



Monitoraggio Ozono nella provincia di Lecco estate 2007

Monitoraggio Ozono nella provincia di Lecco estate 2007

Gestione e Manutenzione Tecnica della Strumentazione

P.I. Luca Vergani
P.I. Laura Carroccio

Relazione

redatta Dr. De Martini Anna

approvata Responsabile U.O. Territorio e Sistemi Ambientali

Dr. Paola Bossi

Campagna di Misura della Qualità dell' Aria

Introduzione.....	pag. 3
I principali inquinanti.....	pag. 3
Normativa.....	pag. 4
Siti di misura dell'ozono.....	pag. 6
Laboratorio mobile.....	pag. 7
Situazione meteorologica nel periodo di misura.....	pag. 8
Andamento degli inquinanti nel periodo di misura.....	pag. 15
Conclusioni.....	pag. 34

Introduzione

L'ozono è un inquinante secondario particolarmente critico durante il periodo estivo, periodo dell'anno in cui raggiunge concentrazioni molto elevate a causa dell'alta temperatura e intensa radiazione solare. Nell'estate del 2007 oltre alle misure di ozono effettuate nelle stazioni fisse della rete di monitoraggio della qualità dell'aria della provincia di Lecco, si sono eseguiti dei rilevamenti in quota con un laboratorio mobile posizionato sul Monte Cornizzolo. Lo scopo della campagna di monitoraggio è stato il completamento delle informazioni relative le concentrazioni d'ozono nella provincia di Lecco. Il periodo preso in esame in questa relazione va dal 1 maggio 2007 al 31 agosto 2007. Gli inquinanti monitorati sono stati l'ozono e gli ossidi di azoto.

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.

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 sottovoce 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.

Gli **ossidi di azoto (NO e NO_2)** 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/NO_2 decisamente a favore del primo. Si stima che il contenuto di NO_2 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 NO_2 e la sua partecipazione ad altri processi fotochimici, contribuisce alla produzione di O_3 troposferico. Per il biossido di azoto sono invece previsti valori limite, riassunti in tabella 1.

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.R. 203/88 – D.M. 60/02 - D. Lgs. 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). I valori bersaglio definiti nel D.Lgs 183/04 dovranno essere conseguiti a partire dal 2010.

La tabella 1 riassume i limiti previsti dalla normativa per l'ozono e gli ossidi di azoto. Sono inclusi sia i limiti a lungo termine che i livelli di allarme. Inoltre tra parentesi è indicato il margine di tolleranza, concetto introdotto dal D.Lgs. 351/99, che si riduce progressivamente, e che fissa nel transitorio il percorso per un graduale raggiungimento del valore limite.

Tabella 1: Limiti di legge

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
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₍₊₃₀₎	1 ora	D.M. n.60 del 2/4/02
Valore limite protezione salute umana	40₍₊₆₎	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

Siti di misura dell'ozono

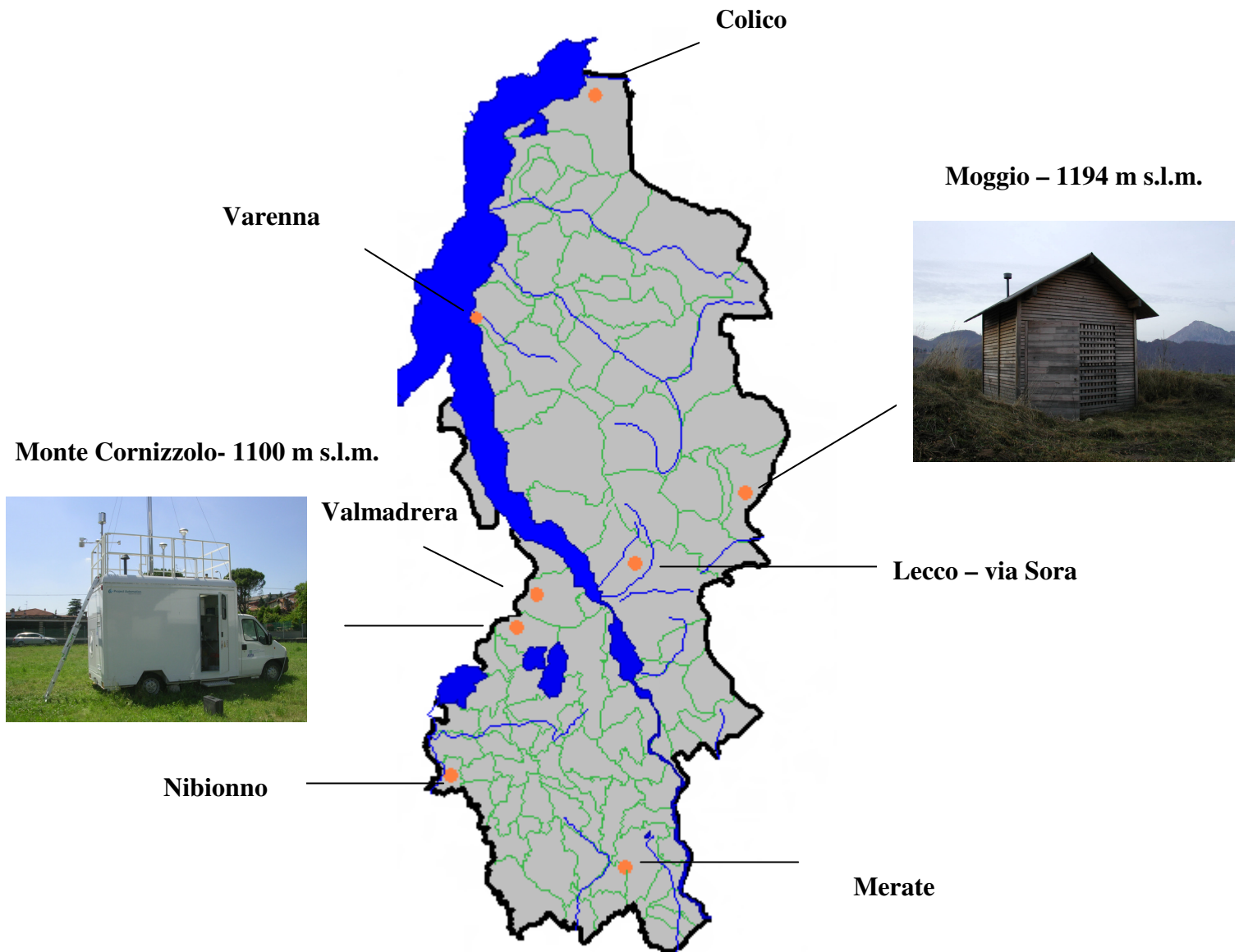
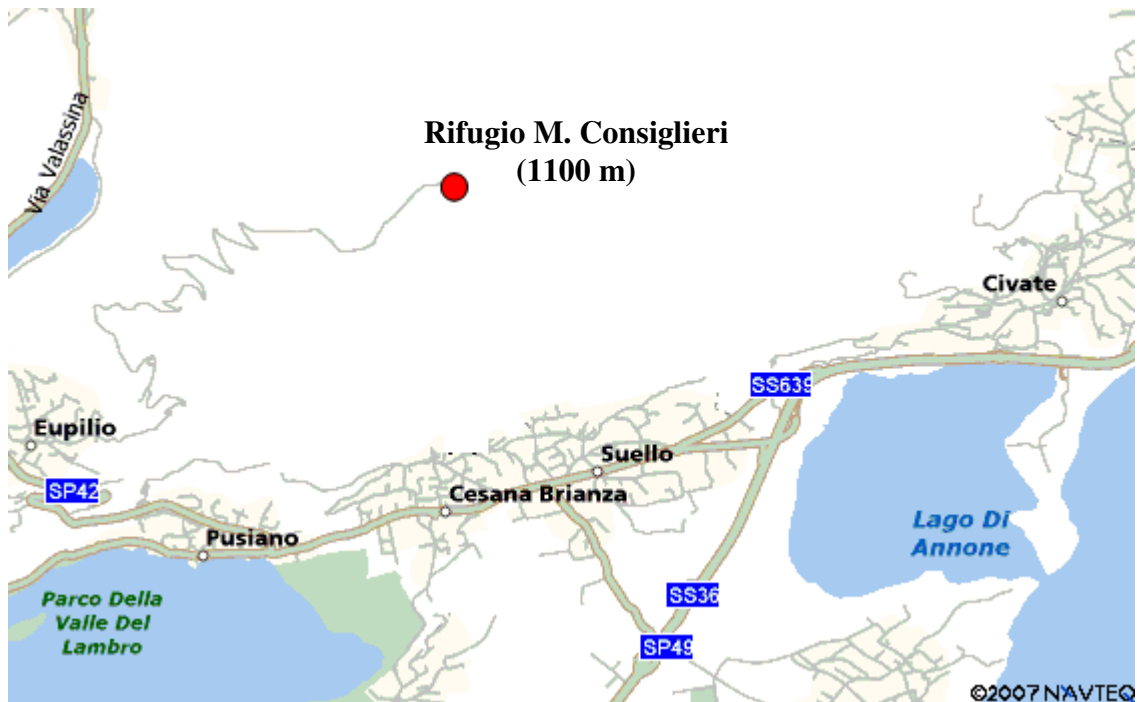


Figura 1: Siti di misura dell'ozono nell'estate del 2007.

Periodo di Misura: 01/05/2007 - 31/08/2007

Sito di misura: Provincia di Lecco

I siti di misura dell'ozono descritti includono stazioni della rete di qualità dell'aria (Colico, Varenna, Lecco-via Sora, Valmadrera, Nibionno, Merate, Moggio) ed un sito temporaneo sul versante sud del Monte Cornizzolo, posizionato in una piccola area di sosta vicino al Rifugio M. Consiglieri (1100 m di altitudine) (figura 2). La stazione di rilevamento di Moggio, di recente installazione, è una stazione per la misura dell'ozono in aree montane.



● Laboratorio Mobile

Figura 2: Posizionamento del mezzo mobile sul Monte Cornizzolo presso il rifugio Consiglieri.

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 e O_3 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.

Oltre alle misure di ozono, sono state effettuate rilevamenti di NO_x .

Situazione meteorologica nel periodo di misura

I livelli di concentrazione degli inquinanti atmosferici in un sito dipendono 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.

In particolare per l'ozono, inquinante secondario fotochimico, i livelli di concentrazione dipendono fortemente dalla temperatura e dalla radiazione solare. È pertanto importante che i livelli di concentrazione osservati, siano valutati alla luce delle condizioni meteorologiche verificatesi nel medesimo periodo di monitoraggio.

Le condizioni meteorologiche nel periodo dal 1 maggio al 31 agosto 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. Non si sono presentate situazioni eccezionali per la temperatura, che si è mantenuta nella media stagionale per quasi tutto il periodo. Solo nel mese di luglio per alcuni giorni le massime sono state più elevate che quelle della norma decadale. Per quanto riguarda le piogge, i mesi di maggio, giugno e agosto sono stati particolarmente piovosi.

In particolare:

Maggio. La prima settimana (30 aprile-6 maggio) è stata caratterizzata da tempo perturbato, dovuta ad un'area depressionaria centrata sull'Europa centro occidentale, che ha portato precipitazioni diffuse e superiori alle medie decapali. Le temperature massime sono gradualmente diminuite nel corso della settimana sia a causa dell'aumentare della copertura nuvolosa sia a causa dell'afflusso di aria più fresca in quota nei primi giorni della settimana. Complessivamente la settimana ha avuto una temperatura massima media pari o lievemente inferiore alla media decadale. Nella seconda settimana (7-13 maggio) si sono alternate giornate prevalentemente soleggiate e asciutte con passaggi di nubi a media alta quota, a giornate variabili, dovute ad impulsi di aria più fredda, che hanno dato luogo, in particolare sui settori alpini e prealpini, a nuvolosità a tratti più estesa, che nelle giornate di venerdì e domenica hanno determinato alcuni deboli isolati rovesci. La settimana è risultata prevalentemente più calda rispetto a quella passata: la temperatura massima media pari o lievemente inferiore alla media decadale, mentre le temperature minime sono risultate lievemente sopra la norma decadale. Nella terza settimana (14-20 maggio) il tempo è stato variabile: nei primi giorni l'instabilità ha portato in alcuni casi precipitazioni sulle Prealpi e fascia pedemontana, poi si è instaurata l'alta pressione con tempo stabile e soleggiato ovunque. Le temperature sono state in progressivo aumento con massime sopra la media del periodo. Nella quarta settimana (21-27 maggio) il tempo è stato prevalentemente soleggiato con temperature al di sopra della norma fino a giovedì, poi la nuvolosità variabile ha determinato rovesci o temporali sparsi su tutta la regione, localmente anche di forte intensità, e temperature in lieve calo ma ancora sopra la media.

