RegioneEmilia-Romagna

Piano Aria Integrato Regionale 2020



Quadro conoscitivo

Piano Aria Integrato Regionale 2020

Referenti della **Regione Emilia-Romagna**

“Servizio Tutela e Risanamento Acqua, Aria e Agenti Fisici”

Katia Raffaelli – coordinamento e sviluppo delle azioni a approccio integrato in materia di cambiamenti climatici, gestione della qualità dell'aria e regolazione dei processi a impatto ambientale

Gruppo di Lavoro:

Katia Raffaelli, Lucia Ramponi, Simonetta Tugnoli, Matteo Balboni, Alberto Toschi

Referenti di **ARPAE Emilia-Romagna:**

“Centro Tematico Regionale – Qualità dell’Aria”

Marco Deserti – Responsabile di progetto

Gruppo di Lavoro:

Marco Deserti, Michele Stortini, Giovanni Bonafè, Enrico Minguzzi, Simona Maccaferri, Antonella Morgillo, Centro Tematico Regionale – Qualità dell’Aria
Vanes Poluzzi, Isabella Ricciardelli, Silvia Ferrari, Centro Tematico Regionale – Aree Urbane
Paolo Veronesi, Sezione Provinciale di Forlì – Cesena
Andrea Ranzi, Centro Tematico Regionale – Epidemiologia Ambientale

Sommario

Riassunto 6
Il contesto territoriale 8
L'influenza dei fattori meteorologici sulle concentrazioni degli inquinanti 10
Cambiamenti climatici e qualità dell'aria in Emilia-Romagna 13
La zonizzazione del territorio ai fini della valutazione e gestione della qualità dell'aria 17
Il programma di valutazione 18
Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione 18
La rete di monitoraggio 19
Il sistema di modelli numerici (NINFA-E) 23
Il modello di valutazione integrata RIAT+ 25
Il Progetto Supersito 27
Lo stato della qualità dell'aria 30
Il superamento dei valori limite per PM10 30
La distribuzione territoriale del PM10 ed i fattori meteorologici 36
L'origine geografica dell'inquinamento da PM10 37
Ripartizione per fonti dell'inquinamento da PM10 38
Il superamento dei valori limite per il biossido di azoto 39
Il superamento dei valori limite per l'ozono 44
Andamento del PM2.5 48
Inquinanti che rispettano i valori limite 51
Monossido di carbonio (CO) e biossido di zolfo (SO2) 51
Benzene e IPA- Benzo(A) pirene 52
Metalli 52
I risultati della prima annualità del progetto Supersito 54
Gli scenari emissivi 59
Lo scenario di riferimento (scenario base 2010) 59
Le emissioni regionali di sostanze inquinanti e climalteranti 61
Le emissioni extra-regionali 64
Proiezioni future 65
Emissioni inquinanti nello scenario tendenziale CLE-ER 2020 66
Lo scenario di massima riduzione possibile (MFR) 68
Obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti per il rispetto dei Valori Limite di PM10: lo scenario obiettivo di piano (PAIR 2020) 69

Obiettivi Provinciali ... 72
Obiettivi settoriali ... 73
La qualità dell'aria negli scenari emissivi ... 74
Valutazione dell'impatto sanitario ... 80
Popolazione regionale ... 80
Capoluoghi di provincia ... 84
Le politiche per il raggiungimento degli obiettivi ... 87
Le azioni che possono consentire il raggiungimento degli obiettivi del piano: ... 88
Trasporti stradali ... 88
Agricoltura ... 89
Altre sorgenti mobili ... 89
Edifici ... 90
Attività produttive e produzione di energia ... 92
Le aree urbane (emissioni dei comuni dell'accordo di programma AQA) ... 93
Lo scenario di piano ... 96
Le emissioni regionali nello scenario di piano ... 96
Trasporti stradali: ... 99
Edifici ... 100
Agricoltura (inclusi veicoli fuoristrada) ... 101
Industria ... 102
Efficacia del piano regionale di gestione dei rifiuti ... 103
Le emissioni extra-regionali ... 103
La qualità dell'aria nello scenario di piano (PAIR 2020) ... 105
APPENDICE1: metodologia utilizzata per la stima del valore limite equivalente per il PM10 ... 125
APPENDICE 2: metodo per il calcolo delle giornate favorevoli all'accumulo di PM10 ... 127
APPENDICE 3: lo scenario SEN 2020 per l'Emilia-Romagna ... 129
APPENDICE 4: Calcolo della correzione meteorologica nel PAIR e in tutti gli scenari prodotti nel 2013: ... 135
APPENDICE 5: Valutazione d'Impatto Sanitario sugli scenari di riduzione dell'inquinamento ... 136
APPENDICE 6: Configurazione della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (anno 2014) ... 141

Riassunto

Questo rapporto costituisce l'aggiornamento del Quadro conoscitivo allegato alla deliberazione della Giunta Regionale dell'8 luglio 2013 avente per oggetto "Approvazione del documento preliminare del piano regionale integrato per la qualità dell'aria". I principali aggiornamenti riguardano: la valutazione dello stato della qualità dell'aria (aggiornato al 2013), la valutazione dell'impatto sanitario degli scenari ed una analisi delle possibili azioni per il raggiungimento degli obiettivi di riduzione delle emissioni (capitolo "le politiche per il raggiungimento degli obiettivi"). Un capitolo specifico è dedicato infine alla "valutazione dello scenario di piano" dove vengono stimati gli effetti sulle emissioni e sulla qualità dell'aria delle misure contenute nel documento di piano, elaborato dalla Regione Emilia-Romagna in attuazione delle indicazioni contenute nel citato documento preliminare. È stata inoltre estesa la documentazione relativa agli aspetti metodologici, anche attraverso l'inserimento di 5 appendici dettagliate.

L'analisi dello **stato** mostra come 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 – 2013) evidenzia una lenta, ma statisticamente significativa, diminuzione della concentrazione in aria. I superamenti del VL sulla media annuale di NO2, 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 PM2.5 presenta una distribuzione relativamente uniforme sul territorio. Si stima che, se si manterranno invariate le condizioni attuali, potranno verificarsi negli anni meteorologicamente meno favorevoli, situazioni locali di superamento del VL per PM2.5 che entrerà in vigore nel 2015. 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 $\mu g/m^3$.

L'analisi delle **cause dell'inquinamento** ha evidenziato che 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 le individuazioni 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.

Nella prima fase del lavoro, a supporto della individuazione delle azioni del piano sono stati costruiti 4 diversi **scenari** emissivi e ne sono stati valutati gli effetti sulla qualità dell'aria attraverso un sistema di

modelli numerici. Le stime modellistiche sono state corrette con i dati sperimentali. A ciascun scenario è stata associata un intervallo di variabilità nella concentrazione di inquinanti legata alle condizioni meteorologiche ed agli effetti a scala locale non trattati esplicitamente dal modello. Gli scenari valutati sono:

1. lo scenario di riferimento (base 2010): rappresenta la situazione ad emissioni attuali
2. Lo scenario tendenziale (CLE-SEN 2020): rappresenta l'evoluzione attesa in applicazione della Strategia Energetica Nazionale e dei piani e regolamenti settoriali approvati o adottati dalla Regione E-R

3. Lo scenario obiettivo di piano: individua gli obiettivi di riduzione delle emissioni necessarie al raggiungimento degli obiettivi di qualità dell'aria con costi sostenibili

4. Lo scenario di massima riduzione possibile: scenario teorico utilizzato per la valutazione delle alternative.

La **valutazione sanitaria** dello scenario di piano ha mostrato che il raggiungimento degli obiettivi porterebbe ad un aumento della speranza di vita di circa 3 mesi, mentre nello scenario tendenziale CLE 2020 il guadagno sarebbe di circa 1.5 mesi. Le analisi di scenario hanno evidenziato che lo scenario tendenziale al 2020 non porterà a ridurre la concentrazione di PM10 al di sotto dei limiti.

Sono state mundi analizzate le possibili azioni per la realizzazione dello scenario obiettivo di piano selezionate attraverso **l'analisi costi-benefici**. Questa analisi è stata fornita ai servizi regionali a supporto della individuazione delle misure del piano. Una volta individuate da parte dei servizi regionali le misure del piano si è proceduto alla quantificazione delle variazioni rispetto ai livelli emissivi del 2010, ottenendo lo **scenario di piano PAIR2020**. Si è valutato che la applicazione delle misure del piano porterebbe ad una sensibile riduzione delle emissioni di PM10 (-47%), NOx (-36%), NH3 e COV (-27%), SO2 (- 7%).

Si è quindi valutata la **qualità dell'aria nello scenario di piano**, in sintesi:

- L'applicazione delle misure del piano porterebbe a un sostanziale miglioramento della qualità dell'aria rispetto allo scenario tendenziale. Il valore limite annuale per PM10 e PM2.5 sarebbe rispettato su tutto il territorio.
- Nello scenario di piano, in condizioni meteorologiche tipiche, la popolazione esposta a superamenti del valore limite giornaliero scenderebbe dal 64% all'1% della popolazione residente.
- Sarebbero tuttavia ancora possibili superamenti locali del valore limite giornaliero per PM10 in alcune aree, di dimensioni ridotte rispetto alle attuali.
- Il valore limite giornaliero per PM10 sarebbe rispettato in tutte le città capoluogo in condizioni meteorologiche tipiche, ma potrebbero verificarsi superamenti in condizioni meteorologiche avverse e/o in prossimità delle sorgenti di emissione.
- È necessario prestare particolare attenzione ad alcune situazioni locali potenzialmente critiche, nelle quali sono posizionate alcune delle stazioni di monitoraggio, dove potrebbero essere misurati superamenti del valore limite giornaliero per PM10 e, in misura più limitata, del valore limite annuale per PM10 e NO2. Queste situazioni saranno oggetto di particolare attenzione nel corso del monitoraggio del piano.
- Si stima una riduzione dei valori massimi di ozono con una significativa diminuzione del numero di ore in cui la concentrazione di ozono supera la soglia di informazione.

Il 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.

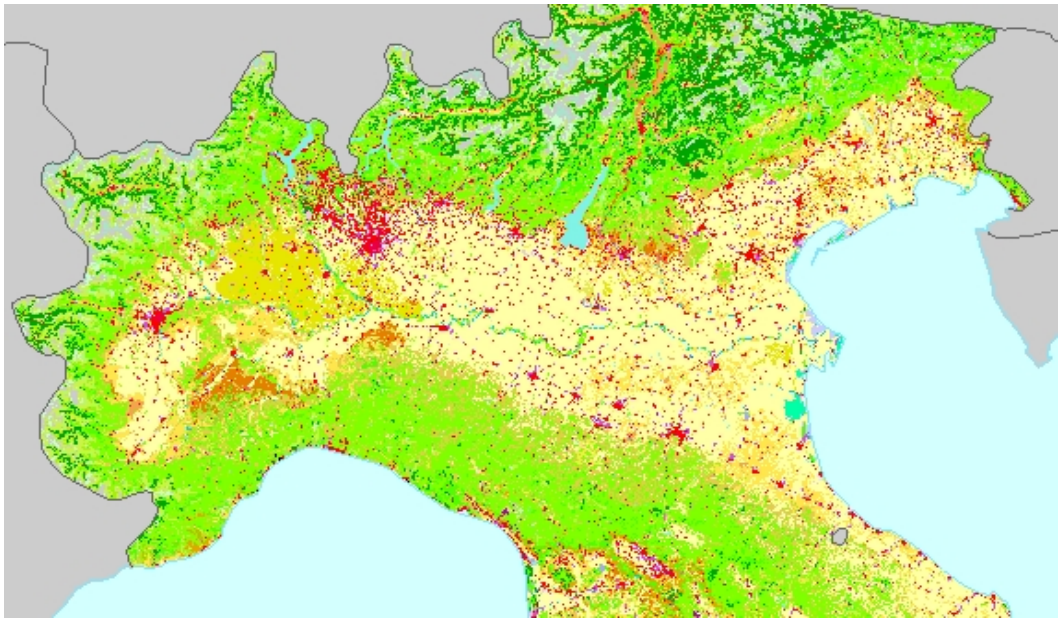


Figura 1: uso del suolo nella Pianura Padana: le aree urbane sono in rosso, i terreni agricoli in giallo (fonte: Corine land cover 2006)

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)

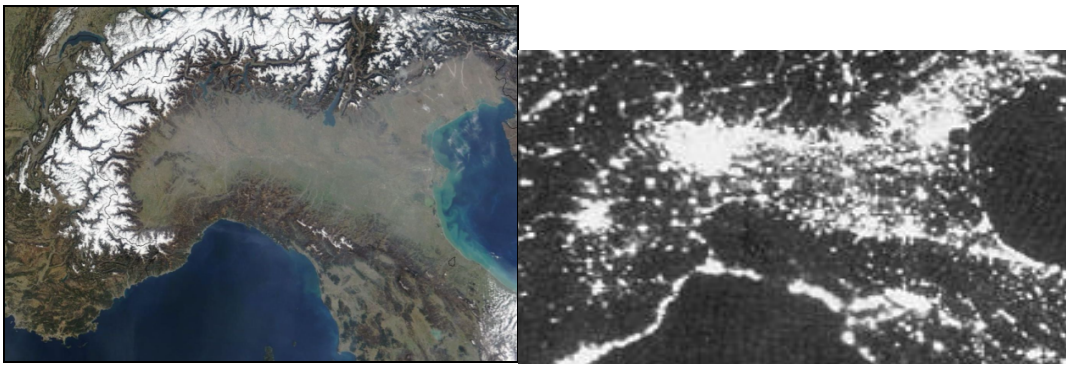


Figura 2: a sinistra immagine da satellite dell'Italia Settentrionale nella stagione invernale (fonte: radiometro MODIS, NASA), a destra illuminazione notturna della pianura padana

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.

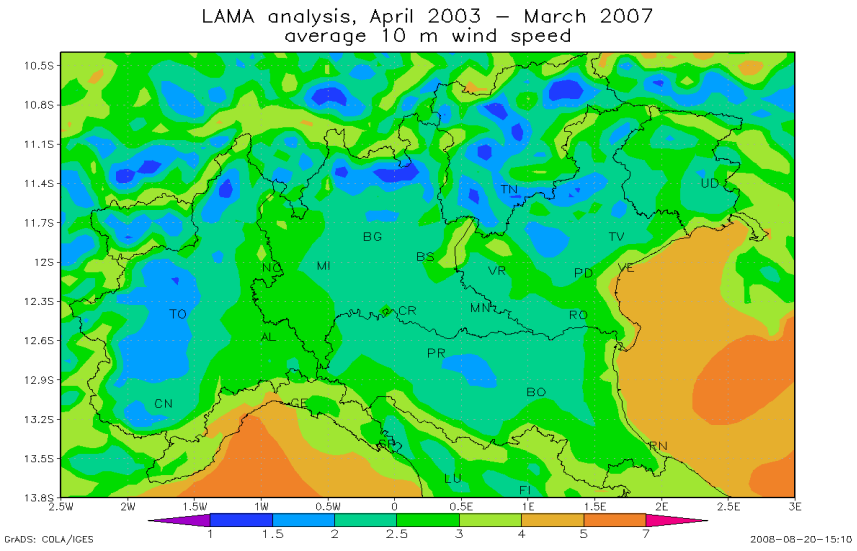


Figura 3: ***velocità media del vento nella Pianura Padana; analisi modellistica, periodo 2003-2007***

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 NO2 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.

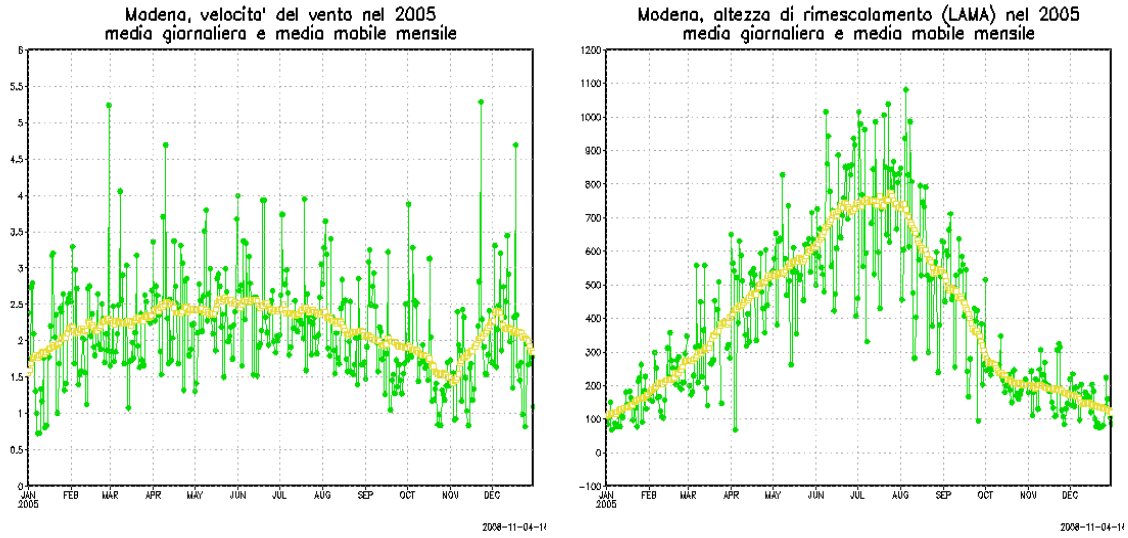


Figura 4: ***esempio di andamento stagionale di velocità del vento (sinistra) e altezza di rimescolamento (destra); analisi modellistica, Modena, anno 2005.***

Cambiamenti climatici e qualità dell'aria in Emilia-Romagna

Il cambiamento climatico può influire sulla qualità dell'aria, e viceversa alcuni inquinanti atmosferici possono contribuire ad aumentare o ridurre il cambiamento climatico. Il Quinto Rapporto IPCC-WG1 (IPCC 2013[1]) ha riconosciuto l'importanza del tema, includendo le proiezioni sulla qualità dell'aria anche nel Sommario per i decisori politici. Come conseguenza della variazione del clima, la qualità dell'aria di ciascun'area del pianeta potrebbe migliorare o peggiorare.

Gli elementi in gioco sono molti e tra loro interconnessi (Figura 5): ne elenchiamo alcuni, senza azzardare ipotesi sulla prevalenza dell'uno o dell'altro nel contesto particolare della Pianura Padana[2].

Temperatura, umidità atmosferica assoluta e irraggiamento solare influenzano i processi fotochimici che, specialmente in estate, portano alla formazione di alcuni inquinanti quali l'ozono e le polveri. L'atteso aumento delle temperature favorirà la formazione degli inquinanti secondari, sia direttamente, sia attraverso un aumento delle emissioni di composti organici volatili (COV) da parte della vegetazione.

D'altra parte in un clima mutato è probabile che la vegetazione si adatti: a un diverso tipo di vegetazione corrisponderebbero diverse emissioni di COV; variazioni nella copertura vegetativa potrebbero inoltre modificare (aumentandola o diminuendola) la resistenza che essa offre al vento, favorendo o ostacolando la dispersione e il trasporto degli inquinanti nella bassa troposfera.

Una diminuzione delle precipitazioni attenuerebbe la rimozione umida degli inquinanti, mentre un aumento dell'irraggiamento solare intensificherebbe la produzione fotochimica di ozono e polveri; lunghi periodi di siccità potrebbero inoltre alterare la frequenza degli incendi e dunque aumentare le emissioni di alcuni inquinanti o precursori.

Il deficit idrico nel terreno favorirebbe tuttavia la cessione di energia in forma di calore sensibile dal suolo verso i bassi strati di atmosfera, aumentando la turbolenza termica e favorendo così la diluizione degli inquinanti in atmosfera (quest'ultimo meccanismo potrebbe però essere sensibilmente alterato dalla variazione della copertura vegetativa).

Infine, i cambiamenti delle concentrazioni di polveri in atmosfera si ripercuoterebbero anche su estensione e composizione delle nubi, in modi che è difficile prevedere con precisione.

In un clima mutato potrebbero variare le frequenze di accadimento e la persistenza di alcune configurazioni sinottiche: ciò potrebbe aumentare o diminuire l'occorrenza di condizioni favorevoli al trasporto a lungo raggio di inquinanti. A questo proposito, alcuni studi prevedono un aumento della frequenza di condizioni favorevoli alla stagnazione nell'Europa mediterranea (Horton et al., 2012[3]).

[1] IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

[2] Chiesa I., (2013) Studio delle relazioni tra concentrazione di ozono e temperatura dell'aria per l'elaborazione di scenari futuri. Tesi di Laurea Magistrale in Fisica, Università di Bologna, AA 2012/2013

[3] Horton D.E., Harshvardhan S., Diffenbaugh N.S (2012) Response of air stagnation frequency to anthropogenically enhanced radiative forcing. Environmental Research Letters, 7, 044034

Nella nostra regione, la maggior parte dei modelli climatici prevede un aumento delle temperature massime estive, che nel trentennio 2020-2050 potrebbero essere 1.5 - 2 gradi più alte rispetto al periodo 1960-1990 (Tomozeiu at al., 2007[4]; Tomozeiu et al. 2010[5]; Villani et al., 2011 [6]) Figura 6.

E' probabile che questo aumento, associato a una maggiore frequenza di ondate di calore, determini anche un incremento delle concentrazioni di ozono nei mesi estivi (Figura 7), e in particolare un aumento delle giornate con concentrazioni molto elevate (Tabella 1).

Questa tendenza potrebbe in realtà essere già in atto: i dati dell'ultimo decennio indicano, nella stagione estiva, un aumento significativo delle temperature massime e delle concentrazioni di ozono rispetto al periodo 1960-1990. I dati non sono tuttavia ancora sufficienti per poter trarre conclusioni definitive.

L'evoluzione futura delle concentrazioni di polveri è tuttora molto incerta: è difficile prevedere come cambieranno gli altri fattori che influenzano la qualità dell'aria (velocità del vento, turbolenza atmosferica, frequenza di accadimento di specifiche condizioni meteorologiche, modifiche alla vegetazione), e risulta quindi arduo stimare gli effetti complessivi del cambiamento climatico sull'inquinamento atmosferico della Pianura Padana.

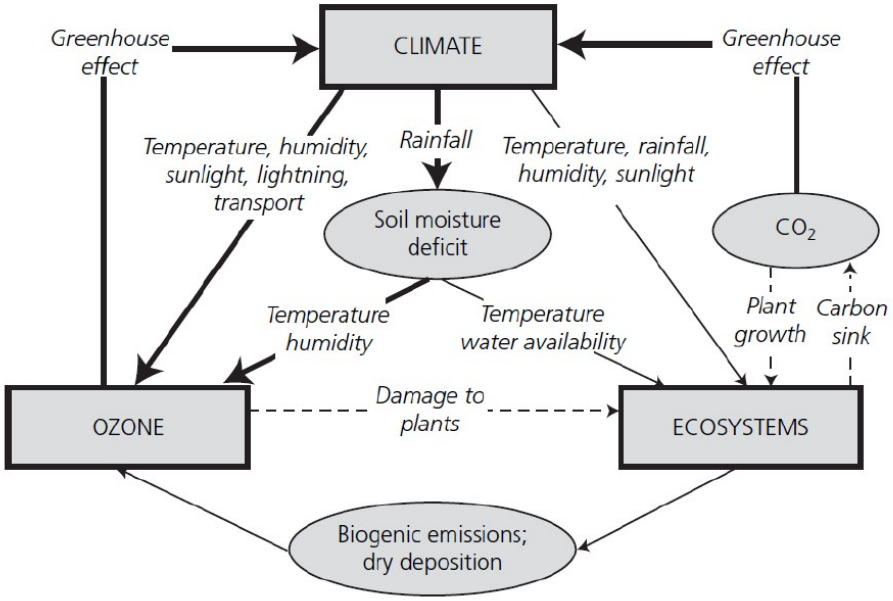


Figura 5: rappresentazione schematica delle relazioni tra cambiamenti climatici, parametri meteorologici e concentrazioni di ozono (da Chiesa 2013)

[4] Tomozeiu R., Tomei F., Villani G., Marletto V., Botarelli L. (2010) Acquisizione, calibrazione e downscaling di scenari climatici futuri a livello locale http://agroscenari.entecra.it/public/upload/documenti/incontri/incontro_Oristano/ARPA_1a.pdf

[5] Villani G., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V. (2011) Climatic scenarios and their impacts on irrigated agriculture in Emilia-Romagna, Italy. Italian Journal of Agrometeorology - 1/2011

[6] Tomozeiu R., Cacciamani C., Pavan V., Morgillo A., Busuioc A. (2007) Climate change scenarios for surface temperature in Emilia-Romagna (Italy) obtained using statistical downscaling models. Theoretical and Applied Climatology, 90, p. 25-47

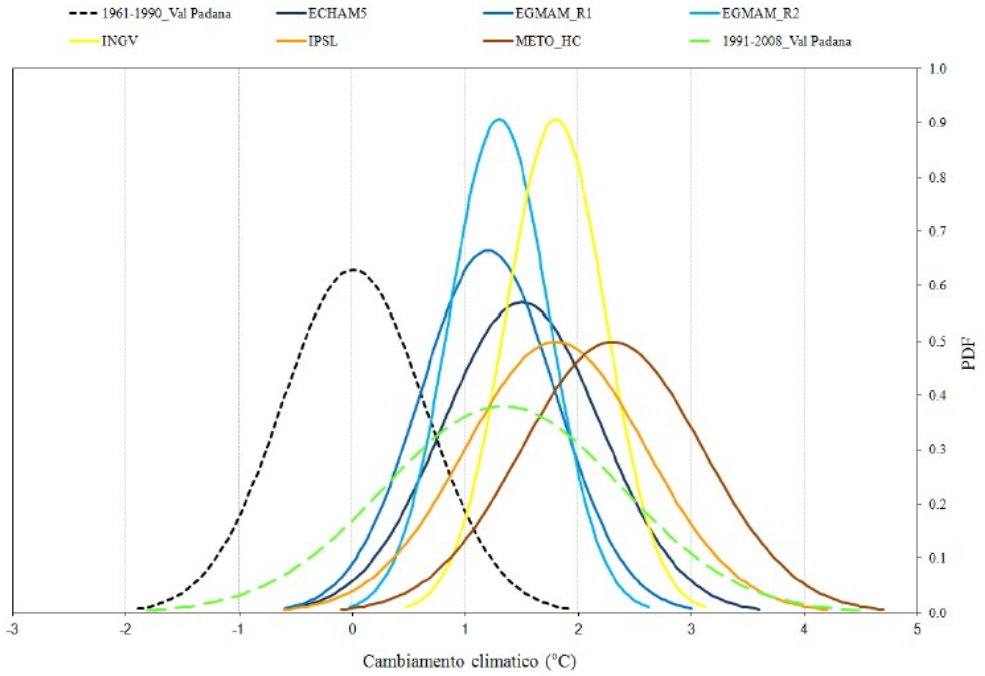


Figura 6: distribuzione di frequenza delle temperature massime a Parma nei mesi estivi. La linea nera si riferisce al clima attuale, le linee colorate al clima stimato da un insieme di modelli per il trentennio 2021-2050 (da Chiesa 2013).[7]

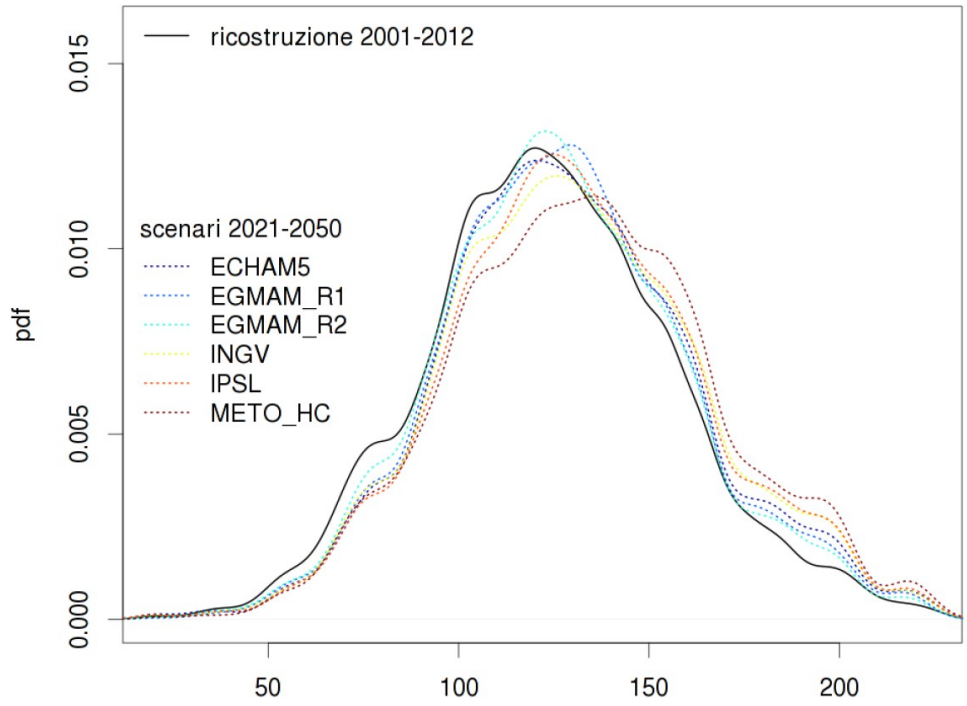


Figura 7: distribuzione di frequenza del massimo giornaliero delle concentrazioni di Ozono a Parma nei mesi estivi. La linea nera si riferisce al clima attuale, le linee colorate al clima stimato da un insieme di modelli per il trentennio 2021-2050 (da Chiesa 2013).

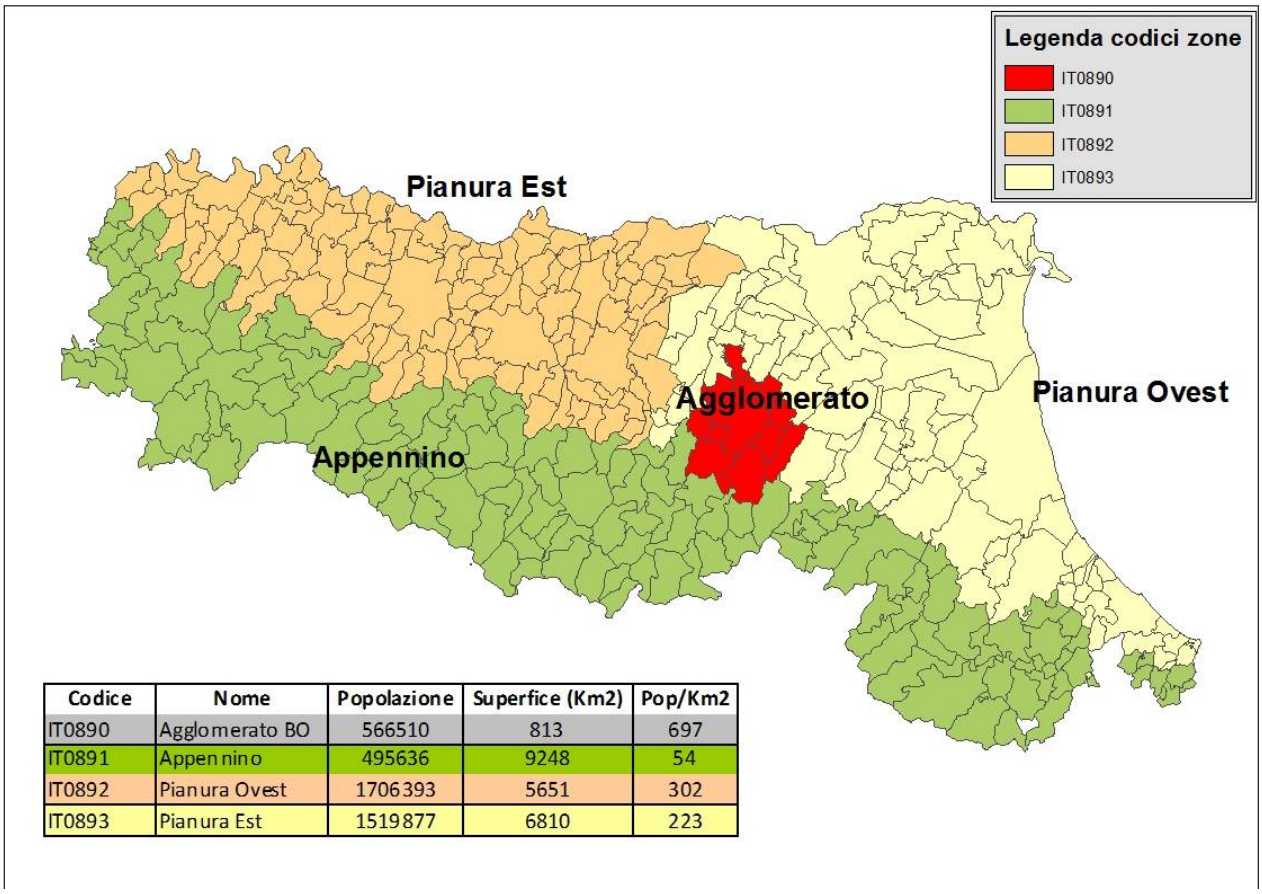
Modello	Ricostruz. 1961-1990	Ricostruz. 2001-2012	ECHAM5	EGMAM R1	EGMAM R2	INGV	IPSL	METO HC
Sup. stimati	3.0 ± 1.3	7.8 ± 3.0	11.7 ± 2.5	10.3 ± 2.4	9.6 ± 2.4	13.1 ± 2.7	13.1 ± 2.7	14.9 ± 2.8

Tabella 1: numero di giorni all'anno con concentrazioni di ozono > 180 µg/m3 a Parma. Le prime due colonne si riferiscono al clima passato (1960-90) e presente (2001-2012), le altre alle stime di un insieme di modelli per il clima futuro (da Chiesa 2013).

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 8.

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



Codice	Nome	Popolazione	Superfice (Km2)	Pop/Km2
IT0890	Agglomerato BO	566510	813	697
IT0891	Appennino	495636	9248	54
IT0892	Pianura Ovest	1706393	5651	302
IT0893	Pianura Est	1519877	6810	223

Figura 8: 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[8] 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 DLGS155/10.

Il sistema integrato di monitoraggio, valutazione e previsione

Lo schema a blocchi del sistema integrato è mostrato in Figura 9. 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+.

[8] www.arpa.emr.it/aria/

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 in tempo reale (ad es. durante il periodo di applicazione dell'accordo di programma) 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.

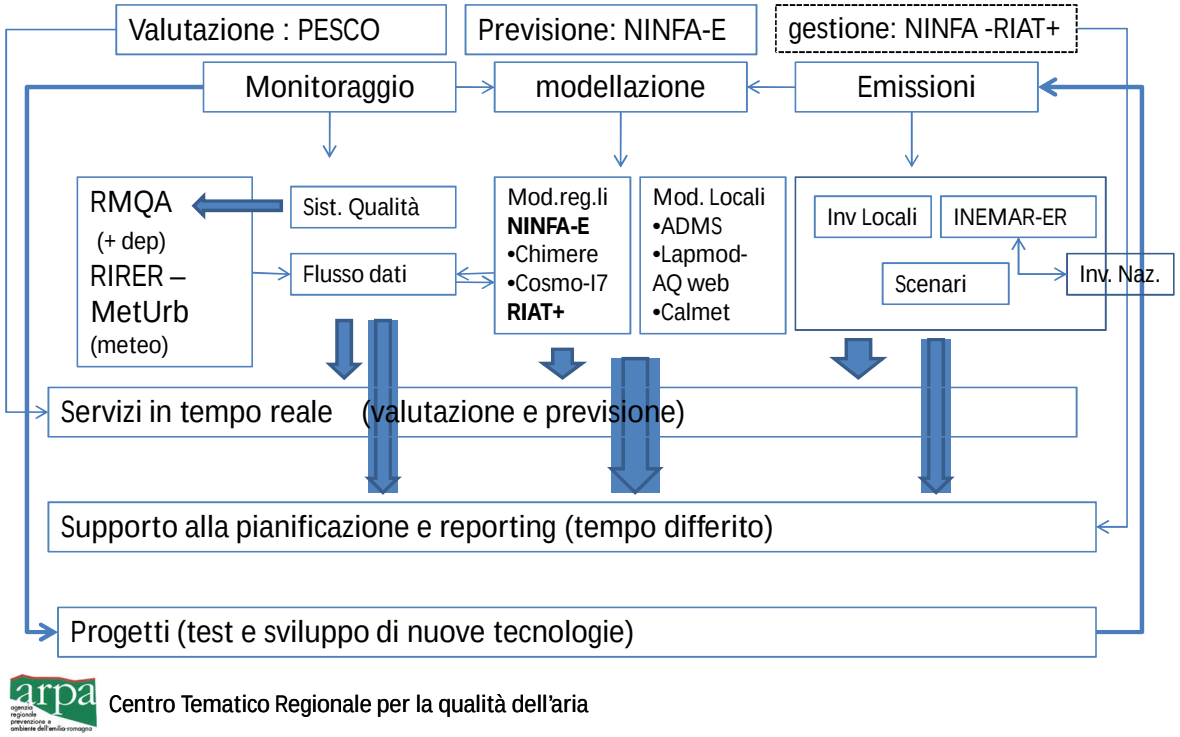


Figura 9: schema a blocchi del sistema integrato di valutazione, previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna

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 DLgs 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 Dlgs 183 del 2004. Si deve comunque considerare che la rete è in continua evoluzione, fin dagli anni 70, e ulteriori interventi sono stati attuati nel corso del 2013 attraverso interventi di adeguamento alla normativa sulla sicurezza, sostituzione e rimozione di apparati obsoleti e rilocazione di alcune stazioni. 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 2014 è composta da 47 punti di misura in siti fissi e 171 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).

Il dettaglio della configurazione della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria al 2014 è riportato in appendice 6.

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 NO2 ai 42 punti di misura per PM10, mentre vengono progressivamente ridotti gli analizzatori che monitorano inquinanti la cui concentrazione è ormai al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (es. SO2) o ampiamente al di sotto dei valori limite (es. CO) (Tabella 2). D'altra parte aumenta la distribuzione territoriale dei punti di misura che oggi vanno a coprire anche zone di fondo rurale e remoto (Figura 10) 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.

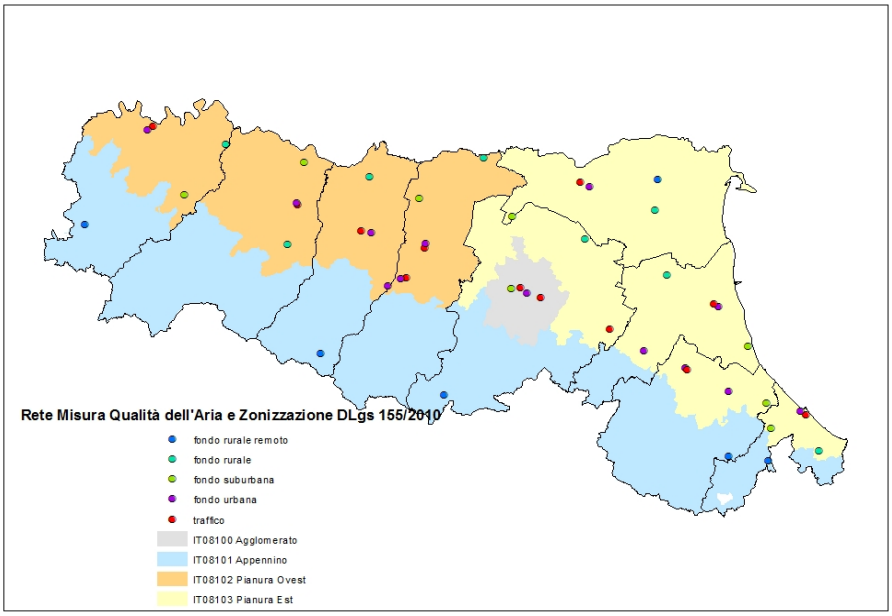


Figura 10: le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione. (Approvati con Deliberazione n. 2001/2011 della Giunta Regionale)

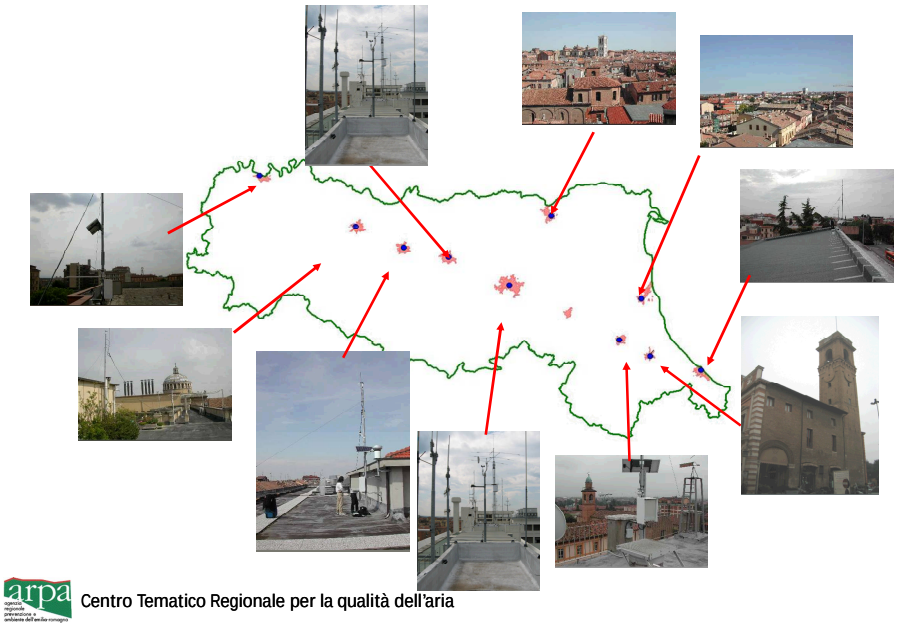


Figura 11: stazioni della sottorete meteorologica per la meteorologia urbana.

Tabella 2: 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 (1)	traffico	X		X	X	X		
RE	Castellarano	Castellarano	fondo residenziale	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 residenziale	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 residenziale	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	San Leo (2)	San Leo	fondo remoto	X		X			X	
RN	S.Clemente	S. Clemente	fondo rurale		X	X			X	

(1) stazione riposizionata in data 1/1/2014,
(2) stazione attivata il 26/5/2013 in seguito a rilocazione della stazione Mondaino disattivata in data 31/12/2013 come da 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 DLgs 155/2010 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). Anche questo sistema è in continua evoluzione: i codici di calcolo vengono continuamente aggiornati alle versioni più recenti e sono in corso attività di ricerca e sperimentazione per migliorarne le prestazioni.

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 DLgs 155/2010, NINFA può essere classificato come un modello adatto alla **valutazione della concentrazione di fondo regionale** degli inquinanti O3, NO2, PM10, PM2.5.
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 DLg 155/2010, PESCO può essere classificato come un modello adatto alla **valutazione della concentrazione di fondo urbano** degli inquinanti O3, NO2, PM10, PM2.5.

Il **modello chimico** utilizzato da NINFA è il modello Chimere [9]. 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 [10] del quale fanno parte per l'Italia USAM (Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia), ARPA-SIMC, ARPA-Piemonte, CIRA. Il modello meteorologico è

[9] http://euler.lmd.polytechnique.fr/chimere/
[10] http://www.cosmo-model.org/

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 [11].

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 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 [12]. 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) [13] 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) [14].

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_{10}, $PM_{2.5}$ 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" [15].

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**.

[11] http://www.prevair.org/fr/index.php
[12] documentazione e dati disponibili su: http://www.arpa.emr.it/sim/?qualita_aria/previsioni_aria_nord
[13] http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/aria/rapporto_ninfa.pdf
[14] http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=561&idlivello=64
[15] http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/descr-pesco.pdf

Il modello di valutazione integrata RIAT+

Lo strumento di valutazione integrata **RIAT+** è uno strumento software realizzato nell'ambito del progetto Europeo Life-OPERA (capofila ARPA) iniziato il 1 settembre 2010 e conclusosi il 30 settembre 2013. Il progetto e le caratteristiche del software RIAT+ sono descritte sul sito del progetto [16], dal quale può anche essere scaricato il software.

Nel corso del progetto OPERA lo strumento è stato implementato da ARPA sul territorio dell'Emilia-Romagna, secondo le modalità descritte nel "Layman's report" del progetto [17].

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_2), 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 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 12):

- La curva di Pareto che restituisce i costi (espressi come costi addizionali 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).
- Il 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.
- Il dettaglio spaziale, sotto forma di mappe di concentrazione ed emissione di inquinanti associate allo scenario selezionato.

[16] http://www.operatool.eu
[17] http://www.operatool.eu/html/pdf/D15%20Layman's%20Report.pdf

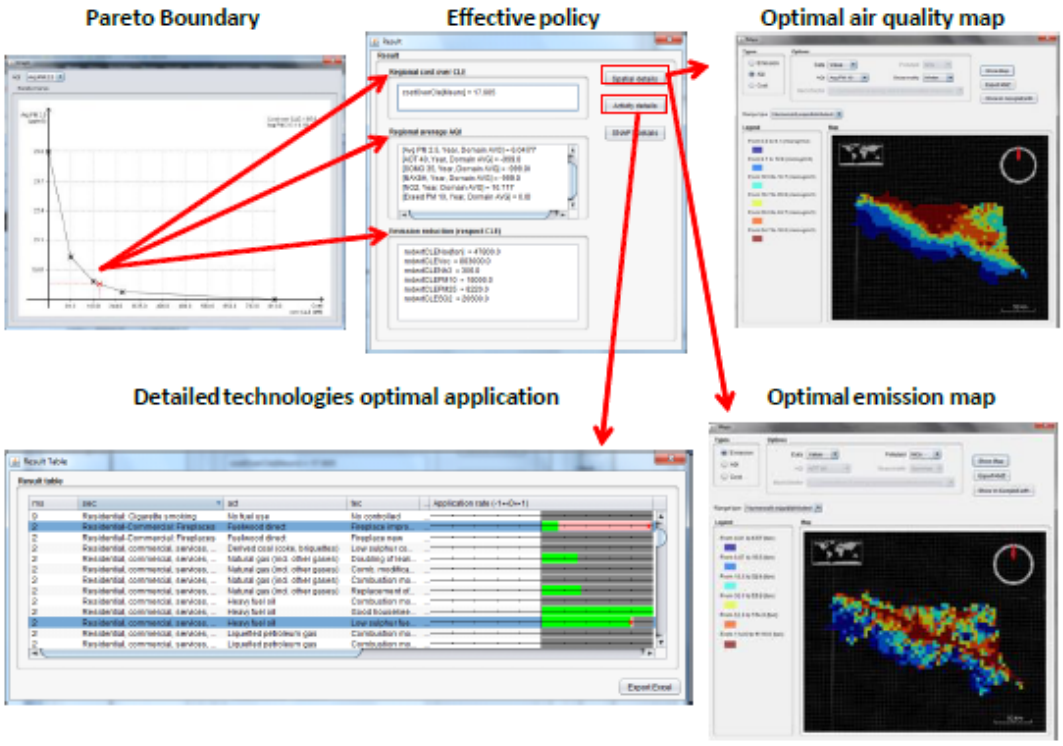


Figura 12: esemplificazione dei principali output di RIAT+

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[18], 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 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 13.

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.

[18] http://www.arpa.emr.it/supersito/

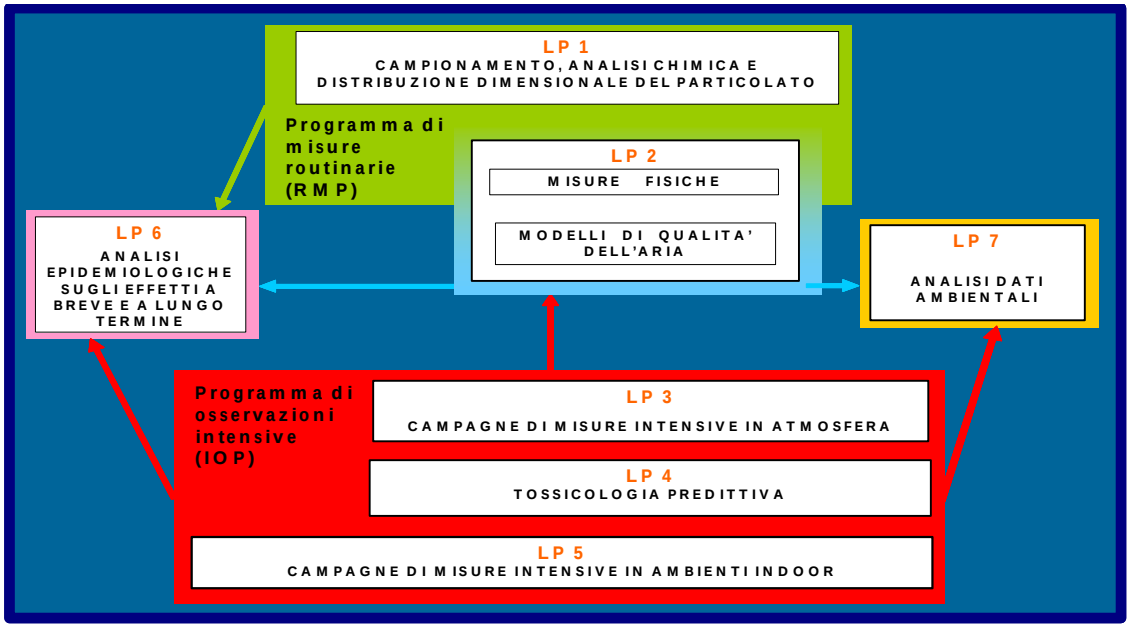


Figura 13: Architettura del progetto Supersito

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 14):

- 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.

