



**PIANO REGIONALE INTEGRATO PER LA QUALITÀ DELL'ARIA**

**DELL'EMILIA-ROMAGNA:**

**QUADRO CONOSCITIVO**

Rapporto finale, giugno 2013



Centro Tematico Regionale Qualità dell'Aria



## Sommario

|   |    |
|---|----|
| Messaggi chiave.....  | 6  |
| Contesto territoriale.....  | 8  |
| L' influenza dei fattori meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti.....                 | 9  |
| La zonizzazione del territorio ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria ..... | 11 |
| Il programma di valutazione .....   | 12 |
| Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione .....                              | 13 |
| La rete di monitoraggio .....   | 14 |
| Il sistema di modelli numerici (NINFA-E) .....  | 18 |
| Il modello di valutazione integrata RIAT+ .....   | 19 |
| Il Progetto Supersito.....  | 21 |
| Lo stato della qualità dell'aria .....  | 23 |
| Il superamento dei valori limite per PM10.....  | 24 |
| La distribuzione territoriale del PM10 ed i fattori meteorologici .....                           | 28 |
| L'origine geografica dell'inquinamento da PM10.....   | 29 |
| Ripartizione per fonti dell'inquinamento da PM10 .....  | 30 |
| Il superamento dei valori limite per il biossido di azoto.....                                    | 31 |
| Il superamento dei valori limite per l'ozono .....  | 34 |
| Andamento del PM2.5 .....   | 37 |
| Inquinanti che rispettano i valori limite .....   | 40 |
| Monossido di carbonio (CO) e biossido di zolfo (SO2) .....  | 40 |
| Benzene e IPA- Benzo(A) pirene .....  | 40 |
| Metalli .....   | 41 |
| I risultati della prima annualità del progetto Supersito.....                                     | 42 |
| Il rispetto dei valori limite per PM10 .....  | 46 |
| Proiezioni future.....  | 46 |
| Lo scenario di riferimento .....  | 46 |
| Lo scenario tendenziale.....  | 47 |
| Obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti per il rispetto dei Valori Limite di PM10 ..... | 50 |
| Fattori di incertezza .....   | 53 |
| Le politiche per il raggiungimento degli obiettivi.....   | 53 |
| Le emissioni regionali .....  | 55 |
| Le emissioni dei comuni dell'accordo di programma (AQA).....                                      | 56 |

## Indice delle figure e delle tabelle

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: uso del suolo nella Pianura Padana: le aree urbane sono in rosso, i terreni agricoli in giallo (fonte: Corine land cover 2006).....   | 9  |
| Figura 2: a sinistra immagine da satellite dell'Italia Settentrionale nella stagione invernale (fonte: radiometro MODIS, NASA), a destra illuminazione notturna della pianura padana.....   | 9  |
| Figura 3: velocità media del vento nella Pianura Padana; analisi modellistica, periodo 2003-2007.....   | 10 |
| Figura 4: esempio di andamento stagionale di velocità del vento (sinistra) e altezza di rimescolamento (destra); analisi modellistica, Modena, anno 2005.....   | 11 |
| Figura 5: La zonizzazione del territorio dell'Emilia-Romagna (DLgs 155/2010).....   | 12 |
| Figura 6: schema a blocchi del sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna.....   | 14 |
| Figura 7: le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione. ( Approvati con Deliberazione n. 2001/2011 della Giunta Regionale ).....  | 16 |
| Figura 8: stazioni della sottorete meteorologica per la meteorologia urbana. ....   | 16 |
| Figura 9: esemplificazione dei principali output di RIAT+.....  | 21 |
| Figura 10: Architettura del progetto Supersito .....  | 22 |
| Figura 11: Ubicazione dei siti di monitoraggio del progetto Supersito.....  | 23 |
| Figura 12: andamento media annuale PM10 .....   | 25 |
| Figura 13: andamento del n. di superamenti del valore limite giornaliero per PM10 .....   | 25 |
| Figura 14: andamento giorni critici PM10 .....  | 26 |
| Figura 15: andamento della popolazione esposta a PM10 superiore al valore limite giornaliero .....  | 26 |
| Figura 16: Stima del trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%. ....                    | 27 |
| Figura 17: scatter plot tra concentrazioni medie annuali e indicatore Rank36: stazioni dell'Emilia Romagna .....  | 28 |
| Figura 18: mappa della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di PM10 (a sinistra) e del n di superamenti del valore limite giornaliero (a destra) nell'anno 2010. ....  | 29 |
| Figura 19: PM10, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento. ....   | 30 |
| Figura 20: stazioni oltre il limite annuale di NO2 dal 2007 al 2012.....  | 32 |
| Figura 21: andamento della media annuale di NO2 dal 2007 al 2012 .....  | 32 |
| Figura 22: Stima del trend delle concentrazioni orarie di NO2, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%. ....                                | 33 |
| Figura 23: origine geografica dell'inquinamento da NOx .....  | 34 |
| Figura 24: andamento superamenti livello di protezione della salute O3 .....  | 35 |
| Figura 25: andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono.....  | 35 |
| Figura 26: Stima del trend dei massimi giornalieri della media mobile su otto ore dell'ozono, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%. .... | 36 |
| Figura 27: mappa della distribuzione geografica del n. di superamenti del livello di protezione della salute per l'ozono nel 2012.....  | 37 |
| Figura 28: andamento media annuale PM2.5 .....  | 38 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 29: andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale .....   | 38 |
| Figura 30: origine geografica dell'inquinamento da PM2.5 .....   | 39 |
| Figura 31: andamento ,media mobile 8 ore CO a sinistra e andamento media annua SO2 a destra .....  | 40 |
| Figura 32: andamento medie annuali benzene a sinistra e Benzo (a) pirene, media annuale a destra .....   | 40 |
| Figura 33: andamento cadmio, media annuale a sinistra e Arsenico, media annuale a destra .....   | 41 |
| Figura 34: andamento nichel, media annuale a sinistra, piombo, media annuale a destra.....   | 41 |
| Figura 35 Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito Urbano di Bologna (MS) .....  | 45 |
| Figura 36: Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito rurale (SPC) .....   | 45 |
| Figura 37: Chiusura di massa dei diversi parametri analizzati su PM2.5, nei 4 siti per le due stagioni. ....   | 45 |
| Figura 38: Numeri di giorni con presenza di eventi di nucleazione, classificati per tipologia, nel sito di SPC.  | 46 |
| Figura 39: dominio di applicazione del sistema modellistico NINFA-E e distribuzione geografica delle emissioni per lo scenario emissivo BPA 2010. Ossidi di azoto (NOx) In alto a sinistra, PM10 in alto a destra e ammoniaca (NH3) in basso.....  | 47 |
| Figura 40: aree di superamento del VL annuale per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra e nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Le aree colorate in continuo indicano situazioni di superamento estese, le aree puntinate indicano situazioni di superamento locale del VL. Annuale. ....   | 49 |
| Figura 41: aree di superamento del VL giornaliero per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra e nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Le aree colorate in continuo indicano situazioni di superamento estese, le aree puntinate indicano situazioni di superamento locale del VL. giornaliero.....  | 49 |
| Figura 42:l'istogramma in alto a sinistra riporta le emissioni dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 sul territorio regionale nello scenario di riferimento (INEMAR-2010), tendenziale NO piano (CLE-2020) e nello scenario obiettivo di piano. Lo scenario obiettivo permetterebbe di rispettare il VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale. I rimanenti istogrammi indicano gli obiettivi di riduzione delle emissioni per ciascuna provincia ed inquinante (ton/anno). Colonne blu: emissioni attuali (RER-2010), colonne rosse: emissioni obiettivo. .... | 52 |
| Figura 43: ripartizione delle emissioni per tipo di combustibile .....   | 56 |
| Figura 44: emissioni per macrosettore nei comuni AQA. PM10 in alto, NOX in basso. ....   | 58 |
| <br>   |    |
| Tabella 1: stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria .....   | 17 |
| Tabella 2: componenti naturale e antropica del PM10 .....  | 30 |
| Tabella 3: variazione relativa delle emissioni dei principali inquinanti sul territorio regionale nello scenario tendenziale CLE-2020 rispetto alle emissioni attuali (INEMAR-ER 2010). ....   | 48 |
| Tabella 4: Riduzione relativa delle emissioni dell'Emilia-Romagna necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale (esclusi gli hot spot) .....   | 50 |
| Tabella 5: Emissioni (tonnellate/anno) relative allo scenario di riferimento (anno 2010), allo scenario tendenziale al 2020 (scenario no piano) ed allo scenario obiettivo del piano al 2020. L'ultima colonna (emissioni da ridurre) riporta la differenza tra le emissioni dello scenario tendenziale e le emissioni dello scenario obiettivo di piano. ....   | 51 |
| Tabella 6: ripartizioni delle emissioni dell'Emilia-Romagna (t/anno ; CO2 espressa in Mton/anno) per macrosettore <i>Corinair</i> ed inquinante (inclusi i gas serra CH4, CO2, N2O). L'ultima riga riporta, per i principali precursori, le emissioni totali sul dominio NINFA-E che copre l'intero Nord Italia ed il contributo percentuale delle emissioni dell'Emilia-Romagna rispetto al totale del dominio.....   | 55 |
| Tabella 7: contributo assoluto (ton/anno) e relativo (%) per macrosettore alle emissioni nei comuni aderenti all'accordo di programma 2012-2015 sulla qualità dell'aria. La riga "contributo comuni AQA" riporta la frazione di emissione per ciascun inquinante attribuibile ai comuni dell'accordo di programma, rispetto al totale regionale. ....  | 57 |

## Messaggi chiave

I Valori Limite (VL) annuale e giornaliero per il PM10 sono stati sistematicamente superati nelle zone di pianura e nell'agglomerato di Bologna, fin dalla loro entrata in vigore nel 2005. L'analisi dell'andamento pluriennale (2001 – 2012) evidenzia una lenta, ma statisticamente significativa, diminuzione della concentrazione in aria. I superamenti del VL sulla media annuale di NO<sub>2</sub>, entrati in vigore dal 2010, sono limitati ad alcune situazioni locali, prevalentemente da traffico. La tendenza alla diminuzione per questo inquinante è più marcata. Il livello di protezione della salute per l'ozono risulta sistematicamente superato su gran parte del territorio regionale, con valori massimi nelle estati calde e nelle zone suburbane e rurali. La concentrazione media annuale di PM<sub>2.5</sub> presenta una distribuzione relativamente uniforme sul territorio. Si stima che, se si manterranno invariate le condizioni attuali, potranno verificarsi situazioni locali di superamento del VL per questo inquinante che entrerà in vigore nel 2015, in particolare negli anni meteorologicamente meno favorevoli. Per tutti gli inquinanti le variazioni interannuali dovute all'andamento meteorologico sono significative.

Il limite per il quale sono più numerose le situazioni di superamento è il limite giornaliero per PM10. Per ottenere il rispetto di tale limite si stima che la media annuale debba scendere a 28 anziché 40 µg/m<sup>3</sup>. Si può ipotizzare che se si rispetterà questo valore in tutte le stazioni, saranno rispettati anche i limiti per gli inquinanti PM<sub>2.5</sub> e NO<sub>2</sub>, ad esclusione di alcune situazioni locali prossime a sorgenti rilevanti di inquinanti (hot spot), mentre più complessa è la valutazione degli effetti sulla concentrazione di ozono.

La concentrazione media di fondo di PM10 in Emilia-Romagna dipende in buona parte dall'inquinamento a grande scala tipico della pianura padana. La sola componente a grande scala può, negli anni meteorologicamente più sfavorevoli come il 2011, determinare il superamento del valore limite giornaliero nella zona occidentale della regione. Di conseguenza le misure di riduzione delle emissioni inquinanti applicate sul territorio dell'Emilia Romagna possono agire solo in parte sul fondo a grande scala, rendendo indispensabile la individuazione di misure coordinate tra le varie regioni del bacino padano e che portino ad una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti.

Le azioni dirette sulle emissioni di PM10 agiscono inoltre solo sulla frazione primaria dell'inquinamento da PM10, che risulta compresa tra il 15 – 25 % del PM10 di origine antropogenica. Per ottenere una riduzione significativa della concentrazione in aria di PM10 occorre agire anche ed in misura sostanziale sugli inquinanti precursori del particolato di origine secondaria, che rappresenta circa il 60 - 65% del particolato totale.

Si stima che la riduzione delle emissioni inquinanti previste dallo scenario tendenziale al 2020, che considera la applicazione della legislazione corrente e dei piani regionali adottati (CLE 2020) non porterà a ridurre la concentrazione di PM10 al di sotto dei limiti. Per ottenere il pieno rispetto del valore limite giornaliero di PM10 si rendono necessarie ulteriori misure di riduzione delle emissioni inquinanti.

Le valutazioni preliminari mostrano che per ottenere il rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale è necessario ridurre complessivamente ed in misura considerevole rispetto ai livelli attuali (2010) le emissioni dirette di PM10 (- 30% circa) e dei principali precursori (tra - 30 e - 50%). Si stima

che queste riduzioni saranno parzialmente raggiunte nello scenario tendenziale al 2020, attraverso la applicazione della legislazione corrente e la realizzazione dei piani regionali adottati.

Le ulteriori misure adottate dal piano aria dovranno essere rivolte principalmente ad ottenere una ulteriore riduzione delle emissioni dei precursori dell'inquinamento da polveri (NOx, NH3, COV) dell'ordine del 30% rispetto allo scenario tendenziale), mentre un peso meno rilevante avrebbero le azioni rivolte alla riduzione delle emissioni dirette di PM10 (dell'ordine del- 8%).

Il traffico su strada e la combustione non industriale (riscaldamento civile) sono le fonti principali di emissioni che causano l'inquinamento diretto da polveri (PM10), seguiti dai trasporti non stradali e dall'industria. Le emissioni industriali risultano la seconda causa di inquinamento da ossidi di azoto (NOx), che rappresentano anche un importante precursore della formazione di particolato secondario ed ozono. Il principale contributo alle emissioni di ammoniaca (NH3), importante precursore della formazione di particolato secondario, deriva dall'agricoltura, settore spesso trascurato nelle strategie volte ad una riduzione dell'inquinamento da polveri. L'utilizzo di solventi nel settore industriale e civile risulta il principale responsabile delle emissioni di composti organici volatili (COV) precursori, assieme agli ossidi di azoto della formazione di Particolato secondario e ozono. La combustione nell'industria ed i processi produttivi risultano invece la fonte più rilevante di biossido di zolfo (SO2) che, sebbene presenti una concentrazione in aria di gran lunga inferiore ai valori limite, risulta un precursore della formazione di particolato secondario, anche a basse concentrazioni.

Il consumo del gasolio per autotrasporto (diesel) è responsabile del 63% delle emissioni di NOx. Per il PM10 gli apporti dalle attività di combustione di legna e similari, gasolio e attività senza combustibile (usura freni e pneumatici, abrasione strade e processi produttivi senza combustione) risultano pressoché equivalenti tra loro .

I comuni capoluogo e aderenti all'accordo di programma forniscono un contributo significativo (compreso tra 20 ed il 50 % circa a seconda dell'inquinante) alle emissioni regionali, confermando l'importanza di adottare politiche specifiche sulle aree maggiormente antropizzate della regione. Questa considerazione vale in particolare per le politiche rivolte alla limitazione delle emissioni di NOx e dirette di PM10 che contribuiscono a determinare i superamenti a scala locale (hot spot). La diversa ripartizione delle emissioni tra i vari comuni rispetto al dato regionale complessivo, evidenzia la necessità di adottare politiche settoriali specifiche per le varie realtà locali.

Le misure ed i relativi tempi di attuazione sono oggetto del Piano regionale integrato per la qualità dell'aria dell'Emilia-Romagna.

## Contesto territoriale

La Regione Emilia-Romagna occupa la porzione sud orientale della Pianura Padana, ed è delimitata dal fiume Po a nord, dal Mare Adriatico a est e dalla catena Appenninica a sud. La fascia pianeggiante ha un'altitudine ovunque inferiore ai 100 m, con vaste aree al livello del mare nel settore orientale; le zone montuose sono caratterizzate da numerose piccole valli, che presentano generalmente un andamento parallelo tra loro e perpendicolare alla catena Appenninica.

Contesto socio-economico: nelle regioni che compongono la Pianura Padana risiedono più di 23 milioni di abitanti (dei quali 4,5 milioni in Emilia Romagna), corrispondenti circa al 40% del totale della popolazione italiana. La grande maggioranza della popolazione si concentra nelle aree di pianura, dove la densità abitativa risulta essere tra le più alte d'Europa. La mappa dell'uso del suolo (Figura 1) mostra come il territorio della Pianura Padana sia quasi completamente antropizzato: lungo le principali vie di comunicazione, città e insediamenti produttivi si susseguono senza soluzione di continuità, mentre il resto del territorio è quasi completamente occupato da agricoltura e allevamento intensivi. La Pianura Padana contribuisce in maniera significativa alla produzione di ricchezza del Paese (oltre il 50% del PIL nazionale); il suo tessuto produttivo è molto variegato, e tende ad essere basato su piccole e medie imprese distribuite sul territorio. Questo quadro socio-economico e l'intensità delle attività antropiche che insistono nell'area comportano un'elevata concentrazione di fonti di emissioni di inquinanti. L'urbanizzazione diffusa e il particolare modello di sviluppo economico determinano una grande necessità di mobilità, che si riflette nelle emissioni inquinanti dovute al traffico veicolare e agli impianti di riscaldamento. I processi industriali, pur essendo sottoposti a rigide normative ambientali, comportano l'emissione in atmosfera di una grande varietà di composti chimici. Anche agricoltura e allevamento contribuiscono all'inquinamento atmosferico attraverso l'emissione di rilevanti quantità di ammoniaca e metano, che sono rispettivamente un precursore degli inquinanti secondari e un potente gas serra.

L'Emilia Romagna è profondamente inserita in questo contesto sociale e produttivo. La Regione è un elemento centrale del sistema di mobilità nazionale, sia per quel che riguarda la rete autostradale sia per il trasporto ferroviario; il nodo di Bologna, in particolare, è di primaria importanza, in quanto rappresenta un passaggio quasi obbligato per merci e passeggeri in viaggio tra il nord e il sud dell'Italia. L'Emilia Romagna assume quindi un ruolo di cerniera ed è interessata da un intenso traffico in transito: questo produce una quota rilevante delle emissioni di inquinanti, che in gran parte sfugge alle possibilità di gestione delle autorità locali. Le industrie regionali sono prevalentemente di piccole e medie dimensioni, e sono spesso raggruppate in distretti produttivi, caratterizzati da un'elevata specializzazione: esempi di questa particolare organizzazione produttiva sono la produzione di ceramiche da arredamento e materiali da costruzione intorno a Modena, l'industria alimentare a Parma, la chimica di base a Ferrara e Ravenna, l'industria energetica a Piacenza e Ravenna. La parte pianeggiante dell'Emilia Romagna presenta suoli estremamente fertili, ed è ampiamente sfruttata per l'agricoltura intensiva. L'allevamento è praticato su scala e con processi industriali, e si concentra nei poli di Modena e Reggio per il settore suinicolo e di Forlì-Cesena per quello avicolo.

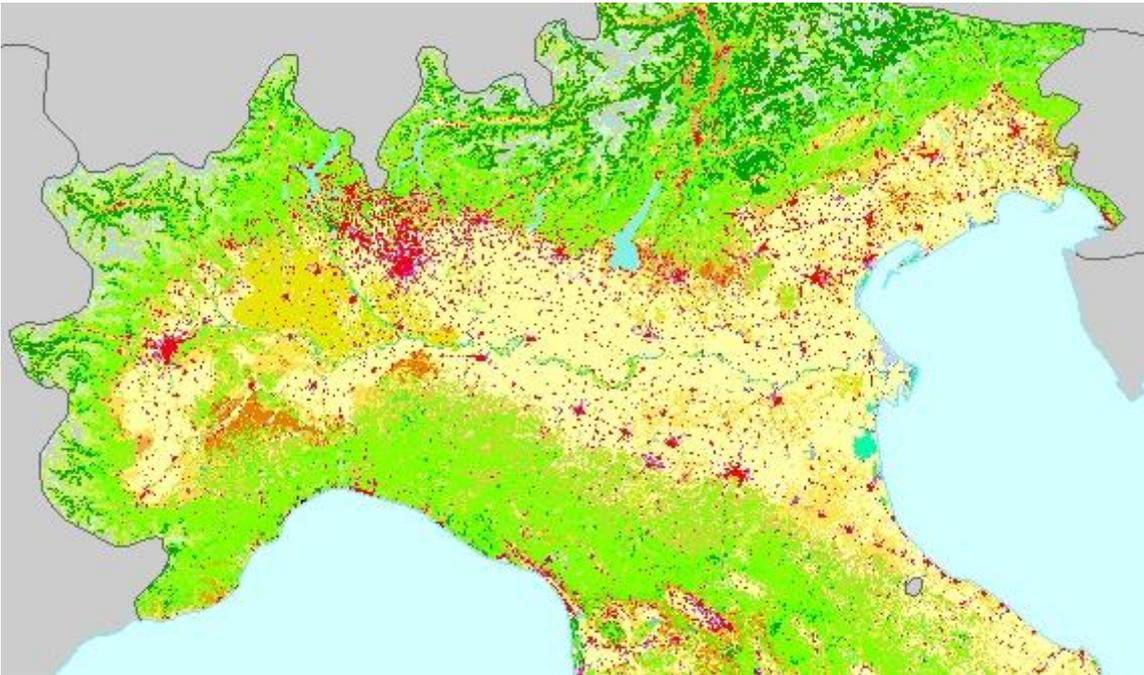


Figura 1: uso del suolo nella Pianura Padana: le aree urbane sono in rosso, i terreni agricoli in giallo (fonte: Corine land cover 2006)

## L' influenza dei fattori meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti

Le condizioni meteorologiche e il clima dell'Emilia Romagna sono fortemente influenzate dalla conformazione topografica della Pianura Padana: la presenza di montagne su tre lati rende questa regione una sorta di "catino" naturale, in cui l'aria tende a ristagnare ( Figura 2 ).

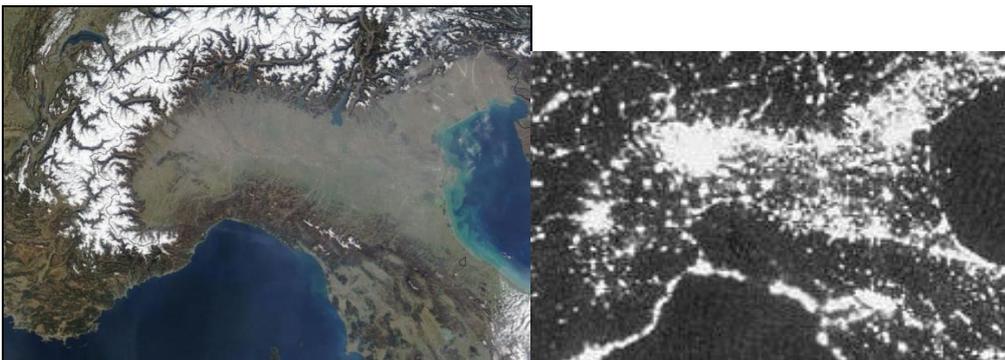
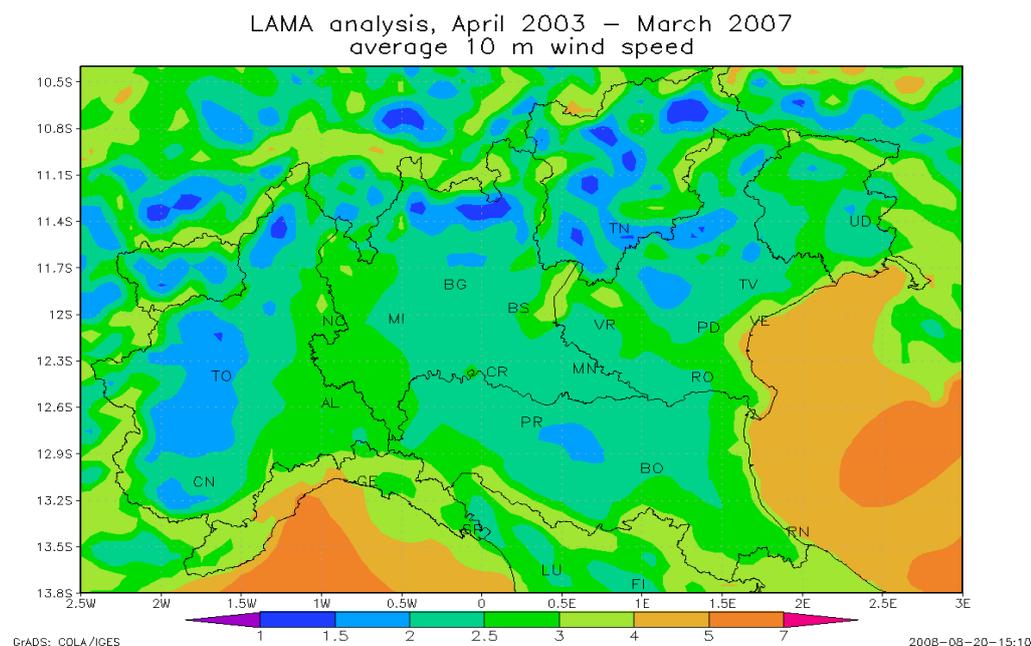


Figura 2: a sinistra immagine da satellite dell'Italia Settentrionale nella stagione invernale (fonte: radiometro MODIS, NASA), a destra illuminazione notturna della pianura padana

Le condizioni meteorologiche influenzano i gas e gli aerosol presenti in atmosfera in molti modi: ne controllano il trasporto, la dispersione e la deposizione al suolo, influenzano le trasformazioni chimiche che li coinvolgono, hanno effetti diretti e indiretti sulla loro formazione. Alcune sostanze possono rimanere in aria per periodi anche molto lunghi, attraversando i confini amministrativi e rendendo difficile distinguere i contributi delle singole sorgenti emissive alle concentrazioni totali. La caratteristica meteorologica che maggiormente influenza la qualità dell'aria è la scarsa ventosità: la velocità media del vento alla superficie nella pianura interna (Figura 3) è generalmente compresa tra 2 e 2.5 m/s, un valore sensibilmente più basso rispetto alla maggior parte del continente europeo. I venti sono particolarmente deboli nei mesi invernali: in alcune zone del Piemonte, nell'area di Milano e nella parte di pianura al confine tra la circolazione

costiera e quella della pianura interna (corrispondente alle province di Parma-Reggio-Modena), la velocità media nel semestre invernale è dell'ordine di 1.5 m/s.