Giugno. La prima settimana (28 maggio-3 giugno) è risultata nell'insieme perturbata: due perturbazioni atlantiche sono transitate sul Nord Italia interessando la Lombardia con precipitazioni diffuse e insistenti per gran parte delle giornate. Le temperature della settimana sono risultate mediamente al di sotto della norma stagionale, in particolare per quanto riguarda i valori massimi. Anche la seconda settimana (4-10 giugno) nel complesso è stata perturbata ed instabile: tutti i giorni si sono registrate precipitazioni anche a carattere di rovescio e temporale. I settori più colpiti sono state le Prealpi. Le temperature sono state nella media del periodo o di poco superiori nei valori massimi. Nella terza settimana (11-17 giugno) si sono riscontrati due periodi distinti dal punto di vista sinottico: il primo, da lunedì a giovedì, caratterizzato da una vasta area di alta pressione a tutte le quote, il secondo, da venerdì sino a domenica caratterizzato invece dalla presenza di correnti sudoccidentali in quota legate ad una depressione tra la Francia e l'Inghilterra

e culminato con il passaggio di un fronte freddo che ha causato precipitazioni diffuse ed intense soprattutto nella giornata di venerdì. Le temperature sia massime che minime sono state lievemente al di sopra (circa 1.5 gradi) della norma della decade in esame. La quarta settimana (18-24 giugno) è stata contraddistinta da un flusso di correnti sudoccidentali umide, associato ad un'area anticiclonica estesa sulla nostra penisola. Giornate stabili e soleggiate, si sono alternate a giornate più instabili, specie sui settori alpini e prealpini. In particolare nelle giornate di giovedì e venerdì si sono avuti fenomeni temporaleschi intensi sulle aree prealpine. La settimana è stata contrassegnata mediamente da temperature di qualche grado al di sopra della norma decadale. Nella quinta settimana (25 giugno-1 luglio) correnti occidentali in quota, legate alla presenza di centri di bassa pressione sul Nord Atlantico e sull'Europa settentrionale e di un campo livellato di pressione relativamente alta che si è mantenuto a latitudini meridionali rispetto alla nostra regione, hanno comportato frequenti addensamenti nuvolosi e rovesci temporaleschi sulle aree alpine e prealpine. La temperatura si è mantenuta nella norma del periodo.

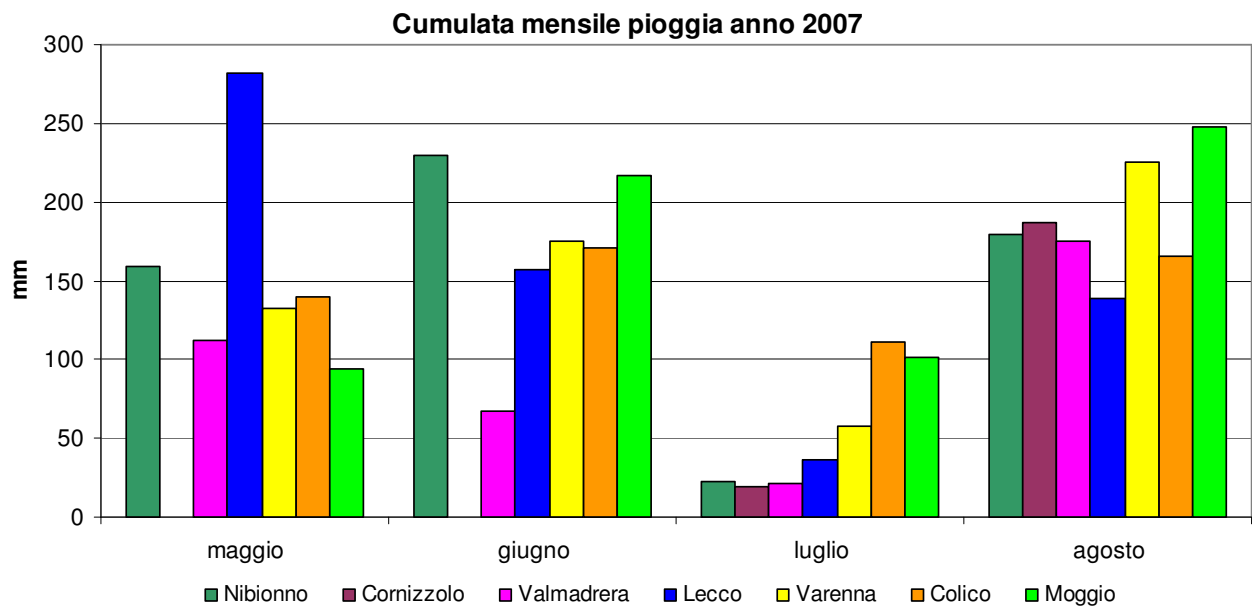
Luglio. La prima settimana (2-8 luglio) si è aperta con il transito di una perturbazione atlantica sulla nostra regione, con rovesci e temporali diffusi, poi si sono instaurate condizioni stabili e soleggiate fino alla prima parte di domenica. La settimana è stata caratterizzata da temperature prevalentemente nella norma della decade. Per quanto riguarda le temperature massime si è assistito ad un progressivo aumento dei valori nel corso della settimana. La seconda settimana (9-15 luglio) è iniziata con tempo perturbato, e pertanto precipitazioni soprattutto sulle Prealpi, e solo verso il fine settimana l'instaurarsi di un anticiclone ha portato tempo sereno e soleggiato. Nei primi 3 giorni della settimana le temperature si sono mantenute nella media decadale del periodo, solo nella giornata di mercoledì le minime sono state di qualche grado al di sotto della media. Poi nella seconda parte della settimana un'ondata di caldo ha interessato la regione e le temperature sono andate aumentando progressivamente con valori sopra la media del periodo. La terza settimana (16-22 luglio) è stata contrassegnata da alta pressione, pertanto di assenza di precipitazioni ed un progressivo aumento delle temperature sia massime che minime, al di sopra della norma climatologica del periodo. La quarta settimana (23-29 luglio) è stata contraddistinta dalla presenza di correnti occidentali in quota con tempo prevalentemente stabile e con scarsità di nubi e precipitazioni. Unica eccezione, il transito di una veloce depressione a nord delle Alpi che ha marginalmente interessato la regione martedì determinando temporali sparsi. Le temperature sono state sempre sopra la norma del periodo.

Agosto. La prima settimana (30 luglio-5 agosto) è stata caratterizzata da una discreta ventilazione e da temperature inferiori alla settimana precedente, grazie al passaggio di due perturbazioni che non hanno però fatto registrare precipitazioni molto rilevanti. Da venerdì e fino a domenica l'espansione di un promontorio anticiclonico ha determinato tempo soleggiato e stabile ovunque. La seconda settimana (6-12 agosto) è stata generalmente perturbata e contraddistinta da precipitazioni sparse, per il transito di una perturbazione atlantica. Da venerdì ritorno a condizioni prevalentemente soleggiate. Le temperature hanno subito un marcato calo soprattutto nella giornate di mercoledì e giovedì, al di sotto della norma della decade. La terza settimana (13-19 agosto) è stata caratterizzata da tempo prevalentemente instabile che ha portato aria più fresca in quota e rovesci e temporali su Alpi e Prealpi, più diffusi martedì e tra giovedì e venerdì. Le temperature rilevate sono nella norma del periodo. La quarta settimana (20-26 agosto) è stata caratterizzata dalla presenza di bassa pressione, nuvolosità spesso compatta e persistente, precipitazioni abbondanti, nevicate sopra i 2500 metri e sensibile calo delle temperature. Solamente nel fine settimana, a partire da sabato, si è avuto un ritorno a tempo stabile e soleggiato, con repentino rialzo delle temperature. La quinta settimana (27-31 agosto), iniziata con tempo prevalentemente soleggiato, è stata caratterizzata da una perturbazione di passaggio che ha portato precipitazioni anche intense. Le temperature, sia minime che massime, sono state nella norma dell'ultima decade di agosto.

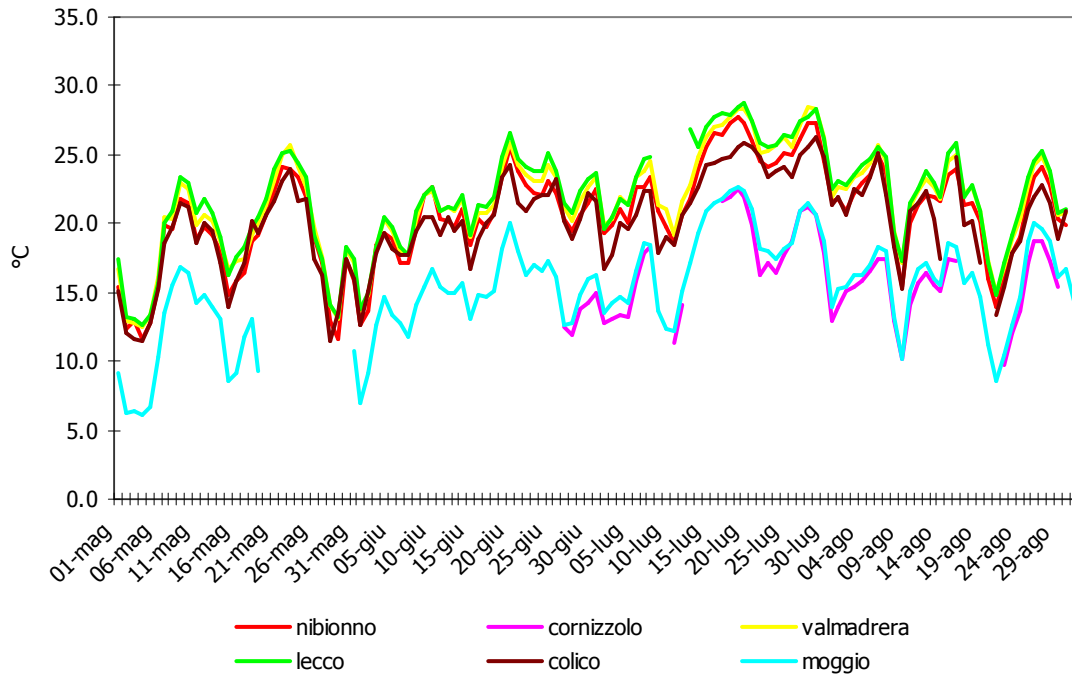
Si riportano gli andamenti relativi ai principali parametri meteorologici rilevati nel periodo di misura nella provincia di Lecco

- Precipitazione (cumulata mensile in mm)
- Temperatura (media giornaliera in C°)
- Radiazione solare globale media (W/m²)
- Umidità Relativa – media giornaliera (%)
- Velocità Vento –media giornaliera (m/s)
- Direzione del vento prevalente

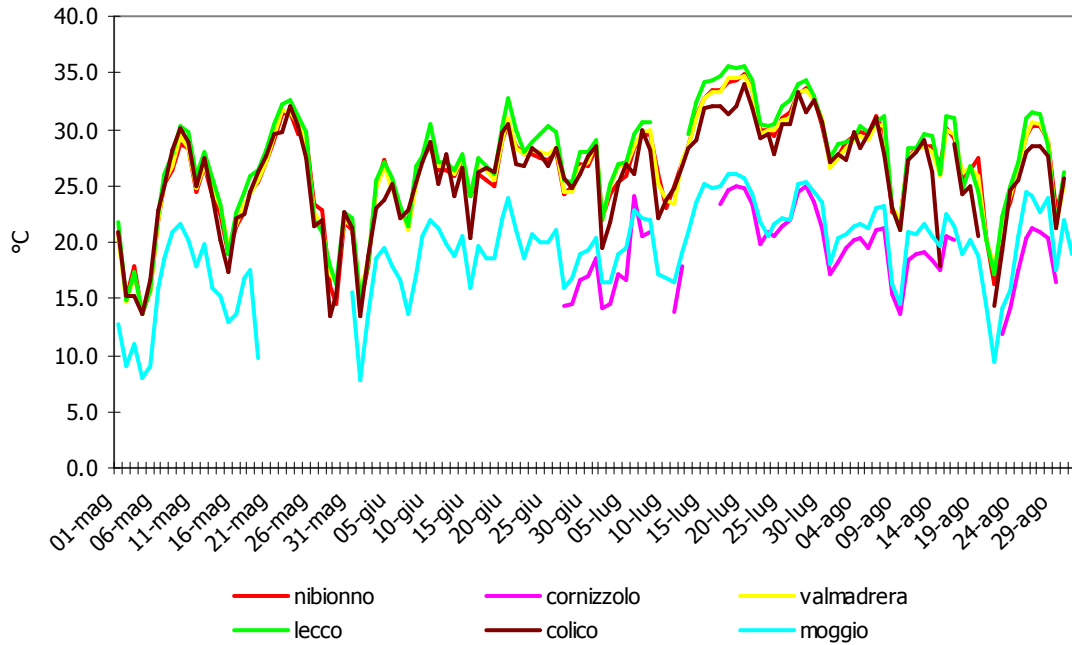
Figura 3: Andamenti dei principali parametri meteorologici durante l'estate 2007



