



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia



Laboratorio Mobile
Campagna di Misura del Particolato
COMUNE DI NERVIANO

06/10/2010 – 28/10/2010

Campagna di Misura del Particolato

COMUNE DI NERVIANO

Gestione e Manutenzione Tecnica della Strumentazione

Tec. Prev. Raddrizzani Fabio.....

Ass. Tec. Nicola Gentile.....

Analisi mediante Spettrometria X e OPC

Dr.Vorne Gianelle.....

Relazione

Redatta e verificata Dr. Cristina Colombi.....

Approvata Responsabile U.O. Qualità dell’Aria

Dr. Silvana Angius

Campagna di Misura del Particolato

COMUNE DI NERVIANO

| | |
|--|---------|
| <i>Introduzione</i> | pag. 3 |
| I sistemi di misura..... | pag. 3 |
| Il Particolato Atmosferico Aerodisperso..... | pag. 4 |
| Normativa..... | pag. 5 |
| <i>Campagna di Misura</i> | pag. 6 |
| Sito di Misura..... | pag. 6 |
| Emissioni sul territorio..... | pag. 8 |
| Situazione meteorologica nel periodo di misura..... | pag. 13 |
| Risultati delle misure..... | pag. 16 |
| Conclusioni..... | pag. 24 |
| <i>Allegato Dati Giornalieri</i> | pag. 25 |
| <i>Appendice 1a</i> | pag. 26 |
| <i>Appendice 1b</i> | pag. 28 |
| <i>Appendice 2</i> | pag. 31 |

Introduzione

Dal 6 al 28 ottobre 2010, su richiesta del Comune, è stata realizzata una campagna di approfondimento delle polveri aerodisperse nella zona di via Don Castiglioni. Scopo delle misure è stato quello di valutare l'impatto delle attività di cava presenti nelle vicinanze.

ARPA aveva precedentemente eseguito diverse campagne intorno all'area di indagine, sia nel comune di Nerviano che in quello di Parabiago: nel febbraio 2004, nel febbraio-marzo 2005 e marzo-aprile 2009. Tali misure avevano evidenziato un impatto significativo sull'area circostante delle attività connesse alla presenza della cava quali, in particolare, la risospensione dovuta al passaggio di mezzi pesanti. Tale evidenza aveva suggerito interventi quali, ad esempio, la pavimentazione della strada sottoposta al traffico dei mezzi. La presente campagna è invece stata effettuata in seguito alla richiesta di approfondimenti in località Sant'Ilario, area che si trova a sud-est rispetto alla cava e in direzione opposta rispetto all'ingresso.

Per questo, in accordo con il Comune, sono stati scelti due punti di indagine. Il primo (qui denominato sito A) individuato in località Sant'Ilario, Via Don Castiglioni, una strada comunale senza uscita, a ridosso della cava (foto in copertina). Il secondo, invece, localizzato in via Marzorati (qui denominato sito B), nelle vicinanze del Municipio, individuato quale sito di fondo delle polveri fini.

Nelle due postazioni sono stati installati i seguenti sistemi di misura:

- Campionatore gravimetrico di PM10;
- Contatore Ottico di Particelle (OPC).

Inoltre i campioni di particolato sono stati sottoposti all'analisi in spettroscopia X per determinare il contenuto di diversi elementi di varia origine.

I sistemi di misura

Nelle due postazioni, sito A e sito B, sono stati installati due sistemi di misura costituiti da un campionatore gravimetrico accoppiato ad un contatore ottico di particelle.

Il **campionatore gravimetrico** è definito dalla normativa vigente (DLgs. 155/2010) quale metodo di riferimento per la misura del particolato atmosferico aerodisperso (PM). Il principio di misura è basato sulla raccolta del particolato su una membrana filtrante e successiva determinazione della massa collezionata attraverso una serie di pesate, in condizioni ambientali controllate, prima e dopo il campionamento. Noto il volume di aria aspirato, è possibile ricavare la concentrazione di PM in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Affinchè si campioni una data frazione di PM (PM10, PM2.5 e/o PM1), le normative tecniche europee (UNI EN12431 e UNI EN14907) prevedono l'utilizzo di teste di prelievo opportune e di adeguati flussi di aspirazione.

Al fine di ottenere informazioni più specifiche circa l'origine e le caratteristiche del particolato misurato, è possibile utilizzare un sistema ottico per il conteggio delle particelle (**Optical Particle Counter-OPC**), che è in grado di determinare la concentrazione numerica delle particelle in funzione delle loro dimensioni. 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° rispetto alla direzione del fascio laser rileva la luce diffusa dalle particelle. Ogni impulso rilevato corrisponde al passaggio di una particella e l'altezza dell'impulso è correlata con la sua dimensione. I due OPC utilizzati in questa campagna (Grimm mod. 107) sono in grado di contare le particelle con dimensioni superiori a $0.25 \mu\text{m}$ e classificarle in 31 classi dimensionali. Dopo la validazione dei dati rilevati ogni minuto sono state calcolate ed elaborate le concentrazioni numeriche medie orarie. Dal numero delle particelle per ogni classe dimensionale, facendo ipotesi sulla densità delle particelle, si può calcolare la concentrazione di massa del PM10, del PM2.5 e del PM1 contemporaneamente. Al fine di evitare il conteggio di eventuali goccioline d'acqua aerodisperse, gli

strumenti utilizzati sono dotati di un sistema di essiccazione fondato sulla diluizione dell'aria campione con aria secca e pulita.

Il particolato atmosferico aerodisperso

Il **particolato atmosferico** aerodisperso è costituito da una miscela di particelle solide e liquide, di diverse caratteristiche chimico-fisiche (composizione, tempi di residenza, proprietà aerodinamiche, ecc.) e diverse dimensioni. Esse possono essere di origine primaria, cioè emesse direttamente in atmosfera da processi naturali o antropici, o secondaria, cioè formate in atmosfera a seguito di reazioni chimiche. Le principali sorgenti naturali sono erosione e risollevarimento del suolo, incendi, pollini, spray marino, eruzioni vulcaniche; le sorgenti antropiche si riconducono principalmente a processi di combustione (traffico autoveicolare, uso di combustibili, emissioni industriali). Le particelle di polveri ultrafini possono formarsi anche per condensazione di gas in atmosfera o per reazioni chimiche e fotochimiche; le particelle più fini possono aggregarsi tra loro, portando alla formazione di nuove particelle di maggiori dimensioni, con differenti proprietà aerodinamiche e, di conseguenza, con differenti tempi di residenza e/o possibilità di trasporto in atmosfera. Le particelle fini sono originate per lo più dalla combustione e una loro frazione significativa viene prodotta in atmosfera attraverso la conversione chimica delle emissioni di precursori antropogenici e naturali (NO_x, SO_x, composti organici reattivi, ammoniaca, ecc.). Tipicamente nel particolato molto fine (< 1 µm) vengono osservati gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) che si producono durante i processi di produzione incompleta di combustibili fossili, come carboni e petroli, e dalle emissioni del traffico veicolare. Sono microinquinanti organici la cui origine è principalmente di tipo antropico. Inoltre gli IPA sono inquinanti ubiquitari perché possono essere ritrovati, in tracce, anche in ambienti remoti per opera del trasporto e delle precipitazioni atmosferiche. A causa delle loro caratteristiche chimiche tendono ad abbandonare velocemente la fase liquida per formare legami con le particelle in sospensione o depositarsi. Poiché il particolato fine può "galleggiare" nell'aria per diversi giorni, gli IPA si diffondono facilmente in atmosfera, possono essere trasportati su lunghe distanze e permanere nell'aria a lungo.

L'insieme delle particelle sospese in atmosfera è chiamato PTS (Polveri Totali Sospese). Al fine di valutare l'impatto del particolato sulla salute umana si possono distinguere una frazione in grado di penetrare nelle prime vie respiratorie (naso, faringe, laringe) e una frazione in grado di giungere fino alle parti inferiori dell'apparato respiratorio (trachea, bronchi, alveoli polmonari). La prima corrisponde a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm (PM2.5).

Nella Tabella 1 sono riassunte le principali sorgenti di emissione.

| Inquinanti | Principali sorgenti di emissione |
|------------------------------|--|
| Particolato Fine*/** PM10 | Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 µm, provenienti principalmente da processi di combustione e risollevarimento |
| IPA | Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali, combustione di biomassa |

Tabella 1: Sorgenti emissive dei principali inquinanti (* = Inquinante Primario, ** = Inquinante Secondario).

Normativa

Per i principali inquinanti atmosferici, al fine di salvaguardare la salute e l'ambiente, la normativa stabilisce limiti di concentrazione, a lungo e a breve termine, a cui attenersi.

Per quanto riguarda le polveri sottili, l'Allegato XI al DLgs 155/2010 fissa i valori limite per il PM10 e per il PM2.5, così come mostrati nella Tabella 2. Per il PM2.5 il DLgs 155/2010 ha inoltre introdotto anche il termine temporale entro il quale tale valore limite deve essere raggiunto, ovvero il 2015, prevedendo un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti e stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. Nella tabella il margine di tolleranza valido per l'anno 2011 è indicato tra parentesi.

| Particolato Fine PM10 | Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Periodo di mediazione | Legislazione |
|------------------------|--|-----------------------|------------------------------|
| | Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile) 50 | 24 ore | D. L.vo n. 155 13/08/2010 |
| | Valore limite protezione salute umana 40 | Anno civile | D. L.vo n. 155 13/08/2010 |
| Particolato Fine PM2.5 | Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | Periodo di mediazione | Legislazione |
| | Valore limite protezione salute umana 25 (+3.6) | Anno civile | D. L.vo n. 155 13/08/2010 |
| Elementi nel PM10 | Valore Obiettivo (ng/m^3) | Periodo di mediazione | Legislazione |
| Piombo (Pb) | Valore limite protezione salute umana 500 | Anno civile | D. L.vo n. 155 13/08/2010 |
| Nichel (Ni) | Valore limite protezione salute umana 20 | Anno civile | D. L.vo n. 155 13/08/2010 |

Tabella 2: Valori limite dei principali inquinanti.

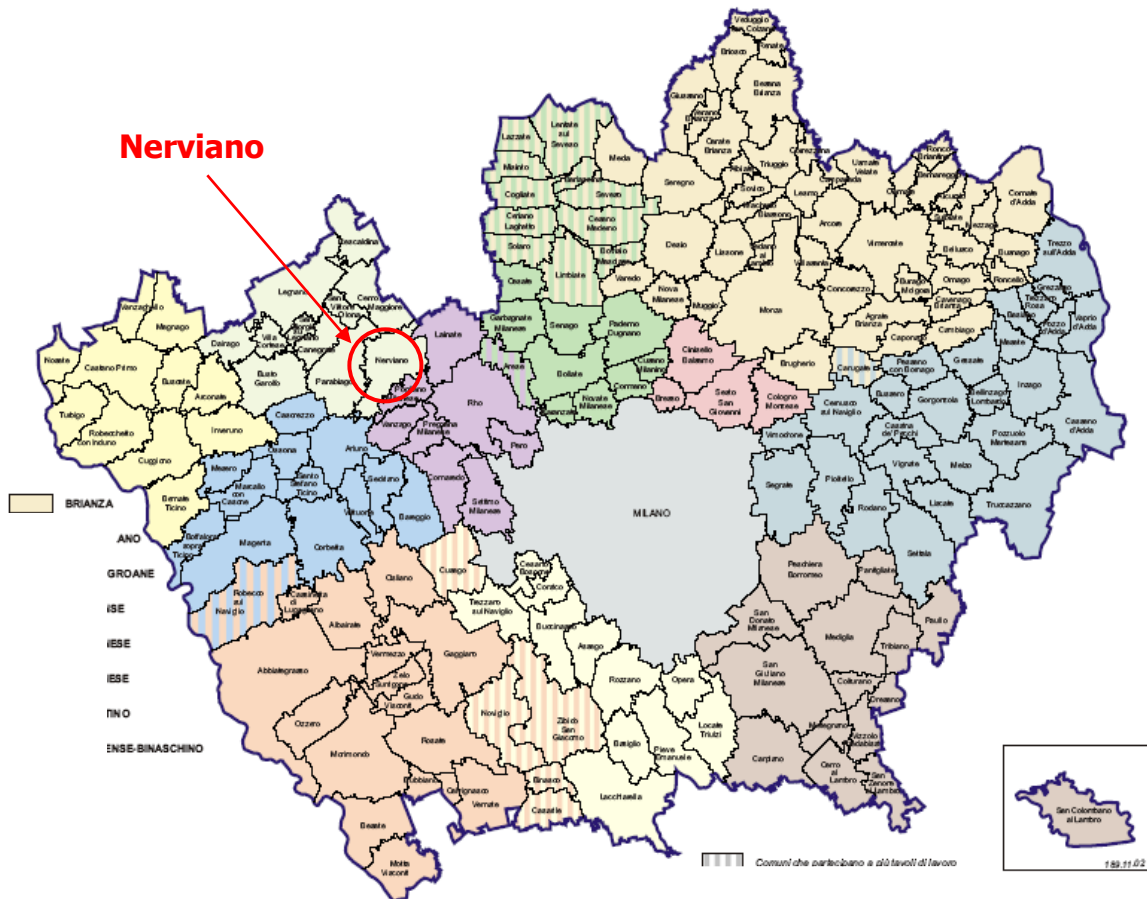


Figura 1: Comuni della provincia di Milano.

Periodo di Misura: dal 6 al 28 ottobre 2010

Sito di misura: Nerviano

Assi Stradali: Autostrada A8 (Milano-Varese)
S.S. 33 Sempione;
S.P. 109;
S.P. 231.

Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio comunale di Nerviano è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni, INEMAR (Inventario Emissioni Aria), nella sua versione più recente "Emissioni in Lombardia nel 2008 - revisione pubblica".

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive: la classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori definiti secondo la metodologia CORINAIR dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (CORINAIR= Cordination Information Air).

- Combustione per produzione di energia e trasformazione dei combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Per ciascun macrosettore vengono presi in considerazione diversi inquinanti: sia quelli che provocano effetti sulla salute, sia quelli per i quali è posta particolare attenzione come gas ad effetto serra:

- Biossido di Zolfo (SO₂)
- Ossidi di Azoto (NO_x)
- Composti Organici Volatili non Metanici (NMCOV)
- Metano (CH₄)
- Monossido di Carbonio (CO)
- Biossido di Carbonio (CO₂)
- Ammoniaca (NH₃)
- Protossido di Azoto (N₂O)
- Polveri Totali Sospese (PTS) o polveri con diametro inferiore ai 10 µm (PM10)

Maggiori informazioni e una descrizione più dettagliata in merito all'inventario regionale sono disponibili sul sito web <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>.

