



Regione Toscana

CNR-IBIMET / LaMMA



**Convenzione tra Regione Toscana e CNR-IBIMET per la
caratterizzazione meteo-climatica e la realizzazione di
applicazioni di modellistica diffusionale nell'ambito del
progetto regionale sul PM₁₀
(progetto "PATOS")**

***Studio finalizzato all'individuazione dei parametri
meteorologici in grado di influenzare in modo
significativo i livelli di concentrazione di PM₁₀
Analisi dati relativi al periodo
01/10/2005 - 30/09/2006***

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Giovanni Gualtieri

16 aprile 2007

Indice

Introduzione	3
1. Analisi delle serie storiche di PM₁₀	4
1.1 Prime valutazioni sulla base-dati relativa al periodo 2005-2006	4
1.2 Correlazioni ed analisi fattoriale	8
2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM₁₀	14
2.1 I dati meteorologici	14
2.2 Correlazioni tra i dati meteorologici e le misure di PM ₁₀	18
2.3 Episodi significativi nel periodo di campionamento	27
Conclusioni	39
Appendice	40
Bibliografia	52

Introduzione

Il progetto "PATOS" è stato incentrato su di una campagna di misure che ha previsto il campionamento e la successiva analisi di campioni di particolato fine, il PM_{10} , raccolti nell'arco di 12 mesi, dal 1 ottobre 2005 al 30 settembre 2006.

Il campionamento è stato effettuato in alcune aree del territorio regionale, in prossimità di altrettante centraline di monitoraggio ambientale gestite da ARPAT, selezionate sulla base della loro rappresentatività spaziale, in modo da poter ottenere un quadro esaustivo sul comportamento dell'inquinante in esame.

Il LaMMA, nell'ambito del progetto, ha svolto un'attività di supporto allo scopo di effettuare una caratterizzazione meteo climatica a scala regionale, durante l'intero periodo di campionamento; tale attività ha previsto un monitoraggio delle condizioni meteorologiche finalizzato alla realizzazione di rapporti mensili, in cui vengono descritte le condizioni sinottiche, le precipitazioni, le temperature, il quadro anemologico (*"Rapporti meteorologici mensili"*, Progetto "PATOS", 30 Ottobre 2006 [2]).

Inoltre, durante il periodo del campionamento, sono stati elaborati alcuni indicatori meteorologici, sulla base di misure effettuate in stazioni meteo a terra collocate in prossimità delle aree selezionate.

Questo studio - che si presenta come un proseguimento dello *"Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM_{10} "*, Progetto "PATOS", 30 Luglio 2005 [1]- ha richiesto l'analisi delle misure di PM_{10} rilevate nelle centraline di monitoraggio gestite da ARPAT in prossimità delle aree in esame, e dalle misure delle principali variabili meteorologiche registrate nelle stazioni meteo selezionate, nel periodo 1 ottobre 2005 - 30 settembre 2006.

I dati delle stazioni chimiche sono stati forniti da ARPAT, mentre quelli meteorologici sono stati registrati in alcune stazioni del LaMMA o forniti da ARPAT.

1. Analisi delle serie storiche di PM₁₀

Come naturale prosecuzione del lavoro finalizzato ad individuare una relazione tra le condizioni meteorologiche e le concentrazioni di PM₁₀ (*"Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM₁₀"*, Progetto "PATOS", 30 Luglio 2005 [1]), incentrato sull'analisi dei dati rilevati in tutte le stazioni di monitoraggio ambientale presenti nel territorio regionale nel periodo 2000-2004, verranno di seguito analizzate le serie storiche delle misure di PM₁₀, rilevate nell'arco di 12 mesi, dal 1 ottobre 2005 al 30 settembre 2006, nelle sette centraline di monitoraggio in cui sono stati raccolti i campioni analizzati nella campagna di misure del progetto PATOS.

La scelta di effettuare le elaborazioni statistiche sui dati misurati nelle centraline di monitoraggio piuttosto che sui dati ottenuti dai campioni di PM₁₀ raccolti nella campagna di misure è dettata dalla necessità di continuità e confrontabilità con i risultati ottenuti dallo studio incentrato sui dati del quinquennio 2000-2004; inoltre i campioni della campagna di misure non sono stati raccolti con continuità nell'arco dei 12 mesi, ma secondo uno specifico calendario determinato sulla base delle esigenze del progetto.

1.1 Prime valutazioni sulla base-dati relativa al periodo 2005-2006

La campagna di misure prevista dal progetto è stata effettuata in alcune aree del territorio regionale selezionate sulla base della loro rappresentatività spaziale.

Per motivi logistici – allacciamento alla rete elettrica, protezione degli strumenti di misura, etc. – i siti scelti sono localizzati accanto ad alcune centraline di monitoraggio della qualità dell'aria, in particolare a Firenze (via Bassi), Prato (viale Strozzi), Pistoia (Montale), Arezzo (via Fiorentina), Lucca (Capannori), Livorno (Villa M. Gordato), Grosseto (via URSS).

Tab. 1 – Elenco delle sette stazioni di misura del PM₁₀, selezionate per il progetto.

N°	NOME	LOCALITA'	PROVINCIA	UBICAZIONE	X UTM	Y UTM	ID
1	FI BASSI	Firenze	FI	v. Bassi	683896	4850571	FIBASSI
2	POSTROZZI	Prato	PO	v. Strozzi	668194	4861634	POSTR
3	PT MONTALE	Montale	PT	v. Pacinotti	662364	4866774	PTMON
4	AR FIORENTINA	Arezzo	AR	v. Fiorentina	732181	4816658	ARFIOR
5	LU CAPANNORI	Capannori	LU	v. C. Piaggia	626504	4855534	LUCAP
6	LI M. GORDATO	Livorno	LI	Villa Mauro Gordato	609874	4818464	LIMGO
7	GR URSS	Grosseto	GR	v. URSS	672665	4738424	GRURS

Nella tabella 1 sono indicate le principali caratteristiche delle sette centraline di monitoraggio scelte: per ciascuna centralina è riportato un numero identificativo, il nome, la località, la provincia, l'ubicazione, le coordinate geografiche e la sigla identificativa che verrà utilizzata nelle seguenti elaborazioni.

Nella figura 1 è riportata la mappa del territorio regionale con l'indicazione della posizione delle stazioni scelte.

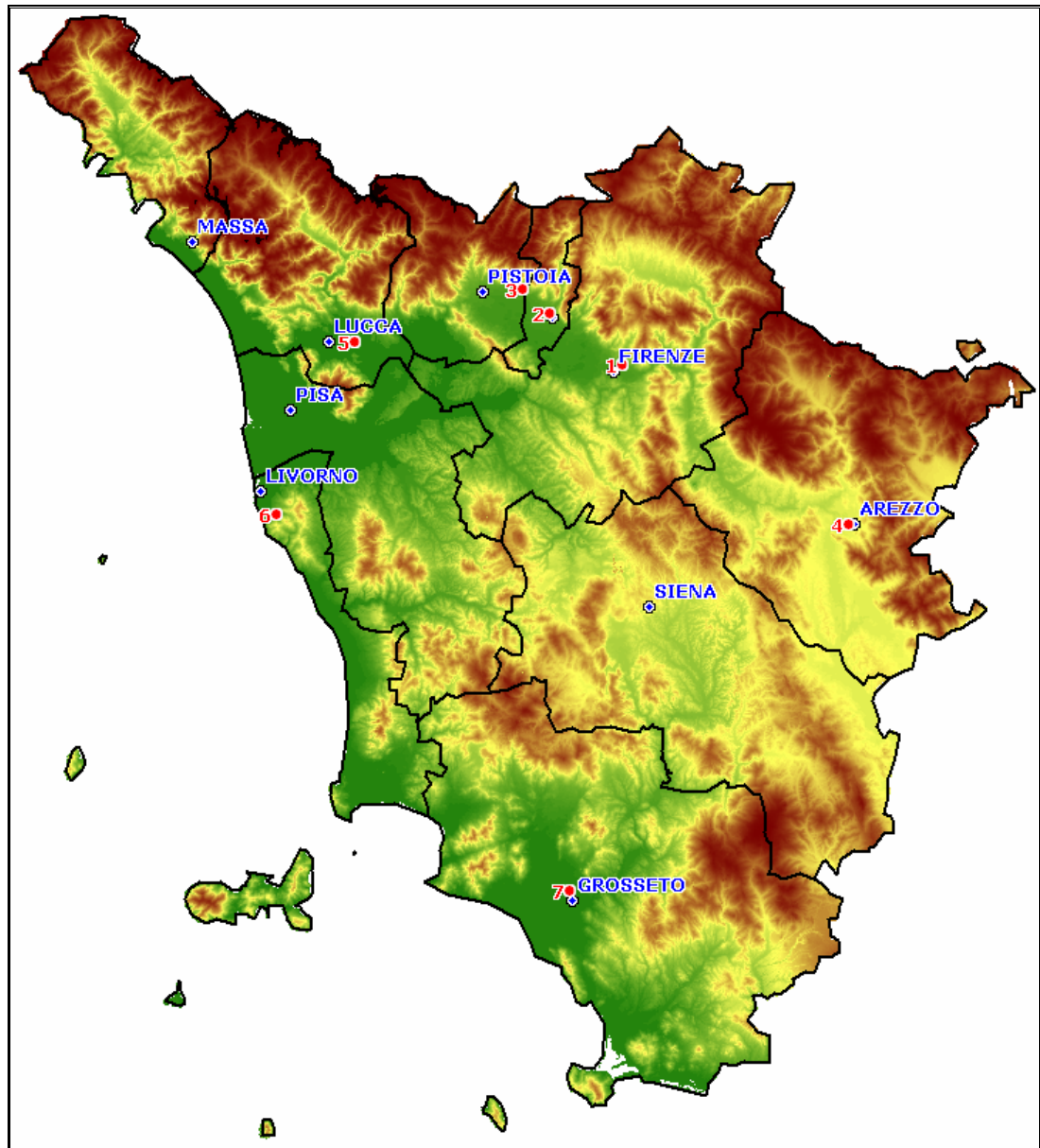


Fig. 1 – Ubicazione delle sette centraline di monitoraggio del PM_{10} , selezionate per il progetto.

In analogia con il precedente studio, anche per le serie di dati misurati nelle sette centraline selezionate sono stati determinati alcuni semplici indicatori statistici, per il periodo del campionamento, dal 1 ottobre 2005 al 30 settembre 2006.

Tab. 2 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

STAZIONI		2005-2006						
n°	nome	n validi	% n validi	media	st. dev.	% st. dev.	valori >50	%valori>50
1	FI BASSI	211	58	28	17,2	61,2	19	9,0
2	POSTROZZI	365	100	31	16,3	53,1	36	9,9
3	PT MONTALE	331	91	38	25,0	65,3	70	21,1
4	AR FIORENTINA	358	98	30	15,0	49,7	33	9,2
5	LU CAPANNORI	351	96	37	18,4	49,1	68	19,4
6	LI M.GORDATO	359	98	18	7,8	43,1	3	0,8
7	GR URSS	338	93	28	10,9	38,7	8	2,4

Tab. 3 – Indicatori statistici sintetici relativi alle serie storiche rilevate nel semestre freddo (ottobre-marzo) e nel semestre caldo (aprile-settembre), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

STAZIONI		inverno 2005-2006							estate 2005-2006							rap. VE
n°	nome	n dati validi	% dati validi	media inver	stand. Dev.	stand. Dev.	Di valori >5%	valori >5%	n dati validi	% dati validi	media estate	stand. Dev.	stand. Dev.	Di valori >5%	valori >5%	
1	FI BASSI	129	71	31	20	64,6	18	14,0	82	45	23	10	41,2	1	1,2	1,3
2	POSTROZZI	181	99	30	19	63,1	21	11,6	183	100	31	13	42,0	15	8,2	1,0
3	PT MONTALE	177	97	48	29	61,1	64	36,2	153	84	27	11	39,8	6	3,9	1,8
4	AR FIORENTINA	181	99	36	17	46,8	29	16,0	176	96	24	10	39,9	4	2,3	1,5
5	LU CAPANNORI	174	96	44	22	50,1	59	33,9	177	97	31	10	32,8	9	5,1	1,4
6	LI M.GORDATO	179	98	15	6	37,7	0	0,0	179	98	21	8	39,9	3	1,7	0,7
7	GR URSS	175	96	32	10	32,2	7	4,0	162	89	24	10	41,2	1	0,6	1,3

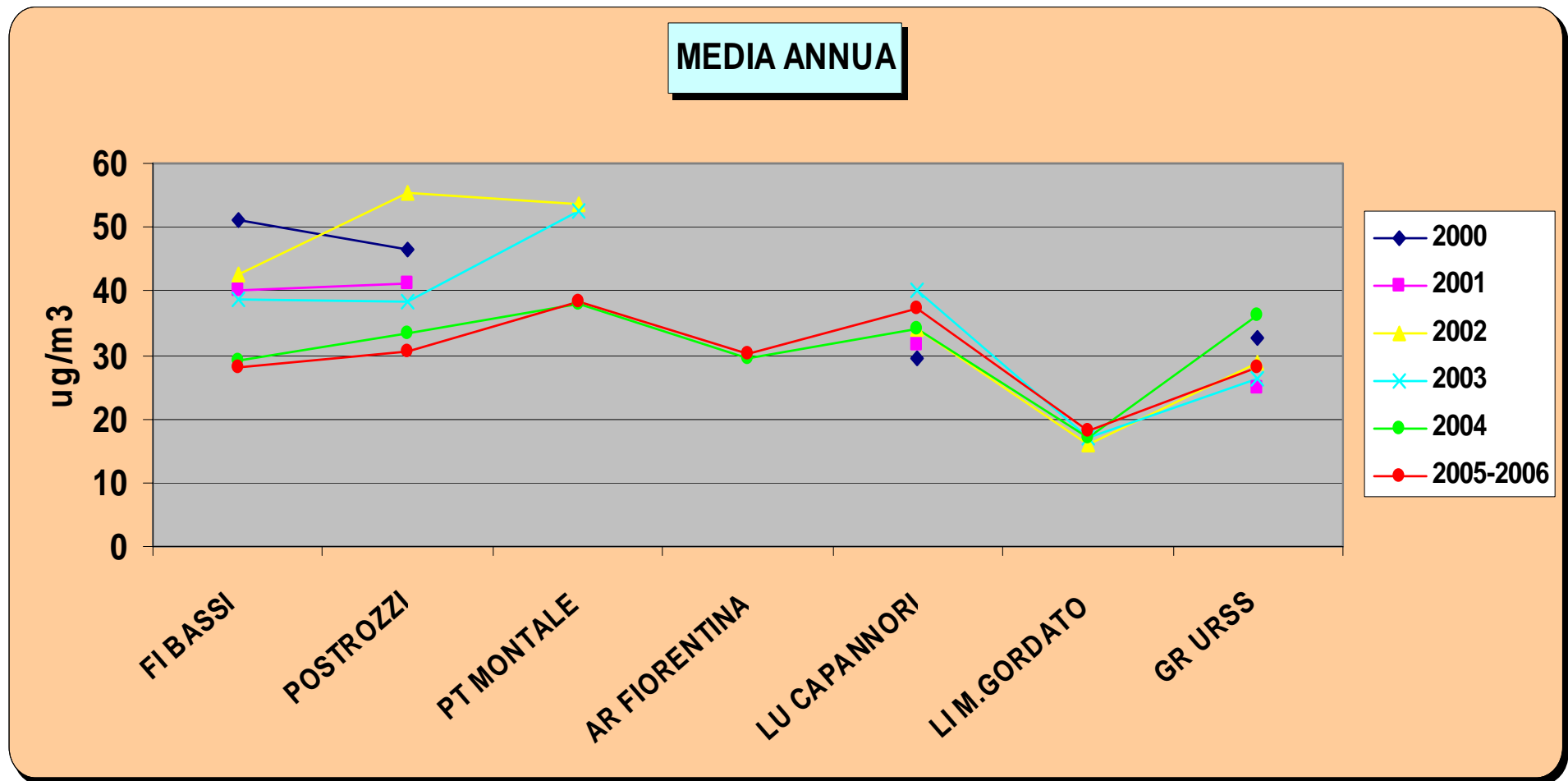


Fig. 2 – Media annua relativa ai cinque anni 2000-2004 ed ai 12 mesi compresi tra ottobre 2005 e settembre 2006, per ciascuna delle 7 stazioni.

Nella tabella 2 sono riportati 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, il numero dei superamenti rispetto al valore-soglia di 50 µg/m³ ed il relativo valore percentuale – normalizzato al numero di dati presenti.

Sono riportati inoltre nella tabella 3 i valori ottenuti dalle serie storiche relative al semestre freddo (ottobre 2005 - marzo 2006) ed al semestre caldo (aprile-settembre 2006). Per una visualizzazione più immediata, nel grafico in figura 2 sono riportati, per ciascun anno, dal 2000 al 2004 e nel periodo della campagna di misure, i valori medi annui misurati in ciascuna centralina.

Osservando la tabella 2, si può notare che i dati validi registrati nell'arco di 12 mesi sono superiori al 90% in tutte le stazioni selezionate, eccetto che nella centralina di Bassi (FI), in cui vengono alternate le misure di PM₁₀ a quelle di PM_{2.5}.

Dal grafico in figura 2 si osserva che il valore medio annuo – calcolato nel periodo ottobre 2005-settembre 2006 – è circa uguale a quello relativo all'anno 2004 in quasi tutte le stazioni; solo nella centralina di Grosseto si registra una media inferiore a quella del 2004, ma comunque in linea con i valori di media annua relativi agli anni 2001, 2002, 2003.

Nella stazione di M. Gordato (LI) si registra il valore medio più basso, 18 µg/m³, mentre i valori più alti si riscontrano a Montale (PT), 38 µg/m³, e a Capannori (LU), 37 µg/m³.

Da segnalare che l'unica stazione in cui il valore medio relativo al periodo invernale è inferiore a quello del periodo estivo è quella di Livorno, esattamente in linea con quanto riscontrato nel precedente studio.

1.2 Correlazioni ed analisi fattoriale

Lo studio delle serie storiche relativo al periodo 2000-2004 ha evidenziato due principali tipologie di andamenti temporali: i valori rilevati in alcune stazioni, localizzate nell'entroterra, mostrano un marcato aumento della concentrazione nel periodo invernale e una decisa diminuzione durante i mesi più caldi, mentre in alcune stazioni più vicine alla costa, invece, non si nota alcun andamento stagionale, e i valori di concentrazione sono pressappoco costanti.

Osservando gli andamenti temporali delle serie storiche riportati nelle figure 3÷6, si può notare che anche nel periodo 2005-2006 le stazioni localizzate nell'entroterra presentano un andamento stagionale marcato, mentre le due sulla costa non

mostrano questa caratteristica. Da notare come le serie storiche relative alle stazioni di Firenze, Prato e Arezzo (fig.3) mostrino degli andamenti molto simili, come anche le serie relative a Capannori e Montale (fig. 4), sebbene con valori di concentrazione decisamente più alti, soprattutto nel semestre freddo. Le serie relative alle stazioni di Livorno e Grosseto (figg. 5, 6) hanno andamenti diversi rispetto alle precedenti, ma anche tra loro.

Per un'analisi meno qualitativa, anche in questo caso, sono state applicate tecniche statistiche come l'analisi delle matrici di correlazione e la "Factor Analysis"¹ [3], [4].

La prima elaborazione consiste essenzialmente nella realizzazione della matrice di correlazione, relativa a tutto il campione in esame: nella tabella 4 è riportata la matrice dei risultati. Per facilitare l'interpretazione, sono stati evidenziati i coefficienti di correlazione superiori o uguali a 0.70.

Tab. 4 – Matrice delle correlazioni tra le misure rilevate dalle centraline nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2005-2006	FIBASSI	POSTR	PTMON	ARFIOR	LUCAP	LIMGO	GRURS
FIBASSI	1,00	0,88	0,85	0,83	0,70	0,33	0,49
POSTRO	0,88	1,00	0,80	0,74	0,68	0,43	0,41
PTMONT	0,85	0,80	1,00	0,86	0,77	0,09	0,50
ARFIOR	0,83	0,74	0,86	1,00	0,75	0,20	0,63
LUCAP	0,70	0,68	0,77	0,75	1,00	0,14	0,42
LIMGORDAT	0,33	0,43	0,09	0,20	0,14	1,00	0,31
GRURSS	0,49	0,41	0,50	0,63	0,42	0,31	1,00

Anche da questa analisi sembra emergere che le cinque stazioni dell'entroterra sono correlate, mentre le stazioni di Livorno e Grosseto hanno dei coefficienti di correlazione decisamente più bassi.

¹ Le seguenti elaborazioni sono state effettuate con il programma statistico SPSS [5]

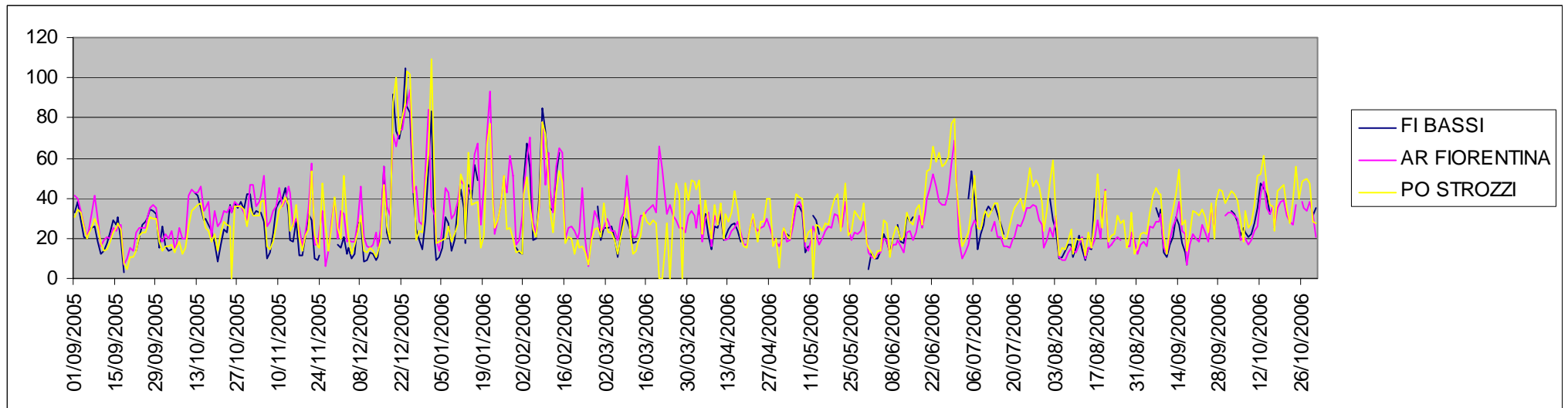


Fig. 3 – Confronto fra le serie storiche misurate in tre stazioni nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

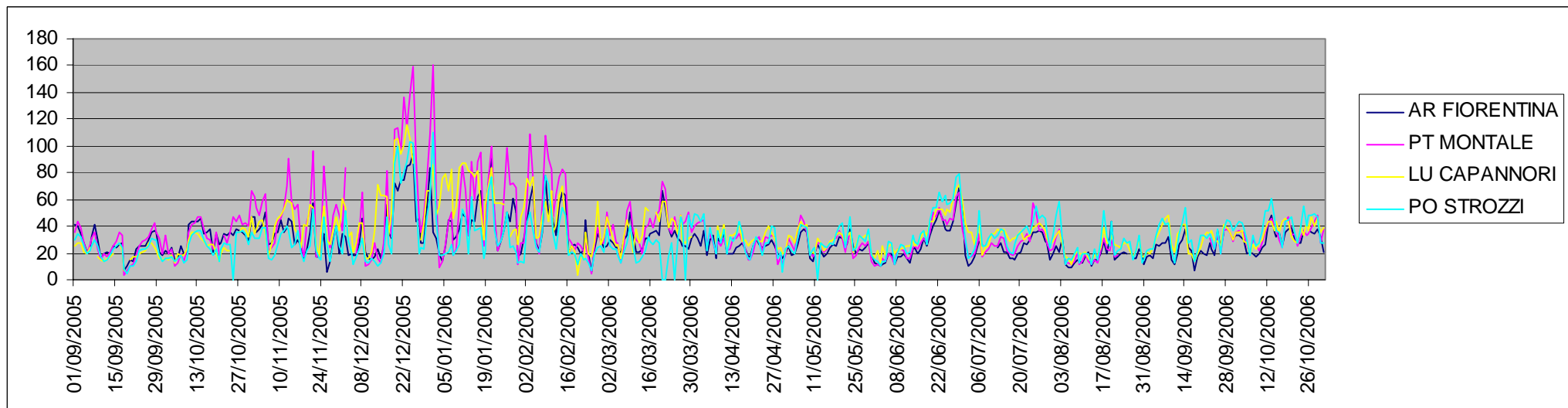


Fig. 4 – Confronto fra le serie storiche misurate in quattro stazioni nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

