



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Laboratorio Mobile
Campagna di Misura della Qualità dell'Aria
COMUNE DI CASARGO
06/06/2008 - 10/09/2008

Campagna di Misura della Qualità dell'Aria

COMUNE DI CASARGO

Gestione e Manutenzione Tecnica della Strumentazione

P.I. Luca Vergani

Relazione

redatta Dr. Laura Carroccio
Dr. Anna De Martini

approvata Responsabile U.O. Territorio e Sistemi Ambientali
Dr. Paola Bossi

Campagna di Misura della Qualità dell' Aria

COMUNE DI CASARGO

Introduzione

| | |
|---|--------|
| Laboratorio Mobile..... | pag. 3 |
| I principali inquinanti atmosferici..... | pag. 4 |
| Normativa..... | pag. 6 |

Campagna di Misura

| | |
|--|---------|
| Sito di Misura..... | pag. 7 |
| Emissioni sul territorio..... | pag. 9 |
| Situazione meteorologica nel periodo di misura..... | pag. 13 |
| Andamento inquinanti nel periodo di misura e confronto con i dati rilevati da postazioni fisse..... | pag. 18 |
| Conclusioni..... | pag. 27 |

Allegato Dati Orari

Introduzione

La campagna di misura nel comune di Casargo 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, ed in particolare, monitorare l'inquinamento da ozono in Valsassina.

A tale fine, è stata scelta una postazione all'interno dell'area di pertinenza del Centro di Formazione Professionale Alberghiera, presso la località Piazza. Il laboratorio mobile è stato attrezzato con strumentazione per il rilevamento di:

- Ossidi di Azoto (NO_x);
- Ozono (O₃);
- PM10, PM2.5

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:

- 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.

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.

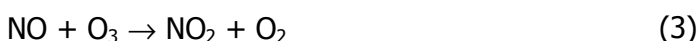
La chimica dell'ozono ha come punto di partenza la presenza di ossidi di azoto, che vengono emessi in grandi quantità nelle aree urbane. Sotto l'effetto della radiazione solare (rappresentata di seguito con $h\nu$), la formazione di ozono avviene per fotolisi del biossido di azoto:



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 NO₂:



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 NO₂ senza consumare ozono, di fatto spostando l'equilibrio del ciclo visto sopra e consentendo l'accumulo dell'O₃.

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 sottovento 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 µm (PM10), la seconda a particelle con diametro aerodinamico inferiore a 2.5 µm (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.

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

| Inquinanti | Principali sorgenti di emissione |
|--|--|
| 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) |
| Ozono** O ₃ | Non ci sono significative sorgenti di emissione antropiche in atmosfera |
| Particolato Fine*/** PM10 | Insieme di particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 µm, provenienti principalmente da processi di combustione e risollevarimento |

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 il biossido di azoto, ossidi di azoto, PM10, 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 |

| 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 |

Campagna di Misura

Sito di Misura

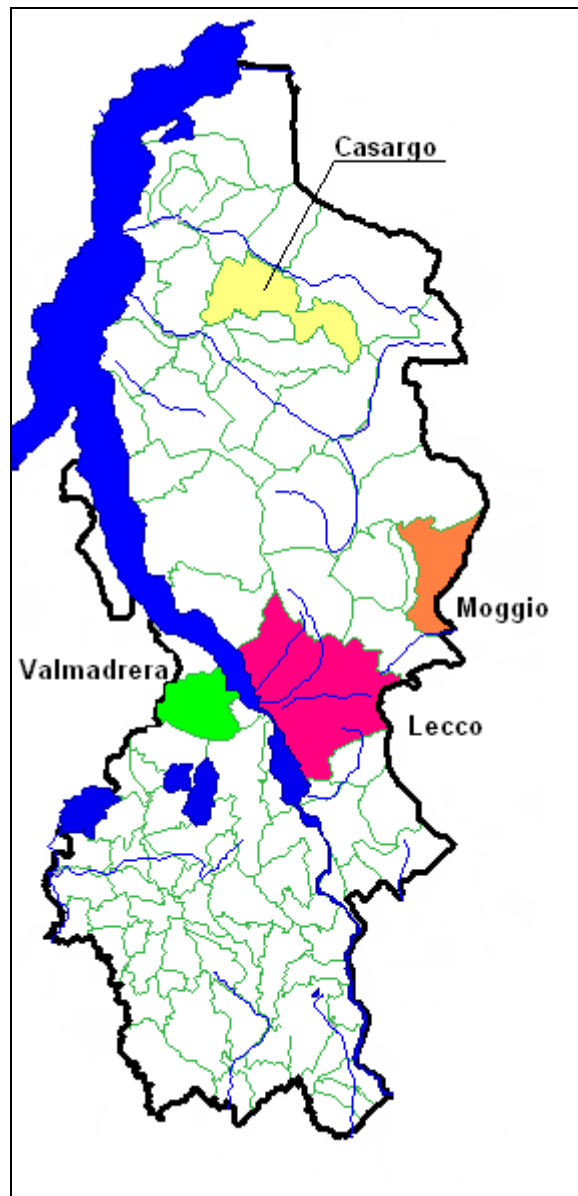


Figura 1: Comuni della provincia di Lecco

Periodo di Misura: 6 giugno – 10 settembre 2008

Sito di misura: **Comune di Casargo**
Assi Stradali: strade extraurbane: SP 67; SP 66

La campagna è stata realizzata in Valsassina, nel territorio comunale di Casargo. Il mezzo mobile è stato posizionato all'interno dell'area verde di pertinenza del plesso del C.F.P.A. in località Piazza, dalla quale si può ammirare un'ampia vista su parte della Valsassina.



Figura 2: Comune di Casargo nell'ambito dell'alta Valsassina

Si tratta di un'area sufficientemente aperta, in prossimità della S.P. 67, percorsa in entrambi i sensi di marcia da traffico non intenso. A Casargo converge anche la S.P. 66 proveniente da Bellano.

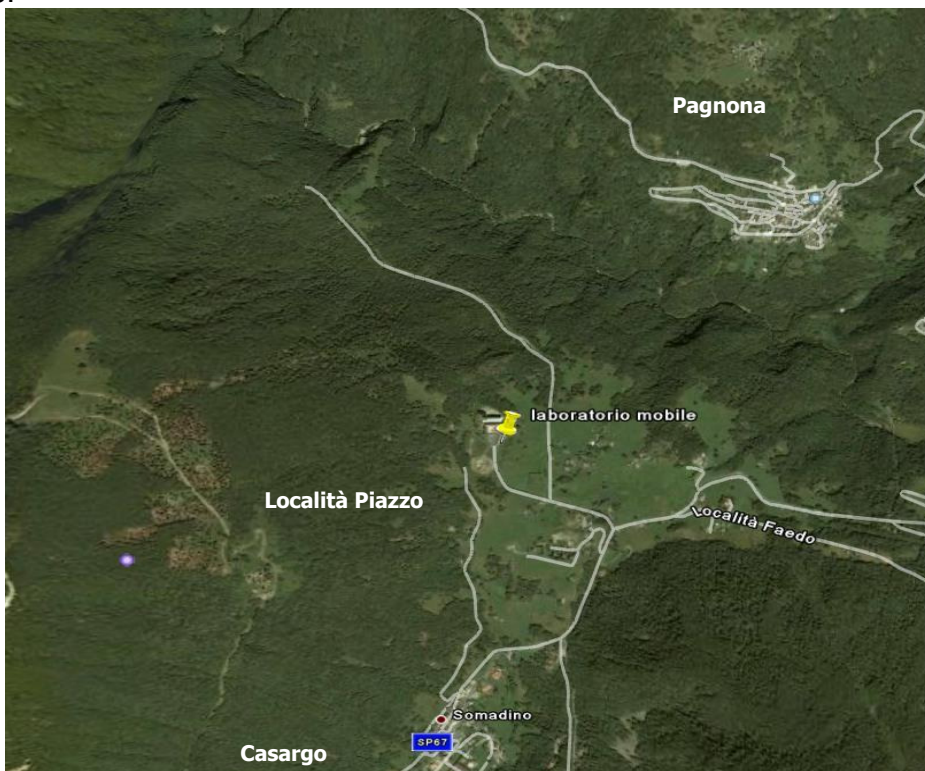


Figura 3: Posizionamento del mezzo mobile nel comune di Casargo

Emissioni sul territorio

Per la stima delle principali sorgenti emmissive sul territorio comunale di Casargo 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 emmissive: 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 (SO_2)
- Ossidi di Azoto (NO_x)
- Composti Organici Volatili non Metanici (NMCOV)
- Metano (CH_4)
- Monossido di Carbonio (CO)
- Biossido di Carbonio (CO_2)
- Ammoniaca (NH_3)
- Protossido di Azoto (N_2O)
- Polveri Totali Sospese (PTS) o polveri con diametro inferiore ai $10 \mu\text{m}$ (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 (SO_2)** derivano, principalmente, dai processi legati alla combustione non industriale, cioè al riscaldamento domestico (2.42 t/anno circa il 98% del totale). Percentuali minori sono dovute al trasporto su strada (1.3%, 0.03 t/anno), alla combustione nell'industria ed alle altre sorgenti mobili e macchinari.

Gli stessi macrosettori sono le sorgenti emmissive principali di **Monossido di Carbonio (CO)**. Infatti, la combustione non industriale contribuisce con 88.97 t/anno su di un totale di 109.3 t/anno, pari all' 81.4% del totale. L'altro elevato contributo è dato dal trasporto su strada, che contribuisce con 15.27 t/anno e concorre pertanto per il 14 % .

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 Casargo è pari a 4.54 t/anno, ovvero il 55.5% del totale. Gli altri macrosettori che concorrono alle emissioni degli NO_x sono: la combustione non industriale con 2.96 t/anno (36.2%), altre sorgenti mobili e macchinari con 0.57 t/anno (7%), e la combustione nell'industria con 0.11 t/anno (1.4%).

