

Progetto PARFIL Il particolato atmosferico fine nella regione Lombardia

LE PRINCIPALI RISPOSTE DEL PROGETTO PARFIL

I E II ANNUALITA'

In questo documento vengono presentati sotto forma di domanda e risposta i principali risultati ottenuti dalle attività del progetto PARFIL svolte durante la prima e la seconda annualità, ottenuti con il contributo di tutte le Unità Operative partecipanti al progetto: ARPA, Università degli Studi di Milano – Bicocca; Università degli Studi di Milano, Politecnico di Milano, Stazione Sperimentale dei Combustibili e Fondazione Lombardia per l'Ambiente.

Tali risultati potranno essere completati ed eventualmente parzialmente rivisti al termine del progetto, che prevede un ulteriore anno di lavoro.

- 1. Quali sono i valori delle concentrazioni di PM_{10} (e possibilmente di $PM_{2.5}$) rilevate secondo i metodi di riferimento in Lombardia? Quale è la dinamica dei loro andamenti in tutta la regione e nelle principali aree critiche? Vi sono differenze tra le concentrazioni nei due anni di sperimentazione PARFIL 2004 e 2005?**

Il progetto PARFIL ha permesso di rilevare le concentrazioni di PM_{10} e $PM_{2.5}$ in diversi contesti della regione, usando campionatori gravimetrici. I risultati dimostrano che la distribuzione del PM_{10} ed ancor più quella del $PM_{2.5}$ sono omogenee nei siti di pianura, con un solo parziale incremento nelle zone intorno a Milano, a Lodi e nell'area mantovana. Peraltro, gli andamenti delle concentrazioni nelle aree urbane si possono suddividere in alcuni grandi gruppi: le città prealpine (a cui tendono ad associarsi le zone di alta pianura); Milano; Sondrio; l'area di pianura comprendente le località di Brescia e Bergamo. La mappa in figura 1.1 mostra la collocazione di tutte le stazioni coinvolte nel progetto e dei punti in cui sono state condotte campagne temporanee di misura. I pallini di colori diversi indicano,

rispettivamente: in blu i siti di misura di PM₁₀ e PM_{2,5}, in rosso quelli in cui si misura solo il PM₁₀ ed in nero quelli in cui si sono svolte delle campagne temporanee.

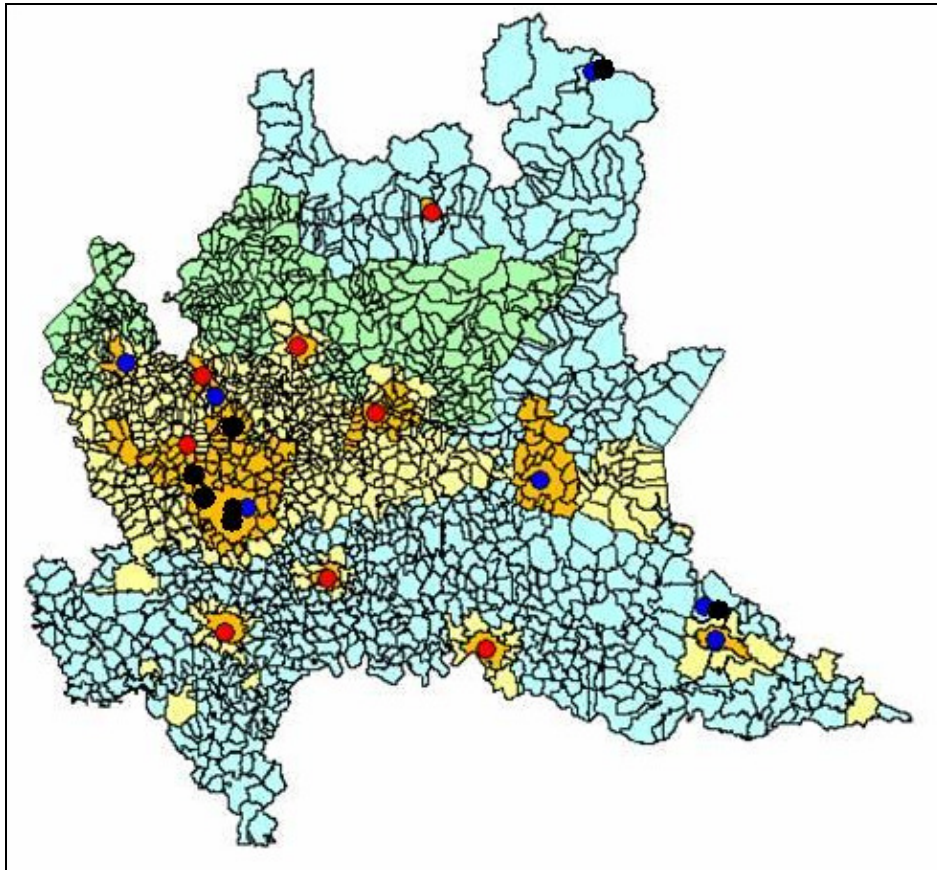


Figura 1.1: collocazione dei punti di prelievo fissi e delle campagne temporanee di PARFIL.
Legenda: pallini blu = siti di misura di PM₁₀ e PM_{2,5}; pallini rossi = siti di misura di PM₁₀; pallini neri = siti di campagne temporanee.

Le località prealpine più ventilate come Lecco, Varese e Sondrio sono caratterizzate da concentrazioni di PM₁₀ relativamente inferiori alle altre città lombarde: in tali aree le medie annuali non hanno superato il valore limite di 40 µg/m³ negli anni 2004 e 2005, mentre nelle altre aree urbane e di pianura si è superato in modo diffuso tale valore (attestandosi in alcune stazioni anche su medie superiori ai 60 µg/m³). Il 95° percentile dei dati in tali aree è frequentemente superiore ai 100 µg/m³.

I valori relativi alle concentrazioni di PM₁₀ rilevati nel 2004 sono di poco inferiori rispetto a quelli registrati nel 2005 a Como, Brescia, Bergamo; a Lecco rimangono sostanzialmente invariate, viceversa a Milano, in via Messina, la concentrazione del 2004 è risultata essere superiore a quella del 2005.

Nel sito alpino di Alpe S.Colombano (2.250 m s.l.m.), posizionato sulle montagne che danno su Bormio (SO), la concentrazione media giornaliera di PM₁₀ supera i 10 µg/m³ solo occasionalmente,

probabilmente per fenomeni di trasporto, e la media annuale è ovviamente ben al di sotto del limite normativo.

Per una visione più dettagliata si rimanda alle tabelle 1.1 e 1.2 che riportano le informazioni riassuntive rispetto alle concentrazioni rilevate nei siti oggetto di studio. Si ricorda che ovviamente la media annuale può essere considerata rappresentativa solo se calcolata sulla base di campionamenti sufficientemente completi e distribuiti durante l'anno.

PM10-2004	n.dati	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rend. (%)
Milano	313	12	54	64	198	38	37	54	82	145	86
Saronno	229	6	33	40	144	24	23	33	48	89	79
Cantù	290	11	37	43	141	25	25	37	52	98	90
Como	352	8	39	48	174	30	26	39	64	107	97
Lecco	295	5	29	37	189	25	20	29	45	85	84
Varese	279	5	28	32	112	19	18	28	41	69	93
Sondrio	129	4	33	37	90	18	23	33	46	73	42
Brescia	304	6	36	43	148	26	24	36	54	94	83
Bergamo	261	9	38	47	179	32	24	38	58	110	77
Cremona	187	13	45	54	143	30	33	45	69	121	94
Lodi	221	7	39	53	182	38	27	39	63	138	97
Mantova	253	10	51	63	216	38	38	51	78	142	86
Boscofontana	251	8	35	46	166	31	25	35	55	118	85
MI-P.Semp.	45	16	95	100	199	51	56	95	134	192	15
Monza-Parco	40	21	55	65	157	35	43	55	88	129	11
S.Colomb.	129	0	5	8	31	7	3	5	12	21	47

PM2.5-2004	n.dati	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rend. (%)
Milano	281	11	44	51	152	30	30	44	65	113	77
Cantù	269	0	17	22	84	16	11	17	27	58	88
Varese	268	3	16	19	66	12	11	16	26	45	90
Brescia	196	5	18	20	57	10	12	18	25	38	66
Mantova	211	2	25	31	115	22	18	25	37	80	72
Boscofontana	252	5	22	29	114	22	14	22	35	71	85
S. Colomb.	176	0	4	6	24	4	3	4	9	14	65

Tabella 1.1: numero di dati e concentrazioni medie minime e massime e percentili del PM10 e del PM2,5 relative alla prima annualità (2004).

PM10-2005	n.dati	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rend. (%)
Milano	329	9	50	59	246	36	32	50	81	129	90
Saronno	300	4	35	43	139	29	20	35	66	95	82
Cantù	230	7	42	49	134	29	26	42	70	103	63
Como	336	5	41	50	280	38	24	41	67	120	92
Lecco	253	4	30	36	148	25	17	30	48	82	69
Varese	325	3	30	36	172	24	17	30	49	85	89
Sondrio	336	6	33	40	138	26	20	33	53	91	92
Brescia	267	5	41	48	171	31	25	41	65	107	73
Bergamo	262	9	46	55	175	36	26	46	75	123	72
Cremona	341	5	48	55	203	32	31	48	71	119	93
Lodi	296	9	48	59	209	38	29	48	80	138	81
Mantova	274	13	73	80	248	45	46	73	98	166	75
Boscofontana	355	5	45	53	191	35	26	45	67	123	97
MI-P. Semp.	273	8	43	56	230	37	31	43	73	128	75
MZ-Parco	74	2	22	38	138	37	11	22	59	119	20
S.Colomb.	158	2	6	8	42	7	3	6	10	20	43
Pavia	40	10	40	44	104	24	28	40	54	99	11

PM2.5-2005	n.dati	min ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mediana ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	dev.st ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	75°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	95°%le ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Rend. (%)
Milano	222	4	26	36	199	31	15	26	46	96	61
Cantù	278	0	20	23	139	16	11	19	32	52	76
Varese	343	0	17	21	68	15	9	17	28	52	94
Brescia	213	4	23	30	116	24	12	23	41	80	58
Mantova	174	7	43	45	127	27	21	43	58	98	48
Boscofontana	221	3	24	36	161	31	13	24	50	98	61
S. Colomb.	183	2	5	7	30	6	3	5	9	19	50
Lodi	252	4	27	37	155	29	16	27	50	95	69

Tabella 1.2: numero di dati e concentrazioni medie minime e massime e percentili del PM10 e del PM2,5 relative alla seconda annualità (2005).

Relativamente alle concentrazioni medie annuali del PM_{2,5}, solo i siti di Cantù e Varese sono caratterizzati da concentrazioni inferiori al limite proposto dalla direttiva attualmente in discussione di 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sulla media annua. Nelle altre postazioni le concentrazioni sono maggiori, con medie annue spesso superiori ai 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I valori complessivamente confermano quelli rilevati dalla rete di rilevamento fissa automatica. Anche gli andamenti stagionali confermano quelli già noti, con delle concentrazioni superiori nei mesi invernali rispetto ai mesi estivi. I grafici di figura 1.2 mostrano i risultati delle misure nei vari siti indagati in termini di medie annue di PM₁₀ e PM_{2,5}.

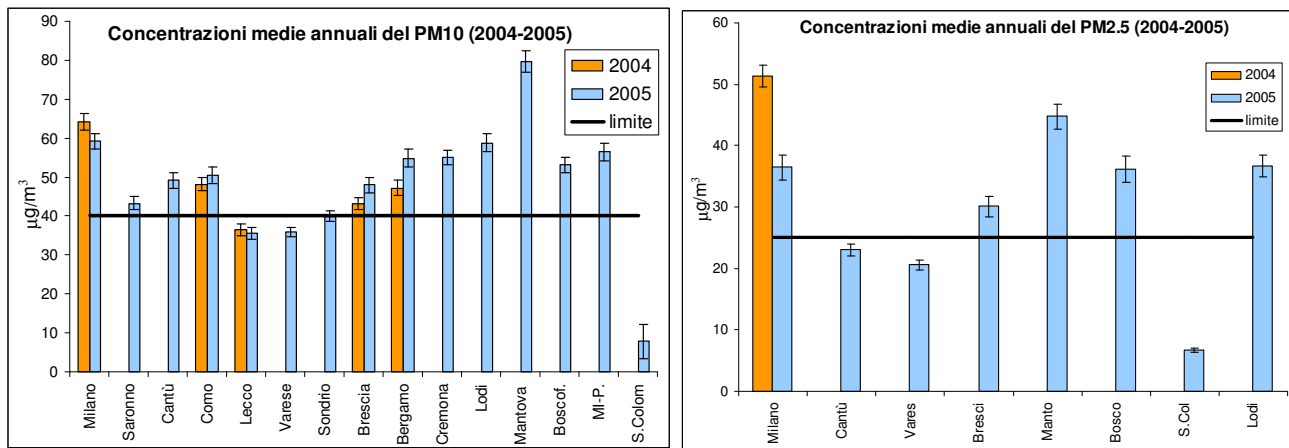


Figura 1.2: medie annue di PM10 e PM2,5 nei siti PARFIL

- È possibile distinguere un valore di *background* naturale (cioè prodotto da sole sorgenti naturali) a livello regionale? È possibile distinguere, sovrapposto a questo, un *background* “regionale “ e magari “metropolitano” provocato dalle emissioni diffuse costanti durante l’anno e quindi indipendenti da episodi di congestione locale o temporale da traffico?

Per quanto riguarda l’individuazione del “background naturale”, va rilevato che per sorgenti naturali di aerosol generalmente si intendono le emissioni biogeniche, lo spray marino, i trasporti di sabbia dai deserti, gli incendi spontanei e le eruzioni vulcaniche. Eccezione fatta per le emissioni biogeniche, gli apporti provenienti da tutte queste altre sorgenti sono da considerarsi, in Pianura Padana, prevalentemente a carattere episodico, e quindi il loro contributo appare trascurabile sul totale della massa rilevata.

L’importanza delle emissioni biogeniche va ricercata sia in termini di contributi primari (es. polline) sia soprattutto sul contributo che esse possono dare alla frazione carboniosa, che, come si evince anche dalla risposta alla domanda 9, è una parte importante della massa totale del particolato. Come peraltro risulta dai più recenti studi di letteratura, l’individuazione del contributo effettivo di questa componente richiede ulteriori approfondimenti.

Un’altra sorgente la cui attribuzione può risultare ambigua è quella delle particelle risospese dal suolo che, a seconda che siano risollevate da agenti naturali (per es. dal vento) o da sorgenti antropiche (per esempio dal traffico), possono essere o meno attribuite al gruppo delle sorgenti naturali. In generale, la separazione fra questi due contributi non è banale, in quanto trattasi di sorgenti con profilo

composizionale molto simile. Complessivamente, questa parte può essere valutata per il PM_{10} tra il 15 e il 25%, mentre sul $PM_{2.5}$ il contributo è inferiore, mediamente dell'ordine del 5 – 10%.

