



VALUTAZIONI DELL'OZONO TROPOSFERICO NELLA REGIONE UMBRIA

Rapporto Tecnico

2008

arpa umbria

INDICE

Pag / Cap.

02 / 1. L'ozono e la normativa di settore

02 / 1.1 L'ozono

03 / 1.2 La normativa di settore

06 / 1.3 Le sorgenti principali dei precursori

10 / 2. Dati di misura da centraline fisse e postazioni con Radiello®

10 / 1.2 Siti fissi di misura

11 / 2.3 Misure con campionatori passivi

33 / 3 Modellistica diffusionale foto-chimica

33 / 3.1 Il modello Chimere

42 / 4 Conclusioni

Gruppo di Lavoro

Redazione

dott. Marco Vecchiocattivi
dott.sa Monica Angelucci

Collaborazione

Versione

Rev. 1

Visto

Dott. Giancarlo Marchetti

1 L'ozono e la normativa di settore

1.1 L'ozono

L'ozono è un gas incolore, di odore pungente, dotato di un elevato potere ossidante e la cui molecola è costituita da tre atomi di ossigeno (O_3). L'ozono oggetto del presente studio si forma nella troposfera e, in particolare, nello strato limite planetario che è la zona nella quale si diffondono gli inquinanti emessi al suolo, zona che si estende dalla superficie terrestre a un'altitudine compresa fra 100 m e 3.000 m a seconda delle stagioni e del ciclo d'irraggiamento solare giornaliero.

È un inquinante secondario: ovvero, non è un inquinante direttamente emesso dalle attività antropiche o naturali, ma si forma in atmosfera per effetto di reazioni chimiche tra altri composti inquinanti, chiamati precursori, favorite dalla radiazione solare. Per questo, il controllo e la riduzione delle concentrazioni di ozono in atmosfera è un'attività particolarmente complessa.

Tra gli inquinanti precursori dell'ozono ci sono soprattutto ossidi di azoto (NO_x) e composti organici volatili (COV), come ad esempio idrocarburi e formaldeide. Se si è in presenza di irraggiamento solare, tra questi si innescano una serie di reazioni chimiche con produzione di altri composti (smog fotochimico) tra cui l'ozono. Una volta formato, l'ozono reagisce a sua volta con gli altri inquinanti distruggendosi e chiudendo, così il ciclo. Nella figura 1.1 è riportato un esempio del ciclo di formazione e distruzione dell'ozono a carico del biossido di azoto (NO_2).

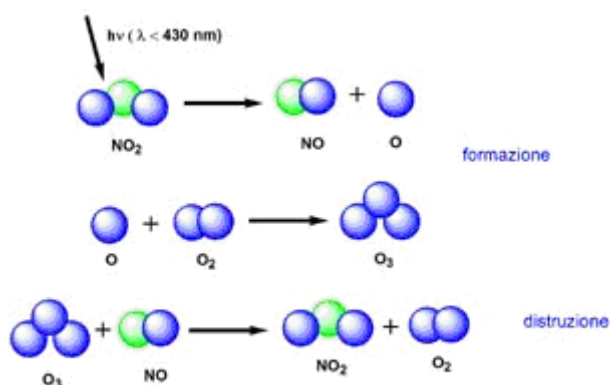


Figura 1.1: Esempificazione delle reazioni del ciclo di formazione e di distruzione di ozono (O_3) a partire da biossido di azoto (NO_2).

Questo ciclo, quando sovrabbonda la radiazione solare, è sbilanciato verso la formazione di quest'ultimo che tende quindi ad accumularsi durante il giorno soprattutto nei periodi estivi. Inoltre, le concentrazioni di ozono più elevate si registrano normalmente nelle zone distanti dai centri abitati ove minore è la presenza di sostanze inquinanti con le quali, a causa del suo elevato potere ossidante, può reagire e quindi distruggersi. In ambienti interni la concentrazione di ozono è notevolmente inferiore per questa sua elevata reattività che ne consente la rapida distruzione.

Quindi, la presenza nella bassa atmosfera di O_3 dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche (irraggiamento, temperatura, umidità, etc...) ed è, pertanto, variabile sia

nel corso della giornata che delle stagioni e, inoltre, la sua formazione coinvolge fenomeni che si manifestano generalmente su aree geografiche ampie.

Dato che i processi alla base della formazione e distruzione di ozono sono molto complessi, le misure tese a ridurre la concentrazione di quest'inquinante, se non sono basate su un'adeguata comprensione dei processi fotochimici, possono avere l'effetto opposto a quello desiderato. Per esempio, negli ambienti urbani l'alta emissione di monossido di azoto (NO) dovuto al traffico, determina una rapida distruzione dell'ozono e una conseguente riduzione della sua concentrazione in aria ma, proprio per questo, un semplice calo delle emissioni di NO potrebbe provocare un aumento delle concentrazioni di ozono nelle città. In questi casi, occorrerebbe agire contemporaneamente verso le reazioni di formazione di O₃ riducendo, quindi, le emissioni degli altri precursori, ovvero principalmente i COV.

Dal punto di vista degli effetti sanitari, l'ozono in concentrazioni elevate può dare luogo a irritazioni agli occhi e alle vie respiratorie e un'esposizione critica e prolungata può causare tosse, mal di testa e perfino edema polmonare. Le persone più sensibili sono i bambini, gli anziani e chi soffre di asma o di disturbi polmonari.

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità (O.M.S.), al fine di ridurre il pericolo di danni acuti e cronici e per assicurare un ulteriore margine di sicurezza, raccomanda i seguenti valori di esposizione all'ozono:

150 – 200 µg/m³ per esposizione di 1 ora

100 – 120 µg/m³ per esposizione di 8 ore

Infine, l'esposizione ad alti valori di ozono per periodi prolungati, produce danni anche alla vegetazione.

Sulla base di queste raccomandazioni, la normativa italiana con il Decreto Legislativo 183 del 21/05/04, ha individuato le soglie di rischio per l'esposizione ad ozono.

1.2 La normativa di settore

Decreto Legislativo 21 maggio 2004, n. 183 in attuazione della direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria, stabilisce i valori bersaglio, gli obiettivi a lungo termine, la soglia di allarme e la soglia di informazione, al fine di prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente.

La norma, poi, individua i metodi e i criteri per la valutazione delle concentrazioni di ozono e per la valutazione delle concentrazioni dei precursori dell'ozono nell'aria nonché le misure dirette a consentire il miglioramento della qualità dell'aria laddove essa risulti scadente e a mantenerla laddove invece risulti buona.

Considerando, inoltre, la caratteristica dell'ozono di diffondersi in aree molto ampie e a distanze notevoli rispetto al punto di emissioni dei suoi precursori, il decreto stabilisce anche le modalità di cooperazione con gli altri Stati membri dell'Unione europea ai fini della riduzione dei livelli di ozono per tutti i territori.

Infine, la norma specifica anche le misure volte a consentire l'informazione del pubblico in merito alle concentrazioni di ozono in aria, con particolare attenzione alle situazioni di allarme.

Sulla base degli effetti sulla salute individuati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, pertanto, la normativa italiana ha individuato due soglie di rischio per esposizioni acute e due livelli, i valori bersaglio e gli obiettivi a lungo termine, per esposizioni a lungo termine.

Soglia di informazione: livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dall'articolo 5 del DLgs 183/04.

Soglia di allarme: livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dall'articolo 5 del DLgs 183/04.

	Parametro	Soglia
Soglia di informazione	Media di 1 ora	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Soglia di allarme	Media di 1 ora (a)	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

(a) Ai fini dell'applicazione dell'articolo 5, comma 3, il superamento della soglia deve essere misurato o previsto per tre ore consecutive.

Valore bersaglio: livello fissato al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo.

	Parametro	Valore bersaglio per il 2010
1. Valore bersaglio per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni
2. Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ come media su 5 anni

Obiettivo a lungo termine: concentrazione di ozono nell'aria al di sotto della quale si ritengono improbabili, in base alle conoscenze scientifiche attuali, effetti nocivi diretti sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso. Tale obiettivo è conseguito nel lungo periodo, sempreché sia realizzabile mediante misure proporzionate, al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

	Parametro	Obiettivo a lungo termine
1. Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2. Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione	AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$

Il decreto legislativo, stabilisce, oltre ai valori soglia bersaglio e obiettivo, anche le misure volte a mantenere la qualità dell'aria laddove la stessa risulti buona in relazione all'ozono, e le misure dirette a consentirne il miglioramento negli altri casi.

In particolare stabilisce che per il raggiungimento degli obiettivi a lungo termine le regioni:

- definiscono un elenco delle zone e degli agglomerati nei quali i livelli di ozono nell'aria superano i valori bersaglio;
- definiscono un elenco delle zone e degli agglomerati nei quali i livelli di ozono nell'aria superano gli obiettivi a lungo termine ma sono inferiori o uguali ai valori bersaglio;
- individuano e attuano nelle zone e negli agglomerati nei quali i livelli di ozono nell'aria superano valori bersaglio e/o gli obiettivi a lungo termine misure efficaci dal punto di vista dei costi, purché proporzionate;
- definiscono un elenco delle zone e degli agglomerati nei quali i livelli di ozono nell'aria sono conformi agli obiettivi a lungo termine;
- tenuto conto della natura transfrontaliera dell'inquinamento da ozono e delle condizioni meteorologiche, mantengono i livelli di ozono al di sotto degli obiettivi a lungo termine, nelle zone e negli agglomerati nei quali i livelli di ozono nell'aria sono conformi a tali obiettivi;
- adottano misure proporzionate, al fine di preservare la migliore qualità dell'aria compatibile con lo sviluppo sostenibile e con un elevato livello di protezione dell'ambiente e della salute umana.

Per effettuare le valutazioni che permettano di individuare le varie zone e gli agglomerati in cui i livelli di ozono nell'aria rispettano o meno i vari livelli fissati, la norma stabilisce anche i criteri di massima da seguire, in particolare le valutazioni preliminari e la valutazione della qualità dell'aria con riferimento all'ozono.

Le valutazioni preliminari hanno lo scopo di individuare le zone e gli agglomerati in cui i livelli di ozono nell'aria superano i valori bersaglio o, non superando i valori bersaglio, superano gli obiettivi a lungo termine o sono conformi agli obiettivi a lungo termine. Queste si effettuano, ove non sono disponibili misure rappresentative dei livelli di ozono per tutte le zone e gli agglomerati, mediante campagne di misurazioni rappresentative, utilizzando i dispositivi di misurazione previsti dalla normativa vigente, nonché indagini o stime.

La valutazione della qualità dell'aria con riferimento all'ozono viene determinata in base alle zone e agli agglomerati individuati dalla valutazione preliminare.

Le zone e gli agglomerati in cui le concentrazioni di ozono hanno superato gli obiettivi a lungo termine le misurazioni continue in siti fissi sono obbligatorie con i criteri stabiliti agli allegati DLgs 183/04. Inoltre:

- nel caso in cui siano disponibili esclusivamente dati relativi ad un periodo inferiore a cinque anni, l'accertamento dei superamenti degli obiettivi a lungo termine può essere effettuato mediante brevi campagne di misurazioni svolte in periodi e siti rappresentativi dei massimi livelli di inquinamento, integrate con inventari delle emissioni e con l'uso di modelli;
- nel caso in cui la misurazione continua in siti fissi sia l'unica fonte di informazioni per la valutazione della qualità dell'aria, il numero minimo di punti di campionamento ai fini della misurazione continua dell'ozono è stabilito negli allegati al DLgs 183/04;

- per le zone e per gli agglomerati nelle quali la misurazione continua in siti fissi sia integrata da informazioni provenienti da tecniche di modellizzazione o misurazioni indicative si tiene conto dei risultati ottenuti con tecniche di modellizzazione e con misure indicative ai fini della valutazione della qualità dell'aria in riferimento ai valori bersaglio.

Per le zone e per gli agglomerati nei quali, durante tutti gli ultimi cinque anni di rilevamento, le concentrazioni di ozono non hanno superato gli obiettivi a lungo termine il numero minimo di punti di campionamento ai fini della misurazione continua in siti fissi dell'ozono, stabilito negli allegati al DLgs 183/04, si può ridurre di un terzo rispetto alle zone con superamento; anche in questo caso si possono integrare le misure con le valutazioni utilizzando i modelli.

Il decreto, inoltre, stabilisce anche le tecniche di modellizzazione dell'ozono, attualmente però non esiste uno standard ma è prevista la possibilità di utilizzare tecniche validate secondo procedure documentate da agenzie, organismi o istituzioni scientifiche riconosciute a livello nazionale o internazionale.

A partire dai presupposti stabiliti dalla normativa, il presente lavoro ha lo scopo di indicare le zone e gli agglomerati in cui i livelli di ozono nell'aria superano i valori bersaglio, superano gli obiettivi a lungo termine o sono ad essi conformi. Per far ciò vengono utilizzati sia i dati raccolti a partire dal 2004 mediante sistemi di misura fissi, ma anche campagne di misura con sistemi passivi; a questo è poi aggiunta una valutazione utilizzando tecniche di modellizzazione dell'ozono che considera sia le principali fonti di emissione regionale ma anche il fenomeno di trasporto trans-frontaliero o meglio trans-regionale.

1.3 Le sorgenti principali dei precursori

Come già sottolineato, l'ozono è un inquinante secondario che si forma prevalentemente per ossidazione di composti organici volatili (COV) in presenza di ossidi di azoto (NO_x) e forte irraggiamento solare.

Conoscere, pertanto, le principali fonti di emissioni di questi due inquinanti può essere una buona indicazione sulle cause di presenza di ozono troposferico. In generale, la principale fonte di emissioni sono i trasporti anche se, per i COV, non vanno trascurate tutte le attività che utilizzano solventi (sia industriali che civili), come evidenziato in figura 1.2 dove sono riportate le stime percentuali delle principali fonti di emissione.

Queste stime possono essere poi calate a livello regionale e provinciale analizzando i dati di emissione di composti organici volatili e ossidi di azoto a partire dall'Inventario Regionale delle Emissioni in atmosfera (IRE).

Come noto l'IRE è un catasto di tutte le sorgenti e di determinati inquinanti emessi in uno specifico anno e sull'intero territorio regionale. L'Inventario della Regione Umbria è realizzato attraverso un apposito software installato presso ARPA Umbria, la quale ne cura la manutenzione e l'aggiornamento. Le informazioni in esso contenute sono inserite ed elaborate in linea con gli standard indicati a livello nazionale nonché seguendo le metodologie adottate a livello nazionale ed europeo.

Gli inquinanti considerati nell'IRE sono sia quelli principali (es.: SO_x, NO_x, CO, COV) ma anche metalli pesanti e gas serra. Per quanto riguarda le sorgenti di emissioni, nell'Inventario sono inserite tutte quelle di cui è possibile avere informazioni. Così, sono presenti sorgenti industriali, civili o naturali.

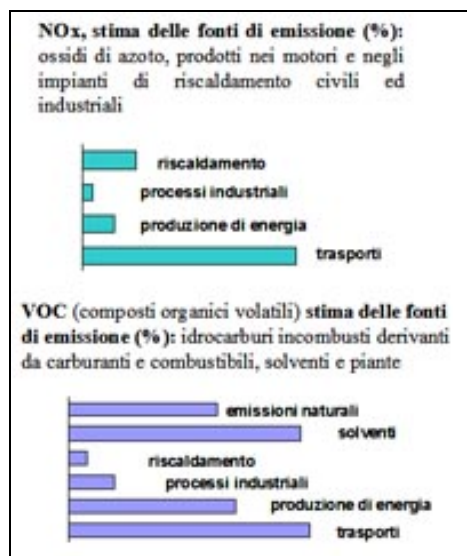


Figura 1.2: Stima delle fonti di emissione di NO_x e COV

Tutte queste sorgenti sono classificate secondo diversi criteri:

1. *Tipologia di attività*: è utilizzata la nomenclatura SNAP'97 che classifica tutte le sorgenti emissive secondo uno schema ad albero a tre livelli, ovvero macrosettori (11 in totale), settori ed attività.
2. *Tipologia di emissione*: a seconda dell'estensione spaziale le sorgenti si distinguono in sorgenti lineari (strade e vie di navigazione), sorgenti diffuse (riscaldamento, incendi e emissioni naturali) e sorgenti puntuali (impianti e stabilimenti produttivi).
3. *Localizzazione spaziale*: ciascuna attività ha una precisa collocazione spaziale univoca (come nel caso di sorgenti puntuali o lineari che sono georeferenziate) o generica e legata al comune (come nel caso di sorgenti diffuse).

Attualmente l'IRE è aggiornato con i dati emissivi relativi all'anno 2004; dalle informazioni in esso contenute è possibile ricavare i dati di emissioni sia di COV che di NO_x su scala provinciale e regionale. Nelle figure 1.3 e 1.4 sono riportate rispettivamente le emissioni di composti organici volatili e di ossidi di azoto suddivise per gli 11 macrosettori in cui sono classificate tutte le attività all'interno dell'Inventario.

Le emissioni provinciali e regionali confermano quanto previsto dalle stime, ovvero che la maggiore fonte di emissione è il trasporto (macrosettori 07 e 08) a cui vanno aggiunti la combustione nelle attività industriali (macrosettori 01 e 03) per gli NO_x e l'uso dei solventi (macrosettore 06) per i COV. Anche il riscaldamento (macrosettore 02) contribuisce alle emissioni dei due inquinati, in modo particolare i COV prodotti nella combustione della legna, anche, se essendo un'emissione prevalentemente invernale, contribuisce in modo minore alla formazione di ozono verificandosi in periodi dell'anno in cui l'irraggiamento solare, condizione necessaria alla formazione dell'ozono, è molto ridotta rispetto al periodo estivo. Infine, nel grafico di figura 1.5 sono riportate le emissioni totali regionali di composti organici volatili e ossidi di azoto e suddivisi per province; si può osservare che, sebbene le emissioni di COV e NO_x siano prevalentemente localizzate nel territorio della provincia di Perugia, le concentrazioni di ozono non sembrano essere altrettanto localizzate su quel territorio; questo a conferma della non-località dei fenomeni di inquinamento da ozono che risultano sempre avvenire su scale regionali o sovra-regionali.