I dati di INEMAR sono stati elaborati al fine di definire i contributi dei singoli macrosettori alle emissioni in atmosfera dei principali inquinanti nel comune di Nerviano.

Le emissioni di **Biossido di Zolfo** derivano per i due terzi del totale dalla Combustione industriale, con 7 t/anno, seguita dalla Combustione non industriale, cioè dal riscaldamento domestico, con 2.5 t/anno (23%) e dal trasporto su strada con 1 t/anno (10%). Le emissioni di SO₂ nel comune di Nerviano costituiscono lo 0.4% del totale provinciale.

Le emissioni totali annue di **Monossido di Carbonio** nel comune di Nerviano sono stimate pari a 313.7 t/anno (0.6% del totale provinciale) e le principali sorgenti emmissive sono il Trasporto su strada con 203 t/anno (65%) e la Combustione non industriale con 100 t/anno (32%).

Il 73% delle emissioni di **Ossidi di Azoto** è dovuta al Trasporto su strada (121 t/anno). Gli altri macrosettori che concorrono alle emissioni degli NO_x sono: la Combustione non industriale con 22.7 t/anno (14%), la Combustione industriale con 13.6 t/anno (8%) e Altre sorgenti mobili e macchinari con 8.6 t/anno (5%). Le emissioni di NO_x nel Comune di Nerviano rappresentano lo 0.5% del totale provinciale.

Le principali sorgenti emmissive dei **Composti Organici Volatili (COV)** nel comune di Nerviano sono l'Uso di solventi con 256 t/anno e il Trasporto su strada con 48 t/anno, che rappresentano rispettivamente il 63 e il 12% delle emissioni. Ulteriori contributi sono dovuti all'Agricoltura (36 t/anno, il 9%), alla Combustione non industriale (26 t/anno, il 6%), all'Estrazione e distribuzione di combustibili (18 t/anno, il 4%), ad Altre sorgenti e assorbimenti (11 t/anno, il 3%) e ai Processi produttivi (7 t/anno, il 2%). Le emissioni di COV nel Comune di Nerviano contribuiscono per lo 0.7% al totale provinciale.

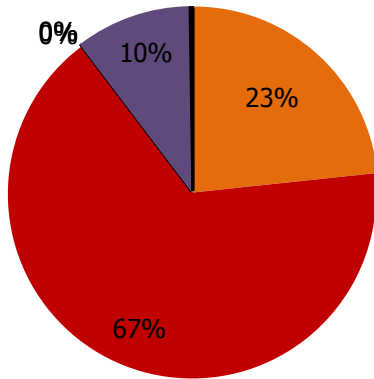
Le principali sorgenti di **Particolato Fine (PM10)** nel comune di Nerviano sono il Trasporto su strada con 11 t/anno (54%) e le Combustioni non industriali (5 t/anno, 25%). Contributi minori derivano dall'Uso di solventi (1.7 t/anno, 8%), da Altre sorgenti e assorbimenti (0.9 t/anno, 4%), dalla Combustione industriale (0.4 t/anno, 2%), dai Processi produttivi (0.3 t/anno, 2%), da Altre sorgenti mobili e macchinari (0.5t/anno, 2%) e dall'Agricoltura (0.3 t/anno, 2%). Le emissioni di PM10 nel Comune di Nerviano rappresentano lo 0.7% del totale provinciale con 20 t/anno.

Poiché lo scopo della presente campagna è stato quello di indagare l'origine del particolato, si sono estratti i dati dell'inventario regionale delle polveri sottili anche con il dettaglio per combustibile. Da essi emerge che circa un terzo delle emissioni (31%) di **PM10** è dovuto al diesel degli automezzi, mentre il 23% è dovuto alla parte non-exhaust del trasporto su strada, ovvero quella stima che include l'erosione dell'asfalto e l'usura di freni e pneumatici. Il 25% delle emissioni è invece dovuto alla combustione di biomassa, mentre il 15% ad attività di varia natura quale, ad esempio, la pavimentazione stradale, la produzione o lavorazione di prodotti chimici, i trattamenti di rifiuti e le emissioni dagli allevamenti. L'inventario attribuisce all'emissione di PM10 da attività di estrazione di materiale da cava 0.3 t/anno, ovvero l'1.4% delle emissioni totali.

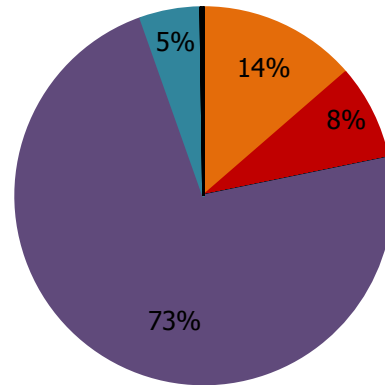
Analoghi contributi si ritrovano nella partizione del **PM2.5** e delle **Polveri Totali Sospese (PTS)**. I contributi dovuti alle emissioni da diesel e da combustione delle biomasse aumentano nel PM2.5 rispetto al PM10 ed alle PTS, trattandosi del particolato più fine; analogamente nel PM2.5 rispetto al PM10 diminuiscono i contributi costituiti da particelle coarse quali il non-exhaust del trasporto su strada, le lavorazioni di vario tipo e l'estrazione di materiale da cava.

Si riportano in Figura 3 (valori percentuali) e in Tabella 3 (valori assoluti) le stime relative ai principali inquinanti emessi dai diversi tipi di sorgente all'interno del comune di Nerviano. Per un confronto si riportano anche le stime riferite all'intera Provincia di Milano. Nella Figura 4 si riportano le stime relative alla ripartizione delle emissioni di polveri sottili.

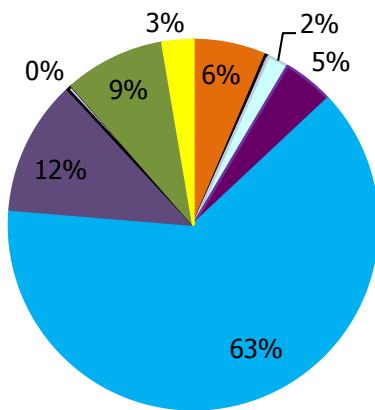
Biossido di zolfo (SO₂)



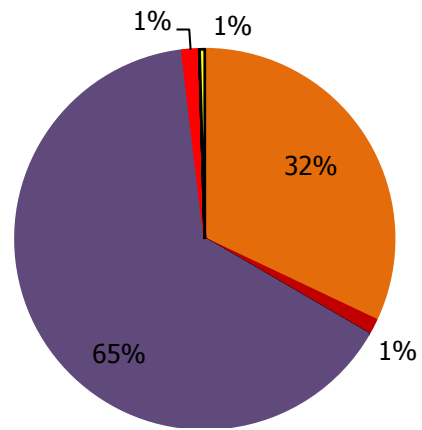
Ossidi di azoto (NO_x)



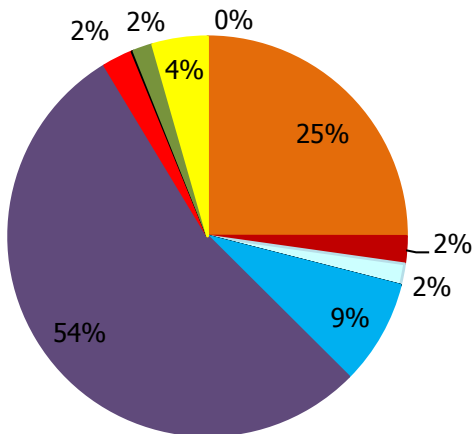
Composti Organici Volatili (COV)



Monossido di carbonio (CO)



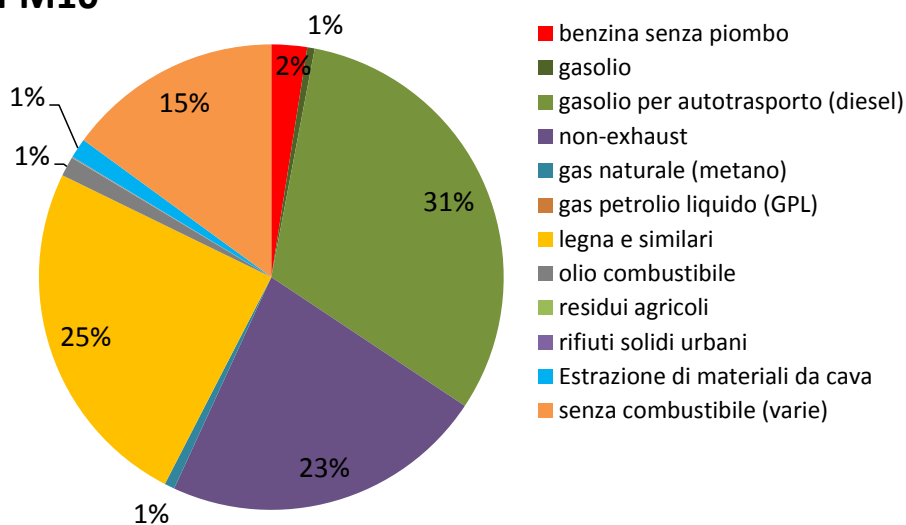
PM10



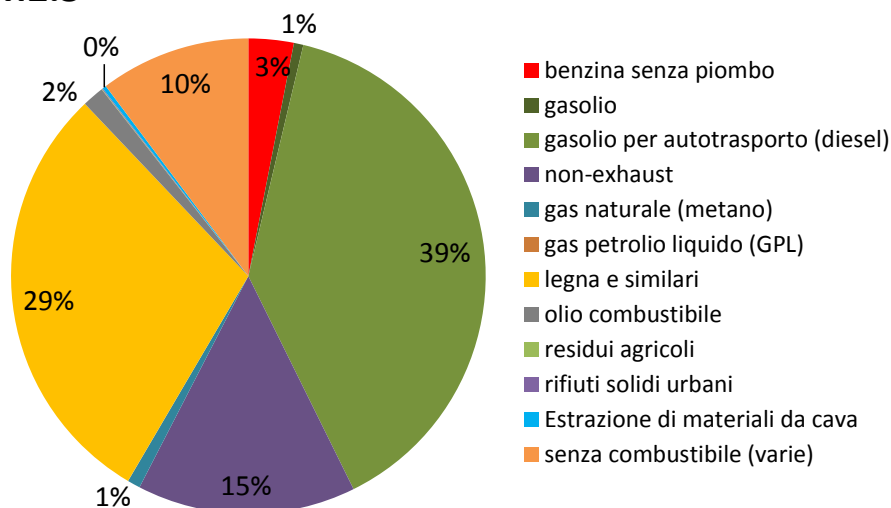
- Produzione energia e trasform. combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distribuzione combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Figura 3: Ripartizione delle emissioni nel territorio di Nerviano.

PM10



PM2.5



PTS

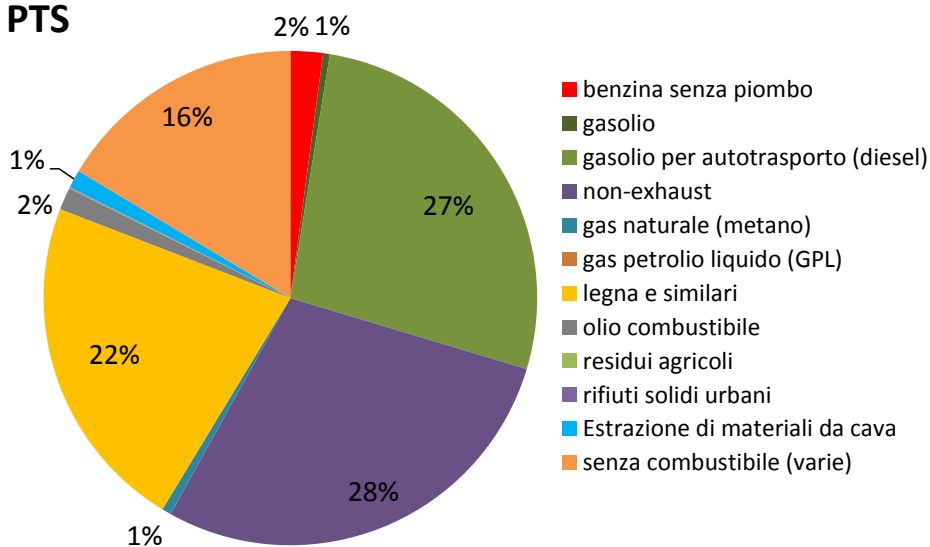


Figura 4: Ripartizione delle emissioni di polveri sottili nel territorio di Nerviano.

