



Regione Toscana

CNR-IBIMET / LaMMA



**Convenzione tra Regione Toscana e CNR-IBIMET per la
caratterizzazione meteoroclimatica e la realizzazione di
applicazioni di modellistica diffusionale nell'ambito del
progetto regionale sul PM_{10}
(progetto "PATOS")**

***Studio finalizzato all'individuazione dei parametri
meteorologici in grado di influenzare in modo
significativo i livelli di concentrazione di PM_{10}***

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Giovanni Gualtieri

30 luglio 2005

Indice

Introduzione	3
1. Analisi delle serie storiche	4
1.1 La base-dati	4
1.2 Prime valutazioni sulla base-dati	7
1.3 Correlazioni ed analisi fattoriale	14
2. Individuazione degli indicatori meteorologici	25
2.1 I dati meteorologici	25
2.2 Correlazioni tra i dati meteorologici e le misure di PM ₁₀	28
2.2.1 <i>Velocità del vento</i>	32
2.2.2 <i>Temperatura</i>	33
2.2.3 <i>Pioggia</i>	34
2.3 Valori-soglia per gli indicatori meteorologici	39
Conclusioni	46
Bibliografia	49

Introduzione

Le condizioni meteorologiche, come è noto, influenzano fortemente i fenomeni di inquinamento atmosferico: in effetti, le concentrazioni misurate possono essere molto diverse a seconda che si realizzino o meno condizioni favorevoli all'accumulo in aria delle sostanze emesse.

In questo studio, che si inquadra all'interno del progetto "PATOS", l'attenzione è incentrata sull'inquinamento dovuto al particolato fine, il PM_{10} , e lo scopo consiste nell'individuare, sulla base di misure rilevate nel corso di cinque anni, i parametri meteorologici che influenzano in modo più significativo l'accumulo o la dispersione di questo inquinante.

Il lavoro ha richiesto l'analisi di una base-dati costituita dalle misure di PM_{10} rilevate sull'intero territorio regionale dalla rete di monitoraggio gestita da ARPAT, e dalle misure delle principali variabili meteorologiche registrate da alcune stazioni a terra, nell'arco temporale compreso tra il 1° gennaio 2000 ed il 31 dicembre 2004.

I dati delle stazioni chimiche sono stati forniti dalla Regione Toscana, attraverso il sistema informativo SIRA, mentre i dati meteorologici, oltre a quelli misurati dalla stazione meteo del LaMMA, sono stati forniti da ARPAT e dall'Aeronautica Militare.

I risultati ottenuti potranno servire per ampliare il quadro conoscitivo del fenomeno rappresentato dall'inquinamento da PM_{10} ; in particolare, potranno costituire una base per caratterizzare, dal punto di vista delle condizioni meteorologiche e della relativa capacità dispersiva dell'atmosfera, il periodo in cui si svolgerà la campagna di misura prevista dal progetto "PATOS".

1. Analisi delle serie storiche

Per effettuare in modo corretto le elaborazioni statistiche finalizzate ad individuare una relazione tra le condizioni meteorologiche e le concentrazioni di PM₁₀, è necessario procedere ad una analisi del campione di dati che verranno utilizzati.

Questa prima analisi ha lo scopo non solo di valutare la bontà del campione, ma soprattutto di evidenziare le similitudini tra le serie storiche misurate nelle diverse centraline, in modo da individuare sul territorio regionale delle aree omogenee.

In particolare, le seguenti analisi avranno lo scopo di determinare gruppi omogenei di stazioni, per i quali individuare i fattori meteorologici che determinano l'accumulo o la dispersione del PM₁₀.

1.1 La base-dati

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria della regione Toscana è costituita da un numero consistente di stazioni di misura: in particolare, le stazioni che misurano PM₁₀ sono circa 40. Nel corso dei cinque anni in esame questo numero è variato, passando dagli iniziali 25 siti di misura agli attuali 45. Il numero complessivo, relativo al periodo 2000-2004, è pari a 47 stazioni¹.

Questa continua variazione nel numero delle stazioni rappresenta una prima difficoltà che si incontra nella trattazione dei dati; inoltre la percentuale dei dati validi misurati nelle singole stazioni molto spesso è inferiore al 75%.

Tab. 1 – Tabella con *n* stazioni e dati disponibili.

Periodo	Numero stazioni	Numero stazioni con 75% dei dati validi
2000	25	15
2001	28	19
2002	39	26
2003	45	31
2004	45	34
2000-2004	47	15

¹ Alcune stazioni, nel corso degli anni, sono state riallocate.

Nella tabella precedente viene riportato, per ciascun anno e per l'intero periodo, il numero di stazioni presenti sul territorio ed il numero di queste che ha almeno il 75% di dati validi: si può notare che solo una parte delle stazioni soddisfa questa condizione. In effetti, se questa condizione fosse vincolante, solamente 15 stazioni potrebbero essere considerate: naturalmente, se si imponesse come ulteriore vincolo anche la presenza simultanea dei dati nelle 15 stazioni, il campione da analizzare si ridurrebbe ulteriormente, tanto da rendere impraticabile qualsiasi elaborazione statistica. Per questi motivi si è ritenuto opportuno utilizzare tutti i dati, pur nella consapevolezza che si opera con un campione non omogeneo.

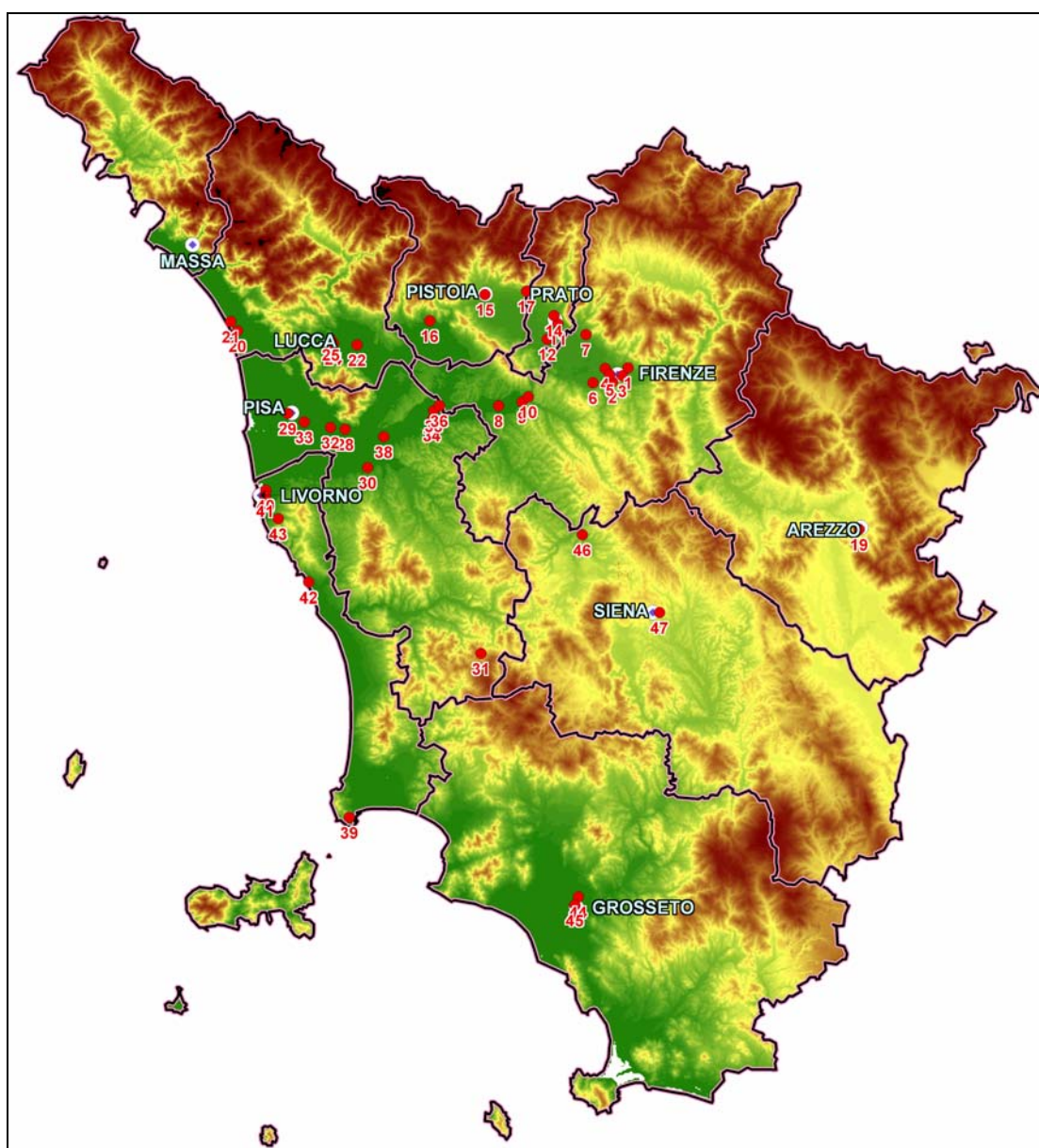


Fig. 1 - Ubicazione delle centraline di monitoraggio del PM₁₀ nella regione Toscana.

Nella figura 1 è riportata la mappa del territorio regionale con l'indicazione della posizione delle centraline di monitoraggio, mentre nella tabella 2 sono indicate le

principali caratteristiche delle stazioni stesse: per ciascuna centralina è riportato un numero identificativo, il nome, la località, la provincia, l'ubicazione, il tipo, le coordinate geografiche e la sigla identificativa che verrà utilizzata nelle seguenti elaborazioni.

Tab. 2 – Elenco delle stazioni di misura del PM_{10} nella regione Toscana.

N°	NOME	LOCALITA'	PROVINCIA	UBICAZIONE	TIPO	X_UTM	Y_UTM	ID
1	FI BASSI	Firenze	FI	v. Bassi	B	683896	4850571	FIBASSI
2	FI BOBOLI	Firenze	FI	v. Boboli	A	680584	4847554	FIBOB
3	FI GRAMSCI	Firenze	FI	v.le Gramsci	C	682669	4848861	FIGRA
4	FI MOSSE	Firenze	FI	v. Ponte alle Mosse	C	679057	4850389	FIMOSS
5	FI ROSSELLI	Firenze	FI	v.le Rosselli	C	679991	4849138	FIROSS
6	FI SCANDICCI	Scandicci	FI	v. Buozzi		676474	4847374	FISCAN
7	FI CALENZANO	Calenzano	FI	v. Boccaccio Loc. Settimello		674984	4857624	FICALEN
8	FI EMPOLI RIDOLFI	Empoli	FI	v. Ridolfi	C	656495	4842469	FIEMPO
9	FI MONTELUPO PRATELLE	Montelupo F.	FI	v. del lavoro Loc. Pratele		661444	4843304	FIMPRA
10	FI MONTELUPO VIA MILANI	Montelupo F.	FI	v. don Milani	B	662736	4844369	FIMMIL
11	PO FERRUCCI	Prato	PO	v. Ferrucci	C	669003	4859829	POFER
12	PO FONTANELLE	Prato	PO	v. Soffici-Fontanelle	B	666756	4856621	POFON
13	PO ROMA	Prato	PO	v. Roma				POROM
14	POSTROZZI	Prato	PO	v. Strozzi		668194	4861634	POSTR
15	PT ZAMENHOF	Pistoia	PT	v. Zamenhof		653584	4866054	PTZAM
16	PT MERLINI	Montecatini	PT	v. Merlini		641925	4860520	PTMER
17	PT MONTALE	Montale	PT	v. Pacinotti		662364	4866774	PTMON
18	AR FIORENTINA	Arezzo	AR	v. Fiorentina				ARFIOR
19	AR REPUBBLICA	Arezzo	AR	p.za della Repubblica	C	732774	4816304	ARREP
20	LU 1VIAREGGIO	Viareggio	LU	largo Risorgimento		601234	4858314	LU2VIA
21	LU 2VIAREGGIO	Viareggio	LU	v. Maroncelli		599784	4860294	LU1VIA
22	LU CAPANNORI	Capannori	LU	v. Carlo Piaggia		626504	4855354	LUCAP
23	LU CASTRACANI		LU					
24	LU MICHELETTO	Lucca	LU	p.za S. Micheletto		621524	4855634	LUMIC
25	LU PASSAGLIA	Lucca	LU	v. Passaglia		620937	4856532	LUPAS
26	LU TANGENZIALE		LU					LUTAN
27	PI BORGHETTO		PI					PIBOR
28	PI CASCINA	Cascina	PI	v. Tosco-emiliana		623974	4837484	PICASC
29	PI FAZIO	Pisa	PI	v. Conte Fazio		611834	4840824	PIFAZI
30	PI LARI	Lari	PI	v. Toscana Loc. Perignano		628804	4829324	PILARI
31	PI MONTECERBOLIBIS	Pomarance	PI	cimitero Loc. Montecerbol		652774	4790024	PIMCER
32	PI NAVACCHIO	Cascina	PI	v. Tosco-emiliana Loc. Navacchio		620905	4837884	PINAVA
33	PI ORATOIO	Pisa	PI	Campo Sportivo Loc. Oratoio		615354	4838994	PIORAT
34	PI SANROMANO	Montopoli v.A.	PI	v. Gramsci Loc. S. Romano		642384	4839424	PISRO
35	PI SANTACROCE COOP	S. Croce s.A.	PI	v. del Concilio		642754	4841374	PISCOCCO
36	PI SANTACROCE SERAO	S. Croce s.A.	PI	p.za Matilde Serao		643954	4842524	PISCSE
37	PI SCOTTO		PI					
38	PI PONTEDERA	Pontedera	PI	v. della Misericordia		632164	4835904	PIPONT
39	LI COTONE	Piombino	LI	Cotone		624934	4755234	LICOTO
40	LI GOBETTI	Livorno	LI	v. Gobetti		607234	4824544	LIGOB
41	LI CARDUCCI	Livorno	LI	v.le Carducci	C	607104	4823324	LICARD
42	LI VENETO	Rosignano M.	LI	v. Veneto Loc. Rosignano Solvay		616324	4805034	LIVENE
43	LI M.GORDATO	Livorno	LI	Villa Maurogordato		609874	4818464	LIMGO
44	GR URSS	Grosseto	GR	v. URSS		673464	4738424	GRURSS
45	GR SONNINO	Grosseto	GR	v.le Sonnino	C	672665	4736664	GRSON
46	SI CAMPIDOGLIO	Poggibonsi	SI	largo Campidoglio		674224	4815134	SICAM
47	SI DUEPONTI	Siena	SI	Loc. Due Ponti		690569	4798750	SIDUEP

In sintesi, la base-dati che verrà utilizzata è costituita da misure di concentrazione media giornaliera di PM_{10} , rilevate da un totale di 47 centraline, nel corso del quinquennio 2000-2004; tuttavia, come si è visto, il campione di dati validi è ridotto, ma costituisce comunque una ragionevole base-dati per lo studio².

² I dati validi sono pari a 51309, e rappresentano circa il 60% del campione totale, costituito da misure giornaliere effettuate da 47 stazioni, nel corso di 5 anni.

1.2 Prime valutazioni sulla base-dati

Una prima elaborazione dei dati consiste nel determinare, per le serie di dati misurati in tutte le centraline, alcuni semplici indicatori statistici, sia su base annua che per l'intero periodo considerato.

Nelle seguenti tabelle sono riportati - per ciascun anno e per il periodo complessivo - il numero di dati misurati in ciascuna centralina, la percentuale dei dati presenti, il valore di concentrazione media annua - normalizzata al numero di dati presenti - la deviazione standard ed il relativo valore percentuale. Sono riportati, inoltre, il numero dei superamenti rispetto al valore-soglia di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ed il relativo valore percentuale - normalizzato al numero di dati presenti.

Nella tabella 2 sono riportati gli indicatori statistici per gli anni 2000 e 2001, nella tabella 3 quelli relativi agli anni 2002 e 2003 ed infine nella tabella 4 i valori relativi al 2004 ed al periodo complessivo 2000-2004. Sono riportati inoltre in tabella 6, per l'intero periodo, gli indicatori ottenuti dalle serie storiche relative al semestre freddo (ottobre-marzo) ed al semestre caldo (aprile-settembre).

Per una visualizzazione più immediata, nel grafico in figura 2 sono riportati, per ciascun anno, i valori medi annui misurati in ciascuna centralina.

Questo insieme di indicatori mostra una situazione molto diversificata: per quanto riguarda i valori medi annui si passa da valori inferiori a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in stazioni come Montecerboli (PI) o M. Gordato (LI), a valori anche superiori a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in stazioni come Rosselli (FI) o Carducci (LI).

In generale, come si può notare dal grafico in fig. 3, non si osserva nel corso dei cinque anni in esame nessun tipo di tendenza, relativa ad un aumento o ad una diminuzione generalizzata.

In alcune stazioni - ad esempio quelle di Empoli, Calenzano, Scandicci, Ferrucci (PO), oltre a molte in provincia di Pisa ed in provincia di Livorno - i valori medi annui sono molto simili in ciascuno dei cinque anni, mentre in altri casi si verificano delle variazioni notevoli. Questo è il caso della stazione Rosselli (FI), arteria in cui nel periodo in esame sono stati effettuati lavori che hanno modificato in modo sostanziale l'assetto viario, il che ha determinato evidentemente delle apprezzabili variazioni nel valore delle concentrazioni di PM_{10} misurate.

Le notevoli differenze tra i valori di concentrazione media annua possono quindi, in alcuni casi, essere attribuiti a modifiche nell'area vicina alla centralina di misura (es. presenza di cantieri, modifiche della circolazione stradale, etc.), mentre in altri casi le

differenze registrate sono probabilmente imputabili alla sostituzione o alla calibrazione del sistema di campionamento e misura automatico.

In effetti, un ulteriore problema che si presenta nell'utilizzo di questa base-dati consiste nel fatto che le misure di PM₁₀ non sono necessariamente effettuate con lo stesso tipo di strumentazione; inoltre, anche nel caso in cui gli strumenti di misura siano uguali, le misure non sono, a rigore, direttamente confrontabili, dal momento che non è stata effettuata una intercalibrazione all'interno della rete di monitoraggio.

Senza una conoscenza della singola realtà territoriale e delle particolari problematiche presenti è difficile valutare la bontà dei dati e, soprattutto, non è possibile stabilire la reale rappresentatività territoriale della singola stazione.

A questo proposito citiamo due esempi, il caso di Arezzo e di Viareggio: in entrambe le aree cittadine sono presenti due centraline, vicine spazialmente ma molto differenti sia per i valori assoluti di concentrazione misurati, sia per l'andamento temporale delle serie storiche. Un altro esempio può essere rappresentato dalla centralina di Montale (PT), in cui vengono misurati dei valori di concentrazione molto alti – 54 µg/m³ nel 2002, 53 µg/m³ nel 2003 – mentre il valore medio annuo si riduce drasticamente nel 2004 (38 µg/m³).

In questi casi non è possibile dedurre, senza conoscere ulteriori elementi, quale sia la causa di queste apparenti incongruenze.

Questa preliminare analisi del campione ha quindi evidenziato una serie di elementi che possono risultare problematici, in quanto rendono il campione non omogeneo:

- il numero di stazioni varia nel tempo (da 25 siti di misura del 2000 a 45 nel 2004);
- la percentuale di dati validi registrati in ciascuna centralina è spesso inferiore al 75%;
- le misure di PM₁₀ non sono necessariamente effettuate con lo stesso tipo di strumentazione;
- nel periodo in esame non è stata effettuata una intercalibrazione all'interno della rete di monitoraggio;
- in alcuni casi si sono verificati dei cambiamenti sostanziali nelle aree circostanti alle stazioni (es. presenza di cantieri, modifiche della circolazione stradale, etc.).

Tab. 3 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate negli anni 2000 e 2001.

STAZIONI		2000							2001						
n°	nome	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50
1	FI BASSI	315	86	51	20	0.39	157	0.50	341	93	40	18	0.45	93	0.27
2	FI BOBOLI	72	20	38	20	0.54	17	0.24	358	98	36	18	0.49	56	0.16
3	FI GRAMSCI	168	46	62	27	0.44	108	0.64	226	62	31	11	0.34	9	0.04
4	FI MOSSE	226	62	50	30	0.59	96	0.42	162	44	31	13	0.42	16	0.10
5	FI ROSSELLI	76	21	47	20	0.42	34	0.45	285	78	35	13	0.38	39	0.14
6	FI SCANDICCI								315	86	41	20	0.49	75	0.24
7	FI CALENZANO														
8	FI EMPOLI RIDOLFI	347	95	26	10	0.40	4	0.01	349	96	30	13	0.43	27	0.08
9	FI MONTELUPO PRATELLE								99	27	38	14	0.36	21	0.21
10	FI MONTELUPO VIA MILANI	317	87	23	10	0.45	2	0.01	40	11	22	9	0.40	0	0.00
11	PO FERRUCCI	326	89	32	22	0.69	55	0.17	342	94	30	15	0.48	35	0.10
12	PO FONTANELLE	219	60	38	31	0.82	48	0.22	351	96	34	26	0.76	55	0.16
13	PO ROMA	332	91	32	23	0.72	62	0.19	318	87	23	19	0.82	25	0.08
14	POSTROZZI	288	79	47	30	0.65	101	0.35	290	79	41	25	0.60	87	0.30
15	PT ZAMENHOF														
16	PT MERLINI														
17	PT MONTALE														
46	AR FIORENTINA														
18	AR REPUBBLICA	352	96	24	10	0.41	13	0.04	353	97	21	7	0.33	2	0.01
19	LU 1VIAREGGIO								125	34	35	13	0.36	19	0.15
20	LU 2VIAREGGIO														
21	LU CAPANNORI	170	46	30	9	0.30	4	0.02	286	78	32	11	0.36	18	0.06
22	LU CASTRACANI														
23	LU MICHELETTO	100	27	22	14	0.65	5	0.05	109	30	26	14	0.55	7	0.06
24	LU PASSAGLIA								113	31	32	16	0.49	13	0.12
25	LU TANGENZIALE	264	72	37	16	0.45	59	0.22	162	44	29	18	0.60	23	0.14
26	PI BORGHETTO	348	95	35	18	0.51	66	0.19	362	99	29	12	0.42	25	0.07
27	PI CASCINA	341	93	49	21	0.43	149	0.44	337	92	43	17	0.38	102	0.30
28	PI FAZIO	329	90	35	15	0.41	51	0.16							
29	PI LARI														
30	PI MONTECERBOLIBIS														
31	PI NAVACCHIO	302	83	46	23	0.51	105	0.35	342	94	48	21	0.44	135	0.39
32	PI ORATOIO														
33	PI SANROMANO	354	97	35	16	0.46	69	0.19	339	93	31	14	0.44	34	0.10
34	PI SANTACROCE COOP	325	89	28	14	0.49	24	0.07	342	94	22	9	0.43	5	0.01
35	PI SANTACROCE SERAO	325	89	57	30	0.54	154	0.47	340	93	27	14	0.53	28	0.08
36	PI SCOTTO	350	96	35	18	0.50	62	0.18							
47	PI PONTEDERA														
37	LI COTONE	140	38	42	22	0.52	39	0.28	281	77	39	17	0.42	69	0.25
38	LI GOBETTI														
39	LI CARDUCCI														
40	LI VENETO														
41	LI M.GORDATO														
42	GR URSS	258	70	33	18	0.55	54	0.21	344	94	25	11	0.45	12	0.03
43	GR SONNINO														
44	SI CAMPIDOGLIO								175	48	48	23	0.47	60	0.34
45	SI DUEPONTI														

Tab. 4 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate negli anni 2002 e 2003.

