



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto

**VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI CONCENTRAZIONE DEL PM10 RILEVATI SUL
TERRITORIO REGIONALE, MEDIANTE “MONITORAGGIO A GRIGLIA”,
NEL TRIENNIO 2007-2009**

ARPAV

Dipartimento Provinciale di Padova
Alessandro Benassi (Direttore Dipartimento)

Progetto e realizzazione
Osservatorio Regionale Aria
Salvatore Patti (Responsabile della struttura)
Giovanna Marson, Luca Zagolin, Ketty Lorenzet, Erika Baraldo (Autori)

INDICE

1. Introduzione	p. 4
2. Normativa di riferimento	p. 5
3. Criteri per la realizzazione delle campagne di monitoraggio	p. 7
4. Statistiche descrittive dei dati raccolti	p. 10
4.1 Mezzi mobili	p. 10
4.2 Rete fissa	p. 16
5. Commento climatologico per il triennio 2007-2009	p. 22
6. Il modello di previsione	p. 24
7. Risultati	p. 27
8. Conclusioni	p. 31
9. Sviluppi futuri	p. 32

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto DOCUP "Ottimizzazione della rete di monitoraggio della qualità dell'aria"¹ è stata realizzata la prima attività di mappatura delle aree remote che ha permesso di incrementare il livello conoscitivo dello stato della qualità dell'aria in tutta la regione, soprattutto nelle aree non coperte dal monitoraggio mediante la rete fissa. Nelle conclusioni del Rapporto finale di progetto erano state messe in luce alcune criticità rispetto al monitoraggio realizzato con i mezzi mobili nel periodo 2004-2006 (difficoltà di comparabilità tra le campagne effettuate in diversi comuni e in periodi dell'anno non sovrapponibili, impossibilità di confrontare i dati raccolti con i valori limite annuali per il mancato rispetto degli obiettivi minimi di qualità del dato) che necessitava di una più efficace programmazione. L'Allegato I al DM 261/2002 anticipava una metodologia che avrebbe permesso di raggiungere tali obiettivi. Per tale motivo, a partire dal 2007 e per gli anni a seguire, tale metodo è stato applicato per la realizzazione del monitoraggio su scala vasta.

Nei prossimi capitoli è illustrata la normativa di riferimento, è descritta la fase di programmazione delle campagne realizzate sul territorio regionale nel triennio 2007-2009, sono analizzati, mediante statistiche le descrittive di base, i dati di qualità dell'aria raccolti; infine sono illustrati i principali risultati ottenuti.

¹ Progetto di "Ottimizzazione della rete regionale di controllo della qualità dell'aria del Veneto e mappatura di aree remote". Rapporto finale (2007). Iniziativa cofinanziata dall'Unione Europea nell'ambito del Fondo Europeo di Sviluppo Regionale Documento Unico di Programmazione (DOCUP) Obiettivo 2 per gli anni 2000-2006.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel corso del triennio 2007-2009 è stato realizzato il monitoraggio della qualità dell'aria su scala regionale, finalizzato ad una maggiore conoscenza dello stato e ad una verifica della zonizzazione regionale approvata con DGR n. 3195 del 17 ottobre 2006. I criteri che hanno portato alla suddivisione del territorio regionale in sette zone a diversa criticità per quanto riguarda la qualità dell'aria sono stati approvati in una seduta del Comitato di Indirizzo e Sorveglianza (CIS) e successivamente resi esecutivi mediante la deliberazione sopra citata. Tali criteri si basavano sulla classificazione di ciascun comune del territorio in base al valore di densità emissiva (tonn/km² anno) di PM10 primario e secondario. Per maggiori informazioni sulla zonizzazione e sui criteri utilizzati si consulti la pagina: http://www.arpa.veneto.it/aria_new/htm/qualita_valutazione.asp.

L'esigenza di definire una zonizzazione di tutto il territorio era dettata dalla normativa (D.Lgs. 351/99 e decreti attuativi) ma contestualmente risultava praticamente impossibile riuscire a valutare la qualità dell'aria su tutto il territorio veneto suddiviso in ben 581 comuni. Per risolvere questa incongruenza è stata proposta una metodologia di stima delle densità emissive che ha permesso di suddividere il territorio nelle zone indicate in Figura 1; tale metodo, comunque, necessitava di una verifica successiva mediante una reale valutazione della qualità dell'aria effettuata mediante i monitoraggi eseguiti con le stazioni mobili.

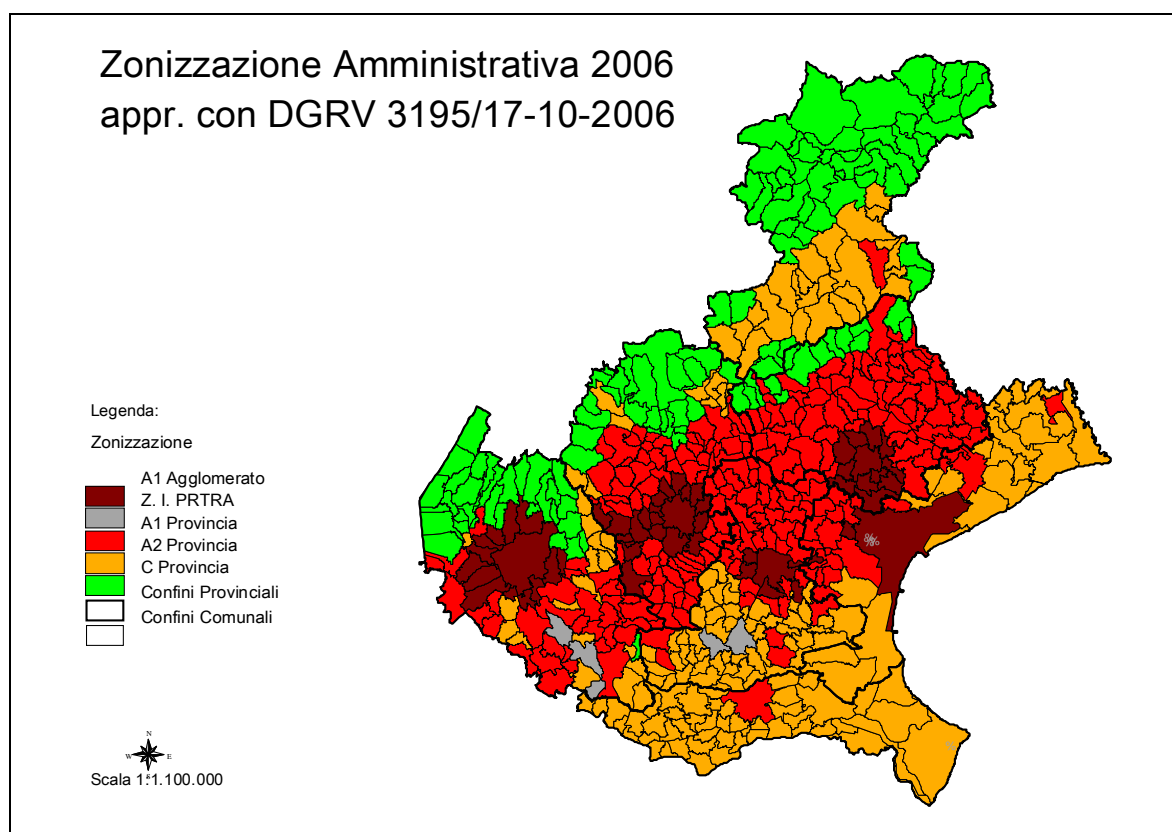


Figura 1 La zonizzazione del territorio regionale approvata con DGR 3195/2006

Le tecniche di misura indicativa sono basate sull'uso di una stazione mobile (o ogni altro supporto alla misura mobile o trasportabile); tali tecniche sono di particolare interesse per i costi di gestione relativamente bassi rispetto a quelli delle stazioni di misura fisse.

Per definire una strategia di monitoraggio efficace sono stati presi in considerazione i riferimenti normativi vigenti durante il periodo di realizzazione del monitoraggio: il D.Lgs.

351/99, il DM 60/02, il D.Lgs. 183/2004. In tali decreti sono definitivi gli obiettivi minimi di qualità del dato, ossia è stabilita la numerosità dei campioni da raccogliere in ciascun punto di campionamento affinché il dato aggregato (ad esempio la media annuale) possa essere confrontabile con i valori limite di legge. Nelle tabelle 1a e 1b sono riportati gli obiettivi di qualità del dato fissati dalla normativa per le misure indicative.

Tabella 1a. Misure Indicative: obiettivi di qualità del dato per biossido di zolfo, ossidi di azoto, monossido di carbonio, ozono, benzene, piombo e PM10

Obiettivi di qualità del dato	SO ₂ , NO, NO ₂ , CO	C ₆ H ₆	PM10, Piombo	O ₃ , NO, NO ₂
Incertezza	25%	30%	50%	30%
Raccolta minima dei dati	90%	90%	90%	90%
Periodo minimo di copertura	14% ⁽¹⁾	14% ⁽²⁾	14% ⁽¹⁾	>10% (estate)

(1) Misurazione effettuata in un giorno fisso scelto a caso di ogni settimana dell'anno in modo tale che le misurazioni siano uniformemente distribuite nell'arco dell'anno oppure effettuata per otto settimane distribuite equamente nell'arco dell'anno.

(2) Misurazione effettuata in un giorno variabile di ogni settimana dell'anno in modo tale che le misurazioni siano uniformemente distribuite nell'arco dell'anno oppure effettuata per otto settimane distribuite equamente nell'arco dell'anno.

Tabella 1b. Misure Indicative: obiettivi di qualità del dato per benzo(a)pirene, arsenico, cadmio, nichel e altri idrocarburi policiclici aromatici

Obiettivi di qualità del dato	B(a)P	As, Cd e Ni	altri IPA diversi dal B(a)P
Incertezza	50%	40%	50%
Raccolta minima dei dati	90%	90%	90%
Periodo minimo di copertura	14%	14%	14%

La normativa prevede un periodo minimo di copertura del 14% sull'anno per biossido di zolfo, ossidi di azoto, monossido di carbonio, benzene, piombo e PM10, Benzo(a)pirene, Arsenico, Cadmio, Nichel, maggiore del 10 % per l'ozono nel periodo estivo (1° aprile – 30 settembre). In più la normativa richiede che le misurazioni siano effettuate uniformemente nel corso dell'anno, possibilmente per otto settimane distribuite equamente nell'arco dell'anno. Poiché la realizzazione di otto campagne di misura con mezzo mobile equamente distribuite nel corso dell'anno risulta di difficile realizzazione a causa della necessità di provvedere più volte alla messa in opera dell'allacciamento elettrico del mezzo presso il sito di misura, si è optato per la valutazione della qualità dell'aria di un punto di campionamento mediante due campagne di monitoraggio, una realizzata nel periodo estivo, l'altra nel periodo invernale.

Era stato richiesto che entrambe le campagne fossero realizzate all'interno di un anno solare e dovevano essere di almeno cinque settimane ciascuna (circa il 10% annuo per ciascuna) in maniera tale da riuscire a rispettare l'obiettivo complessivo del 14% considerando anche le eventuali perdite di dati dovute a problemi tecnici e/o strumentali.

Per quanto riguarda la definizione dello schema di monitoraggio a livello regionale, sono stati presi in considerazione i criteri descritti nell'Allegato I al DM 261/2002 per la valutazione della distribuzione spaziale degli inquinanti su grandi aree, attraverso il monitoraggio su griglia.

Tale metodo è realizzato dividendo l'area d'interesse in una griglia a maglia quadrata e misurando l'inquinamento in ciascuna cella. Le misure sono realizzate per brevi periodi di

tempo in ciascuna intersezione delle linee della griglia e ripetute durante il corso dell'anno. Le date e le ore delle misure sono scelte in modo casuale ma comunque tenendo in considerazione che devono essere equamente distribuite sui mesi, giorni della settimana ed ore del giorno. Lo schema di misura deve essere implementato in modo che le intersezioni adiacenti sulla griglia non siano monitorate nello stesso periodo. I valori singoli misurati ai quattro vertici di ciascuna cella sono usati per calcolare il valore medio della concentrazione di cella.

3. CRITERI PER LA REALIZZAZIONE DELLE CAMPAGNE DI MONITORAGGIO

Oltre a tener conto della normativa di riferimento, ai fini della realizzazione delle campagne di monitoraggio sono stati fissati i seguenti criteri generali:

- il monitoraggio doveva essere eseguito in siti di background, evitando la dislocazione del mezzo in siti di hot spot di traffico ed industriale; i siti di hot spot avrebbero dovuto essere oggetto di monitoraggio ad hoc, in quanto trattasi di valutazione di aree di massima concentrazione;
- gli inquinanti da monitorare erano: il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NOX), l'anidride solforosa (SO₂), l'ozono (O₃), il benzene (C₆H₆), il PM₁₀, il benzo(a)pirene (BaP), gli elementi in tracce (As, Cd, Ni, Pb), con particolare attenzione rivolta al PM₁₀, data la criticità per il nostro territorio;
- Il calendario di realizzazione delle campagne è stato preventivamente fissato per tenere conto di quanto stabilito dal DM 261/2002, ossia della necessità di fissare uno schema di misura, senza che vi fosse sovrapposizione tra i periodi di monitoraggio ai vertici di cella. Si è quindi proposto di seguire un calendario (Tabella 2a,2b, 2c) che prevedeva la realizzazione, per ciascun anno e per ogni cella, di due campagne nel periodo compreso tra il 4 gennaio e il 18 marzo (primo periodo invernale); quattro campagne nel periodo compreso tra il 3 maggio e il 23 settembre (periodo estivo); due campagne nel periodo compreso tra il 20 ottobre e il 30 dicembre (secondo periodo invernale). Dal 18 marzo al 3 maggio e dal 23 settembre al 20 ottobre erano stati previsti due periodi di sosta da dedicare alla manutenzione del mezzo o della strumentazione o ad eventuali esigenze istituzionali di monitoraggio dei Dipartimenti;
- Opportunità di prediligere il monitoraggio nei siti con differente tipologia di zonizzazione (A1 Agglomerato, A1 Provincia, A2 Provincia, C Provincia), privilegiando i Comuni situati a confine tra un'area e l'altra e, tra di essi, quelli per cui si disponevano di minori informazioni sulla qualità dell'aria;
- raccolta di informazioni adeguate sul sito di campionamento. In sede di posizionamento del mezzo, il tecnico provvedeva alla raccolta delle informazioni sul sito (indirizzo, coordinate geografiche). Il sito doveva poi essere caratterizzato segnalando la presenza di possibili fonti di emissione, la vicinanza a strade, o a particolari insediamenti produttivi prendendo come riferimento i criteri di caratterizzazione della zona descritti nel documento "Criteria for EUROAIRNET"². Le informazioni sono utili al momento dell'elaborazione e dell'interpretazione del dato, nonché nell'ottica di mantenere la tracciabilità dei siti mappati per eventuali sviluppi futuri delle indagini.