| NERVIANO | SO₂ | NO_x | COV | CH₄ | CO | CO₂ | N₂O | NH₃ | PM2.5 | PM10 | PTS | CO₂ eq | Precurs. O₃ | Tot. acidif. (H⁺) |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | kt/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | kt/anno | t/anno | kt/anno |
| Produzione energia e trasform. combustibili | | | | | | | | | | | | | | |
| Combustione non industriale | 2.458 | 22.7 | 25.929 | 7.072 | 100.5 | 30.2 | 2.125 | 0.168 | 4.9 | 5.1 | 5.3 | 31.0 | 64.8 | 0.580 |
| Combustione nell'industria | 7.0 | 13.6 | 1.221 | 0.539 | 4.2 | 12.1 | 0.727 | 0.012 | 0.384 | 0.446 | 0.569 | 12.3 | 18.2 | 0.514 |
| Processi produttivi | | | 7.387 | | | | | | 0.092 | 0.350 | 0.416 | | 7.4 | |
| Estrazione e distribuzione combustibili | | | 18.185 | 267.588 | | | | | | | | 5.6 | 21.9 | |
| Uso di solventi | | | 255.895 | | | | | | 0.605 | 1.715 | 2.017 | 1.279 | 255.9 | |
| Trasporto su strada | 1.064 | 121.1 | 47.615 | 3.023 | 203.1 | 34.1 | 1.075 | 2.557 | 8.8 | 10.9 | 13.1 | 34.5 | 217.7 | 2.816 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 0.026 | 8.6 | 1.725 | 0.023 | 4.5 | 0.811 | 0.035 | 0.002 | 0.495 | 0.495 | 0.495 | 0.822 | 12.7 | 0.188 |
| Trattamento e smaltimento rifiuti | | 0.001 | 0.083 | 0.004 | 0.083 | | | | 0.032 | 0.033 | 0.039 | | 0.094 | |
| Agricoltura | | 0.387 | 35.546 | 94.758 | | | 4.939 | 53.214 | 0.096 | 0.322 | 0.804 | 3.521 | 37.3 | 3.138 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | | | 10.824 | | 1.398 | -0.064 | | 0.000 | 0.899 | 0.899 | 0.899 | -0.064 | 11.0 | |
| Totale | 10.5 | 166.3 | 404.4 | 373.0 | 313.7 | 77.1 | 8.9 | 56.0 | 16.3 | 20.2 | 23.6 | 89.0 | 647.1 | 7.2 |

| PROVINCIA DI MILANO | SO₂ | NO_x | COV | CH₄ | CO | CO₂ | N₂O | NH₃ | PM2.5 | PM10 | PTS | CO₂ eq | Precurs. O₃ | Tot. acidif. (H⁺) |
|---|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-------------|-------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | kt/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | t/anno | kt/anno | t/anno | kt/anno |
| Produzione energia e trasform. combustibili | 159.2 | 1 969.0 | 157.3 | 158.0 | 577.6 | 3557.829 | 8.5 | | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 3 563.8 | 2 625.2 | 47.8 |
| Combustione non industriale | 737.7 | 3 782.6 | 2 165.1 | 724.4 | 9 720.2 | 5213.042 | 380.7 | 13.2 | 406.6 | 420.8 | 437.0 | 5 346.3 | 7 859.2 | 106.1 |
| Combustione nell'industria | 1 492.0 | 1 467.1 | 376.2 | 33.7 | 323.1 | 931.730 | 46.0 | 1.365 | 81.4 | 111.6 | 143.8 | 946.7 | 2 202.1 | 78.6 |
| Processi produttivi | 0.042 | 0.266 | 1 707.3 | 0.174 | | 44.464 | | 10.1 | 17.4 | 46.8 | 60.0 | 44.5 | 1 707.6 | 0.598 |
| Estrazione e distribuzione combustibili | | | 2 340.6 | 23 011.0 | | | | | | | | 483.2 | 2 662.8 | |
| Uso di solventi | 0.144 | 0.927 | 33 970.2 | 0.341 | 1.779 | | | 0.321 | 31.9 | 88.2 | 104.8 | 246.2 | 33 971.5 | 0.044 |
| Trasporto su strada | 157.2 | 21943 | 8 651.7 | 520.4 | 35 299.2 | 5 029.3 | 163.6 | 385.1 | 1 459.6 | 1 780.0 | 2 143.1 | 5 091.0 | 39 312.8 | 504.6 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 94.8 | 2453 | 823.2 | 4.847 | 1 960.5 | 335.0 | 8.8 | 0.438 | 113.8 | 114.9 | 114.9 | 337.9 | 4 031.9 | 56.3 |
| Trattamento e smaltimento rifiuti | 71.6 | 770.9 | 211.2 | 17 104.6 | 123.7 | 126.0 | 166.1 | 38.5 | 16.7 | 18.3 | 22.4 | 536.7 | 1 404.8 | 21.3 |
| Agricoltura | 7.723 | 121.7 | 5 346.8 | 12 847.5 | 402.9 | | 651.5 | 5 205.8 | 48.4 | 64.1 | 107.5 | 471.8 | 5 719.5 | 309.1 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | 0.088 | 0.387 | 1 164.0 | 6.966 | 258.7 | -65.9 | | 0.088 | 159.9 | 159.9 | 159.9 | -65.8 | 1 193.0 | 0.016 |
| Totale | 2721 | 32510 | 56914 | 54412 | 48668 | 15172 | 1425 | 5655 | 2346 | 2815 | 3303 | 17002 | 102691 | 1124 |

Tabella 3: Quantitativi delle emissioni annuali di inquinanti nel territorio di Nerviano e nell'intera Provincia di Milano.

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è noto, dalla quantità e dalle modalità di emissione degli inquinanti stessi nell'area, ma le condizioni meteorologiche influiscono sia sulle condizioni di dispersione e di accumulo degli inquinanti, sia sulla formazione di alcune sostanze nell'atmosfera stessa. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati, soprattutto durante una campagna di breve durata, siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nel periodo del monitoraggio.

La campagna di approfondimento di Qualità dell'Aria è stata condotta tra il 6 e il 28 ottobre 2010.

La prima parte della campagna di misure ha visto il transito di un'area di bassa pressione che ha portato a precipitazioni diffuse, localmente anche forti. Successivamente la perturbazione si è allontanata con l'espansione di un promontorio anticiclonico, caratterizzato da circolazione debole in quota con nubi basse su pianura e Prealpi e afflusso di aria più fresca da est. Quest'ultima, a tratti, ha prodotto nuvolosità irregolare ed occasionali piogge. L'ultima parte del periodo di misura è stata fredda e piuttosto piovosa, caratterizzata da due fasi di tempo perturbato separate da una fase di tempo stabile.

Per i motivi sopra esposti, la temperatura media giornaliera ha mostrato un trend decrescente, oscillando tra un valore minimo di 7.5°C (27 ottobre) e uno massimo di 17.4°C (7 ottobre); la media relativa all'intero periodo è risultata pari a 11.6°C. L'umidità relativa ha fatto registrare un valore medio pari a 82%, con oscillazioni delle medie giornaliere tra 53% e 98%. Durante il periodo di misura hanno avuto luogo 6 fenomeni di precipitazione, raggiungendo un massimo di 41.4 mm di pioggia il 25 ottobre; nell'intero periodo di misura (23 giorni) sono stati registrati 63.6 mm di pioggia.

Durante il periodo del monitoraggio le condizioni climatiche sono state poco favorevoli alla dispersione degli inquinanti, infatti nei periodi di alta pressione le condizioni di stabilità atmosferica hanno determinato isoterma o inversione da subsidenza in quota, permettendo l'accumulo degli inquinanti nei bassi strati atmosferici e determinando diversi giorni di superamento del valore limite per il PM10.

Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura dalla centralina di Arconate, la più vicina a Nerviano dotata di sensori meteorologici:

- Precipitazione (mm) e Pressione (hPa)
- Radiazione solare media (W/m^2) e Temperatura (C°)
- Velocità Vento (m/s), Umidità Relativa (%) e Umidità Assoluta (g/cm^3)
- Rose del vento e classi di stabilità

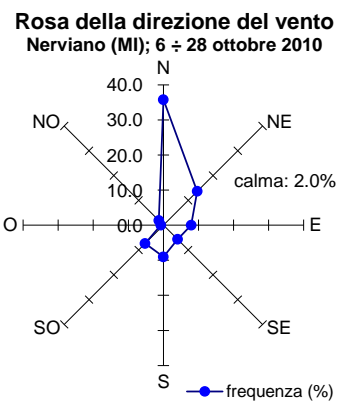
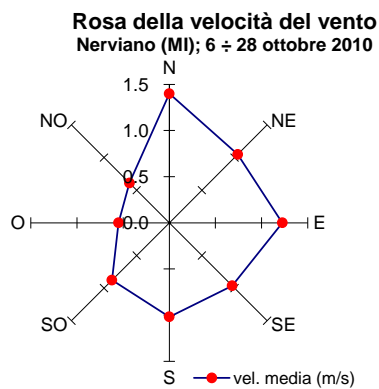
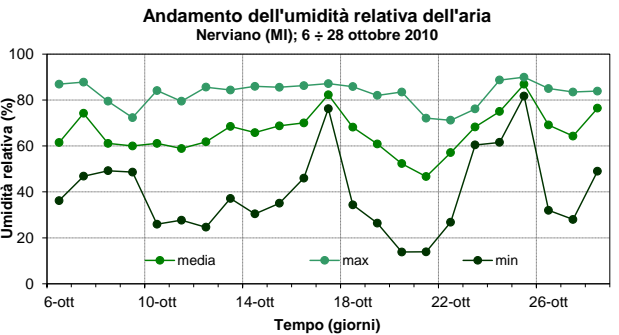
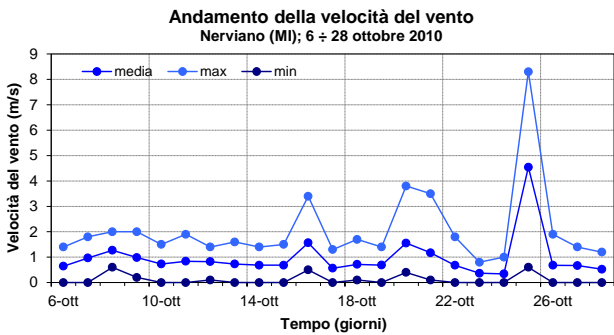
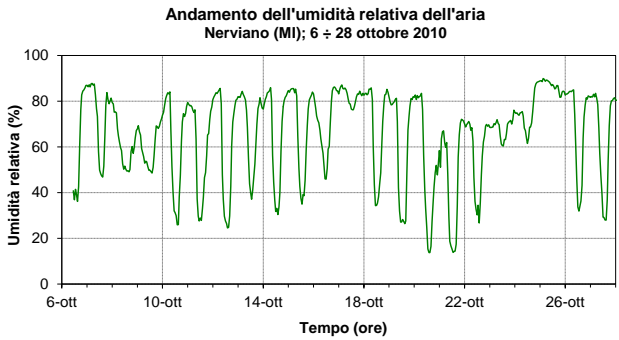
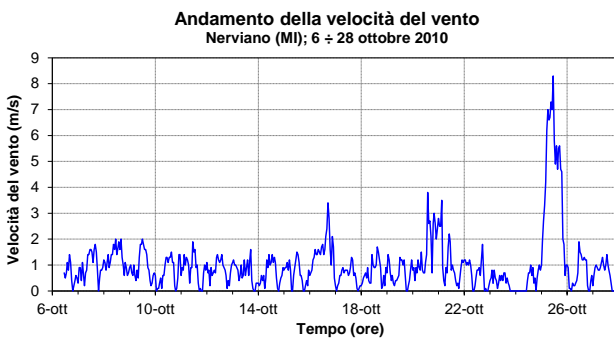
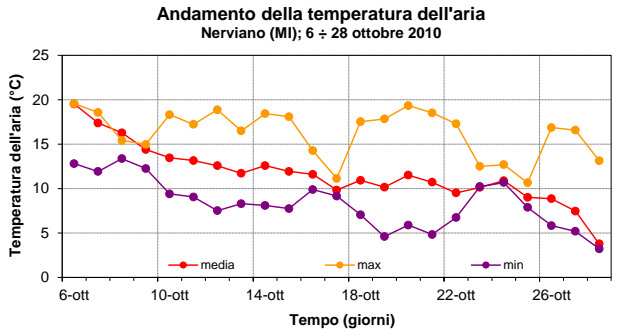
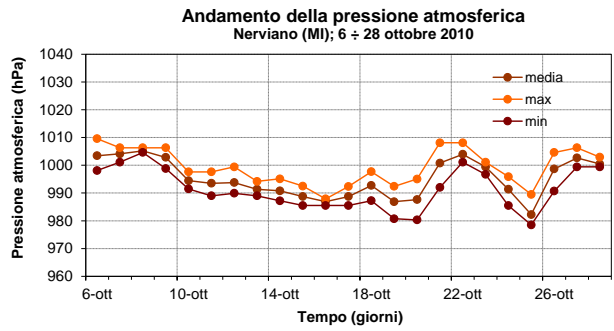
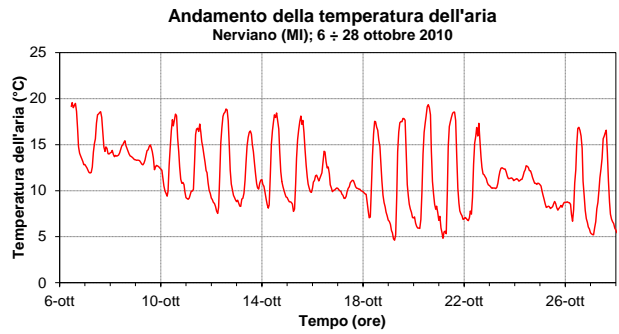
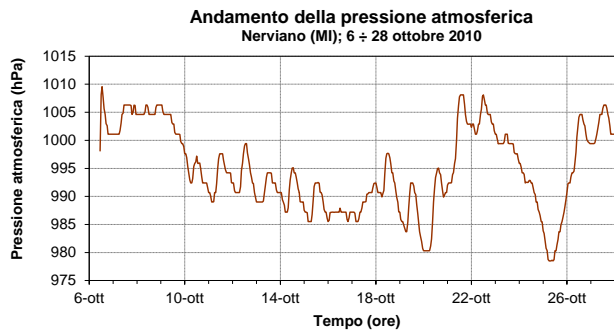


Figura 5 – Andamenti della pressione atmosferica, temperatura dell'aria, umidità relativa e velocità del vento.