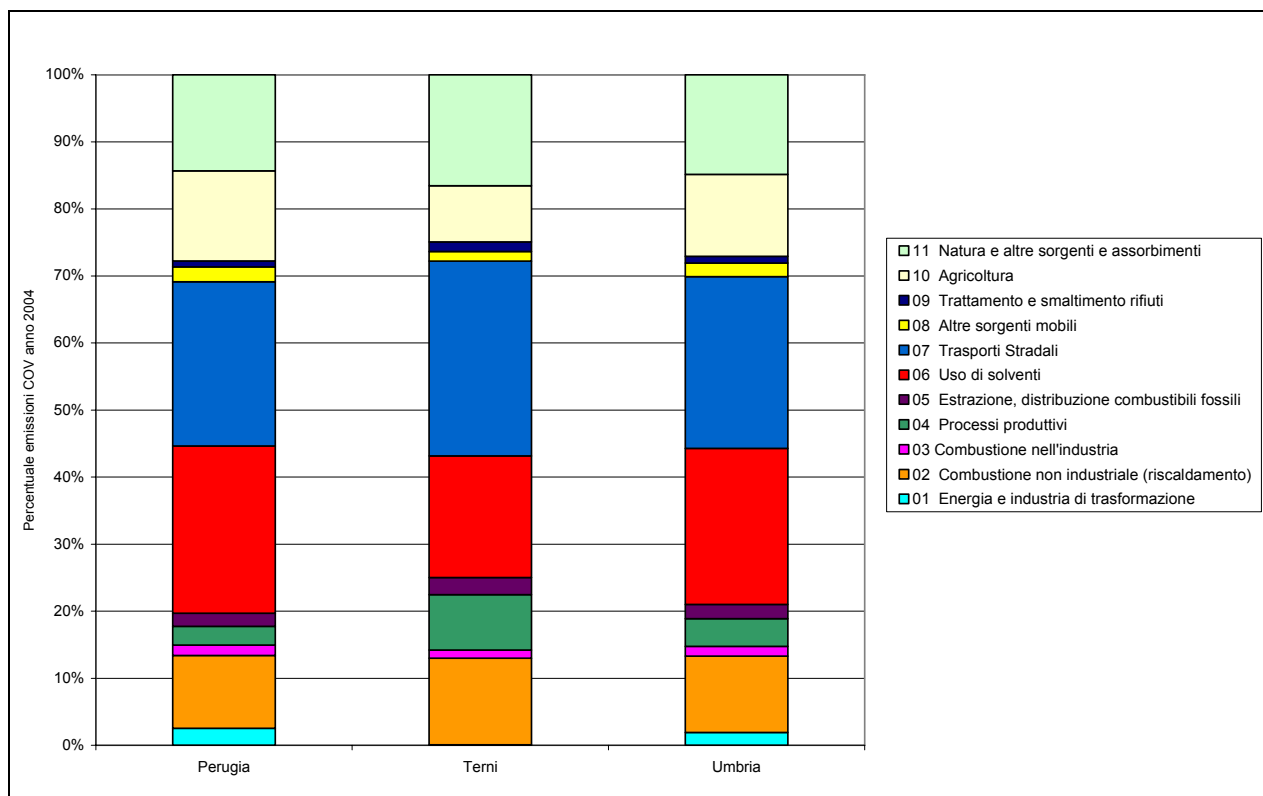


Figura 1.3: Percentuale di emissioni di composti organici volatili per macrosettore

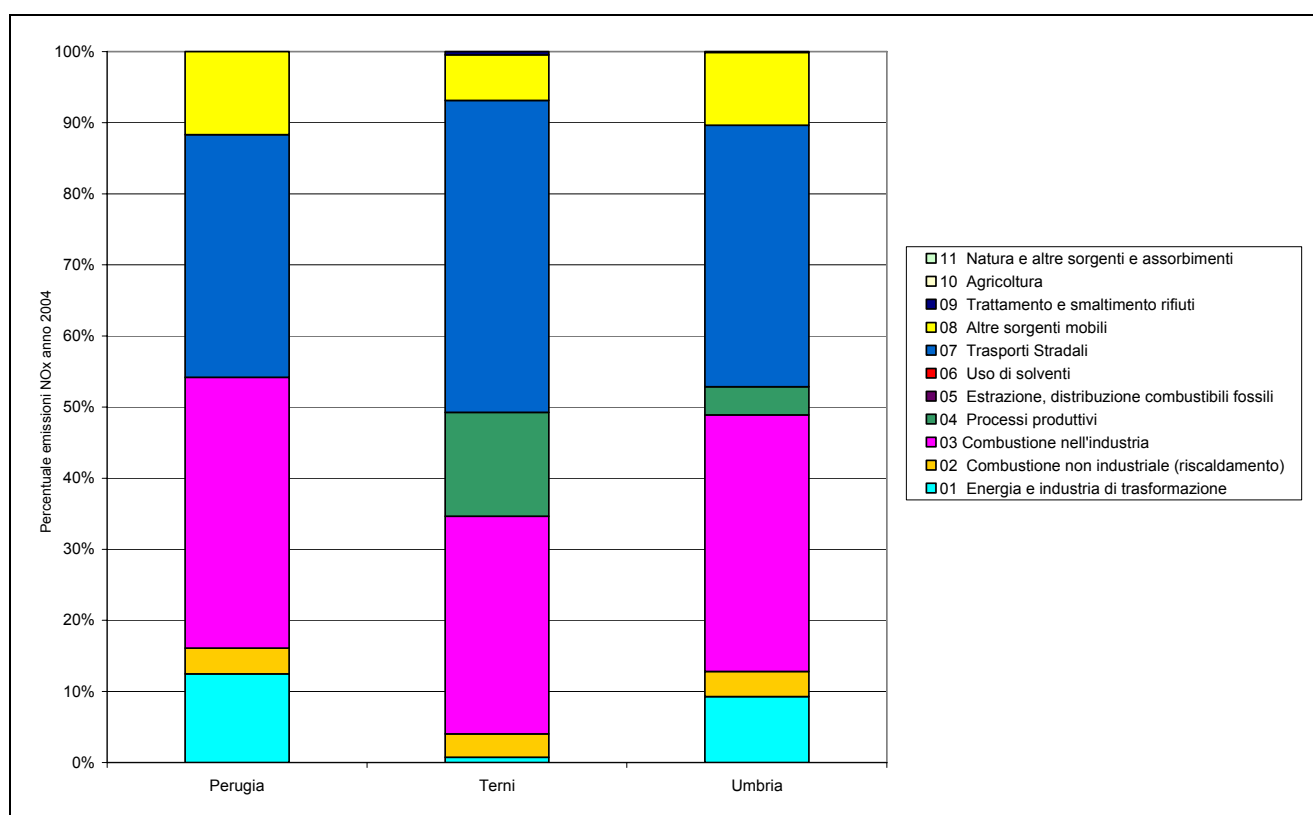


Figura 1.4: Percentuale emissioni di ossidi di azoto per macrosettore

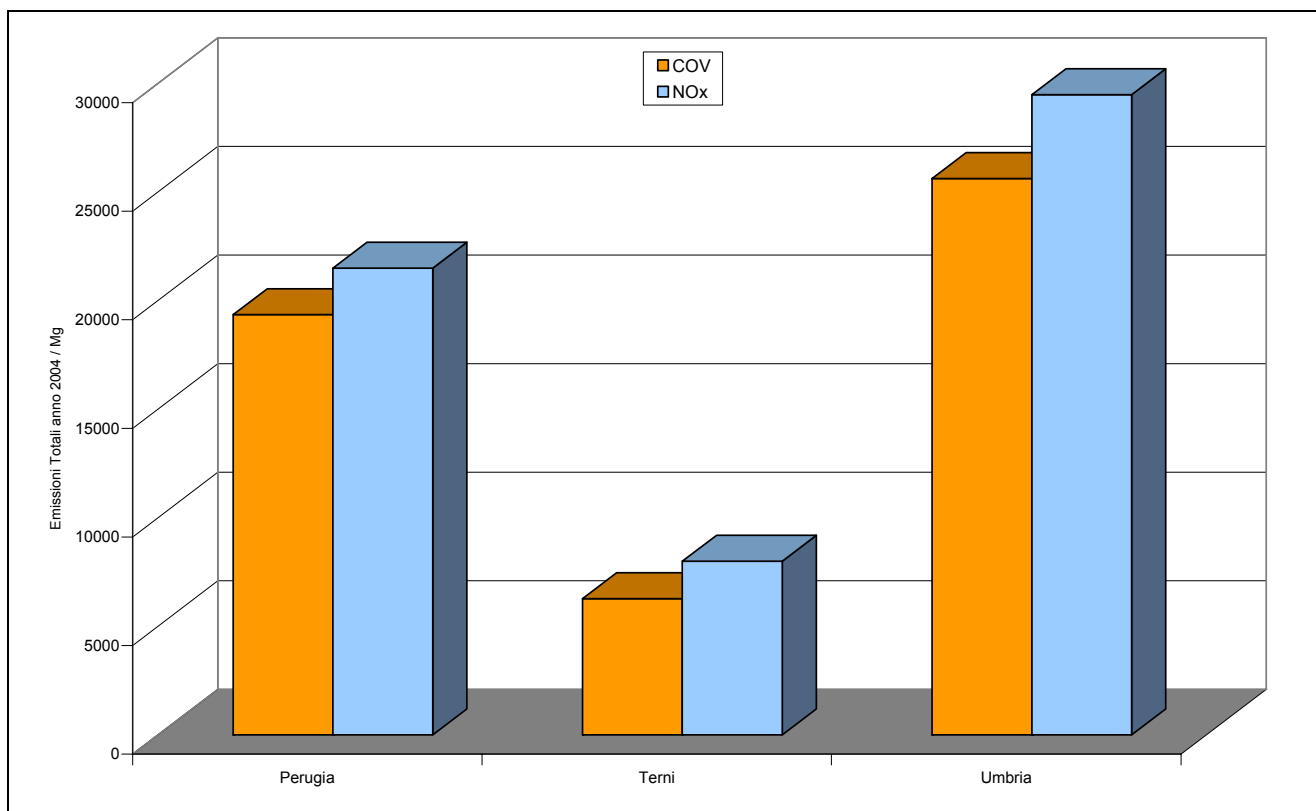


Figura 1.5: Emissioni totali di composti organici volatili e ossidi di azoto

2. Dati di misura da centraline fisse e postazioni con Radiello

2.1 Siti fissi di misura

Il “Piano regionale di risanamento e mantenimento della qualità dell’aria” (PRQA), approvato con Delibera del Consiglio Regionale n. 466 del 9 febbraio 2005, consente all’amministrazione regionale di individuare i passaggi significativi per migliorare l’aria ambientale attraverso azioni di indirizzo politico, strumenti economico-programmatori, adeguamenti nelle attività e negli strumenti di monitoraggio ambientale. Tra le misure individuate dal Piano, la MM9 prevedeva la definizione della rete regionale della qualità dell’aria mediante ristrutturazione e implementazione della rete già esistente a partire dalla fine degli anni novanta. L’adeguamento della strumentazione fissa di monitoraggio è stata avviata alla fine dell’anno 2007 e ora è in fase di completamento.

La rete di monitoraggio della qualità dell’aria prevede a regime un totale di 13 centraline di cui 6 dislocate sul territorio della provincia di Terni e 7 su quella di Perugia. Nella tabella 2.1 Sono riportate le centraline realizzate e previste insieme alla localizzazione e altre caratteristiche tecniche. Il controllo sulla qualità dell’aria a livello regionale è poi completato attraverso altri monitoraggi presso i principali siti industriali.

Questa rete di monitoraggio è pensata per la rilevazione di tutti gli inquinanti previsti dalla normativa e non solo l’ozono. Per quanto riguarda più specificamente il monitoraggio dell’ozono, così come indicato dal D.Lgs. 183/04, i sistemi fissi di misura sono un sottoinsieme della rete regionale; la consistenza di tale rete è riassunta nella tabella 2.2 mentre in figura 2.1 è riportata la localizzazione delle centraline in funzione, comprese quelle attivate nel 2008; sono state mostrate anche due centraline, a Spoleto e Orvieto, non facenti parte della rete regionale (tabella 2.3) ma che, disponendo comunque di sistemi di misura di ozono, sono state ugualmente prese in considerazione per l’analisi dei dati di monitoraggio.

Le centraline, come riportato nella tabella 2.2, sono classificate tra Urbane, Suburbane e Rurale, così come previsto dal DLgs 183/04; ad oggi non è stata individuata la centralina di tipo Fondo Rurale in quanto, data la sua natura, il numero e la localizzazione dovrebbero essere decise su base nazionale e non regionale.

In particolare, la norma definisce i criteri per la classificazione e l’ubicazione su macroscala dei punti per la misurazione continua in siti fissi:

Urbane: è finalizzata alla protezione della salute umana e, pertanto, a determinare l’esposizione della popolazione in aree urbane ovvero in aree con densità di popolazione relativamente alta e, quindi, rappresentativa dell’esposizione della popolazione generale. Tali centraline devono essere posizionate lontano dall’influsso di emissioni locali come traffico, distributori di carburante, in zone sufficientemente areate da garantire un’adeguata miscela delle sostanze misurate. Ad esempio, le aree più idonee sono quelle ad uso residenziale, commerciale, pachi, strade o piazze ampie, aree aperte con strutture scolastiche, ricreative o sportive. I punti di campionamento, inoltre, sono scelti in modo da poter essere rappresentativi di zone analoghe non ubicate nelle immediate vicinanze.

Suburbana: è finalizzata alla protezione della salute umana e della vegetazione e, pertanto, a determinare l’esposizione della popolazione e della vegetazione alla periferia degli agglomerati dove popolazione e vegetazione possono essere esposti direttamente o indirettamente. Tali centraline devono essere posizionate non nelle immediate vicinanze dell’area di massima emissione, sottovento rispetto alla direzione o alle direzioni principali

del vento, quando si verificano le condizioni favorevoli alla formazione dell'ozono. Aree in cui la popolazione, le culture sensibili o gli ecosistemi naturali situati ai margini estremi di un agglomerato sono esposti ad elevati livelli di ozono. I punti di campionamento, inoltre, sono scelti in modo da poter essere rappresentativi di zone analoghe non ubicate nelle immediate vicinanze

Rurale: è finalizzata alla protezione della salute umana e della vegetazione e, pertanto, a determinare l'esposizione della popolazione, delle culture e degli ecosistemi naturali alle concentrazioni di ozono su scala sub regionale. Tali centraline possono essere situate in piccoli insediamenti e/o aree con ecosistemi naturali, foreste o a culture. Le aree sono rappresentative della concentrazione di ozono distanti dall'influenza di emissioni locali immediate, come insediamenti industriali e strade ovvero aree aperte, ma non alla sommità di montagne. I punti di campionamento, inoltre, sono scelti in modo da poter essere rappresentativi di zone analoghe non ubicate nelle immediate vicinanze.

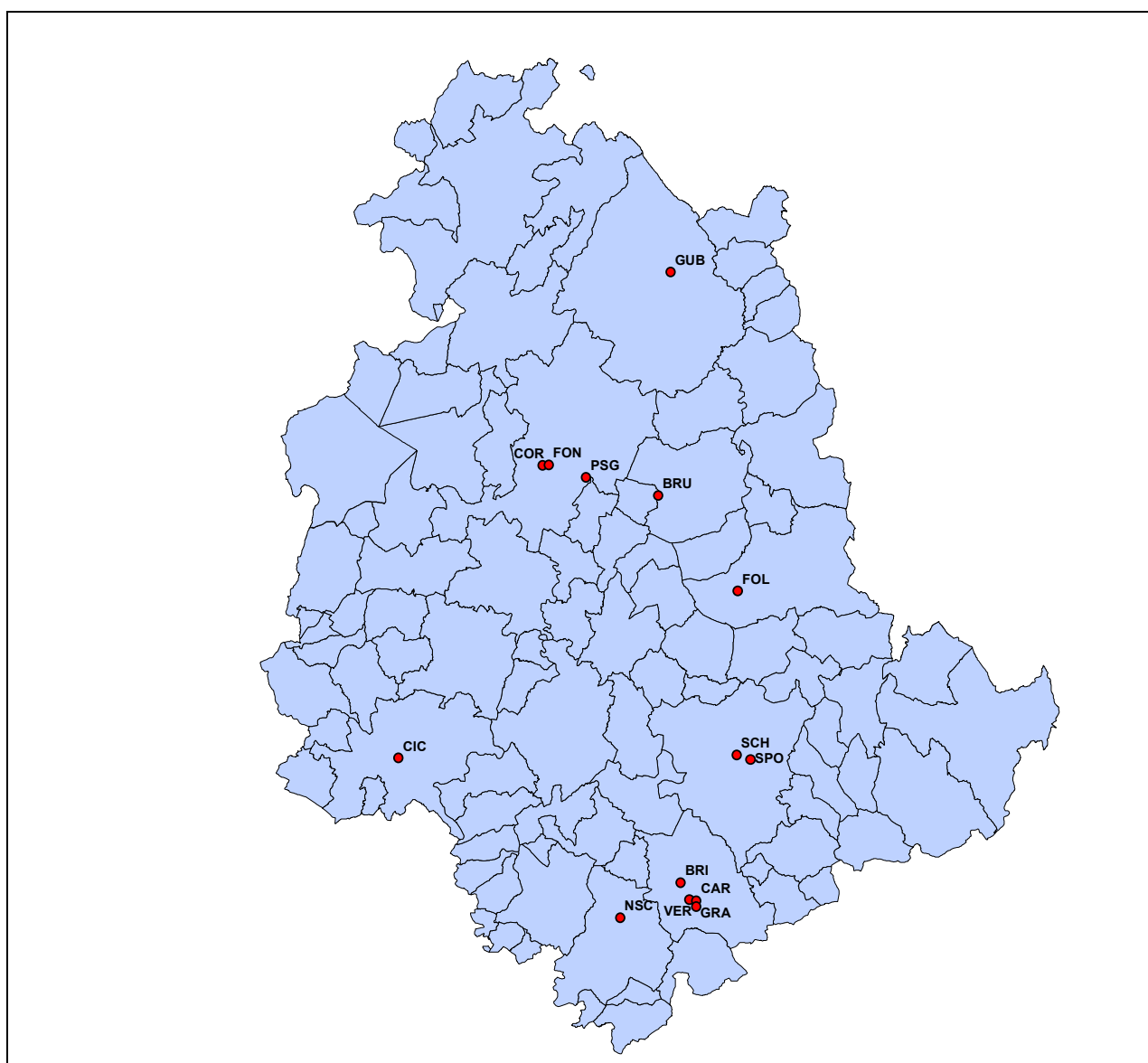


Figura 2.1: Posizionamento delle centraline appartenenti alla Rete Regionale per il controllo dell'ozono nell'aria; ad esse sono aggiunte due stazioni non facenti parte della rete ma esistenti sul territorio (Spoleto S. Chiodo e Orvieto Ciconia).

Tabella 2.1: Consistenza della Rete Regionale per il controllo della qualità dell'aria ambiente.

Indirizzo – Nome centralina	Anno di attivazione della centralina	Tipologia ai sensi DM60/02	Inquinati monitorati	
Comune di Terni				
Ponte Carrara – Carrara (CAR)	1995	Rappresentativa dei livelli più elevati di esposizione (Allegato VIII punto I a 1)	- Polveri fini (PM ₁₀ e PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Benzene	- Monossido di carbonio - Ozono
Via Verga – Verga (VER)	2000	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Via B. Croce – Le Grazie (GRA)	2004	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀ e PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Piombo - Monossido di carbonio - Ozono
Via dell’Aquila -Borgo Rivo (BRI)	2000	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Comune di Narni				
Via Tuderte - Narni Scalo (NSC)	1980	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Loc. Ospedaletto	Da realizzare		- Ossidi di azoto - Ozono	
Comune di Perugia				
Piazza del Bacio – Fontivegge (FON)	1997	Rappresentativa dei livelli più elevati di esposizione (Allegato VIII punto I a 1)	- Polveri fini (PM ₁₀ e PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Piombo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Parco Cortonese – Cortonese (COR)	1998	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀ PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Via della Scuola - P. S. Giovanni (PSG)	1998	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀ e PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Comune di Spoleto				
Piazza Vittorio – P. Vittoria (SPO)	2005	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM ₁₀ e PM _{2,5}) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono

Segue

Indirizzo – Nome centralina	Anno di attivazione della centralina	Tipologia ai sensi DM60/02	Inquinati monitorati	
Comune di Foligno				
Porta Romana – P. Romana (FOL)	2008	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM10) - Ossidi di azoto - Benzene	- Monossido di carbonio
Comune di Gubbio				
Piazza 40 Martiri – P. 40 Martiri (GUB)	2008	Rappresentativa dell’esposizione della popolazione in generale (Allegato VIII punto I a 2)	- Polveri fini (PM10) - Ossidi di azoto - Monossido di carbonio	
Comune di Torgiano				
Loc. Brufa – Brufa (BRU)	2008	Fondo Rurale	- Ossidi di azoto - Ozono	

Tabella 2.2: Consistenza della Rete Regionale per il controllo dell'ozono nell'aria.

