

esempi applicativi nell'interpretazione degli andamenti dei conteggi dell'OPC MULTICHANNEL MONITOR

INTRODUZIONE

Lo stato della qualità dell'aria rispetto ai processi d'inquinamento che coinvolgono il materiale particellare aerodisperso è un punto di notevole criticità nelle aree sottoposte ad una forte presenza antropica. Nella maggior parte dei casi gli indici utilizzati per poter esprimere una valutazione sintetica del grado di inquinamento da materiale particellare fanno riferimento ai valori di concentrazione di massa media giornaliera del materiale particellare PM₁₀ o PM_{2,5}.

Ciò risulta sicuramente riduttivo per la comprensione dei complessi processi che determinano i livelli di concentrazione del particolato che si riscontrano al suolo.

I limiti imposti in termini di concentrazione di massa di particolato quasi sempre non considerano le particolarità e meteorologiche delle diverse regioni geografiche. Tutto ciò nonostante il possibile apporto di particolato contenuto in masse d'aria inquinata, trasportate a lungo raggio da zone anche molto lontane dal punto d'osservazione, sia stato oramai ampiamente provato.

In questo contesto diventa determinante riconoscere il verificarsi di eventi, più o meno acuti, di trasporto o di formazione di aerosol secondari attraverso l'ausilio di ulteriori informazioni derivate dalla conoscenza della distribuzione granulometrica del particolato atmosferico e della sua evoluzione temporale.

Il particolato atmosferico è distribuito in un ampio intervallo granulometrico (da qualche nm a qualche decina di μm) ed è inoltre caratterizzato da un'elevata variabilità nella composizione chimica. La complessità del sistema del quale fa parte è funzione della differente origine delle particelle nonché della molteplicità dei processi chimico-fisici che ne determinano il livello di concentrazione al suolo (processi di nucleazione d'inquinanti gassosi con formazione di aerosol secondari, emissione di particelle da fonti di combustione, processi di coagulazione e condensazione, processi di rimozione per diffusione turbolenta etc.).

La caratterizzazione del materiale particellare presuppone la possibilità di individuare la frazione primaria da quella di origine secondaria e per ognuna di esse valutare il contributo antropico da quello naturale (che tende a distribuirsi essenzialmente nella frazione “coarse” con una composizione chimica ben definita) così da identificare le reali fonti che determinano i livelli riscontrati al suolo. Da ciò si comprende la grande utilità di integrare le semplici misure di concentrazione media giornaliera di PM_x con quelle della distribuzione granulometrica in tempo reale, nel range 0,28 ÷ 5 μm , restituite dall'*OPC Multichannel Monitor*. In tal modo è possibile

comprendere l'evoluzione nel tempo dei livelli di concentrazione delle varie classi granulometriche e valutare in tempo reale il contributo relativo delle frazioni “*fine*” e “*coarse*”.

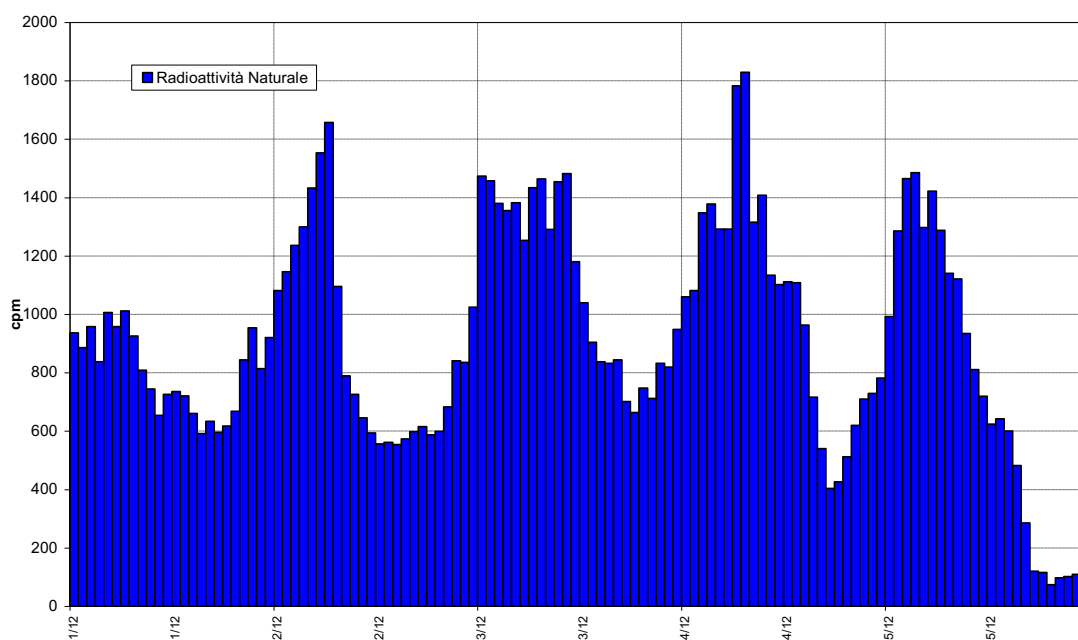
MODULAZIONE GIORNO/NOTTE E ANDAMENTI STAGIONALI DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE

Le considerazioni fin qui esposte consentono di approfondire le potenzialità dell'*OPC Multichannel Monitor* come fondamentale strumento nel *source apportionment* e nella comprensione delle dinamiche che regolano l'inquinamento da particolato atmosferico di origine primaria e secondaria. Prima di visionare alcuni esempi, utili all'interpretazione degli andamenti dei conteggi delle particelle aerodisperse, occorre porre l'attenzione su uno dei parametri più importanti per la caratterizzazione della dinamica degli strati inferiori dell'atmosfera che ne individua sia la capacità dispersiva verticale che la presenza di processi avvertivi. Attraverso l'utilizzo del *PBL Mixing Monitor* possiamo ottenere, infatti, informazioni essenziali sul potenziale di diluizione del PBL (il quale non può essere misurato direttamente con procedure standard) tramite il monitoraggio di un composto chimicamente stabile, emesso dal suolo, con emissioni che possono essere considerate costanti nella scala dello spazio e del tempo delle nostre osservazioni, il gas Radon.