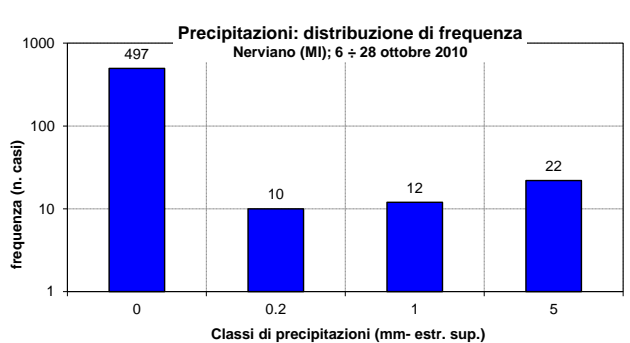
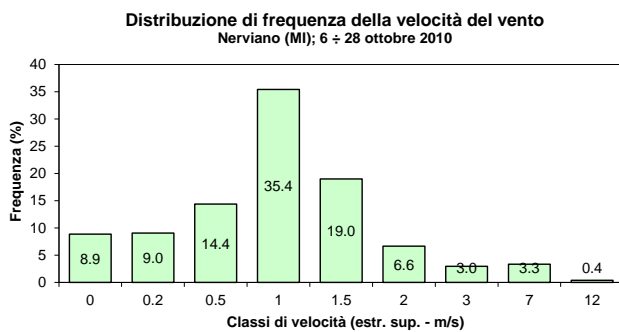
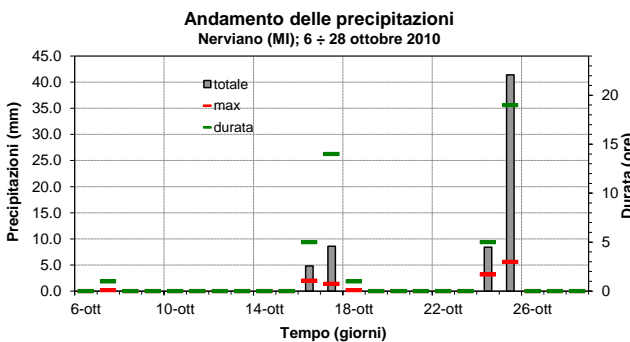
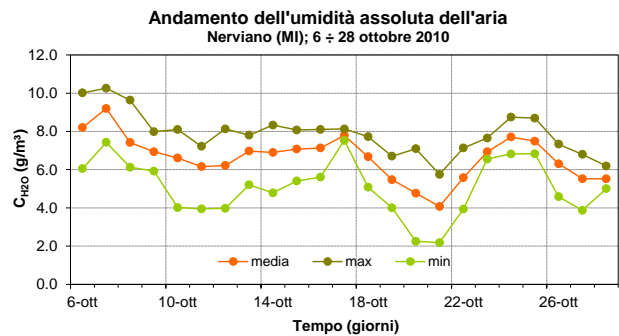
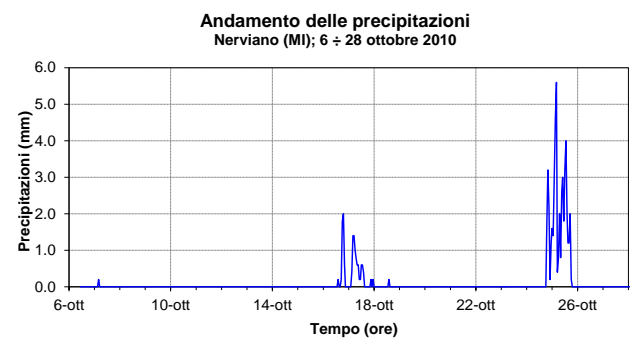
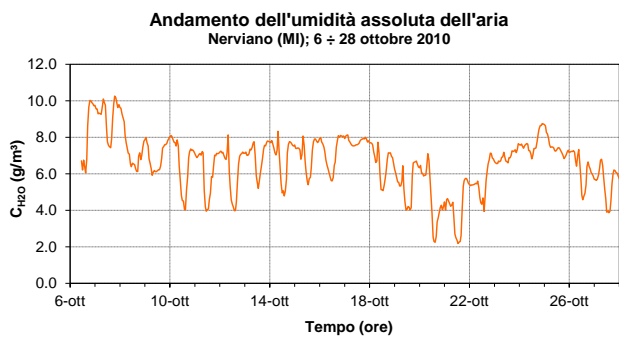
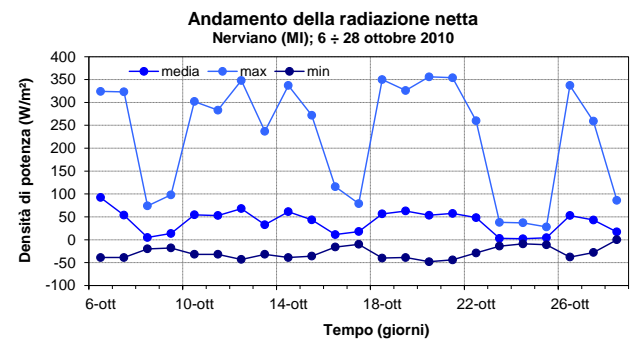
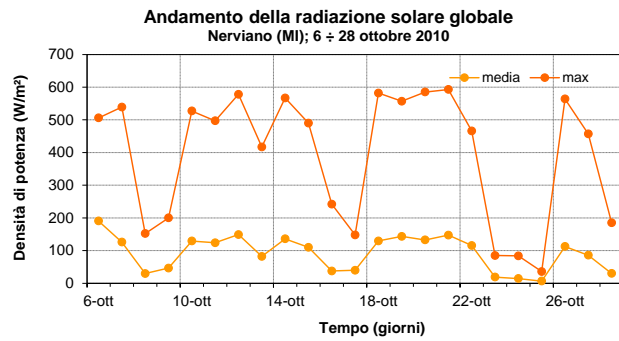
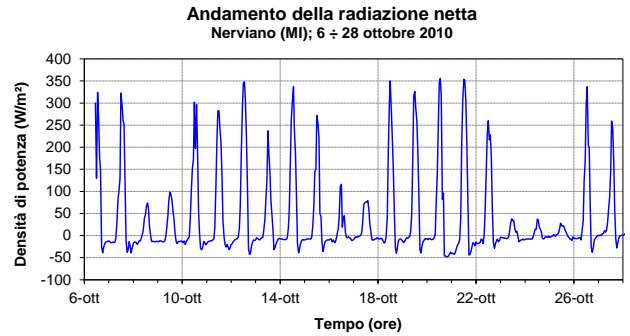
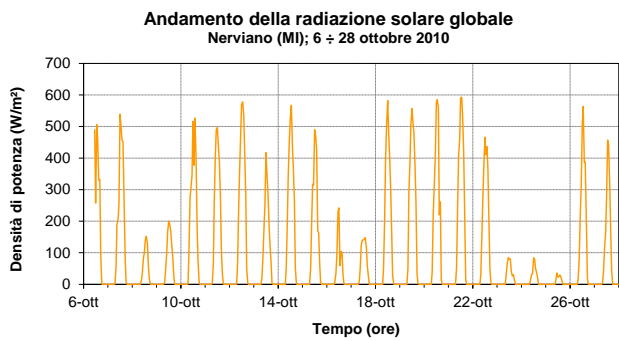


Figura 6 – Andamenti della radiazione solare globale e netta, umidità assoluta dell'aria e precipitazioni.

Risultati delle misure

Come anticipato, la misura del **Particolato Fine (PM10)** è stata effettuata con due campionatori sequenziali e successiva pesata gravimetrica; questi tipi di strumenti sono programmati per ottenere le concentrazioni medie giornaliere.

Le concentrazioni di PM10 nei due siti hanno mostrato la stessa media sul periodo ($47 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e la stessa massima giornaliera ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$), registrata il 24 ottobre. Nel grafico di figura 7 sono mostrate le concentrazioni medie giornaliere misurate durante la campagna, messe a confronto con le concentrazioni misurate nella vicina postazione fissa di Magenta e con la media delle concentrazioni misurate nelle postazioni fisse della città di Milano. In figura 8 sono invece mostrate le medie sul periodo e il numero di giorni di superamento del limite giornaliero di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per ciascuna postazione.

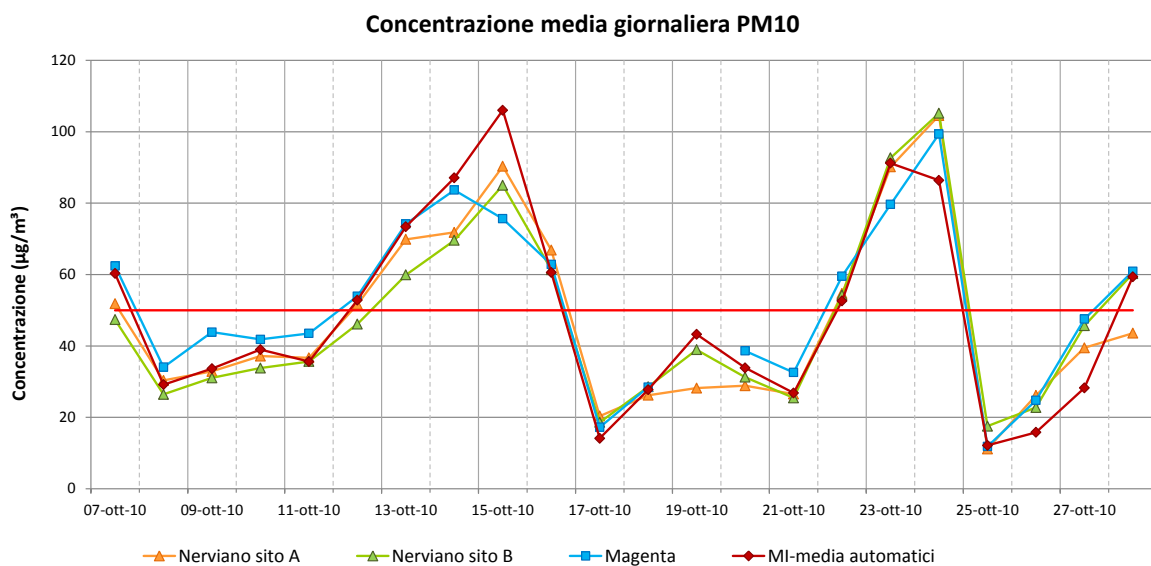


Figura 7: Concentrazioni medie giornaliere di PM10 a Parabiago e in alcune stazioni della RRQA nel periodo di misura.

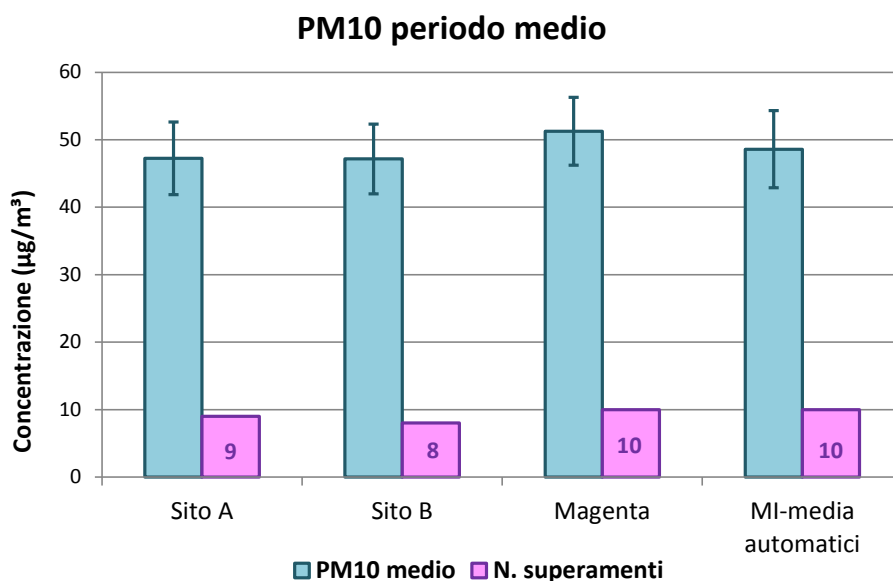


Figura 8: Parametri statistici a confronto.

Gli andamenti non evidenziano differenze tra le due postazioni di Nerviano e, in generale, il trend è in linea con quello delle postazioni prese a confronto. Le misure di PM10 di Nerviano si mantengono al di sotto o in linea con quanto misurato nell'area milanese, fatta eccezione per un fenomeno locale verificatosi intorno al 24 ottobre, causato dapprima da una prolungata precipitazione che il giorno successivo ha fatto registrare la massima cumulata sul periodo, in concomitanza con un episodio di vento da sud, quindi dalla pianura urbanizzata, che ha raggiunto la massima media oraria di 5.6 m/s. Durante il periodo di misura si sono verificati 9 giorni di superamento nel sito A e 8 nel sito B (Figura 8).

Nella Figura 9 si riportano in confronto le concentrazioni di massa rilevate dai campionatori gravimetrici e quelle stimate attraverso i dati dell'OPC, facendo opportune ipotesi sulla densità delle particelle.

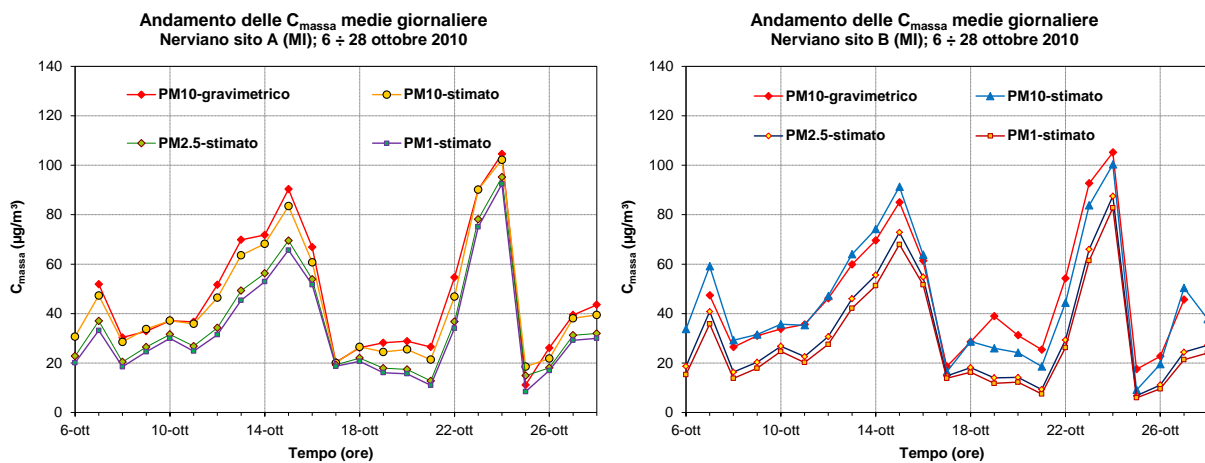


Figura 9 – Concentrazioni medie giornaliere di PM10 misurate con metodo gravimetrico e calcolo delle concentrazioni medie giornaliere dalle misure dell'OPC per il PM10, PM2.5 e PM1.

I giorni in cui si ha l'abbattimento di PM10 sono giorni di pioggia; i fenomeni ventosi non hanno invece avuto l'effetto di ridurre le concentrazioni, in quanto hanno contribuito al trasporto di aria non pulita. Il confronto mostra inoltre un'ottima correlazione tra le concentrazioni rilevate dai due sistemi per quanto riguarda il PM10. E' possibile quindi, attraverso le medesime ipotesi sulla densità, risalire alle concentrazioni di massa orarie e ricostruire gli andamenti del giorno tipo di PM10, PM2.5, PM1 e della frazione "coarse" (PM10-PM2.5) calcolati sull'intero periodo, per i giorni feriali e per le domeniche e nei due siti (figura 10 e 11).