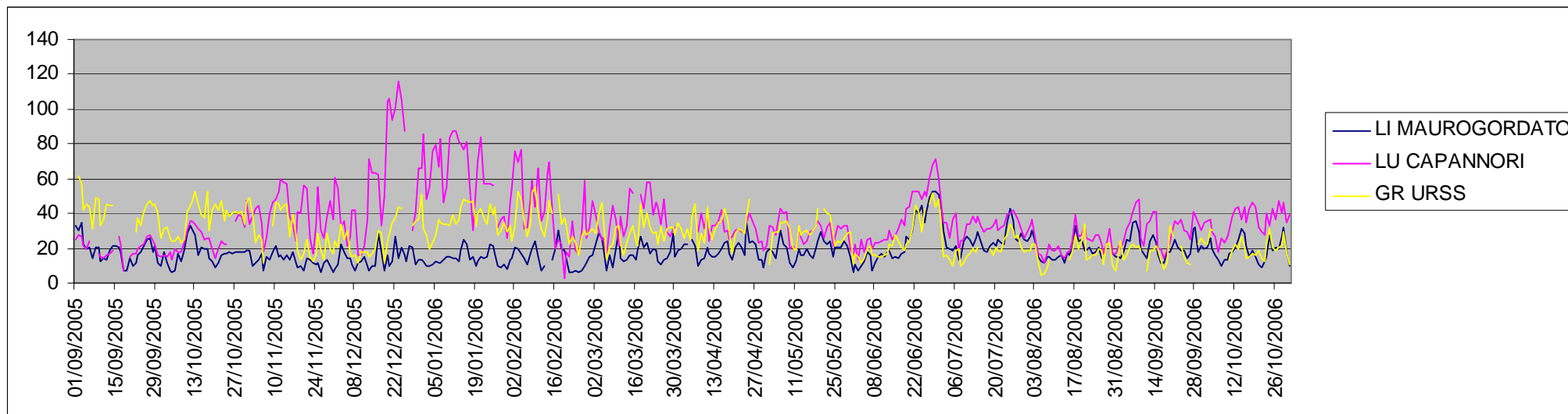


Fig. 5 – Confronto fra le serie storiche misurate in tre stazioni nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

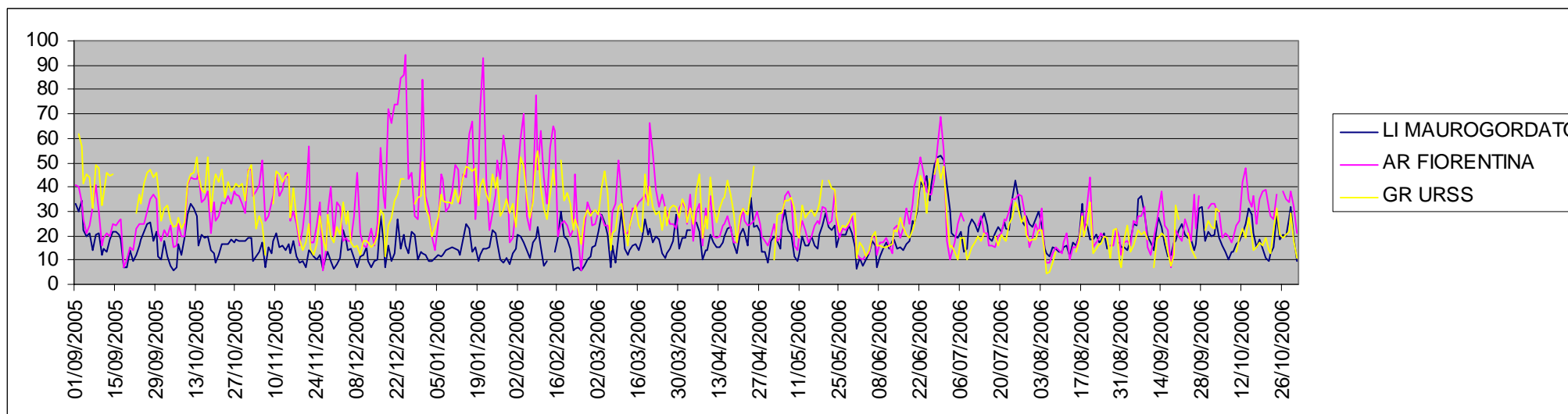


Fig. 6 – Confronto fra le serie storiche misurate in tre stazioni nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

Infine, è stata utilizzata una tecnica di analisi multivariata, la "Factor Analysis" [3], [4]: i risultati ottenuti con questa tecnica statistica sono riportati nella tabella 5.

Sono state effettuate due prove per le sette stazioni; la prima ha individuato due fattori – spiegando una percentuale di varianza pari all'81.2% -, la seconda ha determinato tre fattori, spiegando il 90.2% della varianza. Per facilitare la lettura dei risultati, le stazioni fortemente correlate ad un fattore, con un peso superiore a 0.65, sono evidenziate in celeste.

Il primo fattore mostra le cinque stazioni dell'entroterra fortemente correlate, mentre il secondo fattore è rappresentato dalle stazioni più vicine alla costa, anche se con coefficienti ben diversi, M. Gordato (LI) con 0.93 URSS (GR) con 0.66.

Tab. 5– Factor Analysis: prove relative all'individuazione di due o tre fattori. Le misure analizzate sono relative alle 7 centraline, nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

NOME STAZIONE	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 1	FATTORE 2	FATTORE 3
FI BASSI	0,85	0,36	0,87	0,19	0,32
POSTROZZI	0,87	0,27	0,91	0,07	0,28
PT MONTALE	0,94	0,18	0,91	0,29	0,05
AR FIORENTINA	0,88	0,30	0,81	0,49	0,08
LU CAPANNORI	0,88	-0,04	0,84	0,21	-0,15
LI M.GORDATO	0,03	0,93	0,10	0,20	0,95
GR URSS	0,44	0,66	0,27	0,92	0,24

L'analisi con tre fattori evidenzia le differenze tra le ultime due stazioni, attribuendo a ciascuna un fattore; nelle seguenti figure sono riportati anche i grafici, associati alla analisi fattoriale con due fattori (fig. 7) e con tre fattori (fig.8).

In sintesi, i risultati di tutte le analisi svolte per le serie storiche relative al periodo che va dal 1 ottobre 2005 al 30 settembre 2006, rilevate nelle sette centraline, sono in linea con i risultati ottenuti nel precedente studio - un forte andamento stagionale per il gruppo delle stazioni nell'entroterra, molto correlato anche se con differenze quantitative nelle stazioni di Montale e Capannori, un andamento pressoché costante per le due stazioni vicine alla costa. Lo studio relativo al quinquennio 2000-2004 aveva però evidenziato una maggiore correlazione tra le serie storiche rilevate nelle centraline di M. Gordato (LI) e di URSS (GR), correlazione decisamente meno evidente nel periodo 2005-2006.

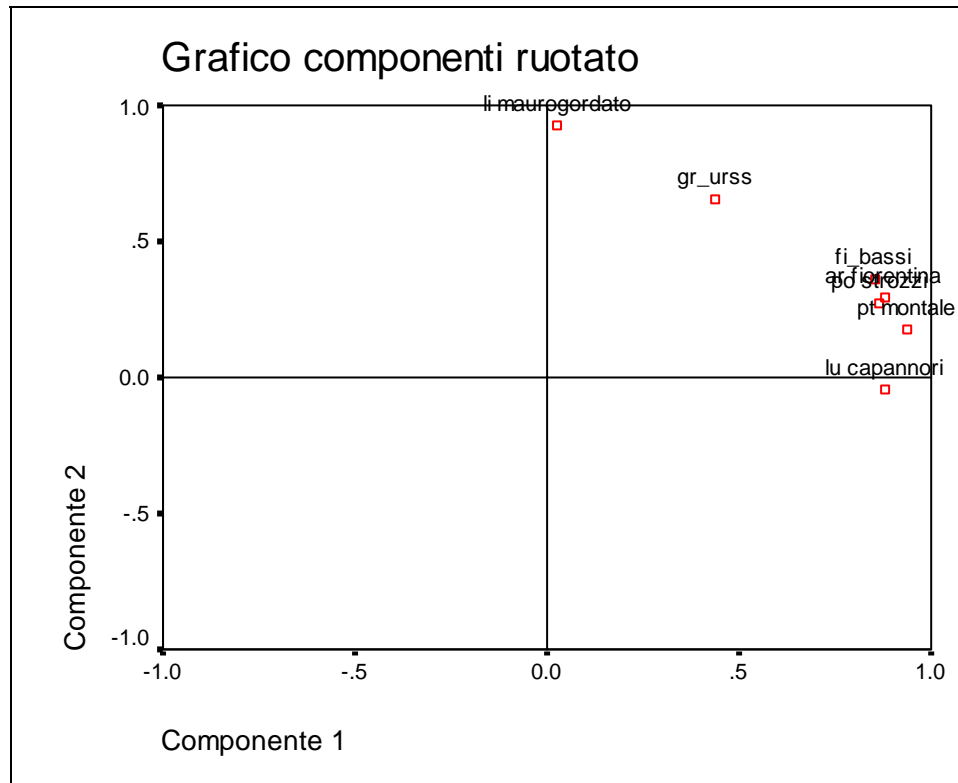


Fig. 7 – Grafico relativo all'analisi fattoriale con due fattori.

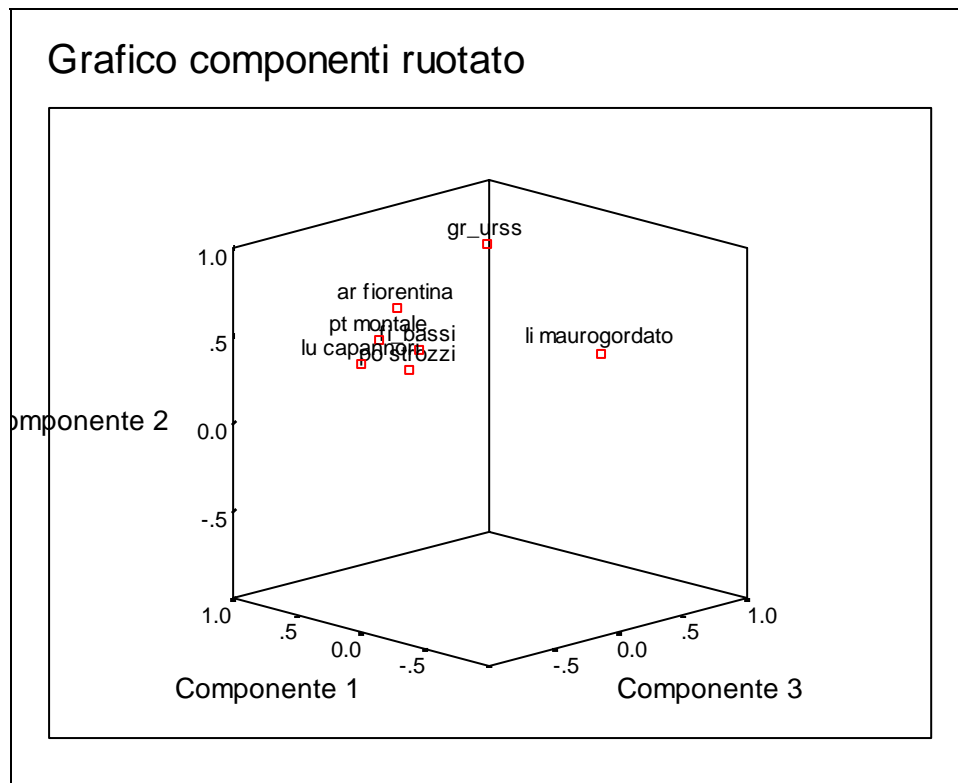


Fig. 8 – Grafico relativo all'analisi fattoriale con tre fattori.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM₁₀

In questo capitolo verranno evidenziate le correlazioni tra gli indicatori meteorologici significativi per l'accumulo o la diminuzione delle concentrazioni di polveri in atmosfera – velocità del vento media giornaliera, pioggia cumulata su base giornaliera e temperatura media giornaliera – ed i valori di concentrazione di PM₁₀, registrati nel periodo della campagna di misure prevista da PATOS.

L'influenza degli indicatori meteo sulle serie storiche di PM₁₀ verrà evidenziata tramite le matrici di correlazione, confrontando le misure di PM₁₀ registrate in una determinata centralina e gli indicatori meteo ottenuti dai dati rilevati nella stazione meteo più vicina.

Successivamente verranno individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la pioggia cumulata e per la velocità media del vento; sulla base dei valori-soglia, valutati per ciascuna stazione meteo, saranno individuati i periodi temporali in cui si sono verificate condizioni meteo particolarmente favorevoli o sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera, nell'arco temporale in cui si è svolto il campionamento previsto dal progetto.

2.1 I dati meteorologici

Le sei stazioni meteorologiche, selezionate in base alla vicinanza con i siti di campionamento, sono elencate nella seguente tabella: per Firenze è stata individuata la stazione Ximeniano, per Prato e Montale la stazione LaMMA di Sesto Fiorentino (FI), per Capannori (LU) la stazione ARPAT di Porcari, per Arezzo, Livorno e Grosseto tre stazioni localizzate nei tre capoluoghi di provincia.

Tab. 6 – Elenco delle stazioni meteo selezionate.

N°	NOME	LOCALITA'	ENTE	LAT	LON	centralina associata
1	Ximeniano	Firenze	LaMMA	43,78	11,25	FIBASSI
2	Sesto	Sesto Fior.	LaMMA	43,82	11,20	POSTR, PTMONT
3	Arezzo	Arezzo	ARPAT	43,46	11,87	ARFIOR
4	Porcari	Porcari	ARPAT	43,84	10,62	LUCAP
5	Livorno	Livorno	LaMMA	43,55	10,30	LIMGO
6	Grosseto	Grosseto	LaMMA	42,79	11,10	GRURS

Come evidenzia la mappa riportata in fig. 9, le stazioni sono molto vicine ai siti di campionamento, salvo nel caso di Prato e soprattutto di Montale, per cui non è stato

possibile individuare stazioni meteo adeguate più vicine rispetto a quella di Sesto Fiorentino.

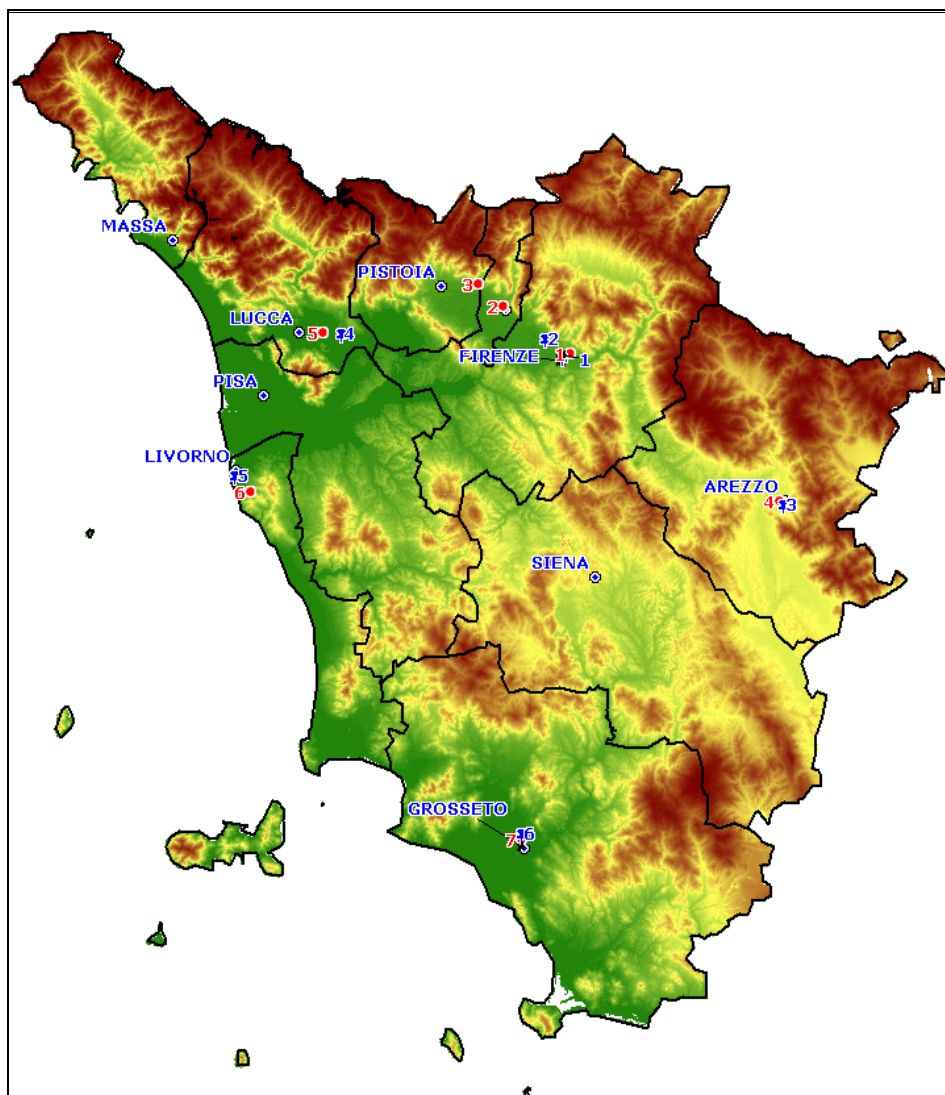


Fig. 9 – Ubicazione delle sei stazioni meteo e delle sette centraline di monitoraggio del PM_{10} , selezionate per il progetto.

In ciascuna delle sei stazioni sono stati misurati i dati di velocità e direzione del vento, di temperatura, di umidità relativa, di pressione, di radiazione globale e di pioggia; di tutte queste variabili, misurate su base oraria, sono state elaborate le medie giornaliere, o il dato cumulato su base giornaliera – per pioggia e radiazione – mentre per la direzione del vento è stata scelta la direzione prevalente, sempre su base giornaliera. Tali elaborati, che sono stati messi a disposizione di tutti i Soggetti che operano nel progetto, possono essere utilizzati per effettuare correlazioni tra i parametri meteo e le misure di concentrazione media giornaliera di PM_{10} ; in questo studio verranno prese in considerazione solo le variabili velocità del vento,

temperatura e pioggia. In appendice sono comunque riportati i grafici di tutte le variabili rilevate nelle sei stazioni meteo.

I dati delle sei stazioni sono stati utilizzati per valutare le differenze che si riscontrano sul territorio: per questo sono state elaborate le matrici di correlazione per le medie giornaliere di temperatura, di velocità del vento, e di pioggia (tabb. 7÷9).

Si può notare che i valori di temperatura media giornaliera – come risulta anche dal grafico in fig. 10 - 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 maggiore correlazione tra le stazioni più vicine, Ximeniano e Sesto, discreta tra Arezzo e Ximeniano, Sesto, Porcari e Grosseto, scarsa tra Livorno e tutte le altre. Il grafico in fig. 10 mostra come i valori registrati nella stazione di Livorno, localizzata in prossimità del porto, siano decisamente più alti rispetto a quelli misurati nelle altre stazioni.

Tab. 7 – Matrice di correlazione per i valori di temperatura media nelle sei stazioni selezionate.

temperatura	sesto	firenze	arezzo	porcari	livorno	grosseto
sesto	1,00	1,00	0,97	0,99	0,98	0,98
firenze	1,00	1,00	0,98	0,99	0,98	0,97
arezzo	0,97	0,98	1,00	0,97	0,97	0,97
porcari	0,99	0,99	0,97	1,00	0,98	0,98
livorno	0,98	0,98	0,97	0,98	1,00	0,99
grosseto	0,98	0,97	0,97	0,98	0,99	1,00

Tab. 8 – Matrice di correlazione per i valori di velocità del vento media nelle sei stazioni selezionate.

vento	sesto	firenze	arezzo	porcari	livorno	grosseto
sesto	1,00	0,86	0,76	0,66	0,44	0,67
firenze	0,86	1,00	0,71	0,65	0,41	0,64
arezzo	0,76	0,71	1,00	0,70	0,58	0,75
porcari	0,66	0,65	0,70	1,00	0,60	0,55
livorno	0,44	0,41	0,58	0,60	1,00	0,42
grosseto	0,67	0,64	0,75	0,55	0,42	1,00

Tab. 9 – Matrice di correlazione per i valori di pioggia nelle sei stazioni selezionate.

pioggia	sesto	firenze	arezzo	porcari	livorno	grosseto
sesto	1,00	0,90	0,43	0,68	0,54	0,38
firenze	0,90	1,00	0,41	0,64	0,51	0,40
arezzo	0,43	0,41	1,00	0,27	0,42	0,38
porcari	0,68	0,64	0,27	1,00	0,58	0,28
livorno	0,54	0,51	0,42	0,58	1,00	0,40
grosseto	0,38	0,40	0,38	0,28	0,40	1,00

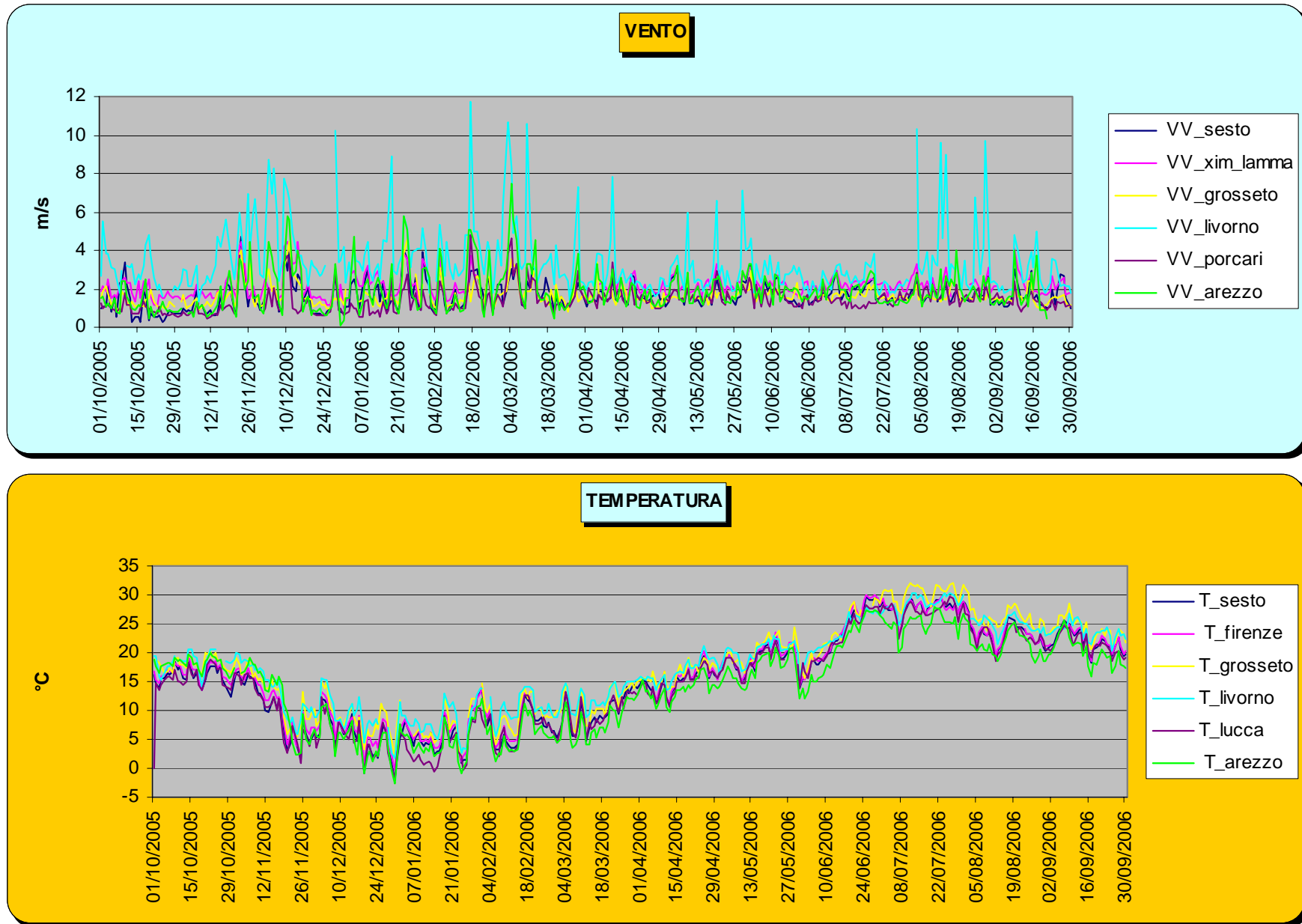


Fig. 10 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento e della temperatura, misurati nelle sei stazioni selezionate, nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

La tabella relativa alla pioggia cumulata, invece, mostra che esistono correlazioni più evidenti solo nel caso in cui le stazioni siano vicine (Ximeniano, Sesto e, in misura minore, Porcari).

In generale, si può notare che gli eventi di pioggia sono spesso presenti negli stessi giorni nelle varie stazioni, ma che i valori quantitativi possono essere anche marcatamente diversi (vedi grafici della pioggia riportati in appendice).

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 presi in considerazione i valori di velocità media del vento (VVP_24), di temperatura media (T_media_24) su base giornaliera ed 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.

Per facilitare l’interpretazione dei risultati, nella tabella 10, 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 pioggia².

Tab. 10 – Coefficienti di correlazione tra i valori di PM₁₀ misurati nelle stazioni di monitoraggio ed alcuni parametri meteorologici relativi alle stazioni più vicine: velocità del vento, temperatura giornaliera, pioggia cumulata giornaliera e pioggia cumulata giornaliera correlata ai valori di PM₁₀ registrati il giorno successivo all’evento di pioggia.