**Figura 3:** *velocità media del vento nella Pianura Padana; analisi modellistica, periodo 2003-2007*

Il rimescolamento e la diluizione degli inquinanti sono dovuti in massima parte alla turbolenza atmosferica: questa è generata in parte dal riscaldamento diurno della superficie terrestre (componente termica), in parte dall'attrito esercitato della superficie sul vento a grande scala (componente meccanica). Nella pianura padana, a causa della debolezza dei venti, il contributo più importante è dato dalla componente termica: siccome questa dipende dall'irraggiamento solare, le concentrazioni della maggior parte degli inquinanti mostrano uno spiccato ciclo stagionale. In particolare, i valori invernali di PM e NO<sub>2</sub> sono circa doppi rispetto a quelli estivi, e pressoché tutti i superamenti dei limiti di legge si verificano in inverno. La situazione è diversa per l'ozono e gli altri inquinanti secondari di origine fotochimica: la loro formazione è favorita dall'irraggiamento solare e dalle temperature elevate, per cui le concentrazioni risultano alte in estate e basse in inverno. Tuttavia, il buon rimescolamento dell'atmosfera nei mesi caldi fa sì che le loro concentrazioni siano pressoché omogenee sull'intero territorio, indipendentemente dalla distanza rispetto alle sorgenti emissive.

Nella fascia costiera, la maggiore velocità del vento fa sì che le concentrazioni di inquinanti siano, in media, più basse. In giornate specifiche può però essere vero il contrario: venti al suolo provenienti da ovest possono trasportare verso la costa aria inquinata proveniente dalle zone interne della pianura, e in particolari condizioni la massa d'aria sopra al mare può diventare un serbatoio di precursori di ozono e altri inquinanti secondari.

Nel periodo invernale sono frequenti condizioni di inversione termica al suolo, in particolare nelle ore notturne. In queste condizioni, che talvolta persistono per l'intera giornata, la dispersione degli inquinanti emessi a bassa quota è fortemente limitata: questo può determinare un marcato aumento delle concentrazioni in prossimità delle sorgenti emissive, che spesso interessa tutti i principali centri urbani.

Nei mesi freddi, in condizioni di alta pressione, di pressione livellata o comunque in assenza di forzanti sinottiche marcate, il ricambio dell'aria in prossimità del suolo è limitato, e può richiedere diversi giorni. Queste situazioni meteorologiche spesso permangono per diversi giorni consecutivi: gli inquinanti emessi tendono allora ad accumularsi progressivamente in prossimità del suolo, raggiungendo concentrazioni elevate e favorendo la formazione di ulteriore inquinamento secondario. Durante questi episodi,

l'inquinamento non è più limitato alle aree urbane e industriali, ma si registrano concentrazioni elevate abbastanza omogenee in tutto il bacino, incluse le zone di campagna lontane dalle sorgenti emissive. Un'altro fenomeno meteorologico tipico della Pianura Padana è la presenza di inversioni termiche in quota. Queste si formano più frequentemente nel semestre invernale, quando c'è un afflusso di aria calda in quota, che supera le montagne e scorre sopra la massa d'aria più fredda che ristagna sulla pianura: la Val Padana diventa allora una sorta di recipiente chiuso, in cui gli inquinanti vengono schiacciati al suolo, creando un unico strato di inquinamento diffuso e uniforme. In queste situazioni, le concentrazioni possono raggiungere valori molto elevati, anche in presenza di un buon irraggiamento solare.

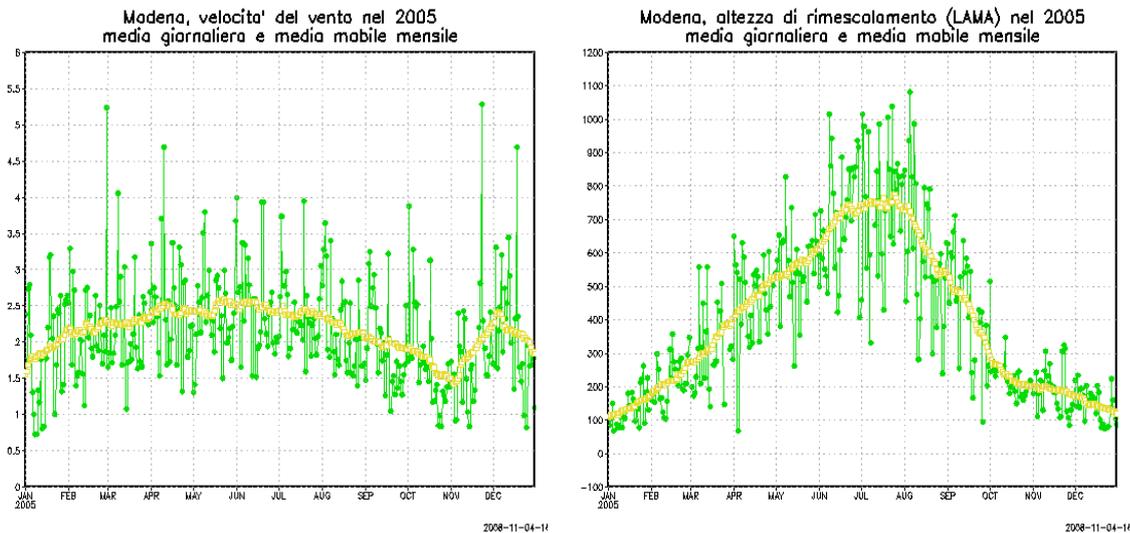


Figura 4: esempio di andamento stagionale di velocità del vento (sinistra) e altezza di rimescolamento (destra); analisi modellistica, Modena, anno 2005.

## La zonizzazione del territorio ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria

L'analisi degli elementi del contesto territoriale e socio economico ha portato alla classificazione del territorio regionale in zone ed agglomerati (zonizzazione). La zonizzazione definisce le unità territoriali sulle quali viene eseguita la valutazione della qualità dell'aria ed alle quali si applicano le misure gestionali. La classificazione delle zone effettuata secondo i criteri stabiliti dal D.Lgs. 155/2010 agli articoli 3 e 4 per la zonizzazione del territorio è mostrata nella Figura 5.

La zonizzazione regionale, approvata con DGR 2001/2011, individua un agglomerato relativo a Bologna ed ai comuni limitrofi, e tre macroaree di qualità dell'aria (Appennino, Pianura Est, Pianura Ovest).

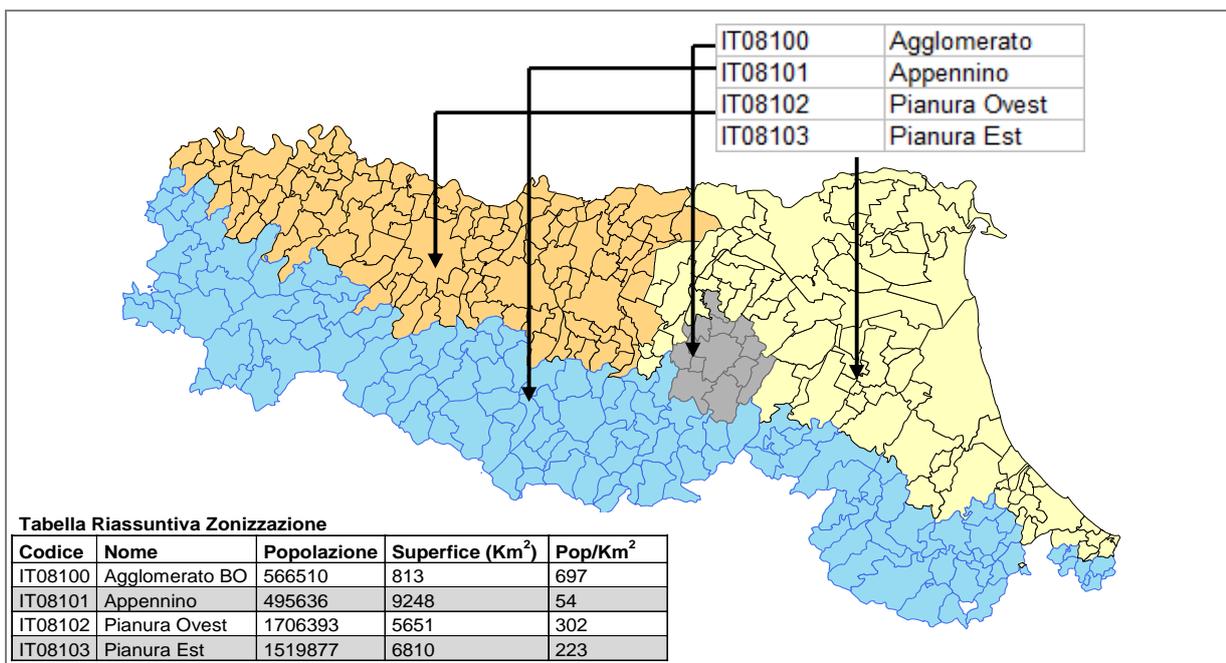


Figura 5: La zonizzazione del territorio dell'Emilia-Romagna (DLgs 155/2010)

## Il programma di valutazione

La valutazione delle qualità dell'aria in Emilia-Romagna viene attuata secondo un programma approvato dalla Giunta regionale con Deliberazione n. 2001/2011 avente per oggetto il "recepimento del Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n. 155 "attuazione della Direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" - approvazione della nuova zonizzazione e della nuova configurazione della rete di rilevamento ed indirizzi per la gestione della qualità dell'aria."

La principale novità introdotta dal Programma di valutazione è di basare il processo di valutazione su un insieme di strumenti tecnici e scientifici tra loro integrati in modo da garantire una informazione che copra l'intero territorio e non solamente i punti ove è presente una stazione di rilevamento. Il complesso di strumenti oggi utilizzati, frutto di un processo di evoluzione tecnica e scientifica attuato da ARPA attraverso un insieme di progetti a finanziamento regionale, nazionale ed europeo, va dalla tradizionale rete di monitoraggio degli inquinanti e dei parametri atmosferici alle tecniche di simulazione numerica delle condizioni meteorologiche e di diffusione, trasporto e trasformazione chimica degli inquinanti, che nel loro insieme costituiscono il sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria.

Il sistema consente di soddisfare con regolarità ed in modo quotidiano i compiti istituzionali affidati dallo Stato alle Regioni in tema di valutazione e gestione della qualità dell'aria, in particolare per quanto riguarda la redazione dei piani e l'informazione al pubblico.

Le valutazioni vengono pubblicate sul sito istituzionale di ARPA relativo alla qualità dell'aria<sup>1</sup> ed inserite in vari rapporti ufficiali dell'Agenzia e della Regione quali il "Rapporto sullo stato dell'ambiente", il Rapporto annuale "la Qualità dell'aria in Emilia – Romagna" ed il Rapporto "la qualità dell'ambiente in Emilia - Romagna - annuario dei dati ambientali". Le valutazioni sono inoltre lo strumento primario utilizzato per definire le aree di superamento dei valori limite ai sensi del D.Lgs. 155/10.

<sup>1</sup> [www.arpa.emr.it/aria/](http://www.arpa.emr.it/aria/)

## **Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione**

Lo schema a blocchi del sistema integrato è mostrato in Figura 6. I tre blocchi principali del sistema sono costituiti dalle reti di monitoraggio, dal sistema di modelli numerici e dall'inventario delle emissioni.

Il sistema delle reti di monitoraggio comprende le due reti principali costituite dalla rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (RMQA), la rete meteorologica (RIRER) ed alcune reti ausiliarie quali deposizioni, pollini e genotossicità.

I dati forniti dal sistema di monitoraggio vengono rielaborati e completati attraverso un complesso sistema di modelli numerici che integrano i dati puntuali con altri dati territoriali, quali le emissioni, la morfologia del territorio e gli inquinanti provenienti dall'esterno della regione (modello chimico di trasporto e dispersione NINFA e modello di valutazione PESCO).

Un ultimo segmento del sistema è rappresentato dal modello di valutazione integrata (IAM), costituito dal modello di ottimizzazione delle politiche RIAT+ (prototipo in fase avanzata di sviluppo).

Le funzioni svolte da queste componenti sono rappresentate dai blocchi superiori dello schema e sono la valutazione quotidiana e annuale dello stato della qualità dell'aria, la previsione e la gestione dell'inquinamento sul breve periodo attraverso la diffusione di avvisi regolari (ad es. durante il periodo di applicazione dell'accordo di programma) in tempo reale e la gestione sul lungo periodo attraverso il supporto alla pianificazione regionale e locale.

Il sistema integrato interagisce con le attività di progetto, rappresentate nel blocco inferiore, sia fornendo dati ed informazioni necessarie alla loro realizzazione, sia ottenendo nuovi strumenti e tecniche che vengono trasferite nel sistema.

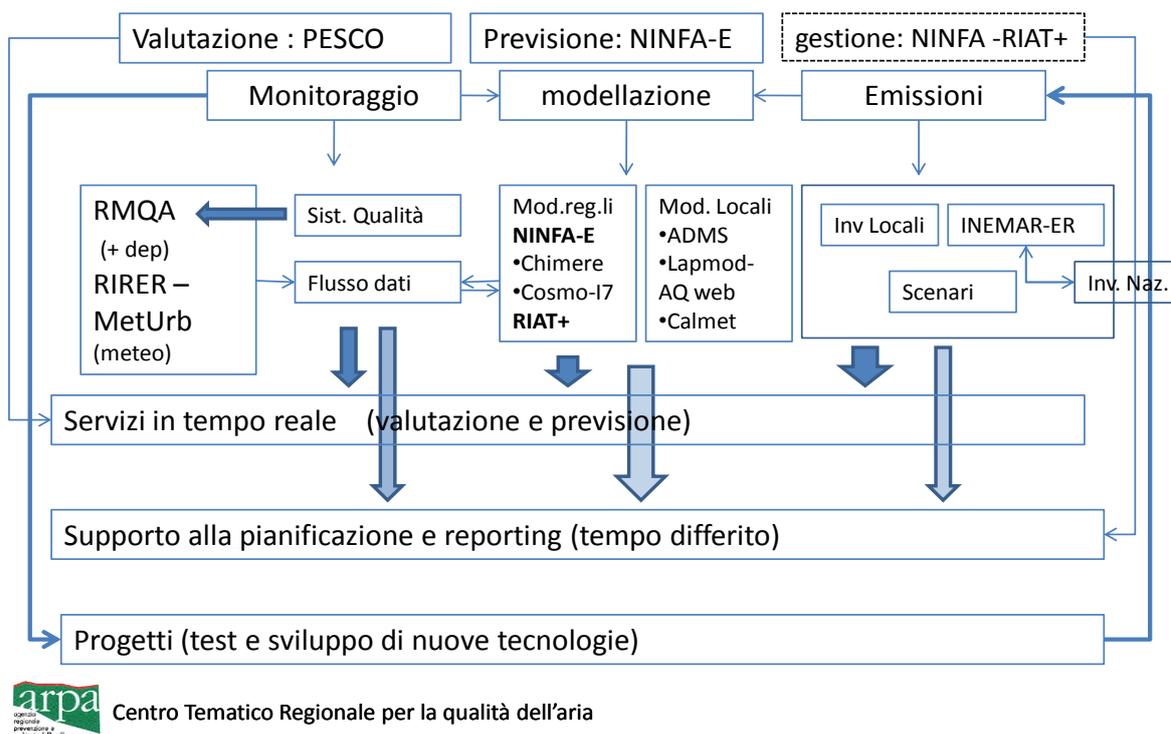


Figura 6: schema a blocchi del sistema integrato di valutazione , previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna

## La rete di monitoraggio

L'ultima fase del percorso evolutivo del sistema di valutazione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna, avviato nel 2011 per consentire l'adeguamento al D.Lgs. 155 2010, è stata conclusa nel gennaio 2013. Questa riorganizzazione segue la precedente riorganizzazione della rete realizzata nel 2006 -2010 per adeguarsi al DM 60 del 2002 e D.Lgs. 183 del 2004. Si deve comunque considerare che la rete è in continua evoluzione, fin dagli anni 70, e ulteriori interventi e razionalizzazioni sono allo studio per il prossimo triennio. I principi che guidano gli interventi di riorganizzazione della rete sono:

- la massimizzazione delle informazioni al minimo costo,
- il soddisfacimento dei requisiti normativi,
- il consentire, attraverso la combinazione della modellistica con i dati delle stazioni di fondo, la valutazione della qualità dell'aria sull'intero territorio regionale e la valutazione dell'esposizione della popolazione all'inquinamento,
- la garanzia di un elevato margine di sicurezza per quanto riguarda la disponibilità dei dati a copertura delle situazioni più critiche (di particolare importanza per garantire la disponibilità dei dati necessari alla assunzione delle misure emergenziali previste dall'accordo di programma 2012-2015 sulla qualità dell'aria),
- la garanzia della continuità delle serie storiche, necessaria per eseguire l'analisi del trend di lungo periodo.

La rete regionale della qualità dell'aria (RMQA) dal primo gennaio 2013 è composta da 47 punti di misura in siti fissi e 176 analizzatori automatici. La rete è completata da 10 laboratori mobili e numerose unità mobili per la realizzazione di campagne di valutazione e dalle reti ausiliarie quali la rete meteorologica RIRER, di cui 10 stazioni per la meteorologia urbana (MetUrb), la rete deposizioni (8 stazioni), la rete dei pollini (10 stazioni) e la rete della genotossicità (5 stazioni).

La rete della qualità dell'aria ha ottenuto nel 2005 la certificazione UNI EN ISO 9001. Il sistema di controllo qualità, attraverso una sistematica azione di documentazione delle procedure, controllo e verifica, garantisce il mantenimento degli standard stabiliti dalla certificazione.

Gli inquinanti monitorati variano da stazione a stazione in dipendenza dalle caratteristiche di diffusione e dinamica chimico-fisica dell'inquinamento, della distribuzione delle sorgenti di emissione e delle caratteristiche del territorio. Si va dai 47 punti di misura per NO<sub>2</sub> ai 42 punti di misura per PM<sub>10</sub>, mentre vengono progressivamente ridotti gli analizzatori che monitorano inquinanti la cui concentrazione è ormai al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (es. SO<sub>2</sub>) o ampiamente al di sotto dei valori limite (es. CO) (Tabella 1). D'altra parte aumenta la distribuzione territoriale dei punti di misura che oggi vanno a coprire anche zone di fondo rurale e remoto (Figura 7) dato che le caratteristiche degli inquinanti si sono progressivamente modificate. Oggi le forme più significative di inquinamento sono dovute ad inquinanti secondari (come ozono e Polveri fini e ultrafini) che tendono ad interessare tutto il territorio e non solo le aree industriali e urbane immediatamente prossime ai punti di emissione.

A fronte di questa razionalizzazione del sistema di monitoraggio, risulta quindi aumentato, grazie alla integrazione con la modellistica numerica, il grado di copertura territoriale delle informazioni rese disponibili ai cittadini ed alle autorità locali e nazionali.

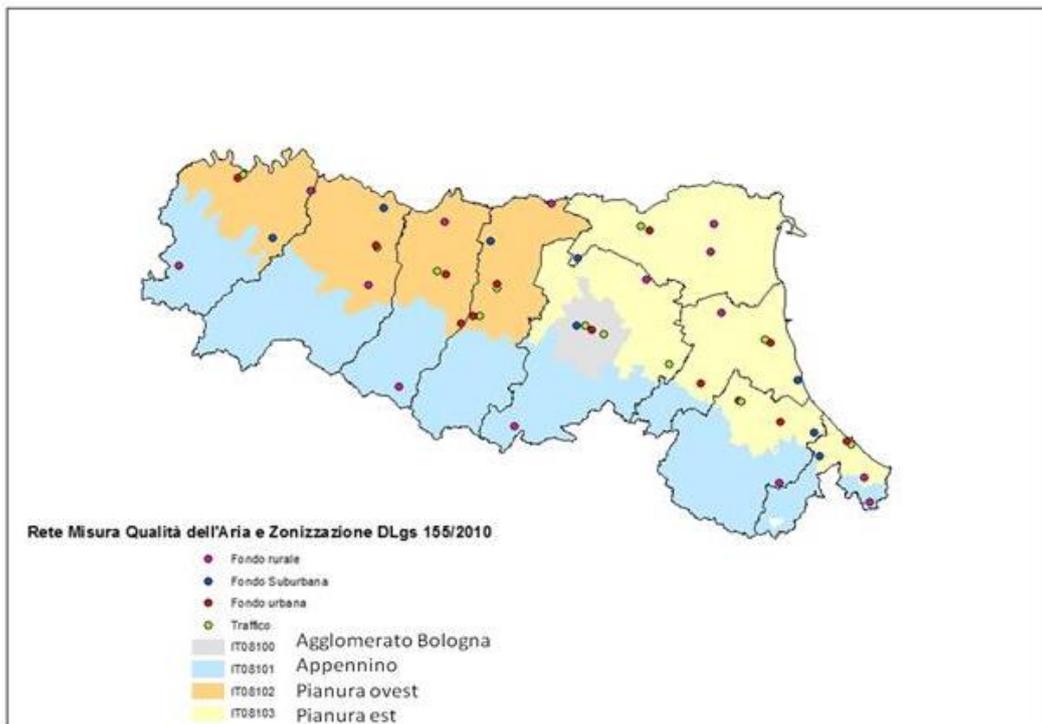


Figura 7: le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione. ( Approvati con [Deliberazione n. 2001/2011 della Giunta Regionale](#) )

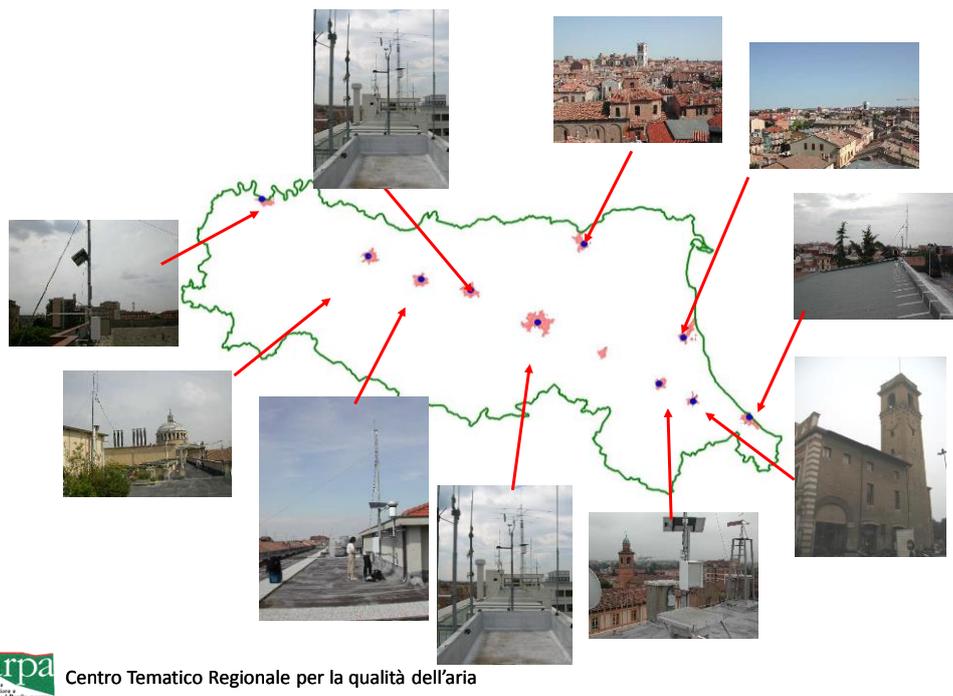


Figura 8: stazioni della sottorete meteorologica per la meteorologia urbana.

Tabella 1: stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria

| Prov. | Comune                 | Nome Stazione        | Tipo di stazione   | PM10 | PM2.5 | NOX | CO | BTX | O3 | SO2 |
|-------|------------------------|----------------------|--------------------|------|-------|-----|----|-----|----|-----|
| PC    | Piacenza               | Giordani - Farnese   | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| PC    | Piacenza               | Montecucco           | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| PC    | Lugagnano Val d'Arda   | Lugagnano            | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| PC    | Corte Brugnatella      | Corte Brugnatella    | fondo remoto       | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| PC    | Besenzone              | Besenzone            | fondo rurale       |      | X     | X   |    |     | X  |     |
| PR    | Parma                  | Montebello           | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| PR    | Parma                  | Cittadella           | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| PR    | Colorno                | Saragat              | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| PR    | Langhirano             | Badia                | fondo rurale       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RE    | Reggio Emilia          | San Lazzaro          | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RE    | Reggio Emilia          | Timavo               | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| RE    | Castellarano           | Castellarano         | fondo residenza    | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RE    | Guastalla              | San Rocco            | fondo rurale       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RE    | Villa Minozzo          | Febbio               | fondo remoto       | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| MO    | Modena                 | Giardini             | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| MO    | Modena                 | Parco Ferrari        | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| MO    | Carpi                  | Carpi 2              | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| MO    | Fiorano Modenese       | Circ. San Francesco  | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| MO    | Sassuolo               | Parco Edilcarani     | fondo residenza    | X    |       | X   |    |     |    |     |
| MO    | Mirandola              | Gavello              | fondo rurale       |      | X     | X   |    |     | X  |     |
| BO    | Bologna                | Via Chiarini         | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| BO    | Porretta Terme         | Porretta Terme       | fondo remoto       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| BO    | Bologna                | Giardini Margherita  | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| BO    | Bologna                | Porta San Felice     | Traffico           | X    | X     | X   | X  | X   |    |     |
| BO    | Imola                  | de Amicis            | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| BO    | Molinella              | San Pietro Capofiume | fondo rurale       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| BO    | San Lazzaro di Savena  | San Lazzaro          | Traffico           | X    |       | X   |    |     |    |     |
| FE    | Ferrara                | Isonzo               | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| FE    | Ferrara                | Villa Fulvia         | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| FE    | Cento                  | Cento                | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| FE    | Jolanda di Savoia      | Gherardi             | fondo rurale       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| FE    | Ostellato              | Ostellato            | fondo rurale       |      | X     | X   |    |     | X  |     |
| RA    | Ravenna                | Caorle               | fondo residenziale | X    |       | X   |    |     |    | X   |
| RA    | Ravenna                | Zalamella            | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| RA    | Faenza                 | Parco Bucci          | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RA    | Cervia                 | Delta Cervia         | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| RA    | Alfonsine              | Ballirana            | fondo rurale       |      | X     | X   |    |     | X  |     |
| FC    | Forlì                  | Parco Resistenza     | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| FC    | Forlì                  | Roma                 | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| FC    | Cesena                 | Franchini Angeloni   | fondo residenza    | X    |       | X   |    |     |    |     |
| FC    | Savignano sul Rubicone | Savignano            | fondo suburbano    | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| FC    | Sogliano               | Savignano di Rigo    | fondo remoto       | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| RN    | Rimini                 | Flaminia             | traffico           | X    |       | X   | X  | X   |    |     |
| RN    | Rimini                 | Marecchia            | fondo urbano       | X    | X     | X   |    |     | X  |     |
| RN    | Verrucchio             | Verucchio            | fondo suburbano    | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| RN    | Mondaino               | Mondaino             | fondo remoto       | X    |       | X   |    |     | X  |     |
| RN    | S. Clemente (*)        | S. Clemente          | fondo rurale       |      | X     | X   |    |     | X  |     |

(\*) stazione da riposizionare in base al programma di valutazione)

## Il sistema di modelli numerici (NINFA-E)

La Regione Emilia-Romagna ha selezionato ed implementato appropriate tecniche di modellizzazione da utilizzare sul proprio territorio fin dal 2005 nell'ambito di progetti regionali ed europei. Il sistema integrato di modelli attualmente implementato assume il nome di NINFA-Extended.