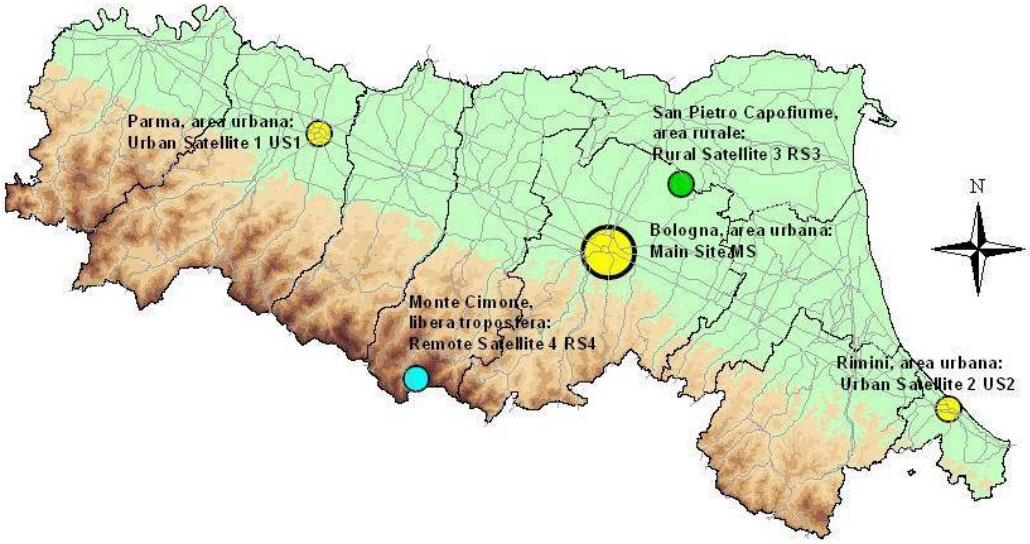


Figura 14: Ubicazione dei siti di monitoraggio del progetto Supersito

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 15) e giornaliero (Figura 16) 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 – 2013) 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, per poi tornare sotto il limite in tutte le stazioni nel 2013. 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 17), un indice che presenta una marcata variabilità interannuale (**si veda l'appendice 2 per una descrizione del metodo utilizzato per individuare i giorni favorevoli all'accumulo di PM10**). A questa variabilità dovuta alle condizioni meteorologiche si sovrappone un limitato, ma statisticamente significativo (Figura 19), 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. ([19])

Più critica risulta la situazione relativa al superamento del **VL giornaliero** (limite 35 giorni/anno), che è stato superato ogni anno con un n. di superamenti fortemente variabile a seconda delle stazioni e degli anni considerati (Figura 16). Il numero maggiore di superamenti si registra nelle stazioni da traffico (n. massimo di superamenti variabile nel tempo tra 80 e 140 superamenti anno), 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 18). Questa proporzione è scesa a meno del 20 % nel 2013, anno nel quale si è registrato un minimo nei superamenti del limite.

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 numero di superamenti del VL giornaliero** (Rank36). I risultati hanno portato ad individuare un valore limite equivalente (VLE) per la media annuale di

[19] G. Bonafè, E.Minguzzi, A.Morgillo, "Analisi del trend della qualità dell'aria in Emilia-Romagna", Ecoscienza, N.3 anno IV, luglio 2013.

circa 28 µg/m^3. Questo valore rappresenta la miglior stima ottenibile dall'analisi di regressione, se VLE è < 27.4 o > 28.8 il metodo permette di stimare correttamente il rispetto del limite di legge nel 95% dei casi (Figura 20). Si veda **l'appendice 1** per una descrizione del metodo utilizzato per la definizione del VLE

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[20]). Valutazioni simili hanno portato ARPA Lombardia a stimare in 27-28 µg/m3 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 microg/m3. Si può ipotizzare che se si rispetta questo, saranno rispettati anche i limiti per PM2.5 e NO2 (esclusi gli hot spot).

[20] De Leeuw, 2012: studio presentato a Bruxelles al PM-workshop del 18-19/6/2012.

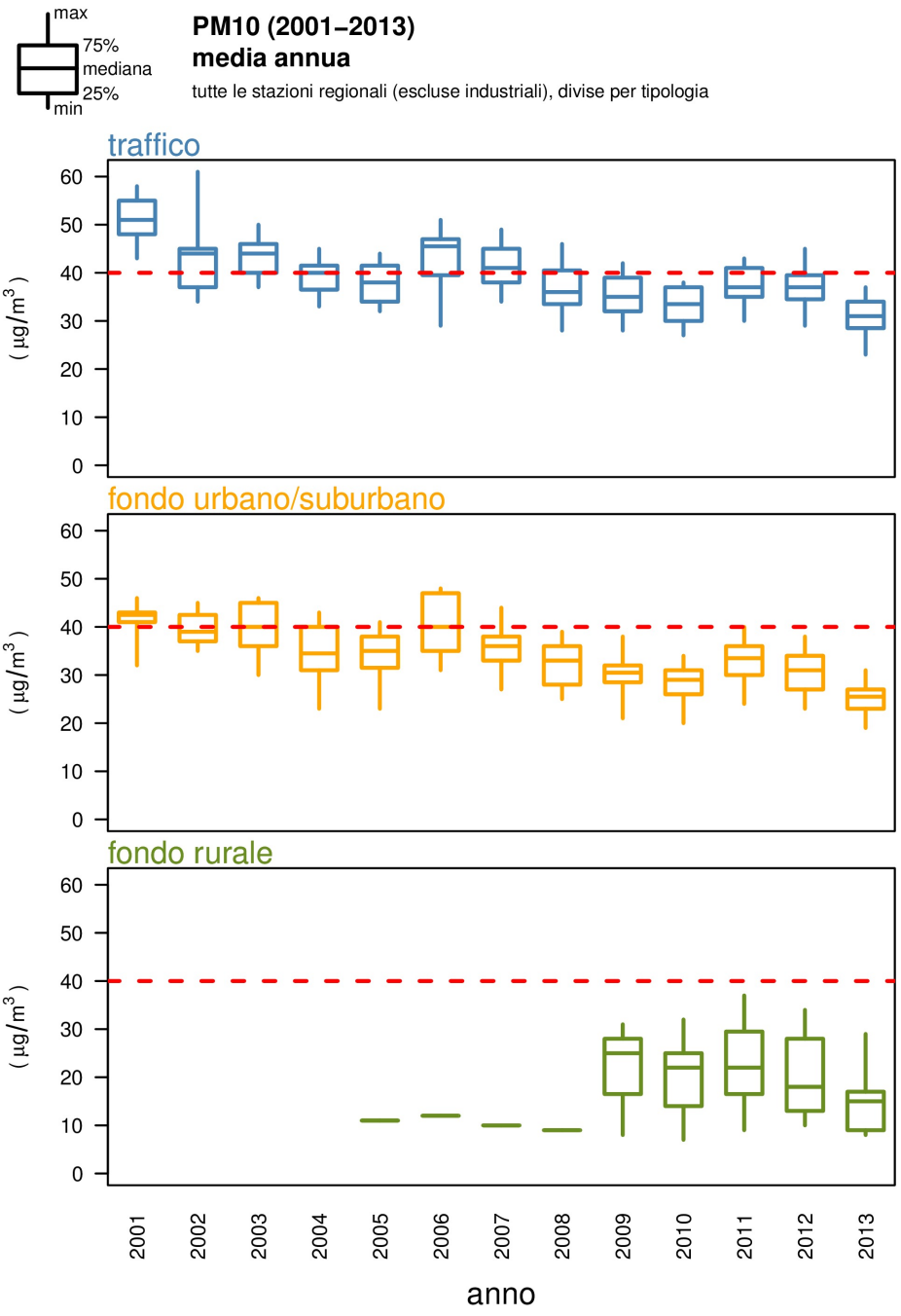


Figura 15: andamento della media annuale di PM10 dal 2001 al 2013. La linea rossa indica il valore limite annuale (40 µg/m^3). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo.

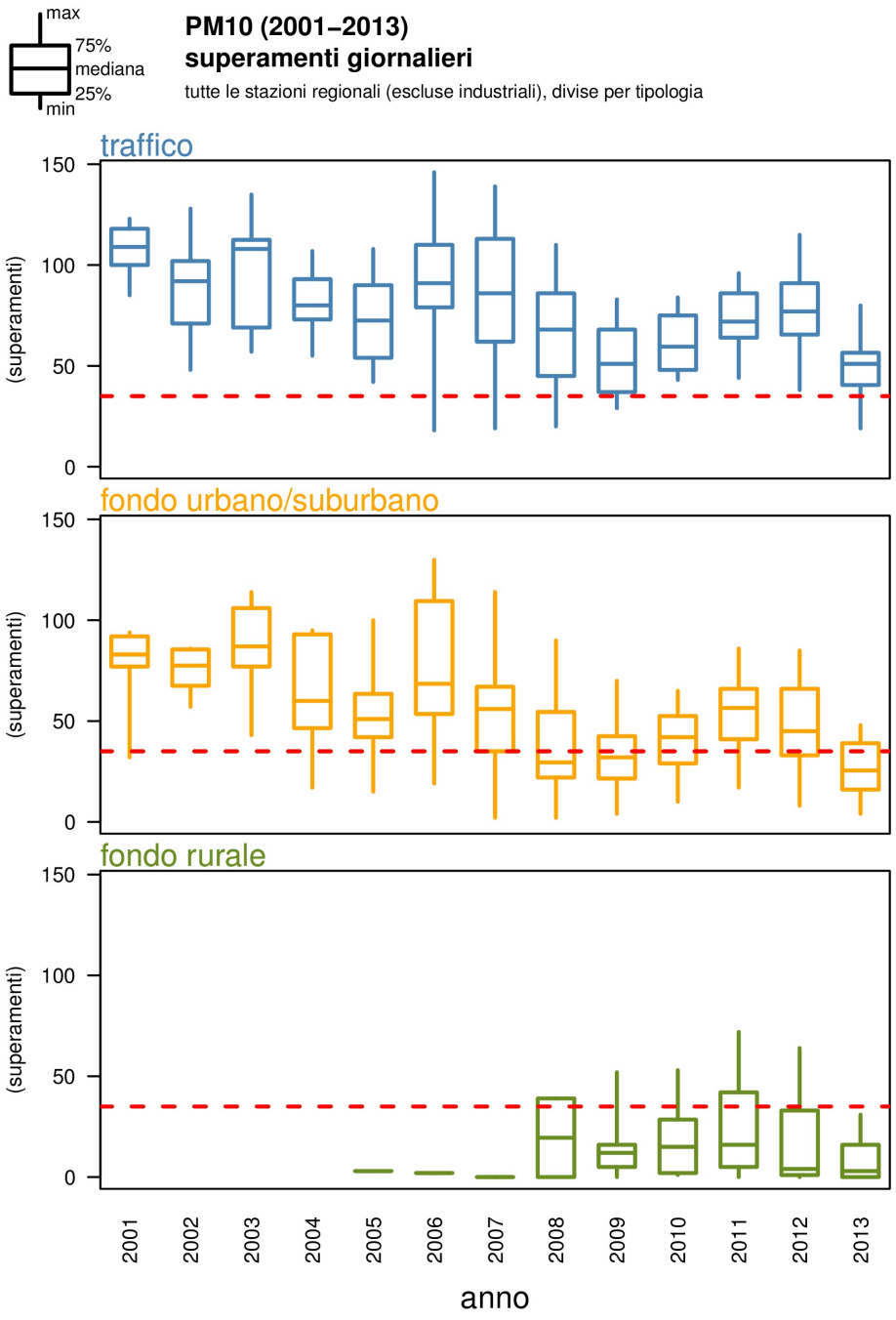


Figura 16: andamento del n. di superamenti del valore limite giornaliero per PM10

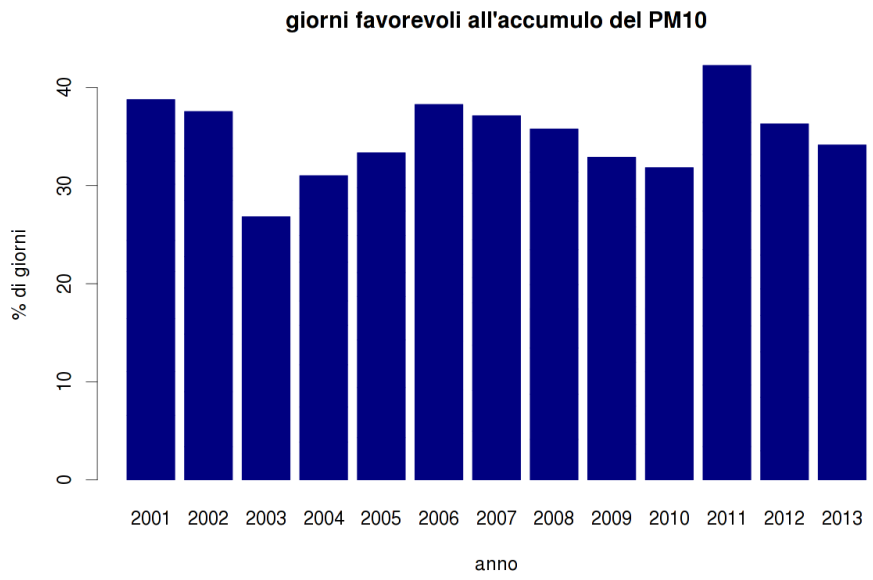


Figura 17: andamento giorni critici PM10

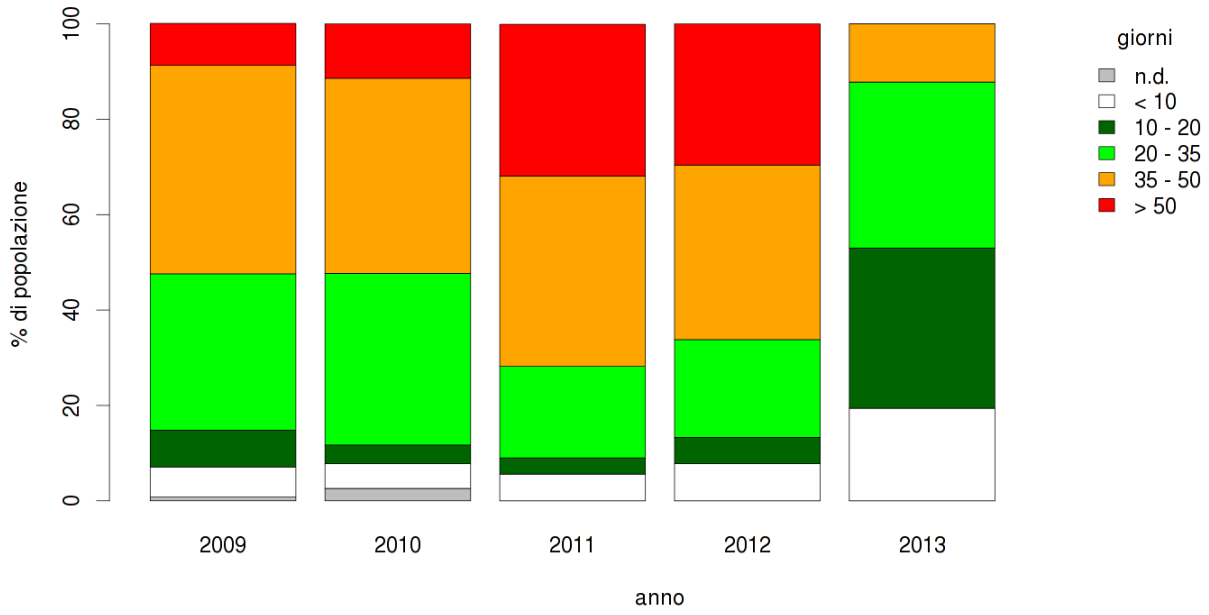


Figura 18: andamento della popolazione esposta a PM10 superiore al valore limite giornaliero

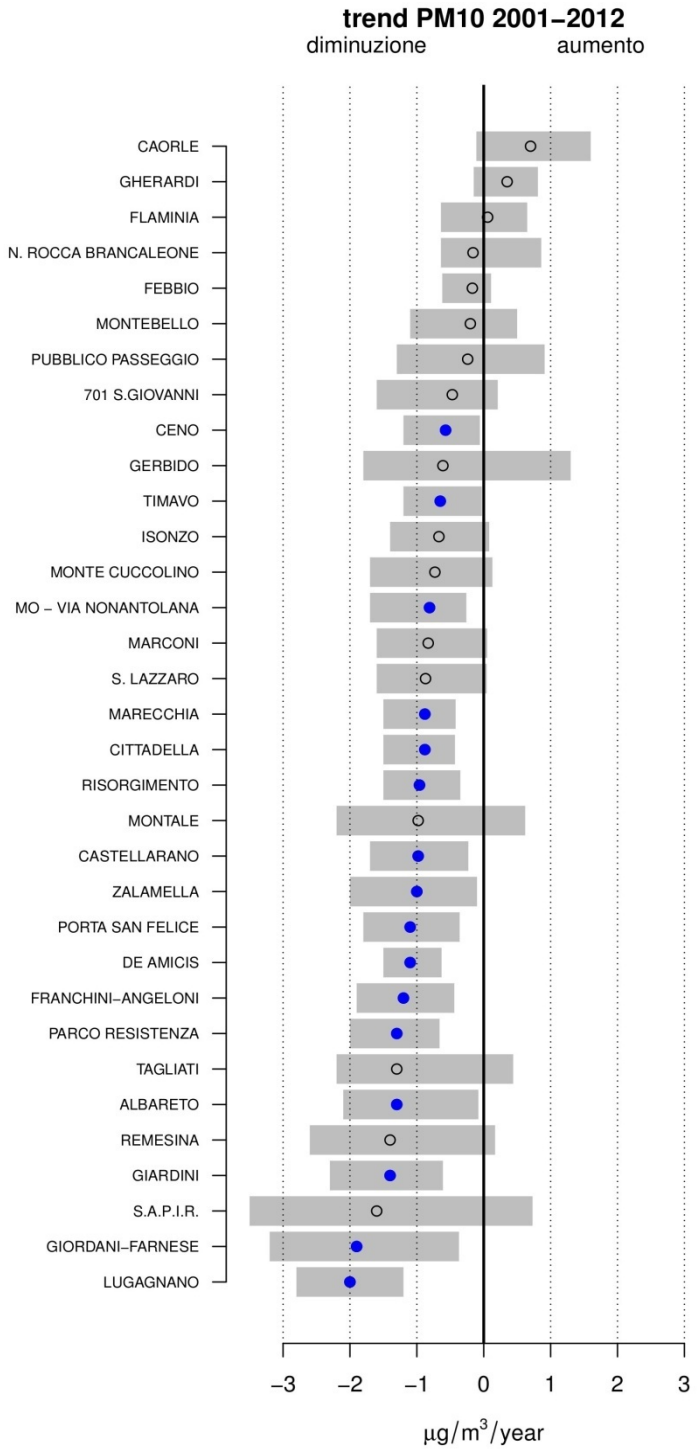


Figura 19: Stima del trend delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

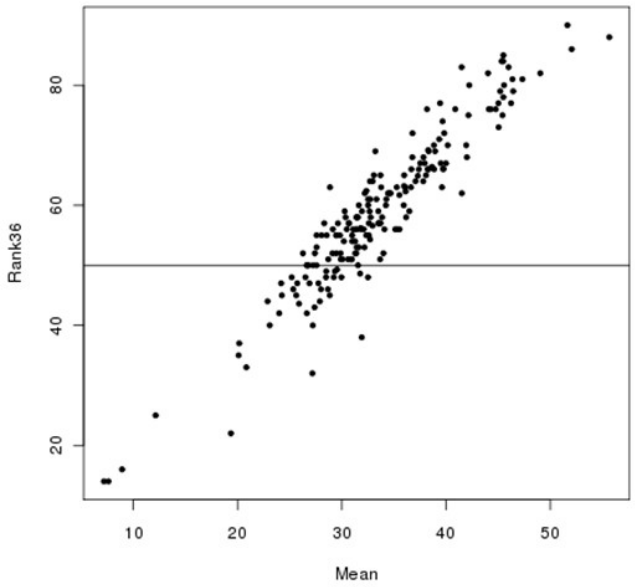


Figura 20: scatter plot tra concentrazioni medie annuali e indicatore Rank36: stazioni dell'Emilia Romagna

La distribuzione territoriale del PM10 ed i fattori meteorologici

L'analisi della distribuzione territoriale analizzata 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 nella parte alta di Figura 21. Anche in questo caso si osserva una marcata variabilità interannuale, in dipendenza delle condizioni meteorologiche, come si evidenzia dal confronto con la distribuzione territoriale del PM10 nel 2013 (parte bassa della figura).

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 16). 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, 2010 e 2013.

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.

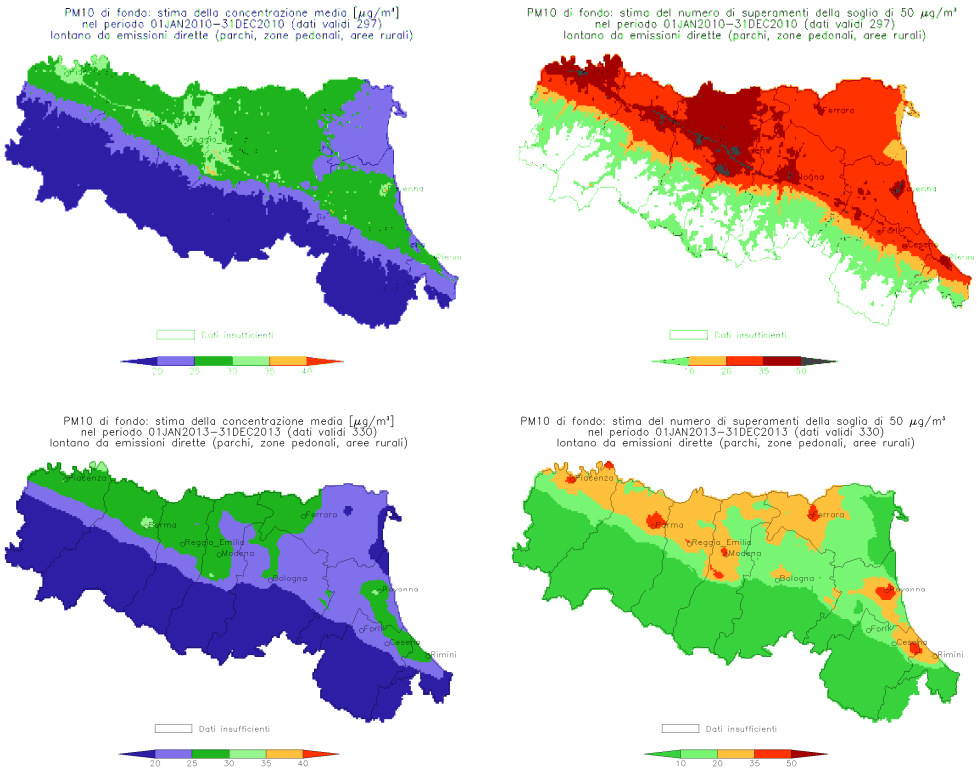


Figura 21: mappa della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di PM10 (a sinistra) e del n di superamenti del valore limite giornaliero (a destra) nell'anno 2010 (in alto) e nell'anno 2013 (in basso).

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 DLgs 155/2010. 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 22, 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.Lvo 155/2010. Nel grafico del PM10 è riportata come riferimento, oltre alla soglia di legge per la media annua, anche il VLE di 28 µg/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.

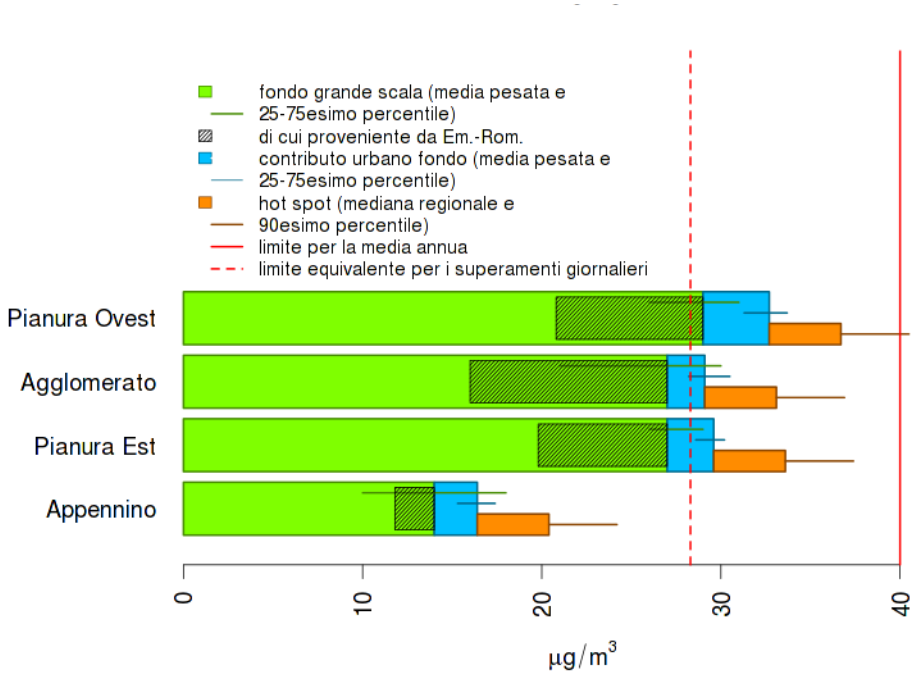


Figura 22: PM10, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento.

Ripartizione per fonti dell'inquinamento da PM10

La concentrazione di polveri PM10 nelle zone e agglomerati della regione può essere suddiviso 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 3** 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 dalle 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 (NH3,NOx,SO2, COV) emessi dalle attività umane.

Frazione di PM10	**Area geografica (zonizzazione Dl.vo 155)**			
	Appennino	Pianura Est	Agglomerato	Pianura Ovest
naturale	23 %	18%	16 %	14%
antropogenico totale	**77 %**	**82 %**	**84 %**	**86 %**
di cui				
antropogenico primario	14%	21%	25%	22%
antropogenico secondario	63%	61%	59%	64%

Tabella 3: componenti naturale e antropica del PM10

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 (NO2), 9 zone e agglomerati della regione presentavano situazioni di superamento del valore limite annuale, per un totale di 13 stazioni superiori al limite. Rispettivamente 3 stazioni collocate negli agglomerati di Modena e Bologna ed una stazione per ciascuno dei rimanenti agglomerati (Figura 24). Il n. di stazioni superiori al limite si è ridotto nei successivi anni 2011, 2012 e 2013, anni nei quali tutte le stazioni di fondo sono risultate inferiori al limite (Figura 23). Nel 2013 sono risultate superiori al limite 6 stazioni (Figura 25) da traffico.

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 NO2 è di -0.9 µg/m3 all'anno. (Figura 26).

L'analisi dell'origine geografica dell'inquinamento da NO2 (Figura 27), 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 limitati 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 (NOx) sono una delle sorgenti di inquinanti atmosferici più ubiquitarie (Figura 46) 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 NOX alla sostanziale riduzione delle emissioni diffuse, necessaria, come è stato messo in evidenza in precedenza, per la limitazione dell'inquinamento da PM10.

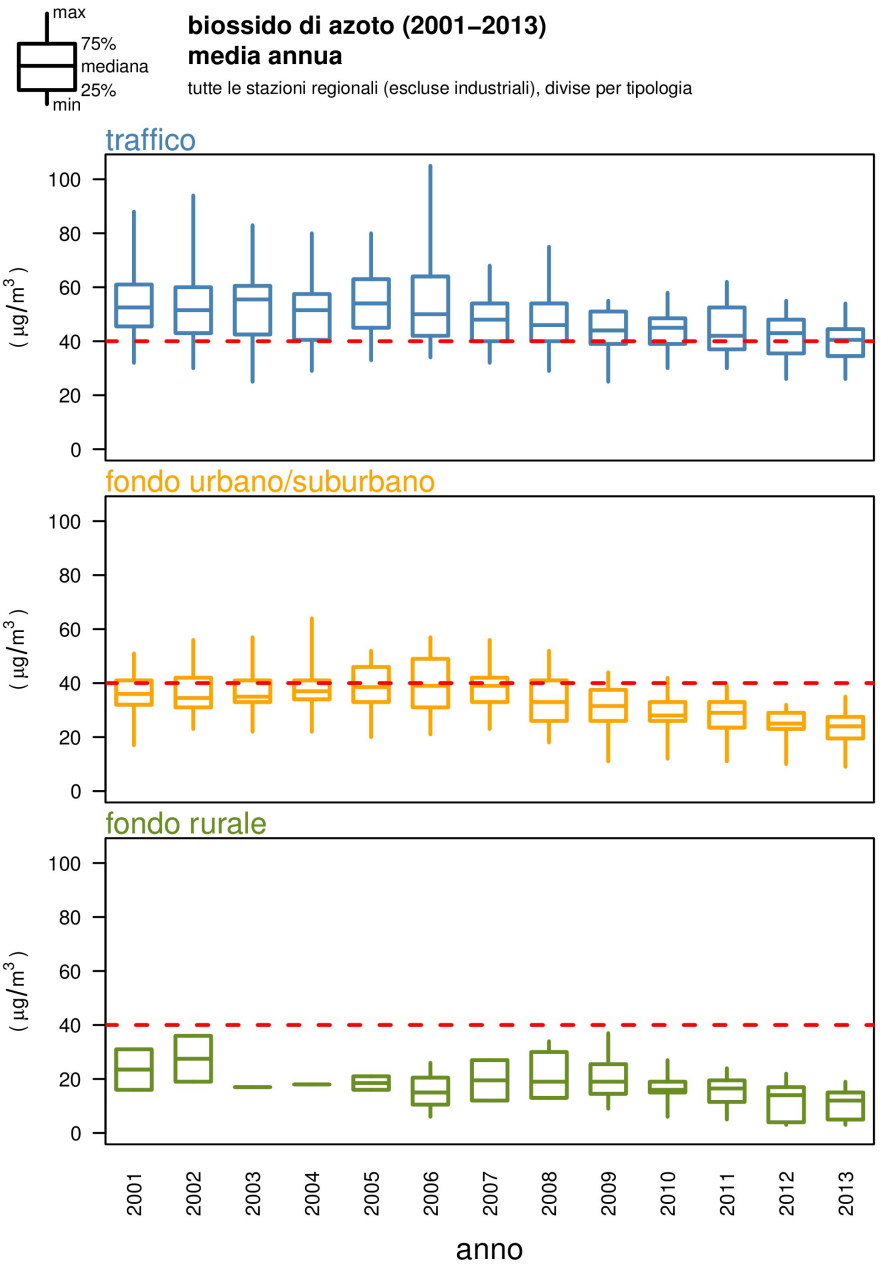


Figura 23: andamento della media annuale di NO2 dal 2001 al 2012. La linea rossa indica il valore limite (40 µg/m^3)

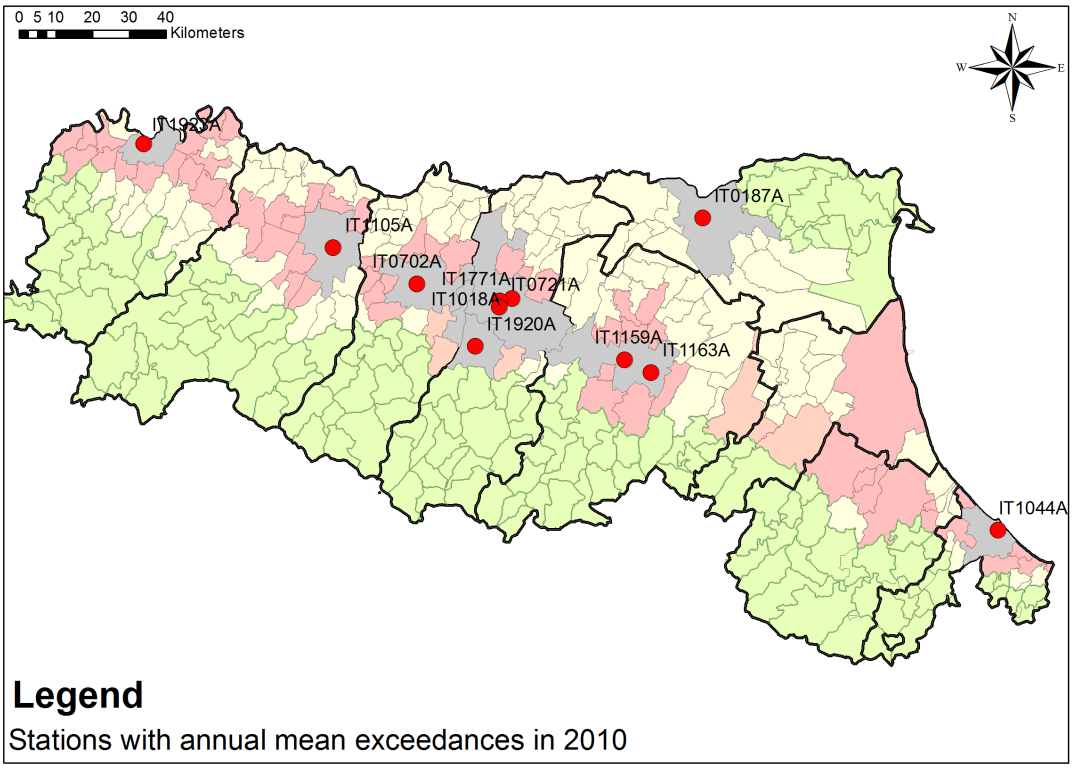


Figura 24: stazioni con superamenti del valore limite annuale nel 2010 (fonte: Regione Emilia-Romagna, richiesta di proroga del termine per il conseguimento e deroga per il biossido di azoto, PG 2011 0182321 del 27/07/2011).

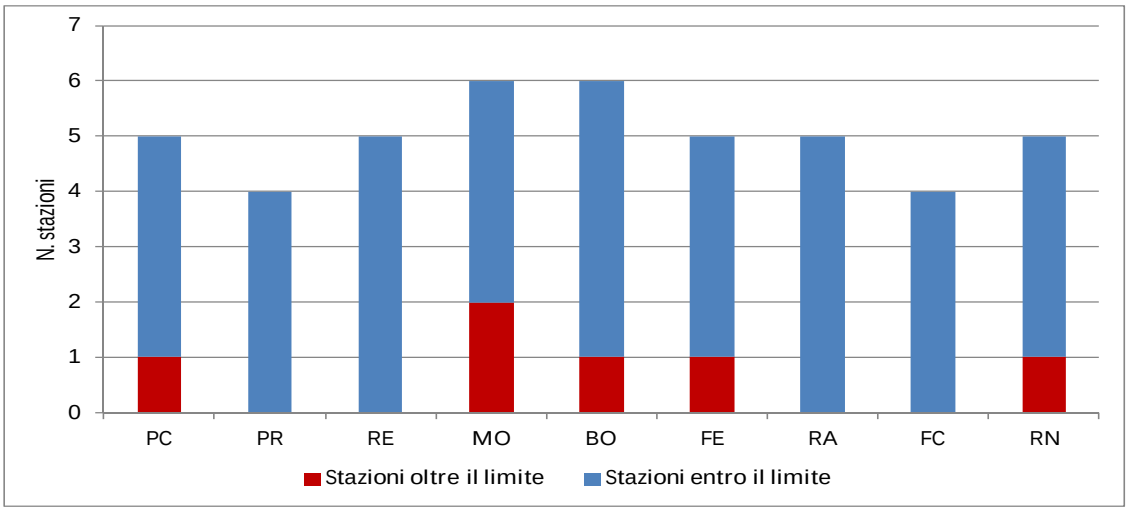


Figura 25: numero di stazioni che hanno superato il limite annuale di NO2 nel 2013 a livello provinciale

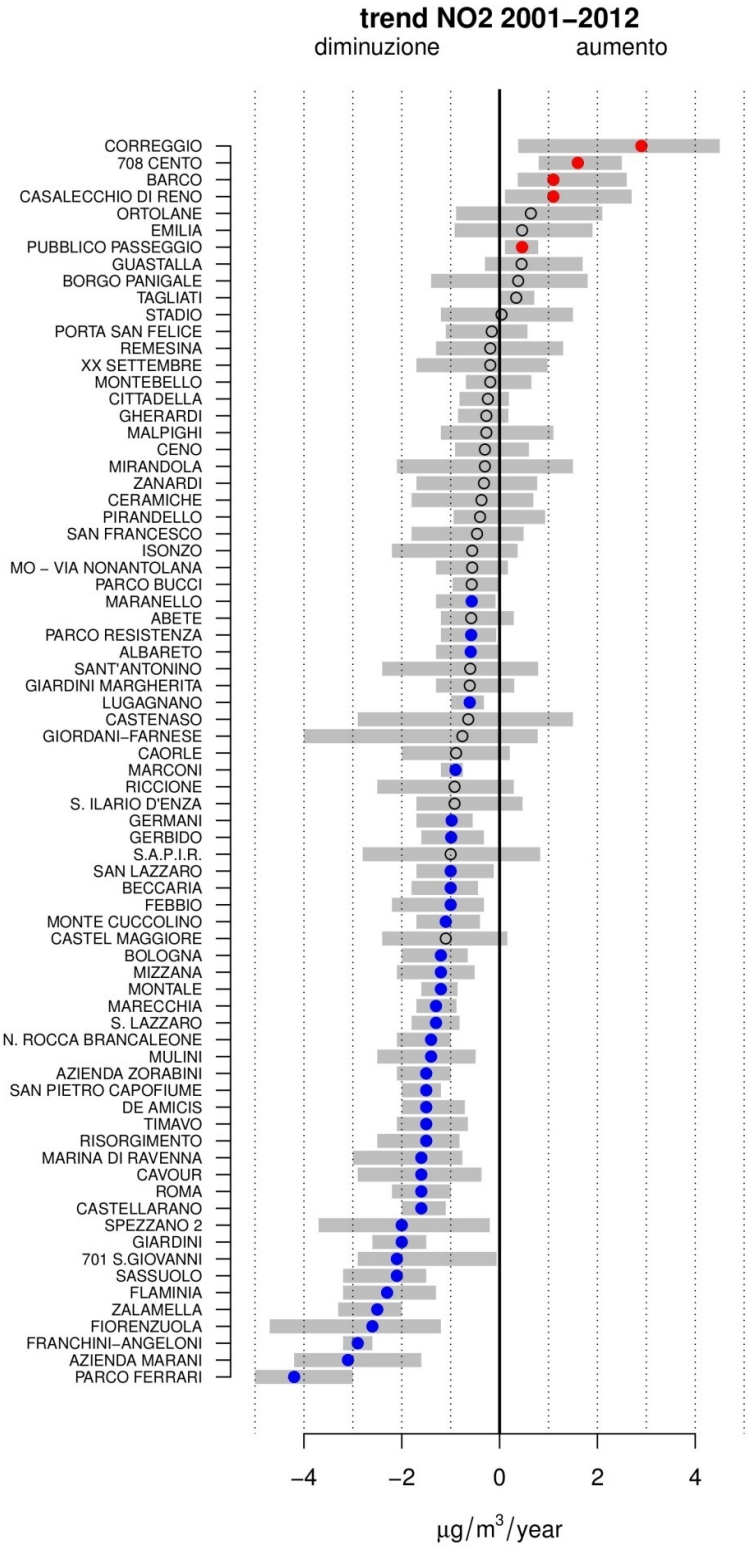


Figura 26: Stima del trend delle concentrazioni orarie di NO2, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

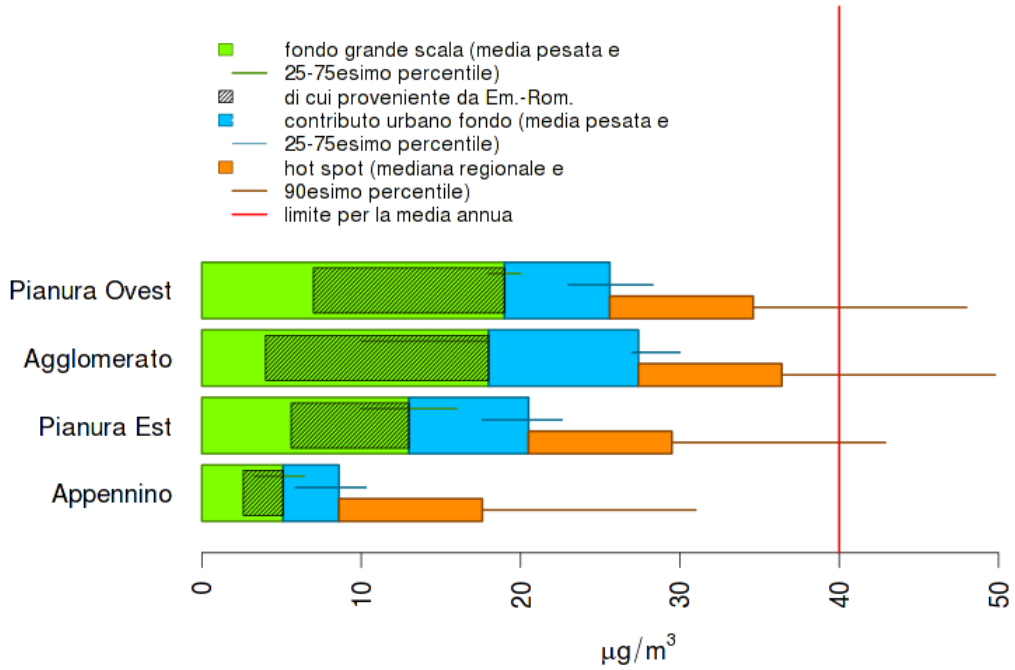


Figura 27: origine geografica dell'inquinamento da NOx

Il superamento dei valori limite per l'ozono

L'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono troposferico viene sistematicamente superato ogni anno su gran parte del territorio regionale (Figura 28). 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 32.

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 29). Il 2013 ha fatto registrare valori che si collocano in una situazione media. Si osservi che nella maggioranza dei casi le situazioni critiche sono estese a gran parte del territorio regionale (Figura 32) e determinano una situazione nella quale la quasi totalità della popolazione risiede in aree superiori al valore obiettivo per la protezione della salute umana (valore da non superare per più di 25 volte - Figura 30).

L'analisi del trend rilevato dalle stazioni di monitoraggio (Figura 31) 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/m3 all'anno.

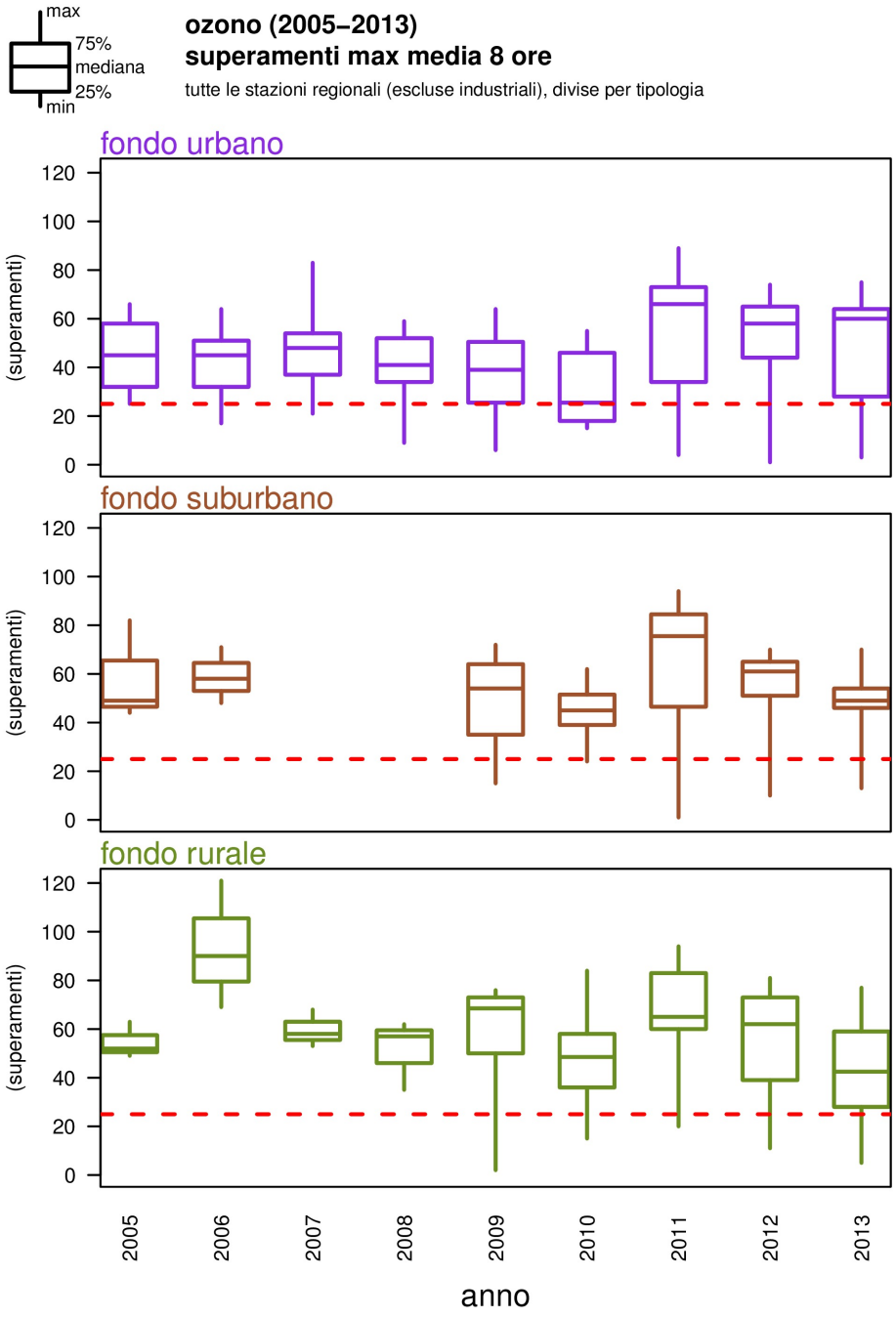


Figura 28: andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero della media mobile su 8 ore 120 µg/m^3 da non superare più di 25 volte come media sui tre anni (linea rossa)

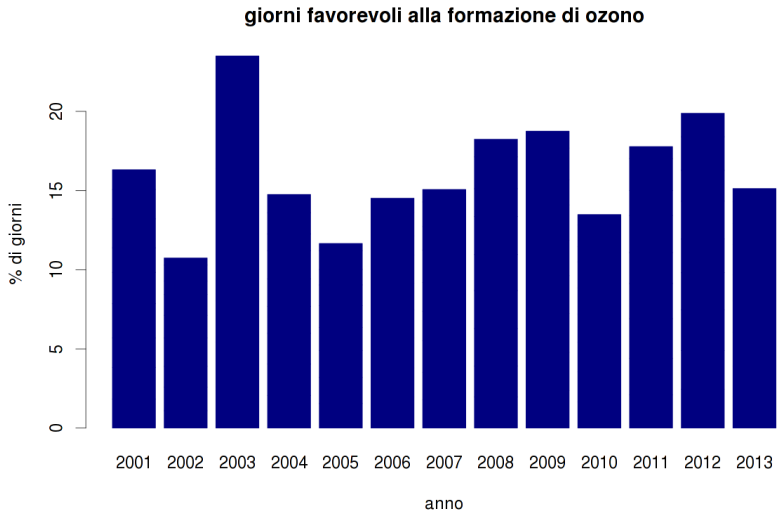


Figura 29: andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono

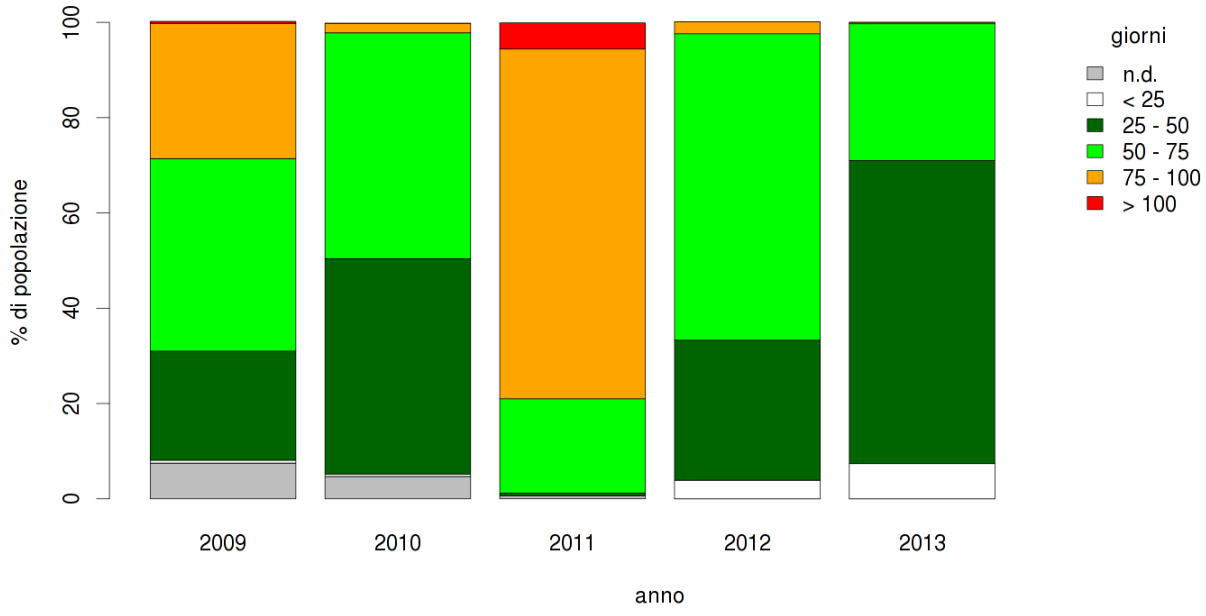


Figura 30: andamento della popolazione esposta a ozono superiore al valore obiettivo per la protezione della salute umana

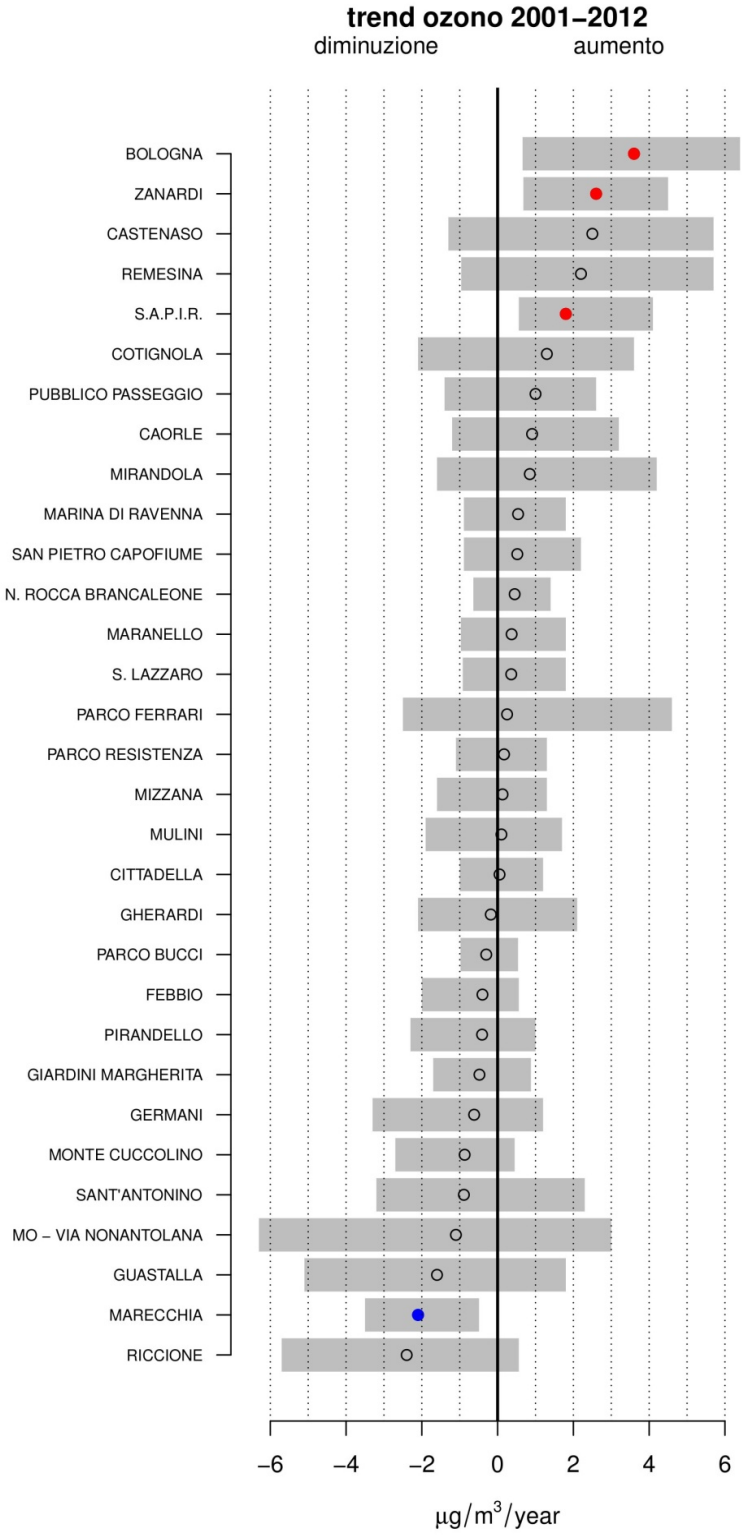


Figura 31: Stima del trend dei massimi giornalieri della media mobile su otto ore dell'ozono, calcolato sui dati disponibili nel periodo 2001-2012. I cerchietti indicano il trend, il colore esprime la significatività statistica (blu=diminuzione significativa; rosso=aumento significativo; grigio=trend non significativo). La barra grigia identifica l'intervallo di confidenza del 95%.