Per quanto riguarda l'individuazione di un "background regionale", va rilevato che, come noto, la Pianura Padana è un bacino aerologico, in cui le emissioni sia in fase gassosa che in fase particolata tendono ad accumularsi a causa delle peculiari condizioni meteorologiche, che favoriscono il ristagno degli inquinanti. Il "background regionale" della pianura padana qui definito fa riferimento a tale accumulo e come tale quindi deve ovviamente intendersi come sommatoria del contributo naturale e delle emissioni antropiche dell'area. Le distribuzioni in numero registrate nei vari siti PARFIL in cui è stato effettuato il monitoraggio mostrano, per tutte le classi dimensionali, differenze non rilevanti a dimostrazione di una sostanziale uniformità nelle concentrazioni in numero a scala regionale e quindi di scarsa dipendenza dalla presenza di sorgenti locali. La campagna di misura condotta nel sito rurale di Boscofontana (MN) mostra a conferma di ciò una sostanziale uniformità nella composizione del PM_{10} misurato nel sito rurale rispetto a quella di Milano e nella forte correlazione temporale degli andamenti di concentrazione che mettono in evidenza il ruolo preminente della meteorologia a scala regionale. Tutto ciò indica chiaramente come il background regionale della Pianura in realtà da conto di per sé di gran parte della massa totale rilevata, con valori che ad esempio a Boscofontana nel 2004 sono risultati pari a $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e nel 2005 a $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Di conseguenza gli apporti locali, importanti nel determinare il valore medio regionale, danno localmente contributi sulla media annua percentualmente meno rilevanti rispetto a tale background regionale.

Il background metropolitano non discosta in modo rilevante dal background regionale; naturalmente, man mano che ci si avvicina alle sorgenti di emissione, come ad esempio a siti ad elevato traffico, si sovrappongono ulteriori incrementi. Come descritto in seguito, la distribuzione dimensionale cambia all'approssimarsi di siti da traffico, con l'aumento della presenza di particelle ultrafini e grossolane.

Differenze rilevanti su tutte le classi dimensionali si registrano invece nel sito remoto alpino, soprattutto nel periodo invernale quando la località posta in quota è sempre ben separata dal fondovalle a causa della bassa altezza dello strato di rimescolamento in cui sono confinate le emissioni provenienti dal fondovalle stesso. Nel sito remoto di Alpe S. Colombano le concentrazioni medie di PM_{10} e $PM_{2.5}$ sono risultate rispettivamente pari a 8 e $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in estate e circa $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in inverno, con un rapporto annuale $PM_{2.5}/PM_{10}$ di circa 0.9; data la natura del sito, questi possono essere considerati i valori di "background remoto" di PM_{10} e $PM_{2.5}$ per la regione Lombardia. Interessante è anche l'andamento temporale stagionale che presenta un trend opposto a quello osservato in tutte le altre stazioni di PARFIL

3. Sono definibili delle correlazioni quantitative tra livelli di particolato e fenomeni meteorologici stagionali o episodici? È possibile stabilire relazioni empiriche tra concentrazioni di PM₁₀ (anche solo di background) e singole variabili meteo (velocità e direzione del vento, temperatura, umidità relativa, gradiente termico, stabilità atmosferica, radiazione solare, evoluzione dei campi barici)?

Come risulta già evidente dalle misure rilevate normalmente dalla rete di rilevamento, anche le misure di PARFIL evidenziano un' importante correlazione tra concentrazioni e variabili meteorologiche, da cui consegue anche uno stretto legame tra le concentrazioni e le stagioni. Le concentrazioni maggiori di PM₁₀ e PM_{2.5} si rilevano durante la stagione invernale, sebbene superamenti del valore limite giornaliero di PM₁₀ di 50 µg/m³ si sono riscontrati anche durante la stagione estiva. I grafici in figura 3.1 forniscono un esempio di quanto osservato durante le prime due annualità del progetto PARFIL riguardo a tali differenze.

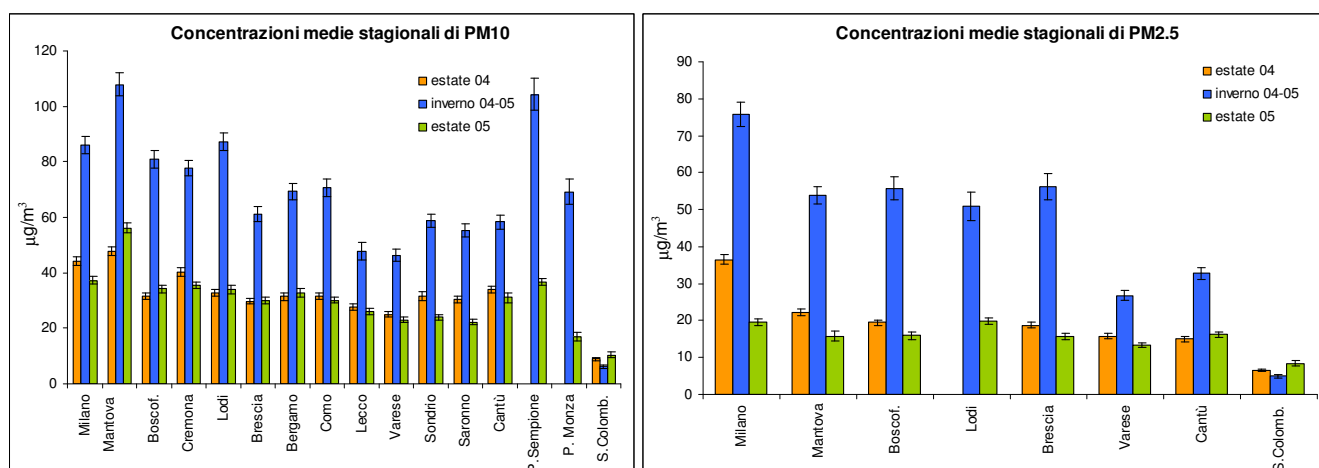


Figura 3.1: andamento delle concentrazioni di particolato al variare delle stagioni nel biennio 2004-2005.

PARFIL evidenzia come l'influenza dei parametri meteo sia diversa in funzione delle classi granulometriche considerate. È stato osservato che il vento riduce significativamente la presenza delle particelle sub-microniche, ma può incrementare la risospensione delle particelle grossolane. Nei grafici seguenti (3.2, 3.3 e 3.4) si riporta come esempio chiarificatore il caso di Arese.

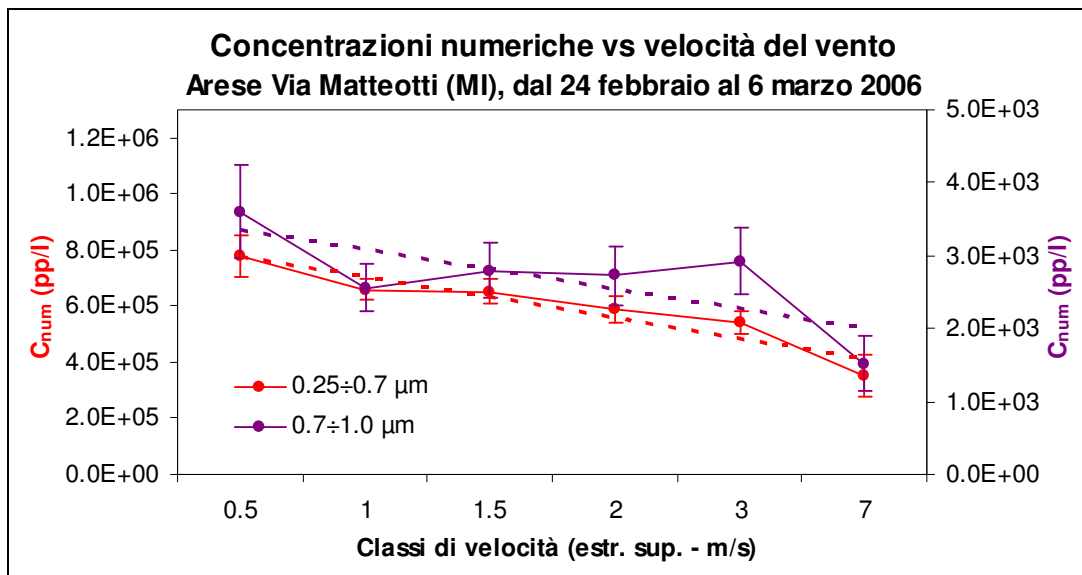


Figura 3.2: andamento delle concentrazioni numeriche per i cluster 0.25÷0.7 μm e 0.7÷1.0 μm in funzione della velocità del vento.

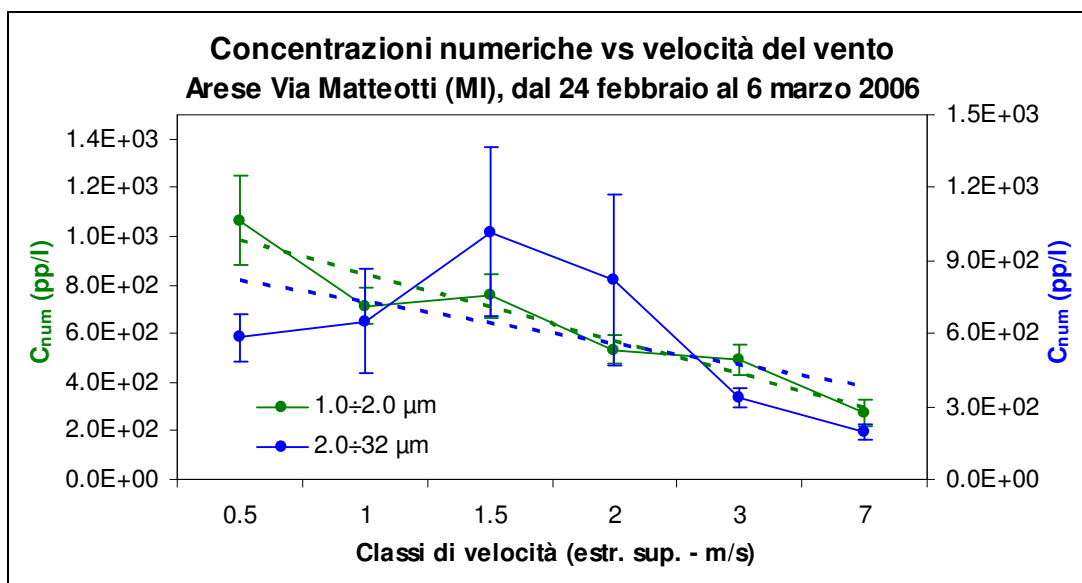


Figura 3.3: andamento delle concentrazioni numeriche per i cluster 1.0÷2.0 μm e 2.0÷32 μm in funzione della velocità del vento.

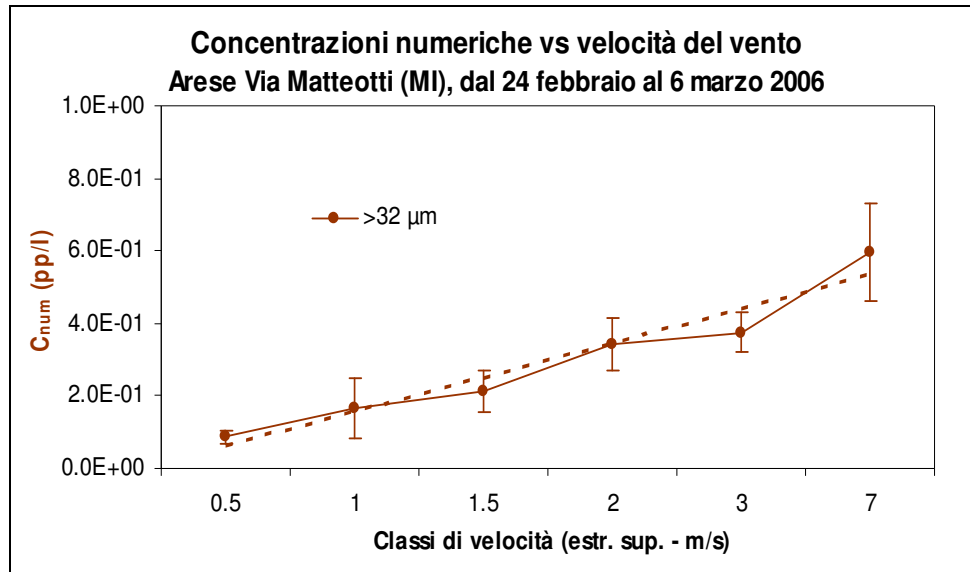


Figura 3.4: andamento delle concentrazioni numeriche per il cluster $>32 \mu\text{m}$ in funzione della velocità del vento.

Per quanto riguarda gli effetti delle precipitazioni, va rilevato che le particelle aerodisperse possono costituire nuclei di condensazione per la formazione delle prime goccioline di pioggia (fenomeno detto rain-out); le gocce di pioggia mentre precipitano possono intercettare particelle di polvere nell'aria creando un effetto di dilavamento dell'atmosfera (wash-out). Si deve tener inoltre conto che la risospensione di polvere dalle superfici bagnate è pressoché completamente inibita, mentre le emissioni di particelle dalle sorgenti primarie antropiche non sono disturbate dalle precipitazioni. Durante le precipitazioni si assiste quindi ad una riduzione delle concentrazioni di polveri aerodisperse per rain-out, per wash-out e per inibizione della risospensione, con un'efficacia che dipende in modo complesso dalle dimensioni delle particelle. In figura 3.5 si evidenzia la riduzione delle concentrazioni numeriche in funzione delle diverse classi dimensionali. La diminuzione è percentualmente più rilevante per le classi dimensionali maggiori, mentre è meno efficace sulle particelle più fini (rispetto alla concentrazione numerica).