I modelli numerici sono utilizzati conformemente a quanto indicato dall'art.5 del D.Lgs. 155 commi 2 e 3, per integrare le misure in siti fissi realizzate dalla rete di monitoraggio della qualità dell'aria. I modelli applicati in Emilia-Romagna permettono di valutare la qualità dell'aria in tutto il territorio regionale, anche laddove non sono disponibili misure dirette delle centraline (comma 4).

Il sistema modellistico NINFA-E si compone di due moduli principali e di vari moduli accessori (si veda lo schema). I moduli principali sono:

1. **NINFA**, risoluzione spaziale 5 km: modello chimico di trasporto e dispersione interfacciato con il modello meteorologico, con le condizioni al contorno e con l'inventario delle emissioni. In base ai criteri stabiliti dall'appendice III tabella 2 del D.Lgs. 155, NINFA può essere classificato come un modello adatto alla **valutazione della concentrazione di fondo regionale** degli inquinanti O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>.
2. **PESCO**, risoluzione spaziale 1 km rappresenta il modulo di postprocessamento geostatistico, basato sulla combinazione dei dati della rete di misura col modello chimico. In base ai criteri stabiliti dall'appendice III tabella 2 del D.Lgs. 155, PESCO può essere classificato come un modello adatto alla **valutazione della concentrazione di fondo urbano** degli inquinanti O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>.

Il **modello chimico** utilizzato da NINFA è il modello Chimere<sup>2</sup>. Si tratta di un modello euleriano a griglia di ultima generazione in grado di simulare il trasporto, la dispersione, le trasformazioni chimiche e la deposizione (secca e umida) di inquinanti aeriformi ed aerosol. La qualità scientifica di Chimere è documentata in numerose pubblicazioni (si veda la bibliografia allegata). Il codice è aperto (licenza pubblica GNU) e consente una completa trasparenza e adattabilità alle condizioni locali del sistema di calcolo. La caratteristica di codice aperto ha consentito inoltre di introdurre da parte di ARPA-SIMC adattamenti specifici per la pianura padana, modificando l'interfaccia meteo (Diagmet) con correzioni degli schemi di calcolo dell'altezza di rimescolamento ed introducendo un modulo per il trattamento esplicito delle sorgenti puntuali.

Il **modello meteorologico** utilizzato da NINFA è COSMO-I7. L'implementazione italiana del codice non idrostatico LM sviluppato da un consorzio internazionale<sup>3</sup> del quale fanno parte per l'Italia USAM (Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia), ARPA-SIMC, ARPA-Piemonte, CIRA. Il modello meteorologico è stato interfacciato con il modello chimico Chimere e verificato per la applicazione specifica e viene costantemente migliorato da ARPA-SIMC anche in considerazione delle applicazioni relative alla qualità dell'aria.

Le **condizioni al contorno** vengono fornite quotidianamente dall'istituto INERIS, col quale è stato stabilito un accordo di collaborazione con ARPA, mediante il modello continentale Prev'air<sup>4</sup>.

L'**inventario delle emissioni attualmente** utilizzato da NINFA è costituito da una composizione dell'inventario nazionale, disaggregato su una maglia di 5 km di lato combinato con l'inventario europeo

---

<sup>2</sup> <http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/>

<sup>3</sup> <http://www.cosmo-model.org/>

<sup>4</sup> <http://www.prevoir.org/fr/index.php>

EMEP fuori dai confini nazionali. A scala regionale viene invece utilizzato l'inventario della Regione INEMAR-ER aggiornato al 2010.

NINFA si presenta come un sistema modellistico multiscala, con dettaglio crescente da quello continentale a quello regionale. Per consentire la valutazione della qualità dell'aria sul territorio regionale, descrivendo il trasporto dalle regioni prossime all'Emilia-Romagna, il sistema NINFA viene applicato su un dominio esteso a tutto il nord Italia.

NINFA esegue corse quotidiane di analisi e previsione di qualità dell'aria a partire dal 2005<sup>5</sup>. La qualità dei risultati forniti da NINFA viene valutata periodicamente attraverso il confronto con i dati di un ampio set di stazioni di qualità dell'aria su tutto il Nord Italia e sulla Regione Emilia-Romagna. I risultati della verifica sono documentati in appositi rapporti tecnici, tra i quali si citano il rapporto finale del progetto NINFA-E (Giugno 2011)<sup>6</sup> ed il rapporto "Individuazione degli obiettivi minimi di riduzione delle emissioni regionali per il rispetto dei limiti di qualità dell'aria per gli inquinanti ozono, biossido di azoto, PM10 nella regione Emilia – Romagna" (marzo 2007)<sup>7</sup>

**PESCO** (Postprocessing and Evaluation with Statistical techniques of the Chimere Output) è un sistema di valutazione della qualità dell'aria in Emilia Romagna che permette di ricostruire la mappa regionale di concentrazione al suolo di ozono, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> e biossido di azoto eseguendo un post processing statistico dell'output del modello numerico NINFA con i dati osservati dalla rete di monitoraggio regionale. PESCO corregge sia le analisi, sia le previsioni di NINFA. Il metodo di post-processing per l'analisi è descritto nel rapporto "Il sistema modellistico NINFA+PESCO per la valutazione e la previsione della qualità dell'aria in Emilia Romagna"<sup>8</sup>

Il sistema è completato da modelli a scala locale utilizzati per l'esecuzione di analisi di dettaglio con l'ausilio della concentrazione di fondo fornite dal sistema modellistico regionale. I modelli a scala locale attualmente in uso sono il modello **ADMS-Urban**, modello gaussiano utilizzato principalmente per analisi specifiche nelle aree urbane e/o in presenza di molte sorgenti, **Lapmod**, modello lagrangiano utilizzato principalmente per analisi dettagliate in situazioni di terreno complesso in presenza di un numero limitato di sorgenti. I dati meteorologici vengono forniti dal modello meteorologico a conservazione della massa **CALMET**.

## Il modello di valutazione integrata RIAT+

Lo strumento di valutazione integrata **RIAT+** è un prototipo realizzato nell'ambito del progetto Europeo Life-OPERA (capofila ARPA). Il progetto e le caratteristiche del software RIAT+ sono descritte sul sito del progetto<sup>9</sup>.

Lo strumento consente di identificare l'insieme di azioni che devono essere incentivate o introdotte per diminuire efficacemente le concentrazioni degli inquinanti secondari (PM, ozono e NO<sub>2</sub>), minimizzando i costi di intervento.

I componenti principali dello strumento sono rappresentati dalle basi dati di input, composte da un data base delle misure di riduzione delle emissioni (suddivise in azioni tecniche e non-tecniche) dalle emissioni

---

<sup>5</sup> documentazione e dati disponibili su: [http://www.arpa.emr.it/sim/?qualita\\_aria/previsioni\\_aria\\_nord](http://www.arpa.emr.it/sim/?qualita_aria/previsioni_aria_nord)

<sup>6</sup> [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/aria/rapporto\\_ninfa.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/rapporto_ninfa.pdf)

<sup>7</sup> [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=561&idlivello=64](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=561&idlivello=64)

<sup>8</sup> [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/ambiente/descr-pesco.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/descr-pesco.pdf)

<sup>9</sup> <http://www.operatool.eu>

attuali ed in diversi scenari, dalla concentrazione in aria degli inquinanti corrispondenti agli scenari emissivi considerati, ottenute attraverso le simulazioni condotte col modello NINFA. I dati di input vengono utilizzati per la costruzione di un modello decisionale che valuta, attraverso una analisi multi obiettivo, le migliori combinazioni costi-benefici e da un modello sorgente-recettore, in grado di restituire rapidamente la concentrazione in aria associata alle diverse opzioni considerate dal modello decisionale. Gli output principali forniti da RIAT+ sono (Figura 9):

- La curva di Pareto che restituisce i costi (espressi come costi aggiuntivi rispetto allo scenario tendenziale derivante dalla applicazione della legislazione attuale - CLE) corrispondenti all'indicatore di qualità dell'aria scelto (es. concentrazione media annuale di PM10) per diversi scenari. Una volta scelto lo scenario che si intende valutare (scenario ottimo) è possibile visualizzare le politiche associate allo scenario, espresse in termini di costi, valore dei vari indicatori di qualità dell'aria, riduzione delle emissioni rispetto allo scenario di riferimento (CLE).
- Dettaglio sulle politiche, contenente l'elenco delle azioni applicabili per ridurre le emissioni. Le azioni sono espresse come tecnologia applicata, settore-macrosettore- attività di pertinenza, coefficiente di applicazione della tecnologia e costo associato alla tecnologia.
- Dettaglio spaziale. Fornito come mappe di concentrazione ed emissione di inquinanti associate allo scenario selezionato.

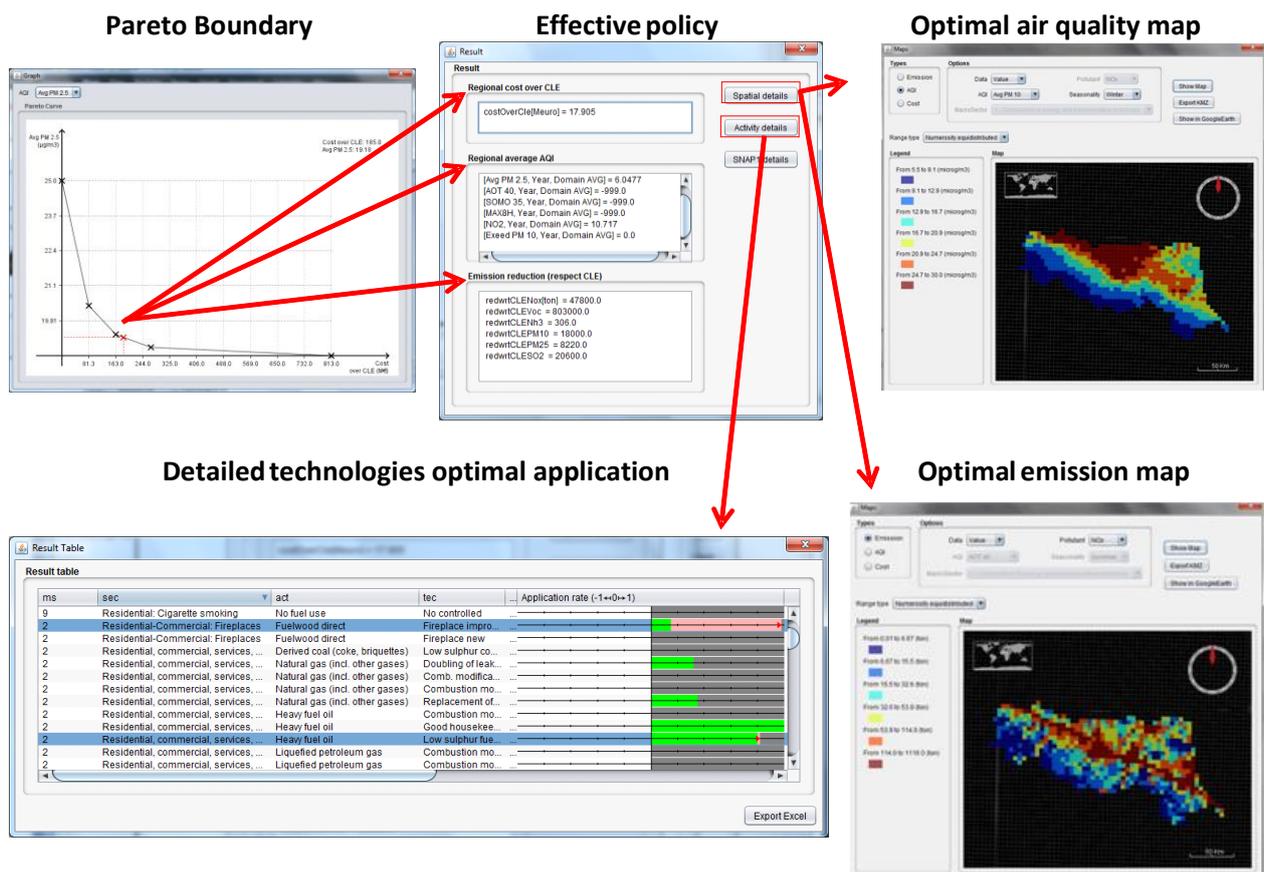


Figura 9: esemplificazione dei principali output di RIAT+

## Il Progetto Supersito

Per studiare in dettaglio le dinamiche degli inquinanti più rilevanti, quali le polveri fini e ultrafini ed i loro effetti sulla salute vengono realizzate, oltre alle attività di valutazione quotidiana previste dal programma di valutazione, campagne intensive.

Uno dei principali progetti, avviato da Novembre 2011 è il progetto Supersito<sup>10</sup>, nell'ambito del quale sono in corso misure chimiche dettagliate dell'aerosol fine nonché misure di concentrazione numerica e distribuzione dimensionale dell'aerosol ultrafine: i dati ottenuti rappresenteranno le basi per uno studio di tipo epidemiologico finalizzato alla valutazione dell'impatto dei diversi parametri chimici e fisici sulla salute.

Il progetto Supersito, finanziato e realizzato da Regione Emilia-Romagna e Arpa ER con la collaborazione di diverse istituzioni nazionali ed internazionali, ha l'obiettivo generale di migliorare le conoscenze relative agli aspetti ambientali e sanitari del particolato fine (PM2.5 e PM1) e ultrafine (inferiore al PM0.1) presente

<sup>10</sup> <http://www.arpa.emr.it/supersito/>

in atmosfera; la misura di tali parametri sia all'esterno (outdoor) che all'interno di abitazioni, residenze o uffici (ambienti indoor) permetterà inoltre di approfondire le conoscenze in merito.

Il progetto è organizzato in 7 linee progettuali la cui architettura è riassunta nello schema di Figura 10

Il campionamento dell'aerosol atmosferico ha luogo in quattro stazioni di monitoraggio, dotate di nuova e specifica strumentazione, posizionate nel territorio della Regione Emilia-Romagna. I dati sono poi integrati con quelli rilevati dalla stazione del CNR ISAC situata sul Monte Cimone.

Il progetto, oltre a monitoraggio in continuo per tre anni, prevede di attuare campagne ad hoc nelle due stazioni di Bologna. In dettaglio le attività sono le seguenti:

1. analisi della composizione chimica del PM presente in atmosfera;
2. misure della concentrazione numerica delle particelle di aerosol, suddivise per diametro, aventi dimensioni da circa 3 nanometri a 1 micrometro;
3. determinazioni di tipo tossicologico per valutare le tipologie di aerosol contenenti sostanze, elementi, composti o miscele di composti che hanno effetti sulla salute;
4. analisi di parametri di micro-meteorologia.

Successivamente alle misure di cui sopra si prevede di effettuare una serie di elaborazioni, i cui obiettivi sono:

- a) il miglioramento dei modelli matematici utilizzati per le previsioni della qualità dell'aria;
- b) la ripartizione delle sorgenti emissive (source apportionment) mediante l'utilizzo di "modelli al recettore";
- c) indagini epidemiologiche a breve e a lungo termine;
- d) valutazione del rischio (risk assessment) attraverso le elaborazioni dei parametri chimici e tossicologici osservati e dalla loro comparazione con le analisi epidemiologiche;
- e) supporto alla governance per le tematiche relative alla gestione della qualità dell'aria.

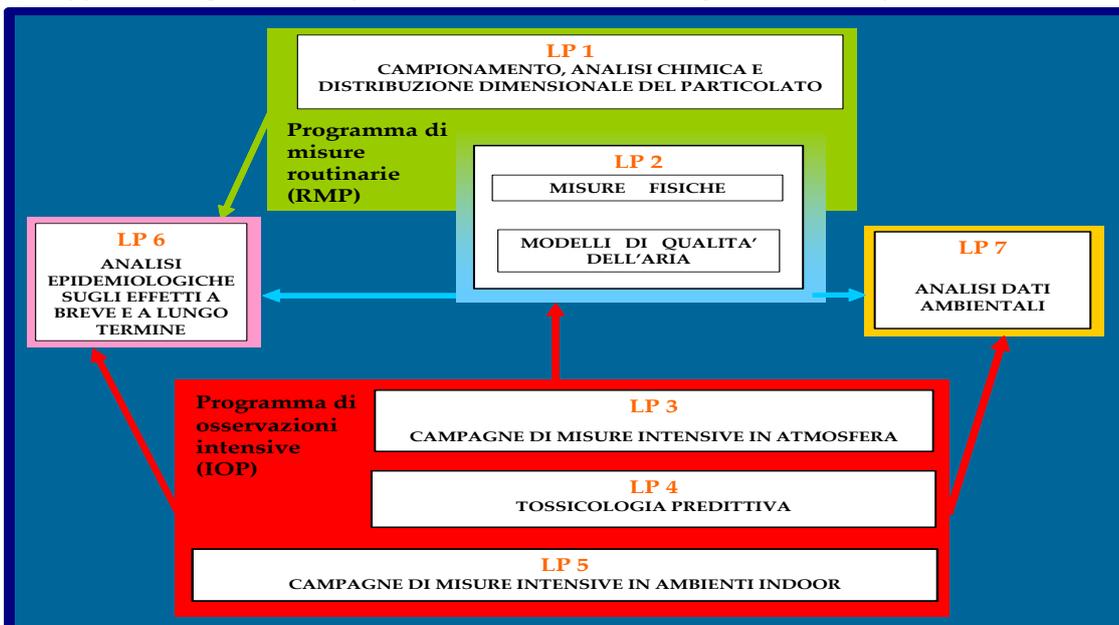


Figura 10: Architettura del progetto Supersito

Il campionamento di particolato atmosferico avviene in quattro stazioni di monitoraggio posizionate sul territorio della regione Emilia-Romagna, in modo da essere rappresentative di cinque realtà (Figura 11):

- stazione principale di monitoraggio (Main Site): area urbana di Bologna, nell'Area della Ricerca del CNR

- sito satellite: area urbana di Parma, nella stazione di monitoraggio di "Cittadella"
- sito satellite: area urbana di Rimini, nella stazione di monitoraggio di "Marecchia"
- sito satellite: area rurale di San Pietro Capofiume (Molinella, Bo)

I dati verranno integrati con quelli provenienti dalla stazione CNR del Monte Cimone, sull'Appennino modenese.

Gli enti attualmente coinvolti sono i seguenti:

- Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima - Consiglio Nazionale delle Ricerche (Isac-CNR)
- Università di Bologna (Dipartimento di Patologia Sperimentale)
- Università di Ferrara (Dipartimento di Chimica)
- Università di Helsinki, Finlandia (Dipartimento di Fisica)
- Università della Finlandia Orientale (Dipartimento di Fisica Applicata)
- Istituto Meteorologico Finlandese
- Dipartimento di Epidemiologia del Servizio Sanitario Regionale del Lazio
- Università di Bologna - Dipartimento di Scienze Statistiche

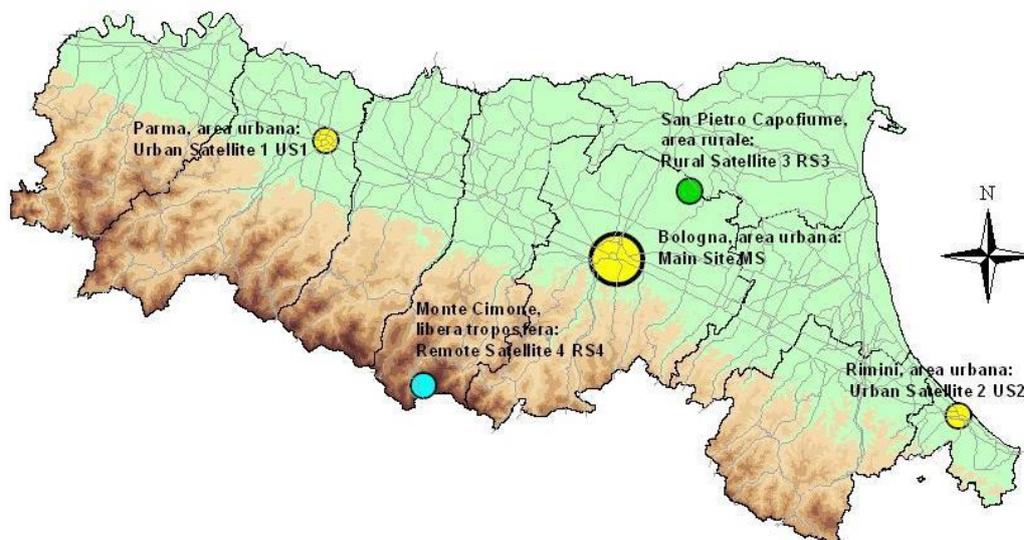


Figura 11: Ubicazione dei siti di monitoraggio del progetto Supersito

## Lo stato della qualità dell'aria

L'Emilia-Romagna, analogamente a quanto accade per la maggior parte delle zone ed agglomerati della pianura padana, presenta frequenti situazioni di superamento dei valori limite per gli inquinanti Ozono, PM10, PM2.5 e NO2. Come si è visto queste condizioni di inquinamento diffuso sono causate dalla elevata densità abitativa, dalla industrializzazione intensiva, dal sistema dei trasporti e di produzione dell'energia e sono favorite dalla particolare conformazione geografica che determina condizioni di stagnazione dell'aria inquinata in conseguenza della scarsa ventilazione e basso rimescolamento degli strati bassi dell'atmosfera. La Commissione Europea ha riconosciuto che le situazioni di superamento dei limiti per PM10 siano dovute soprattutto a condizioni climatiche avverse (si veda al proposito il Punto 25 della Notifica ai sensi dell'Art. 254 del Trattato CE. Procedura di infrazione 2008/2194: qualità dell'aria ambiente valori limite PM10).

## Il superamento dei valori limite per PM10

I Valori Limite (VL) annuale (Figura 12) e giornaliero (Figura 13) per il PM10 fissati dalla Direttiva 2008/50 CE, sono stati sistematicamente superati nelle zone di pianura e nell'agglomerato di Bologna, fin dalla loro entrata in vigore nel 2005, tuttavia l'analisi dell'andamento pluriennale (2001 – 2012) evidenzia che le situazioni di superamento del **VL annuale** in Emilia – Romagna sono in progressiva diminuzione. Nel 2010 per il primo anno non si sono verificati superamenti, mentre nel 2011 e 2012 si sono verificati superamenti in un numero limitato (3, 4) di stazioni. Le variazioni di concentrazione media da un anno all'altro sono legate all'andamento meteorologico, che può essere rappresentato sinteticamente attraverso l'indice "giorni favorevoli all'accumulo di PM10" (Figura 14), un indice che presenta una marcata variabilità interannuale. A questa variabilità dovuta alle condizioni meteorologiche si sovrappone un limitato, ma statisticamente significativo (Figura 16), trend in diminuzione in quasi tutte le stazioni della rete ad esclusione delle stazioni di fondo remoto (Febbio e Gherardi), dove la concentrazione media annuale di PM10 è rimasta costante nel tempo. <sup>(11)</sup>

Più critica risulta la situazione relativa al superamento del **VL giornaliero** che è stato superato ogni anno per 80 -140 volte (limite 35), a seconda delle stazioni e degli anni considerati. Il numero maggiore di superamenti si registra nelle stazioni da traffico, ma anche le stazioni di fondo urbano e, in alcuni casi, remoto, risultano superiori al limite. In base all'analisi della distribuzione geografica di questo inquinante si stima che oltre il 60% della popolazione residente sia stata esposta nel 2011 e 2012 a valori di PM10 superiori al VL giornaliero (Figura 15).

Un elemento importante da considerare nel valutare le situazioni di superamento dei VL per PM10 riguarda la correlazione tra VL annuale ed il numero di superamenti del VL giornaliero. Uno studio di ARPA ha evidenziato una stretta **correlazione tra il VL annuale ed il n di superamenti del VL giornaliero** (Rank36). I risultati hanno portato ad individuare un valore limite equivalente (VLE) per la media annuale di circa 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Questo valore rappresenta la miglior stima ottenibile dall'analisi di regressione, se  $\text{VLE} < 27.4$  o  $> 28.8$  il metodo permette di stimare correttamente il rispetto del limite di legge nel 95% dei casi (Figura 17).

I risultati ottenuti per l'Emilia-Romagna sono in accordo con lo studio condotto con metodologia analoga su un dataset di stazioni europee dall'EEA (De Leeuw 2012<sup>12</sup>). Valutazioni simili hanno portato ARPA Lombardia a stimare in 27-28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  la concentrazione media annua necessaria per il rispetto del limite sul numero massimo di superamenti giornalieri (PRIA, Documento di piano- Proposta).