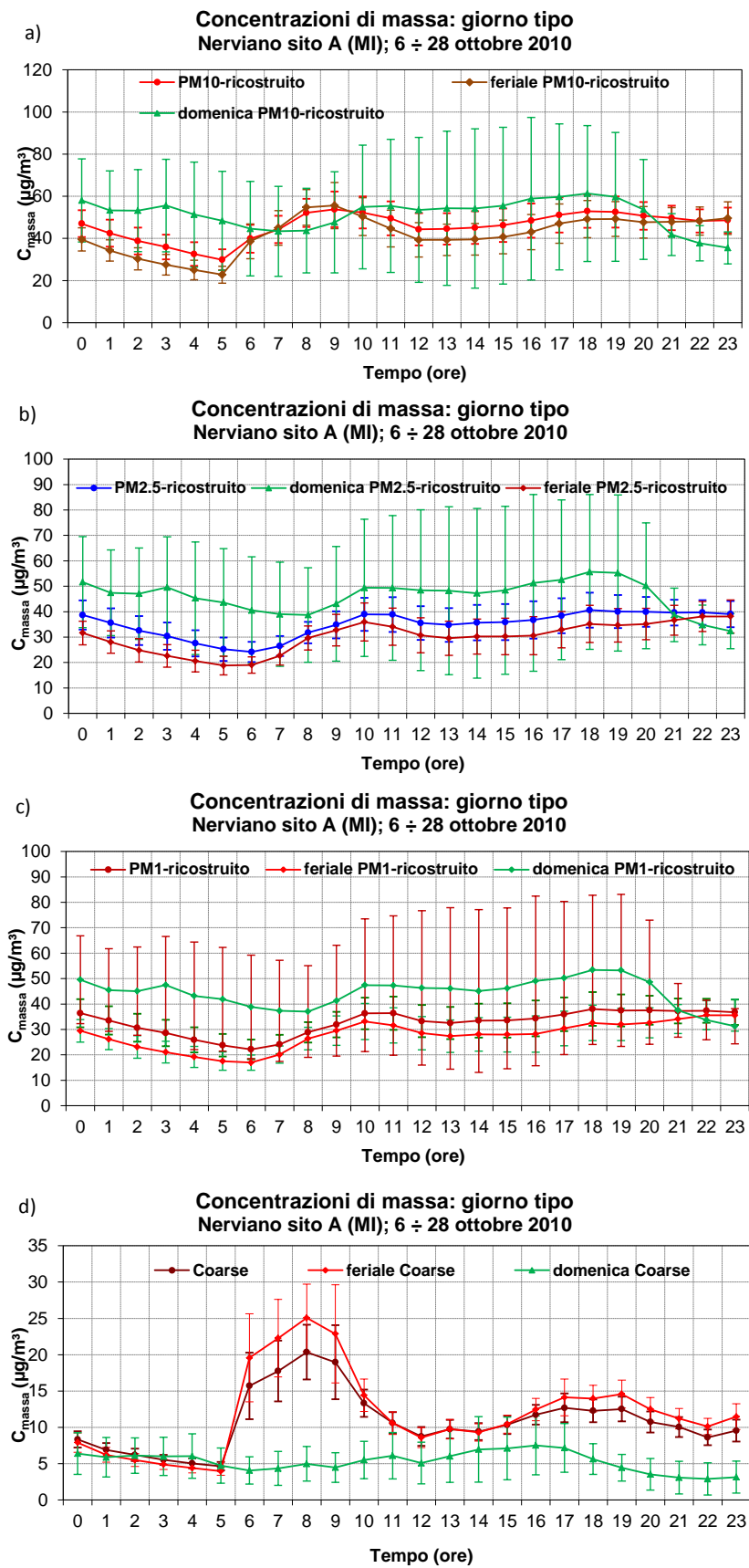


Figura 10 – Giorno tipo delle concentrazioni di massa ricavate dall’OPC: PM10 (a), PM2.5 (b), PM1 (c) e frazione coarse (d), per il sito A di Nerviano.

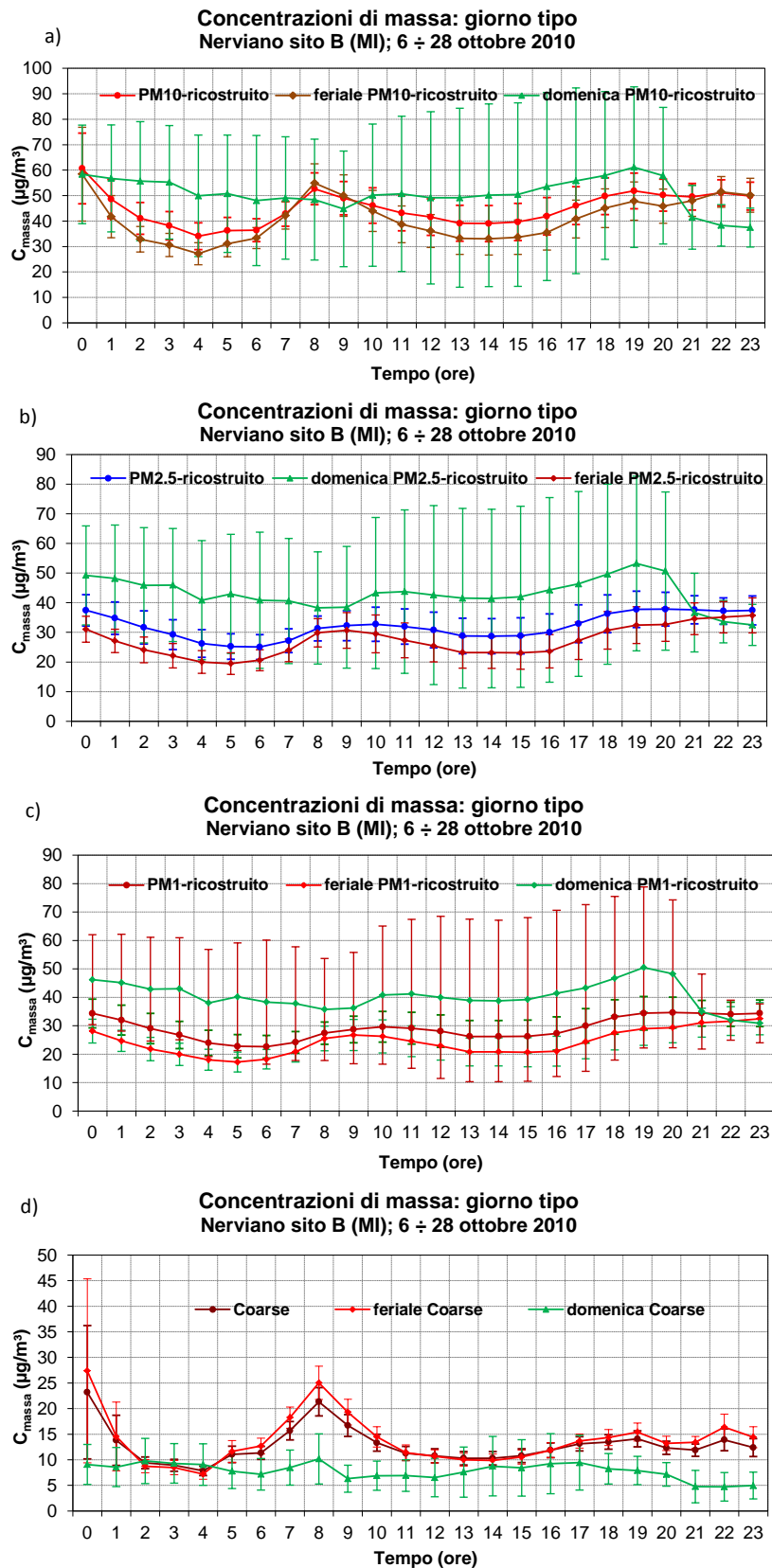


Figura 11 - Giorno tipo delle concentrazioni di massa ricavate dall'OPC: PM10 (a), PM2.5 (b), PM1 (c) e frazione coarse (d), per il sito B di Nerviano.

Le particelle che appartengono al PM10 ma non al PM2.5, ovvero quelle della cosiddetta frazione “coarse” o grossolane, sono generalmente di origine meccanica (risospensione di polvere dal suolo per azione del vento o per la turbolenza generata dai veicoli sulla pavimentazione stradale). Dai grafici è evidente il diverso comportamento della frazione fine del PM10 (PM1) rispetto, soprattutto, alla frazione “coarse”. Infatti mentre le concentrazioni di PM1 non cambiano qualitativamente nei giorni festivi rispetto a quelli feriali, in quanto il loro livello nel corso delle 24 ore è essenzialmente modulato dal variare delle capacità dispersive e dell’atmosfera, la frazione “coarse” mostra nei giorni feriali pronunciati incrementi nelle ore di punta del traffico, soprattutto la mattina.

Dai grafici precedenti tuttavia si vede che nel giorno tipo festivo del PM10, cioè la domenica, non si ha un calo delle concentrazioni. Evidentemente ciò è dovuto al sommarsi alle sorgenti di origine meccanica, che sono relativamente basse rispetto a quanto osservato nei giorni feriali (grafico 10d e 11d), di altre fonti emissive. Una possibile ipotesi in merito è quella di contributi dovuti ai processi di combustione delle biomasse, presumibilmente concentrate nei giorni festivi, considerato anche che il permesso relativo all’accensione dei riscaldamenti domestici intercorre dal giorno 15 ottobre.

Analogamente a prima, è possibile risalire dalle concentrazioni numeriche alle concentrazioni di massa per ciascuna classe dimensionale misurata, relativa a tutto il periodo di misura (figure 12 e 13). Dai grafici emerge che il contributo maggiore alla massa del PM10 è fornito dalle particelle con dimensione inferiore a 1 µm e cioè dalla frazione ultrafine, e da quelle della frazione coarse, a conferma di quanto esposto sopra. In particolare i due picchi osservati sono relativi a due fenomeni intercorsi durante la campagna di misura: il primo centrato sul giorno 16 ottobre e dovuto ad un ristagno diffuso che ha favorito un generale accumulo di inquinanti; il secondo centrato sul giorno 24 ottobre e dovuto ad un fenomeno ventoso che ha favorito il trasporto di particolato dai settori sud orientali.

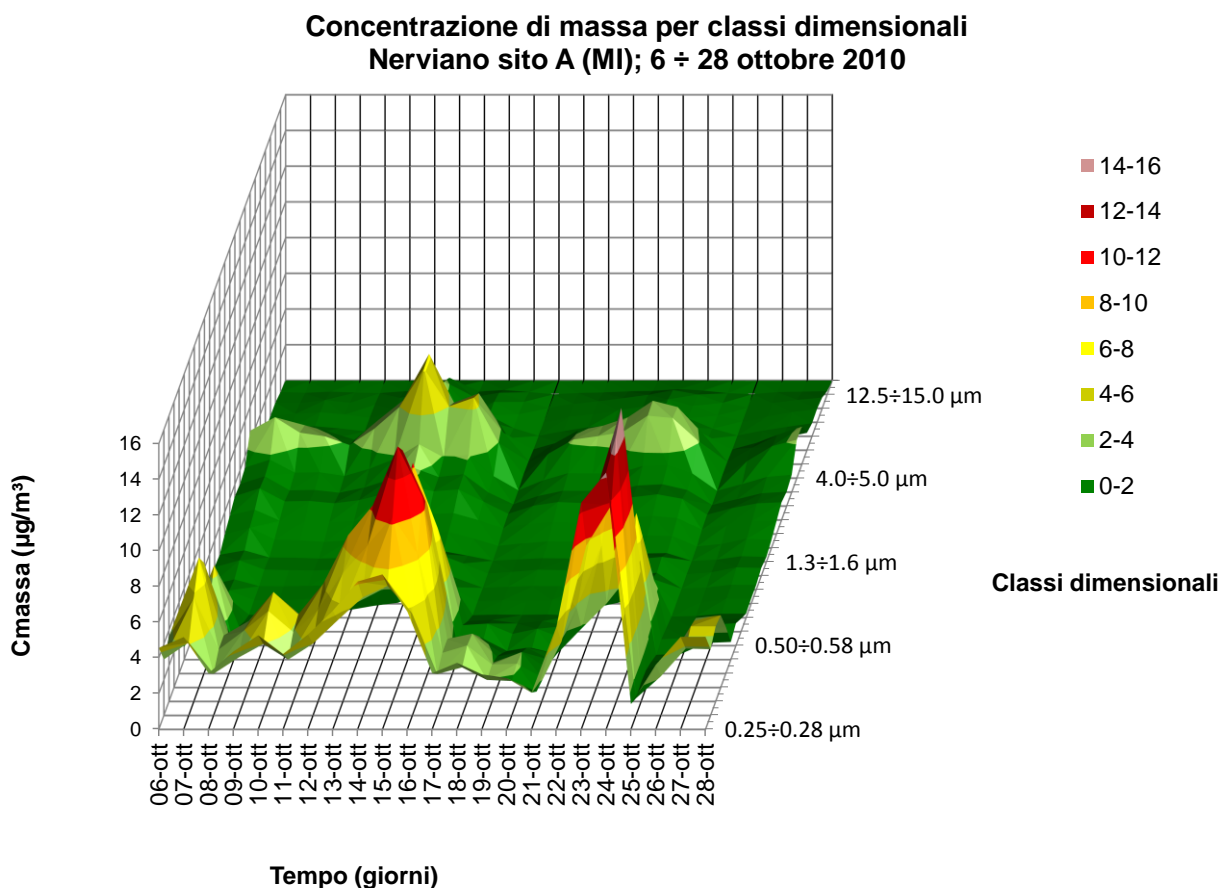


Figura 12 – Concentrazioni di massa per le 31 classi dimensionali.

**Concentrazione di massa per classi dimensionali
Nerviano sito B (MI); 6 ÷ 28 ottobre 2010**

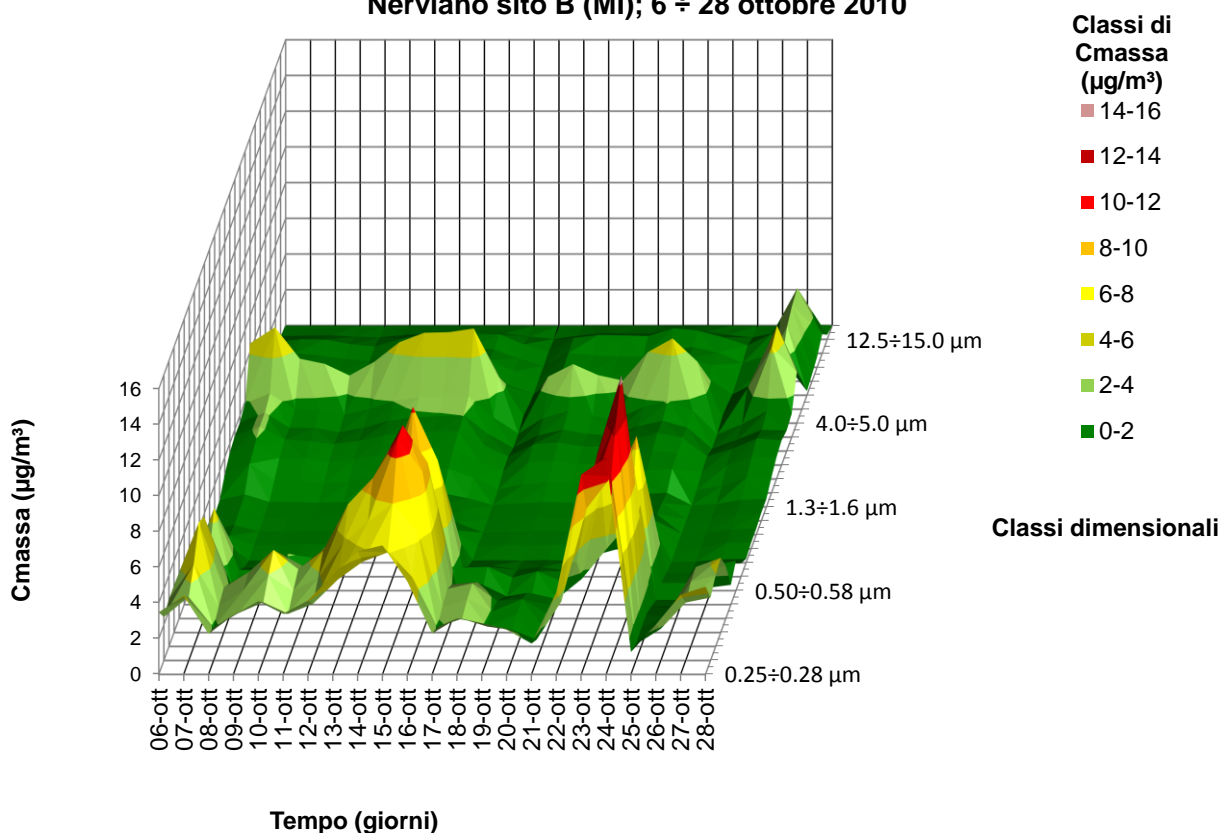


Figura 13 – Concentrazioni di massa per le 31 classi dimensionali.