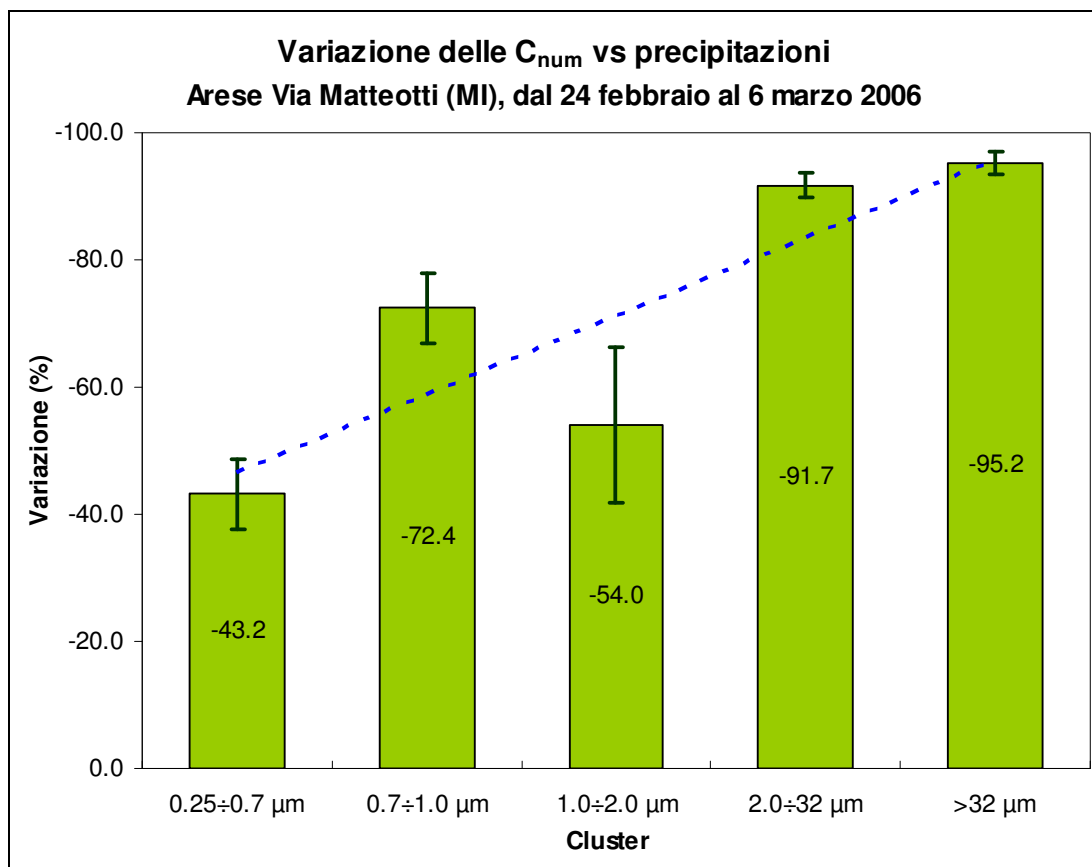


Figura 3.5: Riduzione della concentrazione numerica in funzione delle precipitazioni

La stabilità atmosferica dipende, come ben noto, da diverse variabili quali il gradiente termico, la velocità del vento, la radiazione solare, l'evoluzione dei campi barici, l'umidità relativa; tutti questi fattori combinati tra loro determinano complessivamente la capacità dispersiva dell'atmosfera sugli inquinanti. L'effetto della stabilità atmosferica sulle diverse classi dimensionali dipende oltre che dal legame diretto instabilità – dispersione, dalla diversa distribuzione delle classi nel corso delle diverse ore della giornata. Infatti, le particelle sub-micrometriche secondarie presentano le maggiori concentrazioni in corrispondenza delle ore di maggiore stabilità atmosferica, ossia quelle notturne; le particelle più grossolane, viceversa, nelle ore notturne tendono a sedimentare, mentre nelle ore diurne, caratterizzate da maggiore turbolenza, le emissioni prevalgono sulla sedimentazione. In figura 3.6 è illustrato il comportamento delle diverse classi dimensionali durante la giornata.

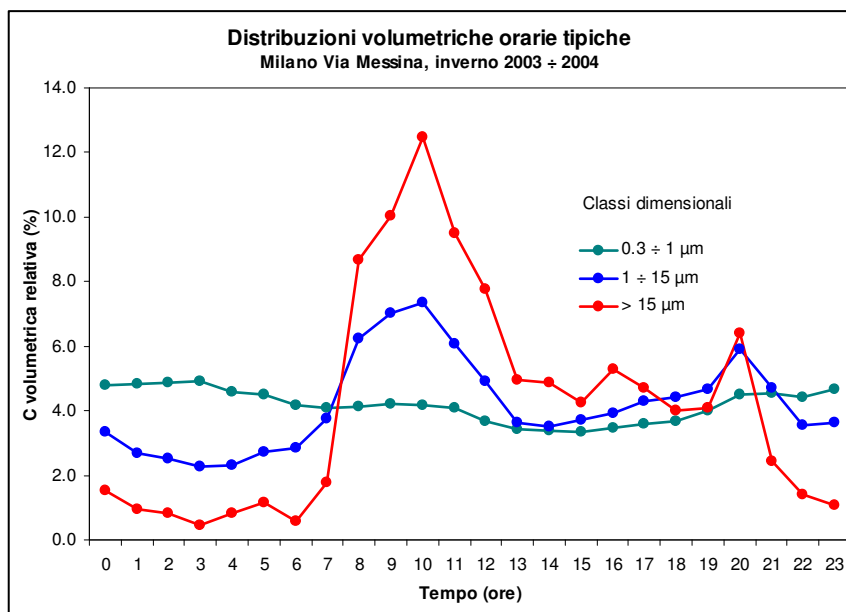


Figura 3.6: andamento medio delle concentrazioni di diverse classi dimensionali di PM10 durante una giornata.

Un altro parametro importante per valutare il grado dispersivo dell'atmosfera è costituito dall'altezza di rimescolamento, che pur non essendo sempre un parametro fisico reale, permette una modellizzazione del livello fino al quale gli inquinanti atmosferici si disperdono. La relazione inversa tra concentrazione e concentrazione di PM₁₀ è ben nota e illustrata nei grafici di figura 3.7 e 3.8.

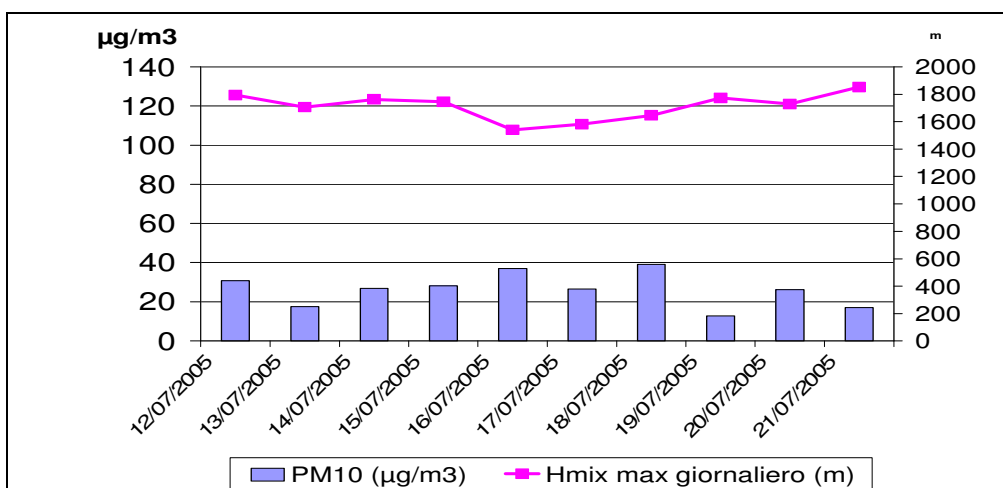


Figura 3.7: correlazione tra concentrazione di PM10 e altezza dello strato di rimescolamento (estate).

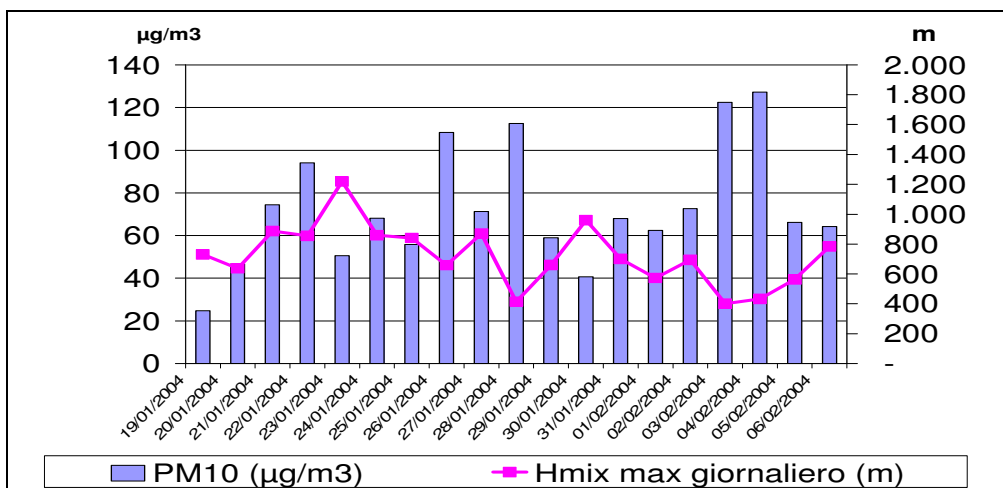


Figura 3.8: correlazione tra concentrazione di PM10 e altezza dello strato di rimescolamento (inverno).

Il forte legame tra altezza di rimescolamento e concentrazioni di inquinanti è ben testimoniato anche dai risultati dei campionamenti condotti con un pallone aerostatico, che ha permesso di ricostruire il profilo verticale dell'inquinamento fino ad oltre 300 m. In figura 3.9, a titolo di esempio, è ben evidente che il numero di particelle di classe dimensionale 0,3 µm – 1,6 µm risulta essere pressoché costante fino a 250 m, quota di inversione in quel momento, per poi cadere bruscamente ad un numero anche di un ordine di grandezza inferiore sopra tale quota.

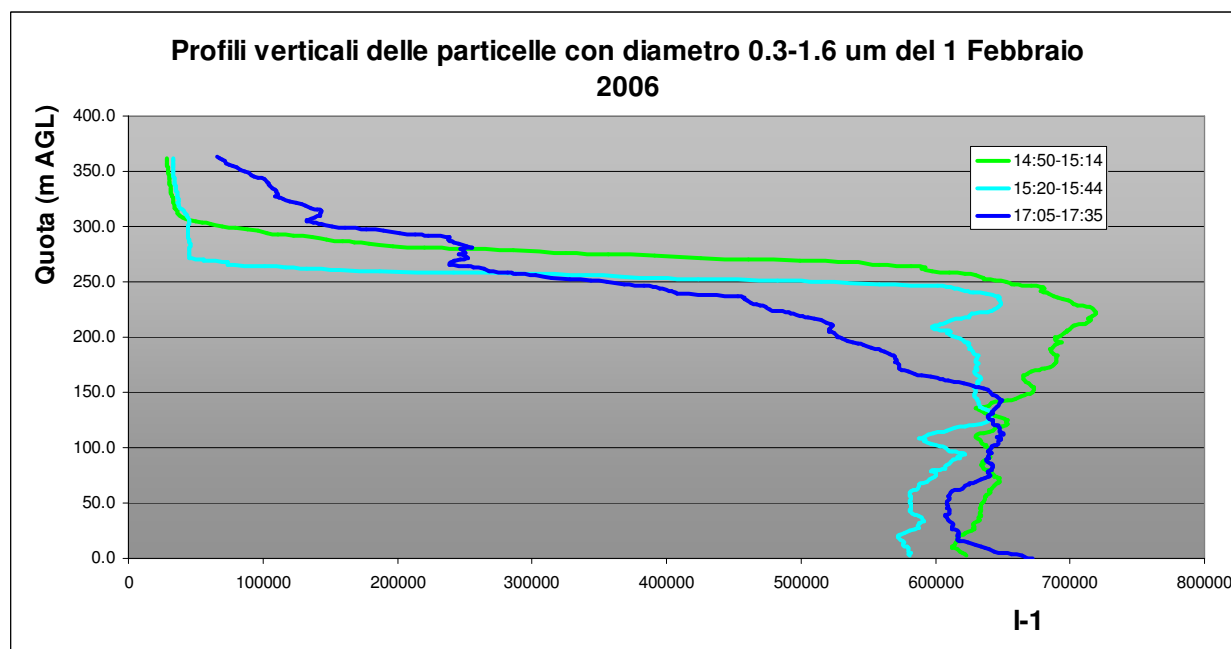


Figura 3.9: esempio di profilo verticale ottenuto con pallone aerostatico.

A dimostrazione del forte legame esistente tra variabili meteorologiche e concentrazioni di PM₁₀ si è studiato il legame statistico tra le suddette variabili nel sito specifico di Milano via Messina. Le relazioni tra le concentrazioni di PM₁₀ e le altre variabili di qualità dell'aria e meteorologiche sono

state ottenute con tecniche di regressione multipla sviluppate distintamente sui dati invernali ed estivi ed hanno fornito le seguenti formulazioni, ovviamente non estrapolabili a livello generale:

Stagione invernale:

$$PM_{10} = 0.30 \cdot NO_x + 1.25 \cdot SO_2 - 8.65 \cdot V.vento + 4.92 \cdot CO + 1.11 \cdot O_3 + 0.03 \cdot h - 0.54 \cdot T + 8.16$$

Stagione estiva:

$$PM_{10} = 1.76 \cdot T + 0.35 \cdot NO_x + 11.86 \cdot CO - 0.02 \cdot h + 4.26 \cdot V.vento + 0.11 \cdot O_3 - 25.38$$

Le capacità descrittive di tali formulazioni sono rappresentate graficamente in figura 3.10 e 3.11:

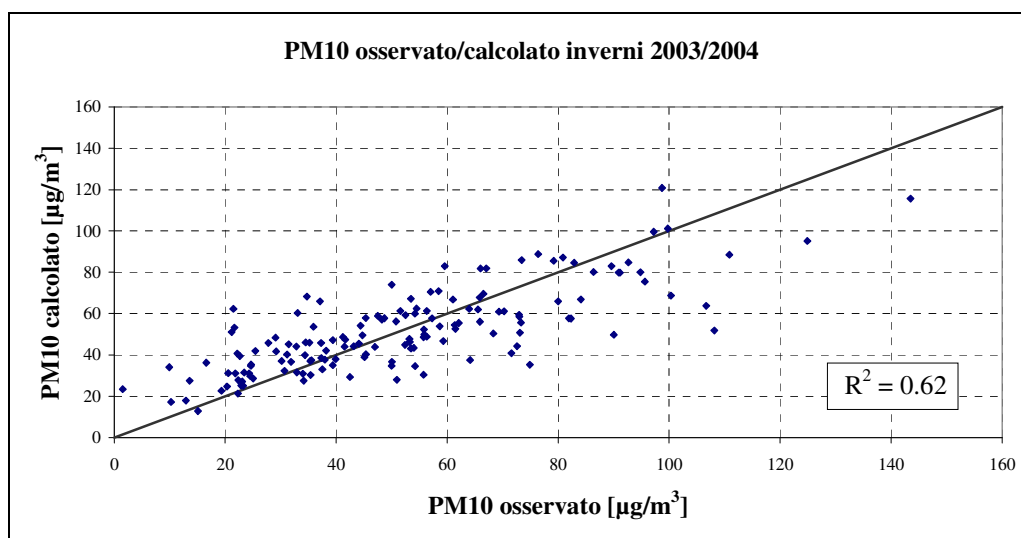


Figura 3.10: confronto tra le concentrazioni di PM10 osservate e quelle calcolate mediante metodo statistico (inverni 2003-2004).