STAZIONI		2002							2003						
n°	nome	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50
1	FI BASSI	299	82	43	21	0.50	93	0.31	200	55	39	18	0.48	50	0.25
2	FI BOBOLI	281	77	38	19	0.52	54	0.19	136	37	31	13	0.42	15	0.11
3	FI GRAMSCI	262	72	52	15	0.29	129	0.49	165	45	53	23	0.43	86	0.52
4	FI MOSSE	162	44	38	20	0.52	36	0.22	123	34	29	12	0.40	8	0.07
5	FI ROSSELLI	288	79	47	25	0.53	114	0.40	112	31	64	22	0.35	82	0.73
6	FI SCANDICCI	284	78	43	24	0.56	73	0.26	277	76	40	22	0.54	74	0.27
7	FI CALENZANO	164	45	38	20	0.54	34	0.21	287	79	42	24	0.58	66	0.23
8	FI EMPOLI RIDOLFI	338	93	26	13	0.49	17	0.05	359	98	22	11	0.49	12	0.03
9	FI MONTELUPO PRATELLE	151	41	47	17	0.36	69	0.46	196	54	50	23	0.46	89	0.45
10	FI MONTELUPO VIA MILANI	161	44	31	15	0.47	14	0.09	340	93	36	14	0.40	47	0.14
11	PO FERRUCCI	355	97	30	16	0.52	32	0.09	350	96	33	14	0.43	35	0.10
12	PO FONTANELLE	171	47	40	31	0.77	34	0.20	340	93	43	29	0.67	100	0.29
13	PO ROMA	319	87	29	28	0.97	49	0.15	319	87	20	18	0.91	30	0.09
14	POSTROZZI	294	81	55	53	0.96	120	0.41	283	78	38	29	0.76	63	0.22
15	PT ZAMENHOF	318	87	22	19	0.87	18	0.06	338	93	29	23	0.79	40	0.12
16	PT MERLINI	306	84	42	29	0.69	80	0.26	348	95	41	23	0.56	78	0.22
17	PT MONTALE	338	93	54	38	0.70	129	0.38	256	70	53	32	0.61	106	0.41
46	AR FIORENTINA														
18	AR REPUBBLICA	356	98	20	7	0.36	1	0.00	349	96	30	9	0.29	13	0.04
19	LU 1VIAREGGIO	274	75	57	22	0.40	155	0.57	258	71	71	26	0.37	206	0.80
20	LU 2VIAREGGIO	144	39	39	11	0.27	19	0.13	238	65	35	14	0.39	40	0.17
21	LU CAPANNORI	324	89	34	15	0.45	55	0.17	325	89	40	22	0.56	80	0.25
22	LU CASTRACANI								271	74	40	15	0.37	49	0.18
23	LU MICHELETTO	270	74	31	15	0.46	25	0.09	305	84	32	17	0.52	48	0.16
24	LU PASSAGLIA	292	80	34	19	0.56	40	0.14	253	69	36	16	0.45	50	0.20
25	LU TANGENZIALE	262	72	37	22	0.60	61	0.23	295	81	57	27	0.47	154	0.52
26	PI BORGHETTO	354	97	30	17	0.55	38	0.11	359	98	28	13	0.46	23	0.06
27	PI CASCINA	333	91	47	19	0.40	133	0.40	349	96	50	19	0.38	165	0.47
28	PI FAZIO								347	95	37	15	0.41	57	0.16
29	PI LARI								106	29	37	19	0.52	21	0.20
30	PI MONTECERBOLIBIS	164	45	15	10	0.69	1	0.01	341	93	19	9	0.47	0	0.00
31	PI NAVACCHIO	348	95	48	21	0.42	136	0.39	355	97	50	22	0.44	167	0.47
32	PI ORATOIO	135	37	39	17	0.44	29	0.21	348	95	40	19	0.48	96	0.28
33	PI SANROMANO	346	95	31	15	0.48	36	0.10	351	96	28	13	0.44	21	0.06
34	PI SANTACROCE COOP	344	94	26	12	0.47	13	0.04	350	96	28	13	0.44	22	0.06
35	PI SANTACROCE SERAO	309	85	32	18	0.56	38	0.12	359	98	30	14	0.46	29	0.08
36	PI SCOTTO								25	7	41	15	0.37	6	0.24
47	PI PONTEDERA														
37	LI COTONE	289	79	38	17	0.44	61	0.21	292	80	51	18	0.35	150	0.51
38	LI GOBETTI	286	78	29	12	0.39	14	0.05	346	95	32	12	0.38	23	0.07
39	LI CARDUCCI	279	76	50	17	0.34	124	0.44	359	98	50	17	0.34	165	0.46
40	LI VENETO	258	71	41	14	0.34	49	0.19	355	97	43	15	0.35	104	0.29
41	LI M.GORDATO	294	81	16	8	0.48	2	0.01	331	91	17	7	0.40	0	0.00
42	GR URSS	321	88	29	15	0.54	35	0.11	322	88	26	13	0.48	17	0.05
43	GR SONNINO	55	15	52	23	0.43	29	0.53	206	56	47	16	0.34	82	0.40
44	SI CAMPIDOGGIO								347	95	16	9	0.58	3	0.01
45	SI DUEPONTI								218	60	40	18	0.46	47	0.22

Tab. 5 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate negli anni 2004 e nel periodo 2000-2004.

STAZIONI		2004							2000-2004						
n°	nome	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50
1	FI BASSI	184	50	29	20	0.68	20	0.11	1339	73	42	21	0.50	413	0.31
2	FI BOBOLI	179	49	28	15	0.54	20	0.11	1026	56	35	18	0.51	162	0.16
3	FI GRAMSCI	168	46	35	15	0.41	26	0.15	989	54	46	22	0.47	358	0.36
4	FI MOSSE	198	54	43	25	0.57	56	0.28	871	48	40	24	0.59	212	0.24
5	FI ROSSELLI	173	47	82	43	0.52	130	0.75	934	51	52	31	0.59	399	0.43
6	FI SCANDICCI	347	95	38	20	0.53	76	0.22	1223	67	40	21	0.53	298	0.24
7	FI CALENZANO	357	98	40	23	0.59	83	0.23	808	44	40	23	0.58	183	0.23
8	FI EMPOLI RIDOLFI	334	92	22	12	0.53	11	0.03	1727	95	25	12	0.48	71	0.04
9	FI MONTELUPO PRATELLE	177	48	35	17	0.48	29	0.16	623	34	43	20	0.46	208	0.33
10	FI MONTELUPO VIA MILANI	342	94	35	16	0.45	54	0.16	1200	66	31	15	0.48	117	0.10
11	PO FERRUCCI	356	98	31	14	0.44	30	0.08	1729	95	31	16	0.52	187	0.11
12	PO FONTANELLE	330	90	39	25	0.64	92	0.28	1411	77	39	28	0.73	329	0.23
13	PO ROMA	359	98	38	30	0.78	87	0.24	1647	90	29	25	0.87	253	0.15
14	POSTROZZI	352	96	33	21	0.63	52	0.15	1507	83	43	34	0.80	423	0.28
15	PT ZAMENHOF	352	96	41	25	0.61	88	0.25	1008	55	31	24	0.77	146	0.14
16	PT MERLINI	320	88	42	24	0.58	91	0.28	974	53	42	25	0.61	249	0.26
17	PT MONTALE	345	95	38	24	0.64	76	0.22	939	51	48	33	0.68	311	0.33
46	AR FIORENTINA	346	95	29	16	0.54	34	0.10	346	19	29	16	0.54	34	0.10
18	AR REPUBBLICA	232	64	38	13	0.36	48	0.21	1642	90	26	11	0.43	77	0.05
19	LU 1VIAREGGIO	270	74	56	20	0.35	170	0.63	927	51	58	24	0.42	550	0.59
20	LU 2VIAREGGIO	363	99	29	13	0.46	33	0.09	745	41	33	14	0.41	92	0.12
21	LU CAPANNORI	277	76	34	20	0.60	55	0.20	1382	76	35	17	0.51	212	0.15
22	LU CASTRACANI								271	15	40	15	0.37	49	0.18
23	LU MICHELETTO	325	89	32	13	0.42	32	0.10	1109	61	30	15	0.50	117	0.11
24	LU PASSAGLIA	120	33	30	16	0.55	16	0.13	778	43	34	17	0.52	119	0.15
25	LU TANGENZIALE	279	76	57	22	0.39	157	0.56	1262	69	45	24	0.54	454	0.36
26	PI BORGHETTO	353	97	29	14	0.48	36	0.10	1776	97	30	15	0.50	188	0.11
27	PI CASCINA	361	99	43	19	0.43	112	0.31	1721	94	47	19	0.41	661	0.38
28	PI FAZIO	358	98	33	15	0.44	51	0.14	1034	57	35	15	0.42	159	0.15
29	PI LARI	356	98	32	21	0.68	56	0.16	462	25	33	21	0.64	77	0.17
30	PI MONTECERBOLIBIS	337	92	16	9	0.56	2	0.01	842	46	17	9	0.55	3	0.00
31	PI NAVACCHIO	333	91	47	23	0.49	125	0.38	1680	92	48	22	0.46	668	0.40
32	PI ORATOIO	352	96	36	18	0.50	74	0.21	835	46	38	19	0.49	199	0.24
33	PI SANROMANO	343	94	26	13	0.49	19	0.06	1733	95	30	15	0.48	179	0.10
34	PI SANTACROCE COOP	358	98	25	13	0.50	18	0.05	1719	94	26	12	0.48	82	0.05
35	PI SANTACROCE SERAO	345	95	26	15	0.56	21	0.06	1678	92	34	22	0.65	270	0.16
36	PI SCOTTO								375	21	35	18	0.50	68	0.18
47	PI PONTEDERA	360	99	25	12	0.49	16	0.04	360	20	25	12	0.49	16	0.04
37	LI COTONE	366	100	41	21	0.51	99	0.27	1368	75	42	19	0.46	418	0.31
38	LI GOBETTI	362	99	30	12	0.41	30	0.08	994	54	31	12	0.40	67	0.07
39	LI CARDUCCI	359	98	46	18	0.39	121	0.34	997	55	49	17	0.36	410	0.41
40	LI VENETO	342	94	37	14	0.38	58	0.17	955	52	40	14	0.36	211	0.22
41	LI M.GORDATO	355	97	17	7	0.44	1	0.00	980	54	17	7	0.44	3	0.00
42	GR URSS	248	68	36	12	0.34	39	0.16	1493	82	29	15	0.50	157	0.11
43	GR SONNINO	214	59	54	18	0.33	124	0.58	475	26	51	18	0.35	235	0.49
44	SI CAMPIDOGGIO	341	93	20	18	0.89	33	0.10	863	47	24	20	0.84	96	0.11
45	SI DUEPONTI	334	92	42	20	0.46	113	0.34	552	30	41	19	0.46	160	0.29

1. Analisi delle serie storiche

Tab. 6 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate nel semestre freddo (ottobre-marzo) e nel semestre caldo (aprile-settembre), nel periodo 2000-2004.

STAZIONI		inverno 2000-2004							estate 2000-2004							rap. I/E
n°	nome	dati validi	dati validi	media inverna	stand. Dev.	stand. D.	valori >5	valori >5	dati validi	dati validi	media estate	stand. Dev.	stand. D.	valori >5	valori >5	
1	FI BASSI	656	72	44	24	0.54	232	0.35	683	75	40	17	0.43	181	0.27	1.1
2	FI BOBOLI	546	60	65	21	0.33	139	0.25	480	53	30	11	0.37	23	0.05	2.2
3	FI GRAMSCI	474	52	95	24	0.25	222	0.47	515	56	42	18	0.44	136	0.26	2.3
4	FI MOSSE	470	52	72	27	0.38	179	0.38	401	44	31	13	0.43	33	0.08	2.3
5	FI ROSSELLI	526	58	92	28	0.30	246	0.47	408	45	51	35	0.68	153	0.38	1.8
6	FI SCANDICCI	645	71	76	25	0.33	258	0.40	578	63	32	12	0.36	40	0.07	2.4
7	FI CALENZANO	429	47	76	29	0.38	161	0.38	379	42	33	11	0.33	22	0.06	2.3
8	FI EMPOLI RIDOLFI	862	95	50	14	0.27	63	0.07	865	95	22	10	0.43	8	0.01	2.3
9	FI MONTELUPO PRATELLE	305	33	88	23	0.26	120	0.39	318	35	43	16	0.38	88	0.28	2.1
10	FI MONTELUPO VIA MILANI	637	70	58	17	0.29	94	0.15	563	62	29	12	0.40	23	0.04	2.0
11	PO FERRUCCI	878	96	61	19	0.32	170	0.19	851	93	27	10	0.39	17	0.02	2.3
12	PO FONTANELLE	691	76	79	34	0.43	266	0.38	720	79	29	16	0.55	63	0.09	2.7
13	PO ROMA	844	93	56	30	0.54	226	0.27	803	88	20	13	0.64	27	0.03	2.8
14	POSTROZZI	772	85	82	41	0.50	345	0.45	735	81	30	16	0.55	78	0.11	2.7
15	PT ZAMENHOF	496	54	63	29	0.46	137	0.28	512	56	21	11	0.52	9	0.02	3.0
16	PT MERLINI	508	56	80	31	0.39	211	0.42	466	51	32	11	0.35	38	0.08	2.5
17	PT MONTALE	467	51	96	40	0.42	254	0.54	472	52	34	13	0.39	57	0.12	2.8
46	AR FIORENTINA	163	18	62	19	0.31	33	0.20	183	20	23	8	0.35	1	0.01	2.7
18	AR REPUBBLICA	877	96	48	12	0.25	59	0.07	765	84	24	9	0.39	18	0.02	2.0
19	LU 1VIAREGGIO	494	54	108	28	0.25	350	0.71	433	47	49	16	0.34	200	0.46	2.2
20	LU 2VIAREGGIO	292	32	85	16	0.18	51	0.17	453	50	33	12	0.37	41	0.09	2.6
21	LU CAPANNORI	617	68	77	21	0.27	199	0.32	765	84	28	9	0.34	13	0.02	2.8
22	LU CASTRACANI	130	14	83	17	0.20	41	0.32	141	15	34	9	0.28	8	0.06	2.5
23	LU MICHELETTO	610	67	55	17	0.30	99	0.16	499	55	26	12	0.44	18	0.04	2.1
24	LU PASSAGLIA	410	45	64	19	0.30	114	0.28	368	40	25	9	0.37	5	0.01	2.6
25	LU TANGENZIALE	667	73	85	28	0.33	348	0.52	595	65	37	15	0.42	106	0.18	2.3
26	PI BORGHETTO	887	97	60	18	0.31	175	0.20	889	97	25	8	0.33	13	0.01	2.4
27	PI CASCINA	861	94	92	23	0.25	387	0.45	860	94	44	14	0.32	274	0.32	2.1
28	PI FAZIO	511	56	70	18	0.25	140	0.27	523	57	31	10	0.31	19	0.04	2.3
29	PI LARI	254	28	60	25	0.41	74	0.29	208	23	24	9	0.40	3	0.01	2.5
30	PI MONTECERBOLIBIS	422	46	33	9	0.27	3	0.01	420	46	18	9	0.49	0	0.00	1.8
31	PI NAVACCHIO	845	93	95	26	0.27	440	0.52	835	92	42	16	0.38	228	0.27	2.3
32	PI ORATOIO	448	49	71	22	0.31	150	0.33	387	42	35	13	0.37	49	0.13	2.0
33	PI SANROMANO	875	96	60	17	0.29	161	0.18	858	94	26	9	0.35	18	0.02	2.3
34	PI SANTACROCE COOP	837	92	53	15	0.28	75	0.09	882	97	23	9	0.38	7	0.01	2.3
35	PI SANTACROCE SERAO	866	95	65	26	0.40	212	0.24	812	89	28	15	0.53	58	0.07	2.3
36	PI SCOTTO	174	19	73	22	0.30	56	0.32	201	22	31	11	0.36	12	0.06	2.4
47	PI PONTEDERA	178	20	50	15	0.30	16	0.09	182	20	20	5	0.27	0	0.00	2.5
37	LI COTONE	708	78	82	19	0.23	202	0.29	660	72	43	19	0.45	216	0.33	1.9
38	LI GOBETTI	463	51	66	13	0.20	38	0.08	531	58	32	11	0.35	29	0.05	2.1
39	LI CARDUCCI	471	52	103	21	0.21	241	0.51	526	58	45	12	0.27	169	0.32	2.3
40	LI VENETO	453	50	85	16	0.18	121	0.27	502	55	39	13	0.34	90	0.18	2.2
41	LI M.GORDATO	468	51	35	7	0.20	3	0.01	512	56	19	7	0.39	0	0.00	1.9
42	GR URSS	678	74	64	14	0.22	66	0.10	815	89	29	15	0.51	91	0.11	2.2
43	GR SONNINO	262	29	92	19	0.21	154	0.59	213	23	46	15	0.32	81	0.38	2.0
44	SI CAMPIDOGLIO	442	48	47	24	0.51	88	0.20	421	46	17	12	0.71	8	0.02	2.8
45	SI DUEPONTI	249	27	91	20	0.22	112	0.45	303	33	35	16	0.46	48	0.16	2.6

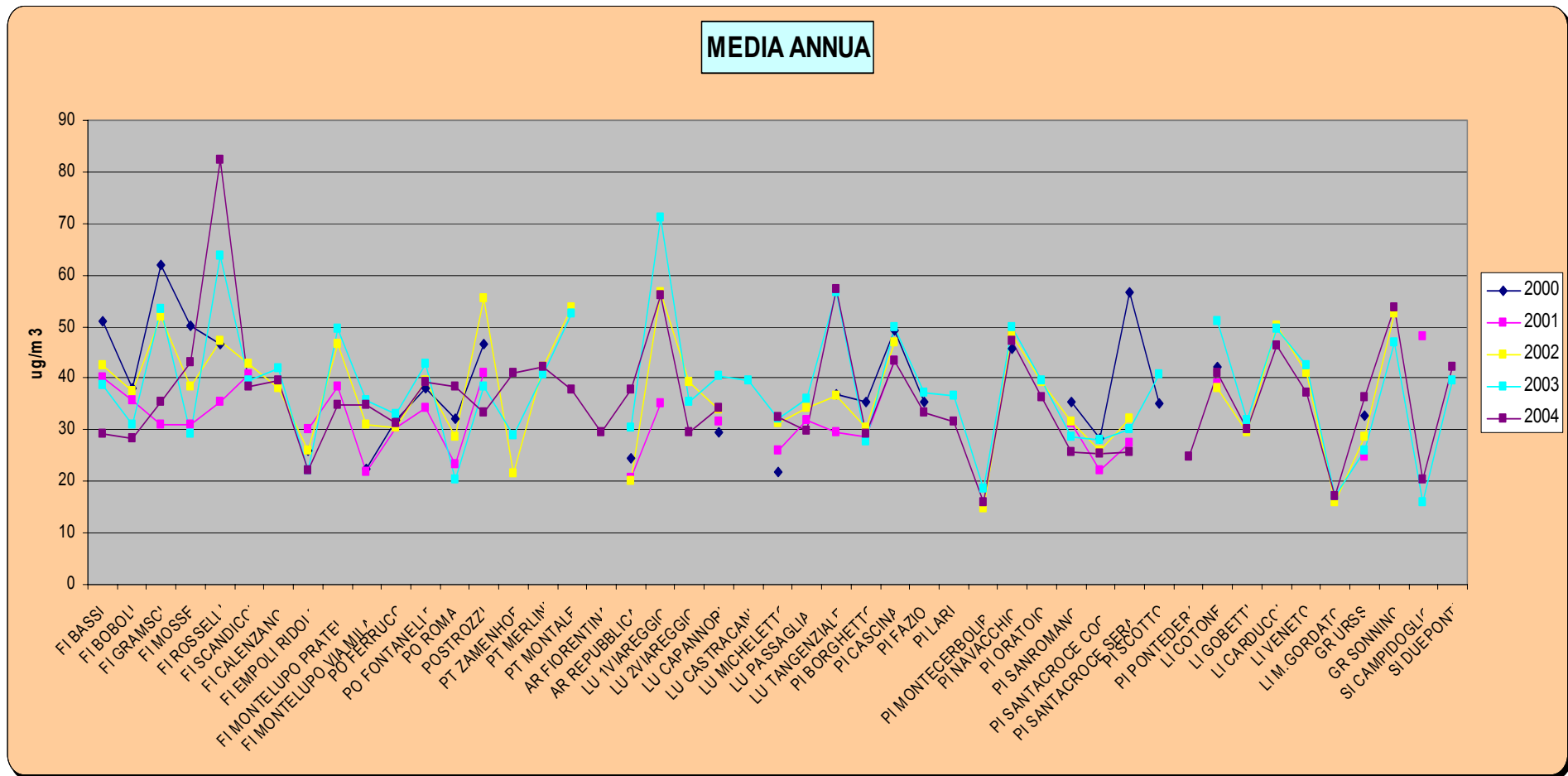


Fig. 2 – Media annua relativa ai cinque anni 2000-2004, per ciascuna delle 47 stazioni.

Lo scopo di questo lavoro, tuttavia, non consiste nell'attribuire una rappresentatività spaziale alle singole centraline, ma piuttosto nel determinare, se possibile, gruppi omogenei di stazioni, per i quali individuare i fattori meteorologici che determinano l'accumulo o la dispersione del PM₁₀.

L'attenzione sarà incentrata non tanto sui valori assoluti di concentrazione registrati, quanto piuttosto sull'andamento temporale delle serie storiche, che dovrebbe mostrare l'esistenza di correlazioni con l'andamento temporale delle serie storiche delle variabili meteorologiche misurate nelle stazioni a terra, nel corso dei cinque anni in esame.

