

POLITECNICO DI MILANO



Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

L'ANDAMENTO DEL PM10 IN LOMBARDIA:
COMPONENTI TEMPORALI
ED INFLUENZA DELLE VARIABILI METEOROLOGICHE

Relatore:
Ing. Lonati Giovanni

Laureando:
Losi Riccardo
725061

Anno Accademico: 2013 – 2014

INDICE DEL TESTO

CAPITOLO 1	INTRODUZIONE	
1.1	Problematiche della qualità dell'aria in Lombardia	8
1.2	Un inquinante tipico: PM10	10
1.3	Andamento del PM10 in Lombardia	12
1.4	Il controllo della qualità dell'aria	14
1.5	Provvedimenti normativi	20
1.6	Obiettivi dello studio	22
CAPITOLO 2	MATERIALI E METODI	
2.1	Basi di dati utilizzate	24
2.2	Metodo di analisi: Filtro KZ	33
CAPITOLO 3	RISULTATI	
3.1	Applicazione del Filtro KZ	38
3.2	Baseline	51
3.3	Serie depurate	63
3.4	Conclusioni	68

INDICE DELLE IMMAGINI

01	Ripresa da satellite dello smog in pianura padana	8
02	Una delle principali cause dell'inquinamento	10
03	Variazione del Rango per le città di Brescia, Milano e Bergamo nei 5 anni presi in esame dallo studio	13
04	Numero di superamenti del valore limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} nelle città di Milano, Brescia e Bergamo	14
05	Zonizzazione del territorio regionale dal 2007	15
06	Distribuzione spaziale dei giorni di superamento della soglia di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2010	16
07	Distribuzione spaziale delle medie annuali nel 2010	16
08	Ripartizione percentuali di emissione di PM_{10} nel 2008	19
09	Localizzazione sul territorio delle centraline per i dati del PM_{10}	26
10	Per Magenta sono stati utilizzati i dati misurati a Busto Arsizio e a Lonato Pozzolo	27
11	Per Pizzighettone sono stati utilizzati i dati meteo misurati a Persico Dosimo	28
12	La serie temporale per l'anno 2000 della stazione di Busto Arsizio	29
13	La serie di dati della Radiazione Globale Massima per la stazione di Rodano	31
14	Limite di Pioltello: serie di dati originale del PM_{10}	38
15	Limite di Pioltello: componente a lungo termine	40
16	Componente a lungo termine per tutte le stazioni	41

17	Andamento dei valori medi delle serie a lungo termine	44
18	Limite di Pioltello: componente stagionale per il PM ₁₀	45
19	Limite di Pioltello: Componente a breve termine del PM ₁₀	48
20	Baseline Bergamo	51
21	Baseline Brescia	52
22	Baseline Busto Arsizio	52
23	Baseline Como	53
24	Baseline Lecco	53
25	Baseline Limite di Pioltello	54
26	Baseline Lodi	54
27	Baseline Magenta	55
28	Baseline Meda	55
29	Baseline Merate	56
30	Baseline Milano	56
31	Baseline Morbegno	57
32	Baseline Osio Sotto	57
33	Baseline Pizzighettone	58
34	Baseline Sarezzo	58
35	Baseline Sondrio	59
36	In rosso il range entro il quale variano i valori delle Baseline	62
37	Limite di Pioltello: modelli con le variabili meteorologiche rimosse	65

INDICE DELLE TABELLE

01	Il rango delle città Italiane prese in esame dallo studio	12
02	Valutazione della qualità dell'aria riferita al PM ₁₀ nel 2010.	15
03	Basi di dati utilizzate	25
04	Limite di Pioltello: Media annuale e numero di superamenti giornalieri	39
05	Indice di Correlazione tra le stazioni per la componente a lungo termine	42
06	Parametri statistici per la componente a lungo termine	43
07	Valori statistici per la variazione stagionale	46
08	Indice di Correlazione tra le stazioni per la variazione stagionale	47
09	Indice di Correlazione tra le stazioni per la componente a breve termine	49
10	Parametri statistici per le Baseline	60
11	Dati statistici per le Baseline nel 2010	61
12	Dati statistici per le Baseline nel 2011	61
13	Coeff. di Correlazione per Limite di Pioltello con variabile singola	63
14	Coefficiente di Correlazione per Limite di Pioltello con variabile doppia	64
15	Varianza Spiegata per Limite di Pioltello	66
16	Varianza spiegata per i modelli a uno e due variabili	67

INDICE DEGLI ALLEGATI

01	Stazioni e consistenza delle basi di dati per le variabili meteorologiche	69
02	Abbinamenti “stazioni PM ₁₀ ” – “stazioni variabili meteorologiche”	73
03	Serie originale e componenti ricavate dall'applicazione del Filtro KZ per tutte le stazioni del PM ₁₀	78
04	Coefficienti di correlazione e modelli con le variabili meteorologiche rimosse	95

ABSTRACT

Le condizioni meteorologiche locali hanno un forte impatto sui livelli di concentrazione dell'inquinamento in atmosfera. Per questo motivo la loro influenza deve essere rimossa per poter valutare correttamente eventuali variazioni nei trend di emissione. In questo modo è possibile pianificare correttamente le azioni da intraprendere per migliorare la qualità dell'aria.

Il filtro sviluppato da Kolmogorov e Zurbenko è stato ampiamente utilizzato per l'analisi dei livelli di concentrazione dell'ozono. I risultati ottenuti da questi studi hanno evidenziato un elevato scostamento fra le concentrazioni rilevate in atmosfera e quelle ricavate nei modelli costruiti in seguito all'eliminazione dell'effetto meteorologico.

Anche il particolato fine, uno dei principali indicatori nell'analisi dei livelli di inquinamento in atmosfera, è stato sottoposto a questo tipo di analisi. Lo scopo di questa tesi è di valutare l'efficacia dell'applicazione del filtro KZ in regione Lombardia, all'interno di un contesto meteorologicamente particolare come quello della pianura padana.

Sono stati selezionati vari punti di misura per favorire l'acquisizione di basi di dati con una distribuzione il più possibile omogenea sul territorio.

I risultati ottenuti confermano l'efficacia dell'utilizzo del filtro per lo studio del particolato, evidenziando l'impatto, seppur contenuto, delle variabili meteorologiche in Lombardia.

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

PARAGRAFO 1.1

Problematiche della qualità dell'aria in Lombardia



Immagine 1: Ripresa da satellite dello smog in pianura padana

La posizione della Lombardia all'interno del bacino padano la colloca in una situazione particolarmente svantaggiata dal punto di vista climatologico, condizione che si ripercuote negativamente sui livelli di inquinamento rilevabili all'interno della regione.

Le variabili metereologiche sono di fondamentale importanza rispetto ai livelli di inquinamento presenti nell'aria: intensità dei venti, flussi turbolenti e pioggia per esempio sono fattori che causano il trasporto e la dispersione degli inquinanti.

La presenza di catene montuose a nord, ovest e sud che si estendono fino a quote elevate causano una limitata intensità dei venti e una tendenza alla stabilità atmosferica. Questa barriera alpina, attenuando le perturbazioni di origine atlantica, crea una differenza tra le circolazioni dei venti tra gli strati inferiori e superiori dell'atmosfera limitandone in modo accentuato la capacità dispersiva.

Questa situazione particolare genera una condizione di accumulo degli inquinanti.

L'importanza della determinazione degli inquinanti atmosferici è dovuta alle conseguenze che tali sostanze provocano agli esseri viventi e all'ambiente in generale.

Gli apparati più soggetti sono quelli respiratori e della fotosintesi perchè a diretto contatto con l'aria e le conseguenze non sono ancora del tutto note: se da un lato si hanno informazioni sugli effetti acuti provocati dall'esposizione in breve periodo ad un singolo inquinante presente in concentrazioni elevate, meno chiaro risulta l'effetto nel tempo di basse concentrazioni per lunghi periodi.

Nel 1998 l'OMS Ufficio Regionale per l'Europa stimò per la prima volta l'impatto sanitario del particolato atmosferico (PM_{10}) sulle popolazioni urbane di alcune delle maggiori città italiane.

Nell'ultimo decennio numerosi studi hanno correlato diversi effetti negativi che l'inquinamento dell'aria avrebbe provocato sulla salute umana. Si va dai sintomi respiratori (bronchiti, asma) alla mortalità dovuta a impatti a lungo termine: tumore polmonare, infarto, ictus; e quelli a breve termine: malattie cardiovascolari e respiratorie.

Ad oggi, nonostante il numero di casi studiati, non sono state trovate risposte a tutti i quesiti e l'inquinamento dell'aria è ancora uno dei temi principali per quanto riguarda la salute ambientale.

PARAGRAFO 1.2

Un Inquinante Tipico: PM₁₀



Immagine 2: Una delle principali cause dell'inquinamento

Uno dei principali indicatori considerati nell'analisi dei livelli di inquinamento dell'atmosfera è il materiale particolato (PM).

Il materiale particolato racchiude tutte quelle sostanze solide o liquide presenti nell'atmosfera, caratterizzate da diverse proprietà fisico-chimiche, che possono essere generate da processi antropici e da cause naturali come l'erosione della crosta terrestre.

Le componenti maggiori sono solfati, nitrati, ammoniaca, cloruro di sodio, carbone, polvere minerale, metalli, idrocarburi policiclici aromatici.

Se il materiale è immesso direttamente in atmosfera si dice primario ed è dovuto alla combustione del carburante nei veicoli (diesel e benzina), all'utilizzo di combustibili solidi (carbone, lignite, biomassa), ad attività industriali (costruzioni, miniere), erosione del manto stradale, abrasione di freni e pneumatici. Se invece si forma successivamente all'emissione di sostanze nel comparto atmosferico è detto secondario ed è generato dalle reazioni chimiche di sostanze gassose: ossidi di zolfo (traffico e processi industriali), biossidi di zolfo (combustione di carburanti contenenti zolfo).

Per definire meglio questo grande insieme il PM viene suddiviso in base alle dimensioni delle particelle che lo compongono, utilizzando come valore quello del diametro aerodinamico.

Questi intervalli dimensionali sono nominati con termini specifici: PM₁₀ determina l'insieme di tutte le particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 micron; a sua volta la frazione fine di diametro inferiore a 2.5 micron viene denominata PM_{2.5};

un'altra suddivisione viene effettuata per descrivere granulometrie ultrafini (inferiori a 0.1 micron) e per le nanoparticelle (inferiori a 0.05 micron).

La scelta di suddividere in questo modo il materiale particolato è data dal variare delle caratteristiche fisiche con il diminuire della dimensione, fattore che ne aumenta la pericolosità per la salute dell'uomo. Se infatti il PM₁₀ può raggiungere la parte superiore del sistema respiratorio e i polmoni, il PM_{2.5} può penetrare più a fondo raggiungendo gli alveoli con la possibilità di spostarsi in organi extrapolmonari.

La maggiore superficie specifica e le concentrazioni in atmosfera (n. particelle/cm³ aria) molto più elevate (il PM₁₀ viene rimosso dall'atmosfera entro poche ore dall'emissione mentre il PM_{2.5} può rimanervi per giorni o settimane), rendono quindi il particolato fine un efficace veicolo di tossicità.

È inoltre più semplice correlare le particelle più fini alle diverse fonti di emissione. Il PM_{2.5} per esempio è maggiormente correlato al traffico veicolare di quanto lo sia il PM₁₀. La necessità di avere dati sensibili sulle frazioni granulometriche minori ha portato in Europa e in America all'installazione di sistemi di monitoraggio specifici. In Italia manca ancora questo aggiornamento tecnico e quindi, salvo rare eccezioni, è solo il PM₁₀ ad essere misurato routinariamente dalle centraline fisse.

PARAGRAFO 1.3

Andamento del PM₁₀ in Lombardia

L'istat il 22 giugno 2010 ha presentato un rapporto sull'analisi della qualità dell'aria di 221 città europee (di cui 23 italiane) con dati riferiti agli anni fra il 2004 e il 2008; sono state utilizzate per l'analisi centraline da fondo urbano. Tutto lo studio viene concentrato in un singolo indicatore sintetico che racchiude la media di tre indicatori elementari. Questi sono: 1) il numero dei giorni di superamento del valore limite di concentrazione del PM₁₀, rapportato a 35; 2) il numero di giorni di superamento del valore limite della concentrazione di ozono diviso per 25; 3) la concentrazione annuale di azoto divisa per 40.

Un alto valore dell'indicatore e del Rango (la posizione in classifica della città) non è quindi solamente imputabile alla concentrazione del particolato (PM₁₀) ma racchiude anche l'influenza del biossido di azoto (NO₂) e dell'ozono (O₃). È proprio quest'ultimo ad avere un principale impatto negativo per alcune delle città considerate.

CITTA'	POPOLAZIONE E 2004 (migliaia)	2004	2005	2006	2007	2008	Rango 2008
Torino	902	3,1	2,8	2,9	2,7	2,5	220
Brescia	192	1,7	2,1	2,7	2,7	2,3	219
Milano	1.299	2,4	2,4	2,3	2,5	2,2	218
Modena	180	1,9	1,7	1,9	1,8	2,1	216
Bergamo	117	1,4	1,6	1,6	2,5	2,0	215
Padova	211	2,0	2,7	2,4	2,5	1,8	214
Reggio Emilia	155	2,0	1,6	1,5	2,1	1,7	211
Novara	103	2,3	2,0	2,5	2,8	1,5	209
Ravenna	147	1,2	1,1	1,3	0,9	1,4	206
Venezia	271	1,4	1,4	1,3	1,7	1,3	204
Napoli	995	0,7	0,7	1,7	1,2	1,3	203
Pescara	123	2,5	3,2	1,6	0,9	1,3	201
Bologna	374	1,4	1,3	1,4	1,1	1,2	199
Firenze	368	1,3	1,4	1,3	1,2	1,2	198
Parma	174	2,2	2,3	2,2	2,1	1,1	196
Trento	110	1,6	1,5	1,7	1,4	1,1	195
Forlì	111	1,5	1,6	1,5	0,9	1,0	193
Rimini	135	2,0	2,0	1,4	1,2	1,0	189
Genova	605	0,6	0,4	0,8	0,8	1,0	187
Roma	2.554	1,2	1,2	1,6	1,2	0,9	181
Prato	181	1,9	1,6	2,1	1,2	0,9	179
Perugia	158	1,5	0,6	0,6	0,7	0,6	135
Palermo	675	0,8	0,8	0,7	0,4	0,3	49

Tabella 1: Il rango delle città Italiane prese in esame dallo studio

Da una prima analisi della Tabella 1 si può notare come delle prime 30 città maggiormente inquinate (Rango 2008 192-221), 17 siano italiane. Le peggiori posizioni sono occupate proprio dalle città del nord Italia, con in testa Torino, seguita da Brescia, Milano, Modena, Bergamo e Padova. Tre di queste sono città lombarde.

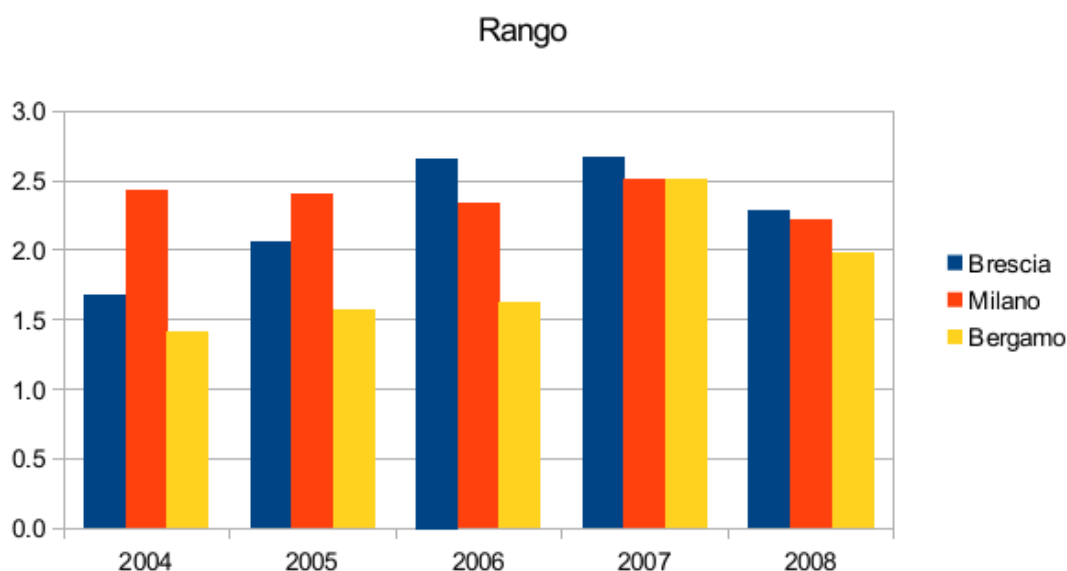


Immagine 3: Variazione del Rango per le città di Brescia, Milano e Bergamo nei 5 anni presi in esame dallo studio

Se si osserva il dato nell'immagine 3 lungo la serie temporale si nota che i risultati mostrano una situazione ben diversa da quella prevista se fossero rispettati i limiti imposti dalla normativa (il valore dell'indicatore aggregato sarebbe al di sotto di 1).

Al contrario di Milano, il cui valore è rimasto pressochè invariato negli anni precedenti, Brescia e Bergamo mostrano un incremento nel tempo fino al 2007.

Nel 2008 è invece presente un miglioramento per tutte e tre le città.

Scomponiamo tale dato (si ricorda che l'indicatore aggregato utilizza e raggruppa i superamenti del valore limite per più fonti inquinanti: particolato, ozono e biossido di azoto) per osservare i superamenti del materiale particolato nelle tre città.

La normativa prevede che la concentrazione media giornaliera di PM_{10} non superi il valore di $50 \mu g/m^3$ per più di 35 volte all'anno.

PM10 Superamenti

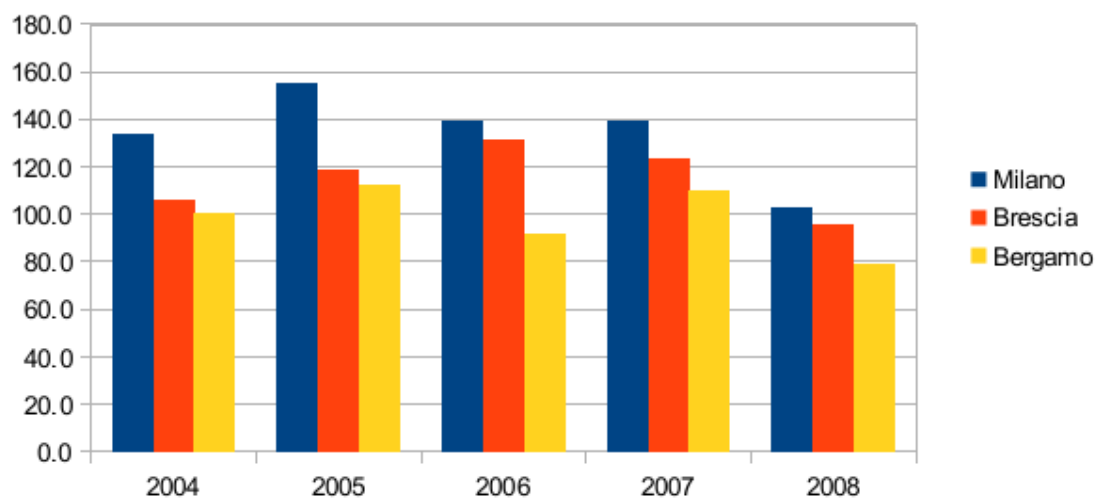


Immagine 4: Numero di superamenti del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per il PM_{10} nelle città di Milano, Brescia e Bergamo

L'immagine 4 mostra come in questo caso specifico la città peggiore risulti essere Milano, seguita da Brescia e da Bergamo.

Anche qui il trend sembra essere in miglioramento, infatti i superamenti nel 2008 sono inferiori a quelli degli altri anni in tutte e tre le città, anche se restando molto al di sopra dei limiti di legge.

Nel 2010 – 2011 è stato redatto sempre dall'ARPA Lombardia il Rapporto sullo stato dell'ambiente.

I risultati ottenuti nel documento descrivono una generale tendenza al miglioramento per quanto riguarda la qualità dell'aria in Lombardia.

Per quanto riguarda il PM_{10} si sono ottenute riduzioni della concentrazione dell'inquinante, grazie alla sempre maggiore diffusione del filtro antiparticolato e dei veicoli diesel. Si conferma però sempre come uno degli inquinanti critici per l'inquinamento atmosferico, con un numero sempre elevato di superamenti annuali.

Nel 2007 la Regione Lombardia, come imposto dalla legge ogni 5 anni, ha modificato l'accorpamento delle zone e degli agglomerati, definendo una suddivisione del territorio mostrata nell'immagine 5:

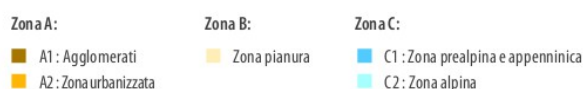
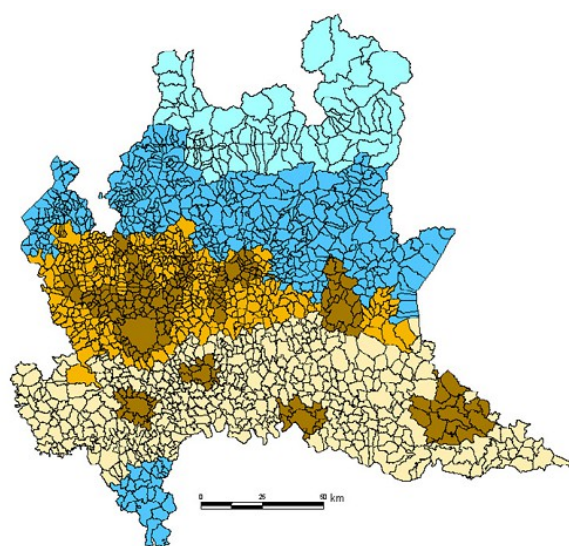


Immagine 5: Zonizzazione del territorio regionale dal 2007

La criticità del livello di inquinamento prodotta dalla concentrazione del PM₁₀ è rappresentata nella tabella 2.

	Limite protezione salute / Agglomerato	Agglomerati urbani (A1)	Zona urbanizzata (A2)	Zona di pianura (B)	Zona prealpina e appenninica (C1)	zona alpina (C2)
PM ₁₀	Limite giornaliero					
	Limite annuale					
PM _{2,5}	Limite annuale					

- minore del valore limite
- compreso tra valore limite e valore limite + margine di tolleranza
- maggiore del valore limite + margine di tolleranza (o superiore al valore bersaglio per l'ozono)

Tabella 2: Valutazione della qualità dell'aria riferita al PM₁₀ nel 2010

Il valore limite giornaliero è superato sulla quasi totalità del territorio regionale, fatto salvo per la zona alpina, e per la zona prealpina e appenninica dove viene rispettato solo il limite annuale per il PM₁₀.

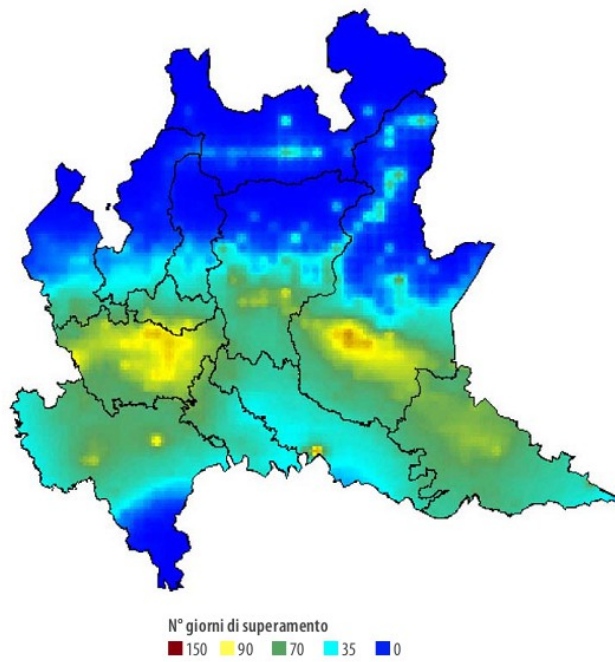


Immagine 6: Distribuzione spaziale dei giorni di superamento della soglia di 50 µg/m³ nel 2010

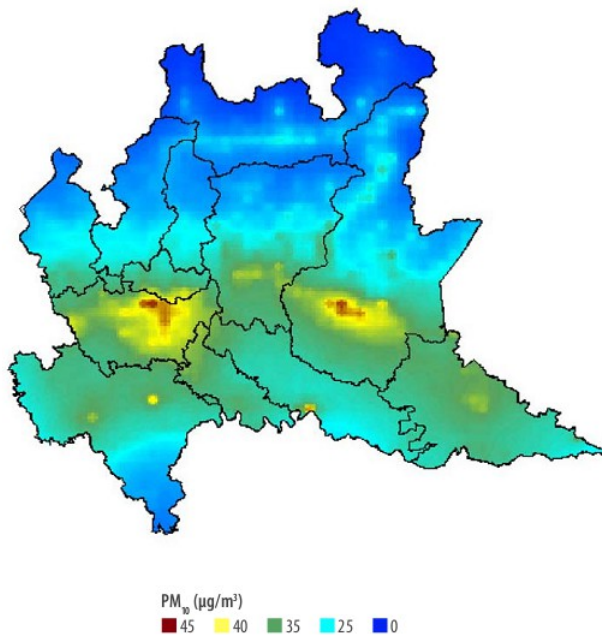


Immagine 7: Distribuzione spaziale delle medie annuali nel 2010

I superamenti giornalieri (immagine 6) mostrano come i livelli di PM₁₀ si attestino su concentrazioni elevate in diverse aree della regione, nonostante il numero di giorni di superamento stia diminuendo negli anni.

Per quanto riguarda le medie annuali (immagine 7), con il limite imposto a 40 µg/m³, si stanno restringendo le zone dove si hanno dei superamenti. La riduzione delle concentrazioni ha portato ad un rispetto del limite nelle aree prealpine, appenniniche e alpine.

Facilmente riconoscibili le aree delle città di Milano, Brescia e Bergamo.

PARAGRAFO 1.4

Il controllo della qualità dell'aria

Il sistema INEMAR (Inventario Emissioni Aria) è un database progettato per raccogliere e stimare i dati delle emissioni in atmosfera, per ogni attività della classificazione Corinair e per ogni tipo di combustibile.

Per valutare il contributo di una qualsiasi fonte di emissione non è infatti possibile prescindere dalla presenza di un carico inquinante preesistente e dalla qualità dell'aria che ne deriva. Un metodo funzionale è quello di affiancare le informazioni delle fonti di emissioni con quelle misurate da un sistema di monitoraggio della qualità dell'aria.

Da questi dati, stime effettuate tramite modelli matematici sono quindi in grado di fornire la distribuzione degli inquinanti sul territorio.

Il progetto europeo CORINAIR classifica le attività in macrosettori; 11 sono utilizzate in Lombardia per l'inventario delle emissioni:

1. Produzione energia e trasformazione combustibili;
2. Combustione non industriale;
3. Combustione nell'industria;
4. Processi produttivi;
5. Estrazione e distribuzione combustibili;
6. Uso di Solventi;
7. Trasporto su strada;
8. Altre sorgenti mobili e macchinari;
9. Trattamento e smaltimento rifiuti;
10. Agricoltura;
11. Altre sorgenti e assorbimenti.

Utilizzando l'inventario delle emissioni del 2008 mostrato nell'immagine 8, è possibile approfondire l'analisi dell'inquinante PM₁₀.

Suddividendo le emissioni in atmosfera secondo i macrosettori utilizzati, i principali apporti risultano essere causati da combustione non industriale (50%) e trasporto su strada (27%).

Ripartendo il dato secondo le diverse tipologie di combustibile, le maggiori fonti sono date dall'utilizzo di legna e similari (56%), del diesel (17%) mentre una buona percentuale (26%) non è riconducibile a processi di combustione.

Il riscaldamento delle abitazioni sembra essere la maggior causa dell'inquinamento da PM₁₀, con la combustione di legna nei camini.

Un'altra fonte fondamentale è il trasporto su strada: la maggior diffusione dei motori diesel e la costante erosione di pneumatici e manto stradale sembrano essere le cause principali.

Confrontando i dati del 2008 con quelli dell'inventario del 2007, risulta un incremento del 26% dovuto all'aumento dell'uso residenziale della legna, con quasi il raddoppio delle emissioni. Il trasporto su strada non mostra variazioni significative, forse perchè la diminuzione delle emissioni dovuta alle migliori tecnologie introdotte è stata

compensata dall'aumento del parco macchine circolante.
Negli altri settori si registra una leggera diminuzione delle emissioni.

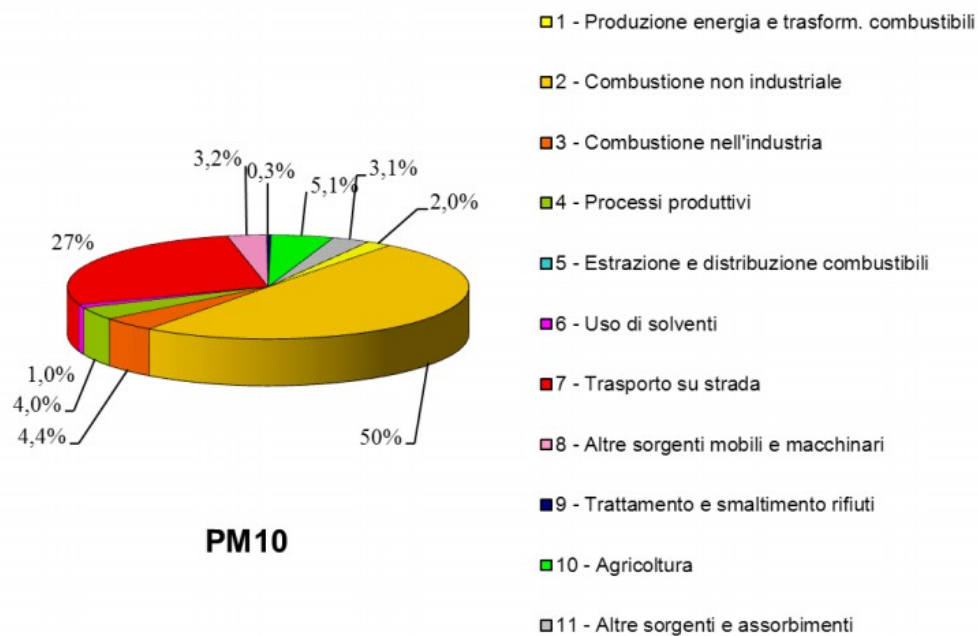


Immagine 8: Ripartizione percentuali di emissione di PM₁₀ nel 2008

PARAGRAFO 1.5

Provvedimenti Normativi

La prima legge italiana sull'inquinamento atmosferico è la legge 13 luglio 1966, n. 615 "Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico". L'aria è riconosciuta come un bene giuridico da proteggere.

Ventidue anni dopo viene redatto un secondo provvedimento, il DPR 24 maggio 1988, n. 203 che rappresenterà negli anni a venire la base normativa in materia di inquinamento atmosferico. Introdotto il concetto di protezione dell'ambiente, non si limiterà più a considerare solamente i danni provocati sulla salute dell'uomo. Viene perfezionata la definizione di inquinamento atmosferico come "qualsiasi modificazione della normale composizione o stato fisico dell'aria atmosferica, dovuta alla presenza nella stessa di una o più sostanze in quantità o con caratteristiche tali da alterare le normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria; da costituire pericolo ovvero pregiudizio diretto o indiretto per la salute dell'uomo; da compromettere le attività ricreative e gli altri usi legittimi dell'ambiente; alterare le risorse biologiche e gli ecosistemi ed i beni materiali pubblici e privati".

Vengono introdotti i valori guida di qualità oltre a quelli limite e il concetto di migliore tecnologia disponibile.

Dopo altre numerose leggi e decreti con valore nazionale, nel 1999 viene recepita la direttiva 96/62/CE sulla valutazione e gestione della qualità dell'aria che ha come obiettivo generale la definizione di principi base per una strategia comune volta a definire e stabilire obiettivi nella comunità europea al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, valutare la qualità dell'aria con metodologie comuni per tutti gli stati membri, divulgare informazioni adeguate sulla qualità dell'ambiente aria.

Il D. Lgs. 351/99 prevede che le regioni effettuino la valutazione preliminare volta all'individuazione delle zone nelle quali adottare i piani di azione, i piani di risanamento e i piani di mantenimento, realizzando in questo modo una gestione integrata della qualità dell'aria attraverso una pianificazione a breve, medio e lungo termine.

Per ultimo il D. Lgs. 155/2010 attua la direttiva 2008/50/CE "Qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa". Si prevede la riunificazione della legislazione europea esistente in una singola direttiva; vengono posti nuovi obiettivi per il PM_{2.5} in aggiunta a quelli già esistenti per il PM₁₀; è introdotta la possibilità di non considerare come violazioni quei superamenti imputabili a fonti naturali come ad esempio eruzioni vulcaniche, attività sismiche, incendi spontanei.

Il PRIA (Piano Regionale degli Interventi per la qualità dell'Aria) sarà il nuovo strumento adibito alla programmazione e alla pianificazione relativamente alla qualità dell'aria nella Regione Lombardia. Aggiornando ed integrando la normativa già esistente, avrà lo scopo di prevenire l'inquinamento atmosferico, riducendo le emissioni.

L'obiettivo finale è quello di raggiungere livelli di qualità dell'aria tali da impedire rischi e impatti negativi per la salute umana e per l'ambiente.

Questo si otterrà riducendo la pressione inquinante negli agglomerati che presentano concentrazioni di inquinanti ancora elevate e mantenendone al di sotto del limite il

livello in quelle zone che già rispettano i criteri di legge.

Nell'intento di rispettare questi obiettivi, la Regione Lombardia ha attuato diverse misure per ridurre l'emissione degli inquinanti.

L'inventario regionale, la suddivisione in macrosettori, l'applicazione delle BAT hanno permesso di intraprendere questa strada.

Alcune di queste decisioni hanno avuto ripercussioni dirette sull'inquinamento da PM₁₀.

Per quanto riguarda il traffico veicolare, si è cercato di ridurre il trasporto privato all'interno dei centri abitati, favorendo quello pubblico, utilizzando anche veicoli ad alimentazione elettrica. In concomitanza si è promosso un incentivo all'utilizzo di un parco veicolare più moderno, a basso impatto ambientale, con lo scopo di ridurre le emissioni dei veicoli più vecchi dotati di filtro antiparticolato.

Nel settore del consumo energetico civile si sono intraprese misure volte a migliorare l'efficienza energetica degli edifici e dando maggior sostegno all'utilizzo del teleriscaldamento, delle pompe di calore, del solare termico, per limitare l'utilizzo di combustibili ad alto impatto ambientale.

PARAGRAFO 1.6

Obiettivi dello studio

Perchè si possano stendere piani e programmi per migliorare la qualità dell'aria, i decisori devono avere accesso ai migliori dati disponibili.

Il desiderio di avere maggiore chiarezza durante l'analisi di una serie di dati di inquinamento porta alla necessità di considerare le condizioni climatiche presenti al momento del rilevamento del dato stesso.

La meteorologia locale ha infatti un forte impatto sulla variazione giornaliera delle concentrazioni e per questo è necessario rimuovere queste influenze per poter giungere al trend reale che è mascherato nei dati grezzi.

Le condizioni particolari della pianura padana, dove le dinamiche meteorologiche sono caratterizzate da fattori che le differenziano da quelle del resto dell'europa mediterranea, rendono il nord Italia una regione geografica ideale per l'utilizzo di questo procedimento.

Le metodologie applicabili sono diverse ma il filtro Kolmogorov-Zurbenko (Filtro KZ) si è dimostrato efficace dove le variazioni delle concentrazioni dovute all'emissione sono risultate inferiori a quelle dovute alle condizioni climatiche.

Questo tipo di filtro, creato originariamente per analizzare i dati dell'ozono, è risultato efficace anche nell'analisi del PM₁₀.

Lo scopo dello studio sarà quello di valutare se l'influenza di una o più variabili meteorologiche possa influenzare significativamente la concentrazione di PM₁₀ in atmosfera.

CAPITOLO 2

MATERIALI E METODI

PARAGRAFO 2.1

Basi di dati utilizzate

La Lombardia è una regione a media densità con una popolazione che supera i 10 milioni di residenti. La superficie è suddivisa quasi equamente fra zone pianeggianti (47%) e zone montuose (41%), mentre la restante porzione è collinare.