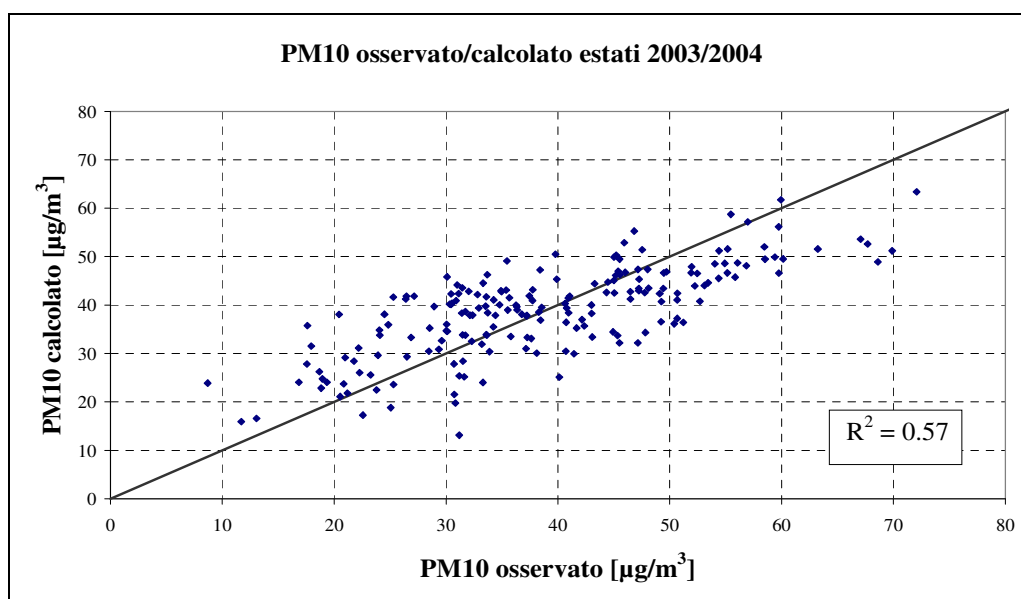


Figura 3.11: confronto tra le concentrazioni di PM10 osservate e quelle calcolate mediante metodo statistico (estati 2003-2004).

4. Sono evidenziabili correlazioni tra andamento delle concentrazioni di particolato fine e di altri inquinanti sia primari che secondari?

Il particolato è costituito da particelle di dimensione e composizione diversa ed ha natura in parte primaria (emesso cioè dalle sorgenti direttamente come tale) ed in parte secondaria (che si forma in atmosfera a partire da emissioni di altre sostanze). Quindi a seconda che si consideri il particolato di origine primaria o secondaria, si possono trovare in ambiente esterno buone correlazioni con gli inquinanti primari o con quelli secondari.

In relazione alla composizione del particolato, PARFIL, come discusso nella risposta alle domanda 9, ha trattato separatamente la frazione primaria, costituita da terrigeno, carbonio elementare e materia organica primaria, da quella secondaria, composta invece da nitrato e solfato di ammonio e materia organica secondaria, in quanto, a seconda del caso, esso si comporta come una sostanza primaria o secondaria. Nel primo caso mostra un andamento fortemente correlato a quello delle sorgenti: se il punto di prelievo è caratterizzato principalmente dalla presenza di traffico, si osserva nel particolato un andamento assimilabile ad esempio a quello del monossido di carbonio. La parte secondaria è caratterizzata invece, come ad esempio l'NO₂, da dinamiche più complesse legate ai tempi di formazione, trasporto e dispersione, meno riconducibili alle sorgenti dei precursori.

Per quanto riguarda la distribuzione dimensionale, generalmente la frazione ultrafine è identificabile come particolato di origine primaria. In effetti, gli studi condotti in PARFIL hanno evidenziato che il particolato fine al di sotto di 0.1 µm, è correlabile al CO e in generale agli inquinanti primari. La frazione compresa tra 0.1 µm e 1 µm è più correlabile all'NO₂, data la sua natura prevalentemente secondaria. Le frazioni più grossolane sono di nuovo più assimilabili agli inquinanti primari, in quanto più legate a emissioni dirette o a fenomeni di risollevarimento.

A dimostrazione di quanto detto finora, si riporta come esempio l'analisi delle distribuzioni dimensionali nel sito di Milano via Messina, in cui appare evidente come l'andamento delle particelle ultrafini ($d < 21$ nm, figura 4.1) sia correlabile all'andamento del CO e dell'NO, noti inquinanti primari; lo stesso andamento si osserva sulle le particelle grossolane, mentre le particelle comprese tra 0,268 e 0,800 µm mostrano un andamento tipicamente secondario (figura 4.2).

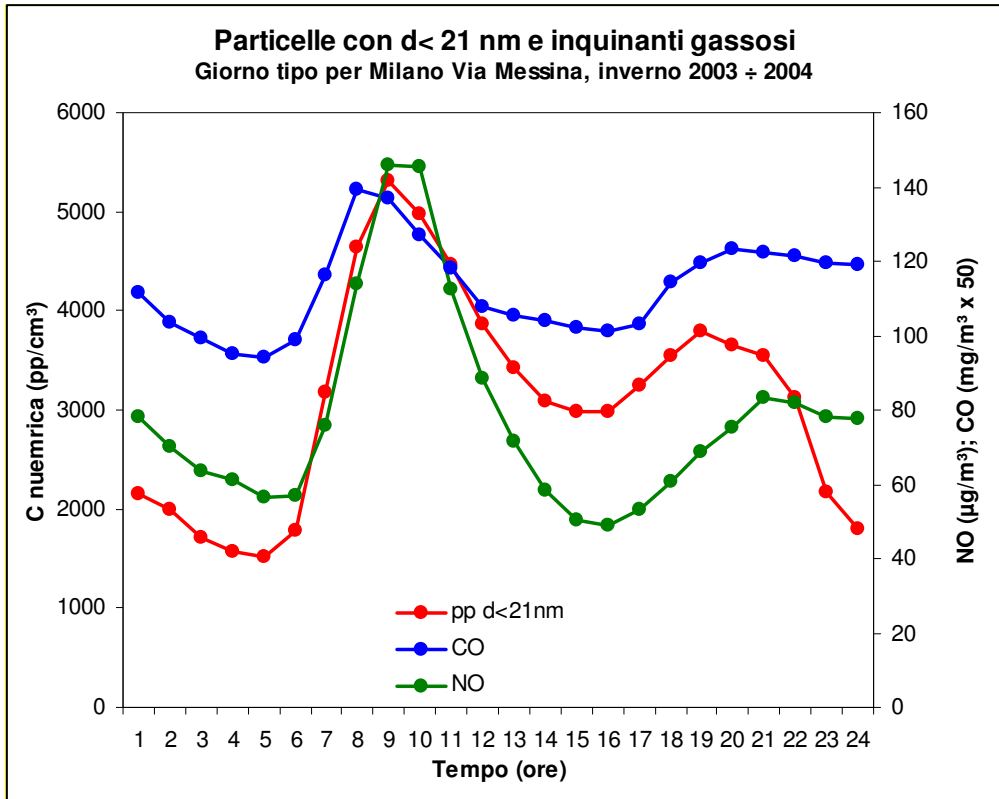


Figura 4.1: andamento delle particelle ultrafini rilevato nel sito di via Messina e confrontato con quello di altri inquinanti.

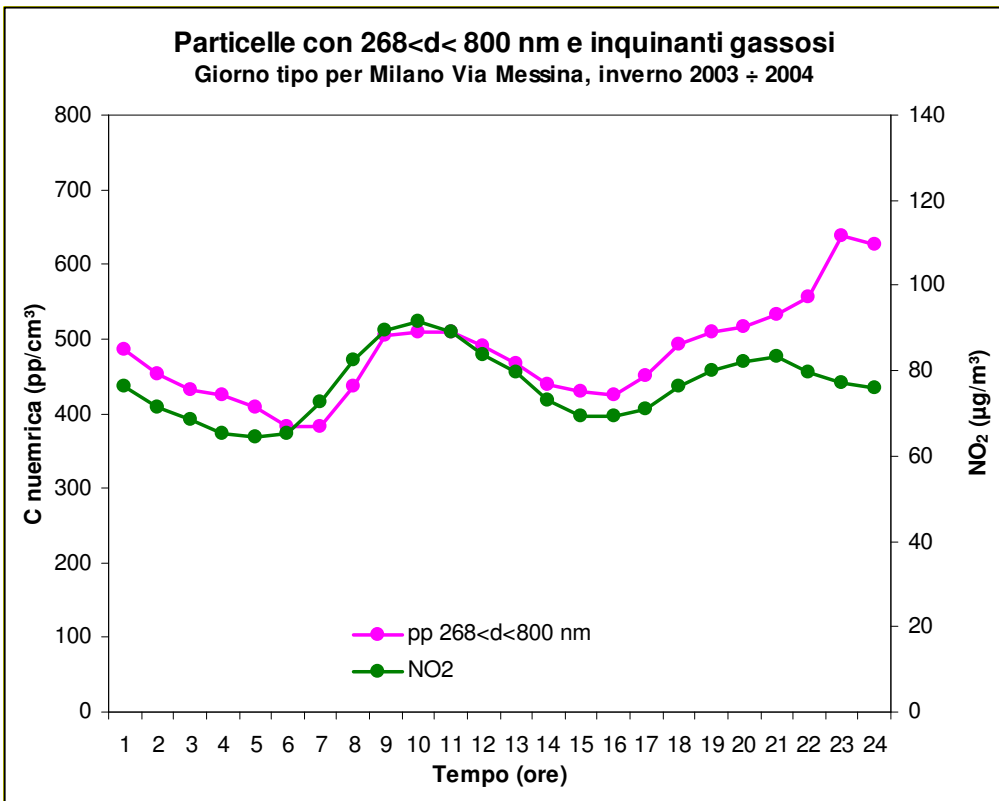


Figura 4.2: andamento delle particelle di diametro compreso tra 268 e 800 nm rilevato nel sito di via Messina e confrontato con quello di altri inquinanti.

5. Quali sono le principali sorgenti di emissione e i loro contributi sia globali (*apportionment*) che specifici (fattori di emissione)?

L'uso dell'inventario delle emissioni INEMAR permette di rispondere in via generale a questa domanda, verificando i contributi relativi delle diverse sorgenti di emissione degli inquinanti (non solo del PM₁₀) in Lombardia. Già dalla consultazione dell'inventario risulta evidente che il contributo relativo delle diverse sorgenti cambia in relazione all'area considerata. Il progetto PARFIL mostra innanzitutto come il particolato rilevato sia in parte di natura primaria, cioè direttamente emesso come tale, e in parte, per una frazione rilevante, di natura secondaria. Le analisi di composizione (vedi domanda 9) mostrano che il particolato di origine secondaria supera complessivamente in massa quello di origine primaria e quindi anche nella consultazione dell'inventario delle emissioni deve essere attentamente valutata non solo l'emissione di PM₁₀ primario ma anche quella dei precursori (NO_x, SO₂, COV ecc.).

La parte primaria è riconducibile principalmente alle emissioni dirette del traffico, al risollevarimento indotto sia dal traffico che dagli eventi meteorologici, ad alcune emissioni industriali e, durante l'inverno, alle emissioni da combustione di biomassa per riscaldamento.

Per quanto riguarda la parte secondaria è necessario distinguere innanzitutto tra secondario organico e secondario inorganico. Il secondario organico (in prima analisi stimabile in circa 15% sul PM₁₀ e circa 20% sul PM_{2.5}; tale tema potrà essere approfondito nella III annualità), ha un'origine complessa, riconducibile ad una molteplicità di sorgenti tra cui traffico, combustione di biomassa, uso di solventi, emissioni biogeniche ecc.; anche questo aspetto meriterebbe successivi approfondimenti. Il secondario inorganico, che costituisce il 30 – 40% della massa totale di PM₁₀ e PM_{2.5}, è riconducibile essenzialmente a ossidi di azoto, di zolfo ed ammoniacale. Gli ossidi di azoto sono notoriamente prodotti dalle combustioni ad alta temperatura e quindi, come INEMAR evidenzia, si possono equamente ripartire tra traffico, riscaldamento e attività produttive. Gli ossidi di zolfo sono legati alla produzione e all'utilizzo di combustibili contenenti zolfo; l'ammoniaca è principalmente legata alle emissioni tipiche dell'agricoltura e degli allevamenti. Questo tema sarà approfondito nel corso della III annualità. Nel grafico di figura 5.1 vengono presentati i risultati di INEMAR in merito alle sorgenti di particolato.

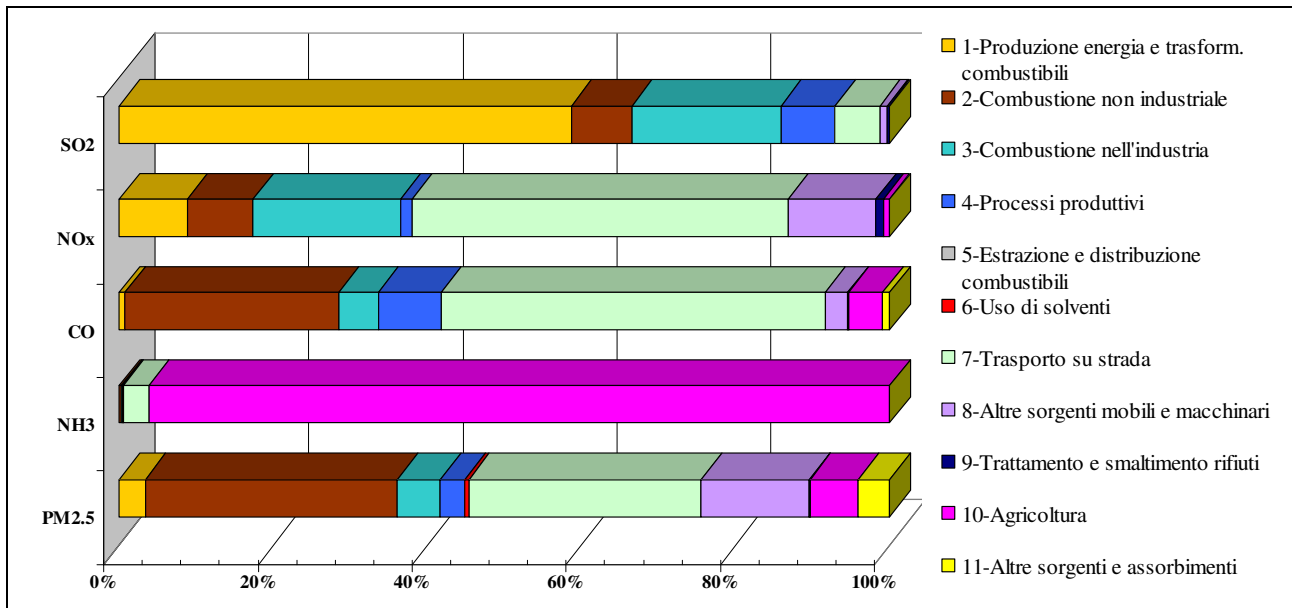


Figura 5.1: suddivisione percentuale del particolato atmosferico in base alle fonti.