1.3 Correlazioni ed analisi fattoriale

Anche una semplice analisi "visiva" dell'andamento temporale delle serie storiche può essere di aiuto ad individuare analogie tra le misure effettuate nelle diverse centraline; riferendosi ai grafici in appendice, relativi alle misure effettuate nell'arco dei cinque anni in esame nelle 47 centraline, si possono distinguere tipologie di andamenti temporali differenti.

Ad esempio, i valori rilevati in alcune stazioni mostrano un marcato aumento della concentrazione nel periodo invernale e una decisa diminuzione durante i mesi più caldi: è questo il caso di Calenzano, Scandicci, delle quattro stazioni in provincia di Prato e delle tre in provincia di Pistoia, di S. Romano, S. Croce etc. Un analogo comportamento si riscontra anche nelle centraline dell'area urbana di Firenze; tuttavia, nell'ultimo biennio, la mancanza di misure ad intervalli regolari – ogni due settimane³ - rende tale andamento meno evidente. Da notare, inoltre, come le serie storiche rilevate nelle tre centraline in provincia di Pistoia abbiano un andamento temporale molto simile.

In alcune stazioni più vicine alla costa – Montecerboli (PI), M.Gordato (LI), URSS (GR) -, invece, non si nota alcun andamento stagionale, e i valori di concentrazione sono pressappoco costanti; altre stazioni, in prossimità di aree industriali – Cotone (LI), Veneto (LI) – presentano picchi di concentrazione in tutto l'arco dell'anno.

Una prima distinzione, quindi, si può effettuare individuando le stazioni che presentano un andamento stagionale, più o meno marcato, e quelle che non mostrano questa caratteristica.

³ Nelle centraline dell'area urbana fiorentina vengono effettuati alternativamente, circa ogni 15 giorni, campionamenti di PM₁₀ e di PM_{2.5}.

Una analisi meno qualitativa, tuttavia, richiede l'applicazione di tecniche statistiche: in particolare in questo studio si propone l'analisi delle matrici di correlazione e la "Factor Analysis".

Le seguenti elaborazioni sono state effettuate con il programma statistico SPSS [3].

La prima elaborazione consiste essenzialmente nella realizzazione della matrice di correlazione, relativa a tutto il campione di dati o a sottocampioni relativi ai cinque anni in esame: dato che i risultati ottenuti sono pressoché analoghi, per motivi di sintesi sono state riportate solo le matrici relative all'intero periodo (tab. 7) ed all'anno 2004, in cui il sottocampione di dati risulta più omogeneo (tab. 8).

Nelle tabelle, per facilitarne l'interpretazione, sono stati evidenziati i coefficienti di correlazione superiori o uguali a 0.70.

Si può notare che un numero molto alto di stazioni presenta coefficienti superiori alla soglia di 0.70, risultando quindi correlate tra loro.

Si distinguono essenzialmente due raggruppamenti, uno costituito da numerose stazioni del bacino Firenze, Prato, Pistoia, ma anche di aree più lontane, come Montale, Cascina, Pontedera, S. Romano, S. Croce, Borghetto, Arezzo (Fiorentina), ed alcune stazioni in provincia di Lucca; nel 2004 risulta correlata anche la stazione Due Ponti (SI). L'altro gruppo di stazioni fortemente correlate è invece costituito da Montecerboli (PI) e M. Gordato (LI) e, solo nel 2004, anche URSS (GR).

Per una immediata verifica a livello visivo, sono stati riportati gli andamenti delle serie storiche di alcuni gruppi di stazioni, limitate all'anno 2004, nelle figg. 3, 4, 5, 6.

Osservando il grafico in fig. 3, si può notare che il gruppo costituito dalle stazioni di Boboli (FI), Strozzi (PO), Montale (PT), Fiorentina (AR), S. Croce Serao (PI), mostra andamenti temporali sorprendentemente simili, anche nel caso in cui i valori di concentrazione sono quantitativamente differenti. Analogo discorso vale per gli andamenti delle stazioni di Bassi (FI), Zamenhof (PT), Capannori (LU), Lari (PI), Pontedera (PI), riportati nel grafico in figura 5.

In figura 4, invece, il grafico relativo alle stazioni Montecerboli (PI), M. Gordato (LI) e URSS (GR) mostra andamenti del tutto diversi rispetto agli altri grafici, senza una differenza stagionale; da notare la straordinaria similitudine tra i valori registrati a Montecerboli e quelli di M. Gordato. Infine, in alcune stazioni di Pisa e Livorno – Cascina (PI), Navacchio (PI), Oratoio (PI), Gobetti (LI), Carducci (LI) -, il cui grafico è riportato in fig. 6, si nota un andamento stagionale non troppo pronunciato, soprattutto in alcune stazioni come Gobetti.

1. Analisi delle serie storiche di PM₁₀

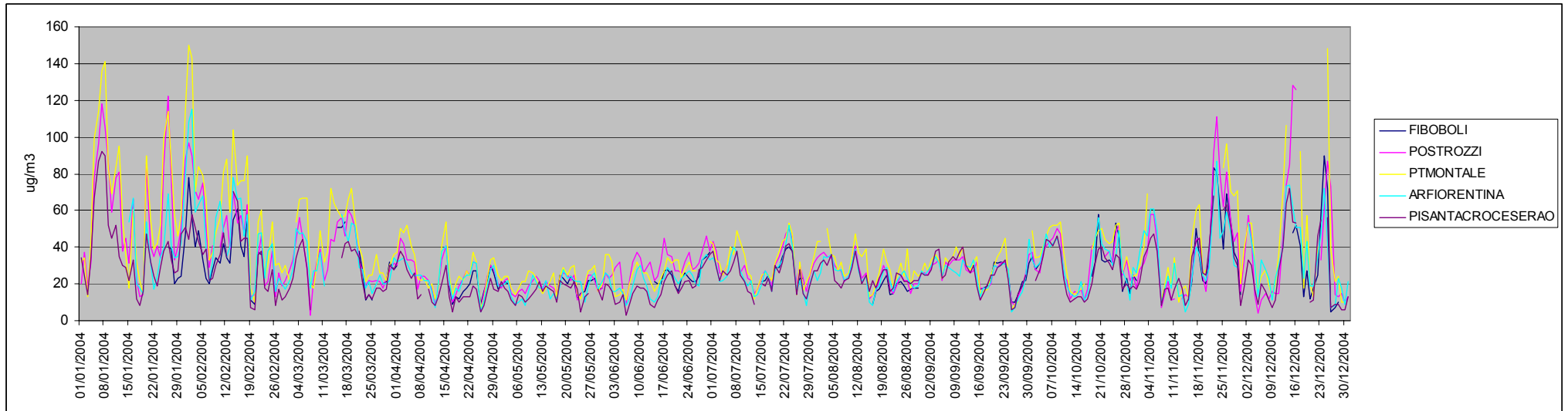


Fig. 3 – Confronto fra le serie storiche misurate in cinque stazioni nell'anno 2004.

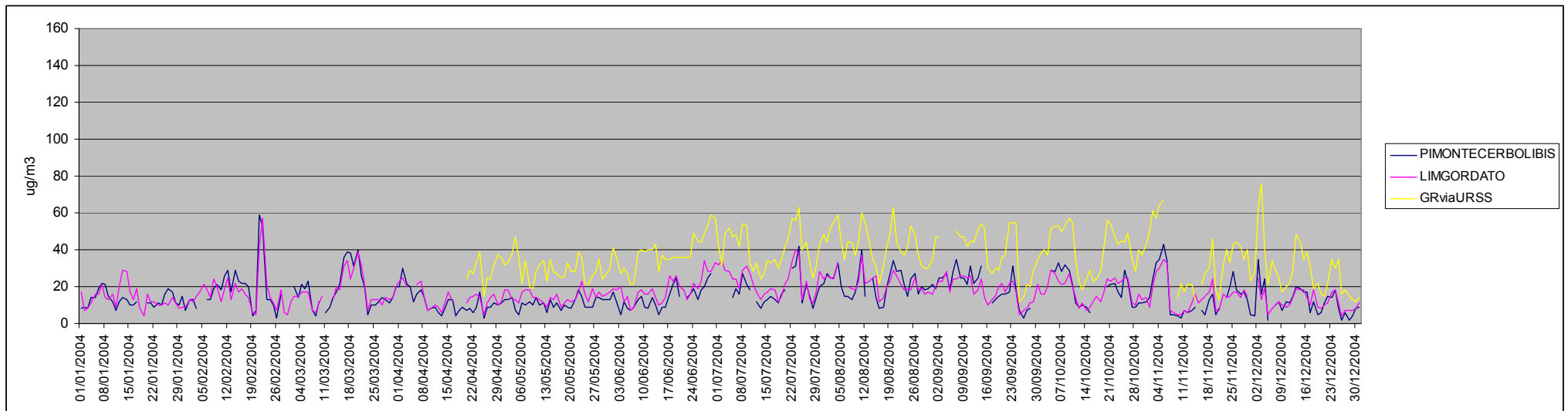


Fig. 4 – Confronto fra le serie storiche misurate in cinque stazioni nell'anno 2004.

1. Analisi delle serie storiche di PM₁₀

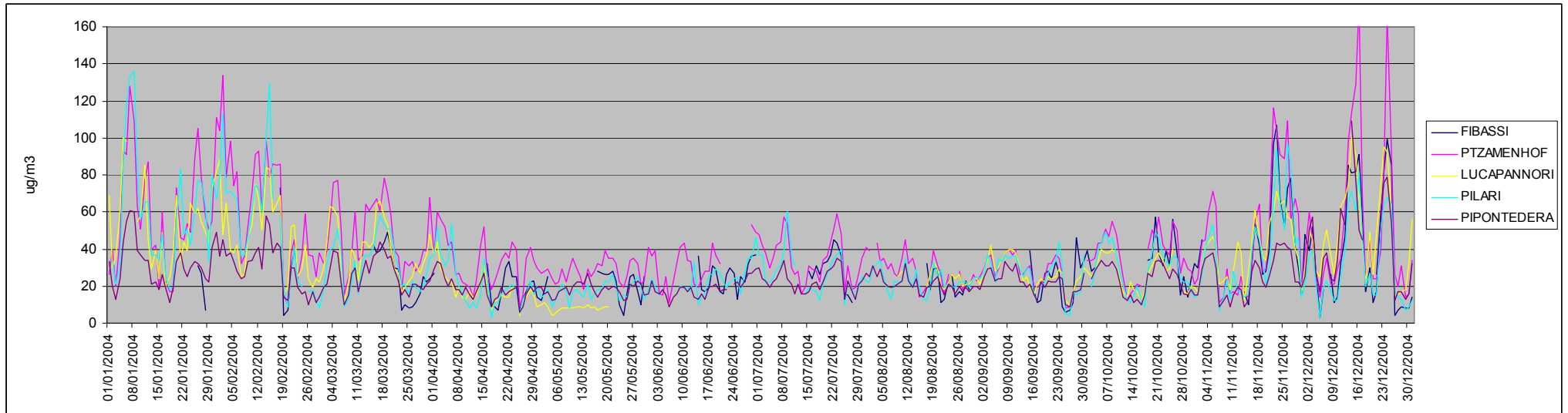


Fig. 5 – Confronto fra le serie storiche misurate in cinque stazioni nell'anno 2004.

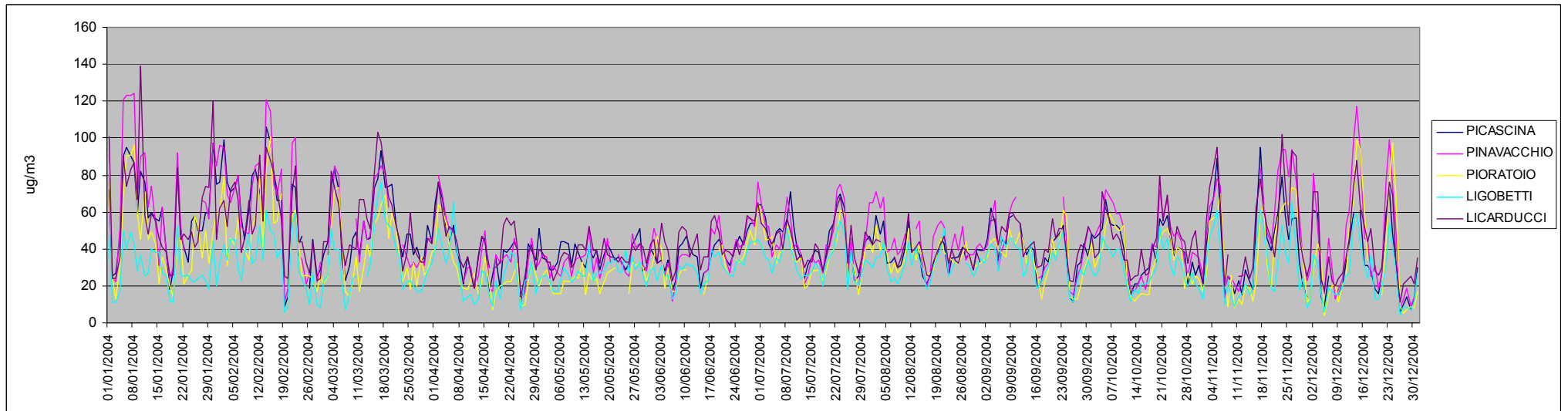


Fig. 6 – Confronto fra le serie storiche misurate in cinque stazioni nell'anno 2004.

Tab. 7 – Matrice delle correlazioni tra le misure rilevate dalle centraline nel periodo 2000-2004.

2000-2004	FIBASSI	FIBOB	FIGRA	FIMOSS	FIROS	FISCAN	FICALE	FIEMPO	FIMPRA	FIMMIL	POFER	POROM	POSTR	PTZAM	PTMER	PTMON	ARFIOR	ARREP	LU1VIA	LU2VIA	LUCAP	LUMIC	LUPAS	LUTAN	PIBOP	PICASC	PIFAZI	PIMCER	PINAVA	PIORAT	PISRO	PISCOO	PISCSE	LICOTO	LIGOB	LICARD	LIVENE	LIMGO	GRURS	SICAM	
FIBASSI	1.00	0.73	0.55	0.64	0.48	0.69	0.72	0.58	0.62	0.40	0.50	0.56	0.48	0.45	0.64	0.65	0.83	0.27	0.22	0.44	0.43	0.38	0.48	0.32	0.58	0.55	0.55	0.38	0.55	0.66	0.68	0.52	0.58	0.29	0.48	0.48	0.22	0.34	0.21	0.37	
FIBOB	0.73	1.00	0.67	0.66	0.39	0.67	0.86	0.73	0.69	0.65	0.58	0.72	0.64	0.54	0.79	0.85	0.84	0.31	0.22	0.49	0.66	0.47	0.67	0.35	0.74	0.60	0.66	0.51	0.72	0.74	0.85	0.67	0.70	0.31	0.60	0.61	0.35	0.48	0.24	0.54	
FIGRA	0.55	0.67	1.00	0.58	0.23	0.70	0.75	0.45	0.72	0.47	0.48	0.52	0.51	0.49	0.66	0.76	0.81	0.31	0.51	0.43	0.57	0.51	0.65	0.39	0.59	0.57	0.59	0.32	0.52	0.70	0.63	0.57	0.60	0.33	0.47	0.61	0.24	0.28	0.21	0.13	
FIMOSS	0.64	0.66	0.58	1.00	0.61	0.77	0.78	0.50	0.49	0.45	0.58	0.71	0.50	0.71	0.67	0.68	0.80	0.39	0.29	0.37	0.57	0.34	0.50	0.45	0.68	0.60	0.62	0.20	0.55	0.51	0.69	0.57	0.60	0.23	0.36	0.48	0.12	0.16	0.26	0.35	
FIROS	0.48	0.39	0.23	0.61	1.00	0.33	0.50	0.17	0.21	0.53	0.37	0.46	0.13	0.50	0.24	0.16	0.43	0.48	0.26	-0.05	0.35	0.23	0.38	0.26	0.27	0.30	0.23	0.29	0.35	0.27	0.39	0.22	0.20	0.24	0.20	0.03	0.26	0.27	-0.04		
FISCAN	0.69	0.87	0.70	0.77	0.33	1.00	0.89	0.77	0.68	0.79	0.70	0.78	0.76	0.74	0.80	0.89	0.86	0.43	0.34	0.37	0.71	0.57	0.73	0.50	0.74	0.59	0.65	0.36	0.70	0.74	0.84	0.75	0.83	0.30	0.48	0.57	0.22	0.30	0.25	0.43	
FICALE	0.72	0.86	0.75	0.78	0.50	0.89	1.00	0.79	0.74	0.85	0.91	0.83	0.75	0.81	0.82	0.87	0.87	0.51	0.43	0.45	0.76	0.58	0.70	0.60	0.74	0.64	0.71	0.31	0.73	0.73	0.85	0.84	0.86	0.32	0.54	0.60	0.23	0.26	0.26	0.50	
FIEMPO	0.58	0.73	0.45	0.50	0.17	0.77	0.79	1.00	0.58	0.56	0.50	0.60	0.58	0.66	0.78	0.78	0.77	0.28	0.23	0.42	0.58	0.44	0.62	0.35	0.63	0.55	0.60	0.33	0.63	0.66	0.73	0.58	0.52	0.26	0.48	0.60	0.22	0.30	0.21	0.59	
FIMPRA	0.62	0.69	0.72	0.49	0.21	0.68	0.74	0.58	1.00	0.78	0.60	0.42	0.50	0.36	0.56	0.63	0.70	0.38	0.38	0.31	0.51	0.58	0.48	0.53	0.35	0.64	0.71	0.68	0.63	0.70	0.74	0.74	0.77	0.69	0.52	0.71	0.65	0.40	0.55	0.24	0.17
FIMMIL	0.40	0.65	0.47	0.45	0.53	0.79	0.85	0.56	0.78	1.00	0.64	0.58	0.48	0.71	0.78	0.78	0.80	0.50	0.43	0.54	0.67	0.57	0.67	0.57	0.51	0.59	0.63	0.56	0.68	0.81	0.58	0.65	0.30	0.40	0.70	0.65	0.36	0.53	0.26	0.38	
POFER	0.50	0.58	0.48	0.58	0.37	0.70	0.91	0.50	0.60	0.64	1.00	0.69	0.56	0.75	0.75	0.80	0.82	0.32	0.41	0.34	0.57	0.49	0.65	0.50	0.59	0.52	0.66	0.34	0.57	0.71	0.65	0.59	0.53	0.29	0.50	0.54	0.20	0.32	0.19	0.22	
POROM	0.56	0.72	0.52	0.71	0.46	0.78	0.83	0.60	0.42	0.58	0.69	1.00	0.61	0.84	0.75	0.77	0.83	0.43	0.32	0.22	0.59	0.47	0.68	0.52	0.62	0.47	0.56	0.16	0.59	0.62	0.66	0.55	0.54	0.22	0.31	0.44	0.09	0.16	0.32	0.34	
POSTR	0.48	0.64	0.51	0.50	0.13	0.76	0.75	0.58	0.50	0.48	0.56	0.61	1.00	0.59	0.74	0.83	0.83	0.20	0.27	0.33	0.59	0.42	0.74	0.36	0.60	0.44	0.56	0.19	0.51	0.62	0.65	0.56	0.58	0.19	0.34	0.48	0.21	0.15	0.13	0.45	
PTZAM	0.45	0.54	0.49	0.71	0.50	0.74	0.81	0.68	0.36	0.71	0.75	0.84	0.59	1.00	0.78	0.72	0.84	0.54	0.40	0.19	0.64	0.59	0.61	0.70	0.65	0.45	0.56	0.13	0.57	0.59	0.64	0.68	0.67	0.17	0.29	0.42	0.07	0.11	0.30	0.49	
PTMER	0.64	0.79	0.66	0.67	0.24	0.80	0.82	0.78	0.56	0.78	0.75	0.74	0.78	1.00	0.84	0.80	0.42	0.43	0.52	0.78	0.59	0.76	0.63	0.85	0.67	0.75	0.31	0.77	0.74	0.86	0.81	0.87	0.18	0.49	0.63	0.24	0.27	0.25	0.46		
PTMON	0.65	0.85	0.76	0.68	0.16	0.89	0.87	0.78	0.63	0.78	0.80	0.77	0.83	0.72	0.84	1.00	0.86	0.33	0.42	0.42	0.78	0.58	0.79	0.55	0.76	0.59	0.66	0.26	0.68	0.74	0.84	0.73	0.85	0.24	0.38	0.55	0.23	0.20	0.13	0.36	
ARFIOR	0.83	0.84	0.81	0.80	0.43	0.88	0.87	0.77	0.70	0.80	0.82	0.83	0.83	0.84	0.80	0.86	1.00	0.50	0.54	0.60	0.76	0.54	0.74	0.68	0.75	0.75	0.73	0.45	0.80	0.74	0.85	0.84	0.84	0.35	0.59	0.69	0.27	0.31	0.53	0.43	
ARREP	0.27	0.31	0.31	0.39	0.48	0.43	0.51	0.28	0.38	0.50	0.32	0.43	0.20	0.54	0.42	0.33	0.50	1.00	0.27	0.11	0.37	0.34	0.45	0.51	0.31	0.29	0.35	0.34	0.32	0.35	0.28	0.37	0.20	0.26	0.33	0.29	0.12	0.23	0.22	-0.04	
LU1VIA	0.22	0.22	0.51	0.29	0.26	0.34	0.43	0.23	0.38	0.43	0.41	0.32	0.27	0.40	0.43	0.42	0.54	0.27	1.00	0.52	0.57	0.42	0.53	0.50	0.42	0.42	0.67	0.19	0.44	0.54	0.38	0.52	0.44	0.23	0.31	0.46	0.31	0.15	0.12	-0.06	
LU2VIA	0.44	0.49	0.43	0.37	-0.05	0.37	0.45	0.42	0.51	0.54	0.34	0.22	0.33	0.19	0.52	0.42	0.60	0.11	0.52	1.00	0.52	0.33	0.45	0.31	0.58	0.62	0.71	0.47	0.63	0.63	0.58	0.56	0.46	0.25	0.60	0.59	0.49	0.41	0.11	0.32	
LUCAP	0.43	0.66	0.57	0.57	0.35	0.71	0.76	0.58	0.58	0.67	0.57	0.59	0.59	0.64	0.78	0.78	0.76	0.37	0.57	0.52	1.00	0.66	0.82	0.64	0.75	0.60	0.77	0.24	0.72	0.75	0.77	0.72	0.66	0.25	0.41	0.63	0.37	0.20	0.16	0.37	
LUMIC	0.38	0.47	0.51	0.34	0.23	0.57	0.58	0.44	0.48	0.57	0.49	0.47	0.42	0.50	0.59	0.58	0.54	0.34	0.42	0.33	0.66	1.00	0.76	0.58	0.53	0.35	0.56	0.18	0.46	0.60	0.53	0.49	0.35	0.11	0.29	0.45	0.25	0.13	0.29		
LUPAS	0.48	0.67	0.65	0.50	0.23	0.73	0.70	0.62	0.53	0.67	0.65	0.68	0.74	0.61	0.76	0.79	0.74	0.45	0.53	0.45	0.82	0.76	1.00	0.63	0.73	0.50	0.75	0.25	0.59	0.72	0.75	0.68	0.77	0.19	0.38	0.59	0.38	0.21	0.17	0.43	
LUTAN	0.32	0.35	0.39	0.45	0.38	0.50	0.60	0.35	0.35	0.57	0.50	0.52	0.36	0.70	0.63	0.55	0.69	0.51	0.50	0.31	0.64	0.58	0.63	1.00	0.49	0.45	0.58	0.16	0.47	0.45	0.44	0.50	0.32	0.13	0.28	0.41	0.08	0.05	0.19	0.08	
PIBOP	0.58	0.74	0.59	0.68	0.26	0.74	0.74	0.63	0.64	0.51	0.59	0.62	0.60	0.65	0.85	0.78	0.75	0.31	0.42	0.58	0.75	0.53	0.73	0.49	1.00	0.77	0.84	0.43	0.80	0.80	0.86	0.72	0.72	0.25	0.67	0.79	0.35	0.44	0.29	0.46	
PICASC	0.55	0.80	0.57	0.60	0.27	0.59	0.64	0.55	0.71	0.59	0.52	0.47	0.44	0.45	0.67	0.59	0.75	0.29	0.42	0.62	0.60	0.35	0.50	0.45	0.77	1.00	0.81	0.51	0.80	0.75	0.76	0.67	0.61	0.33	0.74	0.76	0.33	0.54	0.25	0.14	
PIFAZI	0.55	0.66	0.59	0.62	0.30	0.65	0.71	0.60	0.68	0.63	0.66	0.56	0.56	0.56	0.75	0.66	0.73	0.35	0.67	0.71	0.77	0.56	0.75	0.58	0.84	0.81	1.00	0.46	0.84	0.81	0.80	0.70	0.59	0.37	0.71	0.82	0.40	0.42	0.28	0.42	
PIMCER	0.38	0.51	0.32	0.20	0.23	0.36	0.31	0.33	0.63	0.56	0.34	0.16	0.19	0.13	0.31	0.26	0.45	0.34	0.19	0.47	0.24	0.18	0.25	0.16	0.43	0.51	0.46	1.00	0.50	0.48	0.46	0.47	0.45	0.60	0.69	0.44	0.50	0.84	0.33	0.04	
PINAVA	0.55	0.72	0.52	0.55	0.29	0.70	0.73	0.63	0.70	0.68	0.57	0.59	0.51	0.57	0.77	0.68	0.80	0.32	0.44	0.63	0.72	0.46	0.59	0.47	0.80	0.80	0.84	0.50	1.00	0.87	0.81	0.72	0.62	0.36	0.69	0.80	0.36	0.52	0.28	0.36	
PIORAT	0.66	0.74	0.70	0.51	0.35	0.74	0.73	0.66	0.74	0.81	0.71	0.62	0.62	0.59	0.74	0.74	0.74	0.35	0.54	0.63	0.75	0.60	0.72	0.45	0.80	0.75	0.81	0.48	0.87	1.00	0.84	0.79	0.82	0.35	0.65	0.72	0.40	0.49	0.29	0.38	
PISRO	0.68	0.85	0.63	0.69	0.27	0.84	0.85	0.73	0.74	0.58	0.65	0.66	0.65	0.64	0.86	0.84	0.85	0.28	0.38	0.58	0.77	0.53	0.75	0.44	0.86	0.76	0.80	0.46	0.81	0.84	1.00	0.76	0.79	0.32	0.65	0.76	0.38	0.44	0.26	0.53	
PISCOO	0.52	0.67	0.57	0.57	0.39	0.75	0.84	0.58	0.77	0.65	0.59	0.55	0.56	0.68	0.81	0.73	0.84	0.37	0.52	0.56	0.72	0.49	0.68	0.50	0.72	0.67	0.70	0.47	0.72	0.79	0.76	1.00	0.66	0.36	0.68	0.73	0				