In caso di forte rimescolamento verticale la concentrazione di Radon si porta a valori costantemente bassi indipendentemente dal valore iniziale e la sua modulazione risulta ridotta (il rimescolamento dell'atmosfera non rende possibile l'accumulo di Radon negli strati inferiori). In caso di stabilità atmosferica, invece, il rimescolamento verticale è praticamente assente e quando su scala sinottica la situazione meteorologica è di alta pressione livellata (quindi con processi avvertivi ridotti), si creano le condizioni ideali per l'instaurarsi della stabilità atmosferica durante le ore notturne e rimescolamento convettivo durante le ore più calde della giornata con la dissipazione degli strati di inversione termica radiativa. Di conseguenza, l'andamento temporale della concentrazione del Radon assume il tipico aspetto modulato, con minimi diurni e massimi nelle ore più tarde della notte.

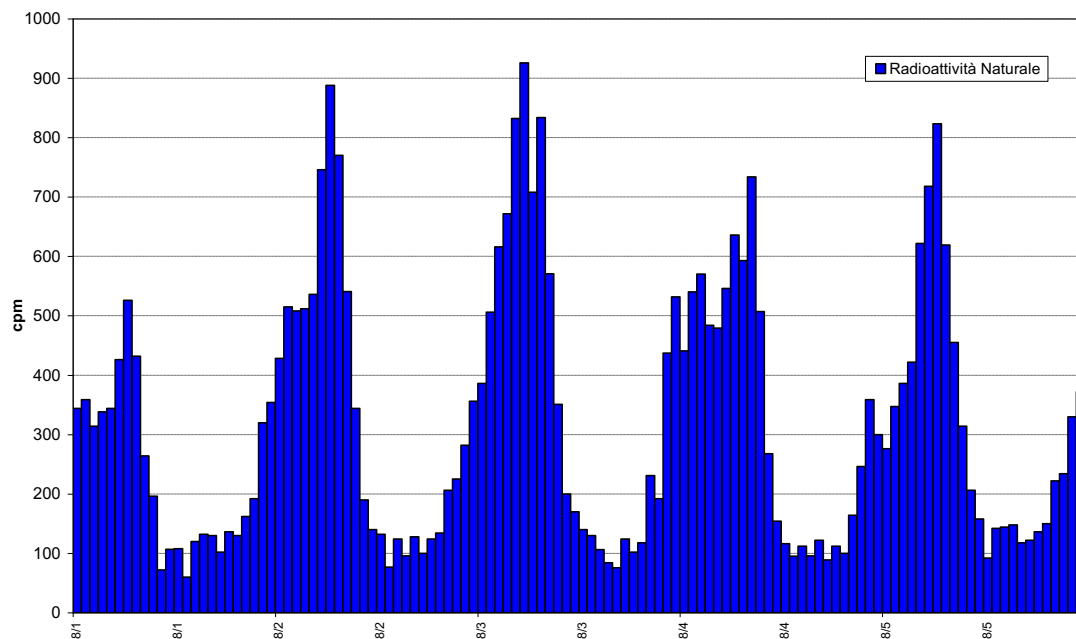
Dobbiamo però distinguere la situazione invernale da quella estiva, infatti durante la stagione fredda la “rottura” diurna dello strato di inversione può accadere che avvenga solo parzialmente e comunque il rimescolamento verticale è generalmente debole (a causa della ridotta energia proveniente dall'irraggiamento solare o della copertura nuvolosa), determinando pericolose situazioni di stabilità atmosferica che possono favorire l'accumulo degli inquinanti al suolo durante le prime ore del mattino. Tale condizione di stabilità può perdurare per tutta la giornata causando eventi di intenso inquinamento per più giorni consecutivi.

Una situazione simile a quella appena descritta è rappresentata nel grafico sotto riportato.

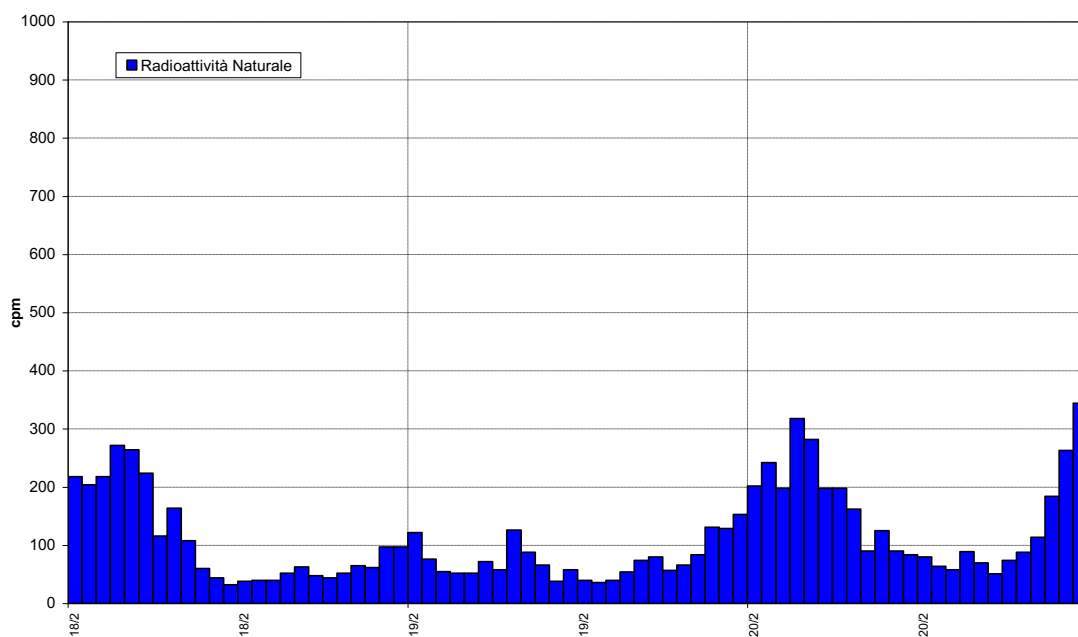


Sono evidenti le condizioni di alta pressione venutesi ad instaurare durante alcune giornate all'interno del periodo considerato. Il manifestarsi di minimi diurni molto alti dei conteggi di radioattività naturale individua potenziali situazioni di accumulo di inquinanti nei bassi strati della troposfera.