	VVP_24	T_media_24	RAIN_MM	g.d.RAIN_MM
FIBASSI	-0,48	-0,27	-0,15	-0,23
POSTRO	-0,40	-0,34	-0,07	-0,20
PTMONT	-0,46	-0,45	-0,07	-0,10
ARFIOR	-0,42	-0,35	-0,09	-0,12
LUCAP	-0,42	-0,47	-0,12	-0,15
LIMGOR	-0,12	0,51	-0,17	-0,20
GRURSS	-0,16	-0,30	-0,12	-0,08

Velocità del vento

I valori di concentrazione di PM₁₀ misurati nelle stazioni di Firenze, Prato, Pistoia, Arezzo e Lucca sono anticorrelati rispetto ai valori di velocità media di vento,

² 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.

presentando coefficienti inferiori a -0.40; i coefficienti relativi a Livorno e Grosseto, invece, sono sempre negativi, ma decisamente inferiori in valore assoluto.

Anche dall'osservazione dei grafici riportati nelle figure 11 (Firenze), 13 (Prato), 15 (Montale), 17 (Arezzo), 19 (Lucca) – andamento dei valori di velocità media giornaliera del vento e delle concentrazioni di PM₁₀ - risulta evidente l'anticorrelazione tra gli eventi in cui si registra un vento sostenuto e la diminuzione dei valori di concentrazione di PM₁₀; nel caso di Livorno (fig. 21), invece, si notano episodi in cui ad un vento sostenuto corrisponde un aumento delle concentrazioni di PM₁₀.

L'analisi effettuata nelle sei stazioni nel periodo del campionamento risulta in linea con i risultati ottenuti nel precedente studio: per quanto riguarda le stazioni dell'entroterra, gli eventi influenti ai fini della riduzione delle concentrazioni sono 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. Per quanto riguarda le stazioni sulla costa, invece, il vento forte può contribuire in alcuni casi all'aumento delle polveri, apportando aerosol marino.

Temperatura

I valori dei coefficienti di correlazione tra le concentrazioni di PM₁₀ ed i valori di temperatura media giornaliera, relativi a cinque centraline - Firenze, Prato, Montale, Arezzo, Lucca evidenziano una marcata anticorrelazione tra i valori di concentrazione e di temperatura: in queste stazioni, infatti, si registrano valori di concentrazione decisamente più alti nel semestre freddo rispetto ai valori registrati nel semestre caldo. Le concentrazioni rilevate nella centralina di Livorno, invece, mostrano un andamento correlato con quello delle temperature.

Pioggia

Gli indicatori "RAIN_mm", che rappresenta i valori di pioggia cumulata su base giornaliera e "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, risultano, dai coefficienti riportati nella tabella 10, debolmente anticorrelati con le misure di PM₁₀.

Come evidenziato nel precedente studio, la pioggia ha un effetto di riduzione delle concentrazioni (nello stesso giorno o in quello successivo) solo nel caso in cui superi una certa soglia, ad esempio 10 mm, altrimenti l'effetto di dilavamento non risulta evidente.

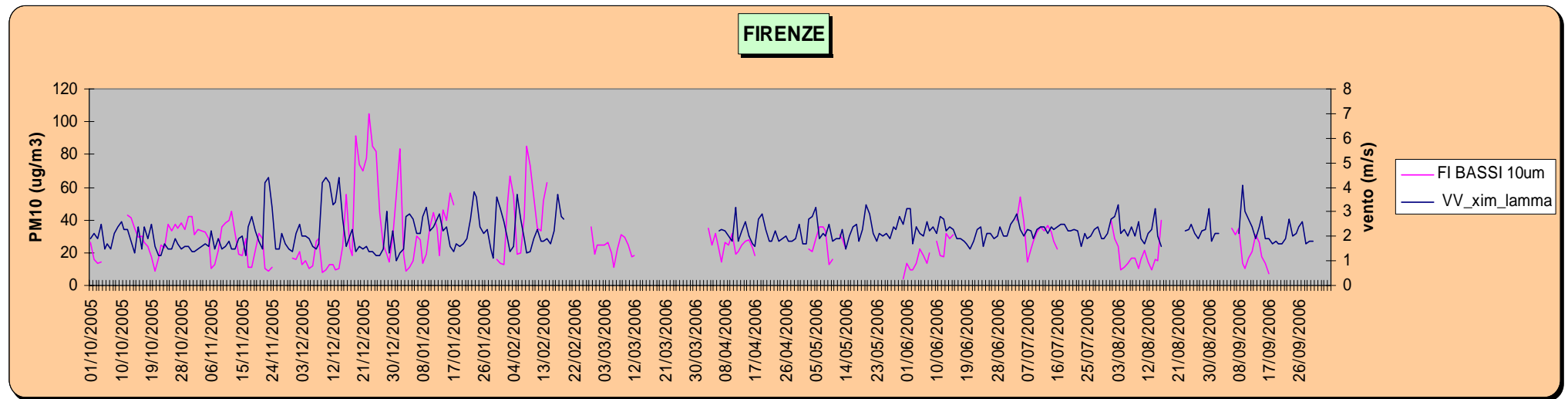


Fig. 11 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione Ximeniano (FI), e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Bassi (FI), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

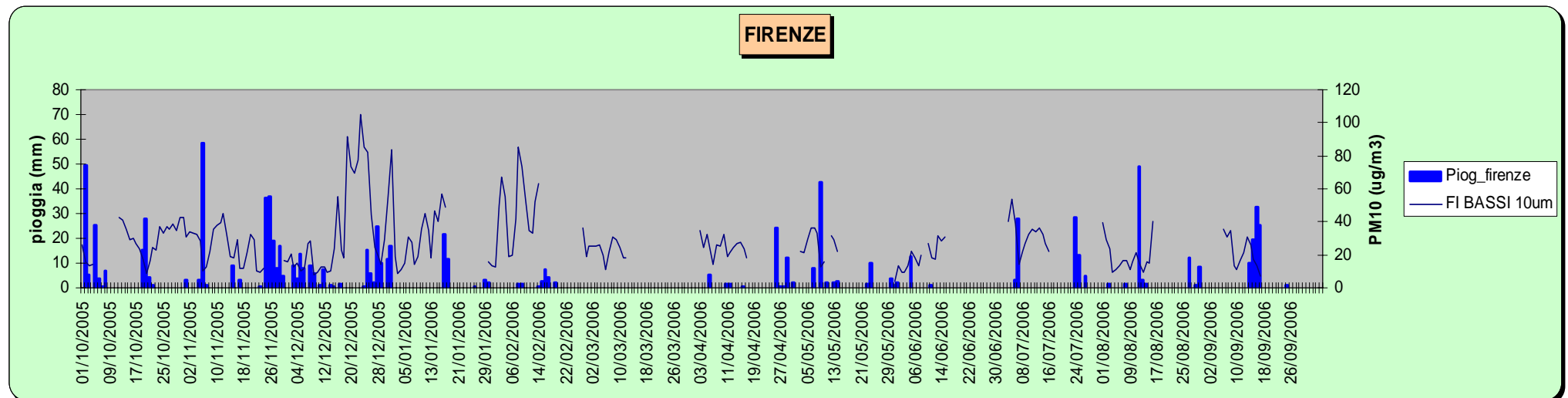


Fig. 12 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione Ximeniano (FI), e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Bassi (FI), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM_{10}

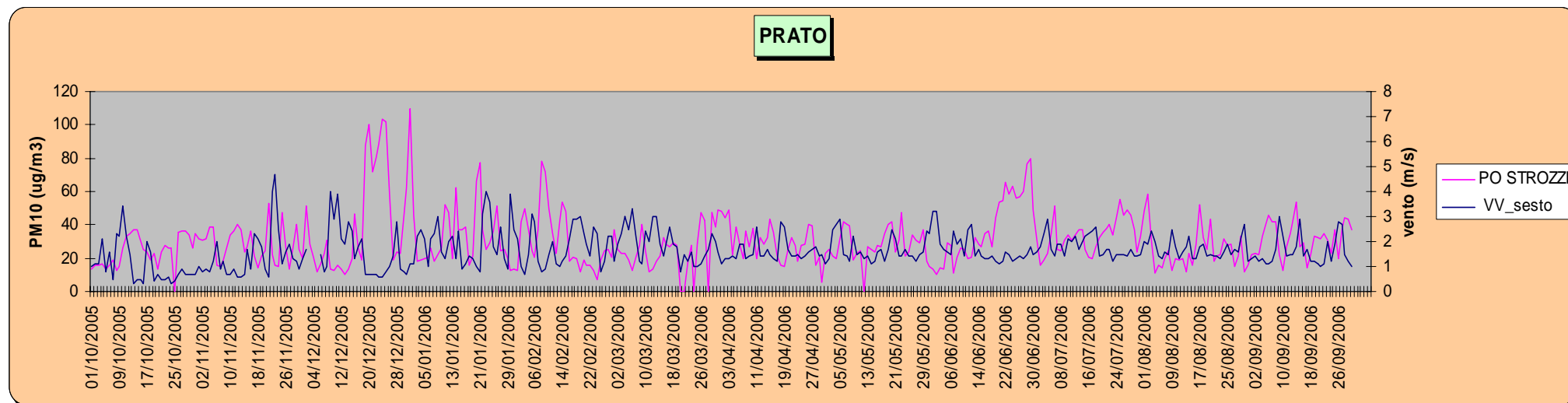


Fig. 13 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione Sesto, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Strozzi (PO), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

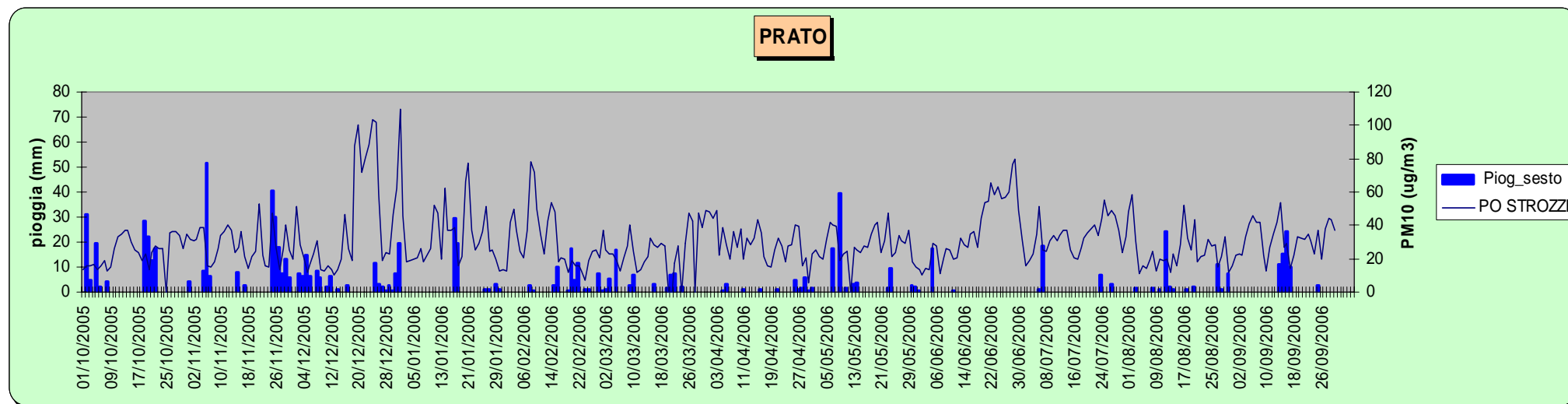


Fig. 14 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione Sesto, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Strozzi (PO), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM_{10}

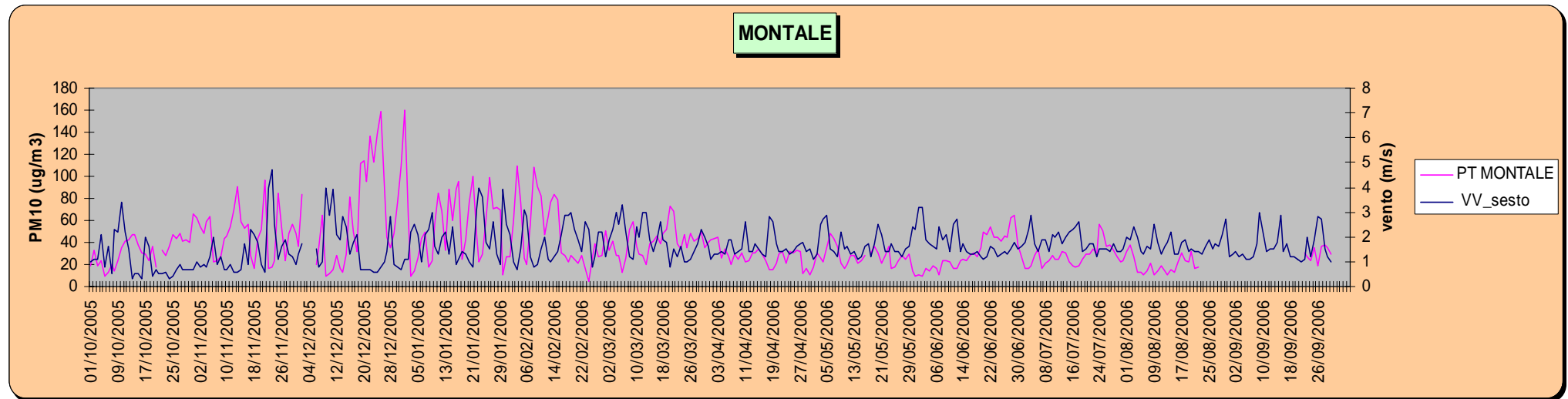


Fig. 15 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione Sesto, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Montale (PT), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

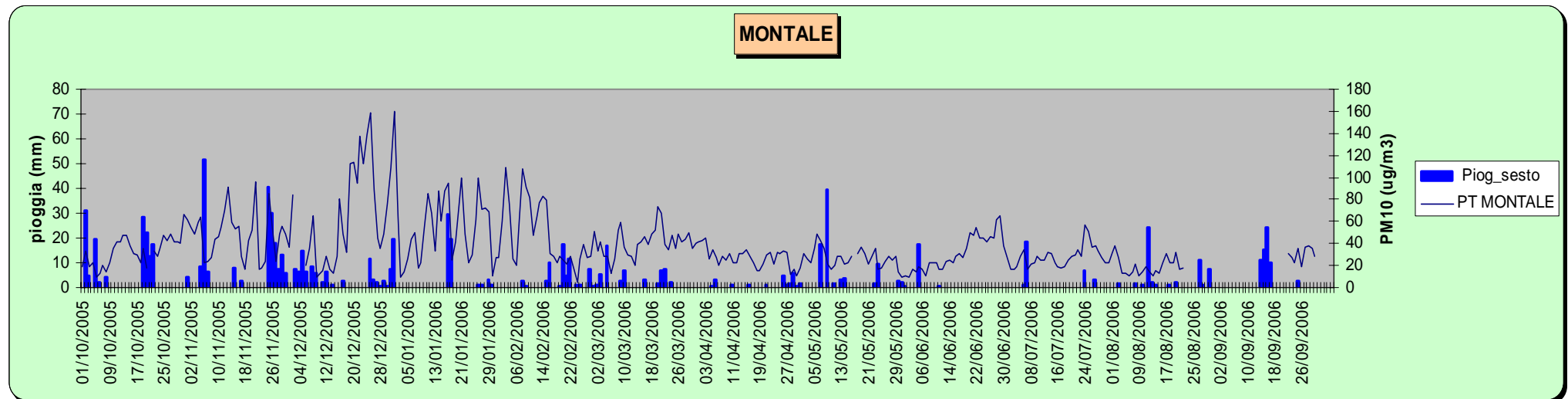


Fig. 16 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione Sesto, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Montale (PT), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM_{10}

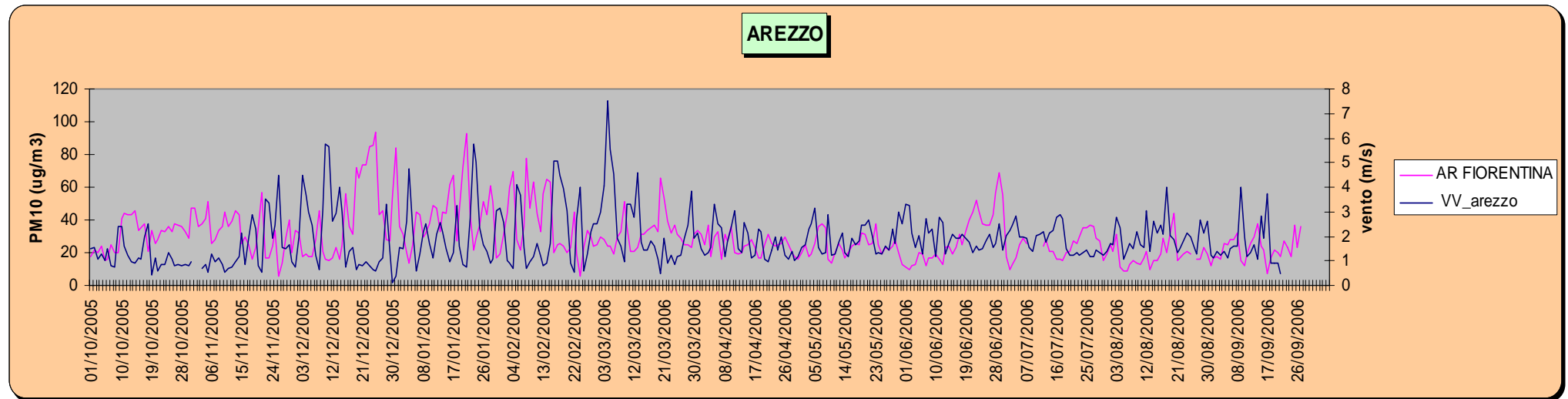


Fig. 17 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione di Arezzo, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Fiorentina (AR), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

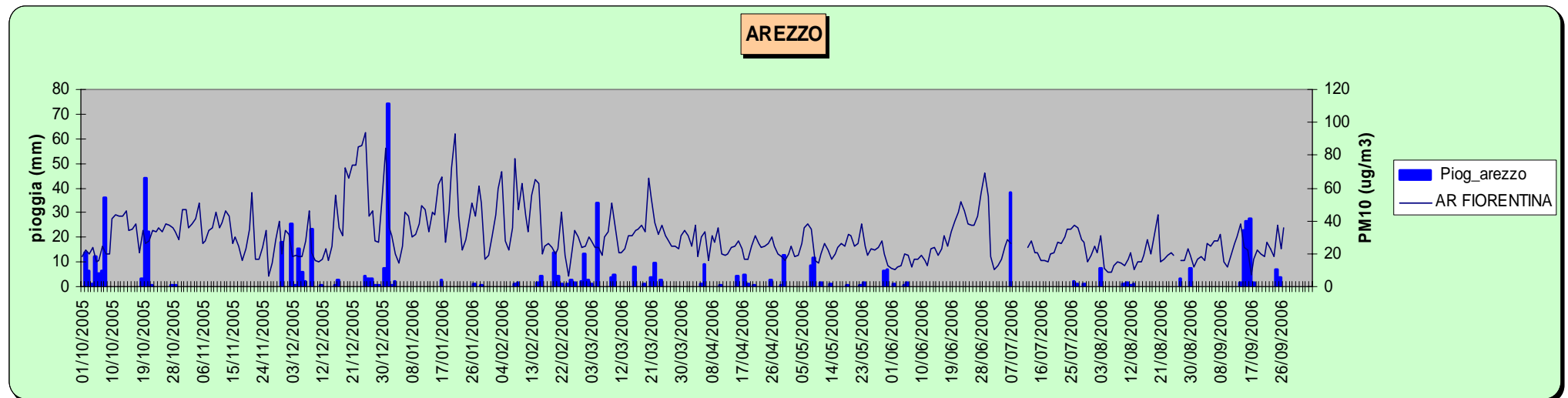


Fig. 18 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione di Arezzo, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Fiorentina (AR), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM_{10}

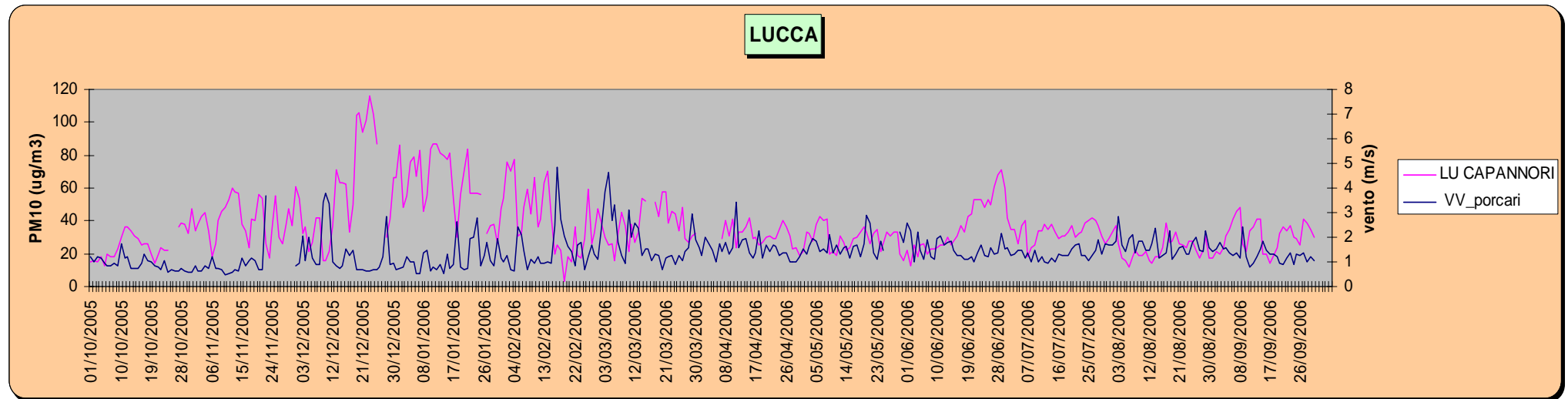


Fig. 19 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione di Lucca, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Capannori (LU), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

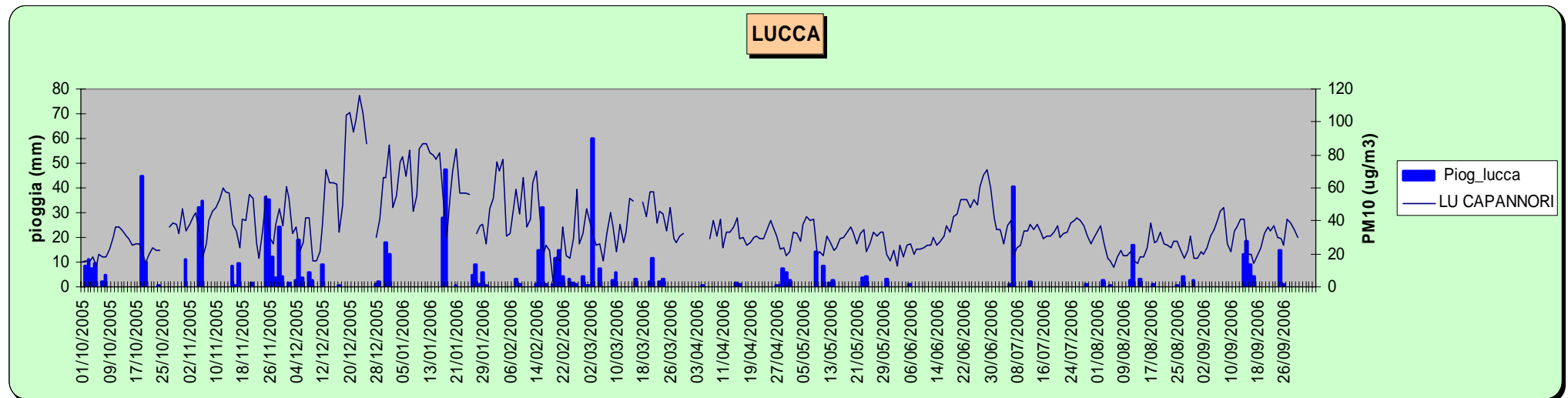


Fig. 20 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione di Lucca, e delle concentrazioni di PM_{10} registrate nella stazione Capannori (LU), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

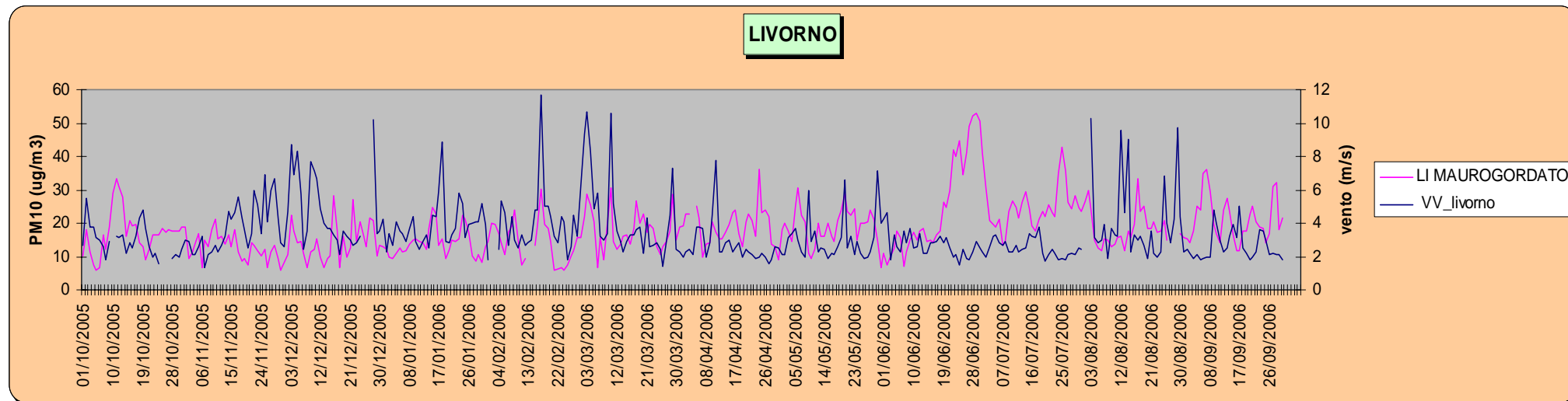


Fig. 21 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione di Livorno, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione M. Gordato (LI), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

