



Progetto Malpensa

20 ottobre 2011 – 30 agosto 2012

Testo ed elaborazione dei dati a cura di:
Cristina Colombi, Vorne Gianelle, Matteo Lazzarini

Gestione ed attività di campo:
Marco Dal Zotto, Fabio Radrizzani

Tra l'autunno del 2011 e l'estate del 2012 è stato effettuato un monitoraggio della qualità dell'aria volto in particolare alla quantificazione delle polveri aerodisperse e degli idrocarburi, possibili traccianti del traffico aereo, nell'area circostante l'aeroporto di Malpensa. A tal fine sono state scelte sei postazioni, due punti di "bianco" e quattro sotto le rotte degli aerei, ovvero:

- Saronno Santuario e Magenta, presso le cabine di monitoraggio della qualità dell'aria, quali postazioni di controllo;
- Somma Lombardo, Ferno e Lonate Pozzolo, presso le cabine di monitoraggio della qualità dell'aria, e Casorate Sempione, all'interno del giardino comunale, quali postazioni potenzialmente interessate dalle ricadute delle emissioni aeroportuali.

In ogni postazione sono state effettuate quattro campagne intensive della durata di due settimane ciascuna, distribuite nelle quattro stagioni dell'anno, per garantire una copertura adeguata sia dal punto di vista delle attività antropiche che relativamente alla variabilità meteorologica. Parallelamente ai monitoraggi intensivi, sono state inoltre effettuate quattro campagne con laboratorio mobile, realizzate ciascuna su due mesi rappresentativi del periodo invernale ed estivo, nei comuni di Arsago Seprio, Samarate, Golasecca e Vizzola Ticino.

Nella presente relazione si riportano i risultati dei monitoraggi intensivi.

Le misure effettuate, parallelamente al consueto monitoraggio in continuo degli inquinanti convenzionali, hanno riguardato la determinazione degli elementi e degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) in fase particolato, e il rilevamento delle aldeidi e di Composti Organici Volatili (COV), precedentemente individuati quali possibili traccianti delle emissioni dei velivoli dalla Federal Aviation Administration (Selected source materials and annotated bibliography on the topic of hazardous air pollutants associated with aircraft, airports, and aviation, Luglio 2003). In particolare, il citato report della FAA rappresenta una interessante review delle informazioni pubbliche inerenti la correlazione tra emissione dagli aeromobili e dalle attività aeroportuali e l'emissione di inquinanti atmosferici cosiddetti pericolosi (Hazardous Air Pollutants, HAPs). Tra le informazioni riportate si evince che, in generale, sebbene sia possibile che i livelli di questi inquinanti nelle aree adiacenti gli aeroporti siano superiori rispetto alle aree più lontane, tuttavia essi non sono apprezzabilmente differenti rispetto agli ambienti urbani. In molti casi, inoltre, è estremamente difficile l'individuazione della sorgente specifica aeroportuale rispetto all'emissione di sorgenti non-aeroportuali, ovvero emissione veicolare piuttosto che sorgente di combustione stazionaria. La stessa review sottolinea inoltre che eventuali studi di esposizione devono tenere in considerazione la corretta quantità di tempo che la popolazione è esposta a tali inquinanti. Si riporta la Tabella 1 che si trova a pagina 6 del citato report: in essa viene riportato l'inventario degli HAPs, in ordine di importanza rispetto alle loro emissioni. Fra di essi, i primi dieci composti che, da soli, rappresentano ben il 96% delle emissioni totali, sono stati misurati nella presente campagna di monitoraggio, ad eccezione dell'IPA 1,3-Butadiene, che richiede altre tecniche di campionamento, senza peraltro aggiungere informazioni significative rispetto all'insieme delle specie monitorate. Inoltre questo composto non compare nella lista dei 16 IPA considerati prioritari dall'Agenzia Ambientale Americana (US EPA).

Table 1
Aircraft-Related* HAPs Included in the
U.S. EPA National Toxics Inventory Ranked in Order

Pollutant	Total Emission (Tons/Year)	Ranking	Percent of Total	Cumulative Percent
Formaldehyde	6,408	1	42.3	42.3
Acetaldehyde	1,969	2	13.0	55.3
Benzene	1,184	3	7.8	63.1
Toluene	1,174	4	7.7	70.8
Acrolein	938	5	6.2	77.0
1,3-Butadiene	824	6	5.4	82.5
Xylene	702	7	4.6	87.1
Lead**	541	8	3.6	90.7
Naphthalene	454	9	3.0	93.7
Propionaldehyde	396	10	2.6	96.3
Ethylbenzene	211	11	1.4	97.7
Styrene	195	12	1.3	99.0
n-Hexane	71	13	0.5	99.4
2,2,4-Trimethylpentane°	30	14	0.2	99.6
Acenaphthylene°	17	15	0.1	99.7
Phenanthrene°	10	16	0.1	99.8
Fluorene°	8	17	0.1	99.9
Fluoranthene°	5	18	<0.1	99.9
Pyrene°	5	19	<0.1	99.9
Anthracene°	4	20	<0.1	100
Acenaphthene°	3	21	<0.1	100
Benzo(ghi)perylene°	1	22	<0.1	100
Benzo(b)fluoranthene°	0.5	23	<0.1	100
Benzo(k)fluoranthene°	0.5	24	<0.1	100
Benzo(a)anthracene°	0.4	25	<0.1	100
Benzo(a)pyrene°	0.4	26	<0.1	100
Chrysene°	0.4	27	<0.1	100
Indeno(1,2,3-cd)pyrene°	0.3	28	<0.1	100
Dibenz(a,h)anthracene°	0	29	<0.1	100

* Includes commercial and GA aircraft and GSE.

** Lead is not a component of jet fuel. It is listed here as a possible component of avgas fuel used in GA aircraft and/or GSE fuel.

° As polycyclic organic matter (POM) or polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) given as a group of 7-PAH or 16-PAH.

 = Top Ten HAPs

Tabella 1 – Inventario degli inquinanti relazionati all'emissione degli aeromobili.

Poiché alcuni composti previsti non sono specifici della sola emissione degli aerei, si è scelto di installare nelle due stazioni più prossime al sedime aeroportuale anche strumentazione di tipo ottico, che permettesse di ottenere informazioni di supporto nell'individuazione delle possibili sorgenti. Analogamente, su alcuni campioni è stato determinato il levoglucosano, al momento indicato come tracciante specifico delle emissioni da biomassa.

Metodo

I campioni giornalieri di PM10 sono stati raccolti mediante strumentazione rispondente al D.Lgs. 155/2010. Nelle stazioni di Saronno Santuario e Ferno la determinazione della concentrazione di massa è effettuata tramite analizzatore automatico a raggi-β, negli altri siti mediante metodo gravimetrico.

Sui filtri raccolti sono state effettuate analisi con un analizzatore a Fluorescenza a Raggi X (XRF) che hanno permesso di valutare quantitativamente la composizione del particolato depositato su filtro per quanto

riguarda le concentrazioni degli elementi, tra i quali il Piombo. In relazione alle caratteristiche del detector, è possibile rilevare la radiazione X di tutti gli elementi con numero atomico superiore a 11, ovvero: alluminio (Al), silicio (Si), fosforo (P), zolfo (S), cloro (Cl), potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), vanadio (V), cromo (Cr), manganese (Mn), ferro (Fe), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn), bromo (Br), rubidio (Rb), stagno (Sn), Bario (Ba), piombo (Pb), antimonio (Sb) e stronzio (Sr). La conoscenza della concentrazione di tali elementi, attraverso le opportune elaborazioni, consente di determinare la frazione del PM10 relativa alla risospensione di polvere dal suolo piuttosto che all'emissione da parte di sorgenti industriali o altro.

Sugli stessi filtri sono stati determinati i 12 Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) più importanti dal punto di vista tossicologico, ovvero rilevanti per gli obiettivi del progetto, mediante Gas-Cromatografia con detector a Spettrometria di Massa (GC-MS): Acenaftilene, Benzo(a)Antracene, Crisene, Benzo(b)Fluorantene, Benzo(k)Fluorantene, Benzo(j)Fluorantene, Benzo(a)Pirene, Indeno, diBenzo(a,h)Antracene, Benzo(g,h,i)Perilene, diBenzo(a,e)Perilene. Con la sola eccezione del B(j)F, questi IPA appartengono ai 16 prioritari individuati dall'US EPA, citata precedentemente.

Il Naftalene, determinato con la stessa tecnica analitica, è stato campionato mediante cartuccia a diffusione, con carbone attivo quale sostanza sensibile, essendo per sua natura presente in fase gassosa e non particolata come i precedenti IPA. Con questa metodica è stato possibile determinarne la concentrazione media settimanale; per la verifica di riproducibilità, in ogni sito e per ogni settimana della campagna, sono state posizionate due fiale in parallelo. A differenza di tutti gli altri IPA determinati, il Naftalene, pur essendo tra i primi dieci traccianti della Tabella 1, non compare tra i 16 tossici di cui sopra.

Il levoglucosano è stato anch'esso determinato in GC-MS con preventiva derivatizzazione della molecola, secondo le procedure ormai consolidate all'interno del laboratorio, utilizzando una porzione di filtro giornaliero di PM10.

Le aldeidi, ovvero Formaldeide, Acetaldeide, Acroleina e Propionaldeide, sono state campionate mediante cartucce a diffusione, con 2.4 dinitrofenilidrazina quale sostanza sensibile. L'analisi di laboratorio è stata condotta in Cromatografia Liquida con detector Massa-Massa (LC/MS-MS). In ogni settimana di ciascuna campagna sono state esposte due fiale in parallelo per la verifica di riproducibilità.

Analogamente, la concentrazione media settimanale di COV, ovvero Benzene, Toluene, EtilBenzene, Meta/Para-Xilene e Orto-Xilene è stata determinata mediante campionamento su cartucce a diffusione, con carbone attivo quale sostanza sensibile. L'analisi di laboratorio è stata condotta in GC-MS. In ogni settimana di ciascuna campagna sono state esposte due fiale in parallelo per la verifica di riproducibilità.

In parallelo ai campionamenti sono state effettuate misure di particolato in continuo mediante un Optical Particle Counter (OPC). Il principio di funzionamento del sistema OPC consiste nel condurre il flusso d'aria campione in una opportuna camera di misura; un fascio laser investe l'aria campione ed un rilevatore posto a 90° rileva la luce diffusa dalle particelle; ogni impulso rilevato corrisponde al passaggio di una particella e l'ampiezza dell'impulso è correlata con la sua dimensione.

