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub> rilevate dal mezzo mobile nella campagna effettuata dal 29/08/2014 al 02/10/2014.

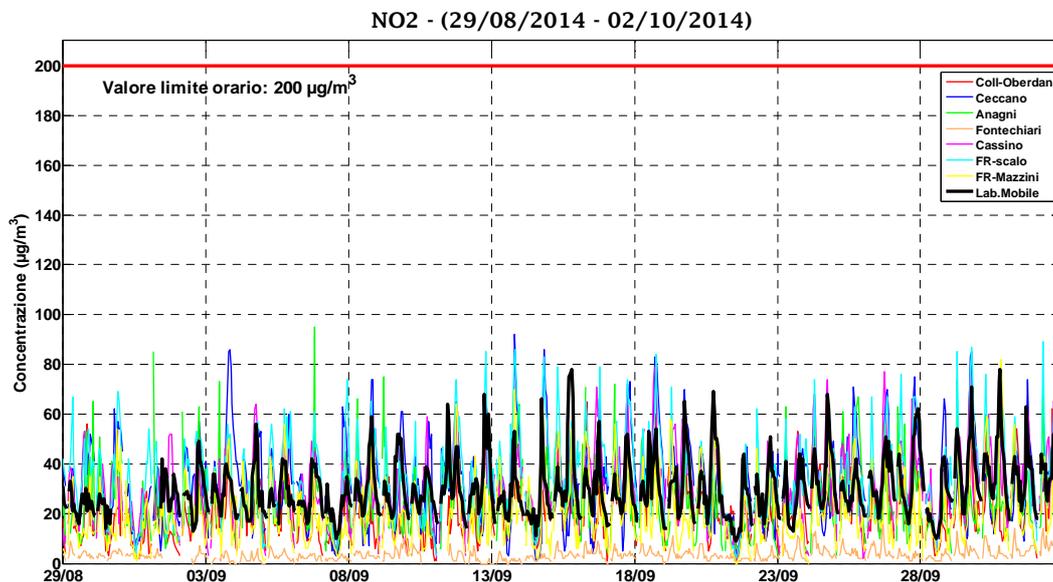


Figura 7.3 – NO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

I livelli orari di NO<sub>2</sub> rimangono inferiori al valore limite imposto dalla normativa in tutte le stazioni della Valle del Sacco.

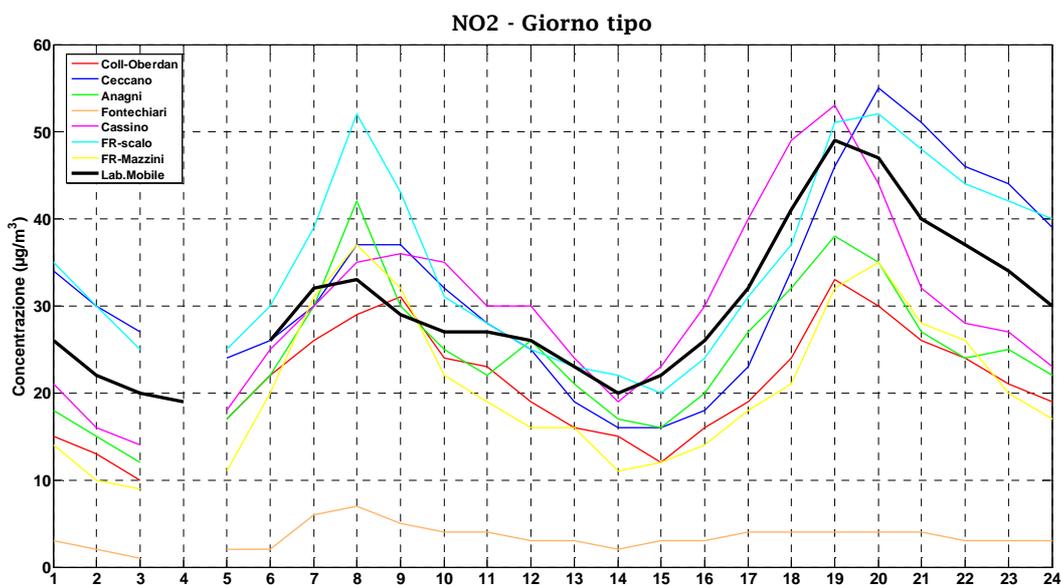


Figura 7.4– NO<sub>2</sub>: Giorno tipo della concentrazione rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria nella campagna di monitoraggio.

E' riportato inoltre in *Fig. 7.4* il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile e dalle stazioni della rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco in cui sono sempre visibili i due valori massimi giornalieri coincidenti con i picchi di flusso del traffico.

In *Tab. 7.2* sono riportati i valori medi rilevati nella campagna dal 29/08/2014 al 02/10/2014 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

<b>NO<sub>2</sub> – Periodo 29/08/2014– 02/10/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 200 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	30	0
<b>Alatri</b>	35	0
<b>Anagni</b>	24	0
<b>Cassino</b>	30	0
<b>Ceccano</b>	32	0
<b>Ferentino</b>	36	0
<b>Fontechiari</b>	3	0
<b>FR-Mazzini</b>	20	0
<b>FR-scalo</b>	35	0
<b>Colleferro Obe.</b>	21	0
<b>Colleferro Eur.</b>	24	0

Tabella 7.2 – NO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

### 7.3 Ozono (O<sub>3</sub>)

L'andamento delle concentrazioni orarie di O<sub>3</sub>, riportato nella Fig. 7.5, rilevato dall'analizzatore del mezzo mobile, mostra il consueto comportamento oscillante con il valore massimo durante le ore di massima insolazione.

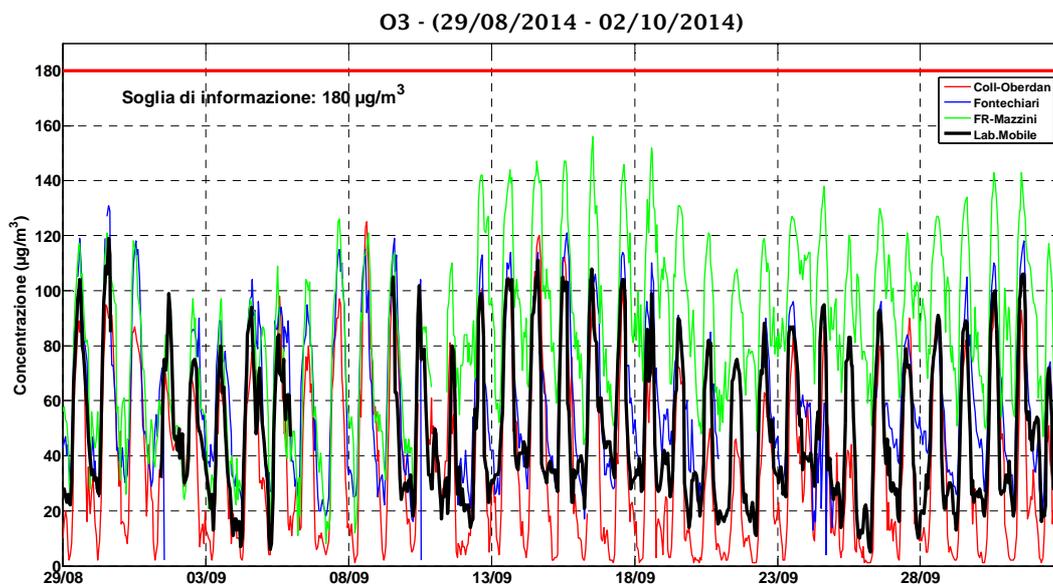


Figura 7.5 – O<sub>3</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Nel Laboratorio mobile, in questo periodo, non sono stati osservati valori superiori ai limiti imposti dalla normativa a protezione della salute umana: la soglia di informazione di 180 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup> come media mobile massima sulle 8 ore, come si può notare dalla Tab. 7.3. Nella stazione di FR-Mazzini invece vengono rilevati 15 superamenti del valore limite di 120 µg/m<sup>3</sup>.

<b>O<sub>3</sub> – Periodo 29/08/2014 – 02/10/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 180 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti di 120 µg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio mobile</b>	49	0	0
<b>Fontechiari</b>	60	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	84	0	15
<b>Coll-Ob.</b>	37	0	0

Tabella 7.3 – O<sub>3</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

#### 7.4 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

I livelli orari di SO<sub>2</sub> rilevati nella terza campagna di misura e mostrati in Fig. 7.6 rimangono inferiori a 5 µg/m<sup>3</sup>.