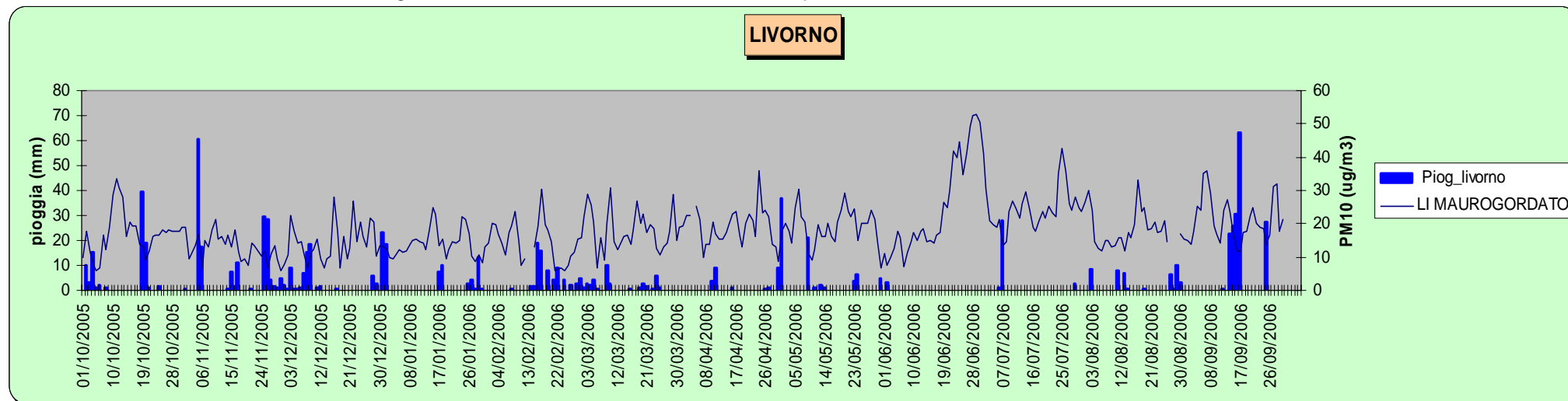


Fig. 22 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione di Livorno, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione M. Gordato (LI), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2. Influenza degli indicatori meteorologici sulle concentrazioni di PM₁₀

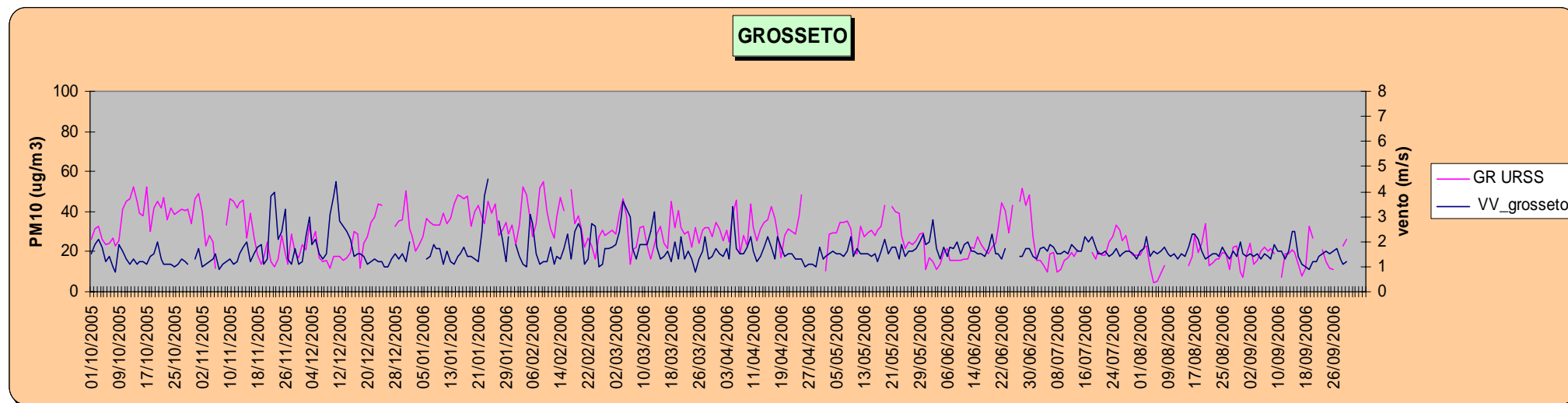


Fig. 23– Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di velocità media giornaliera del vento, misurati nella stazione di Grosseto, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione URSS (GR), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

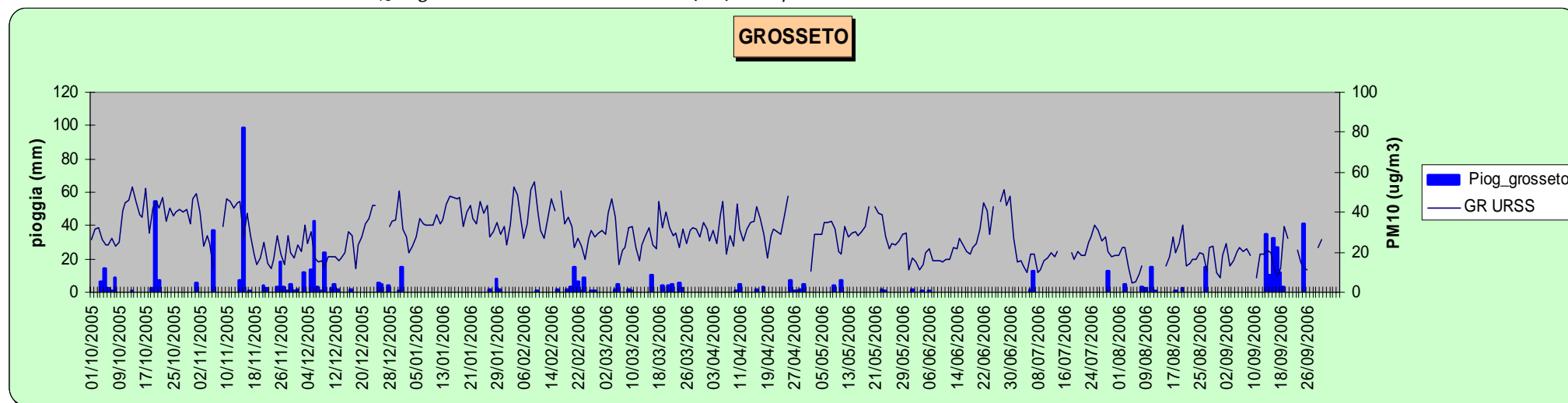


Fig. 24 – Grafici relativi all'andamento temporale dei valori di pioggia cumulata giornaliera, misurati nella stazione di Grosseto, e delle concentrazioni di PM₁₀ registrate nella stazione URSS (GR), nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006.

2.3 Episodi significativi nel periodo di campionamento

Nel precedente studio sono stati individuati alcuni valori-soglia per la velocità media del vento e per la pioggia cumulata, che possono aiutare a discriminare fra condizioni meteo favorevoli o sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera; 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. La scelta di questi valori è comunque soltanto indicativa, in quanto dipende dalla stazione meteo di riferimento.

Anche in questo caso, per il periodo ottobre 2005 – settembre 2006, vengono proposti dei valori soglia per la velocità media del vento e per la pioggia cumulata, registrate in ciascuna delle sei stazioni meteo di riferimento. Per quanto riguarda la velocità media del vento, è stata individuato un valore soglia pari a 3 m/s per i dati misurati in tutte le stazioni, con l'esclusione dei dati rilevati a Livorno, che sono mediamente maggiori, per cui viene proposta un valore più alto, 6 m/s. Per la pioggia cumulata è stato individuato un unico valore soglia per i dati rilevati in tutte le stazioni, pari a 10 mm.

Nella tabella seguente sono riportati il numero totale di valori relativi alla velocità del vento e alla pioggia, misurati nelle sei stazioni meteo in esame, il valore medio, il numero dei valori superiori alle soglie proposte ed il relativo valore percentuale.

Tab. 11 – Per ciascuna stazione meteo 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 ottobre 2005- settembre 2006.

vento					
stazioni	valore soglia	n validi	media	n >soglia	%n >soglia
Ximeniano	> 3 m/s	309	2,2	27	8,7
Sesto	> 3 m/s	362	1,6	19	5,2
Arezzo	> 3 m/s	355	1,9	41	11,5
Lucca	> 3 m/s	353	1,4	10	2,8
Livorno	> 6 m/s	354	3,4	28	7,9
Grosseto	> 3 m/s	354	1,6	15	4,2
pioggia					
stazioni	valore soglia	n validi	media	n >soglia	%n >soglia
Ximeniano	> 10 mm	309	3,0	31	10,0
Sesto	> 10 mm	365	2,4	30	8,2
Arezzo	> 10 mm	363	1,9	19	5,2
Lucca	> 10 mm	358	2,5	27	7,5
Livorno	> 10 mm	354	2,5	26	7,3
Grosseto	> 10 mm	355	2,2	22	6,2

Si può notare che le percentuali di accadimento degli eventi sopra soglia sono abbastanza diversificate; tuttavia, anche in questo caso, si è osservato una significativa riduzione delle concentrazioni inquinanti in corrispondenza di eventi meteorologici in cui i valori della velocità media del vento o della pioggia cumulata sono maggiori delle soglie proposte.

Di seguito sono riportate sette tabelle, relative alle centraline di monitoraggio selezionate ed alle corrispondenti stazioni meteo, in cui vengono evidenziati gli eventi più significativi verificatisi nel periodo ottobre 2005 – settembre 2006. La prima parte corrisponde agli eventi di pioggia superiori a 10 mm, ai valori di concentrazione misurati nello stesso giorno e nel giorno successivo; nella seconda parte sono riportati gli episodi in cui il valore della velocità media del vento è maggiore del valore soglia, ed il corrispondente valore di concentrazione; in ultimo, gli episodi in cui sono stati registrati valori di PM₁₀ superiori a 50 µg/m³.

Tab. 12 – Stazione meteo Ximeniano – centralina FI Bassi: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

FI BASSI								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
02/10/2005	50	16	13	22/11/2005	4,2	10	16/12/2005	56
05/10/2005	25		9	23/11/2005	4,4	9	19/12/2005	92
19/10/2005	15	17	9	24/11/2005	3,2	11	20/12/2005	74
20/10/2005	28	9	16	09/12/2005	4,2	8	21/12/2005	70
06/11/2005	58	10	13	10/12/2005	4,4	10	22/12/2005	78
25/11/2005	36		19	11/12/2005	4,2	13	23/12/2005	105
26/11/2005	37	19		12/12/2005	3,3	12	24/12/2005	85
27/11/2005	19			13/12/2005	3,4	10	25/12/2005	82
29/11/2005	17		17	14/12/2005	4,4	11	31/12/2005	56
05/12/2005	14	10	12	28/12/2005	3,0	19	01/01/2006	83
25/12/2005	15	82	44	09/01/2006	3,2	19	16/01/2006	57
28/12/2005	25	19	14	23/01/2006	3,8		03/02/2006	67
29/12/2005	10	14	29	24/01/2006	3,6		04/02/2006	55
31/12/2005	11	56	83	30/01/2006	3,6	16	08/02/2006	85
01/01/2006	17	83	19	31/01/2006	3,1	13	09/02/2006	73
17/01/2006	21	49		05/02/2006	3,7	19	10/02/2006	54
18/01/2006	12			17/02/2006	3,7		13/02/2006	52
26/04/2006	24			11/04/2006	3,2	19	14/02/2006	63
29/04/2006	12			05/05/2006	3,2	29	05/07/2006	54
09/05/2006	42	13	16	20/05/2006	3,3			
24/05/2006	10			01/06/2006	3,1	13		
05/06/2006	13	22	18	02/06/2006	3,1	10		
07/07/2006	28	14	22	03/08/2006	3,3	24		
24/07/2006	29			14/08/2006	3,1	16		
25/07/2006	13			30/08/2006	3,1			
12/08/2006	49	14	9	09/09/2006	4,1	13		
27/08/2006	12			10/09/2006	3,0	11		
14/09/2006	10	26	17					
15/09/2006	19	17	13					
16/09/2006	32	13	7					
17/09/2006	25	7						

Nella stazione di Firenze – Bassi si può notare che agli episodi di vento o di pioggia superiori alla soglia corrispondono valori di concentrazione decisamente bassi, con

l'esclusione del giorno 25/12/05, in cui il valore resta alto lo stesso giorno dell'evento di pioggia, ma si riduce drasticamente il giorno successivo. Anche il 31/12/05 e il 01/01/07 si riscontrano alti valori di concentrazione, probabilmente imputabili ai fuochi d'artificio di fine anno. Si segnala inoltre che nei giorni precedenti, dalla tarda serata del 28/12 e nel giorno successivo, a Firenze si è verificata una forte nevicata, che ha in parte falsato i dati misurati dal pluviometro anche nei giorni successivi, a causa dello scioglimento della neve depositata nello strumento. Per quanto riguarda i superamenti del valore soglia per il PM₁₀, questi si sono verificati solo nel periodo invernale, con la sola eccezione del giorno 05/07/06.

Tab. 13 – Stazione meteo Sesto – centralina PO Strozzi: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

PO STROZZI								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
02/10/2005	31	16	16	10/10/2005	3,4	26	21/11/2005	53
05/10/2005	20	13	16	22/11/2005	4,0	22	02/12/2005	51
19/10/2005	28	23	14	23/11/2005	4,7	16	19/12/2005	88
20/10/2005	22	14	23	09/12/2005	4,0	14	20/12/2005	100
21/10/2005	12	23	28	11/12/2005	3,9	16	21/12/2005	72
22/10/2005	17	28	26	09/01/2006	3,0	22	22/12/2005	81
06/11/2005	52	16	15	22/01/2006	3,1	37	23/12/2005	88
25/11/2005	41	47	27	23/01/2006	4,0	26	24/12/2005	103
26/11/2005	30	27	13	24/01/2006	3,6	29	25/12/2005	102
27/11/2005	18	13	26	30/01/2006	3,9	13	26/12/2005	59
29/11/2005	13	40	25	05/02/2006	3,1	24	31/12/2005	62
05/12/2005	15	12	17	19/02/2006	3,0	12	01/01/2006	110
25/12/2005	12	102	59	04/03/2006	3,0	23	11/01/2006	52
01/01/2006	20	110	46	06/03/2006	3,3	12	14/01/2006	62
17/01/2006	30	39	16	12/03/2006	3,0	14	20/01/2006	66
18/01/2006	19	16	22	13/03/2006	3,0	18	21/01/2006	77
16/02/2006	10	18	20	01/06/2006	3,2	13	26/01/2006	51
20/02/2006	17	19	15	02/06/2006	3,2	10	03/02/2006	50
22/02/2006	12	16	13	09/09/2006	3,0	22	08/02/2006	78
05/03/2006	17	19	12				09/02/2006	72
07/05/2006	17	40	39				14/02/2006	54
09/05/2006	39	19	23				20/06/2006	53
05/06/2006	18	29	27				21/06/2006	54
07/07/2006	18	25	25				22/06/2006	65
12/08/2006	24	20	11				23/06/2006	58
27/08/2006	11	15	21				24/06/2006	63
14/09/2006	11	54	27				25/06/2006	56
15/09/2006	15	27	29				26/06/2006	57
16/09/2006	24	29	14				27/06/2006	60
17/09/2006	10	14	22				28/06/2006	77
							29/06/2006	80
							06/07/2006	51
							25/07/2006	55
							02/08/2006	59
							17/08/2006	52
							14/09/2006	54

Anche nella centralina di Prato – Strozzi si evidenziano basse concentrazioni di PM₁₀ in corrispondenza di valori di vento o pioggia superiori alle soglie; fanno eccezione il primo dell'anno ed i giorni 25/12/05 e 14/09/06. I superamenti del valore-soglia per le polveri si sono verificati prevalentemente in inverno, sebbene si segnalino 15 giorni in estate, di cui 10 riconducibili all'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

Tab. 14 –Stazione meteo Sesto – centralina PT Montale: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³ ; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

PT MONTALE								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
02/10/2005	31	33	19	10/10/2005	3,4	35	31/10/2005	66
05/10/2005	20	10	13	22/11/2005	4,0	17	01/11/2005	62
19/10/2005	28	36	18	23/11/2005	4,7	18	02/11/2005	54
20/10/2005	22	18		09/12/2005	4,0	10	04/11/2005	59
21/10/2005	12		33	11/12/2005	3,9	15	05/11/2005	64
22/10/2005	17	33	28	09/01/2006	3,0	23	11/11/2005	54
06/11/2005	52	22	24	22/01/2006	3,1	48	12/11/2005	70
25/11/2005	41	85	53	23/01/2006	4,0	22	13/11/2005	91
26/11/2005	30	53	24	24/01/2006	3,6	30	14/11/2005	59
27/11/2005	18	24	48	30/01/2006	3,9	11	15/11/2005	53
29/11/2005	13	56	48	05/02/2006	3,1	26	16/11/2005	56
05/12/2005	15		20	19/02/2006	3,0	28	20/11/2005	52
25/12/2005	12	159	89	04/03/2006	3,0	28	21/11/2005	96
01/01/2006	20	160	64	06/03/2006	3,3	13	25/11/2005	85
17/01/2006	30	95	25	12/03/2006	3,0	28	26/11/2005	53
18/01/2006	19	25	42	13/03/2006	3,0	20	29/11/2005	56
16/02/2006	10	31	28	01/06/2006	3,2	11	02/12/2005	84
20/02/2006	17	25	21	02/06/2006	3,2	10	08/12/2005	65
22/02/2006	12	28	16	09/09/2006	3,0		16/12/2005	81
05/03/2006	17	28	13				19/12/2005	112
07/05/2006	17	43	36				20/12/2005	114
09/05/2006	39	21	17				21/12/2005	95
05/06/2006	18	19	17				22/12/2005	137
07/07/2006	18	17	21				23/12/2005	113
12/08/2006	24	14	11				24/12/2005	139
27/08/2006	11						25/12/2005	159
14/09/2006	11						26/12/2005	89
15/09/2006	15						30/12/2005	76
16/09/2006	24						31/12/2005	109
17/09/2006	10						01/01/2006	160
							02/01/2006	64
							07/01/2006	50
							10/01/2006	56
							11/01/2006	85
							12/01/2006	68
							14/01/2006	88
							15/01/2006	60
							16/01/2006	88
							17/01/2006	95
							20/01/2006	76
							21/01/2006	100
							25/01/2006	61
							26/01/2006	99
							27/01/2006	71
							28/01/2006	72
							29/01/2006	69
							02/02/2006	60
							03/02/2006	109
							04/02/2006	76
							07/02/2006	57
							08/02/2006	108
							09/02/2006	91
							10/02/2006	82
							12/02/2006	64
							13/02/2006	77
							14/02/2006	83
							15/02/2006	79
							01/03/2006	51
							08/03/2006	52
							09/03/2006	59
							19/03/2006	52
							20/03/2006	73
							21/03/2006	68
							29/03/2006	50
							20/06/2006	50
							22/06/2006	54
							28/06/2006	62
							29/06/2006	65
							24/07/2006	57
							25/07/2006	51

La centralina di Montale (PT) presenta i valori di concentrazione più alti, con 70 superamenti del valore soglia, di cui 64 nel semestre freddo e solo 6 in estate (4 superamenti sono riconducibili all'evento di trasporto di sabbia del deserto). Nei giorni in cui è presente un vento sopra i 3 m/s i livelli di inquinamento sono decisamente più bassi, anche nel semestre freddo; la pioggia sopra i 10 mm ha anch'essa un importante effetto di riduzione (nello stesso giorno o nel successivo), ma in alcuni casi le concentrazioni di PM₁₀ superano comunque la soglia di 50 µg/m³.

Tab. 15 – Stazione meteo Arezzo – centralina AR Fiorentina: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

AR FIORENTINA								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
02/10/2005	14	22	20	22/11/2005	3,5	17	05/11/2005	51
05/10/2005	12	15	16	23/11/2005	3,4	17	21/11/2005	57
08/10/2005	36	20	20	26/11/2005	4,5	6	16/12/2005	56
20/10/2005	44	26	28	03/12/2005	4,5	18	19/12/2005	72
21/10/2005	22	28	34	04/12/2005	3,7	19	20/12/2005	66
30/11/2005	18	20	34	09/12/2005	3,1	21	21/12/2005	74
03/12/2005	25	18	19	10/12/2005	5,8	16	22/12/2005	74
05/12/2005	15	18	18	11/12/2005	5,6	15	23/12/2005	85
09/12/2005	23	21	16	14/12/2005	4,0	16	24/12/2005	86
01/01/2006	74	36	31	28/12/2005	3,3	28	25/12/2005	94
20/02/2006	14	20	23	04/01/2006	4,7	14	30/12/2005	54
01/03/2006	13	25	30	18/01/2006	3,3	27	31/12/2005	84
05/03/2006	34	24	19	23/01/2006	5,8	22	16/01/2006	62
30/04/2006	13	16	20	24/01/2006	5,0	29	17/01/2006	67
09/05/2006	11	16	14	30/01/2006	3,0	17	20/01/2006	72
07/07/2006	38	26		31/01/2006	3,1	19	21/01/2006	93
15/09/2006	23	24	22	05/02/2006	4,1	28	26/01/2006	51
16/09/2006	27	22	7	06/02/2006	3,7	22	28/01/2006	61
17/09/2006	28	7	17	16/02/2006	5,1	20	29/01/2006	51
				17/02/2006	5,1	25	03/02/2006	60
				18/02/2006	4,5	26	04/02/2006	70
				19/02/2006	4,0	24	08/02/2006	78
				20/02/2006	3,0	20	10/02/2006	63
				24/02/2006	4,0	6	13/02/2006	56
				03/03/2006	4,0	28	14/02/2006	65
				04/03/2006	7,5	24	15/02/2006	63
				05/03/2006	5,6	24	09/03/2006	51
				06/03/2006	4,5	19	20/03/2006	66
				10/03/2006	3,3	36	21/03/2006	54
				11/03/2006	3,3	21	22/06/2006	52
				13/03/2006	4,6	23	28/06/2006	57
				29/03/2006	3,9	23	29/06/2006	69
				05/04/2006	3,3	30	30/06/2006	55
				11/04/2006	3,0	20		
				05/05/2006	3,2	26		
				01/06/2006	3,3	11		
				02/06/2006	3,2	10		
				12/08/2006	3,0	21		
				18/08/2006	4,0	20		
				09/09/2006	4,0	15		
				17/09/2006	3,7	7		

Nella centralina di Arezzo i superamenti della soglia di 50 µg/m³ si verificano solo in inverno, con l'eccezione di 4 superamenti dovuti al contributo della sabbia del deserto. Anche in questo caso condizioni di pioggia e vento sopra soglia hanno un effetto di riduzione delle concentrazioni.

Tab. 16 – Stazione meteo Lucca – centralina LU Capannori: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

LU CAPANNORI								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
03/10/2005	11	15	18	22/11/2005	3,7	26	11/11/2005	53
19/10/2005	45	20	14	09/12/2005	3,4	16	12/11/2005	60
20/10/2005	10	14	20	10/12/2005	3,8	16	13/11/2005	58
01/11/2005	11	34	38	11/12/2005	3,4	21	14/11/2005	57
05/11/2005	32	34	18	17/02/2006	4,8	25	20/11/2005	56
06/11/2005	35	18	26	03/03/2006	3,8	30	21/11/2005	54
25/11/2005	36	55	30	04/03/2006	4,6	25	25/11/2005	55
26/11/2005	35	30	26	06/03/2006	3,3	16	01/12/2005	61
27/11/2005	12	26	38	10/03/2006	3,1	21	02/12/2005	54
29/11/2005	24	47	37	11/04/2006	3,4	24	13/12/2005	71
05/12/2005	19	21	27				14/12/2005	63
31/12/2005	18	66	86				15/12/2005	63
01/01/2006	13	86	48				16/12/2005	62
17/01/2006	28	54	30				18/12/2005	50
18/01/2006	48	30	56				19/12/2005	104
15/02/2006	15	43	20				20/12/2005	106
16/02/2006	32	20	25				21/12/2005	94
20/02/2006	12	18	15				22/12/2005	101
21/02/2006	15	15	36				23/12/2005	116
03/03/2006	60	30	25				24/12/2005	105
21/03/2006	12	58	39				25/12/2005	87
09/05/2006	14	20	21				30/12/2005	66
07/07/2006	41	18	24				31/12/2005	66
12/08/2006	17	16	14				01/01/2006	86
14/09/2006	13	41	20				03/01/2006	55
15/09/2006	18	20	20				04/01/2006	76
25/09/2006	15	29	25				05/01/2006	79
							06/01/2006	67
							07/01/2006	83
							09/01/2006	55
							10/01/2006	84
							11/01/2006	87
							12/01/2006	87
							13/01/2006	81
							14/01/2006	80
							15/01/2006	77
							16/01/2006	81
							17/01/2006	54
							19/01/2006	56
							20/01/2006	70
							21/01/2006	84
							22/01/2006	57
							23/01/2006	57
							24/01/2006	57
							25/01/2006	56
							01/02/2006	54
							02/02/2006	76
							03/02/2006	70
							04/02/2006	77
							08/02/2006	59
							10/02/2006	66
							13/02/2006	63
							14/02/2006	70
							26/02/2006	59
							14/03/2006	54
							15/03/2006	52
							18/03/2006	51
							20/03/2006	58
							21/03/2006	58
							21/06/2006	53
							22/06/2006	53
							23/06/2006	53
							25/06/2006	53
							26/06/2006	50
							27/06/2006	61
							28/06/2006	68
							29/06/2006	71
							30/06/2006	60

Nella stazione di Capannori (LU) sono stati registrati 68 superamenti del valore soglia per le polveri, 59 nel semestre freddo e solo 9 in giugno, in relazione all'evento di trasporto di sabbia. Come per le altre stazioni dell'entroterra, il vento forte, come anche la pioggia sopra il valore soglia, hanno un significativo effetto di riduzione delle concentrazioni inquinanti.