Di seguito si riporta il calendario delle quattro campagne intensive:

	Start	Cambio delle fiale	Stop
I campagna	20 ottobre 2011	27 ottobre 2011	3 novembre 2011
II campagna	26 gennaio 2012	2 febbraio 2012	9 febbraio 2012
III campagna	3 maggio 2012	10 maggio 2012	17 maggio 2012
IV campagna	9 agosto 2012	16 agosto 2012	23 agosto 2012

Nella Figura 1 si mostra l'ubicazione delle stazioni di misura.

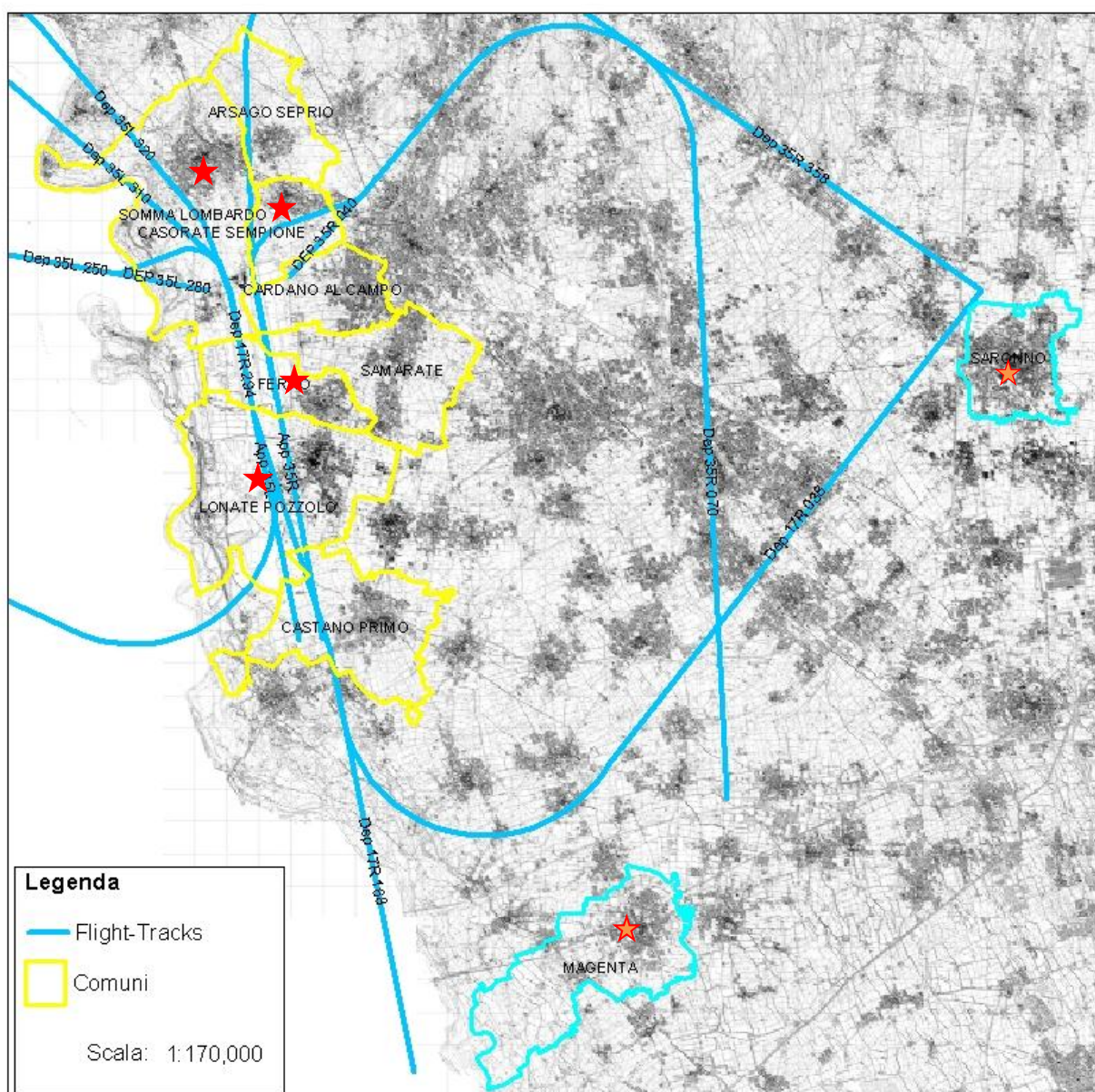


Figura 1 – Ubicazione delle postazioni di misura.

Partendo da nord, la cabina di Somma Lombardo si trova in via Facchinetti 9, a ridosso della sede della Guardia di Finanza. La sua classificazione in base alla normativa è rurale industriale; essa si trova infatti lontana da centri residenziali ma esposta alle emissioni derivanti dalle attività aeroportuali e dal traffico della sottostante superstrada per Malpensa. A Casorate Sempione il campionatore è stato posizionato

all'interno del giardino della biblioteca comunale; il posizionamento può quindi essere considerato di fondo urbano. La cabina di Ferno, di fondo urbano come Casorate, si trova in via Alfredo Di Dio, lontana dal centro del paese ma a ridosso di alcune villette. A Lonate Pozzolo la stazione è ubicata in via Vittorio Veneto 65 ed è classificata come urbana industriale, per la presenza di numerose attività nell'area e dell'aeroporto stesso. Il traffico è comunque una sorgente importante per il sito. Saronno Santuario e Magenta sono le due postazioni di bianco per questo monitoraggio: entrambe sono classificate come cabine di fondo urbano; la prima si trova a ridosso della ferrovia e la seconda all'interno del cortile della caserma dei vigili del fuoco.

Per tutte le postazioni dell'area oggetto di studio, nel periodo invernale le combustioni da biomassa possono costituire una sorgente di particolato importante, insieme al traffico locale.

Elaborazione dei dati

L'analisi delle concentrazioni giornaliere di PM10 nelle quattro campagne mostra un trend modulato prevalentemente dalle condizioni meteorologiche, fatto salvo l'accadimento di occasionali episodi locali (Figura 2).

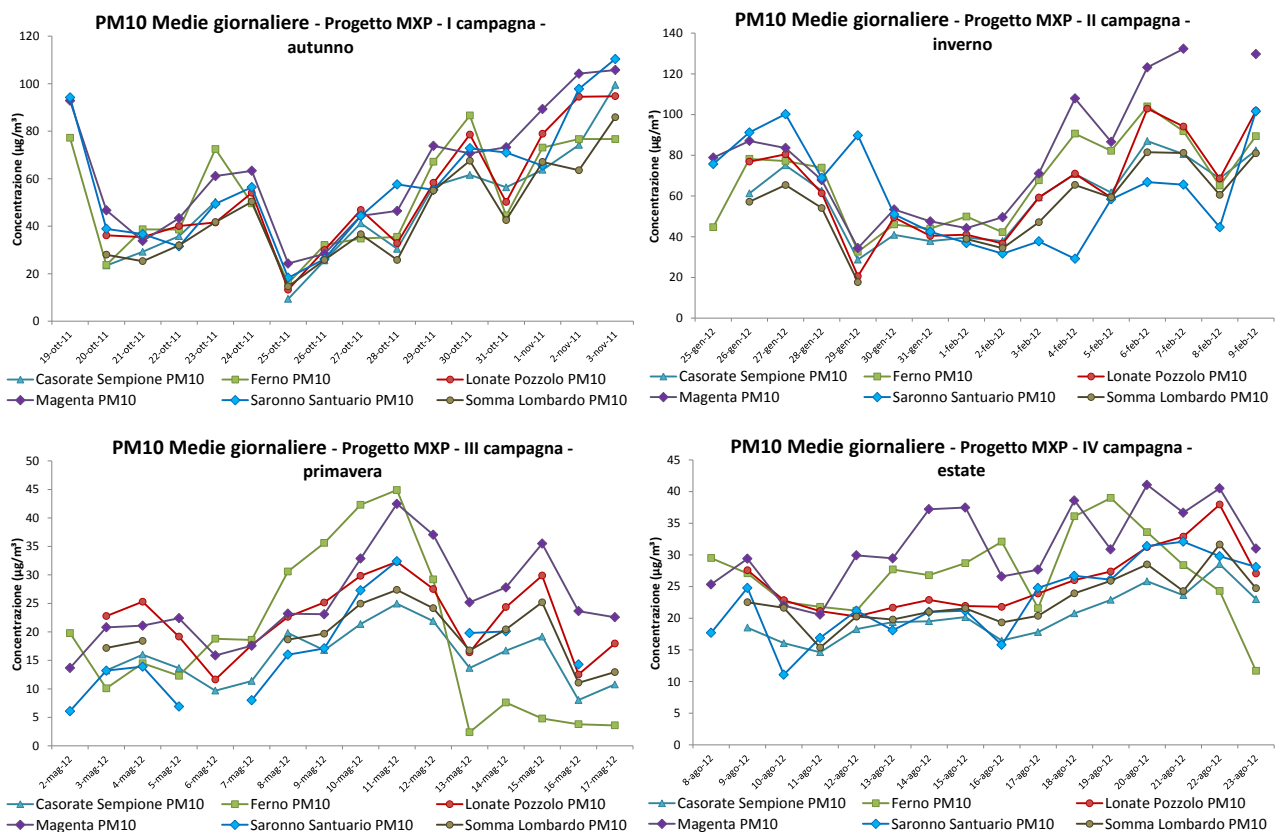


Figura 2 – Andamento giornaliero del PM10 nelle quattro campagne, nei siti monitorati.

L'analisi delle concentrazioni medie in ciascuna campagna (Figura 3) conferma che le differenze fra i vari siti non sono statisticamente significative. Nel confronto è stata inserita anche la media delle concentrazioni di

PM10 misurato nelle postazioni di Milano (Milano-Senato, Milano-Verziere e Milano-Pascal). La massima media giornaliera su tutto il periodo è stata misurata nelle tre cabine di Milano (139.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 143.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 144.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente a Senato, Verziere e Pascal) durante il periodo invernale, ovvero nella II campagna, il giorno 9 febbraio 2012. Per ogni campagna, la media sul periodo più elevata è stata misurata nella postazione di bianco di Magenta, come mostrato anche nella tabella relativa al grafico di Figura 3. Viceversa, la minima media giornaliera su tutto il periodo è stata misurata nella stazione di Ferno (2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), il giorno 13 maggio 2012, ovvero nel corso della III campagna. Per ogni campagna, la minore media sul periodo è stata misurata a Somma Lombardo (I e II campagna) e a Casorate Sempione (III e IV campagna).