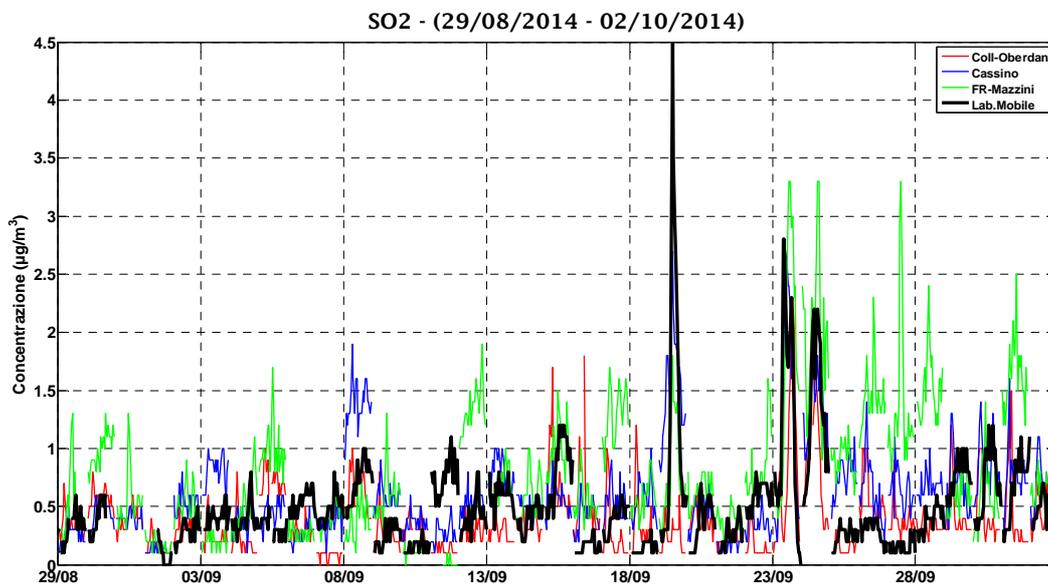


Figura 7.6 – SO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Durante la campagna di monitoraggio non si osservano superamenti dei valori limite di SO<sub>2</sub> imposti dal D.Lgs. 155/2010 né dal mezzo mobile né dalle postazioni della rete fissa regionale, come è evidenziato in Tab. 7.4.

<b>SO<sub>2</sub> – Periodo 29/08/2014 – 02/10/2014</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo</b>	<b>numero di superamenti orari di 350 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti giornalieri di 125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio mobile</b>	0.5	0	0
<b>Cassino</b>	0.6	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	0.8	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	0.4	0	0

Tabella 7.4 – SO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 7.5 Monossido di carbonio (CO)

In Fig. 7.7 è riportata la concentrazione oraria di CO rilevata nella campagna di monitoraggio effettuata dal 29/08/2014 al 02/10/2014.

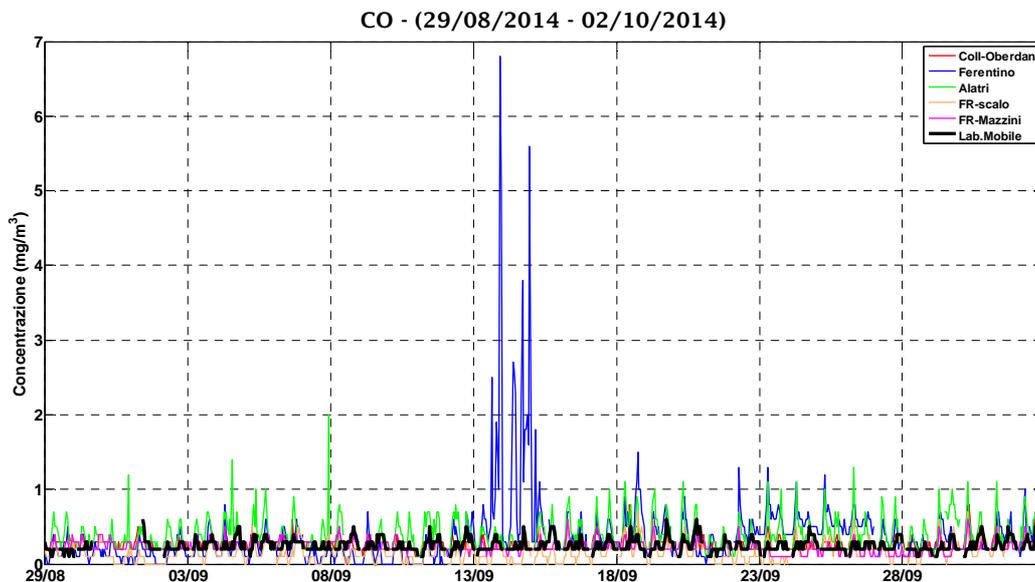


Figura 7.7 – CO: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Durante la terza campagna di monitoraggio i valori orari della concentrazione di CO rilevati nel Laboratorio mobile si mantengono inferiori ad  $1 \text{ mg/m}^3$ .

Di seguito è riportata una sintesi dei valori di CO rilevati durante il periodo di campagna dal mezzo mobile e dalle postazioni della rete fissa regionale.

<b>CO – Periodo 29/08/2014 – 02/10/2014</b>		
<i>stazione</i>	<b>Media di periodo (<math>\text{mg/m}^3</math>)</b>	<b>numero di superamenti di <math>10 \text{ mg/m}^3</math> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	0.2	0
<b>Alatri</b>	0.4	0
<b>Ferentino</b>	0.4	0
<b>FR-Mazzini</b>	0.2	0
<b>FR-scalo</b>	0.2	0
<b>Colleferro Obe.</b>	0.3	0

Tabella 7.5 – CO: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 8. Risultati della campagna di monitoraggio n. 5 (13 dicembre 2014-13 gennaio 2015)

Di seguito vengono riportati i risultati della quinta campagna di monitoraggio, effettuata dal 13/12/2014 al 13/01/2015 nel Comune di Sora a P.zza S. Giuliano, con alcuni confronti con i valori rilevati dalle stazioni di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

Lo scopo di questa campagna era quello di indagare la qualità dell'aria ancora una volta in un periodo invernale che sicuramente è il più critico per la qualità dell'aria, soprattutto relativamente al particolato sottile.

### 8.1 Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>)

Nella Fig. 8.1 seguente viene riportato l'andamento dei livelli medi giornalieri di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub> rilevati con il mezzo mobile nella campagna di monitoraggio effettuata dal 13/12/2014 al 13/01/2015 nel P.zza S. Giuliano nel Comune di Sora.

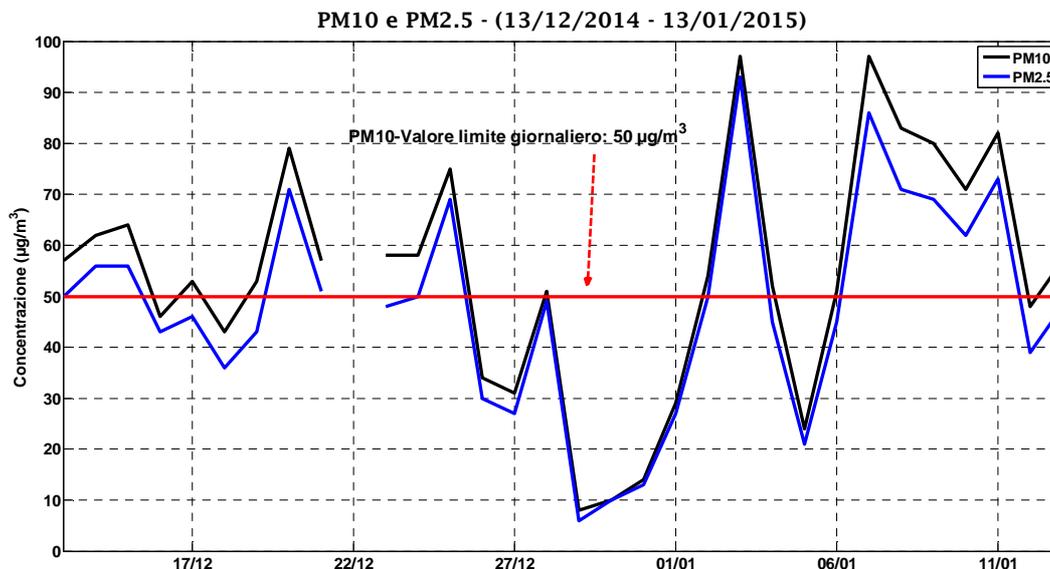


Figura 8.1 – PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>: Concentrazioni medie giornaliere rilevate dal mezzo mobile nella campagna di monitoraggio effettuata nel Comune di Sora.

La concentrazione media giornaliera rilevata dal mezzo mobile risulta avere un comportamento oscillante durante il periodo 13/12/2014 – 13/01/2015. Il picco massimo di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2.5</sub>, pari rispettivamente a 97 µg/m<sup>3</sup> e 93 µg/m<sup>3</sup>, si osserva il 03/01/2015 e comunque numerose volte viene superato il limite giornaliero.

Va poi rilevato che, congruentemente con la precedente campagna invernale e a differenza di quanto rilevato nelle campagne primaverile, estiva ed autunnale, il rapporto tra la concentrazione media giornaliera di PM<sub>2.5</sub> e la concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> è prossima a 1 quindi la maggior parte del particolato sospeso è particolato fine.