Tab. 17 – Stazione meteo Livorno – centralina LI M. Gordato: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³ ; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

LI MAUROGORDATO								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>6m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
02/10/2005	10	18	11	22/11/2005	6,0	13	28/06/2006	52
04/10/2005	15	8	6	25/11/2005	6,9	12	29/06/2006	53
19/10/2005	39	13	9	27/11/2005	6,0	11	30/06/2006	51
20/10/2005	19	9	12	28/11/2005	6,7	13		
05/11/2005	61	17	7	03/12/2005	8,7	22		
06/11/2005	17	7	15	04/12/2005	6,9	18		
17/11/2005	11	11	9	05/12/2005	8,3	14		
25/11/2005	29	12	7	09/12/2005	7,7	11		
26/11/2005	28	7	11	10/12/2005	7,1	12		
08/12/2005	15	7	11	11/12/2005	6,7	15		
09/12/2005	18	11	12	28/12/2005	10,2	21		
31/12/2005	23	13	12	18/01/2006	8,9	15		
01/01/2006	19	12	10	17/02/2006	11,7	30		
18/01/2006	10	15	9	01/03/2006	6,3	16		
29/01/2006	13	11	8	02/03/2006	9,3	22		
16/02/2006	19	19	30	03/03/2006	10,7	29		
17/02/2006	16	30	20	04/03/2006	8,3	25		
01/05/2006	37	18	20	10/03/2006	10,6	31		
09/05/2006	21	11	9	29/03/2006	7,3	29		
07/07/2006	28	14	14	11/04/2006	7,8	17		
29/08/2006	10		17	09/05/2006	6,0	11		
14/09/2006	23	24	17	20/05/2006	6,6	29		
15/09/2006	26	17	12	30/05/2006	7,1	15		
16/09/2006	31	12	12	03/08/2006	10,3	24		
17/09/2006	63	12	17	12/08/2006	9,6	16		
25/09/2006	27	14	17	14/08/2006	9,0	17		
				25/08/2006	6,8	21		
				29/08/2006	9,7			

La stazione Livorno – M. Gordato presenta caratteristiche diverse dalle precedenti centraline: gli unici tre superamenti del valore soglia di 50 µg/m³ si verificano in corrispondenza dell'episodio di trasporto di sabbia del deserto. Inoltre, la presenza di un vento forte non sempre corrisponde a una riduzione delle concentrazioni, ma anzi, in alcuni casi, segnalati in celeste nella tabella, si evidenziano aumenti del PM₁₀ (a questo proposito si rimanda al grafico in fig. 21), dovuti probabilmente all'apporto dell'aerosol marino.

Tab. 18 – Stazione meteo Grosseto – centralina GR URSS: sono riportati gli eventi di pioggia superiori alla soglia e i corrispondenti valori di PM₁₀ nello stesso giorno e nel giorno successivo; gli episodi con vento superiore alla soglia ed i corrispondenti valori di PM₁₀; gli eventi in cui si sono verificati dei superamenti del valore di 50 µg/m³; periodo ottobre 2005-settembre 2006.

GR URSS								
data	piog (>10mm)	PM10	PM10 g.d.	data	VV (>3m/s)	PM10	data	PM10 (>50 ug/m2)
05/10/2005	15	24	24	22/11/2005	3,8	15	13/10/2005	53
20/10/2005	55	45	42	23/11/2005	4,0	12	17/10/2005	52
06/11/2005	37	12		26/11/2005	3,3	19	31/12/2005	51
15/11/2005	99	27	39	03/12/2005	3,0	34	03/02/2006	52
26/11/2005	18	19	14	09/12/2005	3,1	12	08/02/2006	51
03/12/2005	12	34	25	10/12/2005	3,8	18	09/02/2006	55
05/12/2005	14	30	17	11/12/2005	4,4	18	17/02/2006	51
06/12/2005	43	17	15	23/01/2006	3,8	34	28/06/2006	51
09/12/2005	24	12	18	24/01/2006	4,5	45		
01/01/2006	15	31	28	05/02/2006	3,1	36		
21/02/2006	15	22	27	04/03/2006	3,6	47		
16/03/2006	10	24	21	05/03/2006	3,3	37		
07/07/2006	12	19	10	06/03/2006	3,0	14		
29/07/2006	13	20	18	13/03/2006	3,2	23		
11/08/2006	15			05/04/2006	3,4	39		
27/08/2006	15	11	22					
14/09/2006	35	21	20					
15/09/2006	10	20	14					
16/09/2006	32	14	8					
17/09/2006	27	8	12					
18/09/2006	12	12	33					
25/09/2006	41	12	11					

Nella stazione di Grosseto si verificano pochi superamenti, solo 8, di cui 7 nel semestre freddo e uno riconducibile all'episodio di trasporto di sabbia. Come per la stazione di Livorno, anche in questo caso alcuni episodi di vento forte evidenziano un aumento delle concentrazioni di PM₁₀ (vedi fig.23).

Episodi favorevoli all'accumulo delle sostanze inquinanti

Di seguito sono riportati i valori di concentrazione (tab. 19), di velocità media del vento (tab.20), di pioggia cumulata (tab.21) e di temperatura media (tab.22), registrati nelle centraline e nelle stazioni selezionate durante i principali episodi in cui si sono verificate condizioni favorevoli all'accumulo degli inquinanti. Si può notare che nei periodi segnalati le 5 centraline dell'entroterra hanno registrato valori superiori alla soglia di 50 µg/m³. Per completezza è stato riportato anche il periodo corrispondente al 31/12/05 e al 01/01/06, in cui le alte concentrazioni sono da attribuire presumibilmente ai fuochi d'artificio. Nei periodi segnalati i venti sono stati di bassa intensità, al di sotto del valore medio, la pioggia assente o molto scarsa (con l'eccezione del 25/12/05, come già evidenziato, e di fine ed inizio anno), le temperature medie generalmente molto basse: l'insieme di queste condizioni hanno limitato la circolazione, aumentato nelle aree urbane il fenomeno dell'isola di calore e quindi favorito il ristagno delle sostanze inquinanti.

Tab. 19 – Per ciascuna centralina sono riportati i valori di PM₁₀ durante gli episodi favorevoli all'accumulo delle sostanze inquinanti.

data	FI BASSI	PO STROZZI	PT MONTALE	AR FIOREN.	LU CAPANNI	LI MGORD.	GR URSS
19/12/2005	92	88	112	72	104	16	24
20/12/2005	74	100	114	66	106	10	27
21/12/2005	70	72	95	74	94	13	34
22/12/2005	78	81	137	74	101	27	37
23/12/2005	105	88	113	85	116	15	44
24/12/2005	85	103	139	86	105	21	43
25/12/2005	82	102	159	94	87	16	
31/12/2005	56	62	109	84	66	13	51
01/01/2006	83	110	160	36	86	12	31
20/01/2006		66	76	72	70	12	40
21/01/2006		77	100	93	84	15	43
03/02/2006	67	50	109	60	70	20	52
08/02/2006	85	78	108	78	59	19	51
14/02/2006	63	54	83	65	70		47

Tab. 20 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di velocità media del vento durante gli episodi favorevoli all'accumulo delle sostanze inquinanti.

data	VV_xim_lan	VV_sesto	VV_arezzo	VV_lucca	VV_livorno	VV_gros
19/12/2005	1.4	0.7	0.6	0.7	3.5	1.4
20/12/2005	1.6	0.7	0.8	0.7	3.2	1.1
21/12/2005	1.5	0.7	0.8	0.7	3.0	1.2
22/12/2005	1.6	0.7	1.0	0.6	2.7	1.3
23/12/2005	1.4	0.6	0.8	0.6	2.8	1.2
24/12/2005	1.4	0.6	0.6	0.7	3.2	1.2
25/12/2005	1.2	0.8	0.6	0.7		1.0
31/12/2005	1.0	0.7	0.4	0.7	4.2	1.2
01/01/2006	1.3	1.1	1.5	0.7	2.3	2.0
20/01/2006	1.7	1.0	0.9	0.7	2.8	1.3
21/01/2006	1.9	0.8	0.7	0.8	3.3	1.2
03/02/2006	1.4	0.7	0.9	0.7		1.1
08/02/2006	1.3	0.8	0.7	0.7	4.4	1.1
14/02/2006	1.9	1.2	0.9	1.0	3.0	1.3

Tab. 21 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di pioggia cumulata durante gli episodi favorevoli all'accumulo delle sostanze inquinanti.

data	Piog_xim	Piog_sesto	Piog_arezzo	Piog_lucca	Piog_livorn	Piog_gros
19/12/2005	0	0	0	0	0	0
20/12/2005	0	0	0	0	0	0
21/12/2005	0	0	0	0	0	0
22/12/2005	0	0	0	0	0	0
23/12/2005	0	0	0	0	0	0
24/12/2005	0	0	0	0	0	0
25/12/2005	15	12	4			5
31/12/2005	11	8	7	18	23	1
01/01/2006	17	20	74	13	19	15
20/01/2006	0	0	0	0	0	0
21/01/2006	0	0	0	0	0	0
03/02/2006	0	0	0	0		0
08/02/2006	2	2	1	3	1	0
14/02/2006	0	0	0	1	1	0

Tab. 22 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di temperatura media durante gli episodi favorevoli all'accumulo delle sostanze inquinanti.

data	T_firenze	T_sesto	T_arezzo	T_lucca	T_livorno	T_gross
19/12/2005	0.6	-0.8	-1	-0.6	4.3	3.2
20/12/2005	5.3	3.8	2	4.2	7.6	6.8
21/12/2005	5.5	3.8	3	4.1	8.2	5.7
22/12/2005	3.7	2.2	1	1.5	7.3	5.5
23/12/2005	4.7	2.7	3	2.3	8.4	7.7
24/12/2005	3.6	1.9	2	2.1	7.7	6.7
25/12/2005	7.1	5.5	5	6.9		11.3
31/12/2005	2.4	0.9	0	1.7	4.6	7.2
01/01/2006	7.1	5.3	8	6.3	11.6	11.8
20/01/2006	6.1	4.5	4	4.7	10.7	6.9
21/01/2006	7.4	6.6	4	5.3	11.6	8.2
03/02/2006	8.8	7.5	6	8.2		9.8
08/02/2006	5.2	3.9	2	5.5	10.4	8.5
14/02/2006	5.1	4.1	3	3.7	8.9	6

Episodi di trasporto di sabbia del deserto

Infine, nelle seguenti tabelle relative alle concentrazioni, al vento, alla pioggia e alla temperatura, viene riportato l'episodio di trasporto di sabbia dal deserto del Sahara, che si è verificato nell'ultima decade di giugno 2006.

Come si può notare dalla tabella 23 e dal grafico in fig. 25, in tutte le centraline si è verificato un anomalo innalzamento dei valori di concentrazione, che in molti casi ha portato al superamento del valore soglia. In questi giorni i venti sono stati deboli, le precipitazioni assenti e le temperature medie molto alte.

Tab. 23 – Per ciascuna centralina sono riportati i valori di PM_{10} durante l'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

data	FI BASSI	PO STROZZI	PT MONTALE	AR FIOREN.	LU CAPANNI	LI MGORD.	GR URSS
20/06/2006		53	50	40	44	25	24
21/06/2006		54	47	45	53	30	32
22/06/2006		65	54	52	53	42	45
23/06/2006		58	45	46	53	40	41
24/06/2006		63	45	38	48	45	29
25/06/2006		56	41	37	53	35	43
26/06/2006		57	46	37	50	41	
27/06/2006		60	45	43	61	49	45
28/06/2006		77	62	57	68	52	51
29/06/2006		80	65	69	71	53	43
30/06/2006		49	38	55	60	51	48

Tab. 24 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di velocità media del vento durante l'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

data	VV_xim_lan	VV_sesto	VV_arezzo	VV_lucca	VV_livorno	VV_gros
20/06/2006	1,5	1,1	1,8	1,2	3,1	1,5
21/06/2006	1,8	1,2	1,3	1,0	2,5	1,5
22/06/2006	2,3	1,6	1,6	1,4	2,0	1,3
23/06/2006	2,4	1,5	1,4	1,7	2,1	1,7
24/06/2006	1,6	1,2	1,5	1,3	1,5	
25/06/2006	2,1	1,3	1,8	1,2	2,4	
26/06/2006	2,1	1,4	2,1	1,6	1,9	
27/06/2006	1,9	1,3	1,6	1,3	1,8	1,4
28/06/2006	2,0	1,5	1,7	1,4	2,3	1,4
29/06/2006	2,4	1,8	2,5	2,2	2,9	1,7
30/06/2006	2,0	1,5	1,4	1,5	2,5	1,7

Tab. 25 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di pioggia cumulata durante l'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

data	Piog_xim	Piog_sesto	Piog_arezzo	Piog_lucca	Piog_livorno	Piog_gros
20/06/2006	0	0	0	0	0	0
21/06/2006	0	0	0	0	0	0
22/06/2006	0	0	0	0	0	0
23/06/2006	0	0	0	0	0	0
24/06/2006	0	0	0	0	0	
25/06/2006	0	0	0	0	0	
26/06/2006	0	0	0	0	0	
27/06/2006	0	0	0	0	0	0
28/06/2006	0	0	0	0	0	0
29/06/2006	0	0	0	0	0	0
30/06/2006	0	0	0	0	0	0

Tab. 26 – Per ciascuna stazione meteo sono riportati i valori di temperatura media durante l'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

data	T_firenze	T_sesto	T_arezzo	T_lucca	T_livorno	T_gros
20/06/2006	28,9	27,5	25	26,8	26,1	28,9
21/06/2006	27,6	27	25	25,5	26,6	27,2
22/06/2006	26,2	26,2	24	24,9	26,3	26,1
23/06/2006	26,4	26,4	25	25,3	25,2	27,3
24/06/2006	29,1	28,1	26	27,5	26,2	
25/06/2006	30,1	29,8	27	28,3	27,9	
26/06/2006	29,4	29	27	27,7	27,1	
27/06/2006	29,7	29	27	27,6	26,8	28,2
28/06/2006	29,9	29,4	27	27,9	27,4	29,3
29/06/2006	29,3	29,3	27	28,0	26,7	29,1
30/06/2006	28,3	28	27	26,8	26,5	28,6

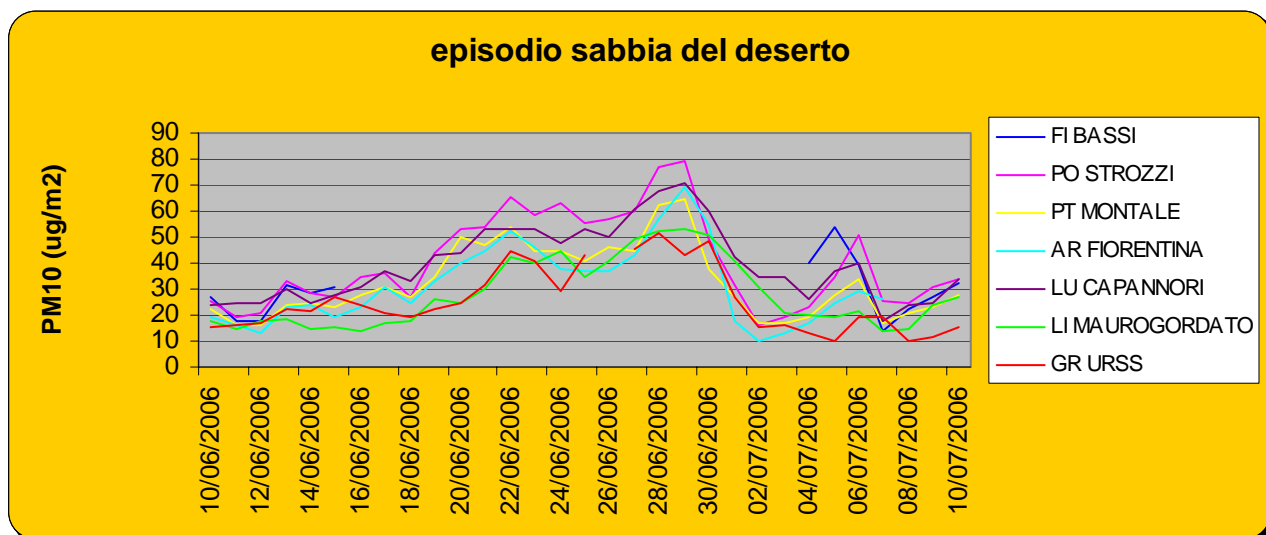


Fig. 25 – Confronto fra le serie storiche misurate nelle sette centraline selezionate durante l'episodio di trasporto di sabbia del deserto.

Conclusioni

Questo studio si inquadra come naturale prosecuzione del lavoro finalizzato ad individuare una relazione tra le condizioni meteorologiche e le concentrazioni di PM_{10} , relativo all'analisi dei dati rilevati in tutte le stazioni di monitoraggio ambientale presenti nel territorio regionale, nel periodo 2000-2004.

In prima battuta, sono state analizzate le serie storiche delle misure di PM_{10} , rilevate nell'arco di 12 mesi, dal 1 ottobre 2005 al 30 settembre 2006, nelle sette centraline di monitoraggio in cui sono stati raccolti i campioni analizzati nella campagna di misure del progetto PATOS. I risultati di tutte le analisi svolte sulle serie storiche sono in linea con i risultati ottenuti nel precedente studio: un forte andamento stagionale per il gruppo delle stazioni nell'entroterra, molto correlato anche se con differenze quantitative nelle stazioni di Montale e Capannori, un andamento pressoché costante per le due stazioni vicine alla costa. Lo studio relativo al quinquennio 2000-2004 aveva però evidenziato una maggiore correlazione tra le serie storiche rilevate nelle centraline di M. Gordato (LI) e di URSS (GR), correlazione decisamente meno evidente nel periodo 2005-2006.

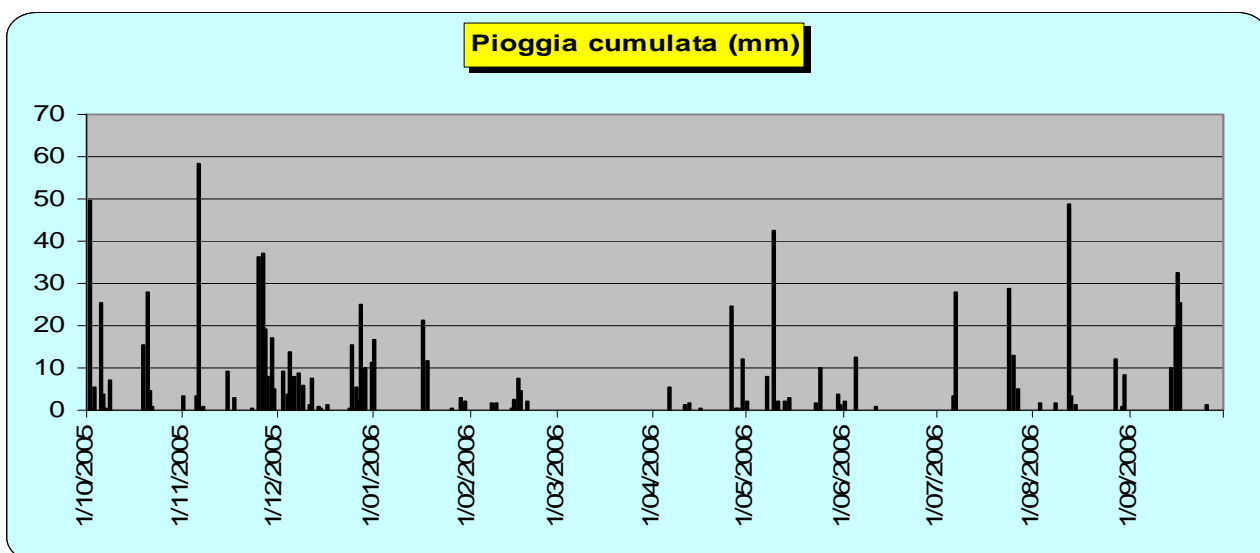
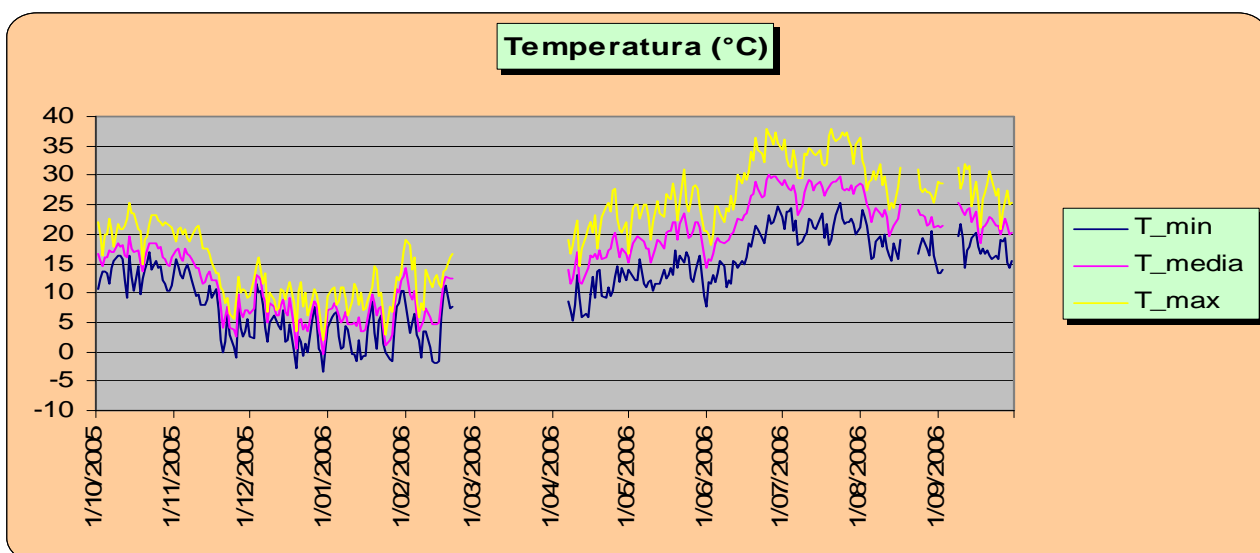
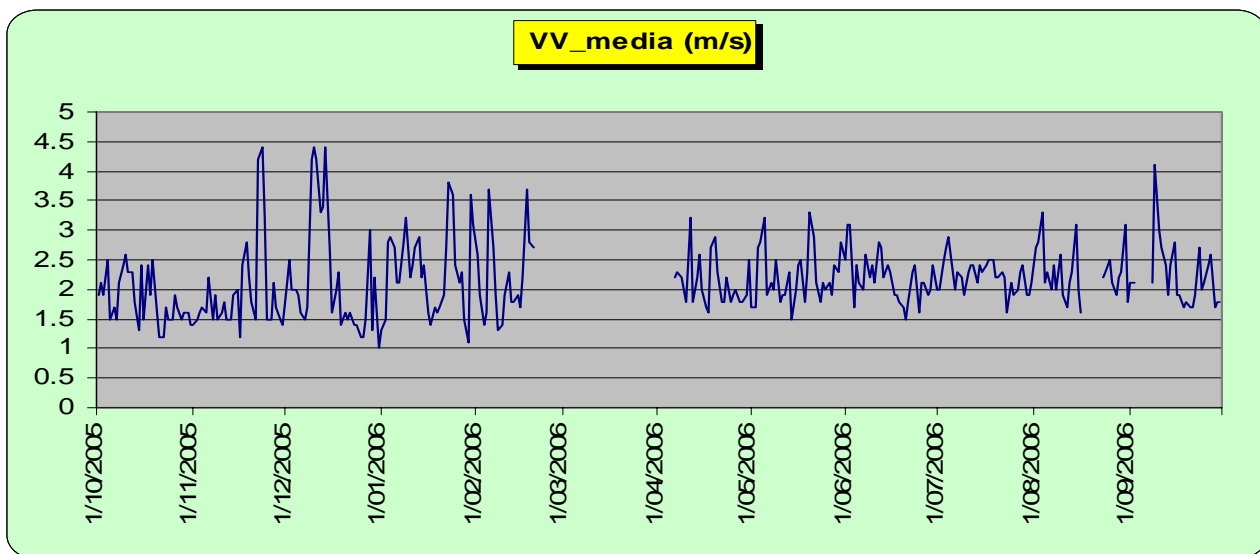
Successivamente sono state evidenziate le correlazioni tra gli indicatori meteorologici significativi per l'accumulo o la diminuzione delle concentrazioni di polveri in atmosfera – velocità del vento media giornaliera, pioggia cumulata su base giornaliera e temperatura media giornaliera – ed i valori di concentrazione di PM_{10} , registrati nel periodo della campagna di misure prevista da PATOS. L'influenza degli indicatori meteo sulle serie storiche di PM_{10} è stata evidenziata tramite le matrici di correlazione, confrontando le misure di PM_{10} registrate in una determinata centralina e gli indicatori meteo ottenuti dai dati rilevati nella stazione meteo più vicina.