Il clima, seppur collocabile in un contesto continentale, presenta variazioni dovute alla tipologia diversificata del territorio. Le estati sono calde e presentano forti e frequenti temporali mentre gli inverni sono freddi con abbondanti piogge e nevicate.

L'umidità può superare in estate il 90%, condizione aggravata dalla scarsa ventilazione tipica del bacino padano.

Le zone vicine ai grandi laghi presentano un clima più mediterraneo che continentale, con inverni meno freddi ed estati più calde ma ventilate.

Per raccogliere i dati del PM₁₀ sono state selezionate 16 centraline suddivise fra le varie province della regione. La scelta delle centraline è stata effettuata sulla base della disponibilità di una quantità di dati sufficiente per l'analisi e sulla possibilità di ottenere dei risultati in grado di dare una descrizione significativa della totalità del territorio della regione Lombardia, in particolare considerando i dati provenienti da contesti caratteristici sia urbani che rurali.

La caratteristica del filtro KZ, che richiede serie di dati continue per un numero sufficiente di anni, ha indirizzato la scelta delle stazioni verso quelle che possedevano un archivio dati almeno a partire dall'anno 2001.

La ridotta lunghezza temporale delle serie storiche di PM_{2.5} ha limitato lo studio al solo PM₁₀ con riferimento al periodo 2001-2012 (31 giugno).

Per la provincia di Milano sono state selezionate una centralina in città (in Via Verziere, nel centro storico) e due centraline al di fuori del centro urbano. La prima posta a est del capoluogo (Limite di Pioltello) e la seconda a ovest (Magenta).

In provincia di Bergamo la centralina in città è situata in Via Meucci, nella zona ovest, mentre quella esterna si trova a Osio Sotto, a sud-ovest della città.

La stazione di Brescia è situata al palazzo Broletto, in centro, mentre la seconda si trova a nord della città, a Sarezzo, nelle vicinanze del lago d'Iseo.

In provincia di Lecco sono state scelte le stazioni in Via Amendola, in città, e a Merate, a sud.

A Sondrio, in Via Mazzini, e a Morbegno, a est verso il lago di Como, le due stazioni di questa provincia.

Una sola stazione è stata selezionata per le province di Como (in centro città), di Lodi (in Via Vignati), di Varese (a Busto Arsizio, tra Varese e Milano), di Monza e Brianza (a Meda, a nord-est del capoluogo) e di Cremona (a Pizzighettone, a ovest della città).

Non è stato possibile scegliere nessuna centralina per le province di Pavia e Mantova per la mancanza di una quantità di dati sufficiente.

Tutti i dati sono stati scaricati dall'archivio dell'Arpa Lombardia.

Nella tabella 3 si riassumono le basi di dati considerate nello studio mentre nell'immagine 9 viene riportata la loro ubicazione:

Centraline PM₁₀

STAZIONE	PROVINCIA	ZONA	TIPO	PERIODO
Bergamo Via Meucci	BG	Urbana	Fondo	2000 – 2012
Brescia Broletto	BS	Urbana	Traffico	2000 – 2012
Busto Arsizio	VA	Suburbana	Fondo	1999 – 2012
Como Centro	CO	Urbana	Traffico	2000 – 2012
Lecco Via Amendola	LC	Urbana	Traffico	1999 – 2012
Limite Di Pioltello	MI	Urbana	Fondo	1999 – 2012
Lodi Via Vignati	LO	Urbana	Traffico	2001 – 2012
Magenta	MI	Urbana	Fondo	1999 – 2012
Meda	MB	Urbana	Traffico	1999 – 2012
Merate	LC	Urbana	Traffico	1999 – 2012
Milano Verziere	MI	Urbana	Traffico	2001 – 2012
Morbegno	SO	Urbana	Fondo	1999 – 2012
Osio Sotto	BG	Suburbana	Fondo	2000 – 2012
Pizzighettone	CR	Urbana	Fondo	2000 – 2012
Sarezzo	BS	Urbana	Fondo	2000 – 2012
Sondrio Via Mazzini	SO	Urbana	Traffico	1999 – 2012

Tabella 3: Basi di dati utilizzate

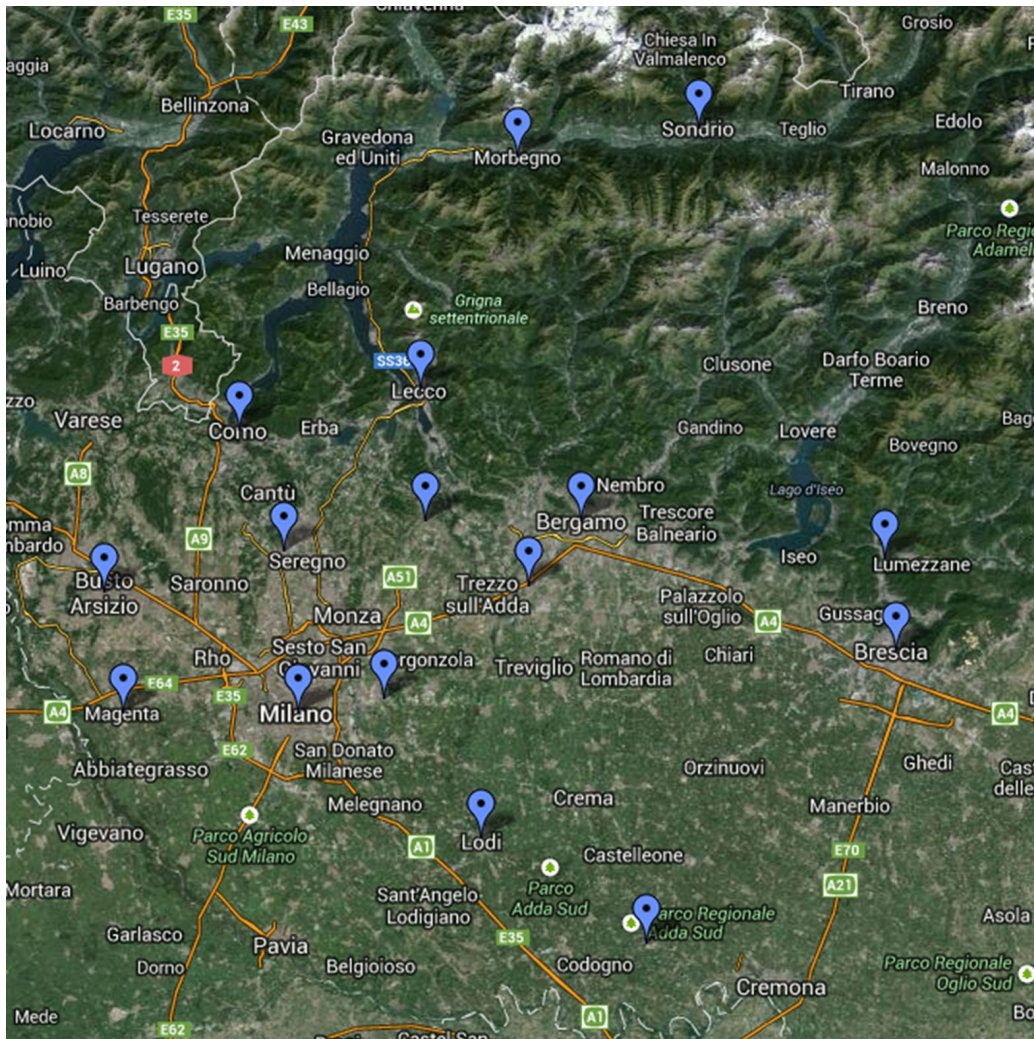


Immagine 9: Localizzazione sul territorio delle centraline per i dati del PM₁₀

Valutando la potenziale utilità del parametro, la sua disponibilità e l'utilizzo in studi precedenti, sono stati scelti per l'analisi le seguenti variabili: Radiazione Globale Massima giornaliera (Rmax) e media giornaliera (Rmed), Temperatura Massima giornaliera (Tmax) e media giornaliera (Tmed), Umidità Relativa media giornaliera (UR) Velocità del Vento media giornaliera (VV) e Precipitazione cumulata giornaliera (PP).

In alcuni studi i valori meteorologici sono stati shiftati di alcuni giorni per migliorare la correlazione rispetto alle serie di PM₁₀; questo procedimento non ha portato a risultati significativamente migliori e quindi si è deciso di non applicarlo.

Per quanto riguarda i dati meteorologici, dove possibile, sono stati utilizzati dati provenienti dalla medesima stazione di misura del PM₁₀.

Tuttavia, ciò è avvenuto solo nei casi di Osio Sotto e Morbegno mentre in tutti gli altri casi i dati meteorologici sono stati recuperati dalla stazione più vicina a quella di rilevamento del PM₁₀, cercando di preferire, in caso di più alternative, i dati provenienti da un sito il più simile possibile a quello di misura del PM₁₀.

L'elenco delle centraline considerate per ogni tipologia di variabile meteorologica e la lunghezza della serie temporale a disposizione sono riportati nell'Allegato 1; gli abbinamenti tra le due tipologie di dati (PM₁₀ – Meteo) sono riportati nell'Allegato 2. Per i dati di PM₁₀ di Bergamo, Brescia, Milano e Como l'abbinamento è stato effettuato utilizzando stazioni meteorologiche situate nell'area urbana, mentre negli altri casi l'abbinamento coinvolge stazioni maggiormente distanziate. A titolo di esempio nelle immagini 10 e 11 sono riportate le ubicazioni delle stazioni utilizzate per i dati mancanti rispettivamente di Magenta e pizzighettone.

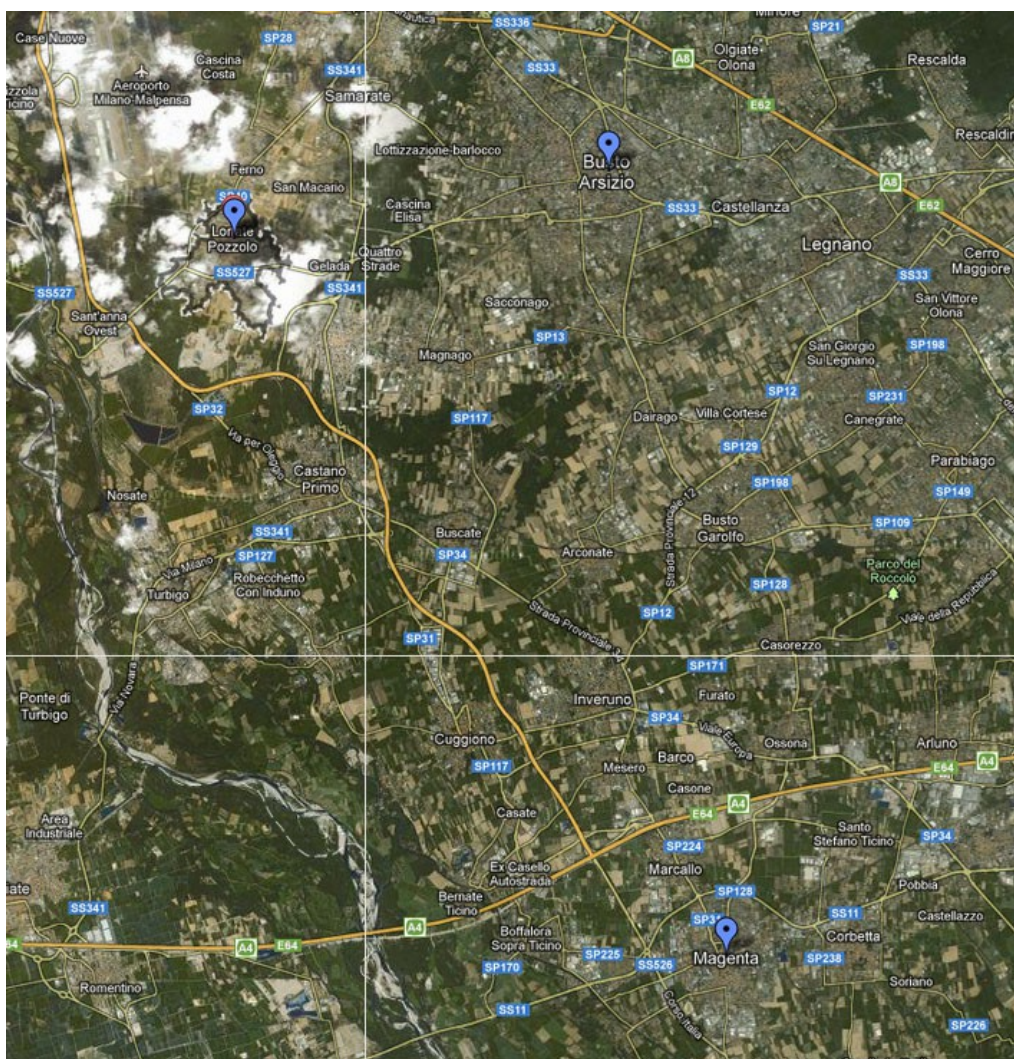


Immagine 10: Per Magenta sono stati utilizzati i dati misurati a Busto Arsizio e a Lonato Pozzolo

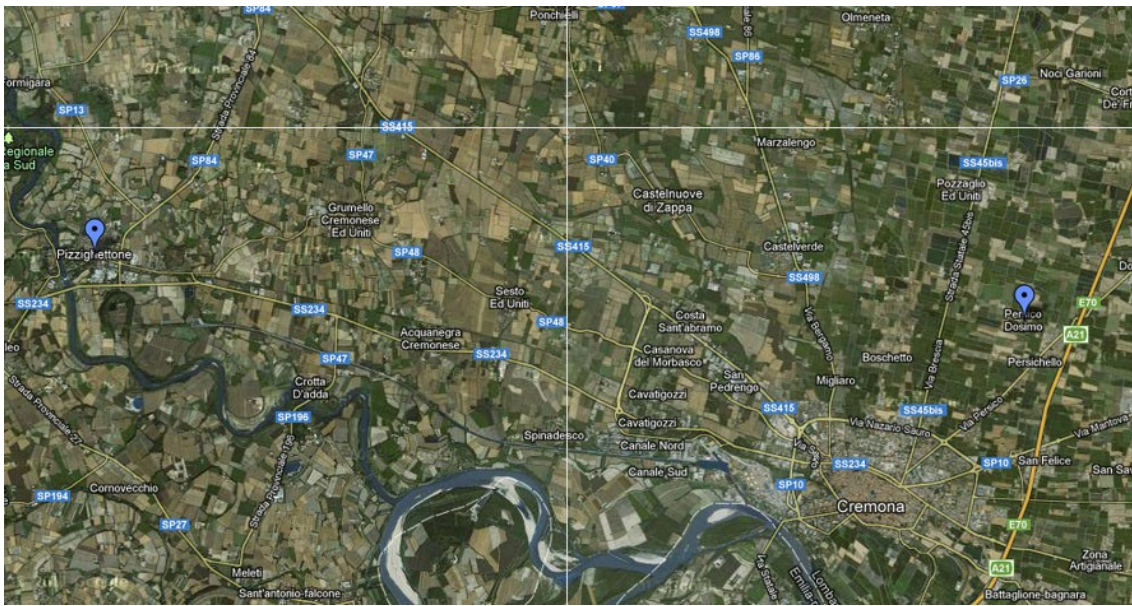


Immagine 11: Per Pizzighettone sono stati utilizzati i dati meteo misurati a Persico Dosimo

Ciò non dovrebbe tuttavia influenzare in modo significativo i risultati finali poiché la variabilità meteorologica alle distanze in gioco (max alcune decine di km) non risulta essere così marcata.

Il metodo di analisi di questi dati prevede che gli stessi siano a frequenza giornaliera. Quelli recuperati dall'archivio sono dati orari e per questo è stato necessario trasformarli all'occorrenza.

Per PM_{10} , Radiazione Globale, Temperatura, Umidità Relativa e Velocità del Vento è stato estrapolato il dato medio giornaliero, calcolando la media dei dati orari per ogni giorno.

Per la Radiazione Globale e la Temperatura è stato calcolato anche il valore massimo giornaliero, utilizzando il dato massimo orario delle 24 ore.

Per la Precipitazione si è calcolata la cumulata giornaliera sommando i valori orari di ogni giorno.

Le serie così ottenute non sono però ancora adatte per essere utilizzate con il filtro KZ. Infatti in questo stadio del lavoro i dati a disposizione sono incompleti. In seguito a manutenzione, guasti e sostituzione delle apparecchiature, il monitoraggio non è continuo e risultano dei vuoti all'interno delle serie temporali. Queste assenze di dati registrati possono essere sporadiche e riguardare un numero limitato di valori oppure essere imponenti causando la perdita di giorni e addirittura mesi di informazioni.

La metodologia di analisi applicata richiede che le serie temporali siano continue e prive di interruzioni di lunghezza rilevante. Pertanto le serie selezionate, sia di dati di PM_{10} sia delle variabili meteorologiche, sono state preventivamente processate per la rimozione di eventuali "buchi" di dati. Tale operazione è stata effettuata secondo i seguenti criteri:

- metodo di correlazione
- metodo di sostituzione

A titolo di esempio si riporta un caso relativo al primo metodo ed uno per il secondo.

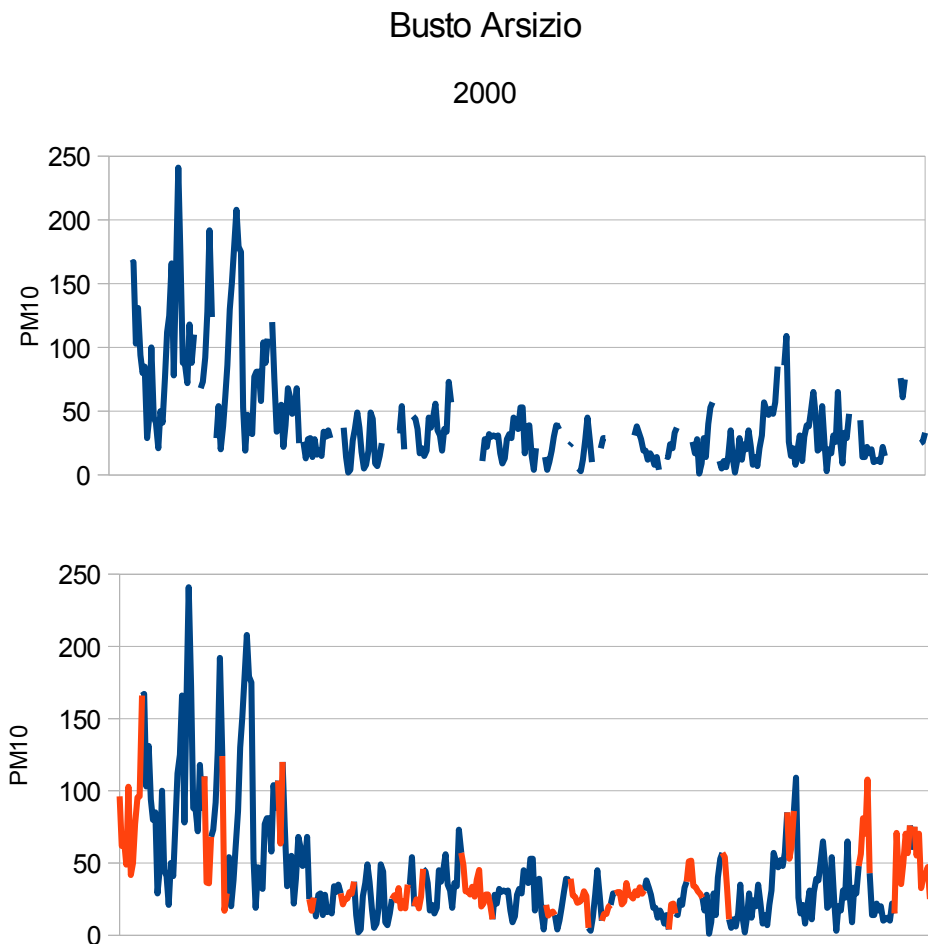


Immagine 12: La serie temporale per l'anno 2000 della stazione di Busto Arsizio

L'immagine 12 mostra una situazione tipica riscontrata nei dati scaricati. I dati mancanti sono numerosi e distribuiti lungo tutto l'arco dell'anno, ma permettono ancora di individuare un andamento nella serie. Questa configurazione è quella maggiormente riscontrata; solo raramente le serie comprendevano la totalità dei dati.

L'utilizzo del Filtro KZ con una configurazione di questo tipo è sì possibile, ma il risultato ottenuto non è completamente affidabile, dato che le operazioni che si eseguono sono influenzate dall'eventuale valore 0 che viene attribuito all'informazione giornaliera mancante.

Per ovviare a questo problema si è utilizzato il metodo della correlazione per rendere le serie temporali complete.

Il procedimento prevede, per ogni anno, il calcolo della correlazione fra la serie da completare con tutte le altre dello stesso anno. In questo modo si ricava quali di queste sia maggiormente simile con quella in esame.

A questo punto il valore mancante viene calcolato grazie all'utilizzo della regressione lineare utilizzando il dato dello stesso giorno preso dalla serie serie maggiormente correlata. Se anche questo dato risultasse mancante si è utilizzato quello della seconda serie in ordine di correlazione, e così via.

Questo procedimento è stato utilizzato sia per i dati del PM₁₀ che per quelli delle variabili meteo.

L'immagine 13 rappresenta invece una situazione che fortunatamente si è dovuta affrontare un numero limitato di volte. In questo caso è assente la quasi totalità dei dati annuali, ed è quindi impossibile ricostruirne un andamento.

Il metodo descritto precedentemente non è quindi più utilizzabile perché calcolare una correlazione con un numero così ristretto di variabili distribuite non uniformemente porterebbe a dei risultati completamente inutili dal punto di vista statistico.

Per non dover scartare l'intera serie (l'assenza di dati anche per un solo anno va ad influire su buona parte della serie una volta inseriti i dati nel Filtro KZ) si è scelta una soluzione meno "corretta" ma necessaria.

L'intero anno, o la parte mancante, è stato sostituito direttamente con i valori provenienti dalla serie che presentava la maggiore correlazione nell'anno precedente e in quello successivo.

Per quanto riguarda il PM₁₀ nessuna delle serie utilizzate presentava una situazione tale da dover utilizzare quest'ultimo procedimento.

Nelle serie delle variabili meteorologiche ne è stato invece necessaria l'applicazione.

Nella stazione di Brescia i valori della Temperatura media per l'anno 2003 sono stati presi dalla centralina situata ad Osio Sotto, mentre quelli della Velocità del Vento, sempre nel 2003, da S. Angelo Lodigiano.

Per Como, nel 2004, la Temperatura media, la Velocità del Vento, la Radiazione Globale Massima e media sono state prese da Carate Brianza, mentre la Temperatura Massima e l'umidità relativa da Busto Arsizio.

Ad Osio Sotto la Radiazione Globale Massima è stata presa da Bergamo mentre quella media da Milano.

Al contrario la Velocità del Vento di Osio Sotto nel 2011 è stata utilizzata per Bergamo. La Velocità del Vento di Milano nel 2008 è stata presa da Rodano, mentre nel 2011 la Radiazione Globale Massima e media di Milano è stata utilizzata per Rodano.

RADIAZIONE GLOBALE MAX

Rodano

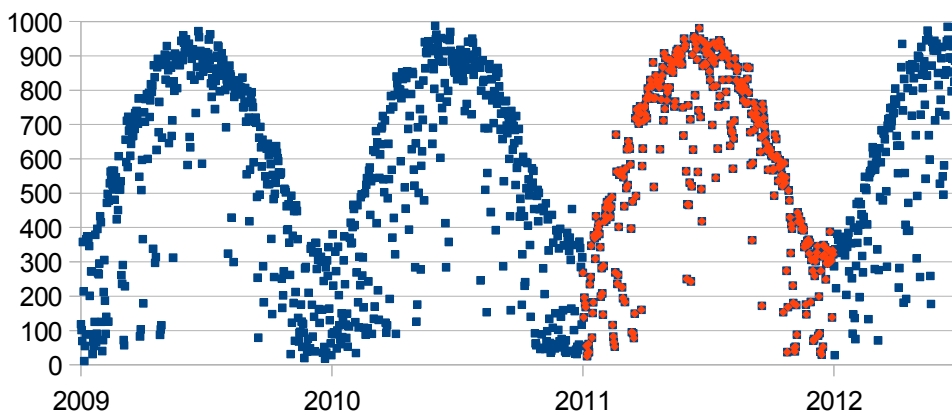
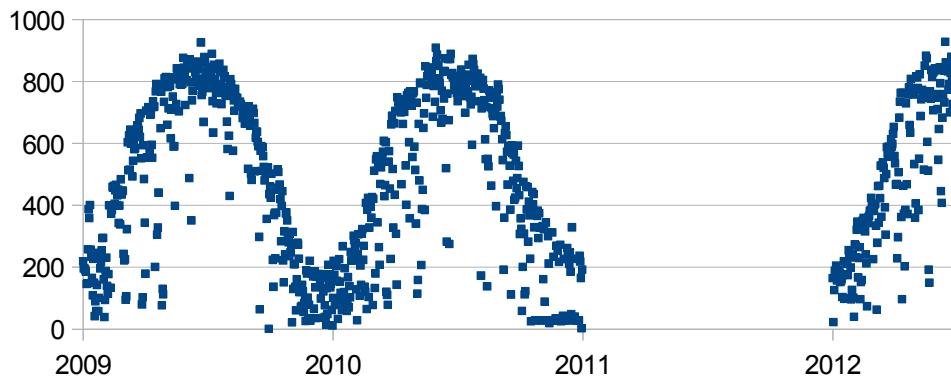


Immagine 13: La serie di dati della Radiazione Globale Massima per la stazione di Rodano

Una volta applicati i due procedimenti quello che si ottiene sono le serie di dati complete del PM_{10} e delle variabili meteorologiche.

Questi sono quindi i dati ricavabili direttamente dalla misurazione effettuata sul territorio. In questa forma risultano però di difficile utilizzo data la scarsa chiarezza e l'impossibilità di un utilizzo per una valutazione a lungo termine.

Data la complessità dei processi che portano alla formazione delle concentrazioni di PM_{10} , a loro volta influenzati dalle condizioni climatiche locali, risulta difficile predire con precisione eventuali superamenti dei limiti di qualità dell'aria.

La rimozione delle ingerenze meteorologiche dai dati delle serie temporali dovrebbe rendere accessibile la valutazione dei trend prima mascherati, aiutando a capire quali meccanismi sono responsabili dei trend stessi.

PARAGRAFO 2.2

Metodo di analisi: Filtro KZ

Il filtro KZ si basa sull'ipotesi di Rao e Zurbenko che una serie temporale di dati sulla qualità dell'aria può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$A(t) = e(t) + S(t) + W(t) \quad (1)$$

$A(t)$ rappresenta la serie temporale originale (original time-series), $e(t)$ è il trend della componente a lungo termine (long-term component), $S(t)$ è la variazione stagionale (seasonal variation), e $W(t)$ è la componente a breve termine (short-term component). Il trend della componente a lungo termine è il risultato dei cambiamenti dovuti alla variazione delle emissioni, al trasporto degli inquinanti nell'atmosfera, alla tipologia del clima e alle scelte politiche effettuate per il controllo dell'inquinamento.

La variazione della componente stagionale è dovuto all'angolo solare e ai suoi cambiamenti durante l'arco temporale annuale.

La componente a breve termine è invece caratterizzata dalle condizioni meteorologiche e dalle fluttuazioni delle emissioni dei precursori dell'inquinante, nel caso di particolato secondario.

Il filtro KZ è un filtro a passo breve prodotto grazie alle ripetute iterazioni del calcolo di una media mobile. Questa media mobile, per un filtro $KZ_{(m,p)}$ definito da una finestra di durata m con un numero di iterazioni pari a p , è descritto dalla formula:

$$Y_i = \frac{1}{m} \sum_{j=-k}^k A_{i+j} \quad (2)$$

k rappresenta il numero di valori preso, prima e dopo il valore scelto, all'interno della finestra della media definita come $m = 2k + 1$.

A è la serie temporale originale utilizzata come inserimento (input) all'interno del filtro.

Il risultato (output) del primo passaggio, diventa l'input per il successivo.

Andando a variare la finestra temporale e il numero di iterazioni è possibile controllare la scala di applicazione del filtro.

Per filtrare una sezione temporale inferiore a N giorni, si utilizza il seguente criterio per definire l'effettiva ampiezza del filtro:

$$m \times p^{1/2} \leq N \quad (3)$$

Un filtro $KZ_{(15,5)}$ (con estensione 15 giorni $[m]$ e 5 iterazioni $[p]$) permetterà una rimozione di cicli inferiori ai 33 giorni ($15 \times 5^{1/2} \leq 33$).

Applicando il filtro con $m = 15$ e $p = 5$ si ottiene una serie temporale detta Baseline, definita come la somma della componente a lungo termine e di quella stagionale:

$$Baseline(t) = KZ_{(15,5)} = e(t) + S(t) \quad (4)$$

Cicli annuali o con scale temporali inferiori possono essere rimossi adottando una finestra più ampia.

In particolare utilizzando un filtro $KZ_{(365,3)}$ si può individuare la componente a lungo termine, creando una serie temporale contenente cicli di periodi maggiori di 632 giorni ($365 \times 3^{1/2} \leq 632$):

$$e(t) = KZ_{(365,3)} \quad (5)$$

Le componenti stagionale e a breve termine si calcolano rispettivamente:

- sottraendo alla Baseline la componente a lungo termine:

$$S(t) = KZ_{(15,5)} - KZ_{(365,3)} \quad (6)$$

- sottraendo la Baseline alla serie temporale originale:

$$W(t) = A(t) - KZ_{(15,5)} \quad (7)$$

L'utilizzo del filtro causa la perdita di dati poiché la serie viene troncata all'inizio e alla fine, effetto delle iterazioni della media mobile.

Nella componente a lungo termine la perdita di informazioni risulta maggiore che nella componente a breve termine perché per quest'ultima è stata utilizzata una finestra di ampiezza minore.

La scomposizione delle serie temporali nelle diverse componenti ha riguardato sia i dati di PM_{10} sia quelle delle diverse variabili meteorologiche.

Una volta applicato il filtro sia ai dati del PM_{10} che ai dati meteo, si è proceduto a creare delle serie temporali "aggiustate" per evidenziare le variazioni dell'inquinante nel tempo, eliminando le influenze delle diverse variabili meteorologiche.

Effettuando il calcolo di regressione lineare sulla Baseline (BL) e sulla componente a

breve termine (ST) si ottiene:

$$Y_{BL}(t) = a X_{BL}(t) + q_1 + \varepsilon_{BL}(t) \quad (8)$$

$$Y_{ST}(t) = b X_{ST}(t) + q_2 + \varepsilon_{ST}(t) \quad (9)$$

in cui Y_{BL} e Y_{ST} rappresentano la Baseline e la componente a breve termine del PM_{10} , mentre X_{BL} è la Baseline della variabile meteorologica e X_{ST} ne è la componente a breve termine.

ε_{BL} e ε_{ST} sono i residui rispettivamente della componente Baseline e di quella a breve termine della serie temporale "aggiustata", mentre a , b , q_1 e q_2 sono parametri della regressione.

Sommando le regressioni della Baseline e della componente a breve termine si ottiene come risultato la serie meteorologicamente aggiustata, cioè con la rimozione dell'influenza della variabile meteorologica dal dato di qualità dell'aria:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_{BL}(t) + \varepsilon_{ST}(t) = [Y_{BL}(t) - a X_{BL}(t)] + [Y_{ST}(t) - b X_{ST}(t)] + c \quad (10)$$

In pratica, una volta separate le varie componenti temporali delle serie di PM_{10} , i residui sono calcolati tramite la differenza fra i predetti valori osservati di qualità dell'aria delle variabili meteorologiche e quelli calcolati tramite le equazioni di regressione.

L'analisi dell'influenza delle variabili meteorologiche è stata effettuata sia per le singole variabili che per le seguenti coppie:

1. RGM – TM
2. RGm – Tm
3. RGM – UR
4. RGm – UR
5. TM – UR
6. Tm – UR
7. RGM – VV
8. RGm – VV
9. TM – VV
10. Tm – VV
11. UR – VV

In questo caso la serie temporale dei residui assume la seguente formulazione:

$$\begin{aligned} \varepsilon(t) = \varepsilon_{BL}(t) + \varepsilon_{ST}(t) = & [Y_{BL}(t) - a X_{BL}(t) - b Z_{BL}(t)] \\ & + [Y_{ST}(t) - d X_{ST}(t) - e Z_{ST}(t)] + c \end{aligned} \quad (11)$$

dove in aggiunta ai valori già mostrati precedentemente, $Z(t)$ è la seconda variabile meteorologica inserita, e i parametri a, b, c, d, e ed f sono parametri delle regressioni. Ai valori di $\varepsilon(t)$ così ottenuti (con una e con due variabili meteo) è applicato nuovamente il filtro $KZ_{(365,3)}$, per ottenere la componente a lungo termine $\varepsilon(t)_{LT}$ della serie dei residui.

Questi residui finali rappresentano le variazioni della concentrazione di PM_{10} dovute a cause non imputabili alle variabili meteorologiche, come possono essere le emissioni antropiche.

La serie $\varepsilon(t)_{LT}$ ha la caratteristica di essere ancora un dato residuo e quindi di difficile comprensione. Per rendere più facile l'interpretazione dei risultati, in termini di concentrazione di PM_{10} i valori della serie $\varepsilon(t)_{LT}$ sono stati sommati alla media della componente a lungo termine della serie originale (A_{LT}):

$$A(t)_{LTagg} = \hat{A}_{LT} + \varepsilon(t)_{LT} \quad (12)$$

dove $A(t)_{LTagg}$ è il valore meteorologicamente aggiustato espresso in $\mu g/m^3$, \hat{A}_{LT} è il valore medio del $KZ_{(365,3)}$ della serie originale di qualità dell'aria e $\varepsilon(t)_{LT}$ è il residuo giornaliero dopo aver applicato un filtro $KZ_{(365,3)}$ ai residui totali $\varepsilon(t)$.

Effettuando questo passaggio per ogni giorno, il risultato finale è una serie temporale a lungo termine, aggiustata meteorologicamente, che rispecchia il trend apparente di $\varepsilon(t)_{LT}$, ma che lo esprime come valore di PM_{10} .

CAPITOLO 3

RISULTATI

PARAGRAFO 3.1

Applicazione del filtro KZ

L'utilizzo del filtro KZ, in grado di scomporre la serie temporale osservata nelle sue diverse componenti, permette di procedere con un'analisi più approfondita della serie temporale originale del PM₁₀. Dalla sua forma iniziale (A(t)) non è infatti possibile ricavare informazioni utili ai fini della valutazione dei livelli di inquinamento e di eventuali fluttuazioni nell'arco degli anni.

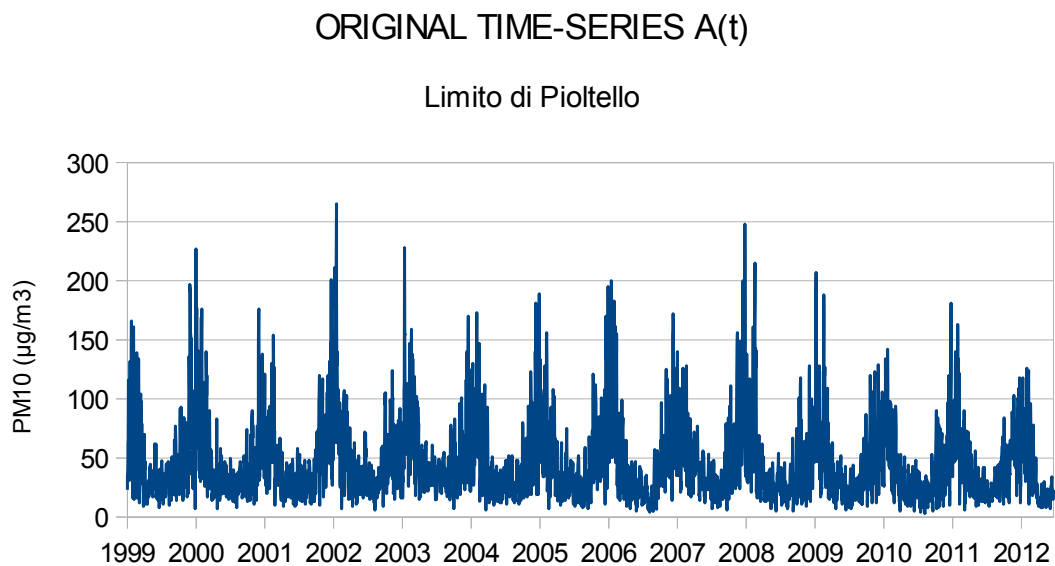


Immagine 14: Limite di Pioltello: serie di dati originale del PM₁₀

L'immagine 14 mostra l'andamento temporale delle concentrazioni di PM₁₀ osservate nella stazione di Limite di Pioltello. Sono evidenti i picchi di inquinamento caratterizzanti il periodo invernale di ogni anno; nel 2002 e nel 2008 la concentrazione arriva a toccare e superare i 250 µg/m³ mentre nel 2010 e nel 2012 si rimane al di sotto dei 150 µg/m³. Nei restanti anni il valore massimo annuale ricade tra i 150 e 250 µg/m³.