Le principali sorgenti emissive dei **Composti Organici Volatili (COV)** nel comune di Casargo sono: altre sorgenti ed assorbimenti (42.28 t/anno, 51.4%) e la combustione non industriale (22.62 t/anno, 27.5%). Ulteriori rilevanti contributi sono dovuti all'uso di solventi (9.85 t/anno, 12%) ed al trasporto su strada (4.85 t/anno, 5.9%).

La principale sorgente di **Particolato Fine (PM₁₀)** nel comune di Casargo è la combustione non industriale, che con 4.4 t/anno contribuisce per il 87.6% alle emissioni di questo inquinante. Nettamente inferiore è il contributo dovuto al trasporto su strada, con 0.43 t/anno (8.5%).

Si riportano in tabella 3 (valori assoluti e percentuali) e in Figura 4 (valori percentuali) le stime relative ai principali inquinanti emessi dai diversi tipi di sorgente all'interno del comune di Casargo. Per un confronto si riportano anche le stime riferite all'intera Provincia di Lecco.

Comune di Casargo

| 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 | 2.42 | 2.96 | 0.69 | 22.62 | 2.19 | 4.26 | 4.40 | 6.03 | 88.97 | 0.18 |
| Combustione nell'industria | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.31 | | 0.05 | 0.06 | | 3.86 | 0.01 |
| Processi produttivi | | | | 1.72 | 0.04 | | | | | |
| Uso di solventi | | | | 9.85 | | | | | | |
| Trasporto su strada | 0.03 | 4.54 | 0.04 | 4.85 | 1.07 | 0.35 | 0.43 | 0.22 | 15.27 | 0.20 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 0.01 | 0.57 | 0.02 | 0.55 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.01 | 1.11 | |
| Agricoltura | | | 0.53 | | | | 0.01 | 10.83 | | 4.02 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | | | | 42.28 | | 0.04 | 0.04 | | 0.07 | |
| Totale | 2.5 | 8.2 | 1.3 | 82.2 | 3.3 | 4.8 | 5.0 | 17.1 | 109.3 | 4.4 |

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 | 97.8 | 36.2 | 53.4 | 27.5 | 65.6 | 89.2 | 87.6 | 35.3 | 81.4 | 4.2 |
| Combustione nell'industria | 0.5 | 1.4 | 0.6 | 0.4 | | 1.0 | 1.2 | | 3.5 | 0.1 |
| Processi produttivi | | | | 2.1 | 1.1 | | | | | |
| Uso di solventi | | | | 12.0 | | | | | | |
| Trasporto su strada | 1.3 | 55.5 | 3.4 | 5.9 | 32.0 | 7.2 | 8.5 | 1.3 | 14.0 | 4.5 |
| Altre sorgenti mobili e macchinari | 0.3 | 7.0 | 1.5 | 0.7 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | | 1.0 | |
| Agricoltura | | | 41.2 | | | | 0.3 | 63.4 | | 91.2 |
| Altre sorgenti e assorbimenti | | | | 51.4 | | 0.9 | 0.9 | | | |
| totale | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 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 | PM _{2.5} | PM ₁₀ | 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 Casargo e nell'intera Provincia di Lecco.

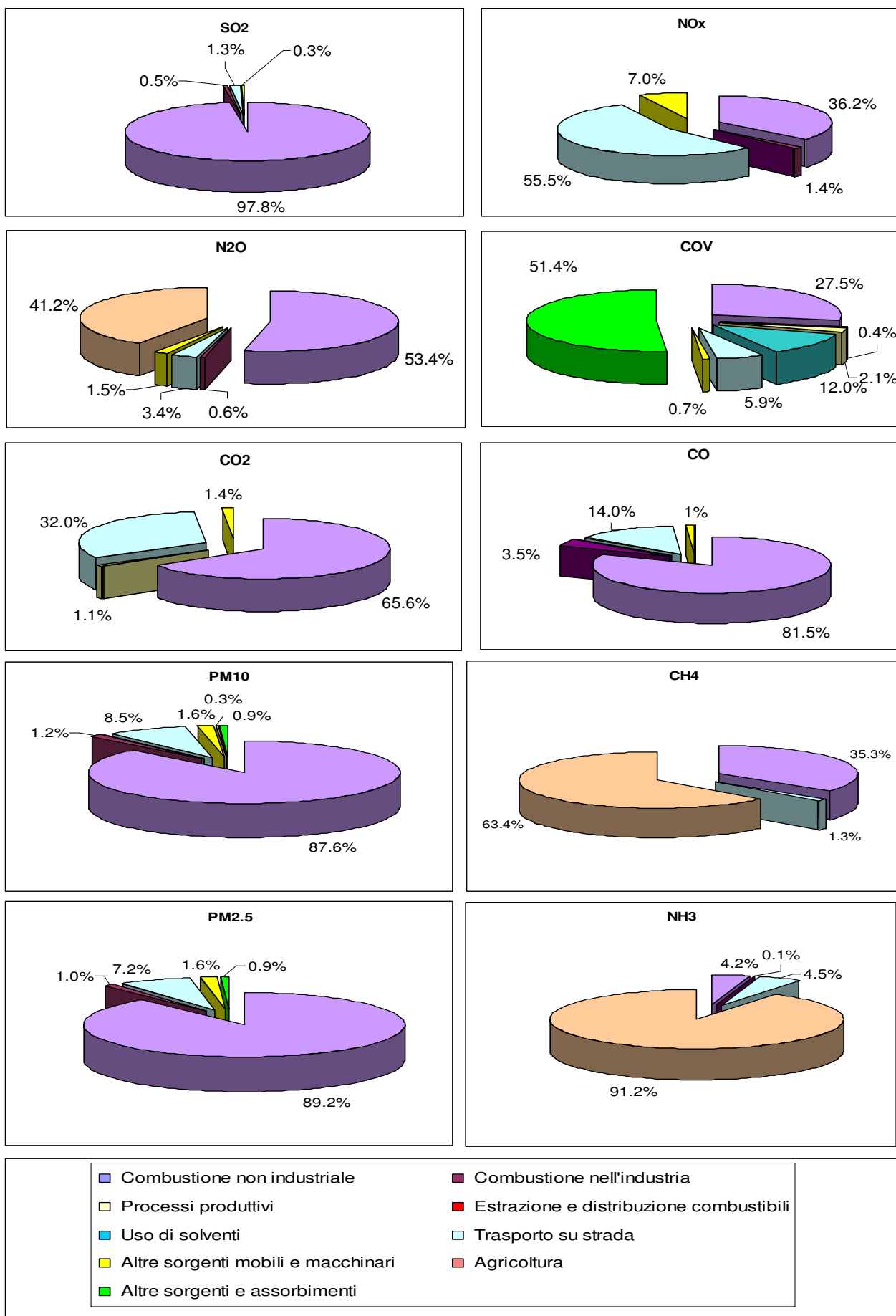


Figura 4: Ripartizione delle emissioni nel territorio di Casargo

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.

Giugno

Dall'inizio della campagna fino al giorno 17, la situazione meteorologica è stata caratterizzata da diffuse e frequenti precipitazioni a carattere di rovescio e temporale, che, in generale, hanno interessato più la fascia Prealpina, dovute all'instabilità associata ad un'ampia circolazione depressionaria presente sull'Europa con progressivo ingresso di aria più fresca in quota. Le temperature, inizialmente in linea con i valori attesi, hanno subito un marcato calo da venerdì 13. Successivamente la graduale espansione di un'area di alta pressione ha determinato un generale miglioramento, un aumento marcato delle temperature, cielo sereno o poco nuvoloso con sviluppo di cumuli sui rilievi e precipitazioni assenti o solo occasionali su Alpi e Prealpi. Dal 23, la persistenza di alta pressione sul Mediterraneo Centrale, ha comportato l'afflusso di aria calda dai quadranti meridionali e tempo prevalentemente stabile, soleggiato, con caldo afoso, con valori di 2/3 °C sopra la media del periodo, sia per le minime che per le massime, salvo brevi ma localmente intensi temporali dovuti ad infiltrazioni di aria fresca atlantica.

Periodo complessivamente ventilato, anche in pianura, ma senza episodi intensi. Venti in generale da deboli a moderati, con locali rinforzi in quota, in corrispondenza del transito della perturbazione. A Casargo la massime media oraria è stata di 4.1 m/s.

Luglio

Il mese di luglio è stato generalmente caratterizzato da una debole circolazione a grande scala, e da un campo di pressione variabile, ma anche da spiccata attività temporalesca locale, per lo più, nei settori prealpini della regione associato al transito di due perturbazioni di origine nordatlantica, intervallate da promontori anticiclonici. Le precipitazioni associate alla prima perturbazione sono risultate più intense il 6, in concomitanza all'ingresso di aria più fredda transalpina.

La seconda perturbazione ha iniziato ad interessare la nostra regione con rovesci e temporali sparsi a partire dall'11, proseguendo anche nelle giornate successive. Le precipitazioni sono risultate pressoché continue su parte dei settori alpini e prealpini. Le fasi più acute, in concomitanza alle progressive irruzioni di aria fredda, si sono verificate il 12 e il 13. In questi due giorni, a Casargo, la cumulata giornaliera di pioggia è stata, rispettivamente, di 43 e 78 mm.

Dal 28, è stata segnalata la presenza di un promontorio di origine africana. Tuttavia, le sue caratteristiche di debole intensità e scarsa estensione verso nord hanno impedito il determinarsi delle condizioni di stabilità tipiche delle aree di alta pressione.

L'andamento delle temperature in questo mese non ha mostrato particolari variazioni rispetto alla norma del periodo, ed è rimasto generalmente costante nei valori, ad eccezione dei passaggi perturbati in cui si sono registrati degli abbassamenti. A Casargo le temperature sono oscillate tra 9°C della mattina del 14 luglio e 26°C in corrispondenza del passaggio del promontorio di origine africana. Durante il mese, il regime anemologico è risultato di moderata intensità, soprattutto in concomitanza ai fenomeni temporaleschi. In corrispondenza di tempo soleggiato, ha assunto a tratti carattere di foehn. A Casargo la massima media oraria è stata di 5.6 m/s.