Un'ulteriore considerazione che deriva dai risultati del progetto PARFIL è che, sebbene le concentrazioni totali di particolato non si differenzino in massa in modo rilevante almeno nell'ambito della pianura, la composizione e quindi le sorgenti possono cambiare soprattutto rispetto alla parte primaria: le stazioni più vicine alle vie di traffico permettono di evidenziare come il contributo del risollevarmento conti percentualmente di più, così come le sorgenti in prossimità di aree industriali danno riscontro di tale specifico apporto. Il secondario, connesso alle emissioni gassose, risente meno della vicinanza delle sorgenti in quanto richiede tempi di formazione tali da smorzare il contributo delle emissioni più vicine rispetto alla massa del particolato in formazione, mediandolo su tutte le emissioni che si rimescolano nel bacino.

Si riporta di seguito un esempio delle prime esperienze di source apportionment effettuate a Erba (figure 5.2 e 5.3).

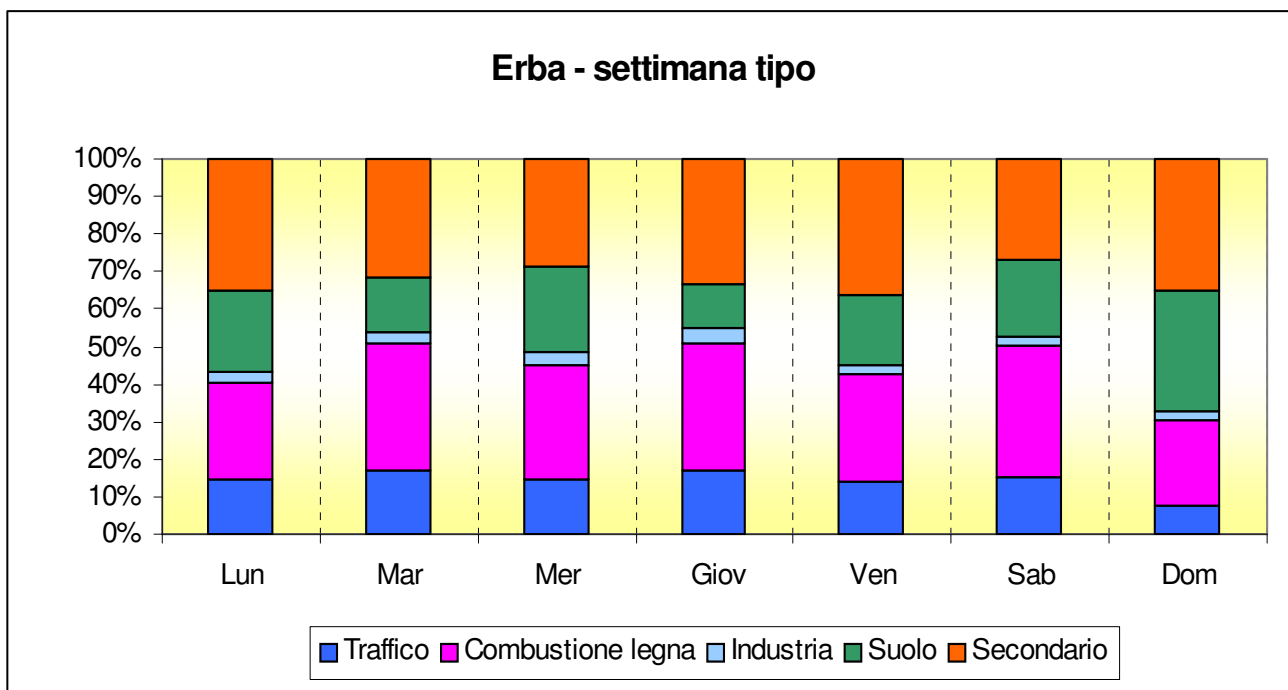


Figura 5.2: contributi percentuali delle varie fonti alla formazione della massa totale del PM10 in una settimana tipo a Erba.

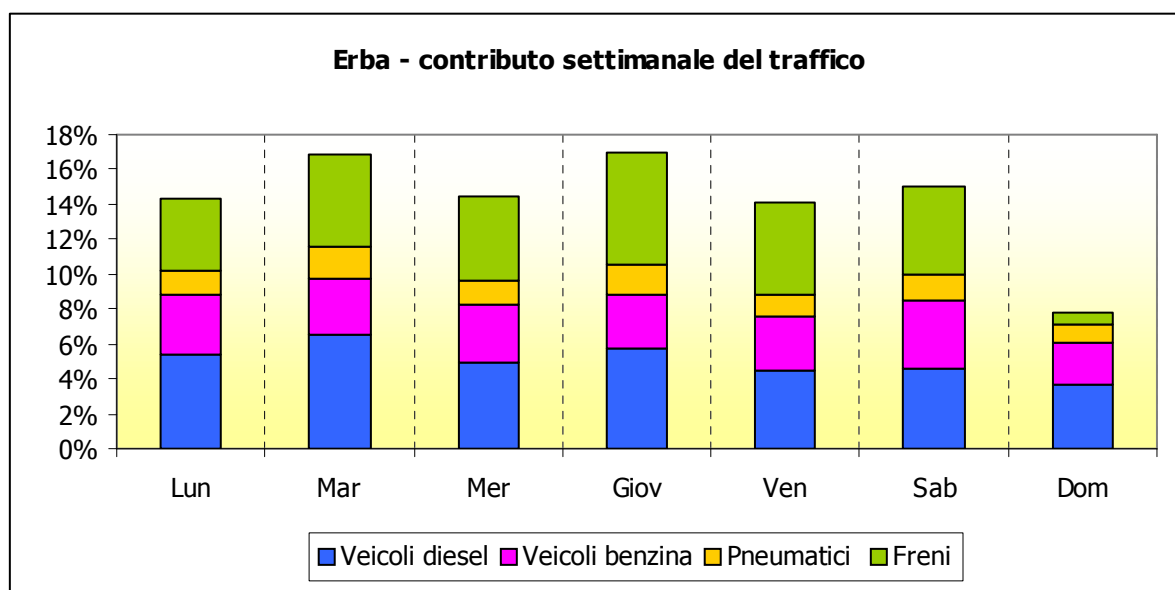


Figura 5.3: contributi percentuali di diverse componenti legate al traffico alla formazione della massa totale del PM10 in una settimana tipo a Erba.

Si rimanda alle domande successive (6, 7, 8, 9) un confronto tra i fattori di emissione specifici per macroattività.

6. Tra i veicoli commerciali leggeri diesel si evidenziano differenze significative tra le diverse classi Euro (EURO 0, 1, 2, 3, 4)? È possibile evidenziare un effetto della manutenzione e dell'invecchiamento dei veicoli?

Nel progetto PARFIL è stata svolta una sperimentazione finalizzata alla caratterizzazione delle emissioni inquinanti in condizioni di guida tipiche della circolazione in ambiente urbano ed extraurbano, utilizzando un campione di veicoli rappresentativo del parco circolante in Lombardia, costituito da quattro autoveicoli diesel commerciali leggeri (A, B, C e D) con differente grado di omologazione (rispettivamente Euro 1, 2, 3 e 4). Due dei quattro furgoni, (A - Euro1 e B - Euro 2), erano equipaggiati con un sistema di alimentazione del motore di tipo tradizionale, mentre gli altri due esemplari (C - Euro 3 e D - Euro 4), erano dotati di un dispositivo catalitico ossidante e dell'EGR (Exhaust Gas Recirculation) per l'abbattimento degli inquinanti.

Dato l'esiguo numero di autoveicoli esaminati in rapporto alla numerosità dei fattori che influenzano le emissioni (tipologia di motorizzazione e presenza di dispositivi di abbattimento delle emissioni, cilindrata e potenza del motore, stato di degrado per invecchiamento dell'autoveicolo e del motore e sua manutenzione, ecc.), le conclusioni del programma devono considerarsi qualitative.

La sperimentazione ha consentito, comunque, di ottenere utili informazioni che, aggiunte ai risultati del precedente programma sperimentale svolto nell'ambito del progetto PUMI, hanno permesso di approfondire le conoscenze sul comportamento degli autoveicoli diesel di medie dimensioni (furgoni), adibiti al trasporto merci, nel traffico di un centro urbano a riguardo delle emissioni inquinanti, con particolare riferimento all'emissione del particolato. Questo è stato classificato come PM_{10} , poiché il suo campionamento è stato eseguito in laboratorio applicando un ciclone per il taglio a $10\ \mu m$ sulla sonda relativa posta nel tunnel di diluizione del sistema convenzionale CVS (Constant Volume Sampling) di campionamento dei gas di scarico.

E' stato evidenziato come, in generale, il livello di emissione delle specie inquinanti regolamentate gassose è diminuito sensibilmente passando dall'autoveicolo con livello di omologazione inferiore (Euro 1) a quello con grado di omologazione superiore (Euro 4). Le differenze maggiori sono state osservate tra i due modelli più vecchi (Euro 1 e 2) e quelli più recenti (Euro 3 e 4), poiché solamente questi ultimi erano dotati di sistemi di abbattimento delle emissioni. Anche per l'emissione del particolato è stata osservata una tendenza simile. Al contrario di quanto ci si potesse aspettare, sul furgone B (Euro 2) è stato osservato un livello di emissione di particolato e di ossidi di azoto superiore a quello rilevato col furgone A (Euro 1), specialmente in condizioni di guida ad elevata velocità. Si è supposto che la causa di ciò fosse determinata da un malfunzionamento

dell'apparato di alimentazione di questo esemplare, che al momento delle prove aveva accumulato più di 215.000 km di percorrenza. A conferma del fatto che il comportamento dell'autoveicolo B fosse da considerarsi anomalo, nell'analisi dei dati sperimentali si è tenuto conto anche dei risultati ottenuti nel precedente progetto PUMI sull'unico esemplare di furgone provato (B*, omologato Euro 2). La caratterizzazione dimensionale delle particelle, eseguita con l'apparecchiatura ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) sull'aerosol prodotto dopo la diluizione dei gas di scarico degli autoveicoli campione con aria ambiente (sistema CVS), ha messo in evidenza come la frazione PM₁₀ del particolato sia costituita per più del 99,9 % da particelle di diametro aerodinamico inferiore a 800 nm (0,8 µm), indipendentemente dal livello di omologazione dell'autoveicolo.

Il picco di emissione delle particelle ultrafini si è collocato per i tre furgoni di modello più vecchio (Euro 1, 2 e 3) intorno a 70 nm, mentre per quello del furgone Euro 4 il picco è stato rilevato in corrispondenza di un diametro aerodinamico prossimo a 40 nm.

Nel complesso l'analisi dei risultati ottenuti grazie a questa sperimentazione ha confermato quanto già osservato nel precedente lavoro sperimentale (PUMI). Sulla base delle informazioni raccolte si può stabilire che:

- il livello tecnologico degli autoveicoli influenza sensibilmente tutte le emissioni inquinanti, in particolare di PM₁₀, espresse sia in termini di massa che di numero di particelle. Gli autoveicoli di più vecchia generazione (Euro 1 e 2), con tecnologie motoristiche obsolete, risultano i maggiori emettitori di particolato. Gli autoveicoli di modello più recente, dotati di tecnologie motoristiche e di riduzione delle emissioni più avanzate (catalizzatore ossidante, sistema di iniezione ad elevata pressione *common rail*, iniezione diretta con controllo elettronico dei parametri di iniezione e il ricircolo dei gas di scarico), hanno presentato livelli di emissione del PM₁₀ complessivamente più bassi in condizioni di guida su percorso urbano. Viceversa, su percorso extraurbano l'indagine sperimentale ha messo in evidenza un incremento di emissione del particolato per il furgone D (Euro 4). La caratterizzazione dimensionale ha indicato inoltre, per questo furgone, uno spostamento del picco di emissione da 70 nm a 40 nm della frazione ultrafine in tutte le condizioni di guida. Come già precisato, poiché riferito ad un unico esemplare Euro 4, il risultato trovato non può considerarsi generalizzabile.

Per stabilire se gli autoveicoli diesel Euro 4 emettano “normalmente” un numero elevato di particelle più fini rispetto agli autoveicoli con un livello di omologazione inferiore sarebbe necessario svolgere una sperimentazione estesa ad altri autoveicoli con tecnologia motoristica avanzata, al fine di confermare il risultato trovato. In ogni caso, le prove effettuate mostrano che in mancanza di filtro antiparticolato il contenimento delle emissioni della frazione primaria risulti più difficile anche per la classe euro 4.

- Esiste un'influenza non trascurabile delle condizioni di guida dell'autoveicolo (velocità/carico) sia sulle emissioni gassose che sull'emissione del PM₁₀, come evidenziato attraverso la registrazione del livello di emissione istantanea nello svolgimento delle prove. L'emissione più intensa di PM₁₀ è risultata associata in modo evidente alle fasi di accelerazione del ciclo di guida, specialmente quando l'autoveicolo è in già in moto a velocità elevata. Modulazioni più significative del livello di emissione con la velocità dell'autoveicolo sono state osservate per i furgoni di modello più recente (Euro 3 ed Euro 4).
- I risultati ottenuti con l'esemplare B (Euro 2), che aveva accumulato più di 215.000 km di percorrenza, non confrontabili con quelli degli altri esemplari esaminati principalmente in condizioni di guida ad elevata velocità, hanno messo in evidenza anche gli effetti generati da una carenza di manutenzione del motore. Come è ben noto la perdita della corretta regolazione degli organi di alimentazione del propulsore, determinata dall'invecchiamento dell'autoveicolo, causa generalmente un peggioramento delle emissioni inquinanti, e in particolare modo quella del particolato. Questa evidenza mette in rilievo l'importanza dello stato di invecchiamento/usura del motore per valutare l'impatto ambientale causato dal traffico automobilistico costituito da un parco circolante disomogeneo per anzianità degli autoveicoli.

7. Tra le altre sorgenti come incide il tipo di combustibile per gli impianti termici di riscaldamento?

Dall'esame dei dati ottenuti nella sperimentazione sui combustibili (Ricerca 2005 del Ministero Ambiente con contributo della Regione Lombardia) emerge il ruolo preponderante dell'olio combustibile nelle emissioni di PM₁₀ nell'ambito dei combustibili tradizionali (gas naturale, gasolio, olio residuo). Altro fattore importante è costituito dall'incidenza dei regimi transitori (in particolare l'accensione) sul bilancio delle emissioni.