La tabella 4 riassume i valori della concentrazione media annuale e del numero di giorni in cui la concentrazione dell'inquinante supera il valore limite giornaliero di 50 µg/m³:

ANNO	1999	2000	2001	2002	2003
>50 mg/m³	125	111	124	133	140
MEDIA	48,54	47,63	46,48	50,26	52,01
ANNO	2004	2005	2006	2007	2008
>50 mg/m³	112	142	130	149	104
MEDIA	46,49	48,46	49,59	51,33	43,27
ANNO	2009	2010	2011	2012	
>50 mg/m³	122	84	117	44	
MEDIA	46,63	37,87	45,04	37,09	

Tabella 4: Limite di Pioltello: Media annuale e numero di superamenti giornalieri

Per ogni anno risultano superati abbondantemente, fino a oltre quattro volte, i 35 superamenti annuali ammessi dalla legislazione. Anche il valore della media annuale risulta costantemente superiore al limite imposto di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'unico anno dove questo valore è inferiore al limite annuale è il 2010 con una concentrazione di 37.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; nello stesso anno anche il numero di superamenti, seppur sempre al di sopra del limite, è più contenuto. Rispetto al resto del periodo analizzato anche il 2012 sembra poter mantenere un andamento migliore: considerando la presenza di dati analizzati del solo primo semestre (01 gennaio - 30 giugno) i superamenti risultano limitati (44) e la concentrazione media al di sotto del massimo consentito (37.09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

A titolo di esempio, con riferimento alla stazione di Limite di Pioltello, sono riportati nelle figure 15, 17 e 18 i risultati della scomposizione della serie osservata nelle tre componenti: rispettivamente $e(t)$ (componente a lungo termine), $S(t)$ (componente stagionale) e $W(t)$ (componente a breve termine).

LONG TERM [e(t)]

Limite di Pioltello

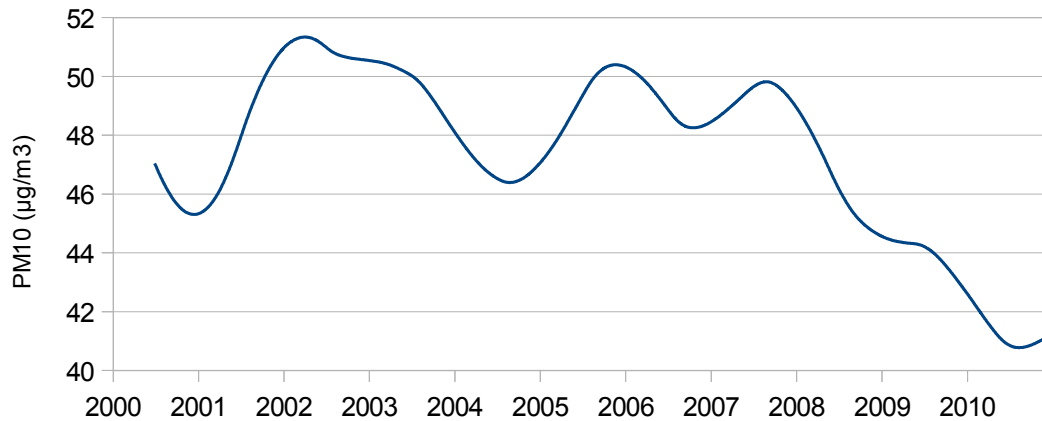


Immagine 15: Limite di Pioltello: componente a lungo termine

La componente a lungo termine mostrata nell'immagine 15 rappresenta l'andamento privato dalle influenze stagionali e di breve termine. In pratica questa serie esprime l'effetto delle variazioni nelle emissioni dell'inquinante, dell'influenza dei fenomeni di trasporto in atmosfera, dei cambiamenti del clima e gli effetti delle politiche di controllo e dell'andamento economico. Con riferimento alla stazione di Limite di Pioltello, si osserva fino a metà del 2007 il dato si assesta all'interno di un range contenuto con una variazione massimo intorno ai 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sono presenti delle flessioni significative nell'anno 2000, nel 2002 con una riduzione della concentrazione sempre più marcata nel 2003 e nel 2004, e nel 2006. La concentrazione minima relativa di ogni evento risulta essere maggiore di volta in volta. Fino al 2007 il valore medio si assesta poco al di sotto dei 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con superamenti diffusi ma di lieve intensità. Dalla fine del 2007 invece si palesa una forte e costante diminuzione della concentrazione dell'inquinante che nel 2010 tocca il valore minimo di 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nell'immagine 16 sono rappresentati gli andamenti per quanto riguarda la componente a lungo termine per tutte le stazioni. Questa visione d'insieme mostra fino al 2004 degli scostamenti fra le concentrazioni delle serie che si riducono dall'anno successivo. Dal 2004 le stazioni di Meda, Merate e Lodi si disconzano dall'andamento generale mantenendosi su livelli di concentrazione simili, ma più elevati. Dal 2007 anche queste tre serie si ricongiungono con l'andamento generale delle altre stazioni.

Di contro le stazioni di Morbegno e Lecco presentano concentrazioni che si disconzano in modo negativo da tutte le altre. In particolare Morbegno registra i più bassi valori di concentrazione sulla totalità delle serie.

Milano, Meda e lo stesso Morbegno presentano nell'ultimo anno un aumento della concentrazione in modo più marcato.

LONG TERM e(t)

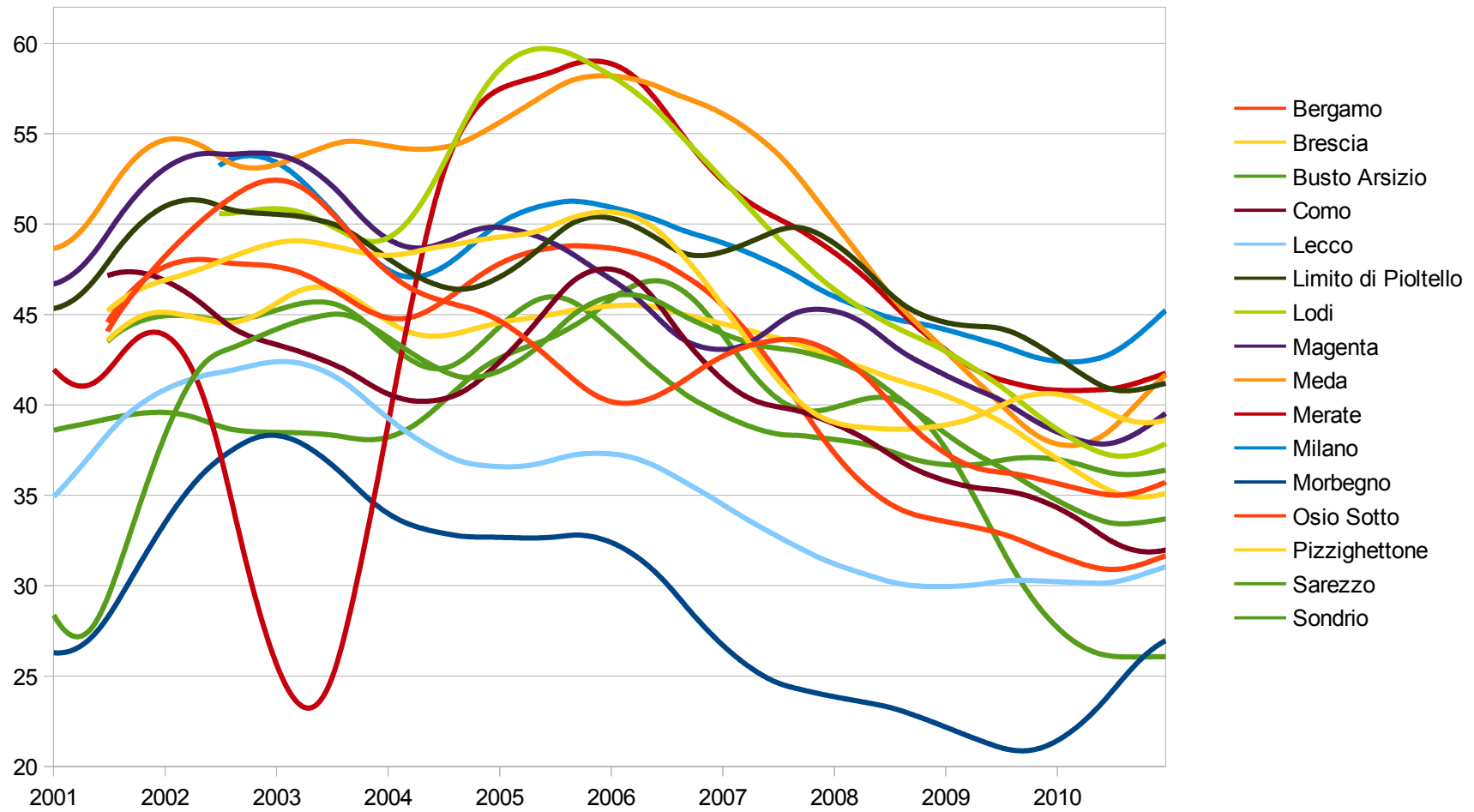


Immagine 16: Componente a lungo termine per tutte le stazioni

R	Bergamo	Brescia	Busto A.	Como	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta	Meda	Merate	Milano	Morbegno	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
Bergamo		0,65	0,54	0,65	0,9	0,8	0,53	0,94	0,68	-0,38	0,79	0,85	0,76	0,79	0,8	0,43
Brescia	0,65		0,63	0,83	0,86	0,66	0,86	0,75	0,83	0,14	0,86	0,89	0,93	0,79	0,92	0,62
Busto A.	0,54	0,63		0,59	0,37	0,65	0,85	0,35	0,64	0,21	0,84	0,5	0,7	0,8	0,54	0,6
Como	0,65	0,83	0,59		0,8	0,89	0,94	0,79	0,89	0,24	0,91	0,73	0,93	0,89	0,87	0,79
Lecco	0,9	0,86	0,37	0,8		0,75	0,66	0,92	0,73	-0,28	0,89	0,95	0,87	0,78	0,94	0,44
Pioltello	0,8	0,66	0,65	0,89	0,75		0,77	0,8	0,87	0,05	0,86	0,69	0,85	0,93	0,77	0,77
Lodi	0,53	0,86	0,85	0,94	0,66	0,77		0,7	0,94	0,51	0,83	0,67	0,94	0,87	0,81	0,89
Magenta	0,94	0,75	0,35	0,79	0,92	0,8	0,7		0,73	-0,22	0,87	0,89	0,84	0,83	0,92	0,51
Meda	0,68	0,83	0,64	0,89	0,73	0,87	0,94	0,73		0,34	0,87	0,73	0,95	0,94	0,79	0,88
Merate	-0,38	0,14	0,21	0,24	-0,28	0,05	0,51	-0,22	0,34		0,03	-0,2	0,19	0,12	-0,05	0,51
Milano	0,79	0,86	0,84	0,91	0,89	0,86	0,83	0,87	0,87	0,03		0,88	0,94	0,86	0,9	0,69
Morbegno	0,85	0,89	0,5	0,73	0,95	0,69	0,67	0,89	0,73	-0,2	0,88		0,86	0,74	0,93	0,43
Osio Sotto	0,76	0,93	0,7	0,93	0,87	0,85	0,94	0,84	0,95	0,19	0,94	0,86		0,92	0,91	0,78
Pizzighettone	0,79	0,79	0,8	0,89	0,78	0,93	0,87	0,83	0,94	0,12	0,86	0,74	0,92		0,82	0,87
Sarezzo	0,8	0,92	0,54	0,87	0,94	0,77	0,81	0,92	0,79	-0,05	0,9	0,93	0,91	0,82		0,55
Sondrio	0,43	0,62	0,6	0,79	0,44	0,77	0,89	0,51	0,88	0,51	0,69	0,43	0,78	0,87	0,55	
MEDIA	0,65	0,75	0,59	0,78	0,71	0,74	0,78	0,71	0,79	0,08	0,8	0,7	0,82	0,8	0,76	0,65
DEV. STD.	0,32	0,2	0,18	0,18	0,32	0,21	0,14	0,3	0,16	0,27	0,22	0,29	0,19	0,2	0,26	0,17
MIN	-0,38	0,14	0,21	0,24	-0,28	0,05	0,51	-0,22	0,34	-0,38	0,03	-0,2	0,19	0,12	-0,05	0,43
MAX	0,94	0,93	0,85	0,94	0,95	0,93	0,94	0,94	0,95	0,51	0,94	0,95	0,95	0,94	0,94	0,89

Tabella 5: Indice di Correlazione tra le stazioni per la componente a lungo termine

Per le stazioni di merate e Busto Arsizio l'andamento della componente di lungo periodo presenta forti variazioni (nel 2003 per Merate e nel 2001 per Busto Arsizio) in corrispondenza di periodi in cui, mancando grandi porzioni di dati, la serie temporale di PM₁₀ è stata integrata con dati di altre stazioni.

L'analisi della correlazione tra le componenti a lungo termine (tabella 5) mostra valori del coefficiente di correlazione relativamente alti per la maggior parte delle coppie di stazioni, con la sola eccezione di Merate che registra valori più bassi e in qualche caso anche negativi.

Più in generale, l'esame congiunto di tutti gli andamenti della componente a lungo termine registra un innalzamento diffuso della concentrazione di PM₁₀, più o meno accentuato a seconda dei casi. Si discostano da questo trend solo Bergamo che presenta una diminuzione della concentrazione a partire dal 2003 fino al 2006, e Morbegno dove il valore tende ad assestarsi su un valore costante negli anni 2007 e 2008.

Gli anni precedenti mostrano un andamento con un aumento della concentrazione seguito da una diminuzione tra il 2004 e il 2005, indipendentemente dall'andamento negli anni precedenti e dal valore della concentrazione stessa. Casi del tutto particolari sono Busto Arsizio e Merate il cui andamento è reso falsato dalla mancanza di dati all'interno della serie di dati originale.

Il livello di concentrazione della componente a lungo termine tende poi a diminuire negli anni successivi raggiungendo nella quasi totalità dei casi i valori minimi nell'ultimo anno delle serie temporali analizzate.

Nella tabella 6 sono riassunti il massimo, il minimo giornaliero e la media sull'intero periodo per la componente a lungo termine.

	Bergamo	Brescia	Busto Arsizio	Como
MAX	52,43	50,67	46,1	47,52
MIN	35,01	38,66	27,18	31,87
MEDIA	43,03	45	40,01	40,76
	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta
MAX	42,39	51,34	59,71	53,93
MIN	29,95	40,78	37,16	37,84
MEDIA	35,47	47,41	48,97	46,45
	Meda	Merate	Milano	Morbegno
MAX	58,21	59,02	53,78	38,32
MIN	37,76	23,23	42,37	20,87
MEDIA	50,75	45,02	47,71	29,02
	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
MAX	48,8	46,52	45,97	46,87
MIN	30,9	34,9	36,15	26,06
MEDIA	42,12	42,87	41,18	38,6

Tabella 6: Parametri statistici per la componente a lungo termine

Si può notare che:

- in molte stazioni il valore massimo supera il limite giornaliero di qualità dell'aria di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- il valore minimo è circa il 60% – 80% del limite giornaliero stesso, con le sole eccezioni di Busto Arsizio, Morbegno e Sondrio dove si attesta attorno al 50%;
- con riferimento all'intero periodo di analisi, la media pluriennale è sempre superiore al limite annuale di 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ad eccezione di Lecco, Morbegno e Sondrio.

Analizzando i valori medi calcolati per ogni anno si ricostruisce l'andamento mostrato nell'immagine 17.



Immagine 17: Andamento dei valori medi delle serie a lungo termine

In giallo è rappresentato lo scostamento dalla media (linea nera) della deviazione standard (in positivo e in negativo). Il rosso invece mostra il range all'interno del quale variano i parametri delle medie annuali di tutte le stazioni, dal valore massimo al valore minimo per ogni anno.

La disposizione dei dati mostra una concentrazione dei valori all'interno della fascia alta del range di distribuzione, in modo più visibile nel primo triennio (2001 – 2003) e nell'ultimo (2008 – 2010).

L'ampiezza del range delle medie varia nel corso degli anni, con una distribuzione più aperta dal 2005 al 2007. Nel 2005 si registra anche il valore massimo fra le medie delle concentrazioni annuali.

La fascia determinata dalla media dei valori medi e dallo scostamento delle deviazioni standard varia in modo minimo fino al 2006 mentre dall'anno successivo tende a portarsi verso la zona inferiore del grafico. Diminuiscono i valori delle concentrazioni medie annuali e nel 2009 si registra il valore minimo assoluto fra le medie annuali.

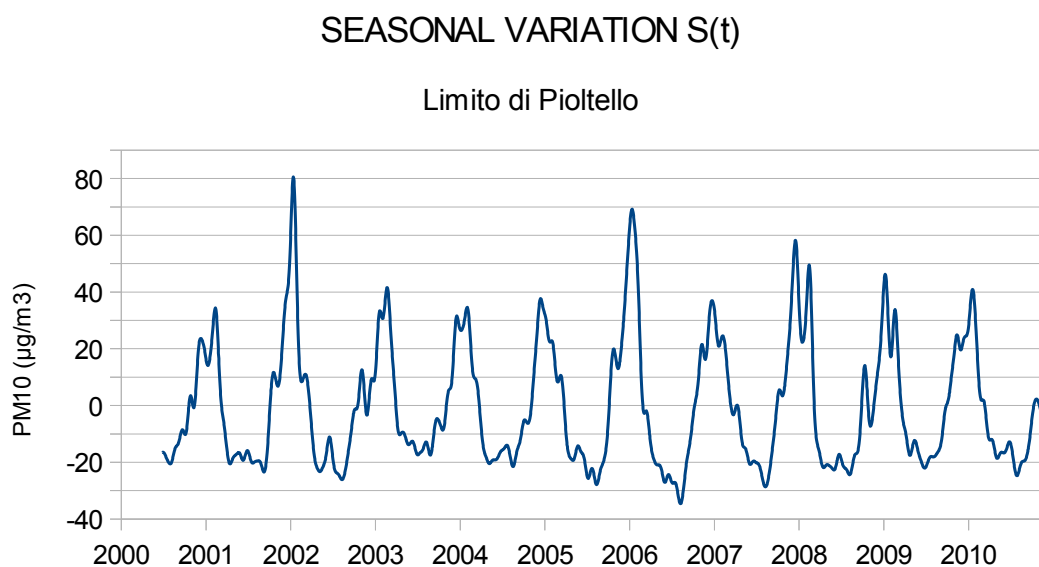


Immagine 18: Limito di Pioltello: componente stagionale per il PM₁₀

La componente stagionale (immagine 18) segue un andamento dettato dall'alternanza delle stagioni con punte massime (positive) in corrispondenza del periodo invernale e punte minime (negative) nei mesi estivi. Con riferimento alla stazione di Limito di Pioltello l'andamento oscillatorio è generalmente compreso tra i -50 e i +50 µg/m³. Nel 2002 si ha un picco nel quale vengono superati i +80 µg/m³ seguito nel 2006 da un'altra anomalia seppur di intensità inferiore, così come l'anno successivo sempre con minor impatto. Una certa regolarità dell'intervallo di variazione si può riscontrare tra il 2003 e il 2005 con oscillazioni stagionali più contenute; successivamente, dopo il picco nel 2006, l'andamento è meno regolare ma mostra una tendenza a valori più contenuti dei picchi.

Nella tabella 7 sono riportati i valori statistici della variazione stagionale.

	Bergamo	Brescia	Busto Arsizio	Como
MAX	51,55	59,82	88,89	58,78
MIN	-24,23	-35,23	-30,18	-23,87
MEDIA	-0,14	-0,27	-0,63	-0,2
	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta
MAX	44,87	80,54	53,27	82,4
MIN	-21,93	-34,61	-34,72	-27,72
MEDIA	-0,27	-0,43	-0,23	-0,37
	Meda	Merate	Milano	Morbegno
MAX	72,56	72,96	48,95	34,04
MIN	-39,08	-33,26	-30,67	-19,4
MEDIA	-0,5	-0,6	-0,49	-0,39
	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
MAX	61,46	61,51	51,98	43,99
MIN	-26,49	-25,93	-26,59	-25,24
MEDIA	-0,1	0,05	-0,24	-0,2

Tabella 7: Valori statistici per la variazione stagionale

La media dei valori per ogni stazione si assesta intorno al valore zero e lo scostamento risulta essere maggiore nell'area positiva rispetto a quella negativa. I valori più alti si riscontrano a Busto Arsizio, Limito di Pioltello, Magenta, Meda e Merate, a caratterizzare tutta quella zona che circonda la città di Milano. All'interno della città invece il valore massimo risulta essere abbastanza contenuto. In queste stesse stazioni si ricavano valori minimi più bassi, a marcare una forte fluttuazione stagionale.

Minori scostamenti si hanno nelle stazioni di Morbegno e di Sondrio, caratterizzate da valori massimi e minimi più contenuti, caratteristica probabilmente imputabile alla posizione geografica nella fascia prealpina.

Nella tabella 8 sono riportati i valori dell'indice di correlazione per la componente stagionale:

R	Bergamo	Brescia	Busto A.	Como	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta	Meda	Merate	Milano	Morbegno	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
Bergamo		0,91	0,91	0,92	0,94	0,92	0,9	0,89	0,91	0,8	0,91	0,86	0,94	0,86	0,94	0,85
Brescia	0,91		0,89	0,91	0,91	0,92	0,9	0,85	0,93	0,81	0,92	0,85	0,9	0,85	0,9	0,89
Busto A.	0,91	0,89		0,95	0,9	0,94	0,93	0,92	0,94	0,81	0,95	0,89	0,93	0,92	0,9	0,86
Como	0,92	0,91	0,95		0,96	0,96	0,89	0,93	0,95	0,81	0,92	0,89	0,94	0,91	0,9	0,9
Lecco	0,94	0,91	0,9	0,96		0,91	0,86	0,88	0,9	0,79	0,89	0,86	0,94	0,88	0,9	0,86
Pioltello	0,92	0,92	0,94	0,96	0,91		0,93	0,96	0,97	0,8	0,96	0,88	0,92	0,91	0,91	0,9
Lodi	0,9	0,9	0,93	0,89	0,86	0,93		0,91	0,91	0,78	0,96	0,81	0,9	0,91	0,89	0,84
Magenta	0,89	0,85	0,92	0,93	0,88	0,96	0,91		0,93	0,73	0,93	0,86	0,92	0,92	0,88	0,88
Meda	0,91	0,93	0,94	0,95	0,9	0,97	0,91	0,93		0,81	0,93	0,89	0,92	0,89	0,9	0,93
Merate	0,8	0,81	0,81	0,81	0,79	0,8	0,78	0,73	0,81		0,74	0,74	0,77	0,7	0,77	0,74
Milano	0,91	0,92	0,95	0,92	0,89	0,96	0,96	0,93	0,93	0,74		0,84	0,9	0,89	0,89	0,87
Morbegno	0,86	0,85	0,89	0,89	0,86	0,88	0,81	0,86	0,89	0,74	0,84		0,87	0,81	0,85	0,9
Osio Sotto	0,94	0,9	0,93	0,94	0,94	0,92	0,9	0,92	0,92	0,77	0,9	0,87		0,93	0,91	0,87
Pizzighettone	0,86	0,85	0,92	0,91	0,88	0,91	0,91	0,92	0,89	0,7	0,89	0,81	0,93		0,84	0,84
Sarezzo	0,94	0,9	0,9	0,9	0,9	0,91	0,89	0,88	0,9	0,77	0,89	0,85	0,91	0,84		0,86
Sondrio	0,85	0,89	0,86	0,9	0,86	0,9	0,84	0,88	0,93	0,74	0,87	0,9	0,87	0,84	0,86	
MEDIA	0,9	0,89	0,91	0,92	0,89	0,92	0,89	0,89	0,91	0,77	0,9	0,85	0,9	0,87	0,88	0,87
MIN	0,8	0,81	0,81	0,81	0,79	0,8	0,78	0,73	0,81	0,7	0,74	0,74	0,77	0,7	0,77	0,74
MAX	0,94	0,93	0,95	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,97	0,81	0,96	0,9	0,94	0,93	0,94	0,93

Tabella 8: Indice di Correlazione tra le stazioni per la variazione stagionale

I valori del coefficiente di correlazione riportati nella tabella 8 evidenziano una correlazione molto forte fra tutte le stazioni, con valori di R generalmente superiori a 0,8. Valori più bassi, ma sempre dell'ordine di 0,7 – 0,8, si osservano per Merate.

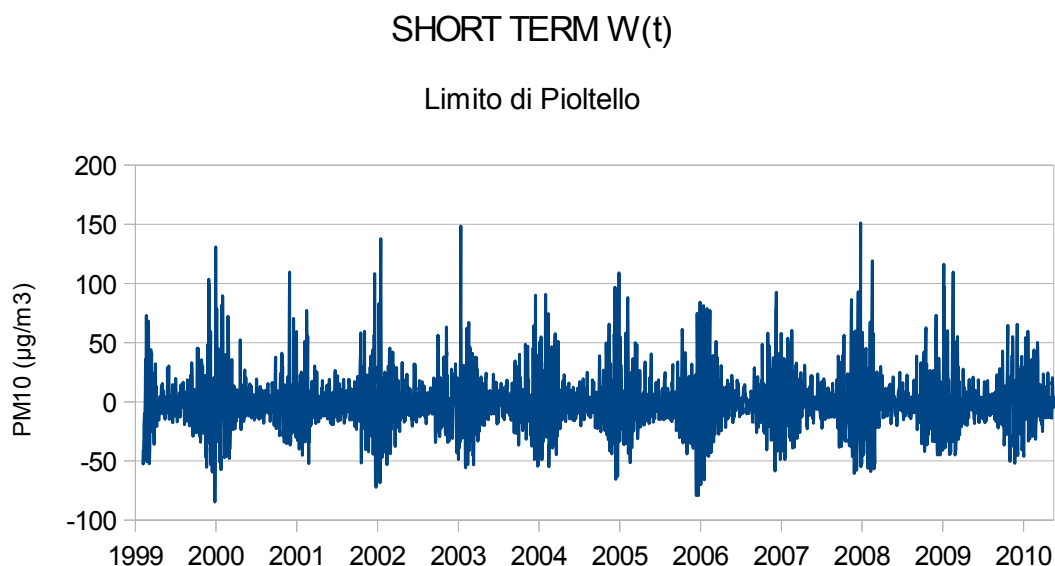


Immagine 19: Limite di Pioltello: Componente a breve termine del PM₁₀

La componente a breve termine (immagine 19) ha la caratteristica di racchiudere ed identificare quelle variazioni attribuibili alle condizioni meteorologiche giornaliere e alle fluttuazioni di breve durata nelle emissioni dell'inquinante. Per la stazione di Limite di Pioltello buona parte dei valori rientrano tra i -50 e i +50 µg/m³. Allargando il range tra i -100 e i +100 µg/m³ si riesce a racchiudere la quasi totalità dei dati, mentre solo un numero esiguo supera i +100 µg/m³, arrivando a superare i +150 µg/m³ in due casi, una volta nel 2003 e la seconda nel 2008.

Generalmente i valori più elevati della componente di breve periodo, tanto i positivi quanto i negativi, si osservano durante il semestre freddo ed in particolare nel periodo invernale. Questo comportamento è comune anche nelle altre stazioni, come evidenziato dai valori del coefficiente di correlazione riportati in tabella 9.

R	Bergamo	Brescia	Busto A.	Como	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta	Meda	Merate	Milano	Morbegno	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
Bergamo		0,79	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,63	0,74	0,71	0,76	0,4	0,84	0,65	0,82	0,47
Brescia	0,79		0,63	0,65	0,64	0,65	0,62	0,53	0,67	0,65	0,67	0,37	0,78	0,61	0,81	0,42
Busto A.	0,73	0,63		0,78	0,69	0,78	0,76	0,81	0,81	0,66	0,83	0,43	0,73	0,71	0,64	0,42
Como	0,73	0,65	0,78		0,84	0,72	0,63	0,73	0,82	0,69	0,72	0,37	0,74	0,63	0,67	0,46
Lecco	0,73	0,64	0,69	0,84		0,58	0,62	0,59	0,66	0,63	0,66	0,42	0,69	0,59	0,68	0,44
Pioltello	0,73	0,65	0,78	0,72	0,58		0,81	0,83	0,8	0,65	0,88	0,29	0,79	0,78	0,66	0,34
Lodi	0,72	0,62	0,76	0,63	0,62	0,81		0,71	0,65	0,63	0,8	0,38	0,7	0,83	0,65	0,44
Magenta	0,63	0,53	0,81	0,73	0,59	0,83	0,71		0,79	0,57	0,79	0,27	0,7	0,72	0,56	0,3
Meda	0,74	0,67	0,81	0,82	0,66	0,8	0,65	0,79		0,69	0,77	0,3	0,8	0,66	0,65	0,35
Merate	0,71	0,65	0,66	0,69	0,63	0,65	0,63	0,57	0,69		0,67	0,35	0,69	0,57	0,66	0,35
Milano	0,76	0,67	0,83	0,72	0,66	0,88	0,8	0,79	0,77	0,67		0,33	0,78	0,73	0,67	0,4
Morbegno	0,4	0,37	0,43	0,37	0,42	0,29	0,38	0,27	0,3	0,35	0,33		0,33	0,36	0,41	0,72
Osio Sotto	0,84	0,78	0,73	0,74	0,69	0,79	0,7	0,7	0,8	0,69	0,78	0,33		0,73	0,75	0,41
Pizzighettone	0,65	0,61	0,71	0,63	0,59	0,78	0,83	0,72	0,66	0,57	0,73	0,36	0,73		0,62	0,42
Sarezzo	0,82	0,81	0,64	0,67	0,68	0,66	0,65	0,56	0,65	0,66	0,67	0,41	0,75	0,62		0,47
Sondrio	0,47	0,42	0,42	0,46	0,44	0,34	0,44	0,3	0,35	0,35	0,4	0,72	0,41	0,42	0,47	
MEDIA	0,7	0,63	0,69	0,68	0,63	0,69	0,66	0,63	0,68	0,61	0,7	0,38	0,7	0,64	0,65	0,43
MIN	0,4	0,37	0,42	0,37	0,42	0,29	0,38	0,27	0,3	0,35	0,33	0,27	0,33	0,36	0,41	0,3
MAX	0,84	0,81	0,83	0,84	0,84	0,88	0,83	0,83	0,82	0,71	0,88	0,72	0,84	0,83	0,82	0,72

Tabella 9: Indice di Correlazione tra le stazioni per la componente a breve termine

La correlazione risulta essere abbastanza alta in modo diffuso. Si differenziano maggiormente i siti di Morbegno e Sondrio, fra di loro molto correlati ma con valori molto bassi se in relazione con le altre stazioni di misura. Una forte correlazione esiste fra le città che risiedono in zone limitrofe fra loro. Si possono infatti evidenziare i gruppi che gravitano attorno ai centri più grandi di Milano, Bergamo e Brescia. Il valore più alto evidenzia una forte similitudine fra Milano e Limito di Pioltello.

PARAGRAFO 3.2

Baseline

Le componenti $e(t)$ e $S(t)$ ottenute dal filtro determinano la componente Baseline che rappresenta l'andamento della concentrazione del PM_{10} comprensivo dell'influenza stagionale.

Tale componente (Baseline) sarà oggetto della successiva elaborazione relativa alla depurazione degli effetti della meteorologia.

Di seguito sono riportati i grafici delle Baseline ottenuti per ogni stazione.

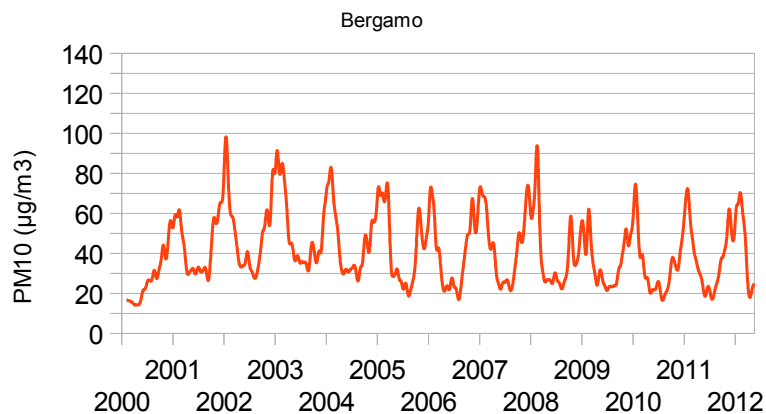


Immagine 20: Baseline Bergamo

Per Bergamo (immagine 20) l'anno 2001 presenta un andamento poco attendibile che sembra interrompersi a partire dal 2002. Da questo anno e per il periodo successivo i massimi e i minimi tendono a diminuire. Una certa stabilità si raggiunge tra il 2006 e il 2008 dove l'oscillazione abbastanza costante degli anni precedenti viene interrotta da un picco anomalo. Anche l'anno successivo (2009) presenta un'anomalia nel periodo invernale dove la concentrazione risulta stranamente ridotta rispetto al trend della serie. Negli ultimi anni la serie torna ad un andamento ciclicamente costante con una tendenza alla contrazione dei valori massimi.

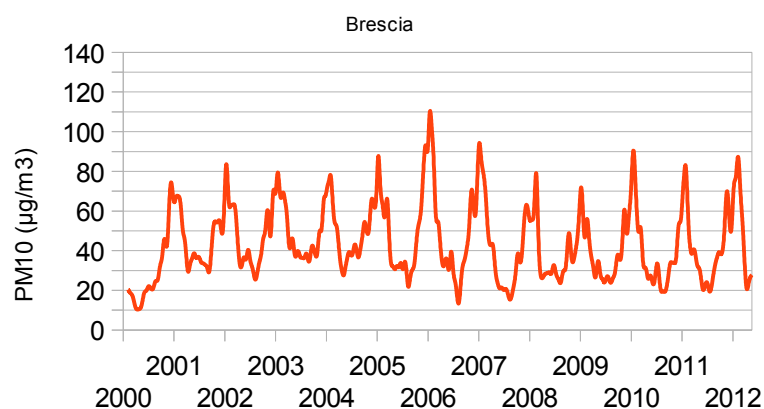


Immagine 21: Baseline Brescia

L'andamento per Brescia (immagine 21) presenta uno schema annuale che si ripete ciclicamente fino all'anno 2004. Valori minimi più alti vengono registrati nell'estate del 2003. Il 2005 presenta un innalzamento dei valori massimi nella stagione invernale a cui, per contro, segue una diminuzione dei valori minimi nella stagione estiva. Questa situazione si ritrova in forma accentuata anche nell'anno successivo (2006) quando vengono registrati i valori massimi e minimi assoluti. Dal 2007 si inverte il fenomeno e comincia una contrazione dell'intervallo di variazione della concentrazione che continuerà fino al 2009 quando i valori massimi si riportano su livelli sostanzialmente analoghi a quelli pre-2006.

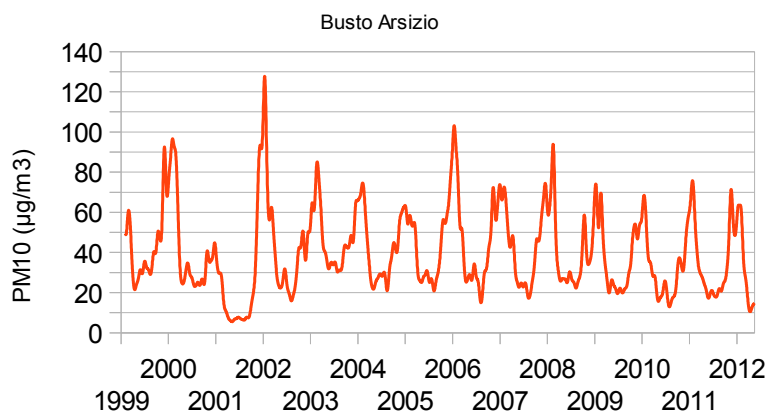


Immagine 22: Baseline Busto Arsizio

A Busto Arsizio (immagine 22) la mancanza di dati specifici per il 2001 (rimpiazzati con il criterio della sostituzione) precludono un'analisi e impediscono di definire se il forte picco dell'anno successivo (2002) sia dovuto a un trend in aumento oppure ad un evento estemporaneo. L'andamento negli anni successivi al 2002 porterebbe a optare per la seconda ipotesi vista la costante diminuzione dei valori massimi annuali. Conseguentemente l'oscillazione sembra stabilizzarsi con la sola presenza di picchi nei valori massimi negli anni 2006 e 2008.