Di seguito sono riportate, invece, le concentrazioni al suolo di Radon rilevate durante un periodo estivo. Da evidenziare la tipica modulazione giorno-notte dei periodi di alta pressione nei mesi estivi con intenso rimescolamento verticale durante le ore calde del giorno.

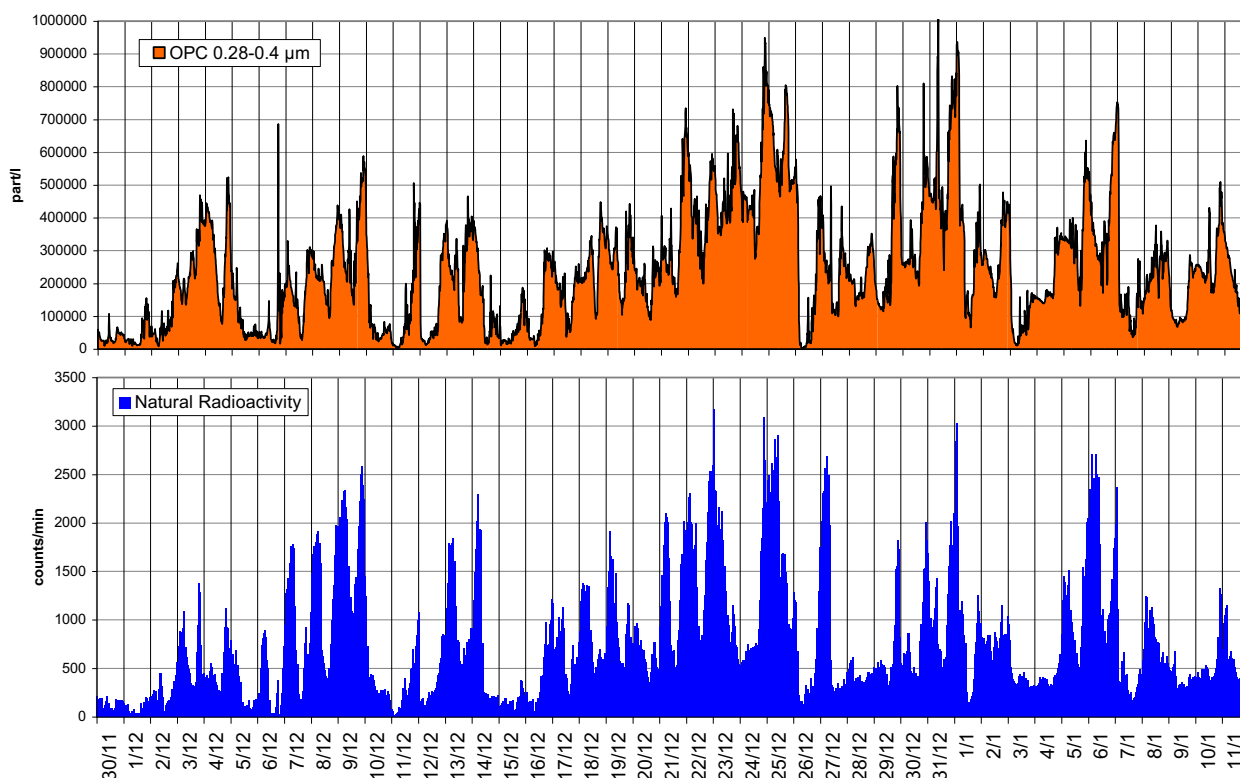


Diversamente da ciò che abbiamo appena visto, nei casi in cui le condizioni atmosferiche non permettono la formazione dello strato di inversione notturna, può accadere che i valori di radioattività naturale rimangano contenuti anche durante le ore della notte determinando un andamento “livellato” della concentrazione al suolo di Radon. Questa situazione viene ben rappresentata dai dati relativi ai conteggi PBL orari dell’andamento sotto riportato.



ESEMPI APPLICATIVI

Possiamo ora comprendere i trend temporali dei conteggi OPC delle classi rappresentative della frazione *fine* del particolato in relazione alle informazioni restituite dal *PBL Mixing Monitor*. Verrà evidenziata la stretta correlazione che intercorre fra livelli di particolato rilevato al suolo e volume di diluizione disponibile. Il grafico di seguito riportato mostra, infatti, come il materiale aerodisperso di natura *fine* (classe granulometrica 0,28-0,40 μm) segua la medesima modulazione giorno-notte dei conteggi di radioattività naturale.