Indirizzo – Nome centralina	Anno di attivazione della centralina	Tipologia ai sensi DLgs 183/04	Inquinanti monitorati	
Comune di Terni				
Ponte Carrara- Carrara (CAR)	1995	Urbana	- Polveri fini (PM10 e PM2.5) - Ossidi di azoto - Benzene	- Monossido di carbonio - Ozono
Via Verga – Verga (VER)	2000	Urbana	- Polveri fini (PM10) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Via B. Croce - Le Grazie (GRA)	2004	Suburbana	- Polveri fini (PM10 e PM2.5) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Piombo - Monossido di carbonio - Ozono
Via dell’Aquila -Borgo Rivo (BRI)	2000	Suburbana	- Polveri fini (PM10) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Comune di Narni				
Via Tuderte - Narni Scalo (NSC)	1980	Suburbana	- Polveri fini (PM10) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Loc. Ospedaletto	Da realizzare	Rurale	- Ossidi di azoto - Ozono	
Comune di Perugia				
Piazza del Bacio – Fontivegge (FON)	1997	Urbana	- Polveri fini (PM10 e PM2.5) - Ossidi di azoto - Piombo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Parco Cortonese –Cortonese (COR)	1998	Suburbana	- Polveri fini (PM10 PM2.5) - Ossidi di azoto - Ossidi di zolfo	- Benzene - Monossido di carbonio - Ozono
Via della Scuola - P. S. Giovanni (PSG)	1998	Urbana	- Polveri fini (PM10 e PM2.5) - Ossidi di azoto - Benzene	- Ozono
Comune di Torgiano				
Loc. Brufa – Brufa (BRU)	2008	Rurale	- Ossidi di azoto - Ozono	

Tabella 2.3: Descrizione stazioni fisse non appartenenti alla rete regionale ma in possesso di analizzatori di ozono

Indirizzo – Nome centralina	Anno di attivazione della centralina	Tipologia ai sensi DM60/02	Inquinati monitorati	
Comune di Spoleto				
Località Santo Chiodo (SCH)	//	Non appartenente alla rete regionale	- Ossidi di azoto - Ozono - Monossido di carbonio	- Polveri fini (PM10)
Comune di Orvieto				
Località Ciconia (CIC)	//	Non appartenente alla rete regionale	- Ossidi di azoto - Ozono - Monossido di carbonio	

Rurale di fondo: è finalizzata alla protezione della salute umana e della vegetazione e, pertanto, a determinare l'esposizione della popolazione, delle culture e degli ecosistemi naturali alle concentrazioni di ozono su scala regionale. Tali centraline possono essere posizionate in aree a bassa densità di popolazione, ad esempio con ecosistemi naturali, foreste, a grande distanza da aree urbane ed industriali e dall'influenza delle emissioni locali, evitare la sommità delle montagne.

Inoltre, per le zone e gli agglomerati in cui le concentrazioni di ozono hanno superato l'obiettivo a lungo termine e nel caso in cui la misurazione continua in siti fissi sia l'unica fonte di informazioni, il numero minimo di stazioni è fissato in base alla popolazione:

- per agglomerati con popolazione minore di 500.0000 abitanti il numero minimo di stazioni urbane e suburbane è pari a 1
- per zone con popolazione minore di 500.0000 abitanti il numero minimo di stazioni suburbane e rurali è pari a 2.
- La stazione rurale di fondo è indicata come 1 ogni 50.000 km².

Data la tipologia di classificazione delle stazioni fisse per le misure in continuo e la loro collocazione sul territorio, ciascuna centralina è utilizzata in modo differente per valutare l'esposizione della popolazione o della vegetazione.

In particolare, tutte le centraline in funzione al 2007, mancando quelle Rurali, possono essere utilizzate per la protezione della popolazione, ma solo quelle suburbane possono essere utilizzate per la protezione della vegetazione.

Pertanto, nei paragrafi seguenti saranno riportati gli andamenti delle misure a partire dal 2004 in base al tipo di classificazione e ubicazione dei sistemi fissi di misurazione in continuo.

2.2 Valore bersaglio (VB) e obiettivo a lungo termine (OBL) per protezione della salute umana

Il Valore bersaglio (VB) è un livello fissato al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana da conseguirsi, per quanto possibile, entro un dato periodo di tempo. Il livello fissato dalla normativa è pari a **120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ calcolato come il massimo giornaliero della media mobile su 8 ore, da non superare per più di 25 giorni per anno civile intesi come media su tre anni.**

Il livello fissato in modo così complesso cerca di proteggere la salute umana da effetti a lungo termine, ovvero per esposizioni a valori contenuti di ozono ma per lunghi periodi; basti pensare che, invece, il valore ritenuto di allarme è pari a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, quindi il doppio di quello bersaglio, ma il tempo è ridotto a tre ore consecutive. Dall'analisi dei dati, il valore di allarme in Umbria ad oggi non risulta mai superato.

Come già in precedenza accennato, le centraline attualmente in funzione sul territorio umbro sono state individuate e classificate nel Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della Qualità dell'Aria in base alle caratteristiche ambientali e ai livelli di ozono nell'aria misurati dalla strumentazione disponibile al momento della realizzazione del Piano stesso. A questo va aggiunta la classificazione in zone prevista dal Piano che, pur non considerando direttamente l'ozono, tiene conto della presenza di altri inquinanti tra i quali anche alcuni precursori dell'ozono stesso.

Come prima analisi dell'andamento dei livelli di ozono nell'aria, nella figura 2.2 è riportato per ogni anno, a partire dal 2004 sino al 2007, i massimi annuali delle medie mobili su 8 ore per tutte le stazioni della Rete Regionale; nella figura 2.3 è invece riportato il numero totale annuo di giorni con superamenti del valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

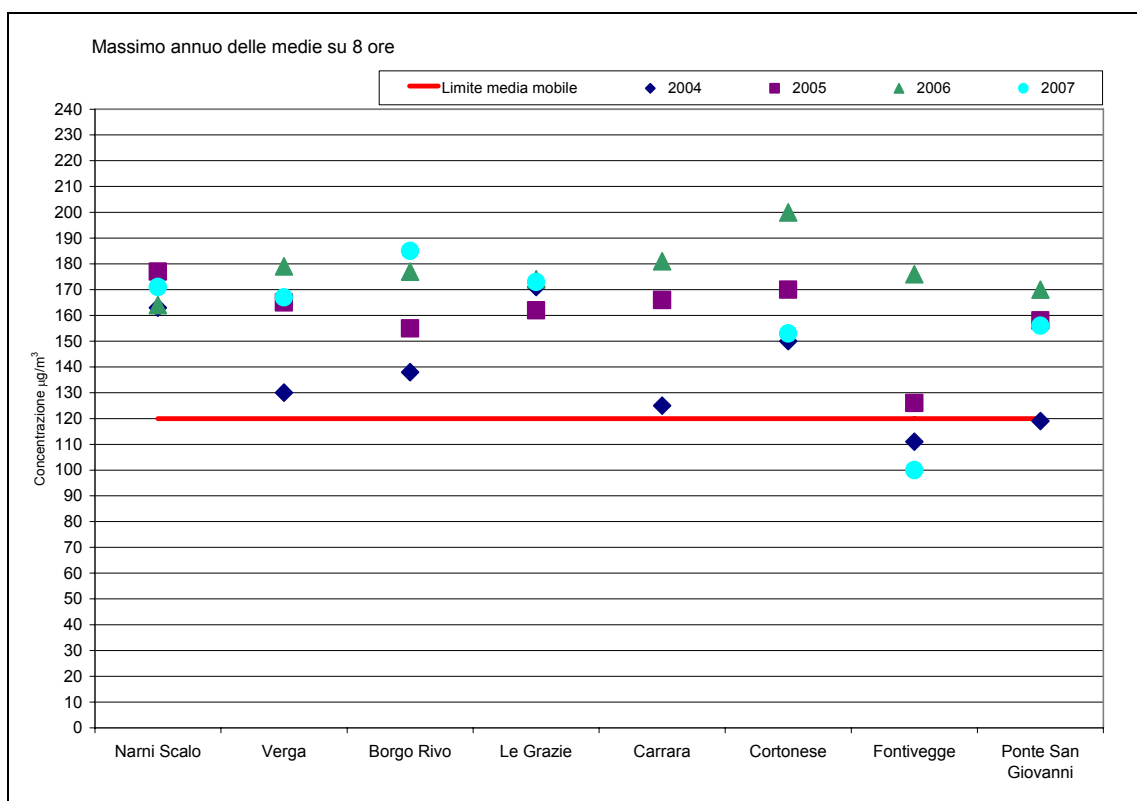


Figura 2.2: Massimi annuali giornalieri della media mobile su 8 ore per tutte le stazioni della Rete Regionale.

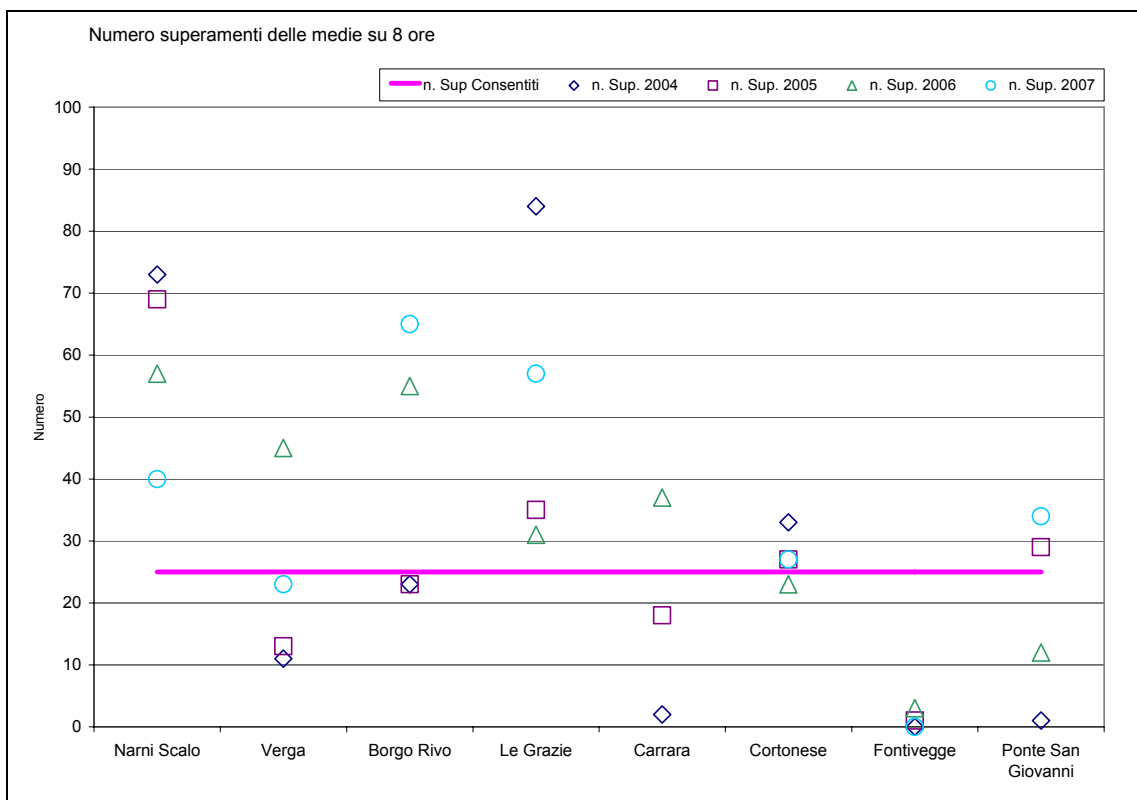


Figura 2.3: Numero dei superamenti del valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore per tutte le stazioni della Rete Regionale.

Dall'analisi dei dati è evidente (figure 2.2 e 2.3) che solo per alcune stazioni si hanno un numero di superamenti superiore a 25; inoltre, in alcuni casi come per la stazione Fontivegge, negli anni 2004 e 2007 il valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ non è mai stato raggiunto. In figura 2.4 e in figura 2.5 sono riportati rispettivamente i massimi annuali delle medie mobili su 8 ore e il numero di superamenti annui mediati su tre anni per le sole stazioni della Rete Regionale nelle quali è stato superato il valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte in ogni anno.

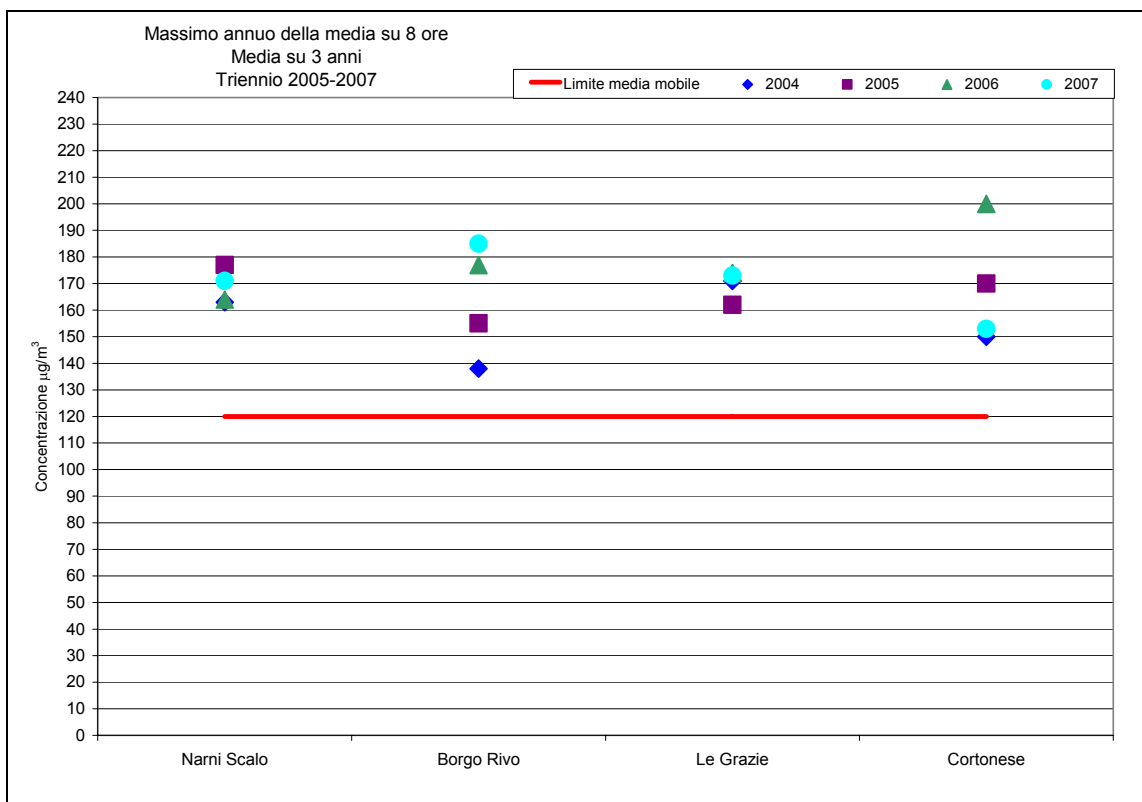


Figura 2.4: Massimi annuali giornalieri della media mobile su 8 ore per le stazioni con più di 25 superamenti in un anno come media su tre anni.

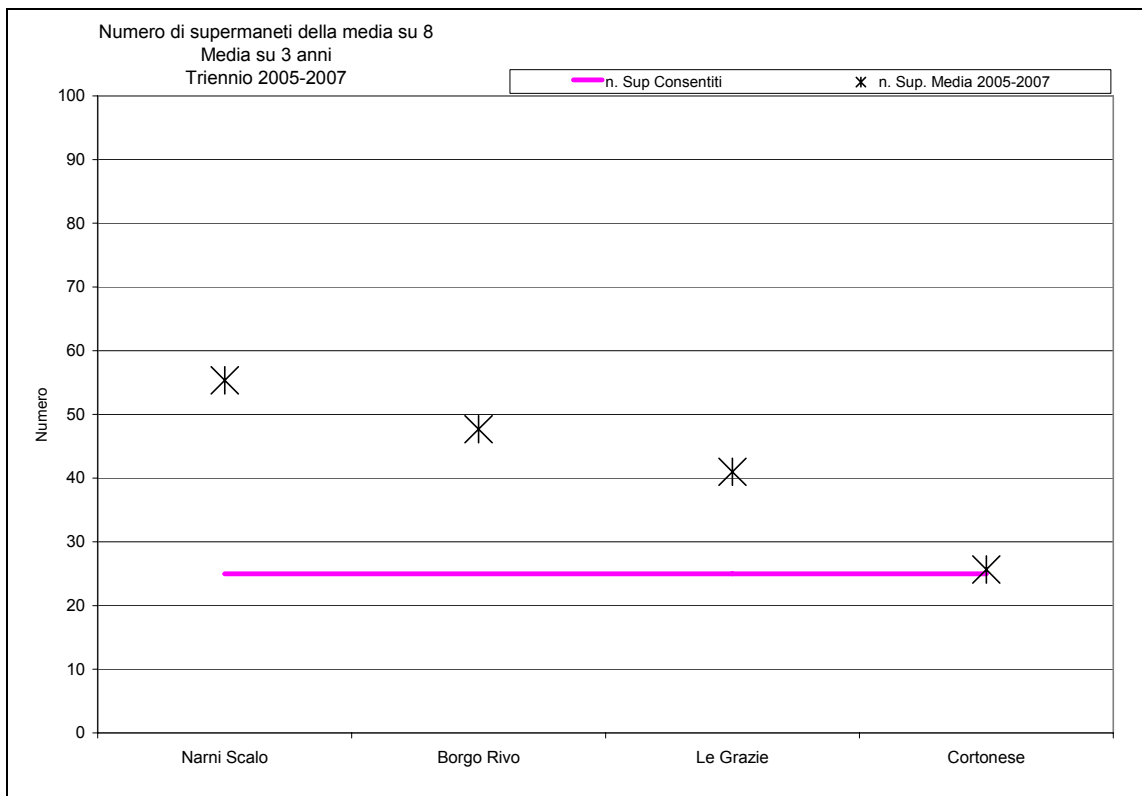


Figura 2.5: Numero superamenti come media su tre anni della media mobile su 8 ore per le stazioni con più di 25 superamenti in un anno.