Per le biomasse legnose, i dati disponibili all'inizio di questa ricerca indicavano fattori di emissione superiori a quelli dell'olio combustibile.

In tabella 7.1 si riportano i fattori di emissione di PM₁₀ medi usati in INEMAR che tengono conto (in particolare per la legna) degli impianti esistenti al 2003 (ivi compresi camini aperti etc.). Si riportano altresì i consumi e quindi le emissioni totali stimate da questa macro attività.

	PCI GJ/t	Consumi GJ/anno	%	FE CO2 kg/GJ	CO2 kt/anno	FE PM10 g/GJ	PM10 t/anno
gasolio	42,68	33.810.467	9,9 %	73	2482	5	168
GPL	46,02	9.661.256	2,8 %	62	605	0,2	2
kerosene	43,12	301.840	0,1 %	73	22	-	-
metano	48,93	266.429.865	77,9 %	56	14787	0,2	54
olio combustibile	40,72	1.498.595	0,4 %	75	113	33	49
legna	13,00	30.214.344	8,8 %	-	-	203	6961
Totali		341.916.367	100 %		18.008		7.234

Tabella 7.1: fattori di emissione di PM10 medi riferiti all'anno 2003 (INEMAR).

8. Quali sono le caratteristiche delle emissioni da legna per il riscaldamento?

In base ai dati ottenuti nella seconda annualità è possibile effettuare alcune significative valutazioni iniziali:

i) Gli apparecchi a pellet presentano vantaggi ben definiti rispetto ai generatori a ciocchi di legno. Il loro funzionamento è alquanto regolare in virtù dell'alimentazione automatica e del sistema elettronico di controllo di cui sono sempre dotati. Possono operare a diversi regimi stazionari di potenza termica facilmente impostabili dall'utente e mantenibili automaticamente anche per lunghi periodi di tempo; questo consente tra l'altro di ridurre al minimo l'incidenza dei regimi transitori che sono fonte di emissioni particolarmente elevate.

I fattori di emissione del particolato totale (e del PM₁₀) sono nettamente inferiori a quelli degli apparecchi a legna ad alimentazione manuale, come dimostrano i dati riportati in tabella 8.1.

ii) Il campionamento del particolato a temperatura prossima a quella ambientale (32 °C), previa diluizione dei fumi, fornisce valori di emissione alquanto più elevati rispetto a quelli ottenuti campionando i fumi caldi direttamente all'uscita del sistema, sia per gli apparecchi tradizionali che per quelli a pellet. Ciò è dovuto al contributo della frazione condensabile, che porta ad un aumento del PM misurato che va dal 40% per la stufa a legna al 120% per la stufa a pellet. La media delle prove a 32° C sulla stufa a pellet porta ad una emissione di 60,2 g/GJ, mentre l'emissione media di particolato della stufa a legna di moderna generazione usata nelle prove PARFIL a 32° è risultata essere pari a 92,2 g/GJ. I fattori di emissione ottenuti con questo metodo sono quindi più significativi, in quanto le emissioni sono importanti in relazione alle concentrazioni che si rilevano a temperatura ambiente.

Va rilevato in ogni caso che il contributo della combustione della legna risulta essere ben rilevabile dagli studi di composizione a campo (vedasi primi risultati del source apportionment, risposta alla domanda 5; i risultati della III annualità saranno al proposito fondamentali), e che i fattori di emissione comunque, anche nel caso delle stufe a pellet, risultano superiori a quelli degli altri combustibili o al più confrontabili con quelli dell'olio combustibile: si ricorda che i valori medi di emissione stimati in INEMAR sono pari a 33 g/GJ per l'olio combustibile, 5 g/GJ per il gasolio e 0,2 g/GJ per il metano.

	PM [g/GJ]	PM [g/Kg]
Stufa a pellet	60,2	1,05
Stufa a legna	92,2	1,35

Tabella 8.1: Confronto tra le emissioni di particolato da stufa a pellet e da stufa a legna da 8 kW con campionamento a 32 °C (media delle prove).

9. Quali sono le proprietà fisiche e quale è la composizione chimica del PM₁₀ presente in Lombardia?

Tra i risultati più importanti del progetto, che potranno ulteriormente essere integrati alla fine della III annualità, vi è l'analisi delle proprietà fisiche e della composizione chimica del particolato.

Per quanto riguarda le proprietà fisiche, l'attività del progetto è consistita nell'analisi della distribuzione dimensionale in diversi siti: Cantù (CO), Boscofontana (MN), Arese (MI), Pero (MI), San Colombano (SO), Milano via Messina e Milano Viale Sarca. Grazie a tali campagne si è evidenziato che il particolato di origine secondaria ha una granulometria di elezione tra 0,3 e 2 µm; per il particolato di origine primaria è invece necessario fare una distinzione: se da combustione esso è caratterizzato in genere da una granulometria fine o ultrafine, dell'ordine dei 10 – 50 nanometri (0,01 – 0,05 µm), mentre se prodotto da risollevarimento o da particolari attività industriali (quali ad esempio cave etc.) presenta una granulometria "coarse" (>1 µm).

Il comportamento delle diverse classi dimensionali risente quindi di questa differenza: laddove e quando viene emesso il particolato primario, prevalgono le frazioni ultrafini (o grossolane). Lontano dalla sorgente di emissione (spazialmente, ad esempio lontano dal traffico, o temporalmente, ad esempio di notte in aree urbane), prevale la componente secondaria e quindi le classi dimensionali tipiche di tale frazione.

Va rilevato che in massa la frazione coarse a parità di numero conta più delle frazioni inferiori, d'altra parte la frazione fine e soprattutto ultrafine è quella più importante dal punto di vista

numerico, come si osserva dai grafici di figura 9.1 che si riferiscono alla campagna temporanea svoltasi a Pero.

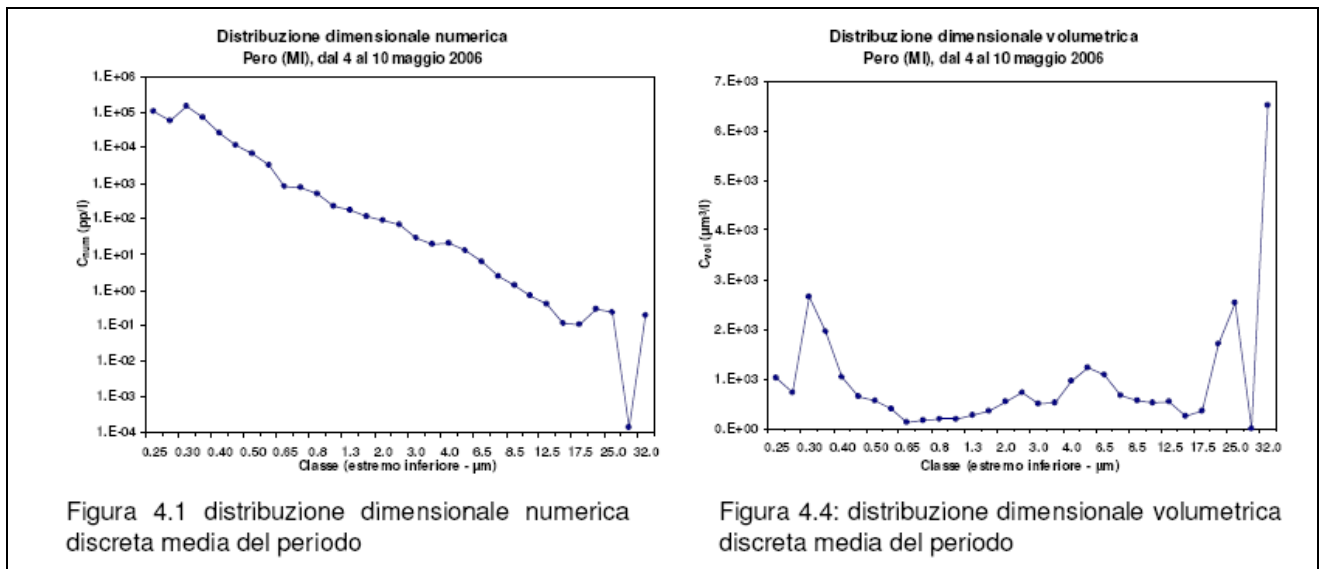


Figura 9.1: distribuzione dimensionale numerica e volumetrica media del particolato atmosferico rilevate durante la campagna temporanea di Pero.

Per quanto riguarda l'analisi chimica, il progetto PARFIL ha innanzitutto valutato quali sono le principali componenti del PM₁₀ e del PM_{2.5} in diverse tipologie di punti di prelievo: Milano, Brescia, Varese, Cantù, Saronno, Boscofontana (in area rurale), Lodi, Alpe San Colombano, Como (solo PM₁₀). Si è valutata la componente terrigena, la parte secondaria inorganica (principalmente ione solfato, nitrato e ammonio), la frazione carboniosa, distinguendo tra carbonio elementare (di origine primaria) e materia organica (di origine parzialmente primaria e parzialmente secondaria), e infine gli ossidi dei metalli pesanti di origine antropica. I risultati dipendono anche in questo caso dal punto di prelievo e dalla stagione. In ogni caso, il progetto a tutt'oggi permette di trarre alcune importanti conclusioni. La parte terrigena (polvere dal suolo) varia generalmente tra il 15% e il 25% per il PM₁₀ e tra 5% e il 10% per il PM_{2.5} (figura 9.2).

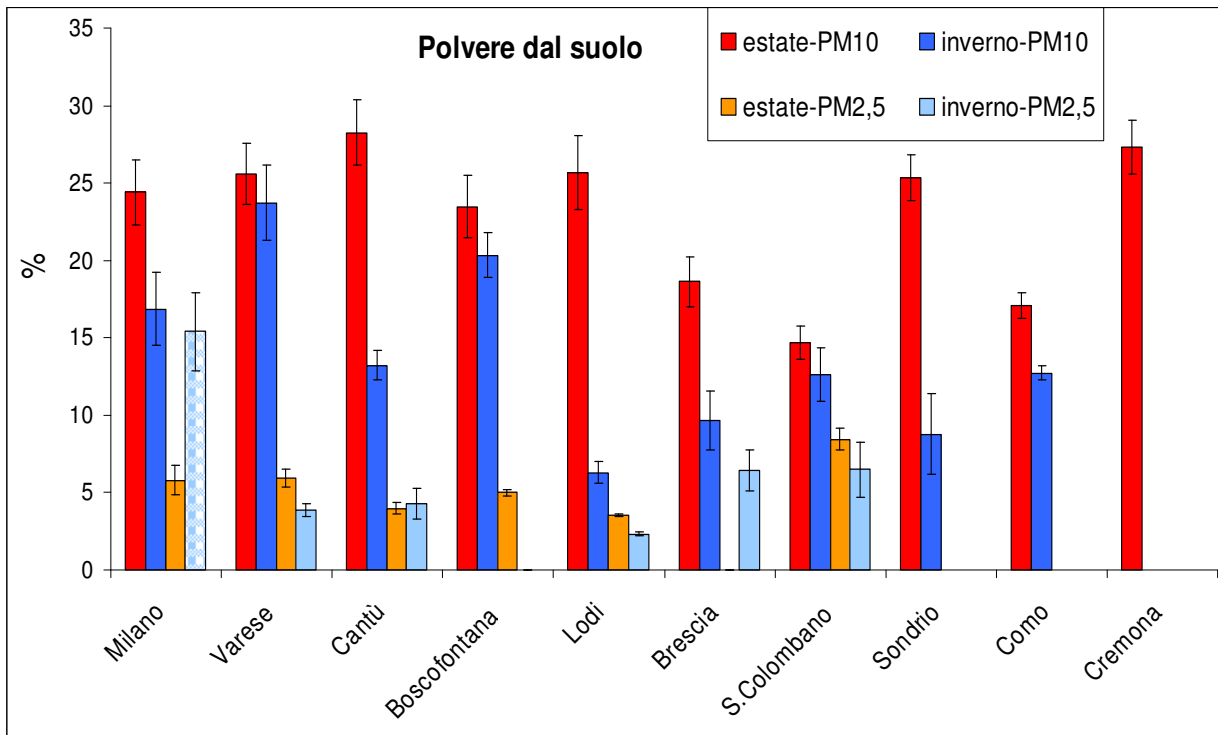


Figura 9.2: frazione percentuale media di polvere dal suolo rilevata nel PM10 e nel PM2,5 raccolti nei diversi siti di PARFIL nelle diverse stagioni (estate o inverno).

La parte di secondario inorganico contribuisce in misura percentualmente maggiore per il PM_{2,5} che per il PM₁₀ e varia da non meno del 30% per il PM₁₀ fino a più del 45% sul PM_{2,5} (figura 9.3).

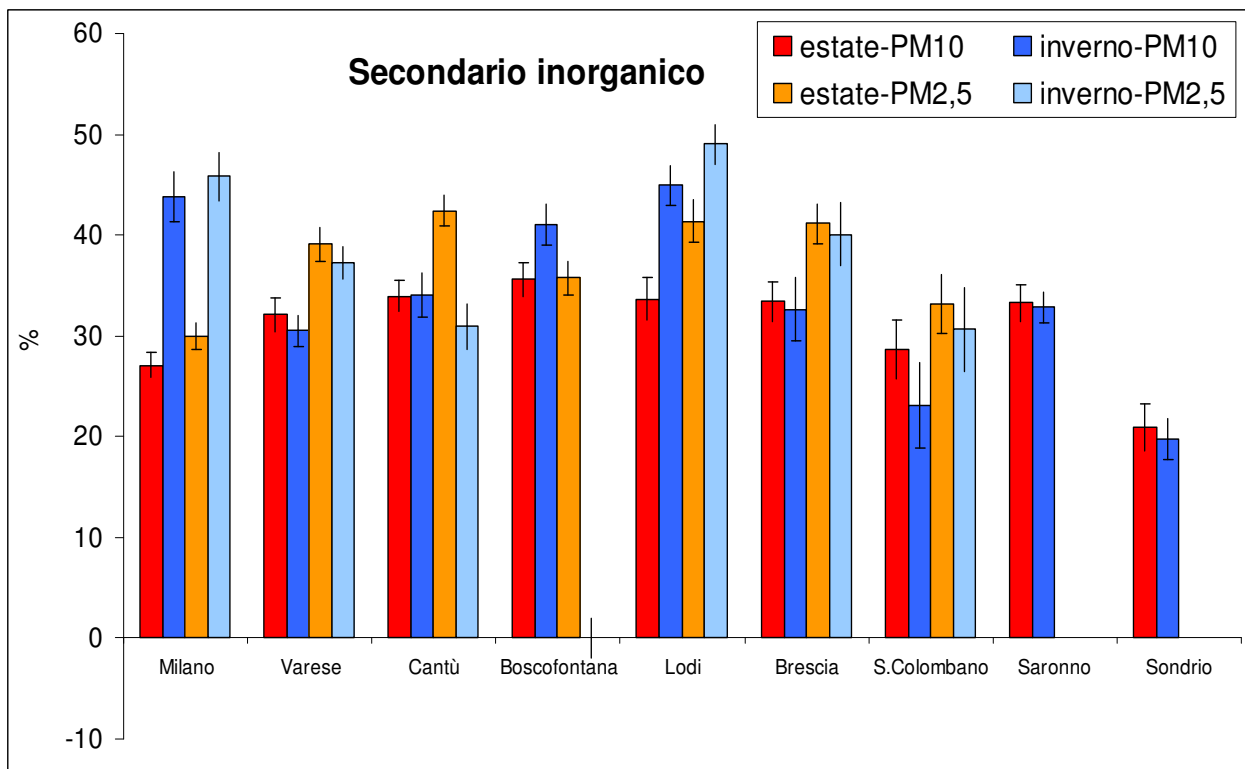


Figura 9.3: frazione percentuale media di secondario inorganico rilevata nel PM10 e nel PM2,5 raccolti nei diversi siti di PARFIL nelle diverse stagioni (estate o inverno).