² "Criteria for Euroairnet" Technical Report n. 12 (EEA). Febbraio 1999

Tabella 2a. Calendario proposto per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio nel 2007

	Semestre invernale	Semestre estivo
Periodo 1	2 gennaio – 6 febbraio	2 maggio – 6 giugno
Periodo 2	7 febbraio – 14 marzo	7 giugno – 12 luglio
Periodo 3	20 ottobre – 24 novembre	13 luglio – 17 agosto
Periodo 4	25 novembre – 30 dicembre	18 agosto – 22 settembre

Tabella 2b. Calendario proposto per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio nel 2008

	Semestre invernale	Semestre estivo
Periodo 1	2 gennaio – 6 febbraio	30 aprile – 5 giugno
Periodo 2	7 febbraio – 14 marzo	6 giugno – 11 luglio
Periodo 3	20 ottobre – 24 novembre	14 luglio – 18 agosto
Periodo 4	25 novembre – 30 dicembre	19 agosto – 22 settembre

Tabella 2c. Calendario proposto per l'esecuzione delle campagne di monitoraggio nel 2009

	Semestre invernale	Semestre estivo
Periodo 1	12 gennaio – 16 febbraio	4 maggio – 8 giugno
Periodo 2	16 febbraio – 23 marzo	8 giugno – 13 luglio
Periodo 3	19 ottobre – 23 novembre	13 luglio – 17 agosto
Periodo 4	23 novembre – 31 dicembre	17 agosto – 21 settembre

Per poter adempiere a tutti questi vincoli, ricavando più informazioni possibile dai monitoraggi, erano state predisposte per ciascun anno, dal 2007 al 2009, le mappe con l'indicazione dei comuni da monitorare. Tali mappe sono riportate in Allegato; per ogni anno è rappresentata la mappa complessiva con tutti i comuni da sottoporre a monitoraggio e quattro mappe di dettaglio nelle quali sono indicati i comuni da monitorare in ciascuno dei quattro periodi. Poiché le celle comprendevano anche territori interprovinciali, si rendeva necessaria un'organizzazione regionale dello schema di misura e della tempistica dei monitoraggi. I vertici di cella potevano collocarsi in prossimità di uno o più comuni, pertanto era necessario stabilire quale comune era preferibile monitorare. Tale lavoro di ottimizzazione ed organizzazione dei monitoraggi è stato effettuato ogni anno per il successivo a cura dell'Osservatorio Regionale Aria e dei Dipartimenti ARPAV Provinciali. Nella Tabella 3 è riportato l'elenco dei comuni monitorati nel triennio 2007-2009 da ciascun Dipartimento ARPAV Provinciale.

Nella Figura 2 è rappresentata la griglia applicata a tutto il territorio regionale e le celle sottoposte a monitoraggio nel triennio 2007-2009 secondo la metodologia descritta.

Tabella 3 Elenco dei comuni monitorati nel triennio 2007-2009 mediante monitoraggio a griglia.

Dipartimento ARPAV	Anno 2007	Anno 2008	Anno 2009
PADOVA	Curtarolo, Rovolon, Ponso, Tribano	Corezzola, Piove di Sacco, Albignasego, Bagnoli di Sopra	Urbana, Vigodarzere, Galliera, Carceri
ROVIGO	Porto Tolle, Occhiobello, S.Bellino, Porto Viro	Badia Polesine, Papozze, Pontecchio Polesine	Lendinara, Occhiobello
TREVISO	Mareno di Piave, Crocetta del Montello, Roncade, Morgano, Valdobbiadene, Miane	Silea, S.Polo di Piave, Gorgo al Monticano, Cappella Maggiore	S. Polo di Piave, Paderno del Grappa
VENEZIA	Fossò, Cavallino Treporti, S.Michele al Tagliamento, Portogruaro	S.Michele al Tagliamento, Portogruaro, Noventa di Piave	Caorle, S.Stino, Pianiga, Campolongo
VERONA	Sorgà, Zimella, Zevio, Povegliano Veronese	Brenzone, Tregnago, S.Pietro in Cariano, Erbezzo, Bardolino	Mezzane, Cologna Veneta, Palù, Conca Marise
VICENZA	Recoaro Terme, Montecchio Precalcino, Montegalda, Malo, Montorso	Sandrigo, Conco, Laghi, S.Vito Leguzzano, Cogollo del Cengio	Bressanvido, Valstagna, Enego, Grumolo delle Abbadesse

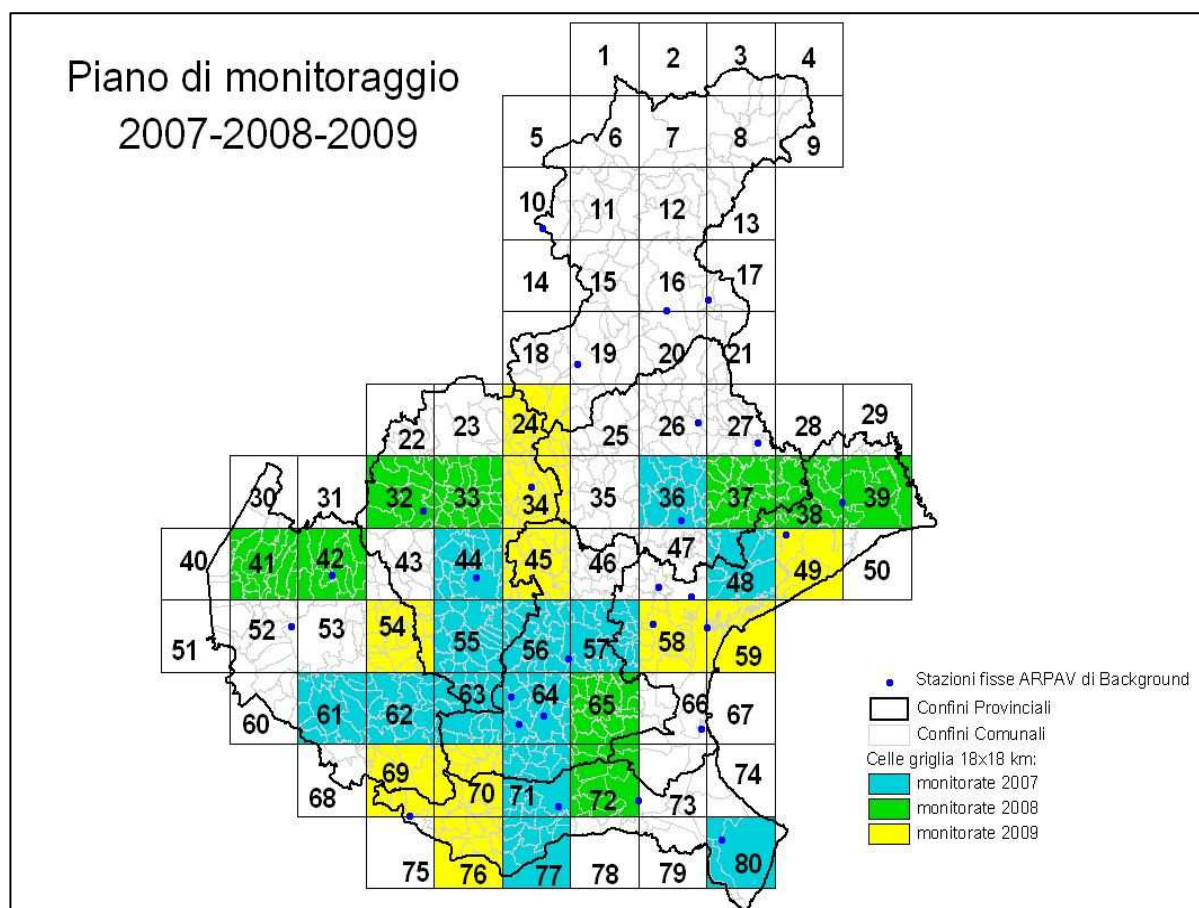


Figura 2. Le celle sottoposte a monitoraggio nel triennio 2007-2009.

4. STATISTICHE DESCRITTIVE DEI DATI RACCOLTI

4.1 Mezzi mobili

I dati analizzati nel presente paragrafo riguardano le medie giornaliere di PM10 rilevate dai mezzi mobili posizionati ai vertici delle celle rappresentate in Figura 2.

I valori medi delle concentrazioni di PM10 determinati ai quattro vertici di ciascuna cella sono stati utilizzati per calcolare il valore medio di cella; il PM10 è stato misurato impiegando campionatori gravimetrici oppure analizzatori di tipo automatico installati sulle stazioni rilocabili.

In alcuni casi uno dei vertici di cella era costituito da una stazione fissa di monitoraggio. Se uno dei vertici di cella ricadeva fuori dal territorio regionale o in mare non è stato possibile rilevare i dati di tutti e quattro i vertici; in tal caso sono stati considerati solo tre vertici; le celle con tre soli siti (celle triangolari) sono le numero 77 e 80 (nel 2007) e le numero 59 e 76 (nel 2009).

Non sempre è stato possibile rispettare gli obiettivi minimi di qualità del dato, ossia la raccolta di un numero di campioni giornalieri uguale o superiore a 204 per anno, pari al 14% per ogni vertice. Complessivamente nel triennio sono state monitorate 32 celle: 13 nel 2007, 9 nel 2008, 10 nel 2009. I dati di cella, derivanti dai monitoraggi effettuati ai quattro vertici, sono stati elaborati come se si trattasse di un unico sito monitorato. Sono state calcolate le statistiche descrittive di base, riportate nelle Tabelle 4a, 4b, 4c.

Tabella 4a. Statistiche descrittive relative ai dati giornalieri di PM10 raccolti nel 2007.

Cella	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
36	246	42	6	25	35	49	128
44	161	39	4	24	31	45	140
48	274	41	4	21	33	55	143
55	161	41	4	27	33	49	156
56	211	50	4	27	35	73	158
57	269	49	4	25	38	71	158
61	209	42	4	28	37	49	120
62	201	40	6	25	35	48	117
63	216	43	6	25	34	57	156
64	239	49	6	26	34	65	156
71	275	44	7	23	33	61	148
77	263	39	4	22	33	53	124
80	274	35	4	18	26	44	129

La quantità di giorni monitorati varia a seconda della cella considerata. Nei casi migliori si hanno anche 220-230 osservazioni, mentre nei casi peggiori non si raggiungono le 180-200 osservazioni. A causa di questo motivo, le medie delle celle non sono propriamente confrontabili tra di loro. Tuttavia la valutazione svolta ha un indubbio valore di tipo qualitativo, utile a supporto alla previsione modellistica delle concentrazioni di PM10 sul territorio regionale.

Considerando le colonne dei valori massimi di cella si osserva che nel 2007 il picco più alto di concentrazione è stato raggiunto in corrispondenza alle celle adiacenti 56 e 57, entrambe con 158 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; nel 2008 il valore giornaliero più elevato di PM10 è stato di 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nella cella 42; infine nel 2009 il valore massimo registrato è stato di 186 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nella cella 45.

Tabella 4b. Statistiche descrittive relative ai dati giornalieri di PM10 raccolti nel 2008.

Cella	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
32	287	31	4	14	23	37	189
33	240	34	4	18	26	39	189
37	195	37	6	22	31	46	158
38	243	33	4	18	29	40	159
39	282	29	4	16	25	35	159
41	139	33	4	15	24	37	183
42	184	34	4	12	23	39	195
65	285	36	6	21	29	44	180
72	286	33	4	18	25	40	180

Tabella 4c. Statistiche descrittive relative ai dati giornalieri di PM10 raccolti nel 2009.

Celle	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
24	203	25	4	13	19	31	143
34	229	31	4	16	27	40	143
45	207	38	7	22	31	42	186
49	240	30	4	18	26	35	129
54	158	35	4	20	28	42	137
58	310	39	4	22	32	46	139
59	202	34	4	21	30	42	120
69	225	38	6	22	33	49	114
70	225	39	7	22	32	51	140
76	235	37	7	20	29	47	140

Analizzando le tre tabelle, si può verificare che le mediane sono sempre inferiori alle medie di cella. Questo fa presumere che le distribuzioni dei dati siano asimmetriche.

Di seguito (Figure 3a, 3b, 3c) sono rappresentate alcune analisi grafiche (istogrammi di frequenza e diagrammi a scatola) relative alla concentrazione giornaliera di PM10 rilevata nelle 32 celle. I grafici di tutte le celle sono riportati in Appendice.