Per meglio valutare il comportamento della concentrazione di PM<sub>10</sub> osservata nel sito in esame si riporta, di seguito nella Fig. 8.2, il confronto tra i livelli di PM<sub>10</sub> osservati con il mezzo mobile e le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco.

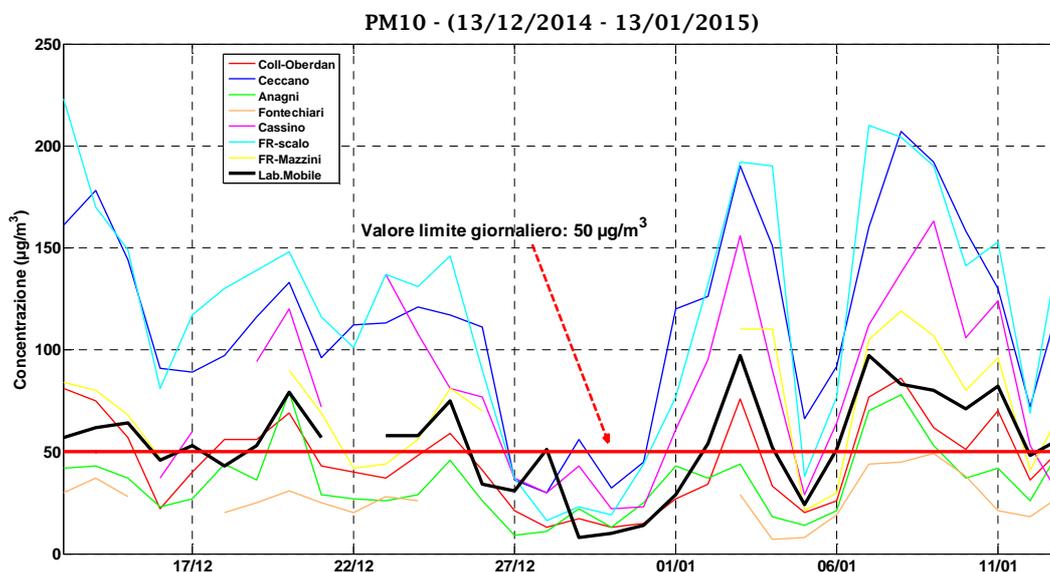


Figura 8.2 – PM10 e PM2.5: Concentrazioni medie giornaliere rilevate nella campagna di monitoraggio effettuata nel Comune di Sora.

La concentrazione giornaliera di PM<sub>10</sub> risulta essere molto critica nelle stazioni di Frosinone Scalo, Ceccano, Cassino. Come riportato nella *Tab. 8.1* di seguito mostrata si osservano diversi superamenti durante il periodo della campagna di monitoraggio accompagnati, in alcuni casi, da una media di periodo molto elevata.

<b>Periodo 13/12/2014-13/01/2015</b>			
stazione	media di periodo (µg/m <sup>3</sup> )		numero di superamenti di 50 µg/m <sup>3</sup>
	PM10	PM2.5	PM10
<i>Laboratorio Mobile</i>	54	48	21
<b>Alatri</b>	53		18
<b>Anagni</b>	35		5
<b>Cassino</b>	79	39	19
<b>Ceccano</b>	115		28
<b>Ferentino</b>	51		12
<b>Fontechiari</b>	27	24	0
<b>FR-Mazzini</b>	74	65	16
<b>FR-scalo</b>	120		26
<b>Colleferro Obe.</b>	45		14
<b>Colleferro Eur.</b>	58		20

Tabella 8.1 – PM10 e PM2.5: valori medi di periodo e numero di superamenti

Le capacità disperdenti dell'atmosfera nel periodo invernale, caratterizzata di bassa convettività ed elevata stabilità, sono estremamente basse ed evidenziano in maniera evidente la criticità ambientale dell'intera zona.

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

In Fig.8.3 sono riportate le concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub> rilevate nella campagna effettuata dal 13/12/2014 al 13/01/2015.

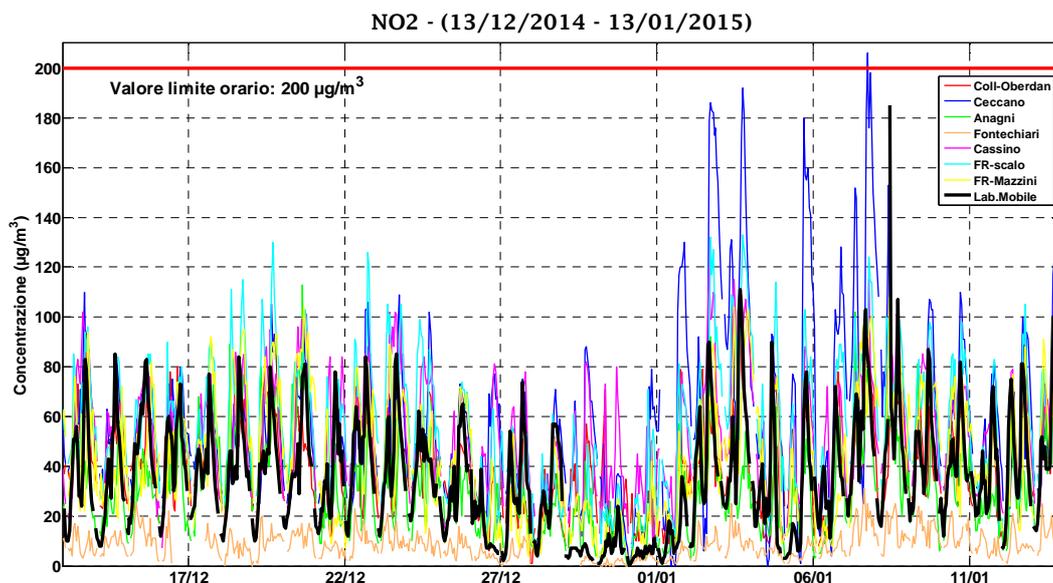


Figura 8.3 – NO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

I livelli orari di NO<sub>2</sub> non raggiungono il valore limite imposto dalla normativa ad eccezione della stazione di Ceccano in cui si osserva 1 superamento con una concentrazione pari a 206 µg/m<sup>3</sup>.

E' riportato inoltre in Fig.8.4 il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> rilevata dal mezzo mobile e dalle stazioni della rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria localizzate nella Valle del Sacco. Il giorno tipo della concentrazione di NO<sub>2</sub> evidenzia, come ci si aspetta, un picco al mattino ed un picco durante le ore serali.

A commento delle misure rilevate a Sora e nelle altre postazioni va detto che in generale, a differenza dei periodi non invernali, i valori di concentrazione sono complessivamente molto elevati. Inoltre, come si nota, i valori maggiori sono concentrati nella seconda metà della campagna in corrispondenza di un generale aumento della concentrazione di particolato sottile. Dato che le emissioni sia particolato che di ossidi di azoto possono essere considerati sostanzialmente costanti nell'arco dell'anno, l'unica spiegazione di questa situazione è che durante i mesi invernali le caratteristiche disperdenti dell'atmosfera nella Valle del Sacco e nelle valli limitrofe risulta particolarmente degradata ed i ristagni d'aria quasi la regola.

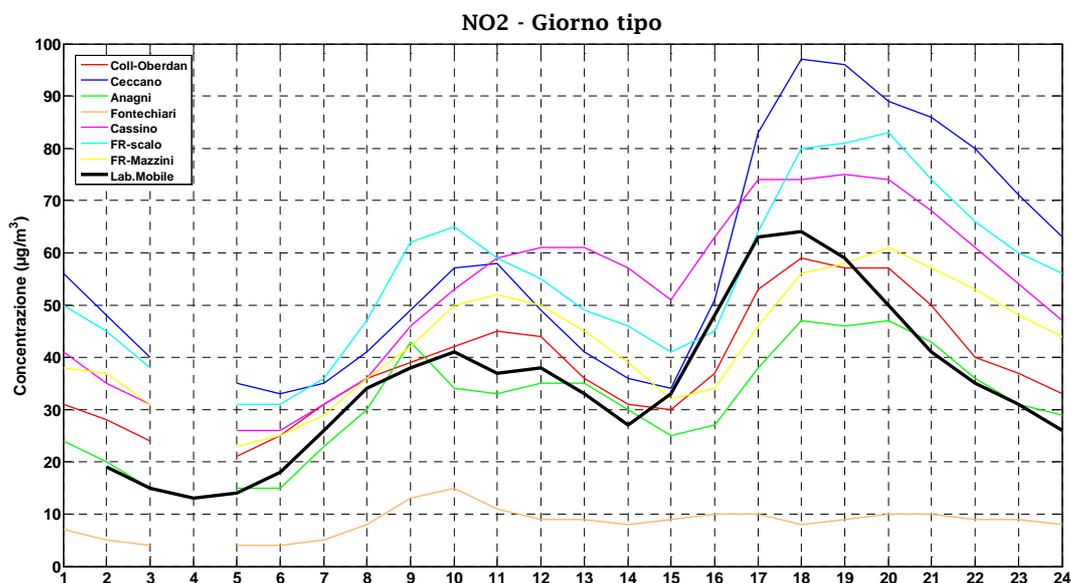


Figura 8.4– NO<sub>2</sub>: Giorno tipo della concentrazione rilevata dal mezzo mobile e nelle stazioni della rete regionale della qualità dell'aria nel periodo campagna di monitoraggio.