Agosto

La prima settimana di agosto è stata caratterizzata da un flusso occidentale stabile, e da condizioni afose in pianura alternati a deboli impulsi perturbati che hanno determinato precipitazioni isolate a carattere temporalesco e temperature più miti.

Successivamente, correnti atlantiche con nuvolosità molto variabile (da sereno a coperto) hanno determinato una fase di instabilità, associata ad un passaggio temporalesco piuttosto intenso nella giornata di Ferragosto.

Dal 18, la presenza di un'area di alta pressione di origine africana sul bacino del Mediterraneo seguita da un flusso da ovest sudovest, ha comportato l'alternanza tra fasi di tempo prevalentemente stabile e soleggiato, e condizioni di instabilità che hanno interessato maggiormente i settori alpini e prealpini. Il mese di agosto, è stato caratterizzato da temperature mediamente più alte rispetto ai due mesi precedenti. A Casargo la massima è stata di 26 °C, la minima di 11 °C, l'U.R. ha raggiunto il 96%. Solo dalla seconda settimana, i temporali e l'ingresso di aria più fresca e secca in quota, hanno abbassato sia le temperature che l'umidità ripristinando condizioni più gradevoli.

Il regime anemologico è stato caratterizzato da scarsa circolazione, con ventilazione al più moderata per circolazione di brezza nelle zone montane.

Settembre

Periodo caratterizzato da correnti in quota sudoccidentali umide ed instabili, anche intense, come nella giornata di sabato 6, legate ad una vasta area di bassa pressione presente sull'Inghilterra ed in lento movimento verso est. La loro presenza ha permesso il passaggio di diverse e rapide perturbazioni che hanno interessato la Lombardia con frequenti rovesci e temporali. Dall'8 a fine campagna, tempo prevalentemente stabile e asciutto per la presenza di un promontorio nordafricano sul bacino del Mediterraneo.

Nonostante i frequenti rovesci, e la copertura nuvolosa, le temperature registrate sono state sempre elevate, a causa della natura delle correnti stesse. Molte sono state le giornate in cui si sono registrate condizioni di afa tipicamente estive. La giornata più calda è risultata essere sabato 6. Periodo interessante sotto il profilo anemologico soprattutto per le stazioni in montagna, a causa dell'intenso flusso sudoccidentale presente in quota. In rilievo l'attività elettrica legata alla caduta dei fulmini: circa 2000 i fulmini caduti in Lombardia nella giornata di lunedì 1 e circa 1000 nella giornata di domenica 7.

Complessivamente, durante la campagna di monitoraggio, la temperatura media del periodo, rilevata con la strumentazione meteo del mezzo mobile, è stata di 17.4 °C, oscillando da una media giornaliera di 8 °C del 15 giugno ad una di 22.5 °C del 27 giugno. La radiazione solare massima sul periodo è stata di 1050 W/m², mentre l'umidità relativa media è stata del 71%. La pressione media sul periodo è stata di 911 hPa. In totale, nel periodo della campagna, sono caduti 575mm di pioggia.

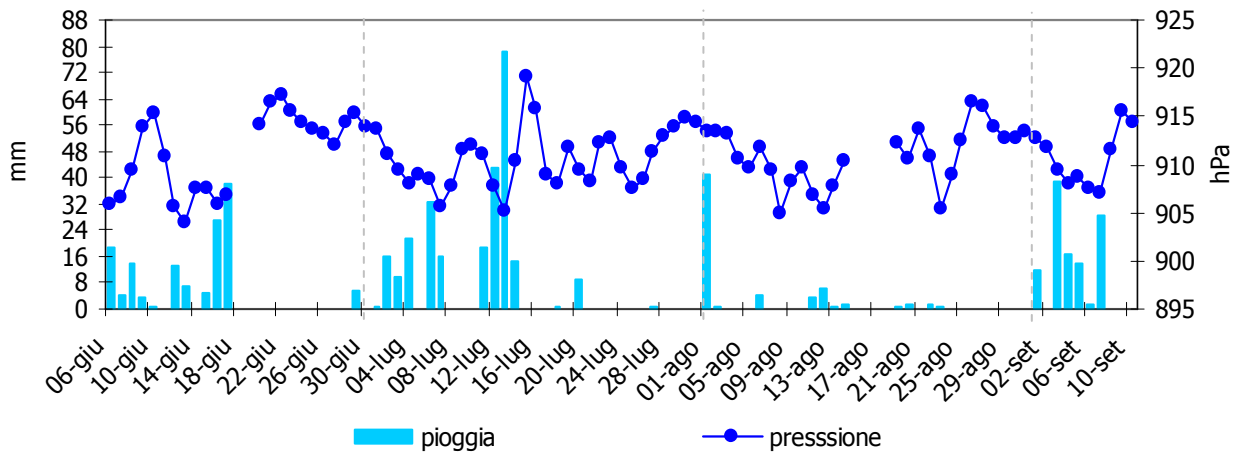
Le condizioni meteorologiche del periodo di monitoraggio sono state piuttosto variabili. Nelle fasi di instabilità atmosferica la situazione è stata favorevole alla dispersione degli inquinanti; al contrario, nei periodi in cui hanno prevalso circolazioni anticicloniche, si sono avuti fenomeni di ristagno atmosferico, che hanno favorito temporanei accumuli degli inquinanti, in particolare di O₃, negli strati atmosferici più bassi.

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

- Precipitazione (cumulata giornaliera in mm) e Pressione (media giornaliera in hPa)
- Radiazione solare media (W/m²) e Temperatura (media giornaliera in C°)
- Temperatura massime e minime giornaliere (in C°)
- Umidità Relativa media giornaliera (%) e velocità del vento media giornaliera (m/s)
- Venti prevalenti
- Giorno tipo della velocità del vento

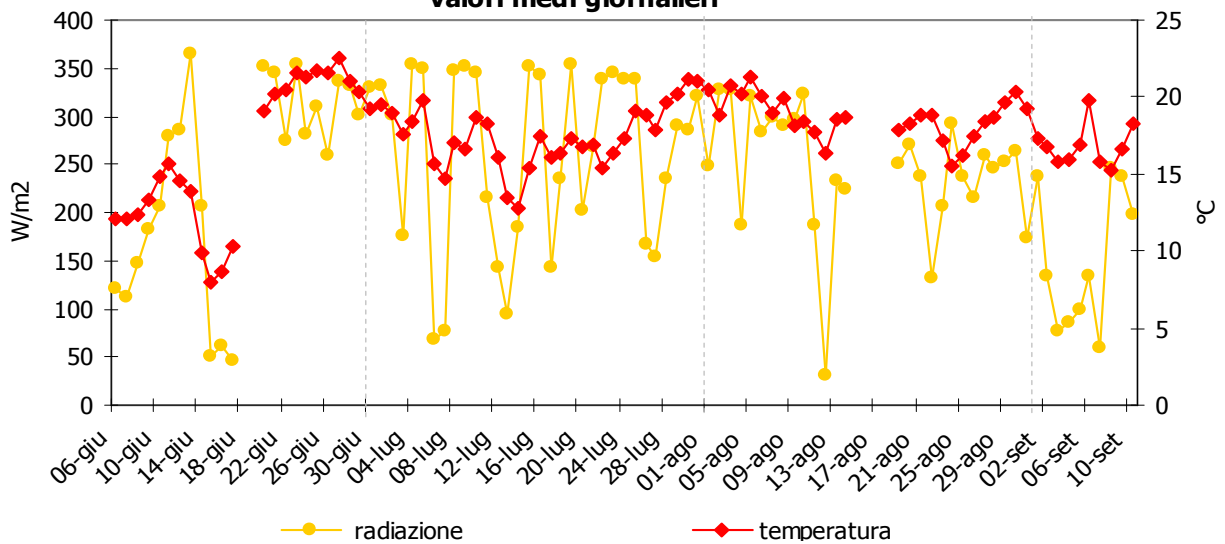
Figura 5. Andamenti dei principali parametri meteorologici durante la campagna di monitoraggio.