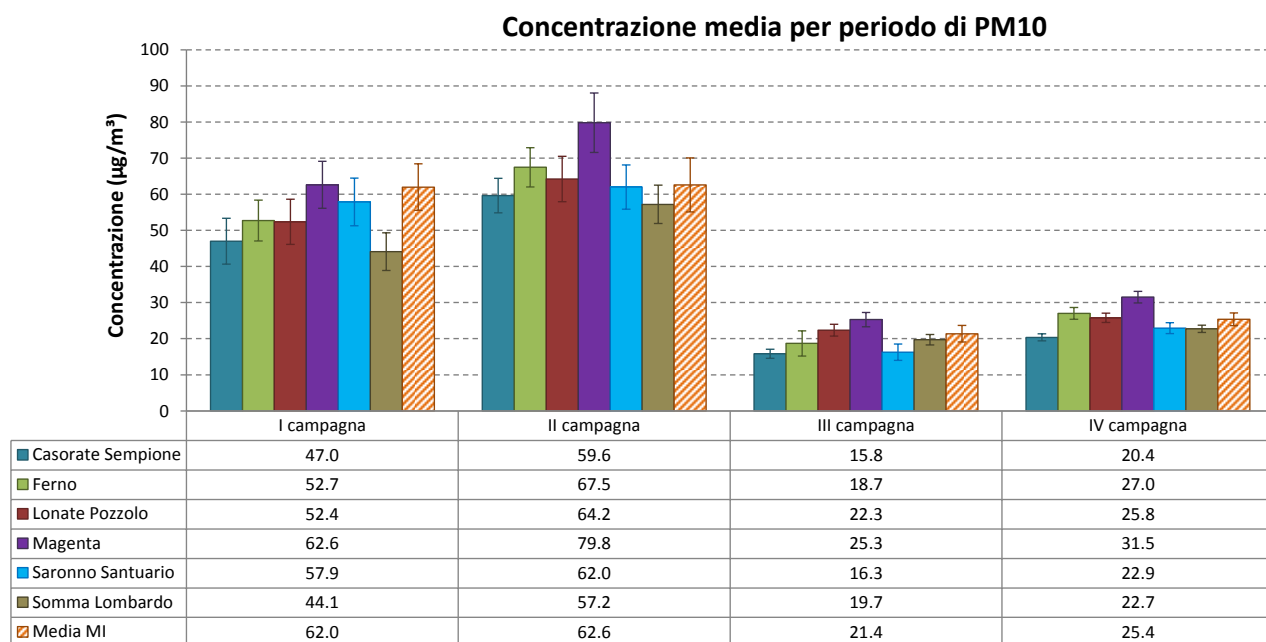


Figura 3 – Concentrazione media di PM10 per ciascuna campagna ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La Tabella 2 mostra la media sul periodo tra i giorni lavorativi e i fine settimana (sabato e domenica), con le relative deviazioni standard: in nessuna postazione si nota un “effetto weekend”, indice di una diffusione omogenea delle polveri e dei loro lunghi tempi di residenza.

	Casorate S.	Ferno	Lonate P.	Magenta	Saronno S.	Somma L.	Media MI
	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10	PM10
MEDIA	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Feriali	32.2	40.2	39.5	49.1	39.3	30.6	43.4
Weekend	33.2	41.2	38.8	48.6	37.1	31.3	43.3
DEV. ST.							
Feriali	26.1	26.3	28.3	33.3	29.9	23.9	30.6
Weekend	21.6	28.9	21.5	26.9	27.0	22.1	23.2

Tabella 2 – Settimana tipo e deviazione standard per ciascun sito.

Il grafico di Figura 4 mostra la concentrazione media di benzene per ciascuna campagna; la barra di errore rappresenta la deviazione standard calcolata sui quattro campioni per sito a campagna.

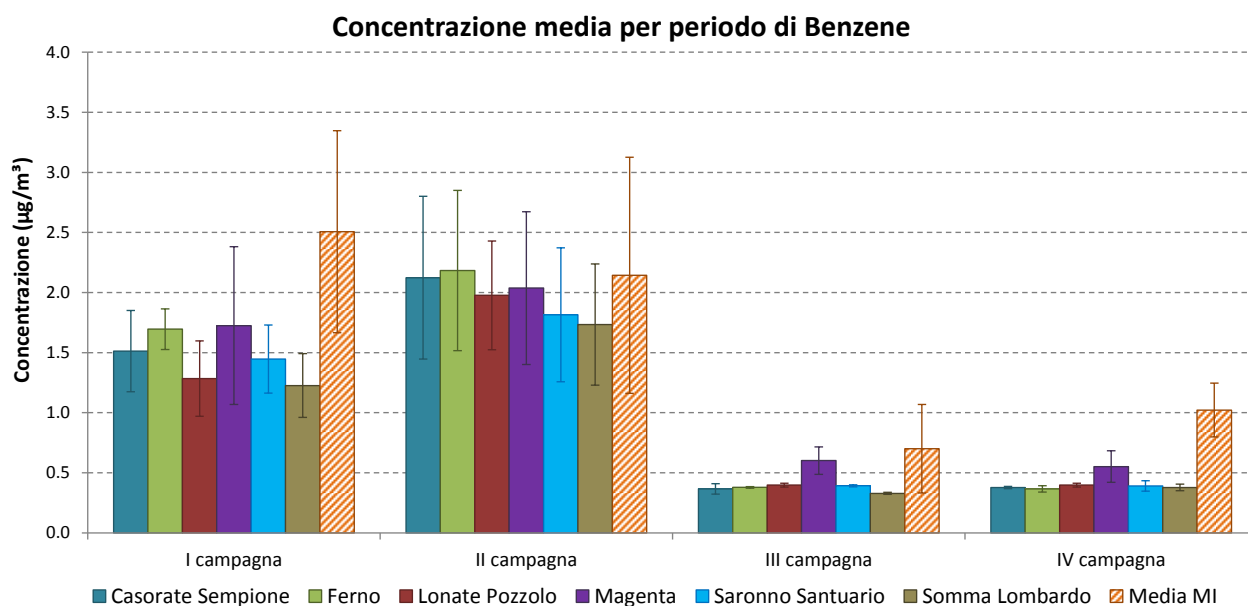


Figura 4 – Concentrazione media di Benzene per ciascuna campagna.

I siti della campagna di monitoraggio non presentano differenze statisticamente rilevanti. La massima concentrazione di benzene per ciascuna campagna è stata misurata a Milano. In queste postazioni, ove sono disponibili le serie annuali di concentrazioni di Benzene complete, non viene rilevato il superamento del limite di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media annuale, previsto dalla normativa vigente (D.Lgs. 155/2010). Tenendo conto che le quattro campagne nei siti attorno all'aeroporto sono state effettuate in periodi rappresentativi delle stagioni dell'anno, coerentemente con quanto previsto dall'Allegato 1 del D.Lgs. 155/2010 per misure indicative, in riferimento alla Tabella 3 è possibile affermare con ragionevole certezza che nei siti monitorati tale limite non venga superato. In aggiunta si riporta il grafico di Figura 5 che mostra il trend delle concentrazioni medie annuali di Benzene misurato a Somma Lombardo con sistema automatico nella cabina fissa di Qualità dell'Aria (Rapporto sulla Qualità dell'Aria di Varese e provincia, anno 2001, pagina 61, http://ita.arpalombardia.it/ITA/qaria/pdf/RQA-2011/RQA_VA_2011.pdf), che conferma quanto sopra.

	Casorate S.	Ferno	Lonate P.	Magenta	Saronno S.	Somma L.	Media MI
	Benzene	Benzene	Benzene	Benzene	Benzene	Benzene	Benzene
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MEDIA	1.09	1.16	1.01	1.23	1.01	0.92	1.59
DEV. ST	0.86	0.90	0.74	0.79	0.72	0.67	1.01

Tabella 3 – Media e deviazione standard per ciascun sito del Benzene.

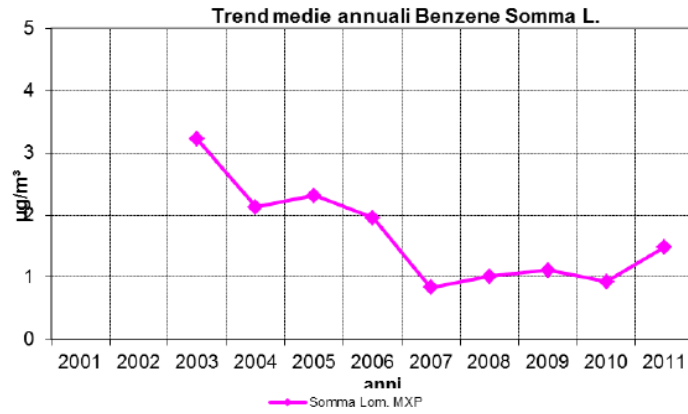


Figura 5 – Trend delle concentrazioni medie annuali di Benzene della canina di Somma Lombardo.

Nelle figure 6-9 si riportano le concentrazioni medie per ciascuna campagna relative agli altri composti gassosi determinati tra COV e aldeidi.

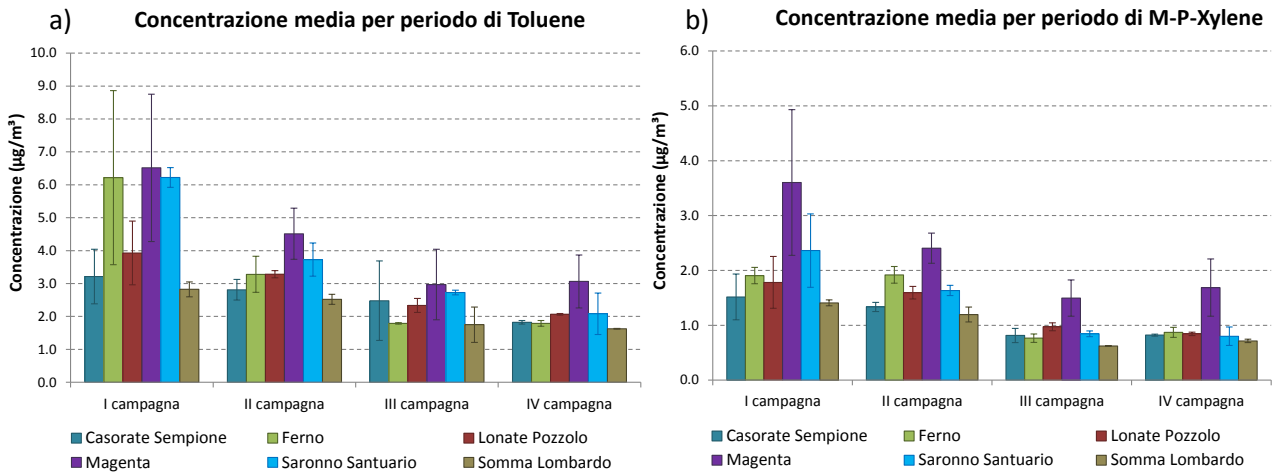


Figura 6 – Concentrazione media di a) Toluene e b) M-P-Xylene per ciascuna campagna.