In Tab. 8.2 sono riportati i valori medi rilevati nella campagna dal 13/12/2014 al 13/01/2015 dal Laboratorio mobile e nelle stazioni della rete regionale di monitoraggio fisse localizzate nella Valle del Sacco.

<b>NO<sub>2</sub> – Periodo 13/12/2014– 13/01/2015</b>		
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 200 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio Mobile</b>	35	0
<b>Alatri</b>	51	0
<b>Anagni</b>	31	0
<b>Cassino</b>	52	0
<b>Ceccano</b>	58	1
<b>Ferentino</b>	52	0
<b>Fontechiari</b>	8	0
<b>FR-Mazzini</b>	43	0
<b>FR-scalo</b>	55	0
<b>Colleferro Obe.</b>	39	0
<b>Colleferro Eur.</b>	43	0

Tabella 8.2 – NO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

### 8.3 Ozono (O<sub>3</sub>)

L'andamento delle concentrazioni orarie di O<sub>3</sub>, riportato nella Fig. 8.5, rilevato durante la campagna di misura, mostra il consueto comportamento oscillante con il valore massimo durante le ore di massima insolazione.

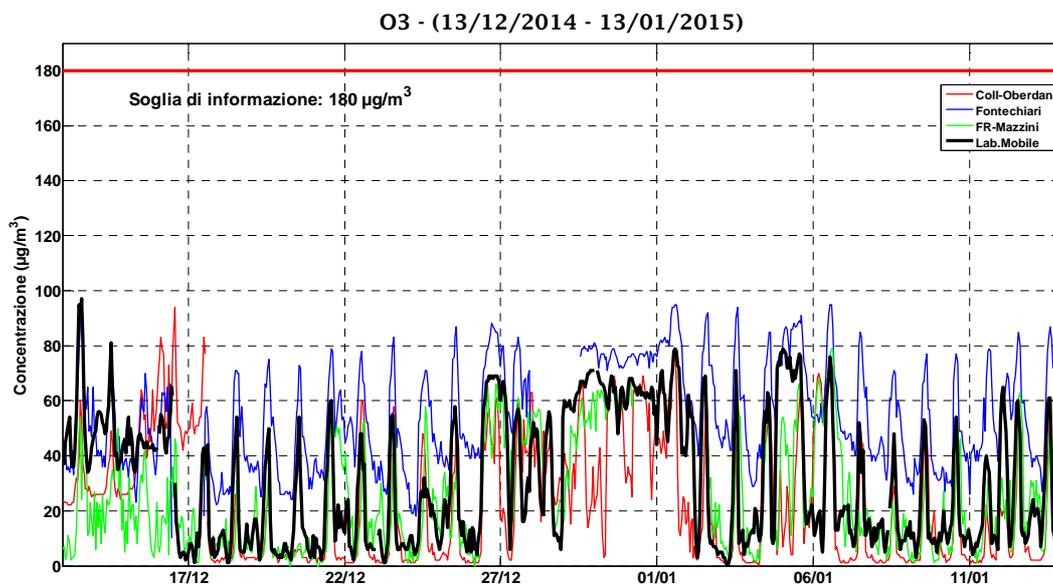


Figura 8.5 – O<sub>3</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Tuttavia, il periodo invernale non è favorevole alla formazione di ozono per la ridotta reattività chimica dell'atmosfera a seguito della ridotta presenza di radiazione solare. Infatti, in questo periodo, come atteso, non sono stati osservati valori superiori ai limiti imposti dalla normativa a protezione della salute umana: la soglia di informazione di 180 µg/m<sup>3</sup> e 120 µg/m<sup>3</sup> come media mobile massima sulle 8 ore in tutta la Rete di monitoraggio regionale all'interno della Valle del Sacco, come si può notare dalla Tab. 8.3.

<b>O<sub>3</sub> – Periodo 13/12/2014 – 13/01/2015</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti orari di 180 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti di 120 µg/m<sup>3</sup> come max della media mobile su 8 ore</b>
<b>Laboratorio mobile</b>	31	0	0
<b>Fontechiari</b>	55	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	24	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	23	0	0

Tabella 8.3 – O<sub>3</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 8.4 Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

I livelli orari di SO<sub>2</sub> rilevati nella campagna di misura dal 13/12/2014 al 13/01/2015, mostrati in Fig. 8.6, rimangono inferiori a 8 µg/m<sup>3</sup>.

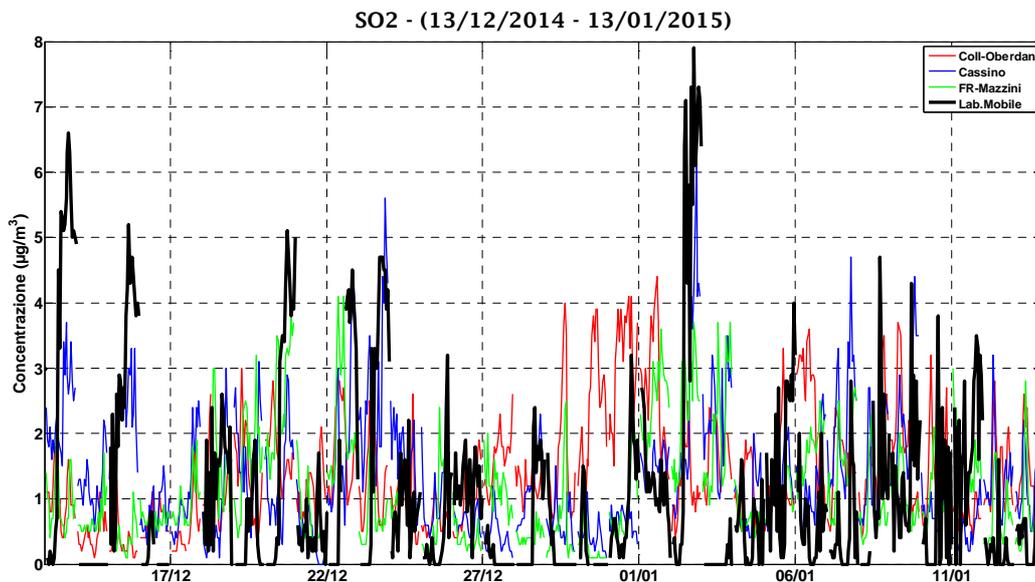


Figura 8.6 – SO<sub>2</sub>: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Durante la campagna di monitoraggio non si osservano superamenti dei valori limite di SO<sub>2</sub> imposti dal D.Lgs. 155/2010 né dal mezzo mobile né dalle postazioni della rete fissa regionale, come è evidenziato in Tab. 8.4.

<b>SO<sub>2</sub> – Periodo 13/12/2014 – 13/01/2015</b>			
<i>stazione</i>	<b>media di periodo</b>	<b>numero di superamenti orari di 350 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>numero di superamenti giornalieri di 125 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>Laboratorio mobile</b>	1.1	0	0
<b>Cassino</b>	1.3	0	0
<b>Fros-Mazzini</b>	1.1	0	0
<b>Coll-Ob.</b>	1.4	0	0

Tabella 8.4 – SO<sub>2</sub>: valori medi di periodo e numero di superamenti

## 8.5 Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Nella Fig. 8.7 successiva è riportata la concentrazione oraria di Benzene rilevata nella campagna di monitoraggio effettuata dal 13/12/2014 al 13/01/2015.

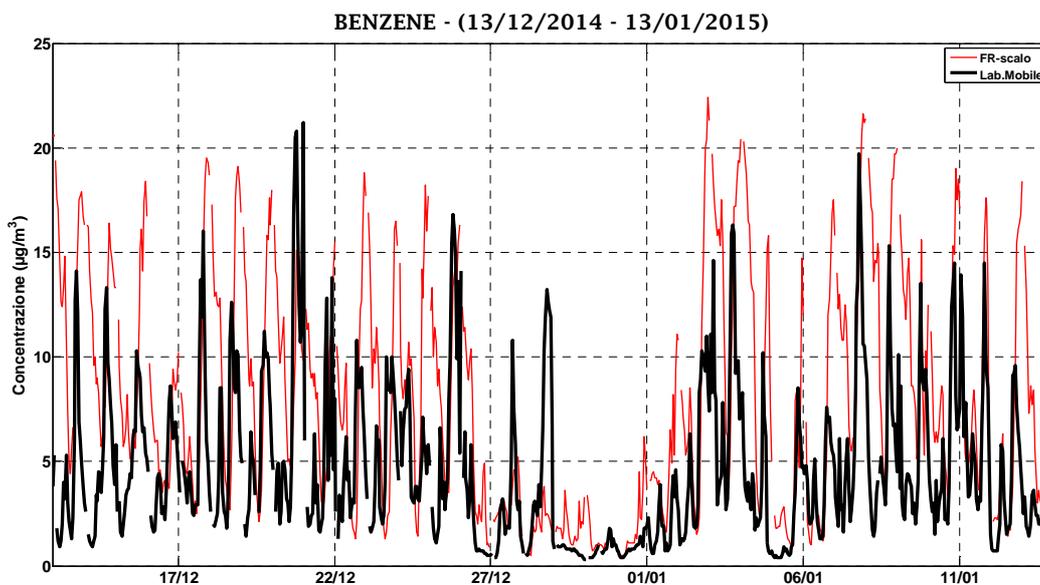


Figura 8.7 – Benzene: Concentrazioni orarie rilevate nella campagna di monitoraggio.