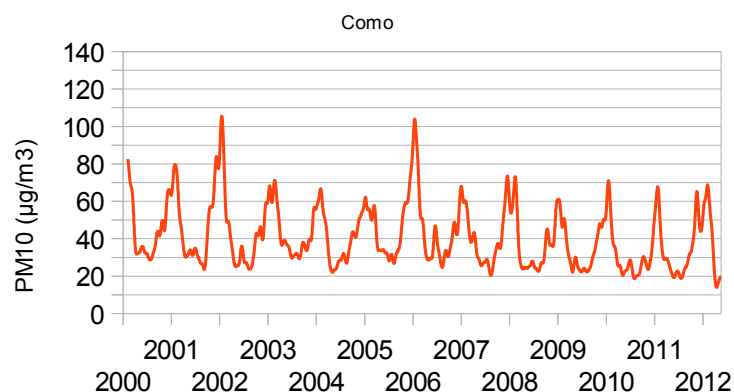


Immagine 23: Baseline Como

Il trend della serie di Como (immagine 23) tende ad una contrazione dei valori massimi lungo i primi 5 anni con la concentrazione invernale più bassa raggiunta nel 2004. Le minime estive invece non presentano variazioni sostanziali in questo arco di tempo. Il 2001 presenta un picco nella concentrazione che porta il valore al di sopra dei 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nel 2005 si ripresenta un'altra anomalia di intensità simile. Dal 2006 il valore massimo annuale non varia in maniera apprezzabile mentre i valori minimi estivi diminuiscono progressivamente negli anni 2011 e 2012 portandosi al di sotto dei 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

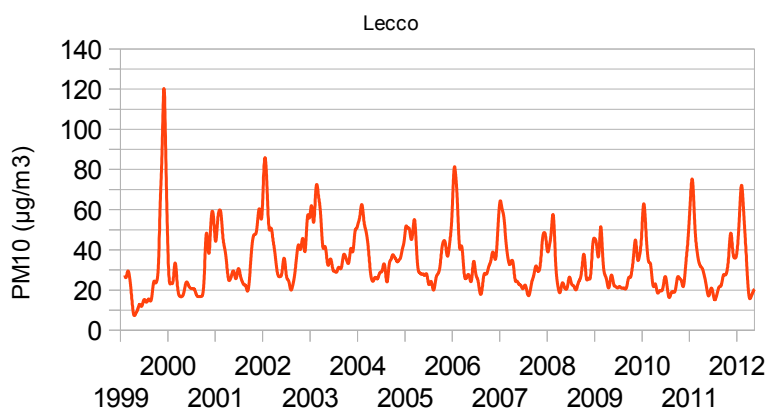


Immagine 24: Baseline Lecco

Valori con oscillazioni contenute si riscontrano nella stazione di Lecco (immagine 24) dove per diversi anni la concentrazione è racchiusa tra i 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del periodo estivo e di poco al di sopra dei 60 nel periodo invernale. Un picco anomalo fa misurare un valore superiore ai 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alla fine del 1999. Si può osservare una concentrazione elevata nel 2002 con conseguente diminuzione negli anni successivi fino al 2005. Lo stesso andamento si individua dall'anno successivo e fino al 2009 quando si registra la concentrazione più bassa fra i valori massimi invernali. Dopo questo anno l'oscillazione tende ad aumentare di ampiezza per poi stabilizzarsi nel 2012.

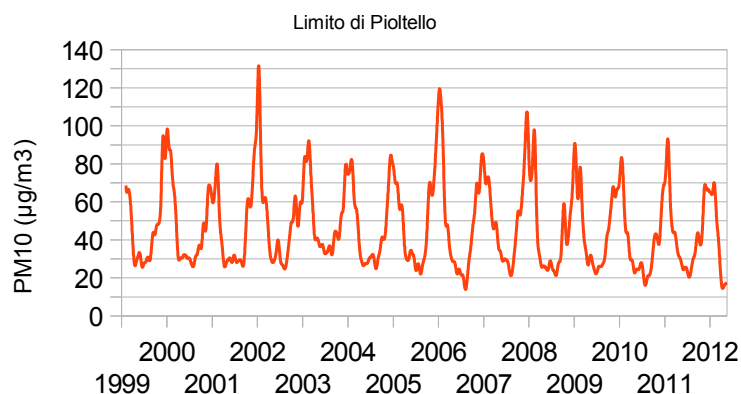


Immagine 25: Baseline Limite di Pioltello

Per la stazione di Limite di Pioltello (immagine 25) si identificano immediatamente quattro punte anomale: la più contenuta nel 2000 poco al di sotto dei 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la più importante nel 2002 che sfonda il tetto dei 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gli altri due eventi sono dell'anno 2006 e 2008. Non ci sono altri andamenti particolari con variazioni sistematiche nel corso degli anni. Dal 2009 le punte massime non sembrano subire delle variazioni rispetto agli anni precedenti, solo nel 2012 la concentrazione invernale risulta essere la più bassa rispetto all'intera serie temporale. Per quanto riguarda le concentrazioni minime estive negli ultimi anni si riscontra una diminuzione del valore rispetto ai primi anni della serie.

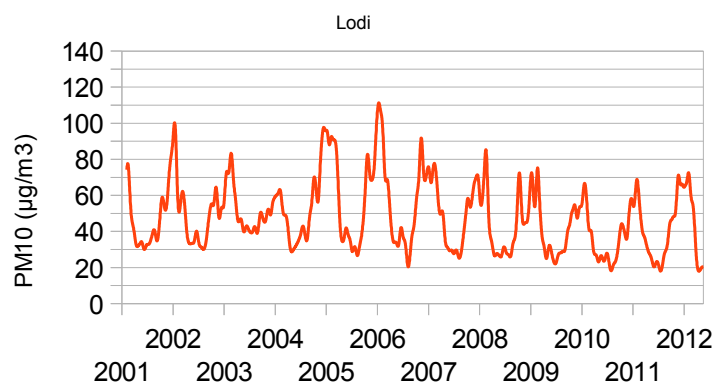


Immagine 26: Baseline Lodi

Osservando i valori massimi si riscontra una marcata fluttuazione a Lodi (immagine 26). Dal 2002 al 2004 si ha una forte riduzione fino a raggiungere il valore minimo invernale poco al di sopra dei 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questa concentrazione minima è preceduta dalla concentrazione estiva massima rispetto all'intera serie analizzata con un dato vicino ai 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Gli anni 2005 e 2006 sono caratterizzati da un forte aumento della concentrazione, valore che poi precipita fino al 2010 per poi stabilizzarsi negli ultimi due anni. Le concentrazioni estive diminuiscono negli ultimi 6 anni fino a portarsi al di sotto dei 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

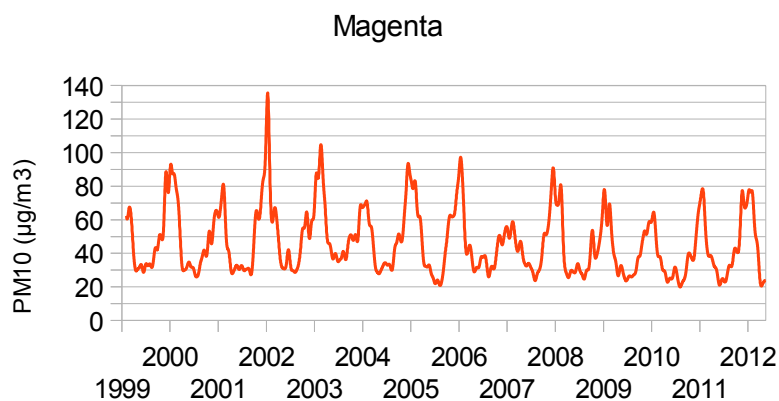


Immagine 27: Baseline Magenta

A Magenta (immagine 27) si individua immediatamente un picco nel 2002 che quasi raggiunge i 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'inverno del 2004 è caratterizzato da concentrazioni contenute se paragonate a quelle dell'anno precedente e di quello successivo. Il più basso valore fra i massimi invernali si riscontra invece nell'anno 2007; anche in questo caso non è accompagnato da tendenze che possano giustificare una diminuzione non anomala. Tra il 2004 e il 2007 infatti le concentrazioni risultano essere di importanza significativa mentre solo successivamente al 2008 si ha una tendenza alla diminuzione dei valori massimi e in parte anche dei minimi. Negli anni 2011 e 2012 si ha un leggero aumento rispetto al 2010 con un andamento pressochè invariato nel biennio finale.

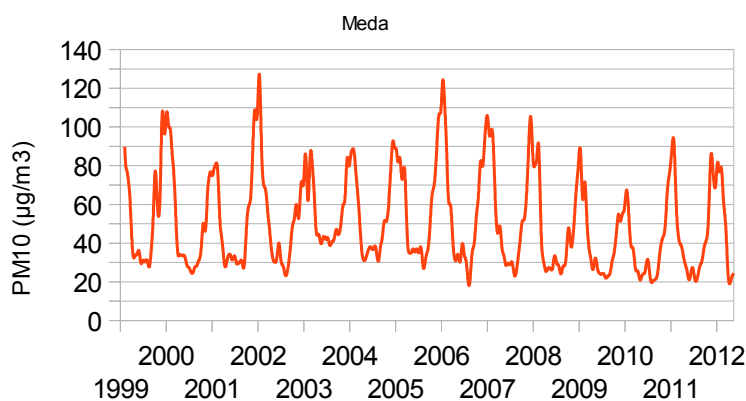


Immagine 28: Baseline Meda

Nel 2000 a Meda (immagine 28) la concentrazione è superiore a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il 2001 ha un valore massimo di molto inferiore, appena al di sopra degli 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Negli anni successivi, fino al 2005 si riscontra un leggero aumento delle concentrazioni massime invernali. Osservando l'andamento in questo quinquennio appare anomalo il picco presente nell'anno 2002 che porta la concentrazione nel punto più alto dell'intera serie temporale, al di sopra dei 120 mg/m^3 . Nel 2006 si ripresenta un valore elevato ma dall'anno successivo c'è una diminuzione continua del valore fino al 2010 quando si osserva il minimo invernale. Nel 2011 e 2012 si riscontra un nuovo aumento della concentrazione.

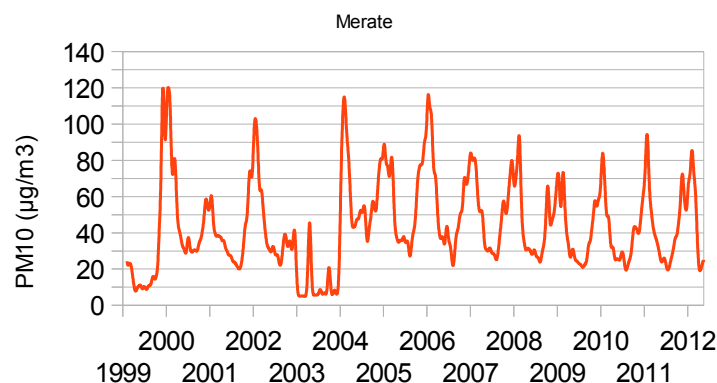


Immagine 29: Baseline Merate

La prima parte della serie di Merate (immagine 29) presenta dati incongruenti e di scarso valore ai fini di un'analisi. Dal 2005 l'oscillazione sembra riportarsi ad un andamento reale con un'alta concentrazione nell'anno 2006 e una successiva contrazione del dato fino al 2009 dove si ritrova la concentrazione invernale minore della seconda metà della serie. Gli ultimi tre anni registrano un aumento della concentrazione massima ed un valore per quella minima che si assesta sui 20 µg/m³.

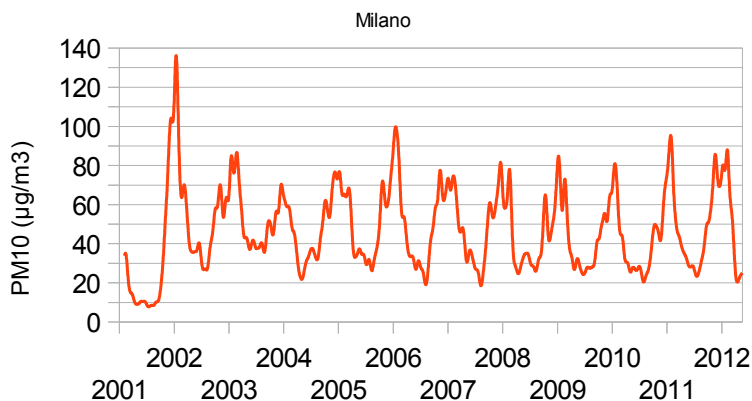


Immagine 30: Baseline Milano

L'andamento negli anni per Milano (immagine 30) risulta pressochè ciclicamente costante. Il 2002 è caratterizzato da una concentrazione massima anomala che si avvicina ai 140 µg/m³. Nei due anni successivi il trend sembra in diminuzione per poi riportarsi ad una valore vicino a 80 µg/m³ che si mantiene costante, escluso l'anno 2006 e gli ultimi due anni della serie dove il massimo invernale aumenta leggermente.

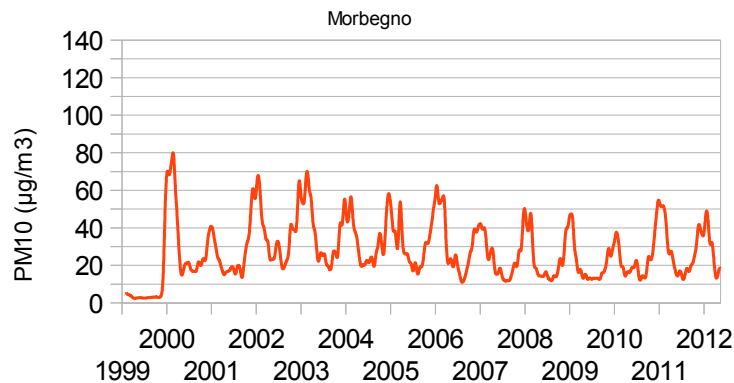


Immagine 31: Baseline Morbegno

La concentrazione massima di Morbegno (immagine 31) si presenta subito nel 2000 con un valore però contenuto di 80 µg/m³. Osservando la totalità della serie, questo dato si presenta in diminuzione fino al 2010. All'interno di questo periodo si presentano alcuni anni con la concentrazione in aumento (2005 e 2008). Dal 2007 tutti i dati si trovano al di sotto del limite di 50 µg/m³, con un'eccezione nel 2011 in cui per un breve periodo il valore viene superato. La concentrazione minima arriva molto vicino ai 10 µg/m³ nel 2006 e rimane costante per tutto il periodo successivo.

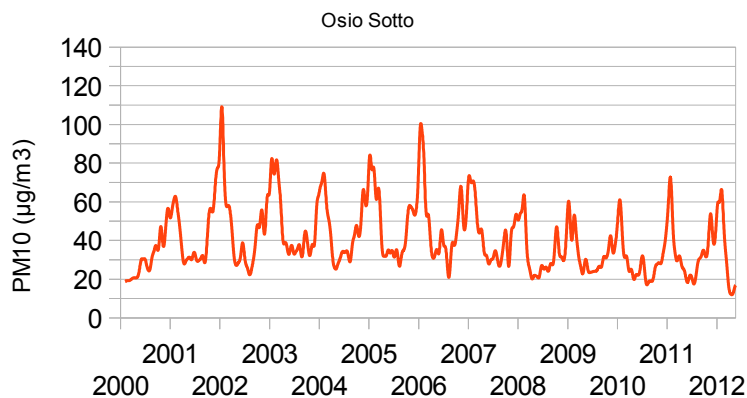


Immagine 32: Baseline Osio Sotto

La serie di Osio Sotto (immagine 32) è caratterizzata da un'oscillazione con i suoi punti massimi nel 2002 e nel 2006 quando in entrambi i casi vengono superati i 100 µg/m³. Tra questi due anni si registra una diminuzione della concentrazione con un successivo aumento nel 2005. Dal 2007 si registra una seconda contrazione dei valori massimi e un seguente aumento dal 2011. Per quanto riguarda i valori minimi estivi, il dato risulta in leggero aumento nella prima metà della serie per poi iniziare nel 2008 una discesa fino al 2012 quando viene toccato il valore minimo di quasi 10 µg/m³.

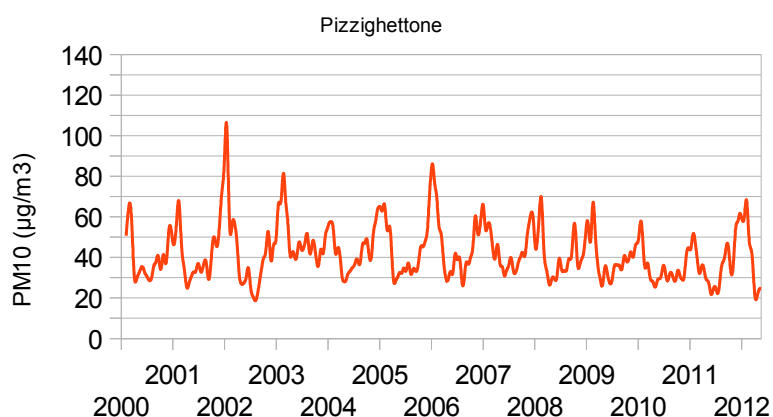


Immagine 33: Baseline Pizzighettone

Valori piuttosto contenuti caratterizzano la totalità della serie di Pizzighettone (immagine 33), mantenendo la concentrazione al di sotto dei 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questo tetto viene superato in tre occasioni: la più marcata è nel 2002 dove viene registrato un livello superiore a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; gli altri due fenomeni si presentano nel 2003 e nel 2006 ma con un livello di concentrazione di molto inferiore. Dopo il 2006 la serie tende a diminuire i suoi valori massimi e minimi annuali fino al 2012 quando la concentrazione invernale aumenta nuovamente di intensità. Una strana anomalia si riscontra nel periodo estivo del 2003: i valori portano l'oscillazione verso l'alto, contrariamente all'andamento degli altri anni.

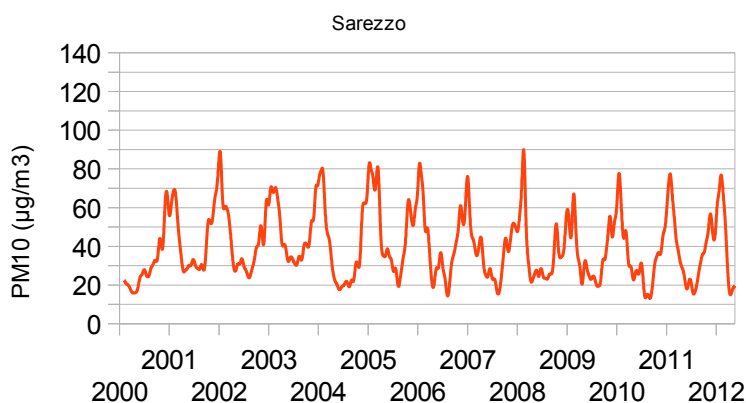


Immagine 34: Baseline Sarezzo

Per Sarezzo (immagine 34) la serie dimostra di svilupparsi con un andamento ciclicamente costante lungo tutto il periodo considerato. Una diminuzione nelle concentrazioni minime estive si registra a partire al 2004. I massimi invernali invece descrivono un andamento sinusoidale dove l'eccezione negli anni 2002 e 2008 interrompe questa configurazione, con una concentrazione registrata superiore a quella aspettata.

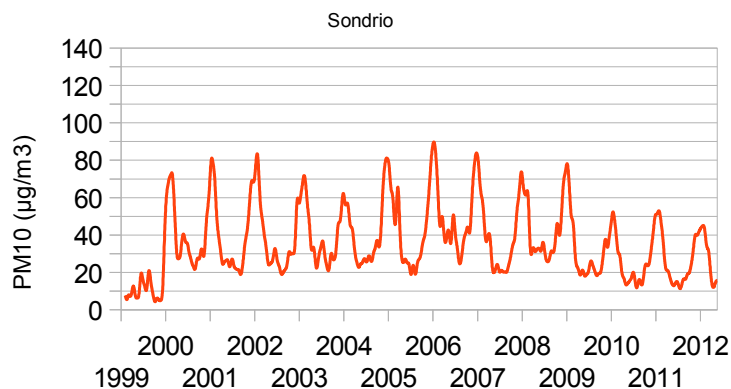


Immagine 35: Baseline Sondrio

L'Andamento dei massimi annuali per Sondrio (immagine 35) che viene mostrato nei primi cinque anni (2000 - 2004) sembra riproporsi anche negli anni 2005-2008. Dal 2010 si ha una brusca diminuzione delle concentrazioni annuali, sia massime che minime, fino al 2012 quando la concentrazione rientra completamente al di sotto del limite di legge di 50 µg/m³.

Osservando gli andamenti nel loro complesso si possono evidenziare alcuni fenomeni ricorrenti presenti nella maggior parte delle serie temporali.

Il primo fenomeno riguarda le elevati concentrazioni rilevate durante l'inverno 2001-2002. Questa caratteristica è riscontrabile in 11 stazioni, con una in particolare attorno alla città di Milano (6 stazioni), a Bergamo (2 stazioni) ma anche in punti più lontani dai centri maggiori (Lodi, Pizzighettone e Morbegno). In questo periodo viene registrato il valore massimo assoluto riferito alla totalità dei dati delle varie stazioni di misura a Magenta dove la concentrazione è di poco inferiore a 140 µg/m³.

Il secondo fenomeno di rilievo presenta una diffusa contrazione delle concentrazioni tra il 2003 e il 2004. In 8 stazioni si osserva un valore insolitamente basso nella stagione invernale a cavallo di questi due anni. In 4 di queste stazioni (Busto Arsizio, Como, Lodi e Milano) il valore massimo raggiunto risulta essere il minimo se confrontato con le concentrazioni massime invernali di ogni singola serie. Il numero delle stazioni raddoppia se si limita l'interesse sulla prima metà temporale della serie (dall'inizio della serie fino al 2006). Questa riduzione del valore di concentrazione della stagione invernale è di contro preceduta da un dato anomalo e superiore per quanto riguarda la concentrazione nella stagione estiva del 2003. Qui la distribuzione delle concentrazioni si dimostra essere diffusamente maggiore se confrontata con gli anni precedenti e successivi. Questo fenomeno interessa la quasi totalità delle stazioni, 14 su 16. L'unica eccezione risulta essere Como dove, al contrario, i minimi registrati sono inferiori a quelli aspettati (i dati di questo periodo per la stazione di Merate non hanno valenza e quindi non sono considerati).

Questo fenomeno di contrazione è seguito immediatamente da un aumento delle concentrazioni massime nell'inverno successivo. Solo quattro stazioni presentano una

concentrazione massima inferiore a quella registrata nell'inverno 2003-2004 (Bergamo, Busto Arsizio, lecco e Merate). In tutti gli altri punti di rilevamento risulta un aumento dei valori che continuano nell'anno successivo dove si può osservare il terzo fenomeno diffuso. 11 stazioni presentano un secondo picco anomalo, e in alcuni casi l'intensità raggiunta è superiore a quella misurata tra il 2001 e il 2002 (Brescia, Lodi, Merate e Sondrio).

Nella tabella 10 sono riportati i valori massimi e minimi giornalieri e la media sull'intero periodo di analisi della Baseline:

	Bergamo	Brescia	Busto Arsizio	Como
MAX	98,32	110,46	127,75	105,52
MIN	14,18	10,28	5,53	13,99
MEDIA	41,53	43,67	39,82	40,73
	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta
MAX	120,32	131,61	111,36	135,59
MIN	7,27	13,89	17,94	19,96
MEDIA	34,49	46,82	48	46,34
	Meda	Merate	Milano	Morbegno
MAX	127,25	120,24	136,14	79,97
MIN	18,04	4,87	7,73	2,37
MEDIA	50,51	44,24	46,86	27,77
	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
MAX	109,2	106,62	89,96	89,79
MIN	11,94	18,61	13,1	4,33
MEDIA	40,45	42,18	40,23	35,79

Tabella 10: Parametri statistici per le Baseline

La concentrazione massima viene raggiunta a Milano superando i 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di poco maggiore rispetto a Magenta con una punta di 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Poco più sotto troviamo Pioltello (131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Busto Arsizio e Meda (127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Il valore massimo più basso si ritrova a Morbegno che non supera gli 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguito da Sarezzo e Sondrio al di sotto dei 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La concentrazione media più alta si registra a Meda con 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, seguita da Lodi (48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La media minore è a Morbegno dove il valore non raggiunge i 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I valori di concentrazioni minime sono resi poco attendibili dalla presenza in diversi anni (1999, 2001 e 2003) di serie di dati poco congruenti con i restanti dati delle rispettive serie temporali.

Per valutare come si sta evolvendo il trend si analizzano nello specifico gli ultimi 2 anni completi (2010 e 2011) e si rivedono i parametri statistici per ogni singolo anno.

Nella tabella 11 e 12 si riportano, rispettivamente per gli anni 2010 e 2011, i valori degli stessi parametri statistici usati in precedenza e il numero di episodi di superamento del limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2010	Bergamo	Brescia	Busto Arsizio	Como
MAX	74,7	90,52	68,45	70,97
MIN	16,48	19,17	12,91	18,62
MEDIA	33,45	38,77	31,61	31,07
SUPERAMENTI	47	92	59	45
	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta
MAX	62,94	83,34	66,68	65,11
MIN	16,26	16,05	18,24	19,96
MEDIA	28,18	38,17	35,91	35,61
SUPERAMENTI	31	75	67	61
	Meda	Merate	Milano	Morbegno
MAX	76,47	83,89	81,01	54,02
MIN	19,58	19,35	20,46	12,06
MEDIA	36,58	39,64	40,96	23,11
SUPERAMENTI	77	75	77	9
	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
MAX	61,08	58	77,74	52,42
MIN	17,01	25,3	13,1	11,81
MEDIA	29,33	34,45	34,74	25,21
SUPERAMENTI	29	27	51	18

Tabella 11: Dati statistici per le Baseline nel 2010

2011	Bergamo	Brescia	Busto Arsizio	Como
MAX	72,41	83,16	75,81	67,8
MIN	17,01	19,27	17,2	18,74
MEDIA	38,72	41,87	36,19	35,24
SUPERAMENTI	96	103	96	73
	Lecco	Pioltello	Lodi	Magenta
MAX	75,24	93,1	71,32	78,58
MIN	15,16	20,34	18	20,98
MEDIA	33,44	44,66	41,21	43,86
SUPERAMENTI	49	112	114	108
	Meda	Merate	Milano	Morbegno
MAX	94,53	94,3	95,45	54,78
MIN	20,18	19,51	23,35	12,48
MEDIA	45,93	44,41	50,39	28,59
SUPERAMENTI	118	131	160	52
	Osio Sotto	Pizzighettone	Sarezzo	Sondrio
MAX	72,7	61,74	77,45	53,04
MIN	17,49	21,64	15,34	11,36
MEDIA	34,67	37,53	38,87	26,84
SUPERAMENTI	56	53	96	43

Tabella 12: Dati statistici per le Baseline nel 2011

Il valore medio annuale dà un'indicazione importante. In tutte le stazioni, a parte Busto Arsizio e Limito di Pioltello, il valore aumenta nel 2011 rispetto al 2010 e ancora nel 2012 rispetto al 2011. Solo le 2 stazioni sopramenzionate registrano una leggera diminuzione nel 2012 rispetto al 2011, ma non al 2010.

Nel 2010 solo Milano presenta una concentrazione media annuale superiore ai 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre per quanto riguarda il numero di superamenti annuali della concentrazione di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, viene rispettato il limite di 35 solo per Lecco (31), Morbegno (9), Osio Sotto (29), Pizzighettone (27) e Sondrio (18). Il numero maggiore di superamenti avviene a Brescia (92) e a Milano e Meda (77).

Come detto il 2011 presenta un peggioramento della situazione dell'anno precedente. La concentrazione media aumenta quasi ovunque. Oltre a Milano (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) anche nelle stazioni di Brescia, Limito di Pioltello, Lodi, Magenta, Meda, Merarte, Pizzighettone e Sarezzo la media annuale supera i 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

I superamenti sono oltre i 35 in ogni stazione, con il valore più basso a Sondrio (43) e il più alto a Milano (160).

BASELINE

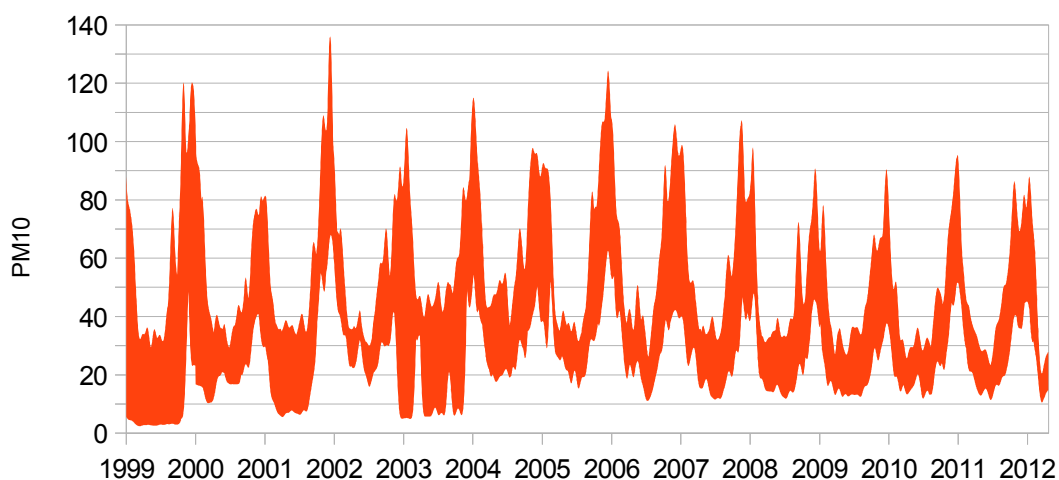


Immagine 36: In rosso il range entro il quale variano i valori delle Baseline

Nell'Immagine 36 si può osservare il range di variazione della concentrazione all'interno delle Baseline per le diverse stazioni. Si osserva una variazione media durante i periodi estivi anche superiore ai 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mentre durante i picchi invernali arriva a toccare i 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Negli ultimi quattro anni (2008-2011) i valori massimi non supera i 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se non di poco nell'inverno tra il 2010 e il 2011.

PARAGRAFO 3.3

Serie depurate

Attraverso il processo della regressione lineare sono stati calcolati gli scarti della serie (utilizzando i valori della Baseline e dello Short-Term) a cui poi è stato applicato nuovamente il filtro $KZ_{(365,3)}$ come spiegato nel capitolo 2.

La componente Long-Term così ottenuta rappresenta la concentrazione di PM_{10} spogliata dell'influenza delle variabili meteorologiche.

Il grado di influenza delle singole variabili meteorologiche sulle diverse componenti delle serie temporali del PM_{10} è stato valutato nei termini del coefficiente di correlazione.

Nella tabella 13 vengono riportati a titolo di esempio i risultati ottenuti per la stazione di Limito di Pioltello:

Coeff. Correlazione		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,62	0,01
Rmed	0,6	0,01
Tmax	0,71	0,05
Tmed	0,73	0,01
UR	0,4	0,01
VV	0,14	0,13
Precip	0,23	0,03

Tabella 13: Coeff. di Correlazione per Limito di Pioltello con variabile singola

In generale la correlazione risulta apprezzabile solo per la componente baseline, con valori del coefficiente compresi tra 0,14 e 0,73, mentre è praticamente assente per la componente W(t). Tutti i parametri risultano correlati positivamente. Il valore è alto per quanto riguarda la temperatura (Tmed, Tmax) e la radiazione solare (Rmed, Rmax), più contenuto per l'umidità relativa (UR) e piuttosto basso il coefficiente per la precipitazione (Precip) e la velocità del vento (VV).

L'analisi ha valutato anche regressioni multiple considerando coppie di variabili relative ad aspetti meteorologici distinti, ovvero escludendo le coppie Tmed-Tmax e Rmed-Rmax.

Sempre con riferimento alla stazione di Limito di Pioltello i risultati ottenuti sono riassunti nella Tabella 14.

Coeff. Correlazione		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,71	0,05
Rmed-Tmed	0,73	0,01
Rmax-UR	0,63	0,04
Rmed-UR	0,61	0,05
Tmax-UR	0,71	0,1
Tmed-UR	0,73	0,03
Rmax-VV	0,62	0,14
Rmed-VV	0,60	0,14
Tmax-VV	0,71	0,18
Tmed-VV	0,74	0,15
UR-VV	0,41	0,13

Tabella 14: Coefficiente di Correlazione per Limite di Pioltello con variabile doppia

In generale, la correlazione tende ad aumentare rispetto al caso della regressione con variabile singola: per la componente baseline i valori del coefficiente di correlazione sono ora compresi tra 0,41 e 0,74 mentre quelli della componente W(t) tra 0,1 e 0,18, rimanendo comunque decisamente più bassi. La correlazione più elevata per la componente baseline è fornita dalla coppia Tmed-VV, che fornisce anche la seconda miglior correlazione per quanto riguarda la componente W(t).

L'inserimento di una terza variabile meteorologica nell'equazione di regressione multipla, aggiungendo alla coppia Tmed-VV la variabile Rmed o alla coppia Tmed-Rmed la variabile UR, non ha prodotto apprezzabili miglioramenti della correlazione. Questo risultato, ottenuti con specifico riferimento alla stazione di Limite di Pioltello, ha suggerito di limitare a due sole variabili meteorologiche la regressione multipla anche nel caso di tutte le altre stazioni considerate

I risultati dell'analisi di correlazione sono riportati, stazione per stazione, nell'allegato 4, tanto per quanto riguarda la regressione con variabile meteorologica singola quanto per coppie di variabili.

Per tutte le stazioni la maggiore correlazione risulta essere con la temperatura, Tmax per Lecco (0,46) e Tmed (0,42 - 0,73) per tutte le altre. A Lecco, Osio Sotto, Merate e Pizzighettone il valore massimo è piuttosto contenuto non superando 0,5. La variabile meno correlata risulta essere invece la Precipitazione (0,01 - 0,31).

Per quanto riguarda la regressione rispetto a coppie di variabili, il parametro della temperatura è sempre presente nella coppia di variabili che presenta la correlazione maggiore (Tmax per Lecco e Tmed per tutte le altre).

Associato alla temperatura è risultato maggiormente efficace il parametro della velocità del vento in dieci delle sedici stazioni considerate con il range di valori compreso fra 0,47 (Pizzighettone) e 0,74 (Limite di Pioltello); per le restanti la maggiore correlazione si è ottenuta utilizzando come secondo parametro quello dell'umidità relativa (Lodi, Meda e Merate) compreso fra 0,42 e 0,66, della radiazione globale Rmed

(Morbegno e Sondrio) con 0,6 e 0,63 e Rmax (Lecco) 0,47.

Utilizzando due parametri meteorologici si ottiene un indice di correlazione maggiore ma non di molto rispetto all'utiulizzo di un singolo parametro. L'incremento maggiore avviene per Brescia (0,61-0,68) e per Osio Sotto (0,47-0,53). Nella maggior parte dei casi l'aumento non supera i due punti percentuali, mentre per Merate e Morbegno l'indice non subisce miglioramenti apprezzabili. Merate risulta anche essere la stazione con il valore del coefficiente più basso (0,42)

Il calcolo delle regressioni tra le componenti delle serie storiche di PM₁₀ e delle variabili meteorologiche ha consentito di ottenere un andamento temporale delle concentrazioni che rappresenta l'andamento di lungo periodo del PM₁₀ depurato dell'effetto della variabilità meteorologica e quindi rappresentativo degli effetti associati alla variazione del regime emissivo.

L'immagine 37 mostra come esempio la stazione di Limoto di Pioltello.