In ultimo, sono stati individuati alcuni valori-soglia, in particolare per la pioggia cumulata e per la velocità media del vento; sulla base dei valori-soglia, valutati per ciascuna stazione meteo, sono stati individuati i periodi temporali in cui si sono verificate condizioni meteo particolarmente favorevoli o sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera, nell'arco temporale in cui si è svolto il campionamento previsto dal progetto.

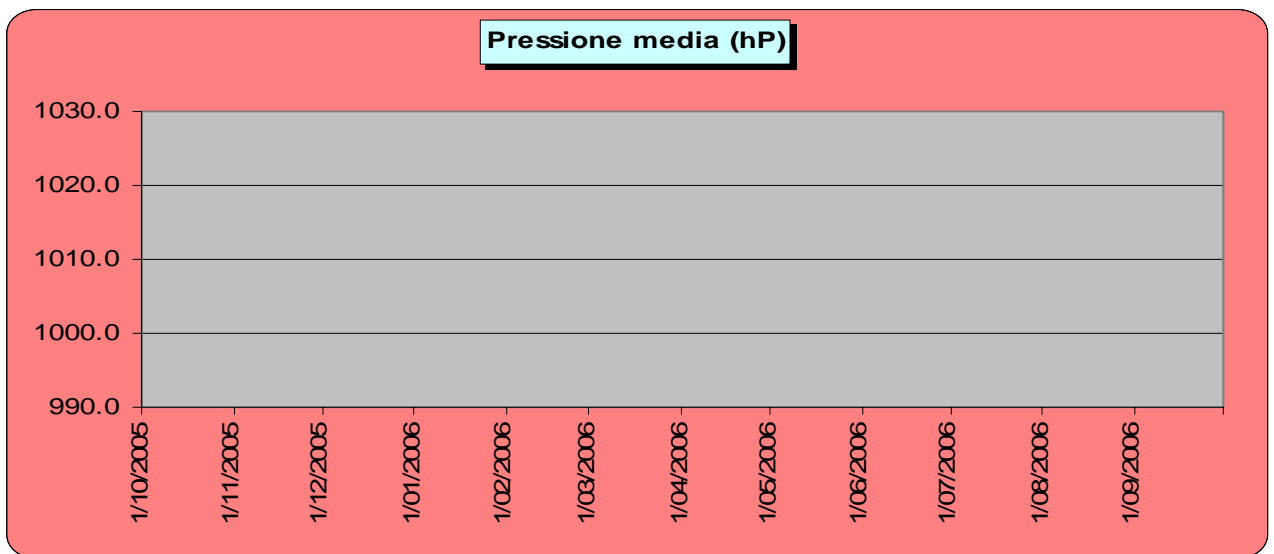
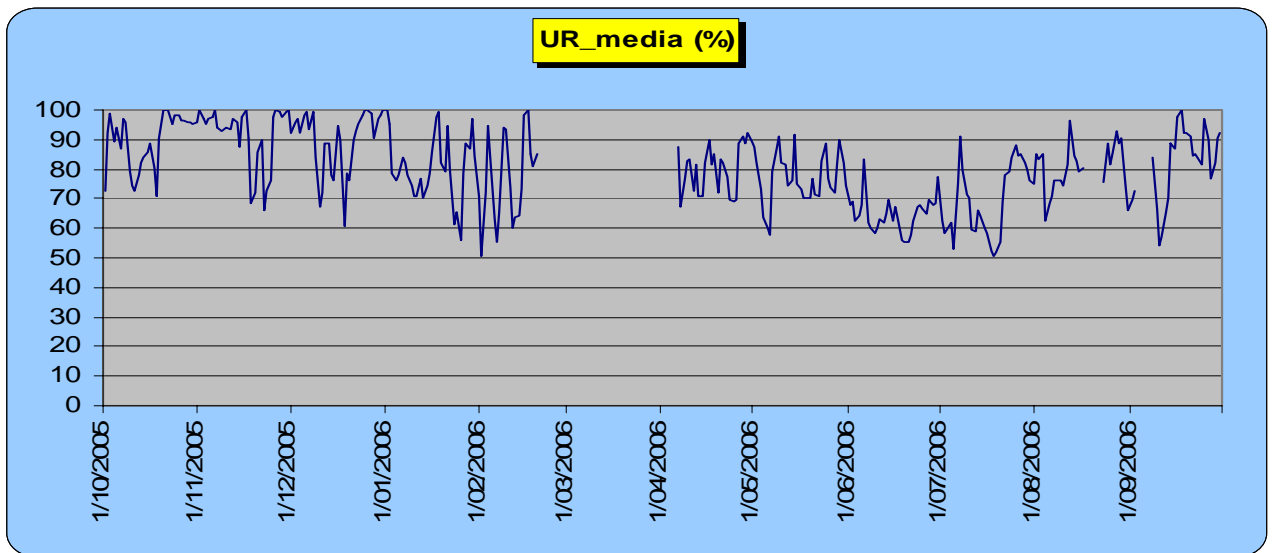
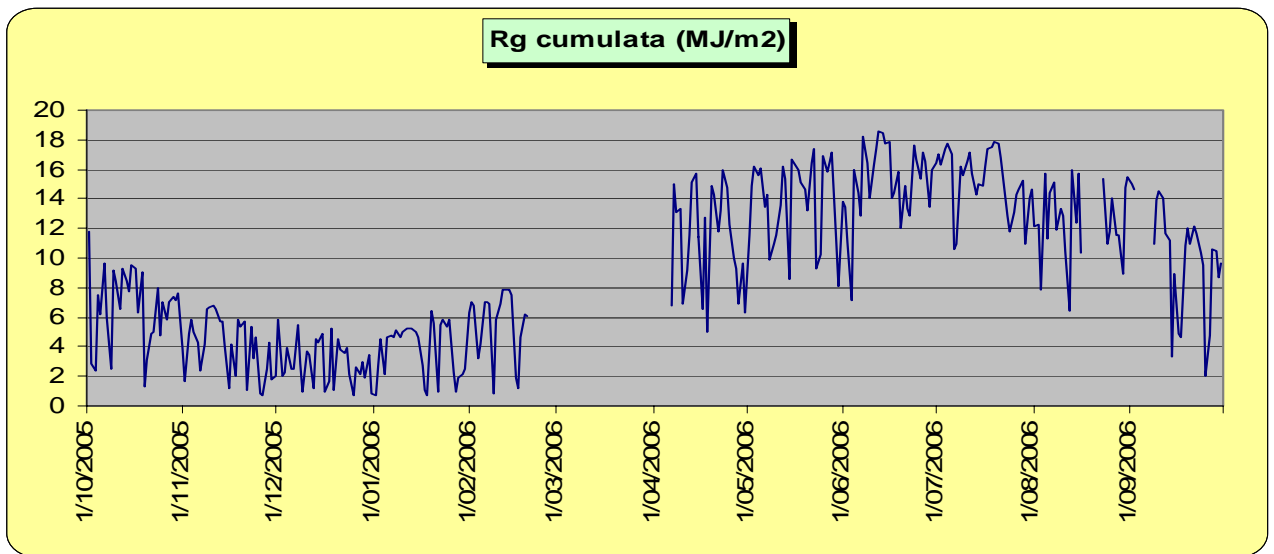
In conclusione, lo studio relativo agli indicatori meteorologici significativi per i livelli di concentrazione del PM_{10} , insieme al monitoraggio delle condizioni meteo finalizzato alla realizzazione di rapporti mensili, costituisce una base per caratterizzare, dal punto di vista della capacità dispersiva dell'atmosfera, il periodo in cui si è svolta la campagna di misura prevista dal progetto "PATOS".

Appendice

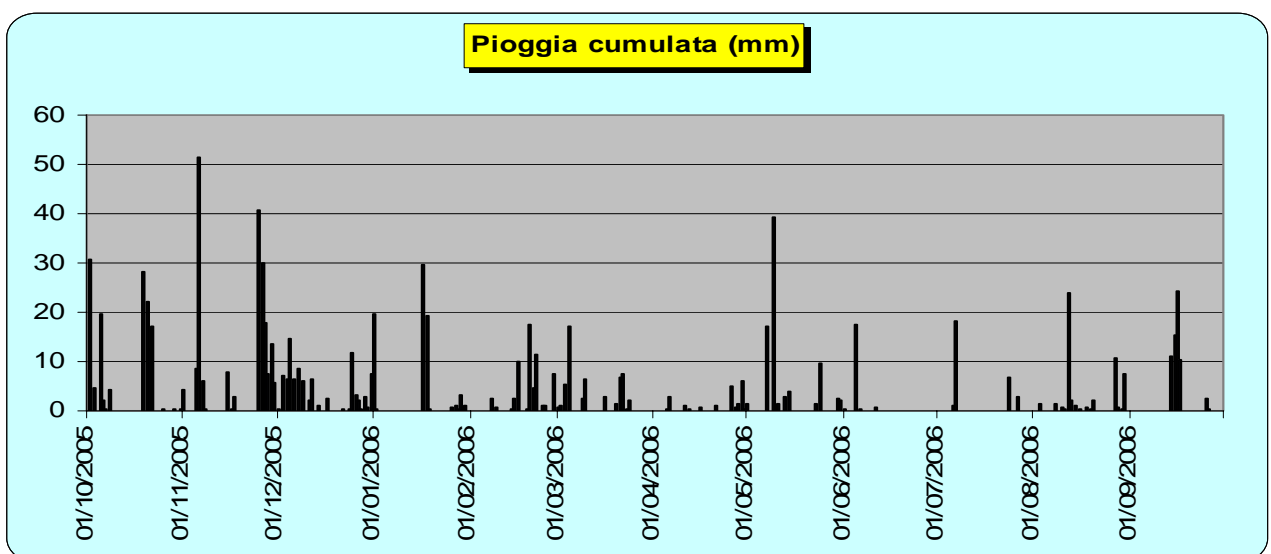
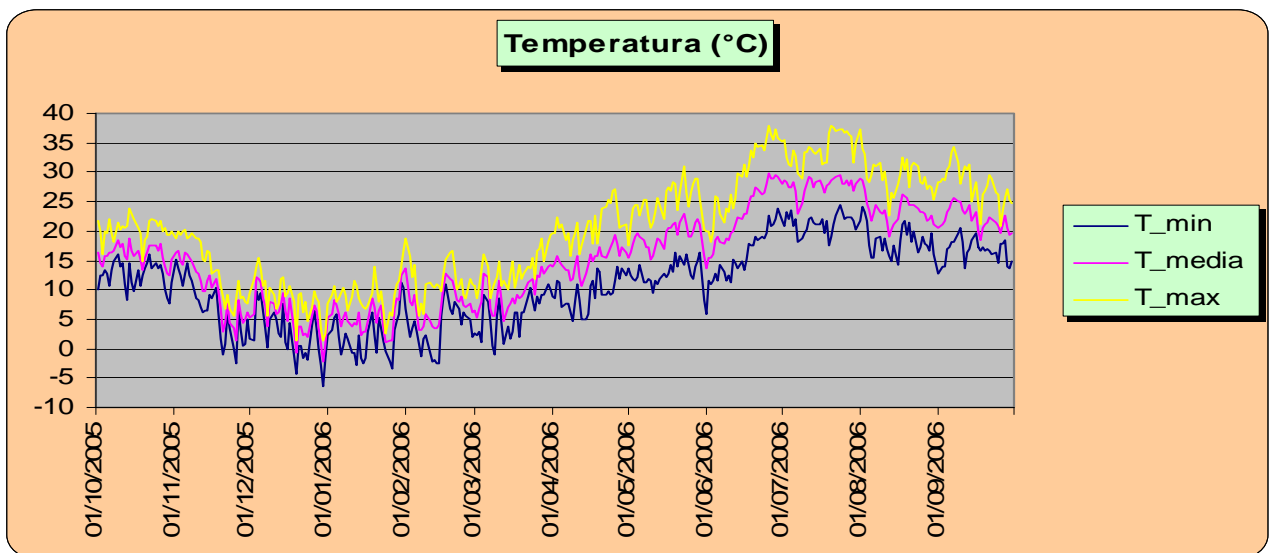
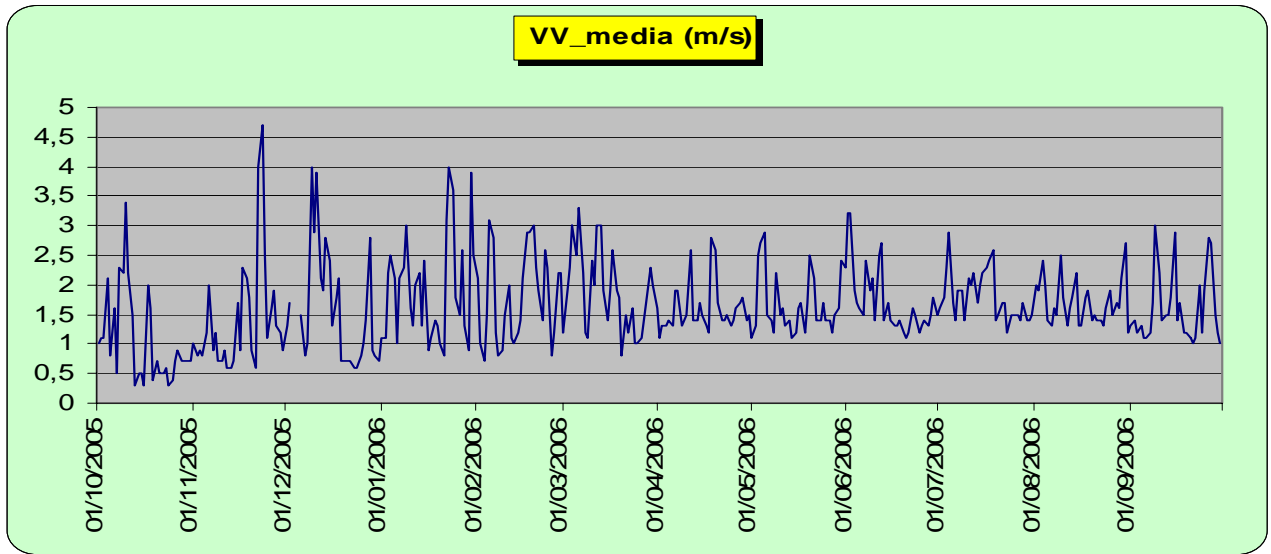
Firenze Ximeniano



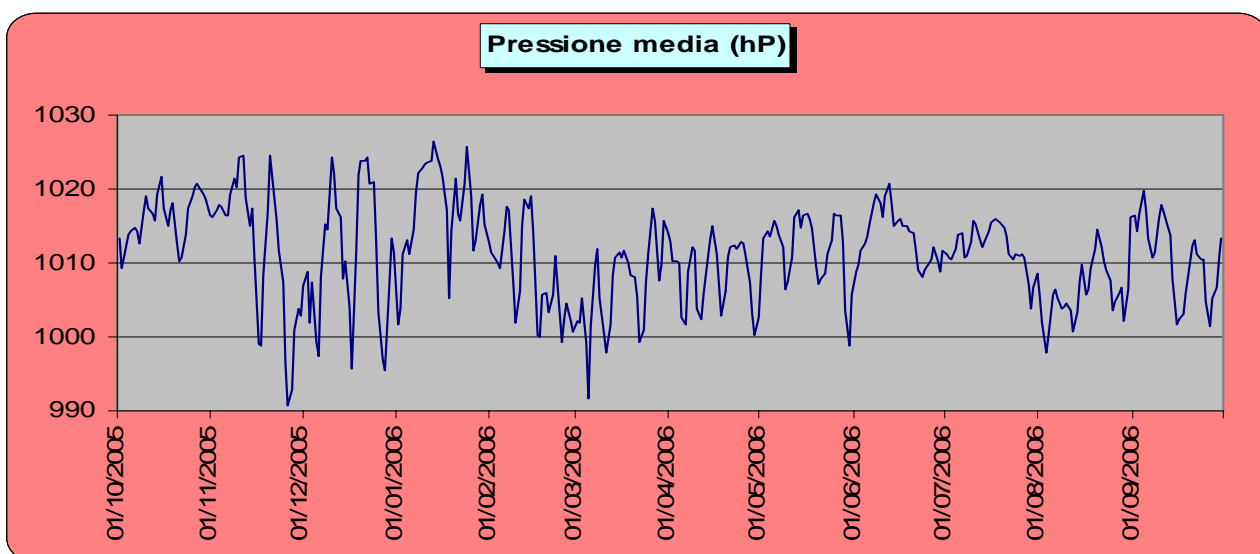
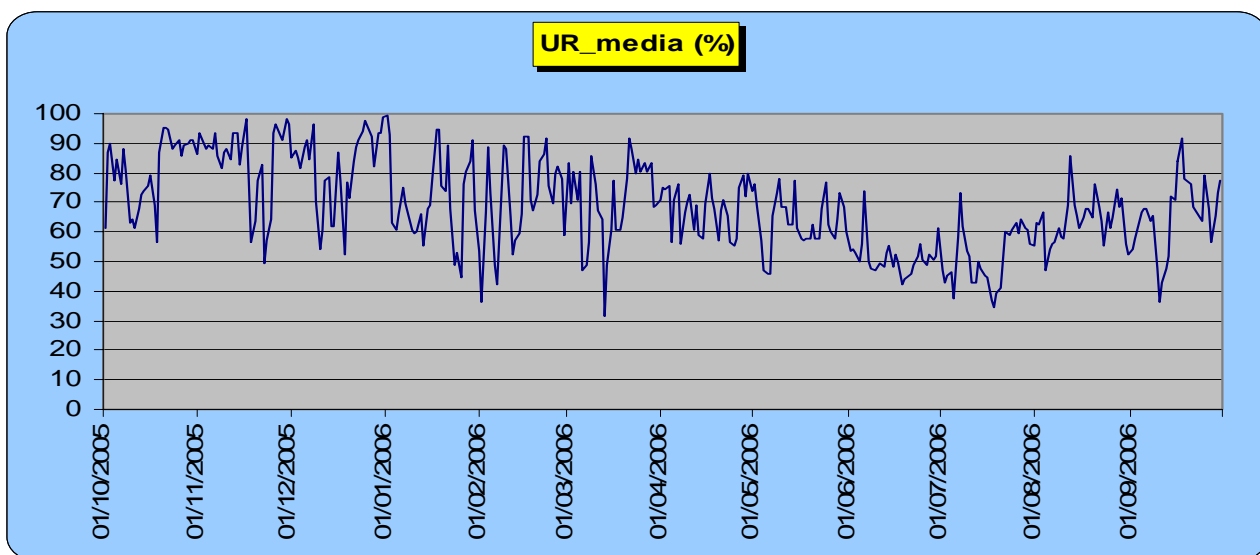
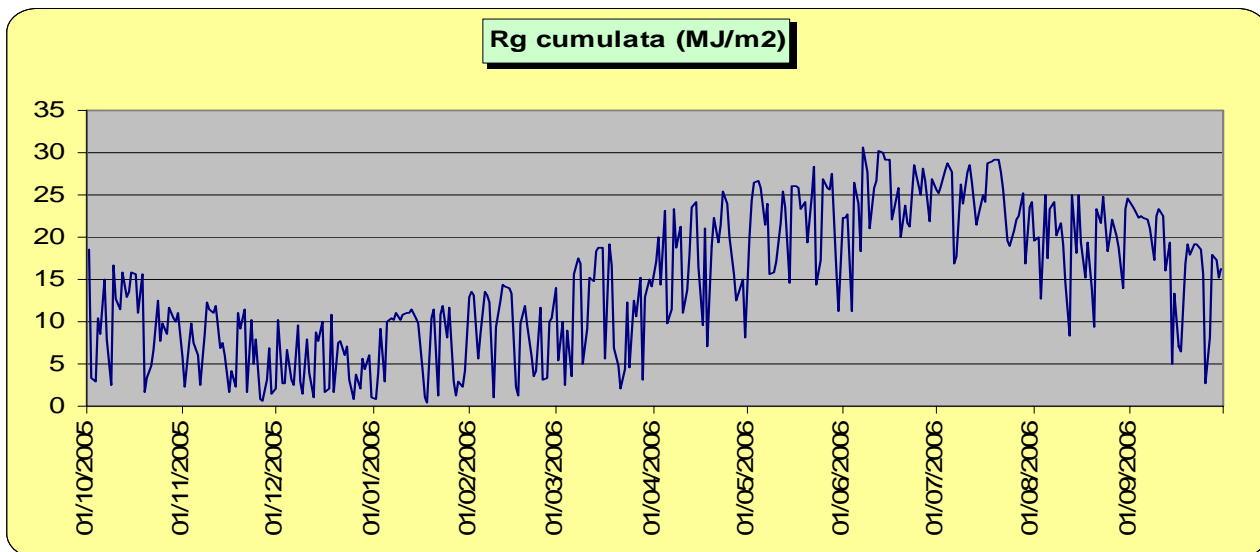
Firenze Ximeniano



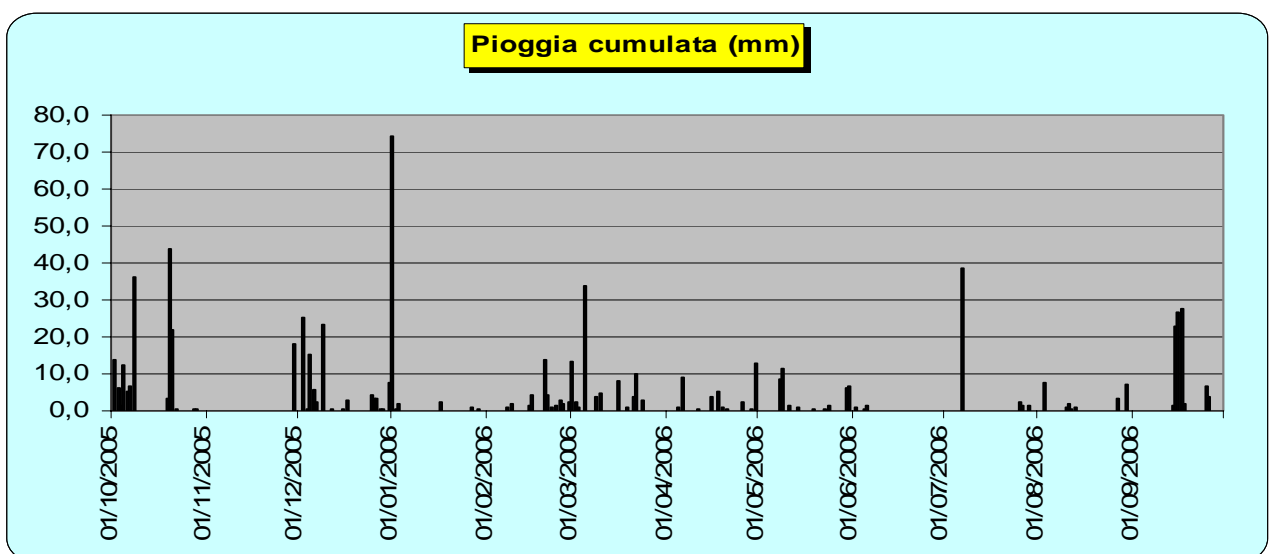
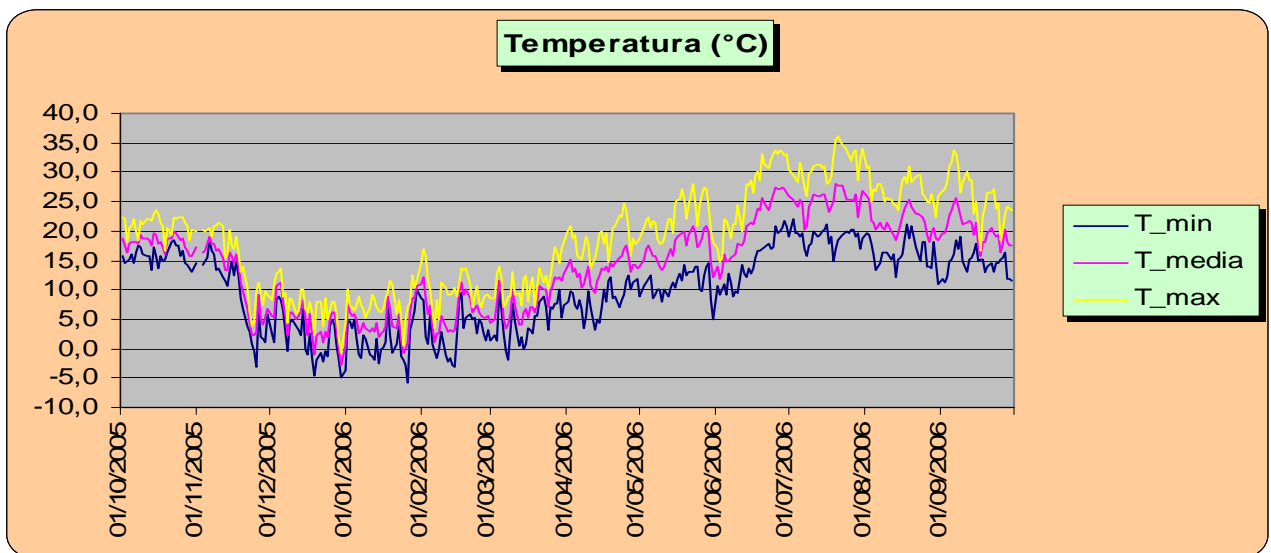
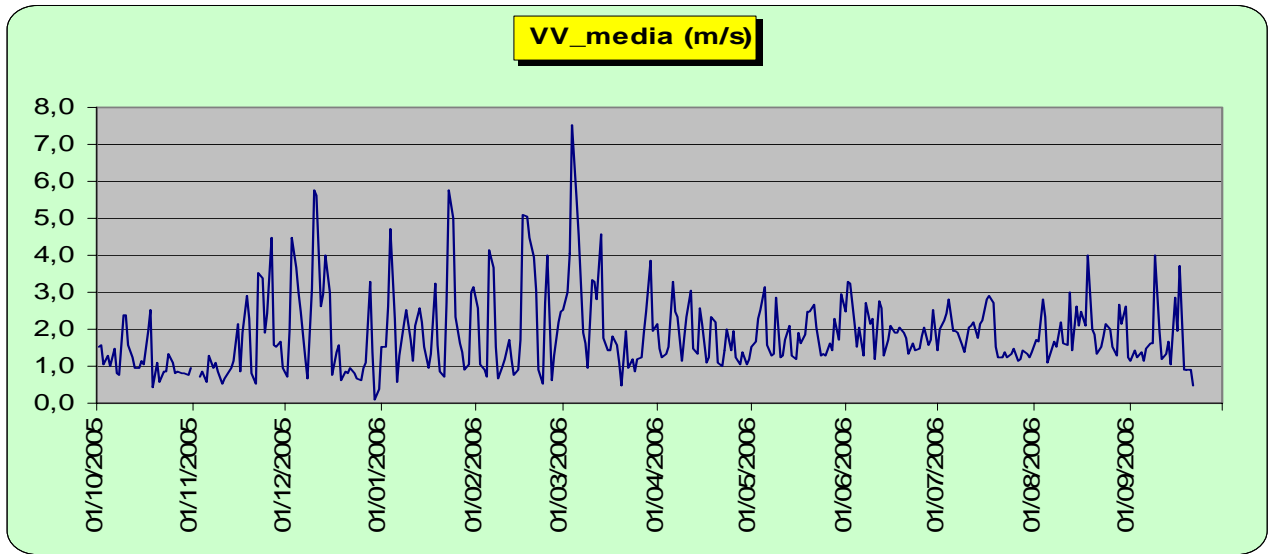
Sesto Fiorentino



