



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Laboratorio Mobile
Campagna di Misura della Qualità dell'Aria
COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO
29/01/2008 - 29/02/2008

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO

Gestione e Manutenzione Tecnica della Strumentazione

P.I. Luca Vergani

Relazione

redatta Dr. Laura Carroccio

approvata Responsabile U.O. Territorio e Sistemi Ambientali

Dr. Paola Bossi

Campagna di Misura della Qualità dell' Aria

COMUNE DI MANDELLO DEL LARIO

<i>Introduzione</i>	pag. 4
Laboratorio Mobile.....	pag. 4
I principali inquinanti atmosferici.....	pag. 5
Normativa.....	pag.8
<i>Campagna di Misura</i>	pag. 10
Sito di Misura.....	pag.10
Emissioni sul territorio.....	pag. 12
Situazione meteorologica nel periodo di misura.....	pag. 17
Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse.....	pag. 21
Conclusioni.....	pag. 36
<i>Allegato Dati Orari</i>	

Introduzione

La campagna di misura nel comune di Mandello del Lario è stata condotta dal Dipartimento Provinciale di Lecco dell'ARPA Lombardia. Lo scopo della campagna è il monitoraggio della qualità dell'aria nel territorio comunale.

A tale fine, in accordo con il Comune, è stata scelta una postazione all'interno dell'area di pertinenza dell' I.C.S. "A. Volta" di Mandello, presso la sede della scuola primaria "S. Pertini", in via Nazario Sauro. Il laboratorio mobile è attrezzato con strumentazione per il rilevamento di:

- Monossido di Carbonio (CO);
- Ossidi di Azoto (NO_x);
- Ozono (O₃);
- PM10
- BTX.

Laboratorio Mobile

La strumentazione utilizzata nel laboratorio mobile è del tutto simile a quella presente nelle stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA). Gli analizzatori automatici installati rispondono alle caratteristiche previste dalla legislazione (D.M. 60/02 e D.Lvo 183/04).

Anche per le altezze dei prelievi i criteri utilizzati sono quelli indicati dalle suddette norme, in particolare:

- il Monossido di Carbonio deve essere prelevato a 1.6 metri dal suolo (altezza uomo) e a non più di 5 metri dal ciglio della strada;
- la sonda per il prelievo di NO_x, O₃ e PM10 è posta tra 1.5 e 4 m sopra il livello del suolo;
- i sensori meteorologici sono posizionati all'altezza di circa 8 metri. (direzione e velocità del vento) e 4,5 metri di quota (temperatura, radiazione solare, pioggia, umidità relativa e pressione).

Il sito di misura prescelto rispetta i criteri di rappresentatività indicati per il posizionamento delle cabine fisse di rilevamento nell'Allegato VIII del D.M. 60 del 2 aprile 2002 e nell'Allegato IV del D.Lgs 183/04.

I principali inquinanti atmosferici

I principali inquinanti che si trovano nell'aria possono essere divisi, schematicamente, in due gruppi: gli inquinanti primari e quelli secondari. I primi vengono emessi nell'atmosfera direttamente da sorgenti di emissione antropogeniche o naturali, mentre gli altri si formano in atmosfera in seguito a reazioni chimiche che coinvolgono altre specie, primarie o secondarie.

Si descrivono di seguito le caratteristiche degli inquinanti atmosferici misurati con il laboratorio mobile.

Il **monossido di carbonio (CO)** ha origine da processi di combustione incompleta di composti contenenti carbonio. È un gas la cui origine, soprattutto nelle aree urbane, è da ricondursi prevalentemente al traffico autoveicolare, soprattutto ai veicoli a benzina. Le emissioni di CO dai veicoli sono maggiori in fase di decelerazione e di traffico congestionato. Le sue concentrazioni sono strettamente legate ai flussi di traffico locali, e gli andamenti giornalieri rispecchiano quelli del traffico, raggiungendo i massimi valori in concomitanza delle ore di punta a inizio e fine giornata, soprattutto nei giorni feriali. Durante le ore centrali della giornata i valori tendono a calare, grazie anche ad una migliore capacità dispersiva dell'atmosfera. In Lombardia, a partire dall'inizio degli anni '90 le concentrazioni di CO sono in calo, soprattutto grazie all'introduzione delle marmitte catalitiche sui veicoli e al miglioramento della tecnologia dei motori a combustione interna (introduzione di veicoli Euro 4).

Gli **ossidi di azoto (NO e NO₂)** vengono emessi direttamente in atmosfera a seguito di tutti i processi di combustione ad alta temperatura (impianti di riscaldamento, motori dei veicoli, combustioni industriali, centrali di potenza, ecc.), per ossidazione dell'azoto atmosferico e, solo in piccola parte, per l'ossidazione dei composti dell'azoto contenuti nei combustibili utilizzati.

Nel caso del traffico autoveicolare, le quantità più elevate di questi inquinanti si rilevano quando i veicoli sono a regime di marcia sostenuta e in fase di accelerazione, poiché la produzione di NO_x aumenta all'aumentare del rapporto aria/combustibile, cioè quando è maggiore la disponibilità di ossigeno per la combustione.

All'emissione, gran parte degli ossidi di azoto è in forma di NO, con un rapporto NO/NO₂ decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO₂ nelle emissioni sia tra il 5 e il 10% del totale degli ossidi di azoto.

Il monossido di azoto non è soggetto a normativa, in quanto, alle concentrazioni tipiche misurate in aria ambiente, non provoca effetti dannosi sulla salute e sull'ambiente. Se ne misurano comunque i livelli in quanto, attraverso la sua ossidazione in NO₂ e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O₃ troposferico. Per il biossido di azoto sono invece previsti valori limite, riassunti in tabella 2.

L'**ozono (O₃)** è un inquinante secondario, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo. La sua formazione avviene in seguito a reazioni chimiche in atmosfera tra i suoi precursori (soprattutto ossidi di azoto e composti organici volatili), che avvengono in presenza di alte temperature e forte irraggiamento solare e che causano la formazione di un insieme di diversi composti, tra i quali, oltre all'ozono, si trovano nitrati e solfati (costituenti del particolato fine), perossiacetilnitrato (PAN), acido nitrico e altro ancora. L'insieme di questi composti costituiscono il tipico inquinamento estivo detto smog fotochimico.

A differenza degli inquinanti primari, le cui concentrazioni dipendono direttamente dalle quantità dello stesso inquinante emesse dalle sorgenti presenti nell'area, la formazione di ozono è quindi più complessa.

La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con $h\nu$), la formazione di ozono avviene per fotolisi del biossido di azoto:



L'ossigeno atomico, O^* , reagisce rapidamente con l'ossigeno molecolare dell'aria, in presenza di una terza molecola che non entra nella reazione vera e propria ma assorbe l'eccesso di energia vibrazionale e pertanto stabilizza la molecola di ozono che si è formata:



Una volta generato, l'ozono reagisce con l'NO, e rigenera NO_2 :



Le tre reazioni descritte formano un ciclo chiuso che, da solo, non sarebbe sufficiente a causare gli alti livelli di ozono che possono essere misurati in condizioni favorevoli alla formazione di smog fotochimico. La presenza di altri inquinanti, quali ad esempio gli idrocarburi, fornisce una diversa via di ossidazione del monossido di azoto, che provoca una produzione di NO_2 senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo dell' O_3 .

Le concentrazioni di ozono raggiungono i valori più elevati nelle ore pomeridiane delle giornate estive soleggiate. Inoltre, dato che l'ozono si forma durante il trasporto delle masse d'aria contenenti i suoi precursori, emessi soprattutto nelle aree urbane, le concentrazioni più alte si osservano soprattutto nelle zone extraurbane sottovovento rispetto ai centri urbani principali. Nelle città, inoltre, la presenza di NO tende a far calare le concentrazioni di ozono, soprattutto in vicinanza di strade con alti volumi di traffico.

Il **particolato atmosferico** aerodisperso è costituito da una miscela di particelle solide e liquide, di diverse caratteristiche chimico-fisiche 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 e di origine prevalentemente umana. 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).

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 $10 \mu m$ (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a $2.5 \mu m$ (PM2.5).

Attualmente la legislazione europea e nazionale ha definito valori limite sulle concentrazioni giornaliere e sulle medie annuali per il solo PM10, mentre per il PM2.5 la comunità europea in collaborazione con gli enti nazionali sta effettuando le necessarie valutazioni.

Il **benzene** è un costituente in tracce della frazione aromatica della benzina impiegata come antidetonante nella benzina verde in sostituzione dei composti del piombo. E' inoltre un composto chimico di largo impiego per la produzione di composti chimici di base, utilizzati a loro volta per la produzione di policarbonati, resine epossidiche e nylon. Il benzene è soggetto a normativa sul lungo periodo: il DM 60/02 fornisce un valore obiettivo sull'anno civile pari a $5 \mu g/m^3$.

Il **toluene**, come il benzene, è un costituente della frazione aromatica della benzina. A livello industriale è ampiamente utilizzato per la sintesi di altri composti chimici ed è inoltre un importante solvente ed in questo settore ha sostituito il benzene per la minore pericolosità. Una volta rilasciato in atmosfera si degrada molto velocemente, entra nei meccanismi di reazione dello smog fotochimico, degradandosi in svariati composti a diverso grado di tossicità, fra cui la formaldeide. La normativa non prevede valori limite per la qualità dell'aria riferiti al toluene, ma l'OMS ha introdotto due valori guida, che si riferiscono alla concentrazione al di sopra della quale è possibile

riscontrare effetti sulla salute della popolazione non esposta professionalmente: 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media settimanale e 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media su 30 minuti.

Lo **xilene** si ottiene principalmente dalla raffinazione del petrolio e circa il 90% è impiegato come additivo per la benzina; il resto viene usato come solvente. La maggior parte dello xilene rilasciato nell'ambiente entra direttamente in atmosfera dove viene degradato rapidamente per foto-ossidazione. Contribuisce inoltre alla formazione di O_3 troposferico.

Anche per lo xilene non esistono valori limite per la qualità dell'aria. L'OMS ha introdotto due valori guida, analogamente al toluene, che si riferiscono alla concentrazione al di sopra della quale è possibile riscontrare effetti sulla salute della popolazione non esposta professionalmente: 4800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media sulle 24 ore e 870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale.

Nella Tabella 1 sono riassunte, per ciascuno dei principali inquinanti atmosferici, le principali sorgenti di emissione.

Inquinanti	Principali sorgenti di emissione
Biossido di Zolfo* SO_2	Impianti riscaldamento, centrali di potenza, combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo (gasolio, carbone, oli combustibili)
Biossido di Azoto*/** NO_2	Impianti di riscaldamento, traffico autoveicolare (in particolare quello pesante), centrali di potenza, attività industriali (processi di combustione per la sintesi dell'ossigeno e dell'azoto atmosferici)
Monossido di Carbonio* CO	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta dei combustibili fossili)
Ozono** O_3	Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera
Particolato Fine*/** PM_{10}	Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 μm , provenienti principalmente da processi di combustione e risollevarimento
Idrocarburi non Metanici*IPA, Benzene	Traffico autoveicolare (processi di combustione incompleta, in particolare di combustibili derivati dal petrolio), evaporazione dei carburanti, alcuni processi industriali

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 i limiti a lungo termine viene fatto riferimento agli standard di qualità e ai valori limite di protezione della salute umana, della vegetazione e degli ecosistemi (D.P.C.M. 28/3/83 – D.P.R. 203/88 – D.M. 25/11/94 – D.M. 60/02 - D. L.vo 183/04) allo scopo di prevenire esposizioni croniche. Per gestire episodi d'inquinamento acuto vengono invece utilizzate le soglie di allarme (– D.M. 60/02 ; D.Lgs 183/04).