E' stata eseguita anche una ulteriore elaborazione dei dati ricavati dagli OPC, consistente nel calcolo della funzione di autocorrelazione delle concentrazioni di massa orarie.

In breve, tale elaborazione fornisce informazioni riguardo alla scala temporale delle variazioni di concentrazione, evidenziandone l'eventuale periodicità e l'influenza della situazione pregressa. I risultati ottenuti mettono in evidenza una significativa periodicità su scala giornaliera solo per la frazione coarse misurata nel sito A, mentre nessuna sorgente "periodica" di particolato grossolano appare influenzare il sito B. si può quindi ipotizzare la presenza di una sorgente di particelle di formazione meccanica con una periodicità di circa 12 ore e quindi presumibilmente legata al traffico. Per maggiori dettagli in merito si rimanda all'Appendice 1a.

L'applicazione di un'analisi a cluster alle serie di concentrazioni numeriche delle 31 classi dimensionali ha consentito di individuare 3 raggruppamenti distinti di classi dimensionali con andamenti simili.

Nel sito A il primo gruppo è quello delle particelle submicrometriche, originate da combustioni, il secondo è costituito dalle particelle fino a 2 µm e il terzo raggruppa tutte le altre, più grossolane e di formazione meccanica. Nel sito B i gruppi (cluster) individuati sono dimensionalmente più ampi, indice dell'impatto di sorgenti emissive diverse e con contributi quantitativamente più simili.

Per i 3 raggruppamenti di classi di particelle individuati nei due siti sono state elaborate le rose di inquinamento, ovvero per ogni cluster dimensionale sono state calcolate le concentrazioni numeriche medie associate alla direzione del vento classificata in 8 settori. Per la direzione del vento si sono considerati i dati rilevati dalla stazione di Arconate come già mostrato nel paragrafo relativo alla condizione meteorologica nel periodo di misura (Figura 5). Questo tipo di elaborazione consente di valutare eventuali fenomeni di trasporto delle particelle in relazione alle loro dimensioni. Nel caso specifico, la concentrazione di particolato maggiore nel sito A è influenzata da particelle della frazione coarse e grossolane, prodotte da

una sorgente locale mentre quelle fini e ultrafini hanno un comportamento spazialmente più omogeneo a causa della diffusione di inquinamento da tutto il bacino padano. Analogamente per il sito B, dove le particelle della frazione coarse sono influenzate dalla risospensione locale. Maggiori dettagli sull'analisi a cluster e le relative elaborazioni possono essere reperiti nell'Appendice 1b.

Sui campioni raccolti di PM10 dei siti A e B è stata effettuata l'analisi in Fluorescenza a Raggi X (XRF) per la determinazione degli elementi con numero atomico $Z > 11$: la distinzione tra quelli di origine terrigena e gli altri, risulta fondamentale per valutare il contributo della risospensione.

Attraverso questo tipo di analisi è possibile determinare le concentrazioni dei seguenti elementi: alluminio (Al), silicio (Si), 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) e stronzio (Sr).

Nella figura 14 si riporta il grafico ad istogrammi delle concentrazioni medie sul periodo dei vari elementi per i due siti di Nerviano. In particolare, per riuscire a visualizzare tutti gli elementi senza perdere informazioni, sull'asse delle ordinate è rappresentata la radice cubica della concentrazione di massa.

Gli unici elementi normati tra quelli rilevati sono il piombo e il nichel, con un limite rispettivamente di $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la concentrazione media annuale (D.Lgs. 155/2010). Nel periodo di misura (22 giorni) la concentrazione massima di piombo è stata di $0.086 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nel sito A, misurata il 15 ottobre, con un valore medio pari a $0.040 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre nel sito B la concentrazione massima è stata $0.086 \mu\text{g}/\text{m}^3$, misurata il 16 ottobre, con un valore medio pari a $0.041 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si stima perciò molto improbabile il superamento del limite annuale per questo elemento.

Per quanto riguarda il nichel, nel sito A la concentrazione massima sul periodo di misura è stata $0.022 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (21 ottobre) con un valore medio di $0.008 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre nel sito B la concentrazione massima è stata $0.051 \mu\text{g}/\text{m}^3$, misurata il 28 ottobre, con un valore medio di $0.011 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

**Istogramma delle concentrazioni medie degli elementi
Nerviano (MI) 6 ÷ 28 ottobre 2010**

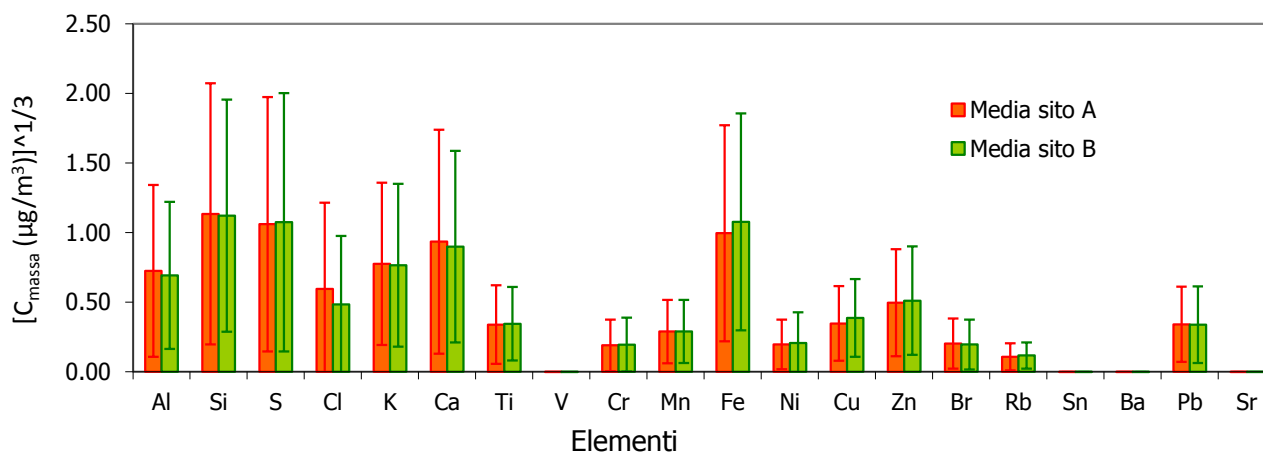


Figura 14 - Speciazione XRF della concentrazione media di PM10 per il sito A e il sito B.

Poiché nel particolato gli elementi analizzati compaiono legati in molecole di ossidi, per valutare la frazione di massa degli elementi presenti nel PM10 è necessario risalire alla massa totale degli ossidi. In base alle considerazioni precedenti, la massa totale degli ossidi è costituita dalla somma degli ossidi degli elementi legati al risollevarimento del suolo (elementi terrigeni) e degli ossidi di tutti i restanti elementi disponibili (non terrigeni). Le due componenti sono ottenute sulla base dei rapporti stechiometrici e dei Fattori di Arricchimento (FA):

$$\text{suolo} = (1.890\text{Al} + 2.139\text{Si} + 1.205\text{K}^* + 1.399\text{Ca} + 1.668\text{Ti} + 1.358\text{Fe}^*) \cdot 1.15$$

Non terrigeni = $3.947F + 2.580Cl + 1.205 \cdot (K - K^*) + 1.923Cr + 2.019Mn + 1.358 \cdot (Fe - Fe^*) + 1.341Ni + 1.252Cu + 1.245Zn + 1.701Br + 1.270Sn + 1.117Ba + 1.183Sr + 1.077Pb + 1.628V$

con * = concentrazione totale / FA, se maggiore di 2.

La parte inorganica della polvere del suolo è stata identificata dagli ossidi preferenziali di: Al, Si, K, Ca, Ti, Fe; per il ferro e il potassio è stata considerata quindi la sola frazione di origine naturale stimata attraverso i corrispondenti FA; il fattore 1.15 tiene conto del contributo degli ossidi di Na e Mg qui non misurati.

Nell'analisi effettuata sui campioni di Nerviano gli ossidi degli elementi misurati secondo la tecnica di fluorescenza X costituiscono in media il 25% e il 24% della massa totale del PM10 nel sito A e nel sito B rispettivamente. La sola componente terrigena invece influisce per il 14% ed il 13% rispettivamente per il sito A e B. Analizzando perciò la composizione percentuale del particolato risulta evidente come nel PM10 non sia la componente degli elementi terrigeni ad essere prevalente, indicando quindi che la presenza della cava nel sito A non costituisca una sorgente discriminante tra i due siti. In figura 15 sono rappresentati i contributi percentuali giornalieri degli ossidi di elementi che individuano il suolo alla massa di PM10 per i due siti: i contributi minori intercorrono durante i fine settimana, in particolare la domenica (10, 17 e 24 ottobre), quando le attività in genere sono ferme e il traffico diminuisce. Quotidianamente i contributi risultano equivalenti nei due siti.

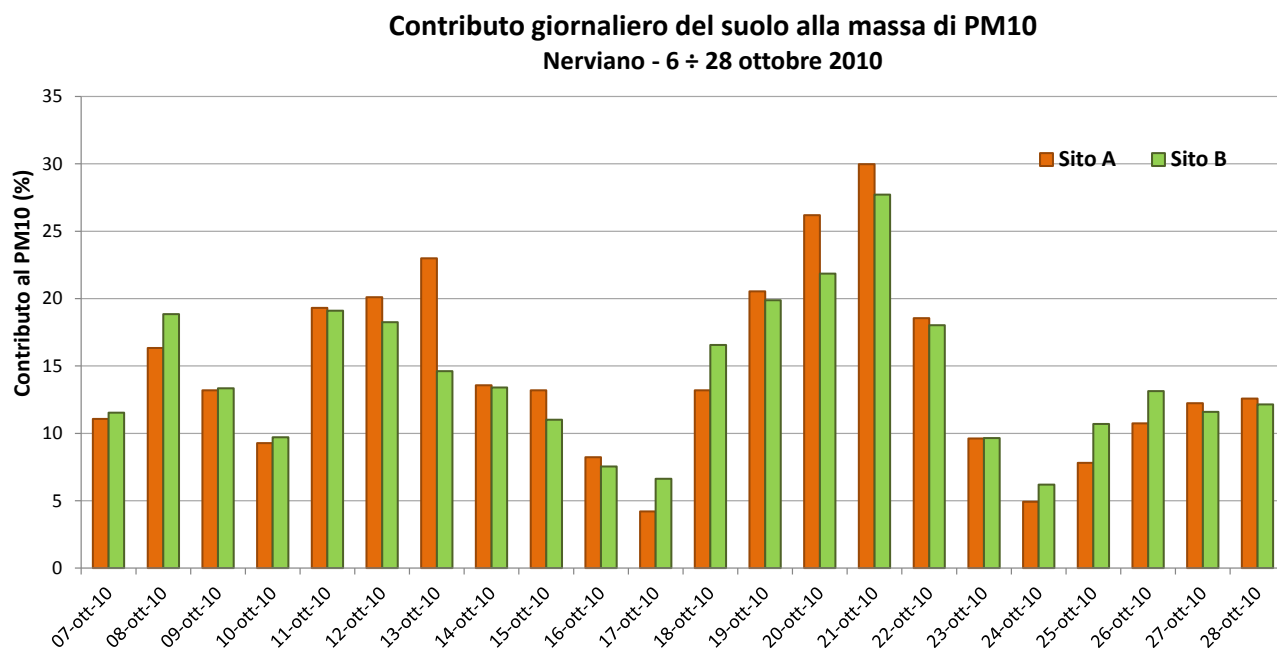


Figura 15 – Contributo percentuale giornaliero alla massa di PM10.

L'analisi a cluster è stata anche applicata alle serie di concentrazioni numeriche delle 31 classi dimensionali e delle concentrazioni degli elementi analizzati, per determinare a quali classi dimensionali possano essere attribuiti i vari elementi. Nel sito A le particelle grossolane e coarse si raggruppano con gli elementi terrigeni, mentre le particelle più fini non risultano correlate con gli elementi misurati, a dimostrazione di un'origine più diffusa. Il primo cluster potrebbe quindi indicare un modesto impatto delle attività legate alla presenza della cava, che non si riscontra nell'analoga elaborazione eseguita per il sito B. tale impatto risulta comunque solo occasionale e di limitata entità, considerando che, comunque, le concentrazioni di PM10 sono del tutto confrontabili nei due siti.

Si rimanda all'Appendice 2 per ulteriori approfondimenti sull'analisi delle concentrazioni elementali.

Conclusioni

Le misure effettuate a Nerviano hanno consentito di caratterizzare in generale la qualità del particolato in prossimità della cava rispetto al centro della città.

Il PM10 ha superato il valore limite di legge per 9 volte nel sito A e 8 volte nel sito B, sui 22 giorni di monitoraggio. In generale anche i valori medi giornalieri sono confrontabili con quelli della postazione fissa di Magenta e della media degli automatici delle postazioni di Milano, prese a confronto. L'analisi dei valori delle polveri fini misurate ha messo in evidenza un impatto molto modesto della cava e non tale da costituire significative difformità nelle concentrazioni di PM10 rispetto alla situazione urbana di Nerviano. Sui campioni raccolti di PM10 dei siti A e B è stata effettuata l'analisi in XRF per la determinazione degli elementi con numero atomico $Z > 11$, che ha permesso di valutare il contributo degli elementi legati al risollevarimento del suolo (elementi terrigeni) rispetto a tutti i restanti elementi disponibili (non terrigeni): il contributo dei terrigeni nel sito A passa dal 6% della massa totale nei giorni festivi al 17% nei giorni lavorativi; analogamente nel sito B passa dall'8% dei giorni festivi al 16% dei giorni lavorativi, perciò senza sostanziali variazioni.