Tab. 8 – Matrice delle correlazioni tra le misure rilevate dalle centraline nell'anni 2004

2004	FIBASSI	FIBOB	FIGRA	FIMOSS	FIROS	FISCAN	FICALE	FIEMPO	FIMFRA	FIMMIL	POFER	POFON	POROM	POSTR	PTZAM	PTMER	PTMON	ARFIOR	ARREP	LUVIA	LUZVIA	LUCAP	LUMIC	LUPAS	LUTAN	PIBOR	PICASC	PIFAZI	PILARI	PIMCER	PINAVA	PIORAT	PISRO	PISCCO	PISCSE	PIPONT	LICOTO	LIGOB	LIGARD	LIVENE	LIMGO	GRURS	GRSON	SICAM	SIIDUEP	
FIBASSI	1.00	0.90	0.83	0.79	0.90	0.90	0.91	0.80	0.92	0.80	0.81	0.86	0.87	0.78	0.85	0.85	0.79	0.83	0.49	0.22	0.46	0.74	0.62	0.43	0.55	0.70	0.54	0.63	0.81	0.29	0.71	0.73	0.85	0.85	0.86	0.78	0.22	0.53	0.59	0.24	0.22	0.30	0.34	0.62	0.49	
FIBOB	0.90	1.00		0.82	0.83	0.95	0.92	0.77		0.86	0.83	0.88	0.86	0.79	0.83	0.84	0.84	0.84	0.61	0.45	0.53	0.78	0.61	0.74	0.66	0.77	0.64	0.69	0.80	0.38	0.78	0.81	0.87	0.83	0.88	0.80	0.27	0.61	0.66	0.27	0.26	0.34	0.31	0.54	0.53	
FIGRAM	0.83		1.00	0.79	0.17	0.85	0.86	0.73	0.60	0.79	0.79	0.75	0.82	0.85	0.85	0.81	0.82	0.81	0.26	0.63	0.55	0.72	0.58	0.82	0.78	0.75	0.79	0.75	0.78	0.42	0.81	0.67	0.84	0.82	0.82	0.77	0.41	0.58	0.70	0.19	0.30	0.63	0.05	0.44	0.56	
FIMOSS	0.79	0.82	0.79	1.00	0.96	0.85	0.82	0.75	0.86	0.70	0.75	0.82	0.85	0.81	0.83	0.80	0.82	0.80	0.52	0.37	0.51	0.74	0.58	0.71	0.67	0.69	0.61	0.64	0.80	0.21	0.70	0.62	0.75	0.74	0.78	0.70	0.17	0.42	0.62	0.22	0.05	0.16	0.37	0.52	0.59	
FIROS	0.90	0.83	0.17	0.96	1.00	0.46	0.45	0.35	0.41	0.45	0.53	0.48	0.42	0.42	0.43	0.32	0.23	0.43	0.38	-0.17	0.13	0.55	0.34	0.49	0.10	0.38	0.35	0.37	0.37	0.30	0.39	0.45	0.44	0.44	0.35	0.37	0.16	0.48	0.41	0.16	0.37	0.32	0.09	0.26	0.10	
FISCAN	0.90	0.95	0.85	0.85	0.46	1.00	0.91	0.83	0.72	0.85	0.85	0.91	0.91	0.85	0.87	0.84	0.89	0.86	0.49	0.50	0.52	0.77	0.63	0.84	0.68	0.76	0.67	0.72	0.83	0.43	0.80	0.80	0.86	0.84	0.88	0.79	0.33	0.59	0.65	0.22	0.29	0.42	0.19	0.53	0.57	
FICALENZ	0.91	0.92	0.86	0.82	0.45	0.91	1.00	0.82	0.74	0.85	0.89	0.89	0.91	0.88	0.89	0.84	0.89	0.87	0.50	0.50	0.55	0.77	0.64	0.81	0.69	0.77	0.70	0.73	0.80	0.38	0.79	0.77	0.88	0.86	0.87	0.80	0.31	0.61	0.67	0.24	0.26	0.38	0.22	0.55	0.53	
FIEMPO	0.80	0.77	0.83	0.75	0.35	0.83	0.82	1.00	0.64	0.79	0.81	0.79	0.84	0.81	0.82	0.78	0.81	0.77	0.44	0.54	0.54	0.75	0.65	0.65	0.76	0.70	0.74	0.64	0.73	0.76	0.35	0.74	0.71	0.81	0.83	0.82	0.85	0.25	0.52	0.63	0.24	0.20	0.34	0.22	0.65	0.52
FIMPRAT	0.92		0.60	0.86	0.41	0.72	0.74	0.64	1.00	0.83	0.76	0.69	0.61	0.61	0.68	0.61	0.57	0.70	0.46	0.26	0.48	0.45	0.56	0.69	0.46	0.71	0.72	0.66	0.58	0.73	0.68	0.70	0.76	0.70	0.61	0.54	0.79	0.60	0.39	0.66	0.69	-0.07	0.30	0.41		
FIMMIL	0.80	0.86	0.79	0.70	0.45	0.85	0.85	0.79	0.83	1.00	0.87	0.83	0.81	0.82	0.84	0.82	0.81	0.80	0.42	0.57	0.60	0.75	0.60	0.77	0.68	0.81	0.80	0.79	0.83	0.59	0.86	0.86	0.90	0.88	0.90	0.77	0.45	0.75	0.72	0.36	0.50	0.59	0.05	0.39	0.55	
POFER	0.81	0.83	0.79	0.75	0.53	0.85	0.89	0.81	0.76	0.87	1.00	0.88	0.90	0.90	0.88	0.81	0.87	0.82	0.43	0.48	0.48	0.71	0.58	0.78	0.67	0.73	0.72	0.71	0.83	0.39	0.78	0.76	0.83	0.84	0.84	0.74	0.33	0.61	0.66	0.22	0.31	0.47	0.11	0.46	0.48	
POFON	0.86	0.88	0.75	0.82	0.48	0.91	0.89	0.79	0.69	0.83	0.88	1.00	0.94	0.90	0.89	0.84	0.91	0.84	0.37	0.53	0.53	0.76	0.54	0.83	0.67	0.71	0.66	0.67	0.85	0.39	0.79	0.79	0.83	0.82	0.85	0.76	0.33	0.56	0.62	0.21	0.31	0.44	0.22	0.49	0.54	
POROMA	0.87	0.86	0.82	0.85	0.42	0.91	0.81	0.84	0.61	0.81	0.90	1.00	0.94	0.94	0.91	0.86	0.94	0.83	0.39	0.48	0.49	0.76	0.56	0.81	0.69	0.70	0.65	0.67	0.85	0.32	0.79	0.77	0.82	0.82	0.87	0.79	0.27	0.49	0.61	0.20	0.20	0.38	0.22	0.52	0.55	
POSTRO	0.78	0.79	0.85	0.81	0.42	0.85	0.88	0.81	0.61	0.82	0.90	0.90	0.94	1.00	0.90	0.81	0.93	0.83	0.37	0.50	0.48	0.75	0.58	0.80	0.72	0.69	0.67	0.66	0.85	0.32	0.78	0.73	0.80	0.81	0.83	0.73	0.27	0.51	0.63	0.22	0.21	0.39	0.16	0.48	0.50	
PTZAM	0.85	0.83	0.85	0.83	0.43	0.87	0.89	0.82	0.68	0.84	0.88	0.89	0.91	0.90	1.00	0.88	0.95	0.84	0.38	0.53	0.52	0.79	0.64	0.84	0.76	0.76	0.69	0.69	0.85	0.32	0.78	0.78	0.84	0.84	0.84	0.84	0.79	0.26	0.51	0.63	0.20	0.32	0.15	0.51	0.54	
PTMER	0.85	0.84	0.81	0.80	0.32	0.84	0.84	0.78	0.61	0.82	0.81	0.84	0.86	0.81	0.88	1.00	0.87	0.80	0.35	0.58	0.67	0.86	0.64	0.88	0.78	0.82	0.80	0.79	0.85	0.38	0.88	0.81	0.90	0.90	0.85	0.26	0.80	0.71	0.33	0.25	0.35	0.19	0.49	0.57		
PTMON	0.79	0.84	0.82	0.82	0.23	0.89	0.89	0.81	0.57	0.81	0.87	0.91	0.94	0.93	0.95	0.87	1.00	0.86	0.31	0.58	0.52	0.78	0.56	0.83	0.75	0.71	0.71	0.68	0.88	0.33	0.81	0.77	0.85	0.83	0.86	0.79	0.31	0.48	0.62	0.20	0.20	0.45	0.19	0.40	0.51	
ARFIOR	0.83	0.84	0.81	0.80	0.43	0.86	0.87	0.77	0.70	0.80	0.82	0.84	0.83	0.83	0.84	0.80	0.86	1.00	0.50	0.54	0.60	0.76	0.54	0.74	0.69	0.75	0.75	0.73	0.83	0.45	0.80	0.74	0.85	0.84	0.84	0.73	0.35	0.59	0.69	0.27	0.31	0.53	0.16	0.43	0.56	
ARREP	0.49	0.61	0.26	0.52	0.38	0.49	0.50	0.44	0.46	0.42	0.43	0.37	0.39	0.37	0.38	0.35	0.31	1.00	0.12	0.30	0.30	0.35	0.66	0.31	0.47	0.34	0.43	0.34	0.35	0.37	0.35	0.46	0.47	0.40	0.48	0.22	0.43	0.34	0.20	0.26	0.33	0.10	0.32	0.34		
LUVIA	0.22	0.45	0.63	0.37	-0.17	0.50	0.50	0.54	0.26	0.57	0.48	0.53	0.48	0.50	0.53	0.58	0.58	0.54	1.00	0.69	0.63	0.40	0.71	0.65	0.53	0.65	0.61	0.61	0.39	0.62	0.57	0.56	0.62	0.61	0.62	0.24	0.47	0.54	0.34	0.27	0.36	0.18	0.15	0.41		
LUZVIA	0.46	0.53	0.55	0.51	0.13	0.52	0.55	0.54	0.48	0.60	0.48	0.53	0.49	0.48	0.52	0.67	0.52	0.60	0.30	0.69	1.00	0.69	0.43	0.70	0.60	0.71	0.72	0.76	0.59	0.46	0.72	0.63	0.68	0.68	0.64	0.67	0.28	0.65	0.66	0.52	0.41	0.34	0.21	0.44	0.50	
LUCAP	0.74	0.78	0.72	0.74	0.55	0.77	0.77	0.75	0.45	0.75	0.71	0.76	0.76	0.75	0.79	0.86	0.78	0.76	0.30	0.63	0.69	1.00	0.75	0.90	0.82	0.76	0.70	0.77	0.80	0.32	0.82	0.75	0.85	0.85	0.84	0.84	0.19	0.51	0.65	0.37	0.20	0.20	0.51	0.66	0.52	
LUMIC	0.62	0.61	0.58	0.58	0.34	0.63	0.64	0.65	0.56	0.60	0.58	0.54	0.56	0.58	0.64	0.64	0.56	0.54	0.35	0.40	0.43	0.75	1.00	0.79	0.57	0.63	0.49	0.58	0.54	0.28	0.60	0.59	0.68	0.67	0.63	0.69	0.22	0.43	0.48	0.20	0.16	0.14	0.09	0.50	0.33	
LUPAS	0.43	0.74	0.82	0.71	0.49	0.84	0.81	0.76	0.69	0.77	0.78	0.83	0.81	0.80	0.84	0.88	0.83	0.74	0.66	0.71	0.70	0.90	0.79	1.00	0.86	0.76	0.80	0.78	0.80	0.48	0.85	0.78	0.85	0.85	0.83	0.86	0.25	0.58	0.67	0.40	0.23	0.41	0.13	0.75	0.45	
LUTAN	0.55	0.66	0.78	0.67	0.10	0.68	0.69	0.70	0.46	0.68	0.67	0.67	0.69	0.72	0.76	0.78	0.75	0.69	0.31	0.65	0.60	0.82	0.57	0.86	1.00	0.70	0.72	0.70	0.77	0.18	0.76	0.61	0.73	0.75	0.74	0.71	0.24	0.45	0.67	0.15	0.04	0.22	0.00	0.38	0.51	
PIBOR	0.70	0.77	0.75	0.69	0.38	0.76	0.77	0.74	0.71	0.61	0.73	0.71	0.70	0.69	0.76	0.82	0.71	0.75	0.47	0.53	0.71	0.76	0.63	0.76	0.70	1.00	0.82	0.89	0.72	0.52	0.88	0.80	0.85	0.83	0.83	0.79	0.36	0.76	0.80	0.36	0.43	0.38	0.13	0.49	0.58	
PICASC	0.54	0.64	0.79	0.61	0.35	0.67	0.70	0.64	0.72	0.80	0.72	0.66	0.65	0.67	0.69	0.80	0.71	0.75	0.34	0.65	0.72	0.70	0.49	0.80	0.72	0.82	1.00	0.83	0.78	0.52	0.91	0.79	0.82	0.82	0.81	0.70	0.37	0.79	0.85	0.38	0.49	0.61	-0.01	0.21	0.52	
PIFAZI	0.63	0.69	0.75	0.64	0.37	0.72	0.73	0.73	0.66	0.79	0.71	0.67	0.67	0.66	0.69	0.79	0.68	0.73	0.43	0.61	0.76	0.77	0.58	0.78	0.70	0.89	0.83	1.00	0.74	0.58	0.90	0.82	0.85	0.83	0.83	0.79	0.41	0.77	0.81	0.44	0.48	0.45	0.16	0.46	0.55	
PILARI	0.81	0.80	0.78	0.80	0.37	0.83	0.80	0.76	0.58	0.83	0.83	0.85	0.85	0.85	0.88	0.83	0.34	0.61	0.59	0.80																										

Anche da questa analisi sembrano emergere due comportamenti distinti, uno caratteristico delle stazioni dell'entroterra ed uno relativo alle stazioni che risentono dell'effetto del mare; inoltre alcune stazioni sembrano avere un comportamento intermedio.

In ultimo, è stata utilizzata una tecnica di analisi multivariata, la "Factor Analysis", per determinare anche con questo approccio una classificazione delle stazioni [1].

Questa tecnica statistica si basa sulla ricerca di fattori indipendenti [2], costituiti da una combinazione lineare delle variabili originarie (nel nostro caso le serie storiche misurate nelle stazioni), scelti col criterio di mettere meglio in evidenza, all'interno dell'insieme dei dati, le variazioni che potremmo definire "sistematiche", cioè non legate a fluttuazioni casuali. Se il numero dei fattori trovati è molto minore del numero delle variabili originarie, l'interpretazione complessiva dei dati risulta facilitata.

In pratica, nel nostro caso possiamo rappresentare l'insieme dei dati (le concentrazioni giornaliere di PM₁₀ per ciascuna centralina) in una matrice di dimensioni $m \times p$, in cui le m righe rappresentano le concentrazioni giornaliere misurate nell'arco di cinque anni ($m = 1826$) e le p colonne le stazioni. Ogni riga della matrice si può rappresentare come un punto in uno spazio R^p , le cui componenti sono le concentrazioni misurate dalle varie stazioni. Ogni punto viene così a rappresentare il risultato complessivo della misura relativa ad un dato giorno, sull'intero territorio regionale.

Con le tecniche di analisi multivariata, in particolare con la "Factor Analysis", si cerca di individuare un sottospazio di dimensioni inferiori a p , con cui descrivere lo stesso insieme di dati esprimendo più efficacemente le "informazioni" in essi contenute. Molto schematicamente, la "compattazione" delle informazioni si ottiene operando una opportuna trasformazione ortogonale delle variabili originarie secondo la seguente procedura:

i) le variabili originarie sono rinormalizzate in modo da avere tutte varianza unitaria;

ii) si determina la direzione nello spazio R^p rispetto al quale sia massima la varianza dei dati, vale a dire la direzione che meglio descrive le variazioni sistematiche dei dati: questa direzione individua il primo asse del nuovo sistema ortogonale;

iii) fra le direzioni ortogonali alla precedente, si determina quella a massima varianza, che si assume come secondo asse del nuovo sistema ortogonale, e così via rispettando sempre la condizione di ortogonalità rispetto a tutti gli assi precedenti.

La procedura si arresta quando la varianza totale evidenziata dagli assi precedentemente assunti è una percentuale sufficientemente elevata di quella complessiva nello spazio di partenza R^p . Si sottolinea che c'è un notevole margine di arbitrarietà in questa decisione; in genere, si considera che il sottospazio rappresenti sufficientemente bene il complesso dei dati dello spazio di partenza, quando la varianza residua è confrontabile con quella associata alle incertezze casuali nei dati originali.

Ogni nuovo asse è individuato da una combinazione lineare delle varie stazioni⁴, che costituisce appunto il "fattore" cercato. Ciascuno dei fattori individuati contiene tutte le variabili originarie con un "peso" che rappresenta il grado di associazione a quel fattore. Ogni fattore è caratterizzato da un certo numero di stazioni che in esso hanno un peso elevato e che risultano quindi fortemente correlate fra di loro. Una data stazione comunque può risultare associata anche a più di un fattore.

I risultati ottenuti con questa tecnica statistica sono riportati nella tabella 9.

Non è stato possibile utilizzare tutte le 47 stazioni, visto che in alcune la mancanza di una grossa percentuale di dati rende inapplicabile questo tipo di analisi.

In sintesi, sono state effettuate due prove per 32 stazioni; la prima ha individuato due fattori – spiegando una percentuale di varianza pari all'82% -, la seconda ha determinato tre fattori, spiegando l'86.6% della varianza. Per facilitare la lettura dei risultati, le stazioni fortemente correlate ad un fattore, con un peso superiore a 0.70, sono evidenziate in celeste.

Il primo fattore mostra molte stazioni fortemente correlate: oltre alle centraline delle province di Firenze, Prato e Pistoia, sono correlate con un peso elevato anche stazioni di aree più lontane, come Fiorentina (AR), Campidoglio (SI), Capannori (LU), Borghetto (PI), Cascina (PI), Navacchio (PI), Oratoio (PI), S. Romano (PI), S. Croce (PI), Gobetti (LI).

Il secondo fattore è correlato al gruppo di stazioni rappresentate da Montecerboli (PI), M. Gordato (LI), URSS (GR) e, in misura minore, da Cotone (LI).

⁴ Con stazione si intende l'insieme delle misure effettuate nella stazione stessa nel corso del periodo in esame.