Precipitazioni e Pressione

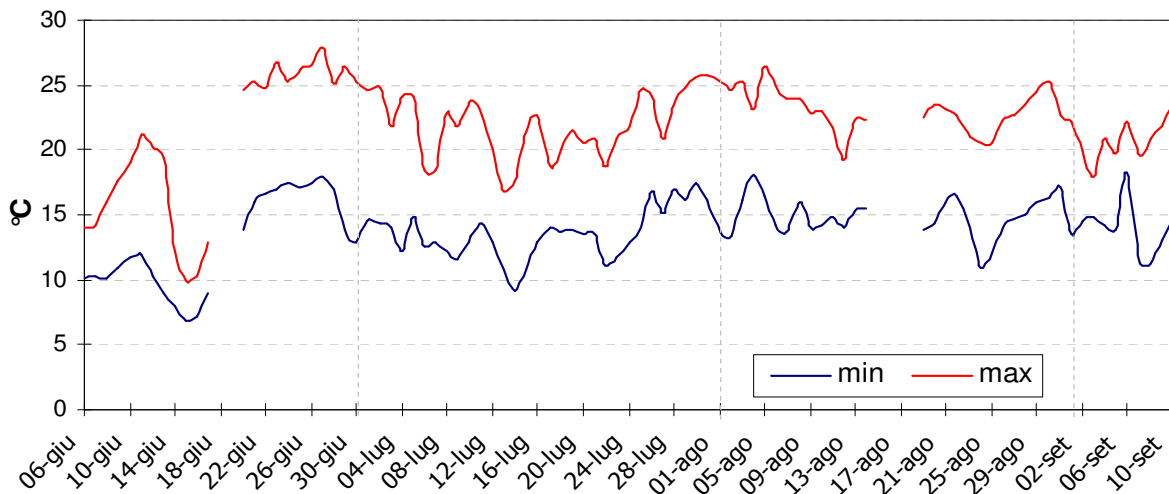


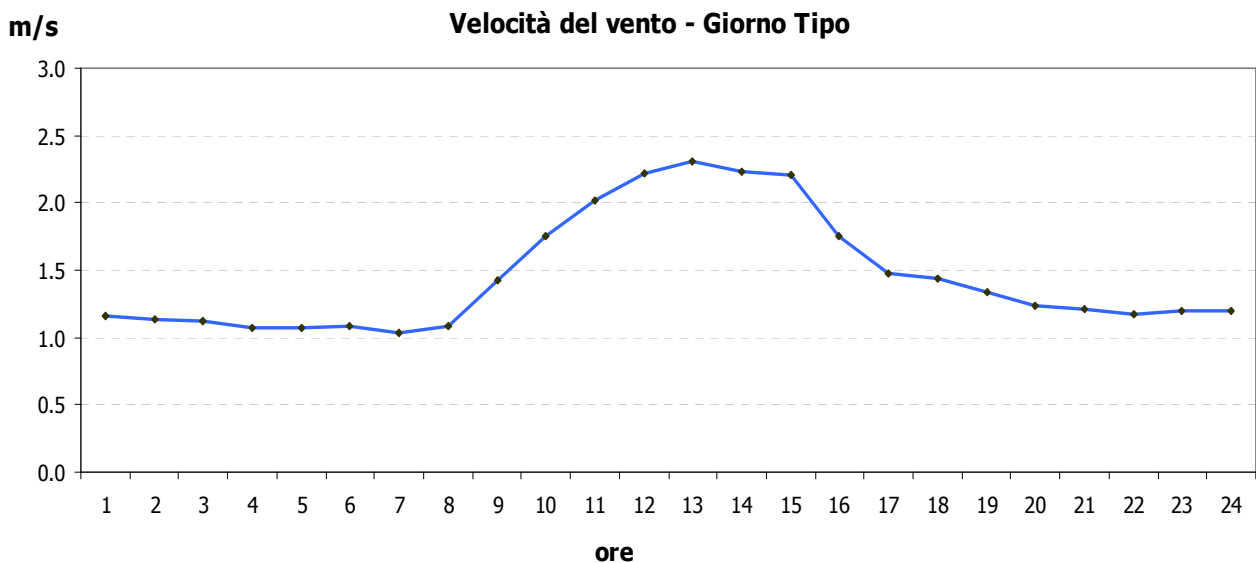
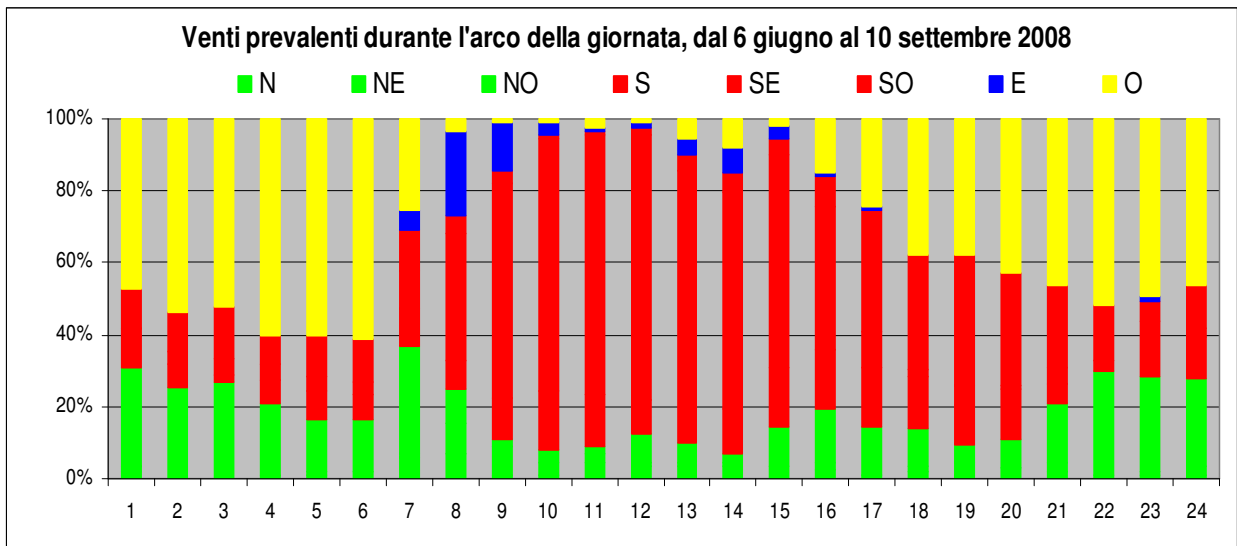
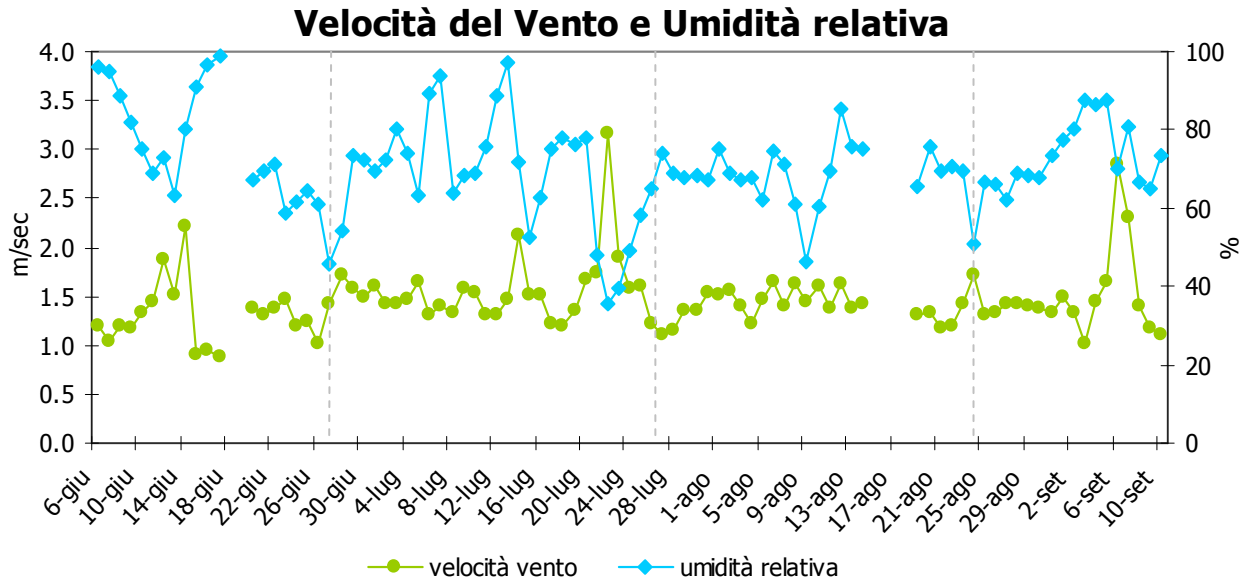
Radiazione Solare e Temperatura