Questi risultati implicano che il limite più stringente è il limite giornaliero per PM10, corrispondente per E-R ad un valore limite annuale di circa 28 anziché 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Si può ipotizzare che se si rispetta questo, saranno rispettati anche i limiti per PM2.5 e NO2 (esclusi gli hot spot). Per l'ozono troposferico le strategie di riduzione delle concentrazioni sono limitate sia dalla grande scala spaziale caratteristica di questo inquinante, che richiederebbero azioni a carattere nazionale se non a carattere europeo, sia dalla risposta non lineare tra le riduzioni delle emissioni dei precursori di ozono (NOx e COV) e le riduzioni delle concentrazioni di questo inquinante. A tale riguardo uno studio di ARPA,<sup>13</sup> nel quale è stato ipotizzato l'azzeramento di tutte le emissioni antropogeniche in Emilia Romagna mostra che anche in questa

---

<sup>11</sup> G. Bonafè, E.Minguzzi, A.Morgillo, "Analisi del trend della qualità dell'aria in Emilia-Romagna", Ecoscienza, in corso di pubblicazione.

<sup>12</sup> De Leeuw, 2012: studio presentato a Bruxelles al PM-workshop del 18-19/6/2012.

<sup>13</sup> [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/ambiente/scenariqa.completo.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/scenariqa.completo.pdf)

situazione estrema e nelle estati più calde come quella del 2003, le concentrazioni di ozono si manterrebbero sopra i limiti.

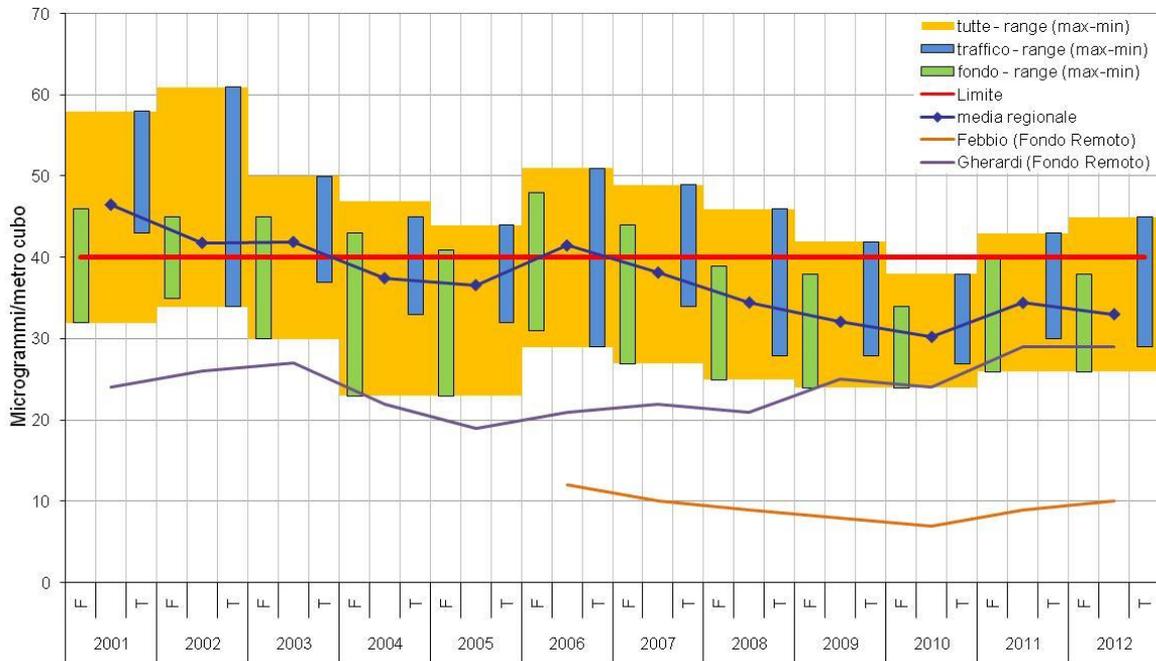


Figura 12: andamento media annuale PM10

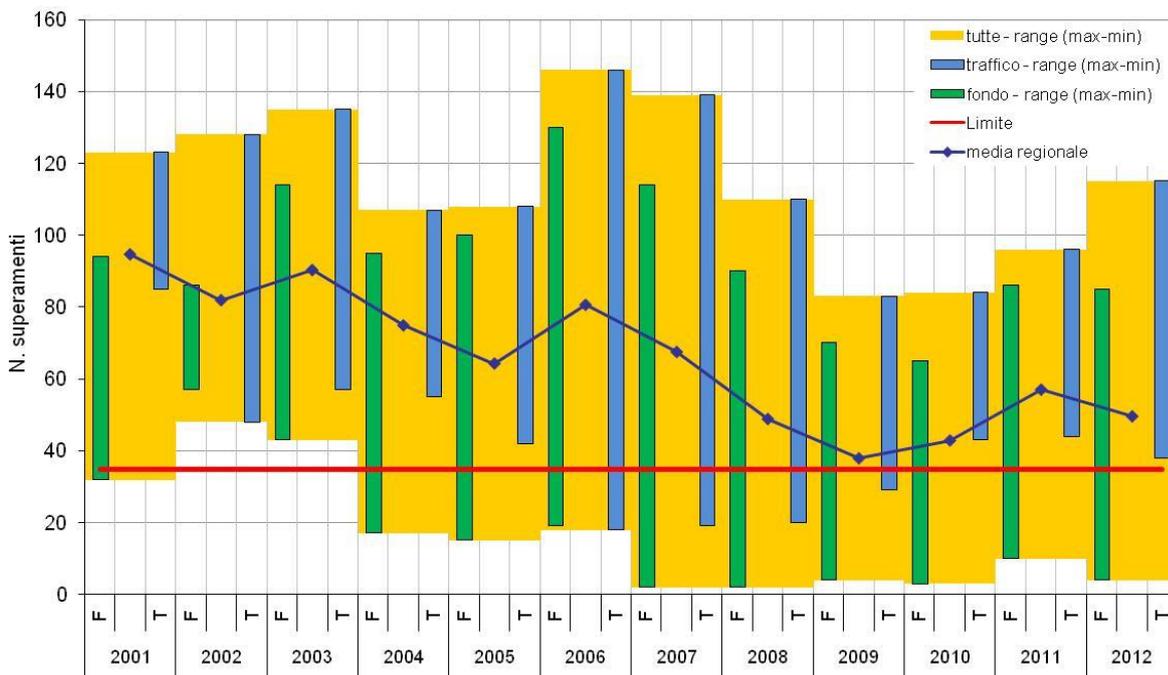


Figura 13: andamento del n. di superamenti del valore limite giornaliero per PM10

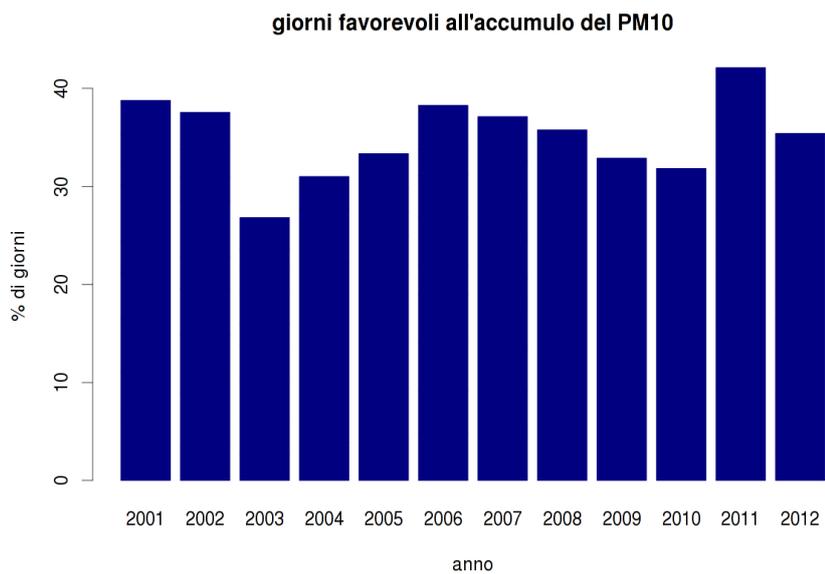


Figura 14: andamento giorni critici PM10

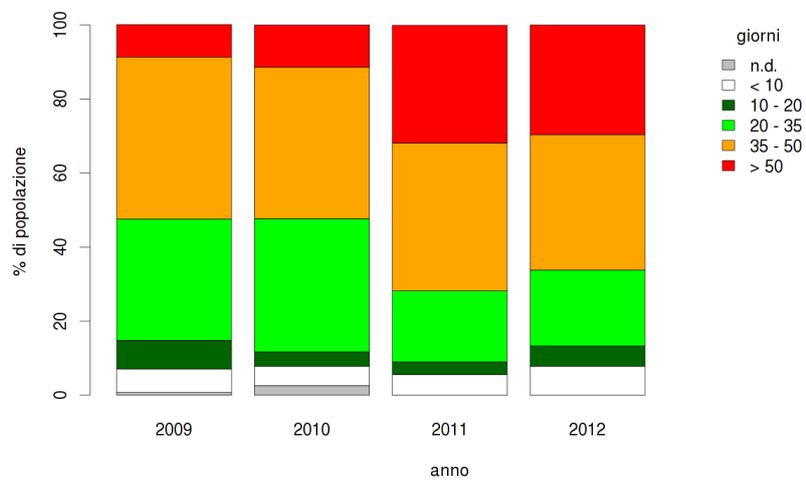


Figura 15: andamento della popolazione esposta a PM10 superiore al valore limite giornaliero

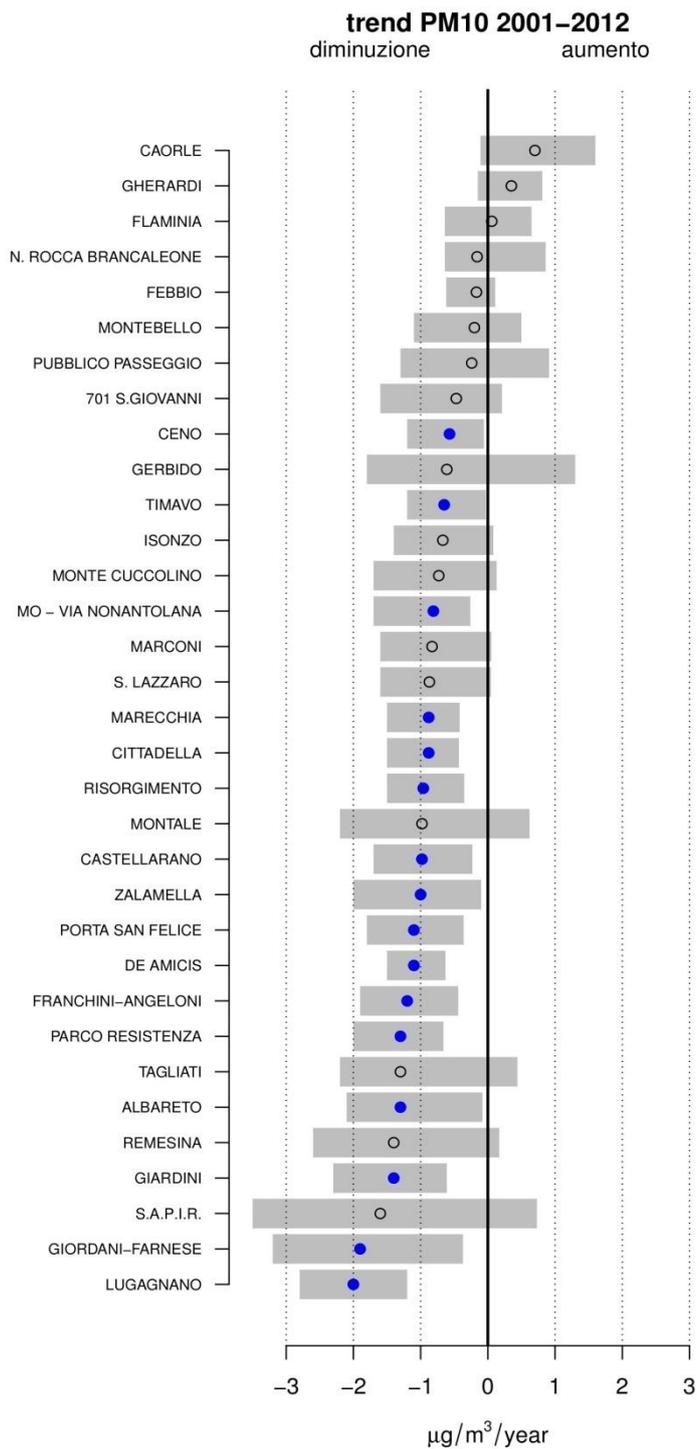


Figura 16: Stima del trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchi indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

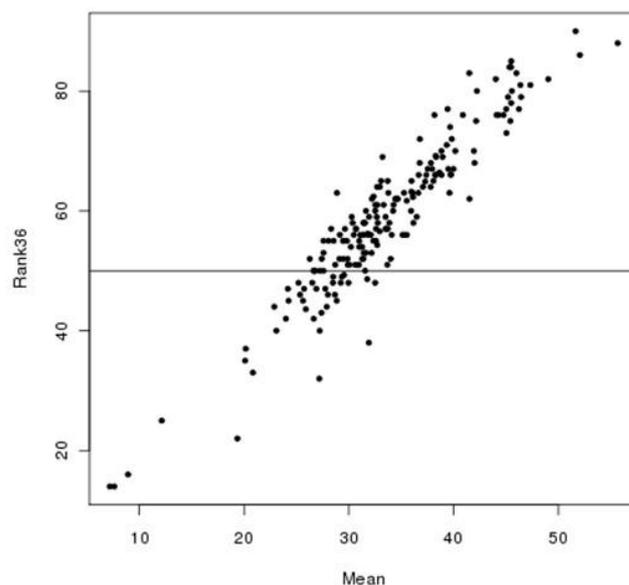


Figura 17: scatter plot tra concentrazioni medie annuali e indicatore Rank36: stazioni dell'Emilia Romagna

### La distribuzione territoriale del PM10 ed i fattori meteorologici

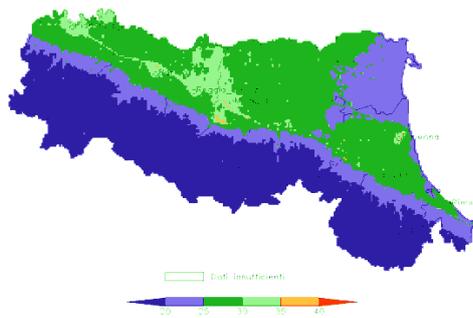
La analisi della distribuzione territoriale realizzata attraverso il modulo Pesco, evidenzia una certa omogeneità territoriale della concentrazione media annua di polveri. Le situazioni di massima concentrazione sono generalmente localizzate attorno agli agglomerati urbani e industriali della zona ovest. Un esempio relativo all'anno di riferimento 2010 è mostrato in Figura 18.

Come si è visto l'analisi della serie storica dei dati mostra una oscillazione da un anno all'altro dovuta principalmente a fattori di natura meteorologica (Figura 13). In questo quadro il 2011 ed in misura minore il 2012, sono risultati anni con valori superiori agli anni precedenti a causa dell'andamento meteorologico sfavorevole: nel 2011 il n. di giorni favorevoli alla formazione di particolato atmosferico (basso indice di ventilazione e assenza di precipitazioni) è stato il più elevato degli ultimi 11 anni, salendo ad oltre il 40% rispetto al 30% circa del 2009 e 2010.

I risultati della valutazione modellistica della variabilità interannuale in presenza di emissioni costanti nel periodo 2003-2010 hanno permesso di quantificare la variabilità della concentrazione dei principali inquinanti dovuta a fattori meteorologici che risulta dell'ordine del 20% per PM10, PM2.5 e NO2 nel periodo invernale e del 10% per l'ozono (ad esclusione del 2003 durante il quale le condizioni meteorologiche hanno determinato i valori massimi di ozono del decennio). È in parte da attribuire alle condizioni meteorologiche la riduzione della concentrazione di inquinanti osservata nel triennio 2008-2010 rispetto al quinquennio precedente (si veda il citato rapporto NINFA-E 2011 p.5).

Il peggioramento registrato nel 2011 e 2012 rientra ancora nella normale variabilità interannuale della concentrazione di inquinanti (ad esempio un analogo aumento rispetto agli anni precedenti del numero di superamenti si era registrato anche nel 2003 e 2006) ma rappresentano un segnale del fatto che negli anni meteorologicamente sfavorevoli si possono ancora presentare situazioni superiori ai limiti.

PM10 di fondo: stima della concentrazione medio [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  
nel periodo 01JAN2010-31DEC2010 (dati validi 297)  
lontano da emissioni dirette (parchi, zone pedonali, aree rurali)



PM10 di fondo: stima del numero di superamenti della soglia di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$   
nel periodo 01JAN2010-31DEC2010 (dati validi 297)  
lontano da emissioni dirette (parchi, zone pedonali, aree rurali)

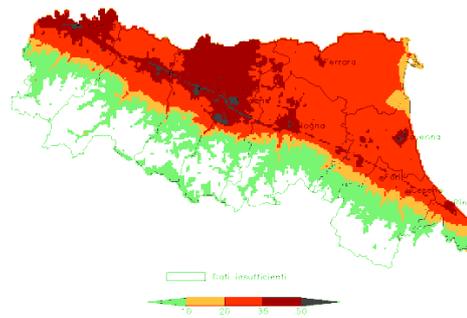


Figura 18: mappa della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di PM10 (a sinistra) e del n di superamenti del valore limite giornaliero (a destra) nell'anno 2010.

## L'origine geografica dell'inquinamento da PM10

Un ulteriore elemento critico per il rispetto dei VL in ER viene messo in evidenza dall'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da polveri. A tal fine si segue lo schema adottato in ambito europeo e indicato dall'Appendice IV e Allegato XV del D.Lgs. 155. Secondo questo schema le concentrazioni medie annue di inquinanti su un territorio si possono rappresentare come la somma di tre contributi geograficamente distinti tra loro: a grande scala ( $c_{GS}$ ), a scala urbana ( $c_{URB}$ ), a scala locale ( $c_{LOC}$ ), dove il contributo a grande scala  $c_{GS}$  determina le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo rurale, poste lontane dall'influenza diretta delle aree urbane e industriali. Nelle aree urbane e suburbane a questo si aggiunge il contributo a scala urbana  $c_{URB}$ , e si raggiungono così le concentrazioni rilevate dalle stazioni di fondo urbano. Localmente poi, a bordo strada o laddove si determinano condizioni di forte accumulo (*hot spot*) degli inquinanti emessi da sorgenti vicine, il contributo a scala locale  $c_{LOC}$  determina il raggiungimento dei livelli misurati dalle stazioni da traffico e industriali. L'analisi condotta utilizzando i dati delle stazioni della rete fissa e delle valutazioni prodotte dal modulo Pesco del sistema modellistico NINFA-E (descritti nel programma di valutazione della qualità dell'aria) ha fornito per PM10 i risultati rappresentati nella Figura 19, dove la componente a grande scala  $c_{GS}$  è stata ulteriormente distinta in una parte  $c_{ER}$  dovuta al contributo emissivo della sola regione Emilia-Romagna (parte ombreggiata). L'analisi è stata condotta assumendo come anno di riferimento il 2011 ed è riferita alla zonizzazione regionale ai sensi del D.Lgs. 155. Nel grafico del PM10 è riportata come riferimento, oltre alla soglia di legge per la media annua, anche il VLE di  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Si nota che la componente a grande scala è decisamente preponderante. Essa è da sola sufficiente a determinare l'eccedenza del limite dei 35 superamenti giornalieri, in gran parte della pianura occidentale. Di tale componente a grande scala, la quota ascrivibile alle emissioni regionali è circa un terzo, in pianura, quasi metà nell'agglomerato di Bologna.

Questo risultato implica che la concentrazione media di fondo in Emilia-Romagna dipende in buona parte dall'inquinamento a grande scala tipico della pianura padana. La sola componente a grande scala della concentrazione di PM10 può, negli anni meteorologicamente più sfavorevoli come il 2011, determinare il superamento del valore limite giornaliero nella zona occidentale della regione. In altre parole le azioni di riduzione delle emissioni inquinanti applicate sul solo territorio dell'Emilia Romagna possono agire solo in parte sul fondo a grande scala rendendo indispensabile la individuazione di azioni coordinate tra le varie regioni del bacino padano che portino ad una riduzione complessiva delle emissioni inquinanti.

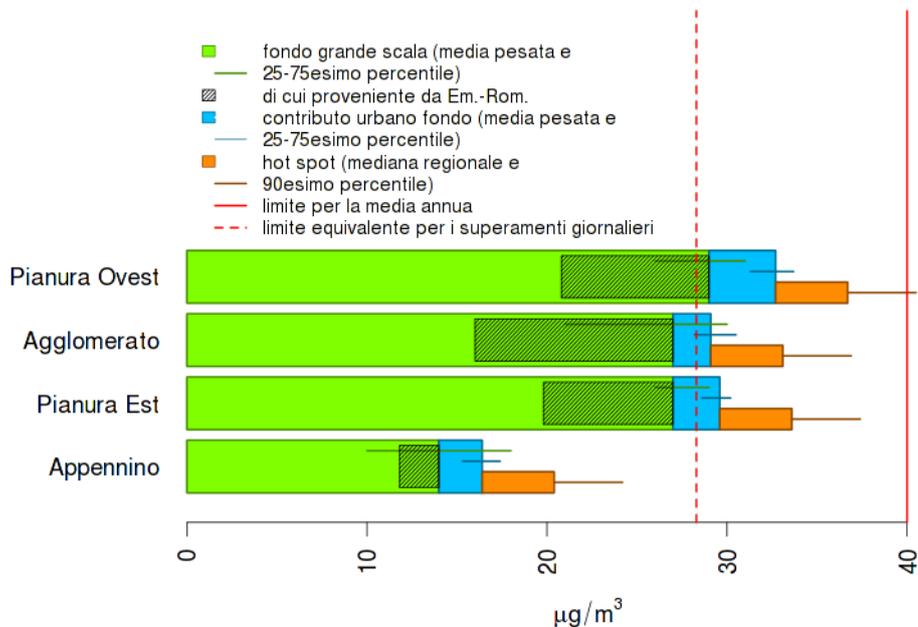


Figura 19: PM10, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento.

### Ripartizione per fonti dell'inquinamento da PM10

La concentrazione di polveri PM10 nelle zone e agglomerati della regione può essere suddivisa in una **componente naturale ed in una componente antropica**. Anche queste componenti sono state stimate attraverso il citato sistema modellistico NINFA-E. I risultati mostrati in Tabella 2 sono espressi come la frazione di PM10 rispetto al totale, calcolata come media di area, pesata con la popolazione. La componente naturale comprende l'erosione e risospensione dovuta al vento (dust), lo spray marino ed i trasporti di polveri sahariane (fornita come condizione al contorno del modello numerico).

I risultati del modello NINFA, eseguito per lo scenario di riferimento al 2010, mostrano come la parte preponderante dell'inquinamento da PM10 sia di origine antropogenica, con una quota variabile tra il 77 % in Appennino e l'84 – 86 % nella pianura occidentale e nell'agglomerato di Bologna. Di questa quota tuttavia solo una parte (variabile tra il 14% in Appennino ed il 25 % nell'agglomerato) è di **origine primaria**, ossia dovuta ai soli processi di trasporto e diffusione delle polveri emesse dalla varie sorgenti inquinanti, mentre si stima che la quota restante della frazione antropogenica (60 % circa) sia dovuta alla produzione di particolato di **origine secondaria**, dovuta ai processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera a partire dai precursori (NH<sub>3</sub>,NO<sub>x</sub>,SO<sub>2</sub>, COV) emessi dalle attività umane.

Tabella 2: componenti naturale e antropica del PM10

| Frazione di PM10         | Area geografica (zonizzazione D.Lgs. 155) |             |             |               |
|--------------------------|---|-------------|-------------|---------------|
|                          | Appennino                                 | Pianura Est | Agglomerato | Pianura Ovest |
| naturale                 | 23 %                                      | 18%         | 16 %        | 14%           |
| antropogenico totale     | <b>77 %</b>                               | <b>82 %</b> | <b>84 %</b> | <b>86 %</b>   |
| di cui                   |   |             |             |               |
| antropogenico primario   | 14%                                       | 21%         | 25%         | 22%           |
| antropogenico secondario | 63%                                       | 61%         | 59%         | 64%           |

Questa considerazione implica che le azioni dirette sulle emissioni di PM10 possono agire solo su una porzione limitata dell'inquinamento, cioè su quello dovuto alla frazione primaria. Per ottenere una riduzione significativa della concentrazione in aria di PM10 occorre agire anche, ed in misura sostanziale, sugli inquinanti precursori del particolato di origine secondaria.

## Il superamento dei valori limite per il biossido di azoto

Nel 2010, anno di entrata in vigore dei VL per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), il 20 % delle stazioni di rilevamento ha superato il VL limite annuale (Figura 20). Questa percentuale si è ulteriormente ridotta nel 2011 e 2012 quando tutte le stazioni di fondo sono risultate inferiori al limite (Figura 21).

L'analisi statistica dei dati del periodo 2001 – 2012 mostra per la maggior parte delle stazioni un trend in diminuzione. Per metà delle 74 stazioni analizzate la diminuzione è statisticamente significativa. Undici stazioni mostrano una crescita, significativa in 5 casi solamente. Il valore mediano dei trend di NO<sub>2</sub> è di -0.9 µg/m<sup>3</sup> all'anno. (Figura 22).

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da NO<sub>2</sub> (Figura 23), condotto con metodo analogo a quello descritto per PM10, evidenzia anche in questo caso come una forte componente della concentrazione rilevata sia attribuibile al fondo a grande scala (barre verdi) ed urbano (barre azzurre), ma con una componente prevalentemente originata all'interno della regione (aree ombreggiate) mentre le situazioni di superamento sono limitate a pochi casi (90° percentile in figura) ed attribuibili a sorgenti locali.