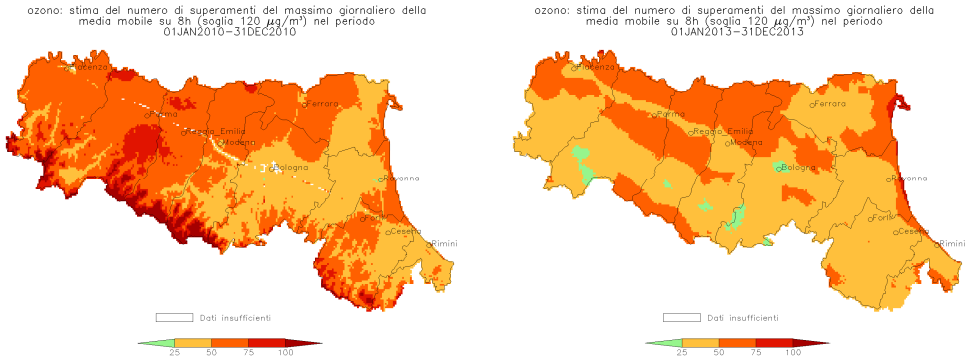


Figura 32: mappa della distribuzione geografica del n. di superamenti del livello di protezione della salute per l'ozono nel 2010 (a sinistra e nel 2013 (a destra).

Andamento del PM2.5

Misure sistematiche di questo inquinante sono disponibili a partire dal 2008, mentre dal 2005 al 2007 sono disponibili dati da una sola stazione. I dati di monitoraggio (Figura 33) 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 36).

Il VL annuale che entrerà in vigore nel 2015 è stato superato in un numero limitato di stazioni nel 2011 (2 stazioni) e 2012 (3 stazioni) che, come si è visto, sono stati anni meteorologicamente favorevoli all'accumulo di polveri. Nel 2013 le concentrazioni rilevate nelle stazioni di monitoraggio sono risultate sempre inferiori al VL. In conseguenza della natura prevalentemente secondaria di questo inquinante la concentrazione risulta pressoché uniforme sul territorio, con valori simili nelle stazioni da traffico e di fondo (Figura 34). Di conseguenza una porzione limitata della popolazione risulta esposta a valori superiori al limite (Figura 35).

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.

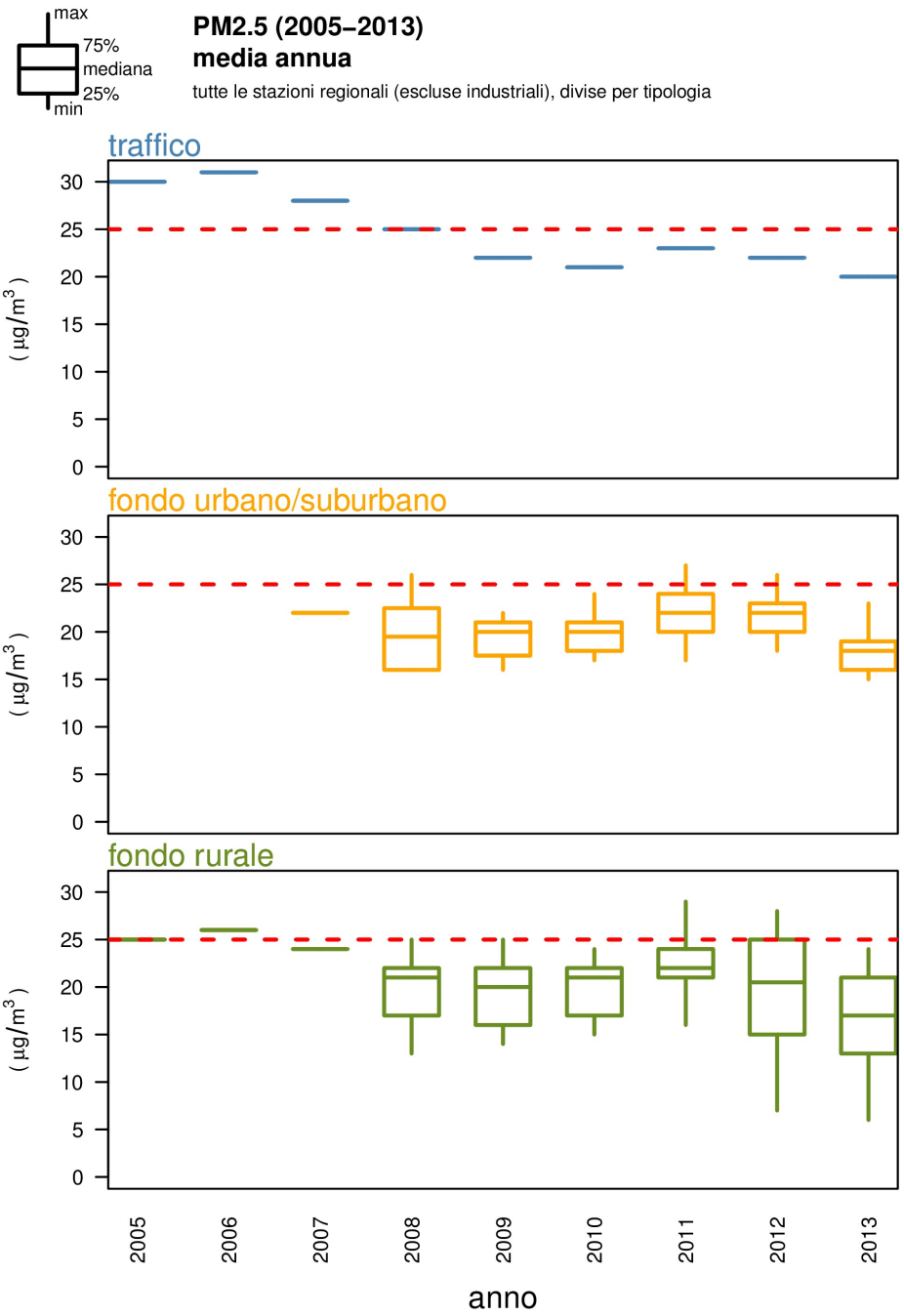


Figura 33: andamento della media annuale di PM2.5 dal 2005 al 2013. La linea rossa indica il valore limite (25 µg/m^3) in vigore dal 1° gennaio 2015)

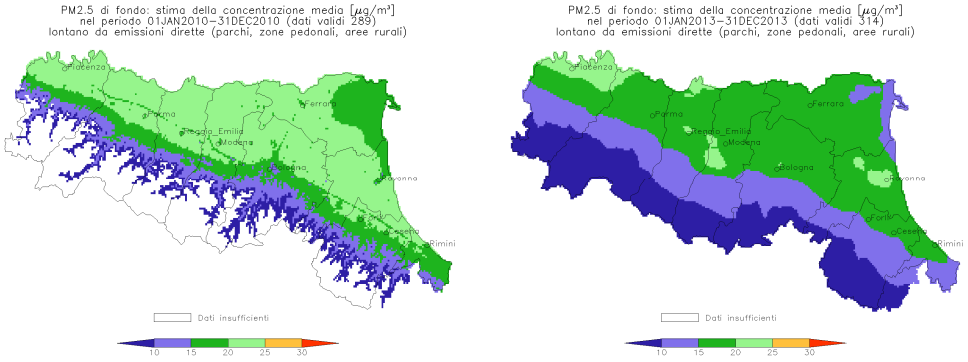


Figura 34: mappa della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di PM2.5 nell'anno 2010 (a sinistra) e nell'anno 2013 (a destra).

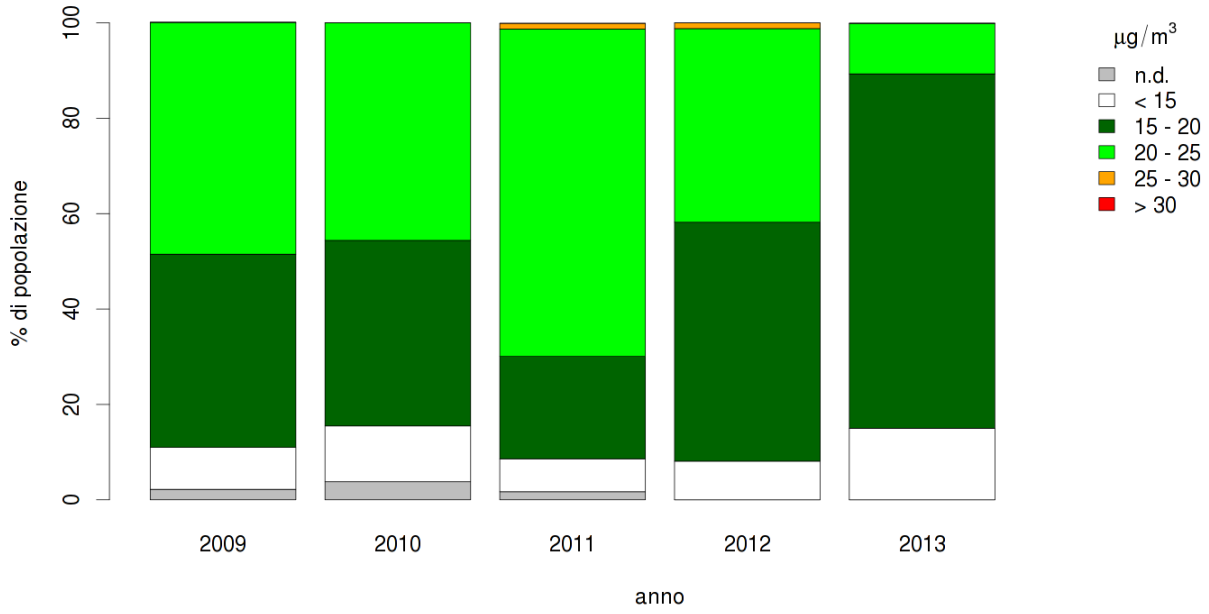


Figura 35: andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale

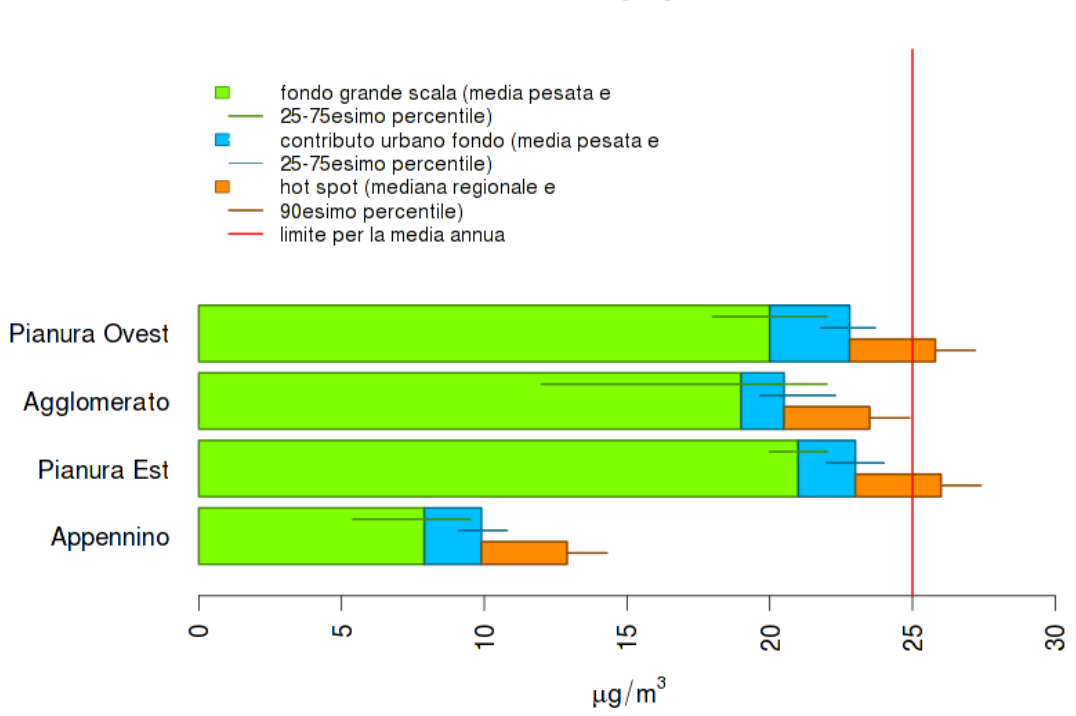


Figura 36: origine geografica dell'inquinamento da PM2.5

Inquinanti che rispettano i valori limite

I risultati dei monitoraggi hanno evidenziato situazioni in progressivo miglioramento per gli inquinanti Monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO2), Benzene e IPA- Benzo(A) pirene e metalli, per i quali non si registrano situazioni critiche nell'anno di riferimento 2010. Nei paragrafi successivi viene riepilogata la situazione per ciascuno di questi gruppi di inquinanti.

Monossido di carbonio (CO) e biossido di zolfo (SO2)

La concentrazione in aria di monossido di carbonio e biossido di zolfo si è progressivamente ridotta nel tempo, assumendo negli ultimi 5 anni (2007 – 2013) valori di gran lunga inferiori ai valori limite e, per quanto riguarda S02, prossimi al limite di rilevabilità strumentale. Per questa ragione il numero di stazioni che misurano SO2 è stato progressivamente ridotto nell'ambito della rete regionale, fino ad una sola stazione attiva dal 2012 localizzata a Ravenna, dove vi sono le maggiori emissioni di questo inquinante (Figura 37).

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.

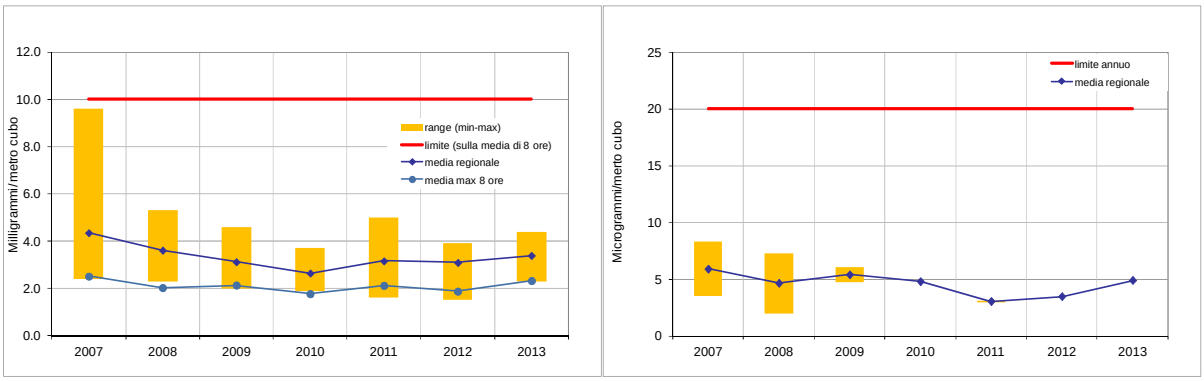


Figura 37: andamento, media mobile 8 ore CO a sinistra e andamento media annua SO2 a destra

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 38)

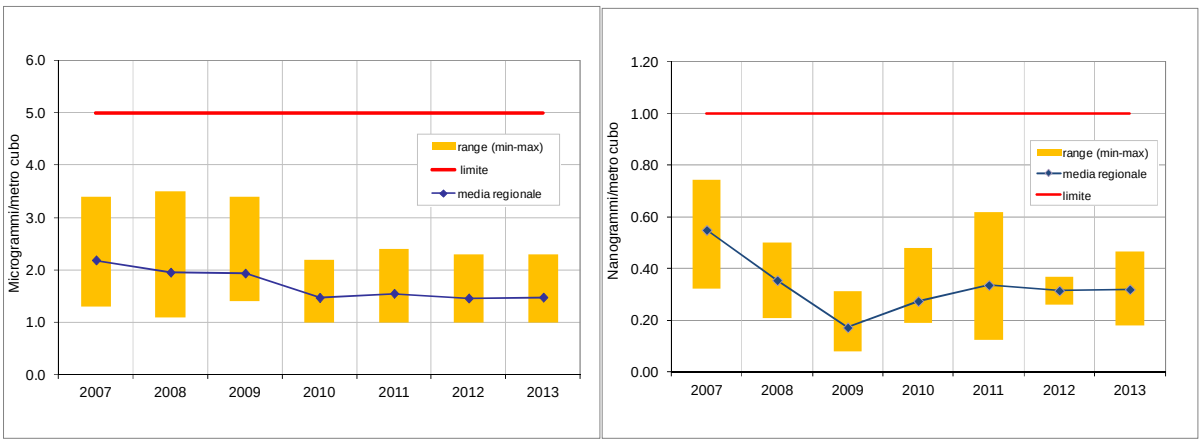


Figura 38: andamento medie annuali Benzene a sinistra e Benzo (a) pirene, media annuale a destra

Metalli

La Figura 39 e la Figura 40 mostrano l'andamento dal 2007 al 2013 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.

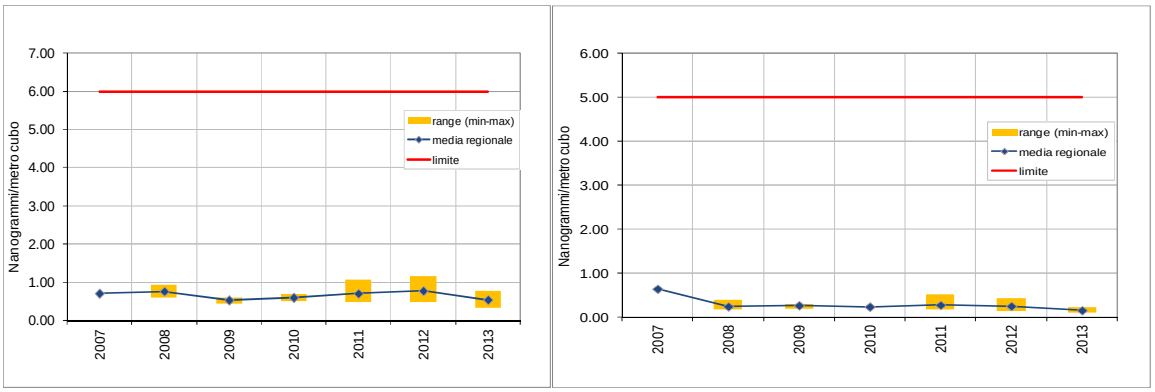


Figura 39: andamento Arsenico, media annuale a sinistra e Cadmio, media annuale a destra

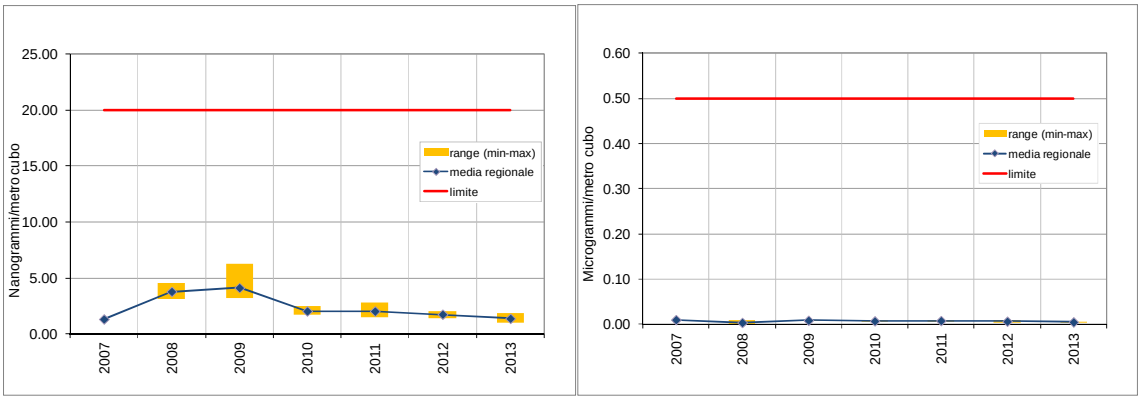


Figura 40: andamento Nichel, media annuale a sinistra, Piombo, media annuale a destra

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 PM2,5 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 PM1.

Sui campioni giornalieri di PM2,5 vengono effettuate determinazioni chimiche di carbonio organico ed elementare, ioni e metalli.

L'andamento relativo delle concentrazioni mensili di PM1 e PM2,5 (Figura 41 e Figura 42) 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 PM2,5 nei mesi estivi sembra essere maggiormente associata ad un minor apporto della componente più grossolana (PM(2,5-1)), mentre più lieve sembra la diminuzione del PM1.

I parametri chimici analizzati nell'ambito del progetto rappresentano nell'insieme una porzione importante della massa del particolato PM2,5 e i risultati delle determinazioni analitiche permettono di realizzare un bilancio di massa di tale frazione dimensionale (Figura 43).

Considerando i soli dati grezzi, i componenti analizzati spiegano infatti più del 60% della massa di PM2,5, in tutti e 4 i siti. La somma dei soli tre ioni nitrato, solfato e ammonio rappresenta un contributo molto importante al PM2,5, 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 PM2,5, 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 µg/m3 e un picco misurato a Parma di 249 µg/m3.

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'innesco 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 44 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.

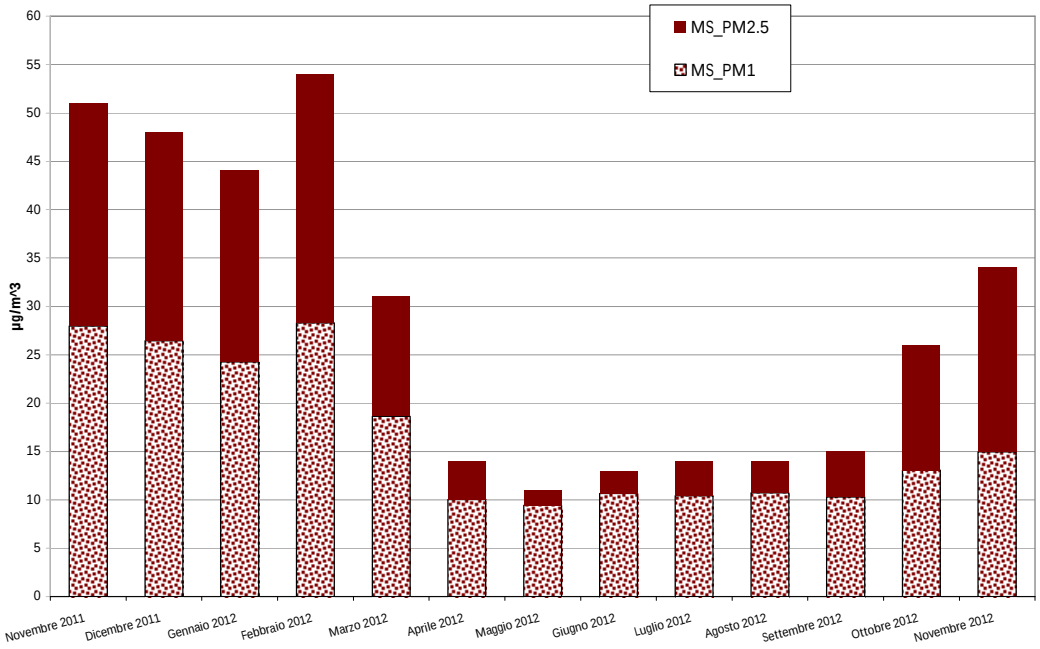


Figura 41 Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito Urbano di Bologna (MS)

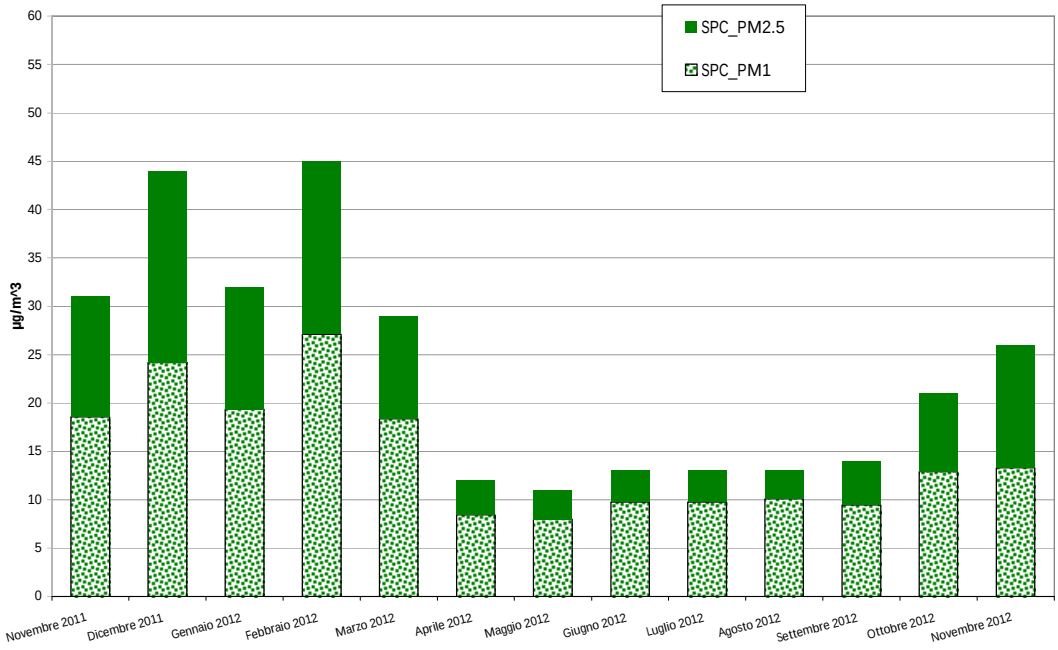


Figura 42: Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito rurale (SPC)

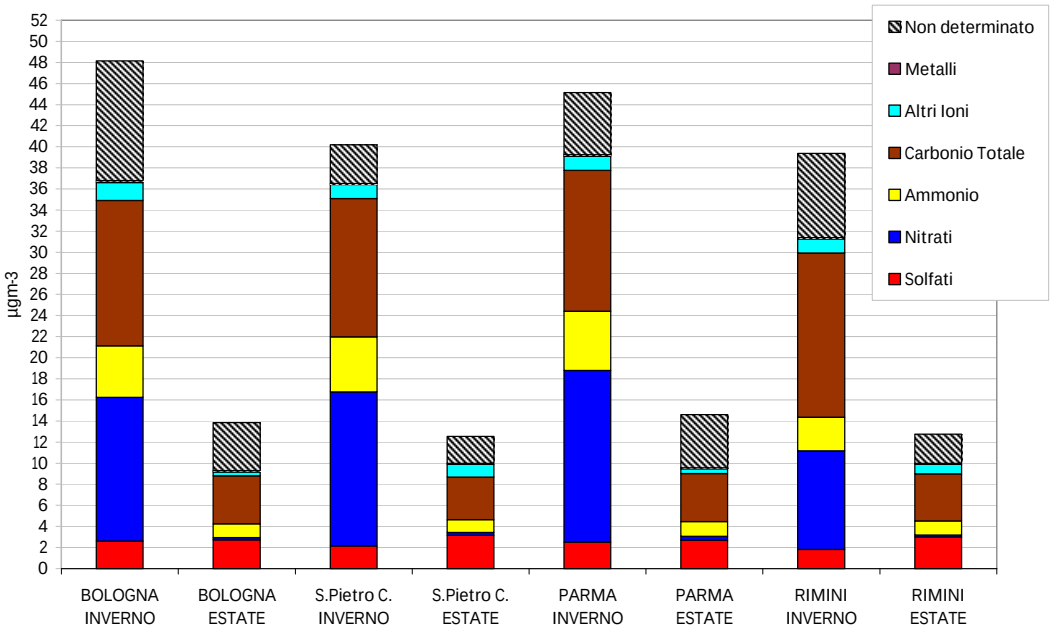


Figura 43: Chiusura di massa dei diversi parametri analizzati su PM2.5, nei 4 siti per le due stagioni.

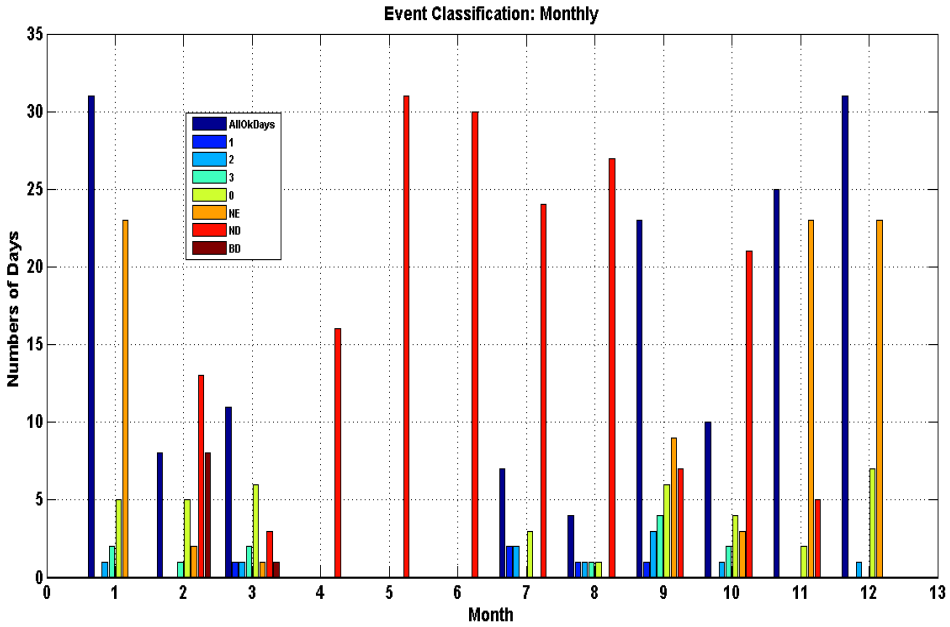


Figura 44: Numeri di giorni con presenza di eventi di nucleazione, classificati per tipologia, nel sito di SPC

Gli scenari emissivi

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.

Lo scenario di riferimento (scenario base 2010)

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 46) 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 riferimento 2010 attraverso le stime dei consumi energetici forniti dalla citata strategia energetica nazionale SEN2013 (fonte GAINS Italy). Successivamente alla realizzazione del presente studio, ISPRA ha reso disponibile la disaggregazione provinciale dell'inventario nazionale 2010 (versione 4.0), attualmente scaricabile dal sito web di ISPRA (http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria). L'inventario ISPRA (Figura 45) ha emissioni più alte per i COV ed il PM10 mentre per gli altri inquinanti le differenze tra i due inventari sono inferiori al 10%, differenze in generale più che accettabili tenendo conto dell'incertezza propria degli inventari emissivi. 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 [21]. Come si è visto, l'analisi della variabilità interannuale dei giorni favorevoli alla formazione di PM10 (Figura 17) 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.

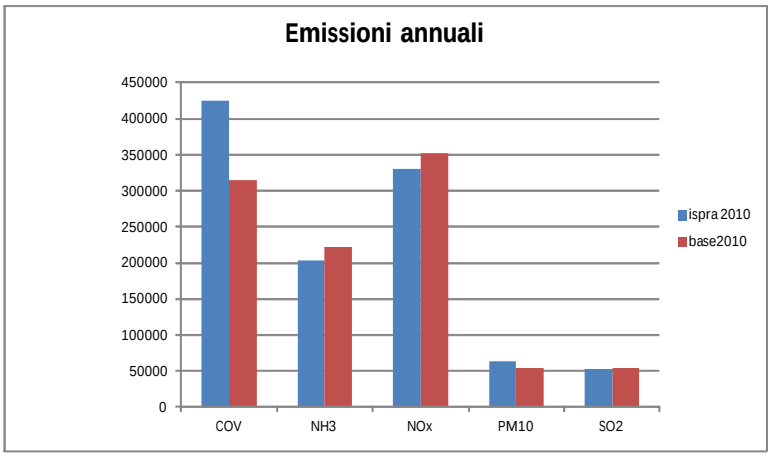


Figura 45. Emissioni annuali delle regioni del bacino padano ad esclusione della regione Emilia-Romagna (ton/anno)

[21] http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/descrizione_lama.pdf

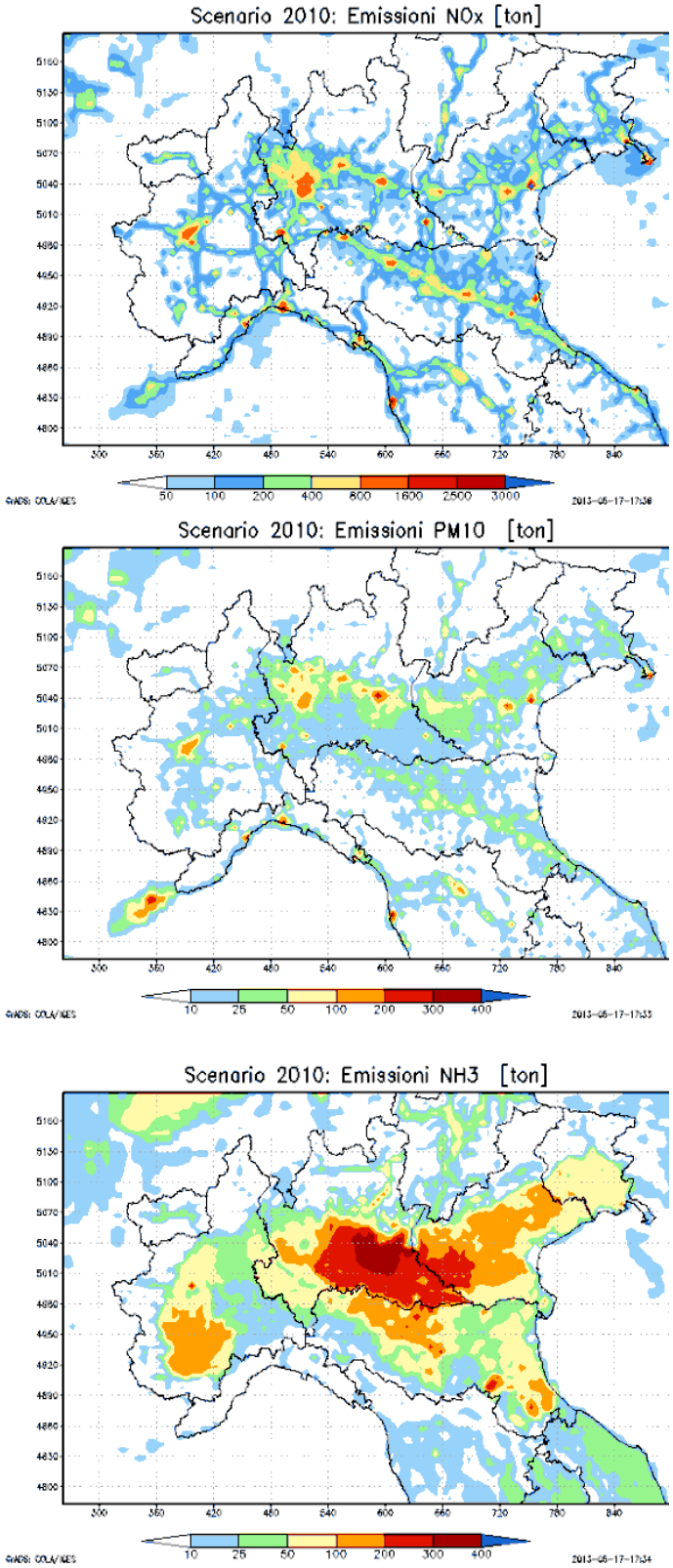


Figura 46: dominio di applicazione del sistema modellistico NINFA-E e distribuzione geografica delle emissioni per lo scenario emissivo BPA 2010. Ossidi di azoto (NOx) in alto , ammoniaca (NH3) al centro, PM10 in basso.

Le emissioni regionali di sostanze inquinanti e climalteranti

Le emissioni di sostanze inquinanti della regione Emilia-Romagna per gli 11 macrosettori Corinair sono riportate nella Tabella 4: ripartizioni delle emissioni di sostanze inquinanti dell'Emilia-Romagna (t/anno) per macrosettore Corinair ed inquinante

e nella successiva Figura 47, mentre la Tabella 5 e la Figura 48 riportano i dati relativi alle emissioni ed assorbimenti regionali di sostanze climalteranti

macrosettore	COV		NOx		SO2		PM10		NH3		CO	
	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%	tonn	%
M 1: Combustione - Energia	1,534	2	9,482	9	430	2	86	1	0	0	6,003	6
M 2: Combustione - non industriale	28,309	29	8,729	8	1,194	7	5,395	40	154	0	83,256	84
M 3: Combustione - industria	1,770	2	12,207	11	9,773	56	993	7	0	0	4,501	5
M 4: Processi produttivi	7,645	8	3,077	3	4,540	26	617	5	1,106	2	8,333	8
M 5: Estraz. Distribuz. combustibili fossili	5,187	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M 6: Uso solventi	39,883	40	15	0	2	0	4	0	1	0	0	0
M 7: Trasporti stradali	12,498	13	60,675	57	371	2	4,593	34	832	2	68,266	69
M 8: Altre sorgenti mobili	2,055	2	11,300	11	1,005	6	1,524	11	2	0	6,231	6
M 9: Trattamento e smaltimento rifiuti	62	0	622	1	183	1	6	0	128	0	255	0
M 10: Agricoltura	59	0	637	1	0	0	418	3	49,299	96	0	0
M 11: Altre sorgenti di emissione ed assorbimenti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale	99,002	100	106,745	100	17,499	100	13,637	100	51,522	100	176,846	179

Tabella 4: ripartizioni delle emissioni di sostanze inquinanti dell'Emilia-Romagna (t/anno) per macrosettore Corinair ed inquinante

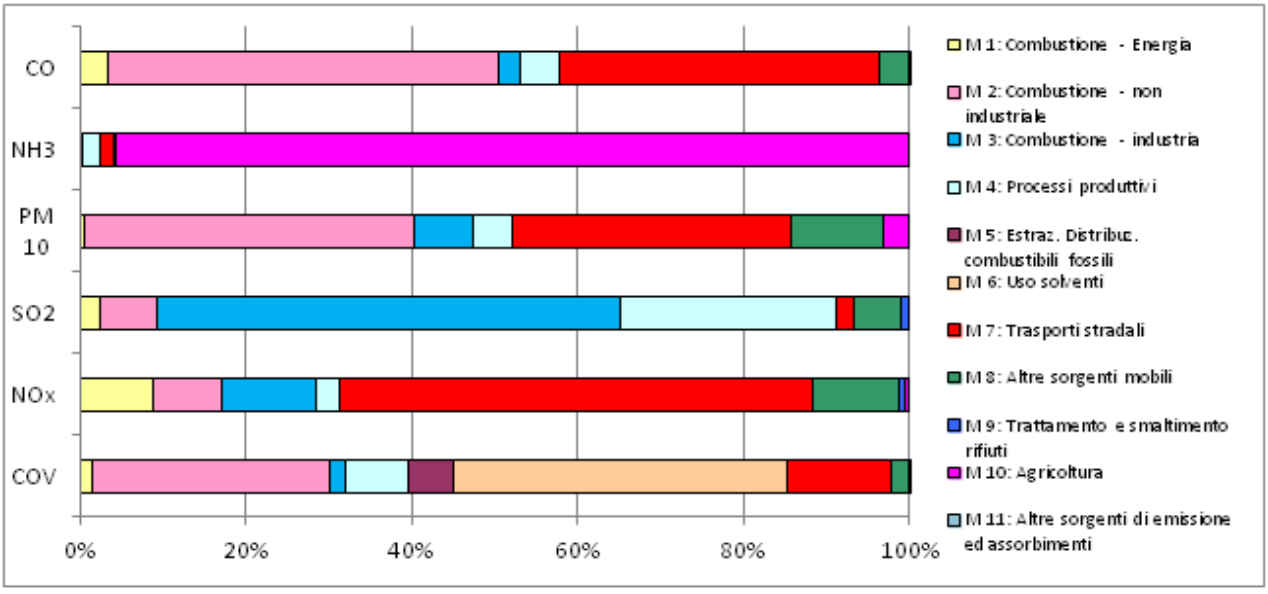


Figura 47 ripartizione delle emissioni di sostanze inquinanti per macrosettore

macrosettore	CH4		CO2		N2O		CO2_eq	
	tonn	%	K tonn	%	tonn	%	K tonn	%
M 1: Combustione - Energia	4,135	2	9,956	25	79	1	10,067	20
M 2: Combustione - non industriale	5,479	3	10,093	26	956	11	10,504	21
M 3: Combustione - industria	358	0	6,468	17	391	4	6,597	13
M 4: Processi produttivi	868	1	3,920	10	30	0	3,948	8
M 5: Estraz. Distribuz. combustibili fossili	40,319	24	0	0		0	847	2
M 6: Uso solventi	0	0	0	0		0		0
M 7: Trasporti stradali	1,138	1	12,697	32	356	4	12,831	25
M 8: Altre sorgenti mobili	48	0	934	2	306	3	1,030	2
M 9: Trattamento e smaltimento rifiuti	53,351	31	550	1	156	2	1,719	3
M 10: Agricoltura	63,680	38	0	0	6,785	75	3,440	7
M 11: Altre sorgenti di emissione ed assorbimenti	0	0	-5,455	-14	0	0	0	0
Totale	169,377	100	39,163	100	9,059	100	50,983	100

Tabella 5: ripartizioni delle emissioni e assorbimenti di sostanze climalteranti dell'Emilia-Romagna per macrosettore Corinair ed inquinante.

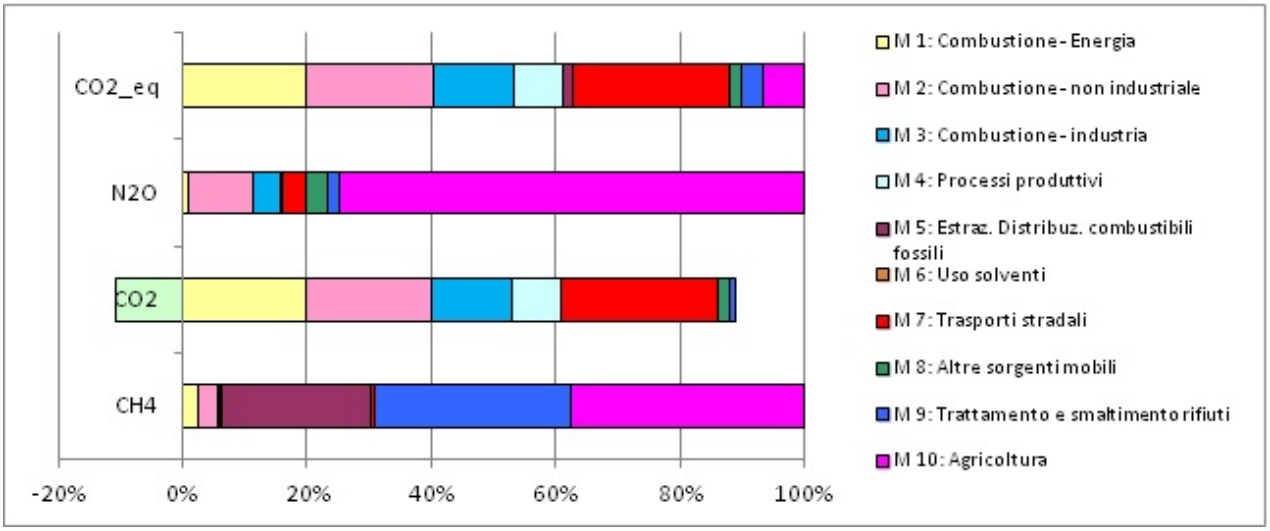


Figura 48 ripartizione delle emissioni ed assorbimenti di sostanze climalteranti per macrosettore

Dall'analisi delle emissioni si stima che il traffico su strada e la combustione non industriale (principalmente riscaldamento degli edifici commerciali e residenziali) rappresentano 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. 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.