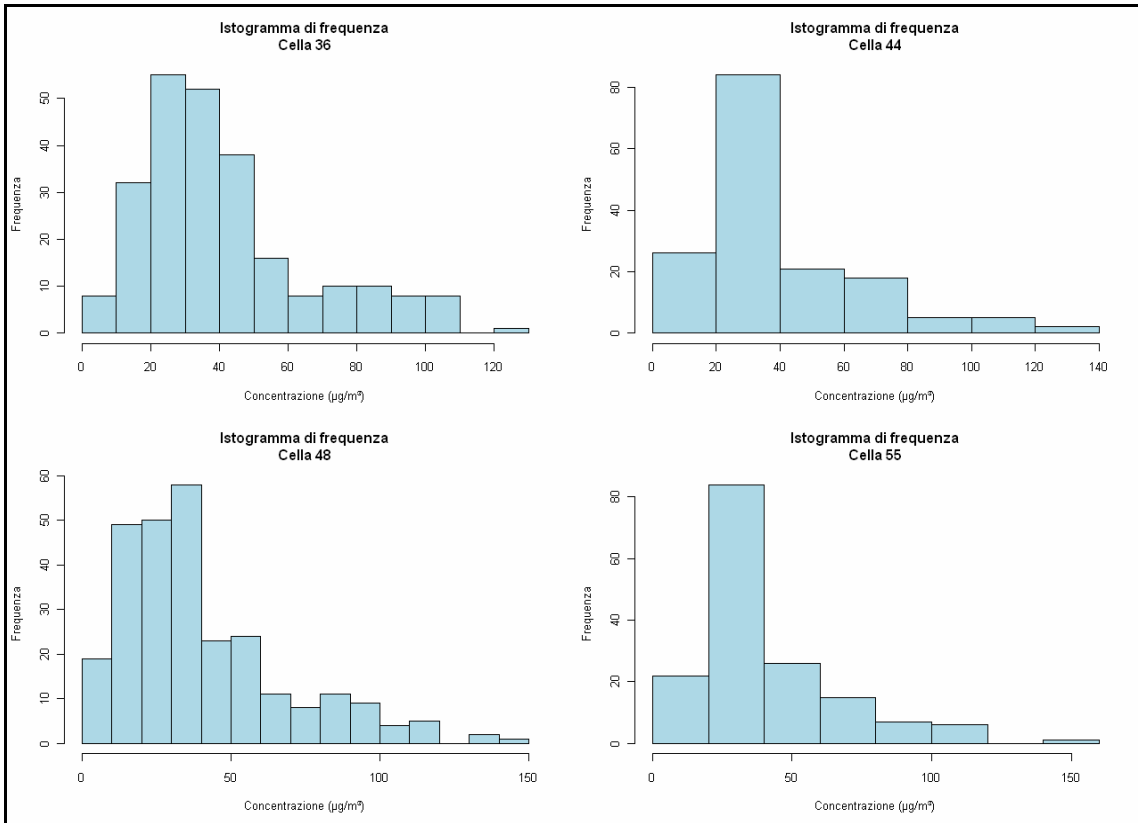


Figura 3a. Alcuni istogrammi di frequenza delle concentrazioni di PM10 (anno 2007).

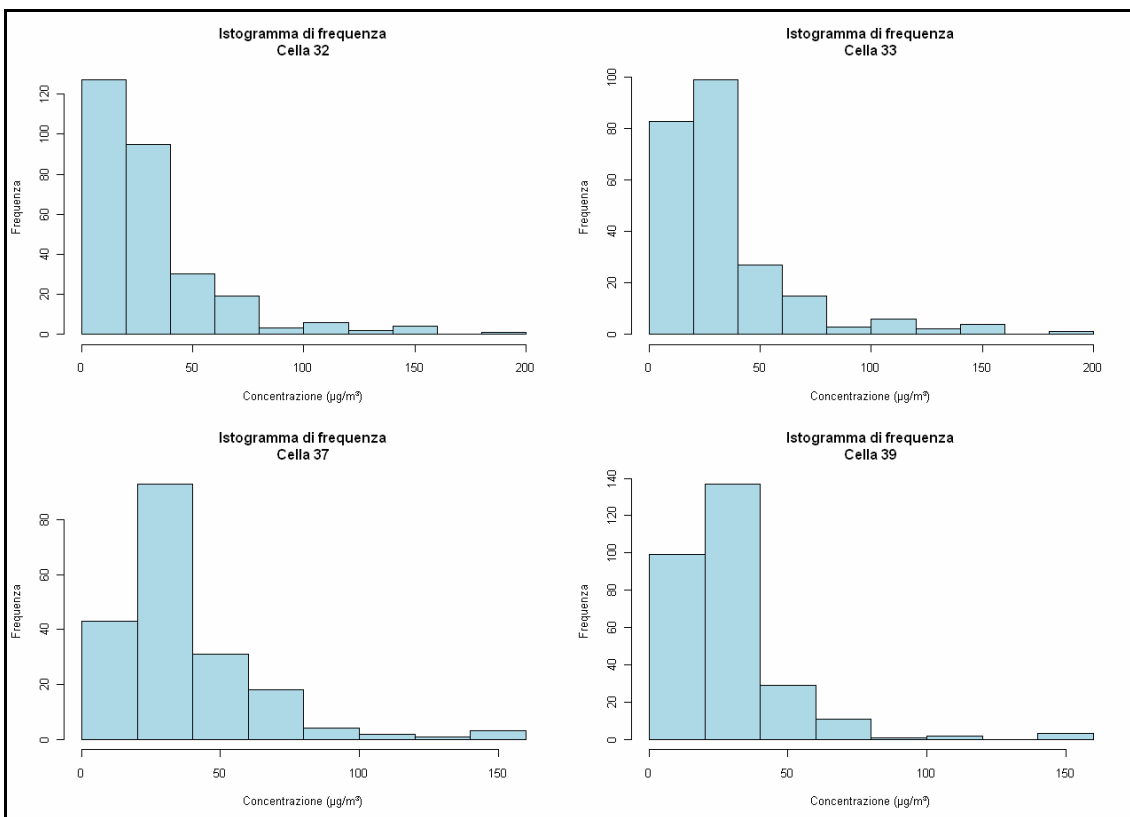


Figura 3b. Alcuni istogrammi di frequenza delle concentrazioni di PM10 (anno 2008).

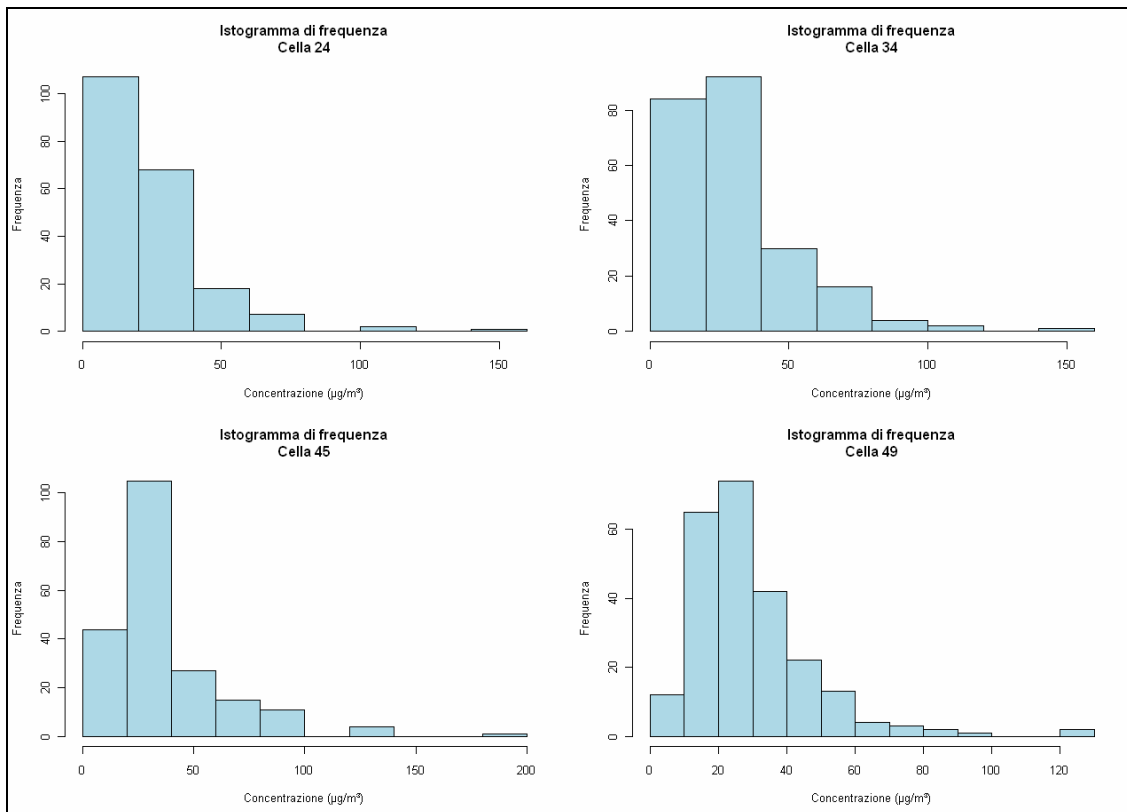


Figura 3c. Alcuni istogrammi di frequenza delle concentrazioni di PM10 (anno 2009).

Dagli istogrammi si può osservare che le celle hanno una distribuzione asimmetrica, verso sinistra. Questo indica che la distribuzione è maggiormente concentrata sui valori bassi di PM10.

Anche dai diagrammi a scatola si nota che la distribuzione è asimmetrica in quanto la lunghezza del baffo superiore è maggiore rispetto a quella del baffo inferiore e ci sono diversi valori anomali (outliers).

Dai diagrammi a scatola, si può osservare anche la variabilità dei dati delle diverse celle. La variabilità è determinata dall'ampiezza della scatola, ossia dalla misura dello scarto interquartile.

Per quanto riguarda gli esempi considerati (Figure 4a, 4b,4c), si può notare che nel 2007 le celle 44 e 55 hanno una variabilità molto simile, la variabilità della cella 36 è leggermente maggiore, mentre quella della cella 48 è decisamente maggiore rispetto alle altre. Nel 2008 le celle sembrano presentare tutte più o meno la stessa variabilità. Infine nel 2009 la cella 34 presenta un'elevata variabilità a differenza delle celle 24, 49 e anche della cella 45. tutti i diagrammi a scatola sono riportati in Appendice.

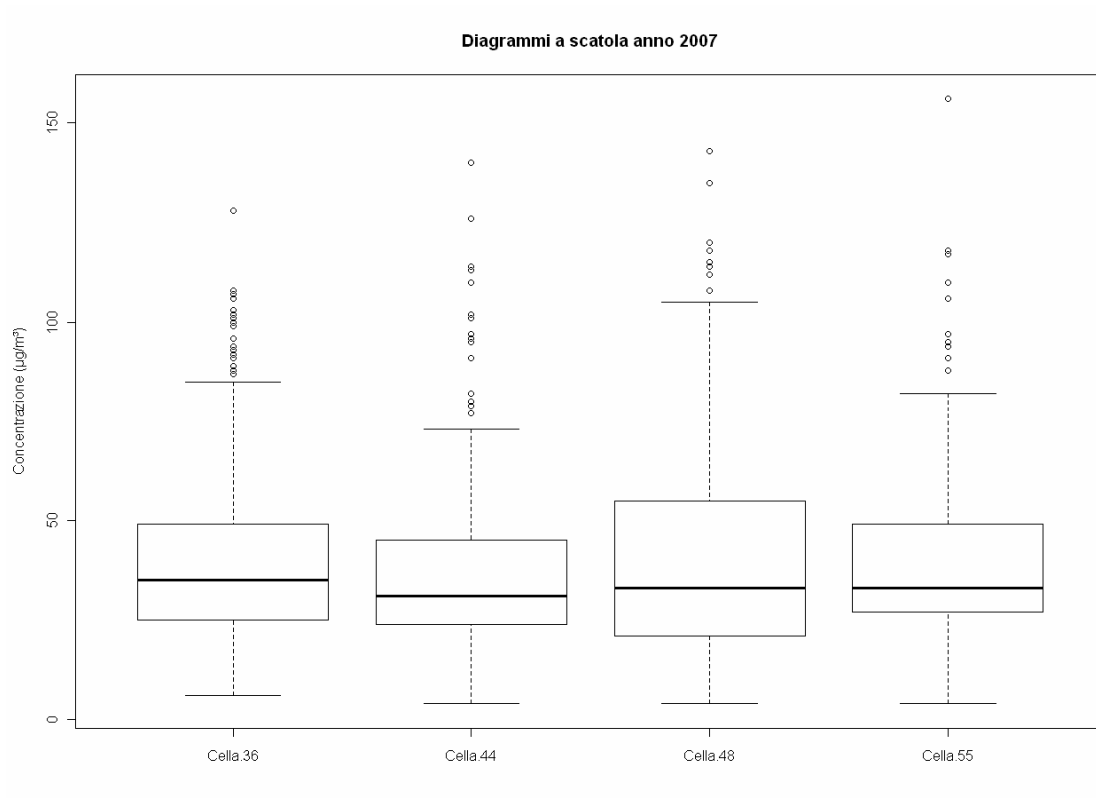


Figura 4a. Diagrammi a scatola dei dati di PM10 rilevati in alcune celle nell'anno 2007.