La forte componente dell'inquinamento di fondo è dovuta al fatto che le sorgenti di emissione di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) sono una delle sorgenti di inquinanti atmosferici più ubiquitarie (Figura 39) in quanto tutti i processi di combustione portano all'emissione di questo inquinante, che sostiene i processi di produzione del particolato secondario e dell'ozono. La concentrazione in aria presenta tuttavia massimi marcati in prossimità delle principali sorgenti di emissione, in particolare le strade ad intenso traffico, che possono rendere necessari, per evitare le singole situazioni di superamento, interventi specifici di limitazione alle emissioni sulle sorgenti prossime. Questa politica locale si dovrà accompagnare per NO<sub>x</sub> alla sostanziale riduzione delle emissioni diffuse, necessaria, come è stato messo in evidenza in precedenza, per la limitazione dell'inquinamento da PM<sub>10</sub>.

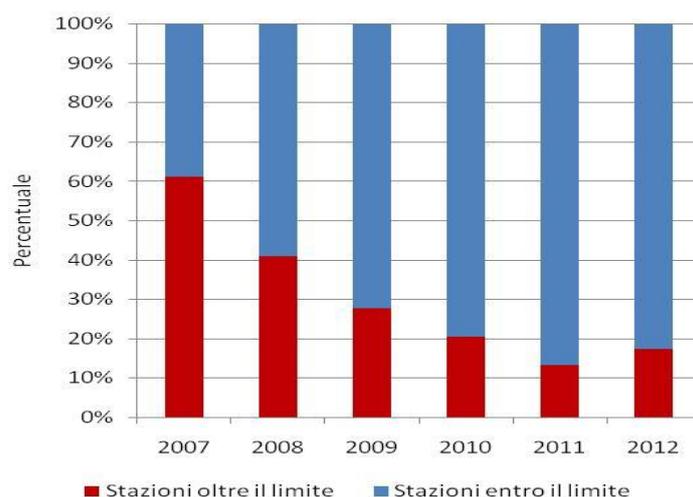


Figura 20: stazioni oltre il limite annuale di NO2 dal 2007 al 2012

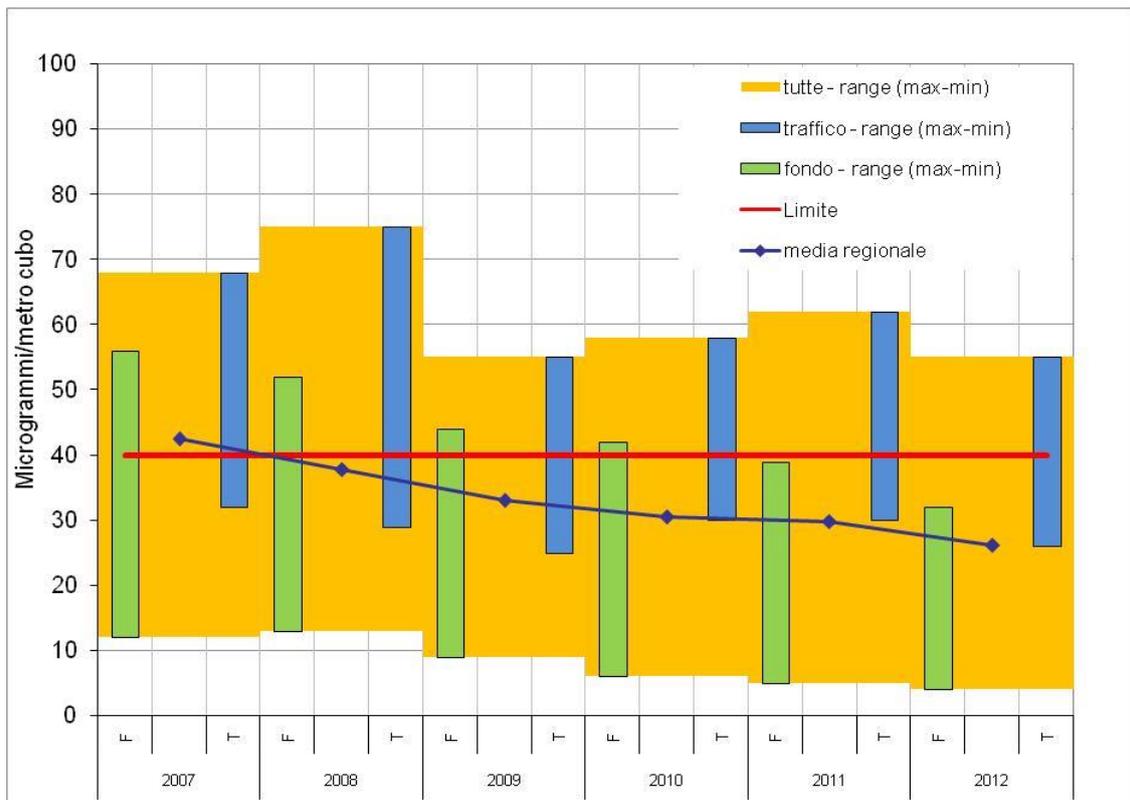


Figura 21: andamento della media annuale di NO2 dal 2007 al 2012

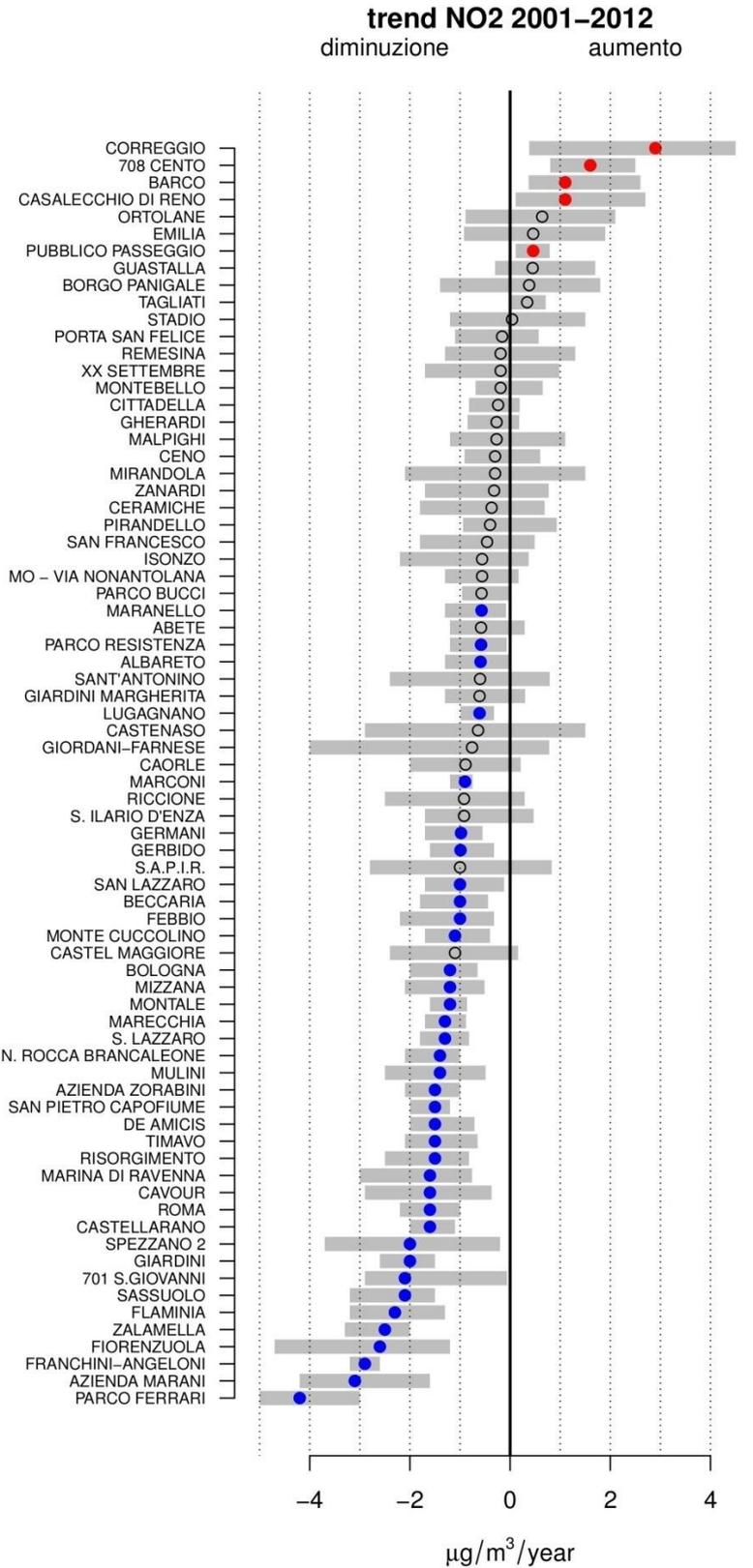


Figura 22: Stima del trend delle concentrazioni orarie di NO<sub>2</sub>, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

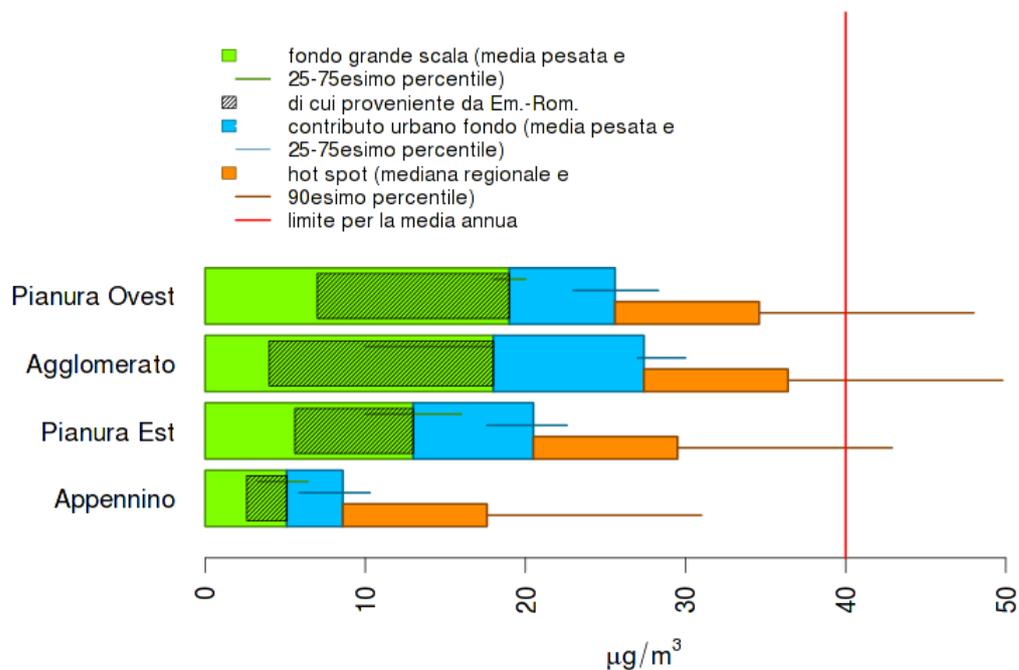


Figura 23: origine geografica dell'inquinamento da NOx

## Il superamento dei valori limite per l'ozono

Il livello di protezione della salute per l'ozono troposferico viene sistematicamente superato ogni anno su gran parte del territorio regionale (Figura 24). Questo inquinante viene prodotto in atmosfera per effetto delle reazioni fotochimiche catalizzate dalla radiazione solare, dei principali precursori, COV e NOx, trasportati e diffusi dai venti e dalla turbolenza atmosferica. Ne consegue che le massime concentrazioni si osservano a distanza dalle sorgenti primarie, nelle zone suburbane e rurali anche dell'appennino. Un esempio di questa distribuzione geografica è mostrato in Figura 27.

Questo inquinante, tipico del periodo estivo, assume i valori di concentrazione più elevati nelle estati più calde, come quella del 2003. Il secondo massimo relativo è stato osservato nel 2012, la seconda estate del decennio con il più elevato n. di giorni favorevoli alla formazione di ozono (Figura 25).

L'analisi del trend rilevato dalle stazioni di monitoraggio (Figura 26) mostra una situazione più variegata e sostanzialmente costante nel tempo. Non sembra esserci indicazione chiara di un aumento o di una diminuzione, e nella maggior parte delle stazioni il trend non è significativo. Il valore mediano dei trend di ozono è di +0.17 µg/m<sup>3</sup> all'anno.

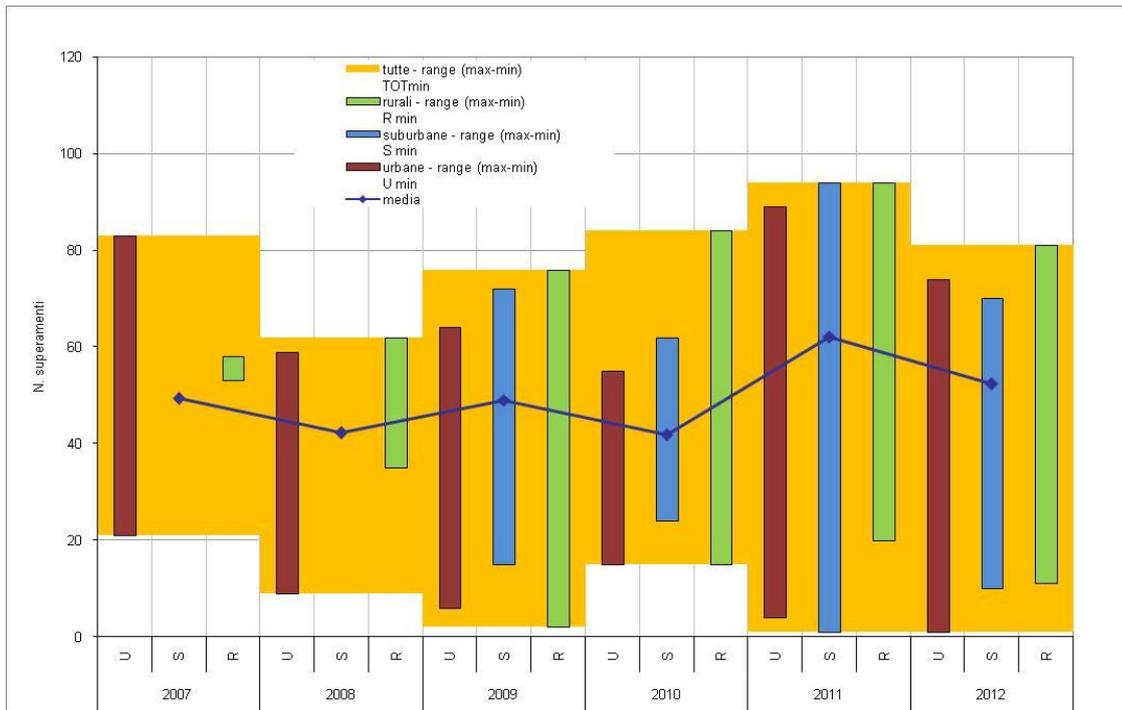


Figura 24: andamento superamenti livello di protezione della salute O3

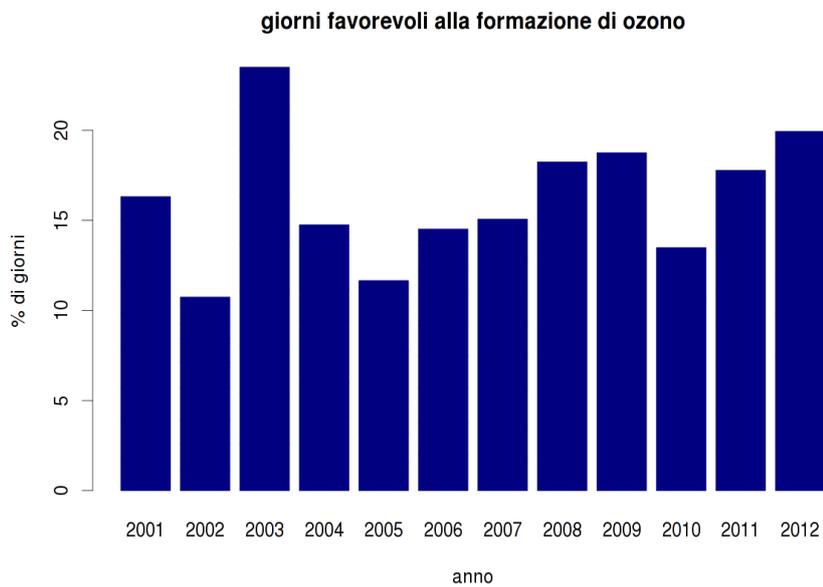


Figura 25: andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono

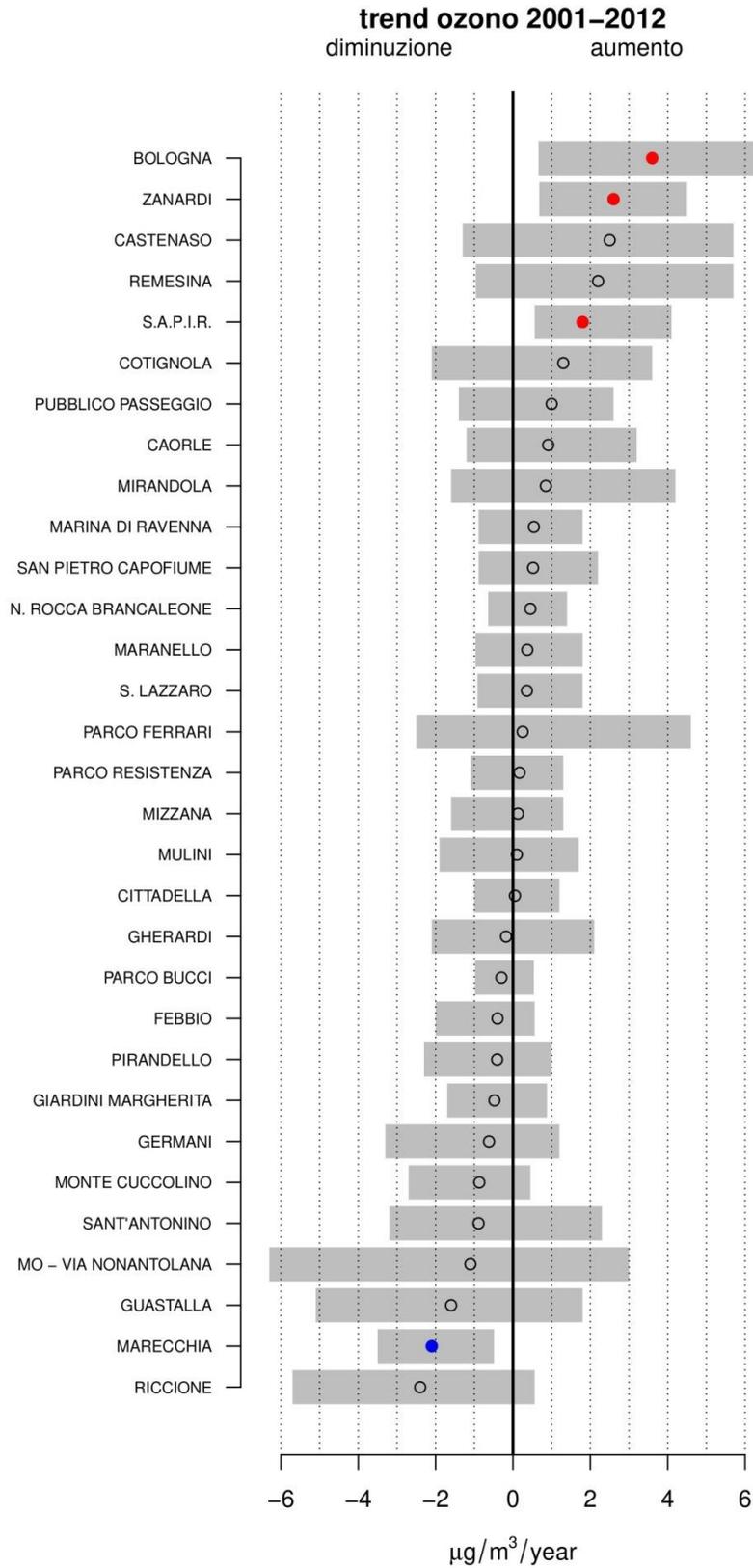


Figura 26: Stima del trend dei massimi giornalieri della media mobile su otto ore dell'ozono, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

ozono: stima del numero di superamenti del massimo giornaliero della media mobile su 8h (soglia  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nel periodo 01JAN2012-31DEC2012

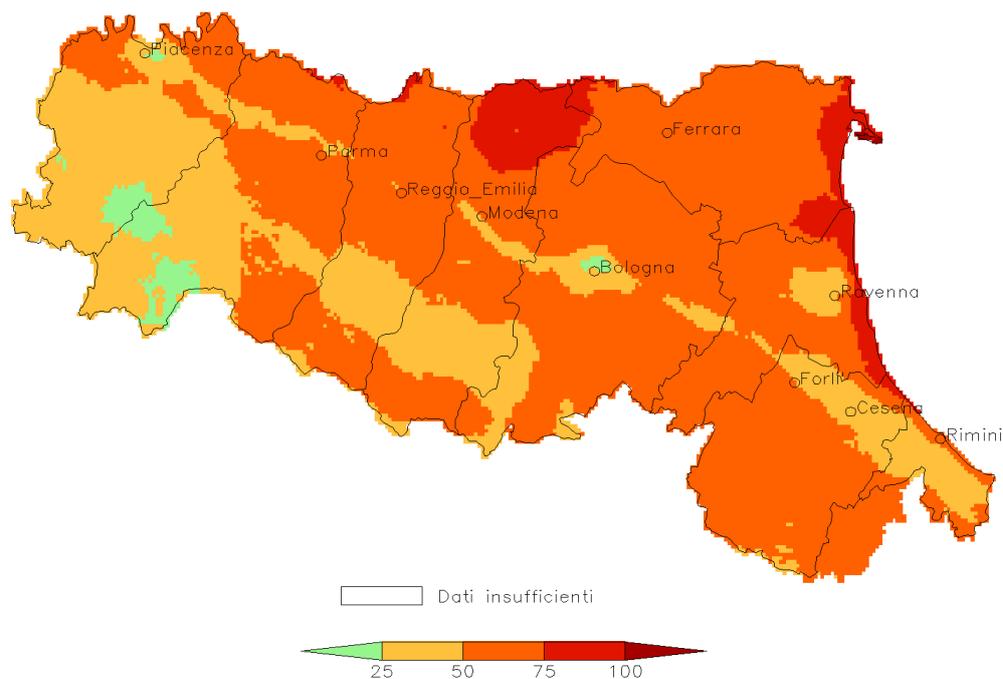


Figura 27: mappa della distribuzione geografica del n. di superamenti del livello di protezione della salute per l'ozono nel 2012.

## Andamento del PM2.5

Misure sistematiche di questo inquinante sono disponibili a partire dal 2007. I dati di monitoraggio ( Figura 28) e le stime modellistiche mostrano come la concentrazione media annuale di PM2.5 presenti una distribuzione relativamente uniforme sul territorio. Questa relativa omogeneità è conseguenza dell'origine prevalentemente secondaria di questo inquinante, come hanno confermato i risultati del primo anno del progetto Supersito. La forte componente secondaria si riflette anche nella marcata componente di fondo a grande scala, evidenziata dall'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da PM2.5 (Figura 30).

Il VL annuale che entrerà in vigore nel 2015 è stato superato in un numero limitato di stazioni nel 2011 (2 stazioni) e 2012 (2 stazioni) che, come si è visto, sono stati anni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di polveri. Di conseguenza una porzione limitata della popolazione risulta esposta a valori superiori al limite (Figura 29).

Anche per PM2.5 l'analisi modellistica dello scenario tendenziale al 2020 e l'andamento dei dati storici porta a stimare che potranno verificarsi situazioni locali di superamento del VL negli anni meteorologicamente meno favorevoli.