I trasporti stradali rappresentano anche la principale fonte di emissioni di sostanze climalteranti essendo responsabili del 25 % delle emissioni di CO2 equivalente. I processi di combustione per la produzione di energia ed il riscaldamento degli edifici risultano complessivamente responsabili di circa il 40 % della produzione di CO2 equivalente. Si stima che la vegetazione forestale sia in grado di assorbire circa il 14% della CO2 emessa.

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 49. 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, CH4, N2O ed NH3 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, CH4 principalmente dal trattamento dei rifiuti solidi urbani in discarica e da attività legate alla agricoltura, responsabili anche delle emissioni di NH3.

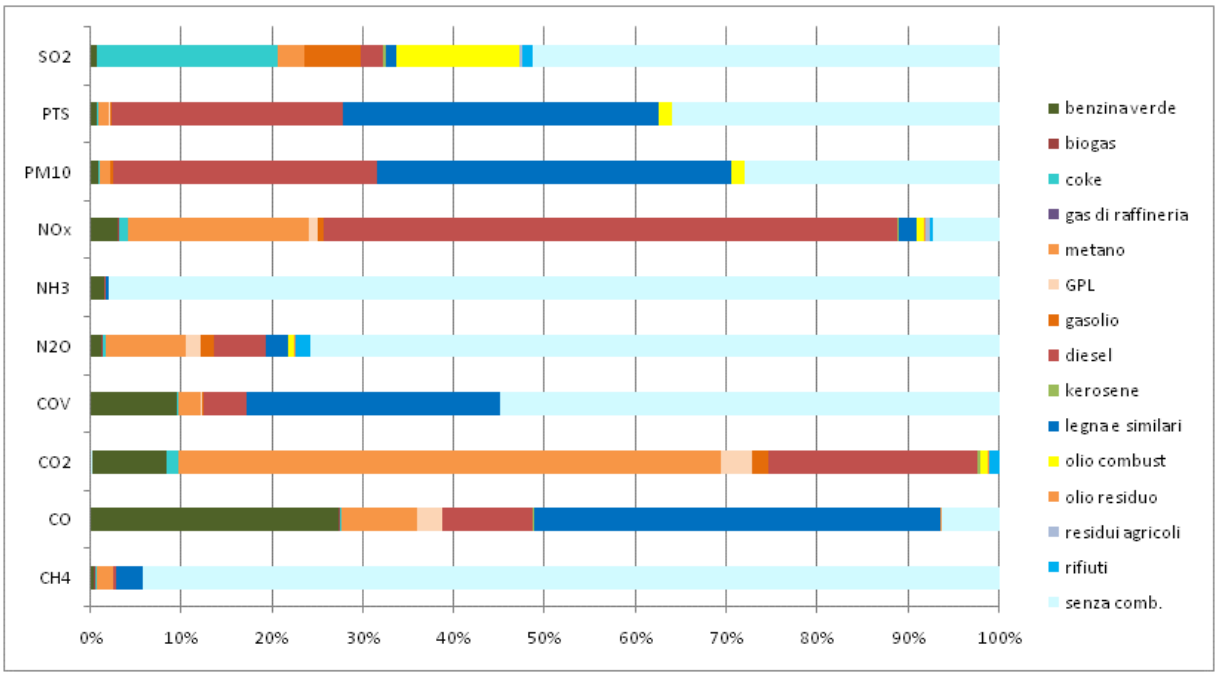


Figura 49: ripartizione delle emissioni per tipo di combustibile

Le emissioni extra-regionali

Si nota (Figura 50) 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 46)

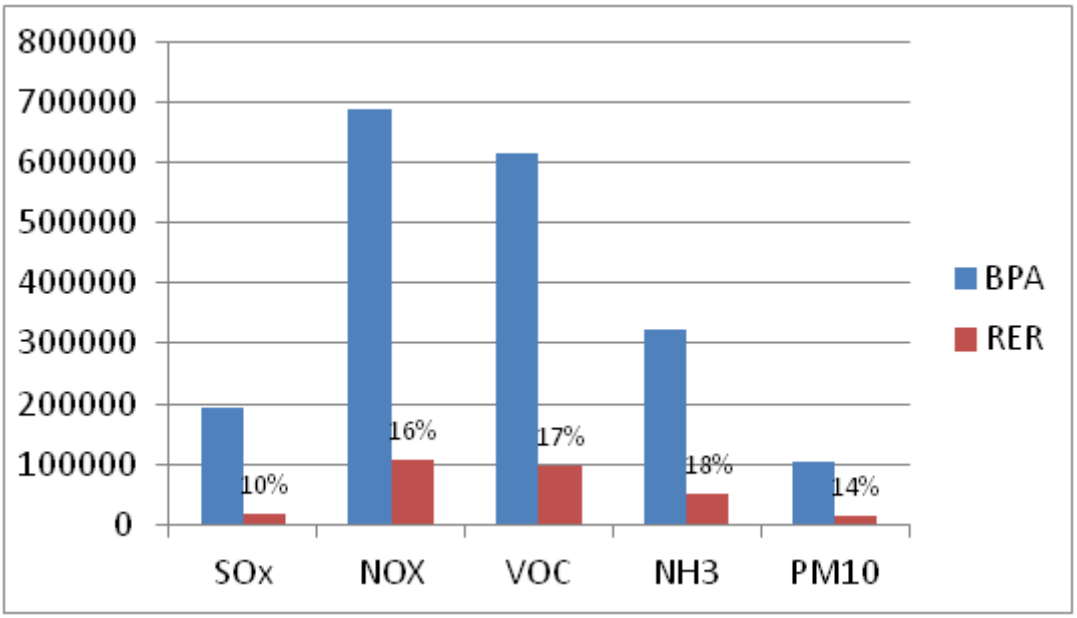


Figura 50: Emissioni (t anno) ER vs BPA

Proiezioni future

Le emissioni per lo scenario di riferimento sono state confrontate con le proiezioni delle emissioni corrispondenti a diverse possibili evoluzioni future. Sono stati quindi considerati e confrontati tra loro i seguenti 4 scenari emissivi:

1. Lo scenario emissivo BPA 2010: costruito usando per l'Emilia Romagna i dati di emissione derivanti dall'inventario regionale (INEMAR-ER) aggiornato all'anno di riferimento 2010 e per le regioni esterne alla Emilia-Romagna i dati dell'inventario nazionale delle emissioni (ISPRA 2005) fatto evolvere secondo lo scenario tendenziale SEN2013.
2. Lo scenario tendenziale CLE-ER 2020 ("Scenario NO Piano"): per quanto attiene all'Emilia Romagna, oltre ad usare l'evoluzione prevista dallo scenario SEN 2013 appositamente "regionalizzato", tiene in considerazione le variazioni emissive dovute ai piani regionali già approvati o adottati, relativamente al macrosettore traffico (PRIT), alla produzione e consumo di energia (PER) alle modalità di spandimento dei concimi di origine animale (PSR), mentre per le regioni esterne utilizza le emissioni ISPRA 2005 fatte evolvere secondo lo scenario nazionale SEN2013.
3. Lo scenario obiettivo di piano: stimato con l'ausilio dello strumento di ottimizzazione RIAT+ messo a punto nell'ambito del progetto Life-OPERA, è una valutazione delle emissioni in Emilia Romagna che consentirebbero di rispettare il valore limite del numero di superamenti giornalieri di PM10 in buona parte della regione. Per le regioni esterne lo scenario obiettivo di piano coincide con lo senario tendenziale 2020.
4. Lo scenario MFR, anch'esso utilizzato in RIAT+ è lo scenario emissivo che si avrebbe se in Emilia Romagna venissero applicate al 100% tutte le tecnologie attualmente disponibili mentre, nelle regioni esterne lo scenario MFR coincide con lo scenario tendenziale 2020. E' chiaramente un limite teorico di difficile applicazione in quanto non tiene conto dei costi e della fattibilità pratica.

Nella Tabella 6 vengono riportate le emissioni per i quattro scenari e le variazioni relative (%) rispetto allo scenario base 2010.

Inquinante	Scenario base BPA-2010	Scenario tendenziale CLE-ER 2020 (NO piano)	Scenario obiettivo di piano	Scenario massima riduzione possibile MFR
PM10	13637	10324 *-24%*	9531 *-30%*	4438 *-67%*
NOX	106745	83889 *-21%*	59589 *-44%*	23813 *-77%*
NH3	51522	47085 *-8%*	26929 *-47%*	16745 *-67%*
VOC	99002	81895 *-17%*	67257 *-32%*	31428 *-68%*
SO2	17489	18931 *+8%*	17067 *-2%*	13105 *-25%*

Tabella 6: emissioni (ton/anno) nello scenario di riferimento (scenario base BPA-2010) e negli scenari proiettati.

Di seguito vengono descritti più in dettaglio i metodi con il quali sono stati ottenuti gli scenari proiettati.

Emissioni inquinanti nello scenario tendenziale CLE-ER 2020

Lo scenario emissivo tendenziale, denominato "**CLE-ER 2020**" è stato stimato utilizzando l'evoluzione prevista dal modello GAINS Italy [22]aggiornato nel 2013, e sono riferite alla strategia energetica nazionale (SEN 2013)[23]. 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 e costituisce l'aggiornamento dello scenario emissivo denominato GAINS NOCP utilizzato in precedenti studi condotti da ARPA[24]. I dati della strategia energetica nazionale hanno fornito i parametri necessari a proiettare le emissioni attuali (anno di riferimento 2010) all'anno 2020.

Secondo le stime contenute nel rapporto SEN (Marzo 2013) la realizzazione di questa strategia consentirà a livello nazionale "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 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)."

A livello regionale la applicazione della Strategia Energetica Nazionale si traduce in una modifica della distribuzione dei consumi tra vari macrosettori e su una diversa composizione dei combustibili utilizzati, oltre che sulla penetrazione delle nuove tecnologie previste dalla normativa in vigore, in tutti i settori emissivi, come decritto dettagliatamente nell'appendice 3.

Per quanto riguarda i macrosettori 7 (traffico), macrosettore 1 (produzione di energia elettrica), macrosettore 10 (agricoltura) sono state considerate le variazioni emissive dovute ai piani ed ai regolamenti regionali settoriali già adottati rispettivamente per il traffico (PRIT[25]), per la produzione e consumo di energia (PER), per le modalità di spandimento dei concimi di origine animale previste dal Regolamento 1/2011 [26]. La ripartizione delle emissioni tra i vari macrosettori nello scenario CLE 2020 per l'Emilia – Romagna, messo a confronto con lo scenario di riferimento, è riportato nella Figura 51.

Le variazioni delle emissioni così ottenute sul territorio dell'Emilia-Romagna per i principali inquinanti e precursori dell'inquinamento da PM10 sono riportate nella Tabella 6 dalla quale si desume una tendenza significativa alla decrescita delle emissioni di NOx, COV e PM10, mentre le emissioni di SO2 aumentano a causa principalmente dei contributi del settore trasporti (incremento della circolazione di veicoli diesel) ed industria.

[22] (http://gains-it.bologna.enea.it/gains/IT/index.login)
[23] Strategia Energetica Nazionale (SEN) approvata con Decreto interministeriale 8/3/2013
[24] Si veda il rapporto finale del progetto NINFA-Extended, Giugno 2011
[25] http://mobilita.regione.emilia-romagna.it/allegati/prit/documenti-adozione-prit/Rapporto-ambientale-Valsat-adozione.pdf
[26] regolamento regionale n. 1, 28 ottobre 2011: disposizioni in materia di utilizzazione organica degli effluenti di allevamenti e delle acque reflue di aziende agricole

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.

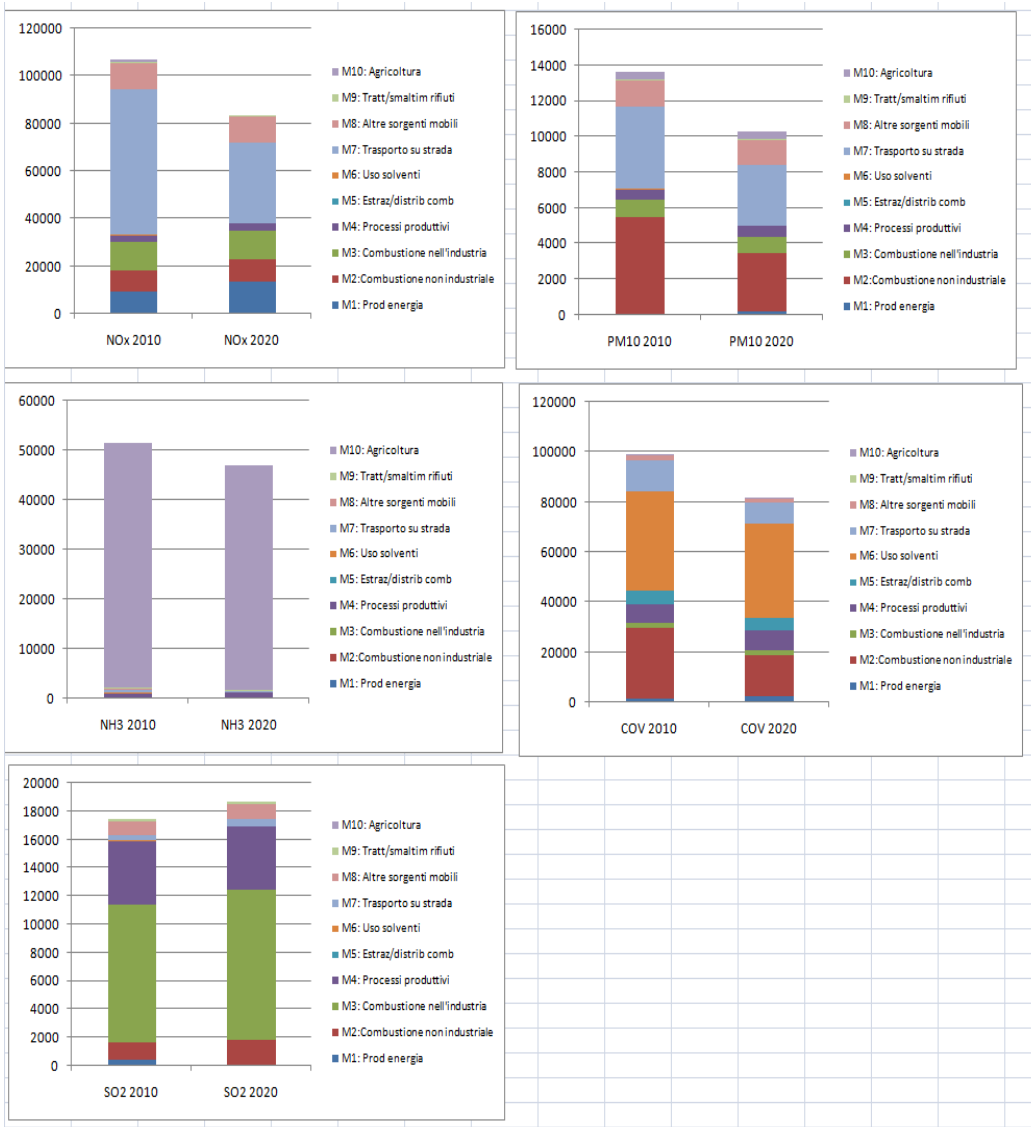


Figura 51: La ripartizione delle emissioni tra i vari macrosettori nello scenario CLE 2020 per l'Emilia – Romagna messo a confronto con lo scenario di riferimento.

Lo scenario di massima riduzione possibile (MFR)

Come si è detto, lo scenario MFR (Tabella 7) è lo scenario emissivo che si avrebbe se in Emilia Romagna venissero applicate al 100% tutte le tecnologie attualmente disponibili. Per le regioni esterne lo scenario MFR coincide con lo scenario tendenziale 2020. Si tratta di uno scenario limite puramente teorico e di difficile realizzazione in quanto, come risulta evidente dalla Figura 52, non tiene conto dei costi e della fattibilità pratica. Lo scenario MFR è stato utilizzato per la valutazione delle alternative nella VAS del piano.

Obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti per il rispetto dei Valori Limite di PM10: lo scenario obiettivo di piano (PAIR 2020)

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.

Le curve di Pareto, una per ogni indicatore della qualità dell'aria individuato (media annule per PM10 e NO2, AOT40 per ozono) sono rappresentate nella Figura 52. Ogni curva individua cinque scenari, ciascuno dei quali rappresenta una combinazione ottimale delle misure di riduzione e dei relativi costi. I set di azioni ed i costi derivano dal database europeo GAINS-ITALY che contiene per ogni tecnologia l'efficacia di riduzione ed il costo espresso in costo aggiuntivo rispetto all'assenza di tecnologie di abbattimento. Con questo strumento quindi l'analisi costi-benefici viene effettuata in modo coerente tra le varie azioni evitando in questo modo eventuali incoerenze dovute a diverse metodologie di calcolo e producendo una gerarchia delle azioni possibili. L'asse delle ordinate rappresenta la diminuzione rispetto al valore dell'indicatore calcolato come media spaziale sull'intero dominio ed espressa come riduzione percentuale rispetto al valore di riferimento stimato nello scenario tendenziale (CLE-2020) rappresentato dal primo punto della curva. Nello scenario tendenziale è le emissioni sono proiettate all'anno 2020 come conseguenza della applicazione delle misure di regolamentazione delle emissioni già contenute nella normativa e nella pianificazione attualmente vigente. I costi, rappresentati nell'asse delle ordinate, sono espressi in unità relative e sono indicati come costi aggiuntivi rispetto ai costi associati alla realizzazione dello scenario CLE-2020.

Lo scenario obiettivo è stato scelto in modo da ottenere la massima riduzione della concentrazione di PM10, che rappresenta l'inquinante più critico. L'analisi della curva per il PM10 mostra come il massimo beneficio al minimo costo si otterrebbe per il secondo punto della curva. Questo scenario è stato pertanto scelto nel PAIR, come obiettivo da raggiungere attraverso le misure del piano (scenario obiettivo di piano). Come mostra la curva, obiettivi più ambiziosi in termini di riduzione della concentrazione di PM10 produrrebbero un aumento sostanziale dei costi, con benefici ambientali relativamente assai più limitati.

L'ammoniaca gioca un ruolo importante nella formazione del particolato secondario per questo nello scenario obiettivo la riduzione è alta. Come si vedrà in seguito lo scenario di piano, costruito sulla base dello scenario obiettivo, modifica in parte queste scelte, aumentando le riduzioni per il particolato piamrio e riducendo quelle relative all'ammoniaca.

E' interessante stimare anche gli effetti che le misure introdotte produrrebbero sui vari indicatori, rappresentati dalle curve rossa e verde di figura. Si nota come nel caso dell'ozono le azioni ipotizzate sarebbero ininfluenti, in quanto la dinamica dell'inquinamento da ozono è tipica di una scala sovra regionale, mentre benefici maggiori si avrebbero per la concentrazione media annua di NO2.

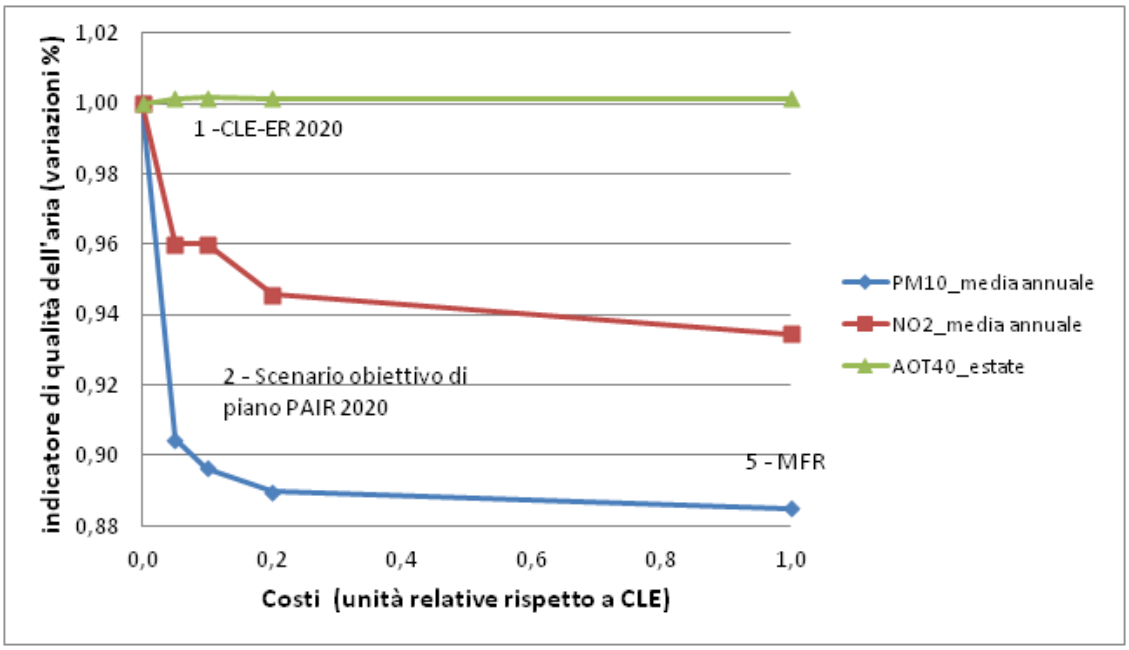


Figura 52: Curva di Pareto dell'ottimizzazione di PM10 (concentrazione media annuale in blu, e i relativi effetti su NO_2 in rosso e ozono - AOT40 in verde). Il punto 1 corrisponde allo scenario CLE-ER 2020, il punto 2 è stato scelto come obiettivo di piano PAIR 2020, il punto 5 corrisponde allo scenario di massima riduzione possibile MFR

La Tabella 7 seguente riporta la riduzione delle emissioni dirette di PM10 e dei principali precursori (COV, NH_3, NOx, SO_2), necessaria al rispetto del valore limite equivalente (VLE) per PM10:

- ◊ nella seconda colonna sono riportate le emissioni dei diversi inquinanti nello scenario di riferimento al 2010;
- ◊ nella terza colonna sono riportate le emissioni stimate al 2020 con lo scenario tendenziale CLE-ER 2020 **(SCENARIO NO PIANO),** che, come già evidenziato, non sono sufficienti a garantire il rispetto del VLE per PM10 sull'intero territorio regionale;
- ◊ nella quarta colonna sono riportate le emissioni necessarie al rispetto degli standard di qualità dell'aria per PM10, PM2.5 e NO_2 (**SCENARIO OBIETTIVO DI PIANO**);
- ◊ nell'ultima colonna è riportato quindi l'obiettivo di riduzione, ovvero le emissioni aggiuntive da ridurre rispetto allo scenario tendenziale.

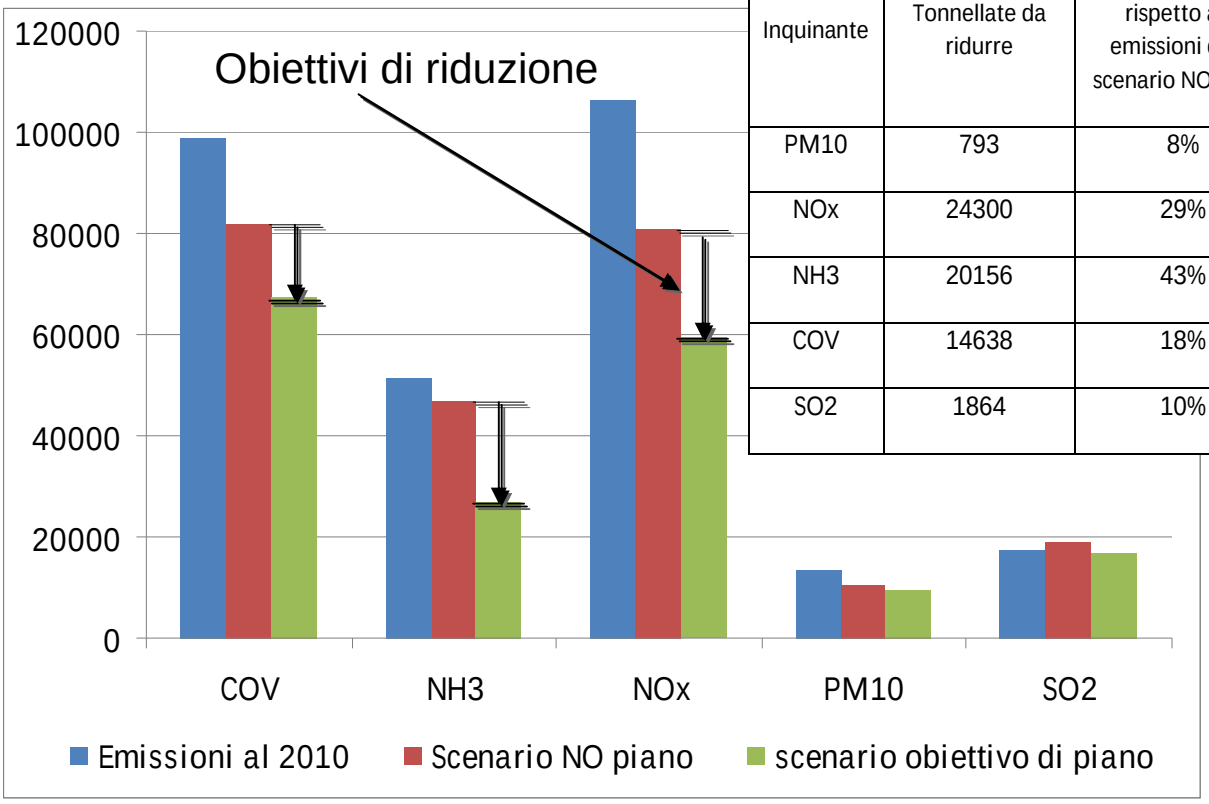
	Emissioni (t/a)			
Inquinante	Scenario di riferimento **BPA-2010**	Scenario tendenziale (no piano) **CLE-ER 2020**	**Scenario obiettivo di piano**	Emissioni da ridurre **Obiettivi di riduzione**
PM10	13637	10324	9531	793
NOx	106745	83889	59589	24300
NH3	51522	47085	26929	20156
COV	99000	81895	67257	14638

SO2	17498	18931	17067	1864

Tabella 7 – emissioni totali nei 3 scenari e obiettivi di riduzione delle emissioni dell'Emilia-Romagna necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale (esclusi gli hot spot). Gli obiettivi di riduzione sono stabiliti in relazione allo scenario tendenziale.

Lo stesso confronto è mostrato graficamente nella Figura 53. L'istogramma 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** ("**scenario NO piano**"), le emissioni dei precursori dell'inquinamento da PM10 quali gli ossidi di azoto (NOx - 24300 ton/anno circa di riduzione ulteriore rispetto allo scenario tendenziale al 2020), l'ammoniaca (NH_3 - 20000 ton/anno) ed i composti organici volatili (COV – 14600 ton/anno), mentre quantitativamente meno rilevanti, ma significative, sono le riduzioni delle emissioni di PM10 primario (- 800 ton/anno) e biossido di zolfo (SO_2 - 2000 ton/anno).

Va evidenziato che gli obiettivi di riduzione sopra riportati includono anche quote relative a sorgenti il cui controllo non rientra nelle competenze della Regione, quali il sistema autostradale e gli impianti di produzione di energia di rilevanza nazionale, che nel complesso incidono sulle emissioni regionali per circa il 10% di PM10 ed il 25% di NOx.



Inquinante	Tonnellate da ridurre	Riduzione % rispetto alle emissioni dello scenario NO piano
PM10	793	8%
NOx	24300	29%
NH3	20156	43%
COV	14638	18%
SO2	1864	10%

Figura 53 – Variazione delle emissioni (ton/anno) dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale.

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. Ulteriori benefici sulla qualità dell'aria in Emilia-Romagna potrebbero derivare da politiche a scala di intero bacino padano.

Obiettivi Provinciali

Gli istogrammi di Figura 54 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. Lo scopo di tale valutazione non è quello di assegnare obiettivi vincolanti ad ogni singola provincia quanto evidenziare le differenze scala territoriale come si nota nella Figura 54 in dipendenza della distribuzione geografica delle fonti di emissione (si veda la Figura 46)

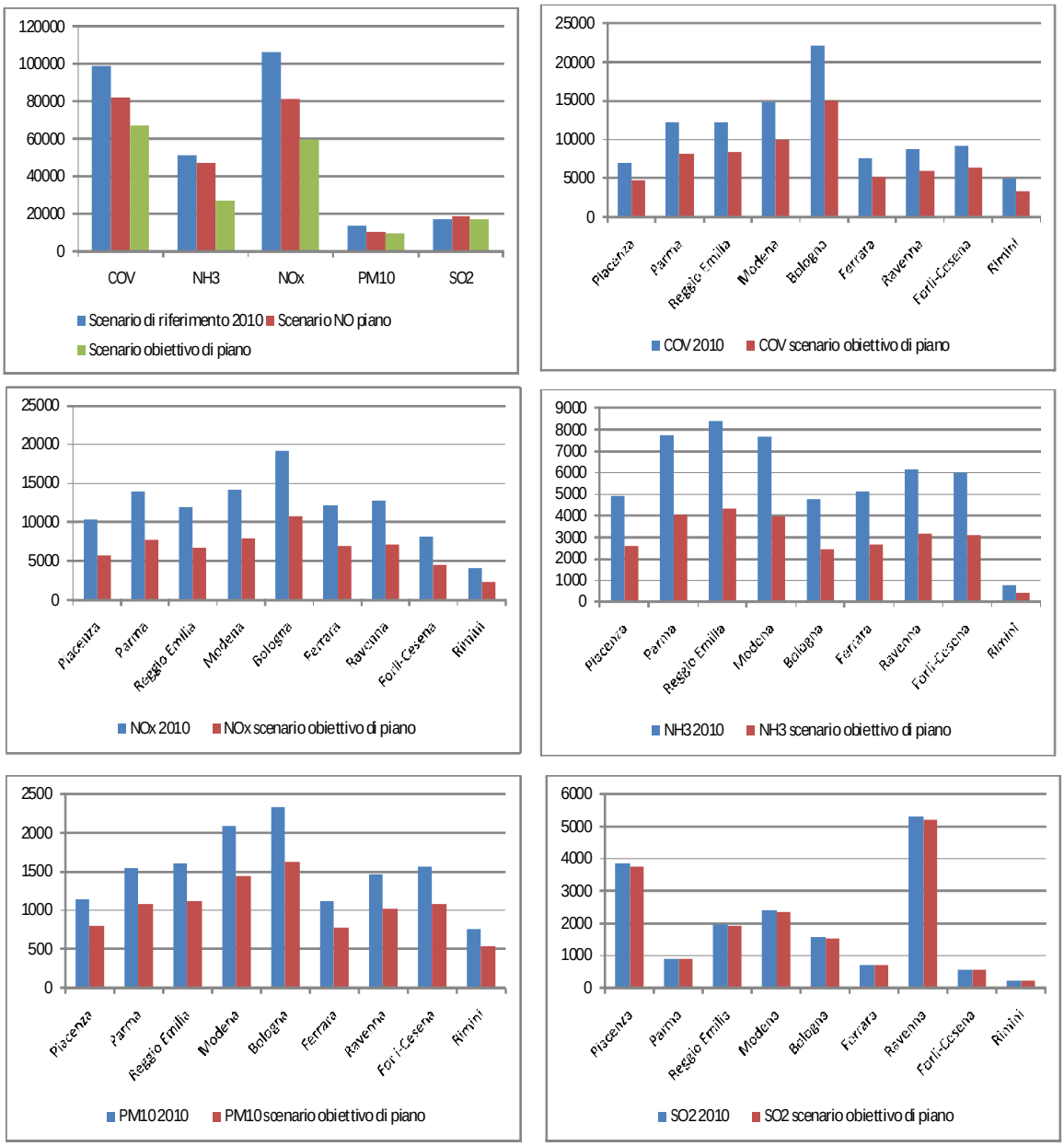


Figura 54: L'istogramma in alto a sinistra riporta le emissioni dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 sul territorio regionale nello scenario di riferimento (INEMAR-2010), tendenziale NO piano (CLE-2020) e nello scenario obiettivo di piano. Lo scenario obiettivo permetterebbe di rispettare 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.

Obiettivi settoriali

La Tabella 8 seguente riporta le emissioni (ton/anno) suddivise per macrosettore di intervento. Questa ripartizione è stata definita in base ai risultati dell'analisi costi-benefici dell'insieme di misure tecniche e non tecniche contenute nella base di dati del modello di valutazione integrata RIAT+ implementato sull'Emilia – Romagna (si veda la descrizione di RIAT+). Gli obiettivi di riduzione delle emissioni sono stati ripartiti tra i settori proporzionalmente al contributo emissivo dello scenario ottimo di RIAT+

corrispondente al punto 2 della curva di Pareto (Figura 52), corrispondente alla massima riduzione delle emissioni ottenuta al minimo costo.

Emissioni	Produzione energia elettrica	Riscaldamento edifici	Industria	Estrazione combustibili fossili	Uso solventi	Trasporti su strada	Altri sorgenti mobili	Rifiuti	Agricoltura	totale nello Scenario obiettivo - 2020
NOx	12305	8560	12445	0	0	19968	5091	617	603	59589
VOC	2360	4409	8635	4918	37722	7175	1944	35	59	67257
NH3	0	235	0	1106	0	243	2	71	25272	26929
PM10	220	2562	1499	0	0	3432	1391	6	422	9531
SOx	56	1173	15085	0	0	452	117	183	0	17067

Tabella 8: Emissioni dello scenario obiettivo in ton/anno inquinanti per macrosettore di intervento

La qualità dell'aria negli scenari emissivi

La concentrazione in aria degli inquinanti atmosferici associata a ciascuno degli scenari emissivi (Tabella 6) è stata stimata applicando il modello chimico di trasporto e dispersione NINFA utilizzando come dati meteorologici di ingresso per tutti gli scenari 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).
Per tener conto della variabilità meteorologica, è stata compiuta una simulazione col modello Ninfa di 8 anni a emissioni costanti. La simulazione ha consentito di stimare:

- la variabilità delle concentrazioni medie dovuta a cause meteorologiche (• = 7%);
- l'anomalia dell'anno di riferimento degli scenari rispetto al "clima" (per il 2010, -7%);

Per ovviare alla risoluzione limitata di NINFA (5km), è stata inoltre calcolata la relazione tra la media nelle celle Ninfa e il massimo tra le celle PESCO (1km) che la compongono.
La metodologia per la stima delle correzioni associate alla variabilità meteorologica è illustrata in **appendice 4**. I fattori correttivi sono stati recentemente aggiornati con i dati relativi alle osservazioni 2013, le mappe risultano pertanto modificate rispetto alle valutazioni preliminari presentate nel quadro conoscitivo allegato alla delibera di giunta 8 luglio 2013.
La valutazione della distribuzione geografica e l'entità delle variazioni nella concentrazione in aria di PM10 è mostrata nella Figura 55 per il superamento del valore limite giornaliero, nella Figura 56 per il superamento del valore limite annuale di PM10, nella Figura 57 per il superamento del valore limite annuale di PM2.5, nella Figura 58 per il superamento del valore limite annuale per NO2. Le figure riportano le mappe per ciascuno degli scenari emissivi riportati in Tabella 6.

Nelle figure il territorio regionale è suddiviso in 5 tipologie:

1. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua)

2. Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi)
3. Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua)
4. Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli)
5. Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua)

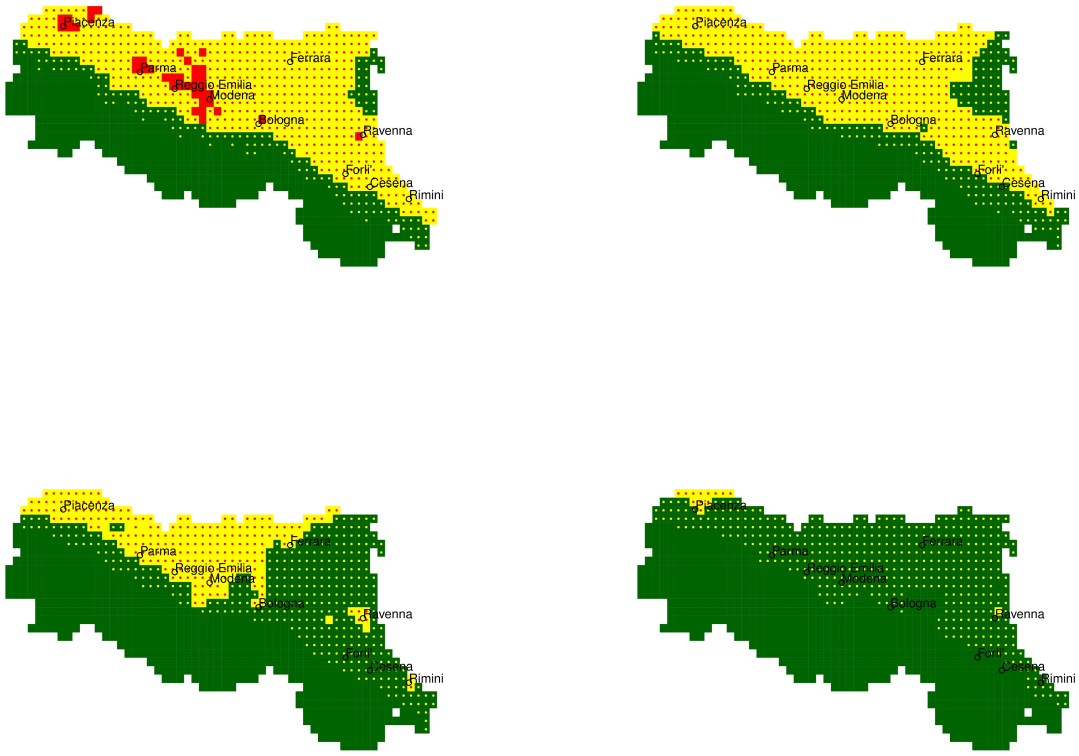


Figura 55: aree di superamento del VL giornaliero per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua).

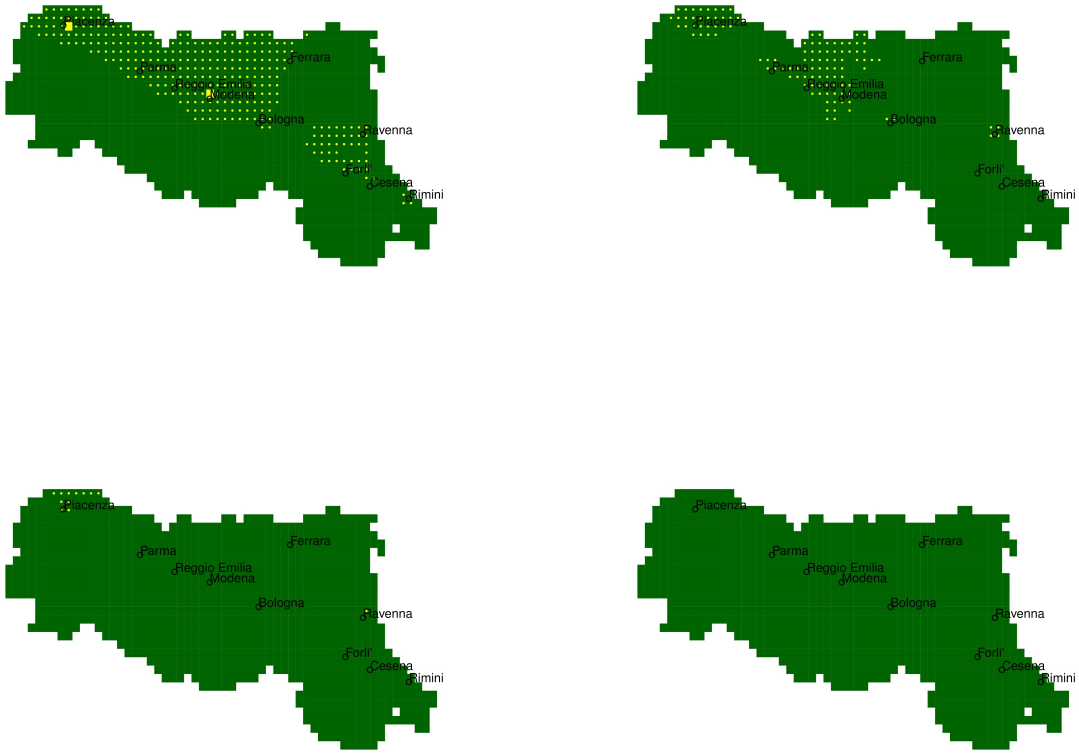


Figura 56: aree di superamento del VL annuale per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua).



Figura 57: aree di superamento del VL annuale per PM2.5 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua).

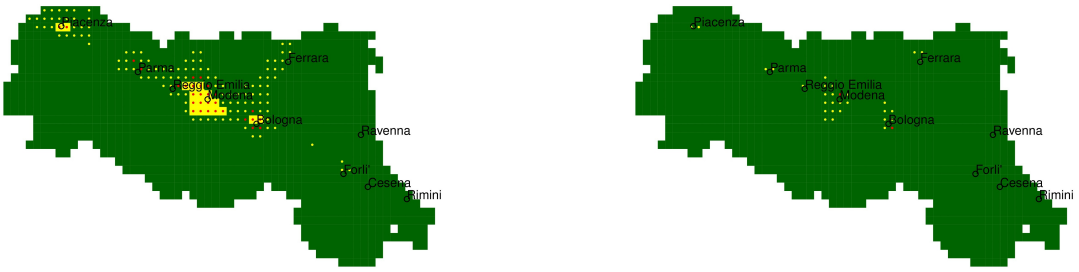


Figura 58: aree di superamento del VL annuale per NO2 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua).

La valutazione dello **scenario di riferimento** (BPA-2010) evidenzia la presenza di alcune zone con superamenti diffusi e persistenti (aree rosse continue) del **valore limite giornaliero per il PM10** (Figura 55). Una larga parte del territorio di pianura è soggetta a superamenti locali in tutti gli anni, anche quelli con meteorologia favorevole (aree gialle con puntini rossi), mentre le situazioni locali di superamento sono limitate solo agli anni meteorologicamente sfavorevoli nella parte pedecollinare della regione (aree verdi con puntini gialli).
Nello **scenario tendenziale** CLE-ER 2020, 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. Le situazioni di superamento diffuso nello spazio e persistente nel tempo (aree rosse continue) tenderebbero a scomparire nello scenario tendenziale (CLE-ER 2020) ma il VL sulla concentrazione giornaliera potrebbe rimanere critico in tutti gli anni su una parte considerevole del territorio di pianura (aree gialle con puntini rossi), con estensione alle aree pedecollinari e costiere negli anni meteorologicamente sfavorevoli (aree verdi con puntini gialli).
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).
Lo **scenario di massima riduzione possibile** (MFR) porterebbe a situazioni di criticità limitate ai soli anni meteorologicamente sfavorevoli su gran parte della pianura, ad esclusione delle zone fortemente influenzate dalle elevate emissioni provenienti dalle regioni vicine (provincia di Piacenza). I costi associati a queste riduzioni risulterebbero tuttavia sproporzionati, come evidenziato dalla curva di Pareto (Figura 52).
Lo **scenario obiettivo di piano** porterebbe ad una situazione di sostanziale miglioramento delle situazioni di superamento del VL giornaliero, a costi sostenibili. Il territorio soggetto a superamenti locali in tutti gli anni sarebbe limitato alla sola pianura occidentale. Si è stimato che nello scenario obiettivo, nelle condizioni meteorologiche tipiche della pianura padana, la popolazione esposta a più dei 35 superamenti giornalieri consentiti in un anno, scenderebbe da 2.550.000 a 100.000 abitanti, cioè dal 64% al 2%. Questa popolazione esposta risiederebbe all'interno di aree critiche aventi una superficie complessiva di circa 250 Km^2, pari a circa l'1% del territorio regionale (si veda il successivo capitolo Valutazione dell'impatto sanitario).

Per quanto riguarda il rispetto del **valore limite annuale per PM10** (Figura 56) le valutazioni confermano come nello scenario tendenziale (CLE-ER 2020) le situazioni di criticità per questo parametro sarebbero limitate ad alcune situazioni locali negli anni meteorologicamente sfavorevoli e sarebbero pressoché eliminate nello scenario obiettivo di piano.

Per quanto riguarda il rispetto del **valore limite annuale per PM2.5** (Figura 57) le valutazioni evidenziano come nella **situazione attuale (**scenario INEMAR-ER 2010) siano possibili superamenti estesi a parte del territorio di pianura (aree gialle continue) negli anni meteorologicamente sfavorevoli. Nello **scenario obiettivo di piano** le zone di possibile superamento sarebbero limitate ad una porzione limitata del territorio. Il raggiungimento degli obiettivi del piano permetterebbe, in condizioni meteorologiche tipiche della pianura padana, di azzerare la popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite, mentre negli anni meteorologicamente avversi la popolazione esposta scenderebbe da 138.000 abitanti a circa 10.000.

Il valore limite annuale per NO2 (Figura 58) evidenzia aree di superamento locale nelle aree urbane di Piacenza e Bologna ed in modo più diffuso nel comprensorio di Modena e Reggio Emilia. Lo scenario

tendenziale al 2020 porterebbe ad una sostanziale diminuzione delle situazioni di superamento, con situazioni critiche solo in alcune parti del territorio negli anni meteorologicamente sfavorevoli.

La Figura 59 riassume i risultati della **stima dell'intervallo di concentrazione nei capoluoghi** associato a diversi scenari emissivi. Le barre indicano l'intervallo di variazione della concentrazione media annuale di PM10 relativa ai 9 capoluoghi della regione valutati considerando le condizioni meteorologiche tipiche (barre blu) o avverse (barre bianche con bordo blu). Le barre bianche con bordo grigio indicano invece l'intervallo associato alle peggiori condizioni possibili, ovvero condizioni meteorologiche avverse in presenza di elevate sorgenti di inquinanti (quartieri critici). Gli intervalli di concentrazione sono posti a confronto con il valore limite per la media annua (linea rossa) e con il valore limite equivalente per la media giornaliera (linea rossa tratteggiata).

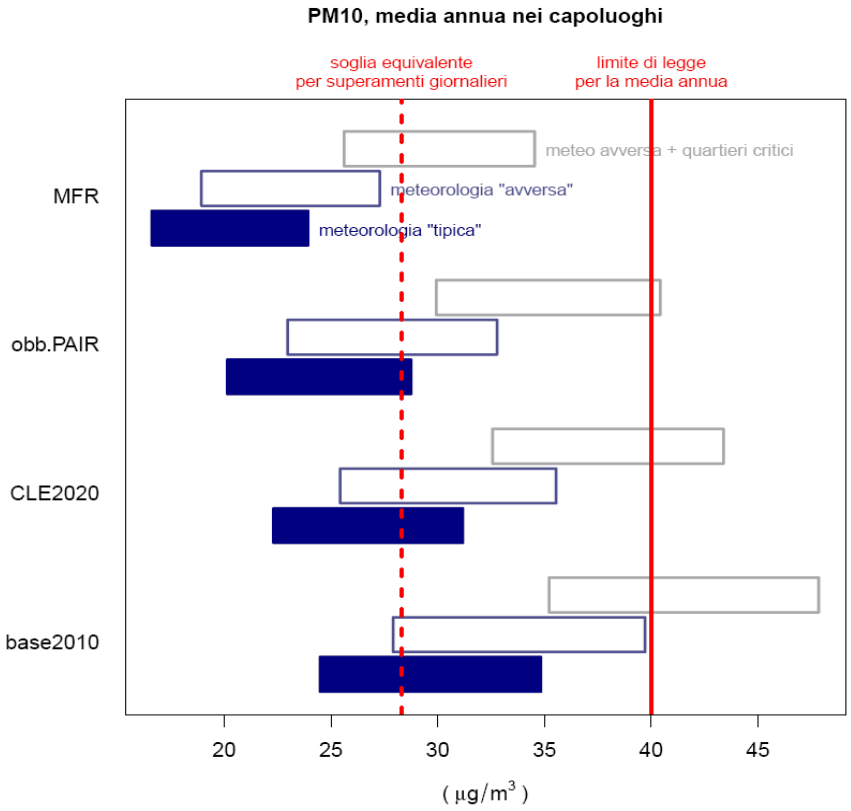


Figura 59: variazione della concentrazione di PM10 in diversi scenari emissivi, di riferimento (base 2010), tendenziale (CLE2010), obiettivo di piano (obb.PAIR), massima riduzione possibile (MFR).

Le stime di Figura 59 mostrano come nello scenario obiettivo di piano la concentrazione di PM10 scenderebbe al di sotto della soglia equivalente negli anni caratterizzati da condizioni meteorologiche tipiche in tutti i capoluoghi. Si verificherebbero invece situazioni critiche sporadiche negli anni con meteorologia avversa e situazioni critiche frequenti negli agglomerati ad intensa densità emissiva (quartieri critici).

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 dell'8%).