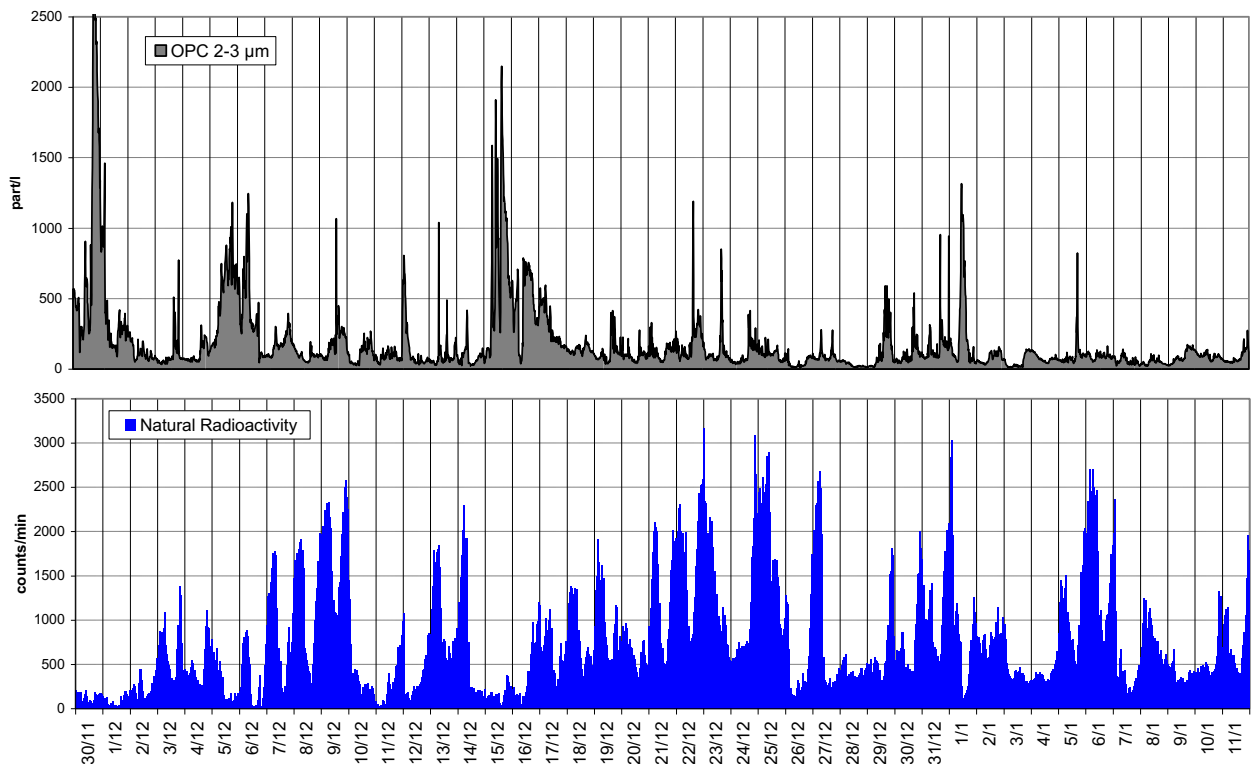


Risulterebbe estremamente difficile trarre delle conclusioni sull'interpretazione di tali andamenti del particolato escludendo l'informazione sulla dinamica dei bassi strati dell'atmosfera. Tali andamenti non presentano infatti una regolarità come ci si potrebbe aspettare se essi fossero determinati semplicemente dai flussi emissivi.

Di contro viene di seguito riportato, sempre per lo stesso periodo, l'andamento dei conteggi della classe granulometrica 2-3 μm rappresentativa della frazione *coarse*. Appare evidente come, proprio per la differente natura, il particolato *coarse* assuma una modulazione completamente diversa.

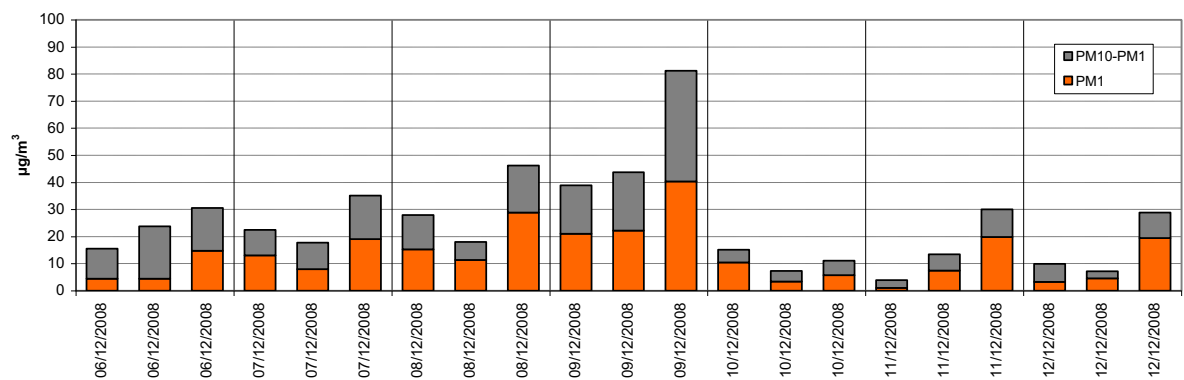
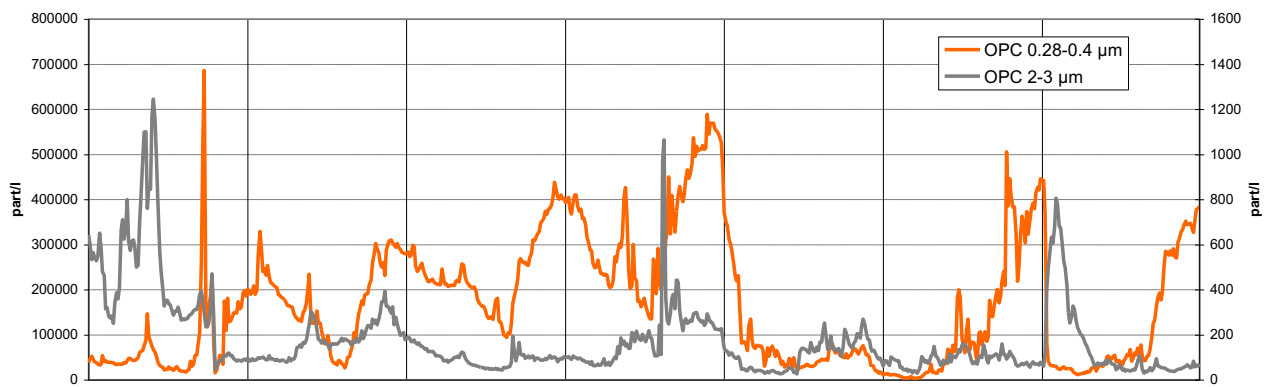
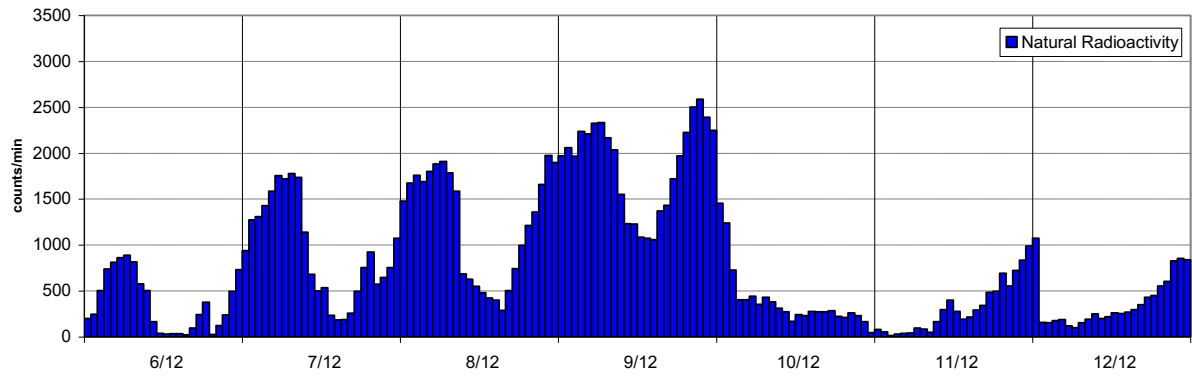
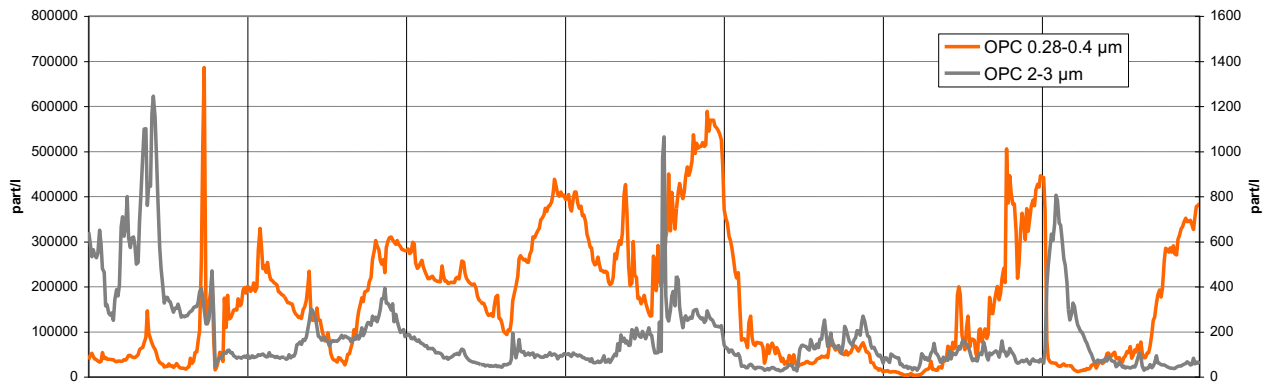
Infatti durante i periodi (sia notturni che diurni) in cui la radioattività naturale mostra un numero di conteggi molto contenuto, ad indicare una situazione di forte rimescolamento convettivo o avvertivo, si evidenzia l'aumento del contributo del particolato più grossolano. Tale fenomeno trova