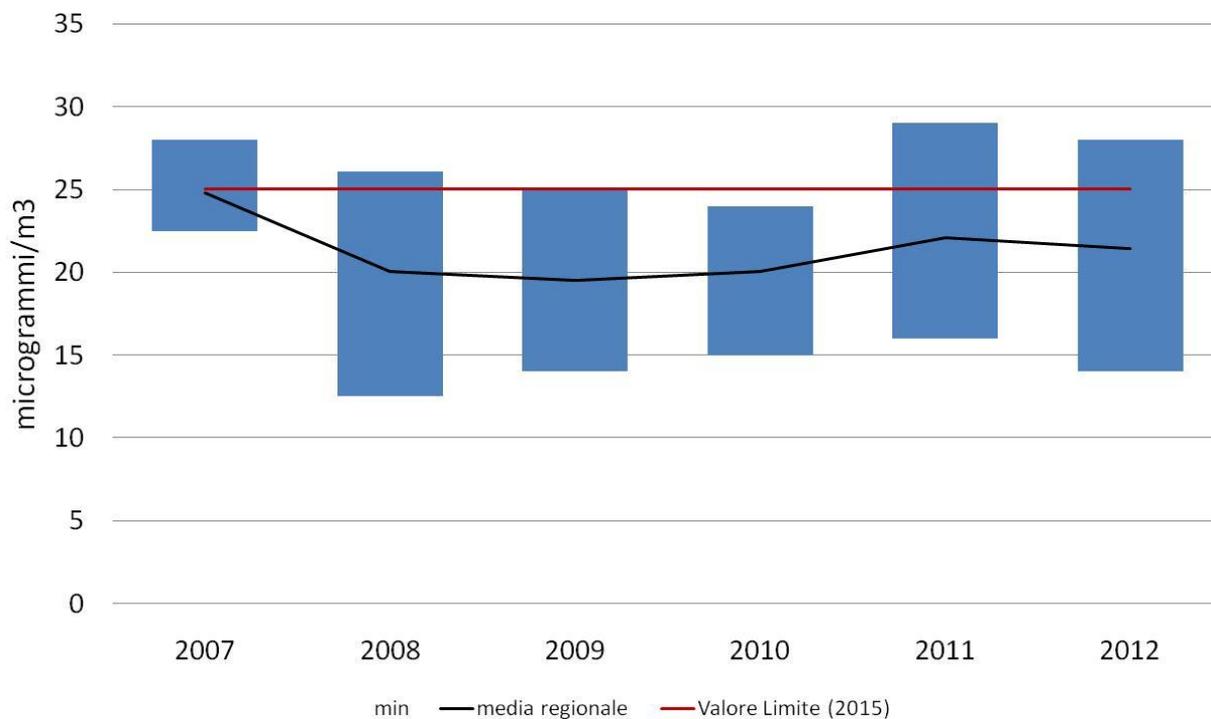


Figura 28: andamento media annuale PM2.5

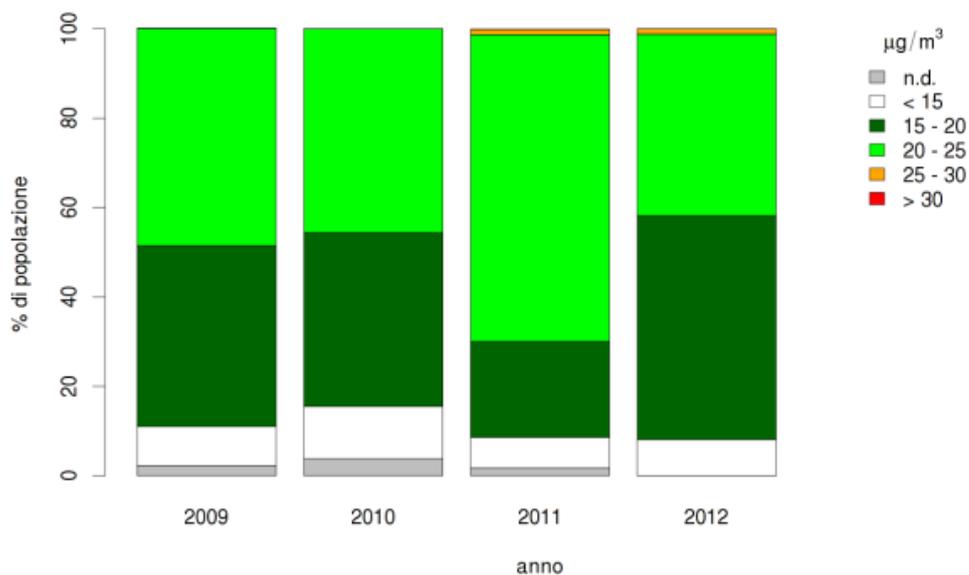


Figura 29: andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale

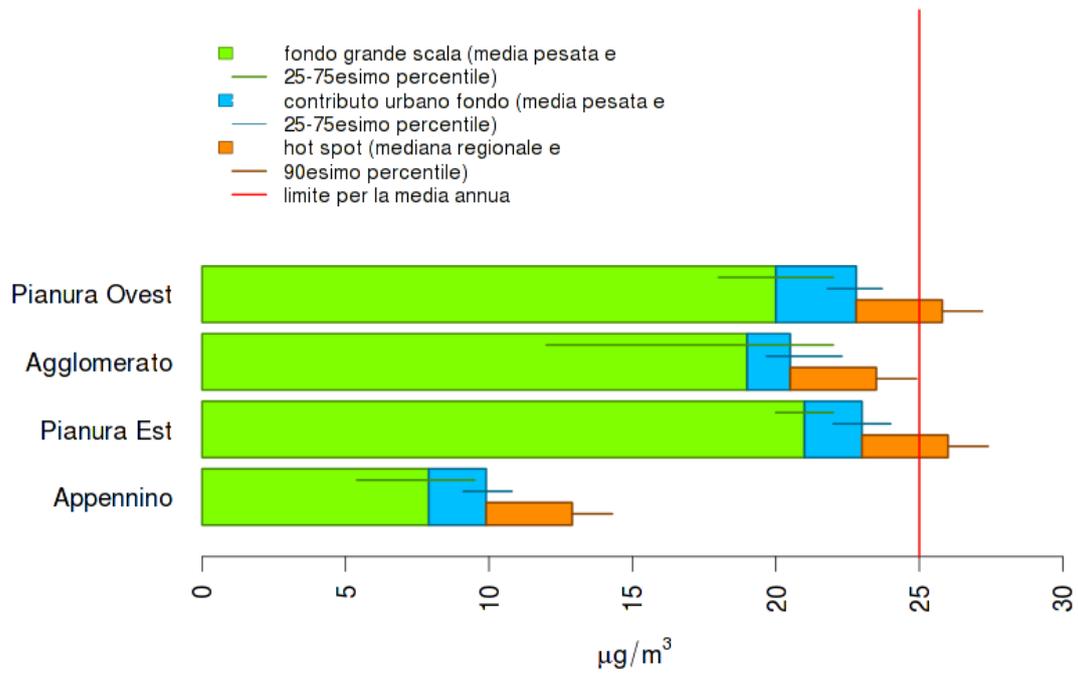


Figura 30: origine geografica dell'inquinamento da PM2.5

## Inquinanti che rispettano i valori limite

### Monossido di carbonio (CO) e biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

La concentrazione in aria di monossido di carbonio e biossido di zolfo si è progressivamente ridotta nel tempo, assumendo negli ultimi 5 anni (2007 – 2012) valori di gran lunga inferiori ai valori limite e, per quanto riguarda SO<sub>2</sub>, prossimi al limite di rilevabilità strumentale. Per questa ragione il numero di stazioni che misurano SO<sub>2</sub> è stato progressivamente ridotto nell'ambito della rete regionale, fino ad una sola stazione attiva nel 2012 localizzata a Ravenna, dove vi sono le maggiori emissioni di questo inquinante (Figura 31).

Per quanto riguarda il biossido di zolfo si deve tuttavia rilevare che esso può risultare un importante precursore della formazione di particolato secondario, anche alle basse concentrazioni attuali. Questi aspetti sono oggetto di indagine nell'ambito del citato progetto supersito.

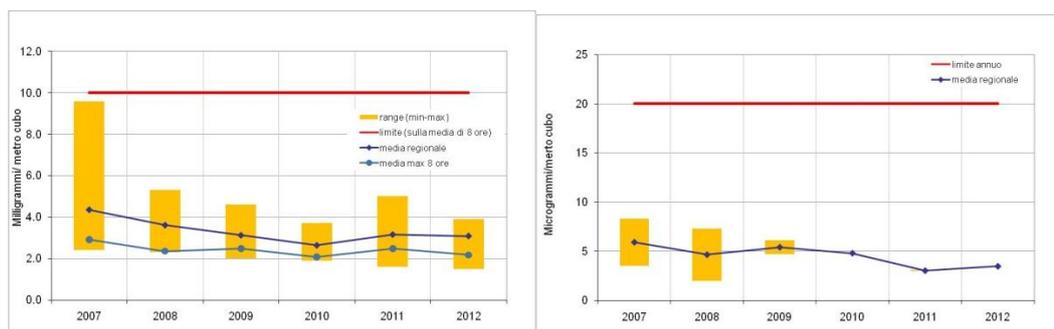


Figura 31: andamento ,media mobile 8 ore CO a sinistra e andamento media annua SO<sub>2</sub> a destra

### Benzene e IPA- Benzo(A) pirene

Anche il benzene si è progressivamente ridotto e presenta valori inferiori al VL su tutte le stazioni. Più discontinuo, ma sempre inferiore al limite il valore del benzo(A)pirene, il cui andamento può essere influenzato dalle emissioni derivanti dalla combustione di biomassa legnosa. (Figura 32)

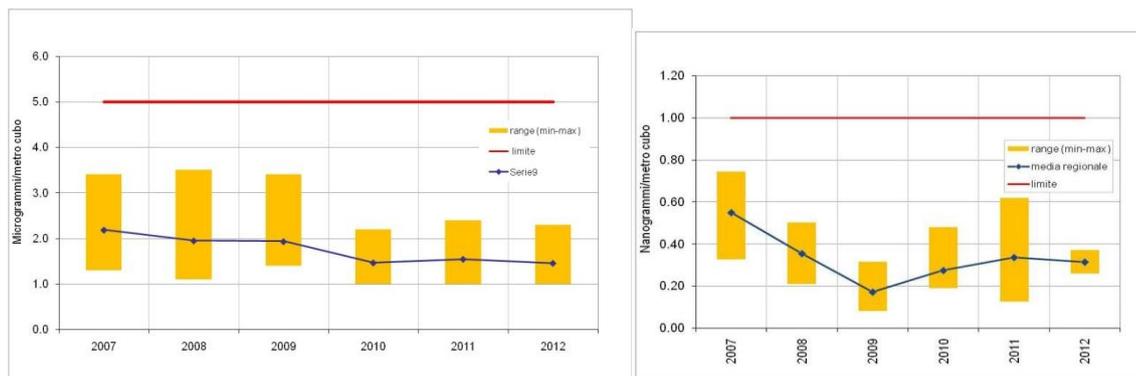


Figura 32: andamento medie annuali benzene a sinistra e Benzo (a) pirene, media annuale a destra

## Metalli

La Figura 33 e Figura 34 mostrano l'andamento dal 2007 al 2012 della concentrazione media annuale dei metalli presenti nei campioni di polvere raccolti dalla rete regionale dell'inquinamento atmosferico. In tutti i casi la concentrazione risulta inferiore al limite.

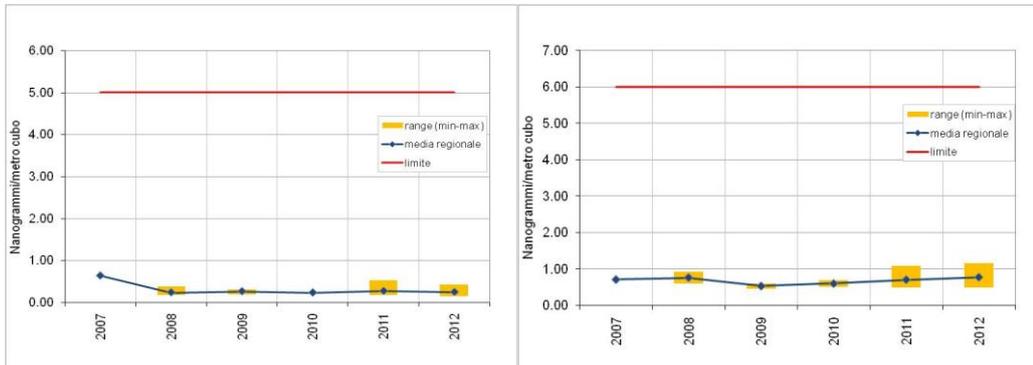


Figura 33: andamento cadmio, media annuale a sinistra e Arsenico, media annuale a destra

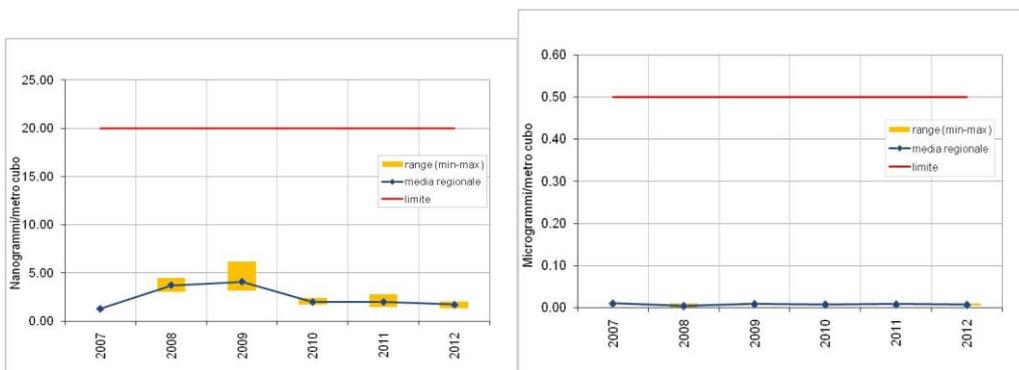


Figura 34: andamento nichel, media annuale a sinistra, piombo, media annuale a destra

## I risultati della prima annualità del progetto Supersito

I dati ottenuti in un anno di misure nell'ambito del Progetto Supersito forniscono già alcune informazioni interessanti in merito allo stato della qualità dell'aria nel territorio regionale. Il progetto prende in considerazione parametri chimico-fisici previsti solo in parte dalla normativa ma noti dalla letteratura e fondamentali per la conoscenza delle dinamiche e della chimica dell'inquinamento atmosferico.

Dati giornalieri di PM<sub>2.5</sub> vengono misurati nei 3 siti di fondo urbano (Bologna, Parma e Rimini) e nel sito di fondo rurale (San Pietro Capofiume=SPC). A Bologna e a San Pietro Capofiume vengono registrati inoltre dati giornalieri di PM<sub>1</sub>.

Sui campioni giornalieri di PM<sub>2,5</sub> vengono effettuate determinazioni chimiche di carbonio organico ed elementare, ioni e metalli.

L'andamento relativo delle concentrazioni mensili di PM<sub>1</sub> e PM<sub>2.5</sub> ( Figura 35 e Figura 36 ) nei siti di Bologna e SPC, fornisce un'informazione in merito alla distribuzione dimensionale del particolato nei due diversi ambiti territoriali (urbano e rurale) e nelle varie stagioni. La diminuzione del PM<sub>2,5</sub> nei mesi estivi sembra essere maggiormente associata ad un minor apporto della componente più grossolana (PM<sub>(2,5-1)</sub>), mentre più lieve sembra la diminuzione del PM<sub>1</sub>.

I parametri chimici analizzati nell'ambito del progetto rappresentano nell'insieme una porzione importante della massa del particolato PM<sub>2.5</sub> e i risultati delle determinazioni analitiche permettono di realizzare un bilancio di massa di tale frazione dimensionale (Figura 37).

Considerando i soli dati grezzi, i componenti analizzati spiegano infatti più del 60% della massa di PM<sub>2.5</sub>, in tutti e 4 i siti. La somma dei soli tre ioni nitrato, solfato e ammonio rappresenta un contributo molto importante al PM<sub>2.5</sub>, soprattutto nei mesi invernali, andando a spiegare a Parma e SPC più del 50% della massa totale, mentre a Bologna e Rimini il 43% e il 36%, rispettivamente. In estate tale percentuale cala (principalmente per un minor contributo della concentrazione assoluta del nitrato) ma comunque si mantiene superiore al 30% in tutti i siti.

La componente carboniosa (carbonio totale) è data dalla somma di carbonio elementare, essenzialmente di origine primaria, e di carbonio organico, di origine sia primaria che secondaria e rappresenta, nei siti, mediamente il 30% del materiale particolato, in entrambe le stagioni.

Il contributo del materiale organico (OM) alla massa di PM<sub>2.5</sub>, in realtà, è determinato applicando al valore di concentrazione di OC un fattore di correzione. Tale fattore tiene conto di quella frazione di massa associata alla componente organica non rivelabile dal metodo di analisi chimica effettuato (ossigeno, azoto e idrogeno). Dati sperimentali ottenuti durante le campagne intensive del progetto mediante uno spettrometro di massa on-line (AMS) hanno dimostrato che tale fattore risulta di 1.8 per il sito di Bologna, in particolare nella stagione estiva.

Pertanto, applicando il fattore al dato estivo di OC del sito di Bologna, il valore stimato della componente organica passa dal 33% al 55%, diminuendo nell'insieme la frazione di materiale "non identificato".

Altri studi confermano il fatto che tale fattore può variare a seconda del sito di misura, ma non si allontana eccessivamente dal valore calcolato dai dati del progetto.

La partizione in carbonio organico (OC) ed elementare (EC) è disponibile solo a partire dai mesi estivi, quindi per le due componenti non è possibile un confronto stagionale. OC è il componente principale del carbonio totale. La somma di EC ed OC risulta maggiore nei mesi invernali rispetto agli estivi, come conseguenza del contributo dell'emissione primaria e delle condizioni favorevoli all'accumulo nel periodo invernale.

Fra gli ioni, i solfati sono una componente inorganica secondaria che si forma a partire dagli ossidi di zolfo attraverso processi fotochimici in atmosfera. Sono componenti piuttosto stabili, non influenzati da sorgenti locali e quindi distribuiti omogeneamente su vaste aree del territorio.

La non-stagionalità di tali ioni è dovuta al fatto che le più alte concentrazioni di ossidi di zolfo nei mesi invernali sono compensate, nei mesi estivi, da un incremento di concentrazione dei solfati derivanti da processi fotochimici di formazione secondaria.

I dati confermano le caratteristiche di tale analita, mostrando un andamento generalmente costante nel corso dell'anno e con concentrazioni medie pressoché uguali in tutti e 4 i siti.

I dati di nitrato confermano quanto osservato in letteratura. I valori di concentrazione del nitrato sono caratterizzati da livelli elevati nei mesi invernali e minimi nei mesi estivi. Nel confronto fra siti, i valori di concentrazione medi registrati a Parma risultano superiori agli altri siti mentre Rimini mostra le concentrazioni minori.

In area urbana, la formazione del nitrato è dovuta principalmente alla presenza di ossidi di azoto derivanti dalle emissioni da traffico e dal riscaldamento. L'inverno è caratterizzato da maggiore disponibilità in atmosfera di ossidi di azoto prodotti anche dall'emissione dal riscaldamento domestico e, inoltre, la reazione fra l'ammonio in fase gassosa e l'acido nitrico per formare nitrato d'ammonio in fase solida è generalmente favorita dalle condizioni invernali di bassa temperatura e elevata umidità relativa. I bassi valori di concentrazione di nitrati registrati in estate sono, in parte, dovuti alla distruzione degli stessi ad opera dei processi che portano alla formazione di smog fotochimico.

Un interessante episodio di elevati valori di particolato atmosferico registrato nel febbraio 2012 ha permesso approfondimenti sulla tematica relativa al nitrato d'ammonio.

Nel giorno 16 febbraio le concentrazioni di PM hanno raggiunto valori eccezionali fino ad arrivare ad un massimo il 19 febbraio con una media regionale di PM10 superiore a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e un picco misurato a Parma di 249  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il bilancio di massa per il PM2.5 misurato durante l'evento citato, mostra come nel giorno 16/2 gli ioni ammonio e nitrato raddoppino i loro valori relativi rispetto i giorni precedenti, mentre gli altri parametri analizzati (solfati, carbonio elementare e metalli) non mostrano alcun aumento rilevante. L'incremento del giorno in questione, essendo dovuto principalmente a nitrato d'ammonio, può essere attribuito ad aerosol secondario. Le concentrazioni di ossidi di azoto osservate durante l'episodio risultavano tipiche del periodo invernale dunque non sufficienti a spiegarne l'eccezionalità: l'ammoniaca sembra quindi essere stata l'agente limitante nella formazione dei sali d'ammonio nel periodo considerato.

Informazioni derivanti dagli uffici delle Regioni a nord del Po hanno evidenziato come dal 15 febbraio 2012 potesse essere ripresa, a conclusione del divieto imposto durante il periodo invernale, l'attività di spandimento su terreno agricolo dei liquami derivanti da allevamenti zootecnici. Tali lavorazioni

potrebbero aver comportato una notevole liberazione di ammoniaca in atmosfera favorendo quindi l'innescio dei processi di formazione di nitrato d'ammonio.

Il processo di formazione del nitrato d'ammonio risulta infatti dalla reazione fra l'ammoniaca in fase gassosa e l'acido nitrico. Dati di letteratura dimostrano che nell'area della Pianura Padana vi è disponibilità di ammoniaca superiore alla media del territorio italiano ed europeo. Gli inventari delle emissioni, inoltre, dimostrano come l'agricoltura sia responsabile per il 97% delle emissioni di ammoniaca in Emilia-Romagna.

L'ammoniaca presente in atmosfera allo stato gassoso può essere anche responsabile della formazione di aerosol mediante processi di trasformazione gas-particella (eventi di nucleazione).

La formazione di particelle di aerosol atmosferico è strettamente legata alla chimica, in particolare l'acido solforico, l'ammoniaca ed alcuni composti organici sembrano avere un ruolo chiave in tali processi. Dati di letteratura e risultati ottenuti all'interno del progetto stesso dimostrano come la Pianura Padana sia interessata da frequenti episodi di nucleazione, in particolare nei mesi primaverili ed estivi. In Figura 38 sono riportati il numero di giorni nell'anno 2012 in cui sono avvenuti episodi di nucleazione (classificati per tipologia di evento) nel sito di San Pietro Capofiume.

Per quanto sia chiaro l'effetto che tali processi hanno sulla concentrazione numerica delle particelle, non chiaro è il legame fra eventi di nucleazione e incrementi in massa del particolato.

In conclusione, dalle campagne di monitoraggio intensive del primo anno di progetto sono emerse anche alcune preziose informazioni circa le origini di alcuni composti in atmosfera. Un segnale importante, osservato con diverse tecniche analitiche è quello relativo al "biomass burning" termine utilizzato per indicare la combustione delle biomasse. Tale segnale - osservato principalmente nelle campagne intensive effettuate durante il semestre freddo - sebbene visibile qualitativamente, non si può ancora discutere dal punto di vista quantitativo. Queste informazioni, così come anche gli approfondimenti necessari circa la chimica degli episodi di nucleazione, le origini di alcuni sali e delle specie organiche, si potranno discutere soltanto a conclusione di tutte le misure previste dal progetto.

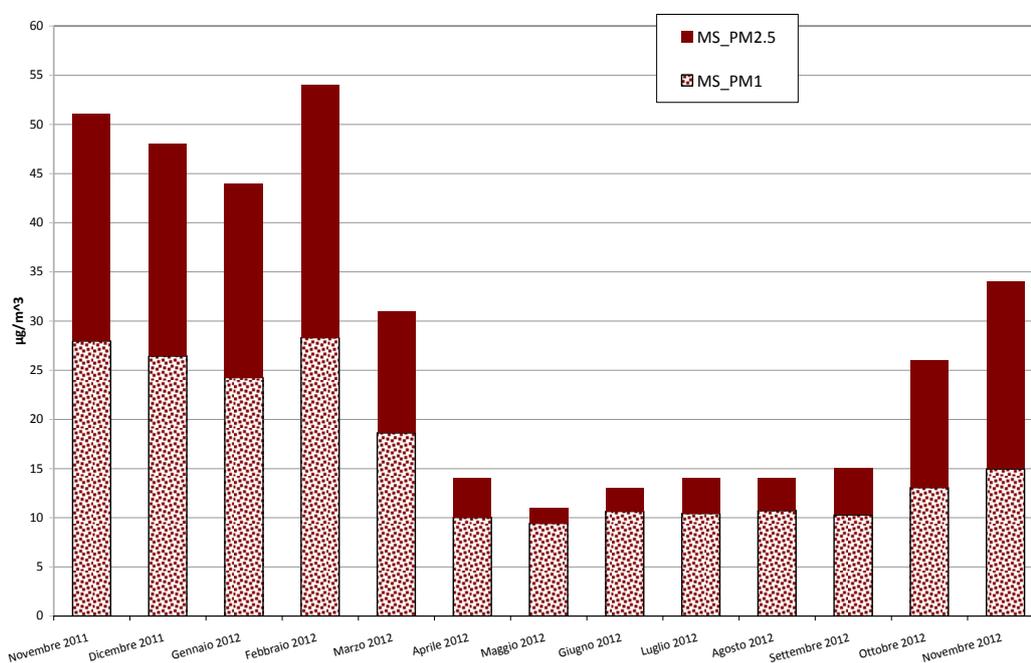


Figura 35 Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito Urbano di Bologna (MS)

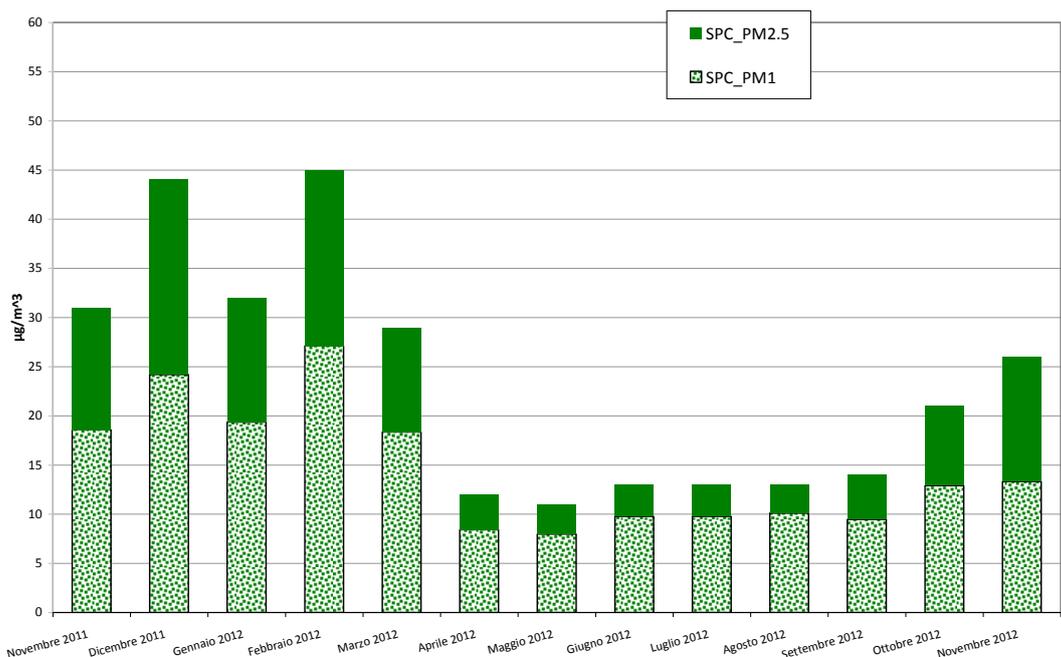


Figura 36: Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito rurale (SPC)

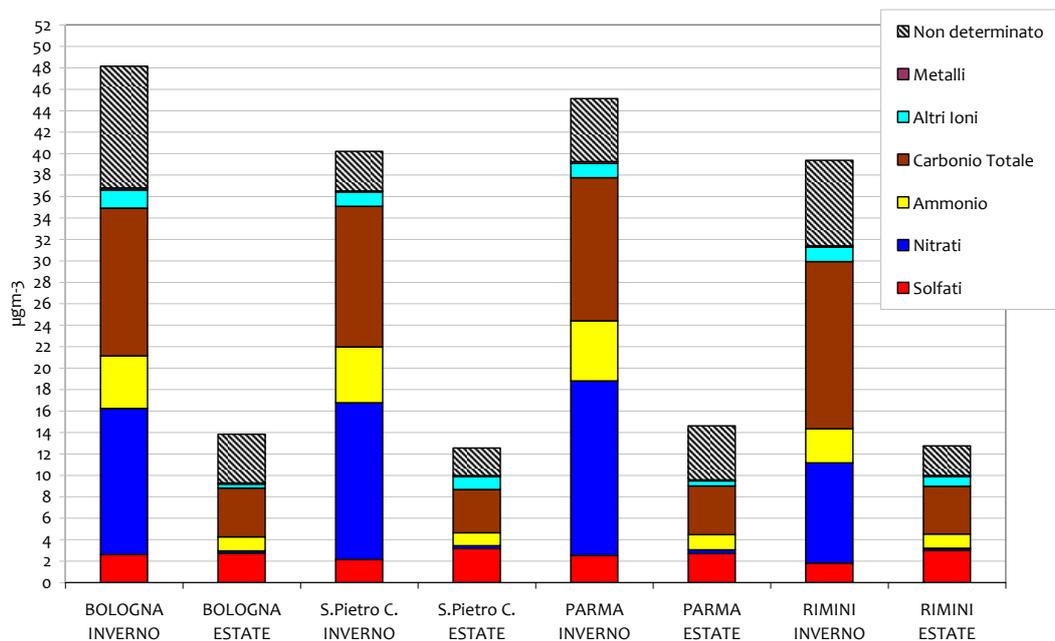


Figura 37: Chiusura di massa dei diversi parametri analizzati su PM2.5, nei 4 siti per le due stagioni.