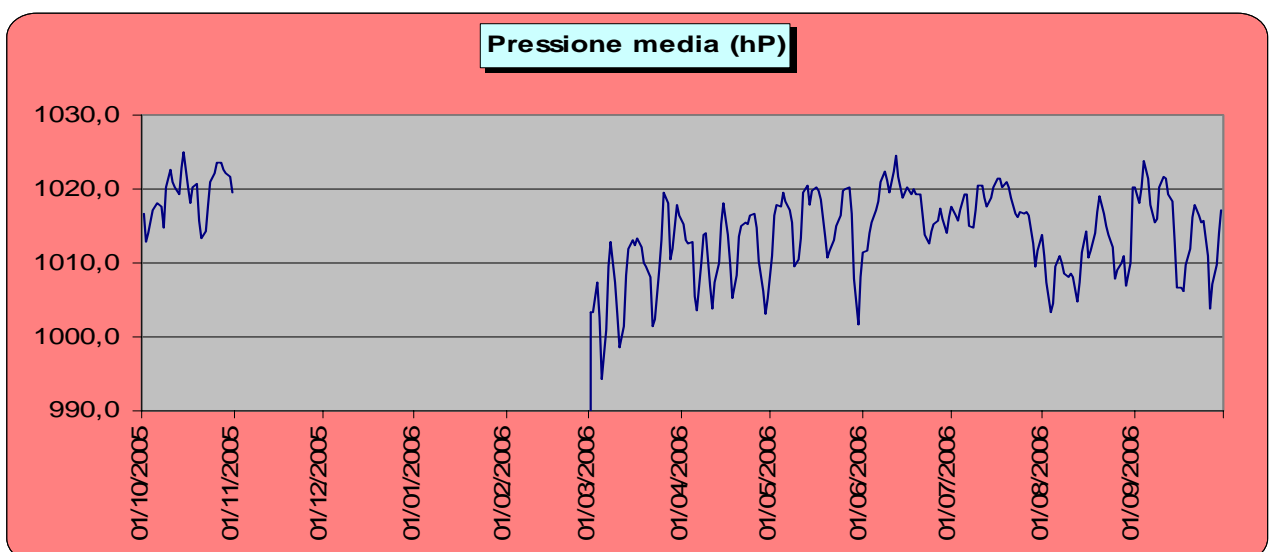
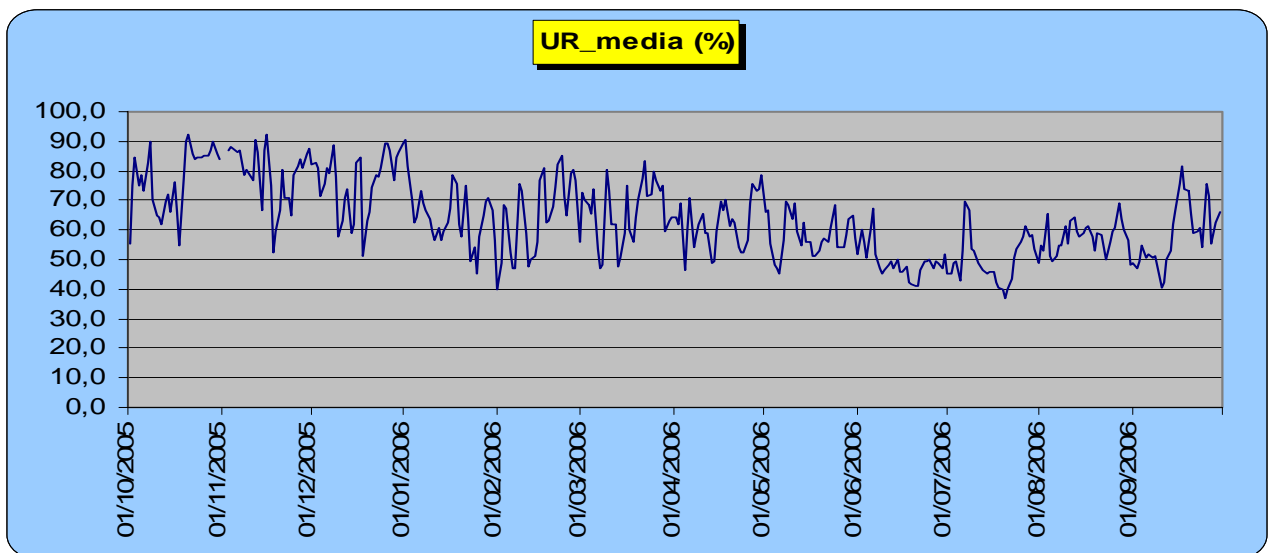
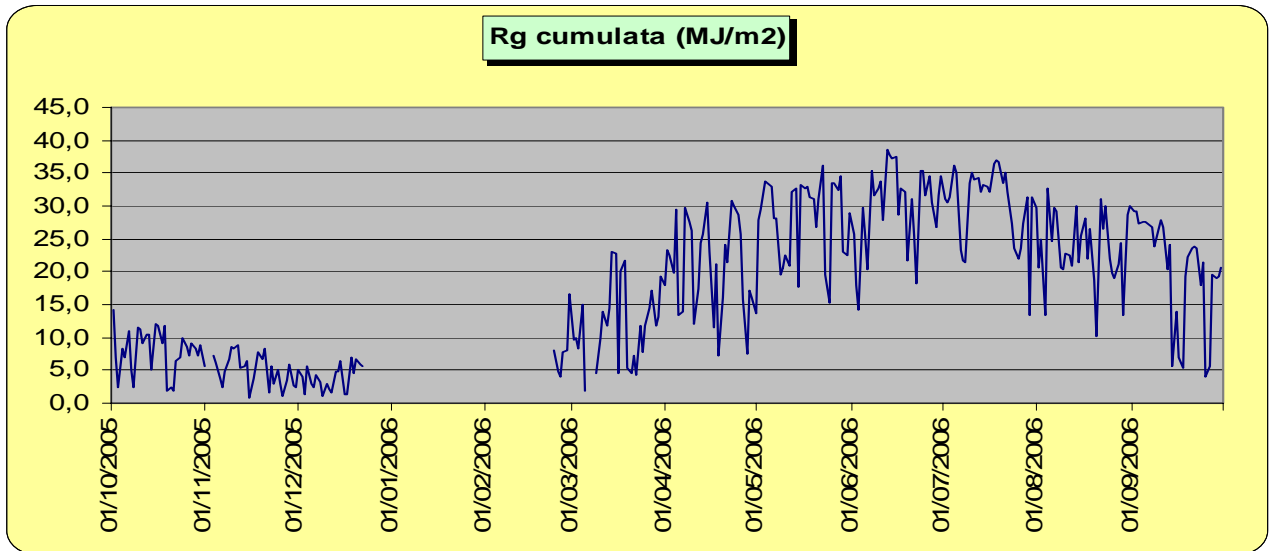
Sesto Fiorentino



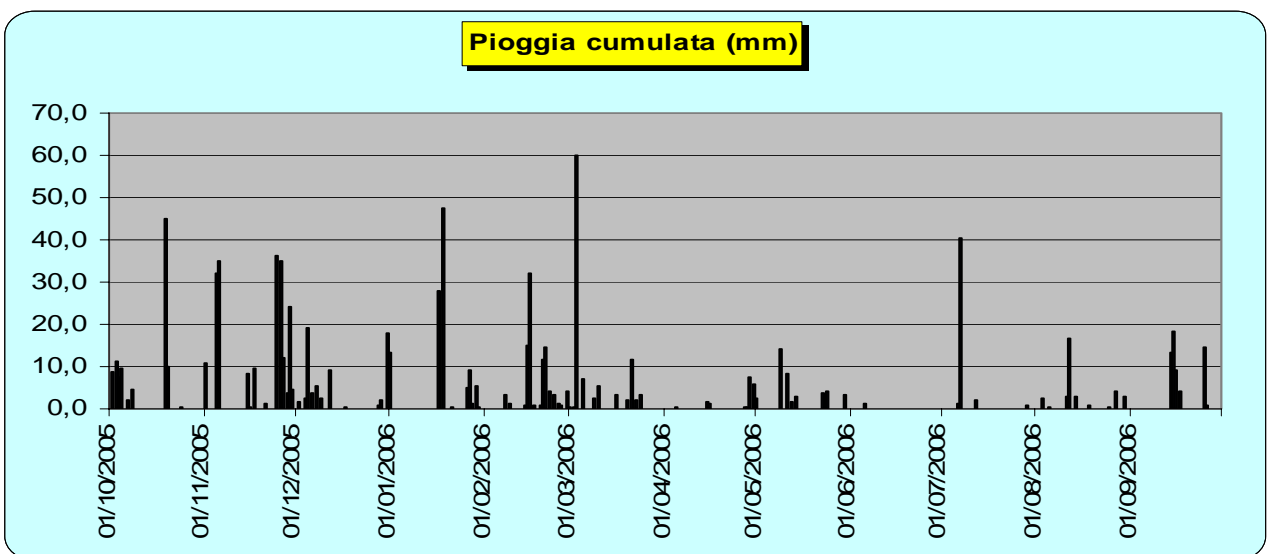
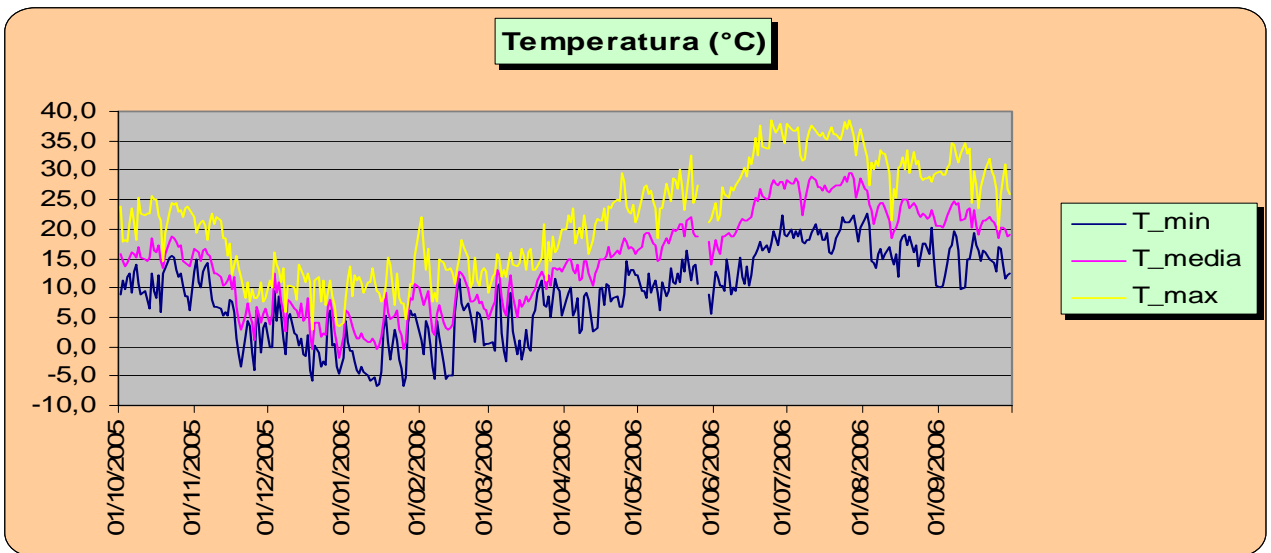
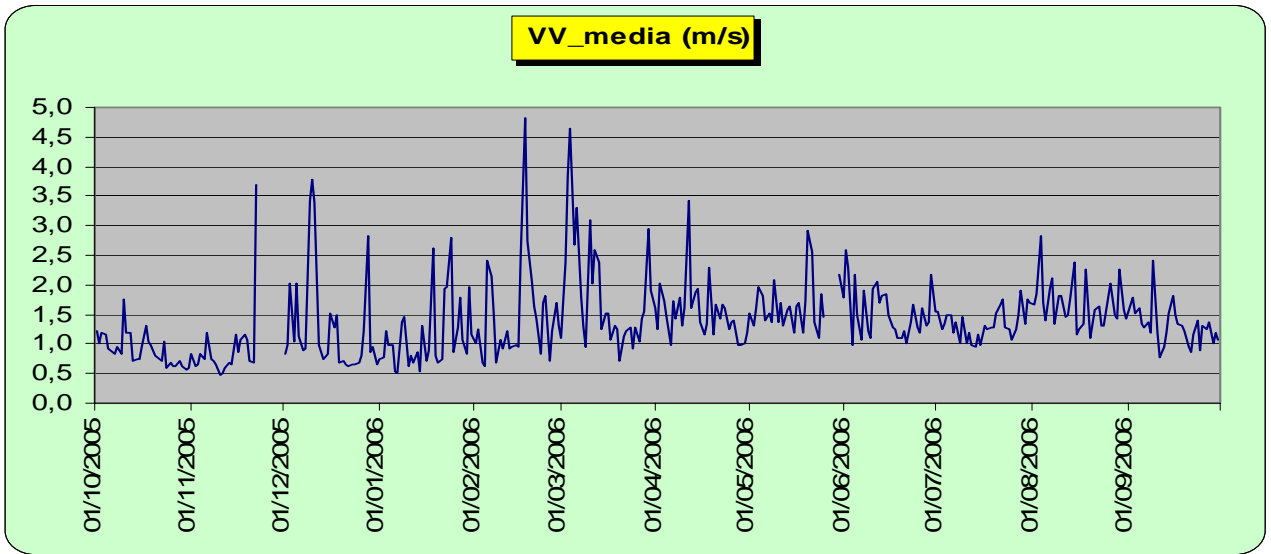
Arezzo



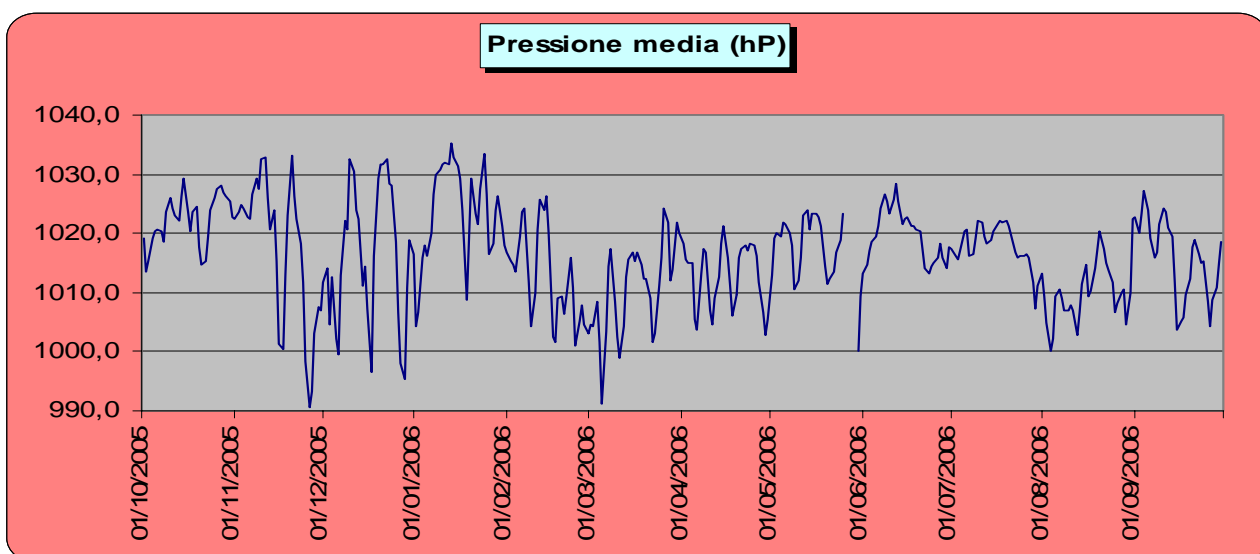
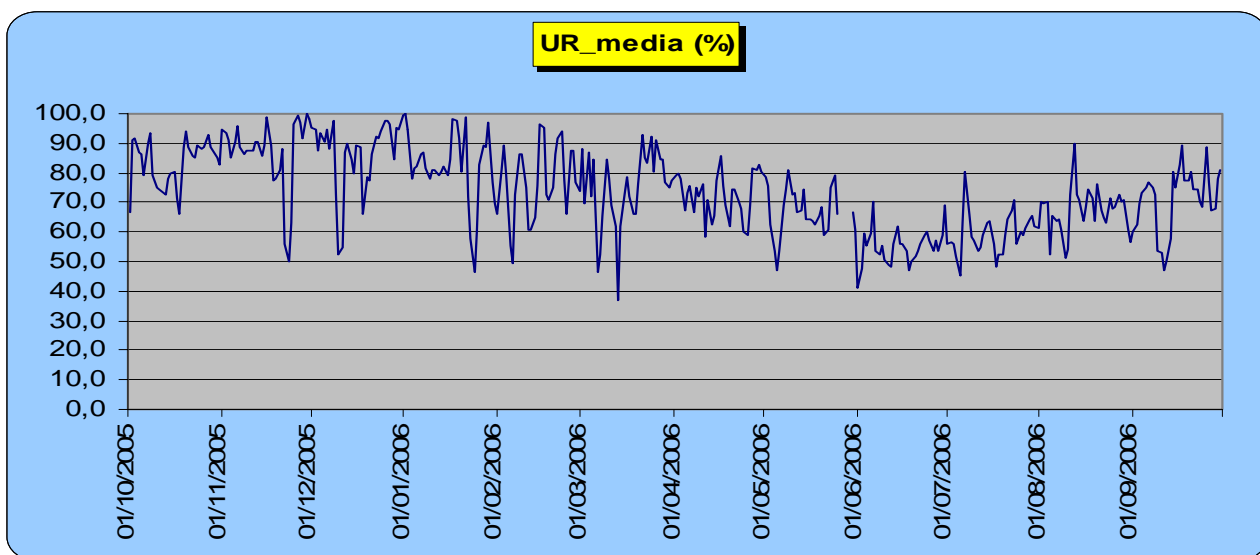
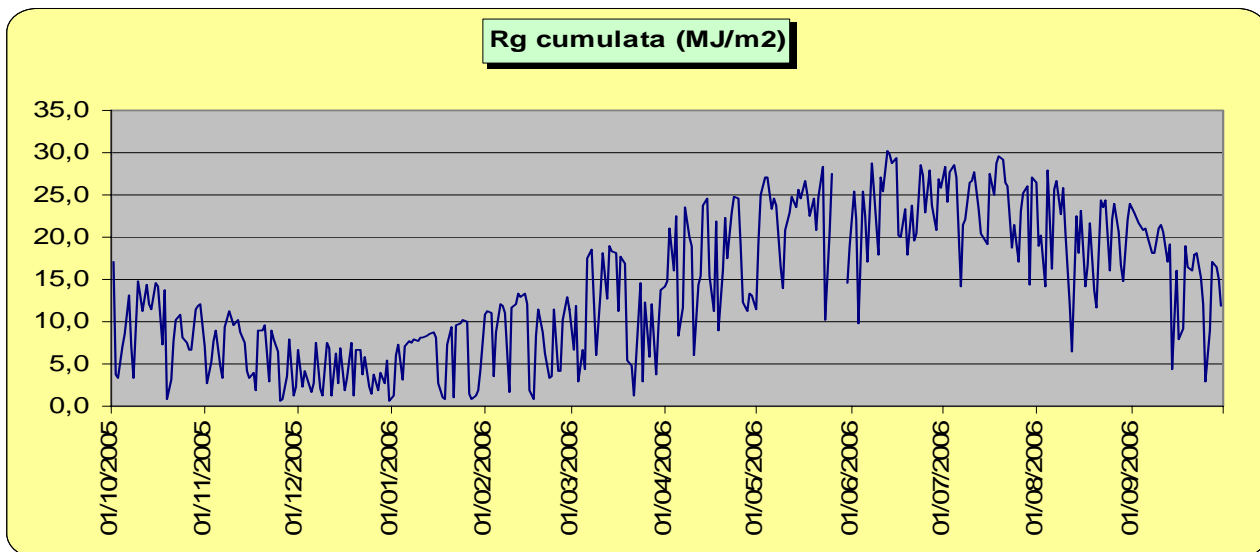
Arezzo