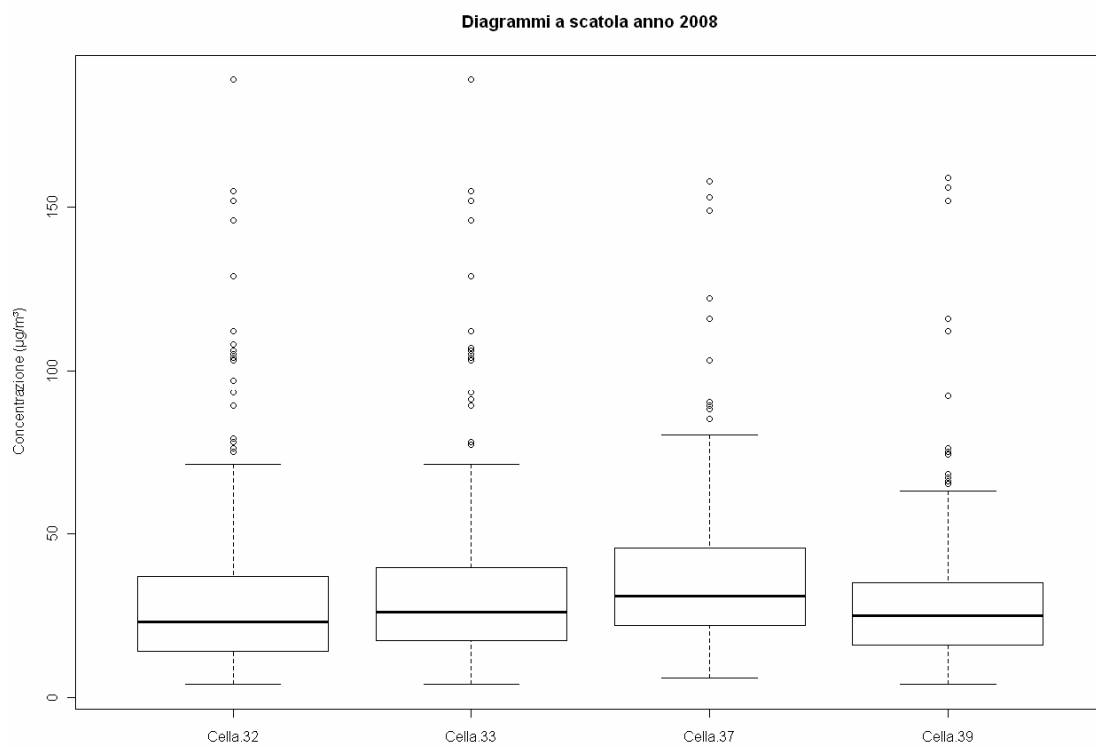


Figura 4b. Diagrammi a scatola dei dati di PM10 rilevati in alcune celle nell'anno 2008.

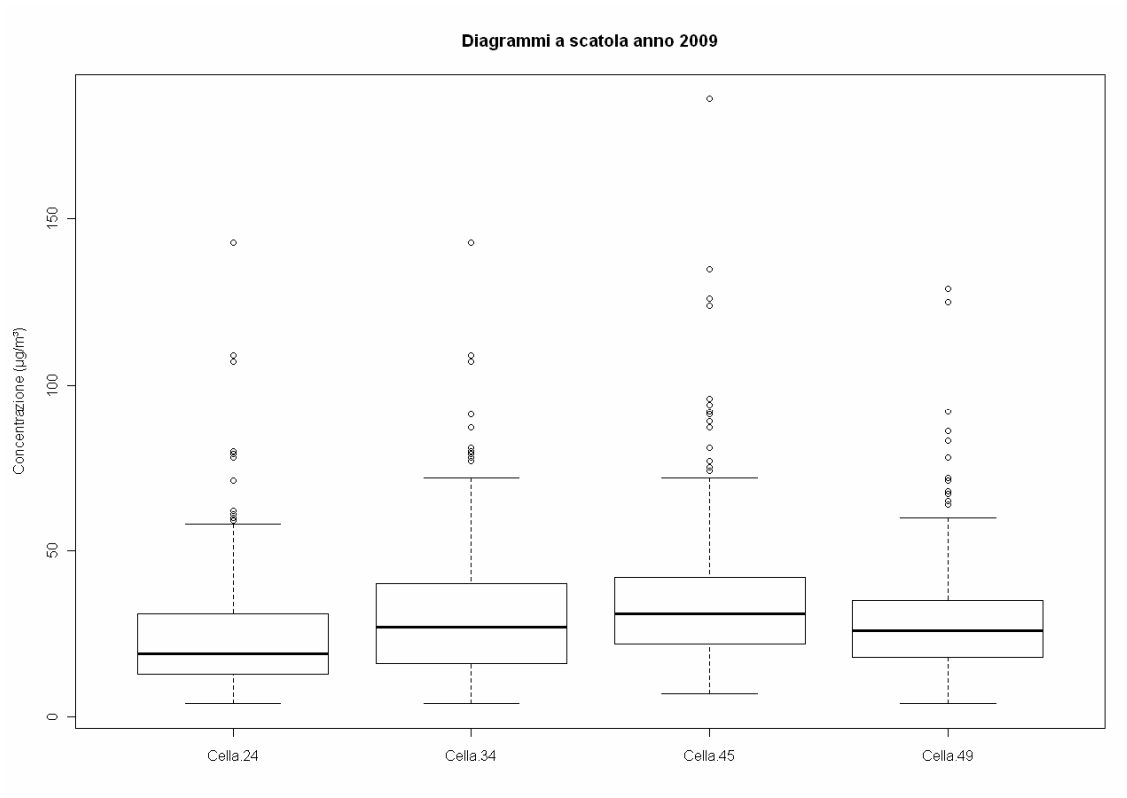


Figura 4c. Diagrammi a scatola relativi ai dati di PM10 rilevati in alcune celle nell'anno 2009.

4.2 Le stazioni fisse

I dati analizzati in questo paragrafo riguardano le concentrazioni giornaliere di PM10 rilevate dalle stazioni fisse della Rete di Monitoraggio della Qualità dell'Aria.

In base alla normativa il monitoraggio del PM10 tramite stazioni fisse deve avvenire per un periodo di copertura pari al 90% dell'anno, cioè per almeno 329 su 365 giorni. I dati delle stazioni fisse sono stati messi in correlazione con quelli ottenuti mediante le stazioni mobili nelle 32 celle. Per ogni cella è stata individuata la stazione di monitoraggio fissa, di tipologia background, più vicina geograficamente da utilizzare come riferimento per l'applicazione di un modello di ricostruzione delle serie storiche dei dati di cella, di cui parleremo al paragrafo 6. Nelle tabelle 5a, 5b, 5c sono riportate, per ogni cella, le stazioni fisse di riferimento individuate.

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 36	TV - Via Lancieri
Cella 44	VI - Quartiere Italia
Cella 48	San Donà, VE - Parco Bissuola
Cella 55	VI - Quartiere Italia
Cella 56	PD – Mandria
Cella 57	PD – Mandria
Cella 61	Castelnovo Bariano, VR – Cason
Cella 62	Castelnovo Bariano, VR – Cason
Cella 63	Este
Cella 64	Este
Cella 71	RO – Borsea
Cella 77	RO - Borsea, Adria
Cella 80	Badia Polesine

Tabella 5a. Stazioni fisse di riferimento per ogni cella (anno 2007).

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 32	Schio
Cella 33	Bassano, Schio
Cella 37	Mansuè, TV - Via Lancieri
Cella 38	Mansuè, San Donà, Concordia Sagittaria
Cella 39	Concordia Sagittaria
Cella 41	Bosco Chiesanuova
Cella 42	Bosco Chiesanuova
Cella 65	Este, Chioggia
Cella 72	Adria, RO – Borsea

Tabella 5b. Stazioni fisse di riferimento per ogni cella (anno 2008).

Cella	Stazioni fisse di riferimento
Cella 24	Feltre, Bassano
Cella 34	Bassano
Cella 45	Bassano, VI - Quartiere Italia
Cella 49	San Donà
Cella 54	Bosco Chiesanuova, VI - Quartiere Italia, VR - Cason
Cella 58	VE - Sacca Fisola, VE - Parco Bissuola
Cella 59	VE - Sacca Fisola, VE - Parco Bissuola
Cella 69	Castelnovo Bariano
Cella 70	Castelnovo Bariano, RO - Borsea
Cella 76	Castelnovo Bariano, RO - Borsea

Tabella 5c. Stazioni fisse di riferimento per ogni cella (anno 2009).

Per alcune delle celle monitorate sono state individuate anche due stazioni di riferimento e successivamente si è verificato quale delle stazioni fisse mostrasse una migliore correlazione con i dati di cella.

Nel caso in cui per una cella ci fossero più stazioni di riferimento l'analisi, di cui al capitolo 6, è stata effettuata per tutte le stazioni e sono stati riportati i risultati della stazione i cui dati correlavano meglio rispetto ai dati di cella. Prima dell'applicazione del modello, la cui trattazione è rimandata appunto al capitolo 6, sono state calcolate le principali statistiche descrittive riguardanti le stazioni fisse (Tabelle 6a, 6b, 6c).

Stazioni	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
TV - Via Lancieri	297	43	4	24	34	55	160
VI - Quartiere Italia	353	45	6	24	36	60	168
San Donà	344	37	4	19	29	45	208
VE - Parco Bissuola	357	47	4	25	38	61	310
PD - Mandria	338	47	6	27	38	61	137
Castelnovo Bariano	353	40	6	22	33	51	129
VR - Cason	357	47	4	29	41	59	147
Este	353	45	6	24	36	56	154
RO - Borsea	360	42	4	22	34	54	139
Adria	365	31	4	14	24	40	118
Badia Polesine	235	34	4	21	30	40	121

Tabella 6a. Statistiche descrittive delle concentrazioni giornaliere di PM10 rilevate nelle stazioni fisse prese come riferimento nel 2007.

Stazioni	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
Schio	350	32	4	16	24	37	200
Bassano	352	29	4	13	21	33	209
TV - Via Lancieri	307	38	4	20	30	45	182
Mansuè	363	26	4	12	19	31	159
San Donà	345	33	5	19	26	41	154
Concordia Sagittaria	357	30	4	17	27	39	118
Bosco Chiesanuova	364	20	4	8	14	22	153
Este	347	39	6	21	28	48	181
Chioggia	356	31	4	16	24	36	145
Adria	349	30	4	15	24	37	135
RO - Borsea	309	31	4	19	25	38	119

Tabella 6b Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2008.

Stazioni	N. campioni	Media	Minimo	1° quartile	Mediana	3° quartile	Massimo
Feltre	341	28	5	15	24	35	122
Bassano	355	27	4	13	21	34	176
VR - Cason	359	38	4	22	35	48	150
VI - Quartiere Italia	355	38	4	20	30	49	196
Bosco Chiesanuova	312	20	4	8	17	26	148
Sacca Fisola	364	35	5	22	31	41	123
San Donà	359	41	5	17	26	41	127
Castelnovo Bariano	335	37	5	19	31	52	135
RO - Borsea	340	40	9	22	32	51	152
VE - Parco Bissuola	343	37	4	22	32	47	141

Tabella 6c. Statistiche descrittive relative alla concentrazione giornaliera di PM10 delle stazioni fisse prese come riferimento nel 2009.

Rispetto ai dati di cella, trattati al paragrafo 4.1, il numero di campioni per le stazioni fisse è elevato: tutte le stazioni hanno più di 329 rilevamenti della concentrazione giornaliera di particolato atmosferico, come richiesto dalla normativa, ad esclusione della centralina di TV-Via Lancieri (2007, 2008) Badia Polesine (2007), quest'ultima con soli 235 dati essendo entrata in funzione in aprile e non ad inizio anno.

Per quanto riguarda i valori massimi, nel 2007 il picco più alto ($310 \mu\text{g}/\text{m}^3$) è stato registrato nella stazione di Parco Bissuola, il 6 gennaio. Nel 2008 il picco più alto è stato riscontrato nella centralina di Bassano ($209 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e nel 2009 in quella di VI – Quartiere Italia ($196 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Si osserva che nel 2007 quasi tutte le medie annuali hanno superato il valore limite annuale di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; solo le stazioni di San Donà, Castelnovo Bariano, Adria e Badia Polesine hanno una media inferiore a questo valore, anche se nel caso di Badia Polesine la quantità di dati raccolta non è sufficiente al rispetto degli obiettivi minimi di qualità del dato. Nel 2008, invece, nessuna centralina supera il valore limite e, in alcuni casi, la media è addirittura sotto ai $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Situazione analoga nel 2009 anno in cui solo la centralina di San Donà supera la soglia limite con $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si verifica inoltre (Tabelle 6a,6b,6c) che per le stazioni fisse, così come per i dati di cella, le mediane sono sempre inferiori alle medie, segno che le distribuzioni dei dati sono anche in questo caso asimmetriche. Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi degli istogrammi e i diagrammi a scatola relativi alle concentrazioni giornaliere di PM10 rilevate da alcune centraline fisse. In Appendice sono riportati gli istogrammi e i diagrammi a scatola dei dati rilevati da tutte le stazioni fisse nel corso del triennio.

Considerando tutti i diagrammi a scatola è possibile osservare come si modifichi la variabilità dei dati a seconda della stazione considerata, ma anche a seconda dell'anno di misura.

Questi risultati ci hanno spinto ad approfondire l'analisi di tutti i dati raccolti nei tre anni per capire se nel 2007 la maggiore criticità nelle concentrazioni medie registrate sia nelle stazioni fisse che nelle celle fosse dovuta all'influenza di qualche altro fattore come ad esempio le condizioni meteorologiche nei tre anni. Nel capitolo 5 è riportato un breve commento tratto dalle Relazioni Regionali della qualità dell'aria. L'anno 2007, rispetto ai due anni seguenti, è stato effettivamente caratterizzato da un minor numero di eventi piovosi e in generale da una maggiore presenza di condizioni di stabilità atmosferica che non hanno favorito la dispersione degli inquinanti soprattutto nel periodo autunno-invernale. Anche le concentrazioni estive di ozono sono risultate più elevate nel 2007 segno di una persistenza in atmosfera degli inquinanti precursori oltre che di una maggiore scarsità di fenomeni meteorologici quali pioggia e vento forte ($>3\text{m}/\text{s}$). L'influenza della meteorologia ha costituito un limite alla nostra metodologia che mirava a garantire una discreta confrontabilità tra i valori delle medie di cella anche se monitorate in anni diversi.

Per superare questo ostacolo è stato elaborato il modello di calcolo descritto al capitolo 6. Tale modello permette di ricostruire, sfruttando le serie storiche dei dati delle stazioni fisse, i valori delle medie giornaliere di cella per gli anni nei quali non è stato effettuato il monitoraggio.