Nelle figure da 2.6 a 2.13 sono riportate le medesime informazioni ma suddivise per ogni singola stazione e mostrate in funzione dell'anno.

I dati evidenziano che i livelli di ozono nell'aria superano i valori bersaglio per 4 centraline su 8 per il triennio 2005-2007.

Per quanto riguarda la valutazione dell'obiettivo a lungo termine (OLT), sempre pari a **120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media mobile su 8 ore ma senza un numero di superamenti ammessi**, anche questo non risulta rispettato per nessuna stazione eccezion fatta per quella di Fontivegge a Perugia. Quest'ultima, essendo posizionata in zona con un'elevata presenza di traffico automobilistico, potrebbe risentire del fenomeno di distruzione dell'ozono da parte degli ossidi di azoto prodotti nelle immediate vicinanze della stazione.

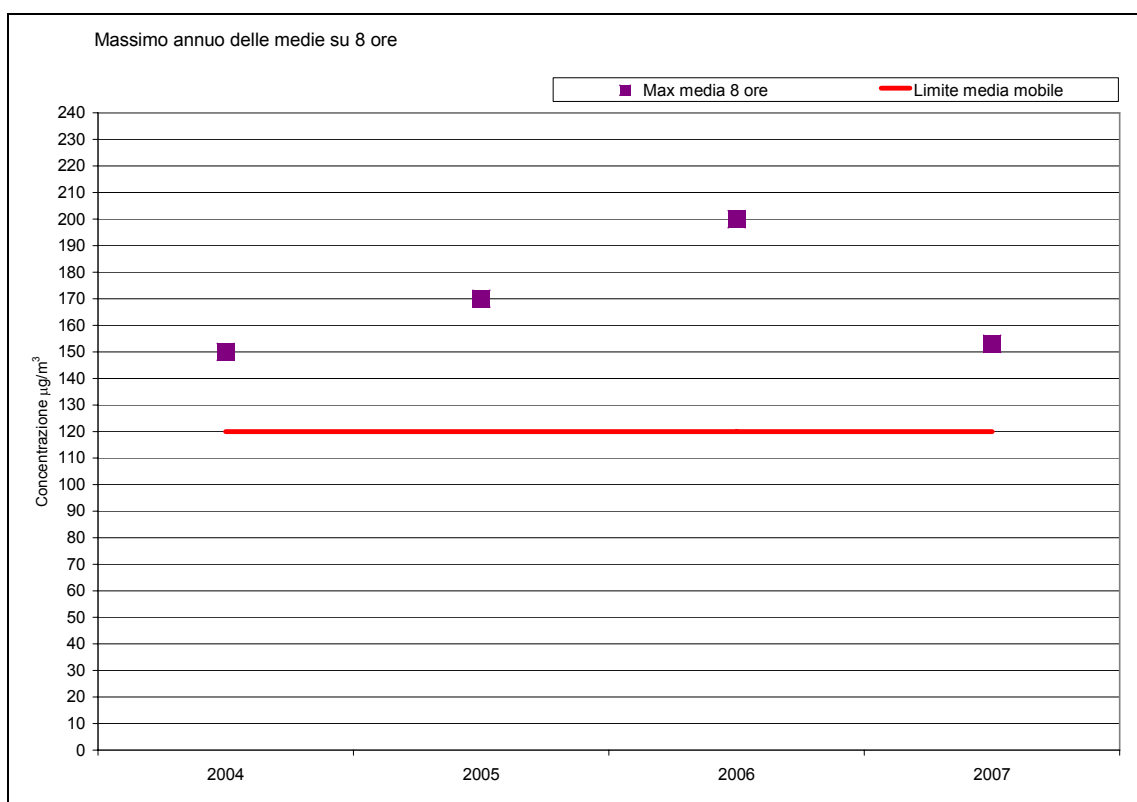


Figura 2.6: Massimi annuali della media mobile su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte in un anno Stazione Cortonese – Perugia.

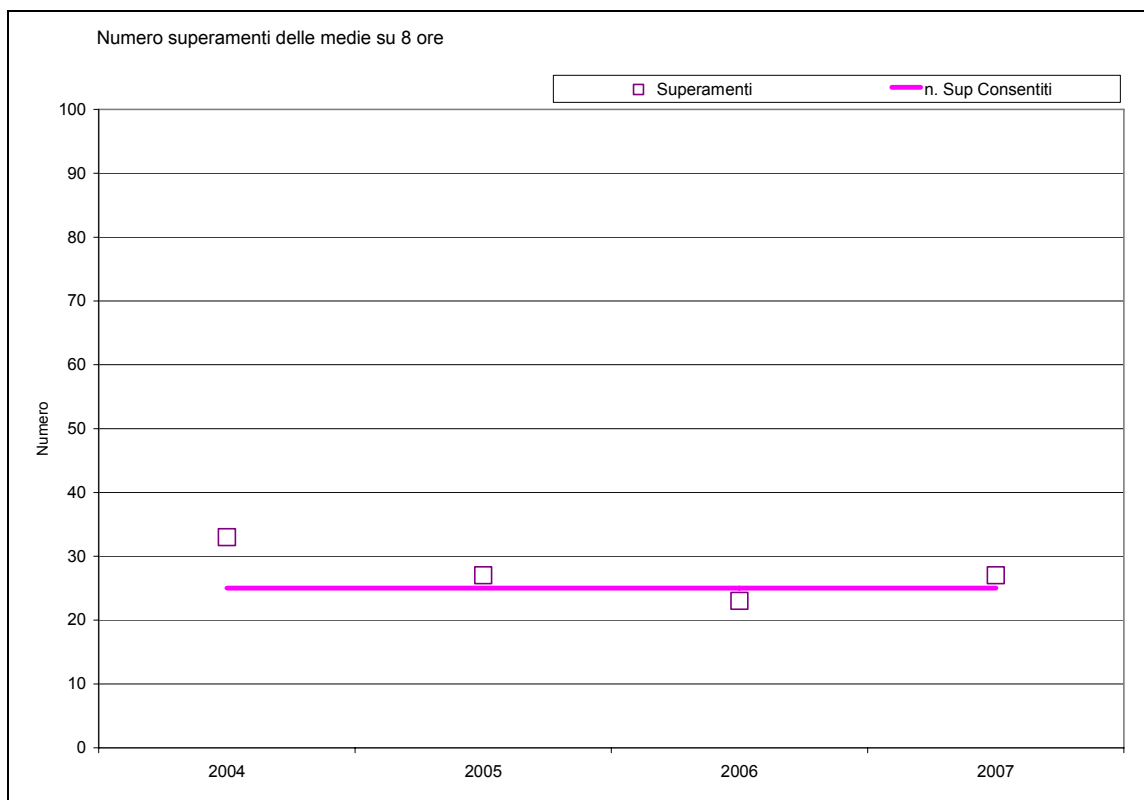


Figura 2.7: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Cortonese – Perugia.

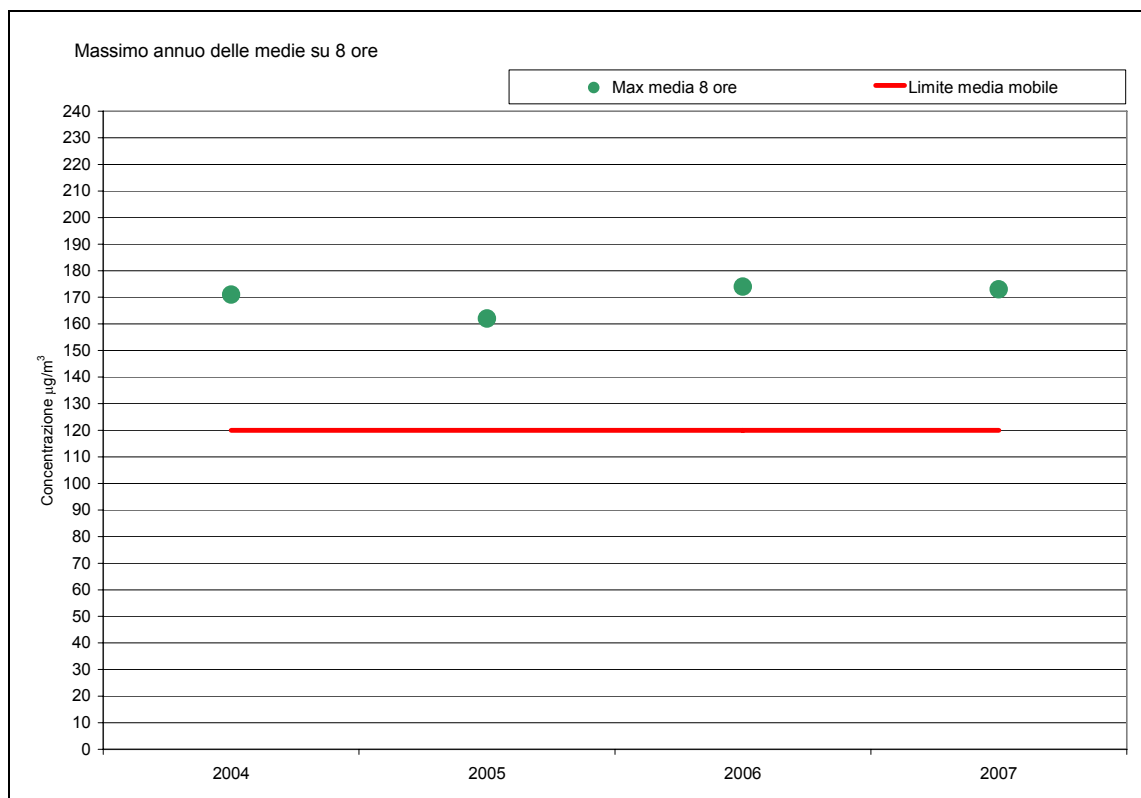


Figura 2.8: Massimi annuali della media mobile su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte in un anno Stazione Le Grazie – Terni.

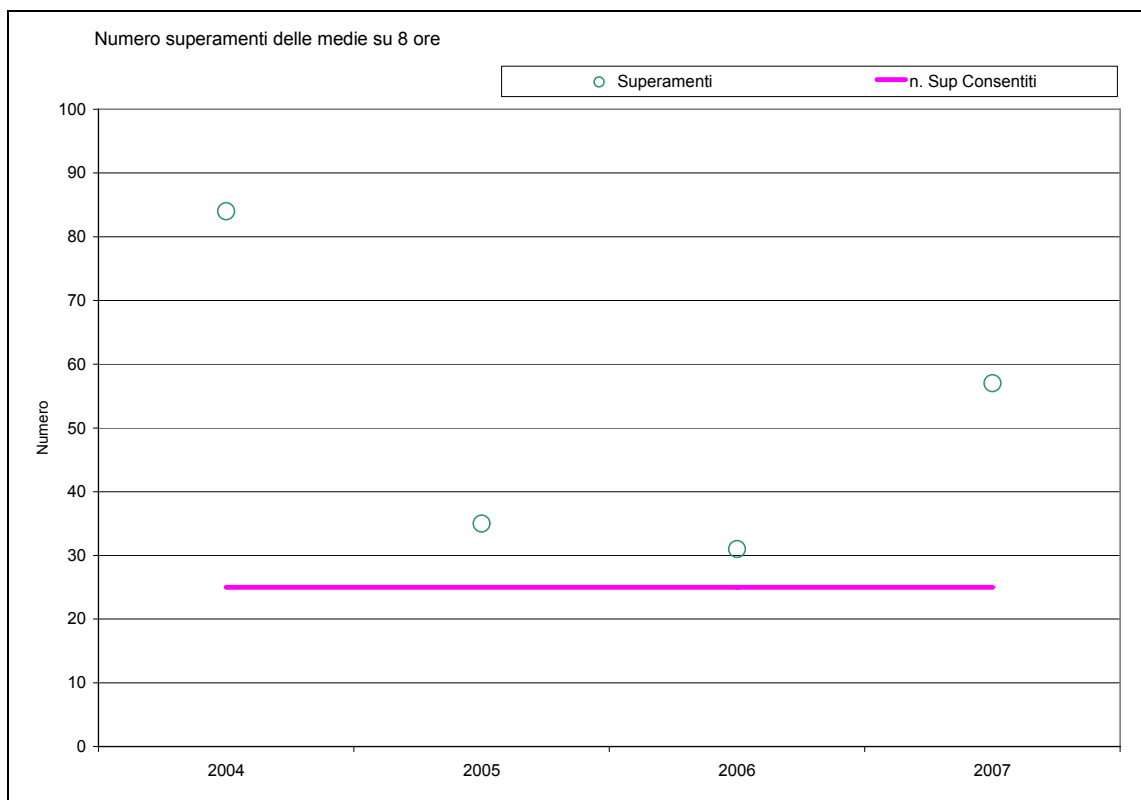


Figura 2.9: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Le Grazie – Terni.

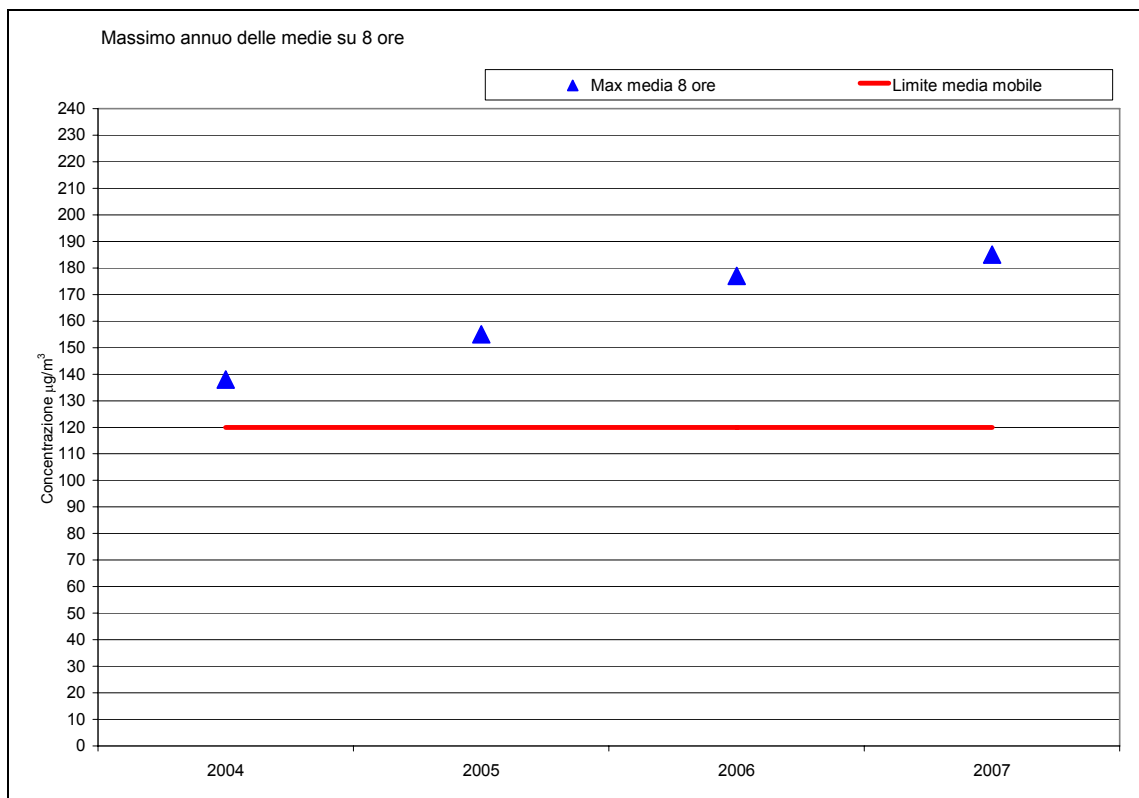


Figura 2.10: Massimi annuali della media mobile su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte in un anno Stazione Borgo Rivo – Terni.

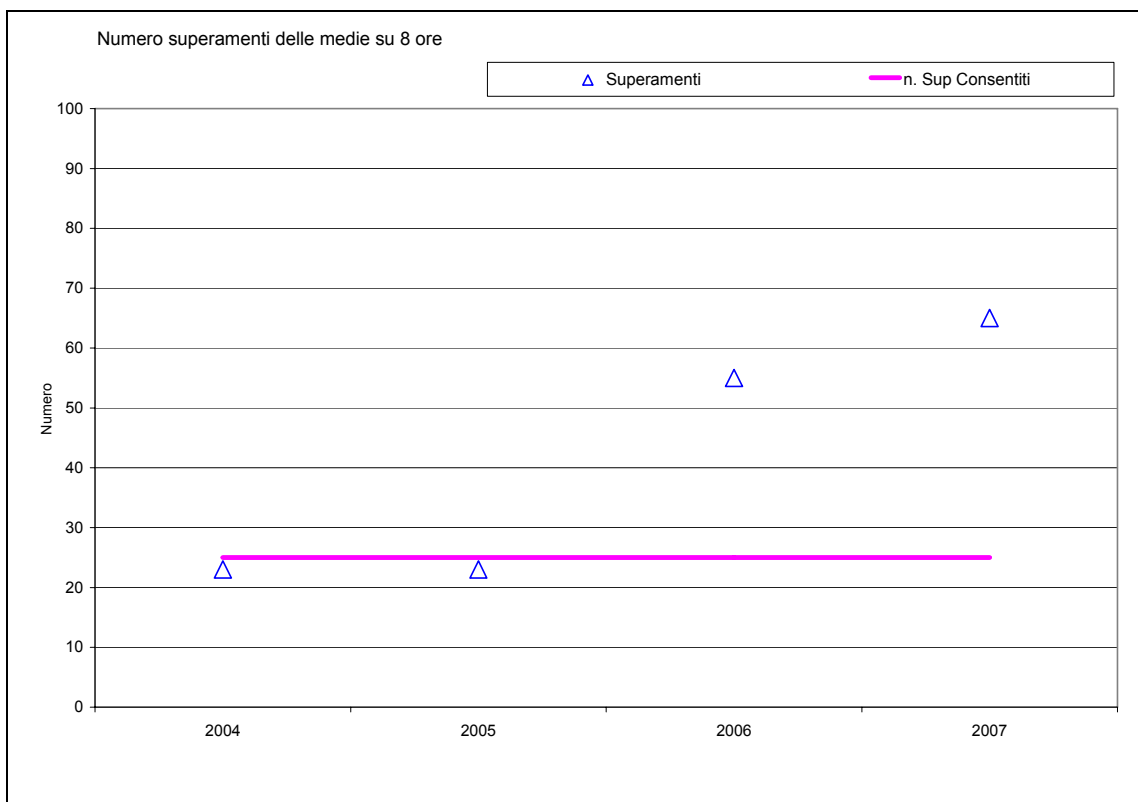


Figura 2.11: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Borgo Rivo – Terni.



Figura 2.12: Massimi annuali della media su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte in un anno Stazione Narni Scalo – Narni.



Figura 2.13: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Narni Scalo – Narni.