valori medi giornalieri



Temperatura Massime e minime giornaliere





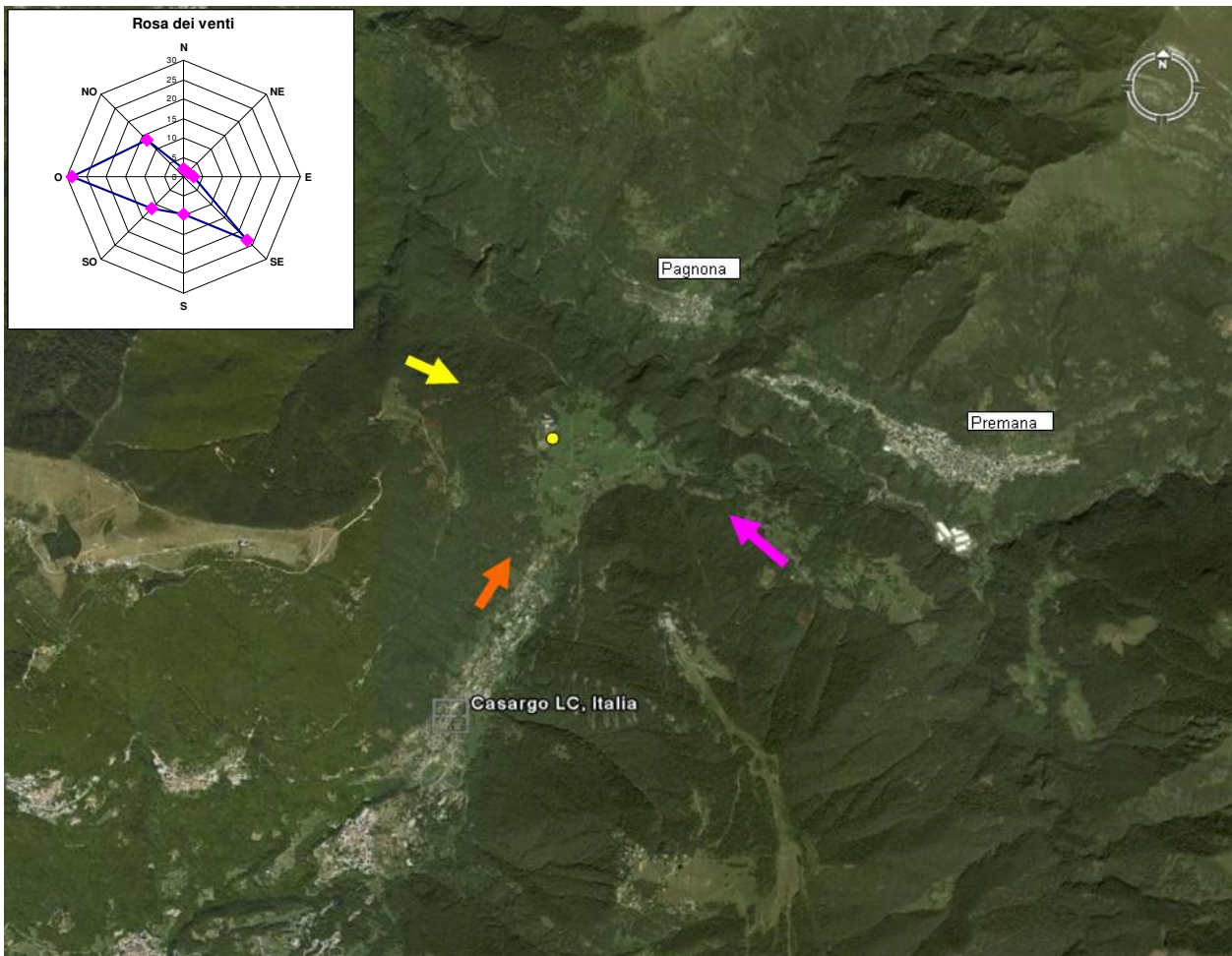
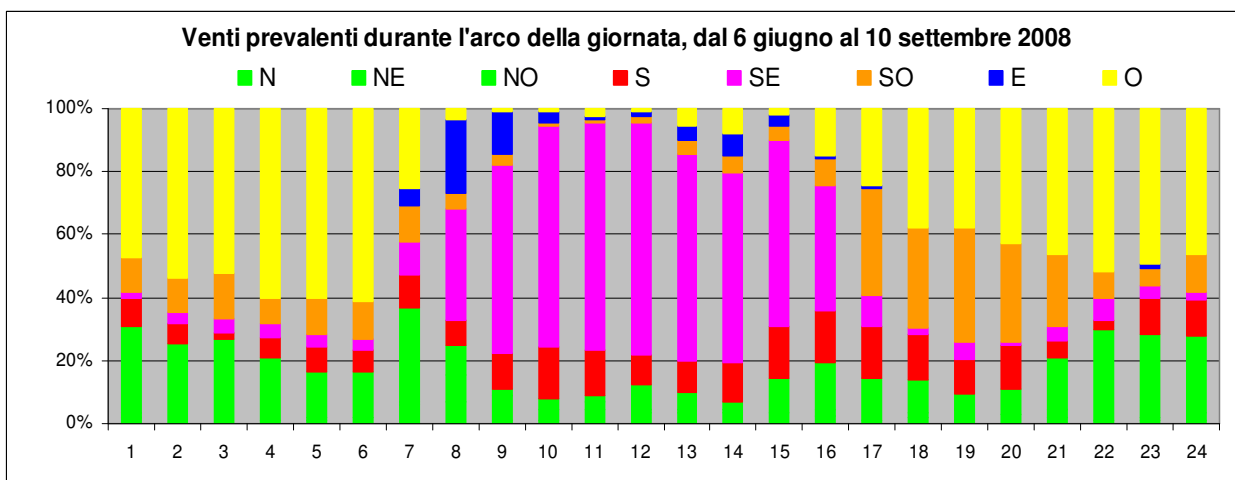


Figura 6: Venti prevalenti : inquadramento territoriale



Dall'inquadramento territoriale e dall'analisi delle direzioni dei venti rilevati con la strumentazione del mezzo mobile, si evidenzia che a Casargo, i venti provenienti dal Settore Ovest sono prevalentemente venti da Nord che dal Lago si incanalano lungo la valle del Torrente Varrone, e sono presenti soprattutto nelle ore notturne. Nelle ore centrali della giornata, invece, i venti prevalenti, che hanno anche una maggiore intensità, provengono da Sud, da cui giungono seguendo la Valsassina.

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), oltre alla misura giornaliera del particolato fine ed ultrafine (PM₁₀, e PM_{2,5}).

Come descritto nel capitolo **Normativa**, il D.M. 60 del 02.04.02 stabilisce, per NO₂ 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 Casargo sono stati pertanto confrontati con quelli registrati nelle centraline fisse di Lecco, Valmadrera, Colico e Moggio. (Vedi tabella 5)

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

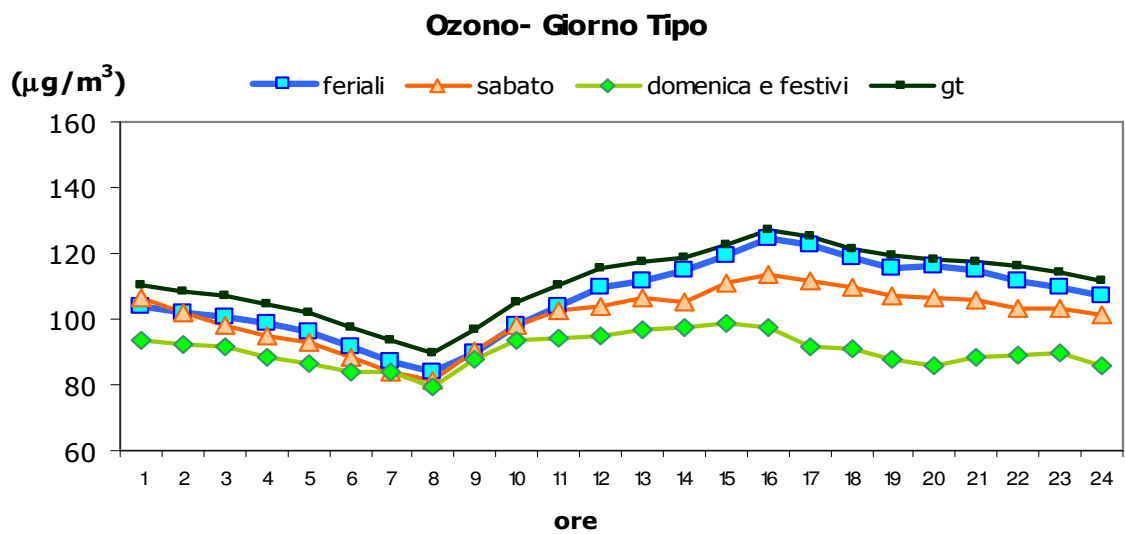
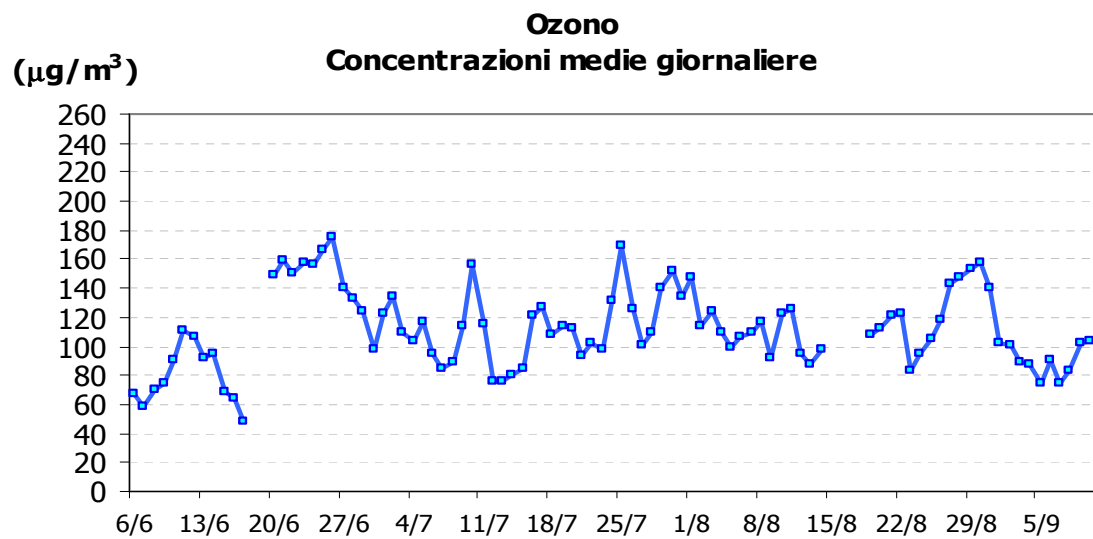
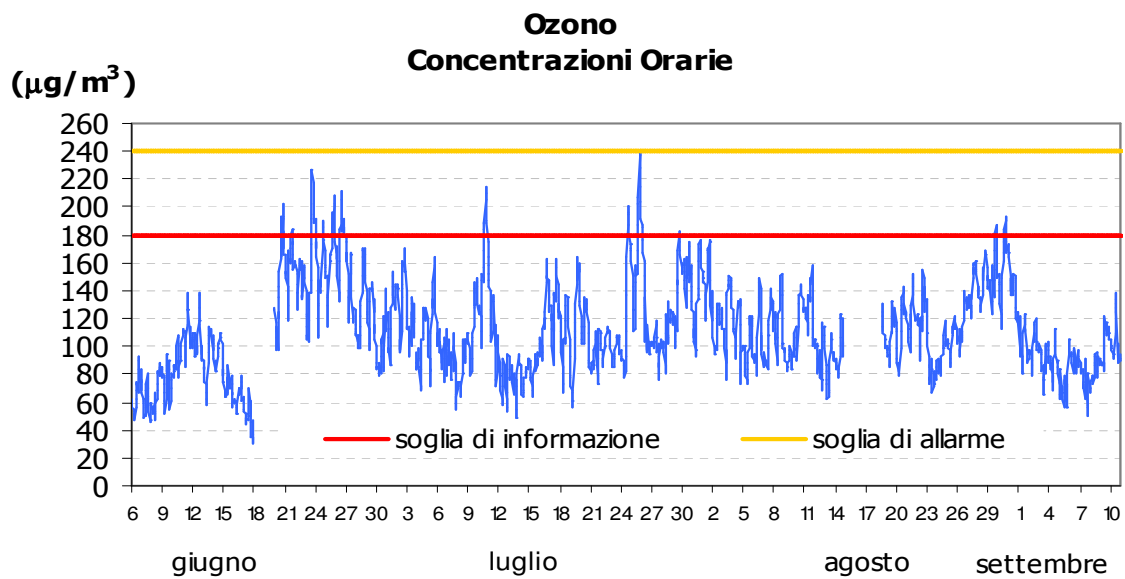
- concentrazioni medie orarie: evoluzione oraria dell'inquinante nel periodo di misura;
- concentrazioni medie 8 h: ogni valore è ottenuto come media tra l'ora h e le 7 ore precedenti l'ora h .
- concentrazioni medie giornaliere: evoluzione giornaliera dell'inquinante ottenuta mediando i valori delle 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.