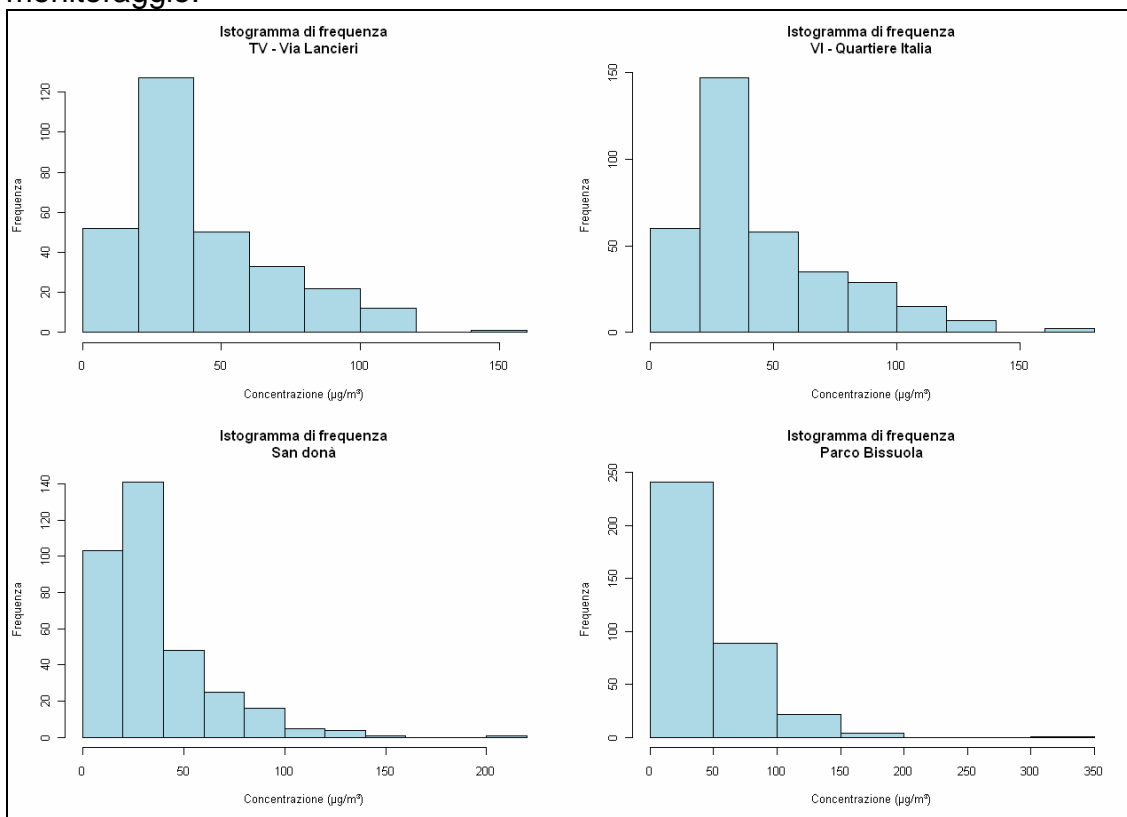


Figura 5a Istogrammi delle concentrazioni di inquinanti rilevati da alcune stazioni fisse (anno 2007).

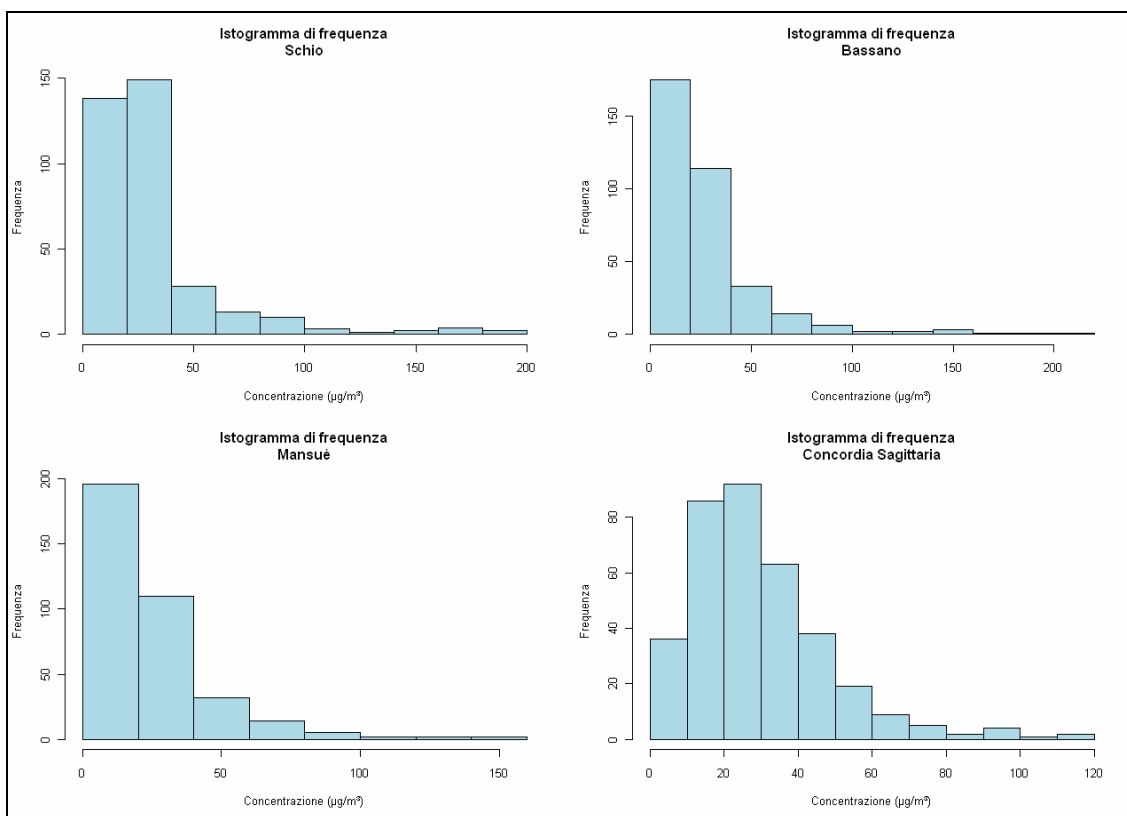


Figura 5b. Istogrammi delle concentrazioni di inquinanti rilevati da alcune stazioni fisse (anno 2008).

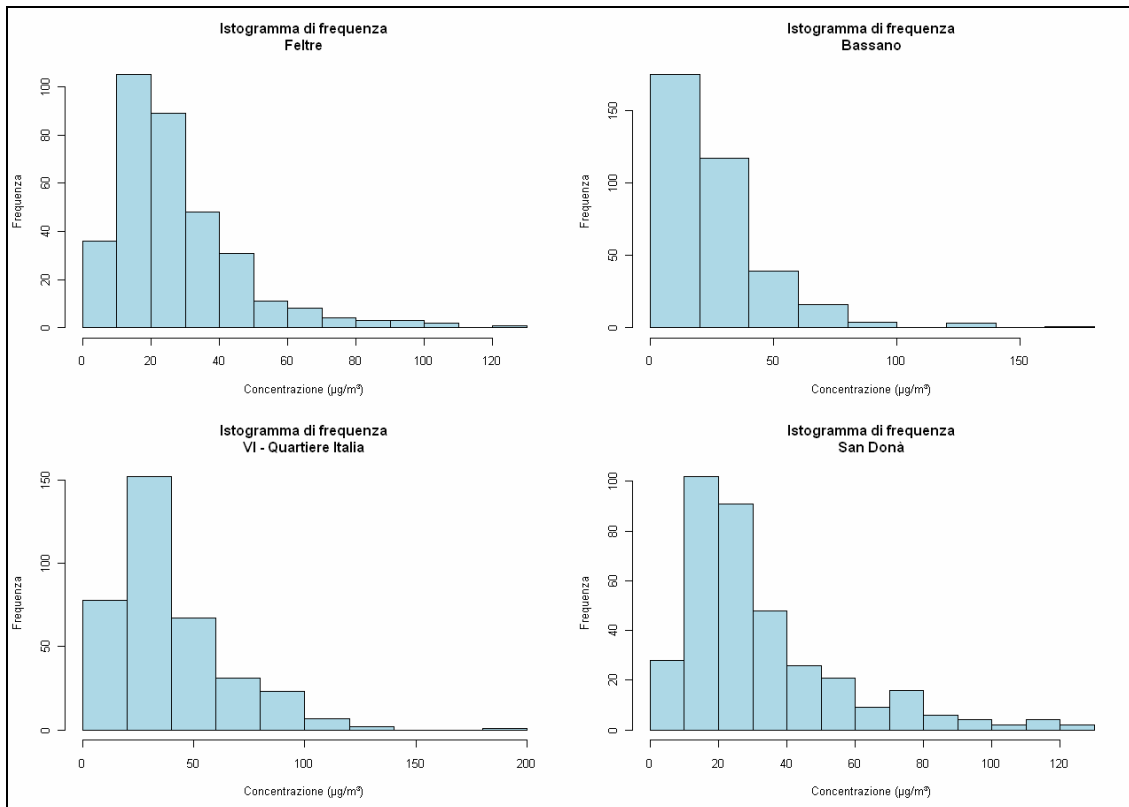


Figura 5c Istogrammi delle concentrazioni di inquinanti rilevati da alcune stazioni fisse (anno 2009).

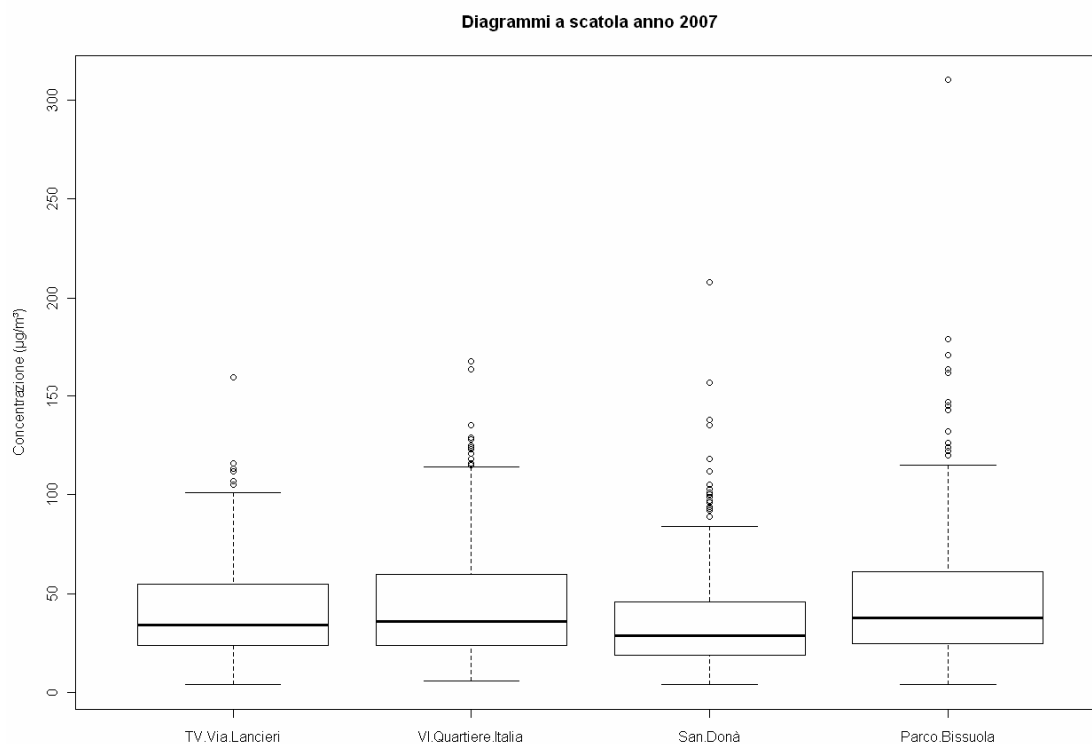


Figura 6a Diagrammi a scatola dei valori di PM10 rilevati per alcune stazioni fisse (anno 2007).

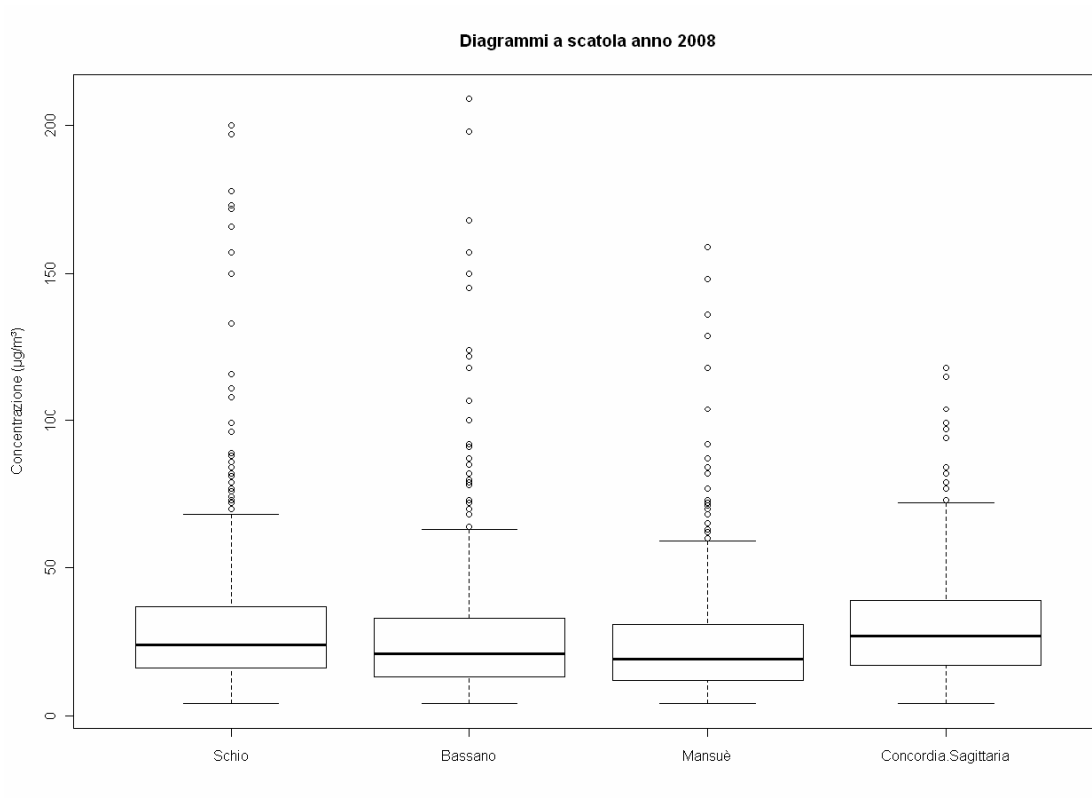


Figura 6b. Diagrammi a scatola dei valori di PM10 rilevati per alcune stazioni fisse (anno 2008).