La tabella 2 riassume i limiti previsti dalla normativa per i diversi inquinanti considerati. Sono inclusi sia i limiti a lungo termine che i livelli di allarme. Si fa notare che il DM n. 60/02 ha introdotto, oltre ad una serie di valori limite per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, PM10, piombo, benzene e monossido di carbonio, anche il termine temporale entro il quale tali valori limite devono essere raggiunti. Prevede inoltre un percorso nel tempo che porta ad un graduale raggiungimento dei limiti, stabilendo un margine di tolleranza che si riduce negli anni. Nella tabella i margini di tolleranza validi per l'anno 2008 sono indicati tra parentesi.

Tabella 2: Limiti di legge

Biossido di Azoto	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Standard di qualità (98° percentile rilevato durante l'anno civile)	200	1 ora	D.P.R. 203/88
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 18 volte per anno civile)	200 ₍₊₂₀₎	1 ora	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40 ₍₊₄₎	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
Soglia di allarme	400	1 ora (rilevati su 3 ore consecutive)	D.M. n.60 del 2/4/02

Ossidi di Azoto	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione vegetazione	30	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Monossido di Carbonio	Valore Limite (mg/m^3)	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana	10	8 ore	D.M. n.60 del 2/4/02

Ozono	Valore Limite ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore bersaglio per la protezione della salute umana	120	8 ore	D.L.vo n. 183 21/5/04
Valore bersaglio per la protezione della vegetazione	18000	AOT40 (mag-lug) su 5 anni	D.L.vo n. 183 21/5/04
Soglia di informazione	180	1 ora	D.L.vo n. 183 21/5/04
Soglia di allarme	240	1 ora	D.L.vo n.183 21/5/04

Particolato Fine PM10	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Valore limite protezione salute umana (da non superare più di 35 volte per anno civile)	50	24 ore	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02

Idrocarburi non Metanici	Valore Obiettivo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo di mediazione	Legislazione
Benzene	Valore obiettivo 5 (+2.5)	Anno civile	D.M. n.60 del 2/4/02
Benzo(a)pirene	Valore obiettivo 0,001	Anno civile	DM. 25/11/94_e Dir107/04/CE

Nota: Gli obiettivi di qualità su base annua delle concentrazioni di IPA fanno riferimento alle concentrazioni di benzo(a)pirene. (D.M. 25/11/94).

Campagna di Misura

Sito di Misura

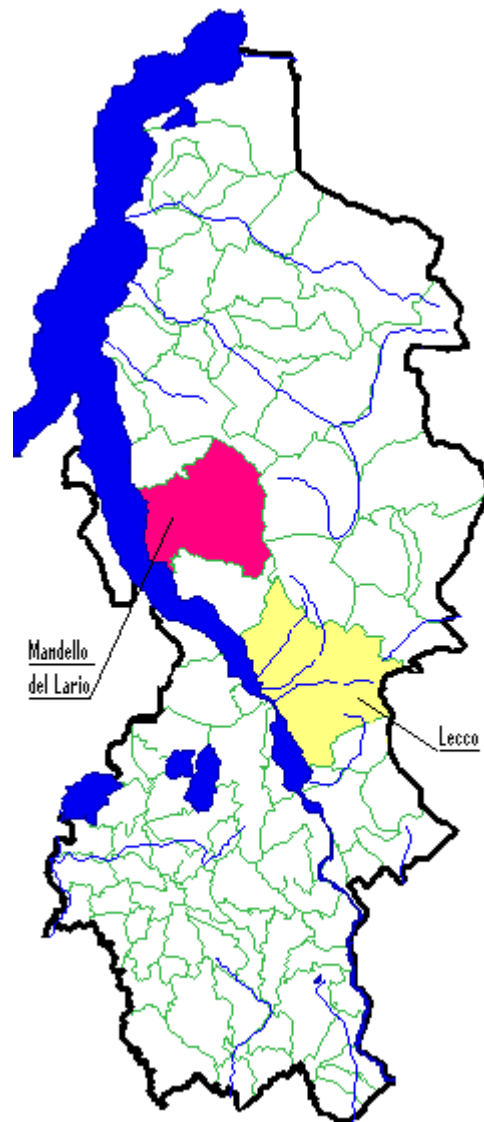


Figura 1: Comuni della provincia di Lecco.

Periodo di Misura:

Sito di misura: **Comune di Mandello del Lario**

Asse Stradali: strade urbane: via Nazario Sauro
strade extraurbane: statale SP 72; SS.36

Ferrovia: FS Lecco – Sondrio;

Industrie: tessili, di minuteria metallica, falegnamerie, siderurgiche, galvaniche, meccaniche ect.;

Il mezzo mobile è stato posizionato all'interno del cortile del plesso "S. Pertini" della scuola

elementare del Comune. Si tratta di un'area sufficientemente aperta, in prossimità della via Nazario Sauro, percorsa in entrambi i sensi di marcia da traffico locale non intenso. Nelle vicinanze si trovano la SS. 36 e la SP 72, Lecco- Sondrio.



Figura 2: Posizionamento del mezzo mobile nel comune Mandello del Lario

● Mezzo Mobile

Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emissive sul territorio comunale di Mandello del Lario è stato utilizzato l'inventario regionale delle emissioni, INEMAR (Inventario Emissioni Aria), nella sua versione più recente, riferita all'anno 2005.

Nell'ambito di tale inventario la suddivisione delle sorgenti avviene per attività emissive: la classificazione utilizzata fa riferimento ai macrosettori relativi all'inventario delle emissioni in atmosfera 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
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

Per ciascun macrosettore vengono presi in considerazione diversi inquinanti: sia quelli che fanno riferimento alla salute, sia quelli per i quali è posta particolare attenzione in quanto considerati 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.

Le emissioni di **Biossido di Zolfo (SO₂)** derivano, principalmente, dai processi legati alla combustione non industriale, cioè al riscaldamento domestico (1.9 t/anno circa il 58% del totale), ma anche dal trasporto su strada (0.6 t/anno) e dalla combustione nell'industria (0.5 t/anno).

Gli stessi macrosettori sono le sorgenti emissive principali di **Monossido di Carbonio (CO)**. Infatti, il trasporto su strada contribuisce con 201.4 t/anno su di un totale di 382.3 t/anno, pari al 53%. La combustione non industriale contribuisce con 156 t/anno e concorre pertanto per il 40 % .

Le emissioni di **Ossidi di Azoto (NO_x)** sono in gran parte dovute al trasporto su strada. La quantità procurata da questo macrosettore nel comune di Mandello è pari a 86.3 t/anno, ovvero il 57% del totale. Gli altri macrosettori che concorrono alle emissioni degli NO_x sono: la

combustione nell'industria con 23.4 t/anno (15%), altre sorgenti mobili e macchinari con 22.8 t/anno (15%), e la combustione non industriale con 19.4 t/anno (13%).

Le principali sorgenti emissive dei **Composti Organici Volatili (COV)** nel comune di Mandello sono: l'uso di solventi (357.1 t/anno, 66%), il trasporto su strada (60.7 t/anno, 11%) ed altre sorgenti ed assorbimenti, che con 43.9 t/anno, contribuiscono con l' 8% alla produzione di questo inquinante. Ulteriori rilevanti contributi sono dovuti alla combustione non industriale (38 t/anno, 7%), ai processi produttivi (20.9 t/anno, 4%) ed all'estrazione e distribuzione di combustibili (13.2 t/anno, 2%).

La principale sorgente di **Particolato Fine (PM₁₀)** nel comune di Mandello è la combustione non industriale, che con 7.1 t/anno contribuisce per il 40% alle emissioni di questo inquinante. Un contributo inferiore quasi analogo deriva dal trasporto su strada con 7 t/anno (39%).

Si riportano in tabella 3 (valori assoluti e percentuali) e in Figura 3 (valori percentuali) le stime relative ai principali inquinanti emessi dai diversi tipi di sorgente all'interno del comune di Mandello del Lario. Per un confronto si riportano anche le stime riferite all'intera Provincia di Lecco.

Emissioni relative all'anno 2005

Comune di Mandello del Lario

Fonti emissive - macrosettore	SO ₂	NO _x	N ₂ O	COV	CO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	CH ₄	CO	NH ₃
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno
Produzione energia e trasform. combustibili	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Combustione non industriale	1.9	19.4	1.6	38.0	19.2	6.8	7.1	10.7	156.0	0.3
Combustione nell'industria	0.5	23.4	0.6	1.4	17.5	0.5	0.6	0.6	13.6	
Processi produttivi				20.9	0.4					
Estrazione e distribuzione combustibili				13.2				117.5		
Uso di solventi				357.1						
Trasporto su strada	0.6	86.3	0.8	60.7	19.1	5.8	7.0	2.9	201.4	3.3
Altre sorgenti mobili e macchinari	0.3	22.8	0.6	4.0	1.7	2.7	2.7	0.1	10.4	
Agricoltura			0.1					0.9		0.4
Altre sorgenti e assorbimenti				43.9		0.5	0.5	54.5	0.8	
Totale	3.2	151.9	3.7	539.2	57.9	16.4	17.9	187.0	382.3	4.0