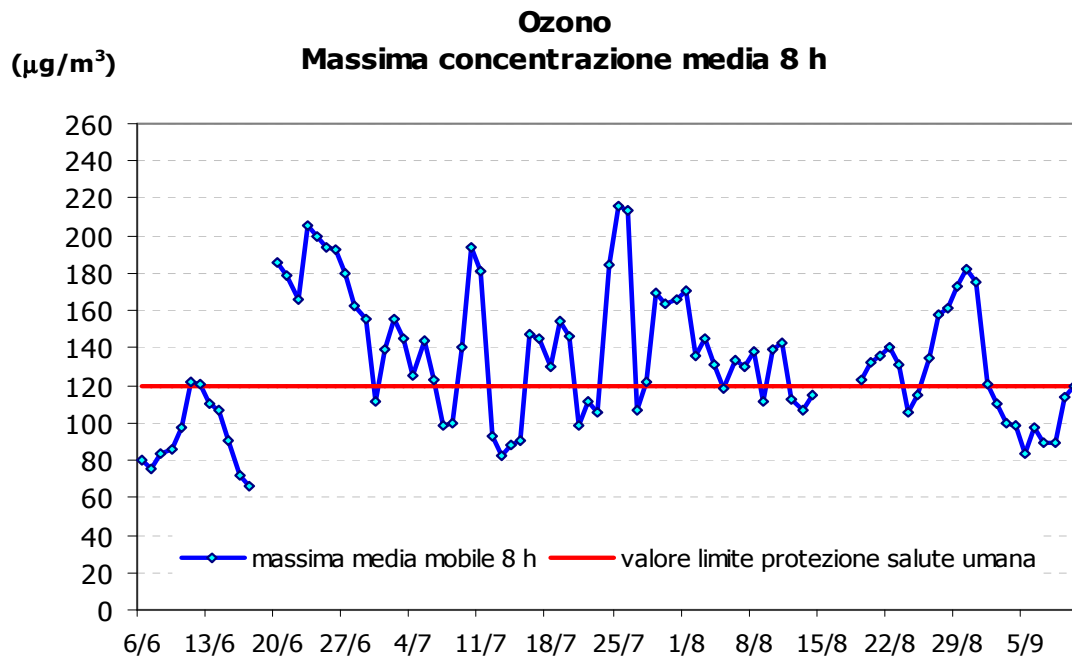
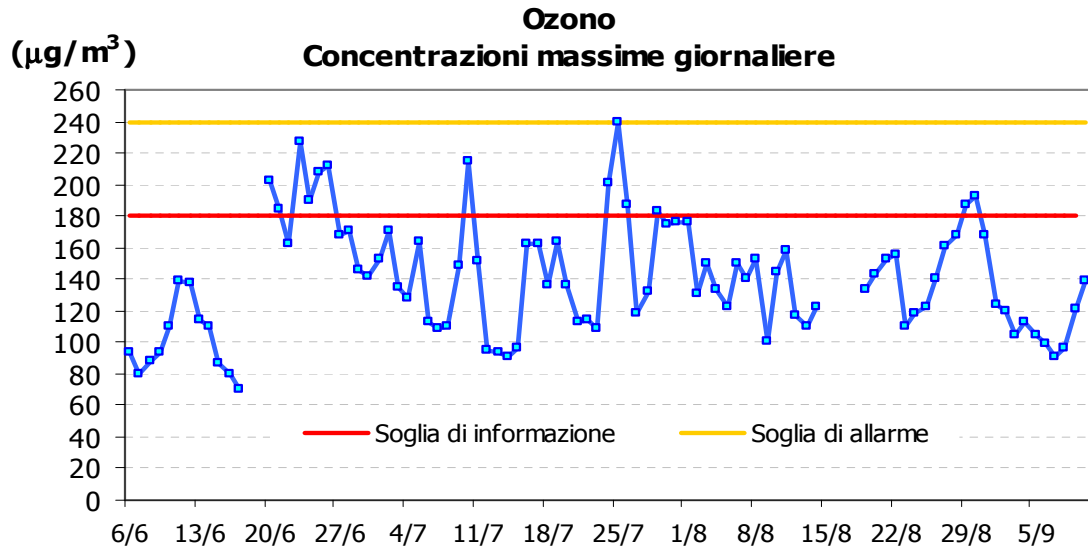
Per "giorno tipo" o "giorno medio" si intende l'andamento delle concentrazioni medie orarie mediato su tutti i giorni feriali (o su tutti i giorni pre-festivi ovvero festivi) del periodo in questione. I giorni feriali, pre-festivi e festivi sono stati considerati separatamente nel calcolo del giorno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

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. Nel corso della campagna svolta proprio durante il periodo estivo, il valore medio è risultato uguale a 111 µg/m³, mentre il valore massimo orario e della media mobile sulle 8 ore sono risultati rispettivamente uguali a 240 µg/m³ e 216 µg/m³. Si sono registrati superamenti del valore della soglia di informazione per ben 13 giorni su 97, e del livello di protezione della salute umana in 65/97 giorni, mentre non è stato mai superato il livello di allarme. Dal grafico del giorno tipo si evidenzia come le concentrazioni di O₃ si mantengano piuttosto elevate durante tutta la giornata, mostrando solo lievemente il classico andamento a campana con il picco tra le 16 e le 17 in concomitanza dei venti provenienti da sud. Infatti i precursori dell'ozono presenti nella massa d'aria proveniente dall'area milanese e dalla Brianza, reagiscono producendo ozono durante il trasporto verso nord dovuto alla presenza di brezze.

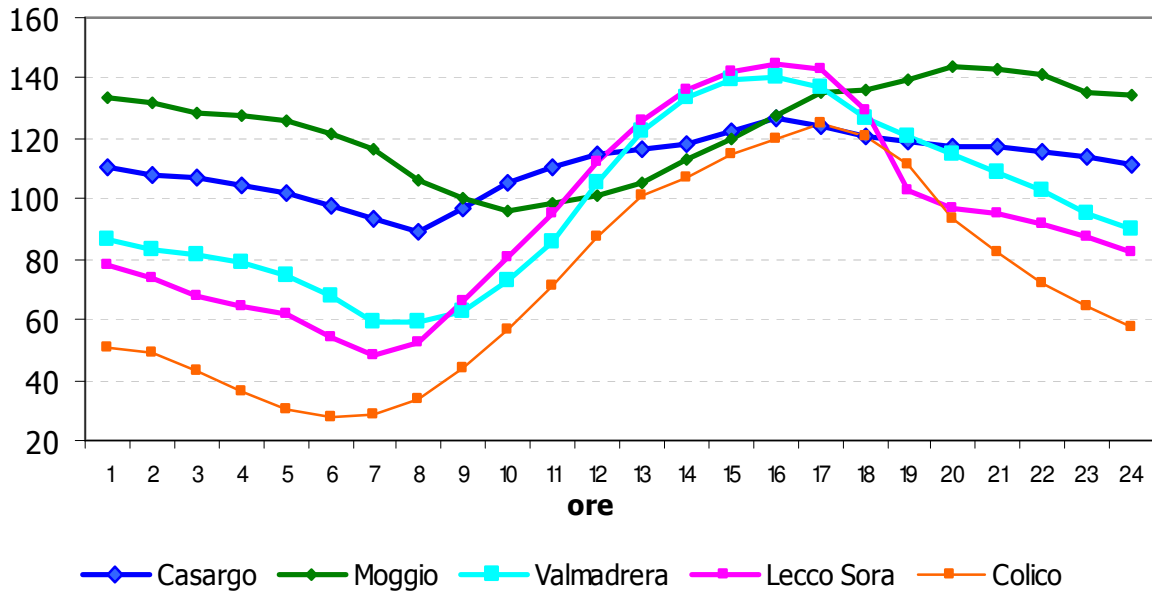
Figura 7. O_3 : Concentrazioni medie orarie, giorno tipo, medie giornaliere e media mobile su 8 ore.