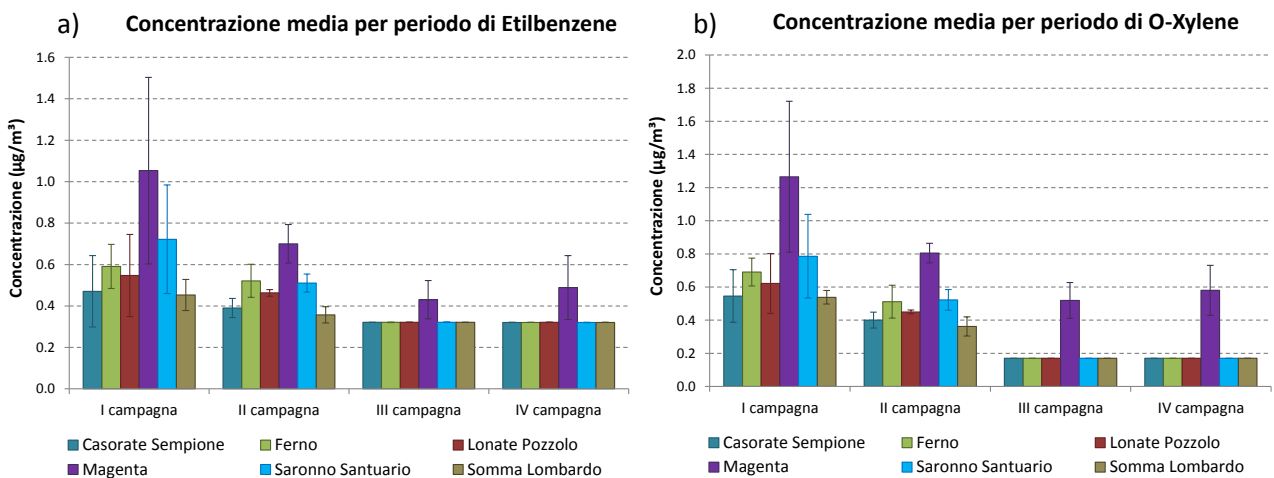


Figura 7 – Concentrazione media di a) Etilbenzene e b) O-Xylene per ciascuna campagna.

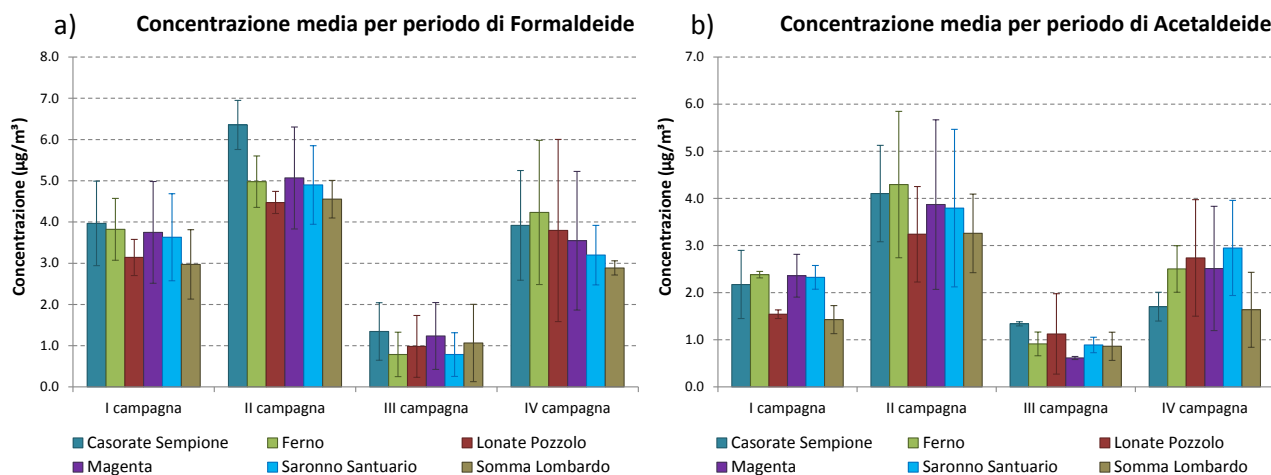


Figura 8 – Concentrazione media di a) Formaldeide e b) Acetaldeide per ciascuna campagna.

L'analisi degli andamenti non evidenzia situazioni di criticità, fatto salvo qualche evento locale, nella maggior parte dei casi evidenziato nella stazione di bianco di Magenta. Formaldeide ed Acetaldeide sono paragonabili ai valori di concentrazione relativi a campionamenti effettuati nell'ambito di una campagna pluriennale condotta in tutta la Lombardia (2004-2008, Progetto PARFIL), ovvero nella città di Varese è stata misurata una concentrazione media, su tutto il periodo del monitoraggio, di $3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rispettivamente per Formaldeide ed Acetaldeide. Acroleina e Propionaldeide, invece, sono risultate sempre inferiori alla soglia di rilevabilità ($0.050 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Poiché gli IPA si producono durante i processi di combustione incompleta di combustibili fossili e non, la loro determinazione è fondamentale nella valutazione delle combustioni quali, ad esempio, l'emissione degli autoveicoli e della combustione di biomassa. Per quanto riguarda il Naftalene, unico fra gli IPA determinati presente nella sola fase gassosa, il grafico di Figura 9 mostra le medie della I e II campagna; nelle due campagne estiva e primaverile, invece, si sono misurati valori inferiori ai limiti di rilevabilità ($0.050 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

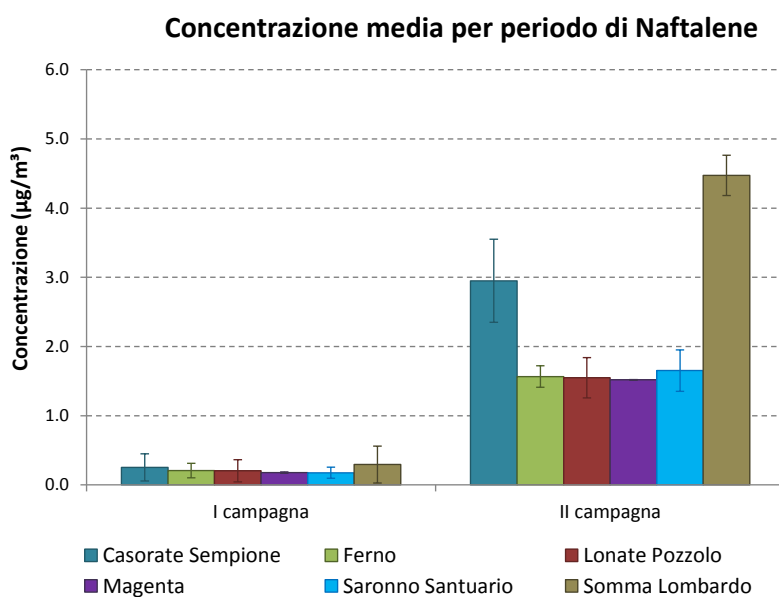


Figura 9 – Concentrazione media di Naftalene per ciascuna campagna.

Fra gli altri, invece, l'unico IPA normato è il Benzo(a)Pirene, con un limite di 1 ng/m³ per la concentrazione media annuale. Nella Tabella 4 si riportano le concentrazioni medie per ciascuna campagna relative alla somma di tutti gli IPA in fase particolato e, per il solo B(a)P quale confronto con la normativa in analogia a quanto espresso per il Benzene, la media su tutto il periodo: in nessun sito si registra la possibilità di superamento del valore limite normativo.

	Casorate S.	Ferno	Lonate P.	Magenta	Saronno S.	Somma L.
IPA totali	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)
I campagna	2.741	4.490	1.559	2.415	3.945	1.153
II campagna	5.378	12.763	3.566	5.581	11.417	2.528
III campagna	< 0.050	0.663	< 0.050	0.150	0.664	0.051
IV campagna	< 0.050	< 0.050	0.188	< 0.050	0.163	< 0.050
B(a)P	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)	(ng/m ³)
MEDIA	0.272	0.455	0.150	0.244	0.375	0.118
DEV. ST	0.315	0.592	0.165	0.282	0.476	0.126

Tabella 4 – Concentrazione media per ciascuna campagna della somma di tutti gli IPA e, per il B(a)P, media e deviazione standard su tutto il periodo di monitoraggio.

La Figura 10 inoltre mostra due elaborazioni effettuate sui dati di B(a)P, ovvero la concentrazione media calcolata per ciascuna campagna (Figura 9a) e la costruzione della settimana tipo sull'intero periodo del monitoraggio, mediata per i giorni lavorativi e per i weekend (Figura 9b).

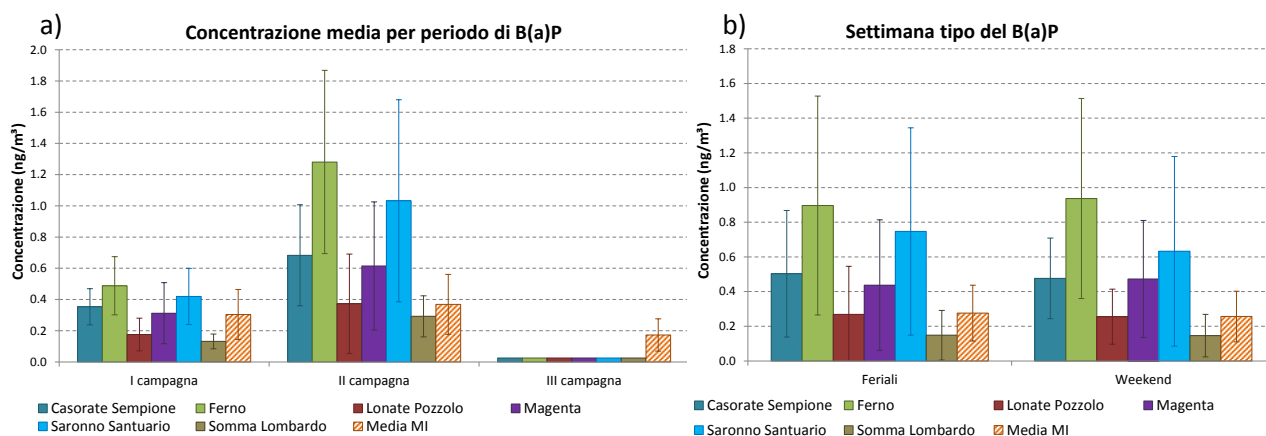


Figura 10 – Concentrazione media di B(a)P calcolata a) in ciascuna campagna e b) sulla settimana-tipo.