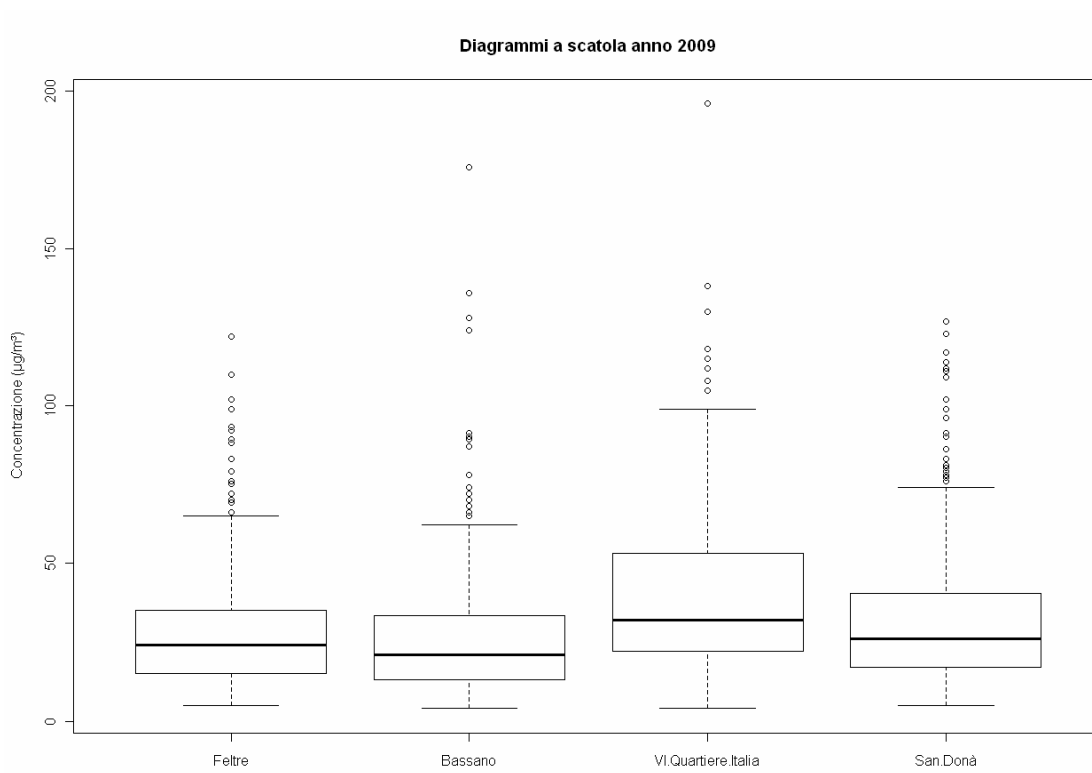


Figura 6c. Diagrammi a scatola dei valori di PM10 rilevati per alcune stazioni fisse (anno 2009).

5. COMMENTO CLIMATOLOGICO PER IL TRIENNIO 2007-2009

Nel 2007, durante i mesi invernali di inizio anno, l'alternanza di fasi di stabilità e passaggi di perturbazioni atlantiche ha determinato il susseguirsi di condizioni di accumulo e dispersione delle polveri sottili. Considerando l'effetto medio sulle concentrazioni mensili di PM₁₀ (Figura 7), si evidenzia come la piovosità, complessivamente superiore alla media, abbia mantenuto le concentrazioni su livelli stazionari o, nel mese di Febbraio leggermente inferiori rispetto agli altri anni.

Durante la primavera del 2007, nei mesi di marzo e maggio, la piovosità, generalmente superiore alla media, ha favorito la dispersione delle polveri sottili, mentre nel mese di aprile, decisamente più secco della norma, le concentrazioni medie mensili di PM₁₀ sono state superiori a quelle degli altri anni. Le temperature più elevate della media verificatesi nel mese di aprile, hanno fatto registrare livelli di ozono più alti rispetto allo stesso periodo degli altri anni.

Nel periodo estivo, le concentrazioni di PM₁₀ sono state come di consueto basse, grazie ad un buon rimescolamento termico; il tempo variabile nel mese di settembre ha impedito l'accumulo delle concentrazioni di polveri sottili, che sono rimaste di molto inferiori alla media degli anni precedenti.

Nei tre mesi conclusivi dell'anno, il tempo piuttosto stabile ed il generale deficit di precipitazione hanno determinato numerosi superamenti della soglia dei 50 µg/m³, che ha comportato un progressivo aumento delle concentrazioni medie mensili di PM₁₀ soprattutto nel mese di dicembre.

Nel 2008 il passaggio di perturbazioni nella prima metà del mese di gennaio ha favorito la dispersione degli inquinanti, mentre nel resto del mese sono prevalse condizioni di tempo stabile che hanno determinato un maggior ristagno di polveri sottili. Complessivamente dal punto di vista meteorologico, il mese di gennaio del 2008 è stato favorevole alla dispersione degli inquinanti. In febbraio, sono prevalse invece condizioni di stabilità che hanno favorito l'incremento delle concentrazioni di inquinanti rispetto a febbraio 2007 e 2009.

Durante la primavera, l'ingresso di numerose perturbazioni sulla nostra regione ha creato le condizioni favorevoli alla dispersione delle polveri fini. Le concentrazioni di marzo, aprile e maggio sono state le più basse rispetto a quelle rilevate negli stessi mesi negli altri anni. Nell'estate del 2008 due fattori hanno contribuito alla dispersione delle polveri fini, le cui concentrazioni sono rimaste su valori medi inferiori ai 40 µg/m³. Il primo è il rimescolamento termico, tipico della stagione, innescato dal forte irraggiamento solare; il secondo è il passaggio di frequenti perturbazioni. Non ci sono molte differenze negli andamenti delle concentrazioni medie mensili di PM₁₀ nei mesi da giugno a settembre nei tre anni considerati (Figura 7).

Al contrario, il tempo stabile, che ha avuto il sopravvento per la maggior parte del mese di ottobre 2008 ha determinato un incremento delle polveri fini che risultano essere mediamente più elevate rispetto a ottobre 2007 e ottobre 2009.

Nel mese di dicembre, il frequente passaggio di perturbazioni ha determinato un'efficace dispersione delle polveri fini, le cui concentrazioni sono risultate di molto più basse rispetto ai corrispondenti periodi degli altri anni.

Tra tutti il 2009 è risultato l'anno caratterizzato da condizioni meteorologiche mediamente più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. All'inizio dell'anno, il passaggio di perturbazioni accompagnate da abbondanti precipitazioni nei mesi di gennaio e febbraio ha favorito la dispersione delle polveri. In entrambi i mesi, i fattori favorevoli alla dispersione degli inquinanti sono stati più frequenti rispetto agli altri anni. Anche durante la primavera e l'estate, l'ingresso di numerose perturbazioni sulla nostra regione hanno creato le condizioni favorevoli alla dispersione delle polveri. Nei mesi autunnali si sono

alternati periodi con passaggi di perturbazioni che hanno favorito la dispersione degli inquinanti, soprattutto in ottobre. Novembre 2009 ha presentato una prima decade e gli ultimi giorni molto perturbati, nei quali è stata favorita la dispersione delle polveri sottili e una fase intermedia con situazione anticiclonica favorevole al ristagno delle polveri. Nel mese di dicembre il passaggio di numerose perturbazioni ha garantito un buon rimescolamento, impedendo l'aumento delle concentrazioni di polveri. Complessivamente è possibile affermare che l'anno 2009 è stato, rispetto agli anni precedenti, l'anno che, dal punto di vista meteorologico, ha maggiormente favorito la dispersione degli inquinanti; non è possibile fare affermazioni di carattere generale per l'anno 2007 e 2008 in quanto si sono verificate, anche se in mesi diversi, condizioni di stabilità atmosferica che hanno contribuito a favorire l'accumulo delle concentrazioni di PM10.

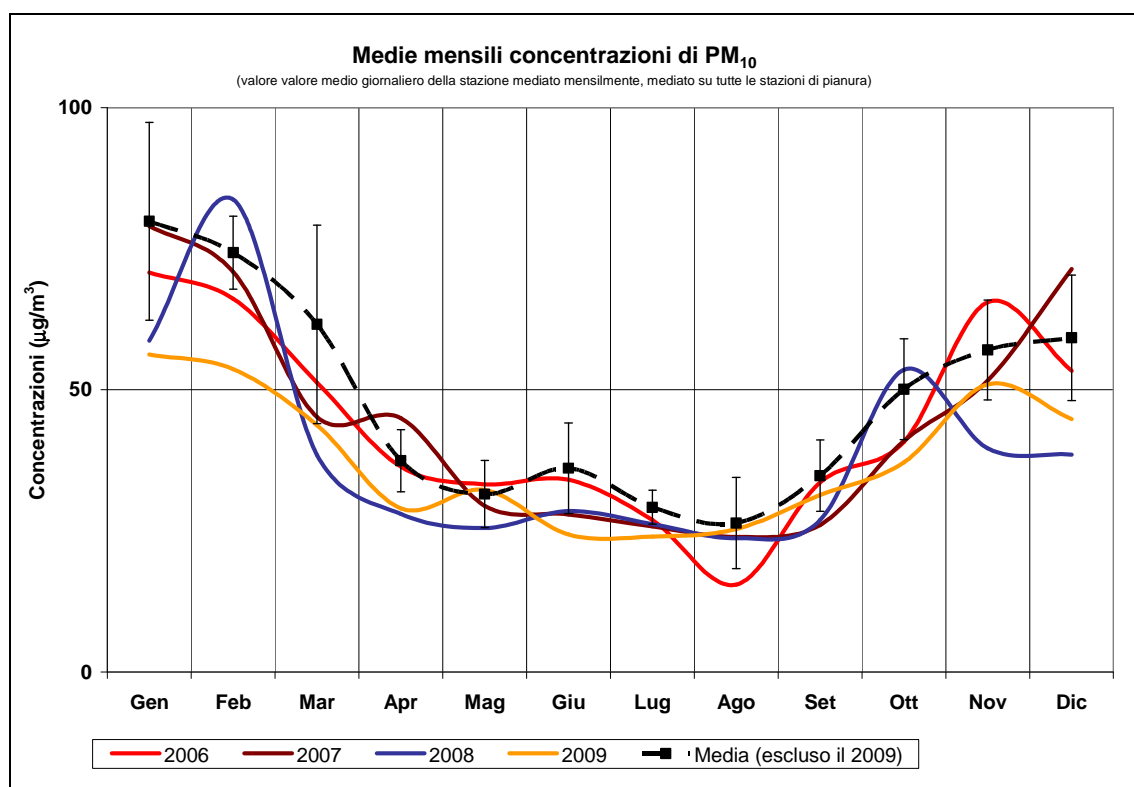


Figura 7. Concentrazioni medie mensili di PM10 rilevate dal 2006 al 2009.

6. IL MODELLO DI PREVISIONE

In questo paragrafo verrà brevemente descritto il modello che è stato utilizzato per il calcolo delle medie di cella per gli anni non oggetto di monitoraggio. Come anticipato al capitolo 4 e suffragato da quanto descritto nel capitolo 5, i dati dei monitoraggi risentono notevolmente della natura dell'anno meteorologico nel quale il monitoraggio è avvenuto. Poiché si rendeva necessario eludere da questa variabile è stato elaborato un modello statistico. La realizzazione del modello è stato oggetto di un lavoro di tesi³ svolta in collaborazione con l'Osservatorio Regionale Aria. Sono stati elaborati tutti i dati monitorati nelle 32 celle nel triennio 2007-2009 e parimenti tutti i dati monitorati dalle stazioni di tipologia background nello stesso periodo. La trattazione di seguito riportata costituisce una trattazione semplificata; per informazioni più complete del modello si invita a consultare la tesi citata.

Per la creazione del modello sono stati considerati i dati di ogni cella con quelli delle stazioni fisse di riferimento nello stesso periodo di campionamento. In alcuni casi per una cella potevano essere considerate più stazioni fisse di riferimento, pertanto sono stati prodotti i diagrammi di dispersione, finalizzati all'individuazione della stazione fissa i cui dati meglio correlano con quelli della cella (Figura 8).