Percentuale di influenza di ogni inquinante

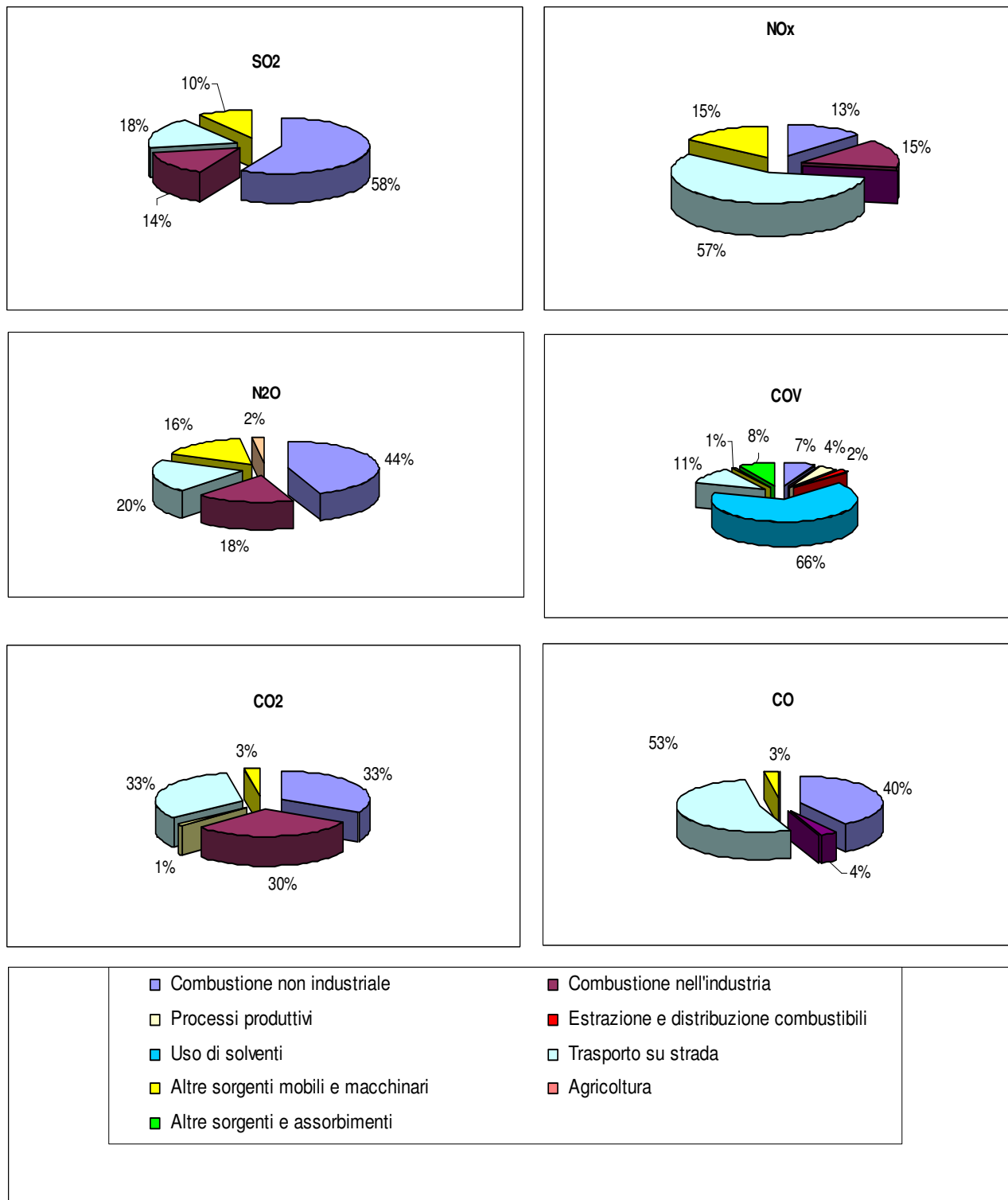
Fonti emissive - macrosettore	SO ₂	NO _x	N ₂ O	COV	CO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	CH ₄	CO	NH ₃
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Combustione non industriale	58	13	44	7	33	42	40	6	40	7
Combustione nell'industria	14	15	18		30	3	3		4	
Processi produttivi				4	1					
Estrazione e distrib.di combustibili fossili				2				63		
Uso di solventi				66						
Trasporto su strada	18	57	20	11	33	36	39	2	53	83
Altre sorgenti mobili e macchinari	10	15	16	1	3	16	15		3	
Agricoltura			2							10
Altre sorgenti e assorbimenti				8		3	3	29		
totale	100	100	100	100	100	100	100	99	100	100

ARPA Lombardia - Regione Lombardia. Emissioni in provincia di Lecco nel 2005 - public review

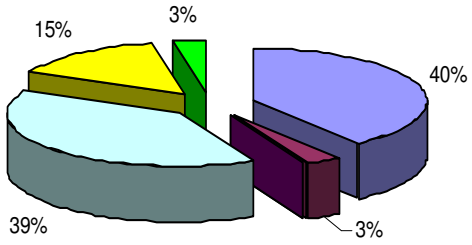
	SO ₂	NO _x	COV	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM2.5	PM10	PTS	CO ₂ eq	Precurs. O ₃	Tot. acidif. (H ⁺)
	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	t/anno	kt/anno	t/anno	kt/anno
Produzione energia e trasform. combustibili														
Combustione non industriale	112	700	2,270	619	9,110	644	72	18	414	428	446	679	4,135	20
Combustione nell'industria	17	783	66	20	872	417	21	0.7	23	27	40	424	1,118	18
Processi produttivi	1.6	72	732	1.2	63	197			4.2	15	16	197	827	1.6
Estrazione e distribuzione combustibili			348	3,692								78	400	
Uso di solventi		0.0	6,161				0.0	1.1	5.7	14	18	31	6,161	0.1
Trasporto su strada	21	3,038	1,963	96	6,731	669	26	110	202	247	300	679	6,412	73
Altre sorgenti mobili e macchinari	7.1	490	100	2.3	257	37	15	0.0	60	62	68	42	726	11
Trattamento e smaltimento rifiuti	84	250	3.8		3.7	22	8		7.5	7.5	7.5	24	310	8.1
Agricoltura		0.5	0.9	1,079	0.2		69	484	2.1	4.7	8.2	44	17	29
Altre sorgenti e assorbimenti	0.9	3.9	1,091	517	137		0.1	0.9	25	26	26	11	1,119	0.2
Totale	243	5,338	12,738	6,026	17,175	1,986	211	615	743	831	929	2,209	21,223	160

Tabella 3: Quantitativi delle emissioni annuali di inquinanti nel territorio di Mandello del Lario e nell'intera Provincia di Lecco.

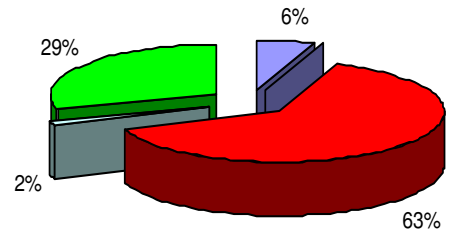
Figura 3: Ripartizione delle emissioni nel territorio di Mandello del Lario



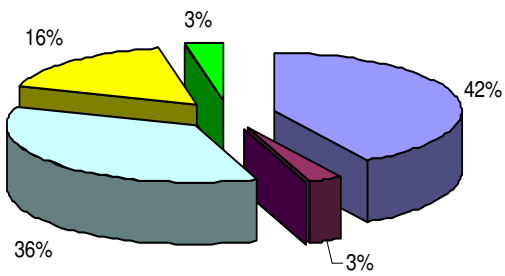
PM10



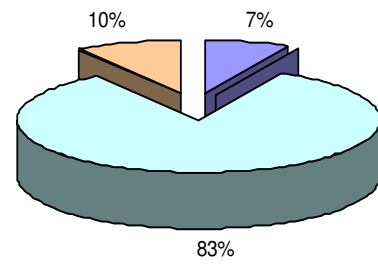
CH4



PM2.5



NH3



- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">■ Combustione non industriale■ Processi produttivi■ Uso di solventi■ Altre sorgenti mobili e macchinari■ Altre sorgenti e assorbimenti | <ul style="list-style-type: none">■ Combustione nell'industria■ Estrazione e distribuzione combustibili■ Trasporto su strada■ Agricoltura |
|--|--|

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono, come è evidente, 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 settimana dal 29 gennaio al 3 febbraio 08 è iniziata sotto l'influenza di un regime di correnti in quota da occidente che a partire da mercoledì 30 hanno permesso il rapido transito di alcune deboli perturbazioni, con modesti quantitativi di precipitazione tutti i giorni eccetto giovedì 31 e temperature vicine ai valori normali del periodo. Venti deboli.

La settimana tra il 4 ed il 10 è stata caratterizzata da tempo piuttosto variabile: lunedì 4 si è assistito al transito di una saccatura atlantica con nuvolosità e precipitazioni diffuse da deboli a moderate; da martedì 5 si è avuta una residua instabilità, mentre giovedì 7 è stato caratterizzato da un flusso settentrionale secco con effetti di foehn che ha spinto le massime fino a 14-18 °C. Dall' 8 la circolazione è stata caratterizzata da correnti fresche e secche dai quadranti orientali: sereno o poco nuvoloso ovunque.

Nel corso della settimana tra l'11 e il 17 si è assistito ad un progressivo consolidamento dell'area anticiclonica, con giornate prevalentemente stabili e soleggiate. Dalla serata di venerdì 15, l'afflusso di correnti fredde di origine polari, ha portato nuvolosità irregolare bassa e stratificata, accompagnata da un sensibile calo termico sia nei valori massimi che minimi. Infatti, nella giornata di domenica 17 sono state registrate temperature di circa 4 °C al di sotto della norma decadale. Il regime anemologico è risultatato nel complesso di debole intensità, tranne durante il fine settimana in cui la presenza di intense correnti fredde in quota, ha determinato una discreta ventilazione da est anche nei bassi strati dell'atmosfera.

Successivamente ai primi due giorni della settimana tra il 18 ed il 24 febbraio, caratterizzati da correnti settentrionali secche e stabili con cielo prevalentemente sereno, delle correnti occidentali più umide e miti hanno portato nuvolosità diffusa e qualche banco di nebbia con un aumento delle temperature minime. Da venerdì 22 un promontorio anticiclonico ha determinato tempo stabile, e soleggiato con nebbia diffusa e persistente sulla pianura. Complessivamente la settimana è stata stabile e asciutta con temperature in media vicine ai valori attesi per la decade.

Dal 25 il cedimento di un promontorio anticiclonico in quota, con persistenza di alta pressione al suolo, ha favorito l'instaurarsi di un flusso di correnti occidentali umide, senza dar luogo a precipitazioni ma determinando la persistenza di addensamenti per nubi basse, foschie diffuse e frequenti nebbie. Vento in prevalenza di debole intensità.

Durante la campagna di monitoraggio, la temperatura media del periodo, rilevata con la strumentazione meteo del mezzo mobile, è stata di 5.7 °C, oscillando da una media giornaliera di 2.9 °C del 4 febbraio ad una di 10.3 °C del 7 febbraio. La radiazione solare massima sul periodo è stata di 548 W/m², mentre l'umidità relativa media è stata del 70%. La pressione media sul periodo è stata di 1001 hPa. In totale, nel periodo della campagna, sono caduti 43 mm di pioggia.