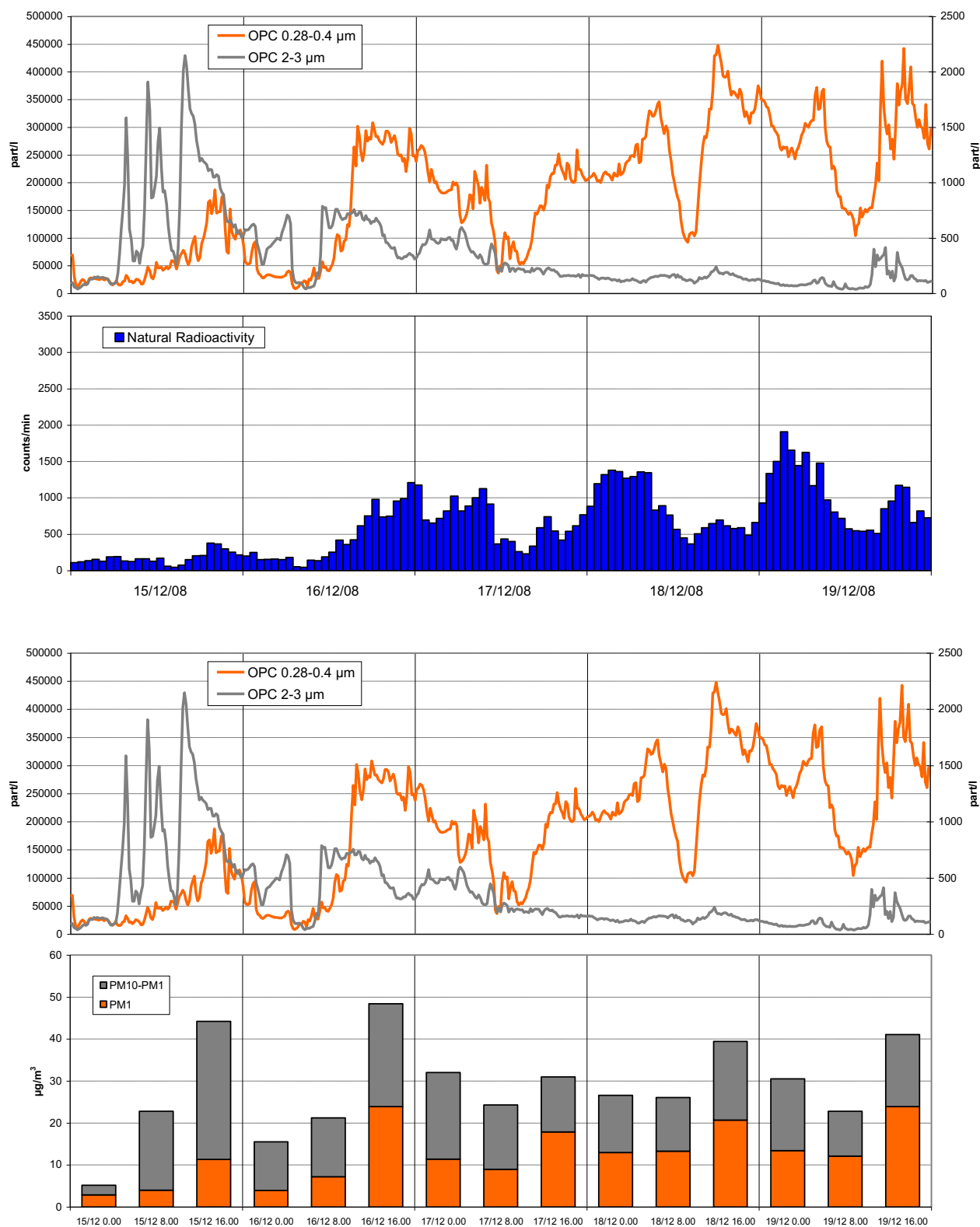
spiegazione nei fenomeni di trasporto di masse d'aria contenenti grandi concentrazioni di polveri grossolane da siti più o meno distanti.