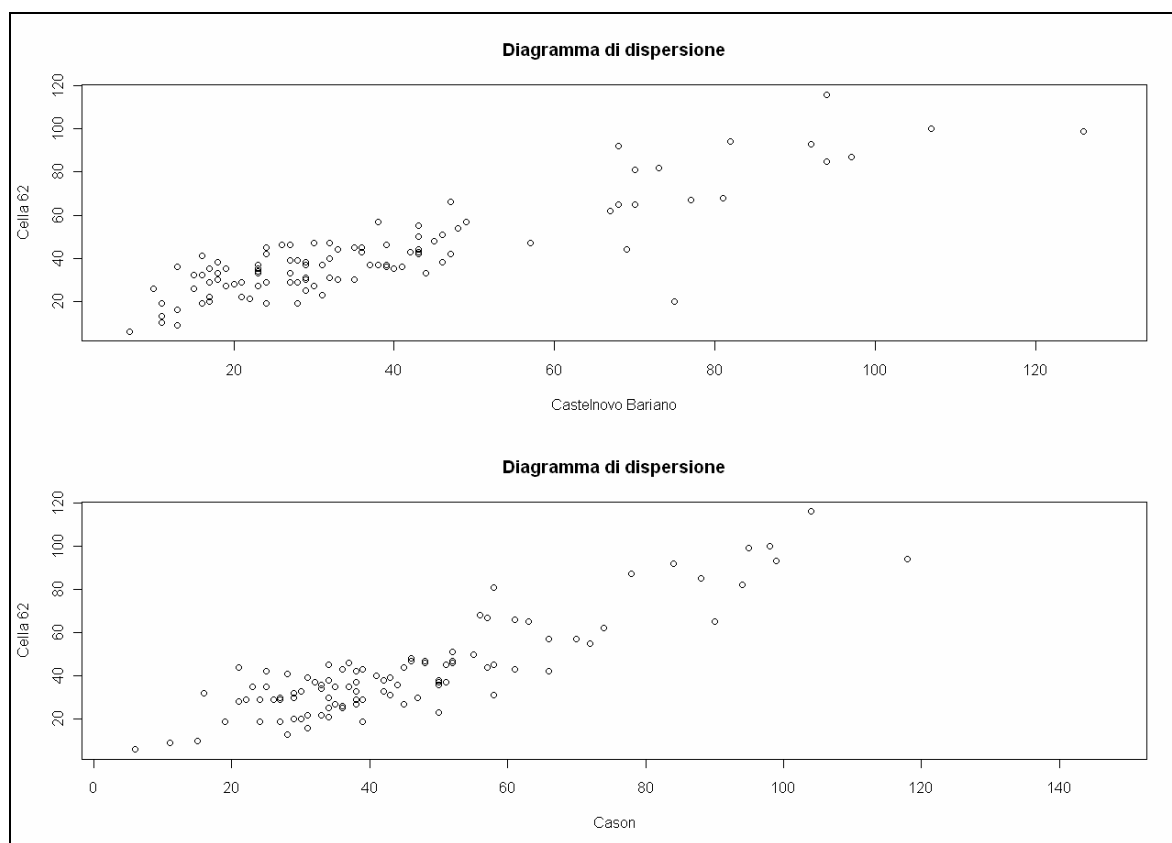


Figura 8. Diagrammi di dispersione della cella 62 con le relative centraline di riferimento.

I diagrammi di dispersione mostrano che tra la cella e le stazioni fisse esiste una relazione di tipo lineare, nonostante vi sia maggiore dispersione soprattutto a valori alti di concentrazione. Nel caso specifico della cella 62, sembra esserci una relazione lineare

³ Università degli studi di Padova, *Corso di laurea triennale in Statistica e Tecnologie Informatiche*; Titolo della tesi: "Analisi descrittiva del particolato atmosferico: Veneto 2007-2009". Laureando: Griggio Riccardo.

con la centralina fissa di VR – Cason. Ciò è confermato dal fatto che il coefficiente di è di 0,870 nel caso si consideri la centralina di Castelnovo Bariano, mentre è di 0,879 utilizzando i dati della centralina di VR - Cason.

Il modello che spiega la relazione esistente tra i dati di cella e della stazione fissa, è il modello di regressione lineare semplice:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i,$$

dove i varia tra le osservazioni, $i = 1, \dots, n$ con n numero di osservazioni, Y_i è la variabile dipendente (nel nostro caso i dati della cella), x_i è la variabile indipendente (nel nostro caso i dati della stazione fissa), β_0 è l'intercetta della retta di regressione della popolazione, β_1 è il coefficiente angolare della retta di regressione e ε_i è la componente legata all'errore del modello avente una distribuzione normale. L'intercetta β_0 è stata tolta dal modello perché si ipotizza che nel caso in cui la stazione fissa non rilevi la presenza di particolato atmosferico ($x_i = 0$) anche il modello stimi una concentrazione nulla per la cella. Il modello utilizzato si riduce pertanto a:

$$Y_i = \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

dove x_i è la concentrazione giornaliera di PM10 rilevata nella stazione fissa, Y_i è la concentrazione giornaliera di PM10 stimata dal modello per la cella. Utilizzando i dati di cella e i dati della stazione fissa misurati nello stesso anno il modello ricava i valori migliori di β_1 e ε_i per ciascuna cella. Per gli anni nei quali non è avvenuto il monitoraggio nella cella i valori delle concentrazioni di PM10 sono stimati utilizzando gli stessi coefficienti (β_1 e ε_i) e i valori delle concentrazioni giornaliere di PM10 misurati nella stazione fissa. In questo modo si ricostruiscono le serie storiche dei dati di cella anche per gli anni in cui il monitoraggio non è stato effettuato. Nelle tabelle 7a, 7b, 7c sono riportati i valori di β_1 ottenuti per ogni cella e la stazione utilizzata come riferimento. Per la trattazione statistica completa e la verifica della bontà del modello si rimanda alla tesi citata.

Cella	Stazione di riferimento	Coefficiente β_1
Cella 36	TV - Via Lancieri	0,98638
Cella 44	VI - Quartiere Italia	0,87781
Cella 48	VE - Parco Bissuola	0,81224
Cella 55	VI - Quartiere Italia	0,93118
Cella 56	PD - Mandria	1,09573
Cella 57	PD - Mandria	1,07654
Cella 61	VR - Cason	0,96380
Cella 62	VR - Cason	0,91171
Cella 63	Este	0,93158
Cella 64	Este	1,01929
Cella 71	RO - Borsea	1,06790
Cella 77	RO - Borsea	0,89563
Cella 80	Badia Polesine	0,82729

Tabella 7a Valutazione dei coefficienti β_1 per le celle monitorate nel 2007.

Cella	Stazione di riferimento	Coefficiente β_1
Cella 32	Schio	0,88193
Cella 33	Bassano	0,95649
Cella 37	Mansuè	1,33811
Cella 38	San Donà	1,04090
Cella 39	Concordia Sagittaria	0,97286
Cella 41	Bosco Chiesanuova	1,24968
Cella 42	Bosco Chiesanuova	1,45776
Cella 65	Chioggia	1,14212
Cella 72	RO - Borsea	0,94113

Tabella 7b. Valutazione dei coefficienti β_1 per le celle monitorate nel 2008.

Cella	Stazione di riferimento	Coefficiente β_1
Cella 24	Bassano	0,87849
Cella 34	Bassano	1,01647
Cella 45	Bassano	1,29803
Cella 49	San Donà	0,84525
Cella 54	VI - Quartiere Italia	0,92375
Cella 58	VE - Parco Bissuola	1,09420
Cella 59	VE - Sacca Fisola	0,92121
Cella 69	Castelnuovo Bariano	1,03105
Cella 70	RO - Borsea	0,966366
Cella 76	RO - Borsea	0,938103

Tabella 7c. Valutazione dei coefficienti β_1 per le celle monitorate nel 2009.

I valori dei coefficienti β_1 variano da un minimo di 0,81 (cella 48) ad un massimo di 1,45 (cella 42). Tanto più il coefficiente è prossimo all'unità, tanto meglio i dati di cella correlano con quelli della stazione fissa scelta come riferimento. Valori di β_1 inferiori all'unità evidenziano che i dati di cella sono generalmente inferiori a quelli della stazione fissa. Diversamente, valori di β_1 maggiori dell'unità indicano che la cella ha registrato, il più delle volte, valori di concentrazione più elevati rispetto a quelli della stazione fissa di riferimento.

7. RISULTATI

Utilizzando il modello descritto sono stati stimati i valori giornalieri di PM10 delle celle negli anni nei quali il monitoraggio non è stato realizzato e le relative medie annuali. Nelle tabelle 8 sono riportati i dati ottenuti; le stime delle medie sono indicate insieme ai limiti inferiore e superiore dell'intervallo per tenere conto della componente di errore presente nel modello. Nel 2007 sono state monitorate complessivamente 13 celle: in tabella 8a sono indicate le medie di cella calcolate per il 2007 e stimate per gli anni seguenti.

Cella	2007	2008			2009		
	Media calcolata	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore
Cella 36	42	37	38	39	34	35	36
Cella 44	39	35	36	37	34	35	36
Cella 48	41	30	31	33	29	30	32
Cella 55	41	37	38	39	36	37	38
Cella 56	50	44	46	47	45	46	48
Cella 57	49	43	45	46	44	46	47
Cella 61	42	37	38	40	35	36	38
Cella 62	40	35	36	38	33	34	36
Cella 63	43	35	36	38	31	32	33
Cella 64	49	38	39	41	34	35	36
Cella 71	44	32	33	34	41	42	43
Cella 77	39	27	28	28	35	35	36
Cella 80	35	26	27	28	30	31	33

Tabella 8a. Media 2007 calcolata e stime delle medie 2008 e 2009.

Rispetto agli anni 2008 e 2009 i valori delle medie calcolati per il 2007 sono decisamente più elevati, con ad esempio nel caso della cella 56 caratterizzata da una media di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e della cella 57 con concentrazione media pari a 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel 2008 sono state monitorate 9 celle e si osserva che le concentrazioni medie risultano essere tutte inferiori al valore limite di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabella 8b).

Cella	2008	2007			2009		
	Media calcolata	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore
Cella 32	31	27	29	30	24	25	26
Cella 33	34	31	32	33	24	25	26
Cella 37	37	42	43	44	36	37	38
Cella 38	33	37	38	39	33	34	35
Cella 39	29	33	34	36	33	34	36
Cella 41	33	23	25	26	24	25	27
Cella 42	34	27	29	30	28	29	31
Cella 65	36	43	45	46	38	39	40
Cella 72	33	38	39	40	36	37	38

Tabella 8b. Media 2008 calcolata e stime delle medie 2007 e 2009.

Nel 2009 sono state monitorate 10 celle; solo nel caso della cella 58 è stato superato il valore limite di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cella	2009	2007			2008		
	Media calcolata	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore	Limite inferiore	Stima Media	Limite superiore
Cella 24	25	29	29	30	24	25	26
Cella 34	31	32	34	36	28	29	31
Cella 45	38	41	43	45	35	37	39
Cella 49	30	39	31	33	26	28	30
Cella 54	35	39	42	45	35	38	41
Cella 58	41	50	51	53	41	42	43
Cella 59	34	38	40	42	31	33	35
Cella 69	38	39	41	43	28	31	32
Cella 70	39	40	40	41	29	30	31
Cella 76	37	38	39	40	29	29	30

Tabella 8c Media 2009 calcolata e stime delle medie 2007 e 2008

I risultati ottenuti sono stati utilizzati anche per verificare la zonizzazione regionale approvata con DGR 3195 del 17 ottobre 2006. Per maggiori informazioni sulla zonizzazione è possibile consultare il sito http://www.arpa.veneto.it/aria_new/htm/qualita_valutazione.asp. In Figura 9 è riportata la mappa della zonizzazione sovrapposta ai risultati dell'elaborazione delle medie ottenute mediante il monitoraggio a griglia. La colorazione delle celle è stata effettuata secondo la classificazione riportata in Tabella 9:

Colorazione della cella	Concentrazione media di cella	Classificazione della cella per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico
Verde	$< 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$	a criticità bassa
Arancione	$\geq 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $< 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$	a criticità medio alta
Rossa	$\geq 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $< 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$	a criticità elevata
Bordeaux	$\geq 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$	a criticità estremamente elevata

Tabella 9. Classificazione delle celle monitorate nel triennio 2007-2009.

Nella Figura 9 è riportato anche il valore medio della concentrazione per la cella 43, anche se tale valore è stato ottenuto utilizzando i dati di monitoraggio di tre anni diversi ossia: Recoaro (vertice NO monitorato nel 2008), S.Vito L. (vertice NE monitorato nel 2008), Tregnago (vertice SO monitorato nel 2009), Montecchio (vertice SE monitorato nel 2007). Nella mappa sono evidenti alcune celle a criticità estremamente elevata soprattutto nella parte centrale della regione (36, 56, 57, 61, 63, 64 e 71).

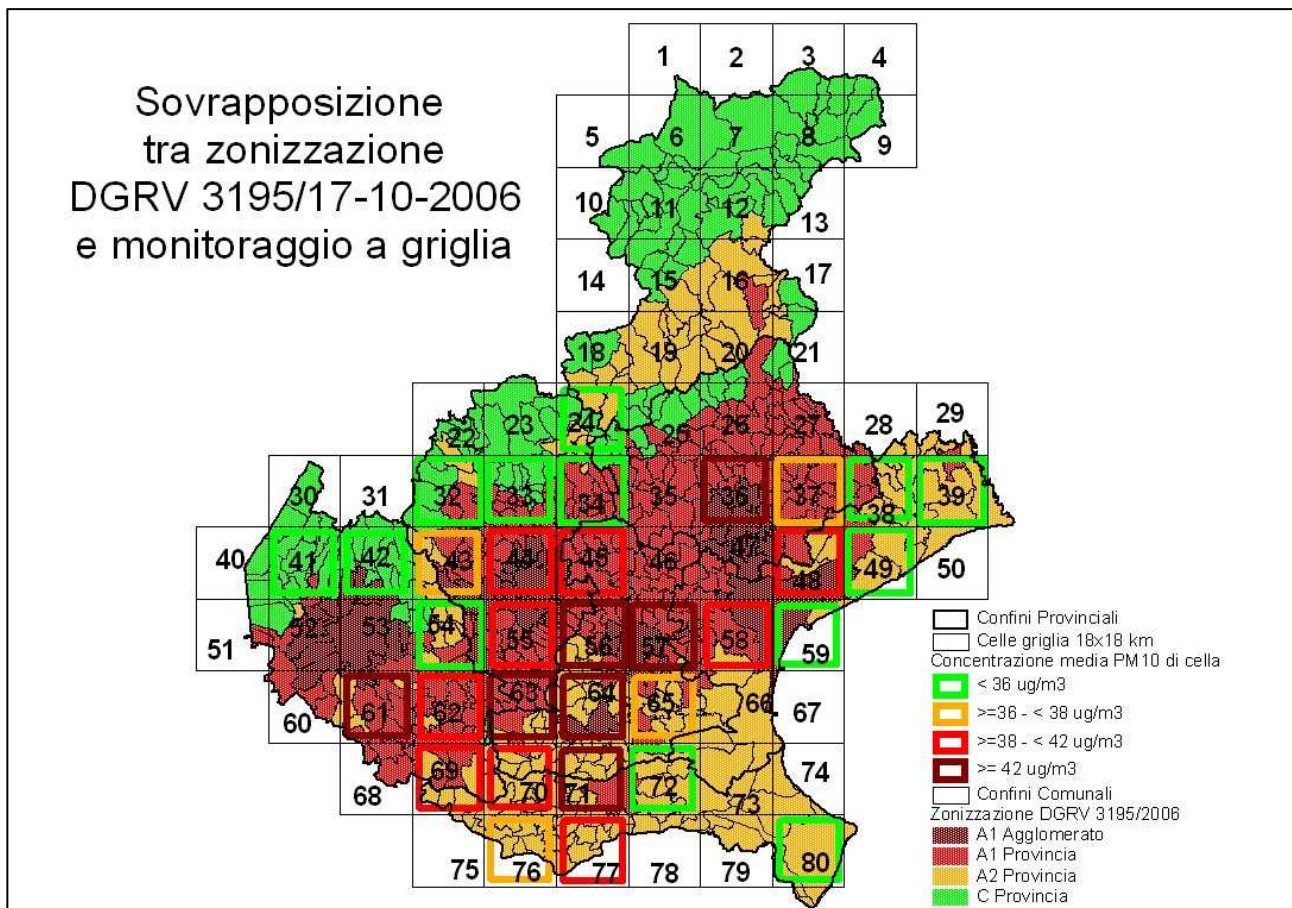


Figura 9. 1ª ipotesi di classificazione delle celle e sovrapposizione con la zonizzazione approvata con DGRV 3195 del 17 ottobre 2006 (senza utilizzo del modello di ricostruzione delle serie storiche).