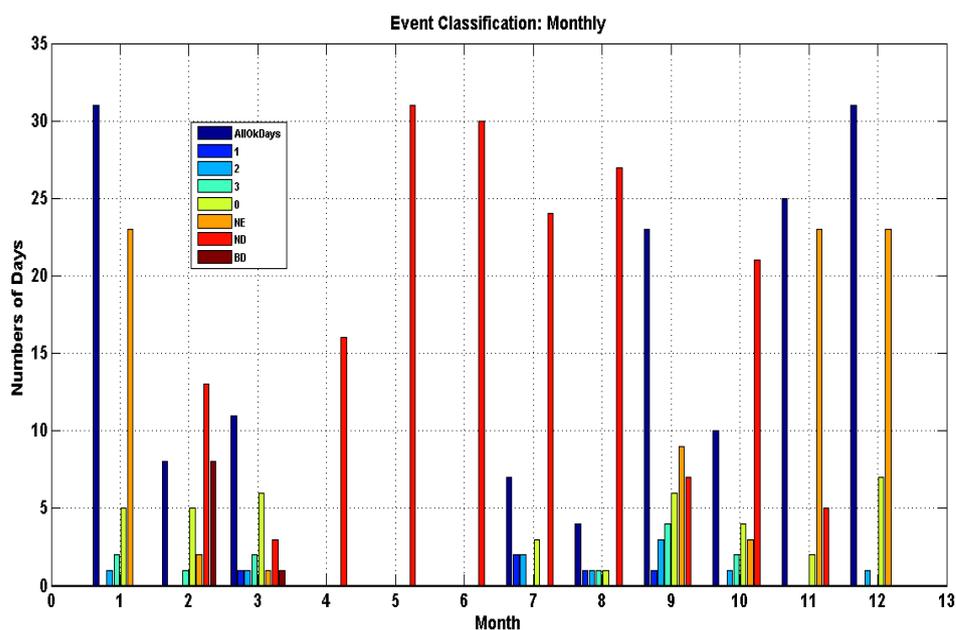


Figura 38: Numeri di giorni con presenza di eventi di nucleazione, classificati per tipologia, nel sito di SPC

## Il rispetto dei valori limite per PM10

Per valutare l'evoluzione nel tempo della concentrazione di PM10 in Emilia Romagna e stimare **l'orizzonte temporale entro il quale si potrà raggiungere il rispetto dei limiti** sono state analizzate le proiezioni delle emissioni inquinanti ed è stato valutato il loro potenziale impatto sulla qualità dell'aria.

### Proiezioni future

Le proiezioni delle emissioni più aggiornate attualmente disponibili a scala nazionale sono fornite dal modello GAINS Italy <sup>14</sup>aggiornato nel 2013, e sono riferite alla strategia energetica nazionale (SEN 2013)<sup>15</sup>. Questo scenario è stato "regionalizzato" per il territorio dell'Emilia-Romagna attraverso uno specifico accordo tra gli sviluppatori del sistema (ENEA) e l'Amministrazione Regionale ed anticipa l'aggiornamento dell'attuale scenario emissivo denominato GAINS NOCP utilizzato in precedenti studi condotti da ARPA<sup>16</sup>. I dati della strategia energetica nazionale hanno fornito i parametri necessari a proiettare le emissioni attuali (anno di riferimento 2010) all'anno 2020.

### Lo scenario di riferimento

Lo scenario emissivo di riferimento (indicato nel seguito per brevità come "**BPA 2010**") è stato predisposto sulla base delle migliori stime delle emissioni disponibili al momento della realizzazione degli studi modellistici (gennaio-aprile-2013). E' riferito all'anno 2010, copre l'intero dominio di applicazione del sistema modellistico NINFA-E ( Figura 39) che si estende su tutto il Nord Italia ed è stato costruito usando per l'Emilia Romagna i dati di emissione derivanti dall'inventario regionale 2010 e per le regioni esterne all'Emilia Romagna i dati dell'inventario nazionale delle emissioni (ISPRA 2005) attualizzato all'anno di

<sup>14</sup> (<http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login>)

<sup>15</sup> Strategia Energetica Nazionale (SEN) approvata con Decreto interministeriale 8/3/2013

<sup>16</sup> Si veda il rapporto finale del progetto NINFA-Extended, Giugno 2011

riferimento 2010 attraverso le stime dei consumi energetici forniti dalla citata strategia energetica nazionale SEN2013 (fonte GAINS Italy).

I dati meteorologici utilizzati per valutare la qualità dell'aria associata allo scenario emissivo di riferimento sono anch'essi relativi al 2010 e sono stati ottenuti da una apposita analisi meteorologica condotta attraverso il sistema modellistico COSMO-LAMA di ARPA-SIMC<sup>17</sup>. Come si è visto, l'analisi della variabilità interannuale dei giorni favorevoli alla formazione di PM10 (Figura 14) ha evidenziato come il 2010 sia stato uno degli anni meteorologicamente più favorevoli dell'ultimo quinquennio, rispetto agli anni più critici 2011 e 2012. Nel valutare la qualità dell'aria associata allo scenario tendenziale si terrà quindi in considerazione l'intervallo di variabilità della concentrazione dipendente dalla variazione delle condizioni meteorologiche.

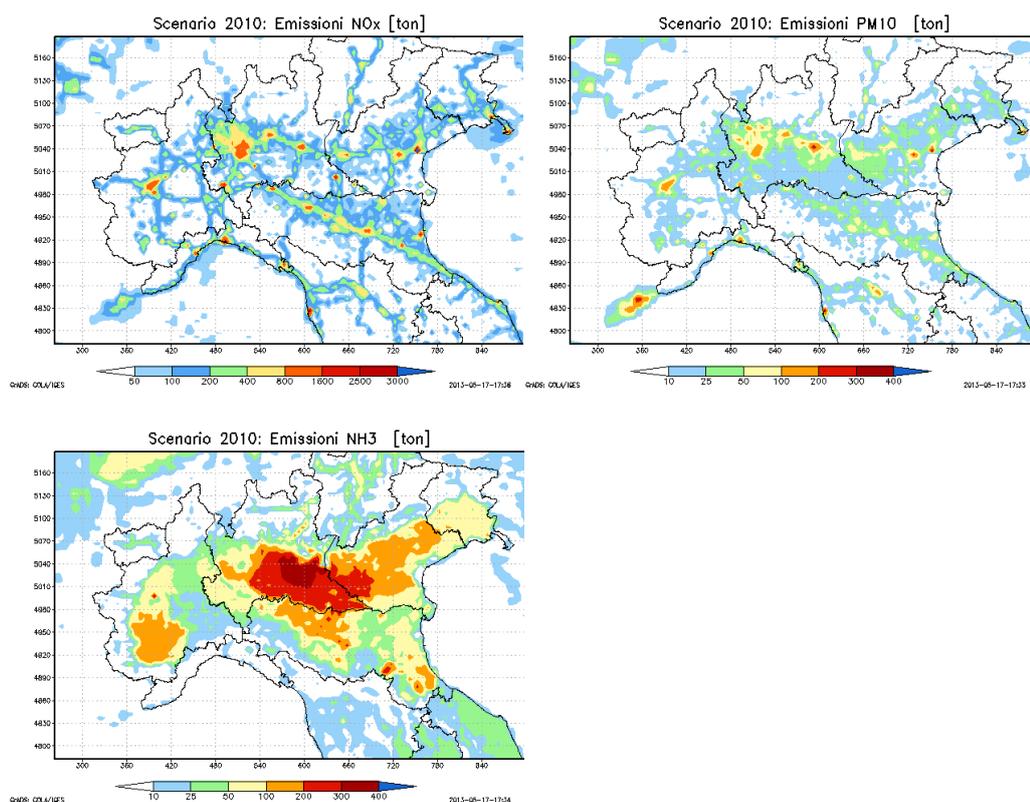


Figura 39: dominio di applicazione del sistema modellistico NINFA-E e distribuzione geografica delle emissioni per lo scenario emissivo BPA 2010. Ossidi di azoto (NOx) In alto a sinistra, PM10 in alto a destra e ammoniaca (NH3) in basso.

## Lo scenario tendenziale

Lo scenario emissivo tendenziale, denominato “**CLE-ER 2020**” è stato stimato utilizzando l'evoluzione prevista dal citato modello GAINS Italy sulla base dallo scenario SEN 2013 “ fornito da ENEA e basato sui consumi energetici al 2020 derivanti dalla strategia energetica nazionale.

Secondo le stime contenute nel citato rapporto SEN (Marzo 2013) la realizzazione di questa strategia consentirà “*il contenimento dei consumi ed evoluzione del mix in favore delle fonti rinnovabili. In particolare, si prevede una riduzione del 24% dei consumi primari rispetto all'andamento inerziale al 2020 (ovvero, -4% rispetto al 2010), superando gli obiettivi europei di riduzione del 20%, principalmente grazie*

<sup>17</sup> [http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/ambiente/descrizione\\_lama.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/descrizione_lama.pdf)

alle azioni di efficienza energetica. In termini di mix, ci si attende un 19-20% di incidenza dell'energia rinnovabile sui consumi finali lordi (rispetto al circa 10% del 2010). Sui consumi primari energetici l'incidenza equivale al 23%, mentre si ha una riduzione dall'86 al 76% dei combustibili fossili. Inoltre, ci si attende che le rinnovabili raggiungano o superino i livelli del gas come fonte nel settore elettrico, rappresentando il circa 35-38% dei consumi (rispetto al 23% del 2010)."

Per quanto attiene all'Emilia Romagna oltre ad applicare lo scenario SEN 2013 "regionalizzato", sono state considerate le variazioni emissive dovute ai piani ed ai regolamenti regionali settoriali già adottati relativamente al traffico (PRIT<sup>18</sup>), alla produzione e consumo di energia (PER), alle modalità di spandimento dei concimi di origine animale previste dal Regolamento 1/2011<sup>19</sup>.

Le variazioni delle emissioni così ottenute sul territorio dell'Emilia-Romagna per i principali inquinanti e precursori dell'inquinamento da PM10 sono riportati nella Tabella 3:

**Tabella 3: variazione relativa delle emissioni dei principali inquinanti sul territorio regionale nello scenario tendenziale CLE-2020 rispetto alle emissioni attuali (INEMAR-ER 2010).**

| COV  | NH3  | NOx  | PM10 | SO2 |
|------|------|------|------|-----|
| -17% | -10% | -24% | -24% | 9%  |

Queste stime indicano una tendenza significativa alla decrescita delle emissioni di NOx, COV e dirette di PM10, mentre le emissioni di SO2 aumentano a causa principalmente dei contributi del settore trasporti (incremento della circolazione di veicoli diesel) ed industria.

La riduzione delle emissioni di ammoniaca (NH3) nello scenario tendenziale al 2020 è attribuibile agli effetti delle buone pratiche di spandimento dei concimi animali introdotte dal Regolamento 1/2011 della Regione Emilia-Romagna, di cui sopra.

La concentrazione in aria degli inquinanti atmosferici associata a questo scenario emissivo è stata stimata applicando il modello chimico di trasporto e dispersione NINFA utilizzando come dati meteorologici di ingresso i dati relativi all'anno 2010. Gli output del modello sono poi stati postprocessati applicando fattori correttivi basati sui dati osservati dalla rete di rilevamento (unbias) ed applicando i margini cautelativi relativi a variabilità meteorologica<sup>20</sup> ed agli effetti delle variazioni a piccola scala non risolte dal modello NINFA (variabilità di sottocella tra 5 e 1 km di risoluzione orizzontale).

I risultati evidenziano come in conseguenza delle variazioni emissive indicate in Tabella 3, la concentrazione in aria degli inquinanti attualmente più critici (PM10 e PM2.5) tenderà a diminuire, ma in misura non direttamente proporzionale alla riduzione delle emissioni ed in modo non omogeneo sul territorio regionale. La distribuzione geografica e l'entità delle variazioni nella concentrazione in aria di PM10 è mostrata nella Figura 40 e nella Figura 41, dove il territorio regionale è suddiviso in tre tipologie: aree senza

<sup>18</sup> <http://mobilita.regione.emilia-romagna.it/allegati/prit/documenti-adozione-prit/Rapporto-ambientale-Valsat-adozione.pdf>

<sup>19</sup> regolamento regionale n. 1, 28 ottobre 2011: disposizioni in materia di utilizzazione organica degli effluenti di allevamenti e delle acque reflue di aziende agricole

<sup>20</sup> Si è applicata una correzione per tenere conto che il 2010 è un anno meteorologicamente favorevole, con un'anomalia dell'8%

superamenti, aree con superamenti, aree di possibili superamenti negli anni meteorologicamente più sfavorevoli. Per ciascuna area viene inoltre indicato se si tratti di situazioni di superamento estese all'intera area o se si tratta solo di superamenti a scala locale (hot spot).

Si stima che il VL sulla concentrazione annuale di PM10 sarà rispettato sull'intero territorio regionale, ad esclusione di alcune aree di dimensioni limitate dove saranno possibili occasionali superamenti locali negli anni meteorologicamente sfavorevoli. Il VL sulla concentrazione giornaliera rimarrà critico su ampie porzioni del territorio, di estensione inferiore rispetto alle attuali e variabili in dipendenza delle condizioni meteorologiche.

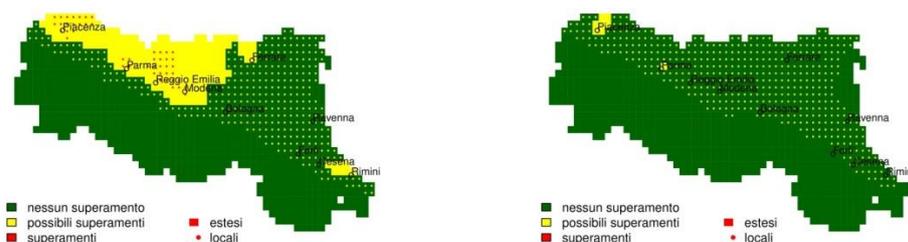


Figura 40: aree di superamento del VL annuale per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra e nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Le aree colorate in continuo indicano situazioni di superamento estese, le aree puntinate indicano situazioni di superamento locale del VL. Annuale.

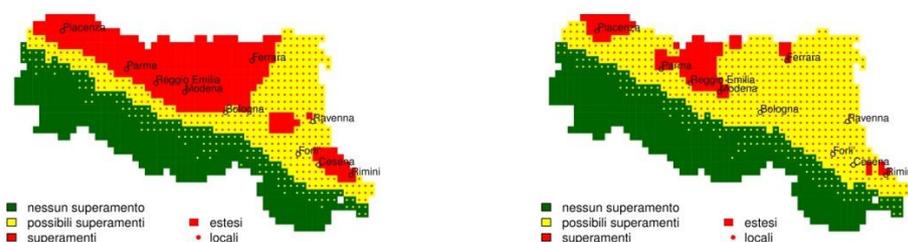


Figura 41: aree di superamento del VL giornaliero per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra e nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Le aree colorate in continuo indicano situazioni di superamento estese, le aree puntinate indicano situazioni di superamento locale del VL. giornaliero.

Questi risultati implicano che per ottenere il pieno rispetto del valore limite giornaliero di PM10 si rendono necessarie ulteriori azioni per la riduzione delle emissioni inquinanti rispetto a quelle previste dallo scenario energetico nazionale al 2020 (SEN 2020), previste dalla legislazione corrente e dai piani regionali settoriali attualmente adottati (CLE 2020).

## Obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti per il rispetto dei Valori Limite di PM10

L'entità della **riduzione delle emissioni necessarie ad ottenere il rispetto del VLE per PM10** è stata stimata con l'ausilio dello strumento di valutazione integrata RIAT+ descritto in precedenza (si veda il paragrafo "Il modello di valutazione integrata RIAT+") e del sistema modellistico NINFA-E.

La Tabella 4 riporta la stima della riduzione delle emissioni regionali che consentirebbero di rispettare il valore limite equivalente (VLE) per PM10. Nella prima riga, la variazione percentuale delle emissioni è espressa rispetto ai livelli emissivi attuali (2010). Come si è detto questo limite è il più cautelativo tra i limiti in vigore e si può ipotizzare che esso consenta anche il rispetto degli standard di qualità dell'aria per PM2.5 e NO<sub>2</sub>, ad esclusione di aree di dimensioni limitate dove sono possibili occasionali superamenti a causa di emissioni locali di inquinanti (hot spot).

La seconda riga (**Scenario tendenziale rispetto alle emissioni al 2010**) riporta le variazioni percentuali delle emissioni nello scenario tendenziale rispetto ai livelli emissivi attuali. Come già evidenziato in precedenza questo decremento delle emissioni non sarebbe sufficiente a garantire il rispetto del VLE per PM10 sull'intero territorio regionale. Le ulteriori riduzioni da attuare attraverso il piano aria sono pertanto riportate nell'ultima riga, dove sono indicate le variazioni relative allo scenario obiettivo rispetto ai livelli emissivi dello scenario tendenziale (Scenario Obiettivo rispetto allo scenario tendenziale).

**Tabella 4: Riduzione relativa delle emissioni dell'Emilia-Romagna necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale (esclusi gli hot spot)**

| RIDUZIONE % DELLE EMISSIONI al 2020  | COV  | NH3  | NOx  | PM10 | SO2  |
|--|------|------|------|------|------|
| Rispetto a emissioni 2010  | -32% | -48% | -44% | -30% | -2%  |
| Scenario tendenziale rispetto alle emissioni al 2010<br>"SCENARIO NO PIANO"            | -17% | -9%  | -24% | -24% | +9%  |
| Scenario obiettivo rispetto allo scenario tendenziale<br>"SCENARIO OBIETTIVO DI PIANO" | -18% | -43% | -26% | -8%  | -10% |

Lo stesso confronto in termini assoluti è mostrato nella Tabella 5 e graficamente nella Figura 42. L'istogramma in alto a sinistra, mostra le emissioni annuali, espresse in ton/anno e mette in evidenza come sia necessario intervenire attraverso il piano introducendo misure che consentano di ridurre ulteriormente, rispetto allo scenario tendenziale al 2020, le emissioni dei precursori dell'inquinamento da PM10, quali gli ossidi di azoto (NOx: - 21400 ton/anno circa di riduzione), l'ammoniaca (NH3: - 20000 ton/anno) ed i composti organici volatili (COV: - 14600 ton/anno), mentre quantitativamente meno rilevanti, ma significative, sono le riduzioni nelle emissioni di PM10 primario (- 793 ton/anno) e biossido di zolfo (SO2: - 2000 ton/anno).

Tabella 5: Emissioni (tonnellate/anno) relative allo scenario di riferimento (anno 2010), allo scenario tendenziale al 2020 (scenario no piano) ed allo scenario obiettivo del piano al 2020. L'ultima colonna (emissioni da ridurre) riporta la differenza tra le emissioni dello scenario tendenziale e le emissioni dello scenario obiettivo di piano.

| inquinante | Emissioni (ton)                 | 2010   | 2020  | emissioni da ridurre |
|------------|---------------------------------|--------|-------|----------------------|
| PM10       | Scenario di riferimento         | 13637  |       |                      |
|            | scenario tendenziale (no piano) |        | 10324 |                      |
|            | scenario obiettivo di piano     |        | 9531  | -793                 |
| NOx        | Attuali                         | 106745 |       |                      |
|            | scenario no piano               |        | 80997 |                      |
|            | scenario obiettivo di piano     |        | 59589 | -21408               |
| NH3        | Attuali                         | 51522  |       |                      |
|            | scenario no piano               |        | 47085 |                      |
|            | scenario obiettivo di piano     |        | 26929 | -20156               |
| COV        | Attuali                         | 99000  |       |                      |
|            | scenario no piano               |        | 81895 |                      |
|            | scenario obiettivo di piano     |        | 67257 | -14638               |
| SO2        | attuali                         | 17498  |       |                      |
|            | scenario no piano               |        | 19038 |                      |
|            | scenario obiettivo di piano     |        | 17067 | -1971                |

Da notare che gran parte della riduzione delle emissioni di PM10 primario sono già messe in atto dallo scenario tendenziale al 2020, lasciando un ridotto margine di efficacia alle misure del piano rivolte alla riduzione delle emissioni di questo inquinante.

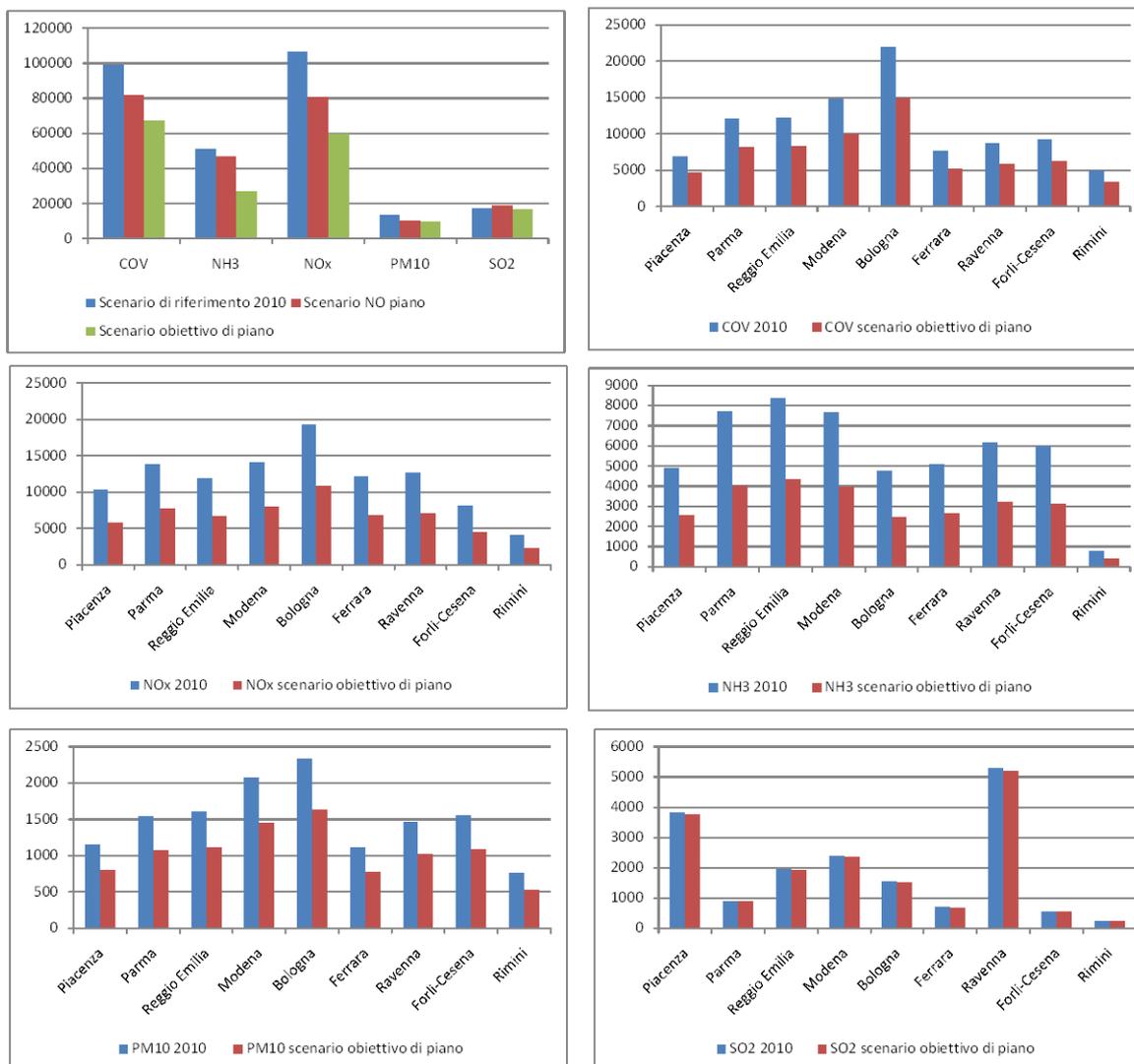
Le stime dello scenario tendenziale porterebbero d'altro canto ad un incremento delle emissioni di SO2 nel settore industriale e dei trasporti, che dovranno essere compensate dalle misure del piano in modo da ottenere una sostanziale stabilità di questo inquinante.

La riduzione delle emissioni di ammoniaca (NH3) nello scenario tendenziale al 2020 è attribuibile agli effetti delle buone pratiche di spandimento dei concimi animali introdotte dal citato regolamento regionale sull'utilizzo degli effluenti di allevamenti, che prevede l'interramento entro 24 ore di tutti gli spandimenti. L'adozione di misure atte ad ottenere una ulteriore riduzione (-43%) delle emissioni di ammoniaca resta comunque uno dei settori principali di intervento.