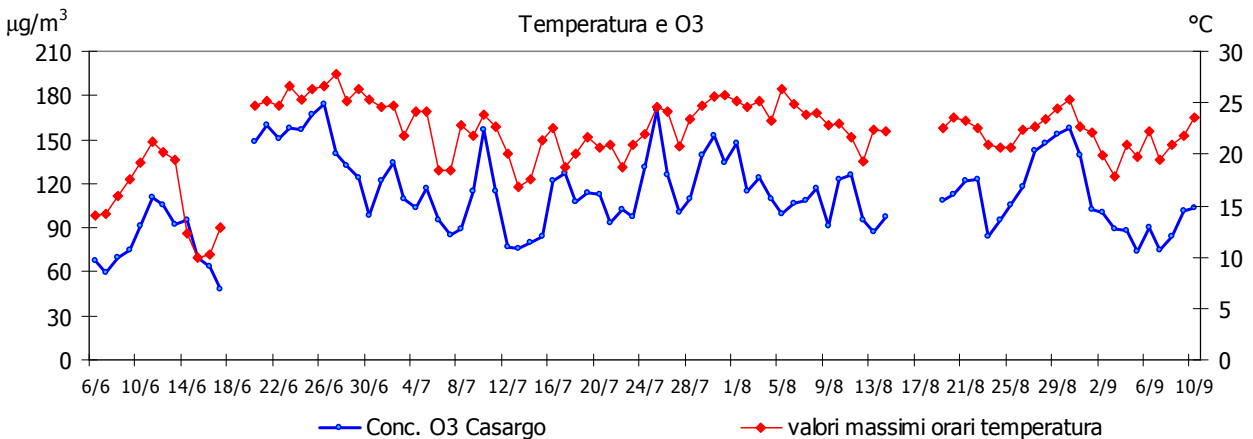


($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

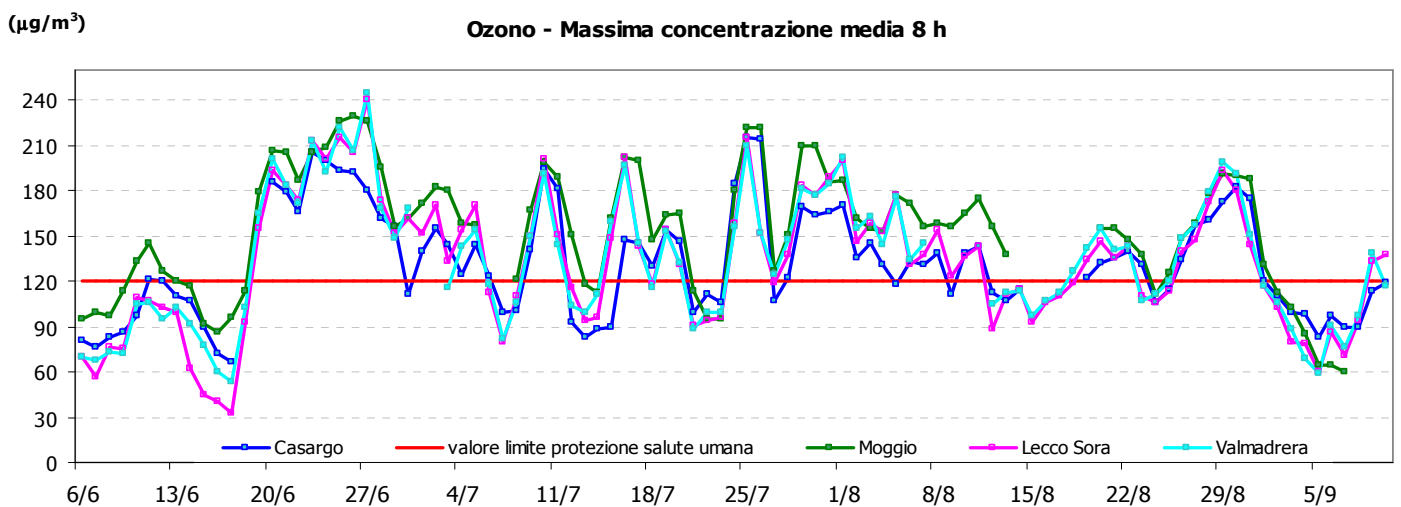
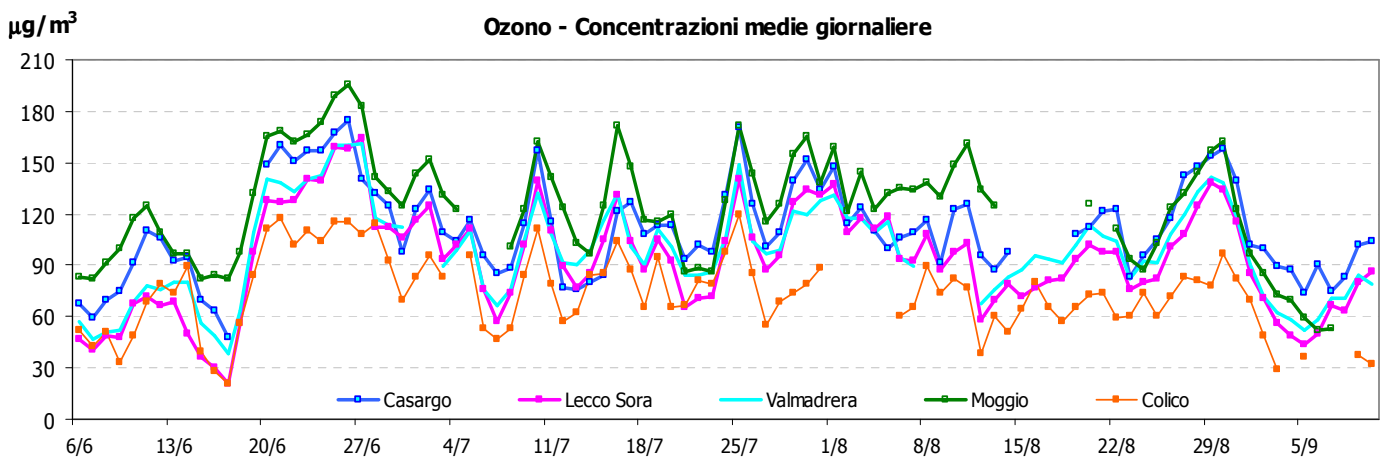
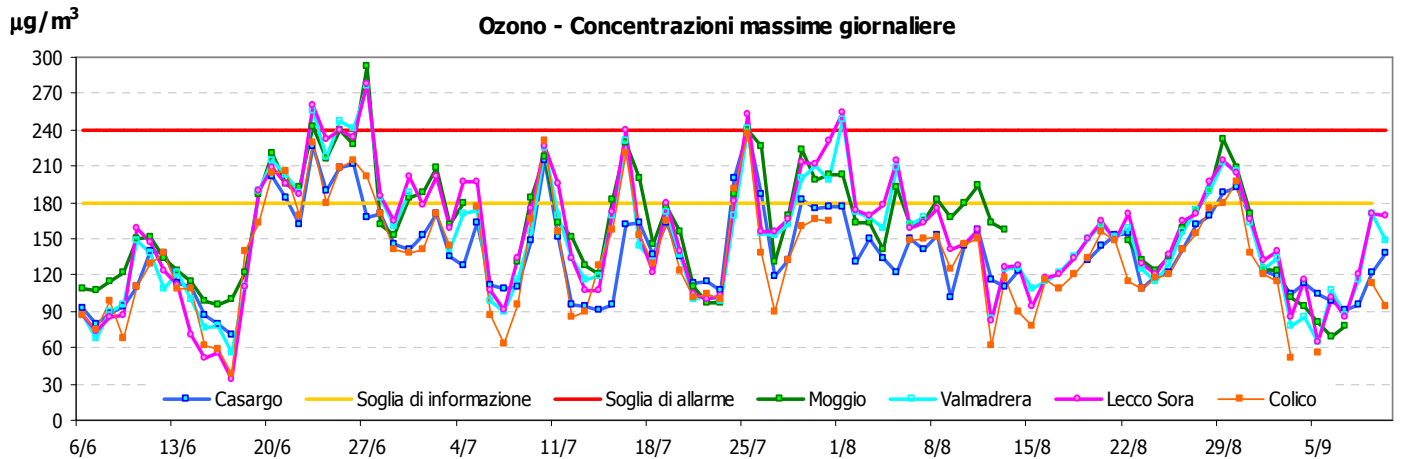
Ozono- Giorno Tipo



Generalmente, il trend giornaliero tipico è "a campana" con un picco poco dopo il periodo di maggior insolazione. Infatti, l'andamento temporale delle concentrazioni di O₃ risulta essere differente da quello degli inquinanti primari in quanto la formazione dell'ozono, che non ha sorgenti emissive dirette di rilievo, è correlata al ciclo diurno solare. Tuttavia, il trend del giorno tipo delle diverse stazioni prese a confronto, mostra come l'andamento dell'inquinante nelle stazioni "montane" si mantenga più costante durante l'intera giornata. Dal grafico seguente, invece, si evidenzia il legame tra innalzamento della temperatura e formazione di O₃ negli strati bassi della troposfera.

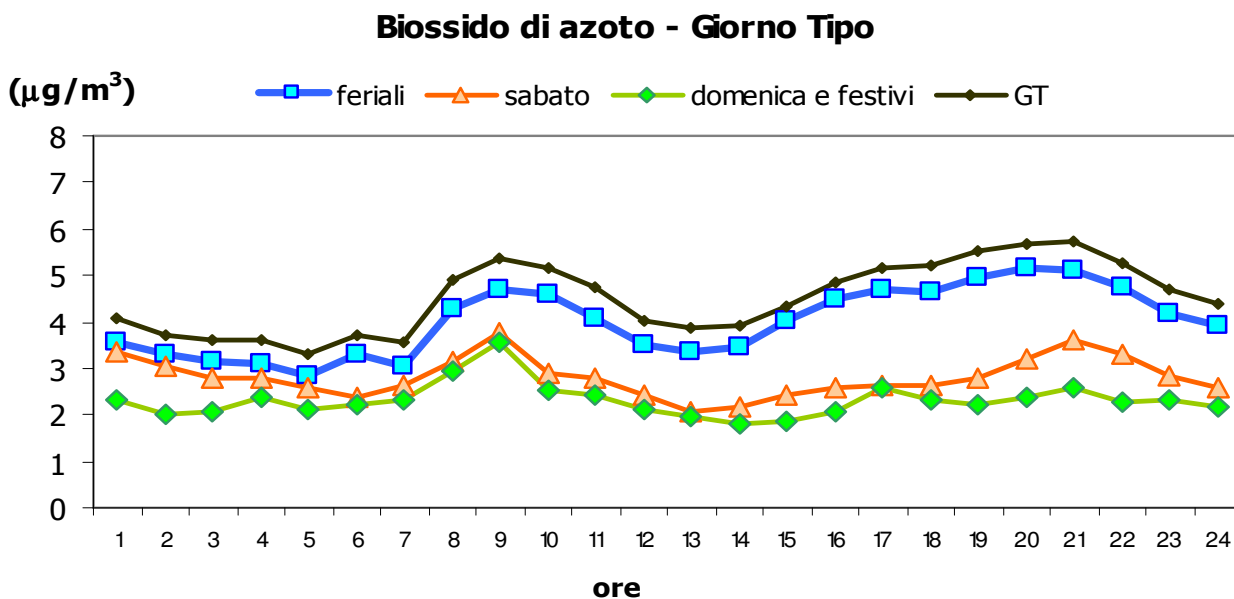


I valori di O₃ rilevati a Casargo sono del tutto confrontabili con i valori di concentrazione rilevati in altre stazioni fisse della rete della qualità dell'aria. In particolare si osserva che, mentre gli andamenti sono pressoché analoghi in tutte le stazioni, i valori di concentrazioni massima giornaliera di Casargo sono molto simili a quelle di Colico mentre, le medie giornaliere si avvicinano a quelle di Moggio e di Valmadrera. Episodi di criticità risono verificati contemporaneamente in più stazioni.