L'analisi dei valori delle polveri misurate non ha messo in risalto un'influenza significativa della presenza della cava rispetto alle altre sorgenti; non si evidenziano pertanto particolari criticità nel confronto con le altre stazioni della provincia.

Allegato Dati Giornalieri

| | Nerviano-Sito A | Nerviano-Sito B |
|-----------|------------------------------|------------------------------|
| | PM10 | PM10 |
| | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
| 07-ott-10 | 51.9 | 47.4 |
| 08-ott-10 | 30.3 | 26.4 |
| 09-ott-10 | 32.9 | 31.0 |
| 10-ott-10 | 37.1 | 33.8 |
| 11-ott-10 | 36.7 | 35.6 |
| 12-ott-10 | 51.7 | 46.1 |
| 13-ott-10 | 69.9 | 59.9 |
| 14-ott-10 | 71.8 | 69.6 |
| 15-ott-10 | 90.3 | 85.0 |
| 16-ott-10 | 66.9 | 61.4 |
| 17-ott-10 | 20.3 | 18.6 |
| 18-ott-10 | 26.2 | 28.6 |
| 19-ott-10 | 28.2 | 39.0 |
| 20-ott-10 | 28.8 | 31.2 |
| 21-ott-10 | 26.5 | 25.4 |
| 22-ott-10 | 54.7 | 54.3 |
| 23-ott-10 | 90.2 | 92.7 |
| 24-ott-10 | 104.5 | 105.2 |
| 25-ott-10 | 11.2 | 17.5 |
| 26-ott-10 | 26.1 | 22.8 |
| 27-ott-10 | 39.5 | 45.6 |
| 28-ott-10 | 43.6 | 60.3 |

Approfondimenti sui dati dell'OPC : funzione di autocorrelazione

Un'elaborazione significativa delle concentrazioni numeriche misurate dagli OPC è il calcolo della funzione di autocorrelazione dei dati di massa orari, stimati attraverso le concentrazioni numeriche.

Tramite la funzione di autocorrelazione è possibile indagare sulla "memoria" del particolato ovvero quantificare la scala temporale delle variazioni delle concentrazioni numeriche oppure delle frazioni di particolato, nel caso della massa; tale informazione può aiutare a comprendere se il valore di concentrazione misurato in un dato istante di tempo è influenzato dalla situazione pregressa e per quanto tempo si protrae tale influenza; inoltre la funzione di autocorrelazione ci può fornire un'informazione aggiuntiva su eventuali periodicità del sistema. Si considera come tempo di "memoria" del particolato (lunghezza di correlazione) il tempo per il quale la funzione scende a valori al di sotto di 0.5. In pratica la funzione di autocorrelazione rappresenta l'andamento del coefficiente di Pearson della serie correlata con se stessa ma traslata via via di un'unità temporale.

Nelle figure 16 e 17 sono rappresentate le funzioni di autocorrelazione delle concentrazioni di massa per i siti A e B. Il grafico mostra una periodicità giornaliera per quanto attiene la frazione coarse del sito A, evidenziando la presenza di una sorgente sistematica di particelle di formazione meccanica, quindi imputabili alle attività di trasporto. Va precisato che il sito A non è solo a ridosso della cava ma si trova sottovento rispetto ad un'arteria stradale di notevole intensità di traffico quale è la S. S. 33 o statale del Sempione. Tale periodicità nella funzione di autocorrelazione non emerge dal grafico del sito B, dove la frazione coarse non risulta significativamente influenzata da una sorgente sistematica.

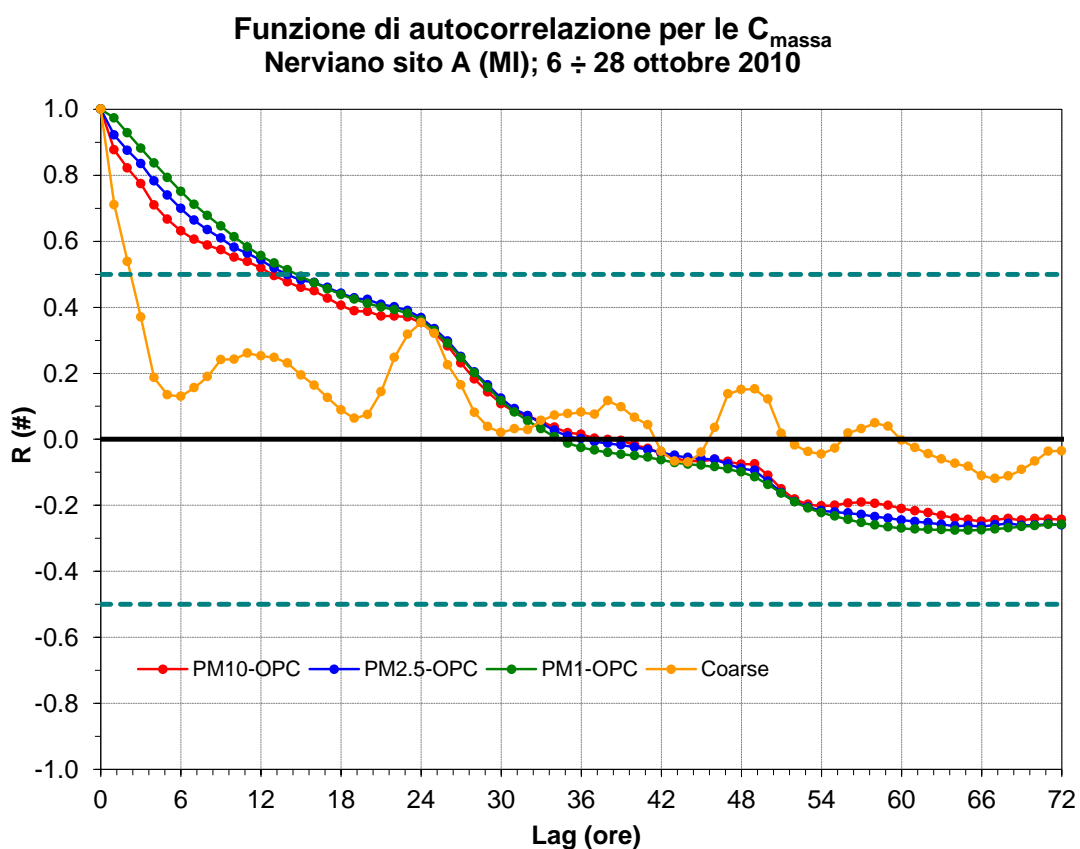


Figura 16 – Funzione di autocorrelazione per la C_{massa} per il sito A.

Funzione di autocorrelazione per le C_{massa}
Nerviano sito B (MI); 6 ÷ 28 ottobre 2010

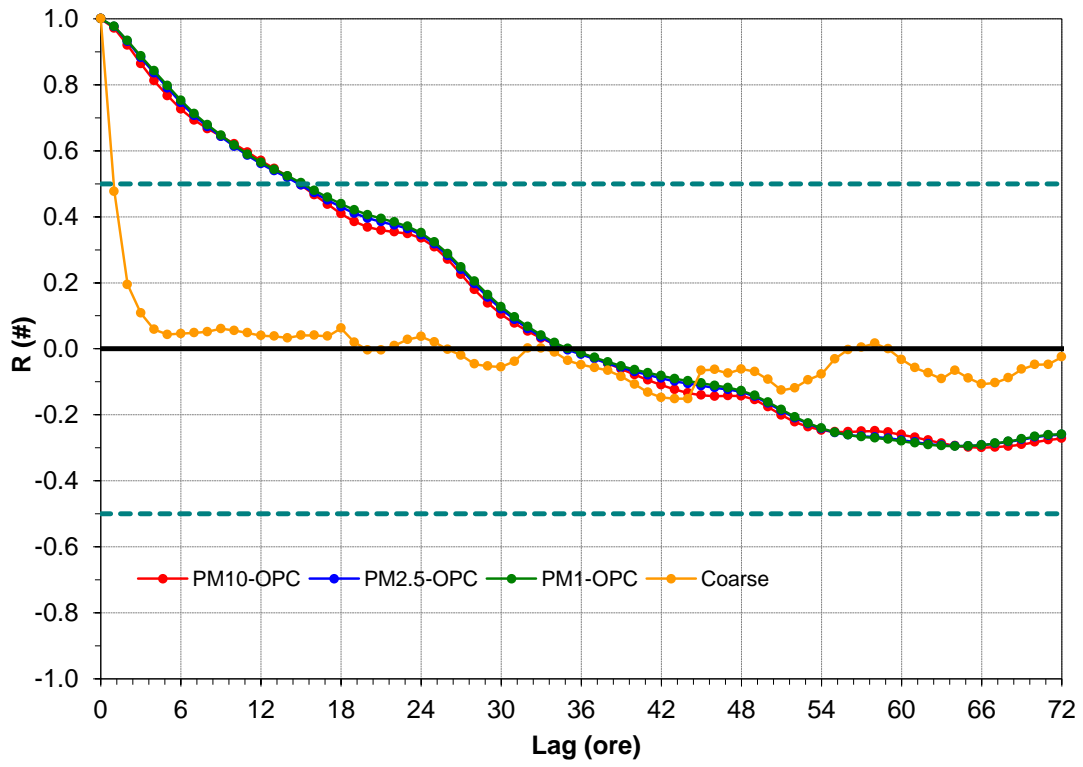


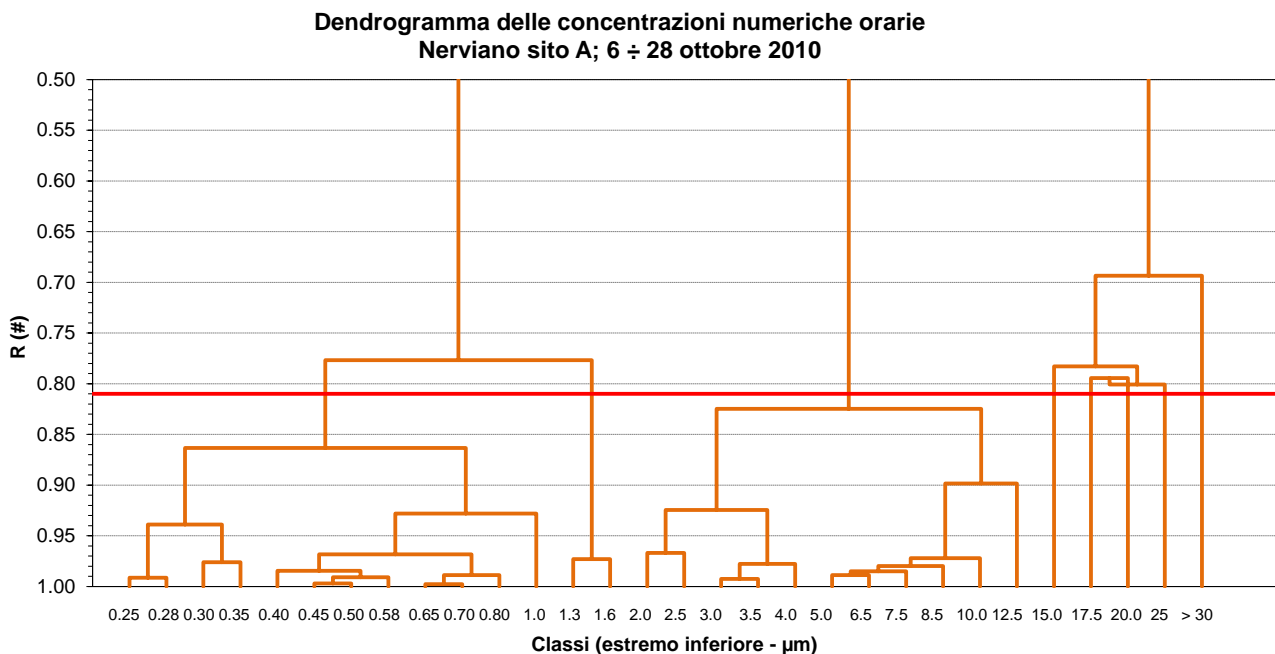
Figura 17 – Funzione di autocorrelazione per la C_{massa} per il sito B.

APPENDICE 1b

Approfondimenti sui dati dell'OPC : analisi a cluster

Per verificare quantitativamente ed oggettivamente l'eventuale esistenza di un comportamento comune tra le serie delle concentrazioni numeriche medie orarie delle 31 classi dimensionali, 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 31 classi dimensionali in un numero più limitato di classi detti cluster, aventi un andamento temporale simile.

Attraverso questo tipo di analisi statistica, come si evidenzia dai grafici in Figura 18, sono stati individuati i 3 cluster indicati in Tabella 4, per entrambi i siti.



**Dendrogramma delle concentrazioni numeriche orarie
Nerviano sito B; 6 ÷ 28 ottobre 2010**

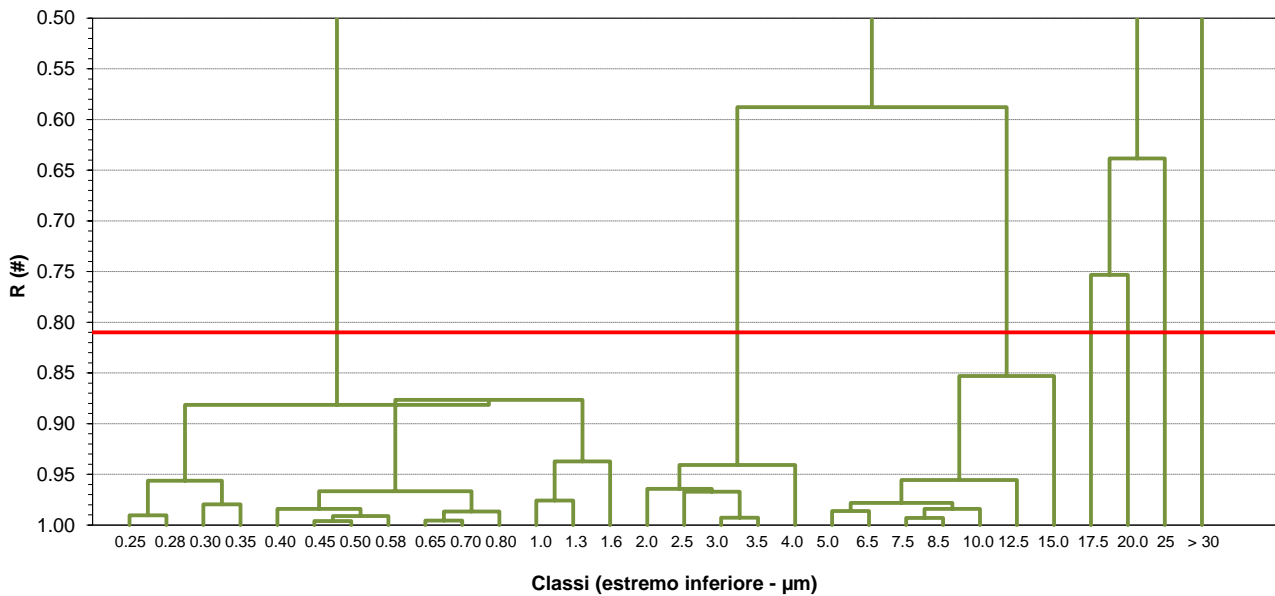


Figura 18 – Dendrogramma delle concentrazioni numeriche orarie.