L'analisi dei grafici precedenti non mostra sostanziali differenze tra giorni lavorativi e fine settimana per tutti i siti, incluse le postazioni di riferimento di Milano (Milano-Pascal e Milano-Senato); tenendo conto che il B(a)P si lega prevalentemente a particelle submicrometriche che possono rimanere sospese in aria diversi giorni, ciò sta ad indicare che esso è prodotto da una varietà di sorgenti diffuse nel territorio senza evidenziarne alcuna con una periodicità settimanale ben definita.

La campagna che ha fatto registrare la concentrazione media sul periodo più alta, sebbene statisticamente non differente dal contemporaneo sito di bianco di Saronno, è la II campagna di Ferno. Come descritto precedentemente, l'importanza delle combustioni da biomassa, in particolare per i siti di Casorate e Ferno,

è testimoniata dalle concentrazioni di levoglucosano (Tabella 5), oltre che dalla buona correlazione nel trend giornaliero di K (tracciante della combustione di biomassa e delle polveri da risospensione del suolo), Levoglucosano (tracciante specifico delle combustioni da biomassa) e B(a)P (Figura 11).

	Casorate S	Ferno	Lonate P.	Magenta	Saronno S.	Somma L.
	Levo	Levo	Levo	Levo	Levo	Levo
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MEDIA	1.44	1.26	1.10	1.01	1.10	0.96
DEV. ST	0.89	0.83	1.04	0.97	0.79	0.80

Tabella 5 – Concentrazione media sul periodo del levoglucosano.

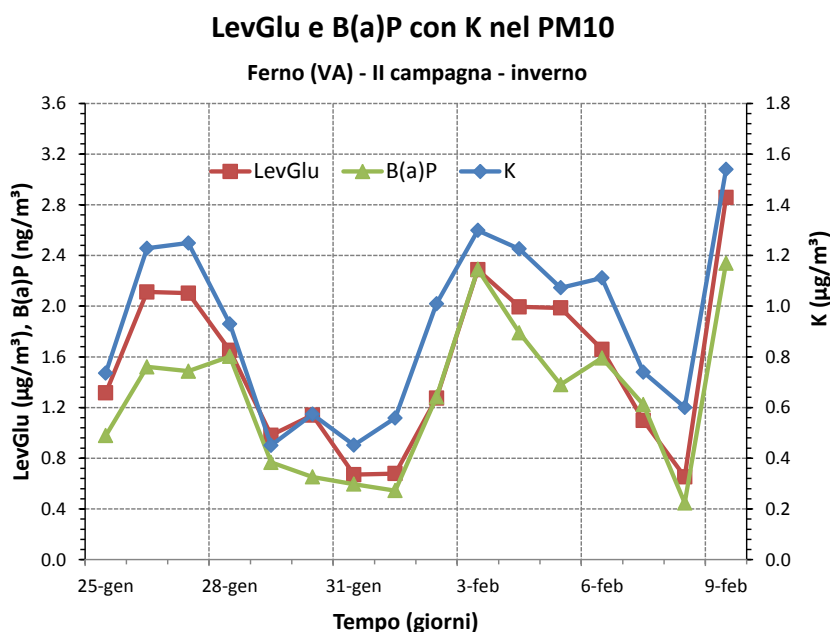


Figura 11 – Andamento giornaliero delle concentrazioni di levoglucosano, B(a)P e K nella II campagna invernale a Ferno.

Per quanto riguarda la concentrazione elementale, attraverso il bilancio chimico di massa, trasformando gli elementi rilevati nei loro ossidi preferenziali, è possibile risalire alla composizione chimica di una parte del particolato. Sono state valutate le componenti relative agli elementi tipicamente riconducibili alla frazione inorganica della polvere del suolo (denominata “Risospensione”) e a tutti i restanti elementi espressi come ossidi (denominata “Altri Ossidi”), per lo più riconducibili ad attività antropiche in genere.

Le componenti Risospensione e Altri Ossidi sono state quindi ottenute sulla base dei rapporti stechiometrici e dei fattori di arricchimento, che sono stati calcolati utilizzando i risultati delle analisi di polvere della cabina di riferimento di Milano. I fattori di arricchimento, ottenuti come quoziente tra i rapporti della concentrazione in aria e nel suolo di ciascun elemento e di un elemento di riferimento (il Silicio), rappresentano un importante indicatore per valutare l’origine degli elementi presenti nel particolato: più alto è il valore del fattore di arricchimento e maggiore è il contributo, per quell’elemento, di una sorgente diversa da quella naturale, dovuta alle turbolenze dell’aria. Nella Tabella 6 si riportano i contributi percentuali per queste componenti.

	(%)	I campagna	II campagna	III campagna	IV campagna
Casorate S.	Risollevamento	5.6	5.6	18.2	22.8
	Altri Ossidi	4.4	3.4	14.5	10.4
Ferno	Risollevamento	9.7	7.1	21.2	23.3
	Altri Ossidi	3.5	2.7	11.7	7.4
Lonate P.	Risollevamento	14.5	11.1	28.4	29.1
	Altri Ossidi	2.6	2.0	7.9	6.6
Magenta	Risollevamento	9.3	8.9	21.0	23.7
	Altri Ossidi	2.4	1.9	7.9	5.8
Saronno S.	Risollevamento	14.9	9.8	33.2	29.5
	Altri Ossidi	2.6	2.5	15.8	8.1
Somma L.	Risollevamento	9.7	7.7	25.6	25.4
	Altri Ossidi	4.2	3.1	9.7	8.5

Tabella 6 – Contributo percentuale della frazione Risollevamento e Altri Ossidi al PM10.

Nella Tabella 7, invece, si riporta la media sul periodo del solo Piombo, ottavo nell'elenco dei composti di Tabella 1: nei siti appartenenti all'area di Malpensa le concentrazioni risultano inferiori sia ai due siti di bianco (Magenta e Saronno), sia all'agglomerato urbano di Milano.

	Casorate S	Ferno	Lonate P.	Magenta	Saronno S.	Somma L.	Media MI
	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb	Pb
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
MEDIA	0.021	0.022	0.018	0.023	0.025	0.014	0.038
DEV. ST MEDIA	0.005	0.005	0.003	0.006	0.004	0.003	0.010

Tabella 7 – Concentrazione media sul periodo del Piombo.

Per verificare oggettivamente l'eventuale esistenza di un comportamento comune tra le serie delle concentrazioni relative degli elementi e degli IPA, sull'insieme di queste si è applicata l'analisi a cluster, che consiste in una tecnica di raggruppamento delle serie temporali basata sulla similitudine degli andamenti (analisi gerarchica sulle serie auto scalate, indice di similarità coefficiente di Pearson R, rappresentante di classe centroide). Tale tecnica statistica raggruppa le serie di dati in un numero più limitato di classi detti cluster, aventi un andamento temporale simile. Nelle Figure seguenti (12-17) si riportano tali elaborazioni per ciascun sito della campagna di monitoraggio effettuate sulle concentrazioni relative degli elementi e degli IPA, per attenuare l'effetto della correlazione dovuta alla meteorologia.

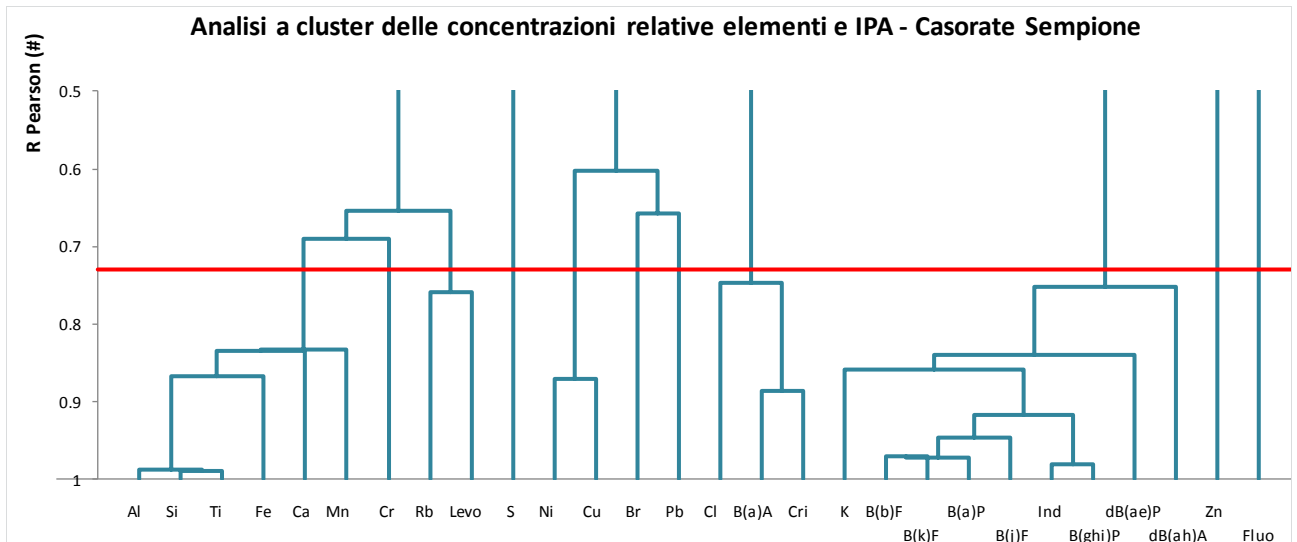


Figura 12 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Casorate Sempione.

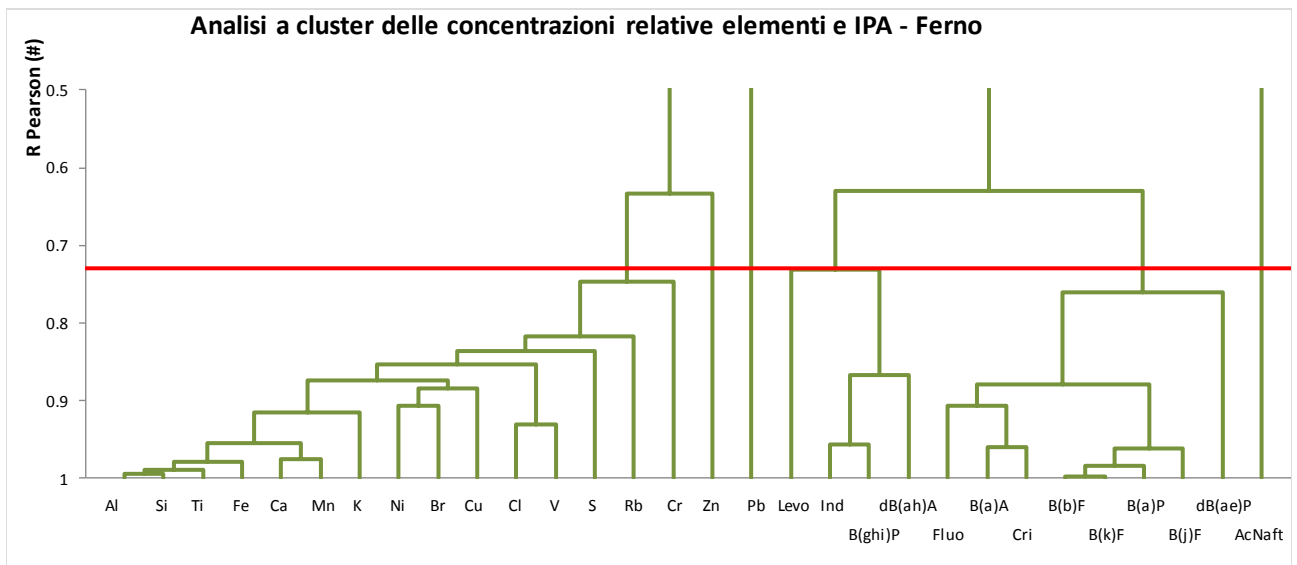


Figura 13 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Ferno.