NO₂

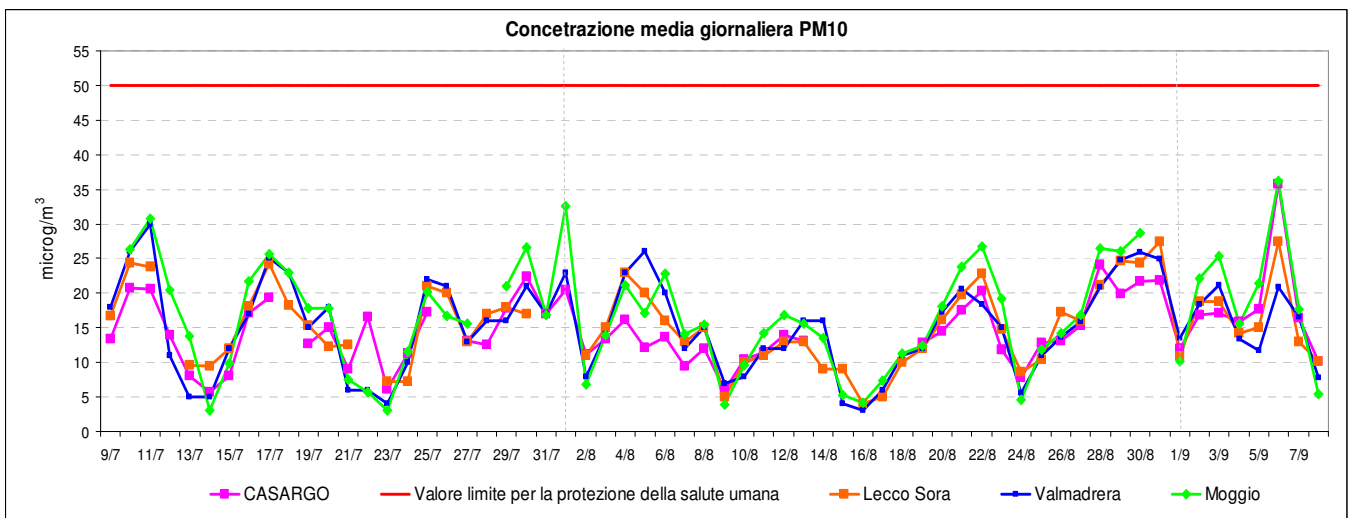
Le concentrazioni di biossido di azoto rilevate durante la campagna sono molto basse. La concentrazione media sul periodo di si è attestata su 5 µg/m³, mentre la concentrazione massima oraria è stata di 17 µg/m³. Durante il periodo del monitoraggio pertanto non è mai stato superato il valore limite normativo di 200 µg/m³. Dall'analisi del giorno tipo si evidenzia come le concentrazioni si mantengano basse durante tutta la giornata, senza picchi orari significativi. Il grafico mostra un lieve aumento delle concentrazioni durante i festivi, dovuto sicuramente all'aumento del trasporto autoveicolare in Valsassina durante i week-end.



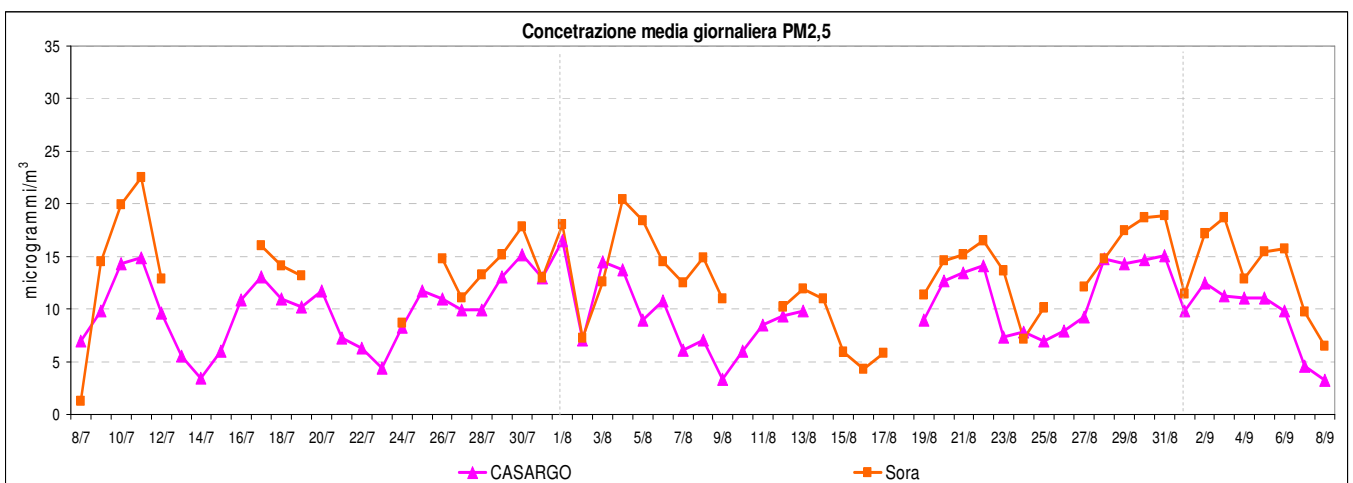
Particolato Fine

La misura del **Particolato fine** è stata effettuata con due campionatori sequenziali e successive pesate gravimetriche, dal 9 luglio all' 8 settembre 2008. Questo tipo di strumento è programmato per fornire dati giornalieri.

Durante i 62 giorni di campionamento non si sono verificati superamenti del limite di protezione della salute umana per il **PM₁₀**, infatti la massima concentrazione giornaliera è stata di 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, verificatasi il 6 settembre. Come evidenzia il grafico seguente, il valore delle concentrazioni a Casargo è confrontabile con quello di Lecco Sora, Valmadrera e Moggio.



Su tutto il periodo di campionamento la media delle concentrazioni è stata di 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il **PM_{2,5}** è costituito dalle polveri sottili aventi diametro aerodinamico inferiore a 2.5 μm . Esso viene rilevato, in quanto costituisce la parte interamente respirabile del PM₁₀.



I dati degli inquinanti rilevati dal laboratorio mobile a Casargo 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 via Sora, Valmadrera, Moggio, Colico) 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 | | |
| Casargo | PUB | RURALE | FONDO | 900 | 6/6 al 10/09/08 |
| Lecco Sora | PUB | SUBURBANA | FONDO | 214 | Stazione Fissa |
| Valmadrera | PRIV | SUBURBANA | MEDIA URBANA | 237 | Stazione Fissa |
| Colico | PUB | SUBURBANA | FONDO | 218 | Stazione Fissa |
| Moggio | PUB | RURALE | FONDO | 1197 | 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 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

Tabelle 5: Livelli di concentrazione degli inquinanti a Casargo, Lecco Sora, Valmadrera, Colico e Moggio

| 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 | Nr. giorni sup. liv.allarme | Periodo |
|----------------------|---------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Casargo | 94 | 111 | 240 | 216 | 13/97 | 0/97 | Dal 6/6 /08 al 10/9/08 |
| Moggio | 89 | 124 | 292 | 230 | 31/97 | 4/97 | |
| Valmadrera | 95 | 98 | 277 | 244 | 22/97 | 6/97 | |
| Lecco Sora | 100 | 93 | 278 | 240 | 27/97 | 5/97 | |
| Colico | 93 | 72 | 236 | 201 | 11/97 | 0/97 | |

| PM₁₀ | % Rend. | Media (µg/m ³) | Max Media 24 h (µg/m ³) | Nr. giorni superamento Liv. prot.salute | Periodo |
|------------------------|---------|----------------------------|-------------------------------------|---|-------------------|
| Casargo | 89 | 15 | 36 | 0 | 9/07/08 - 8/09/08 |
| Lecco Sora | 94 | 15 | 28 | 0 | |
| Valmadrera | 100 | 15 | 30 | 0 | |
| Moggio | 95 | 17 | 36 | 0 | |

Conclusioni

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

- Le misure di **O₃** hanno evidenziato una situazione critica. Vi sono stati ben 13/97 giorni con superamenti del livello di informazione: infatti la soglia di 180 µg/m³ è stata superata per un totale di 74 ore. Diversamente dalle altre stazioni fisse della rete di monitoraggio della qualità prese a confronto, comunque, a Casargo e a Colico non è mai stata superata la soglia d'allarme pari a 240 µg/m³. Il limite della protezione della salute umana (120 µg/m³) è stato superato in 65 giorni per un totale di 991 ore. Questa situazione si è riscontrata anche presso alcune stazioni come Lecco-Via Sora, Valmadrera, Moggio e Colico.
- Le concentrazioni di **PM₁₀** e di **PM_{2,5}** sono risultate basse: grazie ad un buon rimescolamento dell'atmosfera dovuto ai moti convettivi, non vi è stato accumulo di polveri, pertanto non si è osservato alcun superamento.
- Le concentrazioni di **NO₂** sono state estremamente basse, in alcuni casi al limite della rilevabilità.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione del C.F.P.A. per l'insostituibile collaborazione apportata durante la campagna di monitoraggio.