Valutazione dell'impatto sanitario

Numerosi studi epidemiologici indicano che l'esposizione di lungo periodo all'inquinamento atmosferico contribuisce allo sviluppo di patologie croniche, influenzandone perciò incidenza e prevalenza. L'evidenza scientifica sugli effetti avversi è cresciuta notevolmente nei decenni, comprendendo studi di tipo clinico, epidemiologico e tossicologico.
Alla luce di queste evidenze si ritiene utile fornire stime di impatto sulla salute derivanti da diversi scenari, al fine di dotare i decisori di una ulteriore chiave di lettura degli impatti derivanti dai processi decisionali.
L'inquinante scelto per le stime dell'esposizione della popolazione e dei conseguenti impatti è il PM2.5, che rappresenta il tracciante dell'inquinamento urbano maggiormente utilizzato negli studi epidemiologici recenti.
In questo capitolo viene pertanto fornita una lettura in chiave sanitaria dei benefici ottenibili dalla riduzione dell'inquinamento regionale secondo i diversi scenari descritti nei capitoli precedenti. Le valutazioni vengono eseguite per due diversi gruppi di popolazione: l'intera popolazione residente e la popolazione residente nei capoluoghi di provincia. Il metodo seguito per eseguire le valutazioni è illustrato nell'APPENDICE 5.

Popolazione regionale

La popolazione residente in regione Emilia-Romagna secondo il XV censimento della popolazione risulta pari a 4,342,135 abitanti su un'area di 22,457 $km^{2.}$ La popolazione con più di 65 anni rappresenta il 23% del totale mentre gli under-15 rappresentano il 14%.
In base ai dati delle valutazioni della qualità dell'aria nei diversi scenari emissivi presentati nei capitoli precedenti, si stima che nel 2010 l'8% della popolazione sia stata esposta ad un livello di $PM_{2.5}$ inferiore a 15 •g/m^3, il 22% ad un livello compreso fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3, il 65% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3 e il restante 4% fra 25 •g/m^3 e 30 •g/m^3 (Figura 60).
I tre scenari concordano nel fatto che non ci sarà popolazione esposta a più di 25 •g/m^3.
Nel CLE il 9% sarà esposto ad un livello inferiore a 15 •g/m^3, il 45% ad un livello compreso fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3 e l'altro 45% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3.
Nello scenario obiettivo di piano invece si avrebbe che il 25% della popolazione sarà esposto ad un livello inferiore a 15 •g/m^3, il 65% fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3 ed il 9% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3.
Per finire nel MFR il 70% sarà sotto i 15 •g/m^3, il 28% fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3 e meno dell'1% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3

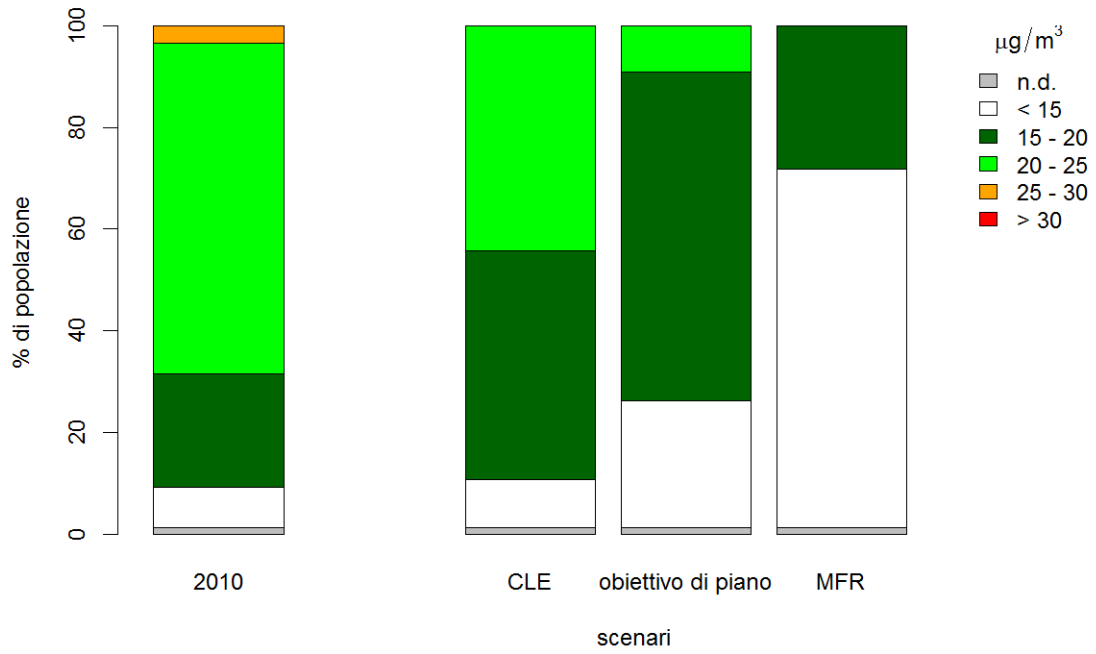


Figura 60: Andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale nei tre scenari di riduzione ipotizzati rispetto al 2010. Residenti nella regione Emilia-Romagna.

La riduzione più consistente si ha con lo scenario MFR dove si ottiene una riduzione di 7.25 •g/m^3 (cioè il 36% rispetto al dato del 2010), con lo scenario obiettivo di piano la riduzione è pari a 3.92 •g/m^3 (20%) e per finire nel CLE il livello dell'inquinamento si riduce di 2.04 •g/m^3 (10%).

	2010 "bestMeteo"	2010 "bestEstimate"	2010 "worstMeteo"
	17.26	20.07	22.88
	scenario CLE "bestMeteo"	scenario CLE "bestEstimate"	scenario CLE "worstMeteo"
	15.51	18.03	20.56
riduzione	**1.75**	**2.04**	**2.33**
	scenario obiettivo di piano "bestMeteo"	scenario obiettivo di piano "bestEstimate"	scenario obiettivo di piano "worstMeteo"
	13.89	16.15	18.42
riduzione	**3.37**	**3.92**	**4.47**
	scenario MFR "bestMeteo"	scenario MFR "bestEstimate"	scenario MFR "worstMeteo"
	11.03	12.83	14.62
riduzione	**6.23**	**7.25**	**8.26**

"bestMeteo": -14% delle concentrazioni rispetto al "bestEstimate"
"worstMeteo": +14% delle concentrazioni rispetto al "bestEstimate"

Tabella 9: Riduzioni nel valore medio regionale di PM2.5 (•g/m3) pesato sulla popolazione residente nelle sezioni di censimento e relativo intervallo di confidenza (estremo inferiore "bestMeteo"; estremo superiore "worstMeteo"). Residenti nella regione Emilia-Romagna.

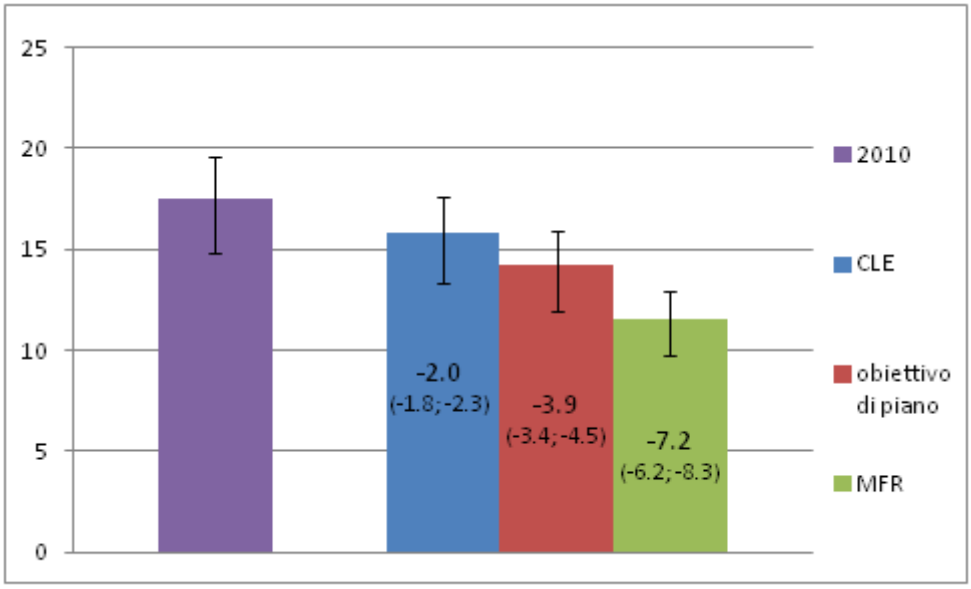


Figura 61: Riduzione del livello medio di PM2.5 (•g/m3) nella regione Emilia-Romagna secondo i tre scenari.

La speranza di vita alla nascita al 2011 risulta pari a 83.17 anni. Senza considerare alcun tipo di riduzione dell'inquinamento la speranza di vita alla nascita nel 2020, al netto delle assunzioni fatte sia per i movimenti naturali (nascite e morti) che per quelli migratori, arriverebbe a 85.26 anni.
Il tasso medio annuale di decessi per cause naturali nel decennio considerato risulta pari a 10.1‰.
Nello scenario CLE il guadagno nella speranza di vita è pari a 1.38 mesi, nello scenario obiettivo di piano è 2.65 mesi e nel MFR è 4.89 mesi. Vengono posticipati rispettivamente 353, 677 e 1252 decessi nei dieci anni considerati. Il numero medio di decessi attribuibili per 100,000 abitanti risultano 0.82, 1.57 e 2. 90.

Scenari al 2020	CLE	obiettivo di piano	MFR
Speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in anni	85.27 (85.26; 85.27)	85.28 (85.27; 85.29)	85.30 (85.28; 85.32)
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	1.38 (0.77; 2.08)	2.65 (1.48; 4.00)	4.89 (2.74; 7.40)
Decessi posticipati su tutto il periodo	353 (198; 533)	677 (380; 1023)	1252 (703; 1892)
Percentuale di decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nei 10 anni	0.08 (0.05; 0.12)	0.15 (0.09; 0.23)	0.29 (0.16; 0.43)
Media annua decessi posticipati	35 (20; 53)	68 (38; 102)	125 (70; 189)
Media "Attributable Community Rate" (Numero medio di decessi attribuibili per 100,000 abitanti)	0.82 (0. 46; 1.23)	1.57 (0.88; 2.37)	2.90 (1.62; 4.37)

Tabella 10: Impatti positivi della riduzione di PM2.5 per i residenti nella regione Emilia-Romagna.

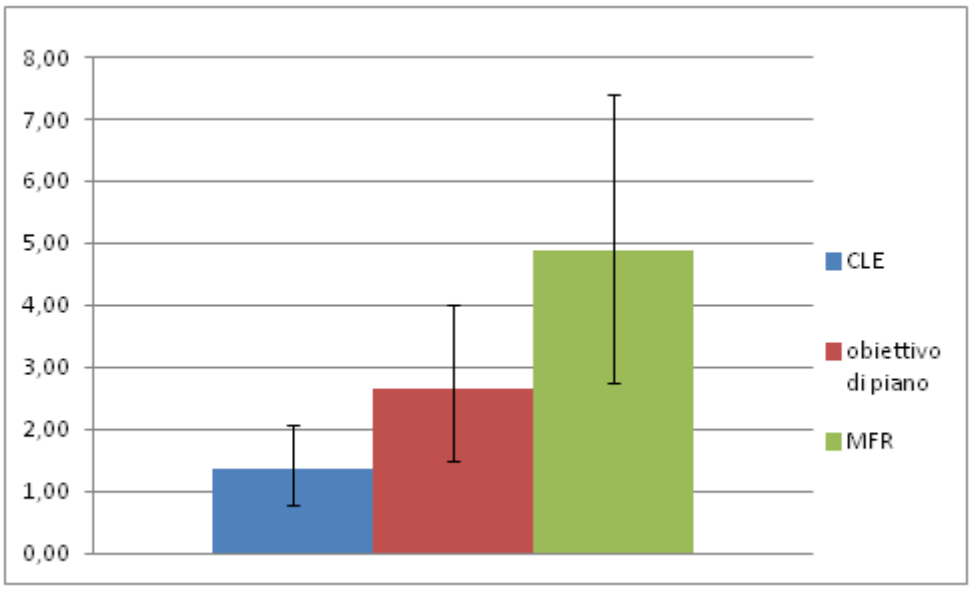


Figura 62: Guadagno nella speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in mesi nella regione Emilia Romagna secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5.

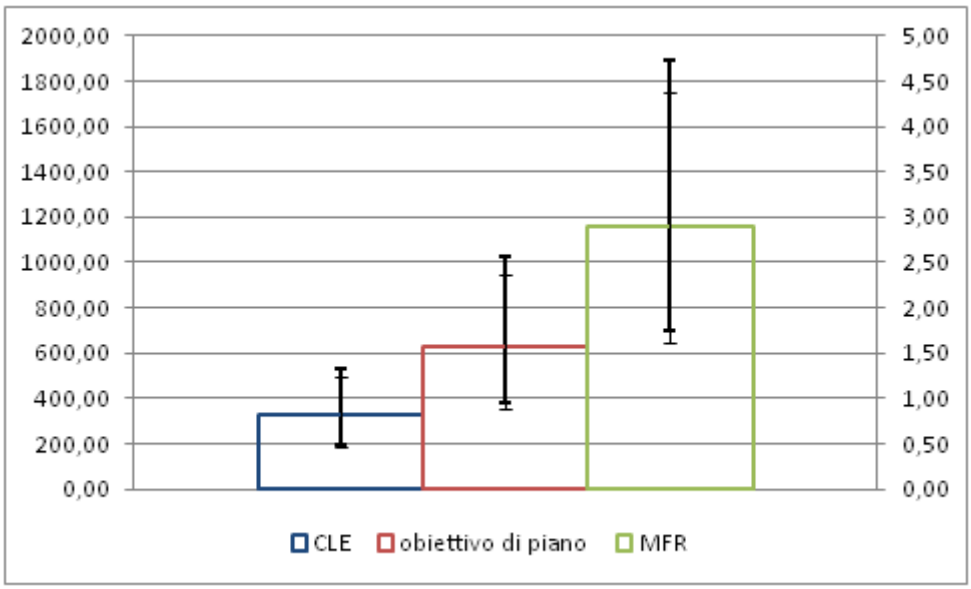


Figura 63: Somma dei decessi posticipati (asse principale e intervalli di confidenza in grassetto) e numero medio di decessi posticipati per 100,000 abitanti (asse secondario) nella regione Emilia Romagna nel periodo 2011-2020 secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5.

Capoluoghi di provincia

La popolazione residente nei 9 comuni capoluoghi della regione Emilia-Romagna secondo il XV censimento della popolazione risulta pari a 1,531,094 abitanti, il 35% del totale regionale. La popolazione con più di 65 anni rappresenta il 24% del totale mentre gli under-15 rappresentano il 13%.

Al 2010 il 25% della popolazione residente nei capoluoghi di provincia è esposta ad un livello di $PM_{2.5}$ compreso fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3, il 70% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3 e il restante 5% fra 25 •g/m^3 e 30 •g/m^3.

Nel CLE la metà sarà esposta ad un livello compreso fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3 e l'altra metà fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3.

Nello scenario obiettivo di piano invece si avrebbe che il 20% è esposta a livelli inferiori a 15 •g/m^3, il 71% fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3 e l'8% fra 20 •g/m^3 e 25 •g/m^3.

Per finire nel MFR il 78% sarà sotto i 15 •g/m^3 mentre il restante 22% a valori compresi fra 15 •g/m^3 e 20 •g/m^3.

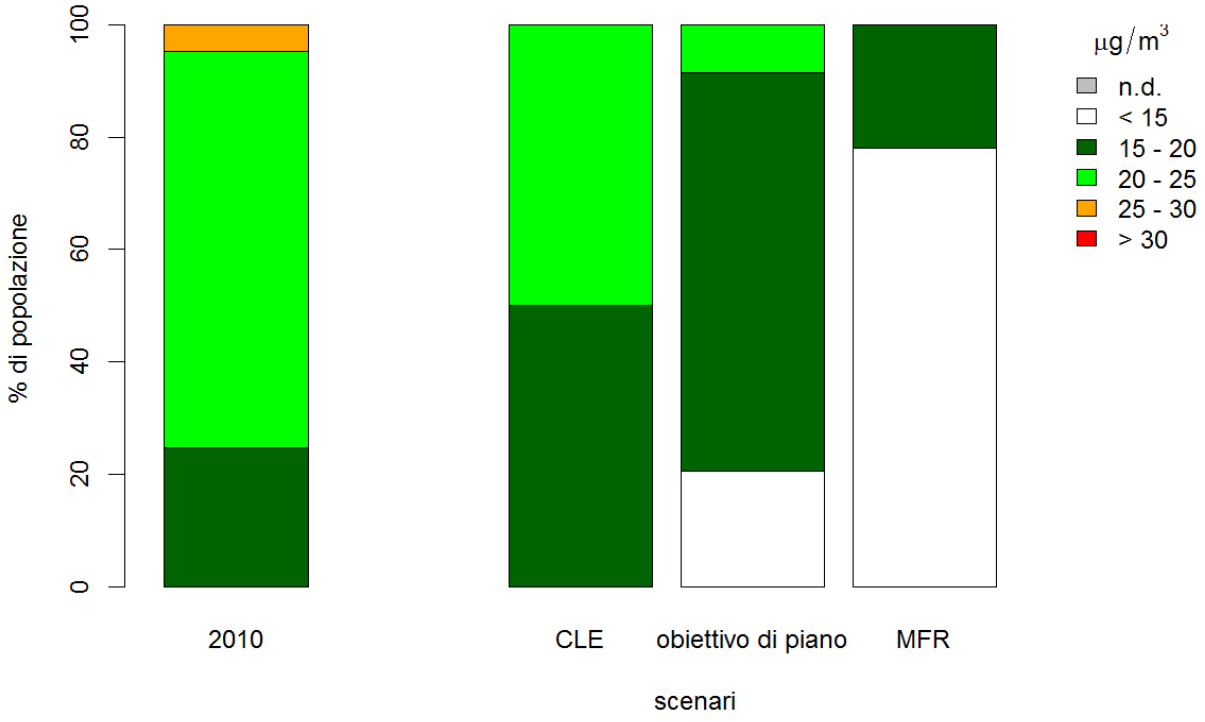


Figura 64: Andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale nei tre scenari di riduzione ipotizzati rispetto al 2010. Residenti nei 9 capoluoghi di provincia.

Rispetto al complesso della regione le riduzioni nelle città con oltre 100,000 abitanti sono più rilevanti in termini assoluti.

Le riduzioni sono rispettivamente di 2.07 •g/m^3, 4.11 •g/m^3 e 7.66 •g/m^3.

	2010 “bestMeteo”	2010 “bestEstimate”	2010 “worstMeteo”
	17.99	20.92	23.84
	scenario CLE “bestMeteo”	scenario CLE “bestEstimate”	scenario CLE “worstMeteo”
	16. 12	18.85	21.49
riduzione	**1.78**	**2.07**	**2.35**
	scenario obiettivo di piano “bestMeteo”	scenario obiettivo di piano “bestEstimate”	scenario obiettivo di piano “worstMeteo”
	14.46	16.81	19.16
riduzione	**3.53**	**4.11**	**4.68**
	scenario MFR “bestMeteo”	scenario MFR “bestEstimate”	scenario MFR “worstMeteo”
	11.39	13.25	15.11
riduzione	**6.59**	**7.66**	**8.74**

“bestMeteo”: -14% delle concentrazioni rispetto al “bestEstimate”
“worstMeteo”: +14% delle concentrazioni rispetto al “bestEstimate”

Tabella 11: Riduzioni nel valore medio regionale di PM2.5 (•g/m3) pesato sulla popolazione residente nelle sezioni di censimento e relativo intervallo di confidenza (estremo inferiore “bestMeteo”; estremo superiore “worstMeteo”). Residenti nei 9 capoluoghi di provincia.

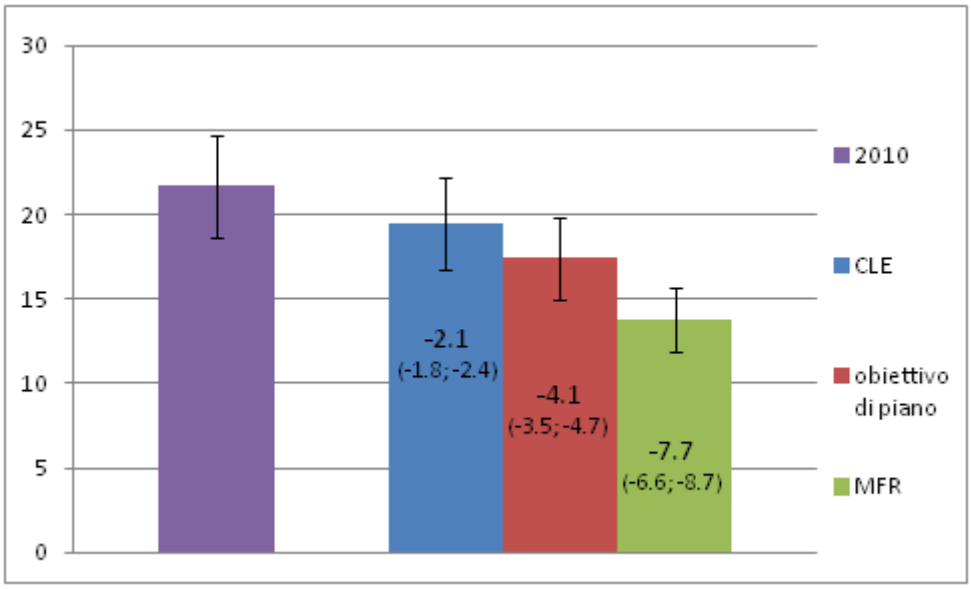


Figura 65: Riduzione del livello medio di PM2.5 (•g/m3) nei 9 capoluoghi di provincia secondo i tre scenari.

La speranza di vita alla nascita al 2011 nei 9 capoluoghi risulta pari a 83.17 anni. Senza considerare alcun tipo di riduzione dell'inquinamento la speranza di vita alla nascita nel 2020, al netto delle assunzioni fatte sia per i movimenti naturali (nascite e morti) che per quelli migratori, arriverebbe a 85.28 anni.
Il tasso medio annuale di decessi per cause naturali nel decennio considerato risulta pari a 10.7‰.

Nel CLE il guadagno nella speranza di vita è di 1.44 mesi, nello scenario obiettivo di piano è 2.86 mesi e nel MFR è 5.35 mesi. Vengono posticipati rispettivamente 133, 265 e 494 decessi nei dieci anni considerati. Il numero medio di decessi attribuibili per 100,000 abitanti risultano 0.88, 1.74 e 3.25.

Scenari al 2020	CLE	obiettivo di piano	MFR
Speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in anni	85.30 (85.29; 85.30)	85.31 (85.30; 85.32)	85.33 (85.31; 85.35)
Guadagno nella speranza di vita su tutto il periodo espressa in mesi	1.44 (0.81; 2.18)	2.86 (1.61; 4.33)	5.35 (3.00; 8.08)
Decessi posticipati su tutto il periodo	133 (75; 201)	265 (149; 400)	494 (277; 747)
Percentuale di decessi posticipati sul totale dei decessi per cause naturali nei 10 anni	0.08 (0.05; 0.12)	0.16 (0.09; 0.25)	0.30 (0.17; 0.46)
Media annua decessi posticipati	13 (7; 20)	27 (15; 40)	49 (28; 75)
Media "Attributable Community Rate" (Numero medio di decessi attribuibili per 100,000 abitanti)	0.88 (0.49; 1.33)	1.74 (0.98; 2.63)	3.25 (1.82; 4.91)

Tabella 12: Impatti positivi della riduzione di PM2.5 per i residenti nei 9 capoluoghi di provincia.

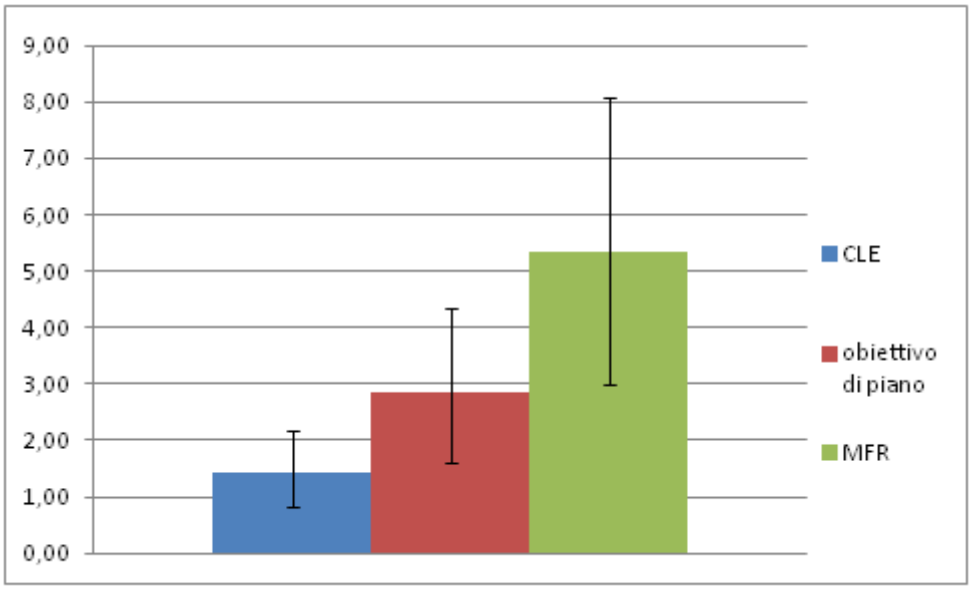


Figura 66: Guadagno nella speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in mesi nei 9 capoluoghi di provincia secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5.

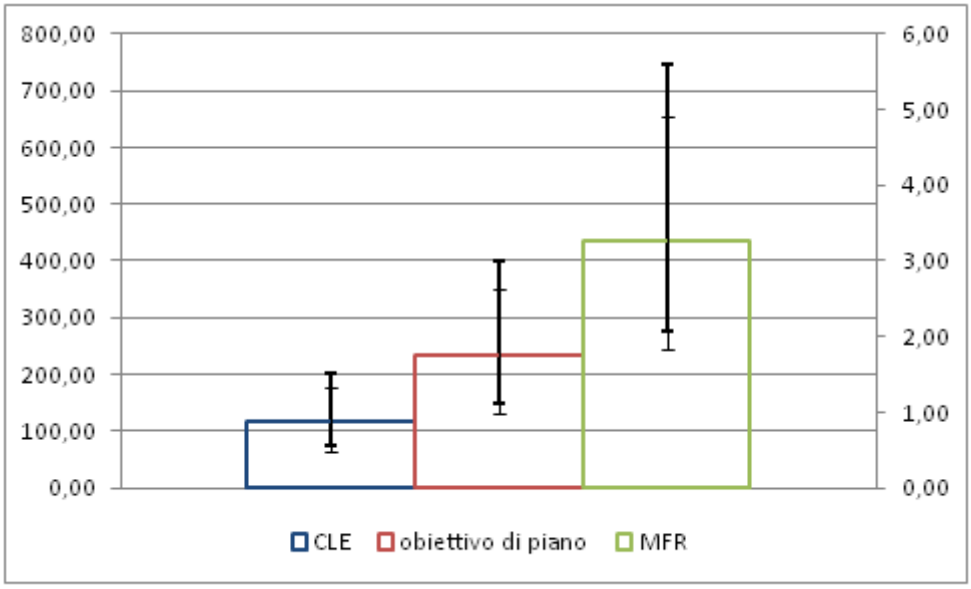


Figura 67: Somma dei decessi posticipati (asse principale e intervalli di confidenza in grassetto) e numero medio di decessi posticipati per 100,000 abitanti (asse secondario) nei 9 capoluoghi di provincia nel periodo 2011-2020 secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5.

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 (NOx, COV, NH3, SOx), oltre che sulle emissioni dirette di PM10 sull'intero territorio regionale.

Alla scala locale, all'interno delle grandi aree urbane ed in prossimità delle principali sorgenti di emissione di PM10 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 PM10 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, si è fatto ricorso all'analisi costi benefici condotta attraverso lo strumento RIAT+ che ha permesso di selezionare, nell'ambito delle oltre 680 misure esaminate, quelle più efficaci al minimo costo.

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.

Le azioni che possono consentire il raggiungimento degli obiettivi del piano:

Nel diagramma di Figura 68 sono rappresentate, per ciascun macrosettore di intervento, le riduzioni delle emissioni relative allo scenario obiettivo di piano (punto 2 della curva di Pareto).

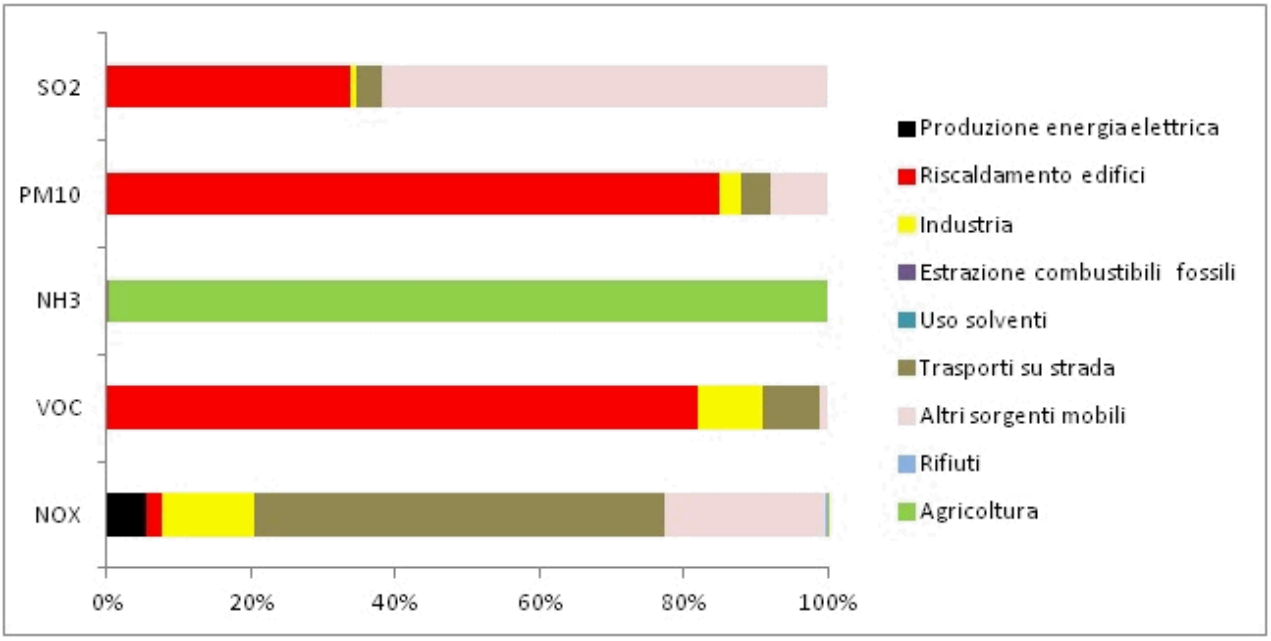


Figura 68: Riduzione delle emissioni in RIAT+ relative al punto2 della curva di Pareto.

Si può notare che sarebbe possibile ottenere una significativa riduzione di NH3 agendo sul settore dell'agricoltura, mentre per ridurre le emissioni di NOX sarebbe necessario agire principalmente sui trasporti stradali e sulle altre sorgenti mobili. Infine per ridurre una larga parte di emissioni di PM10 primario dovrebbero essere promosse azioni principalmente nel settore del riscaldamento degli edifici (impianti di combustione non industriale). L'analisi ha permesso inoltre di selezionare le tecnologie attualmente disponibili e più efficaci per ottenere i risultati mostrati. Senza entrare nei dettagli della lunga lista di tecnologie applicabili per abbattere le emissioni in ciascun macrosettore, vengono di seguito indicati i principali settori di intervento suggeriti dall'analisi costi-benefici.

Trasporti stradali

Le misure applicate nel settore dei **trasporti stradali** potrebbero permettere di raggiungere il 57% dell'obiettivo di riduzione per NOx. Le misure più efficaci sono legate alla sostituzione dei vecchi veicoli commerciali pesanti e leggeri con veicoli a ridotte emissioni (Euro6). Questa misura applicata in particolare ai veicoli diesel porterebbe al raggiungimento del 40% circa dell'obiettivo di riduzione nel settore trasporti. Le rimanenti quote sarebbero raggiungibili agendo sui veicoli leggeri (benzina e diesel) in particolare all'interno delle aree urbane, attraverso l'incremento delle aree a basse emissioni e lo spostamento della mobilità urbana verso forme meno inquinanti come il trasporto pubblico, la mobilità ciclabile ed i veicoli elettrici, come previsto dal documento preliminare di piano.



Figura 69: la sostituzione dei vecchi veicoli commerciali pesanti diesel per il trasporto delle merci, con veicoli a basse emissioni costituisce una delle misure più efficaci nel settore dei trasporti su strada.

Agricoltura

Le misure applicate nel settore **agricoltura** permetterebbero di raggiungere il 100% dell'obiettivo di riduzione per l'ammoniaca (NH3). Le tecnologie selezionate sono rappresentate dalla applicazione combinata all'allevamento di bovini, suini, pollame ed altri animali di alimentazione a basso contenuto di azoto, biofiltrazione e copertura delle vasche di stoccaggio dei liquami associate alla adozione di tecniche di spandimento a basso rilascio di ammoniaca ed ad un miglioramento dei ricoveri per animali in modo da minimizzare la produzione ed il rilascio di ammoniaca. A queste misure si aggiunge l'impiego di fertilizzanti a basso tenore di urea. Molte di queste azioni sono state individuate anche dal Piano di Sviluppo Rurale che prevede di incentivare la riduzione dell'azoto escreto mediante modifiche nell'alimentazione degli animali con diete a ridotto contenuto proteico e basate su adeguati livelli di aminoacidi essenziali.





Figura 70: la adozione di tecniche di spandimento a basso rilascio di ammoniaca rappresenta una delle misure per ridurre le emissioni di questo importante precursore dell'inquinamento da polveri PM10 e PM2.5

Altre sorgenti mobili

Il 20% dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di NOx potrebbe essere ottenuto attraverso interventi nel settore delle **sorgenti mobili non stradali**, in particolare delle macchine agricole, per il quale lo scenario tendenziale (CLE-ER 2020) non ipotizza riduzioni di emissioni significative. Si stima che interventi sulle macchine agricole a gasolio potrebbero portare alla riduzione delle emissioni di NOx compresa tra 5.000 e 7.000 ton/anno e di PM10 compresa tra 1.000 e 1.200 ton/anno.



Figura 71: la sostituzione delle vecchie macchine agricole consentirebbe di ridurre le emissioni di NOx

Edifici

Molte le misure possibili nel settore del **riscaldamento/rinfrescamento degli edifici**. Queste misure comprendono l'aumento dell'efficienza energetica (isolamento), il cambio del sistema di combustione, la sostituzione dei combustibili e la riduzione dei consumi di combustibile. Nella Figura 72 viene mostrata la stima della riduzione relativa (%) delle emissioni rispetto allo scenario attuale (INEMAR-ER 2010) ottenibile applicando le migliori tecnologie disponibili al massimo tasso di applicazione (MFR) a sistemi di combustione attuali per tipo di combustibile (biomassa, GPL, gasolio, gas metano). L'aumento della efficienza energetica negli edifici produrrebbe effetti significativi sulle emissioni di NOX legate al riscaldamento/rinfrescamento ed alla produzione di energia con fonti fossili. In particolare sono stati esaminati i potenziali di riduzione delle emissioni di NOX dell'aumento dell'utilizzo di pompe di calore (-22%), delle caldaie ad alta efficienza (-14%), delle valvole termostatiche, solare termico ed isolamento degli edifici (complessivamente -17%).

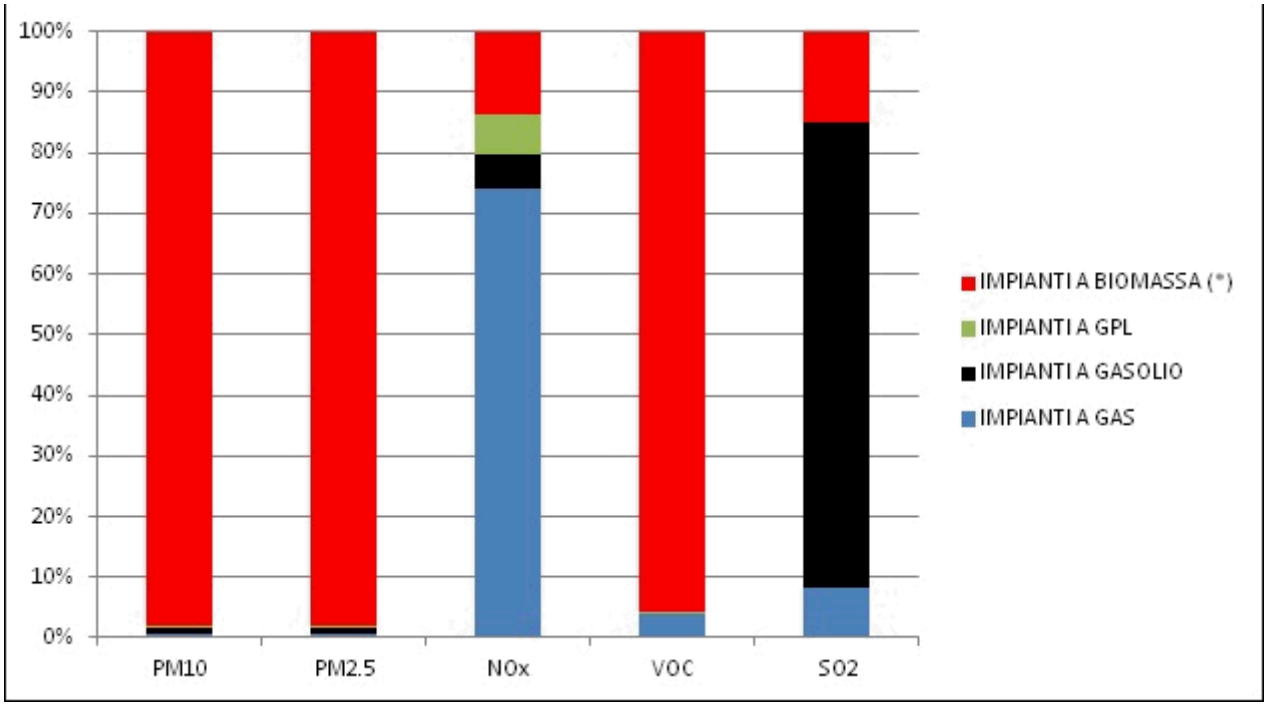


Figura 72: variazioni in emissione rispetto a CLE supponendo il massimo tasso di applicazione (MFR).

Dalla figura si nota come una quota assai rilevante (oltre l'80%) dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di PM10 e composti organici volatili (VOC) sarebbe ottenibile attraverso misure rivolte alla sostituzione/controllo degli impianti a biomassa (camini, stufe) utilizzati per il riscaldamento degli edifici (per gli impianti a biomassa si è ipotizzato che i sistemi di combustione siano rappresentate da camini aperti). Interventi in questo settore sono possibili aumentando il tasso di applicazione (AR) delle tecnologie pulite ai sistemi di combustione delle biomasse. Per stimare i benefici ambientali della applicazione di tecnologie pulite sono stati ipotizzati (Tabella 13) tre diversi tassi di applicazione delle 5 principali tecnologie di combustione (Camino aperto, Camino chiuso, Stufa tradizionale a legna, Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna, Stufa o caldaia innovativa).



Figura 73: alcuni esempi di stufe innovative (a sinistra). Un camino chiuso (a destra)

TIPOLOGIA DI COMBUSTORE	base INEMAR-ER 2010	tendenziale CLE 2020	Obiettivo PAIR 2020
	AR %	AR %	AR %
Camino aperto	85	20	5
Camino chiuso	15	80	95
Stufa tradizionale a legna	74	30	5
Stufa automatica a pellets o cippato o BAT legna	19	40	50
Stufa o caldaia innovativa	7	30	45

Tabella 13: tassi di applicazione delle principali tipologie di sistemi di combustione domestica di biomasse in tre scenari emissivi.

I benefici ottenuti in termini di riduzione delle emissioni sono riportati nella Figura 74.

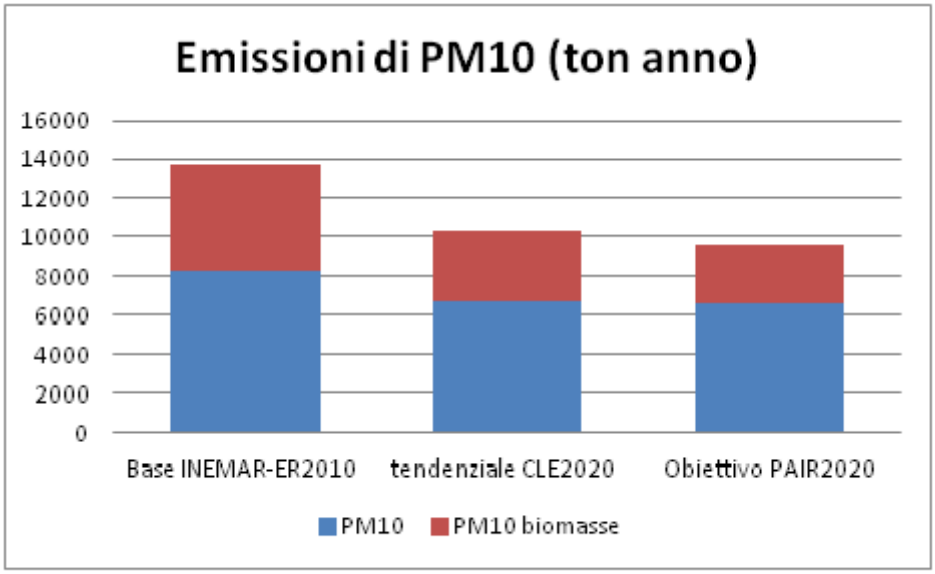


Figura 74: riduzione delle emissioni di PM10 primario modificando il tasso di applicazione dei sistemi di combustione domestica di biomassa.

Attività produttive e produzione di energia

Il contributo delle **attività produttive e industriali** rispetto al totale emissivo regionale rappresenta il 12% di PM10, il 50% di COV, il 14% di NOx e l'80% di SO2, anche se in maniera non uniforme nei diversi ambiti territoriali (Figura 75) .

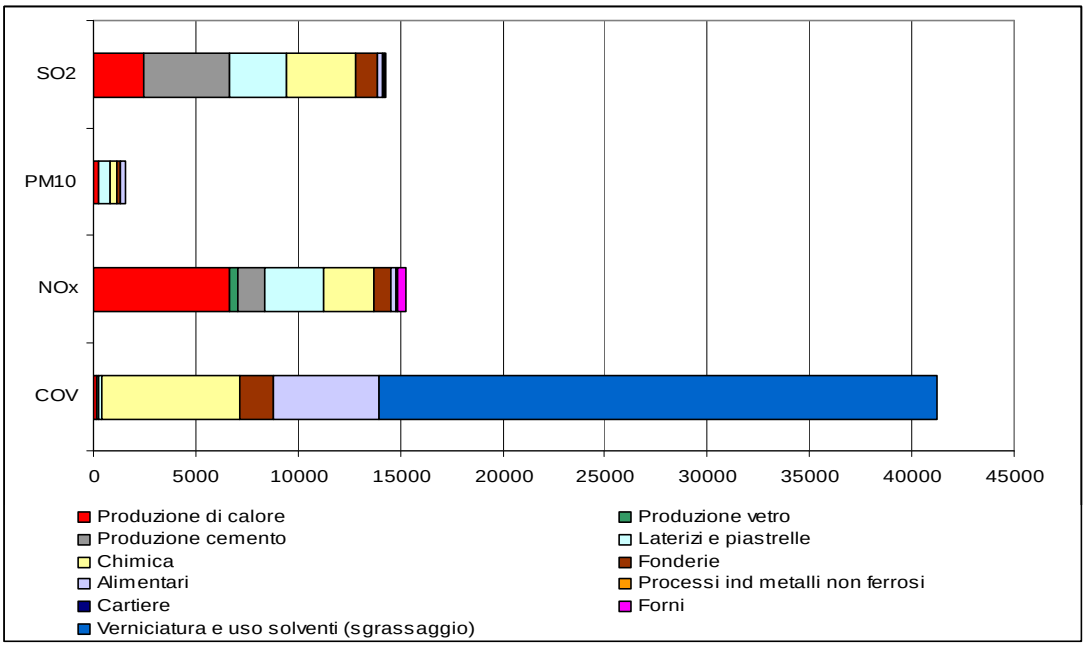


Figura 75: contributo dei vari settori produttivi alle emissioni inquinanti in Emilia-Romagna (fonte INEMAR-ER 2010)

Si stima che il 18% dell'obiettivo di riduzione delle emissioni di NOx potrebbe essere ottenuto attraverso interventi nei **processi produttivi, nella combustione industriale e dell'industria manifatturiera**

Molte le tecnologie disponibili per ridurre le emissioni in questi settori, che vanno dall'introduzione di misure tecnologiche (BAT) che riducono le emissioni degli impianti, il risparmio energetico nei processi produttivi e la sostituzione dei combustibili. Tra le misure tecnologiche si citano ad esempio l'impiego più esteso di precipitatori elettrostatici e abbattitori di polveri nei settori maggiormente inquinanti come i cementifici e l'industria siderurgica e l'utilizzo di caldaie e fornaci ad alta efficienza. Interventi che devono essere valutati ed applicati caso per caso in fase di autorizzazione alle emissioni prescrivendo la applicazione delle migliori tecnologie disponibili.

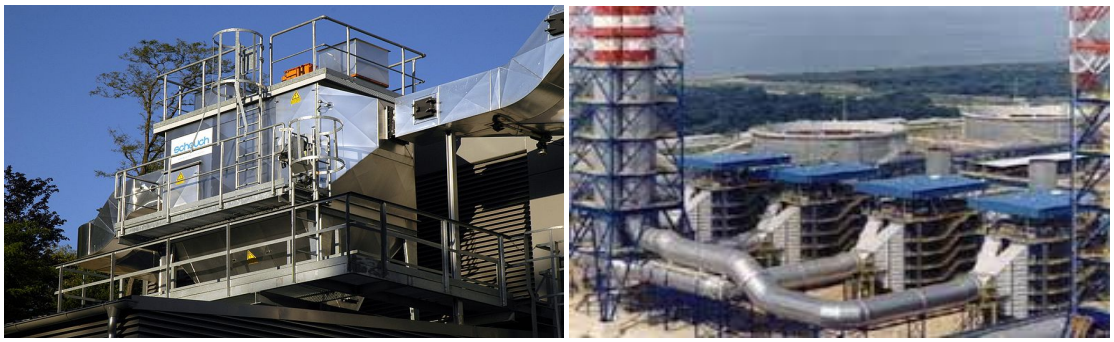


Figura 76: precipitatore elettrostatico di un sistema di riscaldamento a biomassa con potenza di 2 MW (a sinistra - fonte wikipedia), centrale di cogenerazione di Imola (a destra).

Le aree urbane (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:

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	5%
M2:Combustione non industriale	19302	38%	4223	21%	6814	25%	324	19%	34	0%	3304	9%	1261	33%	389	4%
M3: Combustione nell'industria	1327	3%	2145	11%	559	2%	121	7%		0%	3264	8%	190	5%	3462	38%
M4: Processi produttivi	7782	15%	1949	10%	2239	8%	29	2%	634	8%	2293	6%	347	9%	3673	40%
M5: Estraz/distrib comb		0%		0%	1637	6%		0%		0%		0%		0%		0%
M6: Uso solventi		0%		0%	11573	42%		0%		0%		0%		0%		0%
M7: Trasporto su strada	19506	39%	4465	23%	3539	13%	129	8%	295	4%	21358	55%	1620	43%	130	1%
M8: Altre sorgenti mobili	1215	2%	222	1%	450	2%	43	3%	0	0%	2509	6%	214	6%	874	10%
M9: Tratt/smaltim rifiuti	62	0%	405	2%	28	0%	120	7%	55	1%	314	1%	3	0%	179	2%
M10: Agricoltura		0%		0%	8	0%	844	50%	6524	87%	120	0%	110	3%		0
M11: Altre sorg emi/assorb			-123	-1%												
Totale Comuni-AQA	**50459**	**100%**	**19824**	**100%**	**27531**	**100%**	**1681**	**100%**	**7542**	**100%**	**39069**	**100%**	**3772**	**100%**	**9118**	**100%**
contributo Comuni-AQA		28%		51%		28%		19%		15%		37%		28%		52%

Tabella 14: 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.

Dalla riga "contributo comuni-AQA" della Tabella 14 si nota come questi comuni forniscano un contributo significativo (compreso tra il 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 è la diversa proporzione dei contributi di ciascun macrosettore al dato totale, rispettivamente per l'intera regione (Tabella 4: ripartizioni delle emissioni di sostanze inquinanti dell'Emilia-Romagna (t/anno) per macrosettore Corinair ed inquinante

) e per i comuni AQA (Tabella 14). 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 77.