Per meglio evidenziare quanto fin'ora esposto vengono di seguito mostrati gli andamenti dei conteggi del numero di particelle restituiti dall'*OPC Multichannel Monitor* (classe granulometrica 0,28-0,40 µm), conteggi beta del *PBL Mixing Monitor*, concentrazioni di massa PM_{10} e frazione *coarse* $PM_{10}-PM_{2.5}$ su base temporale 8h di uno *SWAM 5^a Dual Channel*.

Nei quattro grafici che seguono saranno considerati due periodi temporali contenuti all'interno di quello più ampio osservato nei due precedenti grafici.





In relazione al legame che intercorre tra conteggi di particelle e stato dinamico dei bassi strati della troposfera quanto già affermato appare qui ancor più evidente fin nelle strutture più piccole. Le medie a 8h delle concentrazioni di PM_x confermano quanto già esposto e mostrano in determinati periodi (ad esempio nelle giornate del 6, 7 e 10 dicembre) una sostanziale invarianza nel rapporto della concentrazione *coarse/fine* del materiale particellare ad indicare l'assenza di eventi acuti di

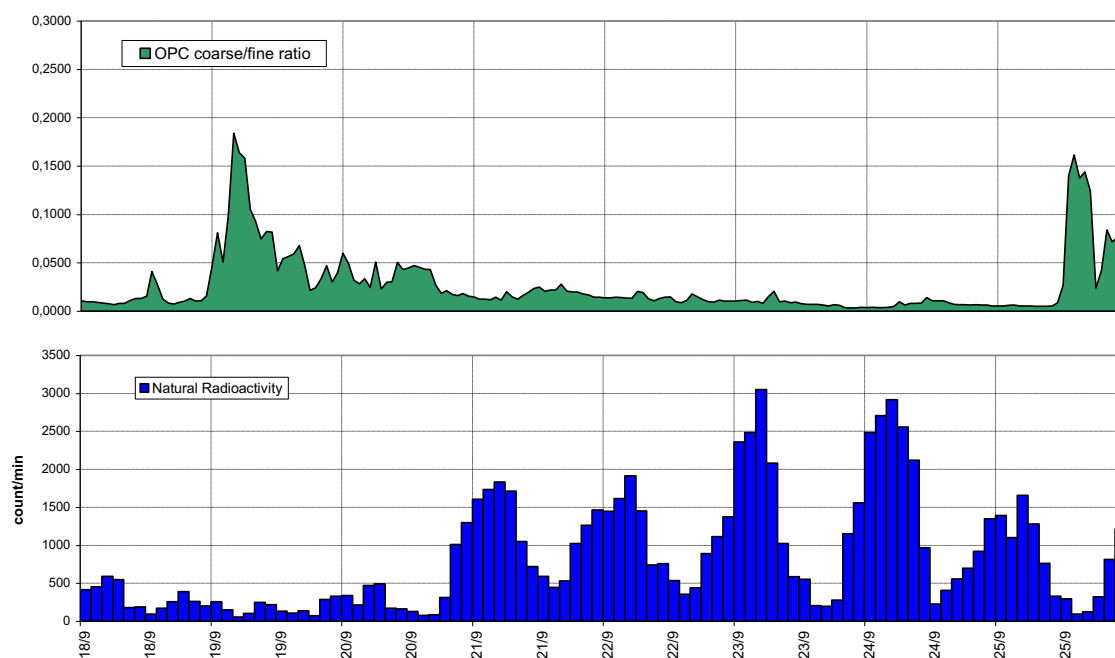
inquinamento da materiale particellare dovuti ad apporti “esterni” di aerosol di origine antropica o naturale.

In altri periodi, invece, si osservano situazioni “anomale” (ad esempio durante il 9, 15 e 16 dicembre) in cui il contributo al PM_{10} della frazione *fine* PM_1 è della frazione *coarse* $PM_{10}-PM_1$ è sensibilmente diverso rispetto a tutte le altre giornate di osservazione.

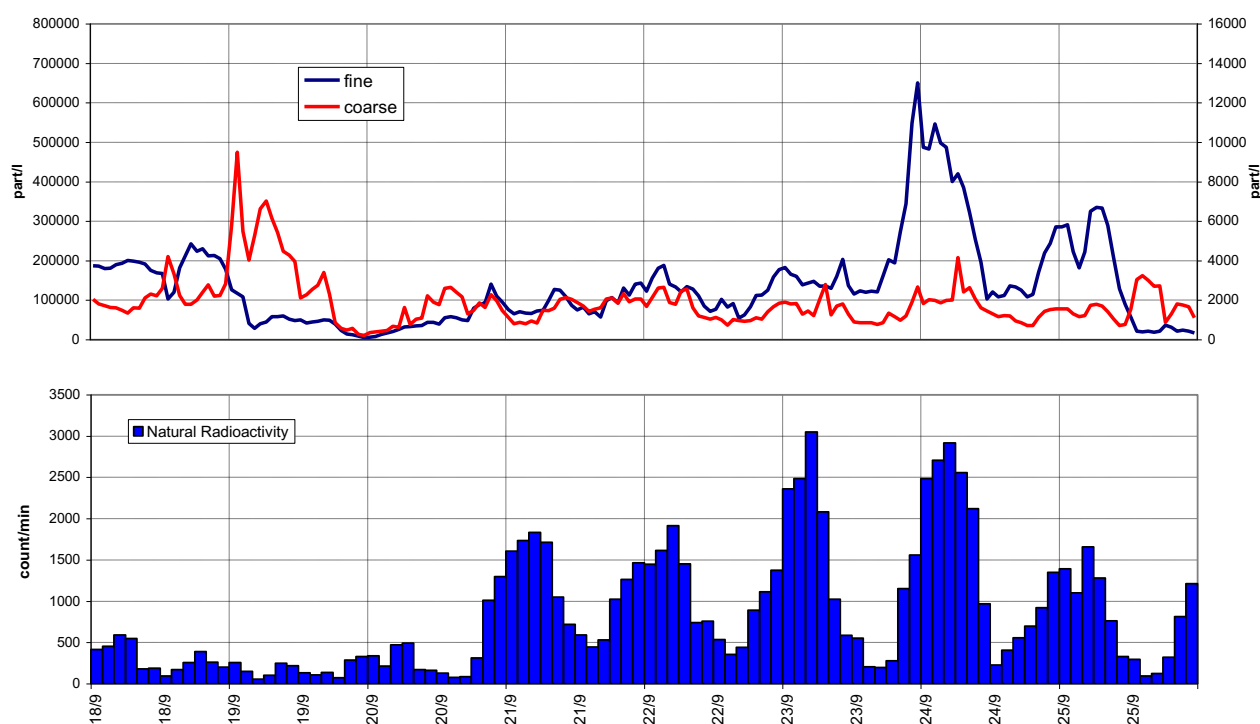
Ad esempio nella giornata del 15 dicembre l’aumento del contributo di particelle grossolane rispetto a quello del PM_1 ha mutato drasticamente il rapporto *fine/coarse* atteso del periodo evidenziando la prevalenza del contributo di particelle grossolane al raggiungimento del PM_{10} . Anche in questo caso la motivazione di ciò è da ricercarsi in fenomeni di trasporto di masse d’aria contenenti rilevanti concentrazioni di polveri *coarse*.