Tab. 9 – Factor Analysis: prove relative all'individuazione di due o tre fattori. Le misure analizzate sono relative a 32 centraline, nel periodo 2000-2004.

NOME STAZIONE	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
FI BASSI	0.93	0.10	0.94	0.09	-0.07
FI BOBOLI	0.96	0.13	0.96	0.10	0.03
FI MOSSE	0.88	-0.32	0.86	-0.36	0.06
FI SCANDICCI	0.94	0.17	0.96	0.15	-0.02
FI CALENZANO	0.95	0.16	0.94	0.10	0.18
FI EMPOLI RIDOLFI	0.94	0.27	0.94	0.22	0.16
FI MONTELUPO VIA MILANI	0.92	0.30	0.93	0.27	0.07
PO FERRUCCI	0.92	0.27	0.92	0.20	0.21
PO ROMA	0.97	0.18	0.98	0.16	0.00
POSTROZZI	0.96	0.19	0.97	0.16	0.03
PT ZAMENHOF	0.95	0.15	0.96	0.12	0.02
PT MERLINI	0.95	0.09	0.95	0.07	0.00
PT MONTALE	0.96	0.21	0.97	0.18	0.00
AR FIORENTINA	0.92	0.31	0.93	0.26	0.15
AR REPUBBLICA	0.56	-0.21	0.50	-0.34	0.58
LU 1VIAREGGIO	0.01	0.47	-0.01	0.39	0.44
LU 2VIAREGGIO	0.69	0.45	0.68	0.37	0.37
LU CAPANNORI	0.93	0.19	0.92	0.12	0.21
PI BORGHETTO	0.95	0.18	0.95	0.14	0.11
PI CASCINA	0.74	0.48	0.74	0.42	0.26
PI MONTECERBOLIBIS	0.16	0.89	0.19	0.89	0.09
PI NAVACCHIO	0.89	0.43	0.90	0.39	0.12
PI ORATOIO	0.78	0.47	0.80	0.44	0.09
PI SANROMANO	0.95	0.22	0.96	0.19	0.06
PI SANTACROCE COOP	0.93	0.31	0.93	0.25	0.18
PI SANTACROCE SERAO	0.95	0.26	0.96	0.21	0.10
LI COTONE	0.03	0.72	0.08	0.76	-0.15
LI GOBETTI	0.71	0.53	0.72	0.50	0.09
LI VENETO	0.07	0.34	0.01	0.18	0.87
LI M.GORDATO	0.10	0.96	0.13	0.94	0.17
GR URSS	0.28	0.85	0.30	0.82	0.21
SI CAMPIDOGGIO	0.85	-0.09	0.84	-0.14	0.13

L'analisi con tre fattori non differisce nell'individuazione dei primi due, mentre associa il terzo fattore alla sola stazione Veneto (LI), aggiungendo quindi uno scarso apporto informativo.

Si distinguono, quindi, due fattori principali, dove il primo è rappresentato dal gruppo di stazioni caratterizzate da un andamento stagionale molto marcato – con una forte differenza nei valori di concentrazione misurati nel semestre freddo e in quello caldo – ed il secondo è individuato dalle stazioni in cui l'andamento stagionale non è evidente.

Si può ipotizzare che le stazioni del secondo gruppo risentano dell'effetto del mare, visto che si trovano tutte in prossimità della costa; tuttavia non è vero il contrario, cioè non tutte le stazioni sulla costa mostrano serie temporali simili. Le stazioni dell'entroterra invece fanno parte del primo gruppo, cioè sono rappresentate dal primo

fattore. Si individua un terzo gruppo di stazioni, quelle ubicate in prossimità della costa, che hanno un alto coefficiente nel primo fattore - Viareggio 2, Cascina, Navacchio, Oratoio e Gobetti - e che hanno comunque un coefficiente significativo nel secondo fattore, indice di un comportamento intermedio tra i due fattori.

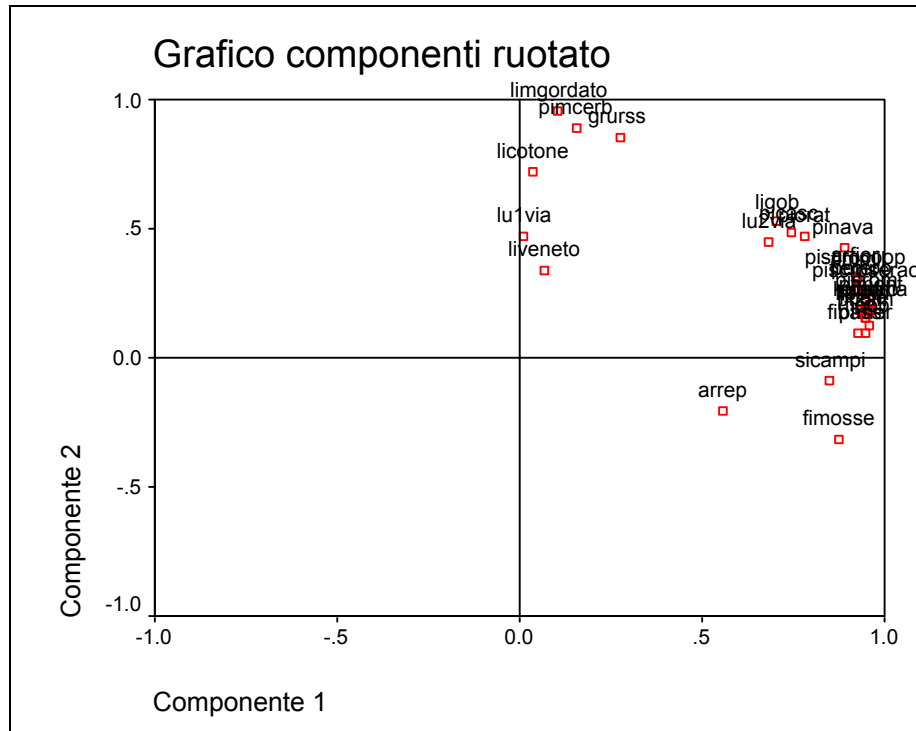


Fig. 7 - Grafico relativo all'analisi fattoriale con due fattori.

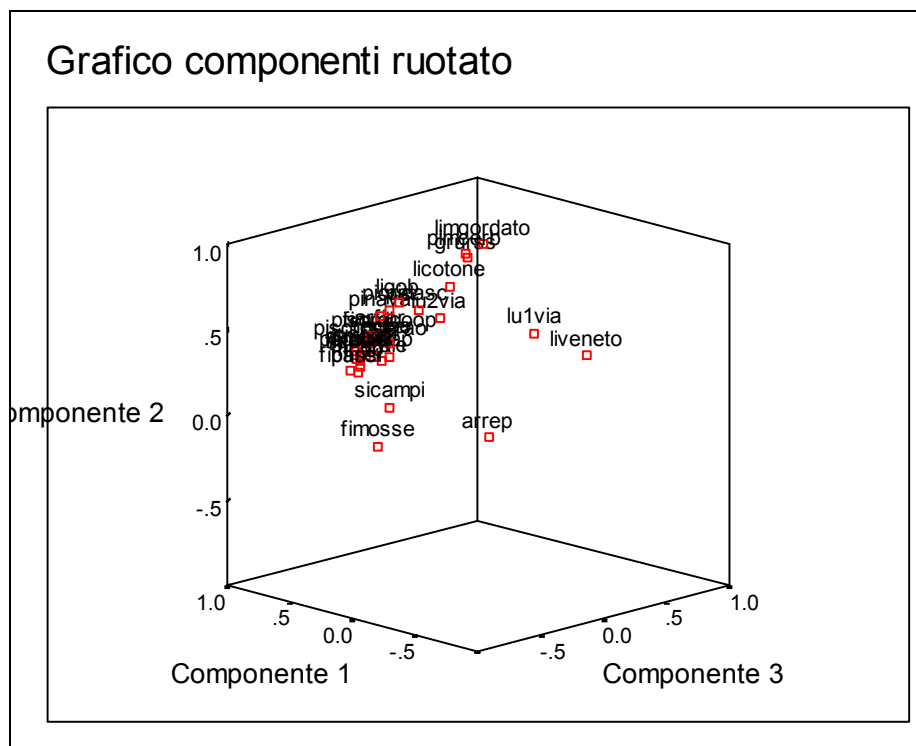


Fig. 8 - Grafico relativo all'analisi fattoriale con tre fattori.

Nelle figure precedenti sono riportati anche i grafici, associati alla analisi fattoriale con due fattori (fig. 7) e con tre fattori (fig.8).

I risultati di tutte le analisi svolte sembrano quindi individuare due comportamenti principali, il primo caratterizzato da un forte andamento stagionale, il secondo relativo ad un andamento pressoché costante: al primo tipo appartengono tutte le stazioni dell'entroterra, al secondo tipo tre stazioni sulla costa. Un terzo gruppo di stazioni – ubicate comunque in prossimità della costa – mostrano un comportamento intermedio. Resta fuori da questo quadro un numero limitato di stazioni, che non possono essere accomunate a nessuno dei tre gruppi.

In ogni caso, il risultato più sorprendente consiste nella possibilità di individuare tre gruppi, che caratterizzano la maggior parte delle serie storiche misurate sull'intero territorio regionale.

Si può quindi ipotizzare una marcata influenza delle condizioni meteorologiche alla scala sinottica sui valori di concentrazione giornaliera di PM₁₀.

Quantitativamente, i valori di concentrazione hanno una marcata dipendenza spaziale, da cui si può supporre che le condizioni sinottiche determinino a scala regionale le condizioni favorevoli o meno all'accumulo degli inquinanti, ma che, in ciascuna area, le concentrazioni possano essere più o meno alte a seconda delle caratteristiche delle sorgenti emissive locali.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

In questo capitolo verranno evidenziate le correlazioni tra alcuni parametri meteorologici – velocità del vento, temperatura, pioggia cumulata – ed i valori di concentrazione di PM₁₀.

Anche in questo caso, la difficoltà principale consiste nel reperimento di dati meteo validi sull'intero periodo in esame, il quinquennio 2000-2004.

Lo scopo del lavoro è quello di individuare i parametri meteorologici – mediati anch'essi su base giornaliera, in modo da essere direttamente correlabili con le misure di PM₁₀ – che abbiano una influenza determinante sull'andamento temporale delle serie storiche registrate nelle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria.

Dopo una prima scelta della base-dati meteorologica, sono state effettuate le correlazioni tra parametri meteo e misure di PM₁₀, tramite le matrici di correlazione. Successivamente sono stati individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la pioggia cumulata su base giornaliera e per la velocità media del vento, anch'essa su base giornaliera; tali valori possono aiutare a discriminare fra condizioni meteo favorevoli o sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera.

2.1 I dati meteorologici

Il reperimento di dati meteorologici misurati con continuità sul territorio regionale nel periodo in esame si è rivelato piuttosto difficoltoso. Limitatamente all'anno 2002, sono state reperite le misure di velocità e direzione del vento e temperatura effettuate in sei stazioni: Ximeniano (FI), Baciacavallo (PO), Porcari (LU), De Sanctis (LI), della rete meteo gestita da ARPAT; Pisa, di proprietà dell'Aeronautica Militare; ed infine la stazione di proprietà del LaMMA, presso Capalle (FI).

I dati delle stazioni di Pisa e del LaMMA risultano gli unici utilizzabili, dato che coprono l'intero periodo in esame e, inoltre, comprendono anche i valori di pioggia cumulata su base giornaliera. In realtà, la stazione del LaMMA nel mese di aprile 2003 è stata spostata, a seguito del cambiamento della sede del laboratorio, da Capalle a Sesto Fiorentino: si tratta comunque di due aree molto vicine e quindi si è deciso di utilizzare questi dati – relativi a velocità del vento, temperatura e pioggia⁵ – per l'intero periodo.

I dati relativi all'anno 2002, per le sei stazioni, sono stati utilizzati per valutare le differenze che si riscontrano sul territorio: per questo sono state elaborate le matrici

⁵ Il parametro più critico è sicuramente la direzione del vento, che in questo studio non viene utilizzato.

di correlazione per le medie giornaliere di temperatura e di velocità del vento (tabb. 10 e 11).

Si può notare che i valori di temperatura media giornaliera sono molto correlati in tutte le stazioni, con fattori superiori a 0.95: in effetti, si può intuire come gli scarti tra i valori misurati siano piccoli sul territorio regionale.

Per quanto riguarda i valori medi su base giornaliera di velocità del vento, si notano invece delle differenze, evidenziando una alta correlazione tra le stazioni più vicine: Ximeniano, Baciacavallo e LaMMA presentano fattori di correlazione dell'ordine di 0.85; De Sanctis e Pisa sono anch'esse correlate tra loro, mentre Porcari non risulta correlata con nessuno dei due gruppi.

Tab. 10 – Matrice di correlazione per i valori di velocità del vento media nelle stazioni Ximeniano, Baciacavallo, Porcari, De Sanctis, LaMMA, Pisa, nell'anno 2002

vento	ximeniano	cavallo	porcari	desanctis	lamma	pisa
ximeniano	1.00	0.84	0.59	0.71	0.85	0.57
cavallo	0.84	1.00	0.41	0.73	0.91	0.58
porcari	0.59	0.41	1.00	0.52	0.36	0.61
desanctis	0.71	0.73	0.52	1.00	0.71	0.82
lamma	0.85	0.91	0.36	0.71	1.00	0.52
pisa	0.57	0.58	0.61	0.82	0.52	1.00

Tab. 11 – Matrice di correlazione per i valori di temperatura media nelle stazioni Ximeniano, Baciacavallo, De Sanctis, LaMMA, Pisa, nell'anno 2002.

temperatura	ximeniano	cavallo	desanctis	lamma	pisa
ximeniano	1.00	0.97	0.98	1.00	0.98
cavallo	0.97	1.00	0.96	0.97	0.96
desanctis	0.98	0.96	1.00	0.98	0.97
lamma	1.00	0.97	0.98	1.00	0.98
pisa	0.98	0.96	0.97	0.98	1.00

Tab. 12 – Matrice di correlazione per i valori di vento, temperatura e pioggia nelle stazioni LaMMA e Pisa, nel periodo 2000-2004.

	vento_LaMMA	vento_Pisa	T media_LaMMA	T media_Pisa	pioggia_LaMMA	pioggia_Pisa
vento_LaMMA	1.00	0.52	\	\	\	\
vento_Pisa	0.52	1.00	\	\	\	\
T media_LaMMA	\	\	1.00	0.94	\	\
T media_Pisa	\	\	0.94	1.00	\	\
pioggia_LaMMA	\	\	\	\	1.00	0.61
pioggia_Pisa	\	\	\	\	0.61	1.00

Per completezza, sono state determinate le correlazioni tra i valori misurati nella stazione di Pisa e del LaMMA, nel corso dei cinque anni in esame, per i valori medi di vento, di temperatura e di pioggia. Si confermano, anche per l'intero periodo, i valori di correlazione per la temperatura (0.94) e per la velocità del vento (0.52); i dati di pioggia mostrano un fattore di correlazione pari a 0.61.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

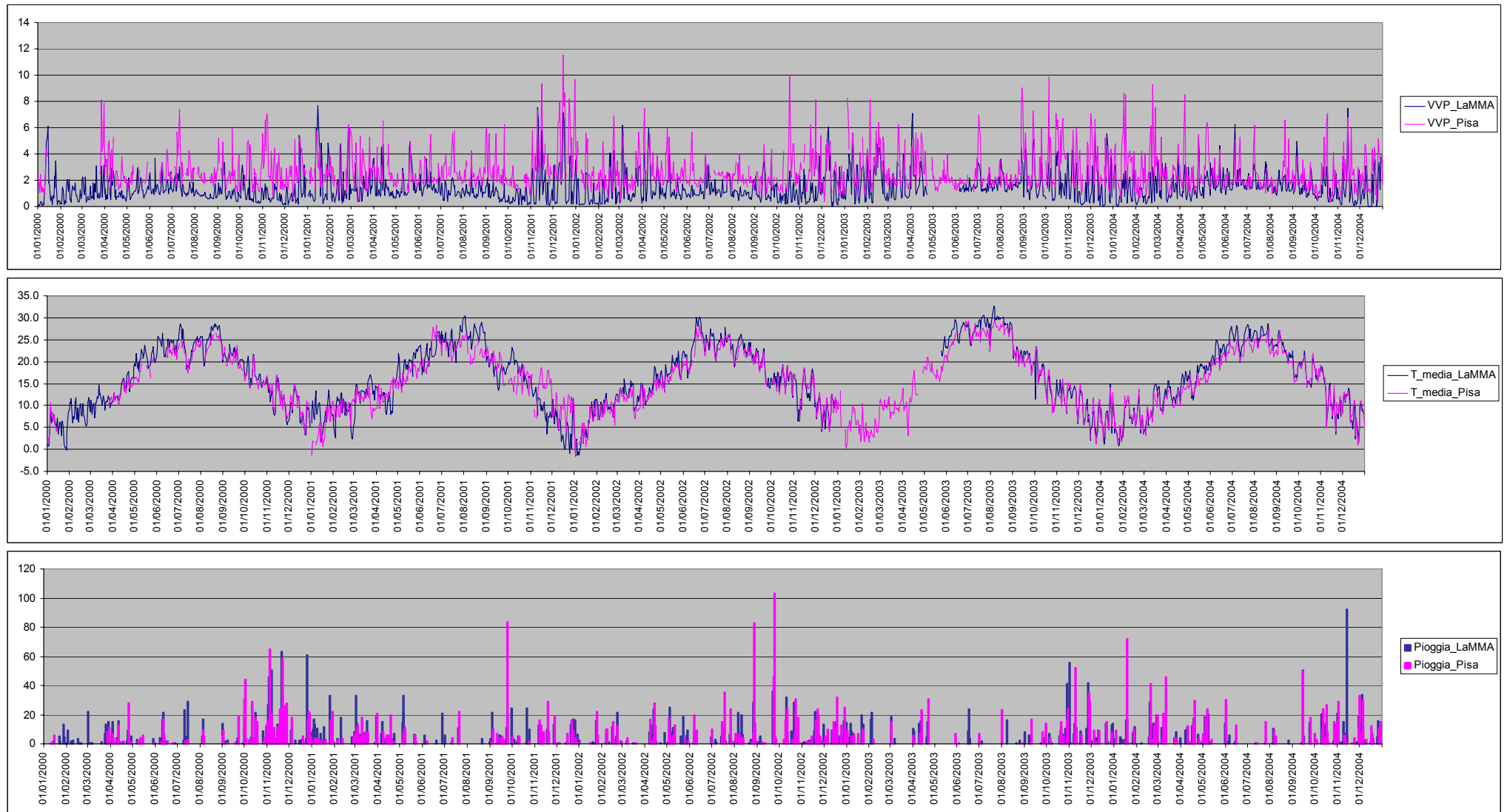


Fig. 9 – Grafici relativi all’andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, della temperatura e della pioggia cumulata, misurati nella stazione LaMMA e nella stazione dell’Aeronautica Militare presso l’aeroporto di Pisa, nel periodo 2000-2004.

Nei grafici in figura 9 sono riportati gli andamenti temporali dei valori di velocità media giornaliera del vento, della temperatura e della pioggia cumulata, misurati nella stazione LaMMA e nella stazione di Pisa, nel periodo 2000-2004.

Anche da questi grafici si può notare chiaramente la forte correlazione tra i valori di temperatura registrati nelle due stazioni. Per quanto riguarda i valori di vento, si nota che in alcuni casi gli eventi caratterizzati da venti di velocità sostenuta sono presenti contemporaneamente in entrambe le stazioni; nella stazione di Pisa, comunque, i valori della velocità sono generalmente superiori rispetto a quelli registrati nella stazione del LaMMA. Il grafico relativo alla pioggia cumulata mostra che gli eventi di pioggia sono generalmente presenti negli stessi giorni nelle due stazioni, ma che i valori quantitativi possono essere anche marcatamente diversi.

2.2 Correlazioni tra i dati meteorologici e le misure di PM₁₀

Per effettuare le correlazioni con le misure di concentrazione di PM₁₀, sono stati determinati i valori di velocità media del vento (VVP_24), di temperatura media (T_media_24), minima (T_MIN_24) e massima (T_MAX_24) su base giornaliera, nonché i valori di pioggia cumulata giornaliera (RAIN_mm); inoltre, è stato individuato un ulteriore parametro – indicato in seguito come “g.d.RAIN_mm” – che ha la funzione di correlare i valori di pioggia con i valori di concentrazione di PM₁₀ registrati il giorno successivo all’evento di pioggia.

Tali valori, elaborati sulla base dei dati misurati nella stazione LaMMA e in quella di Pisa, correlati con i valori di concentrazione di PM₁₀ misurati nelle 47 stazioni presenti in Toscana, sono riportati nella tabella 13 (correlazioni con i dati meteo misurati nella stazione LaMMA) e nella tabella 14 (correlazioni con i dati meteo misurati nella stazione di Pisa).

Per facilitare l’interpretazione dei risultati, nelle tabelle sono stati evidenziati i coefficienti di correlazione superiori ad una determinata soglia – maggiore, in valore assoluto, rispetto a 0.30 per i parametri velocità del vento e temperatura, a 0.20 per i parametri relativi alla pioggia⁶.

⁶ Si sottolinea che la scelta delle soglie di 0.30 e 0.20 è arbitraria ed è finalizzata unicamente a facilitare l’interpretazione dei dati.

Tab. 13 – Coefficienti di correlazione tra i valori di PM_{10} misurati nelle stazioni di monitoraggio ed alcuni parametri meteorologici relativi alla stazione LaMMA nel periodo 2000-2004: velocità del vento, temperatura media minima e massima giornaliera, pioggia cumulata giornaliera e pioggia cumulata giornaliera correlata ai valori di PM_{10} registrati il giorno successivo all'evento di pioggia.