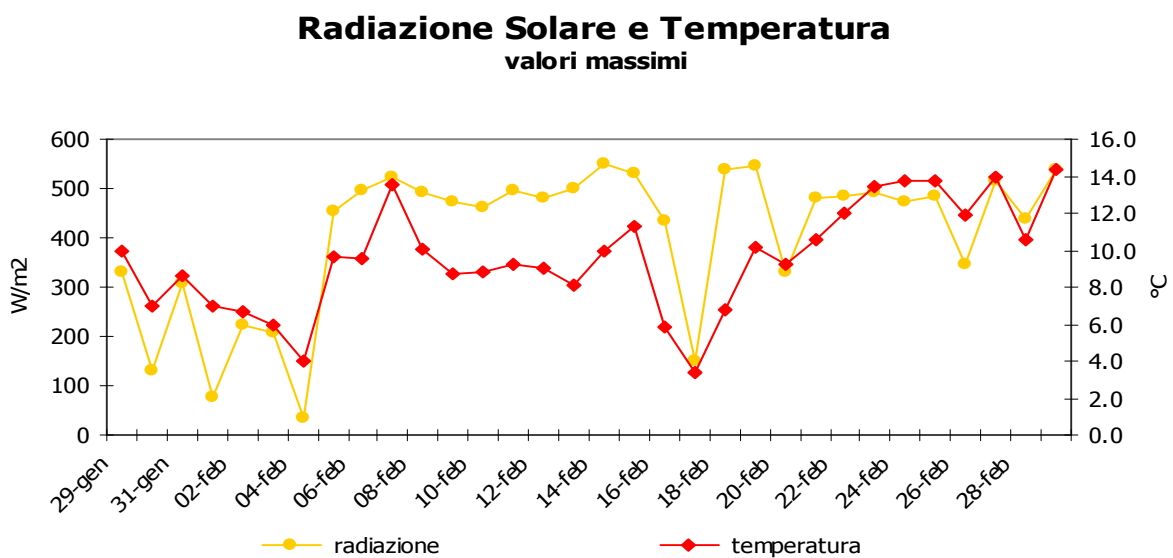
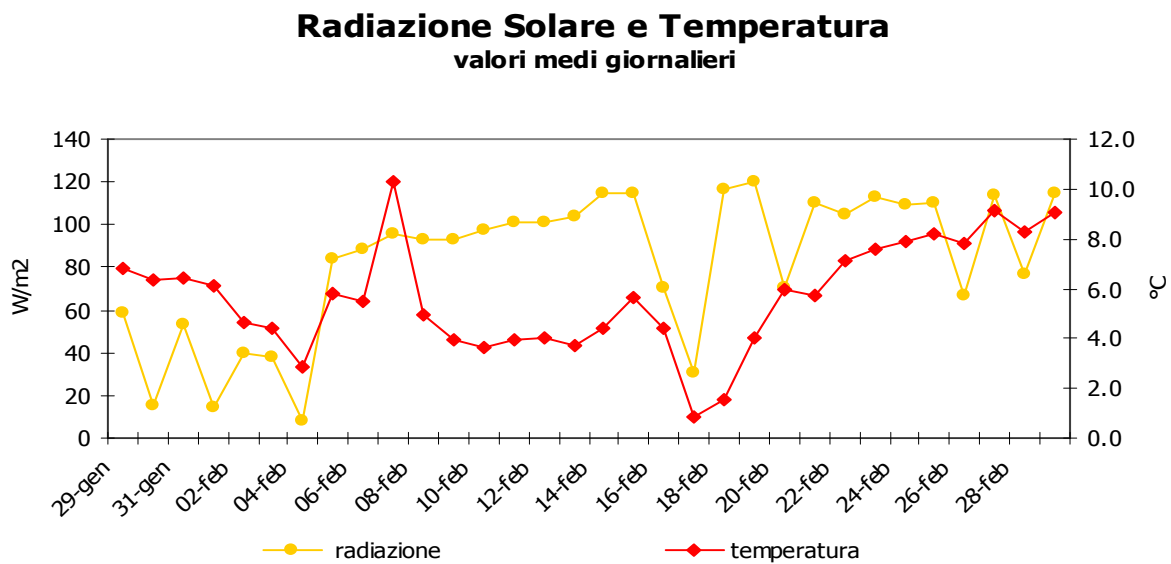
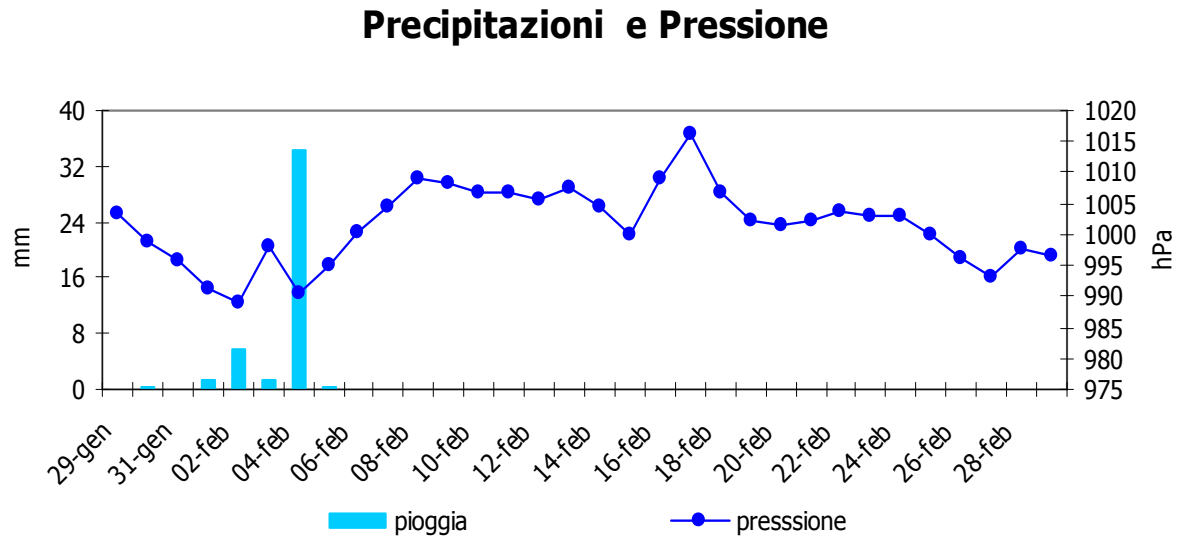
Le condizioni meteorologiche del periodo di monitoraggio sono state piuttosto variabili. Nelle fasi di instabilità atmosferica la situazione è stata favorevole alla dispersione degli inquinanti; al contrario, nei periodi in cui hanno prevalso circolazioni anticicloniche, si sono avuti fenomeni di ristagno

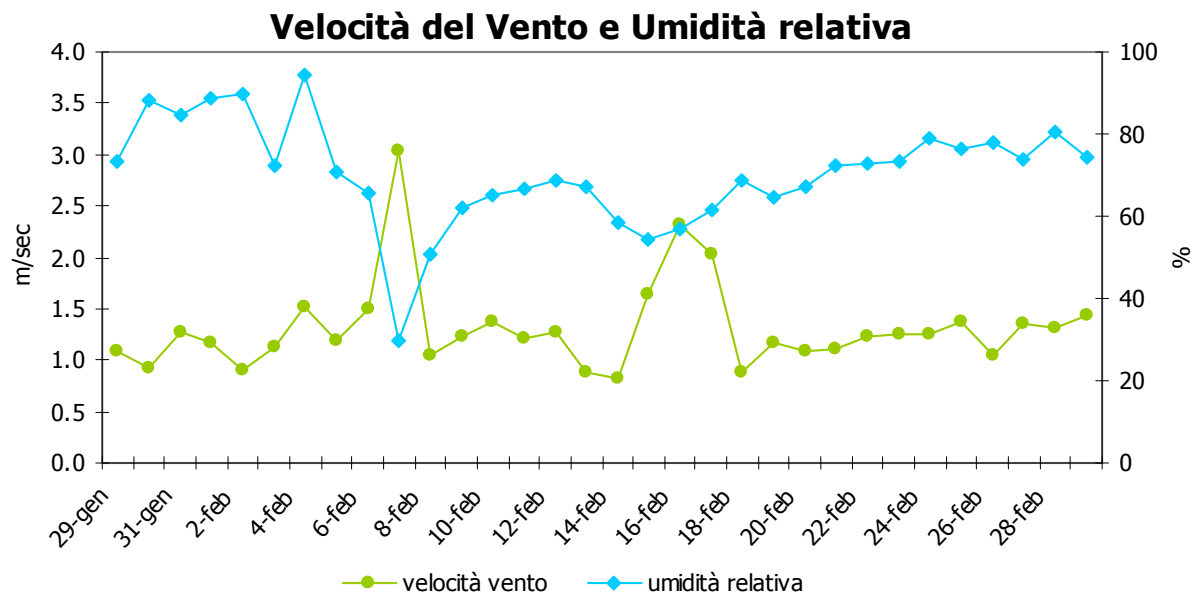
atmosferico, che hanno favorito temporanei accumuli degli inquinanti negli strati atmosferici più bassi.

Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura presso Mandello

- Precipitazione (cumulata giornaliera in mm) e Pressione (media giornaliera in hPa)
- Radiazione solare media (W/m^2) e Temperatura (media giornaliera in C°)
- Radiazione solare massima (W/m^2) e Temperatura massima giornaliera (in C°)
- Umidità Relativa media giornaliera (%) e velocità del vento media giornaliera (m/s).

Figura 4. Andamenti dei principali parametri meteorologici durante la campagna di monitoraggio.





Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse

La strumentazione presente sul laboratorio mobile ha permesso il monitoraggio a cadenza oraria degli inquinanti gassosi, quali ossidi di azoto (NO ed NO₂), ozono (O₃), monossido di carbonio (CO), benzene, tolueni e xileni (BTX) oltre alla misura giornaliera del particolato fine (PM₁₀).

Come descritto nel capitolo **Normativa**, il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per NO₂, CO e PM₁₀, i valori limite per la protezione della salute umana e i margini di tolleranza che si riducono progressivamente negli anni, fino ad annullarsi. I livelli di concentrazione degli inquinanti elencati saranno però di seguito confrontati con i rispettivi limiti "a regime", cioè con margini di tolleranza zero.

Poiché i livelli di concentrazione degli inquinanti aerodispersi dipendono fortemente dalle condizioni meteorologiche osservate durante il periodo di misura e dalle differenti sorgenti emmissive, è importante confrontare i dati rilevati nel corso di una campagna limitata nel tempo con quelli misurati, nello stesso periodo, in alcune stazioni fisse della Rete di Rilevamento della Qualità dell'Aria (RRQA). I livelli di concentrazione misurati a Mandello del Lario sono stati pertanto confrontati con quelli registrati nelle centraline fisse di Lecco e di Valmadrera. (Vedi tabella 5)

L'evoluzione temporale dell'inquinante monitorato è rappresentata nelle seguenti figure con l'utilizzo di grafici relativi a:

- concentrazioni medie orarie: evoluzione oraria dell'inquinante nel periodo di misura;
- concentrazioni medie 8 h: ogni valore è ottenuto come media tra l'ora *h* e le 7 ore precedenti l'ora *h*.
- concentrazioni medie giornaliere: evoluzione giornaliera dell'inquinante ottenuta mediando i valori delle concentrazioni dalle ore 0.00 alle ore 23.00 dello stesso giorno;
- giorno tipo: evoluzione media delle concentrazioni medie orarie nell'arco delle 24 ore.

Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediato su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni pre-festivi ovvero festivi) del periodo in questione. I giorni feriali, pre-festivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno tipo per mettere in evidenza le eventuali diverse caratteristiche emmissive, legate al traffico o alle attività produttive.

CO

Durante tutta la campagna di monitoraggio i livelli di monossido di carbonio misurati a Mandello del Lario si sono mantenuti bassi e ben al di sotto dei limiti normativi. Infatti la massima media oraria è stata di 1.5 mg/m³. Nelle figure 5 sono mostrati gli andamenti di questo inquinante.

Nel grafico del giorno tipo si osserva il tipico andamento bimodale legato ai flussi di traffico, in particolare si nota una lieve differenza tra l'andamento nei giorni feriali e sabato-festivi, legato alla diversa circolazione.

Dalla tabella 5, si nota che il valore medio sul periodo ed il valore massimo orario a Mandello del Lario sono del tutto analoghi a quelli registrati a Valmadrera.

NO

Per quanto riguarda il monossido di azoto nella postazione di Mandello, durante la campagna si è osservato un valore massimo di concentrazione oraria di 113 µg/m³, e una concentrazione media sul periodo di 17 µg/m³.

Non si osservano differenze tra gli andamenti dei vari giorni tipo: le concentrazioni risultano essere basse ed abbastanza uniformi su tutto l'arco della giornata.