La mappa mette in evidenza alcune marcate differenze tra celle contigue monitorate in anni differenti; ad esempio si osservi la colorazione della cella 71 (media annuale = 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anno 2007, colore bordeaux) e quella della cella 72 (media annuale = 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anno 2008, colore verde), oppure quella della cella 64 (media annuale = 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anno 2007, colore bordeaux) e la cella 65 (media annuale = 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, anno 2008, colore arancione). Questi risultati ci hanno indotto a pensare che il monitoraggio fosse notevolmente influenzato dalle condizioni meteorologiche dell'anno considerato e di conseguenza, sfruttando le stime delle medie ottenute con il modello descritto al capitolo precedente, è stata ipotizzata un'altra classificazione che tiene conto anche delle concentrazioni medie di cella stimate per gli anni nei quali non vi è stato monitoraggio; tale classificazione è descritta in Tabella 10.

Colorazione della cella	Concentrazione media di cella	Classificazione della cella per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico
Verde	< 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in tutti e tre gli anni	a criticità bassa
Arancione	< 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ due anni su tre e ≤ 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ un anno su tre	a criticità medio alta
Rossa	in tutti gli altri casi	a criticità elevata
Bordeaux	≥ 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in tutti e tre gli anni	a criticità estremamente elevata

Tabella 10. Nuova classificazione delle celle ottenuta utilizzando i dati misurati e i dati di cella stimati con il modello per gli anni nei quali non è avvenuto il monitoraggio.

Gli intervalli di concentrazione sono stati così scelti tenendo conto anche dell'errore nella misura del PM10 che, nel caso dell'utilizzo di un campionatore gravimetrico, è pari a circa il 10%; ad esempio ad una misura di $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ l'errore associato è di circa $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il valore misurato deve essere confrontato con il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; considerato ciò se il valore medio calcolato è inferiore a $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre anni consecutivi, si può ragionevolmente affermare che i livelli di PM10 nella cella sono inferiori al valore limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$); nel caso in cui la media, per tre anni, sia maggiore o uguale a $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, si può ragionevolmente sostenere che il valore limite di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sia stato superato. Oltre all'errore nella misura bisognerebbe tenere conto delle criticità legate al metodo, come ad esempio la variabilità nel numero di dati disponibili per il calcolo della media, che rappresenta una delle principali problematiche nell'applicazione di questa metodologia. A titolo esemplificativo, alla cella 44, è stata attribuita una criticità medio alta, anche se il numero di dati disponibili (161, contro i 204 richiesti come minimo) non sarebbe sufficiente a permettere un'adeguata valutazione.

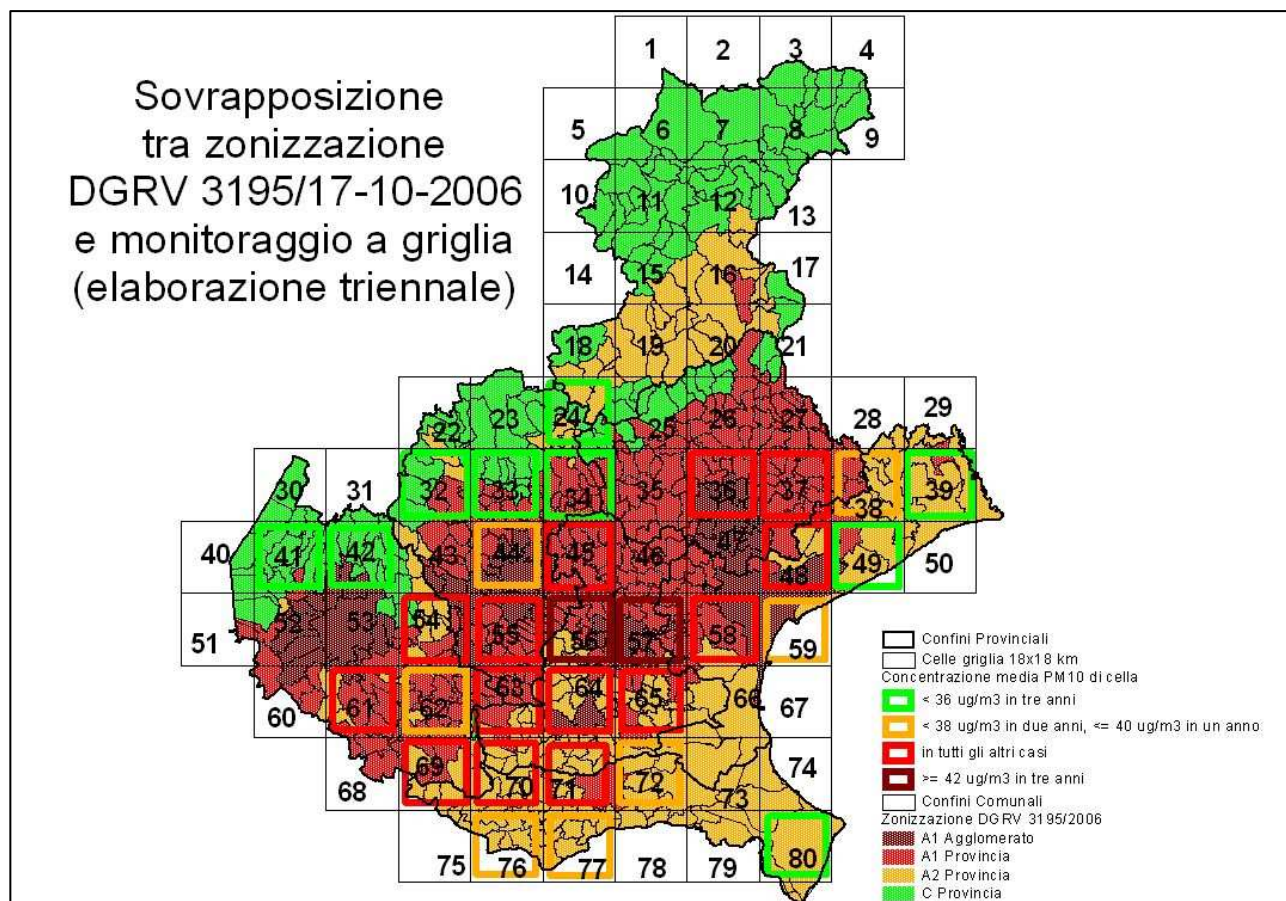


Figura 10 II^a ipotesi di classificazione delle celle utilizzando i risultati del modello e sovrapposizione con la zonizzazione approvata con DGRV 3195 del 17 ottobre 2006.

Rispetto alla prima classificazione si osserva una maggiore omogeneità nella colorazione delle celle contigue, segno che le discontinuità evidenziate in Figura 9 erano dovute in buona parte alla componente meteorologica dell'anno di monitoraggio più che ad una effettiva criticità della qualità dell'aria nella cella; l'utilizzo del modello permette quindi di ridurre l'influenza di questa variabile permettendo di confrontare i dati di misura registrati in anni differenti.

8. CONCLUSIONI

Il monitoraggio e l'analisi dei dati hanno permesso di fornire una risposta a quanto richiesto dall'art. 5 del decreto legislativo 351/99 che prevedeva la realizzazione della valutazione preliminare della qualità dell'aria da parte delle regioni. La metodica utilizzata, ossia il monitoraggio a griglia, ha tenuto conto delle linee guida individuate dall'Allegato I del DM 261/2002. Anche il Piano Regionale di Tutela e Risanamento dell'Atmosfera approvato con DCRV n. 57/2004 prevedeva che la zonizzazione fosse periodicamente verificata attraverso la realizzazione di campagne di monitoraggio della qualità dell'aria sul territorio. I dati raccolti nel presente rapporto si riferiscono ad una porzione rilevante del territorio regionale con l'esclusione della provincia di Belluno che presenta un'orografia complessa e quindi non valutabile attraverso un monitoraggio con griglia a maglia 18x18km. La metodologia impiegata può fungere da supporto e verifica alla valutazione modellistica soprattutto nelle aree "ortograficamente semplici", come ad esempio le aree pianeggianti della regione.

Il lavoro svolto nel triennio 2007-2009, in collaborazione con i Dipartimenti ARPAV Provinciali, ha permesso di differenziare alcune aree che nella zonizzazione, approvata con DGR 3195/2006, apparivano simili per quanto riguarda lo stato della qualità dell'aria. Ad esempio, considerando la Figura 9, si osserva come le zone costiere situate in provincia di Venezia e parzialmente in provincia di Rovigo (celle 39,49,80) risultano essere a criticità inferiore (media anno $< 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) rispetto a quanto atteso sulla base dei valori di densità emissiva. Questo può essere parzialmente attribuito al clima costiero ed in particolare alle brezze marine che contribuiscono al rimescolamento delle masse d'aria e quindi anche alla riduzione delle concentrazioni degli inquinanti.

Un'altra peculiarità rilevata nel presente studio riguarda l'area compresa tra la provincia di Rovigo e le province di Padova e Verona; in questa zona la scarsità di venti rilevanti determina una criticità dello stato della qualità dell'aria maggiore rispetto a quanto atteso in base alle pressioni agenti sul territorio. Viene confermato che tutta la zona pianeggiante e centrale della regione è caratterizzata da una criticità elevata; in particolare, in prossimità della città di Padova (celle 56 e 57) si sono registrate le concentrazioni più elevate (medie anno sempre maggiori o uguali a $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Infine l'utilizzo dello modello statistico che stima le concentrazioni di PM10 nella cella negli anni nei quali non è avvenuto il monitoraggio ha permesso di limitare notevolmente l'influenza della componente meteorologica consentendo così di confrontare i valori delle medie di cella ottenute da monitoraggi effettuati in anni differenti.

9. SVILUPPI FUTURI

La pianificazione e l'esecuzione delle attività connesse con il monitoraggio a griglia, ha richiesto il coordinamento e l'impegno di tutti i dipartimenti provinciali di ARPA Veneto. Tale progetto, che ha permesso di raccogliere informazioni preziose in molte zone del territorio regionale, ha richiesto la disponibilità e l'impiego di buona parte dei mezzi mobili dell'Agenzia.

A seguito dell'entrata in vigore del D.Lgs.155/2010 le stazioni rilocabili hanno assunto un ruolo di primaria importanza nel supporto della rete di monitoraggio fissa, in caso di mancato funzionamento di una o più centraline, al fine di raggiungere gli obiettivi di qualità del dato (numero minimo di campioni, copertura minima in termini di numero di giorni di campionamento nell'anno ecc.), requisiti imprescindibili per il rispetto della norma.

Tale presupposto, unito all'esigenza di ogni Dipartimento di effettuare campagne per fini di controllo istituzionali o emergenziali, ha per il momento relegato in secondo piano una prosecuzione del monitoraggio a griglia, così come realizzato fino al 2011.

Resta tuttavia fondamentale il ruolo delle campagne effettuate con i mezzi mobili nell'ottica di fornire anno dopo anno informazioni a controllo della rappresentatività delle stazioni fisse della rete, con particolare attenzione alle centraline di tipologia "background". Tali centraline fisse hanno infatti il delicato ruolo di rappresentare aree piuttosto vaste di territorio con un dato puntuale. In quest'ottica, confrontando i dati delle centraline fisse con campagne effettuate dai Dipartimenti in punti di fondo nell'area di rappresentatività delle centraline (ad esempio la cella 18x18), sarà possibile evidenziare possibili differenze significative tra le due serie di dati. In tali situazioni, dopo opportuni e doverosi approfondimenti, si potrà verificare caso per caso che non siano mutate in maniera sostanziale le pressioni incidenti sulla centralina fissa, limitandone la rappresentatività e rendendo per esempio necessario un riposizionamento della centralina fissa.

La pianificazione delle attività con i mezzi mobili dal 2012 verrà supervisionata e coordinata a livello regionale: tale gestione mira in primo luogo ad ottimizzare l'utilizzo dei mezzi mobili dell'agenzia, garantendone la massima attività sul territorio. Inoltre, per poter mantenere una qualità dei dati raccolti utilizzabili ai fini di un eventuale confronto con le stazioni fisse, si intende verificare l'utilizzo da parte dei diversi Dipartimenti provinciali dei criteri standard fondamentali di monitoraggio (durata della campagna, criteri di posizionamento del mezzo) acquisiti e sperimentati nel corso del progetto di monitoraggio a griglia.