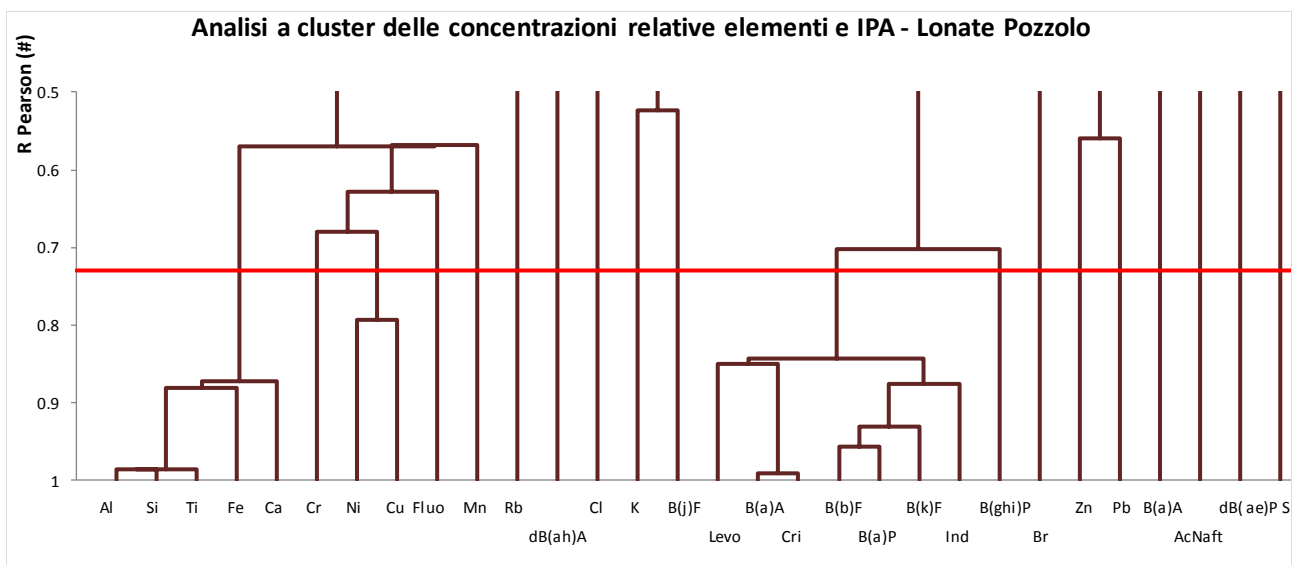


Figura 14 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Lonate Pozzolo.

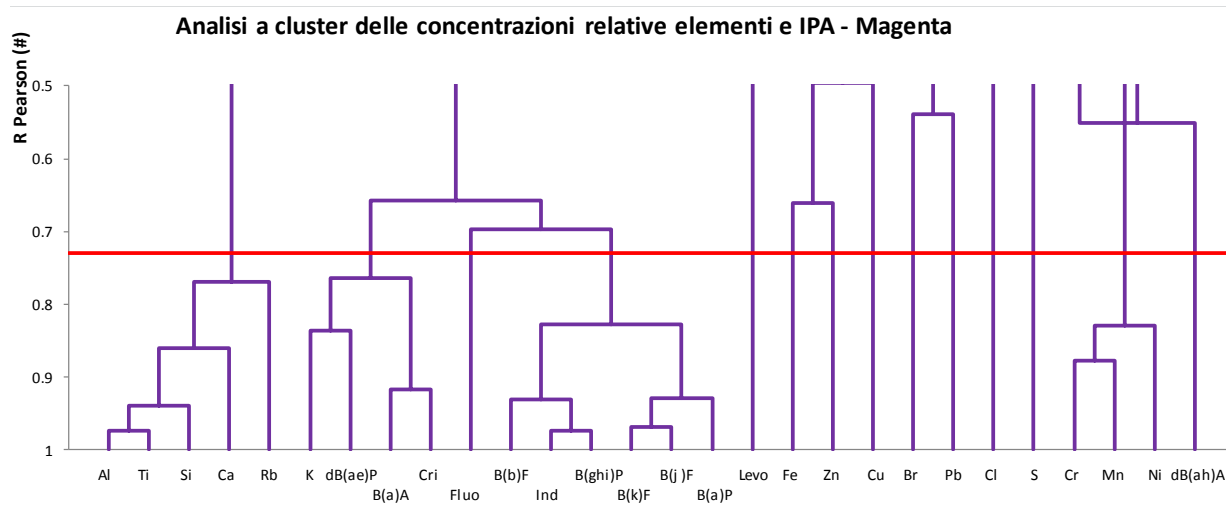


Figura 15 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Magenta.

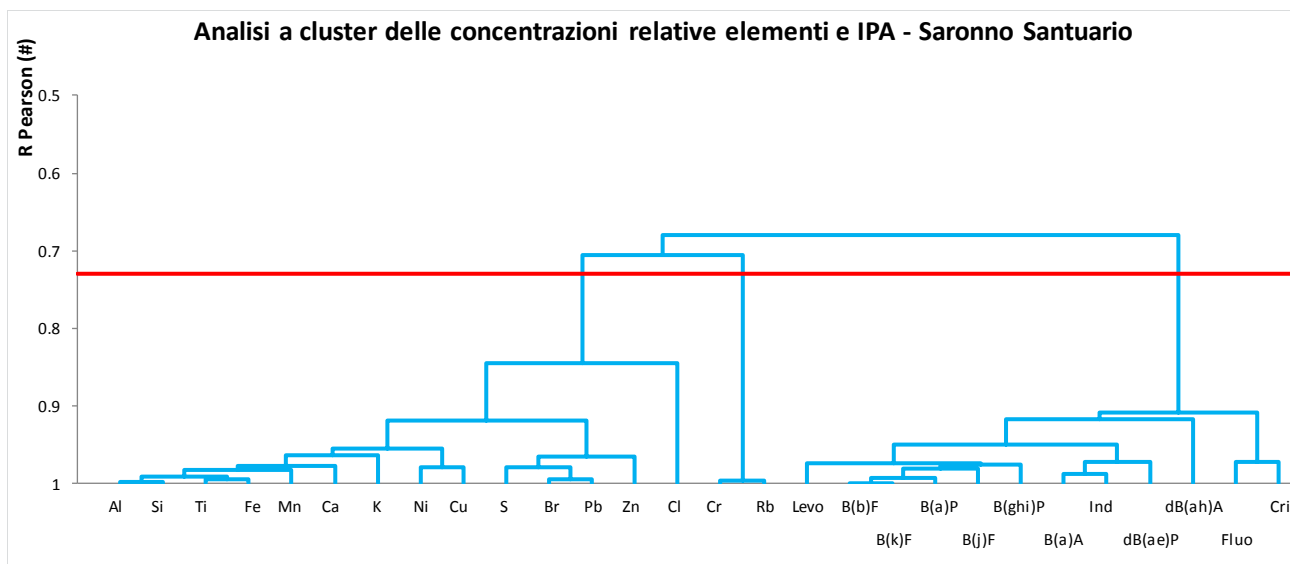


Figura 16 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Saronno Santuario.

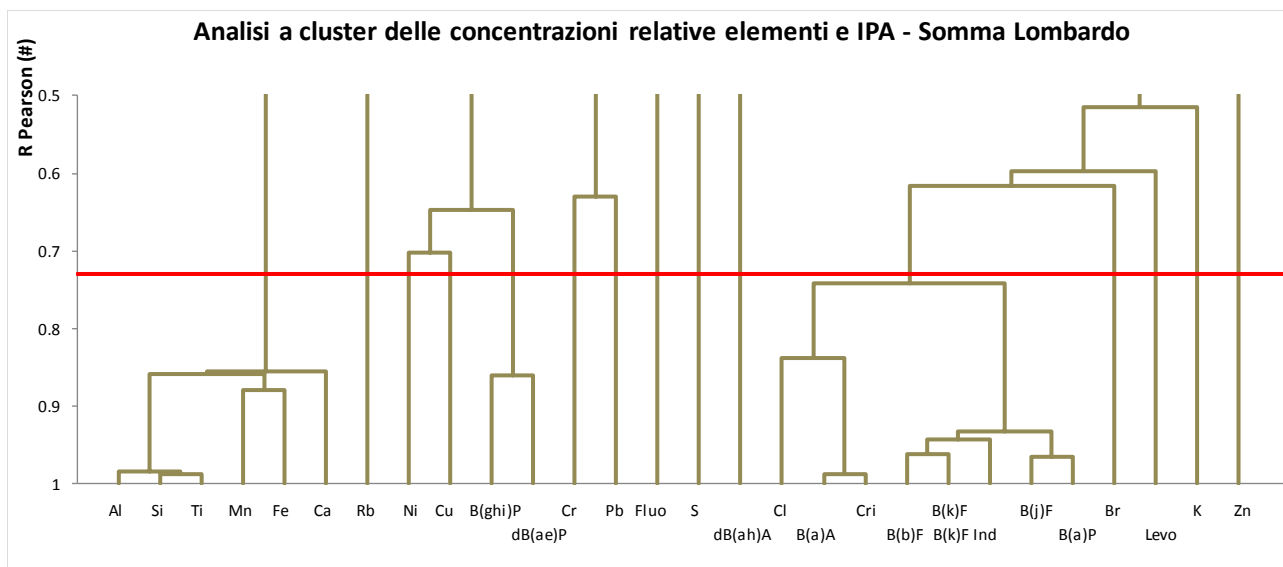


Figura 17 – Dendrogramma delle concentrazioni relative per Somma Lombardo.