La parte di carbonio elementare, attribuibile alle emissioni primarie (soprattutto da traffico diesel e da combustione di biomassa), risulta più importante nelle aree urbane. A Milano mediamente corrisponde a circa il 6% (figura 9.4).

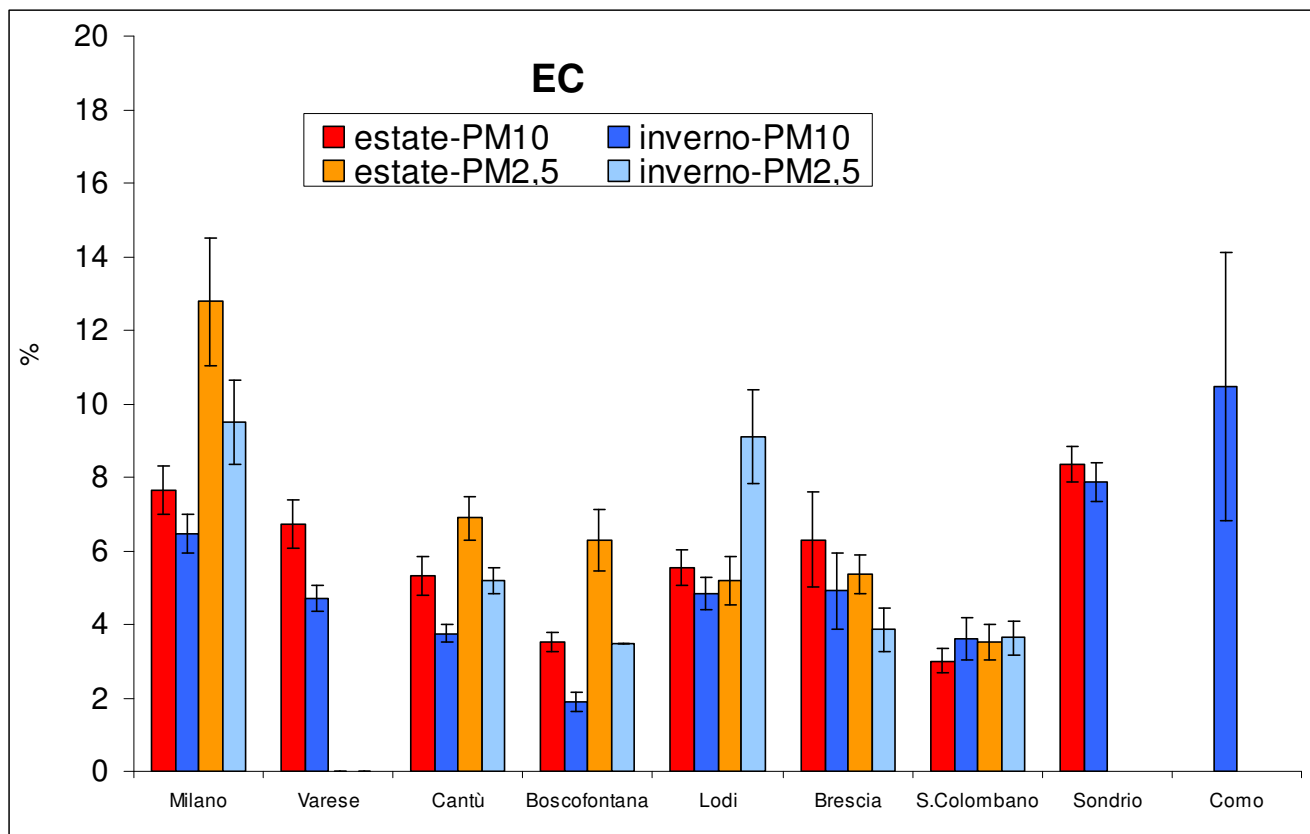


Figura 9.4: frazione percentuale media di carbonio elementare rilevata nel PM10 e nel PM2,5 raccolti nei diversi siti di PARFIL nelle diverse stagioni (estate o inverno).

Un ruolo fondamentale viene poi assunto dalla materia organica, che è in parte di origine primaria e in parte di origine secondaria. Il carbonio organico contribuisce in modo variabile dal 20% al 30% della massa totale del particolato; la massa organica conseguente varia quindi da circa il 30% a più del 40%, (usando come fattore di passaggio tra il carbonio organico e la massa organica 1.4).

Il tema del legame tra carbonio organico e massa organica, e in generale una maggiore comprensione della massa organica stessa, possono sicuramente essere oggetto di ulteriori approfondimenti.

La materia organica è costituita da una parte primaria ed una parte secondaria; applicando il metodo sviluppato sulla base delle misure condotte nel tunnel della stazione centrale a Milano durante il progetto PUMI e la prima annualità di PARFIL per determinare l'entità della frazione secondaria si è ottenuto che complessivamente la somma di secondario organico e inorganico supera in genere il

50%, per arrivare anche a più del 60% a Milano nei mesi invernali sia sul PM₁₀ che sul PM_{2.5} (figura 9.5).

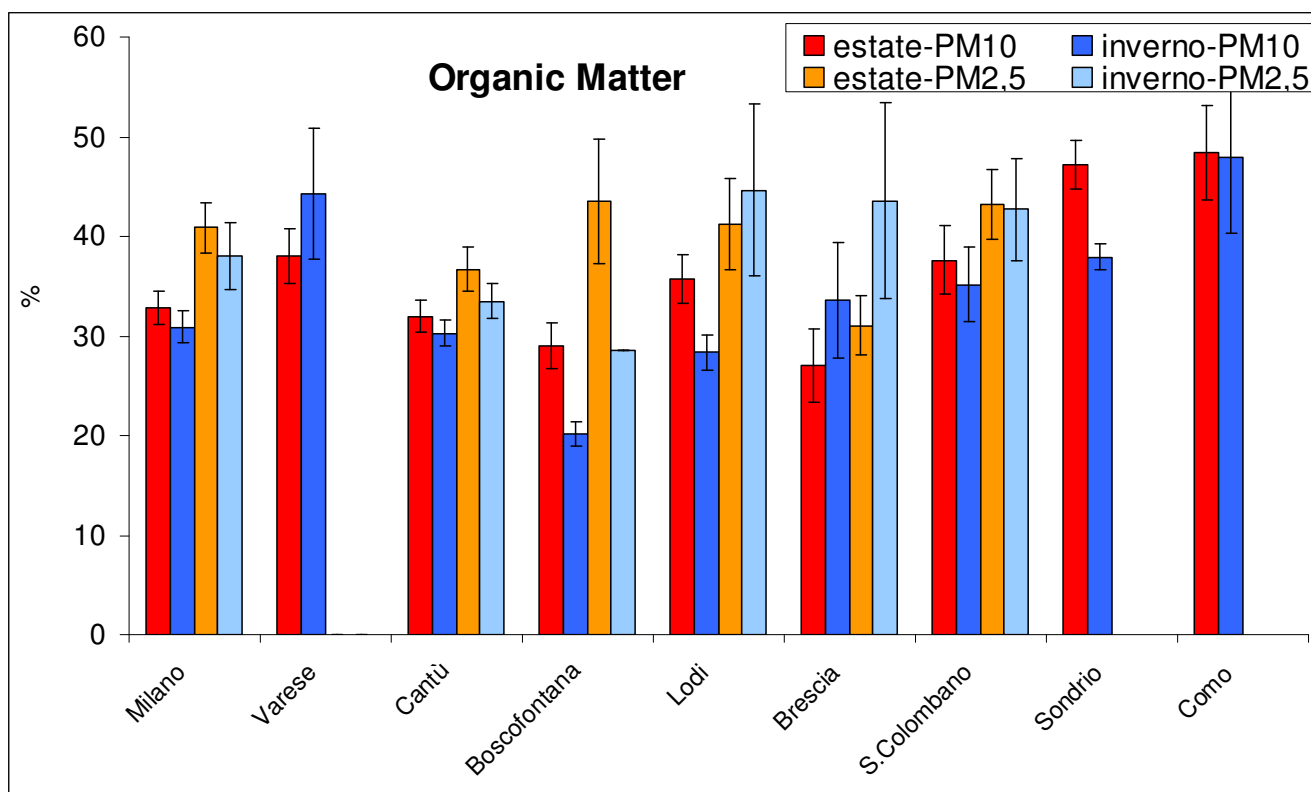


Figura 9.5: frazione percentuale media di materia organica rilevata nel PM₁₀ e nel PM_{2,5} raccolti nei diversi siti di PARFIL nelle diverse stagioni (estate o inverno).

Gli ossidi dei metalli pesanti di origine antropica (Cu, Zn, Br, Pb, Fe antropico) costituiscono nelle aree più antropizzate il 3 - 5% della massa totale del PM₁₀, mentre il contributo sul PM_{2.5} è più limitato (figura 9.6).

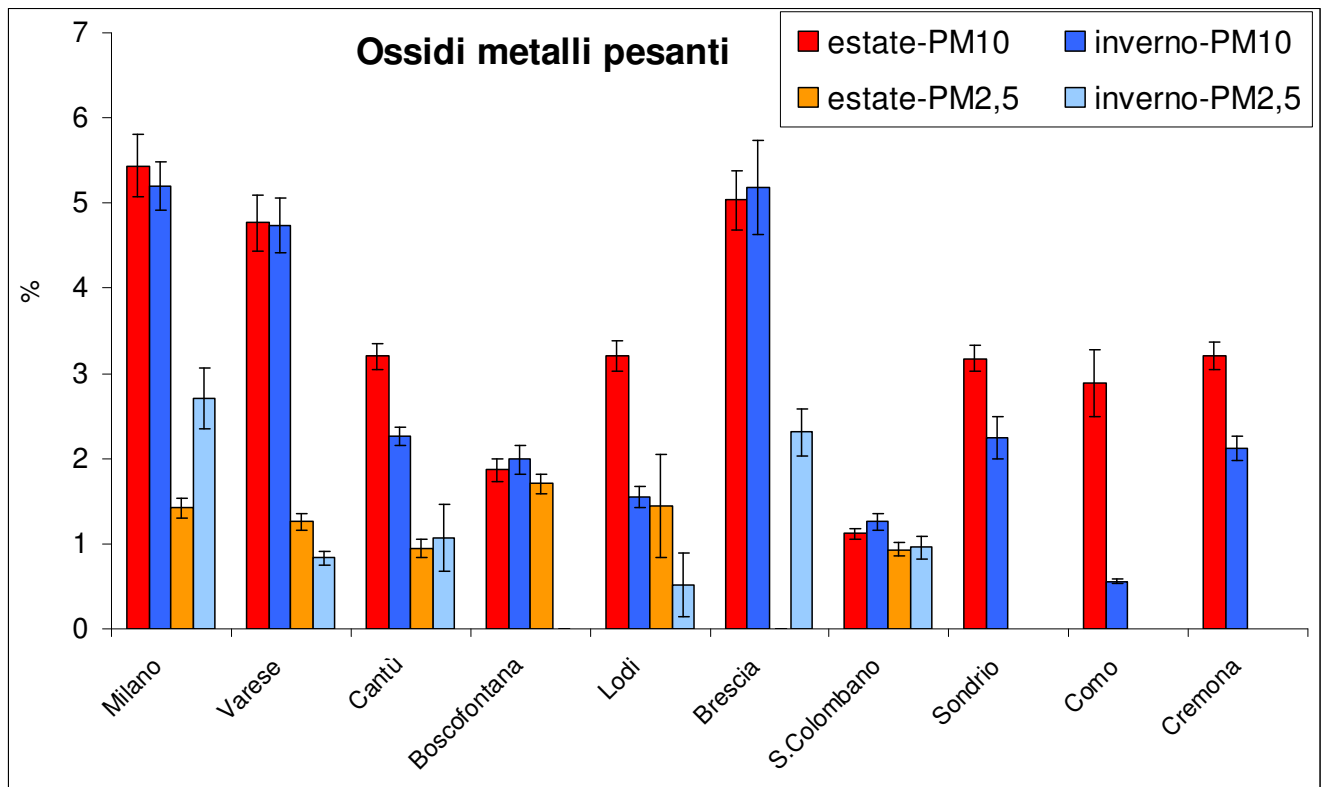


Figura 9.6: frazione percentuale media di materia organica rilevata nel PM10 e nel PM2,5 raccolti nei diversi siti di PARFIL nelle diverse stagioni (estate o inverno).

10. Esistono indicatori chimici (*markers*) per le specifiche sorgenti?

L'informazione richiesta è disponibile nella letteratura scientifica. Sono di interesse ad esempio Na e Cl per la componente marina, Al, Si, Ca, Ti ed Sr per la componente di polvere minerale, S, NH₄⁺ e SO₄⁻⁻ per i solfati, NH₄⁺ e NO₃⁻ per i nitrati, K e levoglucosano per i prodotti di combustione di biomassa, V e Ni per la combustione di oli pesanti, K, Zn e Pb per le emissioni da inceneritori, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb, EC e OC per le emissioni da traffico e da attività industriali.

EC può costituire un buon tracciante della combustione fissa e mobile, e il rapporto EC/OC può essere utilizzato per la stima del contributo dell'emissione primaria da traffico; gli isotopi del carbonio per distinguere la combustione di combustibili fossili dal resto; il numero di atomi di carbonio per la valutazione della componente organica biogenica ed antropogenica.