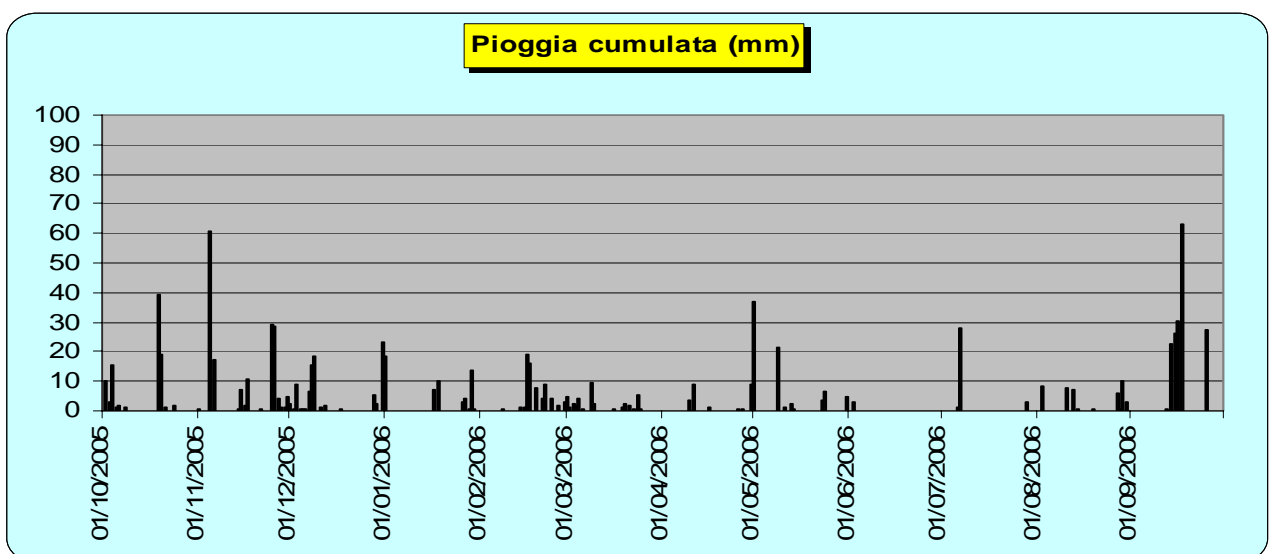
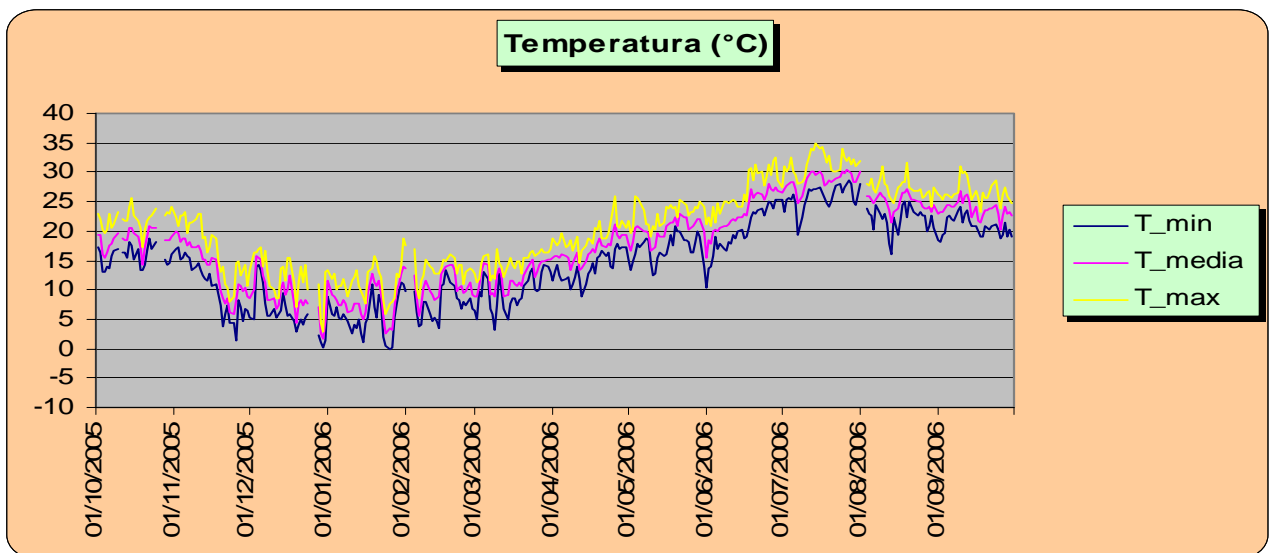
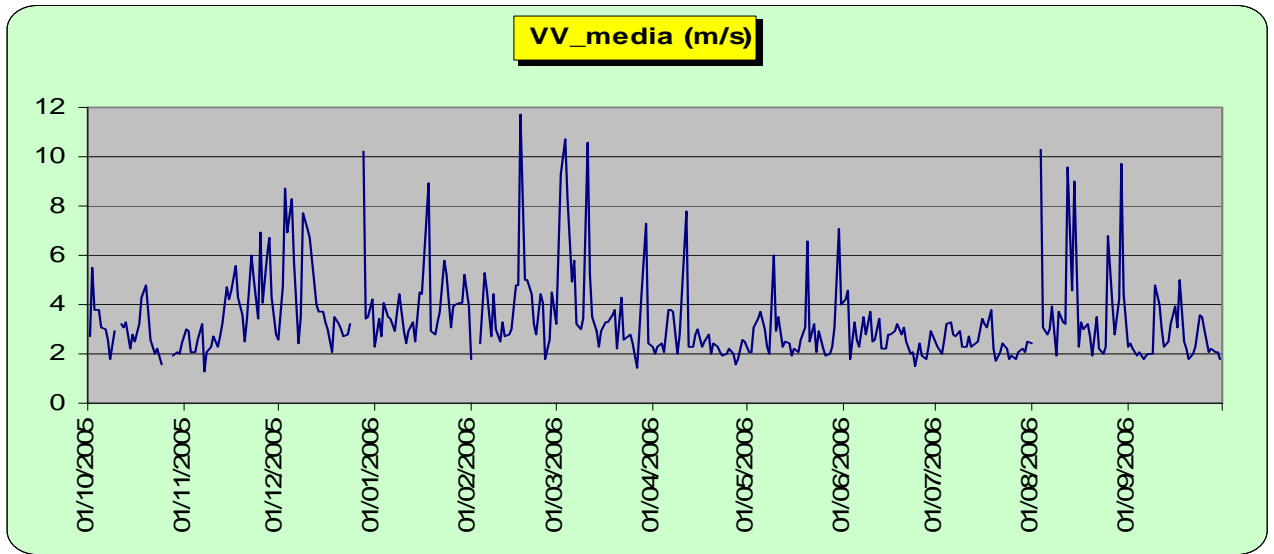
Lucca Porcari



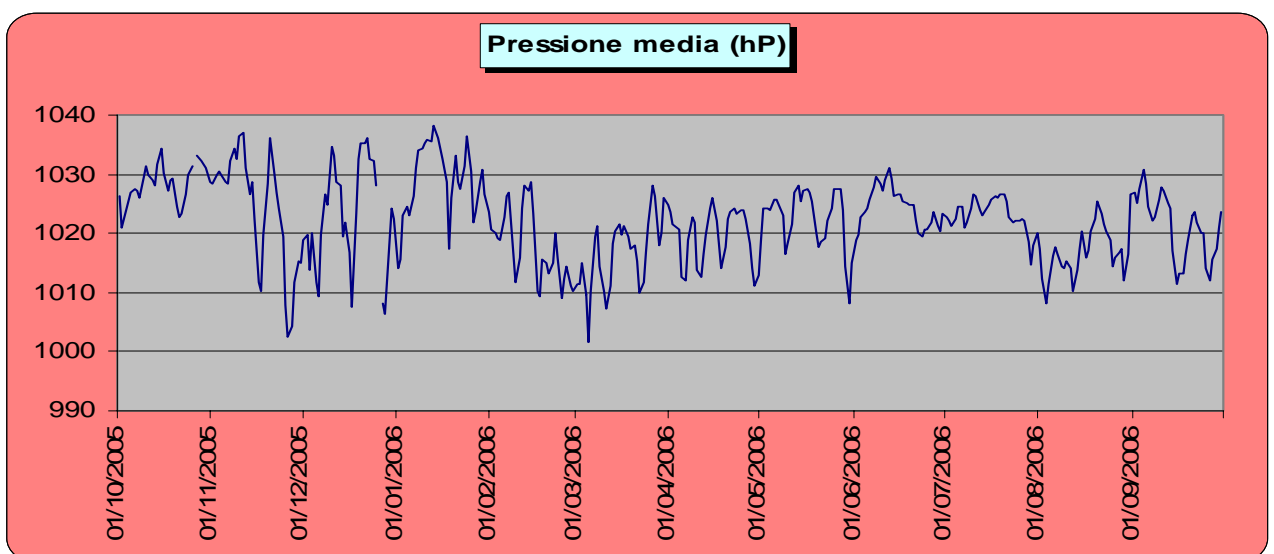
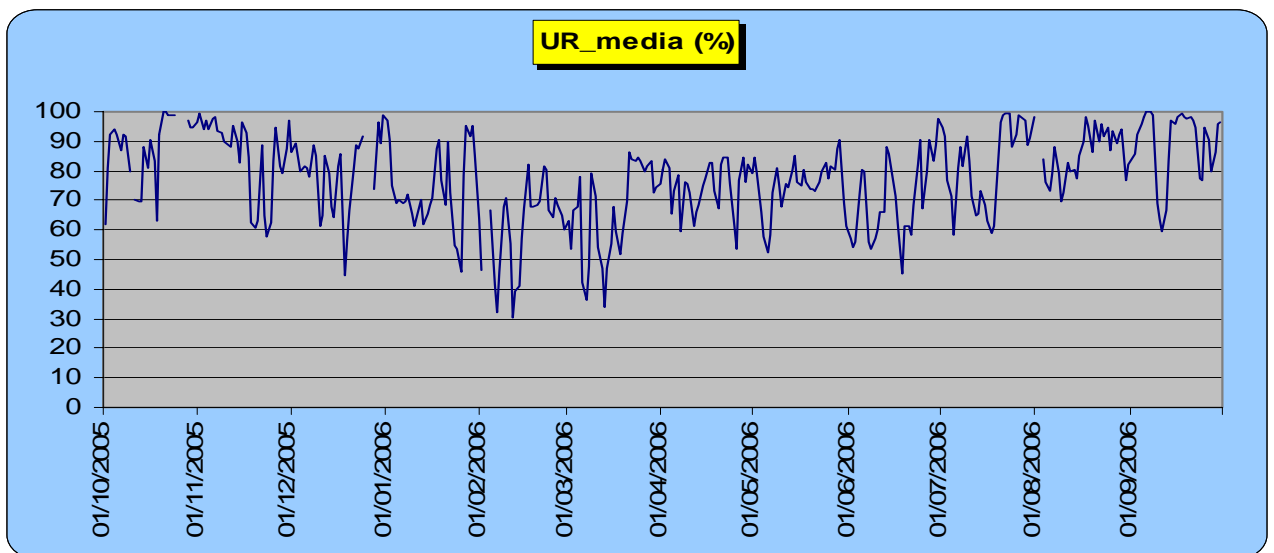
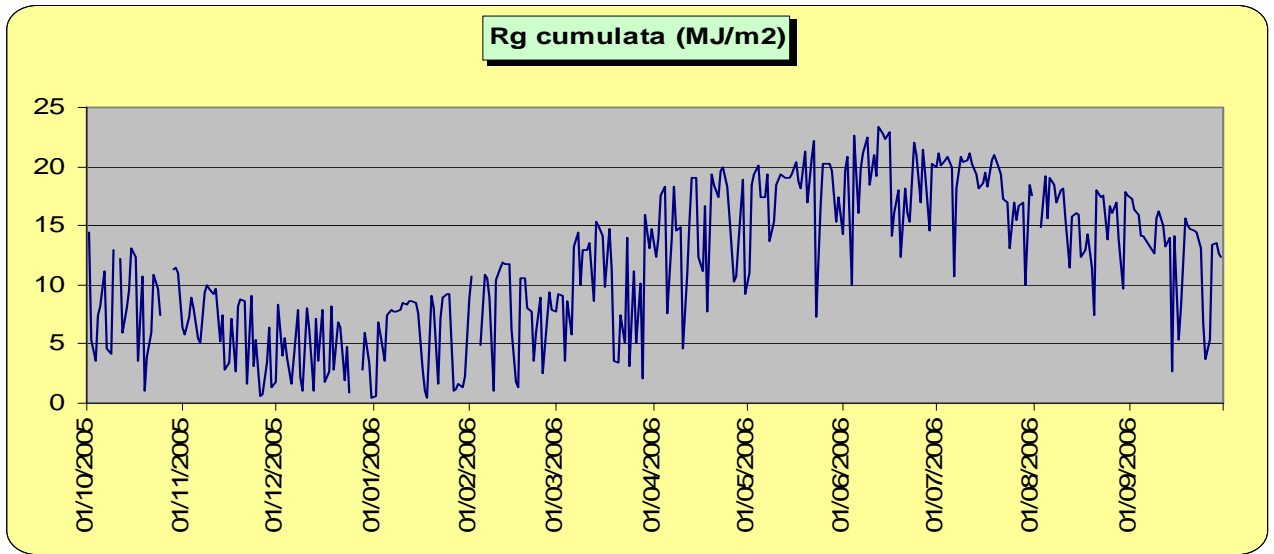
Lucca Porcari



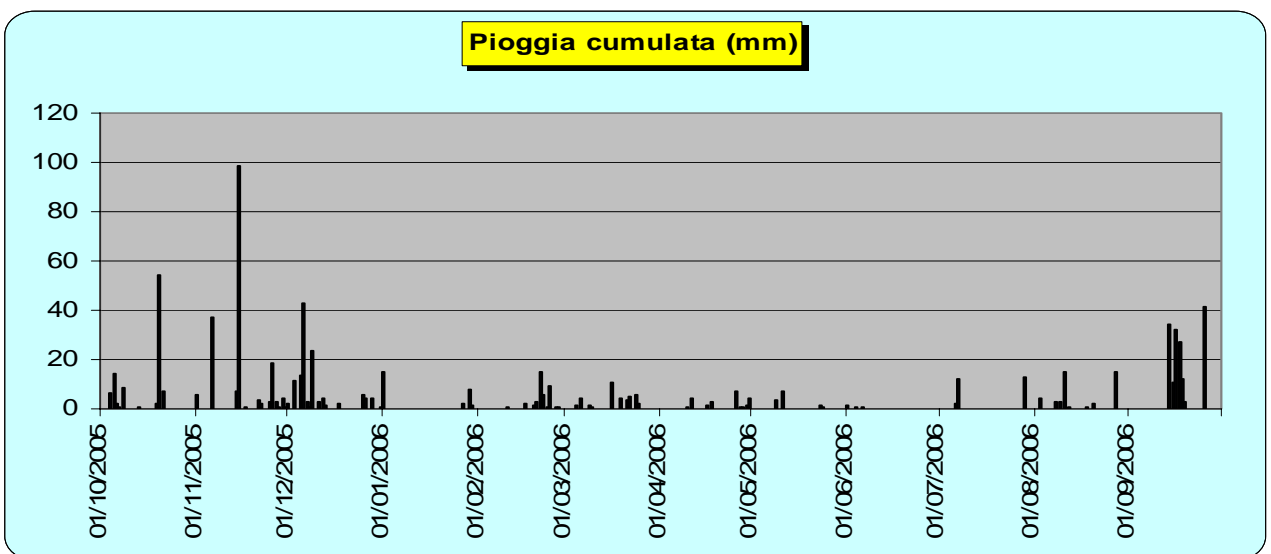
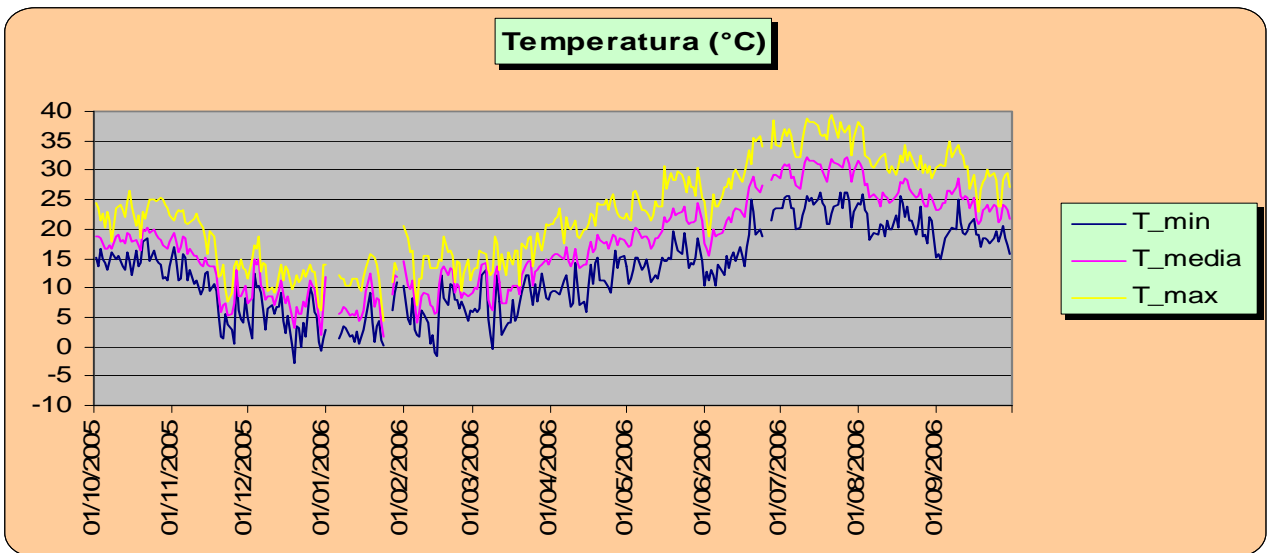
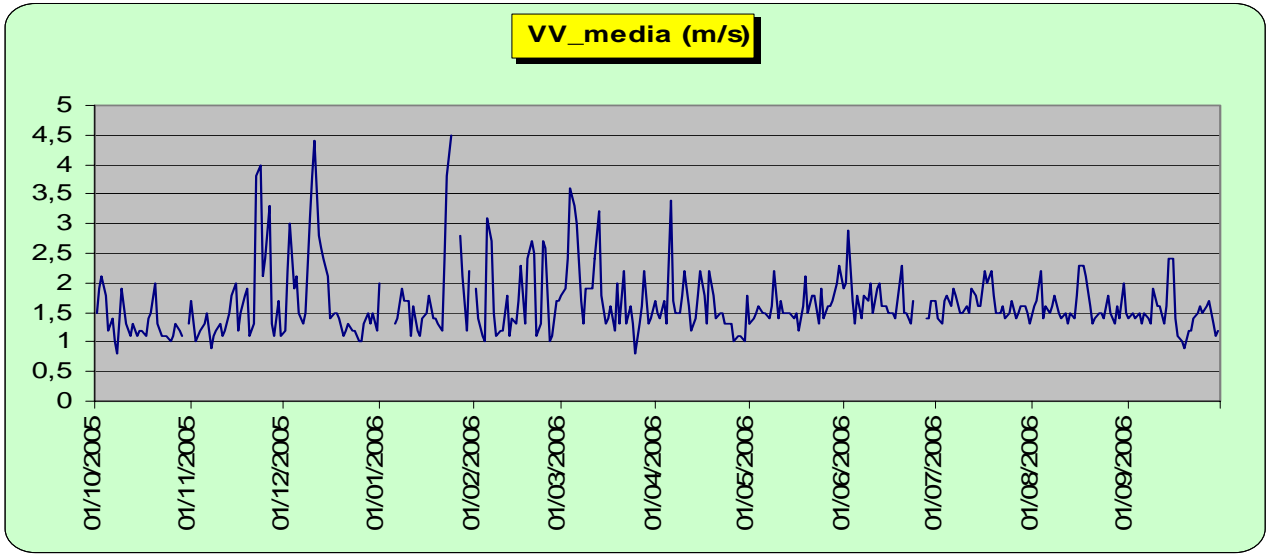
Livorno



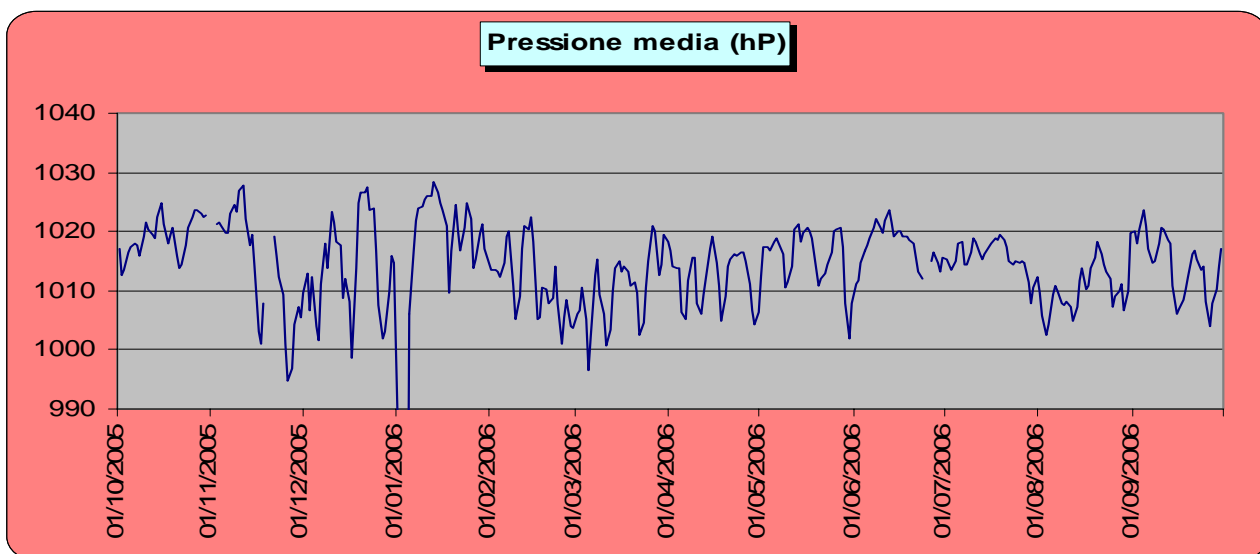
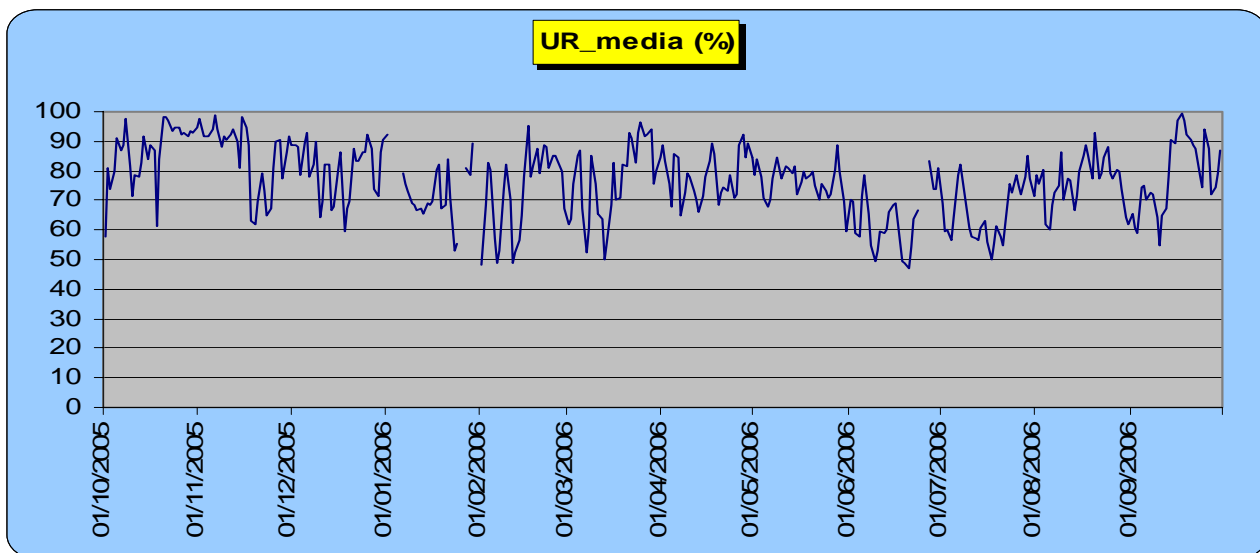
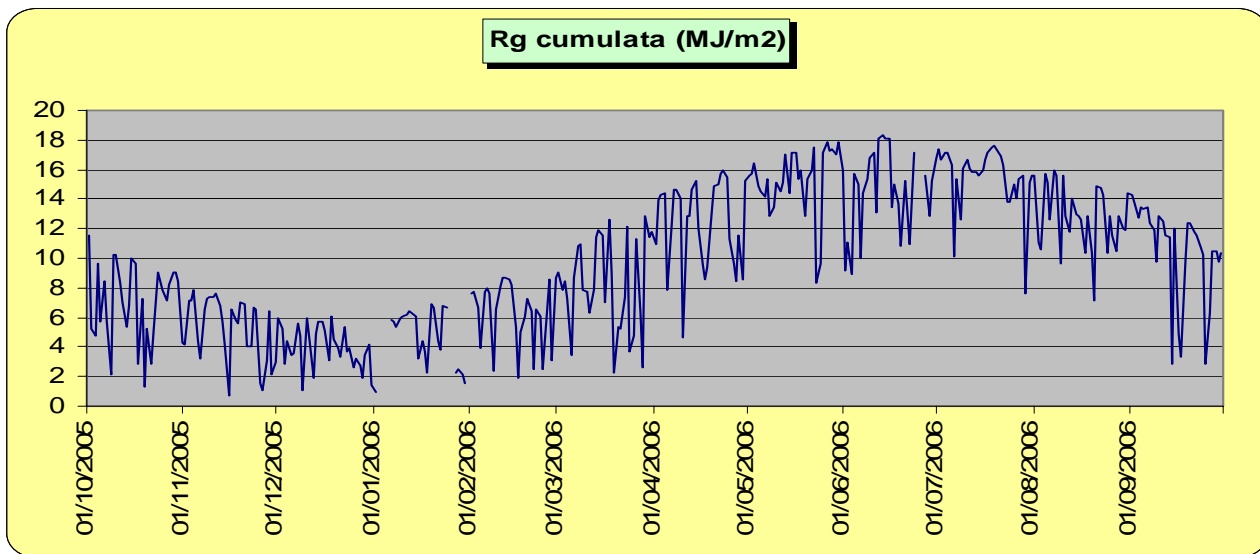
Livorno



Grosseto



Grosseto



Bibliografia

1. **Busillo C., Calastrini F., Gualtieri G.** (2005): *Studio finalizzato all'individuazione dei parametri meteorologici in grado di influenzare in modo significativo i livelli di concentrazione di PM_{10}* – Progetto "PATOS", 30 Luglio 2005.
2. **Grifoni D., Messeri G., Pasi F., Piani F., Rossi M., Tei C.** (2006): *Rapporti meteorologici mensili* – Progetto "PATOS", 30 Ottobre 2006.
3. **Mardia K.V., Kent J.T.** (1979): *Multivariate Analysis*– Accademy Press.
4. **Morineau A., Lebart L., Fenelon J.P.** (1979): *Traitement des données statistiques* – Dunod.
5. **SPSS Base 11.0** (2001): *Statistical software* – www.spss.com.