Di seguito è riportata una sintesi dei valori medi di Benzene rilevati durante il periodo di campagna dal mezzo mobile e a FR-scalo.

<b>Benzene – Periodo 13/12/2014 – 13/01/2015</b>	
<i>stazione</i>	<b>Media di periodo</b>
<i>Laboratorio Mobile</i>	4.6
<b>FR-scalo</b>	8.1

Tabella 8.5 – Benzene: valori medi di periodo e numero di superamenti

 <p>ARPALAZIO</p>	<p><b>DOCUMENTO TECNICO</b></p>	<p><b>DT DT 01/15</b>  Rev 0 del 20.07.15  Pagina 46 di 55</p>
--	---------------------------------	--

## 9. Applicazione di tecniche di stima oggettiva per la stima/ricostruzione della concentrazione di PM<sub>10</sub>

Nei paragrafi precedenti sono stati riportati i risultati del monitoraggio ottenuti dalle 5 campagne di misura effettuate nel Comune di Sora :

- Campagna I (Via Tofaro) : dal 19/12/2013 al 07/01/2014;
- Campagna II (Piazzale S. Domenico) : dal 20/03/2014 al 10/04/2014;
- Campagna III (Piazzale S. Domenico) : dal 02/07/2014 al 26/08/2014;
- Campagna IV (Piazza S. Restituta) : dal 29/08/2014 al 02/10/2014;
- Campagna V (Piazzale S. Giuliano) : dal 13/12/2014 al 13/01/2015.

Le campagne di monitoraggio, effettuate con il laboratorio mobile, sono state effettuate in un periodo di tempo limitato e costituiscono il punto di partenza per una corretta gestione della qualità dell'aria ambiente che non si ritiene esaurita con il termine delle indagini sperimentali ma che rientra in un contesto più ampio che coinvolge diversi strumenti di *valutazione* della qualità dell'aria.

Il limite più evidente di una generica campagna sperimentale è legato al fatto che il periodo di tempo in cui essa viene effettuata è generalmente limitato, tipicamente 15-30 giorni nell'arco di 1 anno. Nella migliore delle ipotesi l'utilizzo del laboratorio mobile focalizzato in un punto preciso del territorio con diverse campagne di misura permetterebbe di aver informazioni sicuramente più dettagliate ma comunque, per quanto frequenti tali campagne possano essere, non sufficienti per coprire un intero anno di misura così come per una stazione di m monitoraggio fissa.

D'altra parte la normativa di riferimento nazionale per la qualità dell'aria, il D. LGS. 155/2010, individua le *misure indicative*, e quindi le campagne di monitoraggio, come un possibile strumento di valutazione della qualità dell'aria a patto di rispettare i requisiti, che riguardano soprattutto la durata delle campagne stesse. In particolare, i risultati di una generica campagna di monitoraggio possono essere utilizzati a fini legislativi (verifica del rispetto dei valori limite) solamente se la durata del periodo di misura copre almeno il 14% dell'arco temporale di 1 anno civile, circa 8 settimane equamente distribuite durante l'anno.

Considerato ciò rimane comunque irrisolto un punto fondamentale: come è possibile legare i risultati di una serie di campagne di misura localizzate nello stesso punto del territorio con i risultati che potenzialmente si potrebbero ottenere da una stazione di monitoraggio fissa nello medesimo punto?

Uno degli strumenti chiave che la normativa ci offre per poter interpretare a fini legislativi una misura discontinua nel tempo, come le misure effettuate tramite un mezzo mobile, è legato all'applicazione di tecniche di *stima oggettiva*. L'obiettivo di tali tecniche (geo)statistiche è la ricostruzione di serie temporali annuali a partire da misure discontinue e limitate nel tempo.

Il metodo applicato è un modello geostatistico lineare che è in grado di fornire la stima, ed il relativo errore, della concentrazione media giornaliera di PM<sub>10</sub> nel punto in cui è posizionato il laboratorio mobile in funzione dei livelli di concentrazione di PM<sub>10</sub> misurati in un sottoinsieme di stazioni fisse appartenenti alla rete regionale di monitoraggio di qualità dell'aria.

### 9.1 Metodologia geostatistica per la stima della qualità dell'aria

Le sostanze inquinanti emesse da un insieme di sorgenti poste in un dato territorio vengono trasportate dal moto medio delle masse d'aria, disperse dalla turbolenza presente nei bassi strati dell'atmosfera, depositate al suolo a causa della turbolenza dell'atmosfera e dalla presenza di precipitazioni e trasformate reagendo tra loro

sulla base di complesse e numerose reazioni chimiche. Tutto ciò è regolato da ben precise relazioni matematiche di tipo differenziale che ubbidiscono ai principi fondamentali della Fluidodinamica e della Chimica. Queste equazioni sono sostanzialmente deterministiche, anche se la presenza della turbolenza richiede che si prendano in considerazione non i valori istantanei di concentrazione delle singole sostanze, ma i rispettivi momenti statistici, in particolare i valori medi ottenuti per tempi di mediazione opportuni. Il risultato della dispersione degli inquinanti è che, nei pressi del suolo, la concentrazione media delle sostanze inquinanti varia nello spazio e nel tempo e tali variazioni sono la diretta conseguenza delle caratteristiche meteorologiche e micrometeorologiche presenti nel territorio ed al tempo di osservazione. La presenza al suolo delle postazioni di monitoraggio consente di *campionare* in punti discreti questi campi di concentrazione e le loro misure sono interpretabili completamente quando sono note le emissioni dalle varie sorgenti, le caratteristiche dell'atmosfera e le leggi che governano la dispersione degli inquinanti in aria. Quando si controlla la qualità dell'aria di un territorio (per esempio la qualità dell'aria del Lazio), l'utilizzo di catene modellistiche per la ricostruzione e la previsione dei campi meteorologici e dei campi di concentrazione media degli inquinanti in aria consente di stimare il livello di inquinamento di quel territorio, stima che assimilata con le misure di una rete fissa ivi operante consente di ottenere la migliore *fotografia* del relativo stato di qualità dell'aria del territorio stesso.

Quando le misure sono accoppiate ai modelli, la loro interpretazione è necessariamente chiara, ma quando si dispone solo delle misure di una rete di monitoraggio, la situazione non è così chiara cosa che succede sempre in tutte le parti della Fisica in cui si cerca conoscere una distribuzione continua di una variabile sulla base esclusivamente di un insieme finito (nello spazio e nel tempo) di misure campionate.

Se consideriamo un punto  $P_i(x_i, y_i)$  del territorio in cui sia presente una stazione di monitoraggio in grado di misurare la concentrazione media di una data sostanza inquinante (ed in particolare la concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$ ), possiamo conoscere i valori  $C_i$  di questa variabile nei vari periodi di mediazione (il numero di giorni in un anno) per tutto un periodo di osservazione (l'anno appunto). Queste concentrazioni sono il risultato delle differenti combinazioni di emissioni dalle sorgenti e di condizioni meteorologiche e micrometeorologiche e la variabile *concentrazione media di quella sostanza in quel punto* può essere considerata, in assenza di ogni tipo di relazioni causa – effetto, una variabile stocastica.

Selezioniamo ora un punto generico  $P_0(x_0, y_0)$  del territorio in cui supponiamo non sia presente un analizzatore che misuri una generica sostanza inquinante, per esempio il  $PM_{10}$ , e supponiamo che in  $N$  punti diversi del territorio ( $N > 1$ ) le cui coordinate sono  $(x_i, y_i, i = 1, \dots, N)$  tale misura sia realizzata. Sia, poi,  $C_0(t)$  la concentrazione media di tale inquinante per un determinato tempo di mediazione caratteristica del punto  $P_0$  al tempo  $t$  e, per essere più concreti, ipotizziamo che  $C_0(t)$  sia la concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$ . Ovviamente il valore di  $C_0(t)$  è incognito, vista l'assenza dell'analizzatore. Al tempo  $t$  saranno poi presenti le rispettive misure  $C_i(t)$  nelle  $N$  postazioni in cui sono presenti gli analizzatori.