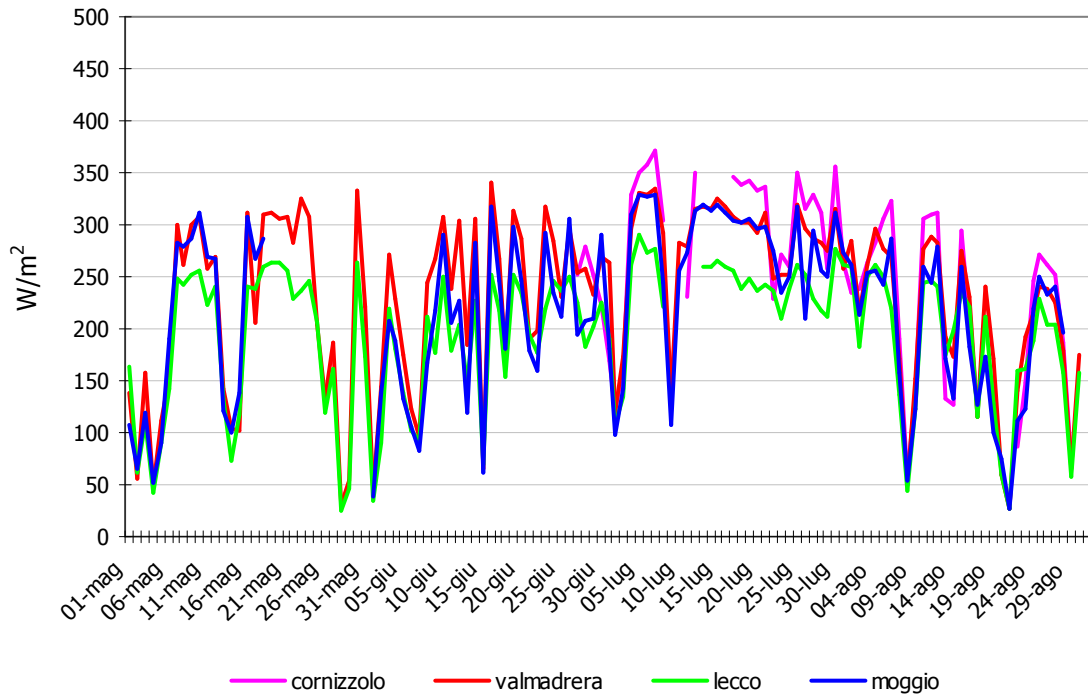
Temperatura media giornaliera



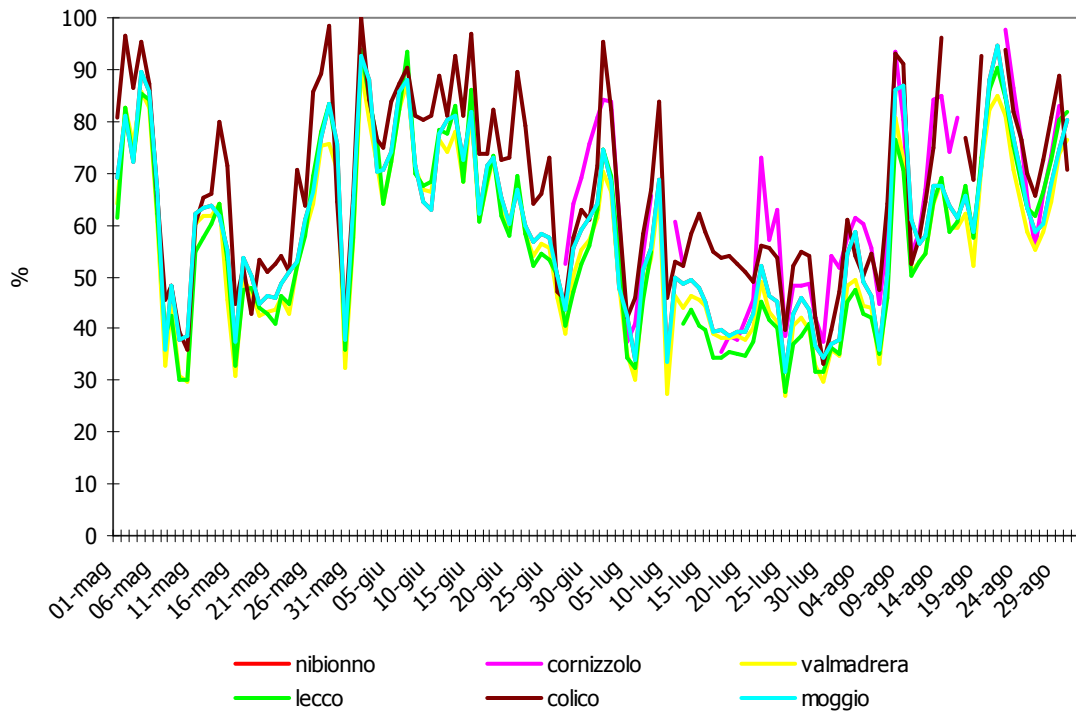
Temperatura massima giornaliera



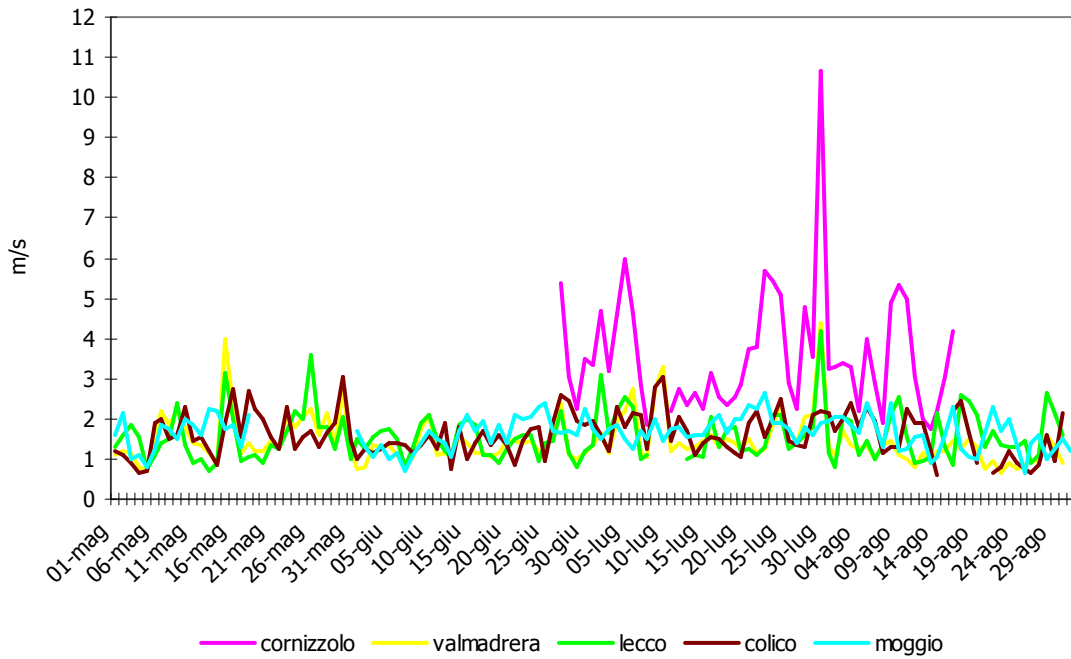
Radiazione solare media giornaliera



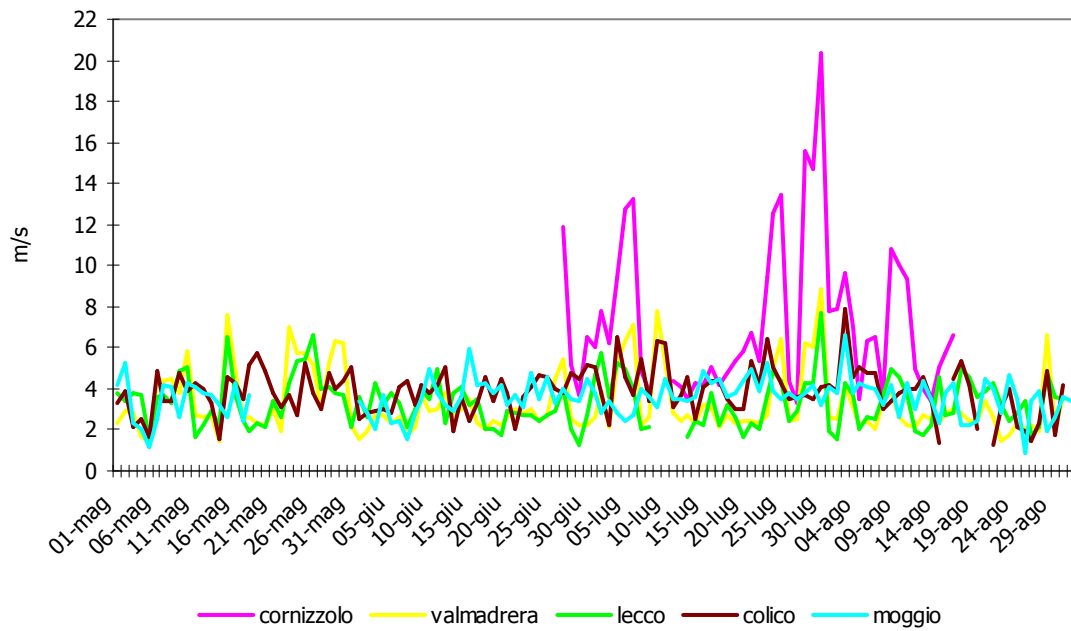
Umidità relativa media giornaliera



Velocità del vento media giornaliera

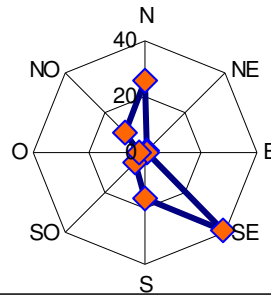


Velocità del vento massima oraria giornaliera

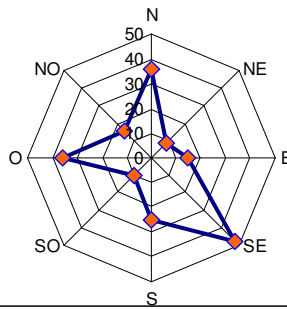


Rose dei venti

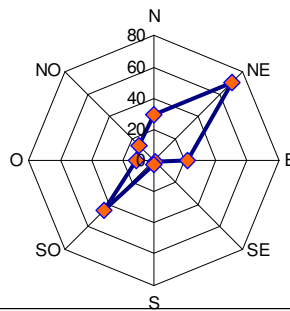
Cornizzolo:
dal 27 giugno al 29 agosto 2007



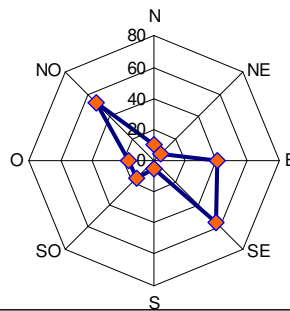
Valmadrera:
dal 1 maggio al 31 agosto 2007



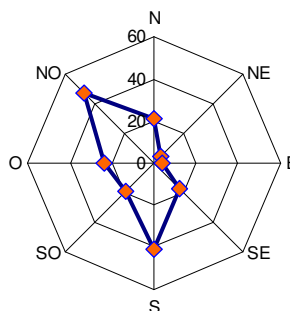
Lecco:
dal 1 maggio al 31 agosto 2007



Colico:
dal 1 maggio al 31 agosto 2007



Moggio:
dal 1 maggio al 31 agosto 2007



Andamento degli inquinanti nel periodo di misura

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

- concentrazioni medie giornaliere: evoluzione giornaliera dell'inquinante ottenuta mediando i valori delle concentrazioni dalle ore 1.00 alle ore 24.00 dello stesso giorno;
- concentrazioni massime 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 .
- 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 del periodo in questione.

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.

L'ozono è stato misurato dal laboratorio mobile posto sul Monte Cornizzolo ed in sette stazioni di rilevamento della qualità dell'aria dislocate sul tutto il territorio della provincia di Lecco (Lecco-via Sora, Varenna, Colico, Nibionno, Valmadrera, Merate e Moggio), di cui sei lungo l'asse nord-sud. La stazione di Moggio ed il laboratorio mobile sono rappresentativi delle aree montane, mentre Lecco, Varenna e Colico della zona lacuale.

L'estate 2007 non è stata particolarmente critica come quelle precedenti, per esempio quella del 2003. D'altra parte le medie giornaliere di ozono sono risultate elevate (figure 4), specialmente a luglio e agosto, mesi risultati più critici, in corrispondenza di condizioni meteorologiche di stabilità con temperature relativamente alte che hanno favorito la formazione di questo inquinante. Vi sono giorni la cui media giornaliera è superiore a 180 µg/m³.

Numerosi sono stati i superamenti della soglia di informazione e di allarme (figure 5), soprattutto in questi due mesi. Si possono individuare diversi episodi acuti a partire dal 20 maggio (figura 7), ma i più significativi sono stati quelli del 13-20 luglio e 26-29 luglio sia per durata che intensità. Le concentrazioni di ozono in questi due periodi hanno raggiunto i 300 µg/m³, ben oltre la soglia di allarme pari a 240 µg/m³.

Le figure 6 mostrano l'andamento delle massime concentrazioni sulle 8 h per ogni giorno: i superamenti del valore bersaglio pari a 120 µg/m³ nella sola estate 2007 sono stati 28 a Nibionno, 51 sul Monte Cornizzolo, 65 a Valmadrera, 43 a Lecco via Sora, 71 a Varenna, 58 a Colico, 73 a Moggio e 31 a Merate. Il D.lgs. n. 183 21/5/04 indica come parametro da considerare per la valutazione della qualità dell'aria a lungo termine per la protezione della salute umana, relativamente all'ozono (da soddisfare entro il 2010), il numero di giorni di superamento del valore bersaglio che non devono essere superiori a 25 per anno civile come media su 3 anni. La tabella 2 riporta per le stazioni di Colico, Varenna, Nibionno e Merate il numero di superamenti per il triennio 2005- 2007, che risulta essere di molto superiore a tale limite, fatta eccezione per la stazione di Merate, dove il contributo del traffico permette l'abbattimento dell'ozono. La tabella 3 mostra i valori di AOT40, cioè la somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ e 80 µg/m³ misurati da maggio a luglio, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le 8:00 e le 20:00. Tale parametro è un indicatore per la protezione della vegetazione a lungo termine. Entro il 2010, il valore di AOT40 non dovrebbe superare i 18,000 µg/m³ • h come media sui 5 anni. Nel

territorio lecchese solo nelle stazione di Merate i valori sono al di sotto di tale limite, negli altri siti sono talvolta tre volte tanto.