	VVP_24	T_media_24	T_MIN_24	T_MAX_24	RAIN_MM	g.d.RAIN_MM
FIBASSI	-0.38	-0.06	-0.10	0.00	-0.17	-0.24
FIBOB	-0.40	-0.22	-0.25	-0.17	-0.18	-0.23
FIGRAM	-0.33	-0.14	-0.17	-0.08	-0.18	-0.18
FIMOSSE	-0.43	-0.44	-0.43	-0.41	-0.10	-0.11
FIROS	-0.24	0.07	0.08	0.05	-0.10	-0.11
FISCAN	-0.46	-0.30	-0.31	-0.25	-0.10	-0.18
FICALENZ	-0.46	-0.25	-0.29	-0.20	-0.18	-0.21
FIEMPO	-0.44	-0.18	-0.22	-0.13	-0.15	-0.16
FIMPRAT	-0.36	0.26	0.21	0.30	-0.25	-0.30
FIMMIL	-0.29	-0.03	-0.05	0.00	-0.21	-0.23
POFER	-0.34	-0.24	-0.24	-0.22	-0.10	-0.15
POFONT	-0.40	-0.32	-0.31	-0.29	-0.07	-0.17
POROMA	-0.43	-0.33	-0.33	-0.31	-0.07	-0.12
POSTRO	-0.30	-0.35	-0.36	-0.31	-0.08	-0.11
PTZAM	-0.39	-0.45	-0.46	-0.42	-0.11	-0.14
PTMER	-0.46	-0.40	-0.45	-0.32	-0.21	-0.19
PTMONT	-0.44	-0.41	-0.43	-0.35	-0.13	-0.19
ARFIOR	-0.57	-0.30	-0.30	-0.25	-0.15	-0.20
ARREP	-0.20	-0.08	-0.06	-0.09	-0.06	-0.08
LU1VIA	-0.07	-0.19	-0.16	-0.20	-0.10	-0.10
LU2VIA	-0.21	0.02	-0.02	0.07	-0.20	-0.16
LUCAP	-0.23	-0.32	-0.37	-0.27	-0.21	-0.21
LUCAST	-0.21	-0.49	-0.52	-0.47	-0.16	-0.18
LUMIC	-0.20	-0.23	-0.26	-0.19	-0.11	-0.15
LUPAS	-0.24	-0.46	-0.48	-0.41	-0.12	-0.20
LUTANG	-0.16	-0.34	-0.34	-0.32	-0.13	-0.15
PIBOR	-0.38	-0.33	-0.39	-0.25	-0.24	-0.18
PICASC	-0.39	-0.05	-0.12	0.02	-0.26	-0.21
PIFAZIO	-0.41	-0.21	-0.26	-0.14	-0.26	-0.22
PILARI	-0.45	-0.39	-0.40	-0.34	-0.15	-0.21
PIMCERB	-0.11	0.44	0.42	0.45	-0.17	-0.26
PINAVA	-0.40	-0.14	-0.17	-0.09	-0.21	-0.19
PIORAT	-0.39	-0.01	-0.05	0.04	-0.19	-0.27
PISROM	-0.41	-0.25	-0.32	-0.18	-0.24	-0.24
PISCCOOP	-0.37	-0.15	-0.19	-0.10	-0.21	-0.20
PISCER	-0.35	-0.24	-0.28	-0.17	-0.18	-0.19
PISCOTTO	-0.30	-0.26	-0.30	-0.21	-0.24	-0.27
PIPONTE	-0.51	-0.30	-0.32	-0.24	-0.18	-0.19
LICOTONE	-0.10	0.23	0.24	0.22	-0.04	-0.19
LIGOB	-0.21	0.31	0.23	0.36	-0.29	-0.27
LICARD	-0.31	-0.08	-0.14	-0.02	-0.24	-0.14
LIVENETO	0.26	0.11	0.12	0.11	-0.14	-0.14
LIMGOR	-0.10	0.51	0.47	0.53	-0.18	-0.24
GRURSS	-0.14	-0.01	-0.02	0.02	0.00	-0.06
GRSON	-0.19	-0.05	-0.06	-0.04	-0.03	0.00
SICAMPI	-0.20	-0.39	-0.42	-0.34	-0.06	-0.06
SIDPONT	-0.34	-0.32	-0.30	-0.29	-0.04	-0.10

Tab. 14 – Coefficienti di correlazione tra i valori di PM_{10} misurati nelle stazioni di monitoraggio ed alcuni parametri meteorologici relativi alla stazione di Pisa nel periodo 2000-2004: velocità del vento, temperatura media minima e massima giornaliera, pioggia cumulata giornaliera e pioggia cumulata giornaliera correlata ai valori di PM_{10} registrati il giorno successivo all'evento di pioggia.

	VVP_24	T_media_24	T_MIN_24	T_MAX_24	RAIN_MM	g.d.RAIN_MM
FIBASSI	-0.25	-0.02	-0.05	0.01	-0.14	-0.24
FIBOB	-0.24	-0.17	-0.16	-0.15	-0.15	-0.23
FIGRAM	-0.26	-0.16	-0.20	-0.10	-0.15	-0.18
FIMOSSE	-0.26	-0.33	-0.31	-0.31	-0.08	-0.11
FIROS	-0.21	0.09	0.09	0.09	-0.05	-0.11
FISCAN	-0.24	-0.27	-0.25	-0.24	-0.06	-0.18
FICALENZ	-0.26	-0.22	-0.24	-0.17	-0.19	-0.21
FIEMPO	-0.24	-0.18	-0.18	-0.15	-0.16	-0.16
FIMPRAT	-0.27	0.06	0.00	0.13	-0.28	-0.30
FIMMIL	-0.22	-0.05	-0.07	-0.01	-0.23	-0.23
POFER	-0.18	-0.21	-0.20	-0.19	-0.08	-0.15
POFONT	-0.19	-0.27	-0.24	-0.26	-0.05	-0.17
POROMA	-0.20	-0.30	-0.27	-0.28	-0.06	-0.12
POSTRO	-0.10	-0.33	-0.31	-0.30	-0.07	-0.11
PTZAM	-0.19	-0.38	-0.36	-0.36	-0.10	-0.14
PTMER	-0.28	-0.35	-0.37	-0.28	-0.20	-0.19
PTMONT	-0.18	-0.37	-0.37	-0.33	-0.13	-0.19
ARFIOR	-0.30	-0.25	-0.23	-0.20	-0.14	-0.20
ARREP	-0.20	-0.10	-0.08	-0.09	-0.06	-0.08
LU1VIA	-0.10	-0.27	-0.26	-0.24	-0.09	-0.10
LU2VIA	-0.09	0.00	-0.03	0.06	-0.23	-0.16
LUCAP	-0.22	-0.41	-0.43	-0.34	-0.19	-0.21
LUCAST	-0.11	-0.41	-0.40	-0.37	-0.17	-0.18
LUMIC	-0.18	-0.35	-0.37	-0.28	-0.10	-0.15
LUPAS	-0.09	-0.47	-0.47	-0.41	-0.13	-0.20
LUTANG	-0.18	-0.35	-0.35	-0.30	-0.12	-0.15
PIBOR	-0.34	-0.29	-0.31	-0.23	-0.22	-0.18
PICASC	-0.37	-0.02	-0.06	0.04	-0.27	-0.21
PIFAZIO	-0.37	-0.20	-0.24	-0.10	-0.30	-0.22
PILARI	-0.21	-0.33	-0.31	-0.30	-0.17	-0.21
PIMCERB	-0.15	0.39	0.36	0.42	-0.21	-0.26
PINAVA	-0.36	-0.16	-0.17	-0.11	-0.21	-0.19
PIORAT	-0.30	-0.10	-0.13	-0.03	-0.22	-0.27
PISROM	-0.31	-0.22	-0.24	-0.17	-0.22	-0.24
PISCCOOP	-0.29	-0.14	-0.16	-0.08	-0.19	-0.20
PISCER	-0.24	-0.16	-0.17	-0.12	-0.16	-0.19
PISCOTTO	-0.32	-0.08	-0.10	-0.03	-0.27	-0.27
PIPONTE	-0.31	-0.28	-0.28	-0.21	-0.19	-0.19
LICOTONE	0.01	0.19	0.18	0.21	-0.08	-0.19
LIGOB	-0.23	0.25	0.18	0.33	-0.30	-0.27
LICARD	-0.35	-0.16	-0.21	-0.07	-0.23	-0.14
LIVENETO	0.27	-0.03	-0.04	0.01	-0.18	-0.14
LIMGOR	-0.13	0.47	0.42	0.50	-0.20	-0.24
GRURSS	-0.14	0.01	0.01	0.03	0.02	-0.06
GRSON	-0.14	0.01	0.01	0.02	-0.07	0.00
SICAMPI	0.01	-0.27	-0.22	-0.29	-0.08	-0.06
SIDPONT	-0.08	-0.21	-0.16	-0.22	-0.08	-0.10

Tab. 15 – Coefficienti di correlazione tra i valori di PM_{10} misurati nelle stazioni di monitoraggio e la temperatura media relativa alle stazioni del LaMMA e di Pisa nel periodo 2000-2004, su base stagionale: sono stati separati i dati relativi ai semestri freddi (ottobre-marzo), da quelli misurati nei semestri caldi (aprile-settembre).

	T_media_LaMMA		T_media_Pisa	
	inverno	estate	inverno	estate
FIBASSI	-0.17	0.32	-0.12	0.27
FIBOB	-0.20	0.34	-0.11	0.27
FIGRAM	-0.13	0.10	-0.21	0.07
FIMOSSE	-0.30	-0.19	-0.16	-0.20
FIROS	0.03	0.24	0.05	0.27
FISCAN	-0.19	0.29	-0.13	0.24
FICALENZ	-0.23	0.40	-0.16	0.36
FIEMPO	-0.11	0.17	-0.09	0.14
FIMPRAT	0.24	0.41	-0.04	0.33
FIMMIL	-0.11	0.47	-0.12	0.36
POFER	-0.22	0.27	-0.18	0.26
POFONT	-0.23	0.12	-0.12	0.09
POROMA	-0.19	0.01	-0.14	-0.01
POSTRO	-0.18	-0.04	-0.15	-0.07
PTZAM	-0.34	0.03	-0.18	-0.01
PTMER	-0.45	0.31	-0.36	0.31
PTMONT	-0.38	0.30	-0.29	0.27
ARFIOR	-0.15	0.36	-0.08	0.34
ARREP	0.04	0.14	-0.01	0.07
LU1VIA	-0.14	0.39	-0.28	0.35
LU2VIA	-0.16	0.25	-0.22	0.23
LUCAP	-0.35	0.38	-0.44	0.27
LUCAST	-0.47	-0.16	-0.39	0.09
LUMIC	-0.35	0.14	-0.44	0.06
LUPAS	-0.38	0.21	-0.40	0.12
LUTANG	-0.40	0.28	-0.42	0.20
PIBOR	-0.28	0.18	-0.24	0.14
PICASC	-0.13	0.42	-0.13	0.32
PIFAZIO	-0.18	0.41	-0.22	0.31
PILARI	-0.31	0.34	-0.22	0.34
PIMCERB	0.28	0.61	0.19	0.55
PINAVA	-0.10	0.38	-0.14	0.31
PIORAT	-0.10	0.48	-0.17	0.42
PISROM	-0.30	0.39	-0.24	0.33
PISCCOOP	-0.16	0.35	-0.14	0.30
PISC SER	-0.27	0.27	-0.18	0.25
PISCOTTO	-0.37	0.50	-0.36	0.46
PIPONTE	-0.21	0.44	-0.19	0.42
LICOTONE	0.34	0.34	0.24	0.25
LIGOB	0.17	0.45	0.08	0.41
LICARD	0.01	0.22	-0.12	0.19
LIVENETO	0.05	0.29	-0.16	0.28
LIMGOR	0.39	0.58	0.30	0.52
GRURSS	-0.02	0.02	0.04	0.02
GRSON	0.11	0.34	0.12	0.46
SICAMPI	-0.21	-0.16	0.02	-0.15
SIDPONT	-0.13	-0.03	-0.02	0.09

2.2.1 Velocità del vento

Osservando la tabella 13, in cui sono riportati i coefficienti di correlazione con i dati meteo misurati nella stazione LaMMA, si può notare che quasi tutte le stazioni di Firenze, Prato, Pistoia e Pisa (con l'eccezione di Montecerboli) sono anticorrelate rispetto ai valori di velocità media di vento, presentando coefficienti inferiori a -0.30.

Anche dall'osservazione dei grafici riportati nella figura 10 – andamento dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione Bassi (FI), nell'anno 2002 – e nella figura 12 – andamento dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione Roma (PO), nel periodo 2000-2004 – risulta evidente l'anticorrelazione tra gli eventi in cui si registra un vento sostenuto e la diminuzione dei valori di concentrazione di PM₁₀. In particolare, questa tendenza risulta più chiaramente visibile in figura 10, dove sono riportati gli andamenti di un solo anno: si noti l'episodio verificatosi nei giorni intorno all'8 dicembre 2002, in cui ad un forte vento corrisponde una drastica riduzione delle concentrazioni di PM₁₀.

Che esista una relazione tra la presenza di vento sostenuto e persistente – la velocità del vento è una media giornaliera – e la diminuzione della concentrazione di inquinanti in aree prossime alla stazione meteo è ben noto: meno evidente è invece l'analoga relazione che lega l'evento meteo e la diminuzione delle concentrazioni in aree distanti dalla stazione meteo di riferimento, come risulta dai coefficienti di correlazione in tabella 13.

Come è stato evidenziato nel precedente capitolo, le misure di concentrazione misurate in un gruppo di centraline, caratterizzate da un marcato andamento stagionale, presentano un andamento temporale molto simile: questo comportamento è probabilmente imputabile alla forte dipendenza che esiste tra le condizioni meteo a scala sinottica e l'accumulo o la dispersione degli inquinanti in aria.

Le misure registrate nello stesso gruppo di centraline risultano adesso anticorrelate rispetto ai valori di velocità media del vento misurate presso la stazione LaMMA: è quindi probabile che il parametro meteorologico individuato sia rappresentativo di una condizione, vento forte e persistente, che si verifica alla scala sinottica.

Se consideriamo invece i coefficienti riportati in tabella 14 – determinati utilizzando i dati meteo misurati a Pisa – notiamo che le stazioni anticorrelate sono quelle nella provincia di Pisa (ad eccezione di Montecerboli), mentre i coefficienti relativi alle stazioni dell'entroterra sono inferiori, in valore assoluto, a 0.30. La stazione LaMMA,

quindi, caratterizza meglio gli episodi di interesse, rispetto alla stazione presso Pisa, più rappresentativa della zona costiera.

In sintesi, dall'analisi dei coefficienti di correlazione e dall'osservazione dei grafici che riportano l'andamento della velocità del vento e delle concentrazioni inquinanti, si può concludere che gli eventi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni siano quelli caratterizzati da un vento medio-forte, persistente per molte ore o addirittura qualche giorno: queste condizioni, generalmente, si verificano alla scala sinottica e non si tratta quindi di eventi locali.

L'indicatore meteo "velocità media giornaliera del vento"⁷ risulta quindi caratterizzante delle condizioni meteo anche a scala sinottica: può essere utile, inoltre, individuare per questo parametro dei valori-soglia, come verrà illustrato nel paragrafo 2.3.

2.2.2 Temperatura

I valori dei coefficienti di correlazione tra le concentrazioni di PM₁₀ ed i valori di temperatura media giornaliera, relativi ad entrambe le stazioni in esame – nelle tabelle 13 e 14 – evidenziano di nuovo un diverso comportamento delle centraline di un primo gruppo, costituito essenzialmente da quelle localizzate nell'entroterra, e da un secondo gruppo, costituito dalle stazioni Montecerboli (PI), M. Gordato (LI) e Gobetti (LI).

Il primo gruppo, caratterizzato da un forte andamento stagionale, mostra una marcata anticorrelazione tra i valori di concentrazione e di temperatura, evidenza che risulta anche dal grafico in figura 14: in queste stazioni, infatti, si registrano valori di concentrazione decisamente più alti nel semestre freddo rispetto ai valori registrati nel semestre caldo (vedi tab. 6).

Il secondo gruppo, invece, mostra un andamento delle concentrazioni correlato con quello delle temperature, come risulta anche osservando che in queste stazioni i valori di concentrazione rilevati in inverno sono mediamente inferiori rispetto a quelli misurati in estate (vedi tab. 6).

Le relazioni tra temperatura e concentrazioni di PM₁₀ non si esauriscono con queste considerazioni evidenti. Ad una più attenta analisi, osservando gli stessi coefficienti di correlazione effettuati su base stagionale⁸, come riportato nella tabella 15, si scopre

⁷ In questo caso l'indicatore è ricavato dai dati misurati presso il LaMMA.

⁸ cioè separando i dati relativi ai semestri freddi (ottobre-marzo), da quelli misurati nei semestri caldi (aprile-settembre).

che per le stazioni del primo gruppo esiste una marcata anticorrelazione durante il semestre freddo ed una correlazione nel semestre caldo.

Un controllo puntuale degli eventi di freddo più intenso nel periodo invernale confermano un corrispondente aumento delle concentrazioni nelle stazioni del primo gruppo: la causa di questo fenomeno è probabilmente imputabile alle emissioni da riscaldamento, che aumentano quando si registrano temperature più basse. Spesso, inoltre, quando si verificano episodi di freddo intenso, si instaurano anche condizioni stabili, favorevoli all'accumulo degli inquinanti.

Meno immediato risulta interpretare la correlazione che lega la temperatura ed i valori di concentrazione nel semestre caldo: una possibile spiegazione potrebbe riguardare i meccanismi di formazione del particolato di origine secondaria, in cui l'intensità della radiazione solare svolge un ruolo fondamentale.

Per le stazioni del secondo gruppo non si riscontrano differenze nei periodi invernale ed estivo: esiste sempre una evidente correlazione tra i dati di concentrazione e di temperatura; si sottolinea comunque che, trattandosi di misure di concentrazione rilevate in aree influenzate dal mare, la causa della correlazione con la temperatura potrebbe essere diversa da quella ipotizzata per le centraline del primo gruppo, magari da ricercarsi nei processi di formazione dell'aerosol marino. In entrambi i casi, comunque, si tratta di semplici ipotesi, che potrebbero essere confermate o smentite nell'ambito della campagna di misure ed analisi prevista dal progetto "PATOS".

2.2.3 Pioggia

I valori di pioggia cumulata su base giornaliera, misurati presso il LaMMA e presso Pisa, sono stati correlati con i dati di concentrazione rilevati dalle centraline; inoltre, come già segnalato, è stato individuato un ulteriore parametro che ha la funzione di correlare i valori di pioggia con i valori di concentrazione di PM₁₀ registrati il giorno successivo all'evento di pioggia.

In effetti, anche dall'osservazione dei grafici riportati nelle figg. 11, 13, 17, si può notare come, in alcuni casi, le concentrazioni diminuiscano in maniera evidente il giorno successivo all'evento di pioggia.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

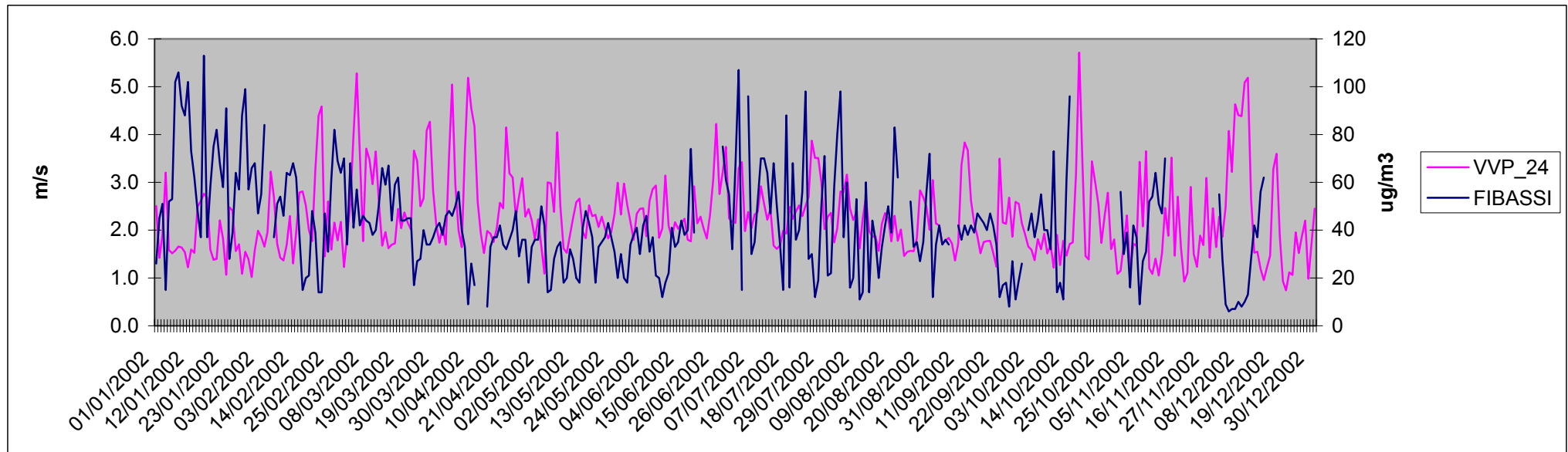


Fig. 10 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Bassi (FI), nell'anno 2002.