Viene rappresentato in giallo la serie e(t) (long-term) del PM₁₀, in azzurro la serie e(t) della Tmed e in verde il suo valore medio.

Le altre due serie descrivono gli andamenti dell'inquinante con le variabili meteo rimosse: in rosso la rimozione della temperatura media; in blu la rimozione della coppia temperatura media e velocità del vento.

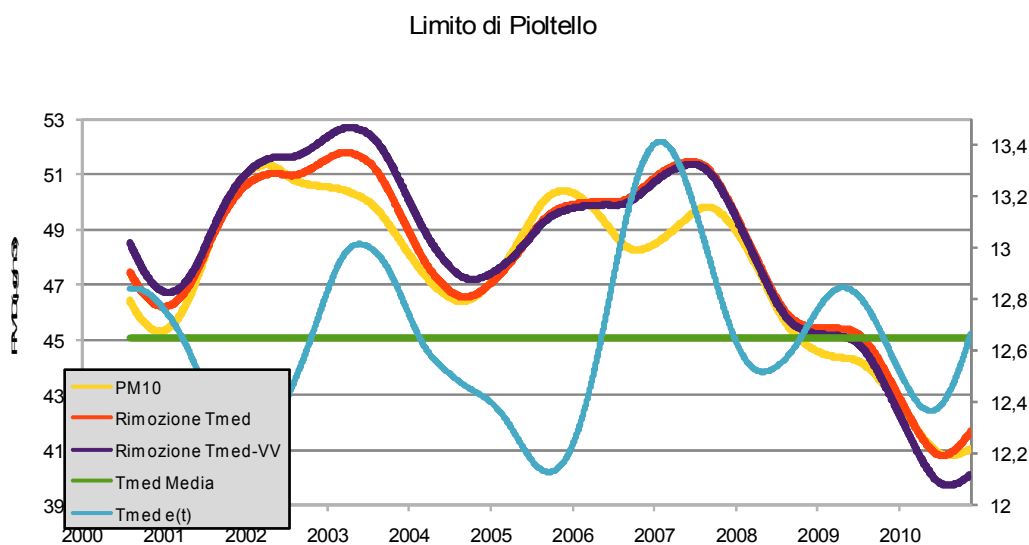


Immagine 37: Limoto di Pioltello: Modelli con le variabili meteorologiche rimosse

Gli andamenti dei due modelli depurati dai parametri meteorologici restano fedeli all'andamento della serie di lungo termine del PM₁₀. Lo scostamento massimo si

registra in una differenza non superiore ai 3 µg/m³, quasi sempre con un incremento del valore nei modelli calcolati, andando così a sottostimare il valore della concentrazione all'interno della serie di PM₁₀ non depurata.

Il fenomeno si ripete distintamente e in modo marcato per quattro volte. Ogni evento è accompagnato da un aumento dei valori nella serie Tmed fino a superare il valore medio della Tmed stessa.

Fino al 2007 le concentrazioni delle serie, depurate e non, rimangono sostanzialmente al di sopra del valore medio dell'intera serie di concentrazione di PM₁₀ non depurata. In seguito i valori seguono un forte trend decrescente che porta la concentrazione del modello con entrambe le variabili meteorologiche rimosse al di sotto dei 40 µg/m³, riducendo la concentrazione di più di 10 µg/m³ nell'arco di tre anni.

In aggiunta al procedimento di regressione, è stata calcolata la percentuale di varianza spiegata da ogni variabile o coppia di variabili rispetto alla serie temporale meteorologicamente aggiustata. La varianza spiegata è un parametro che mostra la percentuale di varianza che viene spiegata, cioè rappresentata, dall'evento in questione, in questo caso l'influenza delle variabili meteorologiche.

La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{Frazione di Varianza Spiegata} = (\text{var } A(t) - \text{var } \varepsilon(t)) / \text{var } A(t)$$

dove A(t) è la serie originale del PM₁₀ mentre ε(t) la serie con la variabile o le variabili meteorologiche rimosse.

Nella tabella 15 sono riportati i valori della varianza spiegata ottenuti per Limite di Pioltello con l'utilizzo della singola variabile più influente e delle 2 coppie con l'indice di correlazione maggiore.

Varianza Spiegata	
Tmed	0,357
Rmed-Tmed	0,358
Tmed-VV	0,434

Tabella 15: Varianza Spiegata per Limite di Pioltello

Nella tabella 16 sono riassunti tutti i valori ricavati per tutte le stazioni.

Si evidenzia un miglioramento del valore con il passaggio da una a due variabili, utilizzando la velocità del vento, l'umidità relativa e la radiazione globale.

Utilizzando una sola variabile si evince l'assoluta importanza del parametro della temperatura media nella serie depurata.

Nella maggior parte dei casi associando a questo parametro quello della velocità del vento si ottiene la coppia che ottiene il valore più alto di varianza spiegata. Solo nelle stazioni di Lecco, Lodi, Meda e Merate

I modelli così definiti dalla rimozione dell'influenza dei parametri meteorologici mostrano quanto sia incisivo l'effetto dei suddetti parametri nella concentrazione dell'inquinante.

Bergamo		Brescia		Busto Arsizio	
Tmed	0,259	Tmed	0,278	Tmed	0,274
Rmed-Tmed	0,261	Tmed-UR	0,304	Tmed-UR	0,298
Tmed-VV	0,308	Tmed-VV	0,361	Tmed-VV	0,361
Como		Lecco		Lodi	
Tmed	0,274	Tmax	0,163	Tmed	0,296
Tmed-UR	0,286	Tmax-VV	0,165	Rmed-Tmed	0,298
Tmed-VV	0,382	Tmax-UR	0,166	Tmed-UR	0,310
Magenta		Meda		Merate	
Tmed	0,294	Tmed	0,356	Tmed	0,233
Rmed-Tmed	0,298	Rmed-Tmed	0,361	Rmed-Tmed	0,234
Tmed-VV	0,385	Tmed-UR	0,363	Tmed-UR	0,242
Milano		Morbegno		Osio Sotto	
Tmed	0,287	Tmed	0,260	Tmed	0,216
Rmed-Tmed	0,300	Rmed-Tmed	0,303	Tmed-UR	0,218
Tmed-VV	0,381	Tmed-VV	0,431	Tmed-VV	0,301
Pizzighettone		Sarezzo		Sondrio	
Tmed	0,163	Tmed	0,303	Tmed	0,361
Tmed-UR	0,163	Tmed-UR	0,314	Rmed-Tmed	0,399
Tmed-VV	0,280	Tmed-VV	0,360	Tmed-VV	0,447

Tabella 16: Varianza spiegata per i modelli a uno e due variabili

Come già evidenziato per Limite di Pioltello, la rimozione dell'effetto della variabilità meteorologica non modifica in maniera sensibile l'andamento della componente di lungo periodo, coerentemente con il fatto che il PM₁₀ è un inquinante solo parzialmente secondario, la cui presenza atmosferica dipende pertanto in misura rilevante dalle emissioni primarie.

In generale le differenze fra i vari modelli si misurano in uno scostamento massimo tra le serie a lungo termine base e quelle depurate inferiore a 5 µg/m³ (allegato 4).

PARAGRAFO 3.4

Conclusioni

L'uso del filtro KZ è in grado di portare un aiuto nello studio degli inquinanti atmosferici. Principalmente nato per l'analisi delle concentrazioni di Ozono ne è stato poi validato l'utilizzo anche per il particolato fine. In studi precedenti è stata dimostrata una forte influenza sulle concentrazioni rilevate di ozono dovute ai parametri meteorologici. Per quanto riguarda il PM₁₀ il peso della meteorologia è presente ma in sollecitazione molto minore. Questa minore correlazione con una singola variabile o con una coppia delle stesse potrebbe essere l'effetto di una natura legata maggiormente alla dipendenza da variabili non climatiche.

Anche la situazione esaminata in Lombardia è coerente con quanto riportato nei casi presi in considerazione in altri studi.

Seppur in maniera contenuta, la temperatura sembra essere la maggior causa della variazione del PM₁₀, seguita dalla radiazione solare.

Le altre variabili influiscono in peso molto minore se prese singolarmente, mentre portano dei miglioramenti, seppur limitati, nel caso vengano utilizzate in coppia con le variabili principali. Questo è vero principalmente per quanto riguarda i parametri della velocità del vento e in forma minore dell'umidità relativa.

Il quadro che si ricava in Lombardia mostra come sia in atto un cambiamento negli ultimi anni del periodo preso in esame. La concentrazione di PM₁₀ che viene estrapolata dai dati risulta in netto calo fino al 2010 sulla totalità del territorio, con un range di valori molto più contenuto che nel passato.

L'influenza meteorologica esiste con un impatto non decisivo all'interno di un piano di controllo dell'inquinamento e con i risultati ottenuti in questo studio non è possibile ricavare quali siano i motivi principali che hanno portato a questo sviluppo all'interno delle serie di PM₁₀.

E' possibile però ipotizzare, data la natura dell'inquinante in esame, l'efficacia delle politiche di controllo sulle emissioni.

ALLEGATO 1

Stazioni e consistenza delle basi di dati per le variabili meteorologiche

E' riportato l'elenco delle stazioni utilizzate per ogni parametro meteorologico considerato.

Per ogni stazione è definita la consistenza della base di dati a disposizione o comunque utilizzata per lo studio.

Centraline Precipitazione (PP)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Brescia Via Ziliola	2000 – 2012
Busto Arsizio Via Magenta	1999 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2000 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Radiazione Globale Massima (RGM)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Lonate Pozzolo	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2001 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Radiazione Globale media (RGm)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Lonate Pozzolo	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2001 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Temperatura Massima (TM)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Brescia Via Ziliola	2000 – 2012
Busto Arsizio Via Magenta	1999 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2000 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Temperatura media (Tm)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Brescia Via Ziliola	2000 – 2012
Busto Arsizio Via Magenta	1999 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2000 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Umidità Relativa (UR)

Bergamo Via Goisis	2000 – 2012
Brescia ITAS Pastori	2000 – 2012
Busto Arsizio Via Magenta	1999 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2001 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2000 – 2012
Rodano	1999 – 2012
Tavazzano ENEL Suolo	2001 – 2012

Centraline Velocità Vento (VV)

Bergamo Via Meucci	2000 – 2012
Brescia Via Ziliola	2000 – 2012
Busto Arsizio Via Magenta	1999 – 2012
Carate Brianza	1999 – 2012
Como Villa Gallia	1999 – 2012
Milano Juvara	1999 – 2012
Morbegno Via Cortivacci	2000 – 2012
Osio Sotto	2000 – 2012
Persico Dosimo	2001 – 2012
Rodano	1999 – 2012

ALLEGATO 2

Abbinamenti “stazioni PM₁₀” – “stazioni variabili meteorologiche”

E' riportato l'elenco delle stazioni utilizzate per i dati del PM₁₀.

Ad ogni variabile meteorologica considerata è associato il nome della stazione da cui la serie temporale è stata estrapolata.

Bergamo Via Meucci

PP: Bergamo Via Goisis
RGM: Bergamo Via Goisis
RGm: Bergamo Via Goisis
TM: Bergamo Via Goisis
Tm: Bergamo Via Goisis
UR: Bergamo Via Goisis
VV: Bergamo Via Meucci

Brescia Broletto

PP: Brescia Via Ziliola
RGM: Persico Dosimo
RGm: Persico Dosimo
TM: Brescia Via Ziliola
Tm: Brescia Via Ziliola
UR: Brescia ITAS Pastori
VV: Brescia Via Ziliola

Busto Arsizio

PP: Busto Arsizio Via Magenta
RGM: Lonate Pozzolo
RGm: Lonate Pozzolo
TM: Busto Arsizio Via Magenta
Tm: Busto Arsizio Via Magenta
UR: Busto Arsizio Via Magenta
VV: Busto Arsizio Via Magenta

Como Centro

PP: Como Villa Gallia
RGM: Como Villa Gallia
RGm: Como Villa Gallia
TM: Como Villa Gallia
Tm: Como Villa Gallia
UR: Como Villa Gallia
VV: Como Villa Gallia

Lecco Via Amendola

PP: Como Villa Gallia
RGM: Como Villa Gallia
RGm: Como Villa Gallia
TM: Como Villa Gallia
Tm: Como Villa Gallia
UR: Como Villa Gallia
VV: Como Villa Gallia

Limite di Pioltello

PP: Rodano
RGM: Rodano
RGm: Rodano
TM: Rodano
Tm: Rodano
UR: Rodano
VV: Rodano

Lodi Via Vignati

PP: Tavazzano ENEL Suolo
RGM: Tavazzano ENEL Suolo
RGm: Tavazzano ENEL Suolo
TM: Tavazzano ENEL Suolo
Tm: Tavazzano ENEL Suolo
UR: Tavazzano ENEL Suolo
VV: -

Magenta

PP: Busto Arsizio Via Magenta
RGM: Lonate Pozzolo
RGm: Lonate Pozzolo
TM: Busto Arsizio Via Magenta
Tm: Busto Arsizio Via Magenta
UR: Busto Arsizio Via Magenta
VV: Busto Arsizio Via Magenta

Meda

PP: Carate Brianza
RGM: Carate Brianza
RGm: Carate Brianza
TM: Carate Brianza
Tm: Carate Brianza
UR: Carate Brianza
VV: Carate Brianza

Merate

PP: Carate Brianza
RGM: Carate Brianza
RGm: Carate Brianza
TM: Carate Brianza
Tm: Carate Brianza
UR: Carate Brianza
VV: Carate Brianza

Milano Verziere

PP: Milano Juvara
RGM: Milano Juvara
RGm: Milano Juvara
TM: Milano Juvara
Tm: Milano Juvara
UR: Milano Juvara
VV: Milano Juvara

Morbegno

PP: Morbegno Via Cortivacci
RGM: Morbegno Via Cortivacci
RGm: Morbegno Via Cortivacci
TM: Morbegno Via Cortivacci
Tm: Morbegno Via Cortivacci
UR: Morbegno Via Cortivacci
VV: Morbegno Via Cortivacci

Osio Sotto

PP: Osio Sotto
RGM: Osio Sotto
RGm: Osio Sotto
TM: Osio Sotto
Tm: Osio Sotto
UR: Osio Sotto
VV: Osio Sotto

Pizzighettone

PP: Persico Dosimo
RGM: Persico Dosimo
RGm: Persico Dosimo
TM: Persico Dosimo
Tm: Persico Dosimo
UR: Persico Dosimo
VV: Persico Dosimo

Sarezzo

PP: Brescia Via Ziliola
RGM: Persico Dosimo
RGm: Persico Dosimo
TM: Brescia Via Ziliola
Tm: Brescia Via Ziliola
UR: Brescia ITAS Pastori
VV: Brescia Via Ziliola

Sondrio Via Mazzini

PP: Morbegno Via Cortivacci
RGM: Morbegno Via Cortivacci
RGm: Morbegno Via Cortivacci
TM: Morbegno Via Cortivacci
Tm: Morbegno Via Cortivacci
UR: Morbegno Via Cortivacci
VV: Morbegno Via Cortivacci

ALLEGATO 3

Serie originale e componenti ricavate dall'applicazione del Filtro KZ per tutte le stazioni del PM10

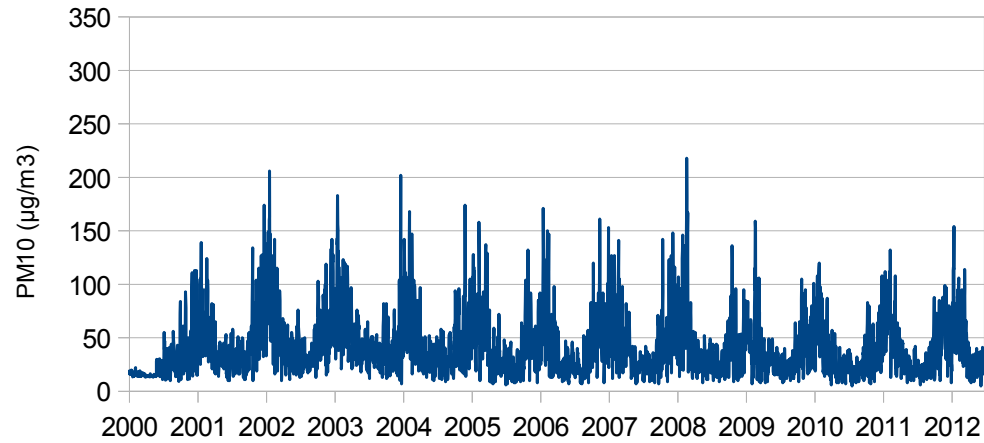
Per ogni stazione è rappresentato:

- $A(t)$ Serie temporale originale
- $W(t)$ Componente a breve termine (Short-Term)
- $S(t)$ Variazione stagionale (Seasonal Variation)
- $e(t)$ Componente a lungo termine (Long-Term)

Le stazioni sono riportate in ordine alfabetico.

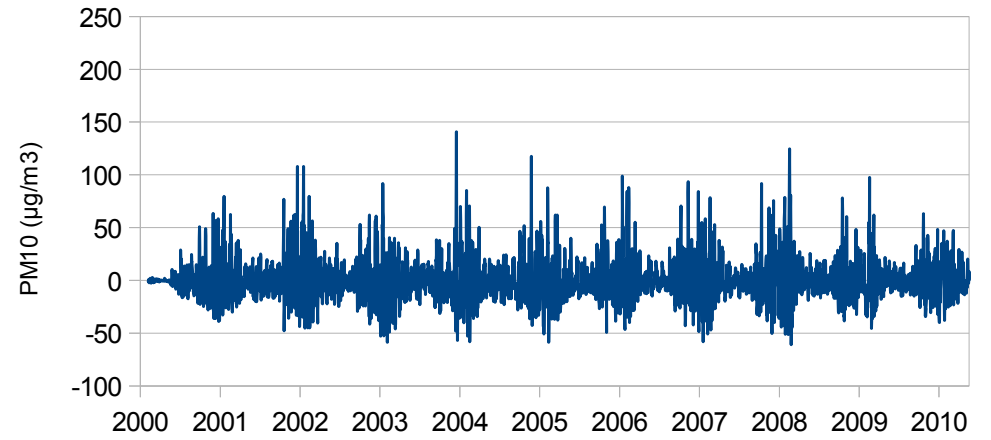
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Bergamo



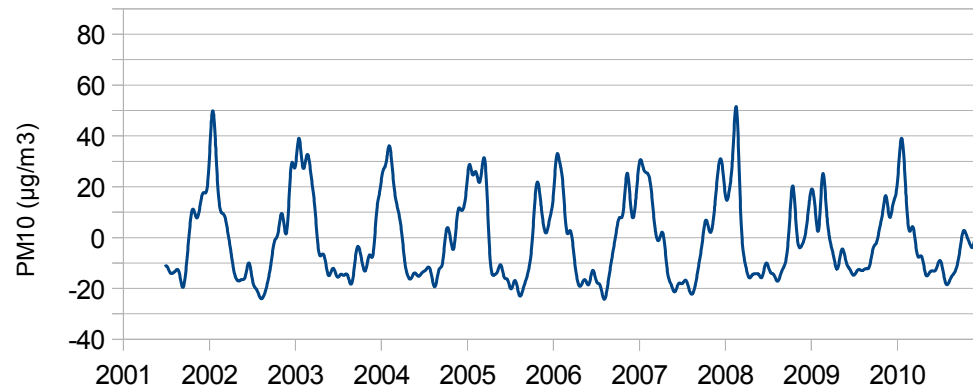
SHORT TERM W(t)

Bergamo



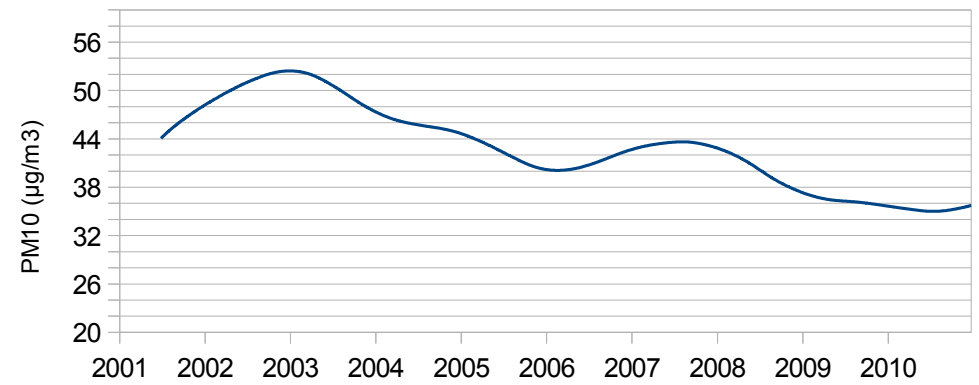
SEASONAL VARIATION S(t)

Bergamo



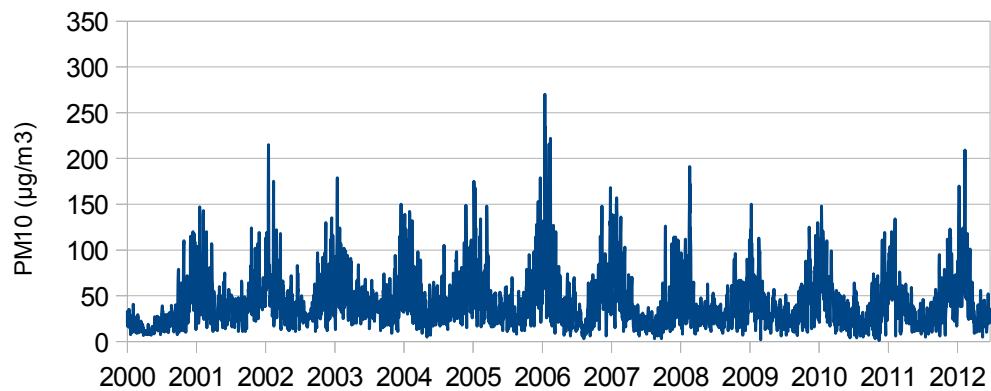
LONG TERM e(t)

Bergamo



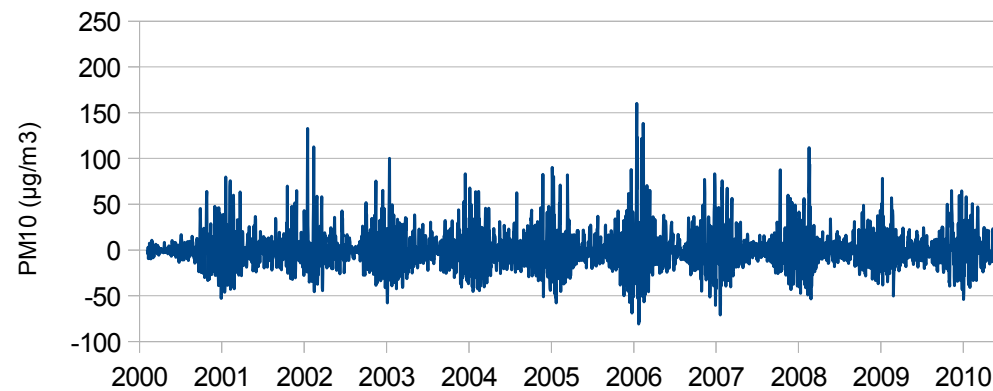
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Brescia



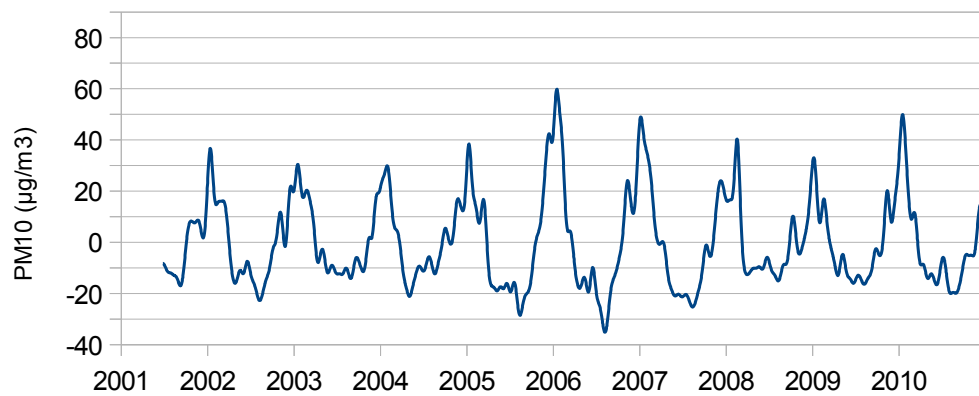
SHORT TERM W(t)

Brescia



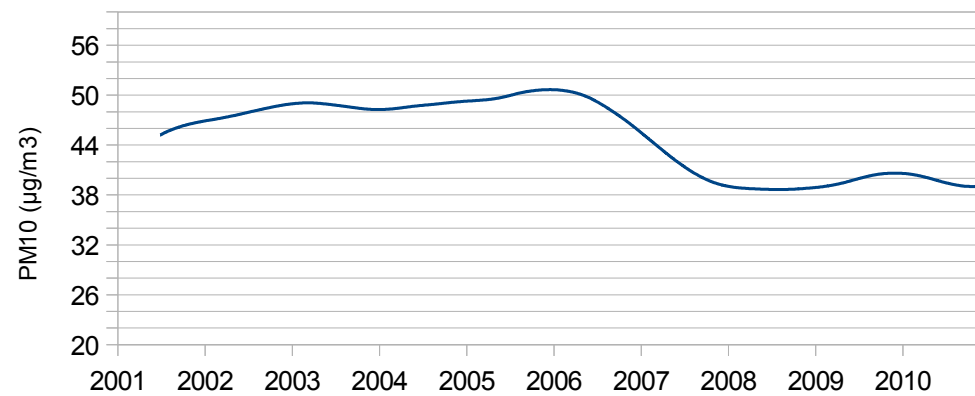
SEASONAL VARIATION S(t)

Brescia



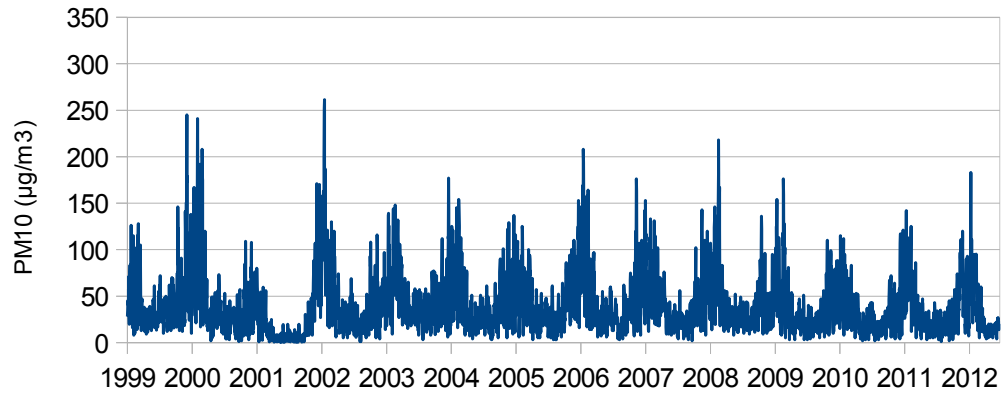
LONG TERM e(t)

Brescia



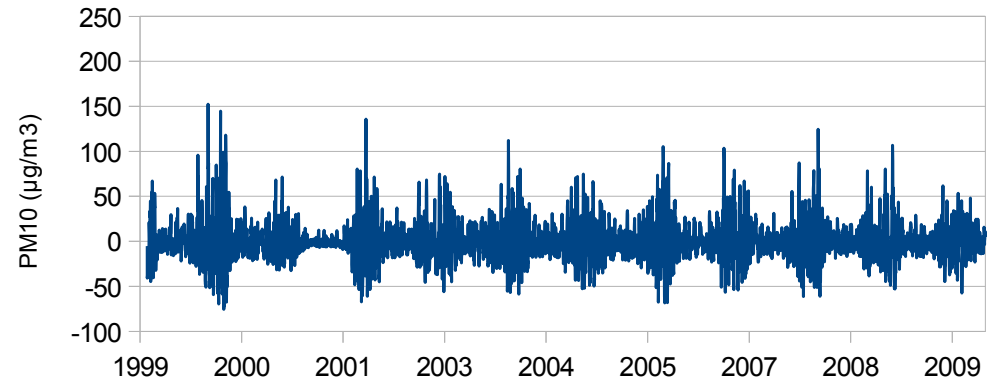
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Busto Arsizio



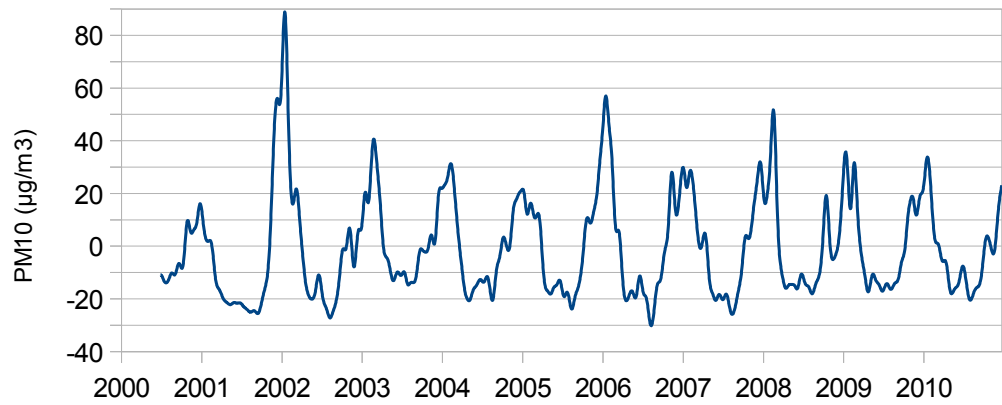
SHORT TERM W(t)

Busto Arsizio



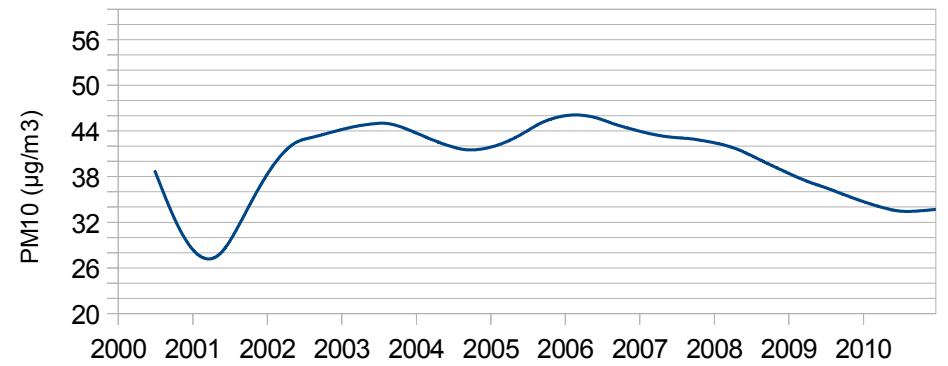
SEASONAL VARIATION S(t)

Busto Arsizio



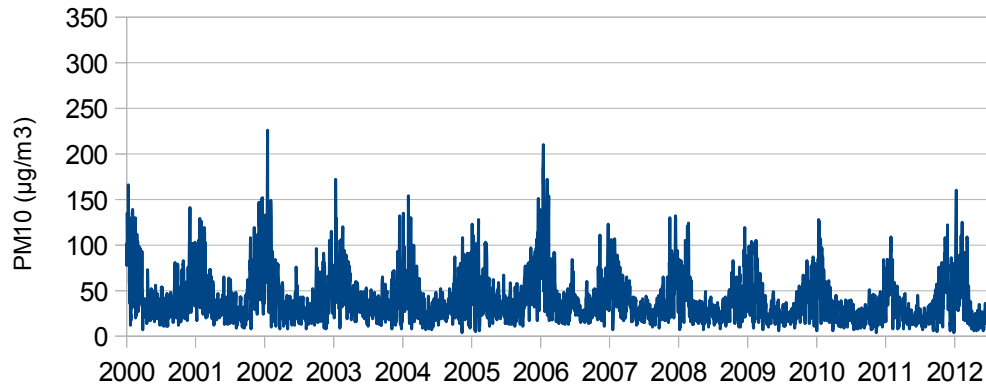
LONG TERM e(t)

Busto Arsizio



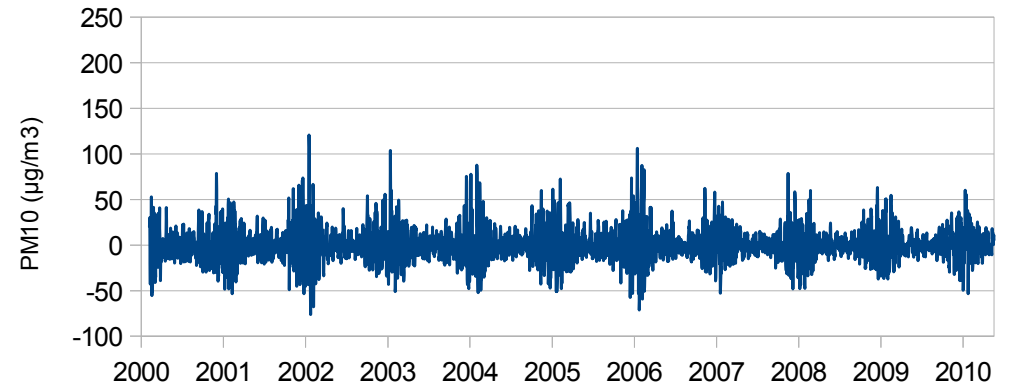
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Como



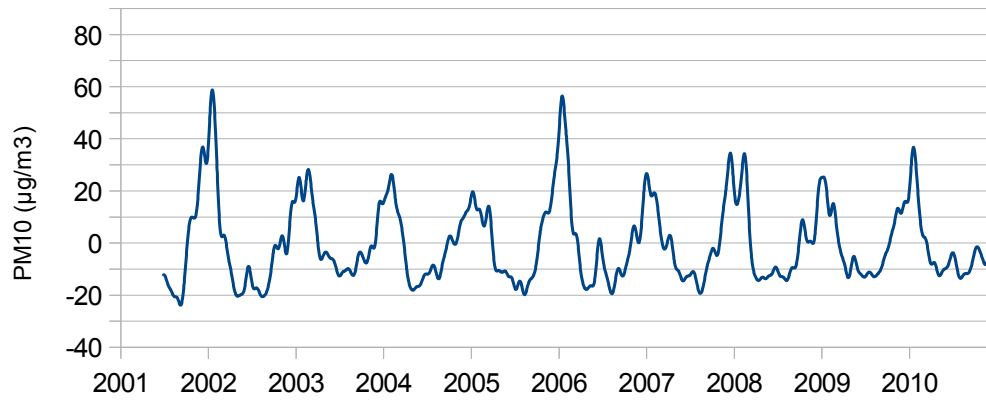
SHORT TERM W(t)

Como



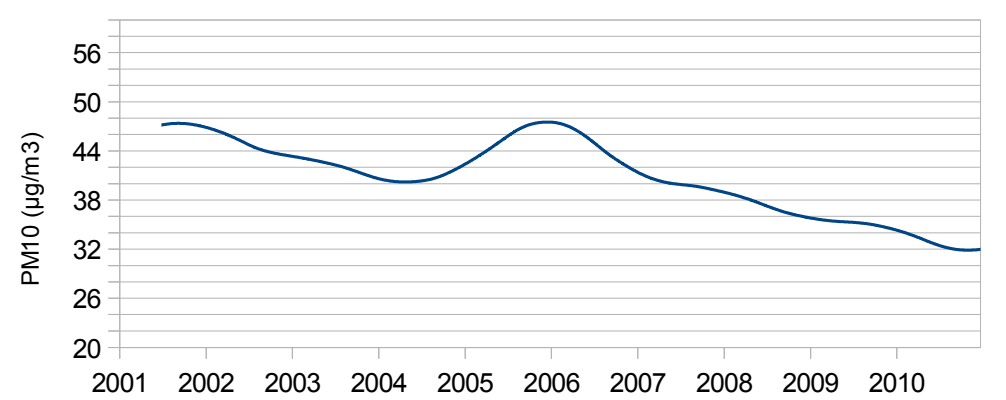
SEASONAL VARIATION S(t)