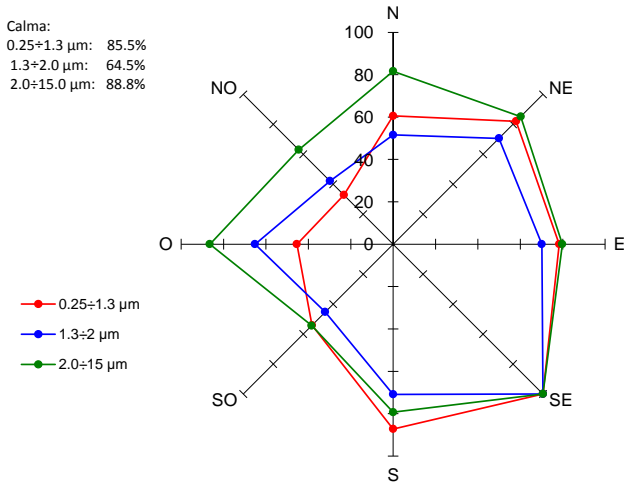
| Sito | Cluster n. | Intervallo dimensionale delle particelle | Numero di classi nel cluster | Indice di Pearson minimo |
|------|------------|--|------------------------------|--------------------------|
| A | 1 | 0.25÷1.3 µm | 12 | 0.998 |
| | 2 | 1.3÷2.0 µm | 2 | 0.997 |
| | 3 | ≥ 2 µm | 16 | ----- |
| B | 1 | 0.25÷2.0 µm | 14 | 0.996 |
| | 2 | 2.0÷5.0 µm | 5 | 0.993 |
| | 3 | ≥ 5 µm | 11 | ----- |

Tabella 4 - Risultato dell'analisi a cluster sulle concentrazioni numeriche orarie misurate dall'OPC

In entrambi i siti le classi di particelle tendono a raggrupparsi in 3 cluster. Nel sito A il primo gruppo è costituito dalle particelle submicrometriche, il secondo cluster è costituito dalle particelle fino a 2 µm e il terzo è praticamente costituito da tutte le restanti particelle, di formazione meccanica. Questi raggruppamenti evidenziano l'esistenza di due gruppi di sorgenti fondamentali: la risospensione (formazione di particelle coarse) e le combustioni (formazione di particelle submicrometriche). Nel sito B invece gli intervalli dimensionali dei cluster si spostano verso intervalli dimensionali lievemente superiori, indice della presenza di un numero maggiore di sorgenti di diversa natura, nessuna delle quali sembra prevalere particolarmente sulle altre.

Per valutare eventuali fenomeni di trasporto delle particelle in relazione alle loro dimensioni, per ciascun sito sono state costruite le rose di inquinamento per i tre cluster dimensionali, ovvero per ogni cluster dimensionale sono state calcolate le concentrazioni numeriche medie associate alla direzione del vento classificata in 8 settori (Figura 19). Per la direzione del vento si sono considerati i dati rilevati dalla stazione di Arconate come già mostrato nel paragrafo relativo alla condizione meteorologica nel periodo di misura (Figura 20).

Rosa d'inquinamento
Nerviano sito A (MI); 6 ÷ 28 ottobre 2010
C_{num} per settore normalizzate al massimo di ciascun cluster



Rosa d'inquinamento
Nerviano sito B (MI); 6 ÷ 28 ottobre 2010
C_{num} per settore normalizzate al massimo di ciascun cluster

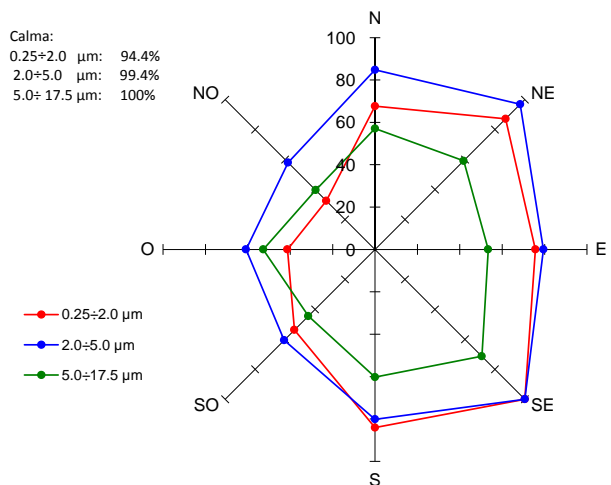


Figura 19 – Grafici della rosa dell'inquinamento per il sito A (a sinistra) e per il sito B (a destra).

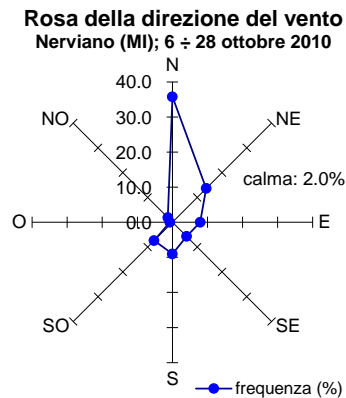
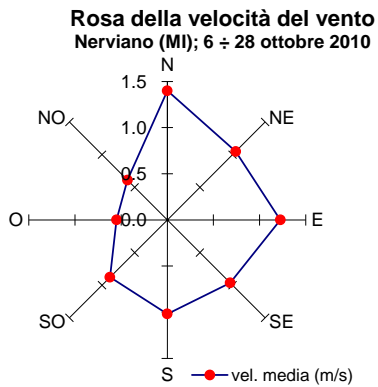


Figura 20 – Grafici della rosa del vento di Arconate.

Fatta eccezione per il terzo cluster del sito A, che risente delle attività di movimentazione del materiale di cava, nonostante la direzione di provenienza prevalente del vento sia da nord, la rosa relativa agli altri due cluster è omogenea e con un massimo di provenienza nella direzione sud-est, ovvero dal Sempione e, in generale, dall'area urbana milanese.

Questo tipo di elaborazione dimostra come la concentrazione di particolato maggiore nel sito A è influenzata da particelle della frazione coarse e grossolane, prodotte da una sorgente locale mentre quelle fini e ultrafini hanno un comportamento spazialmente più omogeneo a causa della diffusione di inquinamento da tutto il bacino padano. Analogamente per il sito B, dove le particelle della frazione coarse sono influenzate dalla risospensione locale.

APPENDICE 2

Analisi a cluster sugli elementi

Per verificare quantitativamente ed oggettivamente l'eventuale esistenza di un comportamento comune tra le serie delle concentrazioni relative degli elementi rilevati e le concentrazioni numeriche relative delle particelle misurate dall'OPC, sull'insieme di queste si è applicata l'analisi a cluster (Figura 21 e 22). Il principio dell'analisi statistica è lo stesso riportato in Appendice 1.

Nel sito A le particelle di dimensione micrometrica (frazione coarse) e grossolana formano un cluster essenzialmente con gli elementi terrigeni mentre le particelle submicrometriche sono dovute all'inquinamento antropico diffuso. L'effetto delle attività legate alla lavorazione di materiale della cava è quindi visibile in questo sito ma non risulta particolarmente impattante in quanto gli elementi che lo caratterizzano si relazionano prevalentemente con la frazione più grossolana e le concentrazioni medie sul periodo degli elementi normati sono in linea con le misure effettuate, nello stesso periodo, in altri siti della provincia. Le particelle fini ed ultrafini si rapportano allo stesso modo in entrambi i siti, indice di combustioni diffuse nell'area. Nel sito B invece il legame tra le particelle della frazione coarse e i terrigeni è poco significativo in quanto il fenomeno del risollevarimento si manifesta quale effetto locale. Si nota invece la tendenza di formazione di cluster fra gli elementi tipicamente industriali.

**Dendrogramma delle concentrazioni numeriche giornaliere relative
Nerviano sito A; 6 ÷ 28 ottobre 2010**

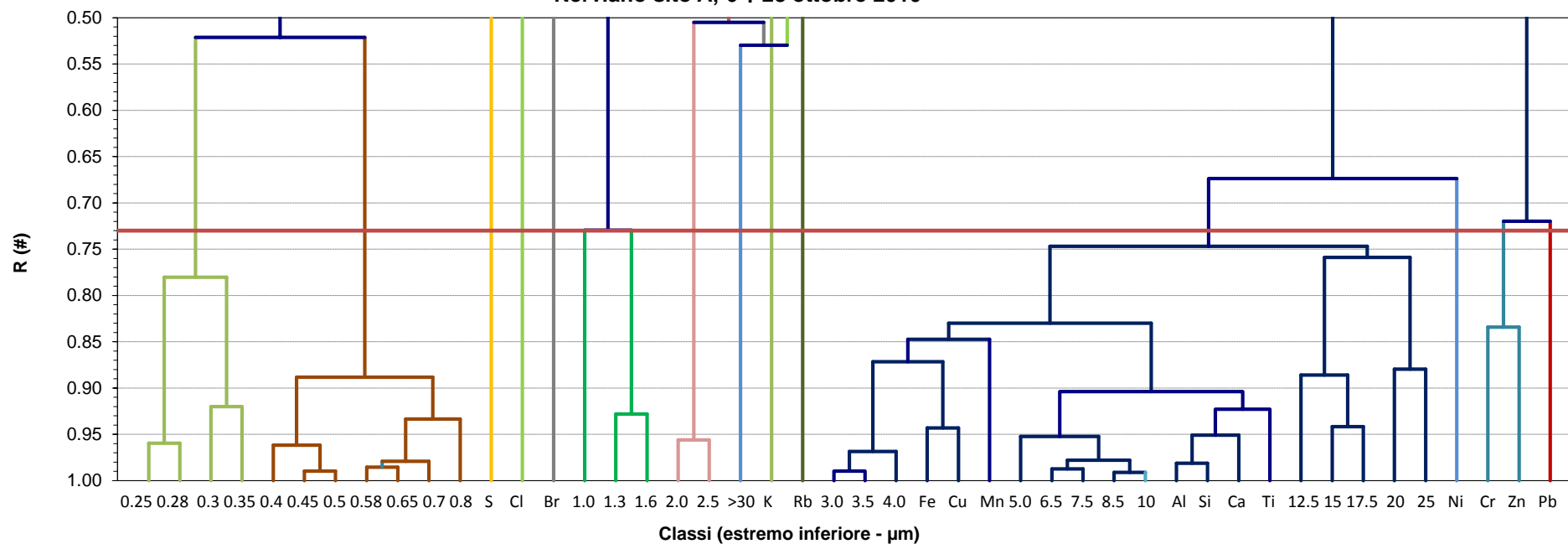


Figura 21 – Analisi a cluster delle concentrazioni di massa numeriche relative di ciascuna classe dimensionale e le concentrazioni elementari relative sui dati del sito A.

**Dendrogramma delle concentrazioni numeriche giornaliere relative
Nerviano sito B; 6 ÷ 28 ottobre 2010**

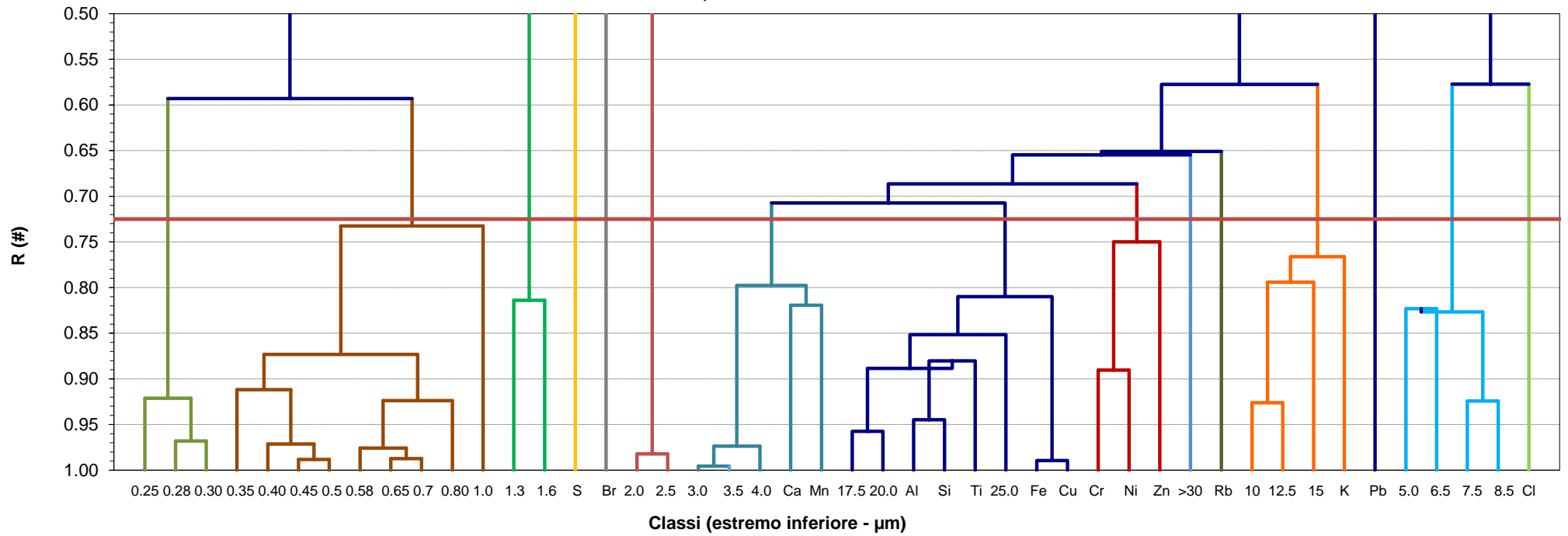


Figura 22 – Analisi a cluster delle concentrazioni di massa numeriche relative di ciascuna classe dimensionale e le concentrazioni elementari relative sui dati del sito B