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.

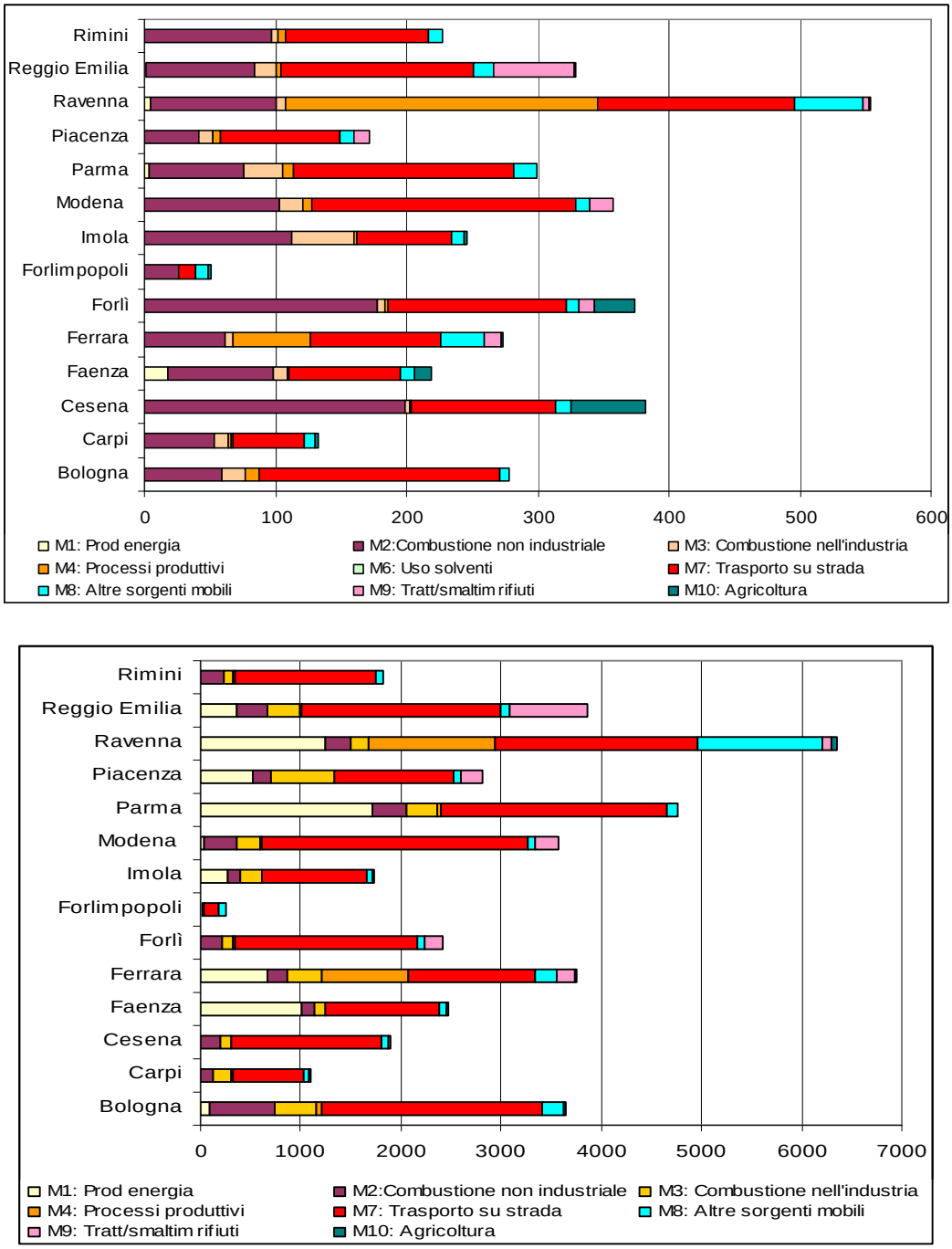


Figura 77: emissioni per macrosettore nei comuni AQA. PM10 in alto, NOX in basso.

Lo scenario di piano

Lo scenario obiettivo di piano ha portato a stimare di quanto è necessario ridurre le emissioni degli inquinanti primari e dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 per raggiungere gli standard di qualità dell'aria richiesti dalla normativa. Nel percorso di elaborazione del piano sono poi state individuate una serie di misure per raggiungere gli obiettivi di riduzione stimati. L'impatto di queste misure sulle emissioni inquinanti e, di conseguenza sulla qualità dell'aria, costituisce l'oggetto dell'analisi dello scenario di piano qui presentata. L'analisi si articola nella stima delle emissioni regionali relative allo scenario emissivo di piano e nella successiva valutazione della qualità dell'aria.

Le emissioni regionali nello scenario di piano

Lo scenario emissivo di piano contiene la stima delle emissioni degli inquinanti corrispondenti all'applicazione delle misure e azioni di riduzione previste dal piano aria PAIR 2020 e descritte nella Relazione generale, al capitolo 9,, al quale si rimanda per i dettagli.

L'impatto sulle emissioni inquinanti di ciascuna delle misure previste dal piano è stata valutata per i rispettivi ambiti di intervento sui quali agisce il piano aria: trasporti stradali (traffico), edifici (riscaldamento/rinfrescamento degli edifici), agricoltura (inclusi i mezzi agricoli) e industria.

I risultati sono mostrati nella Tabella 15 e riassunti graficamente nella Figura 78, dove vengono riportate le emissioni annuali dei principali inquinanti e dei loro precursori nello scenario di riferimento (2010), messe a confronto rispettivamente con lo scenario tendenziale "NO Piano" (CLE-ER 2020) e con lo scenario di piano (PAIR 2020).

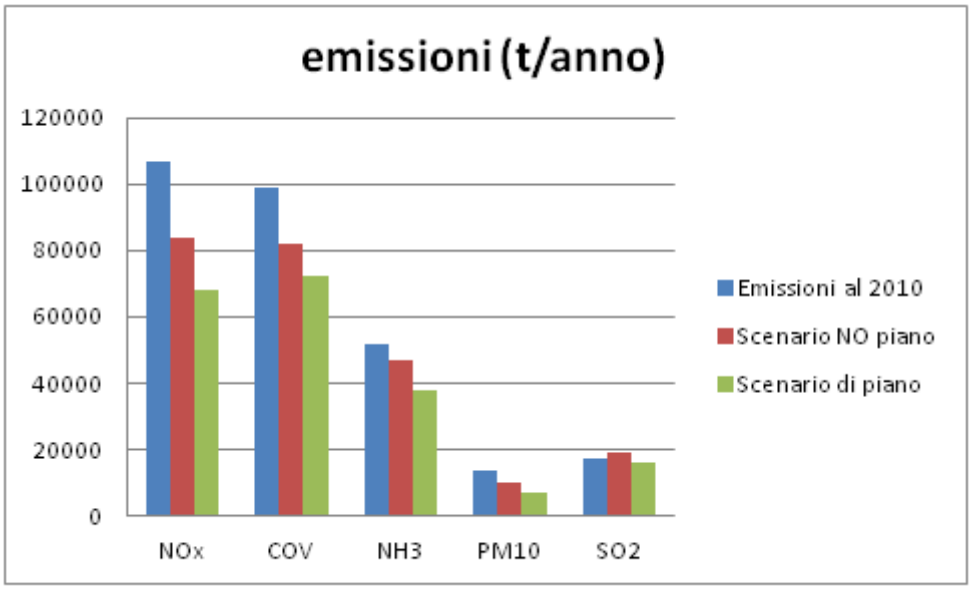


Figura 78: Emissioni (t/anno) nello scenario di riferimento 2010 (colonne blu), nello scenario tendenziale No piano (colonne rosse) e nelle scenario di piano (colonne verdi)

MISURE PAIR 2020	RIDUZIONE DELLE EMISSIONI (t/anno)				
TRAFFICO	**NOx**	**COV**	**NH_3**	**PM10**	**SO_2**
Città: limitazione circolazione e domeniche ecologiche	571	117	3	48	5
Città: ZTL – aree pedonali – piste ciclabili -TPL	1942	395	7	149	23
Rinnovo parco veicolare - Tassazione differenziata	272	24		1	1
Rinnovo TPL (tutti i veic pre euro III)	172	43		26	
Trasporti: riduzione flussi autoveicoli su strade extraurbane e piccole aree urbane	1310	342	37	275	35
Trasporto merci	1497	39	2	93	18
Ecodriving	495	18	2	16	3
TOTALE TRAFFICO	**6259**	**978**	**51**	**608**	**85**
CIVILE					
Efficienza edifici	958	1812		338	135
Regolamentazione uso caminetti	52	4546		701	
Sostituzione gasolio con metano in impianti civili	121	-11		26	546
Abbassamento temperatura da termico civile dovuta a: obbligo contacalorie nei centralizzati, comunicazione, chiusura porte locali	454	821	12	162	90
TOTALE CIVILE	**1585**	**7168**	**12**	**1227**	**771**
AGRICOLTURA					
Agricoltura - allevamenti			4699		
Agricoltura - fertilizzanti			4657		
Mezzi agricoli	5526			934	
TOTALE AGRICOLTURA	**5526**	**0**	**9356**	**934**	**0**
INDUSTRIA					
Efficienza edifici industriali	334	58		25	285
Applicazione BAT	601	1227		58	
Sostituzione olio combustibile con gasolio in impianti industriali	130	6		146	1490
TOTALE INDUSTRIA	**1065**	**1291**	**0**	**229**	**1775**
MISURE NAZIONALI					
Interventi su autostrade	**1457**	**10**	**0**	**50**	**0**
	NOx	**COV**	**NH_3**	**PM10**	**SO_2**
TOTALE MISURE	**15891**	**9448**	**9418**	**3047**	**2631**

Tabella 15: stima delle riduzioni delle emissioni in Emilia-Romagna dei principali inquinanti per effetto della applicazione delle misure del piano aria PAIR 2020 (ton/anno)

La riduzione delle emissioni riportate in tabella 10.1.1 corrisponde ad una variazione rispetto ai valori del 2010 delle emissioni di PM10 del -47%, di NH_3 del -27%, di NOx del -36%, di SO_2 del- 7% e di COV (- 27%).

Nelle figure seguenti è rappresentato il contributo in termini emissivi e percentuali alla riduzione delle emissioni ottenibili con le misure di piano, dai diversi settori di intervento.

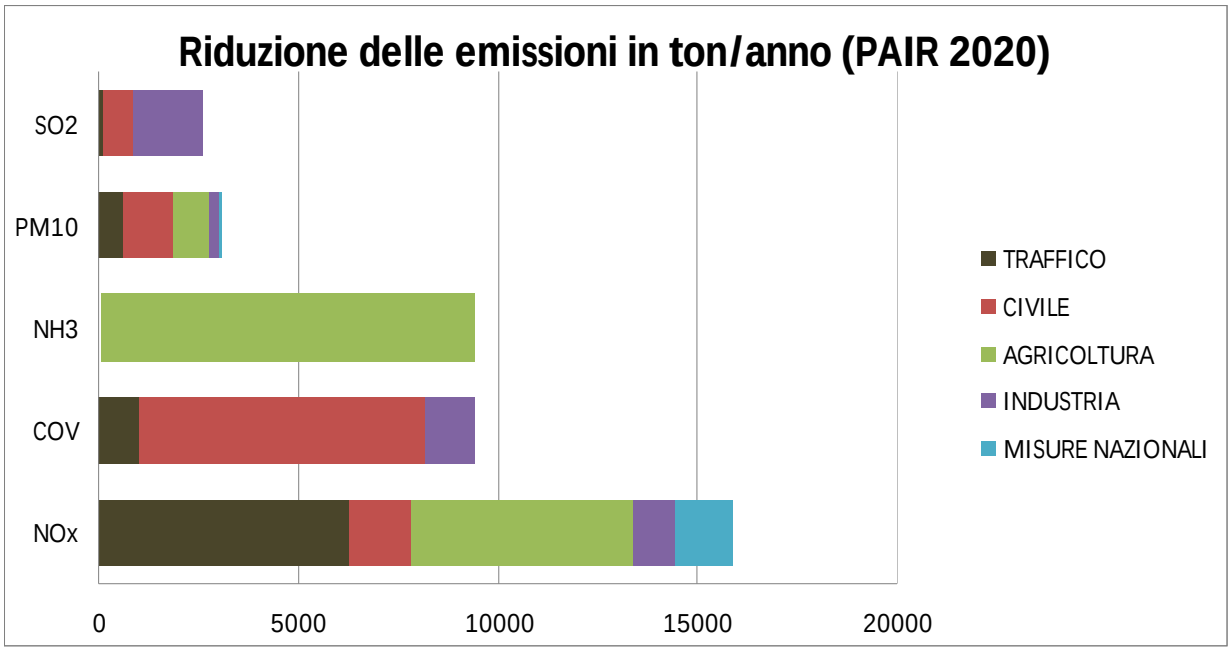


Figura 79: Contributo dei settori di intervento alla riduzione delle emissioni (t/a) nello scenario di Piano (PAIR 2020)

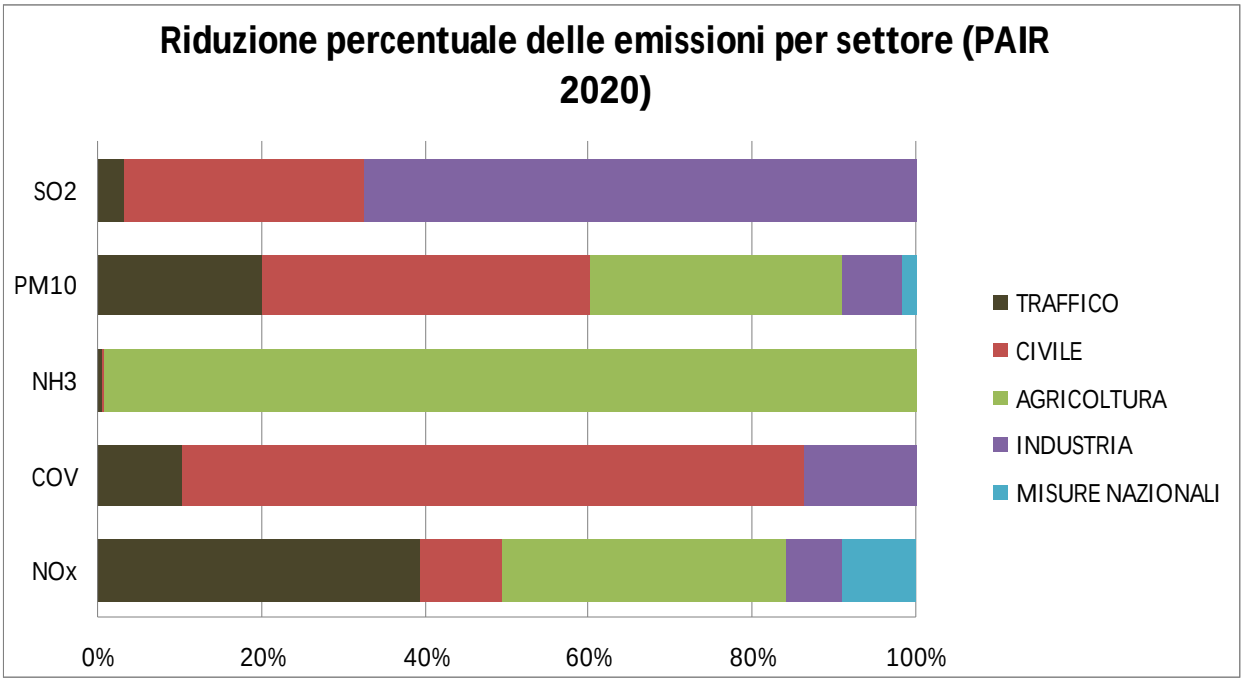


Figura 80: Contributo percentuale di ogni settore di intervento alla riduzione delle emissioni nello scenario di Piano (PAIR 2020)

Nel seguito viene descritta la metodologia applicata per stimare le riduzioni emissive per ciascun ambito di intervento.

Trasporti stradali:

L'efficacia degli interventi di **limitazione della circolazione e del rinnovo TPL** è stata valutata da ARPA utilizzando i fattori di emissione (FE) utilizzati per la compilazione dell'inventario delle emissioni INEMAR-ER 2010. I FE specifici per l'Emilia-Romagna (Tabella 16) considerano il parco veicolare circolante e le percorrenze e velocità tipiche della regione.

Sono state valutate le misure di limitazione della circolazione previste per il 2020 (veicoli a benzina pre euro III, GPL e Metano pre euro II e diesel pre euro V) applicate in tutti i Comuni con più di 30.000 abitanti ed in tutti i Comuni appartenenti all'agglomerato di Bologna. L'efficacia di queste misure potrà essere ulteriormente rafforzata nel 2025 quando il piano prevede di estendere le limitazioni ai veicoli diesel pre euro VI.

L'efficacia degli interventi relativi al rinnovo dei veicoli ed alla tassazione differenziata dei veicoli diesel è stata valutata ipotizzando che, per effetto degli interventi, il tasso annuo di sostituzione dei veicoli Euro5 diesel con veicoli gpl/benzina sia del 6%.

L'efficacia dell'ecodriving è stata valutata da ARPA come una riduzione del 15% dei consumi ed ipotizzando che il 10% dei guidatori lo applichi.

Le misure nazionali sulle autostrade sono state valutate da RER ipotizzando che si adottino misure sulla circolazione autostradale con la stessa efficacia di quelle adottate dal PAIR in ambito urbano ed extraurbano. Si è valutato che queste azioni porterebbero ad una riduzione di circa 1.400 ton di NOx.

Settore	Combustibile	Tipo legislativo	COV	NH3	NOx	PM10	SO2
AUTOMOBILI	benzina	Euro II - 94/12/EC	211	169	305	29	6
		Euro III - 98/69/EC Stage 2000	47	16	73	28	6
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	41	16	33	28	6
		Euro V	20	6	47	28	7
		Euro VI – futuro	18	10	14	28	7
	Diesel	Euro II - 94/12/EC	61	1	680	85	6
		Euro III - 98/69/EC Stage 2000	26	1	748	66	6
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	9	1	548	64	6
		Euro V	5	1	371	28	6
		Euro VI – futuro	5	1	129	28	6
	GPL	Euro II - 94/12/EC	47	0	122	27	0
		Euro III - 98/69/EC Stage 2000	36	0	83	27	0
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	5	0	43	27	0
		Euro V	1	0	28	27	0
	metano	Euro II - 94/12/EC	43	0	118	27	0
		Euro III - 98/69/EC Stage 2000	31	0	79	27	0
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	5	0	43	27	0
		Euro V	3	0	41	27	0
COMMERCIALI LEGGERI	benzina	Euro III - 98/69/EC Stage 2000	57	7	62	39	12
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	41	6	22	39	13
		Euro V	11	3	36	39	12
		Euro VI-.futuro	11	3	36	39	12
	diesel	Euro III - 98/69/EC Stage 2000	107	1	992	105	8
		Euro IV - 98/69/EC Stage 2005	41	1	807	73	8
		Euro V	32	1	619	39	8
		Euro VI-.futuro	31	1	411	39	8
COMMERCIALI PESANTI	diesel	Euro III - 1999/96/EC	320	3	7035	306	25
		Euro IV - COM(1998) 776	17	3	4391	178	24
		Euro V - COM(1998) 776	19	3	2763	181	26
		Euro VI - futuro	18	3	1408	158	26

Tabella 16: Fattori di emissione in mg/km utilizzati per la valutazione delle misure sui trasporti stradali (Fonte INEMAR).

Edifici

L'efficacia degli interventi **sull'efficienza energetica degli edifici** è stata valutata da RER utilizzando il foglio di calcolo fornito da ARPA che permette di valutare le azioni fornendo come input il tasso di applicazione relativo al massimo potenziale previsto per il piano. Le azioni sono state estratte dal data base delle azioni Gains/RIAT+ che identifica 33 triplette settore-attività-tecnologie riguardanti l'efficienza energetica degli edifici (si veda la documentazione relativa al metodo di calcolo prodotta da ARPA). A ciascuna azione è stato associato un potenziale di azione che rappresenta il massimo tasso si applicazione (AR) che si stima possibile (ad es. si stima che la prima azione "coibentazione degli edifici domestici riscaldati a gas" non possa essere applicata su oltre il 57 % degli edifici in quanto i nuovi sarebbero già coibentati e gli edifici troppo obsoleti non sarebbero coibentabili a costi ragionevoli).

Si prevede che il piano agisca soprattutto su alcune misure quali **l'isolamento delle pareti e l'installazione di caldaie a condensazione**, interventi, che, nel caso dei privati (e non delle Amministrazioni Pubbliche) godono attualmente della detrazione fiscale del 65% o dei Certificati Bianchi, oltre **all'installazione di pannelli solari e di pompe di calore** che possono usufruire del Conto Energia Termico.

La valutazione della **sostituzione degli impianti a biomassa più inquinanti** (regolamentazione uso caminetti) è stata eseguita da RER utilizzando il foglio di calcolo fornito da ARPA che permette di valutare le azioni utilizzando i fattori di emissione applicati nell'inventario INEMAR ER 2010. Le tecnologie analizzate ed il rispettivo tasso di applicazione (AR) nello scenario tendenziale (CLE-ER 2020) ed in un ipotetico scenario di piano, sono riportate nella Tabella 13. Il foglio di calcolo fornisce in output la riduzione delle emissioni per inquinante in funzione dei tassi di applicazione dei vari impianti. Si è ipotizzato che il PAIR 2020 possa portare ad una evoluzione al 2020 analoga a quella fornita per lo scenario obbiettivo di piano.

La **Sostituzione di olio combustibile con gasolio** è stata valutata da RER ipotizzando la sostituzione del 60% degli impianti a gasolio.

L'efficacia della **riduzione dei consumi** associata alla diminuzione di un grado della temperatura nelle abitazioni è stata valutata in modo proporzionale alla quantità di energia risparmiata con misure di abbassamento temperatura/chiusura porte e comunicazione, ipotizzando che la riduzione di un grado porti ad un risparmio del 5% dei consumi.

Agricoltura (inclusi veicoli fuoristrada)

L'efficacia degli interventi sul **settore agricoltura (allevamenti e fertilizzanti)** è stata stimata da RER ipotizzando una copertura degli interventi da parte del Piano di Sviluppo Rurale (PSR).

Gli interventi sui **veicoli fuoristrada** (Off-road) sono stati valutati da ARPA ipotizzando che il PAIR 2020 possa portare ad una evoluzione del parco al 2020 analoga a quella fornita per lo scenario obiettivo di piano da RIAT+. Il calcolo si basa sui seguenti dati ricavati dall'inventario INEMAR-ER 2010:

		emissioni (t/a)	
	CONSUMI GJ	NOx	PM10
gasolio	10928472	10098	1519
benzina	41317	5.3	1

Nella tabella successiva viene riportata la composizione percentuale del parco veicolare al 2010 e l'evoluzione al 2020 ipotizzata dallo scenario obiettivo di piano (RIAT+ ER).

Classe di veicolo	parco2010	parco2020
Pre	64	18
stage1	12	7
stage2	6	3
stage3a	18	13
stage3b	0	24
stage4	0	35
stage5	0	0

I dati di consumo di combustibile a carico del settore agricolo sono stati forniti al momento della compilazione dell'inventario dall'ufficio regionale "Servizio Aiuti alle Imprese" dell'Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile. La misura consistente nella riduzione attesa e stimata dalle emissioni dai mezzi agricoli deriva anche dall'applicazione di una norma nazionale –DL. 179 del 18.10.2012 . In fase di monitoraggio del PAIR2020 e di valutazione di nuovi scenari emissivi tali obiettivi di riduzione potranno essere rivisti.

Industria

Gli interventi sul settore industriale previsti dal PAIR riguardano l'efficienza energetica degli edifici industriali, l'applicazione delle migliori tecnologie (BAT) e la sostituzione dei combustibili (Sostituzione olio combustibile con gasolio). L'efficacia di questi interventi è stata stimata da RER nei modi sotto descritti.

Per quanto riguarda **l'efficienza energetica degli edifici industriali** si è ipotizzato che i finanziamenti previsti dal POR possano produrre una riduzione di 84000 tep/anno dei consumi energetici, questa quota corrisponde al 2.7% dei consumi e quindi al 2.7% delle emissioni, rivalutati per evitare il doppio conteggio dato che alcune azioni sono già presenti nel CLE-ER 2020.

I benefici derivanti dalla **applicazione BAT** sono stati stimati da ARPA utilizzando il data base delle azioni Gains/RIAT+, che identifica in totale 687 azioni, delle quali 134 tecnologie nel settore industria (macrosettori 3, 4 e 5). In base all'analisi ottimale costi/benefici per lo scenario obiettivo di piano, sono state selezionate per l'Emilia-Romagna 16 tecnologie in grado di ridurre le emissioni di NOX in modo efficace per le quali si è ipotizzato un incremento del tasso di applicazione rispetto allo scenario tendenziale.

Le tecnologie ed i relativi tassi di applicazione sono le seguenti:

tecnologia	% di applicazione rispetto a ob di piano	Fattore penetrazione rispetto CLE	Nox ton	Voc ton	Nh3 ton	Pm10 ton	Pm25 ton	SO2 ton
Combustion modification and selective catalytic reduction on oil and gas industrial boilers and furnaces	68	0.34	2.176	0	0	0	0	0
Combustion modification and selective catalytic reduction on oil and gas industrial boilers and furnaces	90	0.99	60.39	0	0	0	0	0
Combustion modification and selective non-catalytic reduction on solid fuels fired industrial boilers and furnaces	60	0.96	5.76	0	0	0	0	0
Combustion modification on oil and gas industrial boilers and furnaces	64	1.152	0.448	0	0	0	0	0
Combustion modification and selective catalytic reduction on oil and gas industrial boilers and furnaces	64	3.008	5.248	0	0	0	0	0
Powder coating system (solvent free)	68	10.2	0	1227	0	0	0	0
Combustion modification on oil and gas industrial boilers and furnaces	69	11.523	12.7	0	0	0	0	0
Combustion modification on oil and gas industrial boilers and furnaces	67	11.993	49.9	0	0	0	0	0
Combustion modification on oil and gas industrial boilers and furnaces	65	12.285	463.7	0	0	0	0	0
Cyclone - - industrial process	67	0.134	0	0	0	0	0	0
Electrostatic precipitator: 2 fields - industrial processes	67	0.335	0	0	0	0.67	0.469	0
Electrostatic precipitator: 2 fields - industrial processes	68	0.612	0	0	0	0	0	0
High efficiency deduster - industrial processes	68	1.02	0	0	0	3.808	2.652	0

High efficiency deduster - industrial processes	68	2.312	0	0	0	4.284	2.924	0
High efficiency deduster - industrial processes	68	0.34	0	0	0	1.156	0.748	0
High efficiency deduster - industrial processes	69	0.345	0	0	0	48.3	32.913	0
			600	**1227**	**0**	**58.22**	**39.71**	**0.00**

La **Sostituzione dell'olio combustibile con gasolio in impianti industriali** è stata valutata sulla base dei fattori di emissione derivati dall'inventario delle emissioni INEMAR-ER, sostituendo i consumi di olio combustibile con gasolio.

Efficacia del piano regionale di gestione dei rifiuti

La valutazione dell'impatto del Piano regionale di gestione dei rifiuti (Piano adottato dalla Giunta Regionale con Delibera 103/2013) sulle emissioni di inquinanti atmosferici è stata condotta da ARPA utilizzando l'apposito modulo del software INEMAR-7, utilizzando i dati dello scenario del Piano Rifiuti 2020. Questo scenario prevede la chiusura al 2020 di alcune discariche, accompagnata da una significativa riduzione dei rifiuti urbani conferiti (si stima che al 2020 la riduzione del biogas prodotto dalle discariche sarà del 29%). Lo scenario prevede inoltre che il quantitativo di rifiuto che verrà bruciato al 2020 sarà pressoché il medesimo del 2010, pertanto non si prevedono significative variazioni delle emissioni degli inceneritori presenti in regione.

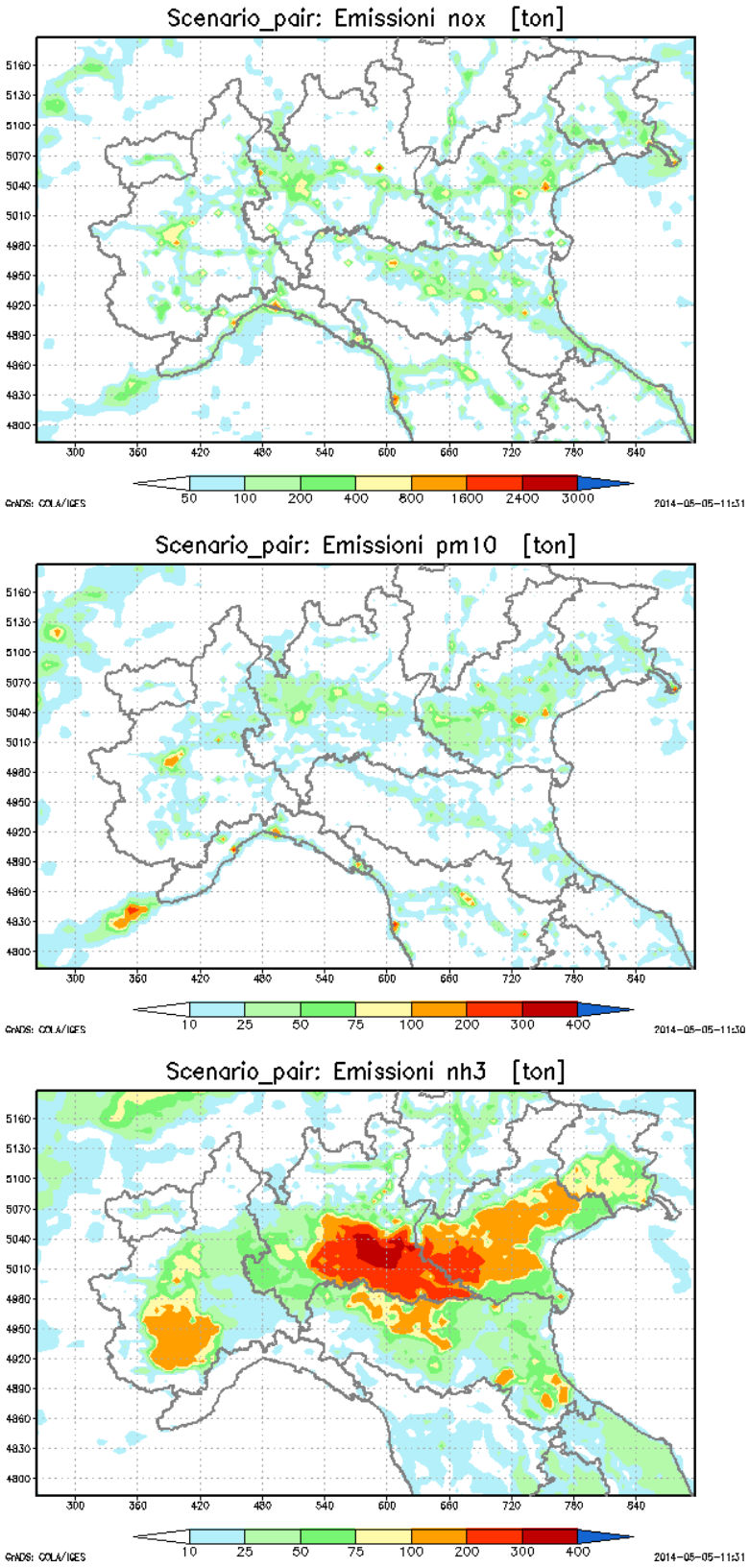
Come conseguenza di questo scenario si valuta che complessivamente non si verificheranno sostanziali variazioni delle emissioni degli inquinanti atmosferici oggetto del PAIR rispetto ai valori dello scenario di riferimento (2010). Per quanto riguarda i gas climalteranti si prevede invece una marcata riduzione delle emissioni di CH4 (-34480 ton) ed una diminuzione delle emissioni di CO2 (-70 kton).

Le emissioni extra-regionali

Ulteriori benefici sulla qualità dell'aria in Emilia-Romagna al 2020 possono derivare dalla realizzazione del PRIA – Piano Regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria della Regione Lombardia, approvato il 6 settembre 2013, con delibera n. 593. La riduzione delle emissioni dovute alla realizzazione del piano regionale della Lombardia, rispetto allo scenario tendenziale è di circa 10.000 ton di NOX, 8.000 ton di NH3 e 4.500 ton di PM10.

Nella valutazione degli effetti ambientali del PAIR mediante simulazione modellistica si è quindi fatto riferimento ad uno scenario emissivo che, oltre a considerare gli effetti delle variazioni emissive all'interno del territorio regionale presentate in Tabella 15 considera anche le ulteriori riduzioni prodotte dagli interventi pianificati dalla regione Lombardia.

La distribuzione territoriale delle emissioni dei principali inquinanti nello scenario emissivo di piano per l'Emilia-Romagna, il CLE-SEN 2020 ed il Piano della regione Lombardia fuori dall'Emilia-Romagna, è mostrata nella ~Figura 81.



~Figura 81 Emissioni in tonnellate/anno nello scenario di piano. PM10 in alto, NOx al centro, NH3 in basso

La qualità dell'aria nello scenario di piano (PAIR 2020)

La concentrazione in aria degli inquinanti atmosferici associata allo scenario emissivo di piano (~Figura 81) è stata stimata, con un metodo analogo a quello applicato per la valutazione degli scenari emissivi di riferimento e tendenziale, utilizzando il sistema modellistico NINFA-E descritto nel capitolo precedente , utilizzando come dati meteorologici di ingresso i dati relativi al 2010.

Di seguito vengono analizzati i risultati delle valutazioni per ciascun gruppo di inquinanti.

I risultati dell'analisi della distribuzione territoriale sono riportati nella Figura 82 per le polveri PM10 e PM2.5 e nella Figura 84 per il biossido di azoto NO2. Nelle mappe il territorio regionale è suddiviso in 5 tipologie di aree:

1. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua)
2. Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua)
3. Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi)
4. Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli)
5. Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua)

I risultati dell'analisi delle variazioni delle concentrazioni di PM10 nelle città capoluogo di provincia sono riportati nella Figura 83.

I risultati della stima della concentrazione sui punti ove sono collocate le stazioni di monitoraggio sono riportati nella Tabella 17 per PM10 e nella Tabella 18 per NO2.

Valutazioni per PM10 e PM2.5

La Figura 82 mostra i risultati della valutazione della distribuzione geografica della concentrazione in aria di PM10 individuando le aree di superamento del valore limite giornaliero e del valore limite annuale di PM10 e le aree di superamento del valore limite annuale di PM2.5.

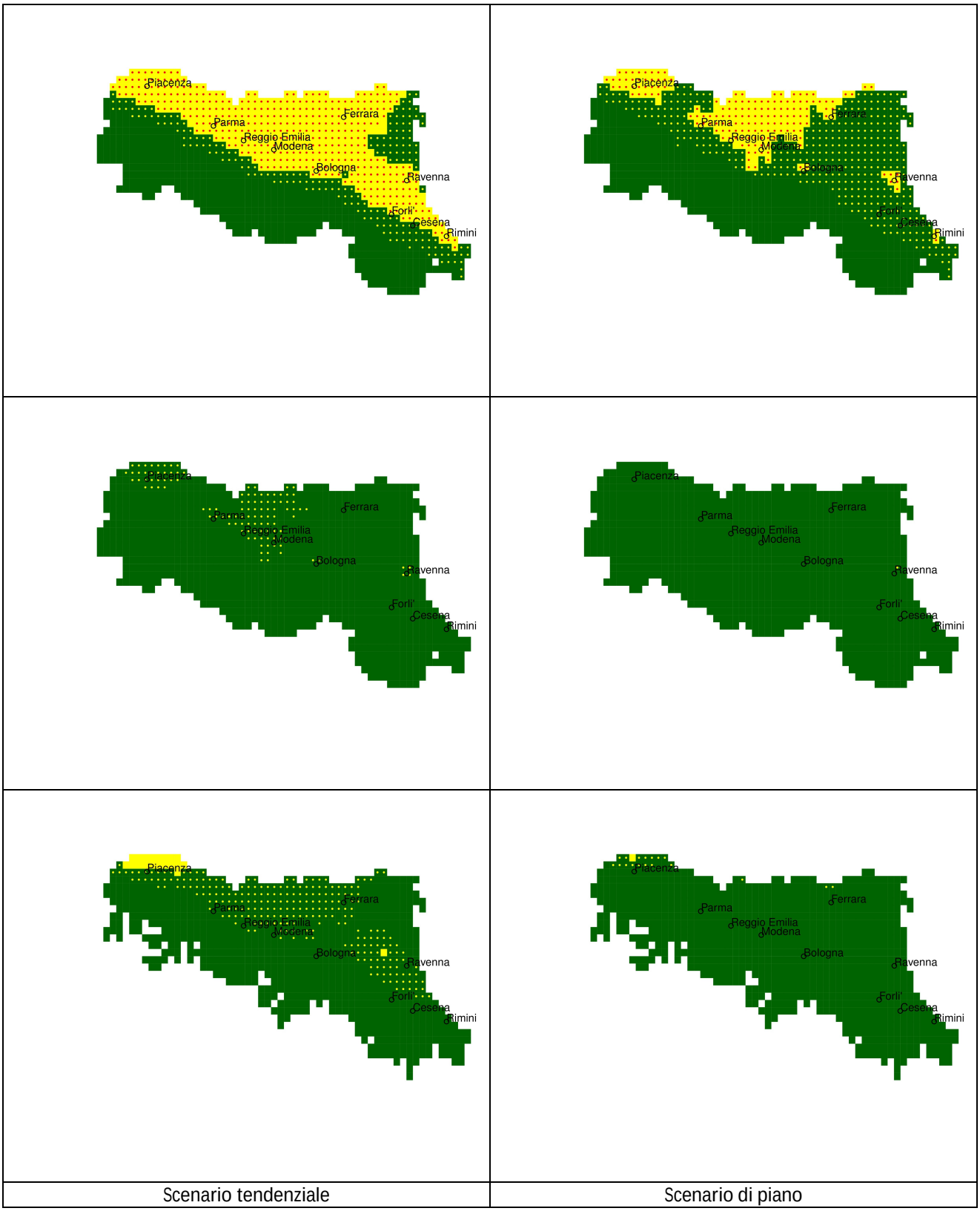


Figura 82 Aree di superamento del VL giornaliero per il PM10 (in alto), della media annuale di PM10 (al centro), della media annuale di PM2.5 (in basso) nello scenario di piano. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). Scenario tendenziale a sinistra, scenario di piano a destra.

I risultati possono essere sintetizzati come segue riportato nei punti seguenti.

PM10, valore limite giornaliero:

- l'applicazione delle misure dello scenario di piano porterebbe ad un sostanziale miglioramento delle qualità dell'aria, riducendo sensibilmente rispetto allo scenario tendenziale (Figura 55) le situazioni di superamento del VL giornaliero per PM10;
- si valuta che nelle aree con colorazione gialla con puntini rossi potrebbero verificarsi in tutti gli anni superamenti locali del valore limite giornaliero su parte del territorio ricadente all'interno della zona di pianura occidentale e nei dintorni delle aree urbane di Bologna, Ravenna e Rimini;
- nelle aree con colorazione verde con puntini gialli sarebbero possibili occasionali superamenti locali in parte del territorio negli anni meteorologicamente meno favorevoli.

PM10, valore limite annuale:

- il valore limite annuale già attualmente rispettato in buona parte del territorio regionale, sarebbe rispettato ovunque (aree con colorazione verde continua).

PM2.5, valore limite annuale:

- le aree di possibile superamento (aree con colorazione verde con puntini gialli) sarebbero limitate a una porzione molto ridotta del territorio regionale e solo negli anni meteorologicamente sfavorevoli con un sostanziale azzeramento della popolazione esposta.

La Figura 83 riassume i risultati della **stima dell'intervallo di concentrazione media annuale atteso in seguito alla applicazione delle misure del piano (scenario di piano) nelle città capoluogo di provincia** confrontato con gli scenari emissivi di riferimento (base2010) e tendenziale (CLE-ER 2020). Analogamente a quanto mostrato nella Figura 59 le barre indicano l'intervallo di variazione della concentrazione media annuale di PM10 relativa ai 9 capoluoghi della regione valutati considerando le condizioni meteorologiche tipiche (barre blu) o avverse (barre bianche con bordo blu). Le barre bianche con bordo grigio indicano invece l'intervallo associato alle peggiori condizioni possibili, ovvero condizioni meteorologiche avverse in presenza di elevate sorgenti di inquinanti (quartieri critici). Gli intervalli di concentrazione sono posti a confronto con il valore limite per la media annua (linea rossa) e con il valore limite equivalente per la media giornaliera (linea rossa tratteggiata).

Le stime mostrano come nello scenario di piano la concentrazione di PM10 scenderebbe al di sotto della soglia equivalente negli anni caratterizzati da condizioni meteorologiche tipiche in tutti i capoluoghi. Si verificherebbero invece superamenti in vari capoluoghi negli anni con meteorologia avversa e situazioni critiche frequenti negli agglomerati ad intensa densità emissiva (quartieri critici).

Estendendo questa analisi a tutto il territorio regionale si valuta che nello scenario di piano, nelle condizioni meteorologiche tipiche della pianura padana, la popolazione esposta a più di 35 superamenti l'anno scenderebbe dagli attuali 2.550.000 a circa 30.000 abitanti, cioè dal 64% al 1%. Tale popolazione risiederebbe all'interno di aree critiche poste al di fuori delle città capoluogo ed aventi una superficie complessiva di 50 Km2 pari a meno dell'1% del territorio regionale.

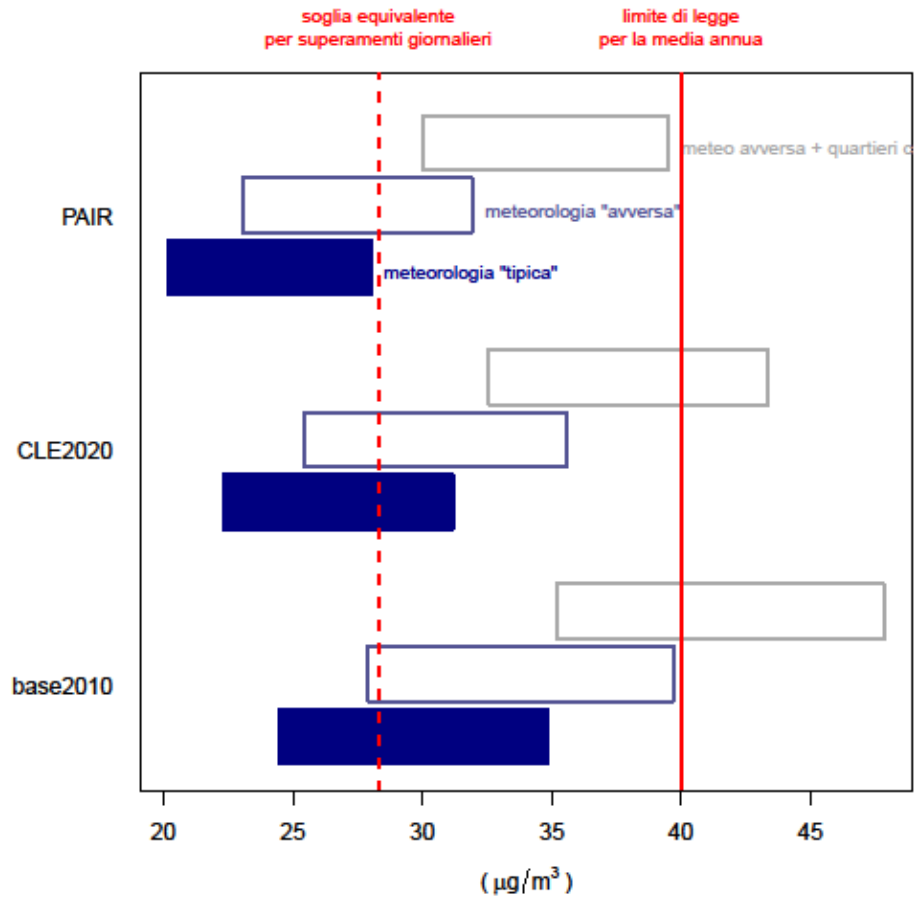


Figura 83. Variazione della concentrazione di PM10 in diversi scenari emissivi: di riferimento (base2010), tendenziale (CLE2020), scenario di piano (PAIR)

Per completare la valutazione degli **effetti sulla qualità dell'aria dovuti alle misure del piano** sono state stimate le **concentrazioni di PM10 al 2020 nei punti ove sono collocate le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria** per le quali erano disponibili dati di misura nell'anno di riferimento 2010. Le valutazioni sui punti stazione si riferiscono a condizioni meteorologiche tipiche.

La stima è stata condotta sulla base del calcolo dell'incremento/riduzione delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera nello scenario di piano rispetto al caso base. La variazione così ottenuta è stata applicata alle concentrazioni medie annuali misurate nelle stazioni nel 2010. Infine è stata applicata la correzione dovuta alla variabilità meteorologica secondo quanto descritto in appendice 4. I valori così ottenuti rappresentano le concentrazioni relative allo scenario di piano considerando una meteorologia "tipica" della valle padana. Il numero di superamenti del limite giornaliero è stato quindi valutato rispetto al valore limite equivalente di 28 µg/m^3 (si veda l'appendice 1).

In Tabella 17 viene riportata per ogni stazione la stima della concentrazione media annuale proiettata al 2020. Le stazioni la cui media annuale supera la soglia equivalente per il superamento del valore limite giornaliero (28.3 µg/m^3) sono evidenziate in grassetto, mentre l'ombreggiatura indica le stazioni per le quali

la proiezione al 2020 indica valori che rientrano nell'intervallo di incertezza associato al valore limite equivalente (si veda l'appendice 1).

I risultati permettono di evidenziare le situazioni sulle quali è necessario prestare la massima attenzione:

- si stima che solamente in 7 stazioni da traffico delle 37 stazioni valutate, potranno verificarsi nello scenario di piano ed in condizioni metorologiche tipiche, superamenti del valore limite giornaliero,
- ulteriori otto stazioni (7 di fondo ed 1 di traffico) potrebbero presentare situazioni di possibile superamento, con valori compresi nell'intervallo di incertezza tra 27.4 e 28.3 $\mu g/m^3$.

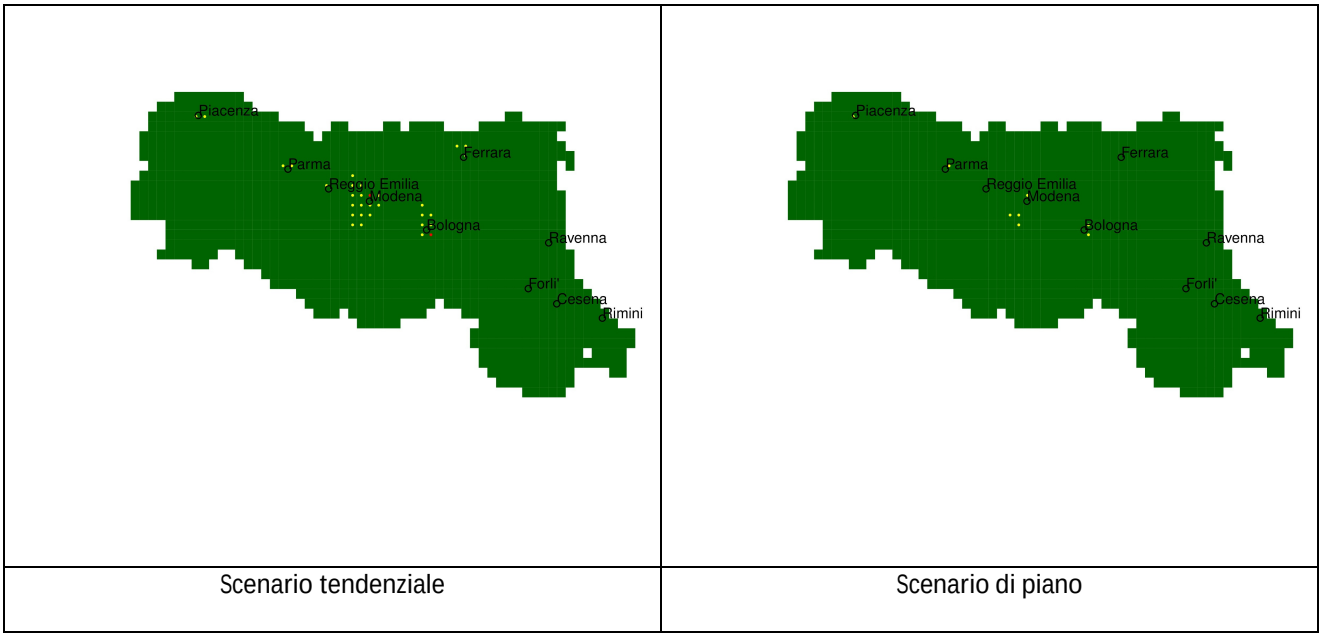
Queste potenziali situazioni di superamento, dovute alle sorgenti locali di inquinamento, saranno oggetto di particolare attenzione nel corso del monitoraggio del piano. Qualora i risultati del monitoraggio successivi alla messa in atto delle misure del piano, confermassero il superamento dei limiti si prevede di intervenire con misure specifiche sulle sorgenti locali di inquinamento.