Nel corso della II annualità di PARFIL queste conoscenze sono state applicate nell'identificazione del materiale terrigeno e degli ossidi dei metalli di origine antropica. E' stato infine messo a punto il metodo per l'analisi del levoglucosano e per la conseguente stima della componente del PM₁₀ attribuibile alla combustione da biomassa legnosa, attività che nel corso della III annualità potrà fornire una valutazione solida di tale contributo.

Anche l'analisi degli alcani lineari C14-C32, composti appartenenti al grande gruppo fino ad ora definito come materia organica, può fornire un metro di distinzione tra il contributo delle sorgenti antropiche e di quelle biogeniche. A Milano, come si evince dalle analisi effettuate nell'ambito di PARFIL, questi composti rappresentano sulla massa totale di PM₁₀ una percentuale variabile tra lo 0,6 ± 0.1 % nel tunnel di viale Brianza (dove sono prevalentemente dovuti alle emissioni autoveicolari) e lo 0.08 ± 0.03 % nella stazione di via Messina durante la stagione estiva. Una prima valutazione può essere condotta valutando il composto alifatico che presenta concentrazione massima (C_{max}) tra tutti gli alcani, potendo così distinguere tra sorgente antropica, naturale o mista:

- C_{max} ≥ 27 : prevalentemente contributo biogenico
- C_{max} ≤ 23 : prevalentemente contributo antropico
- 23 < C_{max} < 26 : contributo misto

Inoltre è possibile valutare il diverso contributo antropico o biogenico analizzando la percentuale dei singoli alcani rispetto agli alcani totali. Per questo viene utilizzato un indice, il CPI (Carbon Preference Index), definito nel seguente modo:

$$\text{CPI} = [\text{alcani con n}^\circ \text{ dispari atomi di C}] / [\text{alcani con n}^\circ \text{ pari atomi di C}]$$

Questo parametro empirico adimensionato permette stabilire quale sia la principale sorgente di alcani, in particolare:

- CPI ≅ 1 : indice di sorgente prevalentemente antropica
- CPI > 3 : indice di sorgente prevalentemente naturale (c'è un arricchimento relativo in alcani con n° dispari di atomi di carbonio).

In relazione a questo indice gli alcani derivanti da fonti biogeniche possono essere separati dalla componente antropica, dando così la concentrazione derivante da sorgente biogenica per ogni alcano con numero dispari di atomi di C:

$$C_n = [C_n] - [(C_{n+1}) + (C_{n-1})]/2$$

dove n è un numero dispari compreso tra 16 e 36 (valori negativi di questo parametro sono considerati nulli).

Tali parametri (C_{max}, CPI, C_n di origine naturale) possono essere utilizzati sia per un'analisi temporale, finalizzata a studiare la variazione del contributo biogenico stagionalmente, sia per un

confronto tra diversi siti, e per comparare quindi il diverso contributo delle sorgenti antropiche e biogeniche in ambienti urbani ed ambienti “naturali”.

Per il sito urbano di Milano si è osservato che durante i mesi estivi (Agosto 2004) gli alcani di origine vegetale in campioni di PM₁₀ rappresentano circa il 38 ± 9 % del totale degli alcani, mentre per il periodo autunnale - invernale (novembre 2004) la percentuale scende fino al 12 ± 2 %. In tabella 10.1 sono consultabili tutte le percentuali.

	Rapporto in peso alcani (ng _{alcani} /μg _{PM10})	C_{max}	CPI	% alcani vegetali
Area urbana (Milano, Agosto 2004)	0.8 ± 0.3	C ₂₉	2.9 ± 0.7	38 ± 9
Area urbana (Milano, Novembre 2004)	2.6 ± 0.9	C ₂₉	1.3 ± 0.1	12 ± 2
Sorgente autoveicolare (tunnel, Inverno 2001)	6.2 ± 1.2	C ₂₂	1.1 ± 0.04	4 ± 1

Tabella 10.1: Alcani lineari (C14-C32) nel particolato atmosferico PM₁₀ dell’area urbana milanese durante mesi estivi (Via Messina, Agosto 2004) e autunnali invernali (Novembre 2004), e nel PM₁₀ da sorgente autoveicolare (Tunnel Viale Brianza, Dicembre 2001).

11. Si può definire anche per il PM₁₀, in analogia a quanto avviene per i composti organocloruranti, un indice di tossicità equivalente (TEQ) che tenga conto dei differenti pesi tossicologici dei suoi principali componenti chimici?

Il database di PARFIL può essere utile a supporto di studi epidemiologici e tossicologici sul territorio lombardo. Durante il progetto sono state analizzate alcune specie tossicologicamente rilevanti sebbene non importanti dal punto di vista della massa, tra cui diverse tipologie di IPA. Si è osservato che in prossimità di strade interessate da traffico pesante il livello degli IPA può risultare essere anche di 5 volte superiore ai livelli misurati altrove, anche in siti concentrazioni di PM₁₀ simili (figura 11.1).

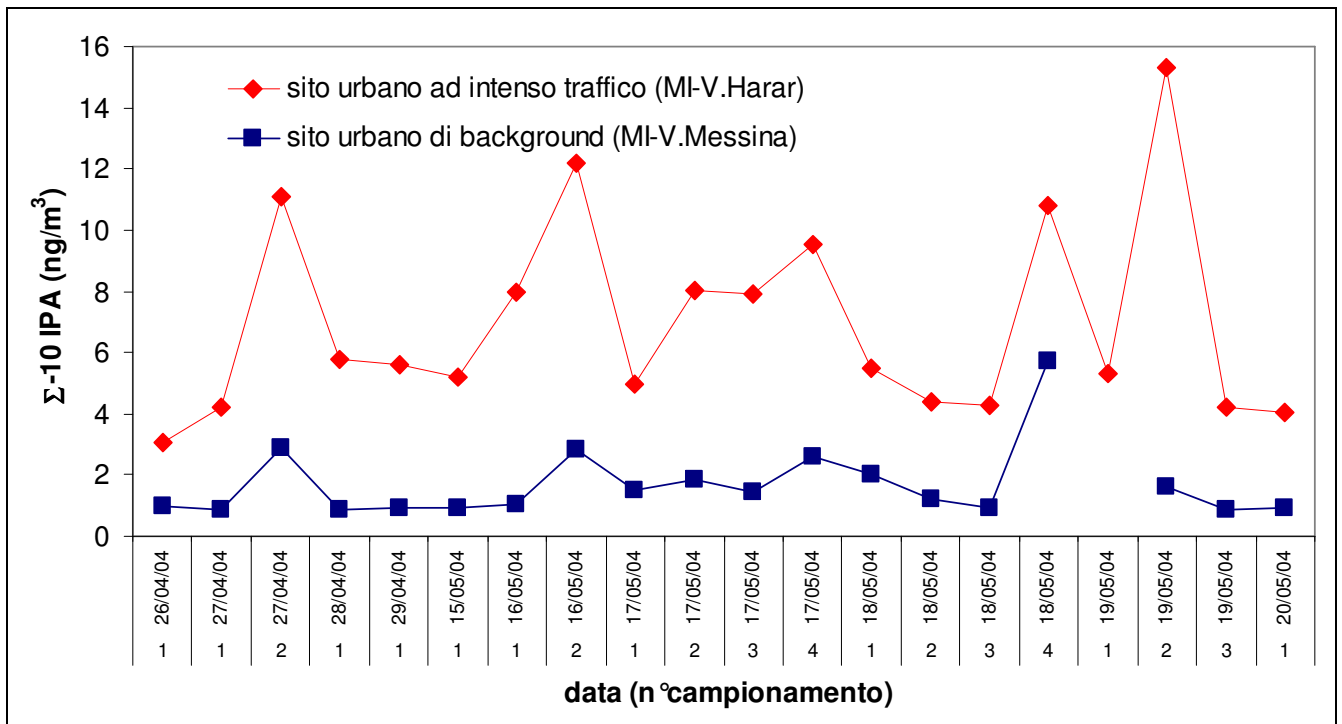


Figura 11.1: confronto tra le concentrazioni di IPA rilevate in un sito urbano di background (sito PARFIL di Milano via Messina) e in uno da traffico intenso (campagna temporanea).

In figura 11.2 si riporta un grafico che illustra le concentrazioni medie di IPA rilevate nell'ambito di PARFIL nelle due stagioni considerate.

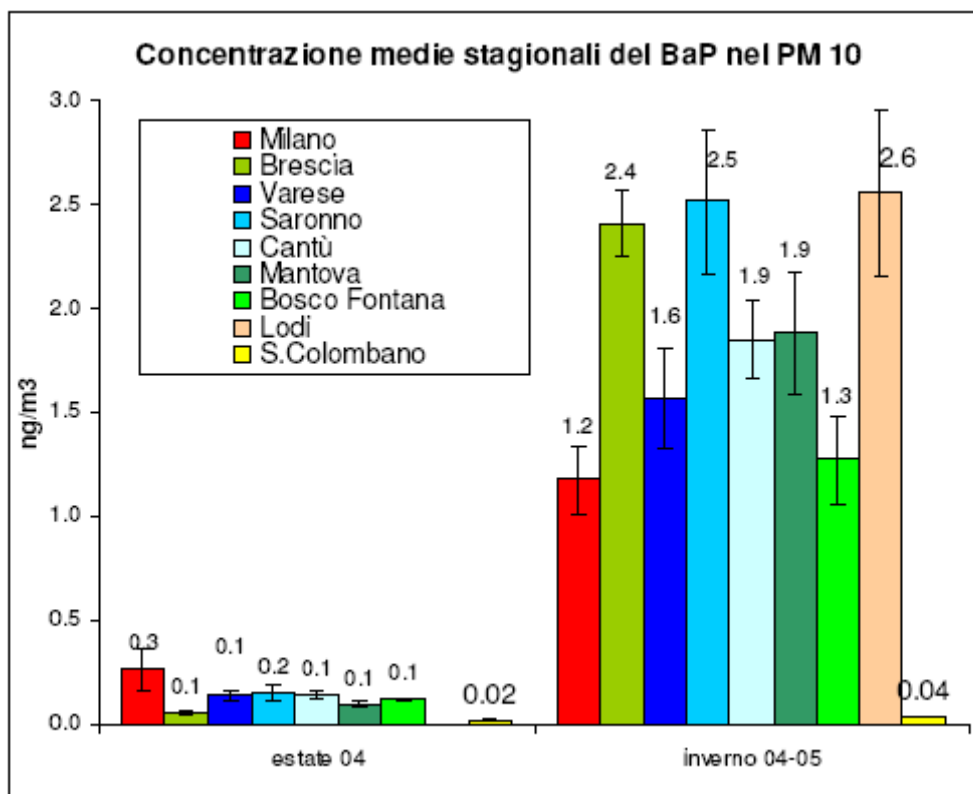


Figura 11.2: concentrazioni medie di IPA nei diversi siti PARFIL in estate e in inverno

Un indice di TEQ complessivo non è comunque un risultato di facile conseguimento, sia in relazione alla difficoltà di disporre di dati di letteratura sufficienti sia di pesare in modo corretto effetti di tipo completamente diverso. Va segnalato al proposito che gli effetti sanitari di breve termine evidenziati dagli studi epidemiologici non sono sempre connessi agli effetti di lungo termine correlati alla tossicità di specifiche specie contenute nel particolato. Non è quindi operazione agevole definire un peso differenziato per effetti di natura così diversificata (anche in relazione ad evidenze scientifiche di tipo diverso).

12. Si possono avere misure locali o almeno sinottiche della concentrazione di PM in base a parametri di telerilevamento satellitare (come ad esempio lo spessore ottico studiato dal progetto europeo ICAROS)?

Al fine di far luce sul rapporto esistente tra una misura radiativa satellitare e i dati misurati al suolo è stata analizzata la relazione preliminare tra l'AOD (Aerosol Optical Depth) a 550 nm e la concentrazione di PM_{2.5} nell'ambito di progetti sinergici al progetto PARFIL (progetto QUITSAT). Il periodo scelto per l'indagine è stato il mese di Marzo 2006, caratterizzato da elevate concentrazioni della frazione fine: 43 µg/m³ come media di PM_{2.5} con un range di 7-94 µg/m³. Il dato originale di AOD è stato messo in relazione alle concentrazioni di particolato atmosferico campionato presso il sito di Torre Sarca considerato come rappresentativo dell'area urbana milanese.

La relazione è caratterizzata da un valore di R² pari a 0.668 (figura 12.1).

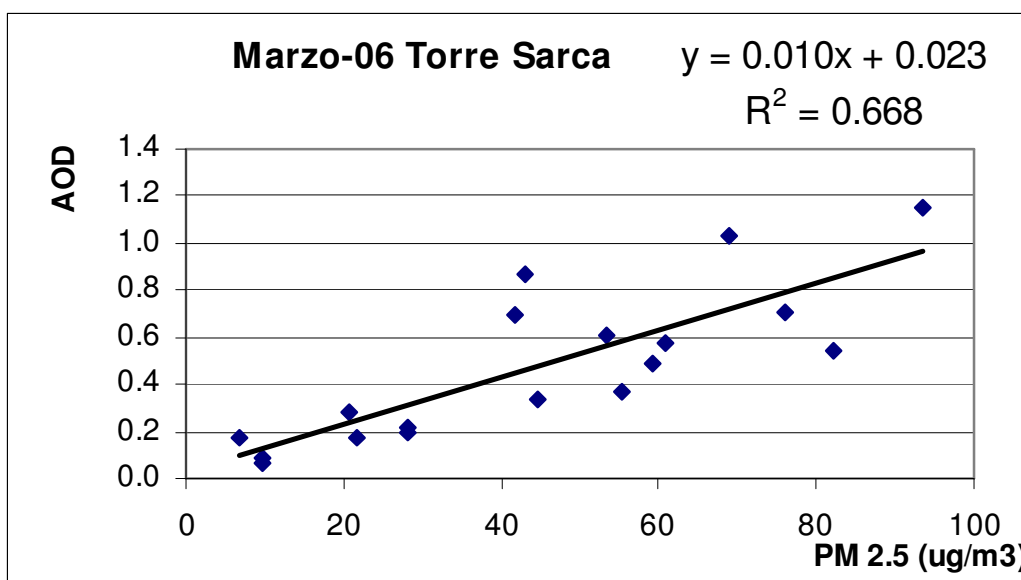


Figura 12.1 Relazione per marzo 2006 tra i valori di AOD a 550 nm ricavati dal prodotto MOD04 e le concentrazioni di particolato PM_{2.5} misurate presso il sito di Torre Sarca.

Il margine di miglioramento rimane comunque tuttora elevato; sono in fase di implementazione algoritmi che permettano di migliorare la relazione tra misure di $PM_{2.5}$ a terra e dati di AOD satellitare. Un altro parametro potenziabile è rappresentato dalla risoluzione: attualmente i dati di AOD sono implementati dalla NASA con risoluzione pari a 10 x 10 Km, valore che risulta comunque già elevato.