Esaminiamo un altro periodo di campionamenti in cui, ancora una volta, l’informazione in real time dell’*OPC Multichannel Monitor* risulta determinante per la caratterizzazione del materiale particellare.

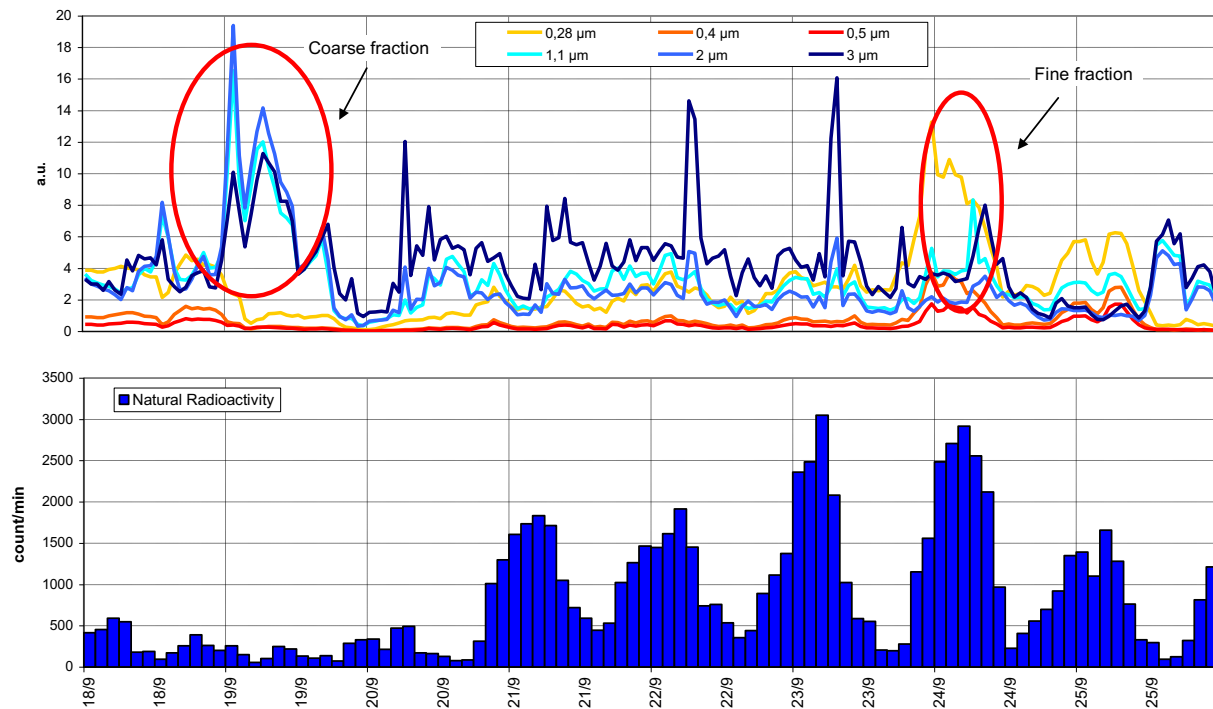
Di seguito è riportato il rapporto tra i conteggi della frazione *coarse* ($> 1,1 \mu m$) e *fine* ($0,28 \div 0,5 \mu m$). Tale parametro, come già esposto precedentemente, può risultare un utile indice accessorio. Infatti il rapporto tende a zero se l’inquinamento è essenzialmente di origine antropica, al suo crescere invece può identificare una situazione di inquinamento di origine naturale (considerando comunque l’eventuale presenza in prossimità del sito di campionamento di sorgenti emissive note). Nel nostro caso, ad esempio, la giornata del 19 settembre è quella deputata a registrare livelli di inquinamento da materiale particellare *coarse* più alti all’interno del periodo considerato. A corredo viene riportato l’andamento della radioattività naturale su base bioraria.



Gli andamenti dei conteggi *fine* e *coarse* sotto riportati confermano quanto supposto. La giornata del 19 settembre è stata caratterizzata dalla prevalenza della frazione *coarse* rispetto alla frazione *fine*, le giornate invece del 23 e 24 settembre hanno mostrato una preponderanza di particelle *fine*. Osservando poi i conteggi della radioattività naturale si comprende come i livelli riscontrati al suolo del materiale particellare rispecchino perfettamente quanto fin qui esposto in termini di stretta correlazione con lo stato dinamico dei bassi strati dell'atmosfera.