In generale si osservano le tipiche correlazioni da siti non sottoposti ad alcuna sorgente dominante, ovvero il cluster degli elementi terrigeni, il cluster degli elementi associati ad attività industriali varie (ad esempio, Cr, Pb, Ni e Cu), quello associato alle attività di combustione (IPA, Levoglucosano e, talvolta, K e Rb) e l'indicazione della componente di particolato secondario associata allo zolfo. L'associazione degli elementi terrigeni conferma quanto sopra, ovvero la presenza di una sorgente di risospensione dal suolo delle polveri che può essere associata sia al passaggio di autoveicoli in genere sia al movimento turbolento delle masse d'aria. Le specie relative alle combustioni delle biomasse correlano nei vari siti in misura dipendente da diversi fattori: la tipologia del sito e quindi delle sue emissioni locali, la tipologia di biomassa utilizzata e la sua modalità di combustione, nonché dall'omogeneità dell'area e della diffusione del particolato più fine.

Come già accennato, poiché il B(a)P è marker delle combustioni in generale, per avere un ulteriore supporto nella discriminazione tra la combustione da traffico e quella da biomassa, oltre all'effettuazione delle analisi di levoglucosano nelle stagioni fredde (autunno ed inverno), ovvero quando è più probabile l'utilizzo di caminetti domestici, sono stati posizionati due OPC nei due siti più prossimi al sedime aeroportuale e sottoposti ad entrambe le sorgenti da combustione: Somma Lombardo (dal 15 dicembre 2011 al 31 ottobre 2012) e Ferno (dal 17 febbraio al 19 aprile 2012). Questi strumenti ottici sono in grado di determinare la concentrazione numerica delle particelle in funzione delle loro dimensioni.

Dapprima è stata effettuata l'analisi a cluster: analogamente a quanto fatto con i dati di composizione chimica del PM10, l'accorpamento delle classi in cluster è la prima indicazione in merito alle sorgenti.

I grafici successivi mostrano che a Ferno (Figura 18) le particelle si accorpano nei seguenti cluster:

- Particelle sub micrometriche (fino a 1 μm), tipiche di sorgenti da combustione
- Particelle micrometriche (fino a 2 μm)
- Particelle con diametro > 2 μm , comprendenti la frazione coarse (2.5-10 μm) e le grossolane (> 10 μm), tipiche da formazione meccanica quale la risospensione

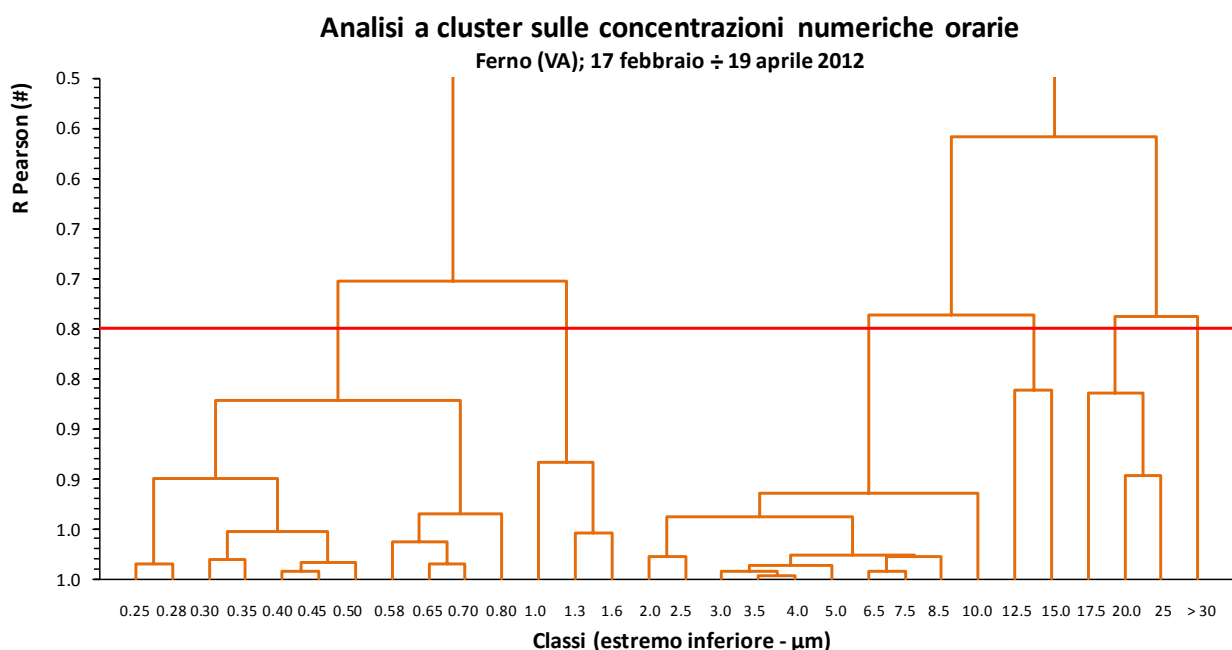


Figura 18 – Dendrogramma delle concentrazioni numeriche orarie a Ferno.

A Somma Lombardo, invece, le particelle si accorpano nei seguenti cluster (Figura 19), tipici di un sito da traffico:

- Particelle micrometriche fino a 2 μm
- Particelle coarse (> 2 μm) fino a 5 μm
- Particelle grossolane

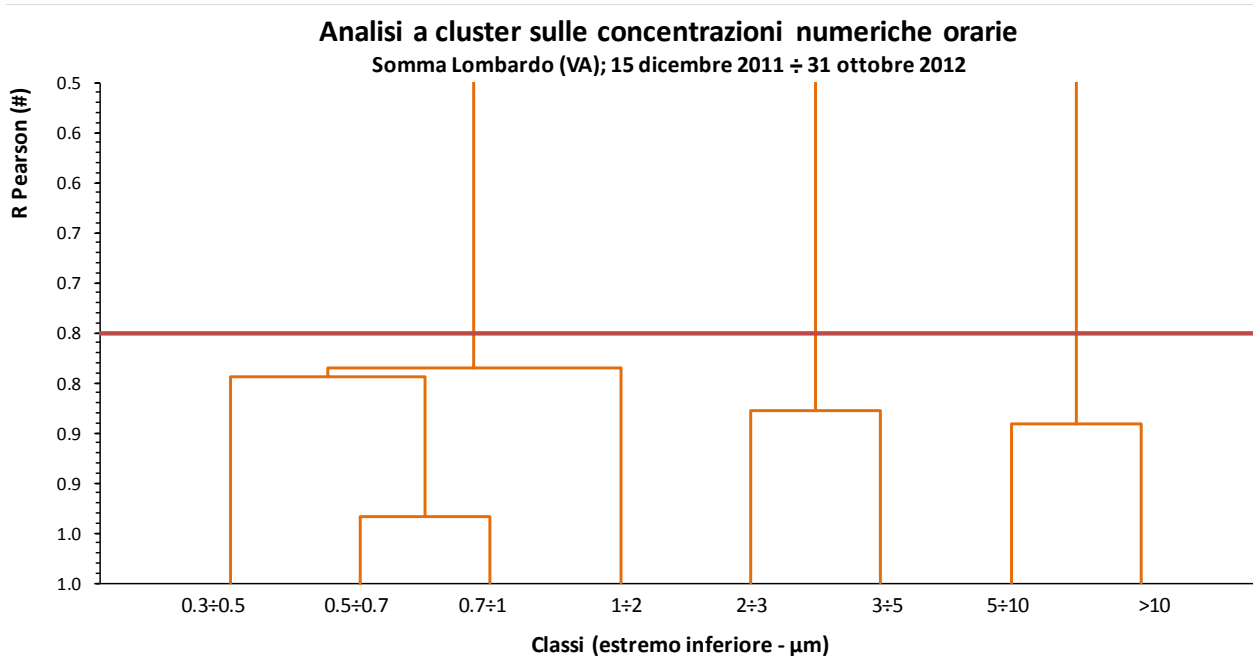


Figura 19 – Dendrogramma delle concentrazioni numeriche orarie a Somma Lombardo.

A partire dalle concentrazioni numeriche orarie, si sono costruite le funzioni distribuzione dimensionale, elaborate per i giorni feriali e i weekend.

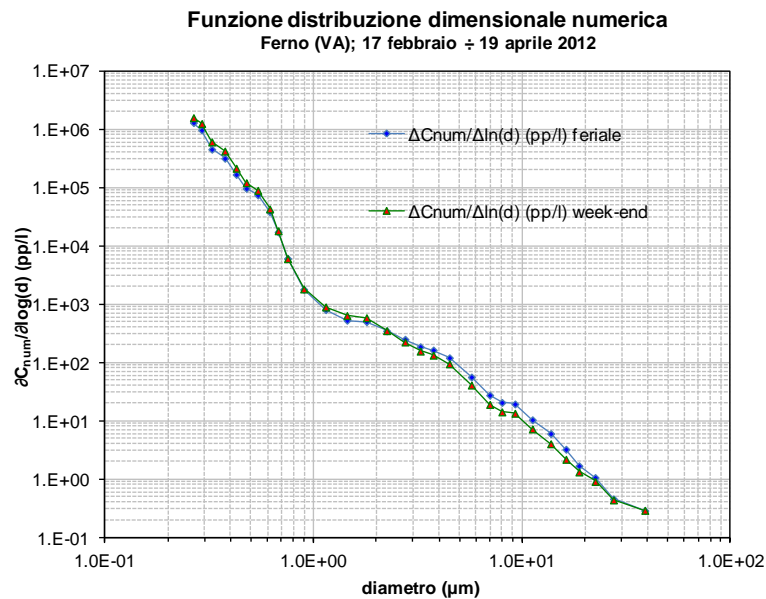


Figura 20 – Funzione distribuzione dimensionale numerica per il sito di Ferno.

Il grafico relativo al sito di Ferno (Figura 20) mostra una maggiore produzione di particelle sub micrometriche durante i weekend, coerentemente con l'ipotesi dell'esistenza di una sorgente di

combustione di biomassa; le particelle della moda di produzione meccanica, invece, aumentano nei giorni feriali quando il traffico è maggiore.

Il grafico relativo al sito di Somma Lombardo (Figura 21), invece, mostra una maggiore produzione di particelle nei giorni feriali per entrambe le mode di produzione: ciò è coerente con la caratteristica di sito da traffico.