Se adottassimo la maniera deterministica tradizionale per descrivere la dispersione degli inquinanti, sulla base dei campi meteorologici e micrometeorologici al tempo  $t$  ed agli istanti precedenti e sulla base dei tassi di emissione che le varie sorgenti inquinanti presentano al tempo  $t$ , saremmo in grado (in genere numericamente) di determinare il campo  $C(x, y)$  per ogni punto del territorio. Se, però, non si adotta la metodologia deterministica tradizionale per esempio per l'assenza di realistiche informazioni sui tassi di emissione delle diverse sorgenti inquinanti, ci si può chiedere se la concentrazione  $C_0(t)$  sia *stimabile* da un'opportuna combinazione lineare delle  $N$  misure  $C_i(t)$ . In pratica, non conoscendo  $C_0(t)$ , cerchiamo una sua stima  $C_0(t)$  la più vicina possibile al valore vero (che è incognito) ottenuta col modello lineare seguente:

$$C_0(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i C_i(t) \quad [1]$$

 ARPALAZIO	<b>DOCUMENTO TECNICO</b>	<b>DT DT 01/15</b> <i>Rev 0 del 20.07.15</i>  <i>Pagina 48 di 55</i>
--	--------------------------	---

dove  $\lambda_i$  sono opportuni pesi che non variano nel tempo. Questo è un tipico modello di stima lineare la cui definizione operativa passa attraverso la determinazione del modo con cui stimare i pesi  $\lambda_i$ .

Il modello deterministico differenziale, al di là degli aspetti puramente matematici, asserisce che le concentrazioni nei vari punti del territorio dipendono all'istante  $t$  dalle stesse condizioni meteorologiche ed emissive e quindi che è sempre concettualmente possibile ritenere che la concentrazione in un punto generico del territorio dipenda *in qualche modo* dalla concentrazione tipica di altri punti del territorio, visto che tutte queste concentrazioni sono il risultato di quanto viene emesso al tempo  $t$  e di come ciò che viene messo si disperde. Quindi, selezionati  $N$  punti, la concentrazione nel punto  $P_0$  è inevitabilmente esprimibile come:

$$C_0(t) = F(C_1, C_2, \dots, C_N, \dots) \quad [2]$$

Se, poi, si ipotizza che la funzione  $F$  sia espandibile in Serie di Taylor, il modello (1) rappresenta una versione della (2) arrestata al primo ordine. Pertanto è ragionevole supporre la validità del modello lineare (1) purché la funzione  $F$  sia *smooth* e poco variabile nello spazio. In termini pratici, si può asserire che il modello lineare (1) può essere ritenuto valido se: 1) il territorio in cui sono collocate le  $N$  centraline ed il punto  $P_0$  sia poco esteso; 2) che non ci siano fenomeni tali da rendere altamente irregolare la distribuzione spaziale della concentrazione. Dato che per il momento si sta considerando la concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$ , queste ipotesi possono essere ritenute valide, almeno in prima approssimazione.

Il modello lineare (1) è del tutto generale e le sue applicazioni pratiche sono state molte e differenti (nella stima della qualità dell'aria, nella distribuzione della pioggia, nell'inquinamento delle falde ed è il metodo standard impiegato nelle prospezioni minerarie). Qui si è adottato il modello geostatistico illustrato dettagliatamente nel libro di Kitanidis (*Introduction to geostatistical. Applications to hydrology – Cambridge University Press*). Prima di introdurre i dettagli, è necessario illustrare alcune ipotesi di base.

Il territorio che si intende considerare è di limitate dimensioni (nel nostro caso specifico la Valle del Sacco ed in generale l'intero territorio regionale) e, a livello orario o giornaliero, è ragionevolmente non anisotropo dal punto di vista meteorologico. Ciò comporta che i pesi del modello lineare non avranno una sostanziale dipendenza dalla direzione prevalente delle masse d'aria. Questa approssimazione è vera soprattutto quando si considerano concentrazioni medie giornaliere in un territorio come quello laziale fortemente caratterizzato dalla presenza della costa e quindi in presenza di un frequente regime di brezza.

Ovviamente, per un tale territorio è possibile definire un valore medio  $m$  che rappresenta la concentrazione media giornaliera di  $PM_{10}$  (l'inquinante che per primo viene considerato) dell'intero territorio e per l'intero anno. Non è necessario domandarsi quanto valga, è sufficiente ipotizzarne l'esistenza che, ovviamente, non può non esistere. Quello che per prima cosa interessa è che *la differenza tra la stima della concentrazione fatta dal modello lineare in un punto  $P_0$ , cioè  $C_0(t)$  differisca il meno possibile dal valore vero  $C_0(t)$  che caratterizza tale punto*. Si dimostra facilmente che perché ciò sia vero è necessario che:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad [3]$$

cioè che la somma dei pesi sia pari all'unità. Si noti che i valori assunti dai pesi sono valori reali non necessariamente positivi.

Le cause che determinano la dispersione degli inquinanti, e quindi la loro concentrazione al suolo, dipendono da come le sorgenti emissive variano nel tempo e da come evolvono i campi meteorologici e micrometeorologici. Mentre il modello deterministico tiene conto direttamente di tutto ciò, facendo interagire tra loro sorgenti emissive diverse, anche lontane da loro quando le situazioni del flusso fluidodinamico dell'aria la richiede, il modello statistico qui considerato semplicemente sintetizza gli effetti che tutto ciò comporta introducendo il concetto del *semivariogramma* che, per la coppia di stazioni  $P_0$  (il punto di interesse, che

chiameremo punto *pivot*) e  $P_i$  (uno degli  $N$  punti in cui si ipotizza di avere sempre a disposizione una misura e che chiameremo punti *slave*) è definito come:

$$\gamma(P_0, P_i) = \frac{1}{2} E[(C_0 - C_i)^2] \quad [4]$$

Come si può vedere, per la determinazione del semi-variogramma tra due coppie di punti è necessario avere a disposizione la serie storica delle concentrazioni relative ad essi. A questo punto si cerca quale siano i pesi  $\lambda_i$ , relativi a ciascun punto *slave*  $i$  per i quali la varianza complessiva tra il valore vero  $C_{0t}$  e la stima  $C_0$  nel punto  $P_0$  cioè l'errore quadratico medio

$$E[(C_{0t} - C_0)^2] \quad [5]$$

è il minimo possibile. Senza entrare nei dettagli matematici, tutto ciò porta alla definizione del seguente problema di ottimizzazione vincolata. In effetti il problema si riduce alla ricerca di quali siano i valori dei pesi  $\lambda_i$  per i quali il funzionale

$$E[(C_{0t} - C_0)^2] = -\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \cdot \gamma(P_i, P_j) + 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot \gamma(P_0, P_i) \quad [6a]$$

soggetto al vincolo

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad [6b]$$

risulta il minimo possibile. Questo problema può essere risolto impiegando il ben noto metodo dei Moltiplicatori di Lagrange, cosa che porta all'individuazione di un sistema lineare di equazioni algebriche la cui soluzione è costituita dai pesi cercati ed il moltiplicatore di Lagrange. Per semplicità, una volta definiti i vettori seguenti:

$$\boldsymbol{\lambda} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \lambda_N \\ \nu \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} -\gamma(P_0, P_1) \\ -\gamma(P_0, P_2) \\ \dots \\ -\gamma(P_0, P_N) \\ 1 \end{bmatrix} \quad [7]$$

dove  $\nu$  è il moltiplicatore di Lagrange e la matrice dei coefficienti:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -\gamma(P_1, P_2) & \dots & -\gamma(P_1, P_N) & 1 \\ -\gamma(P_2, P_1) & 0 & \dots & -\gamma(P_2, P_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ -\gamma(P_N, P_1) & -\gamma(P_N, P_2) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad [8]$$

la soluzione del problema di ottimizzazione vincolata sopra delineato risulta essere la soluzione del sistema lineare seguente:

$$\mathbf{A}\boldsymbol{\lambda} = \mathbf{b} \quad [9]$$

che risolto fornisce i desiderati valori dei pesi  $\lambda_i$ .

	<b>DOCUMENTO TECNICO</b>	<b>DT DT 01/15</b> <i>Rev 0 del 20.07.15</i> <i>Pagina 50 di 55</i>
---	--------------------------	---

Tra l'altro si può dimostrare che è possibile stimare direttamente l'accuratezza della stima sulla base dell'errore quadratico medio della stima  $\sigma_0$  data da:

$$\sigma_0^2 = E[(C_{0t} - C_0)^2] = -\nu + \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(P_0, P_i) \quad [10]$$

Di fatto, questa è l'unica base teorica su cui si fonda il modello lineare.

Come risulta evidente, il modello statistico lineare può essere implementato se e solo se è nota la serie storica del punto per cui si intende realizzare la stima e ciò a prima vista sembrerebbe una sciocchezza, visto che è proprio la serie storica in questo punto che si vuole stimare. In realtà, il Piano di monitoraggio con i mezzi mobili è stato predisposto proprio per uscire da questo circolo vizioso. Le quattro campagne annuali realizzate in periodi dell'anno diversi avendo cura di *catturare* le peculiari variabilità annuali della capacità disperdente dei bassi strati dell'atmosfera consente di ottenere le basi per il calcolo dei pesi relativi alle N stazioni fisse della rete regionale su cui si fonda il modello lineare. Nel caso specifico si è scelto di individuare N = 4 stazioni della rete regionale fissa su cui basare la stima col metodo statistico per Sora e tali stazioni sono state individuate impiegando l'indice di Lin, per garantire che nel modello siano presenti le informazioni delle stazioni fisse che più risultano correlate con le misure realizzate dal mezzo mobile a Sora.