Sempre per valutare l'OLT, analizzando l'andamento dei valori massimi giornalieri delle medie mobili sulle 8 ore di due delle centraline suburbane, si nota in modo ancora più evidente il non rispetto dell'obiettivo a lungo termine (figure 2.14 e 2.15) in particolare nei mesi estivi, evidenziati con un cerchio nelle figure.

Le stazioni, come riportato in figura 2.1, sono posizionate all'interno di due zone IT1001 e IT1002, individuate dalla zonizzazione prevista nel vigente PRQA come zone di risanamento per gli inquinanti ossidi di azoto, monossido di carbonio e polveri fini. Le due zone comprendono più comuni confinanti; in particolare:

- IT1001: Assisi, Bastia Umbra, Corciano, Magione, Perugia, Torgiano e Umbertide
- IT1002: Narni e Terni

Da questa prima valutazione per le due zone risultano non rispettati i valori previsti per l'ozono, ovvero non c'è il rispetto né per il VB né per l'OLT.

Le altre zone di risanamento individuate dal vigente PRQA sono:

- IT1003: Gubbio e Spoleto
- IT1004: Città di Castello, Foligno e Orvieto

I restanti comuni della regione ricadono tutti in zona IT1005 di mantenimento della qualità dell'aria.

Per quanto riguarda le zone IT1003 e IT1004, sono attualmente disponibili dati per gli anni 2004 - 2007 rilevati presso una stazione a Spoleto e una ad Orvieto. Queste due stazioni non fanno parte della rete regionale ma sono da tempo presenti sul territorio e hanno a

disposizione analizzatori di ozono; per cui, i dati sono stati utili per queste analisi relativamente ai due territori di interesse.

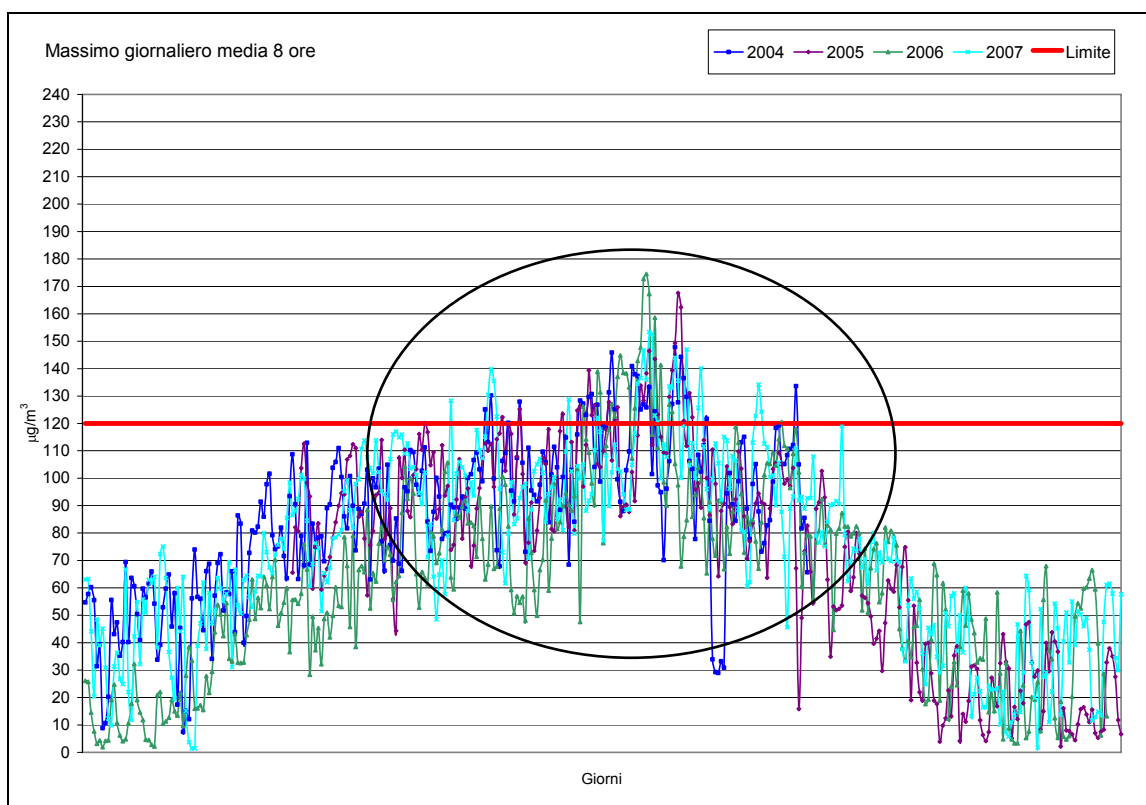


Figura 2.14 Massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore; il cerchio evidenzia il periodo estivo. Stazione Cortonese – Perugia.

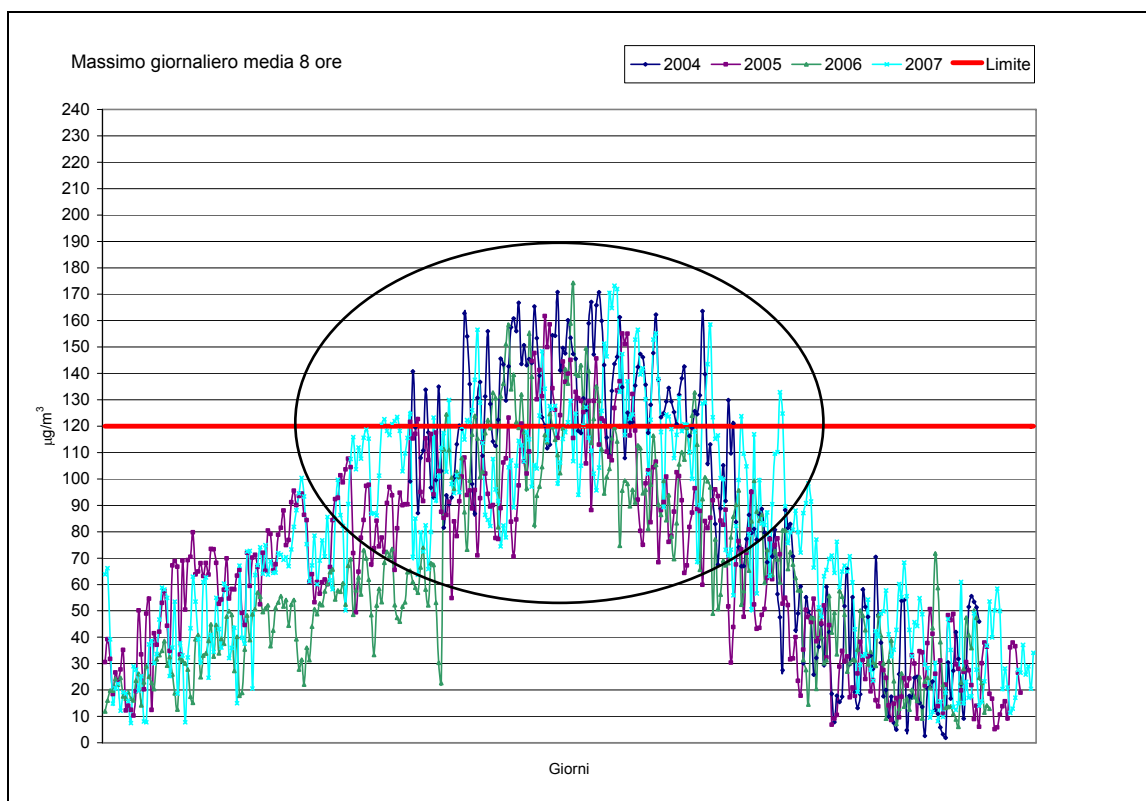


Figura 2.15 Massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore; il cerchio evidenzia il periodo estivo Stazione Le Grazie – Terni.

La stazione di Spoleto è situata in località Santo Chiodo nell'area industriale alla periferia della città dove, oltre alle emissioni industriali, sono presenti emissioni da trasporto su strada.

A Orvieto la stazione è posizionata in località Orvieto Scalo presso un edificio scolastico: la località è un piccolo centro abitato che risente della presenza dell'autostrada A1 come principale fonte di emissioni.

I dati sintetici misurati dalle due stazioni sono riportati nelle figure 2.16 e 2.19: si può osservare che per entrambe le situazioni si ha il rispetto del valore bersaglio in quanto per nessun anno dal 2004 al 2007 si sono verificati più di 25 superamenti del valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Per quanto riguarda invece il valore obiettivo a lungo termine, i dati mostrano in questo caso il non rispetto del livello.

Ad questa prima analisi le stazioni fisse di monitoraggio evidenziano che:

- zona IT1001 non rispetta né i valori bersaglio né gli obiettivi a lungo termine
- zona IT1002 non rispetta né i valori bersaglio né gli obiettivi a lungo termine
- zona IT1003 rispetta i valori bersaglio ma non gli obiettivi a lungo termine
- zona IT1004 rispetta i valori bersaglio ma non gli obiettivi a lungo termine

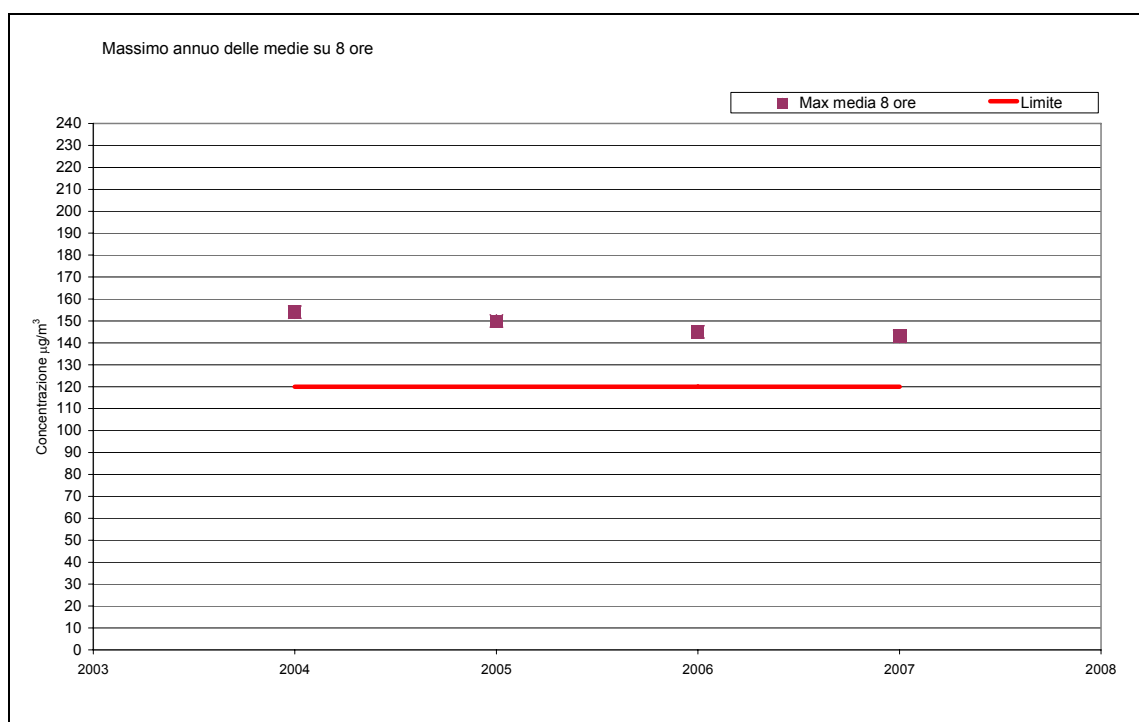


Figura 2.16 Massimi annuali della media mobile su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Stazione Santo Chiodo – Spoleto.

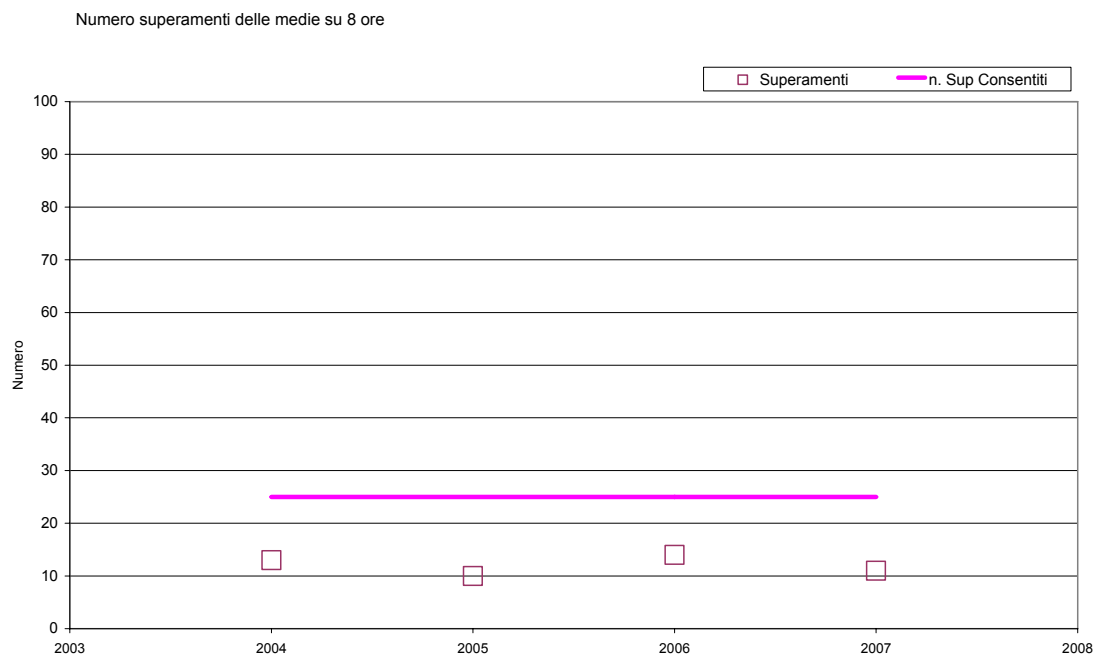


Figura 2.17: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Santo Chiodo – Spoleto.

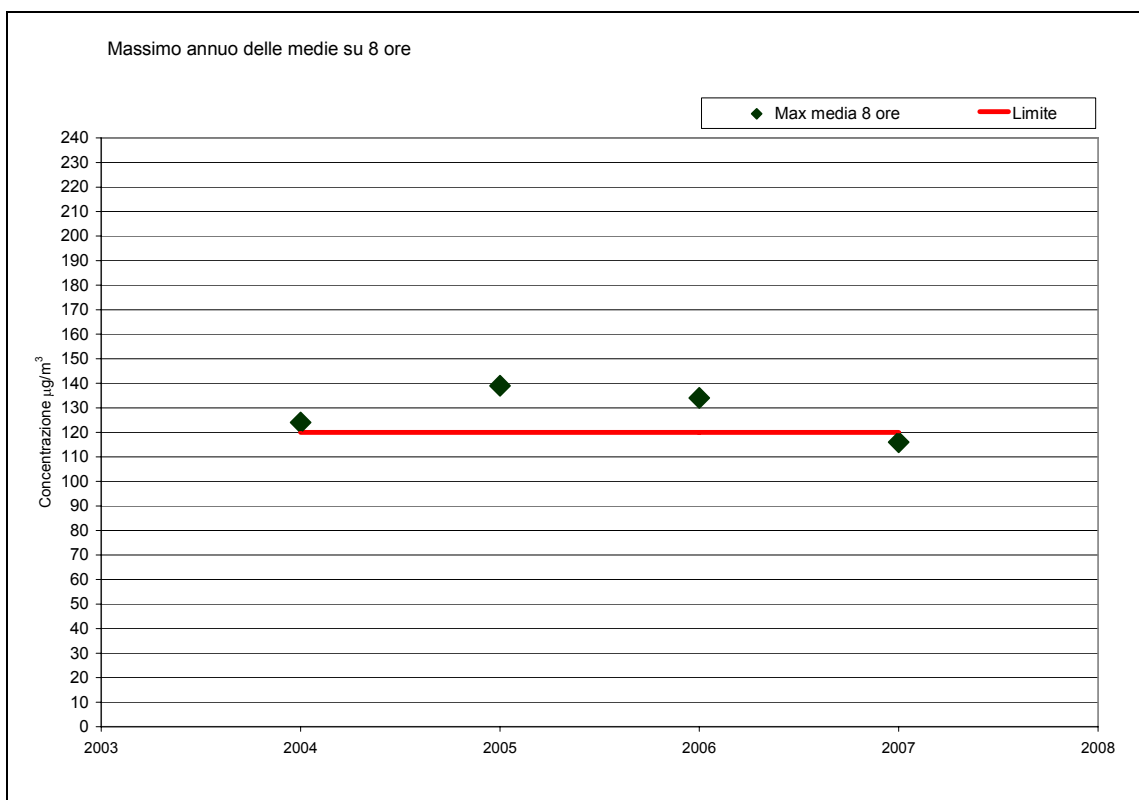


Figura 2.18: Massimi annuali della media mobile su 8 ore superiori al valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Stazione Ciconia – Orvieto.

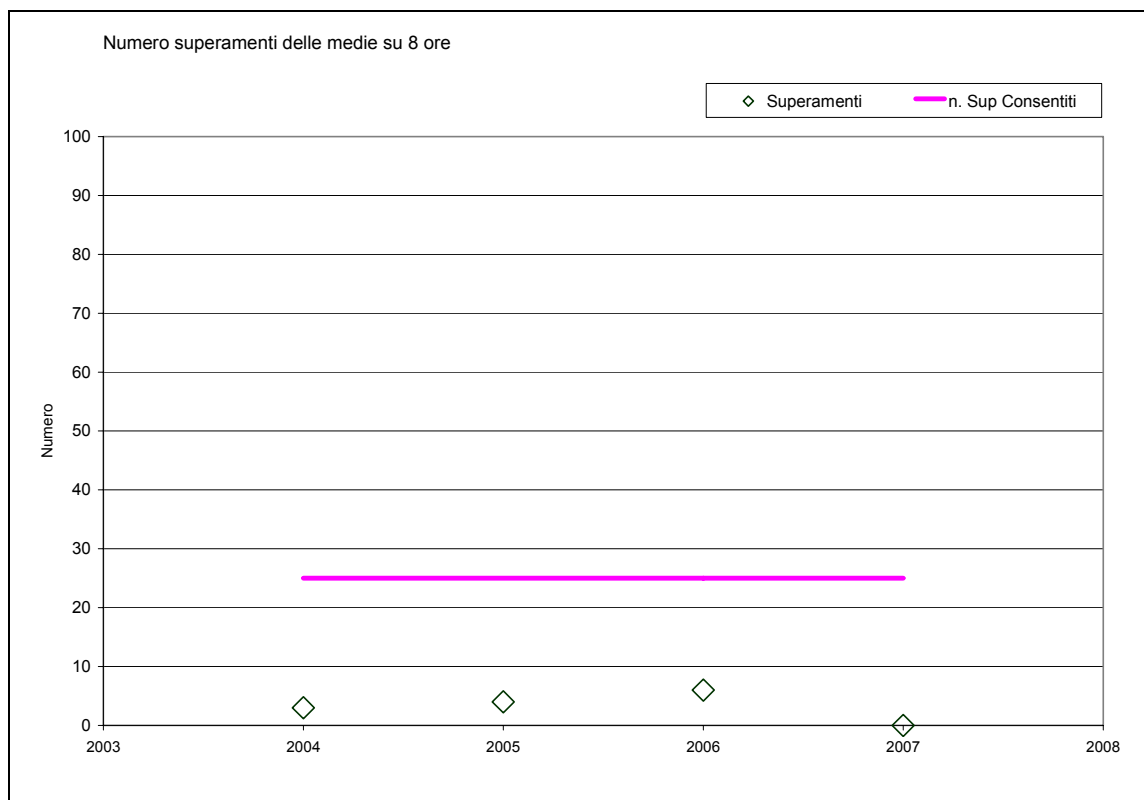


Figura 2.19: Numero totale annuo di superamenti della media mobile su 8 ore massima giornaliera Stazione Ciconia – Orvieto.