Provincia	Nome stazione	Tipo Stazione	Concentrazioni medie annuali
PC	LUGAGNANO	Fondo	23.2
PC	PARCO MONTECUCCO	Fondo	26.6
PC	**GIORDANI-FARNESE**	**Traffico**	**29.2**
PR	BADIA	Fondo	17.4
PR	CITTADELLA	Fondo	27.5
PR	SARAGAT	Fondo	23.5
PR	MONTEBELLO	Traffico	28.3
RE	CASTELLARANO	Fondo	25.8
RE	FEBBIO	Fondo	6.8
RE	S. LAZZARO	Fondo	27.5
RE	S. ROCCO	Fondo	27.8
RE	**TIMAVO**	**Traffico**	**32.6**
MO	CARPI 2-REMESINA	Fondo	28.0
MO	MO - PARCO FERRARI	Fondo	27.5
MO	PARCO EDILCARANI	Fondo	21.1
MO	**CIRC. SAN FRANCESCO**	**Traffico**	**33.5**
MO	**MO - VIA GIARDINI**	**Traffico**	**32.2**
BO	GIARDINI MARGHERITA	Fondo	21.4
BO	SAN LAZZARO	Fondo	23.5
BO	SAN PIETRO CAPOFIUME	Fondo	22.8
BO	DE AMICIS	Traffico	23.2
BO	**PORTA SAN FELICE**	**Traffico**	**30.3**
FC	FRANCHINI-ANGELONI	Fondo	22.6
FC	PARCO RESISTENZA	Fondo	20.7
FC	SAVIGNANO	Fondo	28.2
FC	ROMA	Traffico	24.8
FE	CENTO	Fondo	26.7
FE	GHERARDI	Fondo	22.7
FE	VILLA FULVIA	Fondo	24.0
FE	**ISONZO**	**Traffico**	**31.4**
RA	DELTA CERVIA	Fondo	24.9
RA	PARCO BUCCI	Fondo	22.0
RA	ZALAMELLA	Traffico	26.5
RN	MARECCHIA	Fondo	28.3
RN	MONDAINO	Fondo	13.7
RN	VERUCCHIO	Fondo	18.7
RN	**FLAMINIA**	**Traffico**	**29.9**

Tabella 17. Concentrazioni medie annue di PM10 in $\mu g/m^3$ nelle stazioni della rete QA nello scenario emissivo di piano con meteorologia "tipica". In grassetto le stazioni superiori al valore limite annuale. Le stazioni comprese nell'intervallo di incertezza sono ombreggiate.

Valutazioni per l'NO2

La Figura 84 mostra i risultati della valutazione della distribuzione geografica della concentrazione in aria di NO2 individuando le aree di superamento del valore limite annuale.



Scenario tendenziale	Scenario di piano

Figura 84. Aree di superamento del VL annuale per NO2 nello scenario di piano. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). Scenario tendenziale a sinistra, scenario di piano a destra.

La valutazione (Figura 84) evidenzia una ulteriore riduzione delle aree potenzialmente critiche evidenziate negli scenari di riferimento e tendenziale (CLE-ER 2020) mostrati in Figura 58.

Data la marcata dipendenza dell'inquinamento da NO2 dalle fonti di emissione locali, anche per questo inquinante sono state stimate le **concentrazioni nei punti ove sono collocate le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria** nello scenario di piano. Sono state considerate le stazioni per le quali erano disponibili dati di misura nell'anno di riferimento 2010. Il metodo di stima è analogo a quello applicato per PM10 precedentemente decritto. Le valutazioni sui punti stazione si riferiscono a condizioni meteorologiche tipiche.

I risultati della stima sono presentati nella Tabella 18 dove, analogamente a quanto fatto per PM10, viene riportata per ogni stazione la stima della concentrazione media annuale proiettata al 2020. Le stazioni la cui media annuale supera la soglia equivalente per il superamento del valore limite annuale (40 $\mu g/m^3$) sono evidenziate in grassetto, mentre l'ombreggiatura indica le stazioni per le quali la proiezione al 2020 indica valori che rientrano all'interno dell'intervallo tra i 35 e i 40 $\mu g/m^3$, assunto come intervallo di incertezza associato al valore limite annuale.

I risultati evidenziano le situazioni sulle quali è necessario prestare la massima attenzione:

- si stima che la media annuale potrebbe superare la soglia di 40 μg/m^3 solamente in due stazioni da traffico, mentre nelle stazioni di fondo la concentrazione resterebbe inferiore ai 30 μg/m^3 ;
- 4 stazioni da traffico si collocano all'interno dell'intervallo di incertezza con concentrazioni comprese tra 35 e 40 μg/m^3.

Queste sei stazioni (indicate con * nella tabella) sono oggetto di proroga dei termini per il rispetto dei valori limite di NO2, sulla base degli esiti dell'istanza attivata dallo Stato Italiano ai sensi dell'art. 22 della Direttiva 2008/50/CE. Nell'istruttoria della richiesta di proroga si è valutato comunque che in questi punti, in conseguenza delle azioni aggiuntive di miglioramento della qualità dell'aria attivate e previste nelle aree interessate, i valori rientrino all'interno dei limiti entro l'anno 2015 (27).

Tuttavia, analogamente a quanto attuato per PM10, **queste potenziali situazioni di superamento, dovute alle sorgenti locali di inquinamento, saranno oggetto di particolare attenzione nel corso del monitoraggio del piano.**

[27] DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 06.07.2012 relativa alla notifica della Repubblica italiana di proroga del termine stabilito per raggiungere i valori limite per il biossido di azoto in 48 zone di qualità dell'aria e DECISIONE DELLA COMMISSIONE del 30.4.2014 relativa alla nuova notifica da parte dell'Italia di una proroga del termine stabilito per raggiungere i valori limite fissati per il biossido di azoto in 10 zone di qualità dell'aria (http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/time_extensions.htm)

Provincia	Nome Stazione	Tipo Stazione	Concentrazioni medie annue	
PC	BESENZONE	Fondo	13	
PC	LUGAGNANO	Fondo	22	
PC	PARCO MONTECUCCO	Fondo	25	
PC	BESENZONE	Fondo	13	
PC	LUGAGNANO	Fondo	22	
PC	PARCO MONTECUCCO	Fondo	25	
PC	**GIORDANI-FARNESE**	**Traffico**	**41**	*
PR	BADIA	Fondo	16	
PR	CITTADELLA	Fondo	28	
PR	SARAGAT	Fondo	19	
PR	MONTEBELLO	Traffico	38	*
RE	CASTELLARANO	Fondo	25	
RE	FEBBIO	Fondo	6	
RE	S. LAZZARO	Fondo	24	
RE	S. ROCCO	Fondo	20	
RE	TIMAVO	Traffico	34	
MO	CARPI 2-REMESINA	Fondo	29	
MO	GAVELLO	Fondo	12	
MO	MO - PARCO FERRARI	Fondo	31	
MO	PARCO EDILCARANI	Fondo	25	
MO	CIRC. SAN FRANCESCO	Traffico	40	*
MO	MO - VIA GIARDINI	Traffico	39	*
BO	SAN PIETRO CAPOFIUME	Fondo	16	
BO	DE AMICIS	Traffico	30	
BO	**PORTA SAN FELICE**	**Traffico**	**43**	*
BO	SAN LAZZARO	Traffico	32	
FO	FRANCHINI-ANGELONI	Fondo	20	
FO	PARCO RESISTENZA	Fondo	23	
FO	SAVIGNANO	Fondo	16	
FO	ROMA	Traffico	29	
FE	CENTO	Fondo	24	
FE	GHERARDI	Fondo	13	
FE	OSTELLATO	Fondo	13	
FE	VILLA FULVIA	Fondo	22	
FE	ISONZO	Traffico	37	*
RA	BALLIRANA	Fondo	12	
RA	CAORLE	Fondo	18	
RA	DELTA CERVIA	Fondo	12	
RA	PARCO BUCCI	Fondo	15	
RA	ZALAMELLA	Traffico	27	
RN	MARECCHIA	Fondo	17	
RN	SAN CLEMENTE	Fondo	9	
RN	VERUCCHIO	Fondo	10	
RN	FLAMINIA	Traffico	33	

Tabella 18 Concentrazioni medie annuali di NO2 in$\mu g/m^3$ nelle stazioni delle rete QA nello scenario emissivo di piano con meteorologia "tipica".

OZONO

L'ozono presenta condizioni di marcata e frequente criticità in tutta la regione, come descritto nel paragrafo " Il superamento dei valori limite per l'ozono".

Come è noto, le strategie di riduzione delle concentrazioni di ozono troposferico sono rese complesse sia dalla grande scala spaziale caratteristica di questo inquinante, sia dal fatto che si tratta di un inquinante che si forma in atmosfera a causa di reazioni chimiche favorite da intenso irraggiamento e temperature elevate, tipiche delle condizioni estive.

Le peculiarità dell'inquinamento da ozono possono essere così schematicamente riassunte:

- scala spaziale estesa dovuta alla origine esclusivamente secondaria di questo inquinante;
- relazione non lineare tra emissioni dei precursori (NOx e COV) e concentrazione in aria;
- forte influenza delle condizioni meteorologiche (irraggiamento solare) (si veda il capitolo ")

In conseguenza di queste peculiarità le azioni per la riduzione dell'inquinamento da ozono possono risultare efficaci solo se applicate a larga scala, attraverso piani di azione di carattere nazionale se non di carattere europeo.

L'analisi modellistica evidenzia una sostanziale stabilità dei valori di AOT40 (Figura 85) assunti come riferimento per la protezione della vegetazione, e del numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (media mobile su otto ore inferiore a 120 •g/m^3) nei vari scenari considerati (Figura 86).

Si stima invece una riduzione dei valori massimi di ozono in conseguenza dell'applicazione delle misure del piano, con una significativa diminuzione del numero di ore in cui la concentrazione di ozono supera la soglia di informazione di 180 •g/m^3 (Figura 87).

La riduzione dei valori massimi di ozono non è tuttavia sufficiente per soddisfare gli obiettivi di qualità dell'aria in vigore per questo inquinante (D.Lvo. 155/2010). Al proposito occorre rilevare come, in virtù delle sopraelencate peculiarità dell'inquinamento da ozono, la valutazione costi-benefici (si veda il capitolo "Obiettivi di riduzione delle emissioni inquinanti per il rispetto dei Valori Limite di PM10: lo scenario obiettivo di piano (PAIR 2020)") ha evidenziato come anche l'applicazione delle massime riduzioni possibili (scenario MFR -) sul territorio regionale, non sarebbe in grado di ridurre la concentrazione di ozono. D'altro canto i costi relativi associati a questo scenario sarebbero sproporzionati[28] rispetto ai costi dello scenario obiettivo di piano, risultando di oltre 10 volte superiori ai costi previsti per il raggiungimento dell'obiettivo di piano sul PM10.

[28] Art 13 D.Lgs. del 13 agosto 2010, n. 155

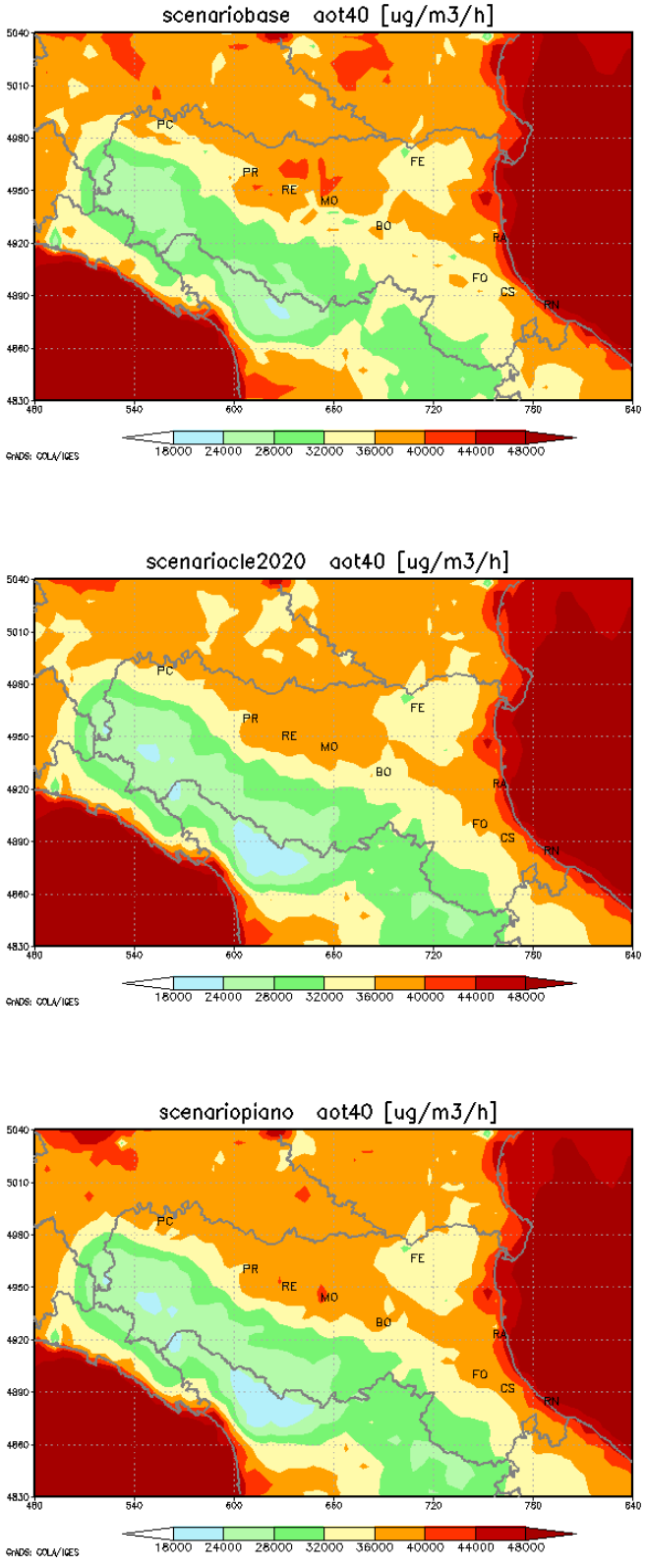


Figura 85. AOT40 calcolato da maggio a luglio (µg/m^3/h) nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso). Valore obiettivo per la protezione della vegetazione 18.000

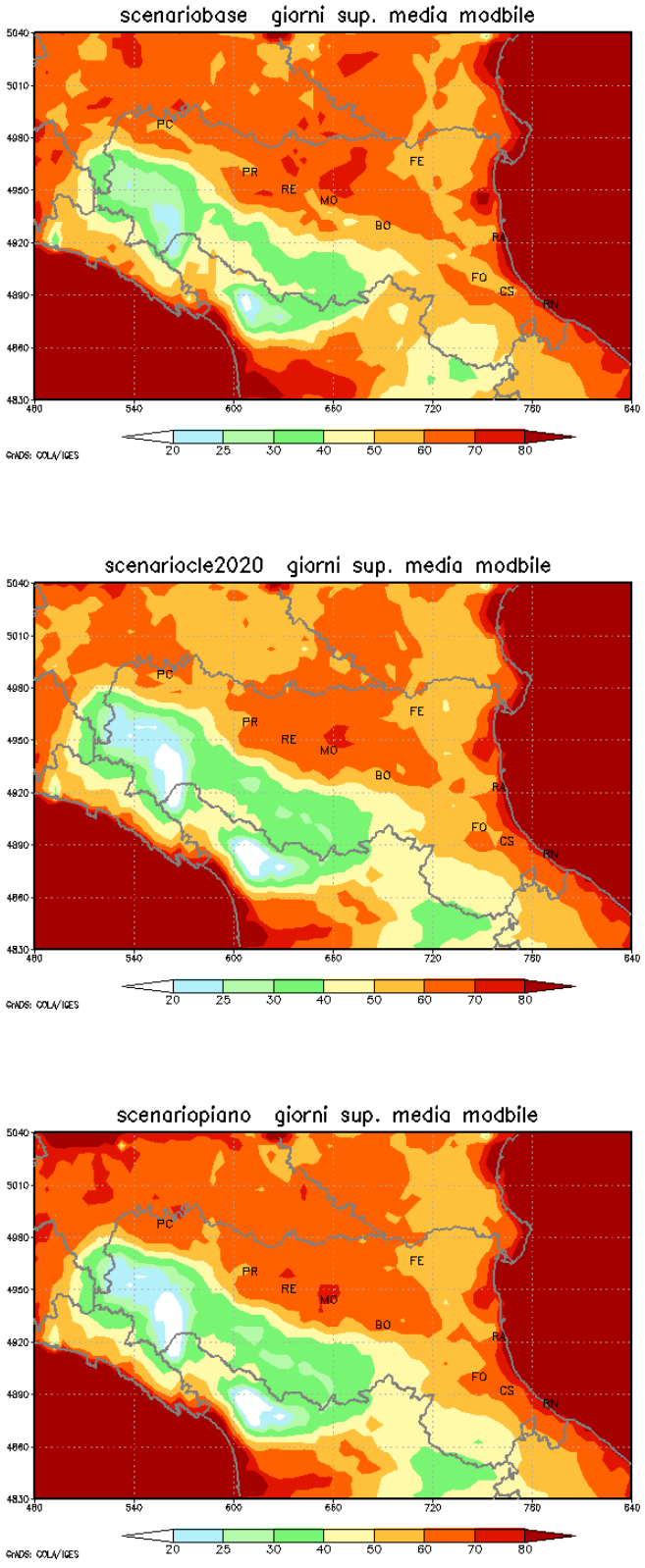


Figura 86: numero di giorni di superamento della media mobile di 8 ore per l'ozono nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso). Valore obiettivo per la protezione della salute umana 120 $\mu g/m^3$ da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni.

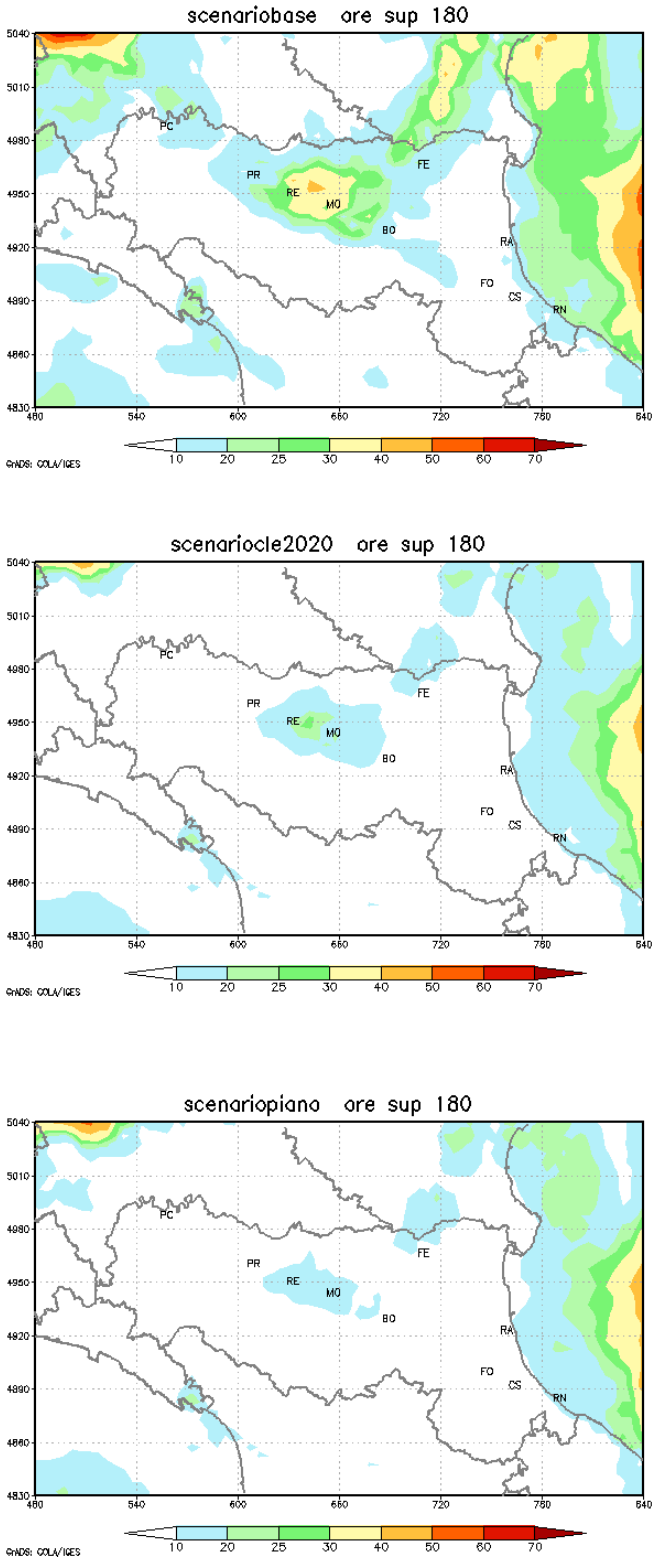


Figura 87: Numero di ore di superamento della soglia di informazione (valore orario superiore a 180 µg/m^3) nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso)

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 10
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. 12
Figura 5: rappresentazione schematica delle relazioni tra cambiamenti climatici, parametri meteorologici e concentrazioni di ozono (da Chiesa 2013) 14
Figura 6: distribuzione di frequenza delle temperature massime a Parma nei mesi estivi. La linea nera si riferisce al clima attuale, le linee colorate al clima stimato da un insieme di modelli per il trentennio 2021-2050 (da Chiesa 2013). 15
Figura 7: distribuzione di frequenza del massimo giornaliero delle concentrazioni di Ozono a Parma nei mesi estivi. La linea nera si riferisce al clima attuale, le linee colorate al clima stimato da un insieme di modelli per il trentennio 2021-2050 (da Chiesa 2013) 15
Figura 8: La zonizzazione del territorio dell'Emilia-Romagna (DLgs 155/2010)) 17
Figura 9: schema a blocchi del sistema integrato di valutazione , previsione e gestione della qualità dell'aria in Emilia-Romagna 19
Figura 10: le stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria e la zonizzazione. (Approvati con Deliberazione n. 2001/2011 della Giunta Regionale) 21
Figura 11: stazioni della sottorete meteorologica per la meteorologia urbana. 21
Figura 12: esemplificazione dei principali output di RIAT+ 26
Figura 13: Architettura del progetto Supersito 28
Figura 14: Ubicazione dei siti di monitoraggio del progetto Supersito 29
Figura 15: andamento della media annuale di PM10 dal 2001 al 2013. La linea rossa indica il valore limite annuale (40 $\mu g/m^3$). I valori rilevati ogni anno dalle stazioni da traffico (in alto), di fondo urbano e suburbano (al centro) e di fondo rurale (in basso) sono rappresentati come boxplot. Ciascun box è centrato sulla mediana e rappresenta il 25° e 75° percentile dei valori medi annuali. Le linee verticali rappresentano il massimo e minimo. 32
Figura 16: andamento del n. di superamenti del valore limite giornaliero per PM10 33
Figura 17: andamento giorni critici PM10 34
Figura 18: andamento della popolazione esposta a PM10 superiore al valore limite giornaliero 34
Figura 19: 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%. 35
Figura 20: scatter plot tra concentrazioni medie annuali e indicatore Rank36: stazioni dell'Emilia Romagna 36

Figura 21: 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 (in alto) e nell'anno 2013 (in basso)..... 37
Figura 22: PM10, ripartizione per aree geografiche dell'origine dell'inquinamento. 38
Figura 23: andamento della media annuale di NO2 dal 2001 al 2012. La linea rossa indica il valore limite (40 $\mu g/m^3$) 41
Figura 24: stazioni con superamenti del valore limite annuale nel 2010 (fonte: Regione Emilia-Romagna, richiesta di proroga del termine per il conseguimento e deroga per il biossido di azoto, PG 2011 0182321 del 27/07/2011)..... 42
Figura 25: numero di stazioni che hanno superato il limite annuale di NO2 nel 2013 a livello provinciale ... 42
Figura 26: 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%..... 43
Figura 27: origine geografica dell'inquinamento da NOx..... 44
Figura 28: andamento del numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute per l'ozono (massimo giornaliero della media mobile su 8 ore 120 $\mu g/m^3$ da non superare più di 25 volte come media sui tre anni (linea rossa)..... 45
Figura 29: andamento dei giorni favorevoli alla formazione di ozono..... 46
Figura 30: andamento della popolazione esposta a ozono superiore al valore obiettivo per la protezione della salute umana 46
Figura 31: 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%. 47
Figura 32: mappa della distribuzione geografica del n. di superamenti del livello di protezione della salute per l'ozono nel 2010 (a sinistra e nel 2013 (a destra). 48
Figura 33: andamento della media annuale di PM2.5 dal 2005 al 2013. La linea rossa indica il valore limite (25 $\mu g/m^3$) in vigore dal 1° gennaio 2015)..... 49
Figura 34: mappa della distribuzione territoriale della concentrazione media annuale di PM2.5 nell'anno 2010 (a sinistra) e nell'anno 2013 (a destra)..... 50
Figura 35: andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale 50
Figura 36: origine geografica dell'inquinamento da PM2.5 51
Figura 37: andamento, media mobile 8 ore CO a sinistra e andamento media annua SO2 a destra 52
Figura 38: andamento medie annuali Benzene a sinistra e Benzo (a) pirene, media annuale a destra 52
Figura 39: andamento Arsenico, media annuale a sinistra e Cadmio, media annuale a destra 53
Figura 40: andamento Nichel, media annuale a sinistra, Piombo, media annuale a destra..... 53
Figura 41 Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito Urbano di Bologna (MS)..... 57
Figura 42: Concentrazioni medie mensili di PM2.5 e PM1 nel sito rurale (SPC) 57
Figura 43: Chiusura di massa dei diversi parametri analizzati su PM2.5, nei 4 siti per le due stagioni. 58
Figura 44: Numeri di giorni con presenza di eventi di nucleazione, classificati per tipologia, nel sito di SPC 58
Figura 45. Emissioni annuali delle regioni del bacino padano ad esclusione della regione Emilia-Romagna (ton/anno) 59

Figura 46: 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 , ammoniaca (NH3) al centro, PM10 in basso..... 60
Figura 47 ripartizione delle emissioni di sostanze inquinanti per macrosettore 62
Figura 48 ripartizione delle emissioni ed assorbimenti di sostanze climalteranti per macrosettore 62
Figura 49: ripartizione delle emissioni per tipo di combustibile 64
Figura 50: Emissioni (t anno) ER vs BPA..... 64
Figura 51: La ripartizione delle emissioni tra i vari macrosettori nello scenario CLE 2020 per l'Emilia – Romagna messo a confronto con lo scenario di riferimento. 68
Figura 52: Curva di Pareto dell'ottimizzazione di PM10 (concentrazione media annuale in blu, e i relativi effetti su NO_2 in rosso e ozono - AOT40 in verde). Il punto 1 corrisponde allo scenario CLE-ER 2020, il punto 2 è stato scelto come obiettivo di piano PAIR 2020, il punto 5 corrisponde allo scenario di massima riduzione possibile MFR..... 70
Figura 53 – Variazione delle emissioni (ton/anno) dei principali precursori dell'inquinamento da PM10 necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale..... 71
Figura 54: 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. 73
Figura 55: aree di superamento del VL giornaliero per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). 75
Figura 56: aree di superamento del VL annuale per PM10 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). 76
Figura 57: aree di superamento del VL annuale per PM2.5 nello scenario di riferimento (BPA 2010) in alto a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) in alto a destra, nello scenario obiettivo di piano(PAIR 2020) in basso a sinistra e nello scenario di massima riduzione possibile (MFR) in basso a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con

colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). 77
Figura 58: aree di superamento del VL annuale per NO2 nello scenario di riferimento (BPA 2010) a sinistra, nello scenario tendenziale (CLE 2020) a destra. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). 77
Figura 59: variazione della concentrazione di PM10 in diversi scenari emissivi, di riferimento (base 2010), tendenziale (CLE2010), obiettivo di piano (obb.PAIR), massima riduzione possibile (MFR)..... 79
Figura 60: Andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale nei tre scenari di riduzione ipotizzati rispetto al 2010. Residenti nella regione Emilia-Romagna. 81
Figura 61: Riduzione del livello medio di PM2.5 (•g/m3) nella regione Emilia-Romagna secondo i tre scenari. 82
Figura 62: Guadagno nella speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in mesi nella regione Emilia Romagna secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5. 83
Figura 63: Somma dei decessi posticipati (asse principale e intervalli di confidenza in grassetto) e numero medio di decessi posticipati per 100,000 abitanti (asse secondario) nella regione Emilia Romagna nel periodo 2011-2020 secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5. 83
Figura 64: Andamento della popolazione esposta a valori di PM2.5 superiori al limite annuale nei tre scenari di riduzione ipotizzati rispetto al 2010. Residenti nei 9 capoluoghi di provincia. 84
Figura 65:Riduzione del livello medio di PM2.5 (•g/m3) nei 9 capoluoghi di provincia secondo i tre scenari. 85
Figura 66: Guadagno nella speranza di vita alla nascita al 2020 espressa in mesi nei 9 capoluoghi di provincia secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5. 86
Figura 67: Somma dei decessi posticipati (asse principale e intervalli di confidenza in grassetto) e numero medio di decessi posticipati per 100,000 abitanti (asse secondario) nei 9 capoluoghi di provincia nel periodo 2011-2020 secondo i tre scenari di riduzione di PM2.5. 87
Figura 68: Riduzione delle emissioni in RIAT+ relative al punto2 della curva di Pareto. 88
Figura 69: la sostituzione dei vecchi veicoli commerciali pesanti diesel per il trasporto delle merci, con veicoli a basse emissioni costituisce una delle misure più efficaci nel settore dei trasporti su strada..... 89
Figura 70: la adozione di tecniche di spandimento a basso rilascio di ammoniaca rappresenta una delle misure per ridurre le emissioni di questo importante precursore dell'inquinamento da polveri PM10 e PM2.5..... 89
Figura 71: la sostituzione delle vecchie macchine agricole consentirebbe di ridurre le emissioni di NOx..... 90
Figura 72: variazioni in emissione rispetto a CLE supponendo il massimo tasso di applicazione (MFR). 90
Figura 73: alcuni esempi di stufe innovative (a sinistra). Un camino chiuso (a destra) 91
Figura 74: riduzione delle emissioni di PM10 primario modificando il tasso di applicazione dei sistemi di combustione domestica di biomassa. 92
Figura 75: contributo dei vari settori produttivi alle emissioni inquinanti in Emilia-Romagna (fonte INEMAR-ER 2010)..... 92
Figura 76: precipitatore elettrostatico di un sistema di riscaldamento a biomassa con potenza di 2 MW (a sinistra - fonte wikipedia), centrale di cogenerazione di Imola (a destra). 93

Figura 77: emissioni per macrosettore nei comuni AQA. PM10 in alto, NOX in basso. 95
Figura 78: Emissioni (t/anno) nello scenario di riferimento 2010 (colonne blu), nello scenario tendenziale No piano (colonne rosse) e nelle scenario di piano (colonne verdi) 96
Figura 79: Contributo dei settori di intervento alla riduzione delle emissioni (t/a) nello scenario di Piano (PAIR 2020) 98
Figura 80: Contributo percentuale di ogni settore di intervento alla riduzione delle emissioni nello scenario di Piano (PAIR 2020) 98
.Figura 81Emissioni in tonnellate /anno nello scenario di piano. PM10 in alto, NOx al centro, NH3 in basso 104
Figura 82 Aree di superamento del VL giornaliero per il PM10 (in alto), della media annuale di PM10 (al centro), della media annuale di PM2.5 (in basso) nello scenario di piano. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). Scenario tendenziale a sinistra, scenario di piano a destra. 106
Figura 83. Variazione della concentrazione di PM10 in diversi scenari emissivi: di riferimento (base2010), tendenziale (CLE2020), scenario di piano (PAIR) 108
Figura 84. Aree di superamento del VL annuale per NO2 nello scenario di piano. Superamenti su tutto il territorio in tutti gli anni (aree con colorazione rossa continua), Superamenti su parte del territorio in tutti gli anni (aree con colorazione gialla con puntini rossi), Superamenti su tutto il territorio in alcuni anni (aree con colorazione gialla continua), Superamenti su parte del territorio in alcuni anni (aree con colorazione verde con puntini gialli), Non si verificano superamenti (aree con colorazione verde continua). Scenario tendenziale a sinistra, scenario di piano a destra. 111
Figura 85. AOT40 calcolato da maggio a luglio (µg/m^3/h) nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso). Valore obiettivo per la protezione della vegetazione 18.000 115
Figura 86: numero di giorni di superamento della media mobile di 8 ore per l'ozono nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso). Valore obiettivo per la protezione della salute umana 120 µg/m^3 da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni. 116
Figura 87: Numero di ore di superamento della soglia di informazione (valore orario superiore a 180 µg/m^3) nello scenario di riferimento (in alto), nello scenario tendenziale (al centro) e nello scenario di piano (in basso) 117

Tabella 1: numero di giorni all'anno con concentrazioni di ozono > 180 µg/m3 a Parma. Le prime due colonne si riferiscono al clima passato (1960-90) e presente (2001-2012), le altre alle stime di un insieme di modelli per il clima futuro (da Chiesa 2013). 16
Tabella 2: stazioni della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria 22
Tabella 3: componenti naturale e antropica del PM10 39
Tabella 4: ripartizioni delle emissioni di sostanze inquinanti dell'Emilia-Romagna (t/anno) per macrosettore Corinair ed inquinante. 61

Tabella 5: ripartizioni delle emissioni e assorbimenti di sostanze climaleranti dell'Emilia-Romagna per macrosettore Corinair ed inquinante. 62
Tabella 6: emissioni (ton/anno) nello scenario di riferimento (scenario base BPA-2010) e negli scenari proiettati. 65
Tabella 7 – emissioni totali nei 3 scenari e obiettivi di riduzione delle emissioni dell'Emilia-Romagna necessaria al rispetto del VL giornaliero per PM10 su gran parte del territorio regionale (esclusi gli hot spot). Gli obiettivi di riduzione sono stabiliti in relazione allo scenario tendenziale. 71
Tabella 8: Emissioni dello scenario obiettivo in ton/anno inquinanti per macrosettore di intervento 74
Tabella 9: Riduzioni nel valore medio regionale di PM2.5 (•g/m3) pesato sulla popolazione residente nelle sezioni di censimento e relativo intervallo di confidenza (estremo inferiore "bestMeteo"; estremo superiore "worstMeteo"). Residenti nella regione Emilia-Romagna. 81
Tabella 10:. Impatti positivi della riduzione di PM2.5 per i residenti nella regione Emilia-Romagna..... 82
Tabella 11: Riduzioni nel valore medio regionale di PM2.5 (•g/m3) pesato sulla popolazione residente nelle sezioni di censimento e relativo intervallo di confidenza (estremo inferiore "bestMeteo"; estremo superiore "worstMeteo"). Residenti nei 9 capoluoghi di provincia. 85
Tabella 12: Impatti positivi della riduzione di PM2.5 per i residenti nei 9 capoluoghi di provincia..... 86
Tabella 13: tassi di applicazione delle principali tipologie di sistemi di combustione domestica di biomasse in tre scenari emissivi. 91
Tabella 14: 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. 94
Tabella 15: stima delle riduzione delle emissioni in Emilia-Romagna dei principali inquinanti per effetto della applicazione delle misure del piano aria PAIR 2020 (ton/anno) 97
Tabella 16: Fattori di emissione in mg/km utilizzati per la valutazione delle misure sui trasporti stradali. 100
Tabella 17. Concentrazioni medie annue di PM10 in µg/m^3 nelle stazioni della rete QA nello scenario emissivo di piano con meteorologia "tipica". In grassetto le stazioni superiori al valore limite annuale. Le stazioni comprese nell'intervallo di incertezza sono ombreggiate. 110
Tabella 18 Concentrazioni medie annuali di NO2 inµg/m^3 nelle stazioni delle rete QA nello scenario emissivo di piano con meteorologia "tipica" 113

APPENDICE1: metodologia utilizzata per la stima del valore limite equivalente per il PM10

La legislazione corrente impone, per le concentrazioni di PM10, valori limite sulla media annuale (40 µg/m^3) e sul numero di giornate con valori maggiori di 50 µg/m^3 (35). In un'analisi modellistica, la verifica del secondo indicatore è particolarmente delicata, dal momento che un errore sistematico anche piccolo nelle concentrazioni può portare a grandi differenze nel numero di superamenti stimati; questo problema è particolarmente grave nella Pianura Padana, in cui i modelli in genere sottostimano le concentrazioni di PM10, con errori anche del 40%. Si è quindi cercato di ricondurre la stima del numero di superamenti a quella di un indicatore dall'andamento più regolare e più semplice da stimare a partire da una simulazione modellistica. In particolare:

1) invece del numero di giorni di superamento, si considera il 36° valore più alto misurato nel corso dell'anno (Rank36). Per quel che riguarda il rispetto del limite di legge, questo indicatore è equivalente al numero di superamenti: il limite di legge è rispettato se e solo se Rank36 • 50 µg/m^3. A differenza del numero di superamenti, Rank36 ha però un andamento regolare anche se le concentrazioni medie sono molto alte o molto basse, e questo lo rende meno sensibile agli errori del modello.
2) Supponendo che il valore di Rank36 sia proporzionale alle concentrazioni medie, si definisce "valore limite equivalente" (VLE) quel valore delle concentrazioni medie corrispondente a un Rank36 di 50 µg/m^3

Per verificare l'ipotesi del punto (2) e stimare il VLE, sono stati esaminati i dati 2006-2010 di tutte le stazioni dell'Emilia Romagna, di qualsiasi tipologia, considerando validi gli anni con almeno l'85% di dati validi. Dallo scatter plot (figura 1a) emerge una buona correlazione tra concentrazioni medie e Rank36, che sembra valere anche per stazioni molto diverse per tipologia e valori medi; la miglior stima per il VLE, calcolata in base alla retta di regressione lineare, è di 28.3 µg/m^3. Anche se per specifiche stazioni il VLE può avere valori abbastanza diversi (tra 25 e 33 µg/m^3), se VLE è < 27.4 o > 28.8 il metodo permette di stimare correttamente il rispetto del limite di legge nel 95% dei casi.

Uno studio eseguito con la stessa metodologia a partire da un dataset di stazioni europee (De Leeuw 2012, figura 1b), ha portato a risultati del tutto analoghi: la correlazione tra concentrazioni medie e Rank36 è molto buona, e la miglior stima per il VLE sulle stazioni europee è circa 29 µg/m3 (con valori compresi tra 24 e 34 µg/m3)

Note:

- Se ci sono dati mancanti, il percentile 90.4 usato da De Leeuw è leggermente più alto rispetto al rank36. La legislazione prescrive che i dati mancanti siano considerati dei "non superamenti", e che le stazioni considerate abbiano un numero di dati validi > 90%; l'indicatore rank36 è coerente con queste richieste.

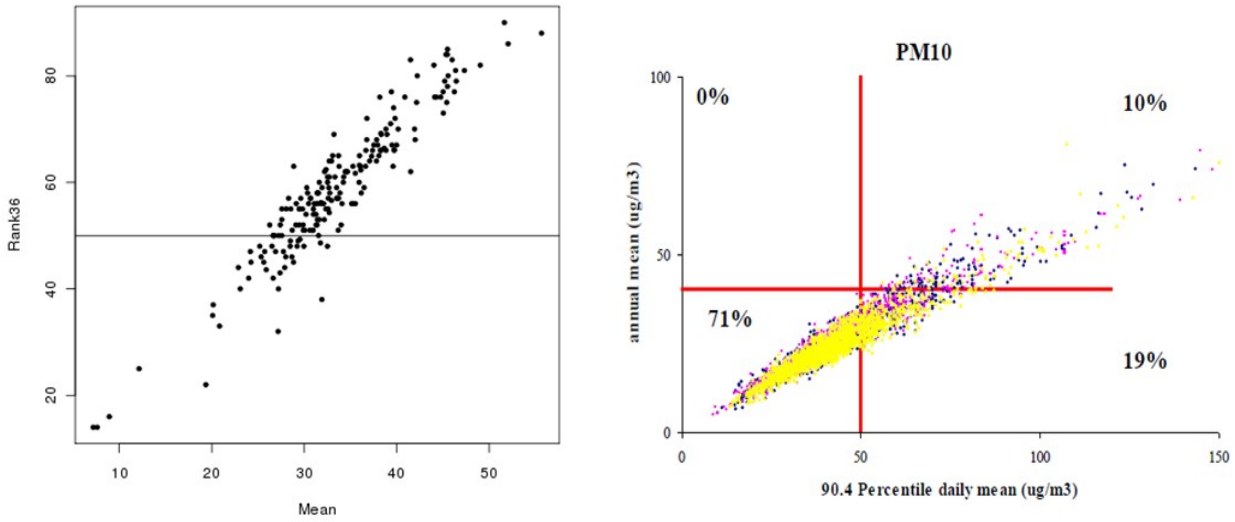


Figura 1: scatter plot tra concentrazioni medie annuali e indicatore Rank36: stazioni dell'Emilia Romagna (sinistra) e stazioni europee (destra).

APPENDICE 2: metodo per il calcolo delle giornate favorevoli all'accumulo di PM10

La variabilità di breve periodo delle concentrazioni di PM10 è dominata dalle condizioni meteorologiche: si può quindi cercare una relazione semplice tra parametri meteorologici e concentrazioni, che spieghi il più possibile della loro variabilità.

Il punto di partenza sono le serie storiche di concentrazioni e predittori meteorologici osservati in Emilia Romagna. In particolare, sono state considerate solo grandezze medie giornaliere, relative a una decina di parametri e loro combinazioni scelti a priori; sono sempre stati usati dati meteorologici relativi allo stesso luogo e alla stessa giornata delle misure di concentrazione.

I dati raccolti sono stati elaborati su base puramente statistica, con la tecnica dell'albero di classificazione: con questo approccio, le giornate vengono suddivise in gruppi con valori di concentrazione omogenei, tramite scelte successive sui predittori meteorologici. I giorni appartenenti ai gruppi in cui il valor medio delle concentrazioni è > 50 •g/m^3 vengono considerati favorevoli all'accumulo del PM10 ("critici")

Al termine dell'analisi, sono risultati "significativi" due parametri:

- indice di ventilazione (prodotto tra altezza di rimescolamento e velocità del vento; l'altezza di rimescolamento è stata stimata col pre-processore meteorologico Calmet)
- precipitazione cumulata nel corso della giornata

In base all'albero di classificazione risultante (figura 2a), risultano "critiche" le giornate senza pioggia (precipitazione < 0.3 mm) in cui l'indice di ventilazione è inferiore a 800 m^2/s.

Chiaramente non c'è una corrispondenza esatta tra giorni "critici" e valori elevati di concentrazioni, ma l'albero di classificazione ha comunque una discreta capacità discriminante: la sovrapposizione tra le concentrazioni nei giorni "critici" e in quelli "non critici" risulta circa del 25% (figura 2b).

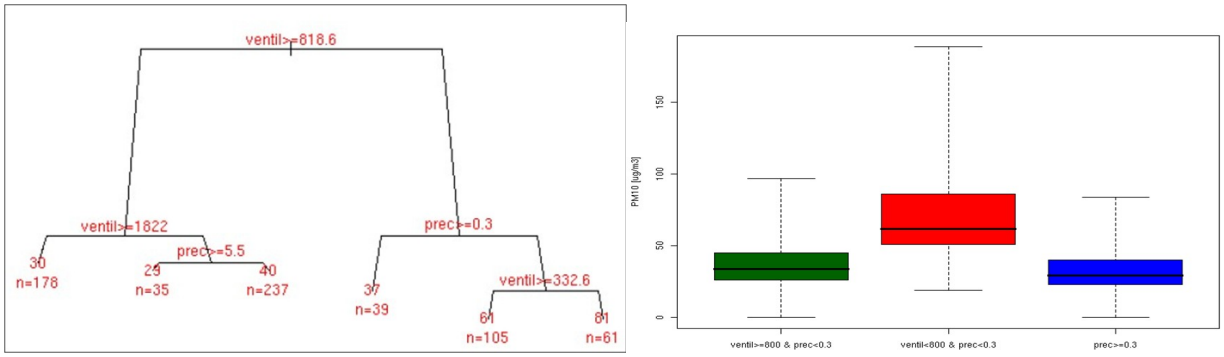


Figura 2: albero di classificazione usato per definire l'indicatore "giorni critici" (sinistra); distribuzione di frequenza delle concentrazioni osservate nei giorni "critici" (rosso) e in quelli "non critici" (verde e blu).

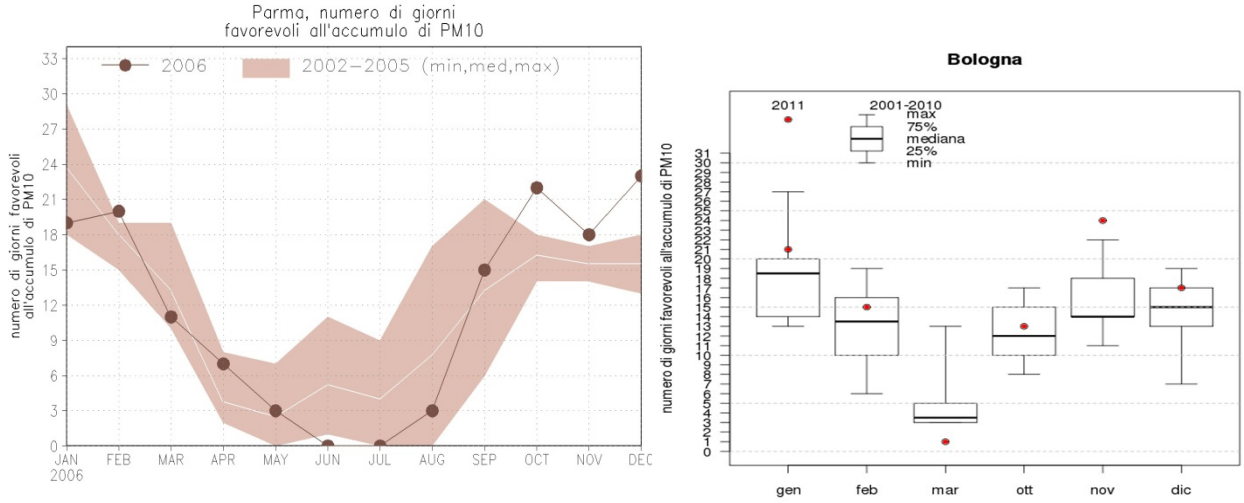


Figura 3: esempi di andamento stagionale del numero di "giorni critici"a Parma (sinistra) e Bologna (destra).

Note:

- Il metodo di classificazione statistica ha un certo grado di arbitrarietà, in particolare per quel che riguarda il numero di gruppi.
- Nei mesi estivi il numero di "giorni critici" risulta spesso maggiore dell'effettivo numero di superamenti osservati: giornate con cielo sereno e calma di vento vengono considerate critiche, mentre le concentrazioni restano basse a causa dell'elevata altezza di rimescolamento e delle basse emissioni. Potrebbe essere utile usare definizioni di "giorno critico" diverse per ciascuna stagione.
- L'approccio proposto è molto semplificato: si assume implicitamente che le concentrazioni di PM10 non siano autocorrelate (non si tiene conto delle concentrazioni del giorno precedente); si usano predittori meteorologici locali; non si considerano fattori che in media sono poco significativi, ma in casi specifici possono essere decisivi (quali ad esempio: direzione del vento, trasporto a lunga distanza, stratificazione verticale dell'atmosfera).
- A causa delle drastiche semplificazioni adottate, l'indicatore risulta utile per analisi di lungo periodo, ma richiede estrema cautela nell'analisi di giornate specifiche. Al SIMC si è scelto di usare il numero mensile di giorni critici (figura 3), e di non pubblicare la "criticità meteorologica" osservata o prevista giorno per giorno.
- Alcuni test effettuati con parametri meteorologici a scala più ampia (es. vento a 850 hPa) non hanno dato risultati soddisfacenti, ma è possibile che indicatori più sofisticati (es. tipo di tempo) risultino significativi.

APPENDICE 3: lo scenario SEN 2020 per l'Emilia-Romagna

A livello regionale l'applicazione della Strategia Energetica Nazionale si traduce in una modifica della distribuzione dei consumi tra vari macrosettori (Figura 88) e su una diversa composizione dei combustibili utilizzati (Figura 89), oltre che e sulla penetrazione delle nuove tecnologie previste dalla normativa in vigore, in tutti i settori emissivi. Va rilevato tuttavia che nella costruzione dello scenario emissivo CLE 2020 per l'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[29]), alla produzione e consumo di energia (PER), alle modalità di spandimento dei concimi di origine animale previste dal Regolamento 1/2011 [30]. La ripartizione delle emissioni tra i vari macrosettori nello scenario CLE 2010 per l'Emilia – Romagna, riportata nella Figura 89 ed utilizzata per le simulazioni modellistiche, risulta quindi diversa da quella ipotizzata dallo scenario SEN 2020.