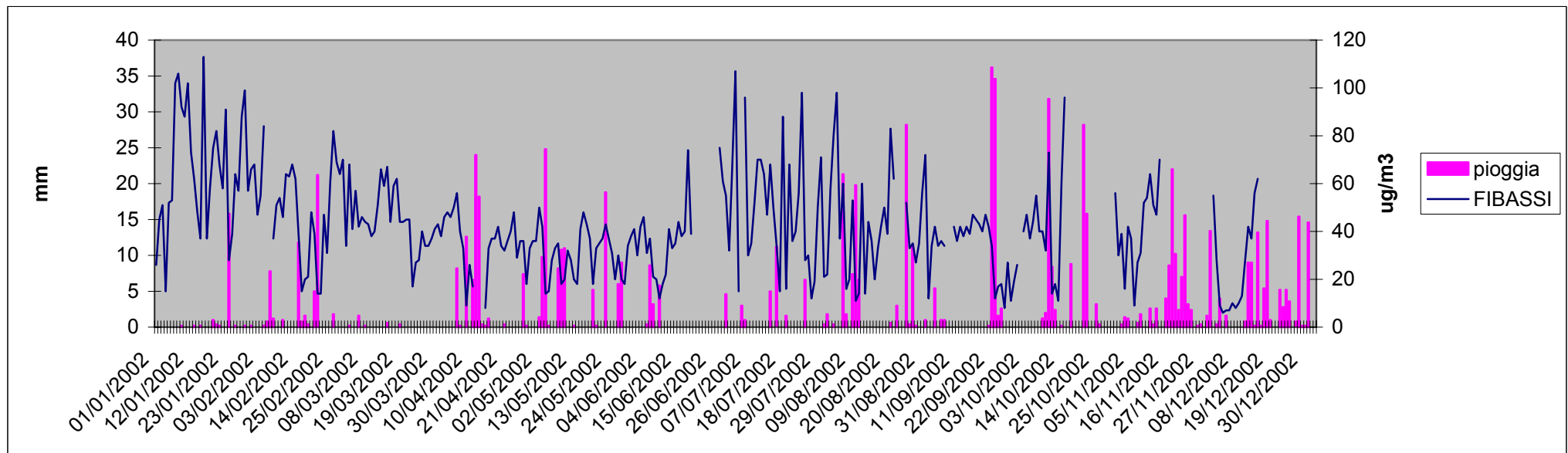


Fig. 11 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Bassi (FI), nell'anno 2002.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

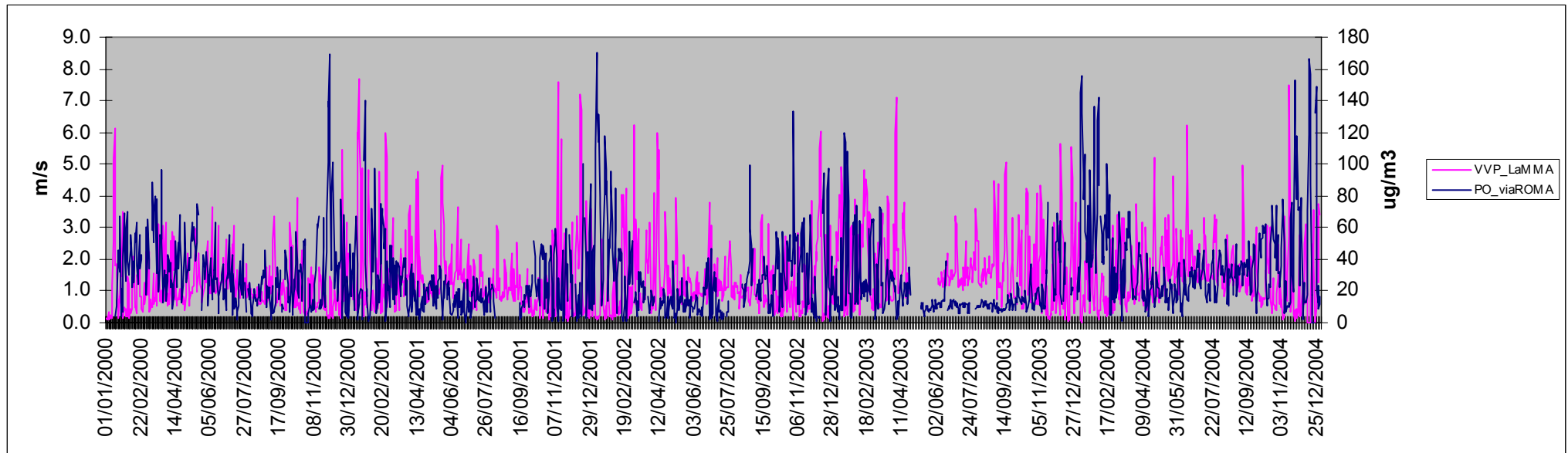


Fig. 12 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Roma (PO), nel periodo 2000-2004.

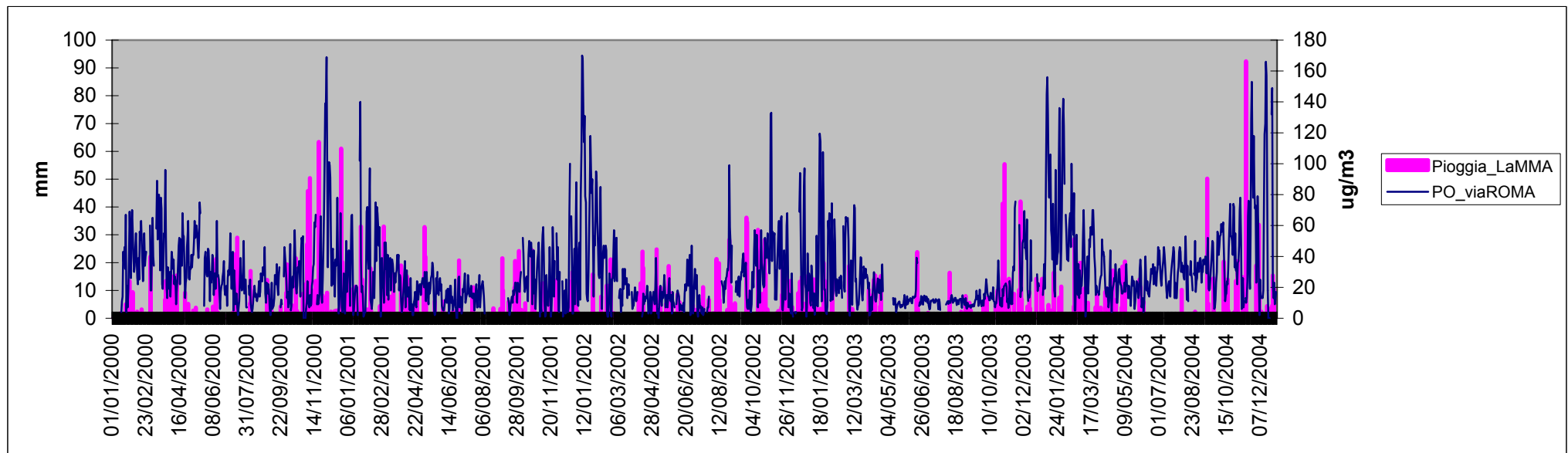


Fig. 13 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Roma (PO), nel periodo 2000-2004.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

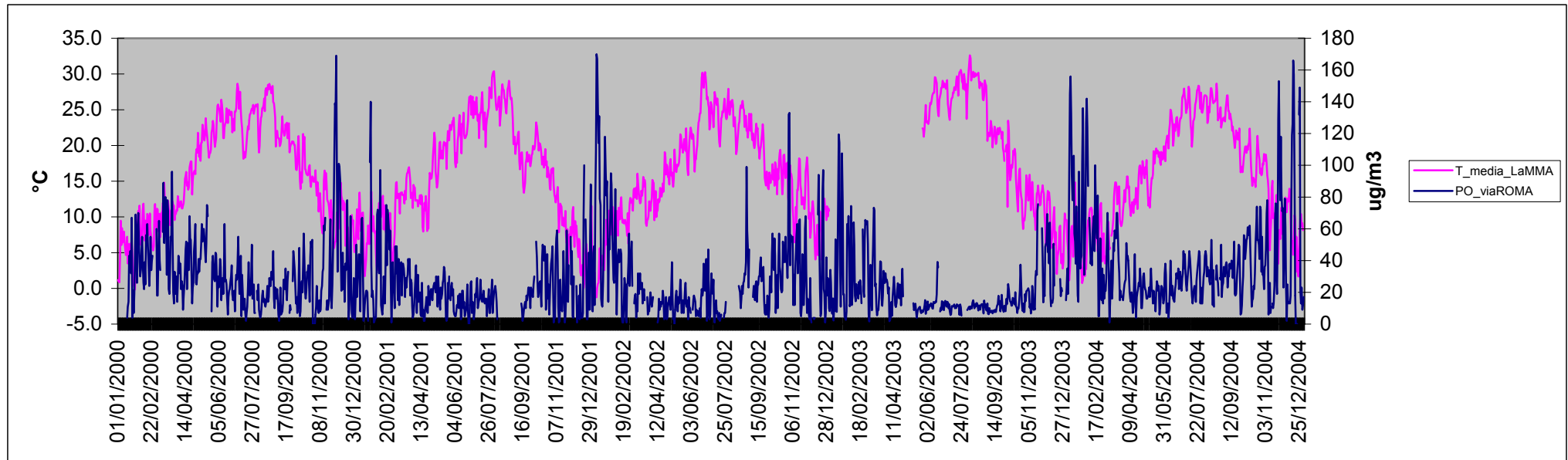


Fig. 14 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di temperatura media giornaliera, misurati nella stazione LaMMA, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione Roma (PO), nel periodo 2000-2004.

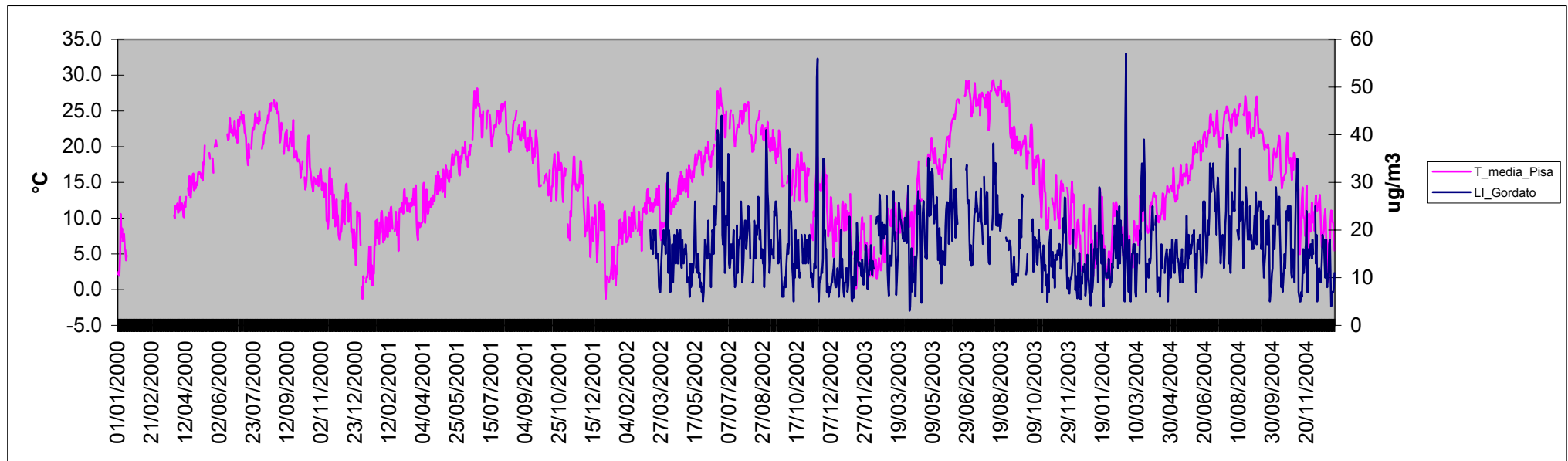


Fig. 15 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di temperatura media giornaliera, misurati nella stazione di Pisa, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione M. Gordato (LI), nel periodo 2000-2004.

2. Individuazione degli indicatori meteorologici

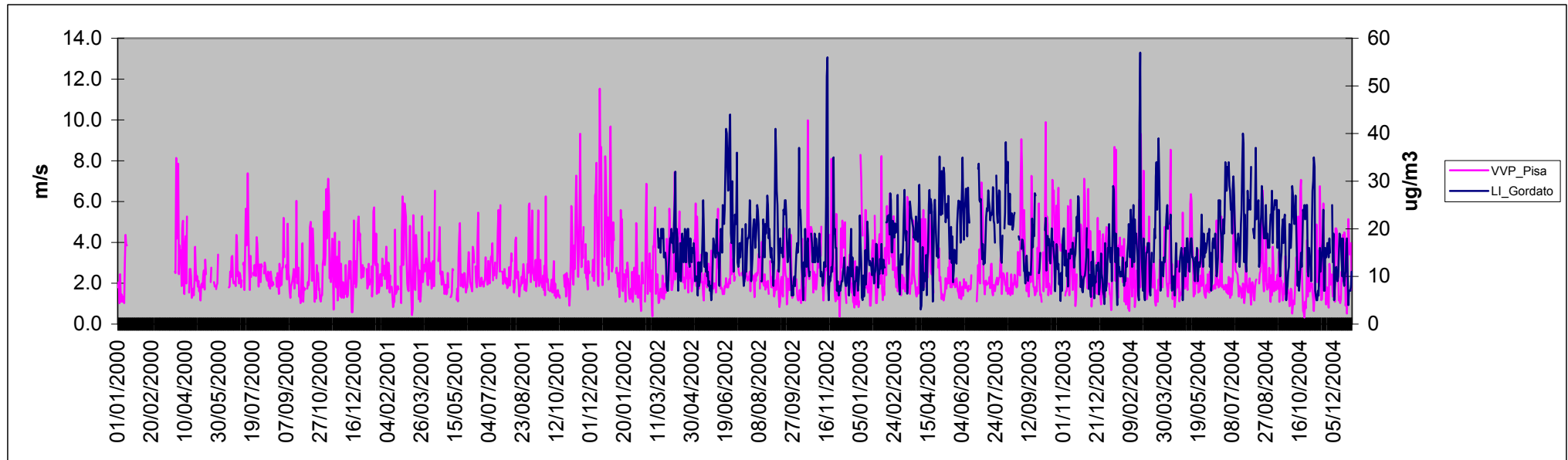


Fig. 16 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione di Pisa, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione M. Gordato (LI), nel periodo 2000-2004.

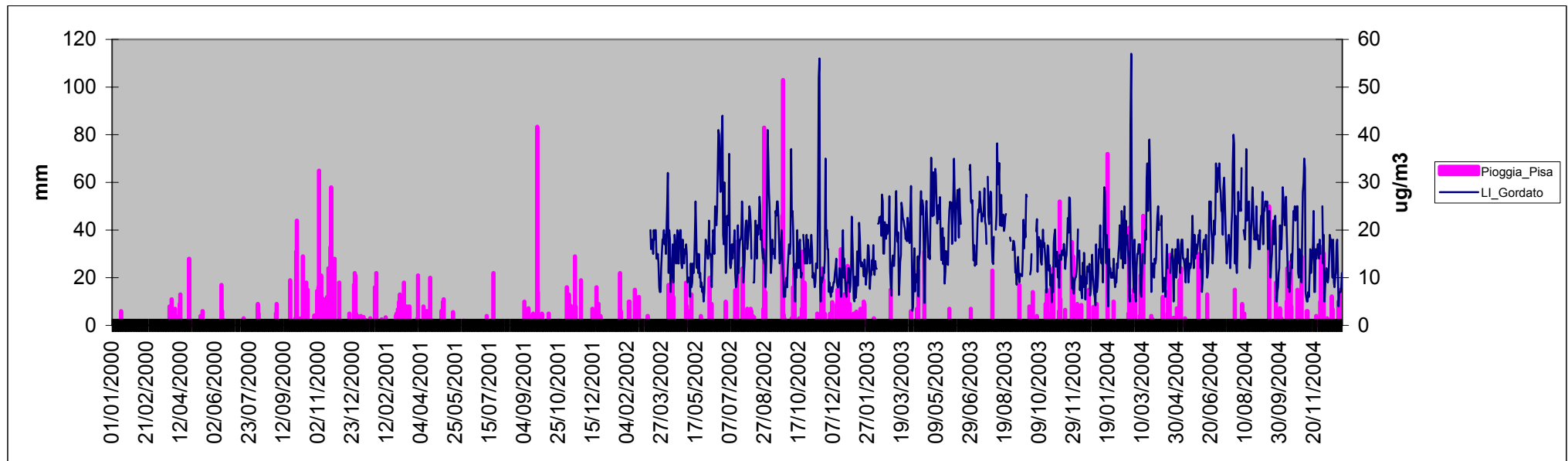


Fig. 17 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione di Pisa, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione M. Gordato (LI), nel periodo 2000-2004.

Dai grafici si nota inoltre che solo gli eventi di pioggia con intensità superiore ad una determinata soglia – ad esempio 10 mm – hanno un effetto, nello stesso giorno o nel giorno successivo, sulle concentrazioni di PM₁₀. Dal momento che l'intensità degli eventi di pioggia, soprattutto nei mesi estivi, può essere molto diversa sul territorio regionale, questo parametro deve essere valutato sulla base di dati rilevati in zone vicine o comunque rappresentative delle aree in cui si trovano le centraline di monitoraggio.

Questi indicatori, "RAIN_mm" e "g.d.RAIN_mm", risultano dai coefficienti riportati nelle tabelle 13 e 14 debolmente anticorrelati con le misure di PM₁₀.

Anche in questo caso, come per la velocità media del vento, verranno individuati nel prossimo paragrafo dei valori-soglia.

2.3 Valori-soglia per gli indicatori meteorologici

Come ulteriore approfondimento, verranno individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la velocità media del vento (VVP_24) e per la pioggia cumulata ("RAIN_mm" e "g.d.RAIN_mm"), che possono aiutare a discriminare fra condizioni meteo favorevoli e condizioni sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera.

La scelta delle soglie è soltanto indicativa, in quanto dipende dalla stazione meteo di riferimento: in effetti, per le due stazioni in esame, viene proposta una stessa soglia per l'evento di pioggia – 10 mm -, mentre, relativamente alla velocità del vento, si sono scelti 4 m/s per i dati misurati nella stazione LaMMA e 6 m/s per i dati registrati a Pisa, dove mediamente si riscontrano valori più alti.

La scelta dei valori-soglia è stata effettuata valutando la riduzione percentuale delle condizioni di inquinamento critiche – presenza di valori di concentrazione di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³ – in corrispondenza di condizioni in cui i valori degli indicatori meteorologici siano superiori a tali soglie.

Una immediata visualizzazione si può ottenere osservando i grafici riportati nelle figg. 18-23, in cui sull'asse X sono riportati i valori del vento e sull'asse Y i valori di concentrazione registrati in alcune centraline, nell'arco dell'intero periodo 2000-2004. Per motivi di sintesi, sono stati riportati solo i grafici relativi alle stazioni di Boboli (FI) (fig. 18), Ferrucci (PO) (fig. 19), Montale (PT) (fig. 20), con i dati meteo rilevati dalla stazione LaMMA, ed i grafici relativi a S. Romano (PI) (fig. 21), Navacchio (PI) (fig. 22) e Carducci (LI) (fig. 23), con i dati meteo rilevati dalla stazione di Pisa.

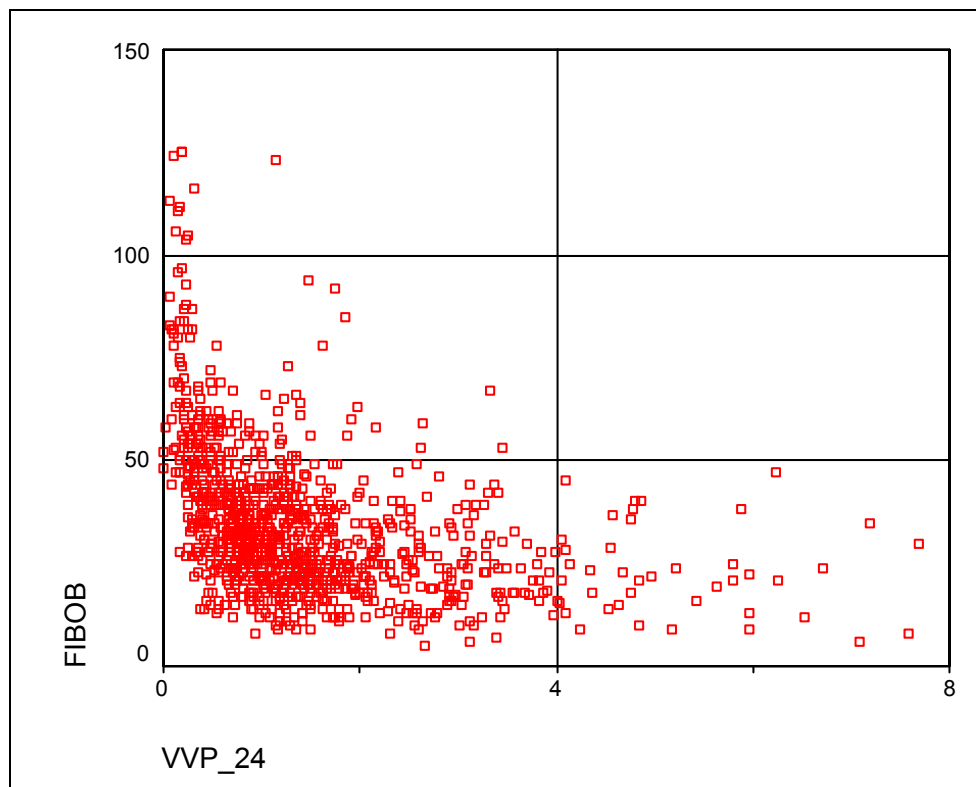


Fig. 18 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM_{10} nella stazione Boboli (FI) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione del LaMMA, nel periodo 2000-2004.

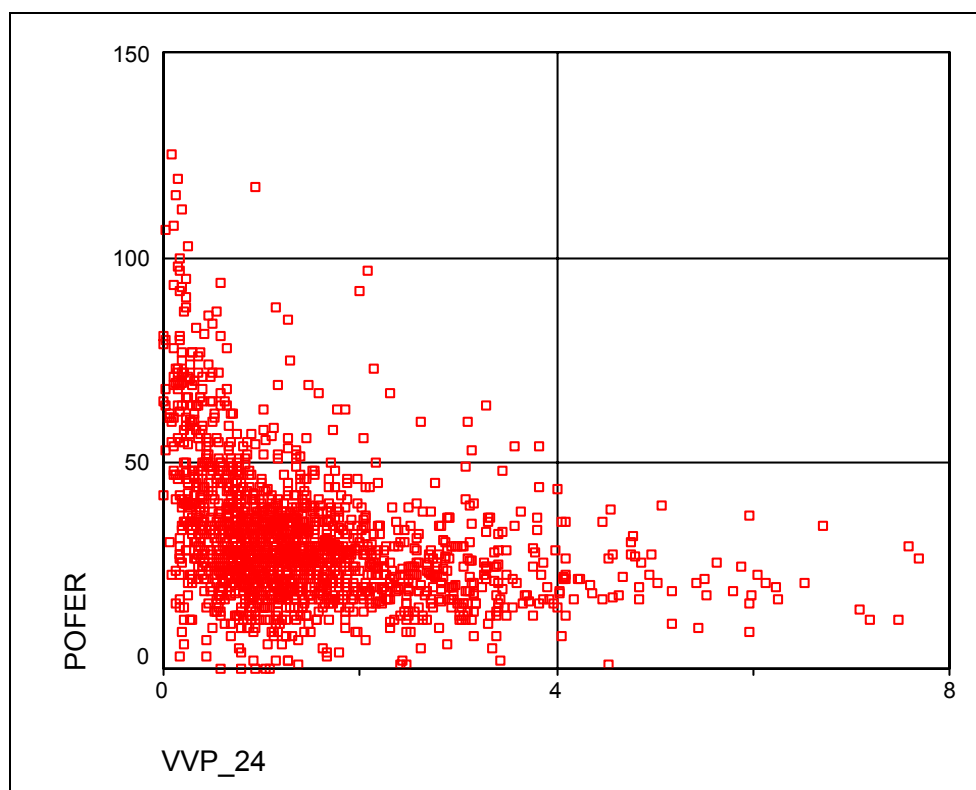


Fig. 19 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM_{10} nella stazione Ferrucci (PO) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione del LaMMA, nel periodo 2000-2004.