Como



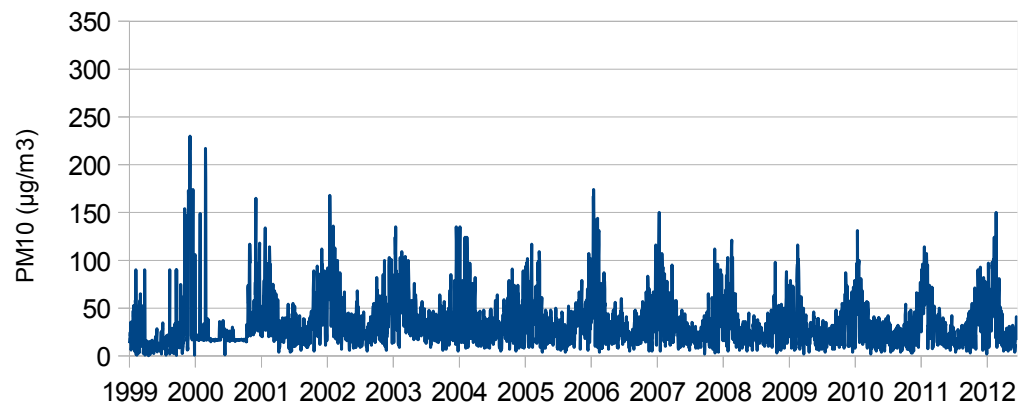
LONG TERM e(t)

Como



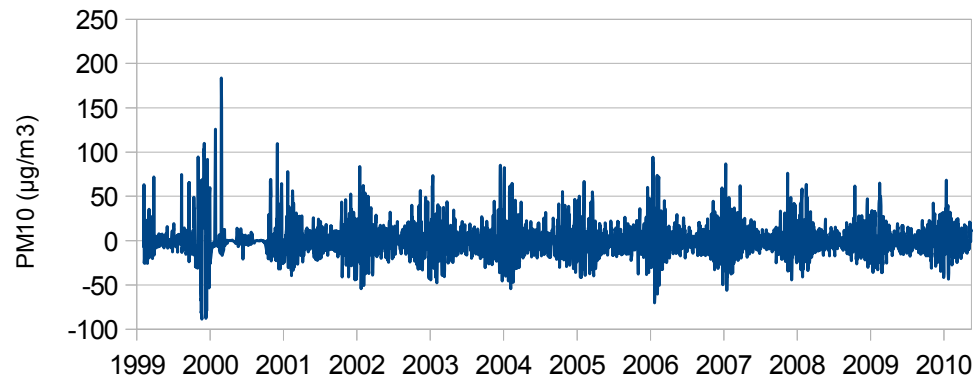
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Lecco



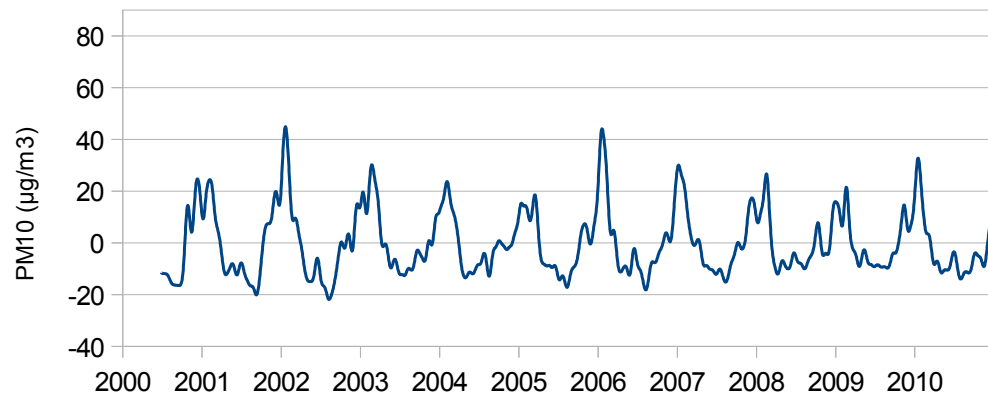
SHORT TERM W(t)

Lecco



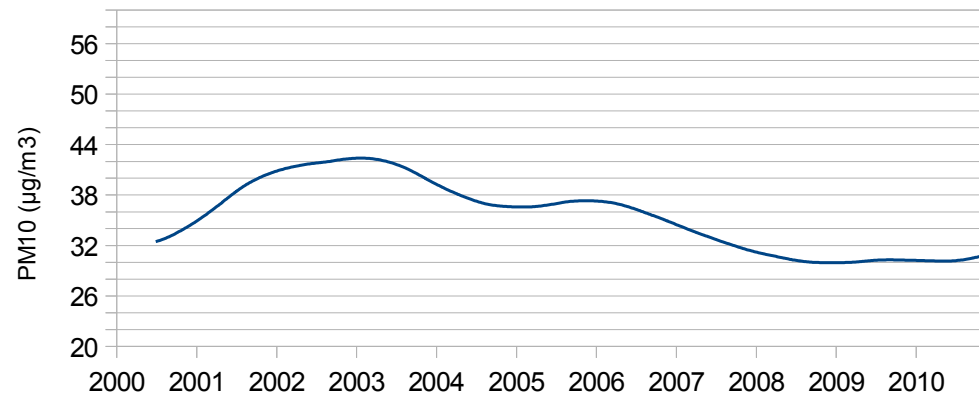
SEASONAL VARIATION S(t)

Lecco



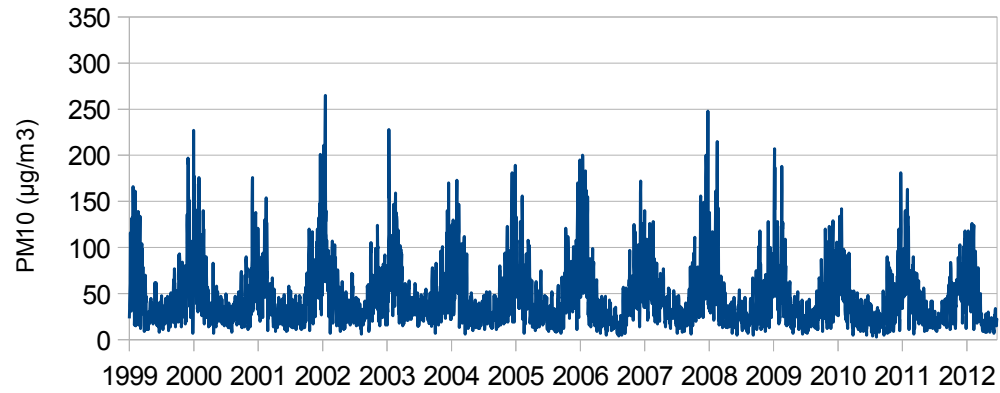
LONG TERM e(t)

Lecco



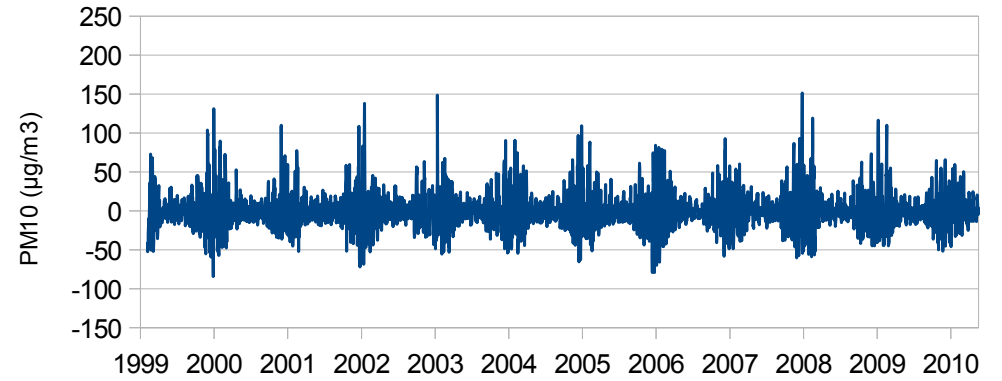
ORIGINAL TIME-SERIES $A(t)$

Limite di Pioltello



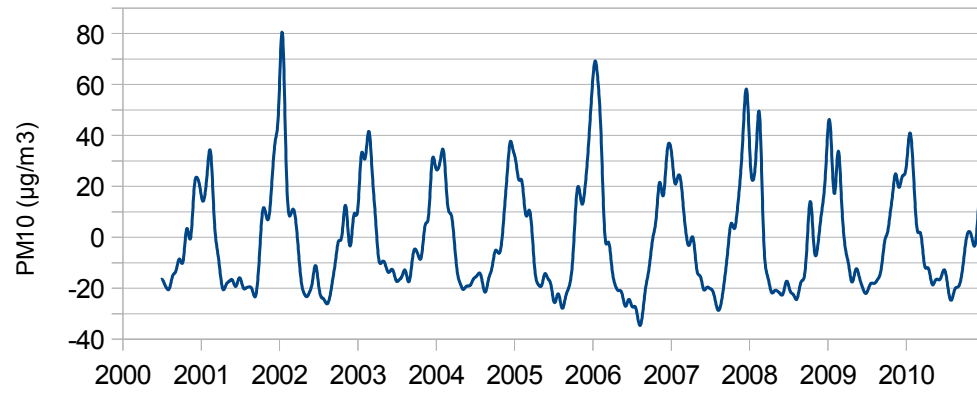
SHORT TERM $W(t)$

Limite di Pioltello



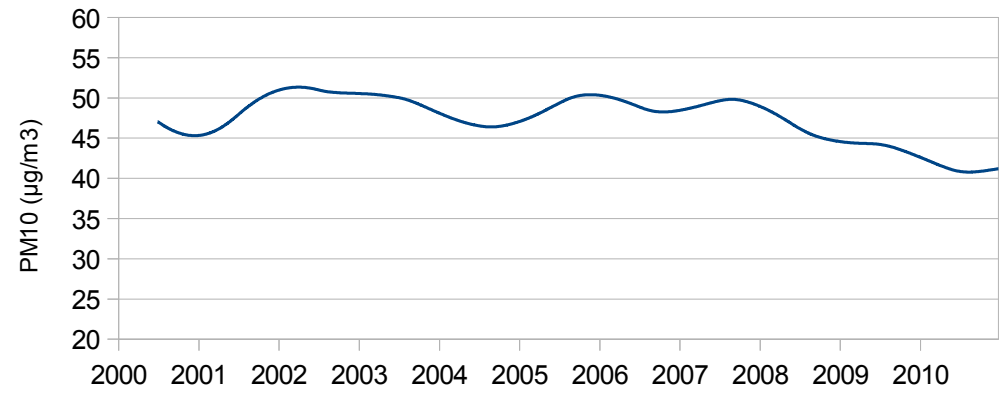
SEASONAL VARIATION $S(t)$

Limite di Pioltello



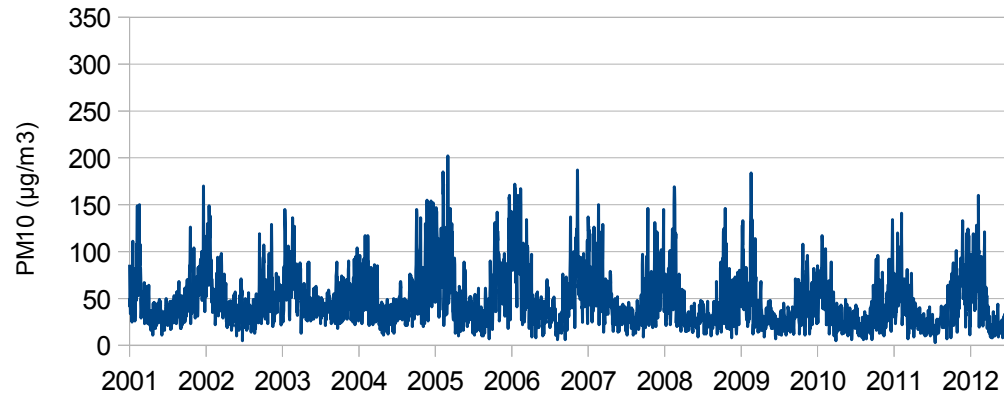
LONG TERM $e(t)$

Limite di Pioltello



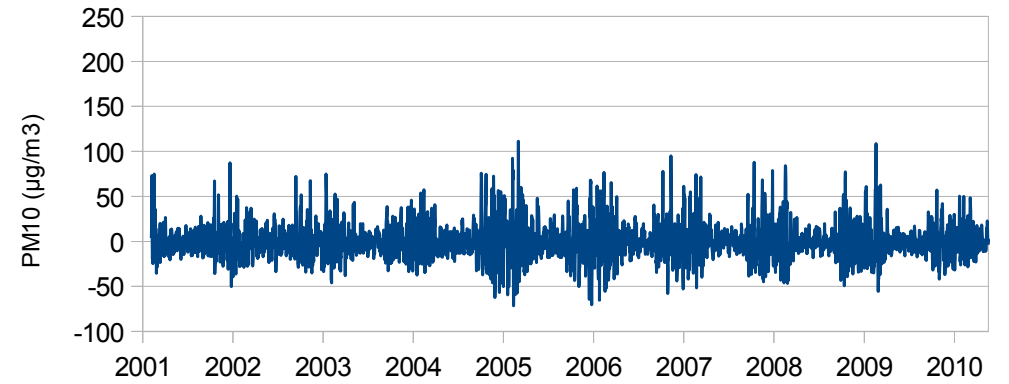
ORIGINAL TIME-SERIES $A(t)$

Lodi



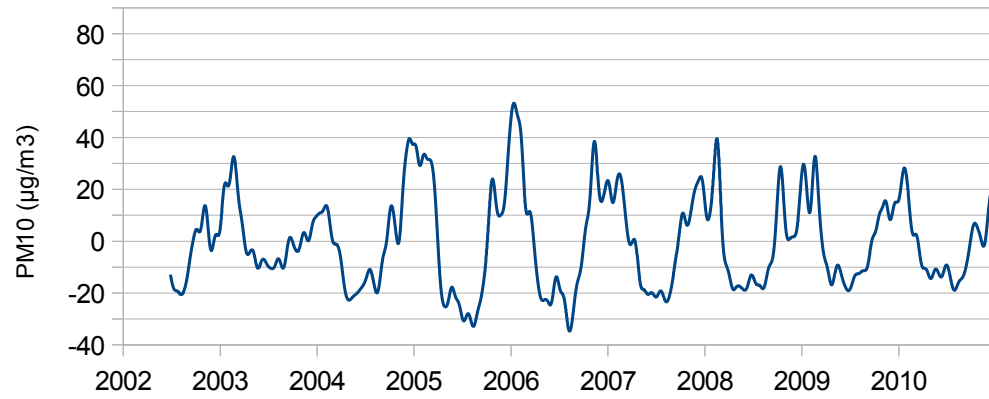
SHORT TERM $W(t)$

Lodi



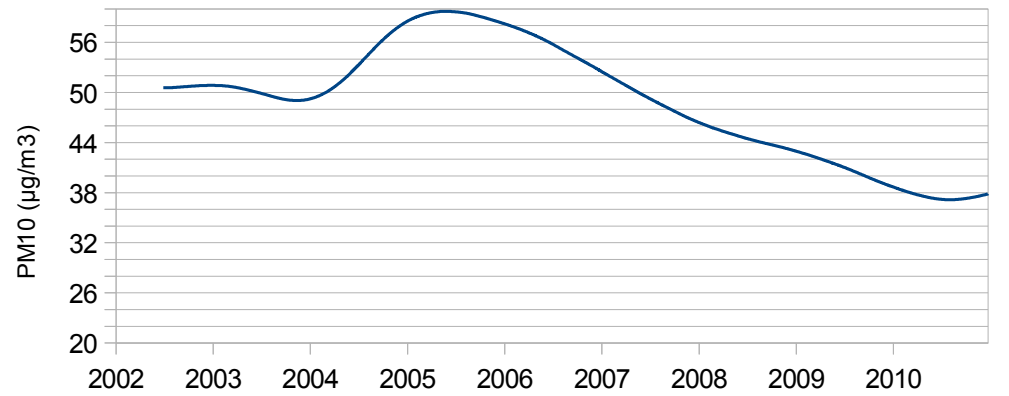
SEASONAL VARIATION $S(t)$

Lodi



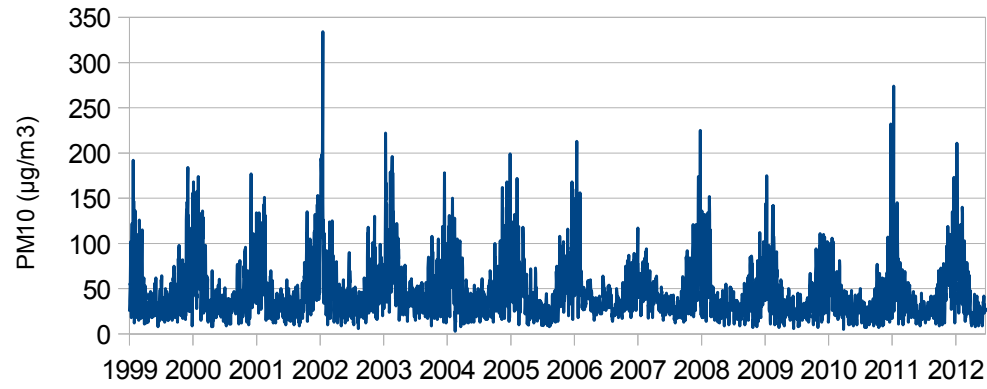
LONG TERM $e(t)$

Lodi



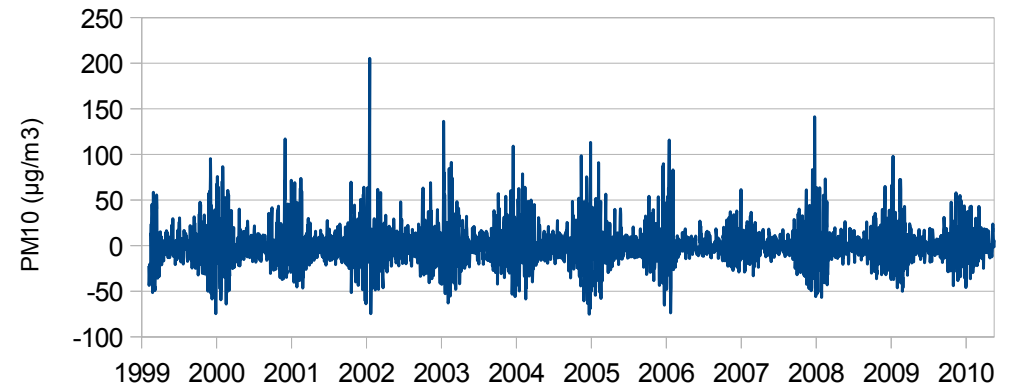
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Magenta



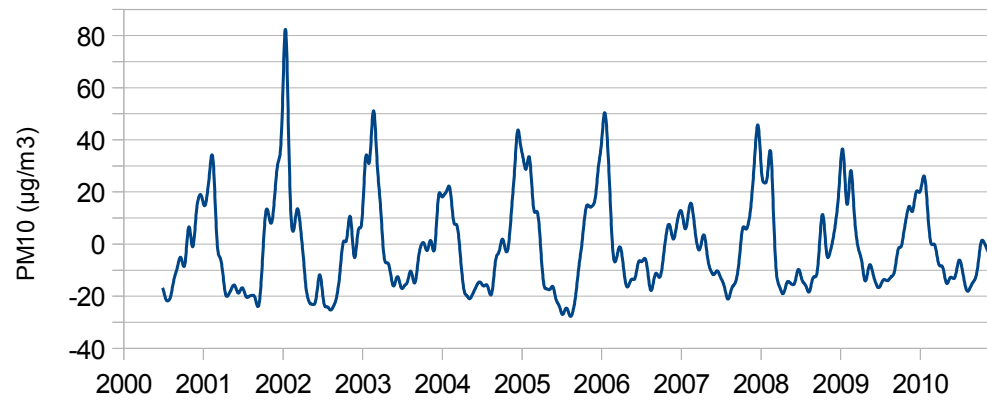
SHORT TERM W(t)

Magenta



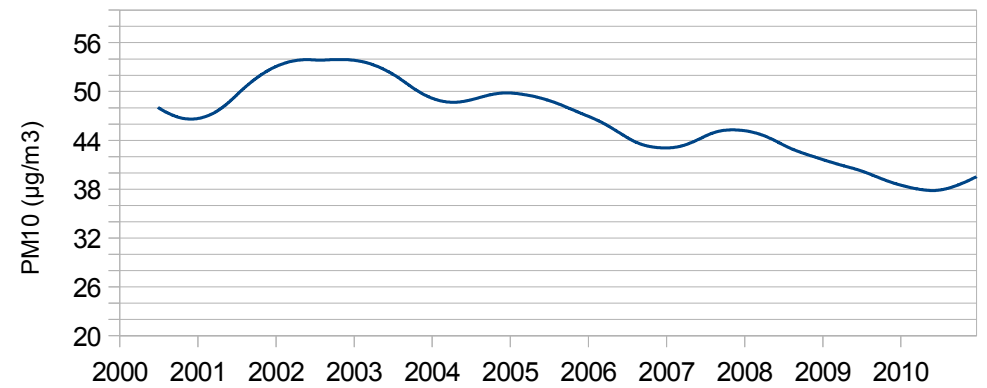
SEASONAL VARIATION S(t)

Magenta



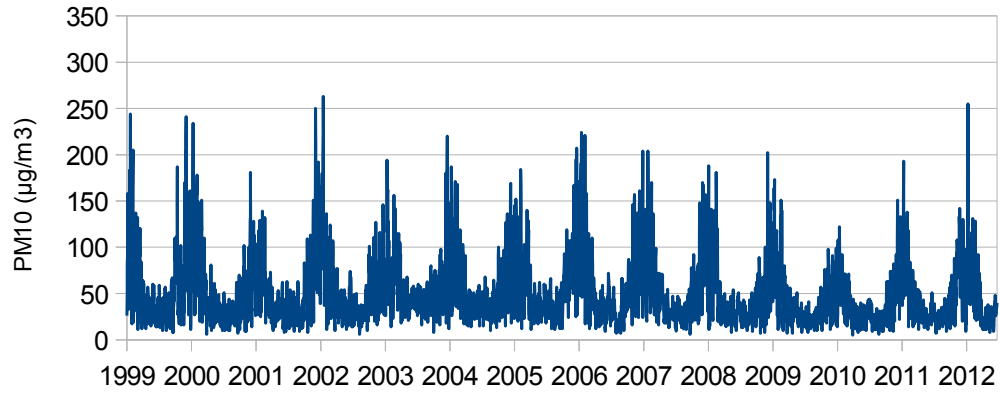
LONG TERM e(t)

Magenta



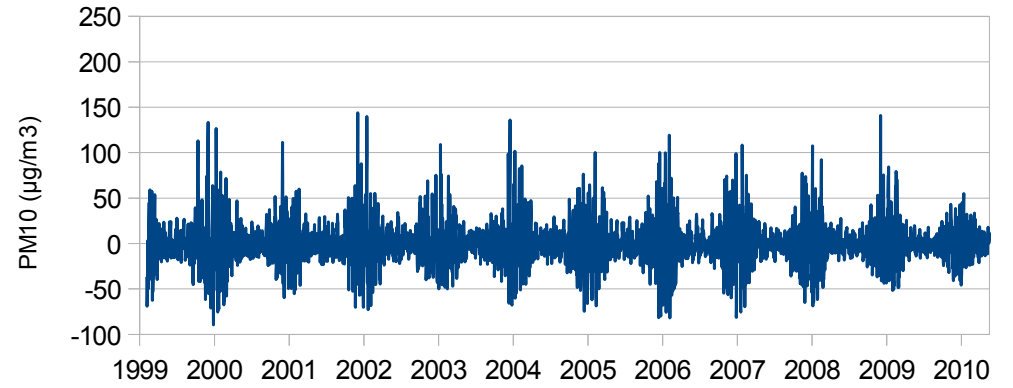
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Meda



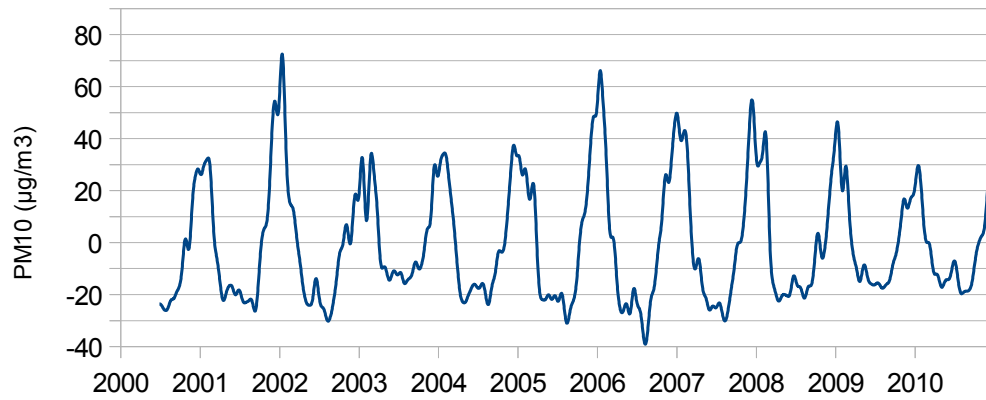
SHORT TERM W(t)

Meda



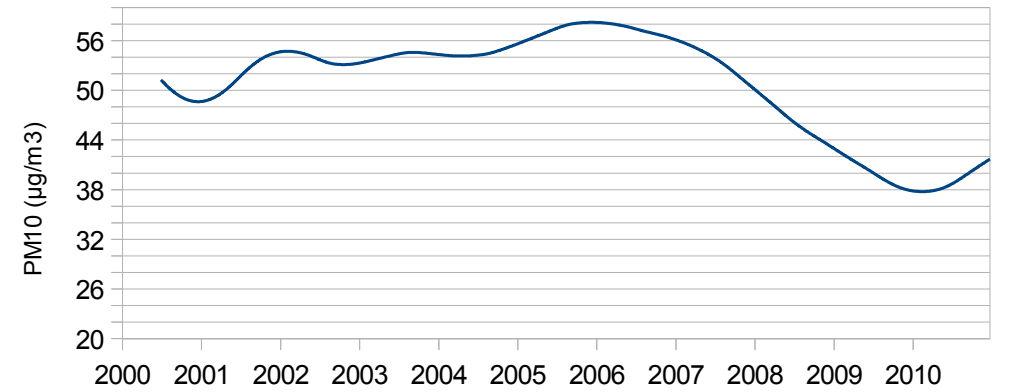
SEASONAL VARIATION S(t)

Meda



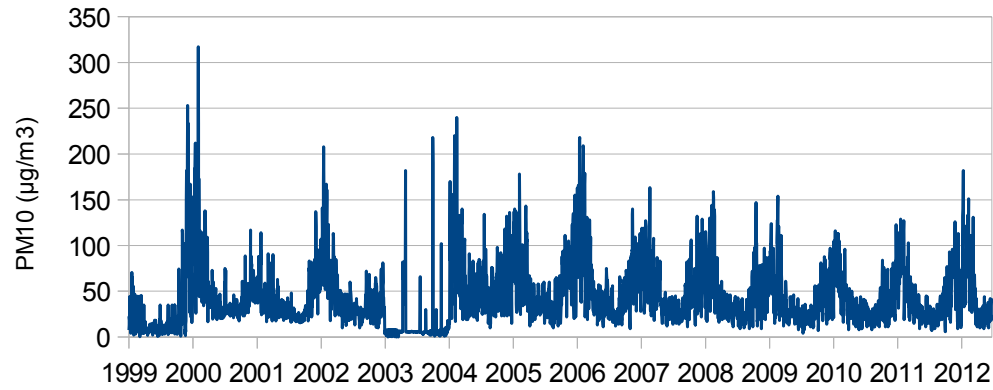
LONG TERM e(t)

Meda



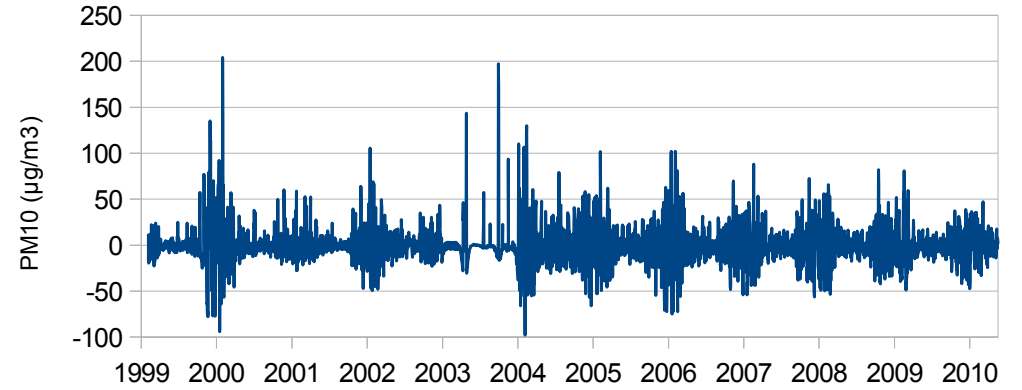
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Merate



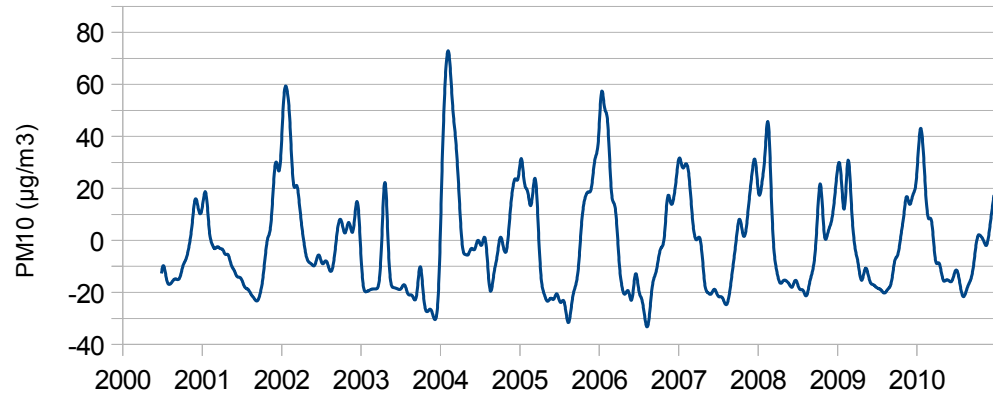
SHORT TERM W(t)

Merate



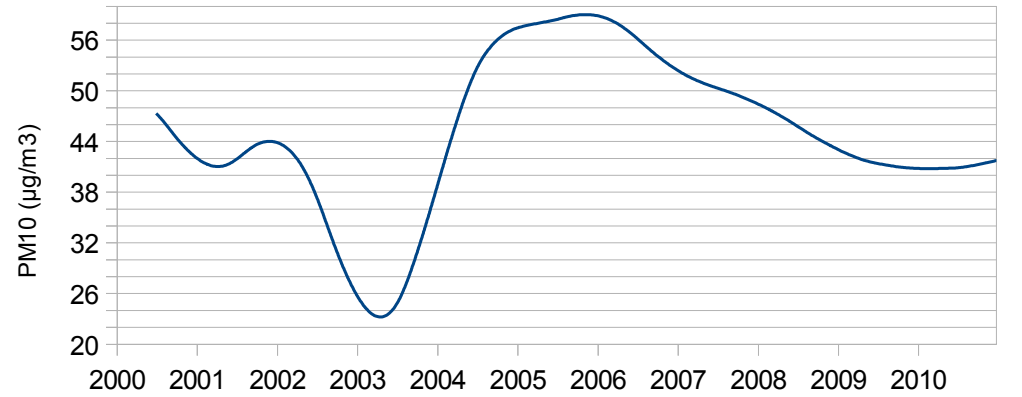
SEASONAL VARIATION S(t)

Merate



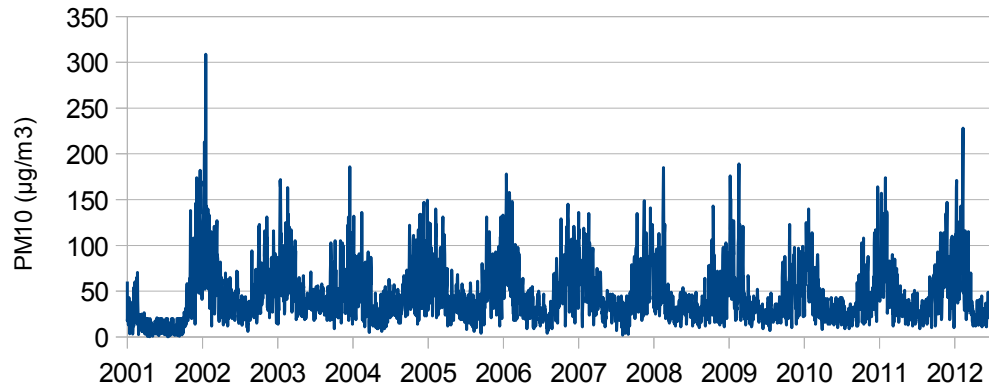
LONG TERM e(t)

Merate



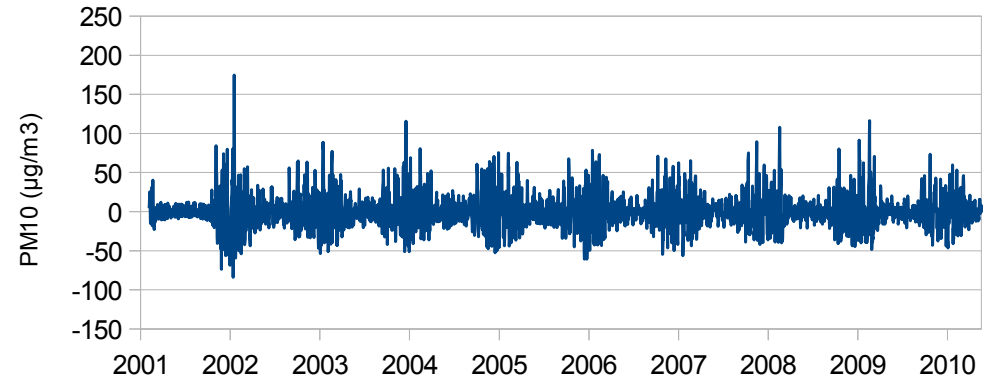
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Milano



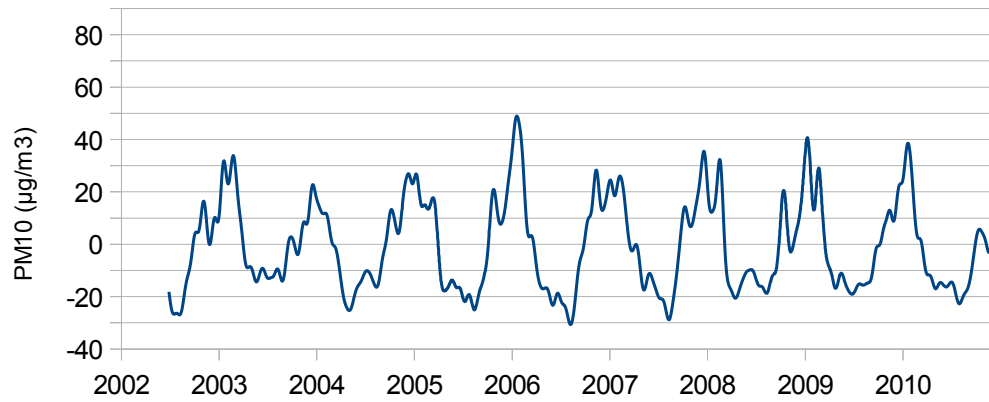
SHORT TERM W(t)

Milano



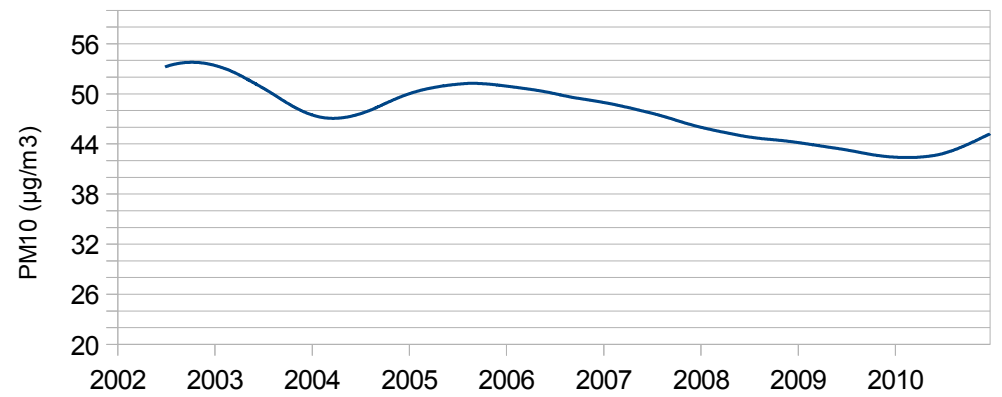
SEASONAL VARIATION S(t)