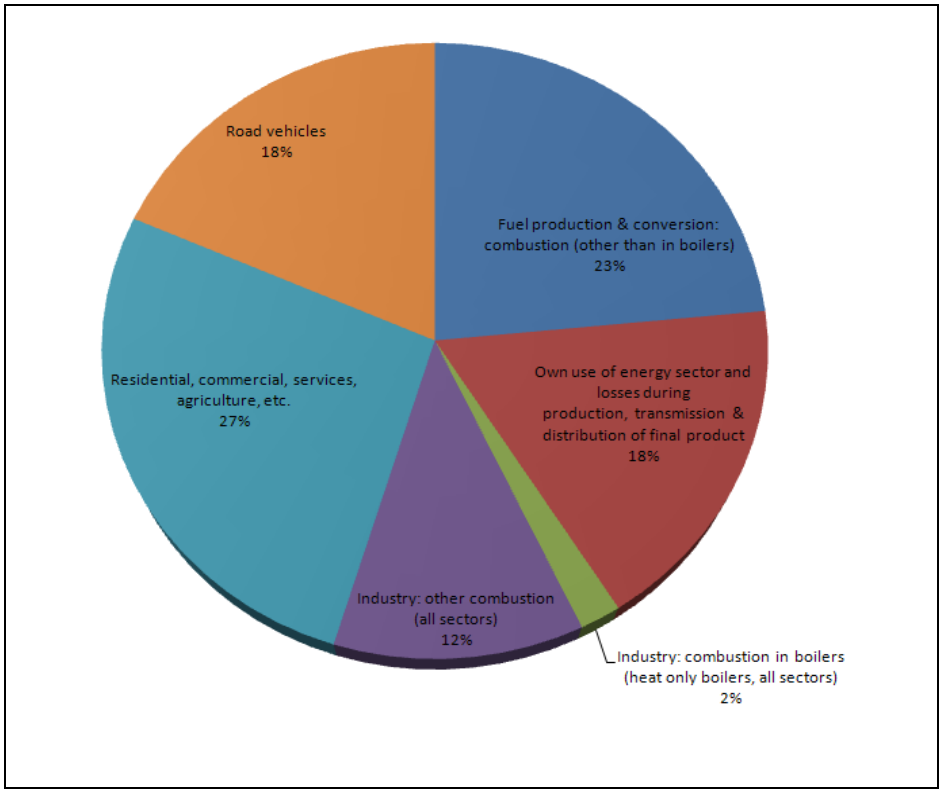


Figura 88: ripartizione dei consumi energetici in Emilia-Romagna nel 2010 in conseguenza della realizzazione della Strategia Energetica Nazionale. (il settore electricity indica l'elettricità non prodotta in regione)

[29] http://mobilita.regione.emilia-romagna.it/allegati/prit/documenti-adozione-prit/Rapporto-ambientale-Valsat-adozione.pdf

[30] regolamento regionale n. 1, 28 ottobre 2011: disposizioni in materia di utilizzazione organica degli effluenti di allevamenti e delle acque reflue di aziende agricole

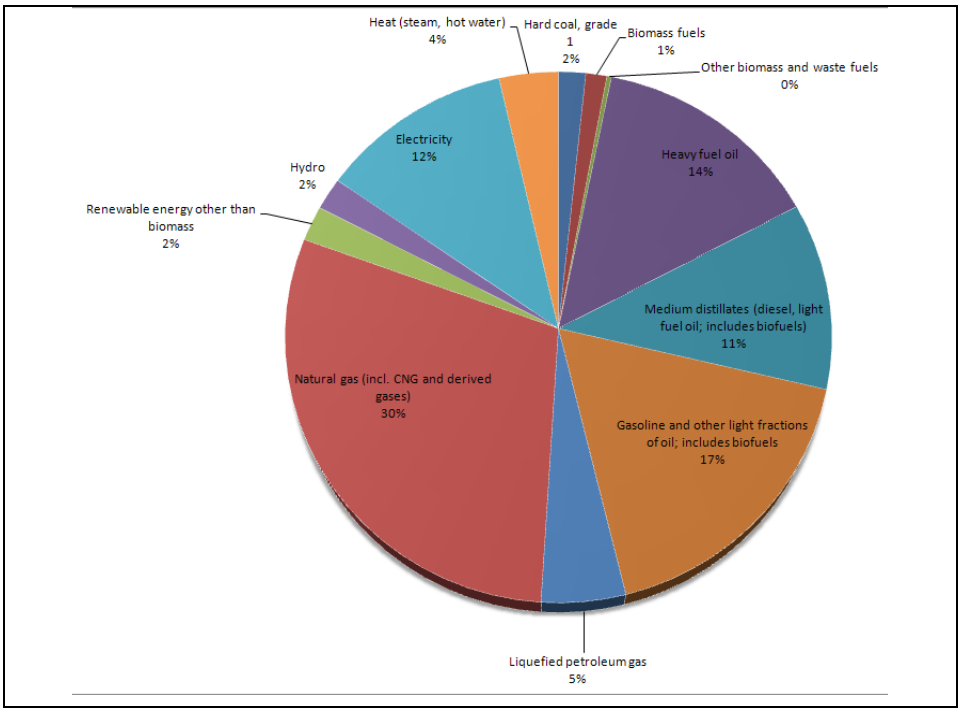


Figura 89: composizione dei combustibili utilizzati in Emilia-Romagna nel 2010 in conseguenza della realizzazione della Strategia Energetica Nazionale

Si analizzano di seguito i singoli settori che contribuiscono alle emissioni evidenziando la percentuale di ogni carburante impiegato nei diversi settori. La produzione di energia elettrica in regione (grafico 3) sarà affidata per il 70% a fonti fossili. Il rimanente 30% sarà coperto in massima parte dalla produzione idroelettrica, con le sorgenti rinnovabili diverse dalle biomasse che copriranno l'8% della produzione totale. Il dettaglio delle fonti rinnovabili è evidenziato nel grafico 4.

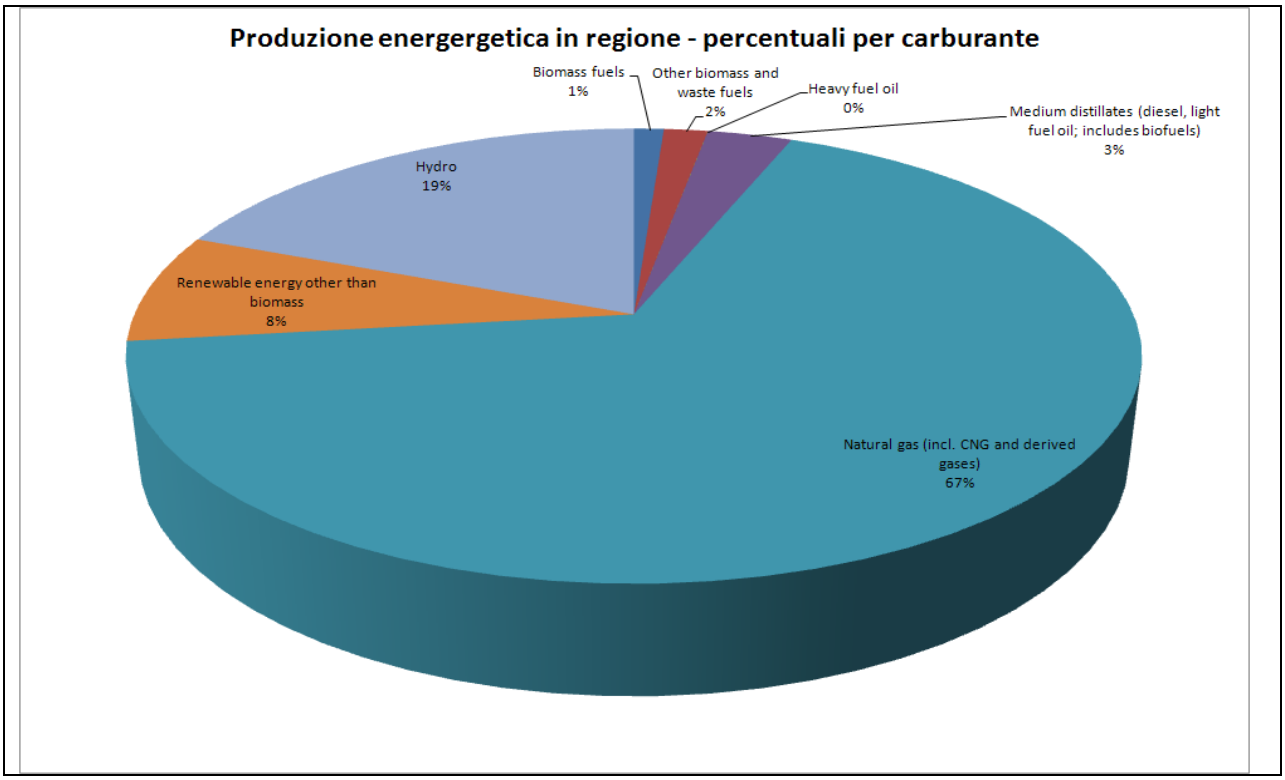


Grafico 3

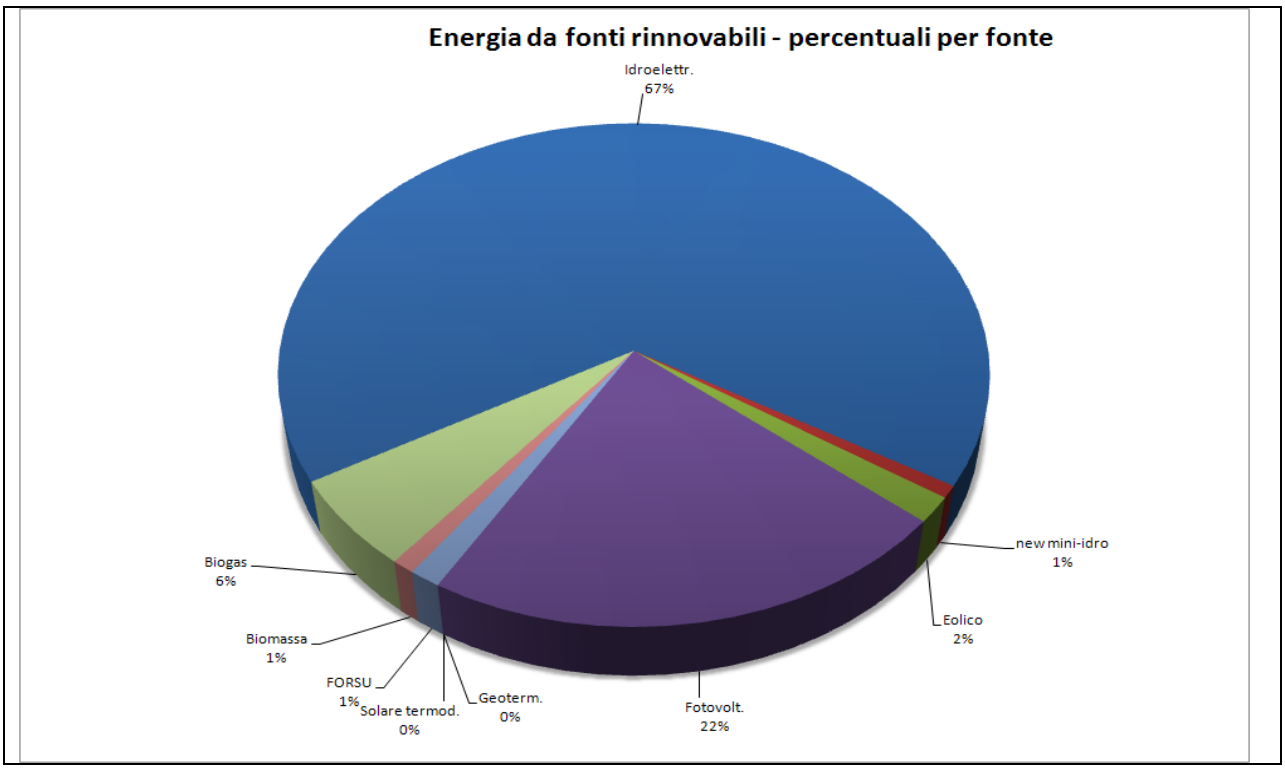


Grafico 4

I consumi energetici del settore industriale sono riassunti nel grafico 5. Un terzo dei consumi sono elettrici (in parte da elettricità prodotta in regione e in parte da elettricità importata), il 65% da combustibili fossili, l'1% da biomasse.

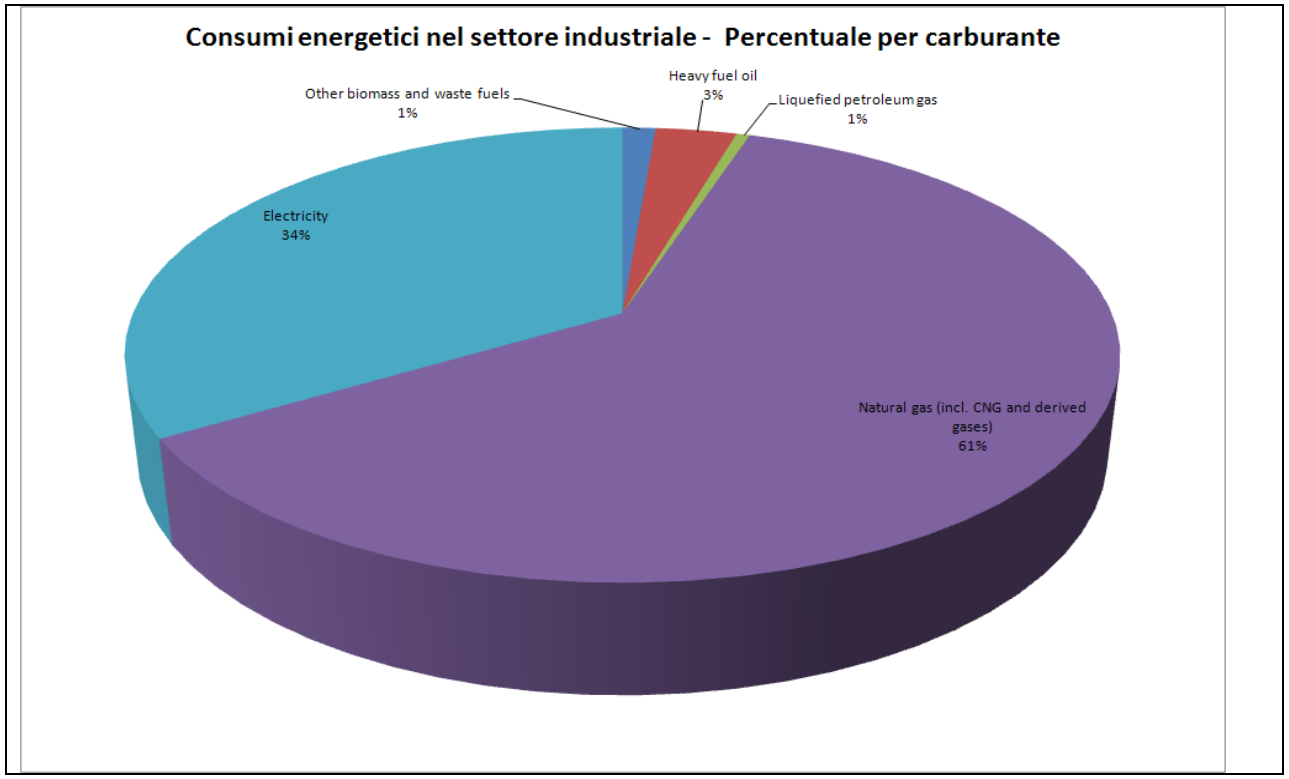


Grafico 5

Il settore domestico (grafico 6) è approvvigionato per circa il 50% da gas naturale. Oltre agli importanti consumi elettrici (oltre il 20% del settore), il settore presenta uno degli utilizzi di risorse rinnovabili più significative fra tutti i settori, il cui dettaglio è riportato nel grafico 7.

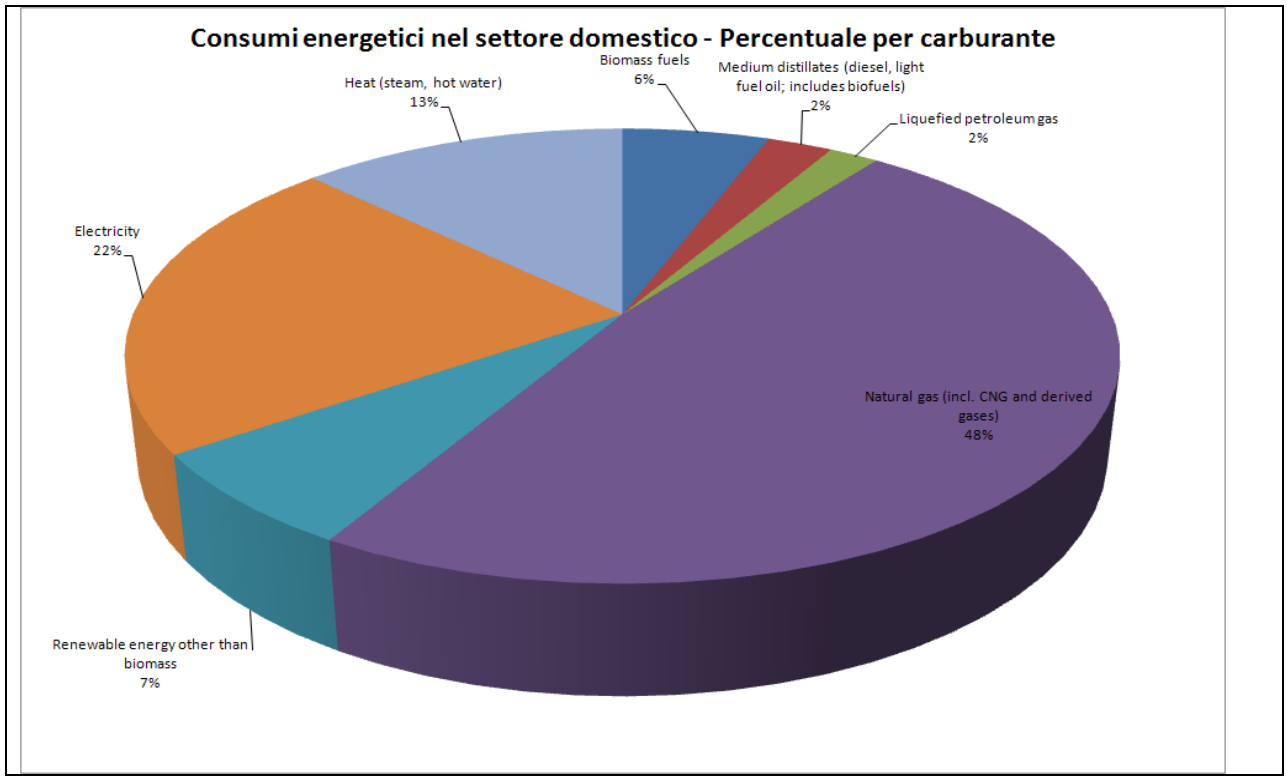


Grafico 6

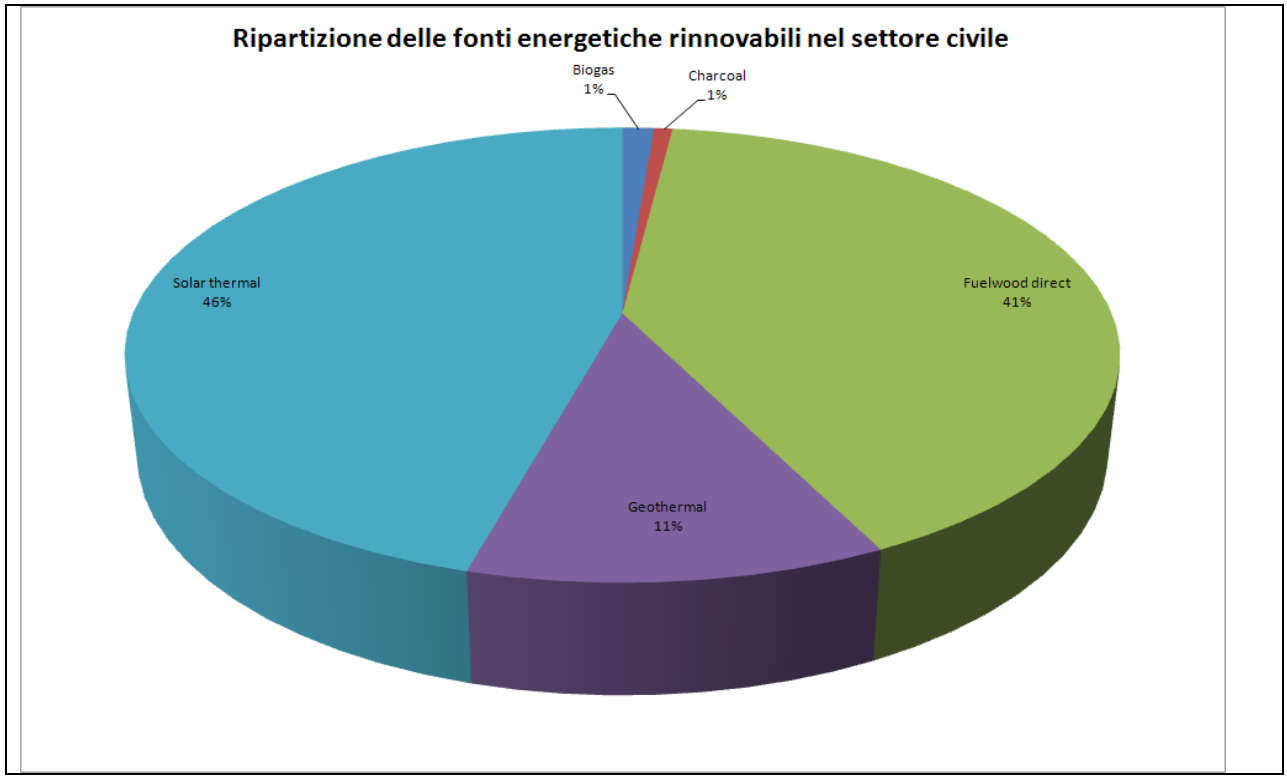


Grafico 7

Il settore trasporti (trasporti stradali e off-road) è rappresentato nel grafico 8 ed evidenzia una scarsa penetrazione dell'elettricità come sistema di alimentazione. Il gasolio è il combustibile principale, il metano

e gpl assieme costituiscono una percentuale molto simile a quella della benzina. Nel 2020 è prevista una quota di biocarburanti pari al 10% (sia come frazione della benzina che come frazione del gasolio).

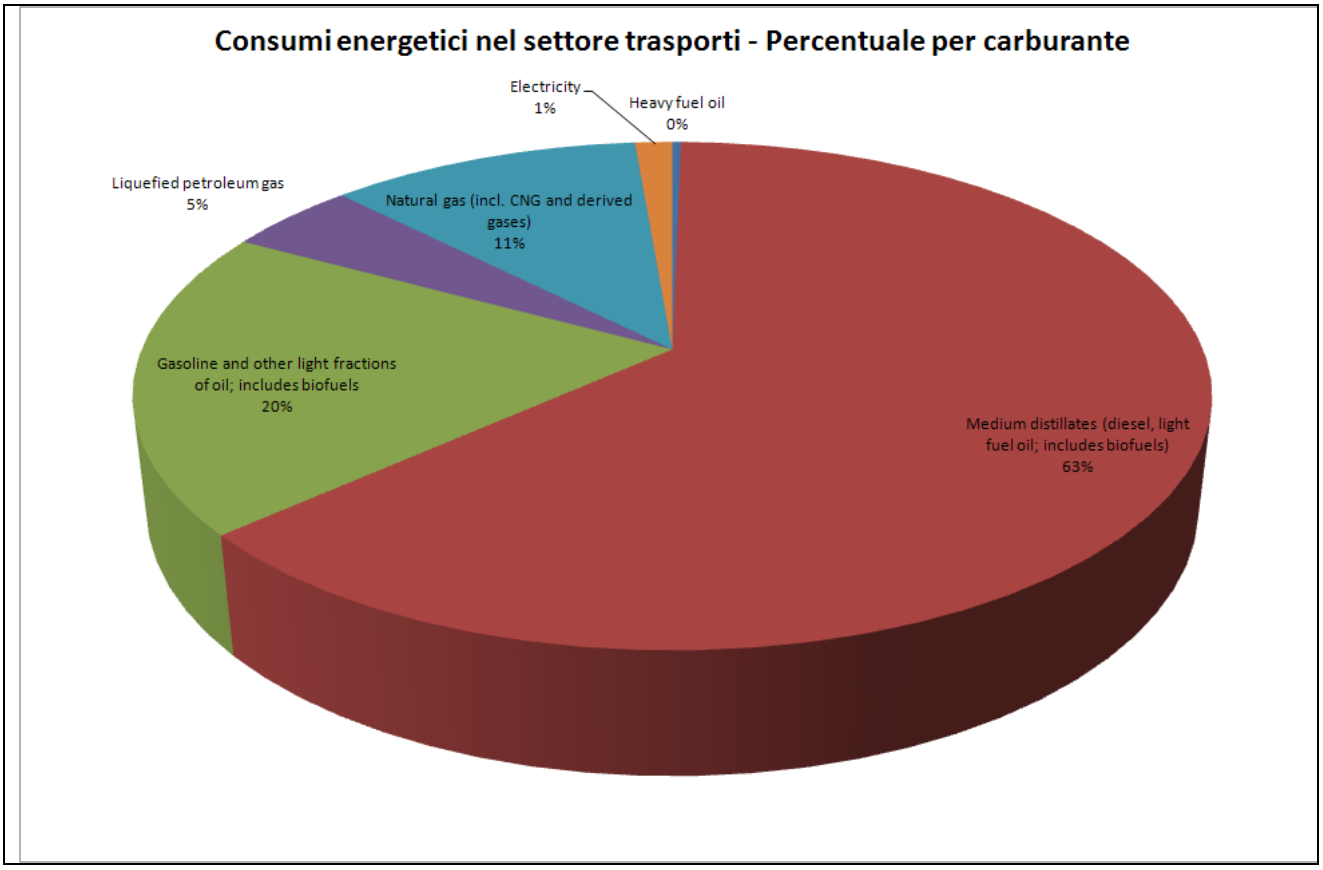
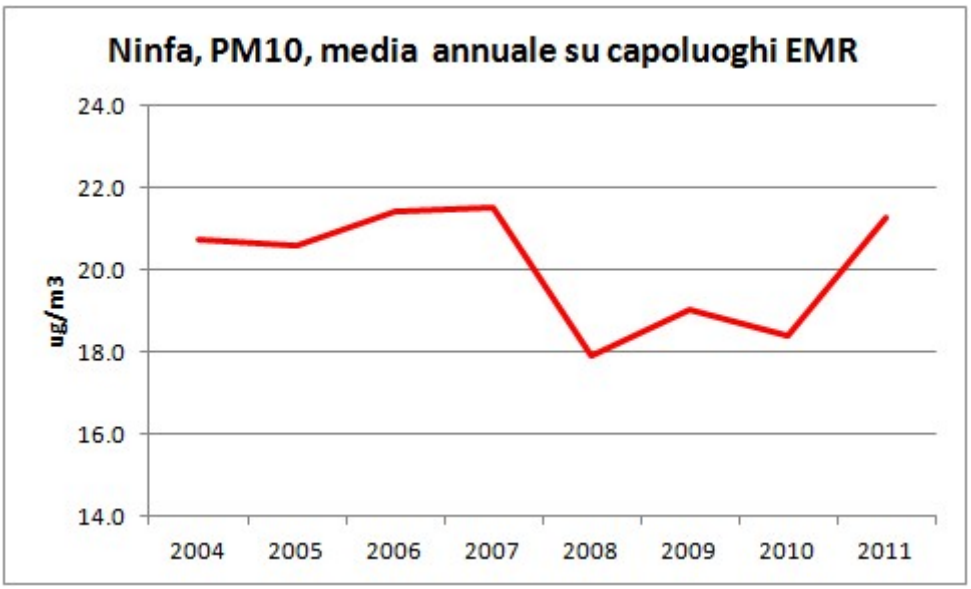


Grafico 8

APPENDICE 4: Calcolo della correzione meteorologica nel PAIR e in tutti gli scenari prodotti nel 2013:

- E stata compiuta una simulazione NINFA di 8 anni (2004-2011) a emissioni costanti.
- A partire da questa, sono state calcolate le concentrazioni medie annuali sui capoluoghi dell'Emilia Romagna, e per ciascun anno la media tra i capoluoghi (ie. un solo numero per ciascun anno, in tutto 8 numeri).
- Si è assunto che l'errore del modello nella stima di questo indicatore si possa ricondurre a un fattore costante: il modello sottostima le concentrazioni, ma la varianza percentuale e l'andamento anno per anno sono corretti.
- La serie ha una media di 19.9 µg/m3 e una varianza (•) di 1.3 µg/m3, corrispondente al 7% del valor medio. Si assume che le concentrazioni negli anni meteorologicamente più sfavorevoli possano essere il 14% (2•) superiori rispetto alla media.
- All'interno della serie, l'anno di riferimento (2010) ha concentrazioni di circa l'8% inferiori rispetto alla media



APPENDICE 5: Valutazione d'Impatto Sanitario sugli scenari di riduzione dell'inquinamento

Premessa

Numerosi studi epidemiologici indicano che l'esposizione cronica, di lungo periodo, all'inquinamento atmosferico contribuisce allo sviluppo di patologie croniche, influenzandone perciò incidenza e prevalenza. L'evidenza scientifica sugli effetti avversi è cresciuta notevolmente nei decenni, comprendendo studi di tipo clinico, epidemiologico e tossicologico. L'attenzione si è focalizzata nei centri maggiormente urbanizzati dove i livelli di inquinamento, anche se si sono ridotti nel tempo, sono ben al di sopra delle linee guide dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (20 •g/m^3). Nel recente studio Aphekom, è stato valutato l'impatto sulla salute in 25 città europee relativo agli effetti dell'esposizione a lungo termine dovuti al $PM_{2.5}$ per i residenti con età dai 30 anni in su.

Per l'Italia è stata considerata la città di Roma nel triennio 2004-2006. Concentrando l'attenzione sugli effetti a lungo termine, supponendo una riduzione di 5 •g/m^3 e 10 •g/m^3 nella concentrazione media annuale di $PM_{2.5}$ si guadagnano rispettivamente 0.4 e 1.0 anni di vita per i trentenni[31].

Alla luce di queste evidenze pare sempre più utile fornire stime di impatto sulla salute derivanti da diversi scenari di piano regionale, al fine di dotare i decisori di una ulteriore chiave di lettura degli impatti derivanti dai processi decisionali.

Obiettivo

Determinare il numero di decessi evitabili, o meglio posticipati, e gli anni di vita guadagnati considerando diversi scenari di riduzione dei livelli di inquinamento nella regione Emilia Romagna dal 2010 al 2020.

Scenari di valutazione degli impatti

Come dato di partenza, da comparare con i possibili scenari di piano, è stato considerato il livello di concentrazione di $PM_{2.5}$ al 2010, senza alcuna politica in atto. Sono state considerate tre riduzioni nel decennio considerato.

- CLE: applicazioni normative europee (ad esempio come si svilupperà il parco macchine, ecc…).
- obiettivo di piano, quello virtuoso.
- MFR: oltre quello virtuoso, applicando tutte le strategie possibili di riduzione dell'inquinamento.

Definizione esposizione

Sono state considerate per ogni scenario le proiezioni "bestEstimate" (corrette sia per errore sistematico da modello che per ricondursi ad un anno ipotetico tipo), "bestMeteo" (anno ipotetico con meteorologia favorevole, concentrazioni più basse del 14%) e "worstMeteo" (anno critico dal punto di vista meteo, concentrazioni più alte del 14%), tutte con risoluzione 5x5km.

I livelli medi comunali dell'inquinante sono stati pesati sulla base della popolazione residente a livello di singola sezione di censimento[32] (dato aggiornato al 2001 non essendo ancora disponibile a questo livello di

[31] http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/home

[32] http://www.istat.it/it/archivio/104317

dettaglio per il censimento del 2011), assumendo uniformità di distribuzione. Sono stati usati i software ArcMap 10.1, per intersecare la mappa della proiezione regionale di inquinamento al 2020 e lo shape file delle sezioni di censimento, e Stata 12, per ottenere le medie ponderate a livello comunale. L'esposizione così ottenuta è stata assunta omogenea entro ogni comune.

Popolazione

La popolazione a metà anno del primo anno considerato nella proiezione, 2011, è stata assunto pari al dato del censimento 2011[33]. L'ammontare per gli anni successivi è stato ottenuto come differenza dei decessi stimati in quell'anno.

Dato sanitario

Il numero di decessi per cause naturali per il 2011 sono stati ottenuti come media dei totali osservati nel periodo 2000-2010[34], vedi figura 1 per l'andamento nel periodo considerato. Per i successivi anni sono stati stimati considerando la probabilità di morte ottenute nella costruzione della tavola di mortalità per il calcolo della speranza di vita.

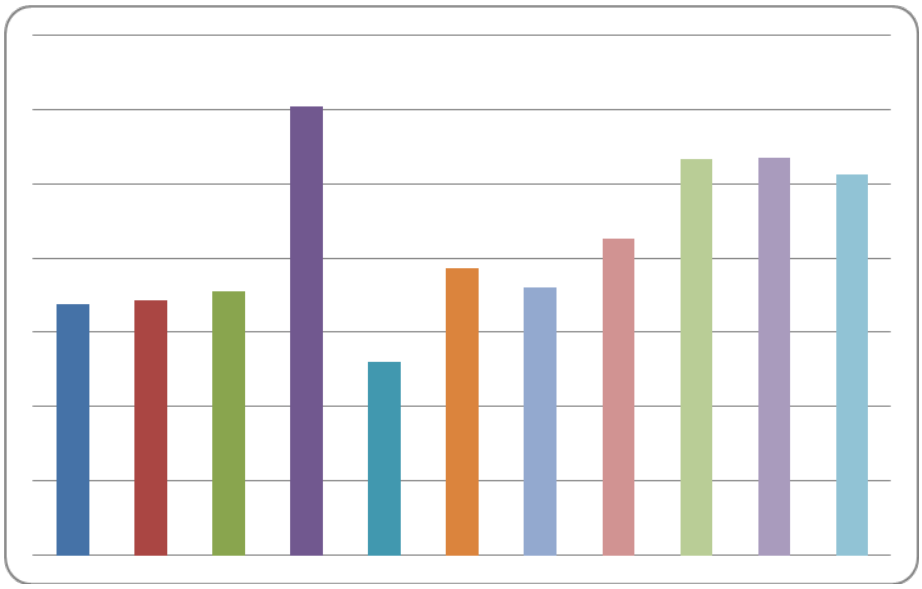


Figura 1. Numero annuale di decessi per cause naturali dal 2000 al 2010 nella regione Emilia Romagna.

Coefficiente della funzione concentrazione risposta

E' stato adottato per il $PM_{2.5}$ il RR=1.062 per 10 •g/m^3 (95% CI: 1.040-1.083) riportato nel progetto HRAPIE[35].

Il beta è stato ottenuto attraverso la seguente relazione:

$$\beta_i^* = \frac{\ln(\mathbf{RR10})}{\mathbf{10}}$$

Dove con RR10 indico il Rate Ratio per 10 •g/m^3.

[33] http://dati-censimentopopolazione.istat.it/

[34] http://www.saluter.it/siseps/sanita/rem/analisi-statistica

[35] Hoek et al., "Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review", Environmental Health, 2013, 12:43.

Calcolo dei decessi attribuibili

Il numero annuale nella città i-esima dei decessi attribuibili al superamento di un certo livello T (partendo dallo scenario CLE, PAIR e MFR) nella concentrazione dell'inquinante è dato dalla differenza fra il livello stimato di decessi ed il numero di decessi che si sarebbero avuti, secondo lo scenario controfattuale ottenuto applicando la riduzione nell'inquinamento [36]:

$$AD_i = y_i - y_{i0} = y_i - \frac{y_i}{e^{\beta_i^*(x_i - T)}}.$$

In particolare x_i è la media annuale del livello di concentrazione dell'inquinante al 2010, mentre β_i^* è l'effetto città-specifico dell'inquinante (di seguito denominato beta).

Questo differenziale è interpretato come il numero di decessi associabili all'inquinamento che si risparmierebbero, o meglio sarebbero posticipati, se il livello medio di concentrazione si abbassasse al livello T.

Calcolo degli anni di vita persi

Questo ammontare è ottenuto come differenza fra la speranza di vita alla nascita e la speranza di vita alla nascita "impattata"[37], cioè calcolata supponendo una riduzione nei livelli di inquinamento.

La speranza di vita alla nascita di base è calcolata secondo la teoria demografica attraverso la costruzione della tavola di mortalità[38].

Y è il numero di anni usati, nel nostro caso è calcolato su un anno.

x è l'età di partenza per ogni classe di età.

n è l'ampiezza di ogni intervallo di età, nel nostro caso è 1 avendo considerato classi puntuali di età.

n_{ax} è il numero medio di anni vissuti da coloro che muoiono nell'intervallo di età considerato, pari a 0.5.

${}_nN_x$ è la popolazione di ogni classe di età.

${}_nD_x$ è il numero totale di decessi in ogni classe d'età.

${}_nM_x$ è il tasso di mortalità in ogni classe di età, definito come: $${}_nM_x = \frac{{}_nD_x}{{}_nN_x} \cdot Y$$.

${}_nq_x$ è la probabilità di morire nell'intervallo di età considerato: $${}_nq_x = \frac{n \cdot {}_nM_x}{1 + (n - n_{ax}) \cdot {}_nM_x}$$, ad esclusione dell'ultima classe di età che è posto pari a 1.

l_x è il numero di persone vive in ogni classe di età, partendo da un ammontare iniziale pari a 100000 nati. Il numero di persone vive nelle altre classi di età è definito come $l_{x+n} = l_x \cdot (1 - {}_nq_x)$.

${}_nd_x$ è il numero di persone decedute nella singola classe di età calcolate come: ${}_nd_x = l_x \cdot {}_nq_x$.

${}_nL_x$ è il numero di anni persone vissuti in ogni classe di età calcolato come: ${}_nL_x = n \cdot l_{x+n} + n_{ax} \cdot d_x$, ad esclusione per l'ultima classe di età che è pari a $\frac{l_x}{{}_nM_x}$.

T_x è il numero di anni persone che ipoteticamente vengono vissuti dopo aver raggiunto l'età x ed è calcolato ricorsivamente dagli ${}_nL_x$ come: $T_x = T_{x+n} + {}_nL_x$.

e_x è l'aspettativa di vita all'età x calcolata come: $e_x = \frac{T_x}{l_x}$.

[36] Baccini et al., "Health impact assessment of fine particles pollution at the regional level", American Journal of Epidemiology, 174 (12):1396-1405.

[37] Miller, IOMLIFET version 2011. Spreadsheets for life-table calculations. Edinburgh: Institute of Occupational Medicine, 2011.

[38] Pascal at al., "Aphekom. Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe. Guidelines for assessing the health impacts of air pollution in European cities", April 2011.

La speranza di vita alla nascita "impattata" è calcolata nello stesso modo con la differenza che vengono inflazionati i decessi ${}_nD_x$. Ovvero vengono determinati così $_{n}\mathbf{D}_{x}^{\mathbf{impacted}} = {}_{n}\mathbf{D}_{x} \cdot \mathbf{e}^{-\beta_i^*(x_i - T)}$

Intervalli di confidenza delle stime ottenute

Ogni stima è accompagnata da un intervallo di confidenza (che solitamente non viene fornito).

La stima puntuale è ottenuta considerando il valore del coefficiente β^* (stima di effetto epidemiologica) e la differenza fra le proiezioni "bestEstimate" del dato dell'inquinante riferito al 2010 e dello scenario considerato (CLE, obiettivo di piano o MFR).

L'estremo inferiore è riferito allo scenario migliore, ed è calcolato sulla differenza fra le proiezioni "bestMeteo" (-14% delle concentrazioni rispetto al "bestEstimate") del dato al 2010 e dello scenario considerato, applicando come stima di effetto l'estremo inferiore dell'intervallo di confidenza del β^* (lower-beta).

L'estremo superiore (scenario peggiore) è calcolato sulla differenza fra le proiezioni "worstMeteo" (+14% delle concentrazioni rispetto al "bestEstimate") del dato al 2010 e dello scenario considerato, applicando l'estremo superiore dell'intervallo di confidenza al 95% del β^* (upper-beta).

Commenti:

La metodologia di valutazione dell'esposizione è assolutamente comparabile con i dati mostrati per il 2010 all'interno del documento del PAIR. La differenza risiede sostanzialmente nella disponibilità dei dati a scala di 5x5 Km, contro 1x1 Km di maglia disponibile per i dati derivanti da post-processamento del modello NINFA su dati di misura di centraline di fondo (modello PESCO).

E' stata effettuata un'analisi di sensibilità al fine di verificare l'incertezza a carico di questa necessaria approssimazione e la differenza percentuale si aggira intorno al 3%.

	Popolazione nel 2011	Differenza percentuale nel valore medio di esposizione
Regione Emilia-Romagna	4,342,135	3.18 %
9 capoluoghi di provincia	1,531,094	3.00 %
Fuori dai capoluoghi di provincia	2,811,041	3.18 %
> 50,000 abitanti	1,819,992	3.20 %
20,000 – 50,000 abitanti	563,623	2.46 %
10,000 – 20,000 abitanti	839,091	2.52 %
5,000 – 10,000 abitanti	700,401	2.68 %
< 5,000 abitanti	419,028	4.09 %

Tabella 5. Differenza percentuale nel valore medio di esposizione passando dalla mappa regionale ottenuta con la metodologia NINFA-PESCO con risoluzione 1 km2 a quella con risoluzione 5 km2.

Per quanto riguarda le stime di impatto, è stato utilizzato il valore metanalitico derivante dal recente lavoro di Hoek et al.[5], che è anche stato scelto come valore guida dal documento OMS sulle funzioni "concentrazione-risposta" (HRAPIE).
I risultati ottenuti sono in linea con quanto reperibile nella letteratura scientifica.
Lo studio APHEKOM ha adottato una metodologia analoga per stimare l'impatto dovuto a ipotetiche riduzioni dell'inquinamento in 25 città europee. Non è stato mappato il differenziale di inquinamento sulle aree considerate, diminuendo in maniera costante i livelli per tutta la popolazione esposta. Per una diminuzione di 5 •g/m^3 nelle concentrazioni medie annue di $PM_{2.5}$ si ottiene un guadagno di quasi 3 mesi di vita nella popolazione di Roma.
Questo scenario contro fattuale ipotetico, in termini di diminuzione di inquinamento, si attesta tra lo scenario obiettivo di piano e MFR delle nostre analisi (dove abbiamo rispettivamente una diminuzione di 3.3 e 6 •g/m^3 su tutto il territorio regionale). Per i comuni capoluogo della nostra regione questo si traduce in un guadagno dai 3 ai 5.5 mesi di vita (dove le riduzioni di $PM_{2.5}$ sono rispettivamente di 4.3 e 7.9 •g/m^3).

APPENDICE 6: Configurazione della rete regionale di monitoraggio della qualità dell'aria (anno 2014)

RETE REGIONALE DI MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELL'ARIA - ANNO 2014																				
	PROV.	COMUNE	ZCODE	CODE_NAZ	NOME_STAZ	UTM-X	UTM-Y	TIPO_EOI	PM10	PM2.5	NOX	CO	BTX	O3	SO2	Pb	As	Ni	Cd	BAP
1	PC	Piacenza	IT08102	803320	Giordani - Farnese	554596	4988702	UT	X		X	X	X							
2	PC	Piacenza	IT08102	803322	Montecucco	552589	4987424	UB	X	X	X			X						
3	PC	Lugagnano Val d'Arda	IT08102	803306	Lugagnano	565649	4963814	SB	X		X			X						
4	PC	Corte Brugnatella	IT08101	803323	Corte Brugnatella	530265	4953068	RB	X		X			X						
5	PC	Besenzone	IT08102	803321	Besenzone	580347	4982382	RB		X	X			X						
6	PR	Parma	IT08102	803405	Montebello	605812	4960410	UT	X		X	X	X							
7	PR	Parma	IT08102	803401	Cittadella	605350	4960980	UB	X	X	X			X		X	X	X	X	X
8	PR	Colorno	IT08102	803409	Saragat	608272	4975734	SB	X		X			X						
9	PR	Langhirano	IT08102	803410	Badia	602229	4945885	RB	X	X	X			X						
10	RE	Reggio Emilia	IT08102	803508	S. Lazzaro	631876	4950063	UB	X	X	X			X						
11	RE	Reggio Emilia	IT08102	803518	Timavo	628707	4950964	UT	X		X	X	X							
12	RE	Castellarano	IT08102	803502	Castellarano	637810	4930767	SB	X	X	X			X						
13	RE	Guastalla	IT08102	803517	San Rocco	631504	4970364	RB	X	X	X			X						
14	RE	Villa Minozzo	IT08101	803515	Febbio	614157	4906359	RB	X		X			X						
15	MO	Modena	IT08102	803613	Giardini	651153	4944483	UT	X		X	X	X							
16	MO	Modena	IT08102	803624	Parco Ferrari	651241	4946106	UB	X	X	X			X		X	X	X	X	X
17	MO	Carpi	IT08102	803603	Carpi 2	649030	4962594	SB	X		X			X						
18	MO	Fiorano Modenese	IT08102	803625	Circ. San Francesco	644579	4933793	UT	X		X	X	X							
19	MO	Sassuolo	IT08102	803629	Parco Edilcarani	642397	4933548	UB	X	X	X			X						
20	MO	Mirandola	IT08102	803626	Gavello	671955	4977440	RB	X	X	X			X						
21	BO	Bologna	IT08100	803719	Via Chiarini	681708	4929859	SB	X		X			X						
22	BO	Porretta Terme	IT08101	803721	Porretta Terme	657852	4891107	RB	X	X	X			X						
23	BO	Bologna	IT08100	803708	Giardini Margherita	687282	4928379	UB	X	X	X			X		X	X	X	X	X
24	BO	Bologna	IT08100	803713	Porta San Felice	685120	4930139	UT	X	X	X	X	X							
25	BO	Imola	IT08103	803705	de Amicis	716833	4915041	UT	X		X	X	X							
26	BO	Molinella	IT08103	803717	San Pietro Capofiume	708127	4947984	RB	X	X	X			X						
27	BO	San Lazzaro di Savena	IT08100	803714	San Lazzaro	692232	4926696	UT	X		X									
28	FE	Ferrara	IT08103	803803	Isonzo	706290	4968581	UT	X		X	X	X			X	X	X	X	X
29	FE	Ferrara	IT08103	803812	Villa Fulvia	709478	4966933	UB	X	X	X			X						
30	FE	Cento	IT08103	803811	Cento	682097	4955954	SB	X		X			X						
31	FE	Jolanda di Savoia	IT08103	803805	Gherardi	733953	4969528	RB	X	X	X			X						
32	FE	Ostellato	IT08103	803813	Ostellato	732924	4958467	RB		X	X			X						
33	RA	Ravenna	IT08103	803920	Caorle	756779	4923593	UB	X	X	X			X	X					
34	RA	Ravenna	IT08103	803921	Zalamella	753646	4924418	UT	X		X	X	X							
35	RA	Faenza	IT08103	803911	Parco Bucci	729057	4907366	UB	X	X	X			X						
36	RA	Cervia	IT08103	803923	Delta Cervia	765899	4908893	SB	X		X			X						
37	RA	Alfonsine	IT08103	803922	Ballirana	736992	4934882	RB		X	X			X						
38	FC	Forlì	IT08103	804009	Parco Resistenza	743640	4900918	UB	X	X	X			X						
39	FC	Forlì	IT08103	804010	Roma	744256	4900498	UT	X		X	X	X							
40	FC	Cesena	IT08103	804012	Franchini Angeloni	759169	4892618	UB	X		X									
41	FC	Savignano sul Rubicone	IT08103	804013	Savignano	772432	4888355	SB	X	X	X			X						
42	FC	Sogliano	IT08101	804015	Savignano di Rigo	758877	4868962	RB	X		X			X						
43	RN	Rimini	IT08103	804004	Flaminia	786446	4883968	UT	X		X	X	X							
44	RN	Rimini	IT08103	804002	Marecchia	784529	4885243	UB	X	X	X			X		X	X	X	X	X
45	RN	Verrucchio	IT08103	809902	Verucchio	774227	4879211	SB	X		X			X						
46	RN	San Leo	IT08101	809904	San Leo	773134	4867290	RB	X		X			X						
47	RN	San Clemente	IT08103	809901	San Clemente	791168	4870789	SB		X	X			X						