In teoria, i pesi sarebbero validi per i periodi in cui sono state realizzate le campagne, ma mettendo tutte le misure realizzate in tutte le campagne annuali, i pesi che da esse se ne deducono possono essere realisticamente applicate per tutti i giorni dell'anno. Per verificare se questa ipotesi fosse ragionevolmente accurata, il metodo lineare è stato sistematicamente applicato a tutte le postazioni fisse della rete regionale (di cui ovviamente si conoscono le relative serie storiche) per gli anni più recenti. L'applicazione è stata condotta nel modo seguente:

- si consideri una delle stazioni della rete fissa  $P_0$
- si individuino con l'indice di Lin le 4 stazioni più correlate ad essa
- si decidano le serie storiche di un anno lasciando solo 8 settimane distribuite uniformemente nell'anno
- si individuino i pesi del modello lineare
- con questi pesi si applichi il modello lineare alla postazione  $P_0$  per tutti i giorni dell'anno
- si confronti la serie storica stima con quella realmente rilevata
- si calcoli l'errore medio.

Il risultato ottenuto è che l'errore di stima è dello stesso ordine di grandezza dell'errore strumentale.

Ovviamente, ripetendo ogni anno le 4 campagne previste nello stesso sito si potranno trarre considerazioni interessanti:

- se i pesi variano molto da anno ad anno, è molto probabile che il quadro emissivo locale e/o delle zone limitrofe sia mutato e ciò consentirebbe anche di stimare realisticamente l'impatto (positivo o negativo) di azioni effettuate sul quadro emissivo locale (inserimento di nuove sorgenti emissive o risanamento con riduzione delle emissioni),
- comunque, con l'andare degli anni, se il quadro emissivo non muta, si avrà a disposizione una quantità di misure tali da irrobustire sempre di più i pesi e di migliorare sempre di più la stima e quindi, secondo la norma, la valutazione.

## 9.2 Stima della concentrazione annuale su base giornaliera di PM<sub>10</sub> nel Comune di Sora

Applicando la metodologia descritta nel paragrafo precedente è stato quindi possibile ricostruire le concentrazioni medie giornaliere per tutto l'arco dell'anno civile a partire dalle misure effettuate con il laboratorio mobile nel 2012 (campagne I e II) e nel 2013 (campagne III e IV). La concentrazione giornaliera di PM<sub>10</sub> viene stimata come combinazione lineare delle 4 stazioni che meglio riproducono i livelli di concentrazione rilevati nelle campagne periodiche (campagne I e II) effettuate nel 2012 e nel 2013 (campagne III e IV) con il mezzo mobile secondo la seguente relazione:

$$C_0(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i C_i(t) \quad (11)$$

con:

- $C_0(t)$  = concentrazione di PM<sub>10</sub> rilevata dal mezzo mobile stimata nel giorno t;
- $C_i(t)$  = concentrazione di PM<sub>10</sub> misurata nell'i-esima stazione fissa nel giorno t;
- $\lambda_i$  = coefficienti (pesi) della combinazione lineare associato alla i-esima stazione fissa;
- N = numero di stazioni fisse (pari a 4)

### 9.2.1 Stima dei livelli di PM10 per l'anno 2014

La stessa procedura è stata applicata sulle 5 campagne di misura effettuate nel 2014. In questo caso la 4-upla di stazioni ed i pesi relativi determinati sono riportati nella tabella seguente.

Stazione fissa	coefficiente ( $\lambda$ )	MSE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Ferentino	0.5299	9.1
Cassino	0.1947	
FR-Mazzini	0.3810	
Coll. Europa	-0.1057	

Tabella 9.1 – stazioni, pesi ( $\lambda$ ) e scarto quadratico medio (MSE) determinati per il modello lineare nel 2013.

Applicando la relazione (11) è stato quindi possibile ricostruire la concentrazione di PM<sub>10</sub> con uno scarto quadratico medio pari a 9.1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  rispetto alle 5 campagne di misura effettuate nel 2014.

Di seguito è riportato il confronto tra le misure di PM<sub>10</sub> effettuate nelle 5 campagne di misura del 2014 dal mezzo mobile e le concentrazioni stimate negli stessi giorni dal modello lineare.

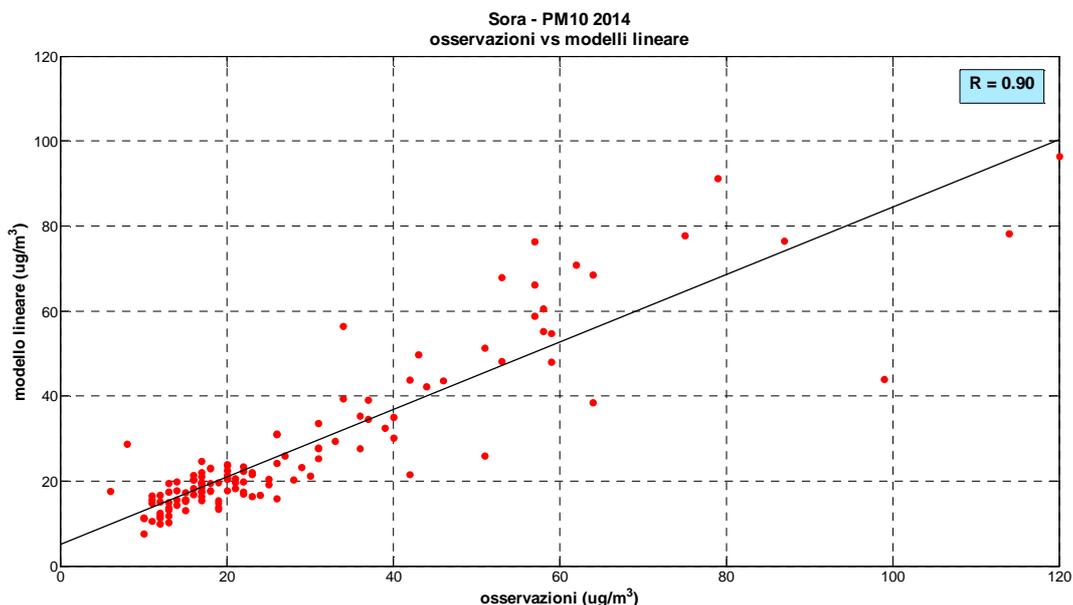


Figura 9.1 – Confronto tra le osservazioni delle campagne sperimentali e le relative stime del modello lineare.

Il coefficiente di correlazione lineare,  $R$ , tra la concentrazione di  $PM_{10}$  misurata e stimata dal modello nei giorni delle 5 campagne di misura del 2014 (per un totale di 127 giorni) risulta pari a 0.9. Tale valore elevato è dovuto alla buona capacità del modello statistico di ricostruire i livelli medi giornalieri di particolato.

Pertanto è stata ricostruita la concentrazione di  $PM_{10}$  nel periodo 01/01/2014 – 31/12/2014. In *Fig. 9.2* è riportata la serie temporale completa, composta dalle misure effettuate con il mezzo mobile (in nero) e la stima della concentrazione giornaliera di  $PM_{10}$  fornita dal modello lineare (in rosso).

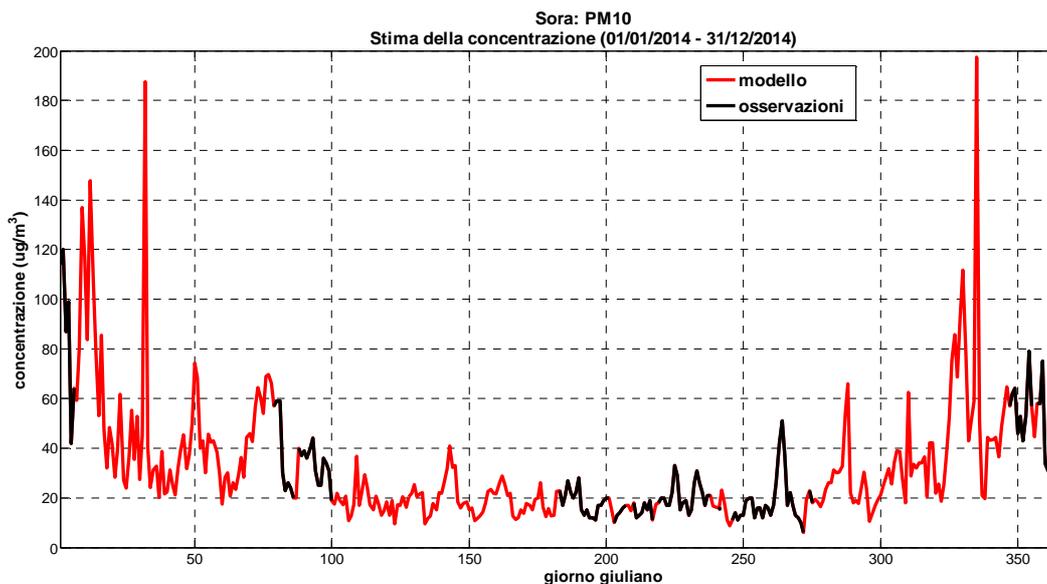


Figura 9.2 – stima della concentrazione di  $PM_{10}$  rilevata dal mezzo mobile dal 01/01/2014 al 31/12/2014. In nero sono identificate le rilevazioni delle campagne di misura, in rosso è identificata la stima prodotta dal modello lineare.