NO₂

La concentrazione media sul periodo di biossido di azoto si è attestata su $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre la concentrazione massima oraria è stata di $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Durante il periodo del monitoraggio pertanto non è mai stato superato il valore limite normativo di $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Come per il **CO**, dallo studio del grafico del Giorno tipo, si osserva un andamento bimodale con un picco più elevato nelle ore serali, che risulta essere meno significativo durante i giorni festivi. Dalla tabella 5, si evidenzia che la media delle concentrazioni di NO_2 misurate a Mandello risulta essere analoga a quella di Valmadrera, in cui la tipologia di sito è uguale. Risulta, invece, più alta la massima media oraria.

O₃

Il periodo critico per l'ozono è la stagione estiva, in quanto la radiazione solare e l'alta temperatura favoriscono la formazione di questo inquinante secondario che viene prodotto attraverso reazioni fotochimiche che coinvolgono gli ossidi di azoto (NO_x) e i composti organici volatili (COV). Generalmente le concentrazioni dell'ozono sono più elevate nelle aree rurali rispetto a quelle urbanizzate, valori maggiori si registrano sottovento alle grandi città, anche a decine di Km di distanza. Pertanto nel periodo in cui è stata effettuata la campagna non si sono registrati valori elevati di O_3 : il valore medio è risultato uguale a $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre il valore massimo orario e il valore massimo mediato sulle 8 ore sono risultati rispettivamente uguali a $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Non sono stati registrati superamenti del valore della soglia di informazione e del valore bersaglio per la protezione della salute umana. Le stazioni prese a confronto presentano dati pressoché analoghi.

Benzene

Il **benzene**, come si osserva nel grafico del Giorno tipo (figura 9), ha un andamento temporale bimodale, analogo a quello dei flussi di traffico. Infatti è una sostanza usata come antidetonante nella benzina senza piombo in sostituzione dei composti del piombo.

Le concentrazioni rilevate si sono sempre mantenute basse. Infatti, il valore medio di benzene rilevato su tutto il periodo della campagna è stato di $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e quello massimo orario di $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valori del tutto simili a quelli misurati presso la stazione fissa di Lecco Amendola.

Toluene

Il **toluene**, è un importante solvente, utilizzato a livello industriale, e sostituisce il benzene per la minore pericolosità. Il valore medio di toluene rilevato su tutto il periodo della campagna è stato di $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre quello massimo orario di $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si nota che le concentrazioni risultano essere molto più basse di quelle rilevate a Lecco, in cui la media sul periodo è stata di $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ed è stato raggiunto un valore massimo orario di $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Xileni

Il valore medio degli **xileni** rilevati su tutto il periodo della campagna è stato di $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, analogamente a Lecco, mentre quello massimo orario di $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è stato inferiore a quello misurato nella centralina fissa presa a confronto.

Particolato Fine

La misura del **PM₁₀** è stata effettuata con un campionatore sequenziale e successiva pesata gravimetrica; questo tipo di strumento è programmato per fornire dati giornalieri. Il campionamento, iniziato il 29 gennaio e terminato il 29 febbraio 2008, ha avuto una durata di 32 giorni. In tutte le postazioni di rilevamento, durante il periodo di misura, le concentrazioni medie giornaliere di **PM₁₀** sono state molto elevate, superando in più giorni il livello di attenzione ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Questi superamenti sono dipesi dalla situazione meteorologica, contraddistinta da condizioni di stabilità, con giornate prevalentemente serene e calme di vento, che non hanno permesso il rimescolamento delle polveri ed in generale degli inquinanti atmosferici.

Monossido di carbonio Concentrazione media 8 h

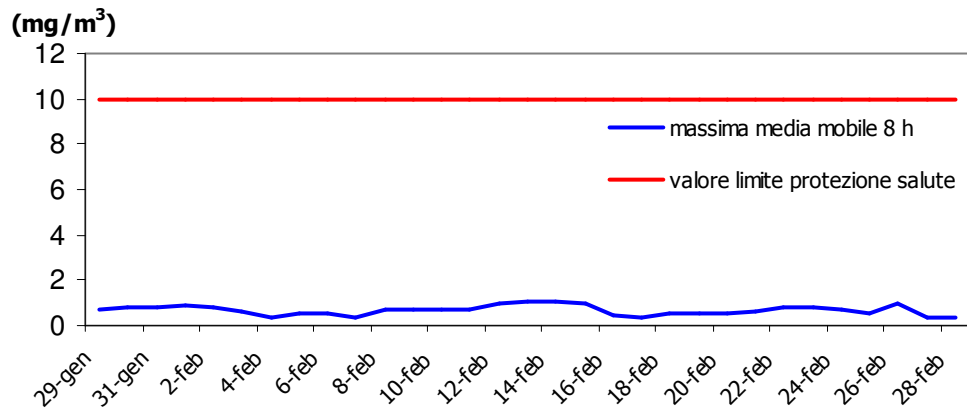


Figura 6. **NO2**: Concentrazioni medie orarie, giorno tipo e medie giornaliere.

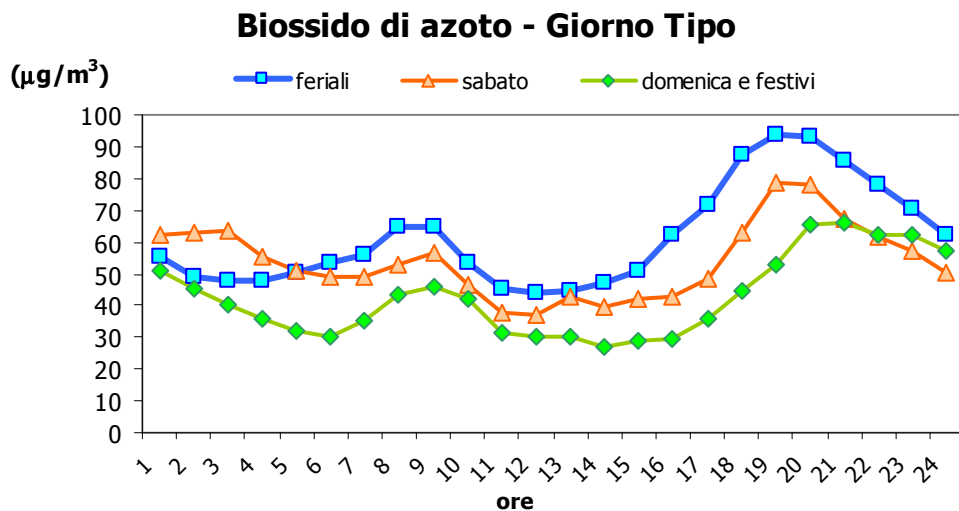
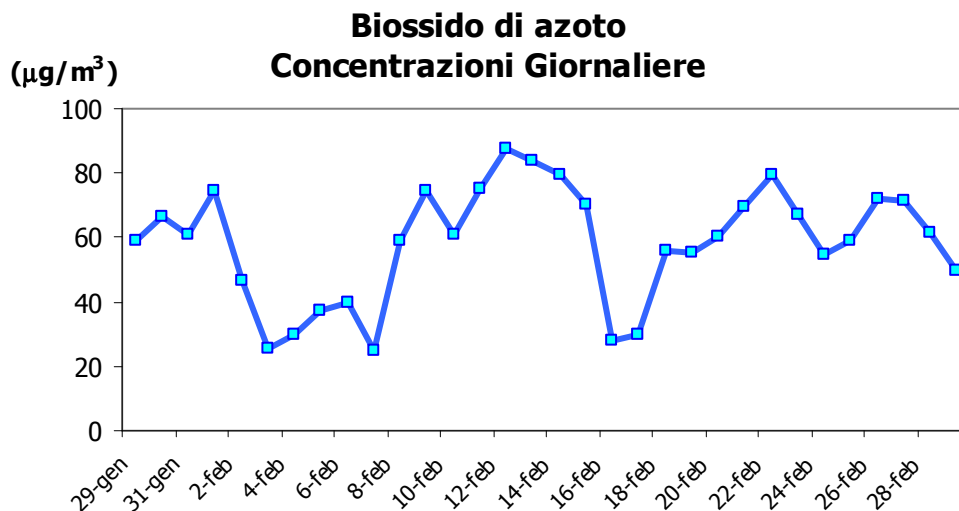
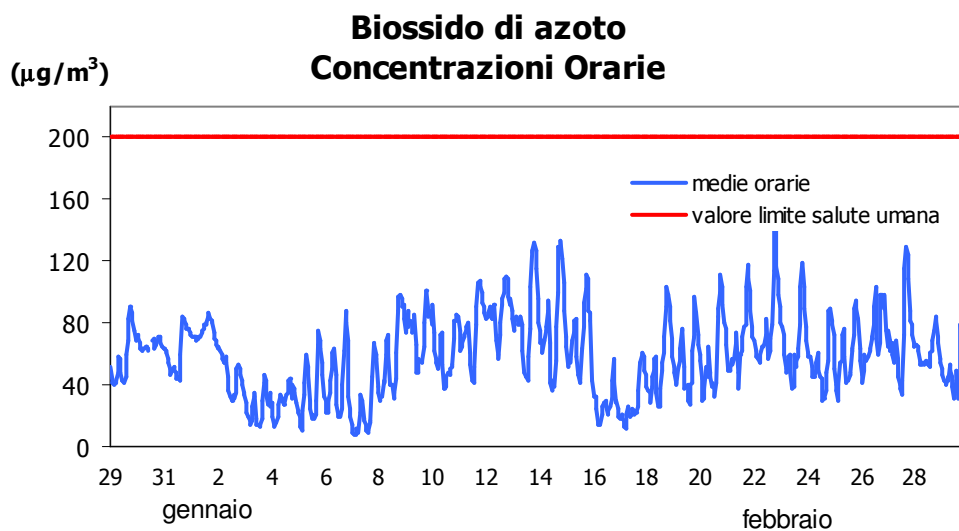


Figura 7. **NO**: Concentrazioni medie orarie, giorno tipo e medie giornaliere.