Le figure 8 mostrano l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere e sulle 8 h nelle stazioni "lariane". Si può osservare che il trend delle massime orarie e delle medie sulle 8 h sono quasi sovrapponibili, mentre per quanto riguarda le medie giornaliere, risultano più alte quelle del Monte Cornizzolo. Infatti come si evince dalla figura 12, che rappresenta i vari giorno tipo dell'ozono, le concentrazioni rilevate in questo sito risultano essere mediamente più elevate in tutte le ore del giorno rispetto a quelle misurate nelle altre stazioni: solo nelle ore più calde le concentrazioni si sovrappongono.

Le figure 9 confrontano gli andamenti delle concentrazioni nelle due aree montane, situate ad una medesima quota (Moggio a 1194 m s.l.m. e Monte Cornizzolo a 1100 m s.l.m.): quelle rilevate dal laboratorio mobile sono mediamente più alte rispetto a quelle di Moggio. D'altra parte le concentrazioni massime orarie e le massime concentrazioni sulle 8 h sono pressoché sovrapponibili.

Nelle stazioni di monitoraggio poste lungo l'asse sud-nord del lago di Como, si riscontrano valori simili a Lecco e Varenna sia in termini di media giornaliera, di valore massimo orario, che di massima media sulle 8 h, mentre a Colico le concentrazioni di ozono risultano essere più basse (figure 10). Questo è dovuto principalmente ad un diverso campo anemologico presente a Colico rispetto agli altri due siti, che risente oltre che alla presenza del lago e quindi dei venti provenienti da sud, anche quelli provenienti dalla Valtellina e dalla Val Chiavenna.

Sono state confrontate inoltre le concentrazioni misurate a Valmadrera e sul Monte Cornizzolo, siti vicini ma posti a quote diverse (figure 11). L'ozono misurato sul Monte Cornizzolo risulta essere più elevato anche se i valori della massima oraria e massima media mobile sulle 8 ore risultano confrontabili. Le differenze che si osservano, per esempio, nell'andamento delle medie giornaliere, è dovuto a concentrazioni più elevate sul Cornizzolo nel periodo notturno, come emerge dal giorno tipo di figura 12.

Dal confronto dei giorni tipo di figura 12 si può osservare un diverso trend giornaliero nella stazione del Monte Cornizzolo, dove l'andamento non è quello tipicamente "a campana", ma si registra un massimo poco dopo il periodo di maggior insolazione.

NO₂

Durante l'intero periodo di misura i valori di biossido di azoto si sono mantenuti bassi, le medie delle concentrazioni si sono attestate da un massimo di 42 µg/m³ a Merate, stazione tipicamente da traffico, a un minimo di 4 µg/m³ sul Monte Cornizzolo, sito di fondo. La concentrazione massima oraria pari a 151 µg/m³ è stata misurata a Nibionno. Durante il periodo del monitoraggio pertanto non è mai stato superato il valore limite normativo di 200 µg/m³. Le figure 13 e 14 mostrano l'andamento temporale delle medie giornaliere e delle massime orarie giornaliere.

Confrontando i giorni tipo del biossido di azoto (figura 15), si osserva che l'andamento nelle stazioni di monitoraggio di Merate e Nibionno rispecchia il tipico trend del traffico con un aumento delle concentrazioni al mattino e alla sera (andamento bimodale). Le restanti stazioni di rilevamento considerate sono di fondo urbano, suburbano o rurale (tabella 3), situate quindi in siti dove le emissioni da traffico sono molto basse o inesistenti; pertanto le concentrazioni sono meno variabili durante il giorno.

Le figure 16 mostrano il confronto dei giorni tipo del biossido di azoto e dell'ozono in tre diverse località: Nibionno, Valmadrera e Monte Cornizzolo. A Nibionno, il trend medio dell'NO₂ presenta un picco al mattino dovuto all'intenso traffico stradale, in corrispondenza di un abbassamento delle concentrazioni di ozono. Infatti, le emissioni degli autoveicoli emettono elevate concentrazioni di monossido di azoto che reagendo con l'ozono, che pertanto diminuisce, producono biossido di azoto. La medesima situazione si può osservare anche a Valmadrera, dove però le concentrazioni di NO sono basse e quindi il NO₂ prodotto è minimo, pertanto il picco è limitato. Sul Monte Cornizzolo il valore di NO₂ è quello di fondo, non si rileva alcun trend particolare.

Figure 4: Concentrazioni medie giornaliere di O₃ misurate in tutti i punti di rilevamento in provincia di Lecco nel periodo maggio-agosto 2007

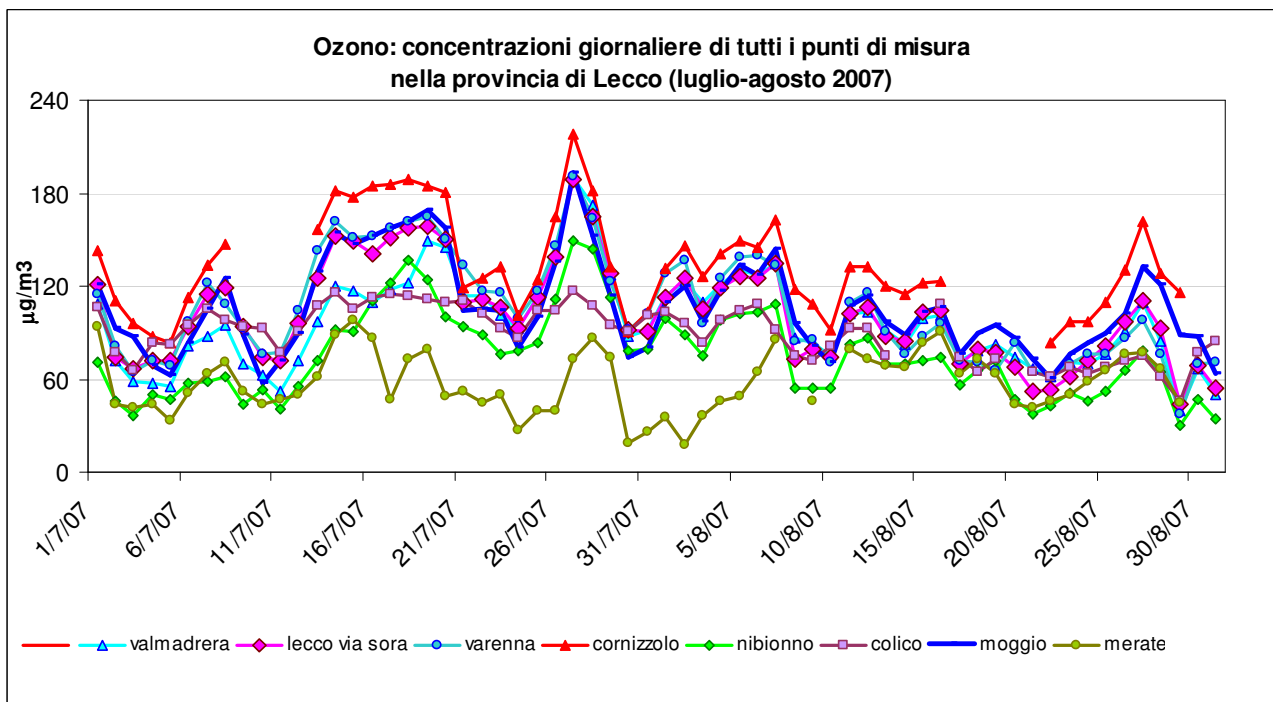
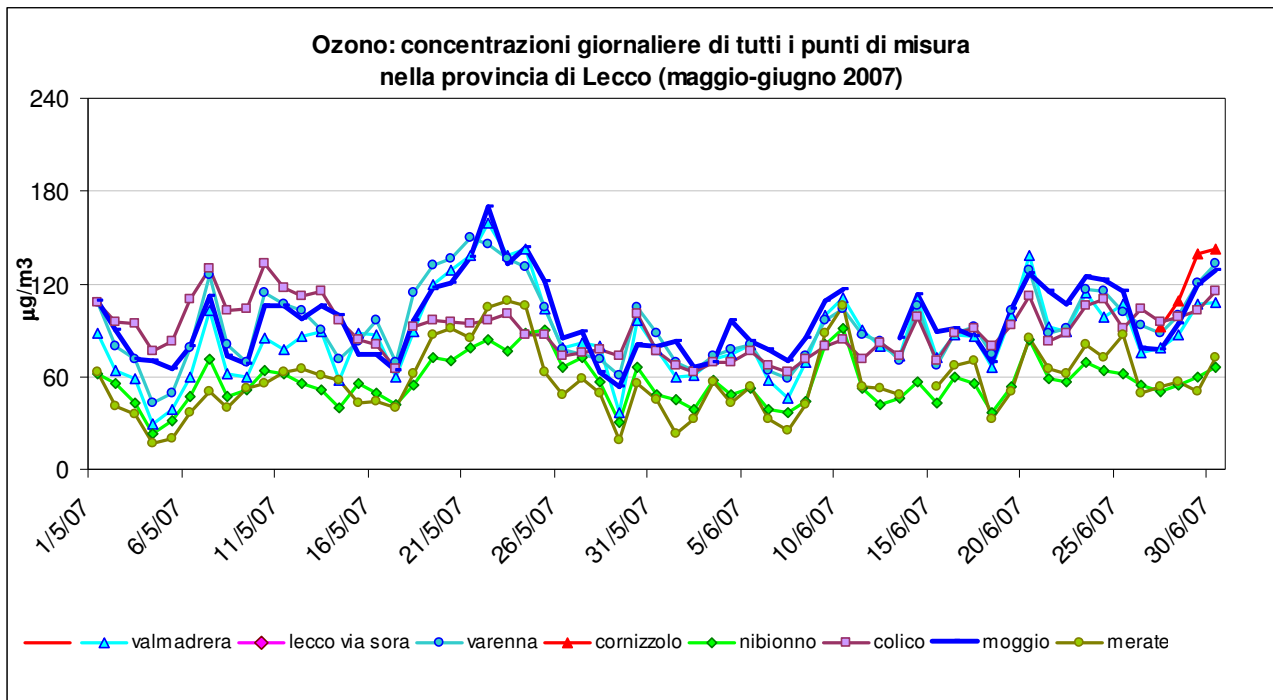


Figure 5: Massime concentrazioni orarie di O₃ misurate in tutti i punti di rilevamento in provincia di Lecco nel periodo maggio-agosto 2007

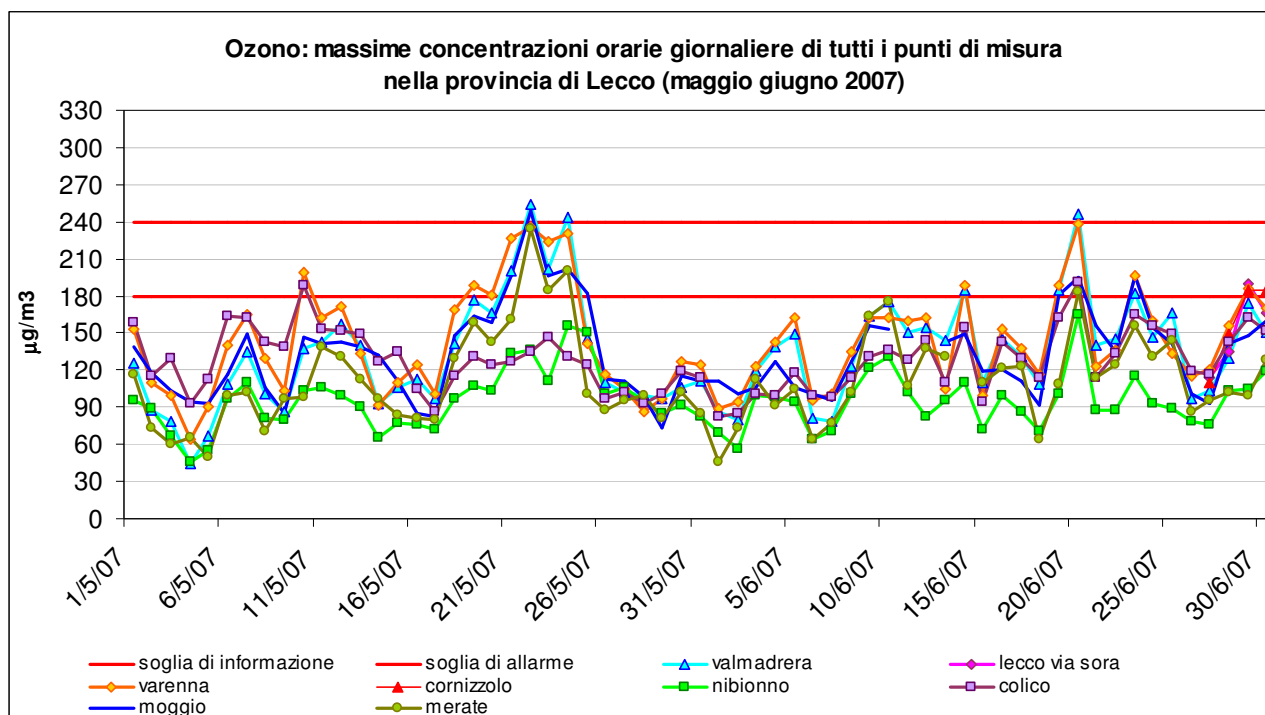


Figure 6: Massime concentrazioni giornaliere sulle 8 h di O₃ misurate in tutti i punti di rilevamento in provincia di Lecco nel periodo maggio-agosto 2007