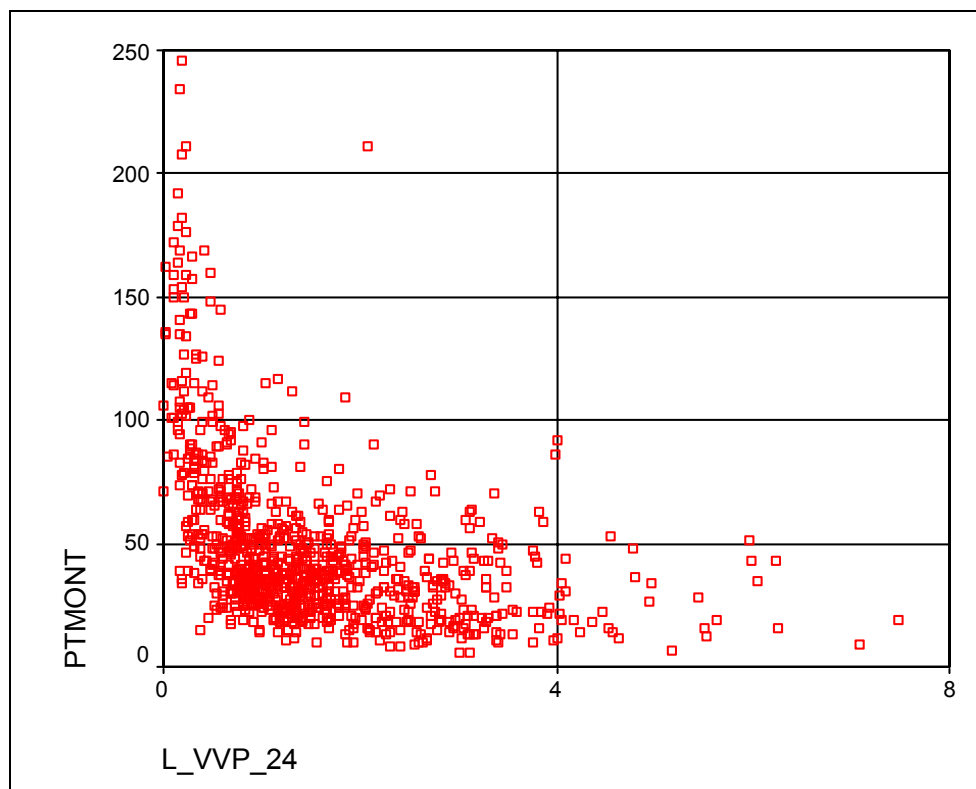


Fig. 20 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM₁₀ nella stazione Montale (PT) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione del LaMMA, nel periodo 2000-2004.

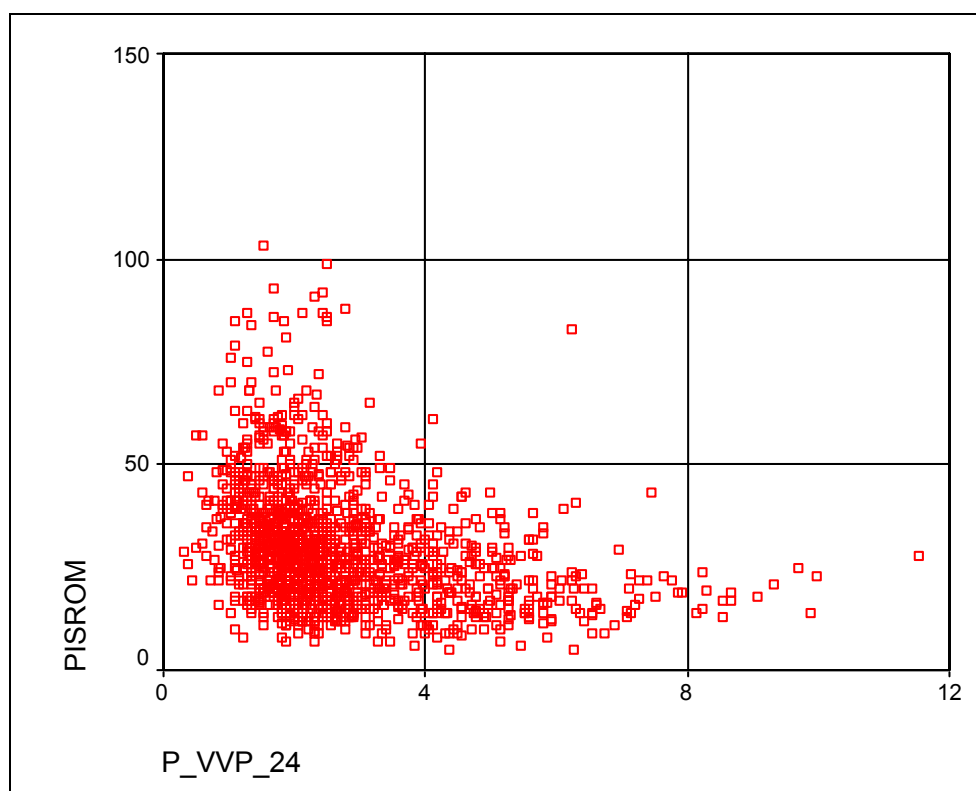


Fig. 21 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM₁₀ nella stazione S.Romano (PI) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione di Pisa, nel periodo 2000-2004.

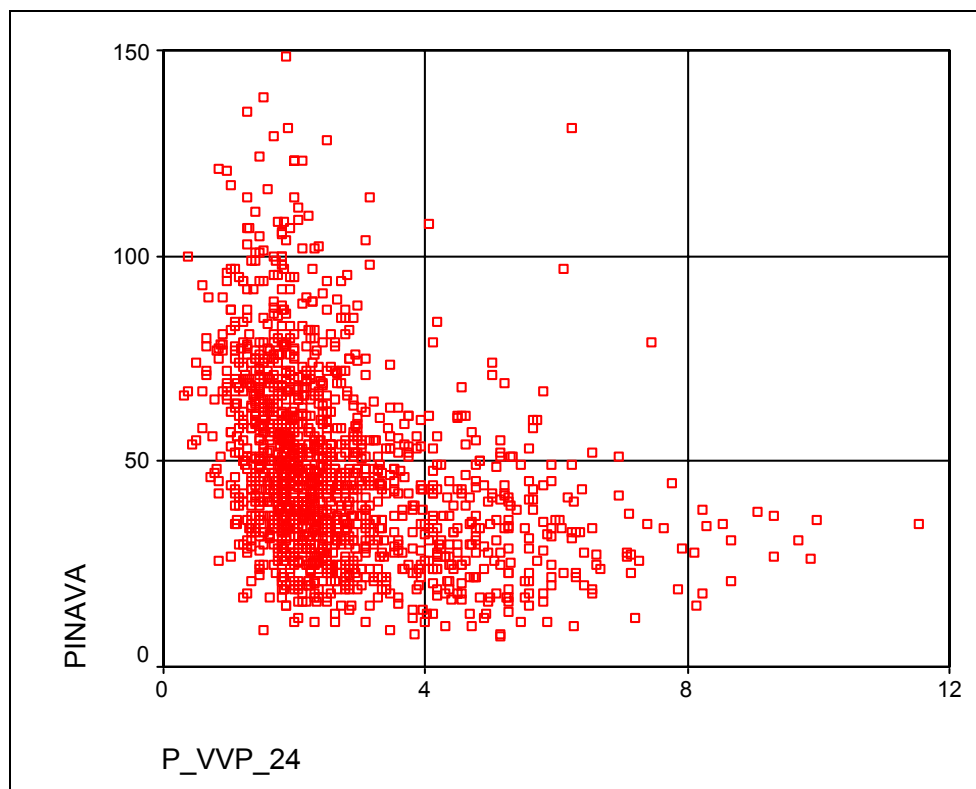


Fig. 22 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM_{10} nella stazione Navacchio (PI) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione di Pisa, nel periodo 2000-2004.

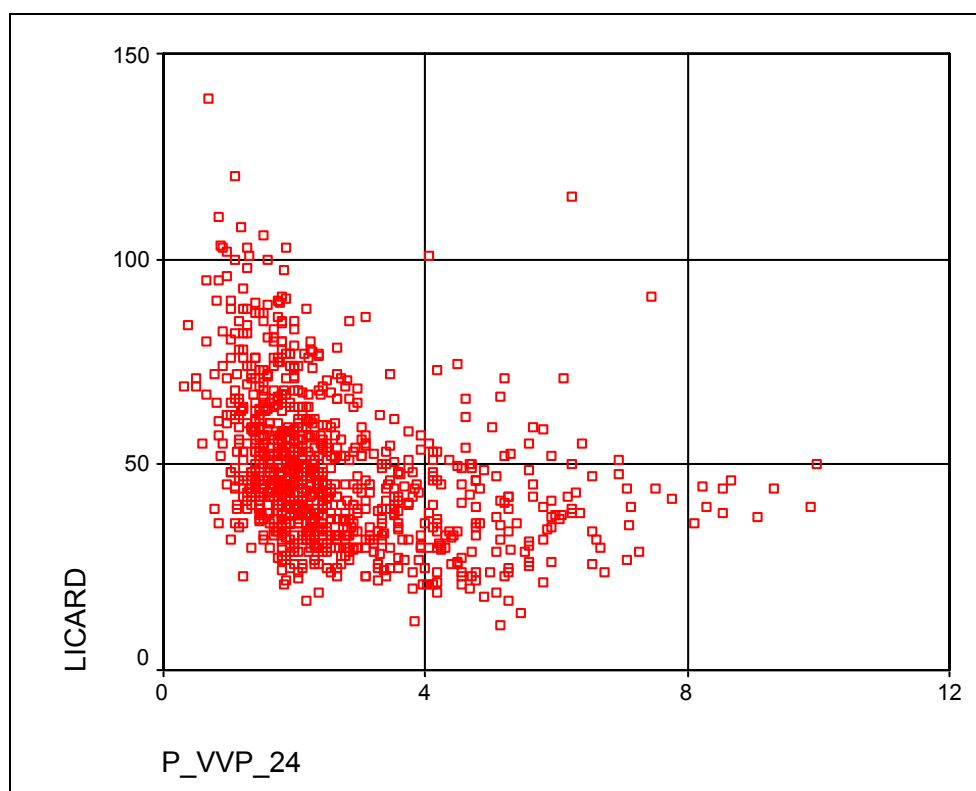


Fig. 23 – Grafico relativo alla distribuzione dei valori di concentrazione di PM_{10} nella stazione Carducci (LI) in funzione della velocità del vento misurato presso la stazione di Pisa, nel periodo 2000-2004.

Tab. 16 – Per ciascuna centralina sono riportati il numero dei superamenti del valore di 50 µg/m³ per l'intero periodo 2000-2005, il numero dei superamenti in presenza di vento con valori superiori alla soglia 4 m/s, in presenza di pioggia superiore alla soglia 10 mm, nello stesso giorno o nel giorno successivo. I dati meteo sono stati rilevati presso la stazione del LaMMA.

LAMMA	totale	VV>4 m/s	rain>10 mm	g.d.rain>10 mm
FIBASSI	413	6	17	8
FIBOB	162	0	5	5
FIGRAM	358	4	7	10
FIMOSSE	212	1	10	12
FIROS	399	7	24	27
FISCAN	298	4	20	12
FICALENZ	183	3	6	7
FIEMPO	71	1	1	3
FIMPRAT	208	4	2	4
FIMMIL	117	2	5	1
POFER	187	0	8	6
POFONT	329	2	13	12
POROMA	253	0	13	10
POSTRO	423	11	18	20
PTZAM	146	0	5	2
PTMER	249	3	6	7
PTMONT	311	3	13	10
ARFIOR	34	0	0	1
ARREP	77	0	8	7
LU1VIA	550	19	27	34
LU2VIA	92	3	4	5
LUCAP	212	6	6	8
LUCAST	49	3	3	1
LUMIC	117	5	7	5
LUPAS	119	4	5	2
LUTANG	454	13	24	23
PIBOR	188	1	2	4
PICASC	661	4	13	21
PIFAZIO	159	0	3	4
PILARI	77	0	0	1
PIMCERB	3	0	2	1
PINAVA	668	9	20	24
PIORAT	199	4	9	3
PISROM	179	0	2	3
PISCCOOP	82	0	2	2
PISCER	270	2	7	4
PISCOTTO	68	0	1	1
PIPONTE	16	0	1	1
LICOTONE	418	13	26	11
LIGOB	67	1	2	3
LICARD	410	11	13	21
LIVENETO	211	20	11	13
LIMGOR	3	0	1	1
GRURSS	157	4	13	10
GRSON	235	9	16	22
SICAMPI	96	1	5	8
SIDPONT	160	4	15	11

Tab. 17 – Per ciascuna centralina sono riportati il numero dei superamenti del valore di 50 µg/m³ per l'intero periodo 2000-2005, il numero dei superamenti in presenza di vento con valori superiori alla soglia 6 m/s, in presenza di pioggia superiore alla soglia 10 mm, nello stesso giorno o nel giorno successivo. I dati meteo sono stati rilevati presso la stazione di Pisa.

PISA	totale	VV>6 m/s	rain>10 mm	g.d.rain>10 mm
FIBASSI	413	0	14	6
FIBOB	162	0	7	7
FIGRAM	358	0	6	14
FIMOSSE	212	1	4	7
FIROS	399	4	24	33
FISCAN	298	0	15	12
FICALENZ	183	0	3	5
FIEMPO	71	0	1	2
FIMPRAT	208	1	0	2
FIMMIL	117	1	1	0
POFER	187	0	7	5
POFONT	329	1	15	11
POROMA	253	0	9	8
POSTRO	423	0	17	19
PTZAM	146	0	3	3
PTMER	249	1	3	9
PTMONT	311	1	7	14
ARFIOR	34	0	1	1
ARREP	77	2	3	2
LU1VIA	550	8	23	30
LU2VIA	92	3	1	2
LUCAP	212	1	2	6
LUCAST	49	0	1	1
LUMIC	117	0	6	3
LUPAS	119	0	6	2
LUTANG	454	4	14	21
PIBOR	188	1	1	1
PICASC	661	3	5	19
PIFAZIO	159	1	0	1
PILARI	77	1	1	1
PIMCERB	3	1	0	0
PINAVA	668	2	11	21
PIORAT	199	1	4	2
PISROM	179	0	1	4
PISCCOOP	82	0	2	1
PISCER	270	0	5	5
PISCOTTO	68	0	1	1
PIPONTE	16	0	1	0
LICOTONE	418	5	16	8
LIGOB	67	3	0	0
LICARD	410	2	10	22
LIVENETO	211	7	3	8
LIMGOR	3	0	0	0
GRURSS	157	0	11	12
GRSON	235	6	13	20
SICAMPI	96	0	6	6
SIDPONT	160	3	7	11

I risultati completi dell'applicazione delle soglie sono riportati nelle tabelle 16 (riferita a dati meteo della stazione LaMMA) e 17 (riferita a dati meteo della stazione di Pisa), in cui per tutte le centraline sono indicati il numero dei superamenti del valore di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per l'intero periodo, il numero dei superamenti in presenza di vento con valori superiori alla soglia, e in presenza di pioggia superiore alla soglia, nello stesso giorno o nel giorno successivo.

Tab. 18 – Per ciascuna stazione meteo – LaMMA e Pisa - sono riportati il numero totale di valori relativi alla velocità del vento o alla pioggia, il numero dei valori superiori alle soglie proposte ed il relativo valore percentuale. I dati sono riferiti al periodo 2000-2004.

	valore soglia	n valori	> soglia	%
VVP_LAMMA	>4m/s	1776	67	3.8
Pioggia_LAMMA	>10 mm	1770	145	8.2
VVP_PISA	>6m/s	1636	61	3.7
Pioggia_PISA	>10 mm	1543	125	8.1

Infine, in tabella 18 sono riportati il numero totale di valori relativi alla velocità del vento o alla pioggia, misurati nel quinquennio nelle due stazioni in esame, il numero dei valori superiori alle soglie proposte ed il relativo valore percentuale. Si noti che le soglie introdotte determinano una percentuale di eventi sopra-soglia analoga nelle due stazioni di riferimento.

Conclusioni

Lo scopo di questo studio, incentrato sull'inquinamento da PM_{10} , è stato quello di individuare, sulla base di misure rilevate nel corso di cinque anni, i parametri meteorologici che influenzano in modo più significativo l'accumulo o la dispersione di questo inquinante.

Il lavoro ha richiesto una prima analisi della base-dati costituita dalle misure di PM_{10} rilevate sull'intero territorio regionale dalla rete di monitoraggio gestita da ARPAT, e messe a disposizione dalla Regione Toscana, attraverso il sistema informativo SIRA.

I risultati, ottenuti elaborando le matrici di correlazione ed applicando la Factor Analysis alle serie storiche delle concentrazioni di PM_{10} registrate nelle 47 centraline presenti sul territorio regionale, evidenziano due comportamenti principali. Il primo tipo di comportamento è caratterizzato da un forte andamento stagionale, il secondo mostra un andamento pressoché costante: al primo tipo appartengono tutte le serie storiche misurate nelle stazioni dell'entroterra, al secondo tipo quelle relative a tre stazioni sulla costa. Un terzo gruppo di stazioni – ubicate comunque in prossimità della costa – mostrano un comportamento intermedio. Resta fuori da questo quadro un numero limitato di stazioni, che non possono essere accomunate a nessuno dei tre gruppi.

In ogni caso, il risultato più sorprendente consiste nella possibilità di individuare tre gruppi, che caratterizzano la maggior parte delle serie storiche misurate sull'intero territorio regionale. Si può quindi ipotizzare una marcata influenza delle condizioni meteorologiche alla scala sinottica sui valori di concentrazione giornaliera di PM_{10} . Quantitativamente, i valori di concentrazione hanno una marcata dipendenza spaziale, da cui si può supporre che le condizioni sinottiche determinino a scala regionale le condizioni favorevoli o meno all'accumulo degli inquinanti, ma che, in ciascuna area, le concentrazioni possano essere più o meno alte a seconda delle caratteristiche delle sorgenti emissive locali.

Nella seconda parte del lavoro sono state evidenziate le relazioni che legano alcuni parametri meteorologici – velocità del vento, temperatura, pioggia cumulata – ed i valori di concentrazione di PM_{10} .

Dopo la selezione della base-dati meteorologica - sono state scelte le serie storiche dei dati misurati presso la sede del LaMMA e presso l'aeroporto di Pisa - sono state determinati i coefficienti di correlazione tra parametri meteo e misure di PM_{10} . Successivamente sono stati individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la pioggia

cumulata su base giornaliera e per la velocità media del vento, anch'essa su base giornaliera. La scelta dei valori-soglia è stata effettuata valutando la riduzione percentuale delle condizioni di inquinamento critiche – presenza di valori di concentrazione di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³ – in corrispondenza di condizioni in cui i valori degli indicatori meteorologici siano superiori a tali soglie.

In sintesi, per quanto riguarda la velocità del vento, si può concludere che gli eventi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni siano quelli caratterizzati da un vento medio-forte, persistente per molte ore o addirittura qualche giorno: queste condizioni, generalmente, si verificano alla scala sinottica e non si tratta quindi di eventi locali. L'indicatore meteo "velocità media giornaliera del vento" risulta quindi caratterizzante delle condizioni meteo anche a scala sinottica: inoltre, per questo parametro sono stati individuati dei valori-soglia, variabili però in relazione alla stazione meteo scelta.

Per quanto riguarda l'indicatore temperatura media giornaliera, si distinguono due comportamenti diversi: nel primo gruppo di centraline si registrano valori di concentrazione decisamente più alti nel semestre freddo rispetto ai valori registrati nel semestre caldo, mentre nel secondo gruppo si evidenzia un andamento delle concentrazioni correlato con quello delle temperature.

Ad una più attenta analisi, osservando gli stessi coefficienti di correlazione effettuati su base stagionale, si scopre che per le stazioni del primo gruppo esiste una marcata anticorrelazione durante il semestre freddo ed una correlazione nel semestre caldo. Un controllo puntuale degli eventi di freddo più intenso nel periodo invernale confermano un corrispondente aumento delle concentrazioni nelle stazioni del primo gruppo: la causa di questo fenomeno è probabilmente imputabile alle emissioni da riscaldamento, che aumentano quando si registrano temperature più basse. Spesso, inoltre, quando si verificano episodi di freddo intenso, si instaurano anche condizioni stabili, favorevoli all'accumulo degli inquinanti.

Meno immediato risulta interpretare la correlazione che lega la temperatura ed i valori di concentrazione nel semestre caldo: una possibile spiegazione potrebbe riguardare i meccanismi di formazione del particolato di origine secondaria, in cui l'intensità della radiazione solare svolge un ruolo fondamentale.

Per le stazioni del secondo gruppo non si riscontrano differenze nei periodi invernale ed estivo: esiste sempre una evidente correlazione tra i dati di concentrazione e di temperatura; si sottolinea comunque che, trattandosi di misure di concentrazione rilevate in aree influenzate dal mare, la causa della correlazione con la

temperatura potrebbe essere diversa da quella ipotizzata per le centraline del primo gruppo, magari da ricercarsi nei processi di formazione dell'aerosol marino. In entrambi i casi, comunque, si tratta di semplici ipotesi, che potrebbero essere confermate o smentite nell'ambito della campagna di misure ed analisi prevista dal progetto "PATOS".

Per quanto riguarda le misure di pioggia, sono stati individuati come indicatori la pioggia cumulata giornaliera (RAIN_mm) ed un secondo indicatore (g.d.RAIN_mm), che ha la funzione di correlare i valori di pioggia con i valori di concentrazione di PM₁₀ registrati il giorno successivo all'evento di pioggia. Per entrambi gli indicatori, solo gli eventi di pioggia con intensità superiore ad una determinata soglia – ad esempio 10 mm – hanno un effetto sulle concentrazioni di PM₁₀. Dal momento che l'intensità degli eventi di pioggia, soprattutto nei mesi estivi, può essere molto diversa sul territorio regionale, questi indicatori devono essere valutati sulla base di dati rilevati in zone vicine o comunque rappresentative delle aree in cui si trovano le centraline di monitoraggio.

In conclusione, questa prima analisi conoscitiva potrà costituire una base per caratterizzare, dal punto di vista delle condizioni meteorologiche e della relativa capacità dispersiva dell'atmosfera, il periodo in cui si svolgerà la campagna di misura prevista dal progetto "PATOS".

Bibliografia

1. **Mardia K.V., Kent J.T.** (1979): *Multivariate Analysis*– Accademy Press.
2. **Morineau A., Lebart L., Fenelon J.P.** (1979): *Traitement des données statistiques* – Dunod.
3. **SPSS Base 11.0** (2001): *Statistical software* – www.spss.com.