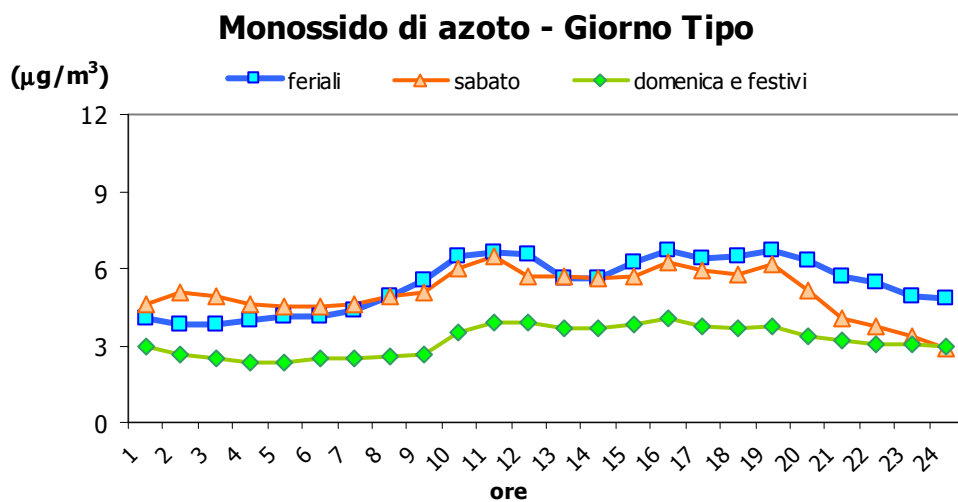
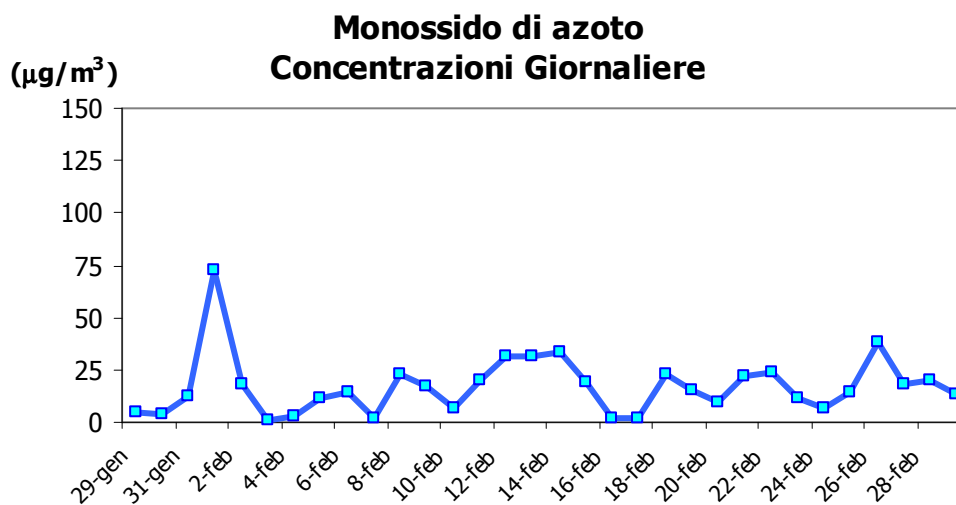
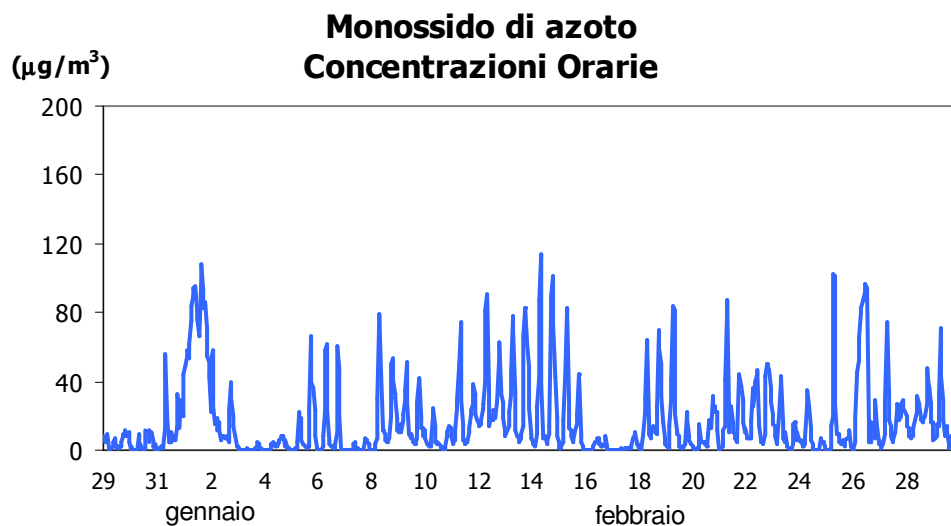
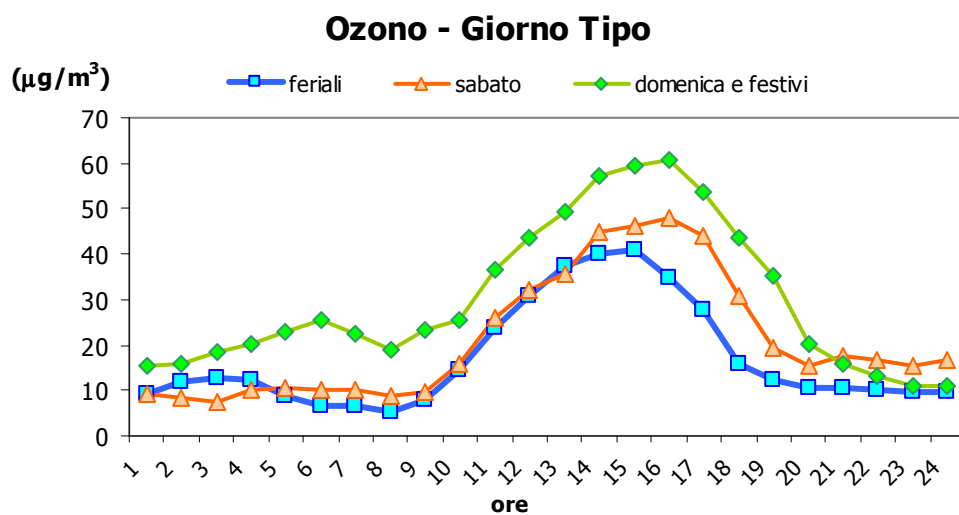
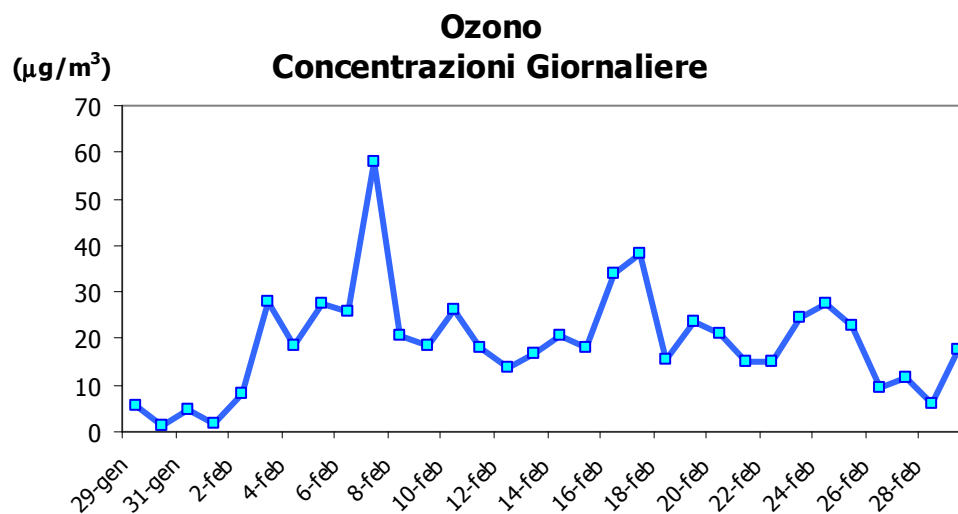
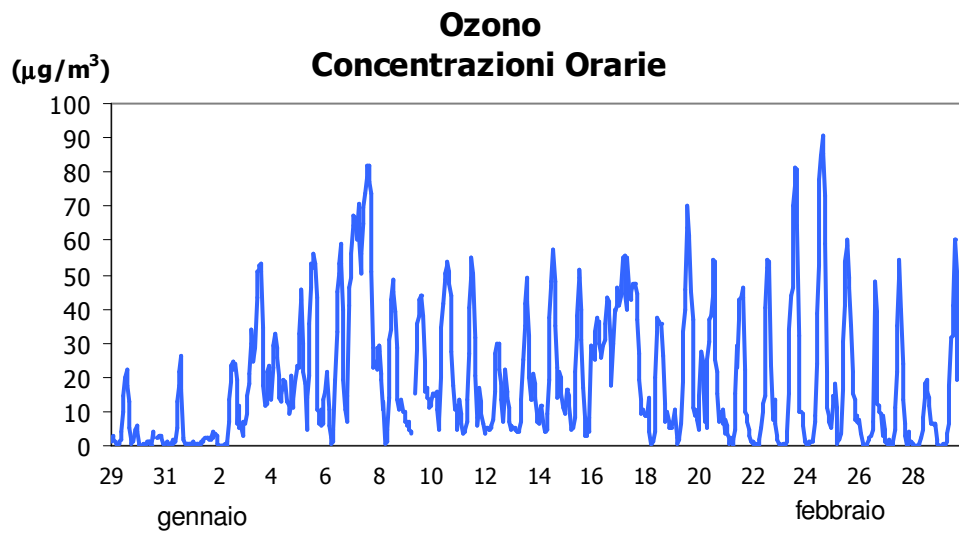


Figura 8. O_3 : Concentrazioni medie orarie, giorno tipo, medie giornaliere e media mobile su 8 ore.



Ozono

Massima concentrazione media 8 h

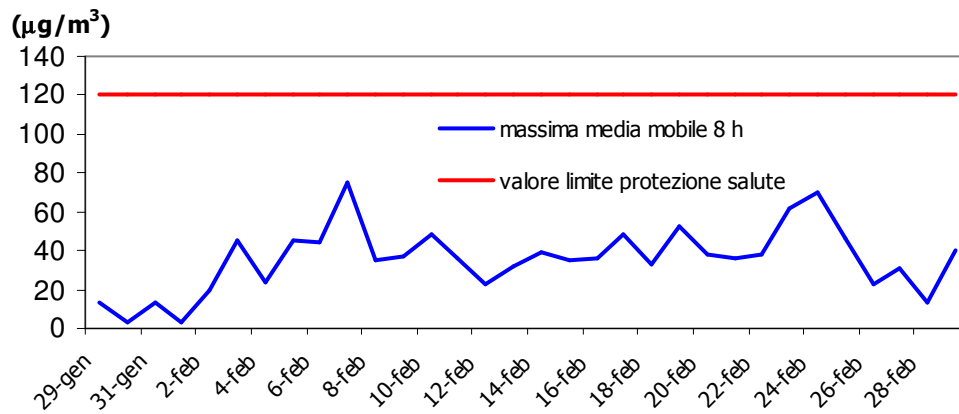


Figura 9. **Benzene**: Concentrazioni medie orarie, giorno tipo e medie giornaliere.