Data la loro caratteristica tecnica le centraline valutano le misure in modo puntuale ovvero nell'are circostante la loro posizione.

Per valutare la loro rappresentatività per un'area più vasta si effettuerà un incrocio dei dati misurati con quelli valutati con l'utilizzo di modelli matematici.

Questo potrà permetterci di confermare o meno la loro rappresentatività della zona in cui sono posizionate e conseguentemente le valutazioni preliminari finalizzate ad individuare le zone in cui i livelli di ozono nell'aria superano i valori bersaglio, o non superano i valori bersaglio ma superano gli obiettivi a lungo termine o sono conformi agli obiettivi a lungo termine.

2.3 Misure con campionatori passivi

I campionatori passivi utilizzati sono di tipo Radiello® (vedi la figura 2.20). Questi sono composti da un corpo diffusivo circolare che supporta e mette in contatto con l'aria in maniera adeguata una cartuccia adsorbente in esso contenuta. I gas attraversano la superficie esterna dell'apparecchio (S = superficie diffusiva) e la sostanza da campionare rimane intrappolata nella superficie A = adsorbente, collocata all'interno. Con questi rivelatori è possibile misurare direttamente le concentrazioni in aria di alcuni inquinanti, ottenendo le concentrazioni in aria mediate rispetto al periodo di esposizione.

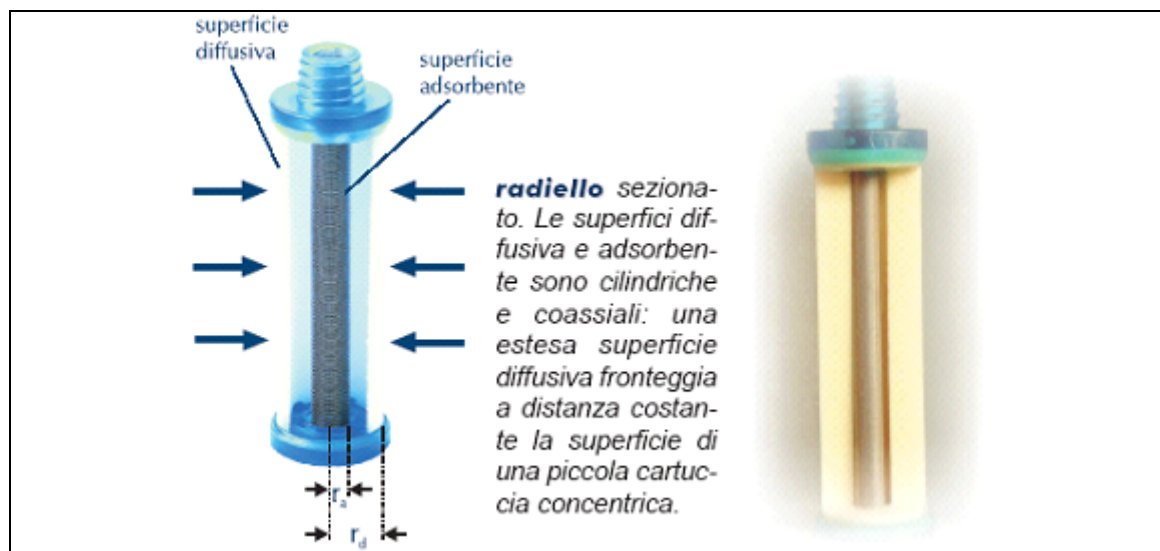


Figura 2.20: il Radiello®.

Tra un periodo di misura e l'altro, si cambia soltanto la cartuccia adsorbente dello strumento che, tuttavia in alcuni casi, può anche essere riutilizzata. Le altre componenti che entrano direttamente in contatto con l'inquinante possono essere, dopo appositi lavaggi, riutilizzate altre 4/5 volte.

Lo strumento è utile per il campionamento di diverse sostanze, tra cui l'ozono troposferico. Il periodo ottimale di misura dell' O_3 è di 3-7 giorni. In questo tempo il campionatore riceve ininterrottamente aria, senza essere influenzato né dalla velocità di quest'ultima, né dall'umidità. Terminato il periodo di raccolta, il campionatore viene smontato e trasferito in laboratorio.

Il risultato è dunque la concentrazione media di ozono durante l'intero periodo di esposizione.

La campagna di misura realizzata in Umbria nell'anno 2006

Nel 2006, all'interno delle attività previste dal Monitoraggio Docup Ob.2 2005-7, è stata realizzata una vasta campagna di misure utilizzando campionatori passivi di tipo Radiello®. La campagna ha previsto la misura di numerosi inquinanti tra cui l'ozono. La scelta dei punti di misura è ricaduta nelle aree industriali selezionate in ambito Docup distribuite su tutto il territorio regionale. Le misure sono state eseguite generalmente per 1 settimana (tempo massimo di esposizione del Radiello® per le misure di ozono) e solo in pochi casi la misura è stata ripetuta per più settimane, il periodo scelto è stato tra maggio e settembre 2006 e, quindi, in estate nel periodo di massima presenza di ozono.

Nella tabella 2.4 è riportato l'elenco delle località selezionate, il numero di campionatori impiegati, il periodo di misura ed il codice assegnato a ciascun sito, mentre nella figura 2.21 è riportata una carta con la localizzazione dei punti.

Tabella 2.4: Località selezionate per le misure di ozono troposferico con Radiello®.

Comune	N° tot di Radiello®	N° settimane di misura per ogni Radiello®	Codice punto
Acquasparta	1	5	ACQ1
Amelia	1	5	AME1
Arrone	1	5	ARR1
Sangemini	1	5	SANG1
Attigliano	1	5	ATT1
Baschi	1	4	BAS1
Orvieto	1	5	ORV3
Magione	2	1	MAG1
			MAG2
Corciano	1	1	COR1
Perugia			COR2
Torgiano	3	1	TOR1
Piegaro	1	1	ENEL1
Spoleto	3	3/3/2	SP01
			SP09
			SP10
Foligno	2	2	FO1
			FO3
Nocera Umbra	1	1	FO5
Gubbio	7	1	PAD1
			PAD2
			PAD3
			MOC1
			MOC2
			MOC3
			MOC4
Città di Castello	3	1	CDC1
			CDC3
			CDC4
Umbertide	3	1	CUM1
			CUM2
			CUM3
Gualdo Tadino	2	1	GT1
			GT2

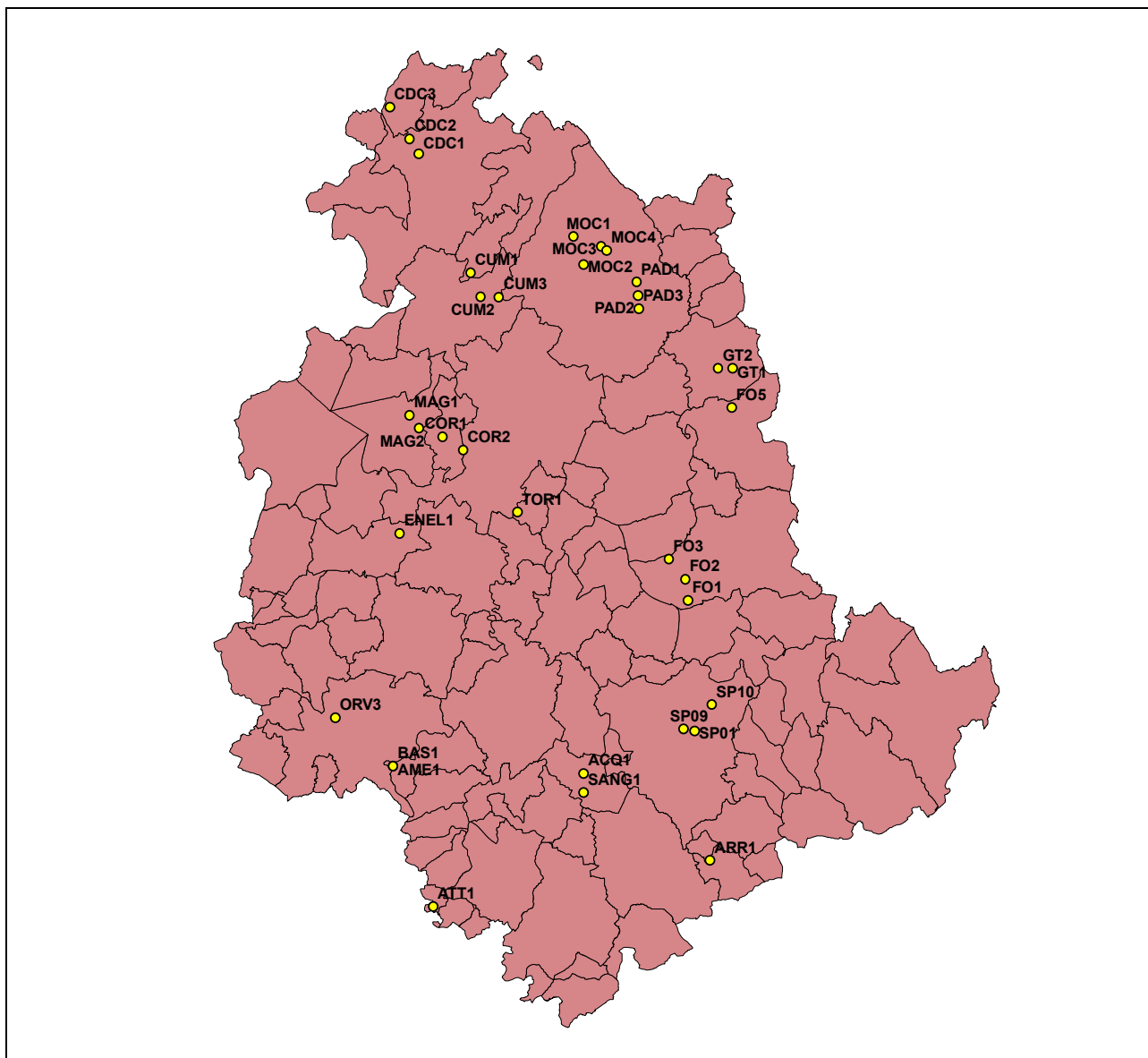


Figura 2.21: Localizzazione di punti utilizzati per le misure con i Radiello®.

Data la tipologia della misura e la brevità di utilizzo del metodo (da una a poche settimane nel periodo estivo del 2006) i risultati vengono riportati in modo sintetico per tutti i punti di misura per le singole settimane di esposizione. Come si può osservare in figura 2.22 i valori misurati risultano tutti inferiori a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Occorre, però, sottolineare che tali misure hanno un valore indicativo in quanto, fornendo il dato medio riferito a tutto il suo periodo di esposizione (una settimana), il Radiello® non permette di fare un confronto diretto con i valori riportati dalla normativa: la soglia di informazione, il valore bersaglio o l'obiettivo a lungo termine.

L'utilizzo dei sistemi passivi ha però il vantaggio che, essendo facilmente collocabili e spostabili, permettono di effettuare misure in un numero considerevole di punti non copribili da strumentazione allocabile solo all'interno di stazioni fisse o mobili.

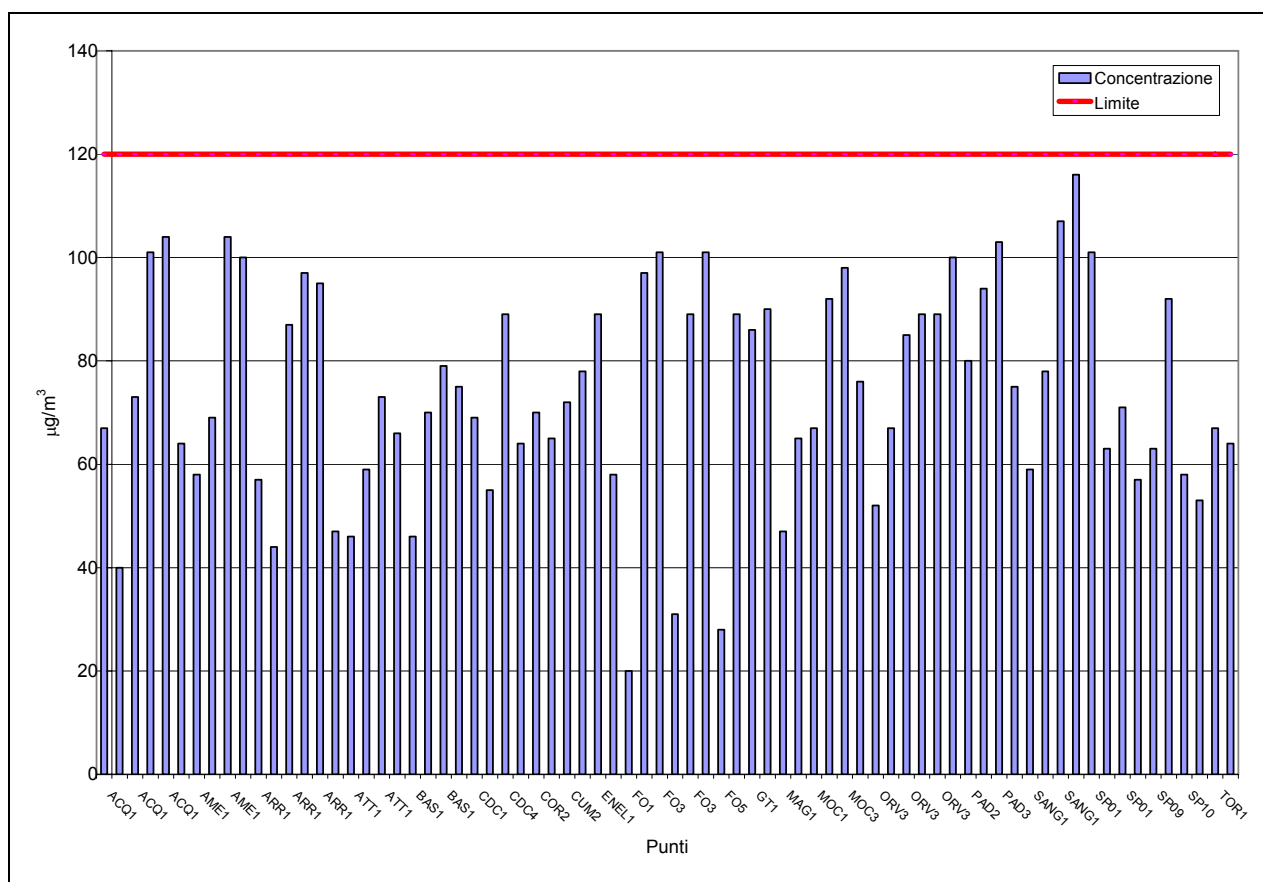


Figura 2.22: Risultati delle misure con Radiello® nel periodo maggio-settembre 2006.

3 Modellistica diffusionale foto-chimica

3.1 Il modello Chimere

Un sistema modellistico di simulazione che tiene conto sia del trasporto che delle trasformazioni chimico-fisiche degli inquinanti è uno strumento fondamentale per avere un quadro completo dello stato dell'aria sull'intero territorio regionale e non solo nelle prossimità delle attuali stazioni di monitoraggio.

Tali sistemi, in genere piuttosto complessi sia come risorse di calcolo che come quantità e tipologia di dati richiesti in ingresso, hanno la possibilità di tenere in considerazione anche le trasformazioni chimico-fisiche, come reazioni tra specie diverse o fenomeni di condensa, e permettono quindi di valutare anche gli inquinanti secondari come, specificatamente, l'ozono.

Per questo è stata sfruttata la catena modellistica di dispersione e trasformazione fotochimica degli inquinanti, implementata nell'ambito di una collaborazione con il Dipartimento di Chimica dell'Università di Perugia e in particolare con il Laboratorio "Computational Dynamics and Kinetics", che si basa sul codice di calcolo Chimere¹ sviluppato da una collaborazione tra alcuni istituti di ricerca francesi (Istituto Pierre Simon Laplace, l'INERIS, LISA, CNRS) e già adottato in Italia dall'ARPA Emilia Romagna e da alcuni enti di ricerca.

Tale sistema sfrutta la potenza di calcolo posseduta da un cluster di 8 nodi di architettura Intel (processori Xeon 3 GHz). Nella tabella 3.1 sono riportati alcuni parametri descrittivi dell'implementazione del modello Chimere.

Su questo sistema è stata realizzata una simulazione di lungo periodo (long-term) che ha coperto tutto il periodo estivo a partire dal mese di maggio fino al mese di agosto, ovvero i mesi più critici per quanto riguarda gli alti valori di ozono nella troposfera.

Tale simulazione ha tenuto conto di tutti gli inquinanti emessi e trasportati in atmosfera su di un dominio di calcolo rettangolare centrato sulla regione Umbria ma molto più esteso: tale dominio è largo 500x400 km ed è composto di una griglia 3D di 100x80 punti in orizzontale per 8 livelli verticali. In figura 3.1 è riportata la proiezione orizzontale del dominio di calcolo utilizzato.

Per poter effettuare la simulazione sono stati usati numerosi dati di input reperiti da enti e istituti esterni e, in seguito, ri-elaborati per essere adattati al modello Chimere utilizzando specifiche interfacce ideate e realizzate appositamente nell'ambito della suddetta collaborazione.

Inoltre, è stato necessario anche intervenire direttamente nel codice stesso del modello Chimere per risolvere alcuni malfunzionamenti (bug) e alcune implementazioni sbagliate che ne pregiudicavano il buon funzionamento in particolare nei casi di simulazioni long-term che estendono il calcolo a periodi superiori ad un mese.

¹ Sito web con il codice e i riferimenti bibliografici: <http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

Tabella 3.1: Parametri descrittivi del modello implementato

Codice di calcolo	Chimere
Versione modello	V200606A
Risoluzione orizzontale	5x5 Km
Griglia verticale	Sigma P ibrida
Livelli verticali	8
Spessore primo livello	~43m
Interfaccia ultimo livello	500hPa
Periodo simulato	1/5/04-31/8/04
Tempo di calcolo	123.43 ore
n. processori	8
n. celle dominio	8000
Spazio disco input	10.6 GB
Spazio disco output	30 GB
Meccanismo chimico gas	MELCHIOR2 (40 specie, 120 reazioni)
Chimica dell'aerosol	basato su ISORROPIA
n. specie aerosol	7
n. classi granulometriche	6
Specie salvate in output	13
Specie depositate calcolate	190

Di seguito sono descritti i dati di input utilizzati.