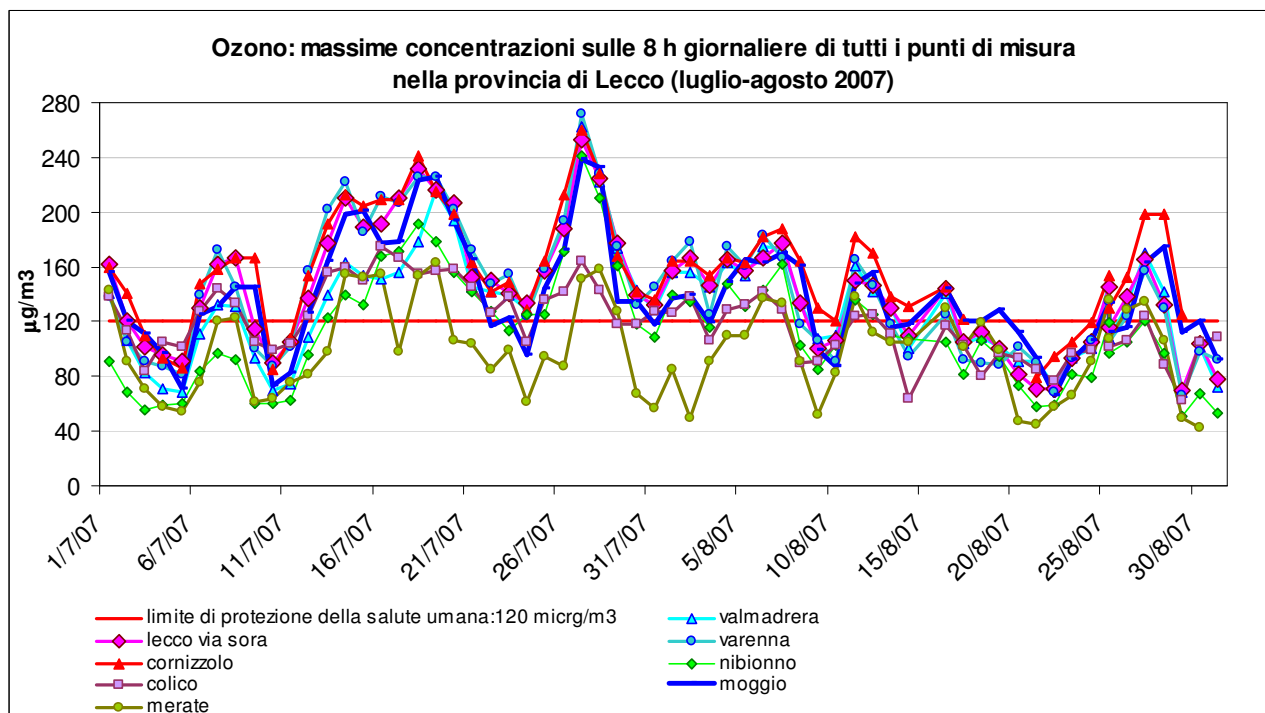
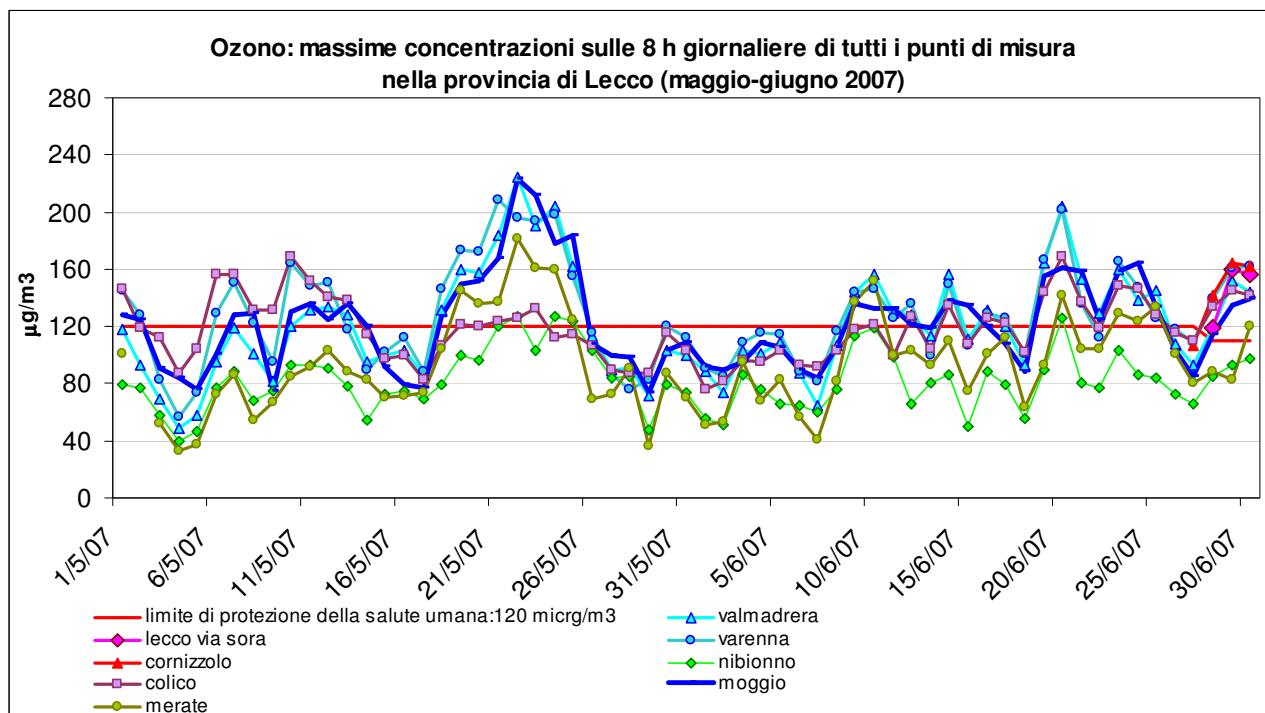


Figura 7: Episodi acuti

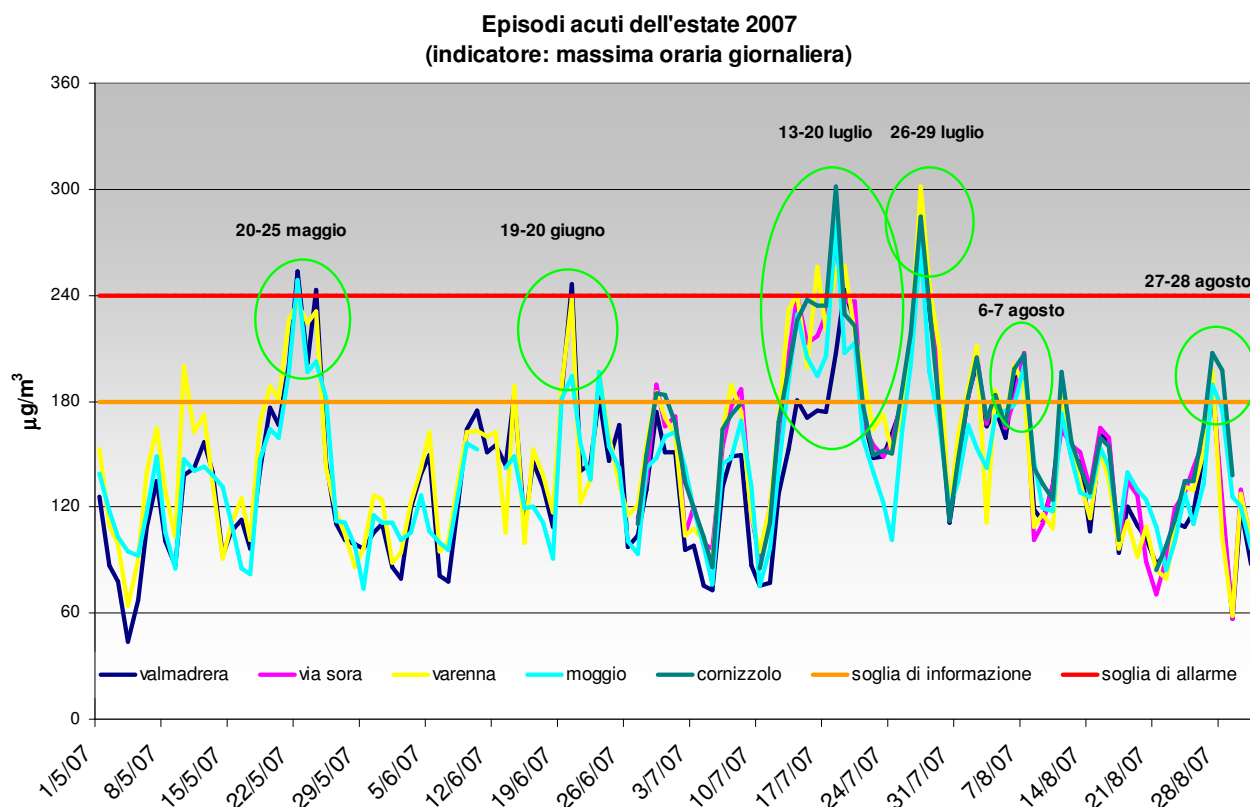


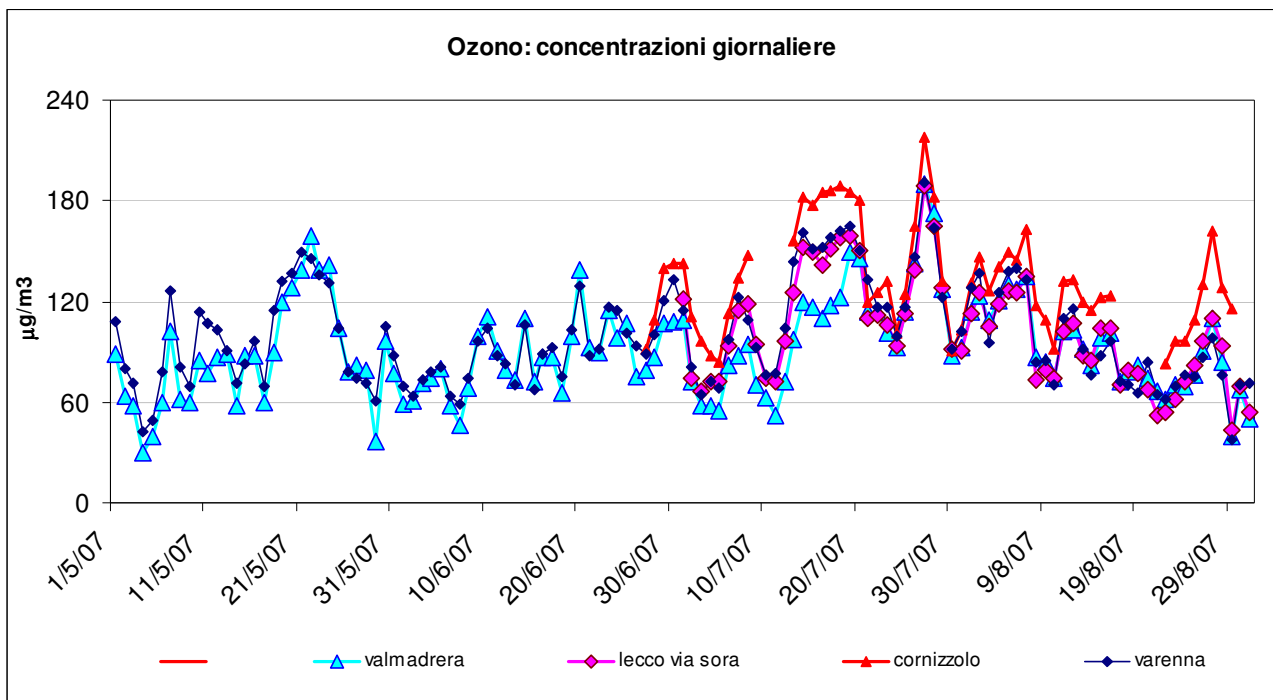
Tabella 2: Media dei superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana nel triennio 2005-2007. Secondo il Dlgs. 183/04 il numero di giorni di superamento del valore bersaglio non dovrebbe essere superiore a 25.

	n. giorni superamento valore bersaglio: 120 µg/m ³ 2005-2007
Colico	63
Varenna	95
Nibionno	55
Merate	19

Tabella 3: Indicatore a lungo termine AOT40 per la protezione della vegetazione per il periodo 2003-2007. Secondo il Dlg. 183/04 l'AOT40 non dovrebbe superare 18,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$.