Milano



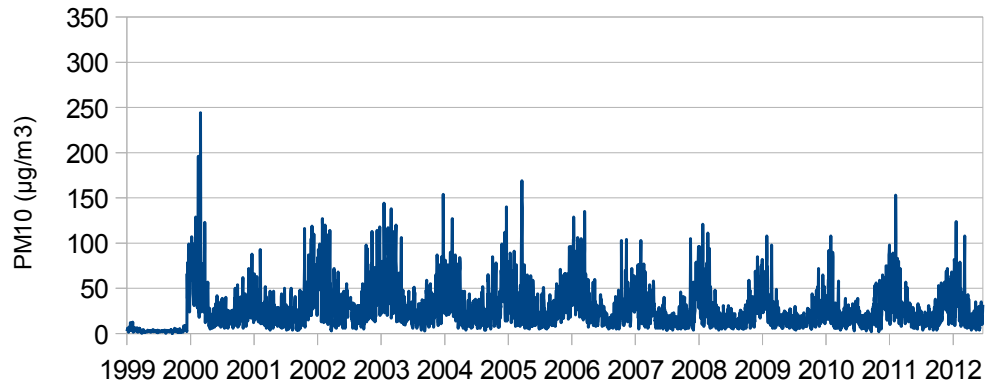
LONG TERM e(t)

Milano



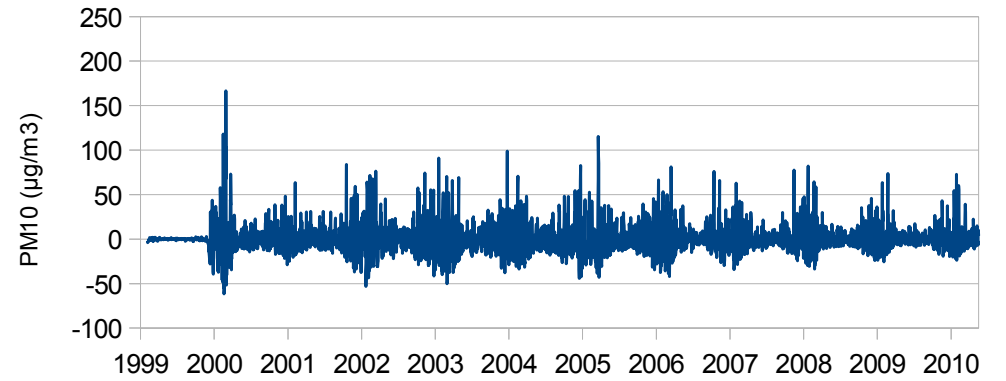
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Morbegno



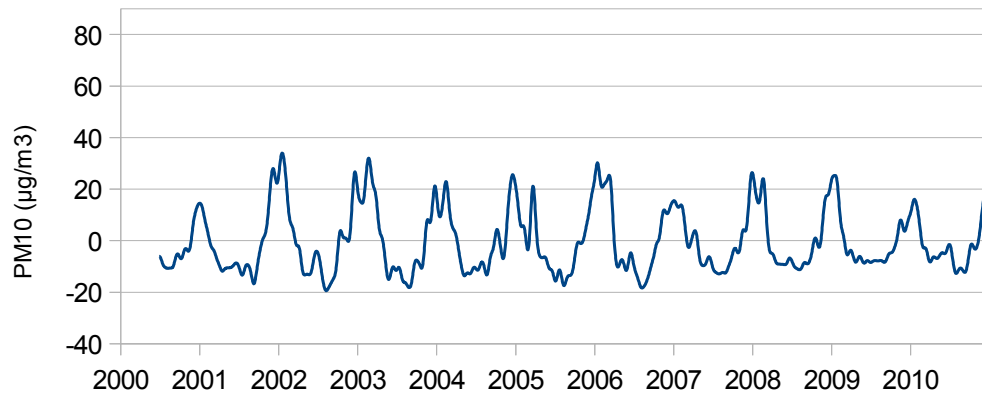
SHORT TERM W(t)

Morbegno



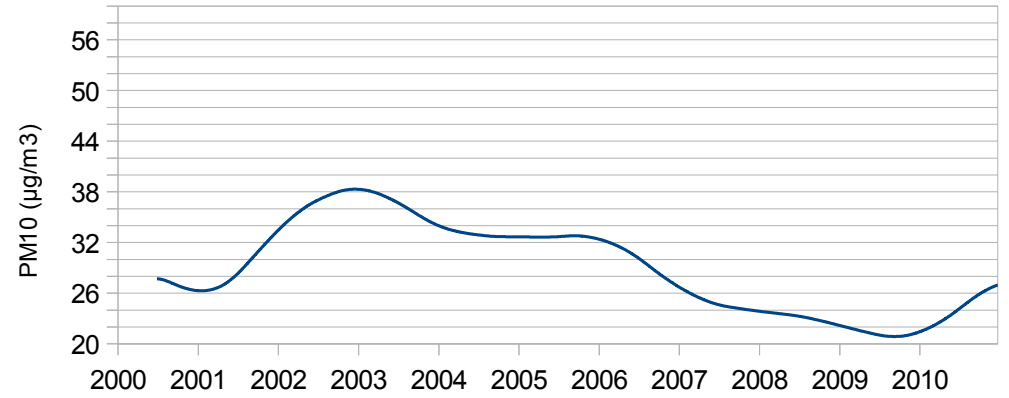
SEASONAL VARIATION S(t)

Morbegno



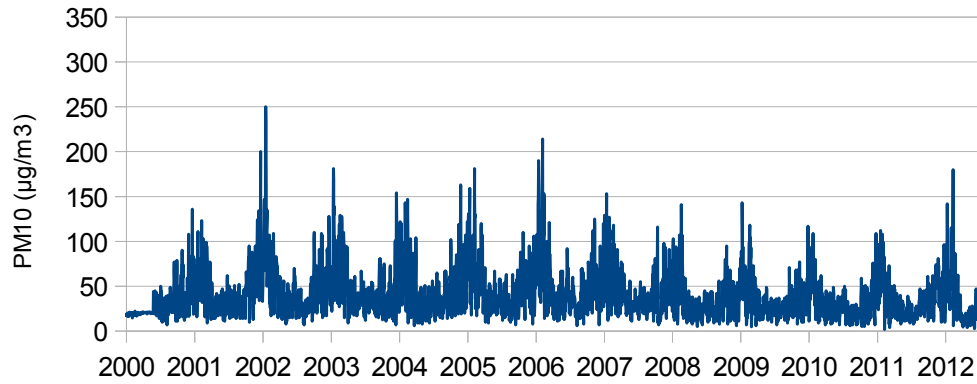
LONG TERM e(t)

Morbegno



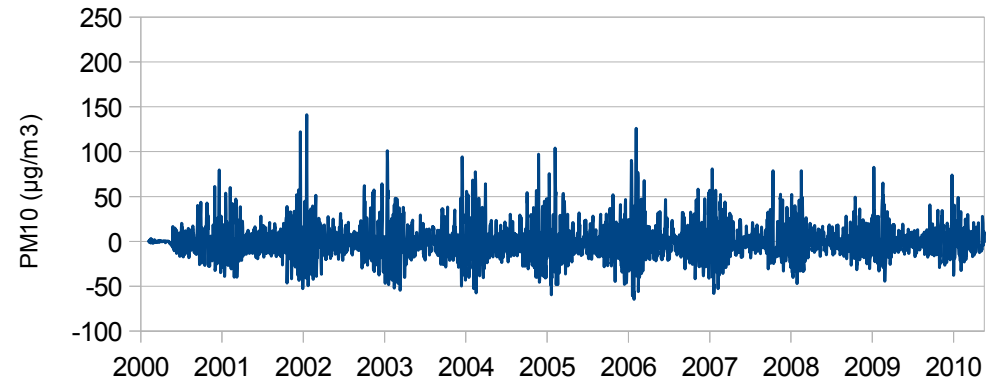
ORIGINAL TIME-SERIES $A(t)$

Osio Sotto



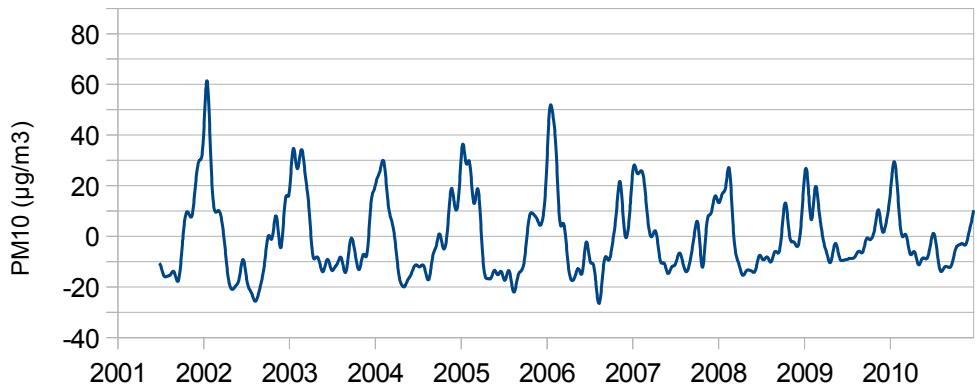
SHORT TERM $W(t)$

Osio Sotto



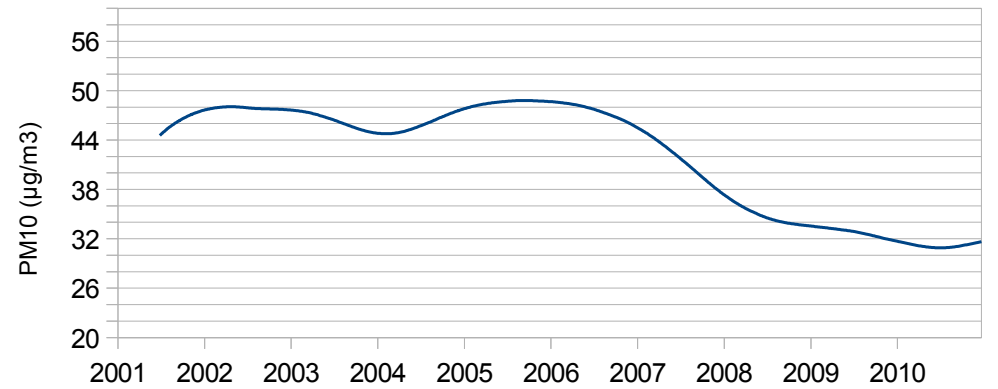
SEASONAL VARIATION $S(t)$

Osio Sotto



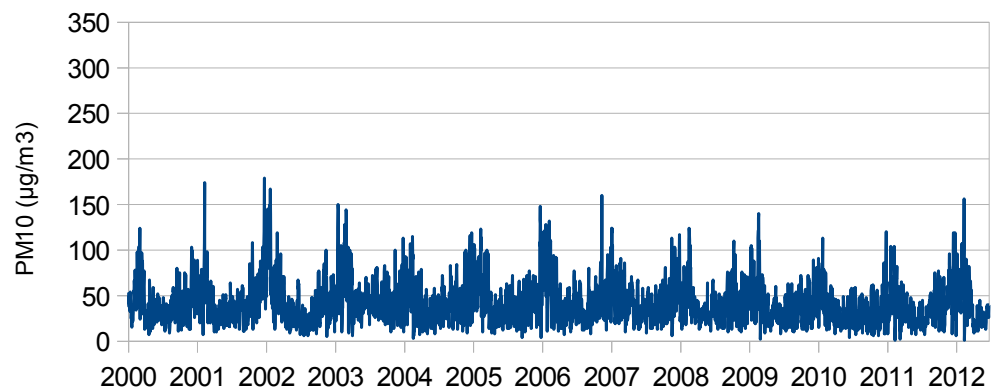
LONG TERM $e(t)$

Osio Sotto



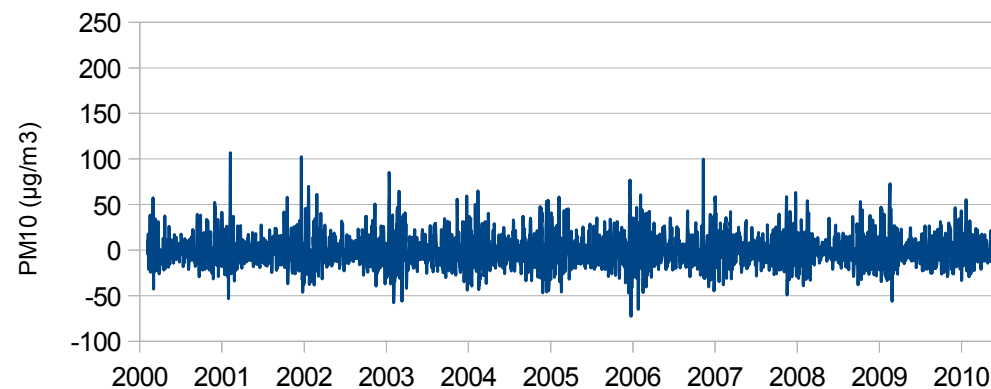
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Pizzighettone



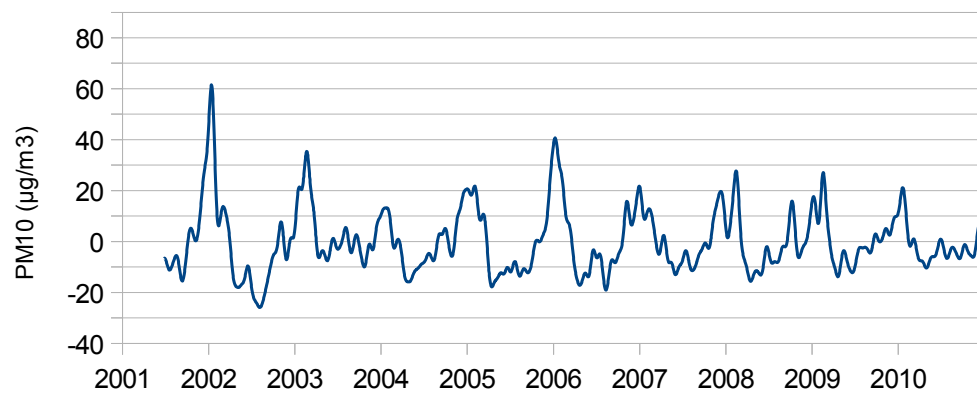
SHORT TERM W(t)

Pizzighettone



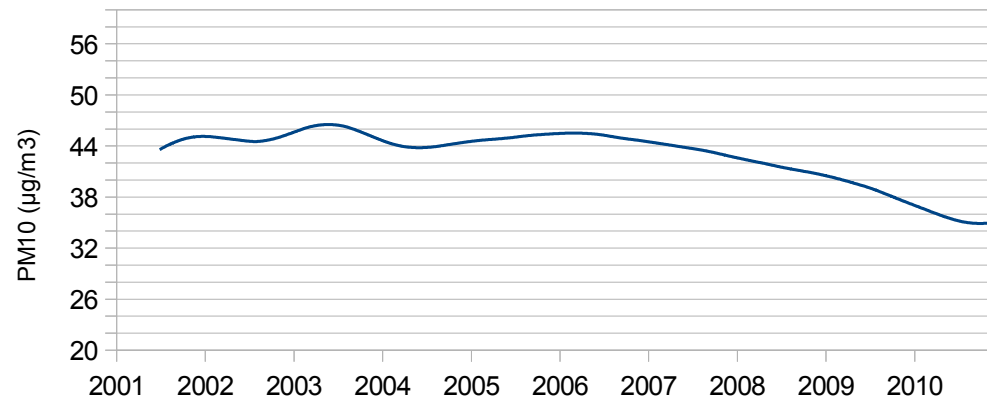
SEASONAL VARIATION S(t)

Pizzighettone



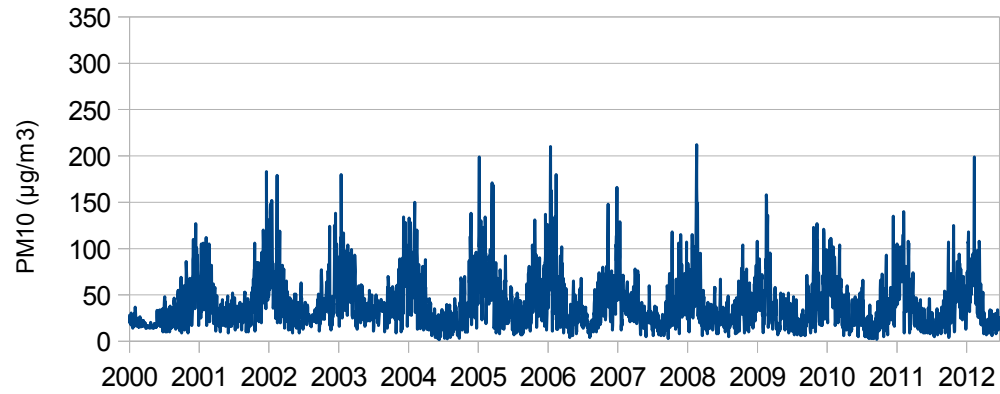
LONG TERM e(t)

Pizzighettone



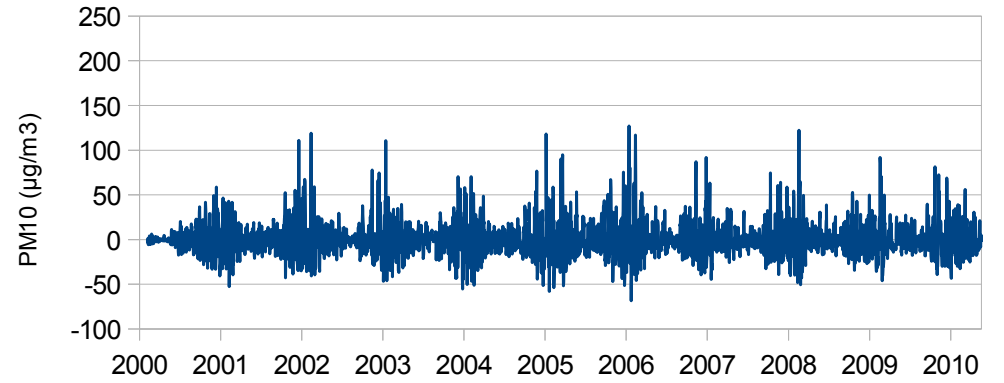
ORIGINAL TIME-SERIES A(t)

Sarezzo



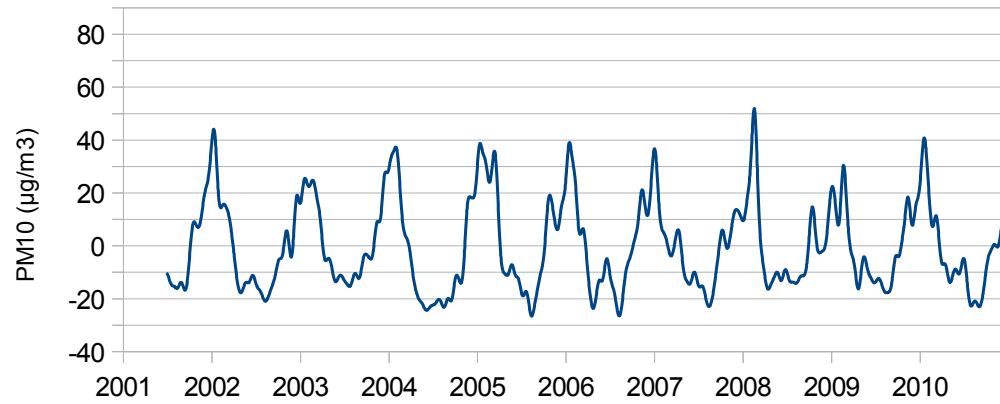
SHORT TERM W(t)

Sarezzo



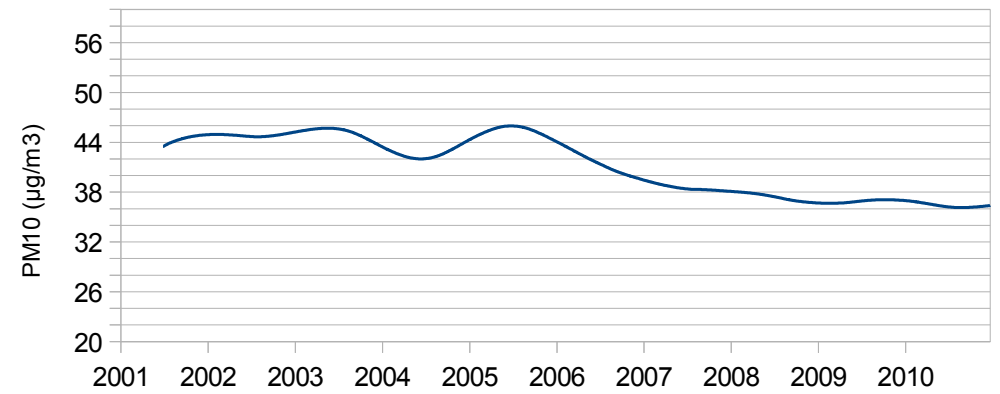
SEASONAL VARIATION S(t)

Sarezzo



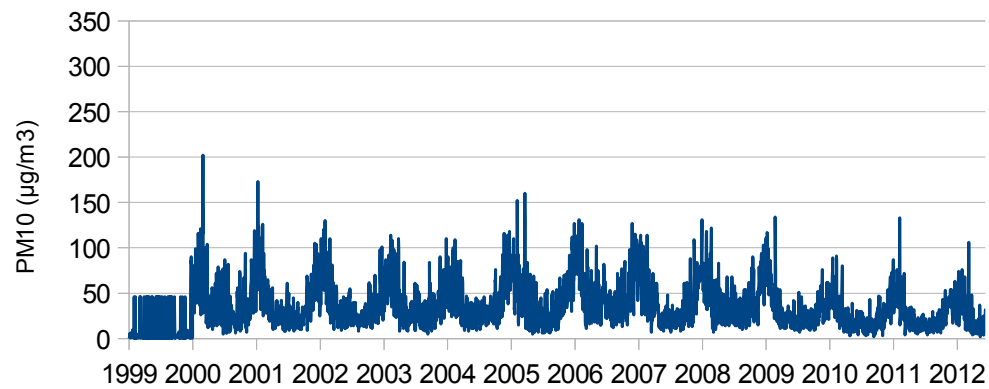
LONG TERM e(t)

Sarezzo



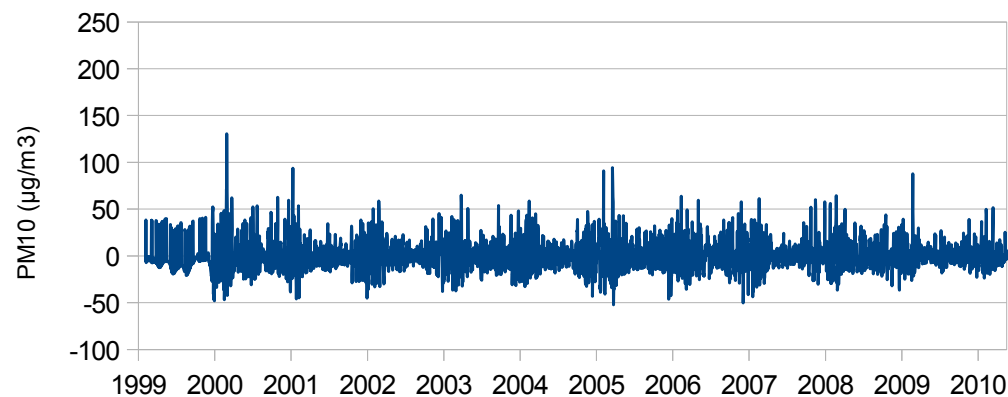
ORIGINAL TIME-SERIES $A(t)$

Sondrio



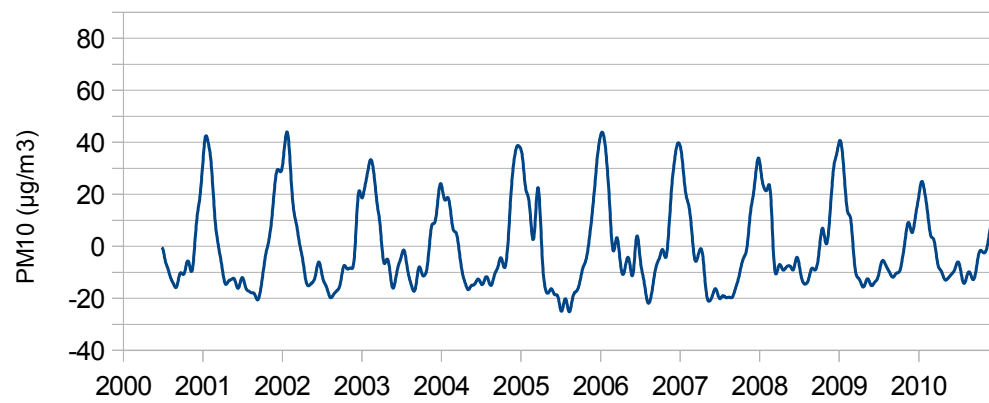
SHORT TERM $W(t)$

Sondrio



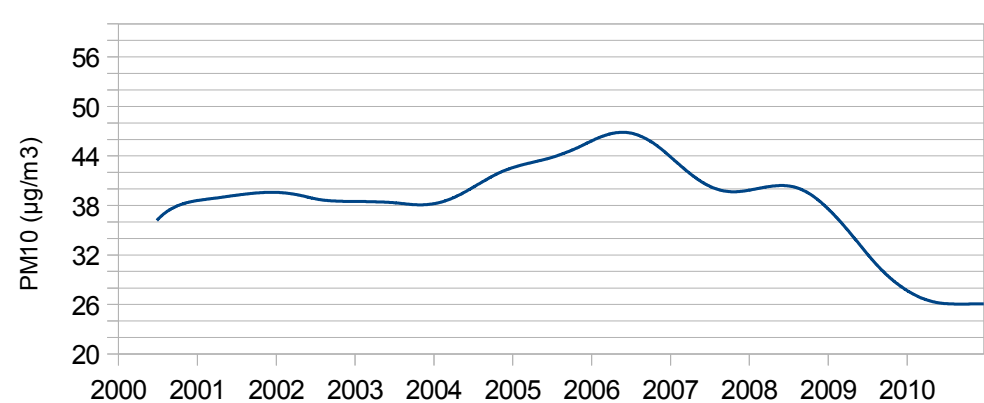
SEASONAL VARIATION $S(t)$

Sondrio



LONG TERM $e(t)$

Sondrio



ALLEGATO 4

Coefficienti di correlazione e modelli con le variabili meteorologiche rimosse

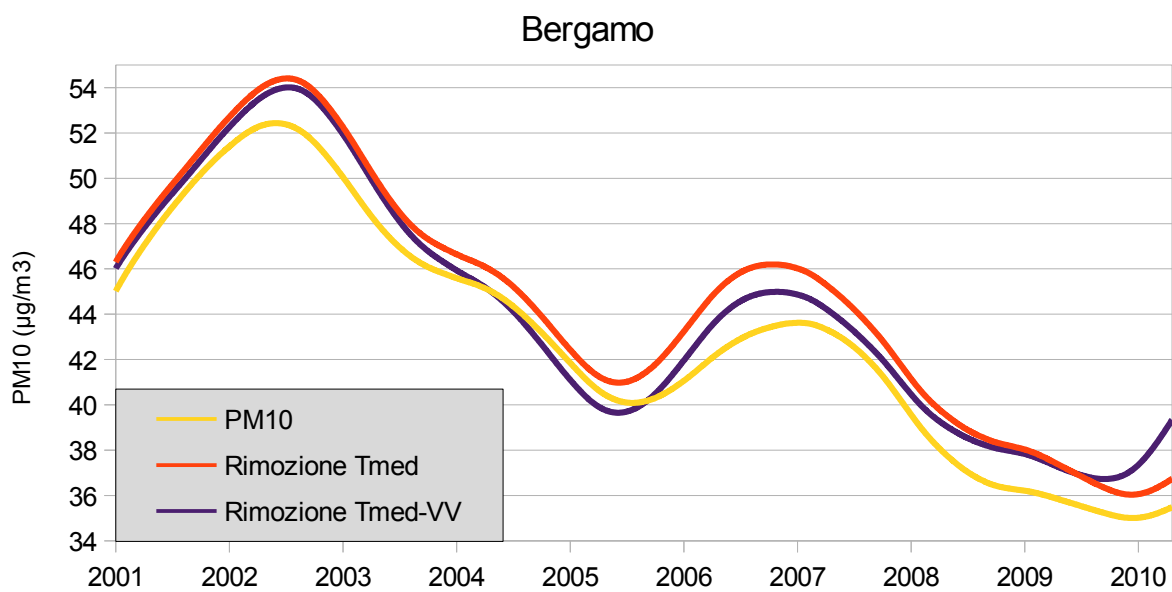
Per ogni stazione viene raccolto:

- Tabella degli indici di correlazioni delle baseline e della componente a breve termine per ogni singola variabile meteorologica
- Tabella degli indici di correlazione della baseline e della componente a breve termine per le coppie di variabili meteorologiche
- Grafico che mostra:
 1. componente a lungo termine del PM10
 2. modello che descrive l'andamento a lungo termine con la rimozione della singola variabile meteorologica maggiormente correlata
 3. modello che descrive l'andamento a lungo termine con la rimozione della coppia di variabili meteorologiche maggiormente correlata

BERGAMO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,51	0
Rmed	0,51	0
Tmax	0,56	0,03
Tmed	0,57	0,02
UR	0,14	0,01
VV	0,17	0,07
Precip	0,18	0,02

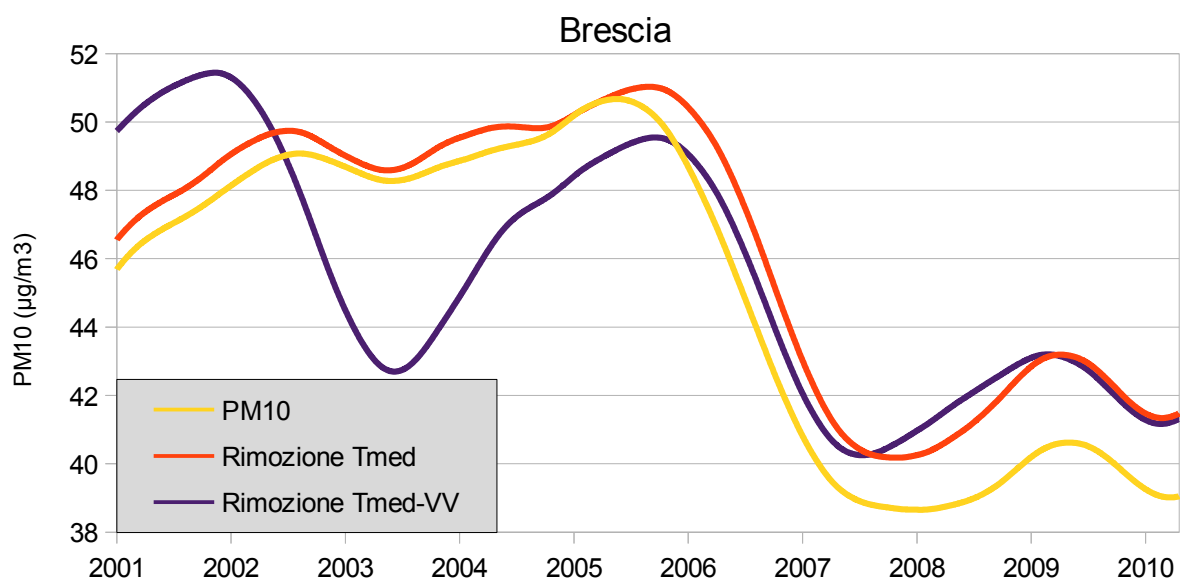
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,57	0,03
Rmed-Tmed	0,58	0,02
Rmax-UR	0,53	0,02
Rmed-UR	0,52	0,03
Tmax-UR	0,56	0,06
Tmed-UR	0,57	0,04
Rmax-VV	0,51	0,07
Rmed-VV	0,51	0,07
Tmax-VV	0,57	0,1
Tmed-VV	0,59	0,09
UR-VV	0,24	0,07



BRESCIA

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	*0,44	*0
Rmed	*0,44	*0
Tmax	0,5	0,02
Tmed	0,61	0,03
UR	0,32	0,03
VV	0,42	0,08
Precip	0,01	0,03

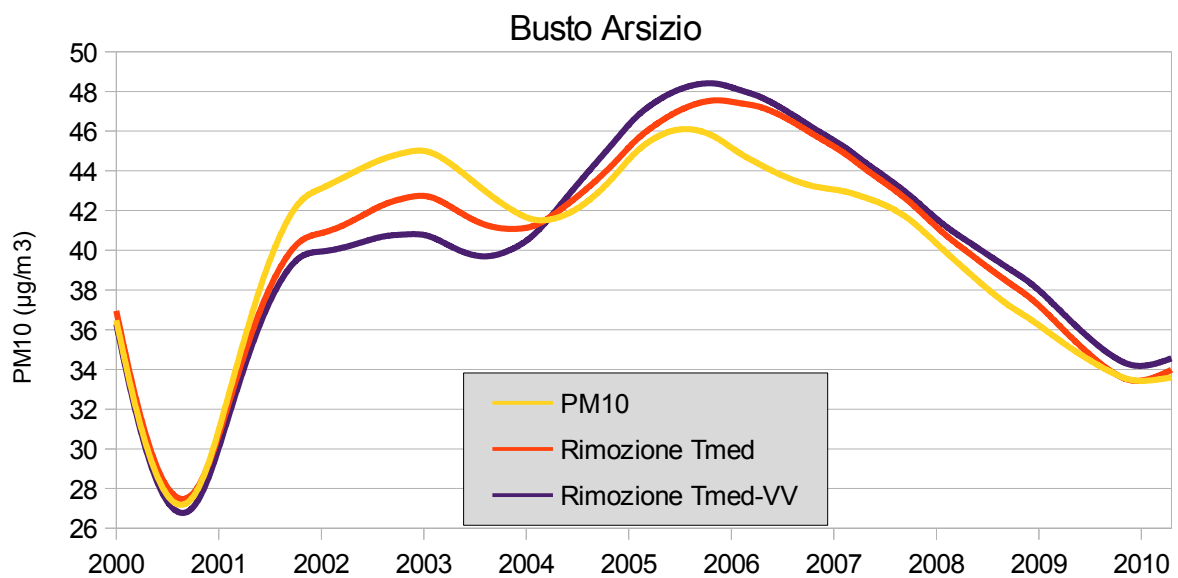
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	-	-
Rmed-Tmed	-	-
Rmax-UR	-	-
Rmed-UR	-	-
Tmax-UR	0,54	0,07
Tmed-UR	0,62	0,07
Rmax-VV	-	-
Rmed-VV	-	-
Tmax-VV	0,57	0,1
Tmed-VV	0,68	0,12
UR-VV	0,48	0,09



BUSTO ARSIZIO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,39	0
Rmed	0,41	0
Tmax	0,53	0,01
Tmed	0,58	0,01
UR	0,24	0,03
VV	0,29	0,15
Precip	0,29	0,02