Input meteorologico

Il modello Chimere richiede in ingresso svariate informazioni meteorologiche per l'intero dominio tridimensionale di calcolo (vettore vento, temperatura, umidità, irraggiamento, etc...). Tali dati, riferiti all'anno 2004, sono stati forniti dall'ARPA Emilia Romagna e sono stati convertiti tramite un'interfaccia per essere utilizzati all'interno del codice Chimere. Lo stesso codice Chimere è stato inoltre adattato per poter inserire direttamente tali dati senza procedere ad ulteriori elaborazioni già predisposte nel codice ma in realtà già effettuate sui dati dalla stessa ARPA Emilia Romagna.

Emissioni biogeniche

L'ARPA Emilia Romagna ha fornito, insieme ai dati meteorologici, anche le emissioni naturali dovute alla vegetazione, principalmente di composti organici volatili che sono importanti precursori dell'ozono troposferico, a partire dai dati del dominio e di uso del suolo che sono stati predisposti ed elaborati da ARPA Umbria.

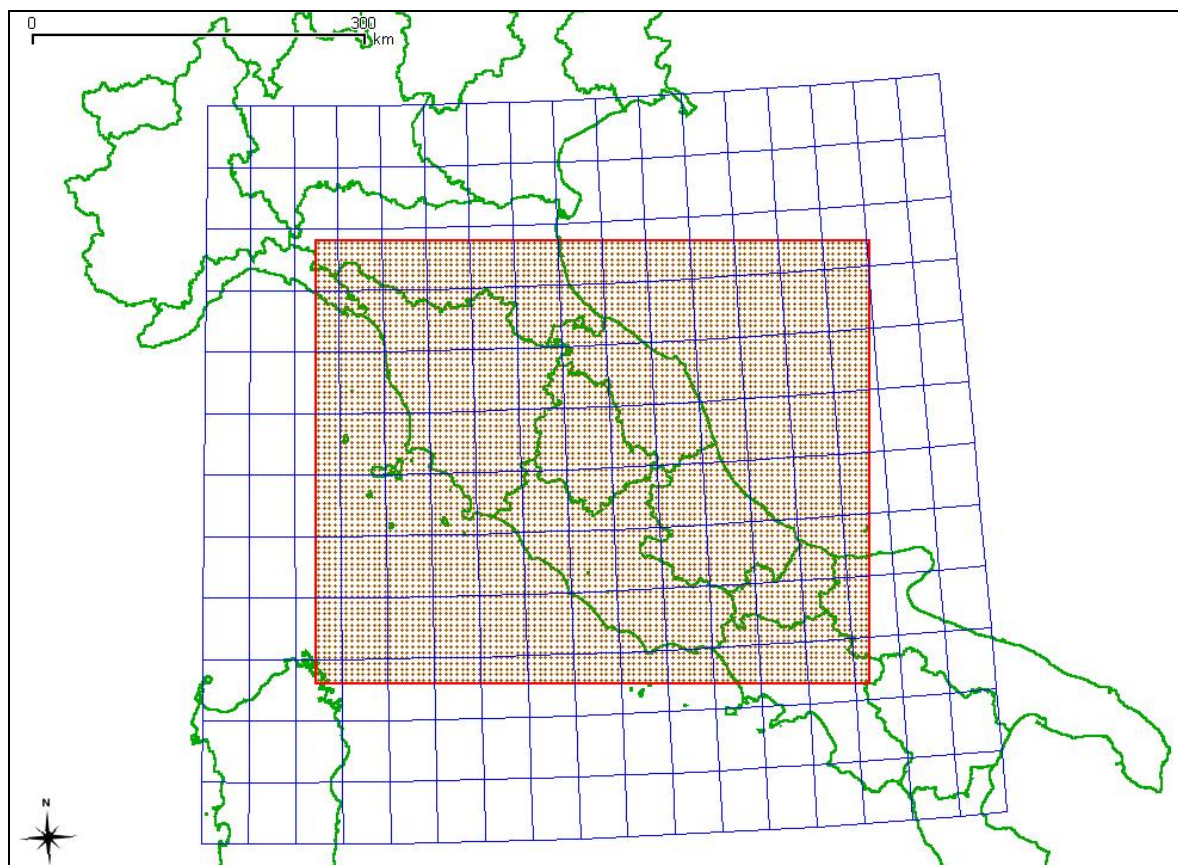


Figura 3.1: Dominio di calcolo utilizzato con il modello Chimere. In rosso è riportato il dominio corrispondente alle condizioni al contorno in input al modello.

Emissioni antropiche

Il dominio comprende più regioni, per tali motivi non è possibile utilizzare i dati dell'Inventario Regionale delle Emissioni ma, per ora, sono stati reperiti i dati relativi all'Inventario Nazionale delle Emissioni per l'anno 2003 già disaggregati su di un reticolo di 5x5 km le cui celle corrispondono esattamente a quelle utilizzate nel dominio di calcolo utilizzato.

Condizioni al contorno

Per poter considerare anche fenomeni legati al trasporto a lunga distanza degli inquinanti, come per esempio quelli dovuti a masse di inquinanti in moto tra una nazione e l'altra, il modello è stato alimentato con le condizioni al contorno ottenute da un sistema di calcolo analogo ma realizzato per un dominio di tipo continentale a sua volta alimentato con dati provenienti da modelli climatologici su scala planetaria. Pertanto, sono stati richiesti i dati prodotti dall'istituto INERIS nell'ambito del sistema Prev'Air che utilizza il codice Chimere con un dominio di calcolo che comprende l'Europa Occidentale e centrato sulla Francia.

Dominio e uso del suolo

Sono stati usati i database e i processori già presenti all'interno della suite di calcolo per elaborare i dati riferiti al dominio e al rispettivo uso del suolo utilizzato sia nel modulo di calcolo del trasporto fisico che in quello di stima delle emissioni naturali della vegetazione. Pertanto, non sono state effettuate ulteriori elaborazioni di questi dati.

Con questo sistema è stato possibile realizzare una simulazione della durata di 4 mesi a partire dal 1 maggio 2004 al 31 agosto 2004 e, a partire da questa, sono state calcolate le

medie orarie delle concentrazioni nell'intero dominio 3D di alcuni inquinanti gassosi, tra cui l'ozono.

Per testare la bontà delle simulazioni, sono stati realizzati alcuni confronti tra i valori calcolati dal modello e quelli misurati da alcune centraline della qualità dell'aria; in particolare, sono state scelte le 4 centraline attive nel 2004 e classificate come suburbane perché, essendo queste rappresentative di un'area più estesa rispetto a quelle urbane, risultano essere più confrontabili con i dati stimati dalla simulazione e rappresentati i valori medi di celle di 5x5 km.

Nelle figure 3.2, 3.3, 3.4, e 3.5 sono riportati i confronti tra i valori medi giornalieri di ozono misurati nelle suddette centraline di monitoraggio con i valori medi giornalieri simulati e riferiti alla cella del dominio nella quale ricadono le centraline. Il periodo scelto per rappresentare graficamente questo confronto è la prima settimana del mese di luglio in quanto è un periodo nel quale sono presenti tutte le emissioni dovute alle normali attività antropiche (a differenza del mese di agosto nel quale molte attività sono chiuse per le ferie estive) e vi è un irraggiamento solare, che influisce in tutti i processi fotochimici, generalmente maggiore che a maggio e a giugno.

Nella figura 3.6 è riportato il valor medio di ozono, espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per l'intero periodo e sull'intero dominio di calcolo al livello del suolo.

Per quanto riguarda l'analisi dell'affidabilità delle simulazioni così ottenute, nella tabella 3.2 sono riportati alcuni dei principali indici di performance del modello calcolati a partire da questi confronti. Questi sono:

- FB (Fractional Bias): indica la tendenza in media del modello alla sottostima o alla sovrastima; è un indice simmetrico (pesa allo stesso modo la sovrastima e la sottostima), adimensionale, ed assume valori compresi tra $[-2,2]$, con valore ottimale zero.
- NMBF (Normalised Mean Bias Factor): nel FB la quantità simulata è confrontata non solo con l'osservazione ma con la media tra quantità osservate e simulate e questo può generare difficoltà interpretative, superabili con l'introduzione di NMFB, che è la misura del fattore di sottostima o sovrastima del modello rispetto alle osservazioni (ed è simmetrico ed adimensionale con valore ottimale zero).
- RMSE (Root Mean Square Error): fornisce una misura delle dimensioni degli errori prodotti dal modello. È asimmetrico, non negativo, dimensionale con valore ottimale zero.
- R (Coefficiente di correlazione): misura il grado (ed il segno) di correlazione lineare tra osservato e simulato; assume valori compresi tra $[-1, 1]$, il valore zero indica assenza di correlazione lineare tra le due variabili.
- SKILL-VAR: è il rapporto tra le deviazioni standard simulate e misurate, fornisce informazioni sulla capacità del modello di riprodurre la variabilità delle osservazioni; è un indice adimensionale, sempre positivo con valore ottimale uno.

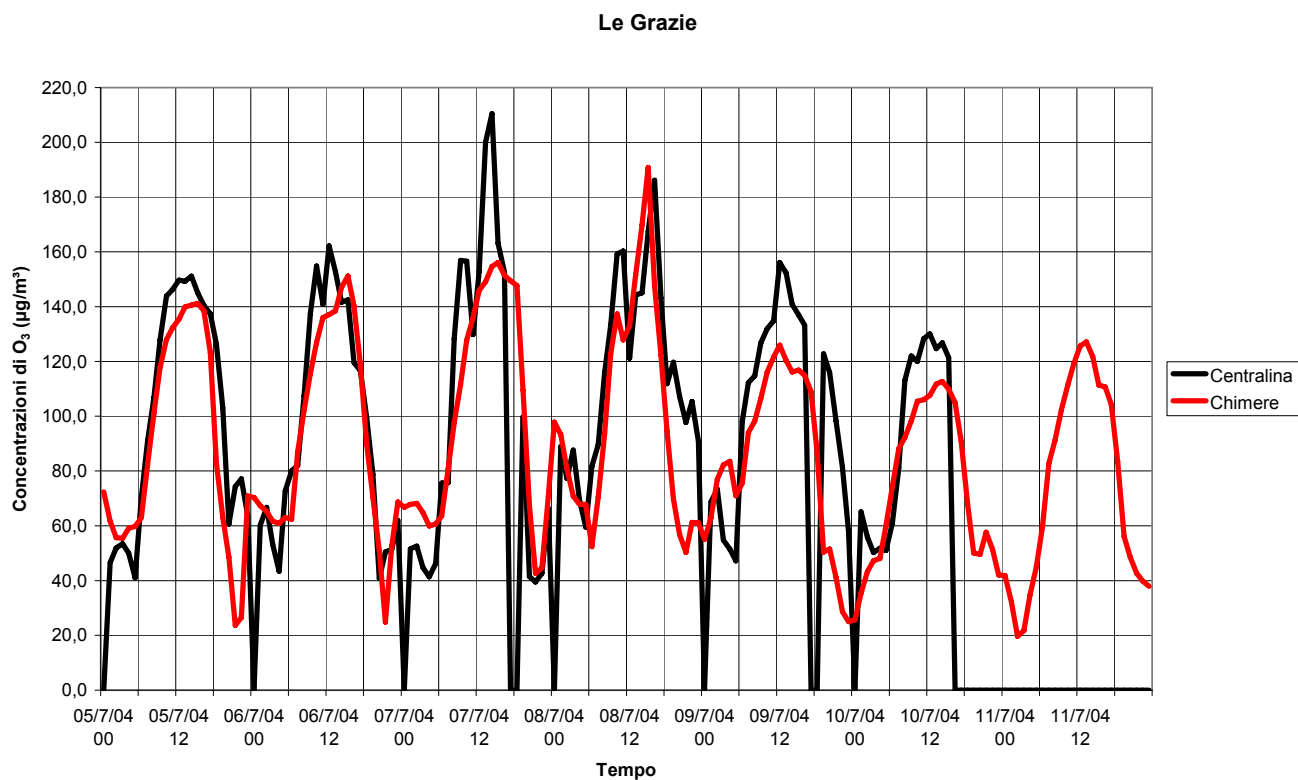


Figura 3.2: Confronto dei valori medi giornalieri di O_3 ottenuti con il modello e misurati nella centralina di Terni – Le Grazie

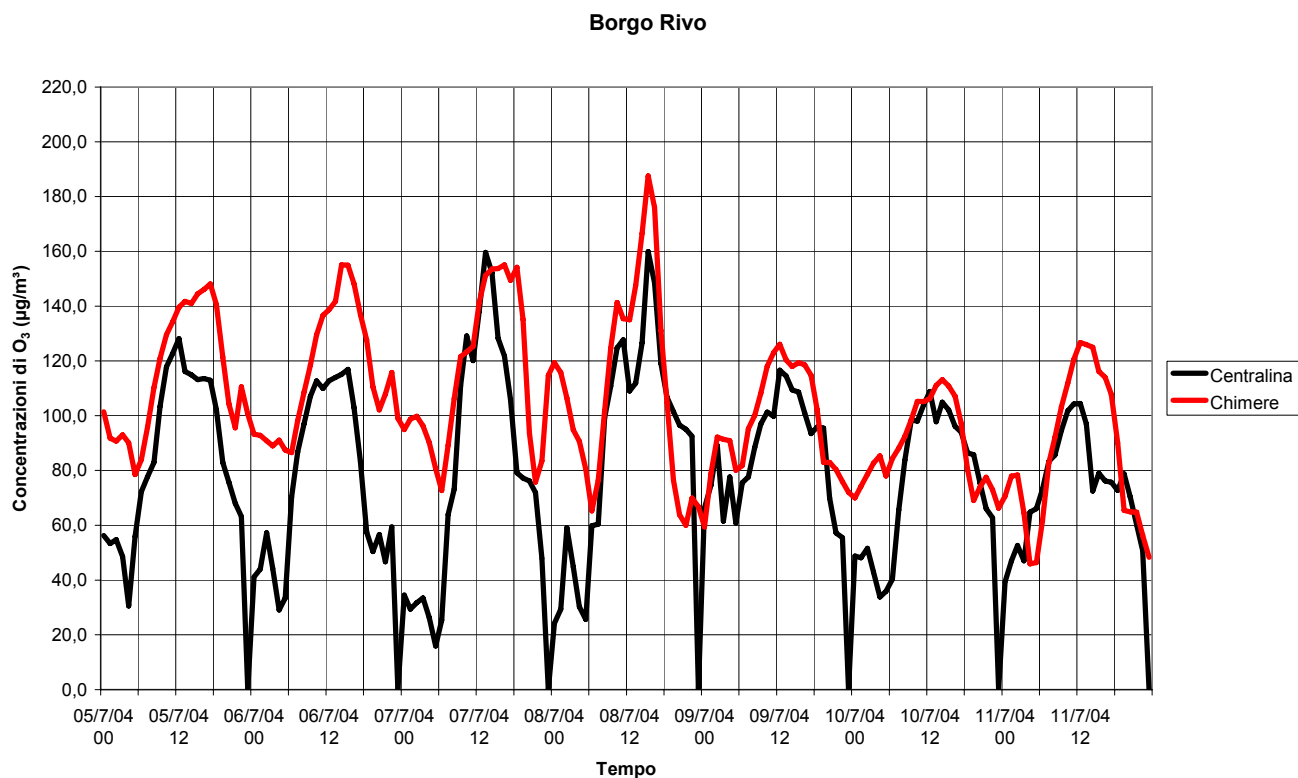


Figura 3.3: Confronto dei valori medi giornalieri di O_3 ottenuti con il modello e misurati nella centralina di Terni – Borgo Rivo

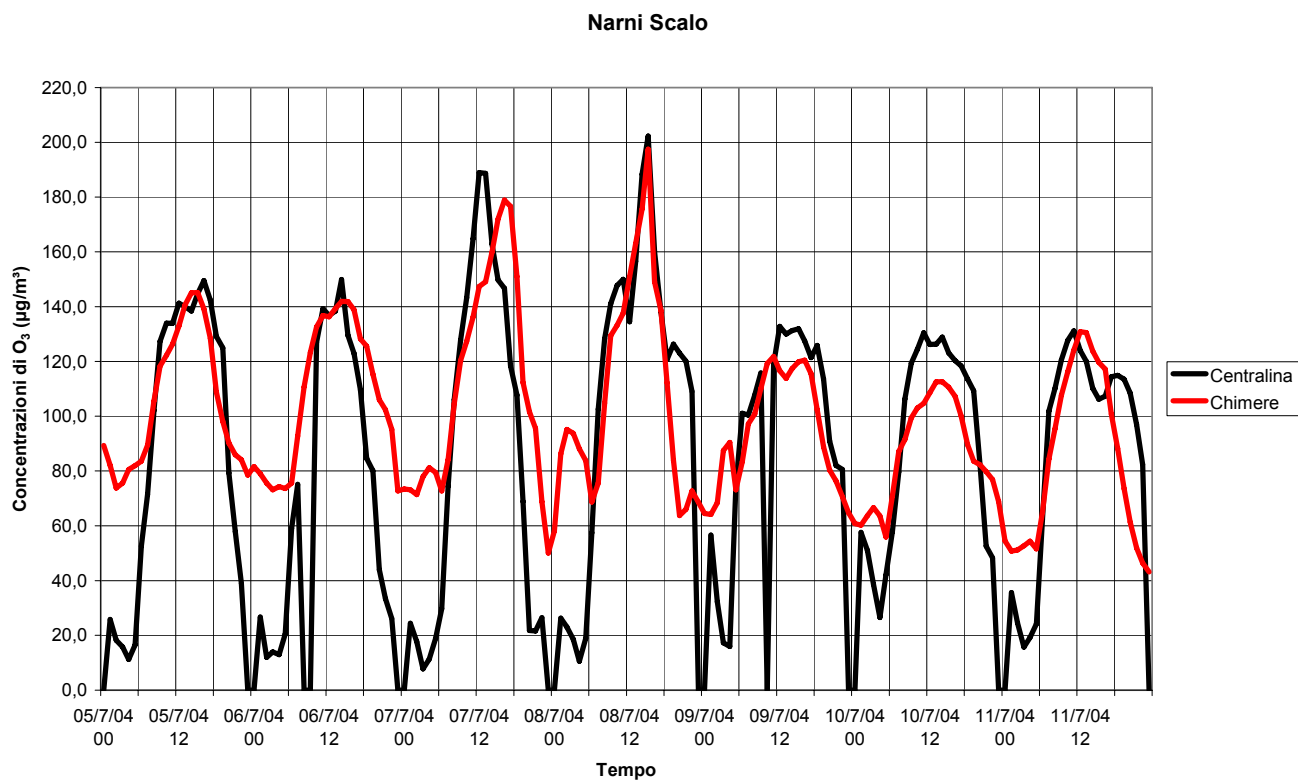


Figura 3.4: Confronto dei valori medi giornalieri di O_3 ottenuti con il modello e misurati nella centralina di Narni Scalo