	AOT40 media 2003-2007 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$)
Colico	29752
Varenna	49185
Nibionno	38173
Merate	15841

Figure 8: Concentrazioni O_3 misurate a Valmadrera, Lecco, Varenna e sul Monte Cornizzolo nel periodo maggio-agosto 2007



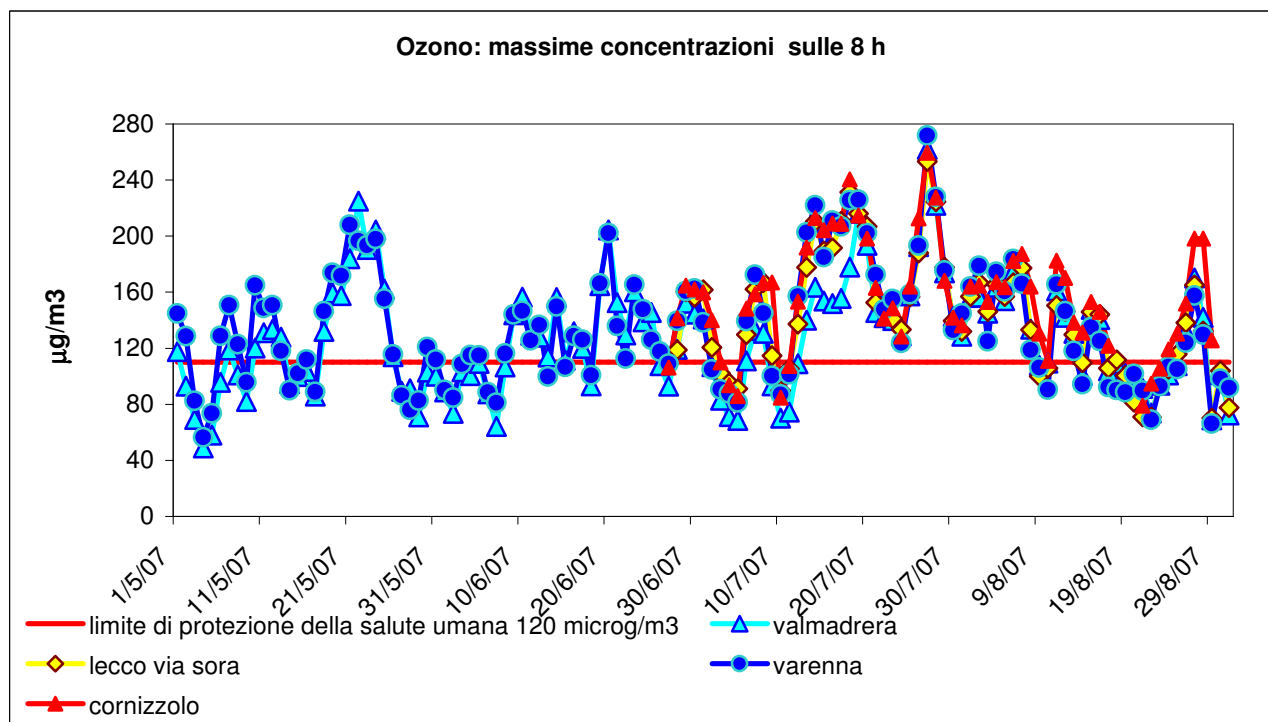
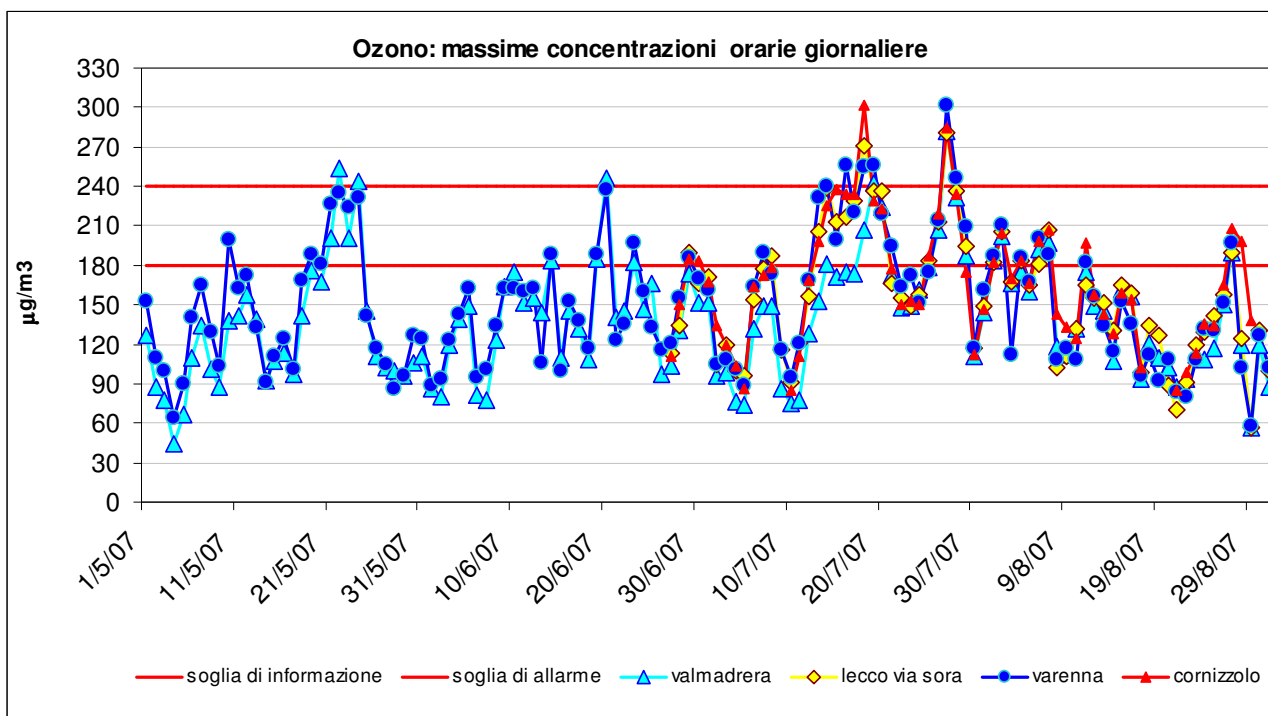
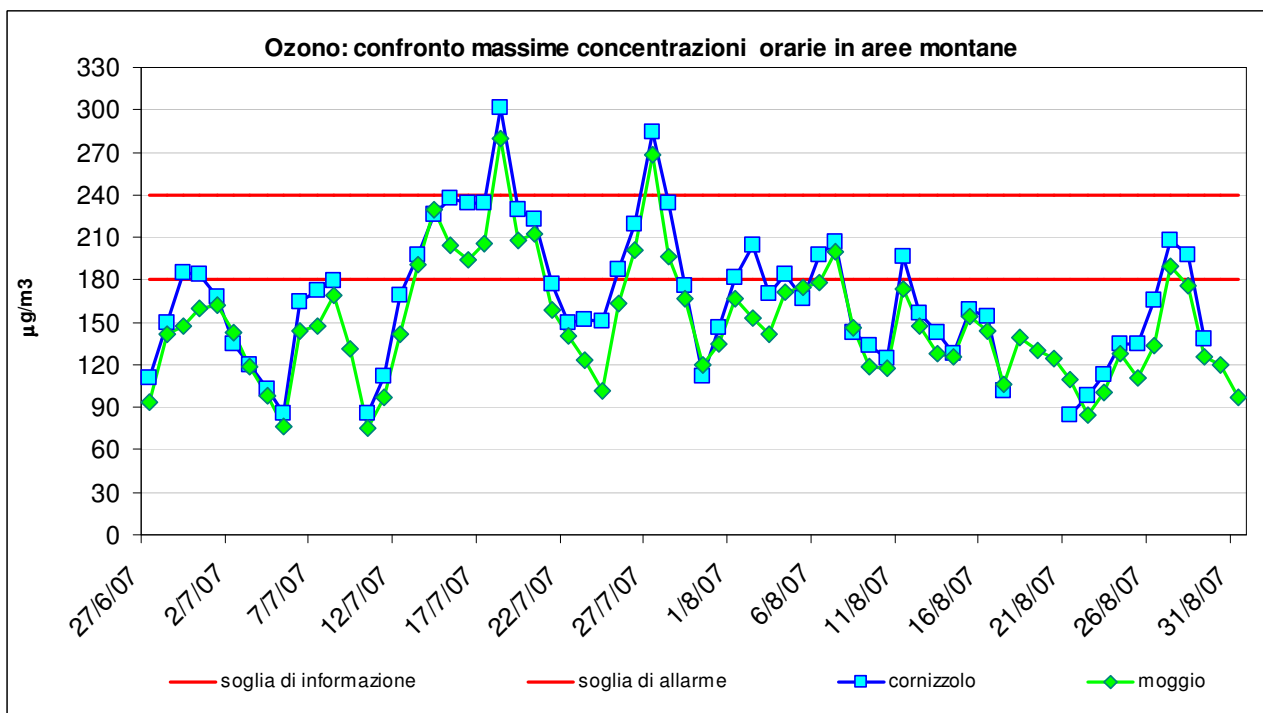
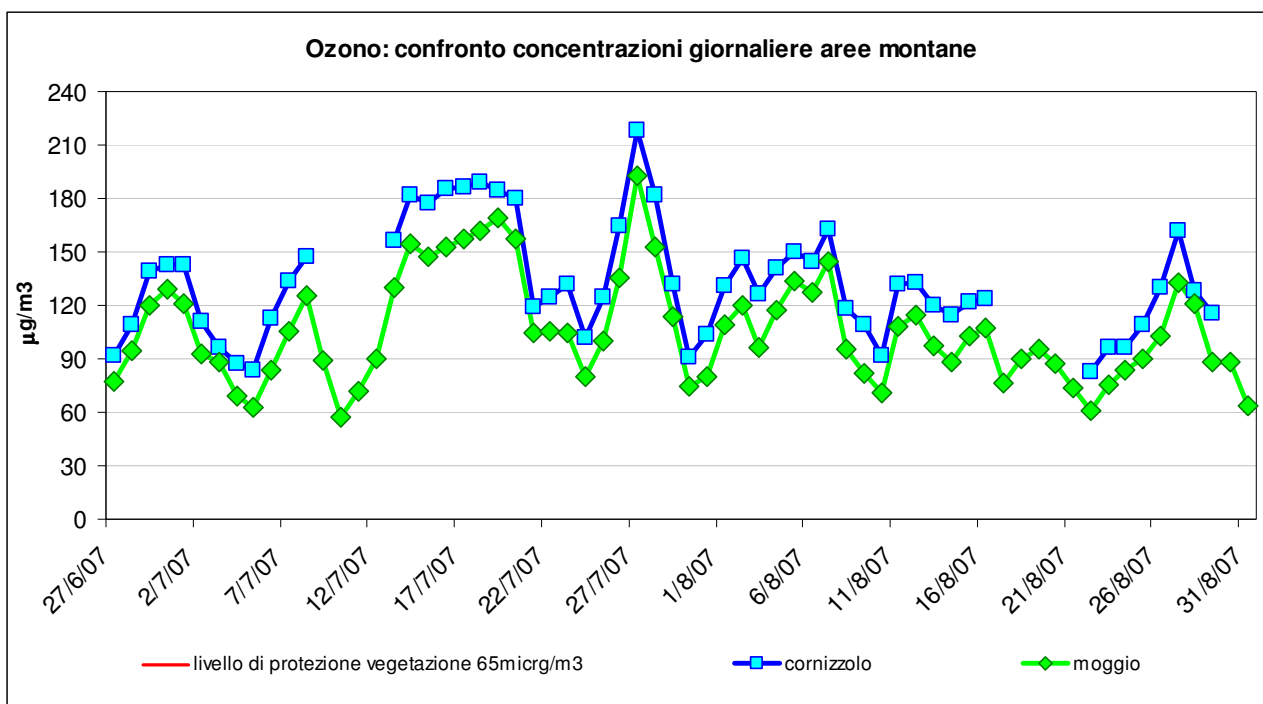


Figure 9: Concentrazioni O₃ misurate nelle aree montane nel periodo giugno-agosto 2007