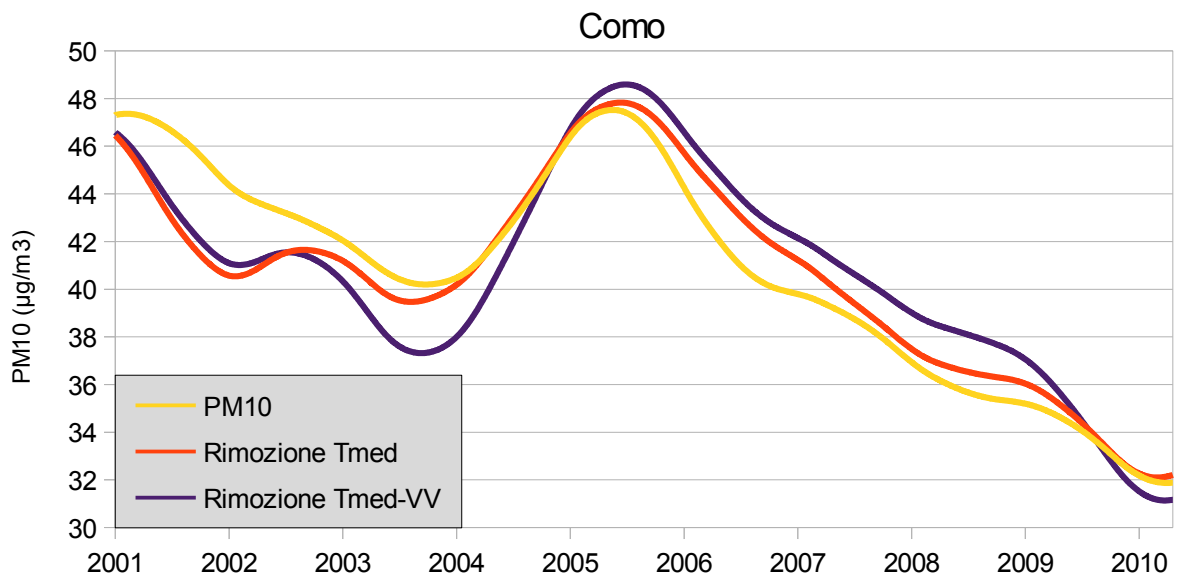
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,53	0,03
Rmed-Tmed	0,58	0,01
Rmax-UR	0,39	0,04
Rmed-UR	0,41	0,05
Tmax-UR	0,53	0,08
Tmed-UR	0,58	0,05
Rmax-VV	0,4	0,15
Rmed-VV	0,42	0,16
Tmax-VV	0,54	0,16
Tmed-VV	0,59	0,16
UR-VV	0,31	0,16



COMO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,5	0
Rmed	0,5	0
Tmax	0,53	0,04
Tmed	0,55	0,01
UR	0,03	0,01
VV	0,14	0,19
Precip	0,08	0,06

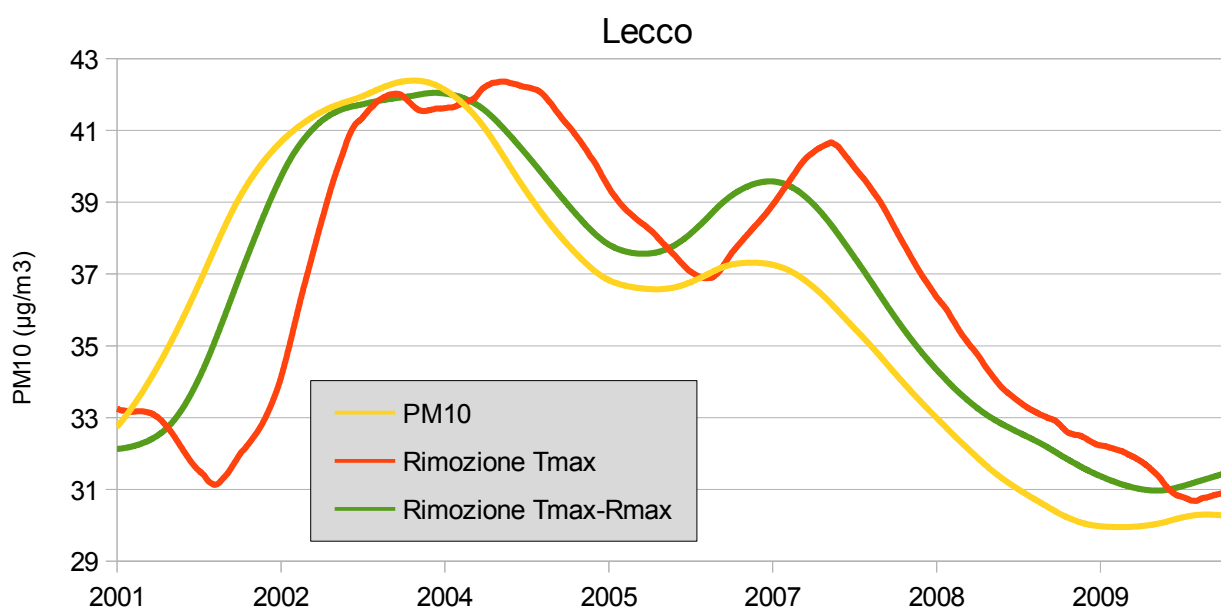
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,55	0,05
Rmed-Tmed	0,56	0,01
Rmax-UR	0,55	0,03
Rmed-UR	0,55	0,03
Tmax-UR	0,55	0,08
Tmed-UR	0,56	0,03
Rmax-VV	0,51	0,2
Rmed-VV	0,5	0,2
Tmax-VV	0,55	0,22
Tmed-VV	0,56	0,2
UR-VV	0,14	0,19



LECCO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,41	0
Rmed	0,41	0
Tmax	0,46	0
Tmed	0,46	0
UR	0,04	0
VV	0,09	0
Precip	0,02	0

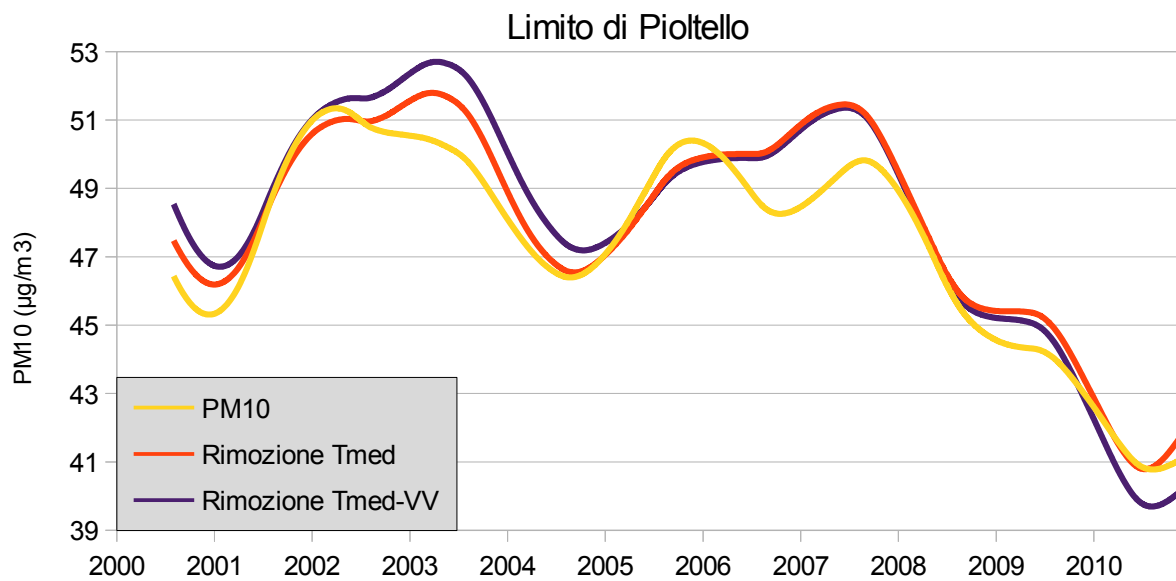
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,47	0
Rmed-Tmed	0,47	0
Rmax-UR	0,43	0
Rmed-UR	0,43	0
Tmax-UR	0,47	0
Tmed-UR	0,46	0
Rmax-VV	0,41	0
Rmed-VV	0,41	0
Tmax-VV	0,47	0
Tmed-VV	0,46	0
UR-VV	0,09	0



LIMITO DI PIOLTELLO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,62	0,01
Rmed	0,6	0,01
Tmax	0,71	0,05
Tmed	0,73	0,01
UR	0,4	0,01
VV	0,14	0,13
Precip	0,23	0,03

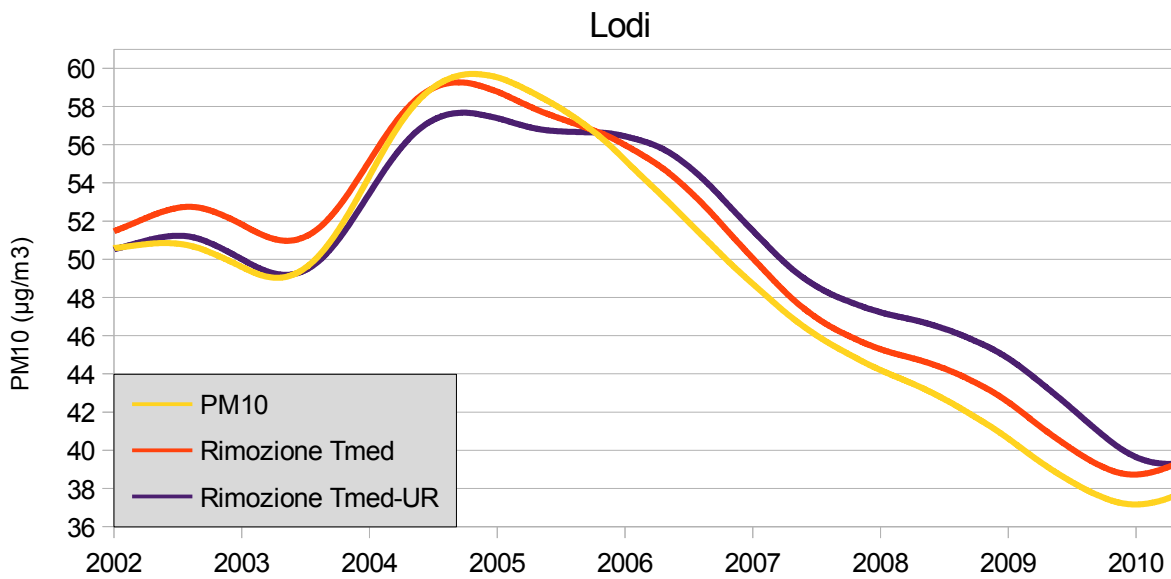
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,71	0,05
Rmed-Tmed	0,73	0,01
Rmax-UR	0,63	0,04
Rmed-UR	0,61	0,05
Tmax-UR	0,71	0,1
Tmed-UR	0,73	0,03
Rmax-VV	0,62	0,14
Rmed-VV	0,60	0,14
Tmax-VV	0,71	0,18
Tmed-VV	0,74	0,15
UR-VV	0,41	0,13



LODI

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,54	0
Rmed	0,55	0
Tmax	0,58	0,03
Tmed	0,61	0,01
UR	0,01	0,01
VV	-	-
Precip	0,01	0

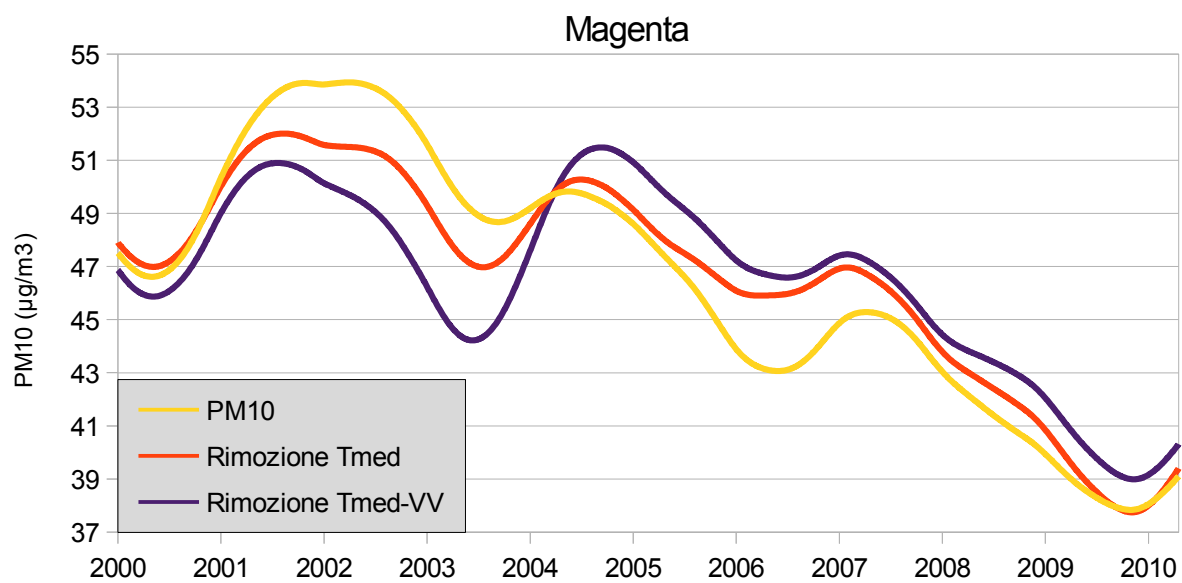
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,59	0,03
Rmed-Tmed	0,62	0,01
Rmax-UR	0,59	0,02
Rmed-UR	0,6	0,02
Tmax-UR	0,59	0,05
Tmed-UR	0,63	0,02
Rmax-VV	-	-
Rmed-VV	-	-
Tmax-VV	-	-
Tmed-VV	-	-
UR-VV	-	-



MAGENTA

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,48	0,01
Rmed	0,5	0,01
Tmax	0,6	0,05
Tmed	0,65	0,02
UR	0,27	0
VV	0,4	0,13
Precip	0,28	0,02

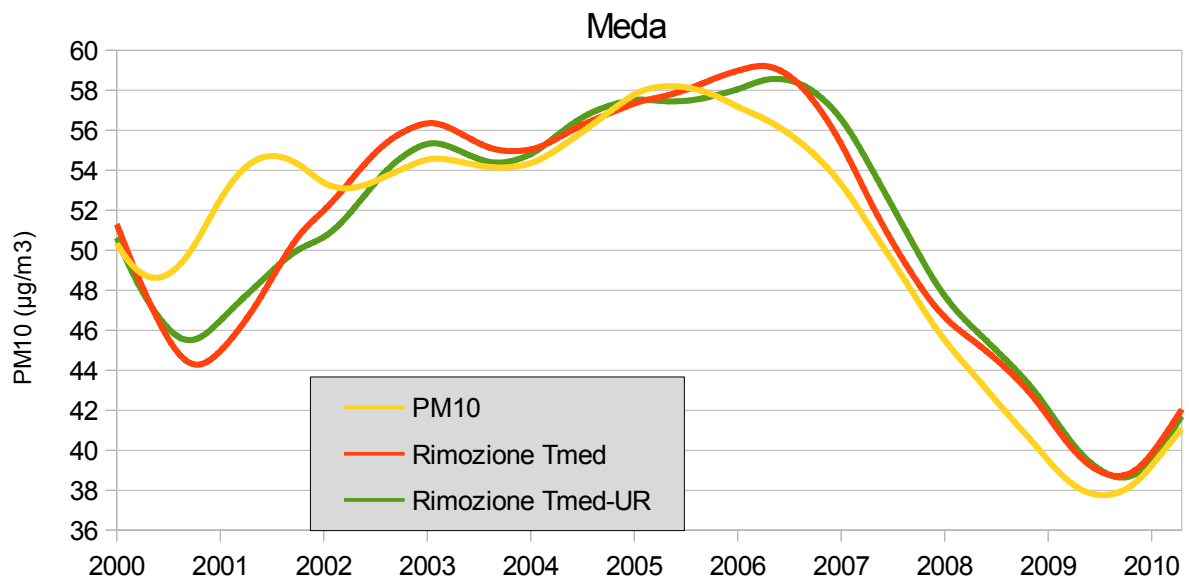
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,61	0,06
Rmed-Tmed	0,66	0,02
Rmax-UR	0,49	0,01
Rmed-UR	0,51	0,02
Tmax-UR	0,6	0,08
Tmed-UR	0,65	0,02
Rmax-VV	0,51	0,15
Rmed-VV	0,53	0,15
Tmax-VV	0,64	0,18
Tmed-VV	0,69	0,15
UR-VV	0,4	0,15



MEDA

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,57	0,01
Rmed	0,56	0,01
Tmax	0,62	0,04
Tmed	0,65	0,01
UR	0,17	0
VV	0,15	0,15
Precip	0,25	0,03

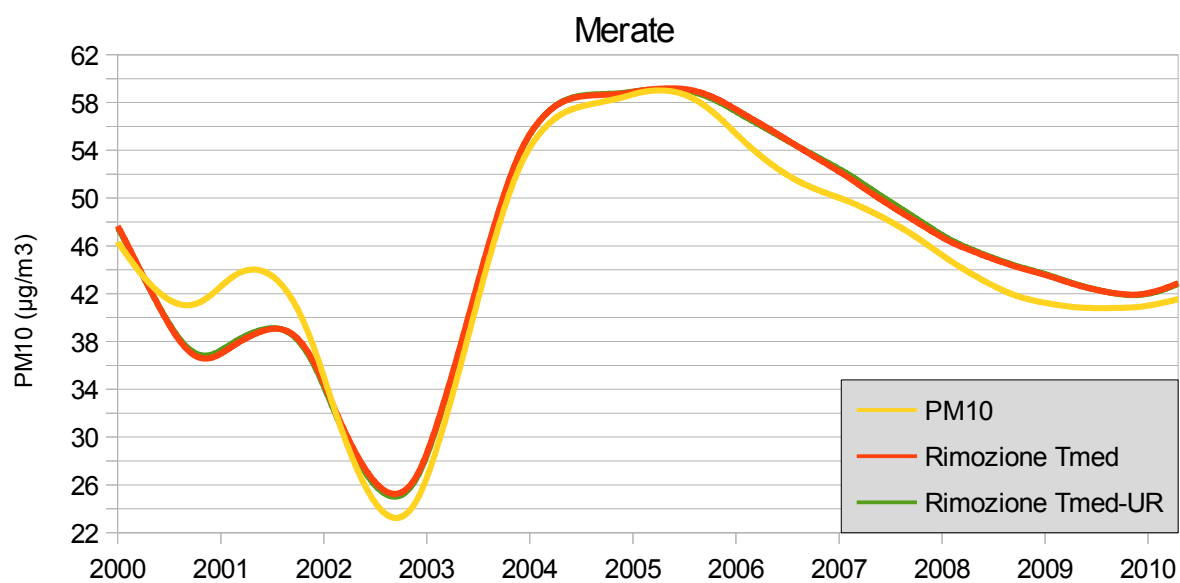
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,63	0,05
Rmed-Tmed	0,66	0,02
Rmax-UR	0,57	0,02
Rmed-UR	0,56	0,03
Tmax-UR	0,63	0,07
Tmed-UR	0,66	0,02
Rmax-VV	0,57	0,17
Rmed-VV	0,57	0,17
Tmax-VV	0,63	0,2
Tmed-VV	0,65	0,17
UR-VV	0,22	0,16



MERATE

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,33	0
Rmed	0,34	0
Tmax	0,39	0,02
Tmed	0,42	0,01
UR	0,07	0,01
VV	0,08	0,11
Precip	0,11	0,01

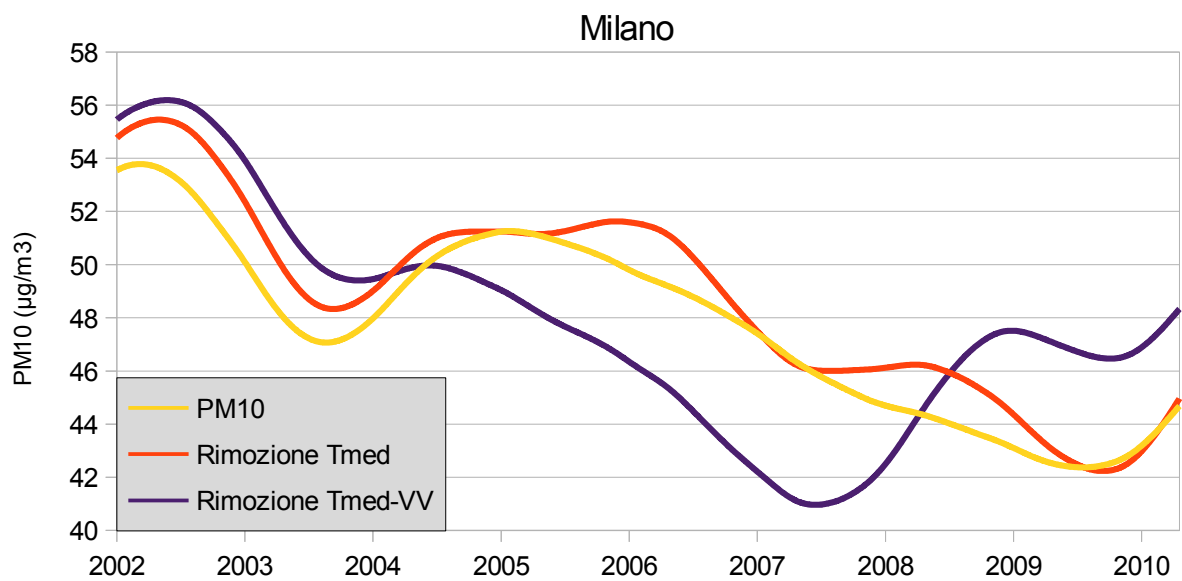
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,39	0,03
Rmed-Tmed	0,42	0,01
Rmax-UR	0,34	0,02
Rmed-UR	0,35	0,02
Tmax-UR	0,39	0,05
Tmed-UR	0,42	0,03
Rmax-VV	0,34	0,11
Rmed-VV	0,34	0,11
Tmax-VV	0,39	0,13
Tmed-VV	0,42	0,12
UR-VV	0,1	0,11



MILANO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,57	0
Rmed	0,57	0
Tmax	0,57	0,03
Tmed	0,58	0,03
UR	0,2	0,01
VV	0,28	0,13
Precip	0,03	0,03

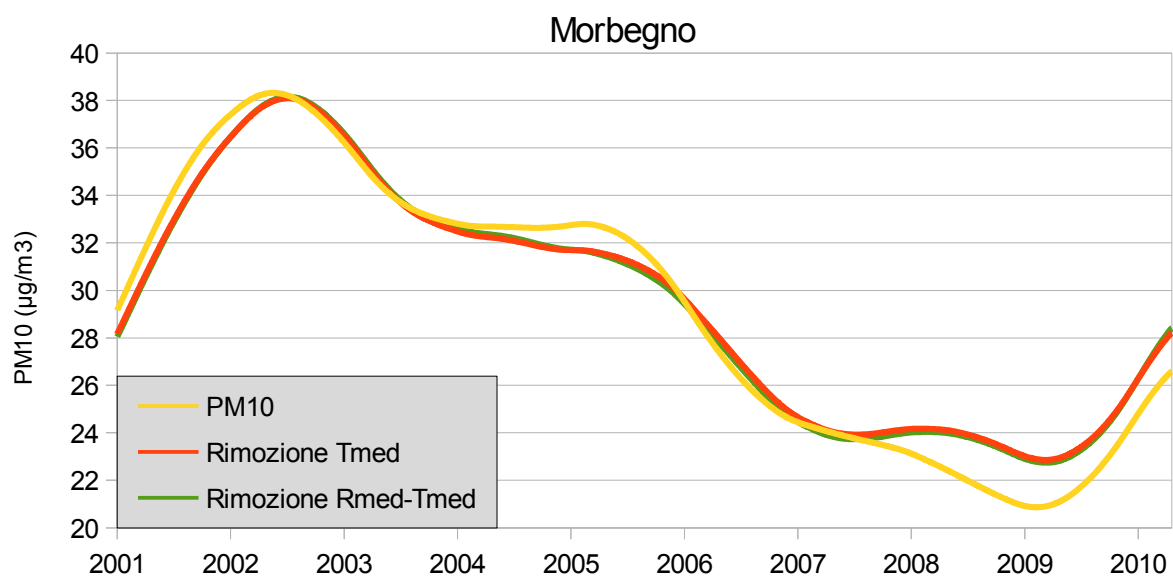
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,6	0,04
Rmed-Tmed	0,61	0,03
Rmax-UR	0,59	0,02
Rmed-UR	0,59	0,02
Tmax-UR	0,57	0,06
Tmed-UR	0,58	0,05
Rmax-VV	0,58	0,13
Rmed-VV	0,58	0,13
Tmax-VV	0,63	0,16
Tmed-VV	0,64	0,15
UR-VV	0,36	0,13



MORBEGNO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,39	0,09
Rmed	0,38	0,05
Tmax	0,57	0,02
Tmed	0,6	0
UR	-	-
VV	0,36	0,27
Precip	0,31	0

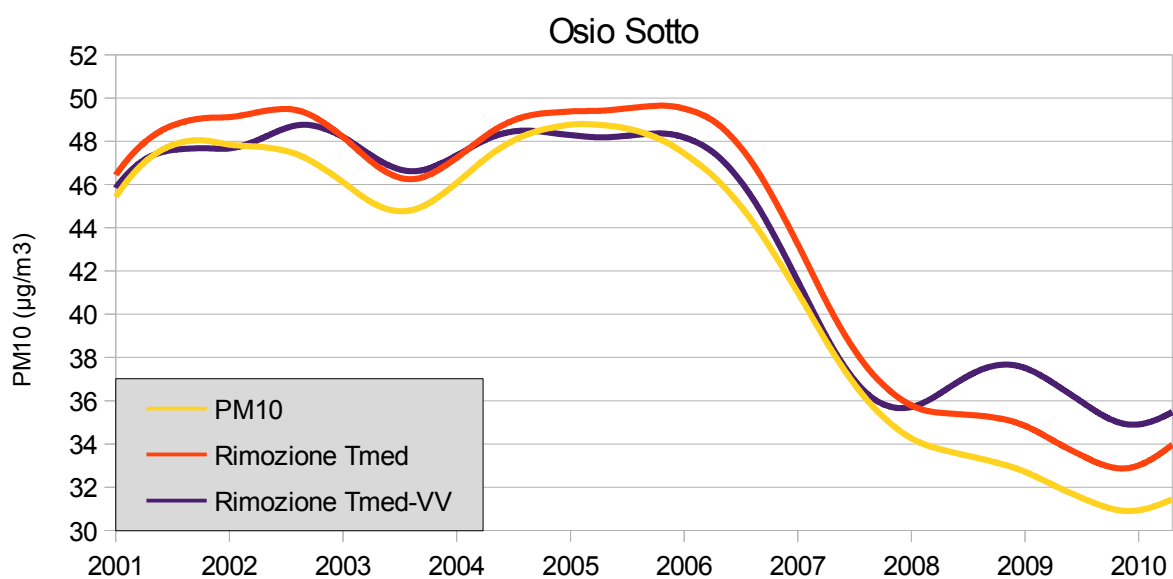
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,58	0,1
Rmed-Tmed	0,6	0,07
Rmax-UR	-	-
Rmed-UR	-	-
Tmax-UR	-	-
Tmed-UR	-	-
Rmax-VV	0,41	0,27
Rmed-VV	0,41	0,27
Tmax-VV	0,57	0,28
Tmed-VV	0,6	0,3
UR-VV	-	-



OSIO SOTTO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,36	0
Rmed	0,36	0,01
Tmax	0,45	0,05
Tmed	0,47	0,03
UR	0,16	0
VV	0,29	0,09
Precip	0,25	0,04

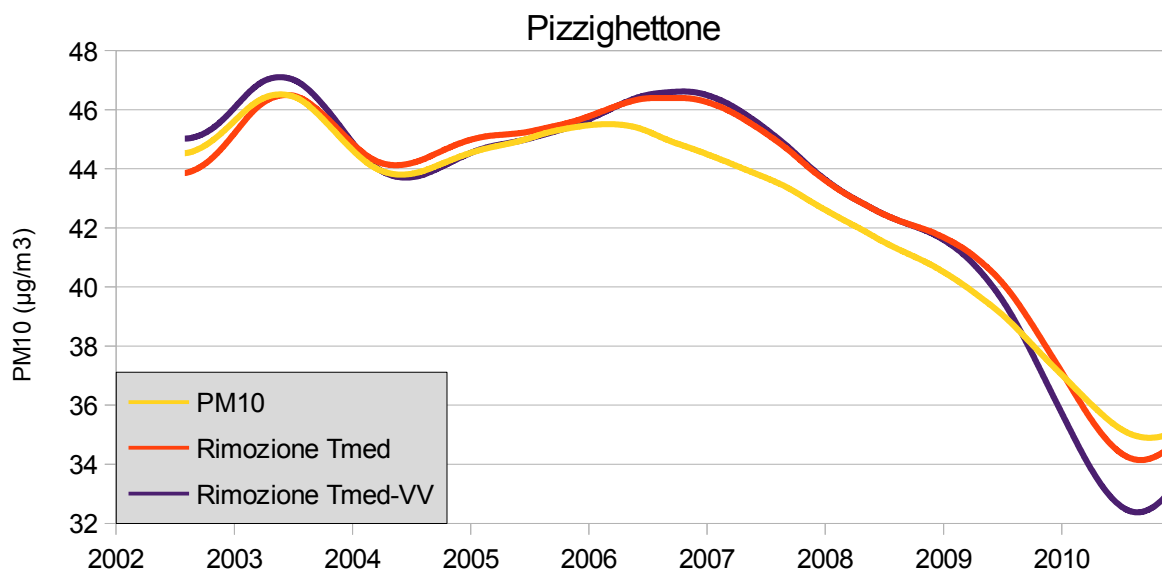
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,45	0,06
Rmed-Tmed	0,47	0,03
Rmax-UR	0,36	0,01
Rmed-UR	0,37	0,01
Tmax-UR	0,45	0,06
Tmed-UR	0,47	0,04
Rmax-VV	0,4	0,1
Rmed-VV	0,4	0,1
Tmax-VV	0,51	0,16
Tmed-VV	0,53	0,14
UR-VV	0,3	0,1



PIZZIGHETTONE

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,3	0,01
Rmed	0,3	0,01
Tmax	0,4	0,06
Tmed	0,45	0,01
UR	0,09	0
VV	0	0,16
Precip	0,02	0,04

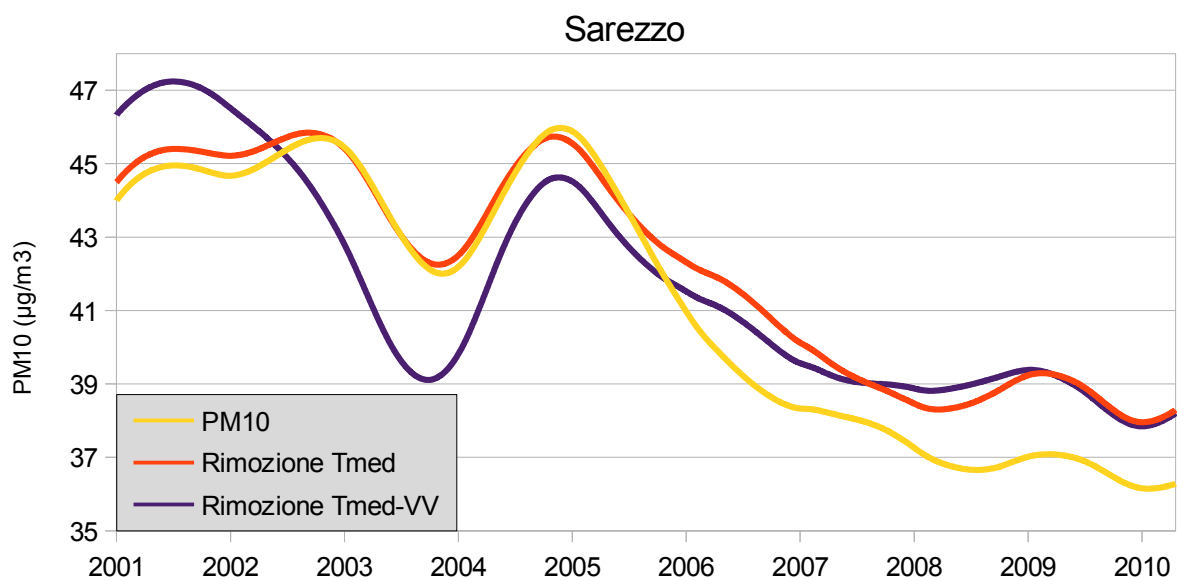
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,4	0,07
Rmed-Tmed	0,45	0,02
Rmax-UR	0,31	0,01
Rmed-UR	0,3	0,01
Tmax-UR	0,4	0,07
Tmed-UR	0,45	0,01
Rmax-VV	0,3	0,16
Rmed-VV	0,3	0,16
Tmax-VV	0,42	0,21
Tmed-VV	0,47	0,18
UR-VV	0,09	0,16



SAREZZO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	*0,43	*0
Rmed	*0,44	*0
Tmax	0,53	0,01
Tmed	0,65	0,02
UR	0,29	0,01
VV	0,34	0,07
Precip	0,01	0,03

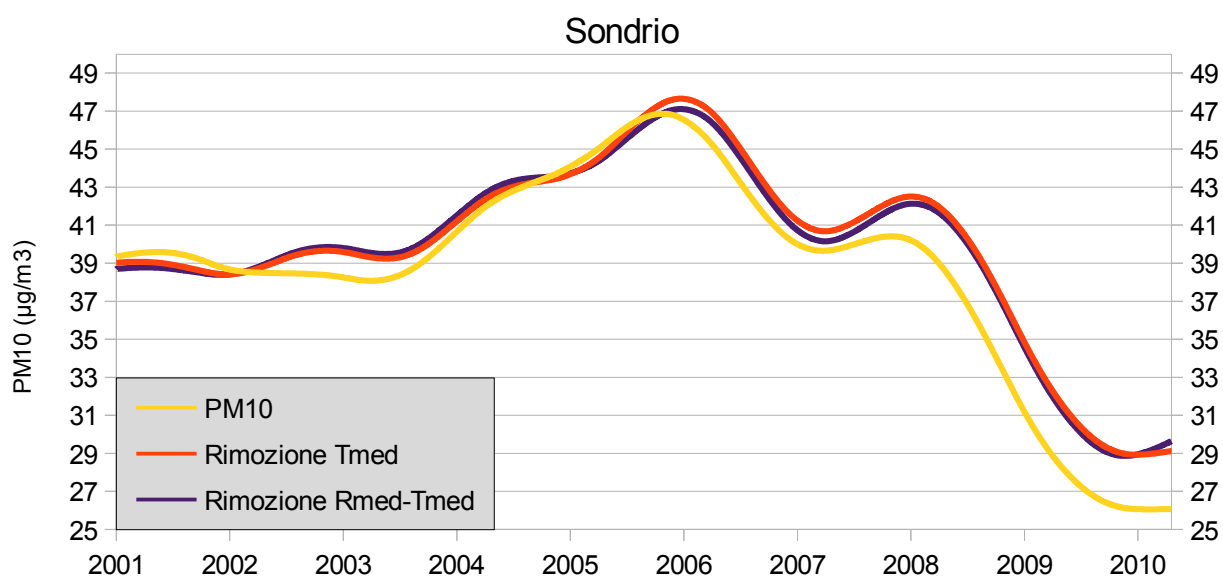
RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	-	-
Rmed-Tmed	-	-
Rmax-UR	-	-
Rmed-UR	-	-
Tmax-UR	0,56	0,04
Tmed-UR	0,66	0,04
Rmax-VV	-	-
Rmed-VV	-	-
Tmax-VV	0,56	0,08
Tmed-VV	0,68	0,1
UR-VV	0,41	0,07



SONDRIO

RQ		
Var. Singola	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax	0,37	0,05
Rmed	0,37	0,03
Tmax	0,59	0
Tmed	0,62	0,02
UR	-	-
VV	0,4	0,16
Precip	0,27	0

RQ		
Var. Doppia	e(t)+S(t)	W(t)
Rmax-Tmax	0,6	0,08
Rmed-Tmed	0,63	0,09
Rmax-UR	-	-
Rmed-UR	-	-
Tmax-UR	-	-
Tmed-UR	-	-
Rmax-VV	0,42	0,16
Rmed-VV	0,41	0,16
Tmax-VV	0,59	0,19
Tmed-VV	0,62	0,21
UR-VV	-	-



BIBLIOGRAFIA

Extending the Kolmogorov-Zurbenko Filter: Applicatio to Ozone, Particulate Matter, and Meteorological Trends

Erika K. Wise and Andrew C. Comrie

J. Air &Waste Manage. Assoc. 55:1208-1216 /August 2005

Evaluating the effectiveness of ozone management efforts in the presence of meteorological variability

Meghan L. Milanchus, S. Trivikrama Rao and Igor G. Zurbenko

J. Air &Waste Manage. Assoc. 48:201-215 / March 1998

Detecting and tracking changes in ozone air quality

S. Trivikrama Rao and Igor G. Zurbenko

J. Air &Waste Manage. Assoc. 44:1089-1092 / September 1994

Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia 2010-2011

ARPA Lombardia

Impatto sanitario di PM10 e Ozono in 13 città italiane

APAT

Qualità dell'aria nelle città auropee, anni 2004-2008

ISTAT

Risultati regionali inventario 2008

INEMAR

Linee guida per la predisposizione delle reti di monitoraggio della qualità dell'aria in Italia

APAT

Sito ARPA Lombardia