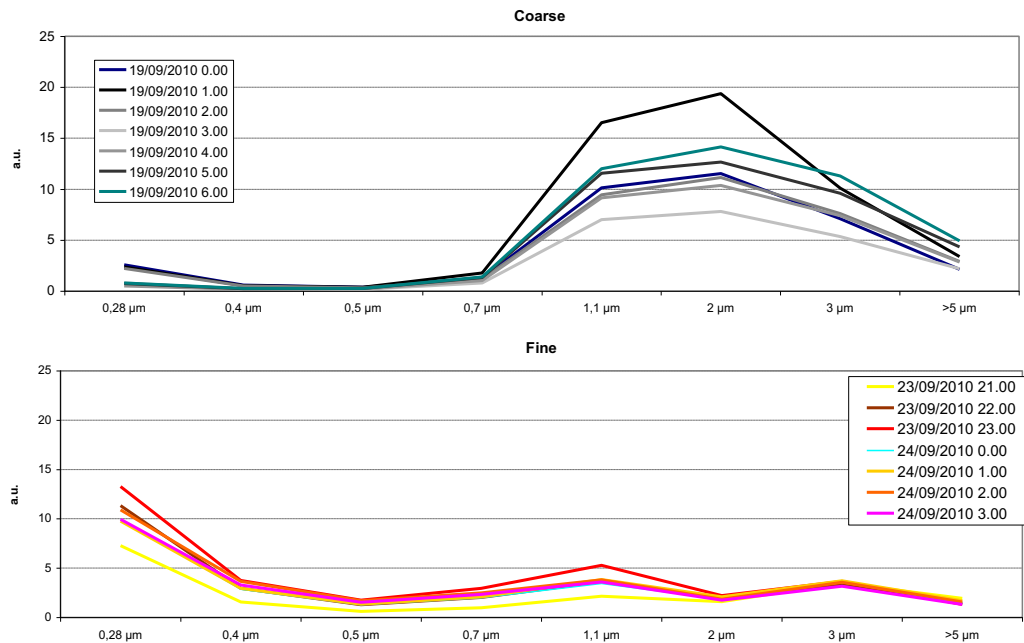


Nel seguente grafico i conteggi del numero di particelle sono stati convertiti in una grandezza proporzionale alla massa del particolato (proporzionale al cubo del diametro delle particelle). Risulta così ancora più evidente la situazione dei livelli al suolo delle particelle essendo riportato su un unico grafico tutte le 8 classi granulometriche restituite dall'*OPC Multichannel Monitor*.

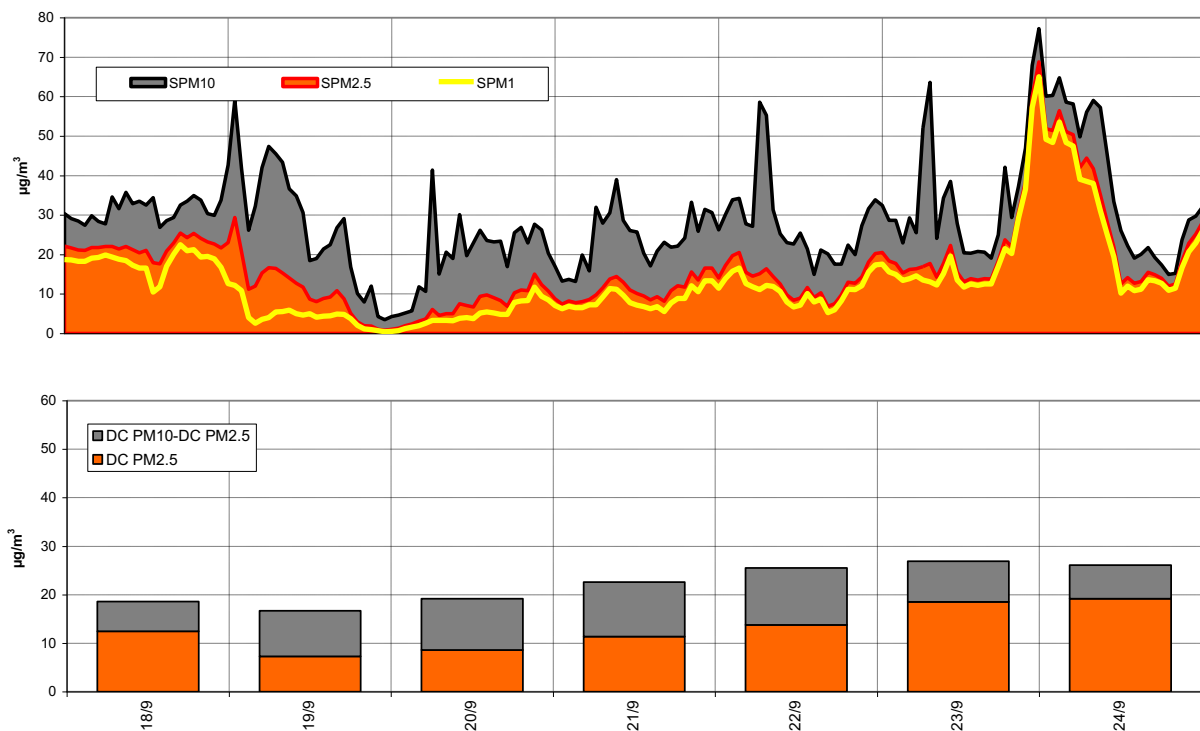


I due lievi eventi di inquinamento da particelle *coarse* e *fine* vengono ulteriormente evidenziati osservando gli spettri granulometrici dei due momenti interessati di seguito riportati: le prime ore del 19 settembre relativamente all'evento *coarse* e la notte tra il 23 e 24 settembre per quanto riguarda l'evento *fine*.

Tali spettri mettono in relazione la grandezza proporzionale alla massa, già utilizzata nel precedente grafico, con la granulometria delle particelle. Risulta evidente come i modi *fine* e *coarse* manifestino comportamenti totalmente indipendenti proprio in ragione della loro diversa origine.



Nell'ultimo grafico sotto riportato lo stesso periodo viene descritto visualizzando gli andamenti delle concentrazioni di massa PM_{10} , $PM_{2,5}$ e PM_1 rilevate dall'*OPC Multichannel Monitor* contestualmente ai dati di PM_{10} e $PM_{2,5}$ dello *SWAM 5a Dual Channel*.



Ancora una volta appare evidente come l'informazione dell'*OPC Multichannel Monitor* consente di “fotografare” in tempo reale quelli che sono i diversi contributi delle frazioni granulometriche al raggiungimento delle concentrazioni di PM_{10} al suolo.

Quanto esposto dimostra l'importanza della comprensione delle fonti e dell'evoluzione al suolo dei livelli del particolato atmosferico utilizzando informazioni che abbiamo una frequenza di misura comparabile con la scala temporale di evoluzione del Planetary Boundary Layer.