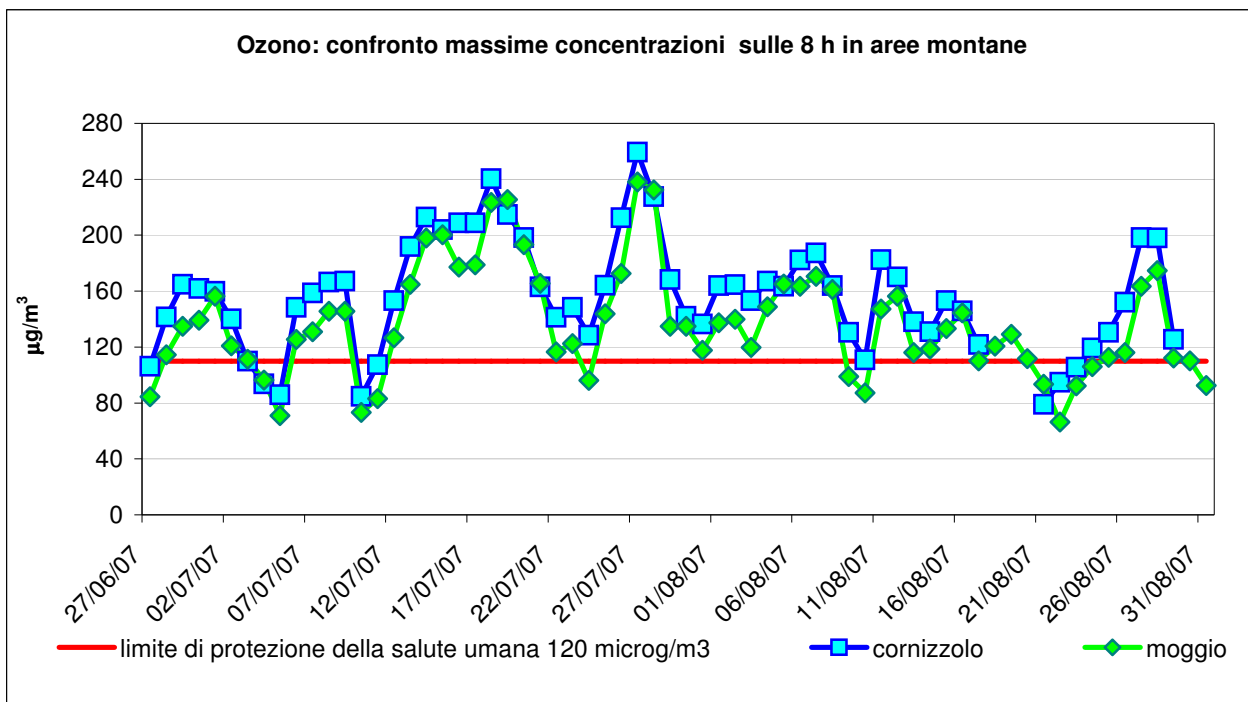
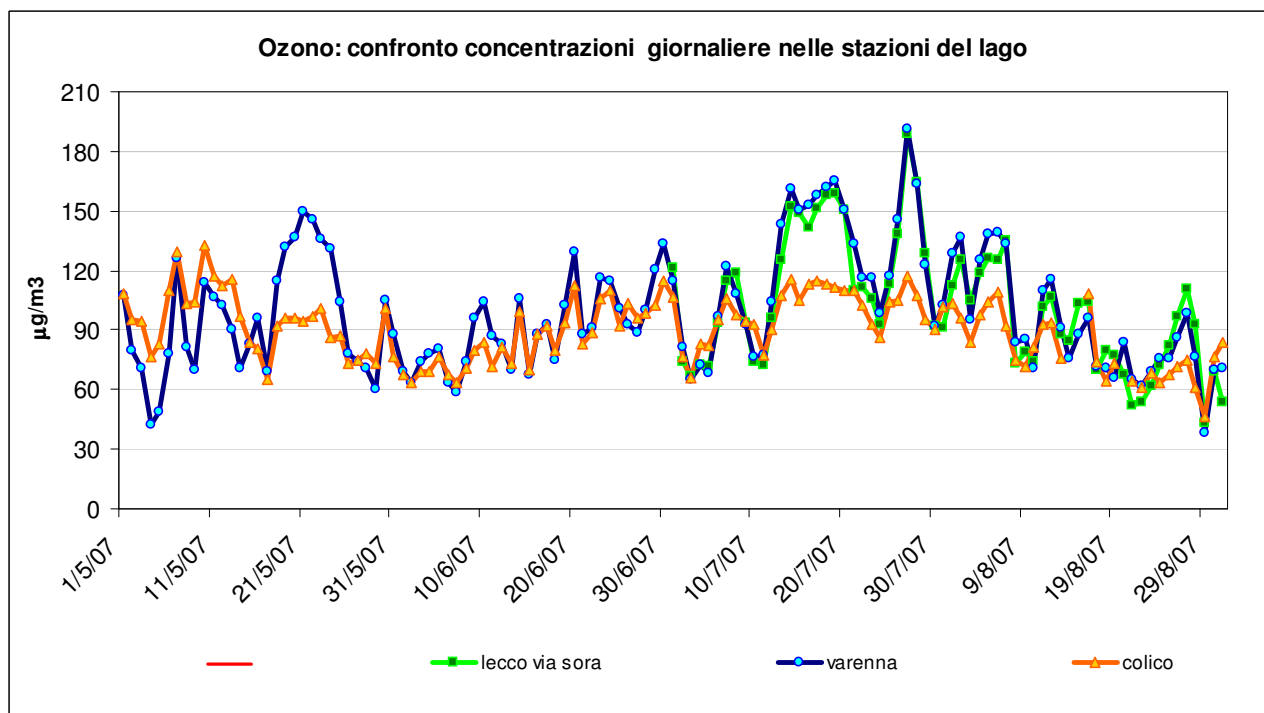
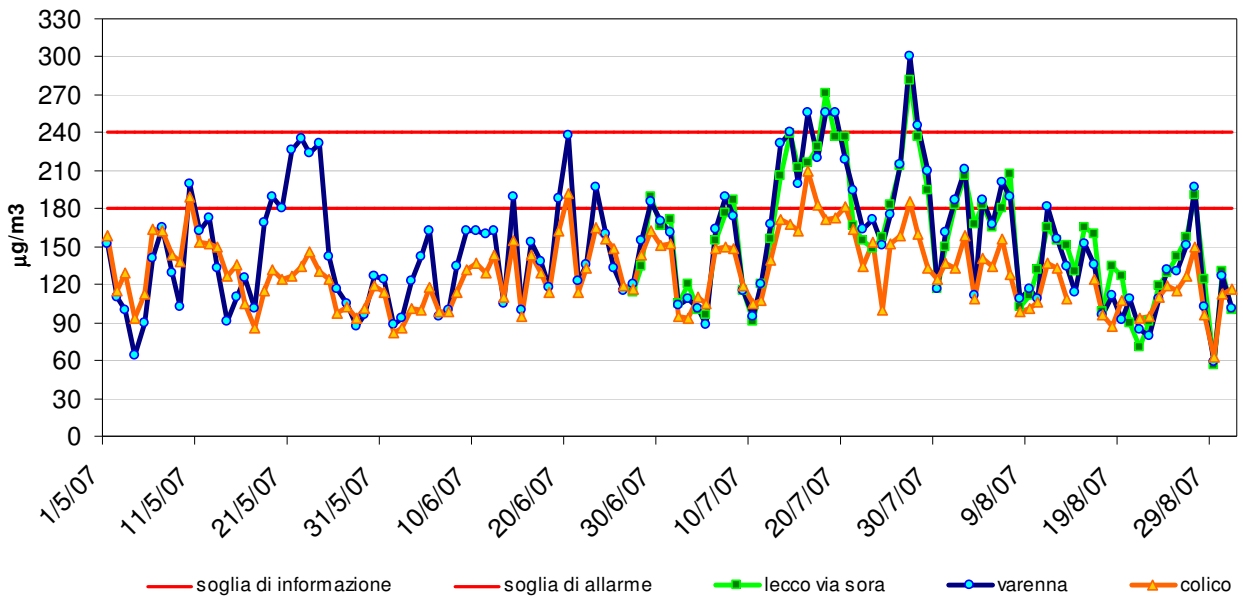


Figure 10: Concentrazioni O₃ misurate nelle aree stazioni di rilevamento sul lago nel periodo maggio-agosto 2007



Ozono: confronto massime concentrazioni orarie giornaliere nelle stazioni del lago



Ozono: confronto massime concentrazioni 8 h giornaliere nelle stazioni del lago

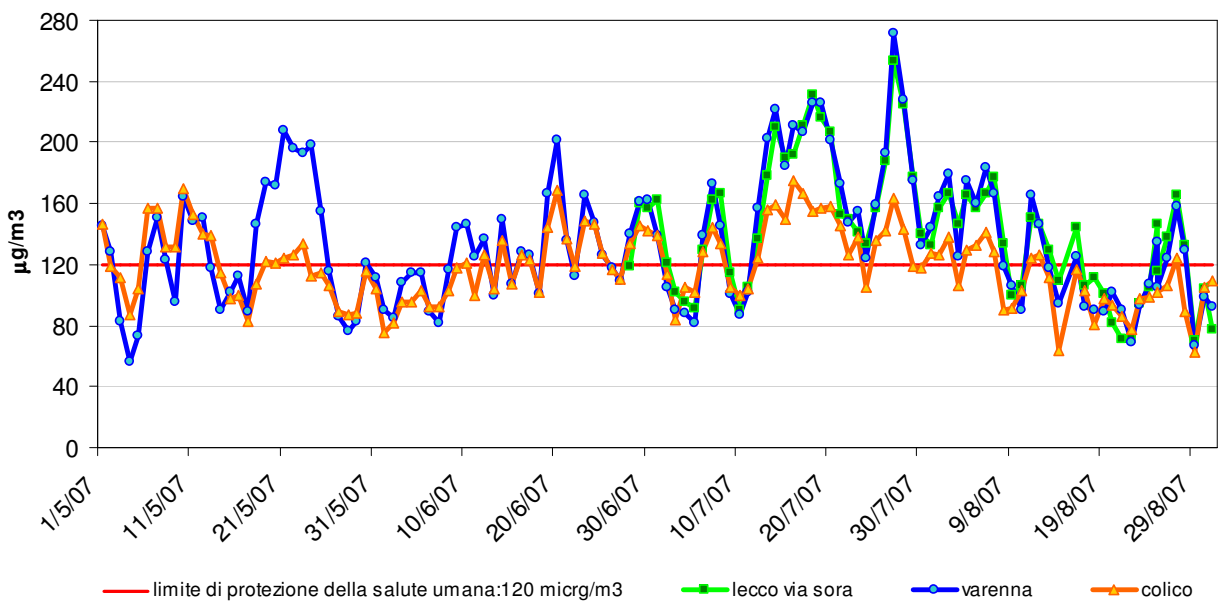
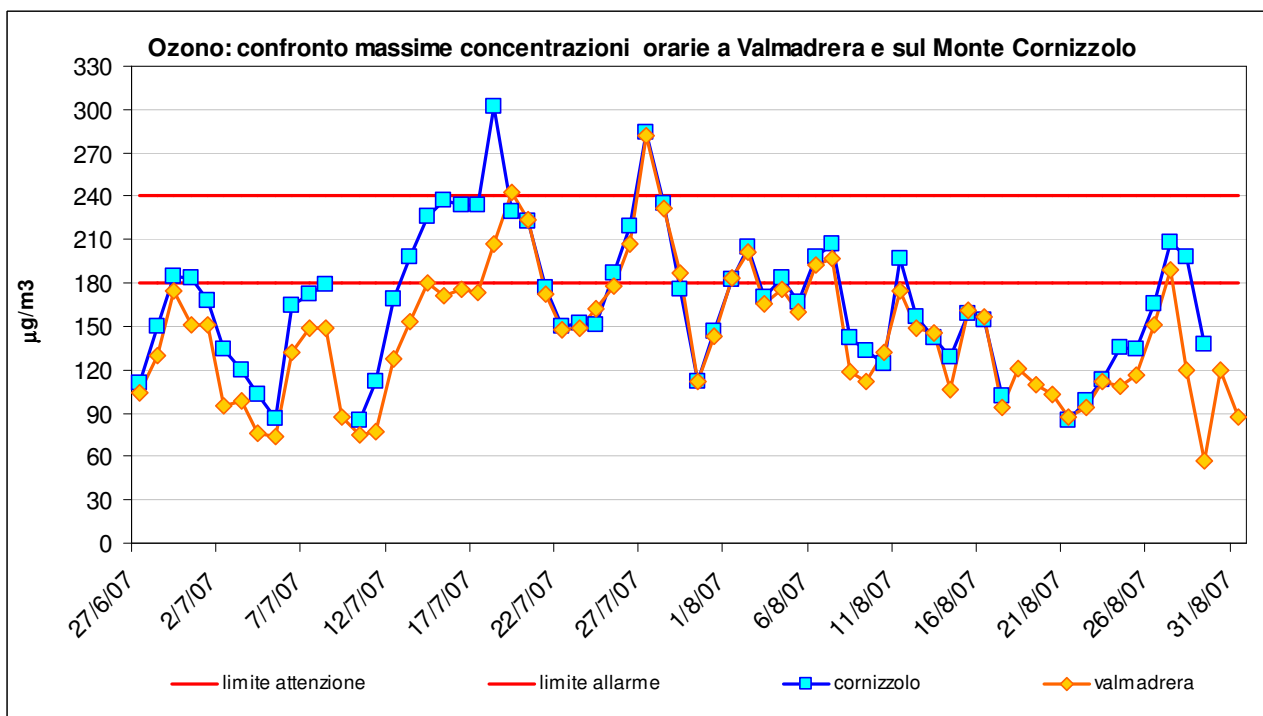
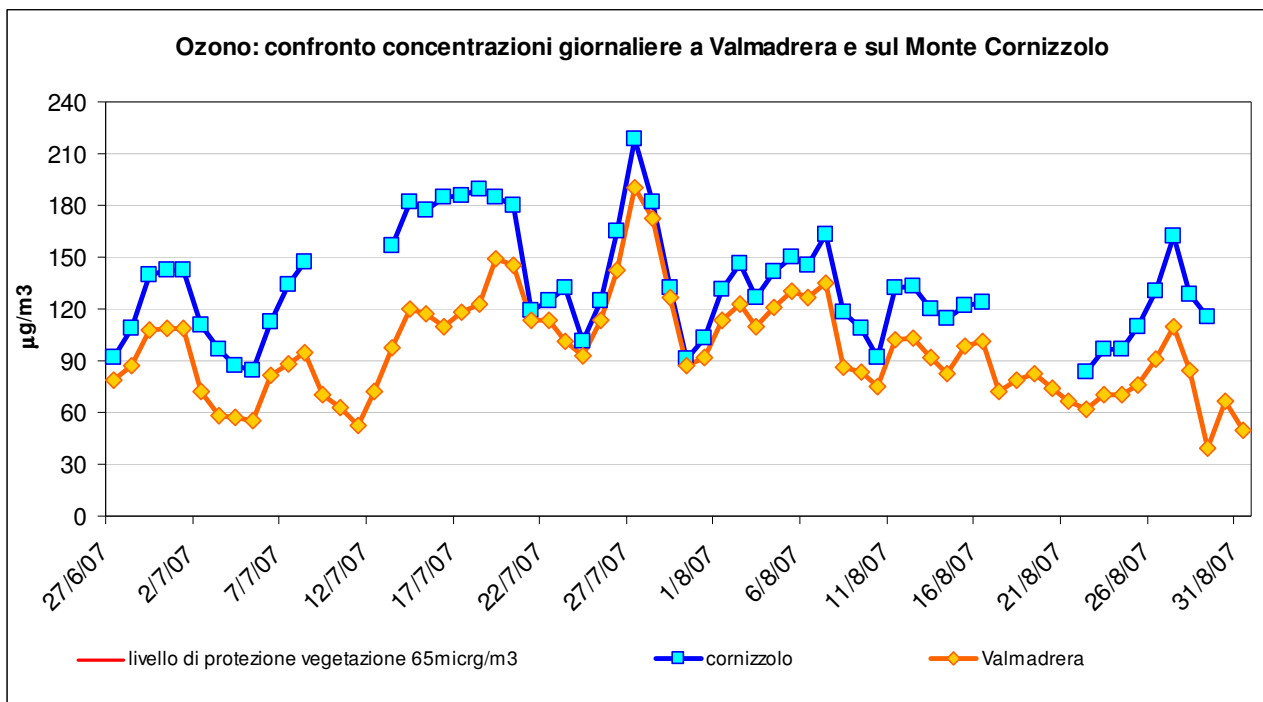