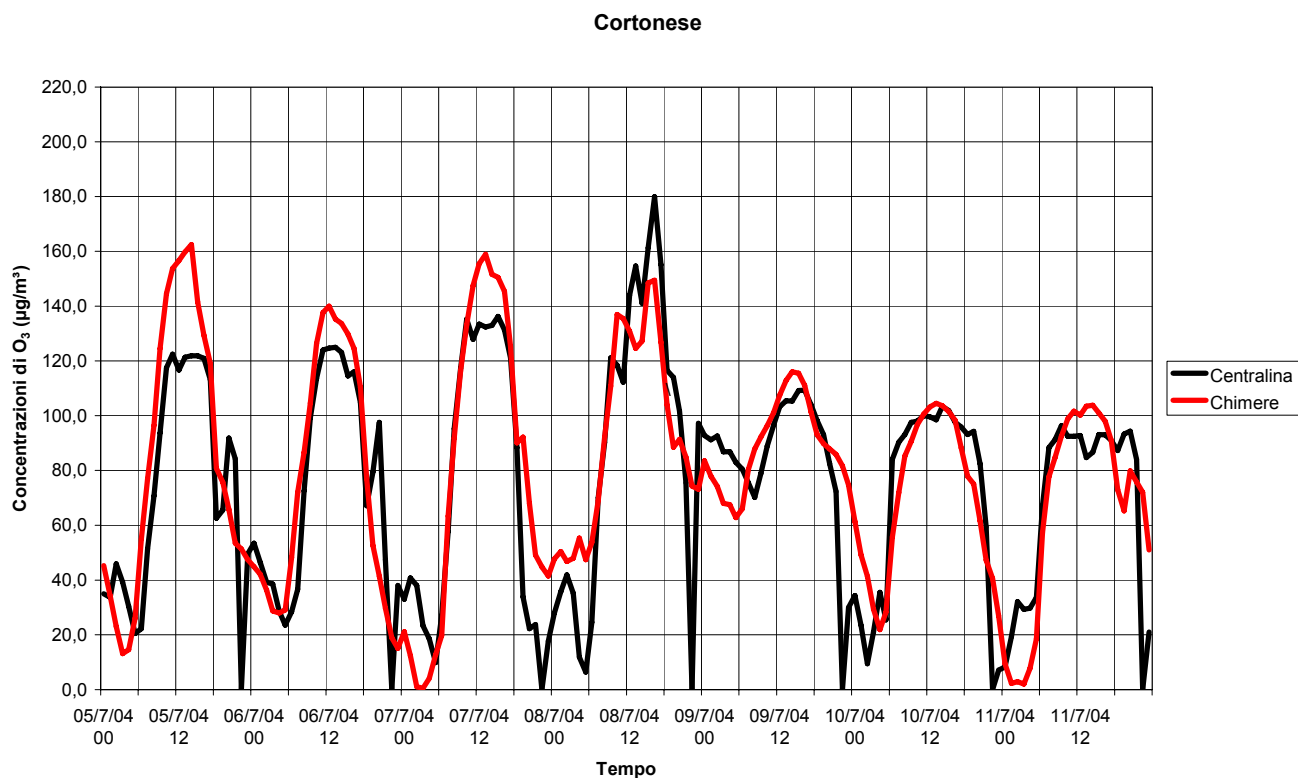


Figura 3.5: Confronto dei valori medi giornalieri di O_3 ottenuti con il modello e misurati nella centralina di Perugia – Cortonese

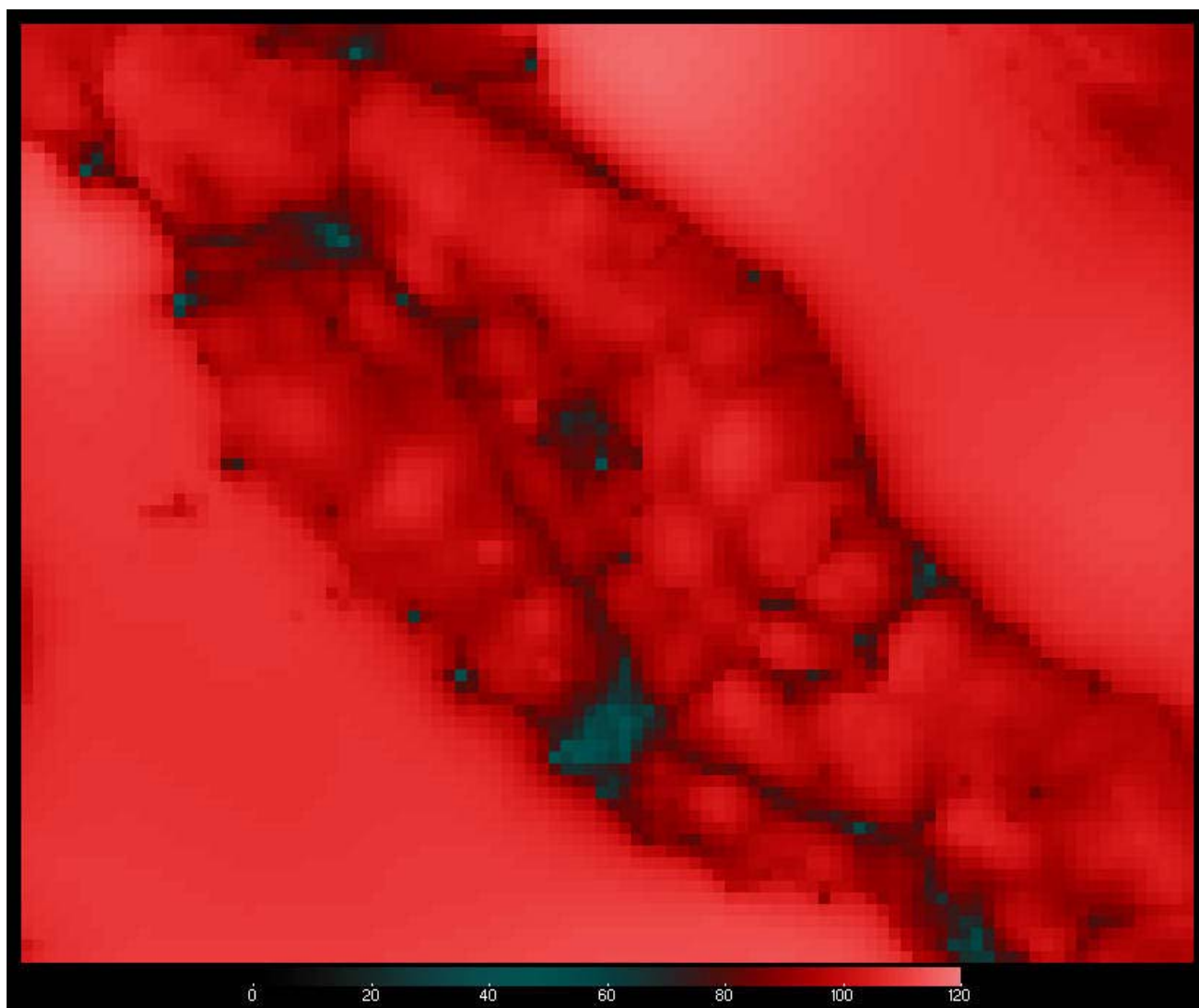


Figura 3.6: Valore medio di O₃ in µg/m³ per i quattro mesi simulati e sull'intero dominio di calcolo al livello del suolo.

Tabella 3.2: Valori di alcuni indici di performance del modello calcolati a partire dai dati delle 4 centraline suburbane presenti in Umbria

	Le Grazie	Borgo Rivo	Narni Scalo	Cortonese
FB	-0,13	0,25	0,11	0,02
NMBF	-0,14	0,29	0,12	0,02
RMSE	27,5 µg/m ³	31,3 µg/m ³	32,3 µg/m ³	26 µg/m ³
R	0,81	0,66	0,76	0,76
SKILL-VAR	0,81	0,79	0,60	1,02

Tabella 3.3: Confronto tra il numero di superamenti del valore massimo giornaliero di 120 µg/m³ per la media mobile su 8 ore delle concentrazioni di O₃ nell'intervallo di tempo simulato

Superamenti	Le Grazie	Borgo Rivo	Narni Scalo	Cortonese
Simulati	39	39	45	28
Misurati	73	22	67	27

Tranne la centralina di Le Grazie, dagli indici si nota una generale sovrastima e un errore (RMSE) che al massimo è di $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ovvero di circa il 30% rispetto ai valori medi per il periodo simulato. Inoltre, si nota una discreta correlazione tra valori simulati e misurati per la centralina di Borgo Rivo e un'ottima correlazione per quella di Le Grazie.

Nella tabella 3.3 sono confrontati il numero di superamenti giornalieri del valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il massimo della mobile su 8 ore delle concentrazioni di ozono.

Essendo questo un parametro "a soglia", è più difficile da simulare e, infatti, il modello fa più fatica a riprodurre i risultati che si ottengono dalle misurazioni, sebbene anche in questo caso i risultati ottenuti siano sufficienti per verificare il rischio di avere un numero di superamenti nell'anno maggiore di quelli indicati dal limite contenuto nella norma, sebbene quest'ultima si riferisca alla media dei superamenti su tre anni.

I parametri di performance ottenuti risultano simili a quelli ottenuti da sistemi di calcolo analoghi per la simulazione dell'inquinante ozono² e, in particolare, rispettano l'errore concesso dalla normativa per l'uso di modelli matematici nella valutazione delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera. Inoltre, considerando che per quest'implementazione sono state utilizzati i dati emissivi nazionali e non quelli derivanti dall'Inventario Regionale delle emissioni, l'accordo è del tutto soddisfacente. Sarà comunque importante analizzare gli stessi risultati ma ottenuti a partire anche dai dati dell'Inventario Regionale.

A seguito di questo confronto, è stato ideato e realizzato un ulteriore software di elaborazione dei risultati (post-processore) che, a partire dall'output del codice Chimere, potesse fornire alcune elaborazioni dei dati confrontabili con gli indici di legge previsti per l'ozono per l'intero dominio di calcolo e non solo per i punti corrispondenti con le centraline di qualità dell'aria.

Con questo sono stati calcolati i massimi giornalieri della media mobile su 8 ore per ciascuna cella del dominio e per ciascun giorno della simulazione e, a partire da questi, il numero di giorni nei quali si sono valutati dei superamenti del valore di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indicato dalla normativa come obiettivo a lungo termine.

Nella figura 3.7 sono riportati il numero di superamenti di tale valore durante i 4 mesi estivi considerati dalla simulazione. Da questa si nota come la regione Umbria sia in linea rispetto alle regioni contigue e presenti potenziali superamenti del valore bersaglio indicato dalla norma (ovvero un massimo di 25 superamenti l'anno come media di 3 anni) su tutto il proprio territorio.

Pertanto la modellistica è in linea con quanto già valutato dalle misure presso stazioni fisse ovvero un generale non rispetto dell'obiettivo a lungo termine su tutto il territorio regionale.

² Rapporto APAT/CTN-ACE: "Rapporto tecnico sulla applicazione di modellistica al bacino padano adriatico"

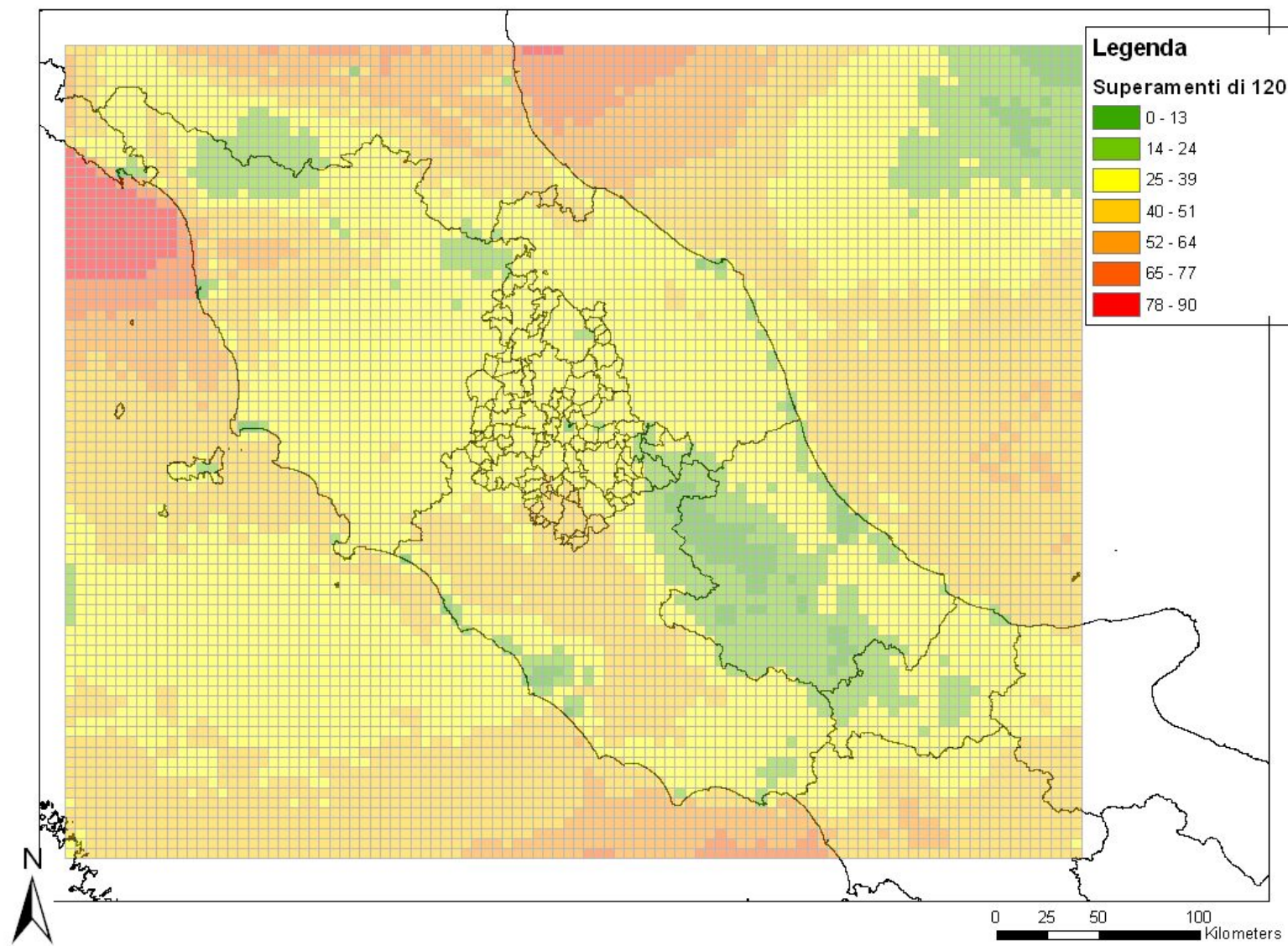


Figura 3.7: Numero di superamenti del valore massimo giornaliero di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la media mobile su 8 ore delle concentrazioni di O_3 simulate.

4 Conclusioni

La prima valutazione della qualità dell'aria nella regione per quanto riguarda l'ozono è stata effettuata a partire dall'analisi dei dati rilevati dalle stazioni fisse della rete regionale per gli anni dal 2004 al 2007.

Questo esame ha evidenziato un generale non rispetto dei livelli massimi di ozono indicati dalla normativa su tutte le aree dove sono presenti le stazioni. Queste sono presenti nelle aree regionali identificate come da risanare per alcuni inquinanti (polveri fini, ossidi di azoto, monossido di carbonio) dal Piano di Risanamento e Mantenimento della Qualità dell'Aria (PRQA) attualmente in vigore.

Rispetto alle zone individuate dal PRQA, questa prima analisi evidenzia che:

- zona IT1001 (area metropolitana di Perugia): non rispetta né i valori bersaglio né gli obiettivi a lungo termine;
- zona IT1002 (conca Ternana): non rispetta né i valori bersaglio né gli obiettivi a lungo termine;
- zona IT1003 (comuni a media urbanizzazione con forte comparto industriale): rispetta i valori bersaglio ma non gli obiettivi a lungo termine;
- zona IT1004 (comuni a media urbanizzazione su arterie importanti di traffico): rispetta i valori bersaglio ma non gli obiettivi a lungo termine.

Oltre all'analisi dei dati delle stazioni fisse, è stato messo a punto il sistema di modellistica della diffusione e trasformazione chimico-fisica degli inquinanti in atmosfera e, con questo, è stata realizzata una simulazione dei 4 mesi estivi tesa a verificare i livelli di ozono sull'intero territorio regionale.

Questa simulazione è stata alimentata con i dati meteo riferiti all'anno 2004 e con i dati emissivi tratti dall'Inventario Nazionale delle emissioni dell'anno 2003.

Le concentrazioni di ozono ottenute dalla simulazione sono state confrontate con quelle misurate dalle centraline di qualità dell'aria presenti in regione e adatte a tale confronto (ovvero, quelle classificate come suburbane): tale confronto ha mostrato la buona capacità del modello a seguire l'andamento e i valori misurati con un errore che al massimo arriva al 30% dei valori medi di ozono nel periodo preso in considerazione e quindi inferiore alla soglia di errore accettata dalla normativa nazionale e internazionale.

Pertanto, è stata effettuata un'analisi dei superamenti del valore bersaglio per ciascuna cella del dominio simulato ed è risultato che l'intero territorio regionale è potenzialmente soggetto al rischio del superamento di tale valore.

Questa è una prima valutazione utile ad avere un quadro sullo stato della qualità dell'aria in regione in riferimento all'ozono e mette in evidenza la necessità di prevedere un approfondimento delle valutazioni stesse al fine di avere più elementi di analisi per poter valutare le cause antropiche e naturali alla base delle previste concentrazioni e valutare le possibili misure da adottare a livello locale (regionale e comunale) al fine di ridurre l'impatto dell'ozono, come indicato dall'attuale normativa, e quindi considerare anche l'ozono all'interno del Piano Regionale di Risanamento e Mantenimento della Qualità dell'Aria, tenendo conto della particolarità dell'inquinante in particolare della dipendenza della sua formazione da altri inquinanti e degli effetti di trasporto a lunga distanza.

Le attività da intraprendere per integrare questa prima valutazione sono di due tipi: una di analisi dei dati e l'altra di approfondimento dello studio modellistico.

Il completamento della rete regionale prevede l'installazione di due postazioni di fondo rurale dislocate nelle due province. Una è già stata realizzata e ha iniziato a raccogliere dati dalla metà del 2008, l'altra dovrebbe essere installata ed entrare in funzione entro la prima metà del 2009. La prima attività consisterà nell'analizzare i valori misurati anche da queste due centraline di fondo non appena il numero di dati saranno disponibili in una quantità rappresentativa.

L'altra attività consisterà nella realizzazione di simulazioni utilizzando due nuovi scenari emissivi. Il primo dovrà tenere conto delle emissioni dell'Inventario Regionale per l'anno 2004, o per il 2007 non appena disponibile. Questo per avere una simulazione che tenga conto di emissioni più rappresentative del dettaglio locale, caratteristica alla quale risponde meglio l'Inventario Regionale rispetto a quello nazionale fino ad ora utilizzato anche per l'Umbria. L'altro scenario da valutare è quello nel quale le emissioni antropiche dell'Umbria vengono azzerate al fine di avere un'idea del contributo extraregionale alle concentrazioni di ozono in regione e, di conseguenza, valutare meglio il peso che eventuali azioni locali di risanamento potranno avere.