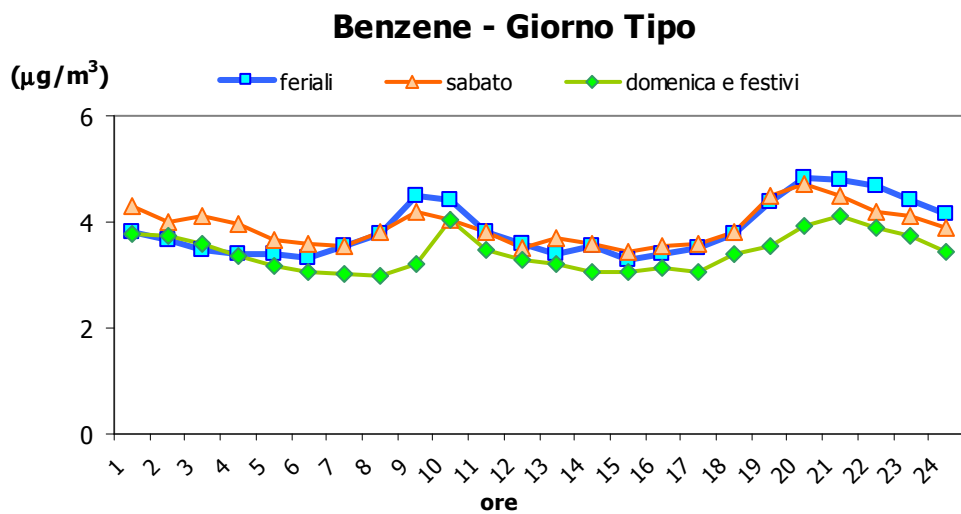
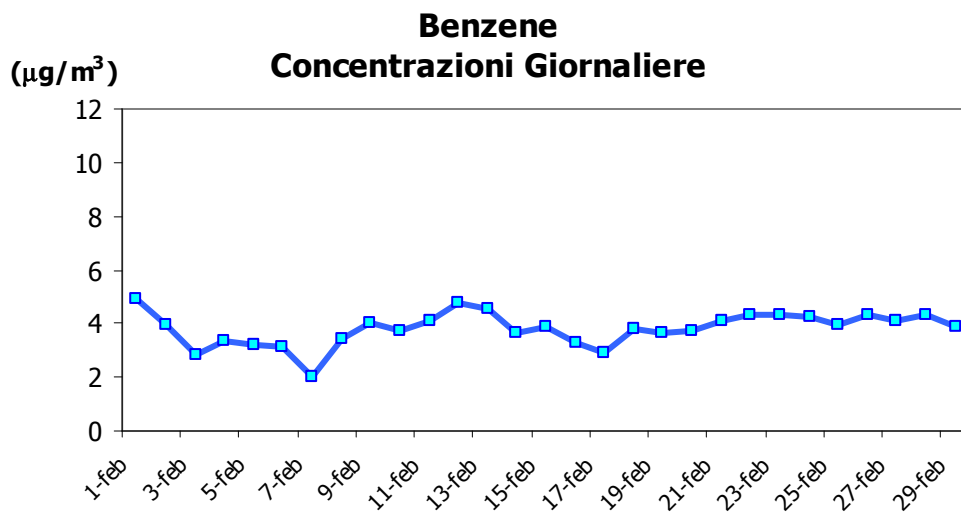
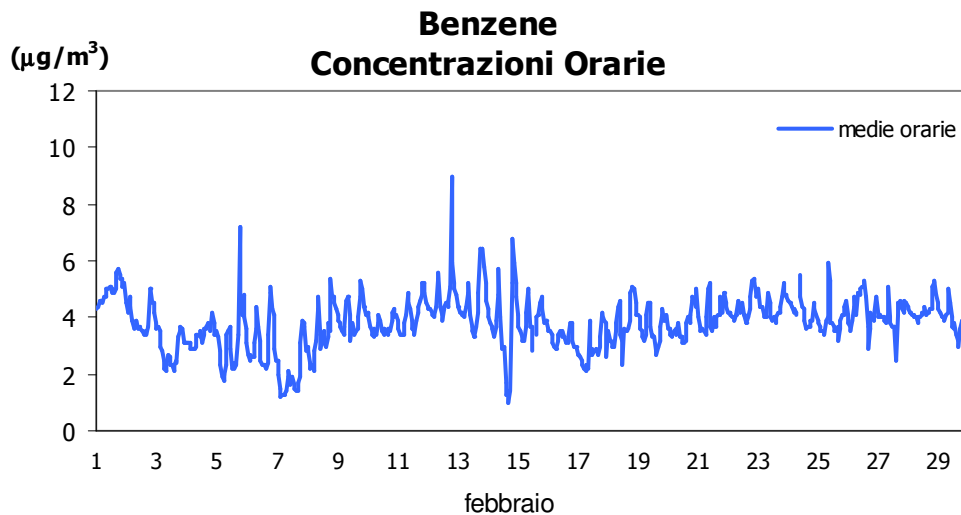


Figura 10. **Toluene**: Concentrazioni medie orarie, giorno tipo e medie giornaliere.

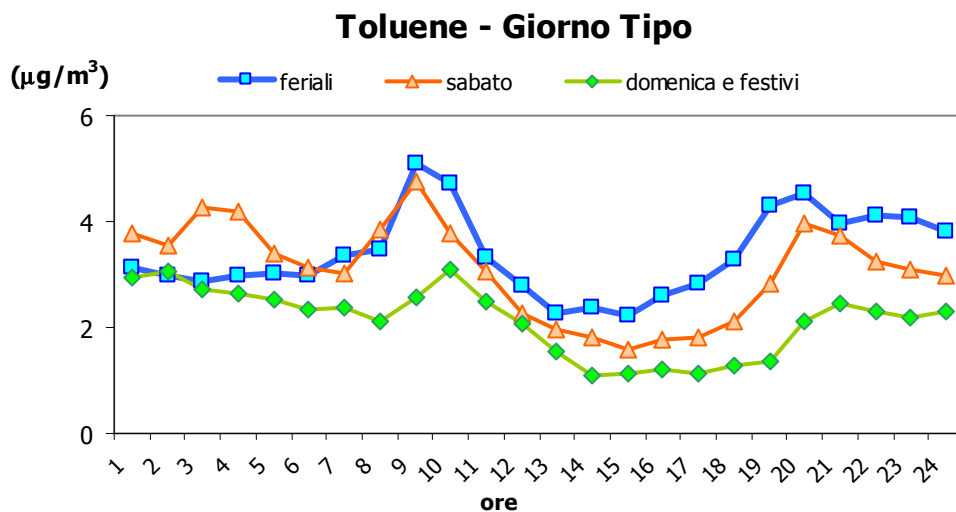
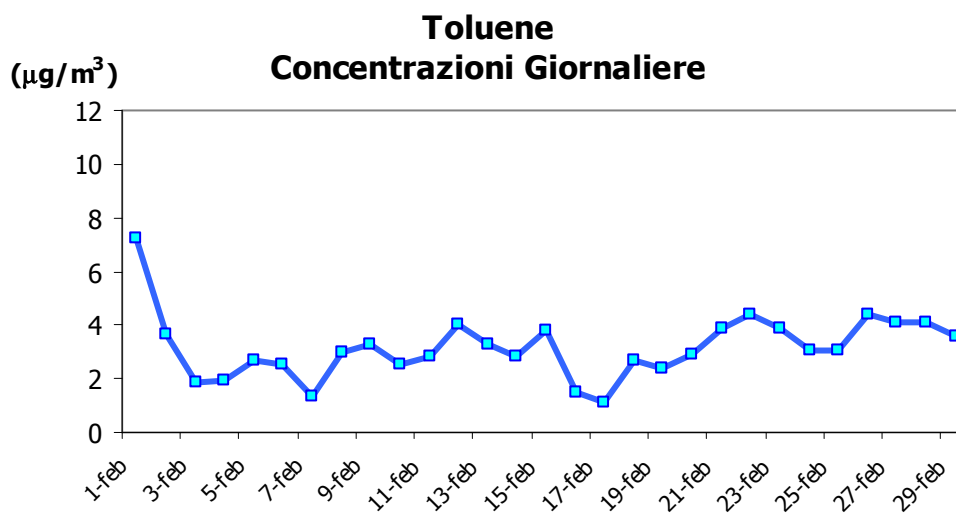
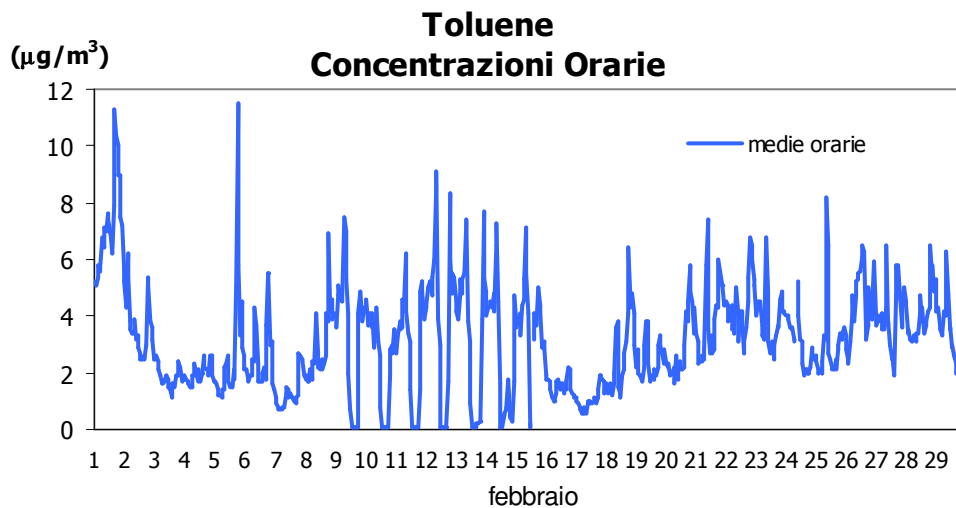


Figura 11. **Xileni**: Concentrazioni medie orarie, giorno tipo e medie giornaliere.