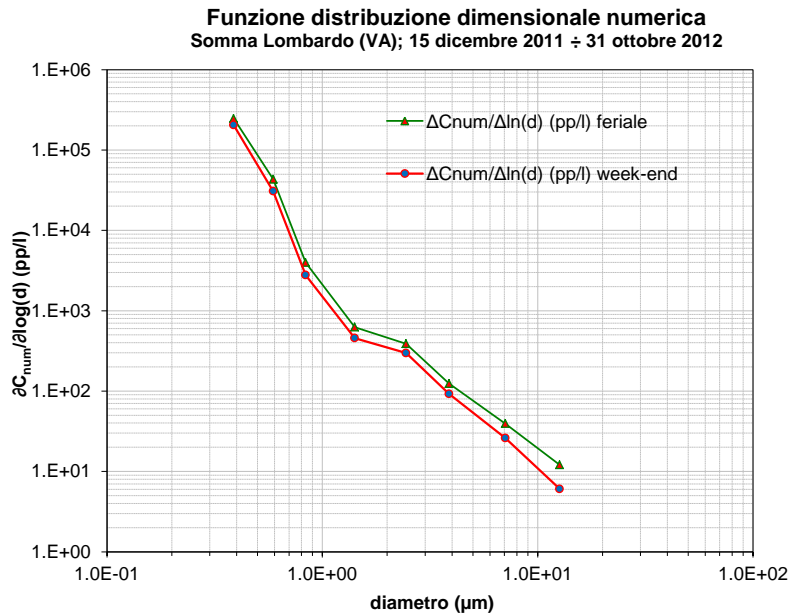


Figura 21 – Funzione distribuzione dimensionale numerica per il sito di Somma Lombardo.

Quanto sopra è ulteriormente confermato dai grafici del giorno tipo feriale e festivo elaborati per Ferno (Figura 22) e Somma Lombardo (Figura 23), per i due cluster più rappresentativi.

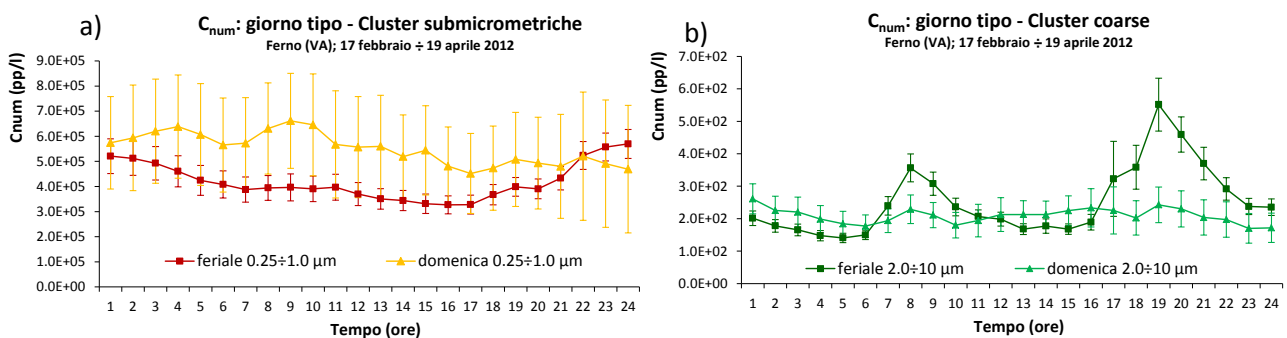


Figura 22 – Giorno tipo feriale e festivo dei due cluster individuati a Ferno.

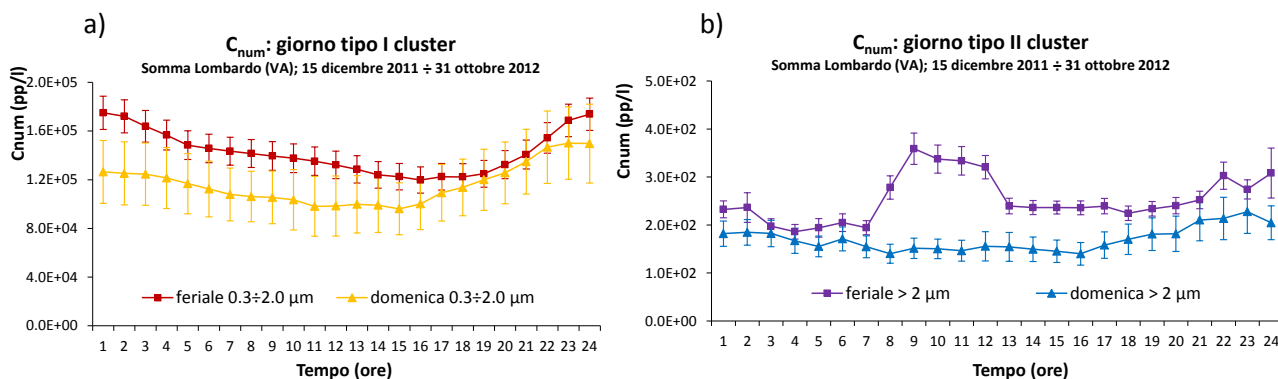


Figura 23 – Giorno tipo feriale e festivo dei due cluster individuati a Somma Lombardo.

In entrambi i siti le particelle più grossolane mostrano che il giorno tipo feriale è modulato dagli andamenti di traffico dell'area, che si abbatte nei giorni festivi. Comportamento differente, invece, viene osservato per le particelle più fini; queste sono più leggere da rimanere in sospensione per tempi anche lunghi ed essere quindi modulate dalle condizioni termodinamiche atmosferiche che evolvono nell'arco della giornata. In particolare, nelle ore diurne il maggior rimescolamento riduce le concentrazioni rispetto alle ore notturne. Anomalia rispetto al tipico trend è che nei giorni festivi a Ferno non vi è sostanziale differenza tra giorno e notte e, oltretutto, la concentrazione numerica è superiore a quella dei giorni feriali: questo comportamento può essere giustificato dall'utilizzo di caminetti domestici nei giorni invernali, come già ampiamente osservato in altre località lombarde.

Conclusioni

L'analisi delle concentrazioni giornaliere di PM₁₀ nelle quattro campagne non ha messo in evidenza differenze significative tra i siti potenzialmente sottoposti alle emissioni aeroportuali rispetto ai siti di controllo e all'agglomerato urbano milanese. In particolare, in inverno l'andamento delle concentrazioni è modulato prevalentemente dalle condizioni meteorologiche generali mentre nelle stagioni più calde, a concentrazioni di PM₁₀ più basse rispetto agli altri periodi, l'inquinamento da polveri risulta meno omogeneo e più influenzato da occasionali episodi locali.

Anche per gli inquinanti in fase gassosa, ovvero COV (Benzene, Toluene, M-P-Xylene, Etilbenzene e O-Xylene), aldeidi (Formaldeide e Acetaldeide) e Naftalene, non si osservano particolari situazioni di criticità. Tutti questi composti sono costituiti da atomi di carbonio e idrogeno e, nelle aldeidi, anche da un atomo di ossigeno e quindi hanno una comune sorgente diffusa, ovvero le combustioni da motori in genere, che utilizzano combustibili fossili perlopiù in fase liquida. Pertanto, nessuno può essere considerato tracciante di una specifica tipologia di motore rispetto ad un'altra. Fra di essi, la normativa sulla qualità dell'aria prevede un limite sulle concentrazioni per il solo Benzene di 5 µg/m³ come media annuale; in ciascun sito, la concentrazione media per tutte le campagne, rappresentative delle varie stagioni dell'anno, è ben al di sotto di tale valore, nonché al di sotto del valore misurato nell'agglomerato milanese per gli stessi periodi. Tutti gli altri composti presentano differenze che rientrano nella normale variabilità del fenomeno. Per quanto riguarda il Naftalene, si deve tener conto che, oltre alle sorgenti diffuse già citate, le sue principali sorgenti in aria sono rappresentate anche dalle esalazioni in prossimità di depositi o distributori di

carburante; ciò può giustificare le differenze nelle concentrazioni della campagna invernale osservate a Casorate Sempione e Somma Lombardo rispetto agli altri siti.

Tra i composti in fase particolato rilevati, il B(a)P è l'unico ad avere un valore limite di concentrazione: 1 ng/m³ come media annuale. Analogamente a quanto esposto sopra, le concentrazioni medie rilevate nelle diverse campagne escludono la probabilità che questo inquinante superi tale limite di legge. Questo composto è tracciante delle combustioni in genere ovvero, oltre che emesso dai motori, è prodotto dalle combustioni di biomassa come avviene, ad esempio, dai camini ad uso domestico. L'importanza di questa sorgente è dimostrata dalla buona correlazione, in particolare a Ferno, con altri due traccianti misurati, specifici di questa tipologia di combustione: il levoglucosano e il potassio. Il confronto con l'agglomerato urbano milanese mostra che le concentrazioni di B(a)P sono maggiori nei siti anche sottoposti all'influenza delle emissioni dei caminetti domestici nel periodo freddo (I e II campagna); nella III campagna (primavera), quando ormai i caminetti sono spenti, le concentrazioni diventano inferiori a quelle di Milano e inferiori ai limiti di rilevabilità.

L'analisi degli elementi ha messo in evidenza l'esistenza di quattro categorie di sorgenti: la risospensione di polvere dal suolo, le combustioni, le attività industriali e la formazione di particolato secondario. La componente risospensione tiene conto sia della turbolenza naturale dell'aria, che della polvere risospesa dal passaggio di veicoli e quindi direttamente dipendente dal traffico, ed è stato possibile quantificarla a partire dalla concentrazione degli elementi terrigeni. Si sottolinea, in particolare, che essa subisce un incremento significativo, in termini percentuali, nel passaggio tra periodo freddo e periodo caldo, anche per la riduzione delle emissioni da riscaldamento e per le condizioni di minore umidità, fattore che riduce il fenomeno della risospensione.

In entrambi i siti ove è stato possibile misurare il numero delle particelle (Ferno e Somma Lombardo), l'analisi delle distribuzioni dimensionali del particolato mostra andamenti tipici: il particolato più grossolano, di origine meccanica, ha un andamento giornaliero regolato dai flussi di traffico. Nei fine settimana, a minori flussi di traffico corrispondono concentrazioni numeriche inferiori per questo cluster di particelle. Invece il cluster del particolato più fine, in parte primario, prodotto dalle combustioni, ed in parte secondario, generato da modificazioni chimico-fisiche dei precursori (agglomerazione di particelle nanometriche, condensazione, etc..), appare regolato essenzialmente dalle condizioni termodinamiche, più favorevoli alla diluizione nelle ore diurne rispetto alle ore notturne. Inoltre a Ferno, a differenza di Somma Lombardo, le concentrazioni numeriche delle particelle sono maggiori nei fine settimana rispetto ai giorni feriali.

Tutte le elaborazioni effettuate sull'insieme dei dati raccolti non hanno messo in evidenza impatti significativi sulla qualità dell'aria ambiente direttamente o indirettamente connessi alle emissioni legate alle attività aeroportuali.