I livelli misurati/stimati di PM<sub>10</sub> evidenziano dei valori critici durante il periodo invernale, in particolare gennaio-marzo e novembre-dicembre. Si osserva poi un decremento della concentrazione di PM<sub>10</sub> durante i mesi primaverili ed estivi.

Sono stati determinati i valori limite annuali a partire dalla concentrazione di PM<sub>10</sub> stimata con il modello lineare per il laboratorio mobile e le concentrazioni misurate nelle stazioni fisse della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria localizzate all'interno della Valle del Sacco.

<b>PM10: periodo 01/01/2014 – 31/12/2014</b>			
<b>Stazione</b>	<b>media periodo (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>numero di superamenti di 50 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>tipo</b>
<b>Laboratorio mobile</b>	32	59	<i>stimata</i>
<b>Ceccano</b>	44	110	<i>misurata</i>
<b>Ferentino</b>	33	52	
<b>Anagni</b>	29	30	
<b>Alatri</b>	30	52	
<b>Fontechiari</b>	19	10	
<b>Cassino</b>	34	57	
<b>Fros-scalo</b>	46	110	
<b>Fros-Mazzini</b>	30	46	
<b>Colleferro Ob.</b>	29	33	
<b>Colleferro Eur.</b>	31	49	

Tabella 9.3 – calcolo dei valori limite del PM10: anno 2013.

Come previsto dal D.Lgs. 155/2010, è stato calcolato il 90.4 percentile da adottare come indicatore per la verifica del rispetto del valore limite giornaliero del PM<sub>10</sub> nel caso delle misure *indicative*, cioè le misure per cui la durata temporale non copre 1 anno civile ma almeno il 14% del periodo annuale (circa 50 giorni). Pertanto, considerando l'insieme delle campagne effettuate con il mezzo mobile nel Comune di Sora nel 2014, si ha che tale parametro risulta pari a 58 µg/m<sup>3</sup>. Poiché tale parametro è superiore al limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup> allora l'area deve essere considerata come zona di superamento confermando i risultati ottenuti col predittore lineare.

## 10. Conclusioni

Nel presente documento è stata realizzata una sintesi delle campagne sperimentali effettuate finora presso il comune di Sora ed è stata sintetizzata a grandi linee la metodologia oggettiva, prevista dalla normativa vigente, che si è messa in atto impiegando periodicamente ma sistematicamente un mezzo mobile di monitoraggio della qualità dell'aria.

Come già affermato nella premessa di questo documento, non tutto il territorio laziale presenta il medesimo grado di vulnerabilità dal punto di vista dell'inquinamento atmosferico. In sostanza, data per esempio un'installazione industriale le cui emissioni rispettano i limiti previsti dal DLgs. 152/2006 e magari provvista di una autorizzazione AIA o VIA, è naturale che il reale impatto che tale sorgente produce, a parità di emissioni, dipende principalmente dalla capacità disperdente presentata dall'atmosfera in quel sito. Questa non è una affermazione gratuita ma un chiaro dato di fatto facilmente dimostrabile. In una zona ventosa e senza orografia l'impatto può essere contenuto o minimo, mentre in una zona con ventilazione bassa e con aria pressoché stagnante l'impatto può essere alto o addirittura elevatissimo, oltre i limiti del DLgs.155/2010, nonostante rispetti il D.Lgs 152/2006. Un'autorizzazione regolare non implica necessariamente il fatto che chi la possiede e la rispetta non contribuisca o addirittura sia la causa del superamento dei limiti di qualità dell'aria. E tali limiti, non dimentichiamolo, sono di natura sanitaria.

 ARPALAZIO	<b>DOCUMENTO TECNICO</b>	<b>DT DT 01/15</b> <i>Rev 0 del 20.07.15</i> <i>Pagina 54 di 55</i>
--	--------------------------	---

Come emerge dalle misure realizzate durante le campagne, da reiterate simulazioni modellistiche realizzate con complessi modelli meteorologici e di dispersione degli inquinanti e dall'applicazione del metodo di stima oggettiva, la situazione può essere così sintetizzata:

- le informazioni relative alle varie, numerosissime e ben poco note emissioni presenti nella Valle del Sacco (e ciò vale anche per Sora) sono per ora talmente scarse ed imprecise da impedire l'impiego di strumenti modellistici anche raffinati per la valutazione della qualità dell'aria su tutto il territorio. Va detto che il lavoro degli ultimi due anni realizzato dalla Provincia di Frosinone sta facendo emergere un nuovo quadro emissivo, ben diverso da quello finora noto, ben più complesso e a cui è necessario che vengano applicate con rigore (dalla Provincia stessa di Frosinone, da quella di Roma e dai singoli Comuni) tutte le misure previste dalle Norme Attuative del Piano di Risanamento della Qualità della Regione Lazio. Comunque ormai è disponibile un quadro emissivo più realistico di quello attualmente disponibile (anche se non completamente soddisfacente) con cui attivare gli strumenti modellistici che consentiranno non solo di ricostruire ma anche di prevedere con notevole anticipo l'instaurarsi di situazioni critiche per la qualità dell'aria, cosa che da alcuni anni si sta facendo per il comune di Roma ed il territorio limitrofo. Quando ciò sarà finalmente possibile, sarà compito della Amministrazioni Comunali mettere in atto con congruente anticipo misure mitigative a breve termine (che la Amministrazioni Comunali stesse dovranno definire nei dettagli in un Piano di Intervento Operativo) per contenere gli effetti avversi determinati da situazioni meteorologiche favorevoli al superamento dei limiti della qualità dell'aria al fine di limitare se non eliminare i rischi alla salute umana. Inoltre, sarà anche possibile prevedere oggettivamente l'impatto realistico di eventuali misure mitigative che dovessero essere pianificate per ridurre le emissioni industriali (e non solo), visto che tali misure, anche se rappresentassero le migliori tecnologie possibili, non necessariamente sarebbero compatibili con la vulnerabilità ormai evidente del territorio;
- il territorio della Valle del Sacco in generale e quindi anche l'area di Sora è particolarmente critico per le non favorevoli caratteristiche disperdenti dell'atmosfera. Ciò comporta che l'impatto delle sorgenti emissive locali e di quelle dell'intera valle portino la qualità dell'aria, ed in particolare la concentrazione delle polveri sottili, a livelli ben più elevati di quelli previsti dalla normativa vigente;
- in generale, vista la complessità della zona, il sostanziale ristagno delle masse d'aria e le numerosissime sorgenti emittenti presenti, risulta estremamente arduo attribuire i livelli di concentrazione riscontrati a sorgenti locali piuttosto che a sorgenti anche distanti poiché entrambi i tipi di emissioni pesano in maniera e misura differente a seconda della situazione meteorologica che si viene ad instaurare;
- un'applicazione rigorosa del metodo oggettivo dovrebbe essere fatta a valle di quattro campagne di monitoraggio con i mezzi mobili realizzate durante l'anno e le campagne disponibili per l'anno 2014 hanno consentito ciò. Dall'applicazione del modello risulta che la concentrazione media annuale di PM<sub>10</sub> è di poco inferiore al valore limite, mentre il numero di superi del valore di 50 µg/m<sup>3</sup> nell'arco dell'anno 2014 è di poco inferiore al doppio del limite di legge. *Sic rebus stantibus*, non è irragionevole ritenere che almeno per il particolato sottile la situazione di Sora sia critica, del tutto simile purtroppo alla maggior parte della Valle del Sacco, cosa che le misure della rete fissa regionale della qualità dell'aria hanno evidenziato da anni e ragione principale per cui è stato realizzato da parte della Regione Lazio il Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria, demandando alle Province la sua attuazione nonché l'aspetto operativo;
- a fronte di questa situazione deve essere inquadrata la decisione di Arpa Lazio di inserire Sora nell'elenco dei siti da monitorare periodicamente ma con continuità, anno dopo anno, con i mezzi mobili e da dotare di metodi oggettivi di stima, per tenere sotto controllo costantemente la situazione

e per seguire l'evolversi degli interventi previsti dalle Norme Attuative del Piano stesso, che si spera vengano realmente messi in atto, nella speranza che siano sufficienti a risanare il territorio la cui qualità dell'aria risulta altamente critica.