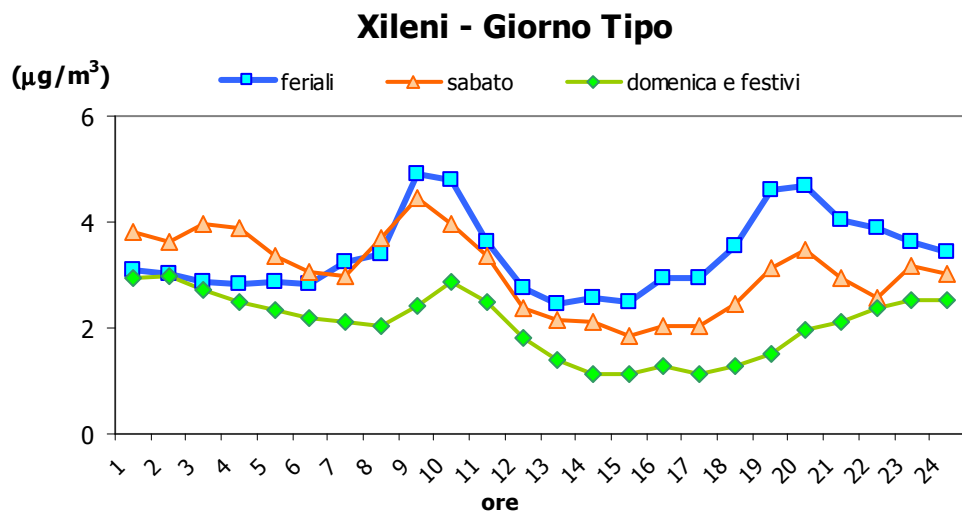
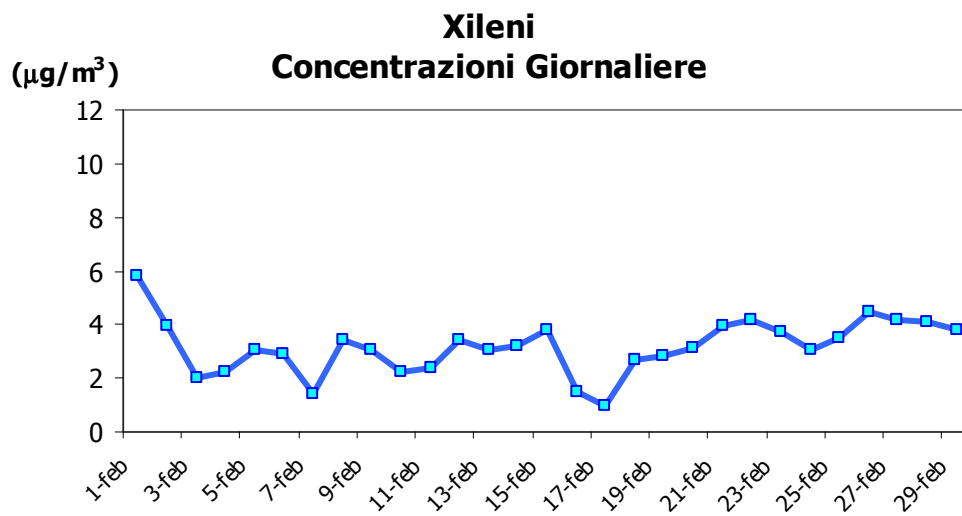
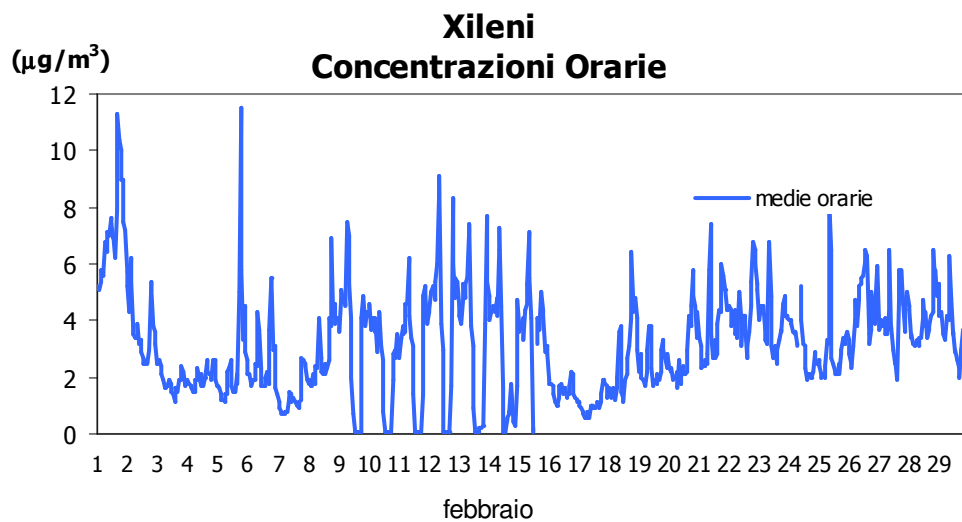
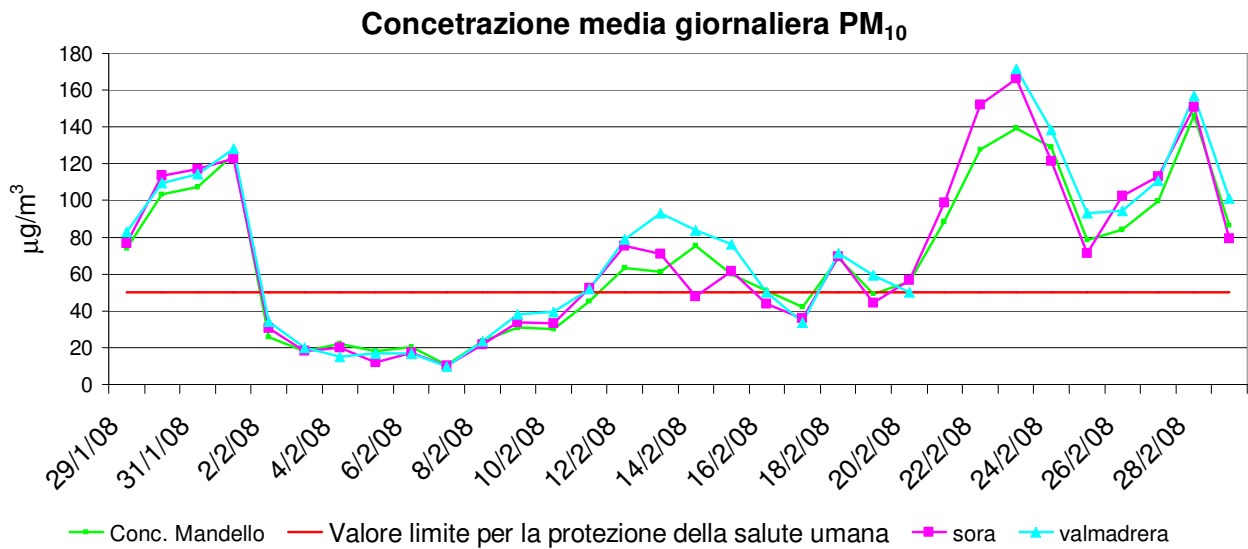


Figura 12. **PM₁₀**: confronto tra le concentrazioni medie giornaliere di Mandello del Lario, Lecco-Sora, Valmadrera



I dati degli inquinanti rilevati dal laboratorio mobile a Mandello del Lario sono stati messi a confronto con quelli registrati nel medesimo periodo dalla strumentazione presente in alcune centraline appartenenti alla rete fissa della qualità dell'aria della Provincia di Lecco (Lecco Sora, Lecco Amendola e Valmadrera) appartenenti alle diverse zone.

	rete	Tipo zona	Tipo stazione	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
		Dec. 2001/752/CE	Decisione 2001/752/CE		
Mandello del Lario	PUB	URBANA	MEDIA URBANA	200	29/01 al 29/02/08
Lecco Sora	PUB	SUBURBANA	FONDO	214	Stazione Fissa
Lecco Amendola	PUB	URBANA	TRAFFICO	214	Stazione Fissa
Valmadrera	PRIV	SUBURBANA	MEDIA URBANA	237	Stazione Fissa

Tabella 4: Caratteristiche del sito di campionamento e delle centraline fisse di confronto.

rete: PUB = pubblica, PRIV = privata

tipo zona Decisione 2001/752/CE:

- **URBANA:** centro urbano di consistenza rilevante per le emissioni atmosferiche, con più di 5000 abitanti
- **SUBURBANA:** periferia di una città o area urbanizzata residenziale posta fuori dall'area urbana principale
- **RURALE:** all'esterno di una città, ad una distanza di almeno 3 km; un piccolo centro urbano con meno di 3000-5000 abitanti è da ritenersi tale

tipo stazione Decisione 2001/752/CE:

- **TRAFFICO:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dal traffico (se si trova all'interno di Zone a Traffico Limitato, è indicato tra parentesi ZTL)
- **INDUSTRIALE:** se la fonte principale di inquinamento è costituita dall'industria
- **FONDO:** misura il livello di inquinamento determinato dall'insieme delle sorgenti di emissione non localizzate nelle immediate vicinanze della stazione; può essere localizzata indifferentemente in area urbana, suburbana o rurale

Nelle seguenti tabelle si riportano alcuni dati relativi alle caratteristiche del sito di campionamento e altri dati statistici riferiti a CO, NO₂, O₃, PM₁₀, relativi al periodo della campagna di misura:

- % rendimento
- media delle concentrazioni medie orarie;
- valore massimo orario;
- numero giorni in cui sono stati superati i livelli di attenzione

Tabella 5: Livelli di concentrazione degli inquinanti a Mandello del Lario, Lecco Sora, Lecco Amendola e Valmadrera

CO	% Rend.	Media (mg/m ³)	Max Media 1 h (mg/m ³)	Max Media 8 h (mg/m ³)	Nr. giorni sup. Liv. Attenzione	Periodo
Mandello del Lario	97	0.4	1.5	1.1	0	29/01/08 – 29/02/08
Valmadrera	100	0.6	1.7	1.4	0	

NO₂	% Rend.	Media (µg/m ³)	Max Media 1 h (µg/m ³)	Nr. giorni superamento Liv. Attenzione	Periodo
Mandello del Lario	100	58	145	0	29/01/08 – 29/02/08
Valmadrera	100	50	109	0	
Lecco Sora	100	41	90	0	
Lecco Amendola	100	67	142	0	

O₃	% Rend.	Media (µg/m ³)	Max Media 1 h (µg/m ³)	Max Media 8 h (µg/m ³)	Nr. giorni sup. Liv. Informazione	Periodo
Mandello del Lario	100	19	90	75	0	29/01/08 – 29/02/08
Valmadrera	100	20	105	90	0	
Lecco Sora	100	15	82	63	0	

Benzene	% Rend.	Media (µg/m ³)	Max Media 1 h (µg/m ³)	Periodo
Mandello del Lario	90	4	9	29/01/08 – 29/02/08
Lecco Amendola	100	2	8	

Toluene	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max Media 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo
Mandello del Lario	90	3	12	29/01/08 – 29/02/08
Lecco Amendola	100	6	34	

Xileni	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max Media 1 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Periodo
Mandello del Lario	90	3	13	29/01/08 – 29/02/08
Lecco Amendola	100	3	27	

PM₁₀	% Rend.	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max Media 24 h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nr. giorni superamento Liv. prot.salute	Periodo
Mandello del Lario	100	68	146	20/32	29/01/08 – 29/02/08
Lecco Sora	100	70	166	19/32	
Valmadrera	94	72	171	18/32	

Conclusioni

Le misure effettuate sul territorio del comune di Mandello del Lario, hanno consentito una caratterizzazione generale della qualità dell'aria del sito.

- I valori medi di **CO** sono confrontabili con quelli misurati nella postazione fissa di Valmadrera. Sono estremamente bassi nonostante la vicinanza con importanti arterie di traffico e risultano inferiori ai limiti di legge.
- Anche l'**NO₂** rilevato risulta essere confrontabile con quello misurato nella stazione della rete di monitoraggio della qualità dell'aria di Valmadrera, avente caratteristiche simili a quelle del sito monitorato. In nessuna delle postazioni considerate è stato superato il limite normativo.
- I valori e gli andamenti dell'**O₃** sono risultati confrontabili con quelli rilevati nelle altre postazioni considerate. Non sono stati registrati superamenti dei limiti di legge.
- Il valore medio di **benzene** rilevato durante l'intera campagna, è stato di 4 µg/m³. La media relativa al periodo di misura, è in linea con il valore obiettivo sull'anno civile stabilito dal DM 60/02, pari a 5 µg/m³.
- Non esiste un limite di legge per **toluene** e **xileni** per la qualità dell'aria. D'altra parte i valori medi misurati sono di gran lunga inferiori rispetto a quelli introdotti dall'Organizzazione Mondiale per la Sanità.
- Durante la campagna, l'unico inquinante ad aver superato il limite di protezione della salute umana, fissato a 50 µg/m³, è stato il **PM₁₀**: il numero di giorni di superamento è stato di 20 su 32. I superamenti del limite normativo si sono verificati in concomitanza di superamenti anche nelle altre stazioni prese a confronto e sono stati dovuti una situazione meteo sfavorevole alla dispersione degli inquinanti.

Gli episodi di criticità per il PM₁₀ non risultano essere propri del sito di monitoraggio, ma interessano una vasta area della Pianura Padana. Infatti l'accumulo delle polveri fini nei bassi strati atmosferici durante la stagione fredda, e il conseguente superamento del valore limite normativo, è modulato principalmente dalle condizioni climatiche che si instaurano sulla pianura lombarda in inverno, oltre alle caratteristiche geografiche della regione. Durante le fasi di stabilità atmosferica le calme di vento e il raffreddamento radiativo del suolo determinano una diminuzione delle capacità dispersive dell'atmosfera, favorendo l'accumulo dei inquinanti al suolo.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione Comunale per l'insostituibile collaborazione apportata durante la campagna di monitoraggio.