Va ricordato che queste stime sono state fatte ipotizzando che al di fuori dal territorio regionale le uniche variazioni emissive siano dovute allo scenario tendenziale costruito considerando l'applicazione della legislazione e dei piani vigenti a livello comunitario, nazionale e della Regione Emilia-Romagna, mentre non viene considerato l'effetto dei piani regionali di qualità dell'aria delle regioni limitrofe. Obiettivi di riduzione

meno drastici per l'Emilia-Romagna sarebbero probabilmente necessari considerando anche l'effetto di politiche a scala di intero bacino padano.

I rimanenti istogrammi di Figura 42 riportano gli obiettivi di riduzione per ciascun inquinante e ciascuna provincia. Le quote obiettivo di emissione sono state ripartite tra le province mantenendo le stesse proporzioni relative allo scenario di riferimento RER-2010. Si nota come gli obiettivi provinciali siano diversi tra loro in dipendenza della distribuzione geografica delle fonti di emissione ( si veda la Figura 39 ).



**Figura 42:** l'istogramma in alto a sinistra riporta le emissioni dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 sul territorio regionale nello scenario di riferimento (INEMAR-2010), tendenziale NO piano (CLE-2020) e nello scenario obiettivo di piano. Lo scenario obiettivo permetterebbe di rispettare il VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale. I rimanenti istogrammi indicano gli obiettivi di riduzione delle emissioni per ciascuna provincia ed inquinante (ton/anno). Colonne blu: emissioni attuali (RER-2010), colonne rosse: emissioni obiettivo.

Questi risultati mostrano come per ottenere il rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale è necessario ridurre complessivamente ed in misura considerevole rispetto ai livelli attuali (2010) le emissioni dirette di PM10 (- 30% circa) e dei principali precursori (- 30 - 50% circa). Si stima

che queste riduzioni saranno parzialmente raggiunte nel 2020, attraverso la applicazione della legislazione corrente e la realizzazione dei piani regionali settoriali adottati, in particolare per quanto riguarda la riduzione delle emissioni dirette di PM10 primario.

Per il pieno raggiungimento degli obiettivi dovranno essere adottate dal piano aria misure rivolte principalmente al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei precursori dell'inquinamento da polveri (ulteriore riduzione delle emissioni dell'ordine del 20 - 40% rispetto allo scenario tendenziale), mentre un peso meno rilevante avrebbero le azioni rivolte alla riduzione delle emissioni dirette di PM10 (dell'ordine del- 8%).

Una analisi preliminare della distribuzione spaziale della concentrazione al suolo, ha messo in evidenza che, una volta raggiunti gli obiettivi complessivi, saranno comunque possibili superamenti locali del VL giornaliero per PM10. Si è stimato che nello scenario obiettivo la popolazione esposta a valori di PM10 superiori al limite scenderebbe da 1.433.000 a 203.000 abitanti rispetto ad un totale è di 4.450.000 residenti nella regione. Questa popolazione esposta risiederebbe all'interno di "hot spot" aventi una superficie complessiva di circa 130 Km<sup>2</sup> rispetto ad una superficie totale è di 22.446 Km<sup>2</sup>.

Per azzerare completamente la popolazione esposta dovranno essere applicate misure a scala locale sulle aree hot spot.

### **Fattori di incertezza**

Occorre sottolineare come le stime qui riportate sono da considerarsi come una valutazione preliminare eseguita sulla base dello strumento di valutazione integrata RIAT+ e del sistema modellistico NINFA-E; le valutazioni fornite dovranno pertanto essere sottoposte ad un ulteriore approfondimento e verifica attraverso l'esecuzione di specifici studi modellistici, da condursi nella seconda fase della redazione del piano.

Gli obiettivi di riduzione risultano inoltre fortemente dipendenti dalle modalità con le quali viene costruito lo scenario tendenziale e possono di conseguenza variare in modo significativo in conseguenza degli aggiornamenti di tali scenari prodotti dagli organismi di riferimento nazionali (ENEA) ed Europei (IIASA)..

Analoghe considerazioni valgono per lo scenario emissivo di riferimento "BPA 2010", fornito come dato in ingresso al modello numerico di trasporto e dispersione NINFA-E. Questo scenario è stato ricostruito sulla base delle migliori stime delle emissioni disponibili al momento della realizzazione degli studi modellistici (gennaio - aprile 2013) e provengono da fonti diverse. Per coprire l'intero dominio di valutazione (Nord Italia) gli inventari delle emissioni alle varie scale spaziali (continentale, nazionale e regionale) sono stati combinati tra loro e disaggregati spazialmente sulla griglia di lavoro del modello. I dati utilizzati presentano diverse risoluzioni spaziali e grado di accuratezza e, pur essendo riferiti allo stesso anno di riferimento, sono soggetti ad aggiornamenti periodici eseguiti dagli Enti di riferimento per considerare gli aggiornamenti dei metodi di stima.

### **Le politiche per il raggiungimento degli obiettivi**

In base all'analisi precedente risulta evidente come le politiche di gestione della qualità dell'aria per consentire il raggiungimento dei valori limite debbano agire simultaneamente su più livelli e diverse scale spaziali e temporali.

Alla scala regionale e di bacino padano e sul lungo periodo è necessario individuare misure che agiscano principalmente sui precursori dell'inquinamento da polveri (NO<sub>x</sub>, COV, NH<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>), oltre che sulle emissioni dirette di PM<sub>10</sub> sull'intero territorio regionale.

Alla scala locale, all'interno delle grandi aree urbane ed in prossimità delle principali sorgenti di emissione di PM<sub>10</sub> e ossidi di azoto, possono risultare efficaci misure di riduzione delle emissioni dirette che agiscano in modo strutturale e sul lungo periodo.

Un terzo livello di interventi è infine rappresentato dalle misure che agiscono su periodi di tempo limitati e finalizzate a ridurre le emissioni dirette di PM<sub>10</sub> e ossidi di azoto nei periodi più critici.

Per individuare le principali misure applicabili al fine di raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni degli inquinanti indicate nell'analisi precedente, è necessario pertanto analizzare il quadro delle emissioni dei principali precursori dell'inquinamento da polveri.

Nei paragrafi successivi viene analizzato il contributo specifico dei vari macrosettori nei quali sono raggruppate le sorgenti inquinanti secondo la classificazione *Corinair* adottata in ambito europeo per la formulazione degli inventari delle emissioni. L'analisi viene presentata sia considerando la scala regionale che la scala locale, individuata considerando l'ambito territoriale dei Comuni aderenti all'accordo di programma sulla qualità dell'aria.

## Le emissioni regionali

Le emissioni della regione Emilia-Romagna per gli 11 macrosettori *Corinair* sono riportate nella tabella seguente:

**Tabella 6: ripartizioni delle emissioni dell'Emilia-Romagna (t/anno ; CO2 espressa in Mton/anno) per macrosettor *Corinair* ed inquinante (inclusi i gas serra CH4, CO2, N2O). L'ultima riga riporta, per i principali precursori, le emissioni totali sul dominio NINFA-E che copre l'intero Nord Italia ed il contributo percentuale delle emissioni dell'Emilia-Romagna rispetto al totale del dominio.**

| macrosettor                     | CO            |             | CO2          |             | COV          |             | N2O         |             | NH3          |             | NOx           |             | PM10         |             | SO2          |             |
|---------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| M1: Prod energia                | 6003          | 3%          | 9956         | 25%         | 1534         | 2%          | 79          | 1%          | 0            | 0%          | 9482          | 9%          | 86           | 1%          | 430          | 2%          |
| M2: Combustione non industriale | 83256         | 47%         | 10093        | 26%         | 28309        | 29%         | 956         | 11%         | 154          | 0%          | 8729          | 8%          | 5395         | 40%         | 1194         | 7%          |
| M3: Combustione nell'industria  | 4501          | 3%          | 6468         | 17%         | 1770         | 2%          | 391         | 4%          |              | 0%          | 12207         | 11%         | 993          | 7%          | 9773         | 56%         |
| M4: Processi produttivi         | 8333          | 5%          | 3920         | 10%         | 7645         | 8%          | 30          | 0%          | 1106         | 2%          | 3077          | 3%          | 617          | 5%          | 4540         | 26%         |
| M5: Estraz/distrib comb         |               | 0%          |              | 0%          | 5187         | 5%          |             | 0%          |              | 0%          |               | 0%          |              | 0%          |              | 0%          |
| M6: Uso solventi                |               | 0%          |              | 0%          | 39883        | 40%         |             | 0%          | 1            | 0%          | 15            | 0%          | 4            | 0%          | 2            | 0%          |
| M7: Trasporto su strada         | 68266         | 39%         | 12697        | 32%         | 12498        | 13%         | 356         | 4%          | 832          | 2%          | 60675         | 57%         | 4593         | 34%         | 370          | 2%          |
| M8: Altre sorgenti mobili       | 6231          | 4%          | 934          | 2%          | 2055         | 2%          | 306         | 3%          | 2            | 0%          | 11300         | 11%         | 1524         | 11%         | 1005         | 6%          |
| M9: Tratt/smaltim rifiuti       | 255           | 0%          | 550          | 1%          | 62           | 0%          | 156         | 2%          | 128          | 0%          | 622           | 1%          | 6            | 0%          | 183          | 1%          |
| M10: Agricoltura                | 0             | 0%          |              | 0%          | 59           | 0%          | 6785        | 75%         | 49299        | 96%         | 637           | 1%          | 418          | 3%          |              | 0           |
| M11: Altre sorg emi/assorb      |               |             | -5455        | -14%        |              |             |             |             |              |             |               |             |              |             |              |             |
| <b>totale RER 2010</b>          | <b>176846</b> | <b>100%</b> | <b>39163</b> | <b>100%</b> | <b>99002</b> | <b>100%</b> | <b>9059</b> | <b>100%</b> | <b>51522</b> | <b>100%</b> | <b>106745</b> | <b>100%</b> | <b>13637</b> | <b>100%</b> | <b>17498</b> | <b>100%</b> |
| Totale dominio Nord Italia 2010 |               |             |              |             | 589131       | 17%         |             |             | 321504       | 16%         | 663679        | 16%         | 105994       | 13%         | 147573       | 12%         |

Si nota (riga totale dominio Nord Italia 2010) come il contributo delle emissioni regionali risulta compreso tra il 10 % ed il 20 % circa degli inquinanti emessi complessivamente nel nord Italia nel 2010 ( dominio considerato per le valutazioni modellistiche NINFA-E, si veda al proposito anche la distribuzione geografica delle emissioni di Figura 39).

Queste stime indicano il traffico su strada e la combustione non industriale (principalmente riscaldamento degli edifici commerciali e residenziali) come le fonti principali di emissioni legate all'inquinamento diretto da polveri (PM10), seguiti dai trasporti non stradali e dall'industria. Le politiche di controllo e riduzione delle emissioni di particolato primario devono quindi agire prioritariamente su questi macrosettori.

Le emissioni industriali e la produzione di energia risultano invece la seconda causa di inquinamento da ossidi di azoto (NOx), che rappresentano anche un importante precursore della formazione di particolato secondario ed ozono.

Si nota come il principale contributo alle emissioni di ammoniaca (NH3), importante precursore della formazione di particolato secondario, derivi dall'agricoltura, settore spesso trascurato nelle strategie volte ad una riduzione dell'inquinamento da polveri. L'utilizzo di solventi nel settore industriale e civile risulta il principale responsabile delle emissioni di composti organici volatili (COV), precursori assieme agli ossidi di azoto della formazione di particolato secondario e ozono. La combustione nell'industria ed i processi produttivi risultano invece la fonte più rilevante di biossido di zolfo (SO2) che, sebbene presenti una concentrazione in aria di gran lunga inferiore ai valori limite, come si è visto in precedenza, risulta un importante precursore della formazione di particolato secondario anche a basse concentrazioni.

Per la formulazione delle politiche di controllo delle emissioni è importante anche considerare il peso dei diversi tipi di combustibile utilizzati in regione mostrato in Figura 43. Dall'analisi della distribuzione delle emissioni dei diversi inquinanti rispetto al combustibile utilizzato emerge che il consumo del gasolio per autotrasporto (diesel) è responsabile del 63% delle emissioni di NOx; per il PM10 gli apporti dalle attività di

combustione di legna e similari, dall'utilizzo di gasolio per autotrazione e dalle attività senza combustibile (usura freni e pneumatici, abrasione strade) risultano pressoché equivalenti tra loro . Il contributo della combustione della biomassa legnosa ha un ruolo importante anche nella emissioni di CO (45%) e COV (28%). Le emissioni di COV, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ed NH<sub>3</sub> non dipendono o derivano solo parzialmente dalla combustione e, pertanto, non sono associabili all'uso di uno specifico combustibile: infatti le emissioni di COV derivano principalmente dall'uso dei solventi, CH<sub>4</sub> principalmente dal trattamento dei rifiuti solidi urbani in discarica e da attività legate alla agricoltura, responsabili anche delle emissioni di NH<sub>3</sub>.

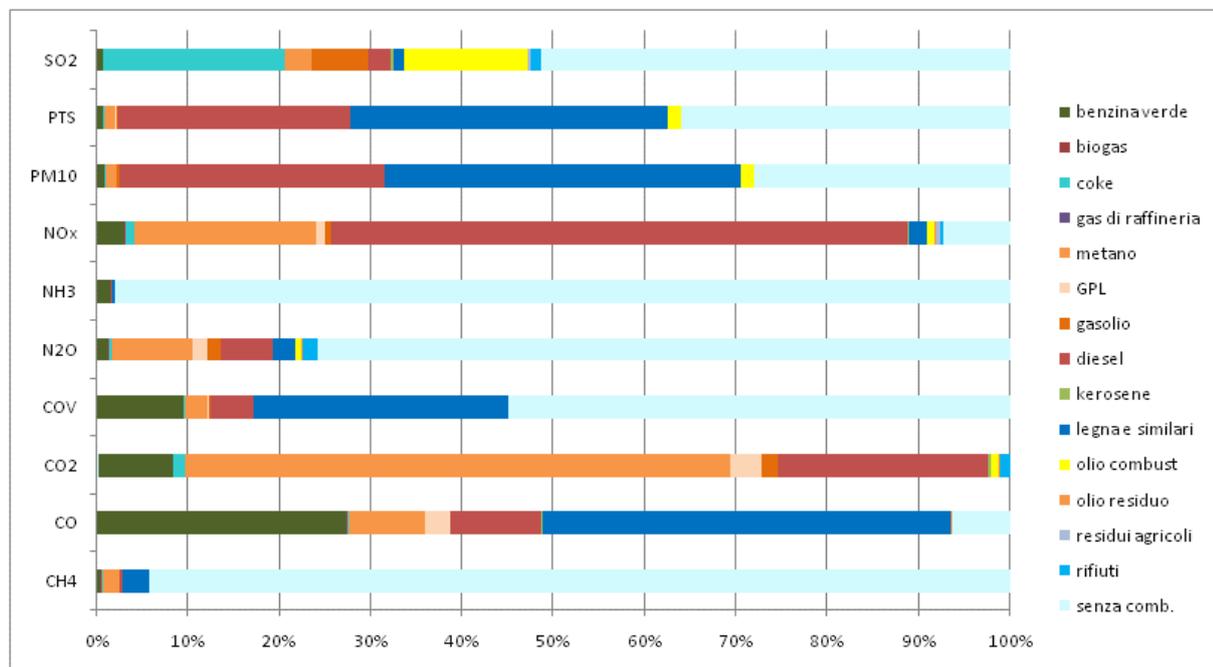


Figura 43: ripartizione delle emissioni per tipo di combustibile

## Le emissioni dei comuni dell'accordo di programma (AQA)

Un aspetto importante delle politiche di controllo delle emissioni è rappresentato dalle politiche sulle aree urbane che, in Emilia-Romagna vantano una ormai lunga tradizione attraverso lo strumento degli "Accordi di programma tra Regione, Province, Comuni capoluogo e Comuni superiori a 50.000 abitanti per la gestione della qualità dell'aria" ( Il primo accordo data 2002, il 10° accordo è stato sottoscritto nel 2012 ed ha validità fino al 2015). Allo scopo di valutare il peso delle politiche nelle aree urbane è necessario analizzare il contributo emissivo dei comuni aderenti agli accordi di programma (AQA). I Comuni considerati in questo studio sono: Piacenza, Parma, Reggio Emilia, Modena, Carpi, Bologna, Imola, Ferrara, Ravenna, Faenza, Cesena, Forlì, Forlimpopoli, Rimini. Il contributo complessivo sulle emissioni dei comuni AQA è riportato nella tabella seguente:

**Tabella 7: contributo assoluto (ton/anno) e relativo (%) per macrosettore alle emissioni nei comuni aderenti all'accordo di programma 2012-2015 sulla qualità dell'aria. La riga "contributo comuni AQA" riporta la frazione di emissione per ciascun inquinante attribuibile ai comuni dell'accordo di programma, rispetto al totale regionale.**

| macrosettore                    | CO           |             | CO2          |             | COV          |             | N2O         |             | NH3         |             | NOx          |             | PM10        |             | SO2         |             |
|---------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| M1: Prod energia                | 1173         | 2%          | 6538         | 33%         | 684          | 2%          | 71          | 4%          |             | 0%          | 5907         | 15%         | 27          | 1%          | 411         | 4%          |
| M2: Combustione non industriale | 19302        | 38%         | 4223         | 21%         | 6814         | 25%         | 324         | 19%         | 34          | 0%          | 3304         | 8%          | 1261        | 32%         | 389         | 4%          |
| M3: Combustione nell'industria  | 1327         | 3%          | 2145         | 11%         | 559          | 2%          | 121         | 7%          |             | 0%          | 3264         | 8%          | 190         | 5%          | 3462        | 37%         |
| M4: Processi produttivi         | 7782         | 15%         | 1949         | 10%         | 2239         | 8%          | 29          | 2%          | 634         | 8%          | 2293         | 6%          | 347         | 9%          | 3673        | 39%         |
| M5: Estraz/distrib comb         |              | 0%          | 0%           | 0%          | 1637         | 6%          |             | 0%          |             | 0%          |              | 0%          |             | 0%          |             | 0%          |
| M6: Uso solventi                |              | 0%          | 0%           | 0%          | 11573        | 42%         |             | 0%          |             | 0%          |              | 0%          |             | 0%          |             | 0%          |
| M7: Trasporto su strada         | 19506        | 39%         | 4465         | 22%         | 3539         | 13%         | 129         | 8%          | 295         | 4%          | 21358        | 53%         | 1620        | 42%         | 130         | 1%          |
| M8: Altre sorgenti mobili       | 1225         | 2%          | 223          | 1%          | 454          | 2%          | 43          | 3%          | 0           | 0%          | 2529         | 6%          | 217         | 6%          | 874         | 9%          |
| M9: Tratt/smaltim rifiuti       | 145          | 0%          | 511          | 3%          | 28           | 0%          | 120         | 7%          | 55          | 1%          | 1682         | 4%          | 122         | 3%          | 473         | 5%          |
| M10: Agricoltura                |              | 0%          | 0%           | 0%          | 8            | 0%          | 844         | 50%         | 6524        | 87%         | 120          | 0%          | 110         | 3%          |             | 0           |
| M11: Altre sorg emi/assorb      |              |             | -123         | -1%         |              |             |             |             |             |             |              |             |             |             |             |             |
| <b>Totale Comuni-AQA</b>        | <b>50459</b> | <b>100%</b> | <b>19931</b> | <b>100%</b> | <b>27533</b> | <b>100%</b> | <b>1682</b> | <b>100%</b> | <b>7542</b> | <b>100%</b> | <b>40458</b> | <b>100%</b> | <b>3895</b> | <b>100%</b> | <b>9412</b> | <b>100%</b> |
| contributo Comuni-AQA           |              | 29%         |              | 51%         |              | 28%         |             | 20%         |             | 17%         |              | 37%         |             | 28%         |             | 43%         |

Dalla riga "contributo comuni-AQA" della Tabella 7 si nota come questi comuni forniscano un contributo significativo (compreso tra 20 ed il 40 % circa a seconda dell'inquinante) alle emissioni regionali, confermando l'importanza di adottare politiche specifiche sulle maggiori aree a forte antropizzazione della regione. Questa considerazione vale in particolare per le politiche rivolte alla limitazione delle emissioni dirette di PM10 e NOx che, come si è visto, contribuiscono a determinare i superamenti a scala locale in prossimità delle maggiori sorgenti emissive (hot spot).

Un ulteriore dato da considerare (si vedano le colonne % della Tabella 6 e Tabella 7) è la diversa proporzione dei contributi di ciascun macrosettore al dato totale, rispettivamente per l'intera regione (Tabella 6) e per i comuni AQA (Tabella 7). Questo dato evidenzia la necessità di adottare politiche settoriali specifiche per le varie realtà locali.

Il contributo alle emissioni di PM10 primario e di ossidi di azoto per ciascun macrosettore e ciascuno dei comuni AQA è mostrato graficamente nella Figura 44.

Il riscaldamento degli edifici apporta un contributo alle emissioni di PM10 primario per circa il 20% nei comuni di Bologna, Parma e Piacenza, fino ad un contributo del 50% nei comuni di Cesena, Forlì, Imola e Forlimpopoli. Nei comuni di Forlì e Cesena non è trascurabile il contributo dell'agricoltura intesa come allevamento di avicoli. Mediamente il contributo del traffico veicolare è tra il 30 e il 40%; ad eccezione dei comuni di Bologna (64%), Modena, Parma e Piacenza (oltre il 50%).

Il comparto produttivo ha un peso relativo generalmente inferiore al 10% sulle emissioni di PM10 e NOx,, ad eccezione del comune di Ravenna (43% di PM10), da ricondurre alla presenza del maggior polo chimico ed energetico della Regione.

Nei comuni di Ravenna, Piacenza, Parma, Ferrara e Faenza il settore della produzione di energia contribuisce in modo significativo alle emissioni di ossidi di azoto.

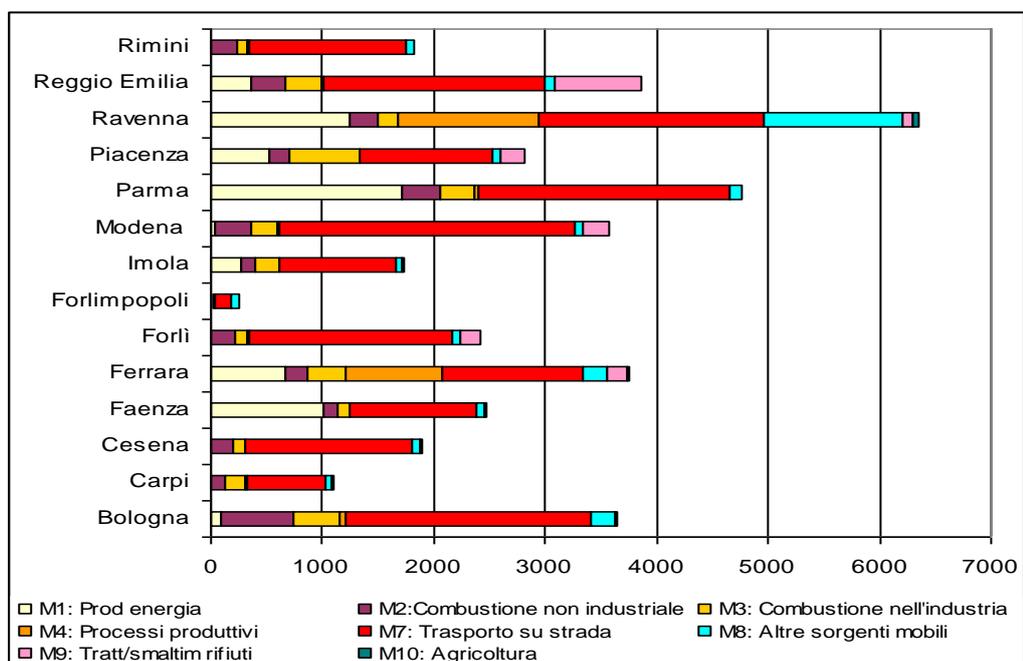
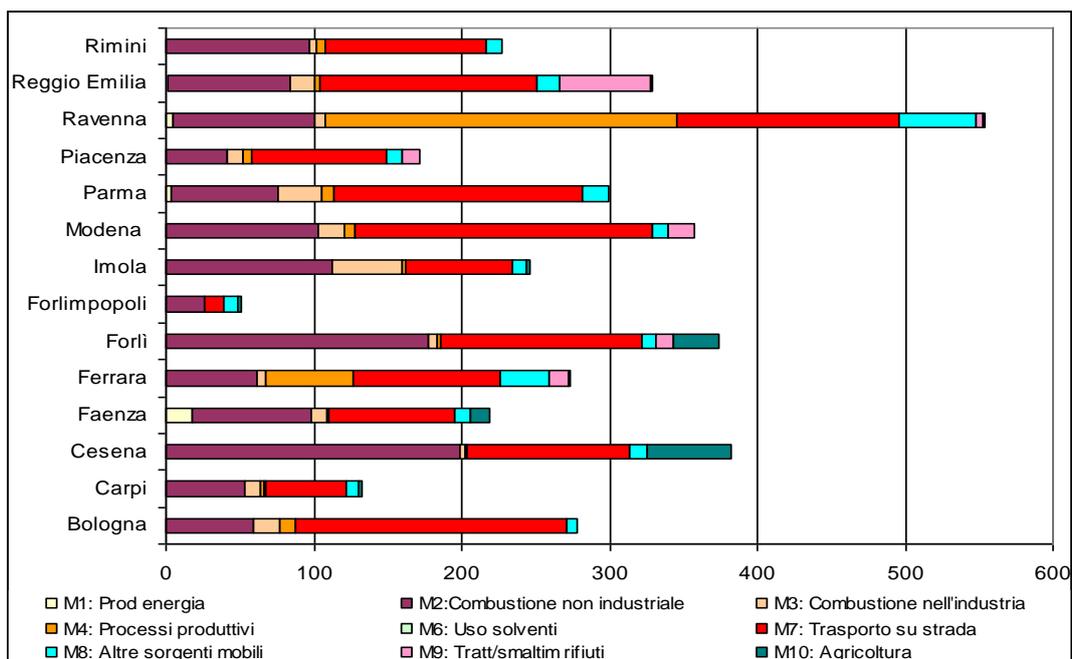


Figura 44: emissioni per macrosettore nei comuni AQA. PM10 in alto, NOx in basso.