Figure 11: Concentrazioni O₃ misurate in aree vicine ma a quote diverse nel periodo giugno-agosto 2007



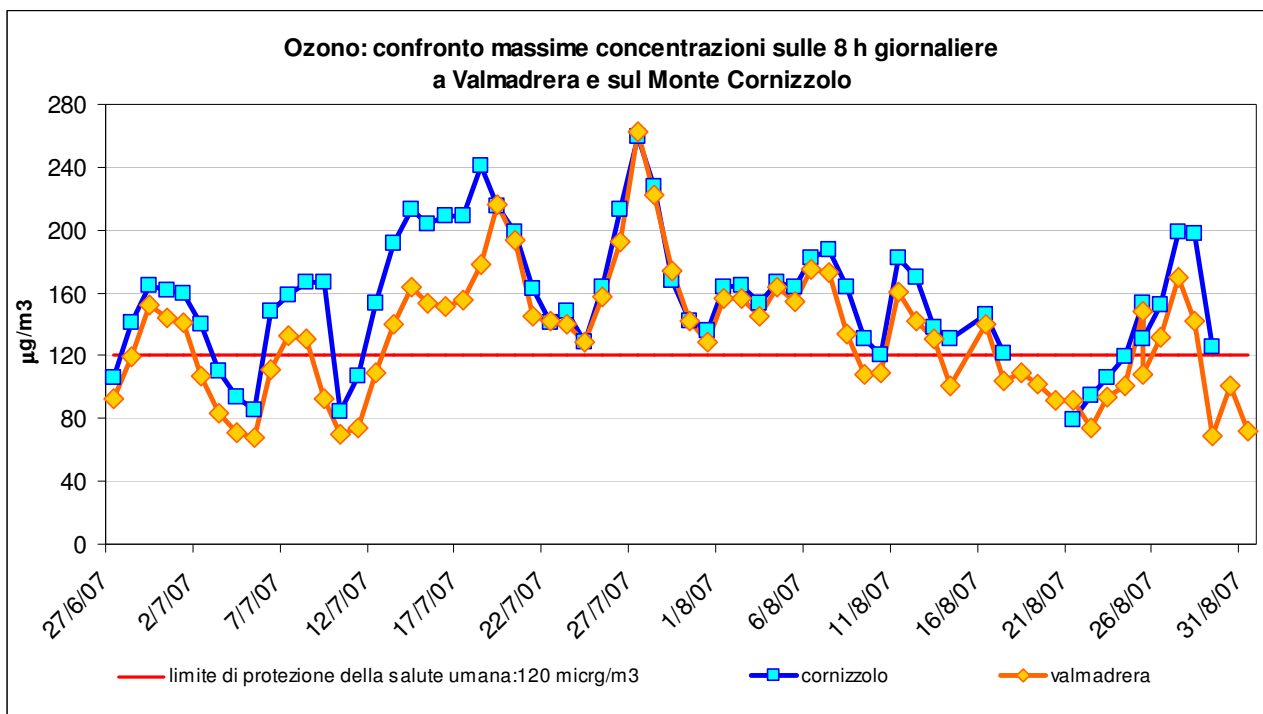


Figura 12: Giorno tipo O₃: confronto

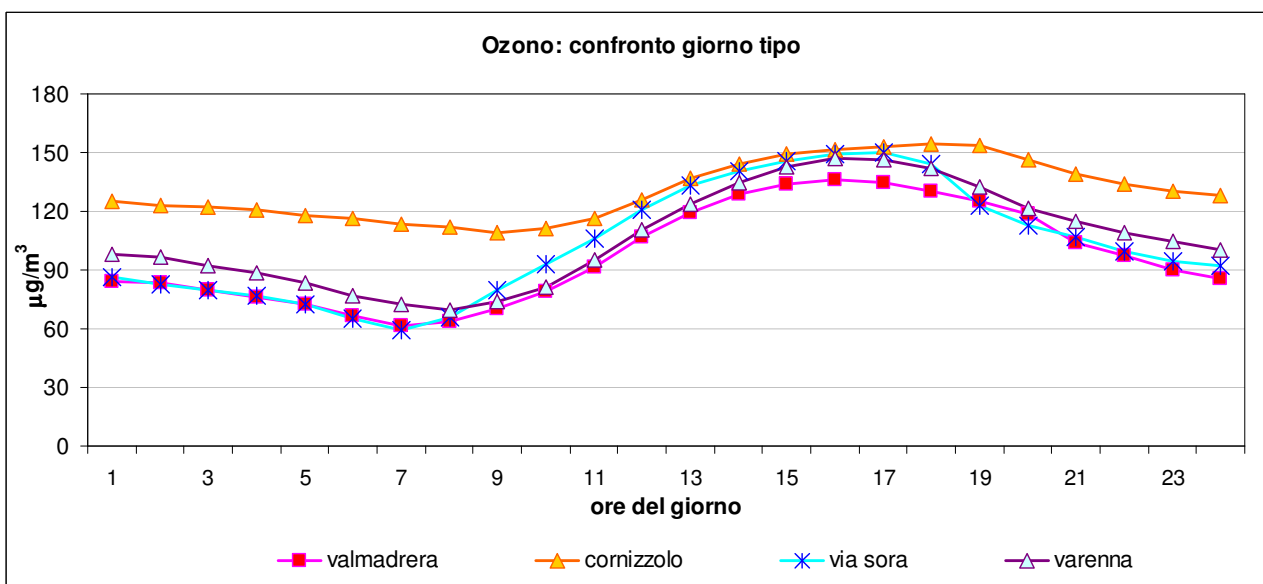


Figura 13: Concentrazioni NO₂: medie giornaliere

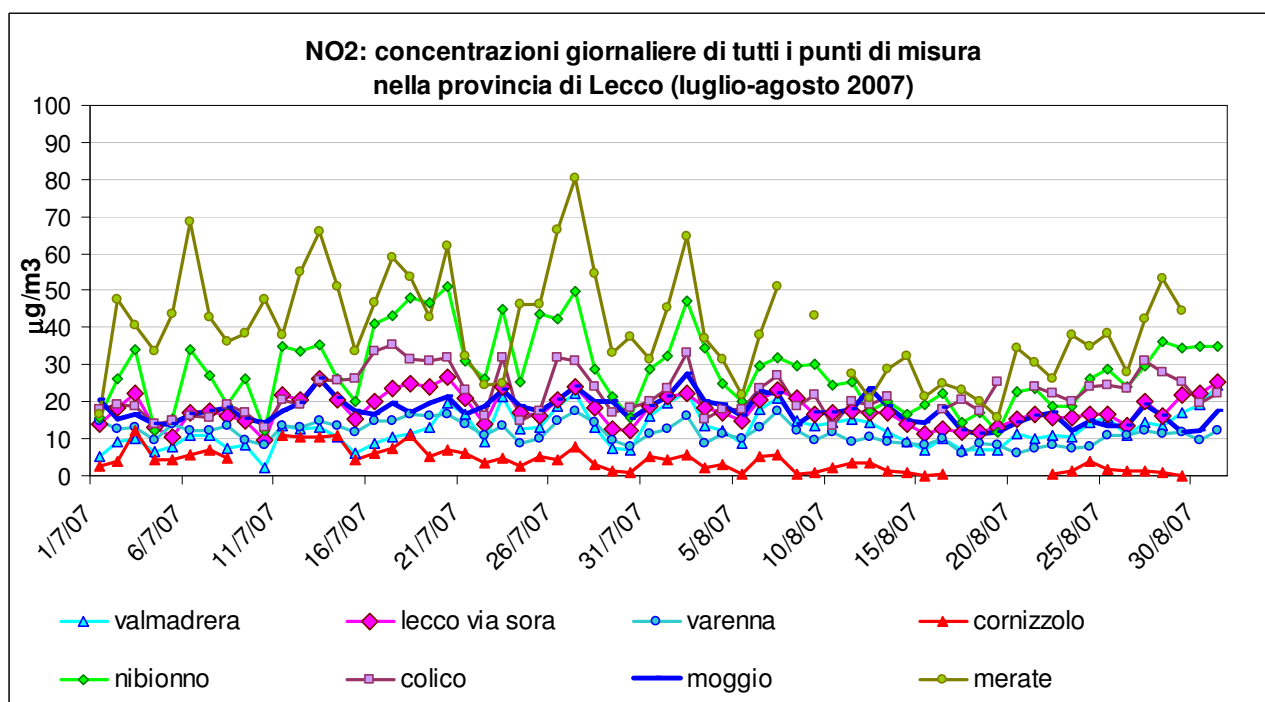
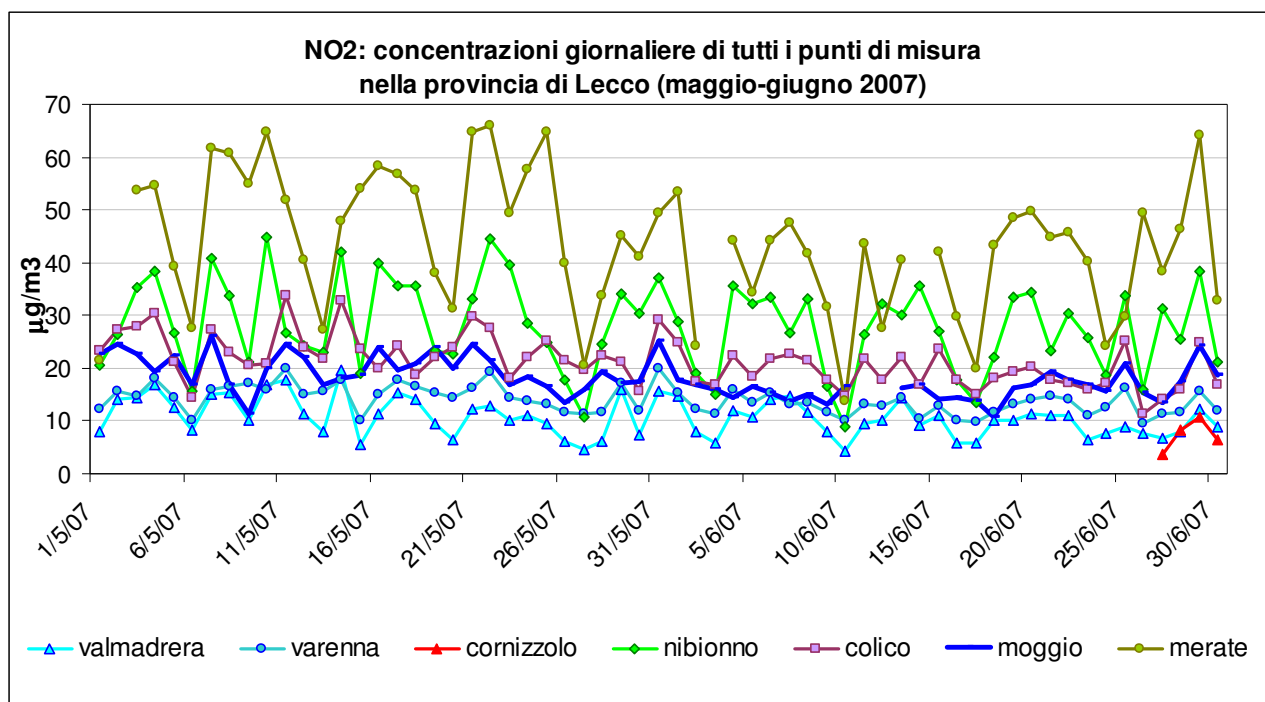


Figura 14: Concentrazioni NO₂: massime orarie giornaliere

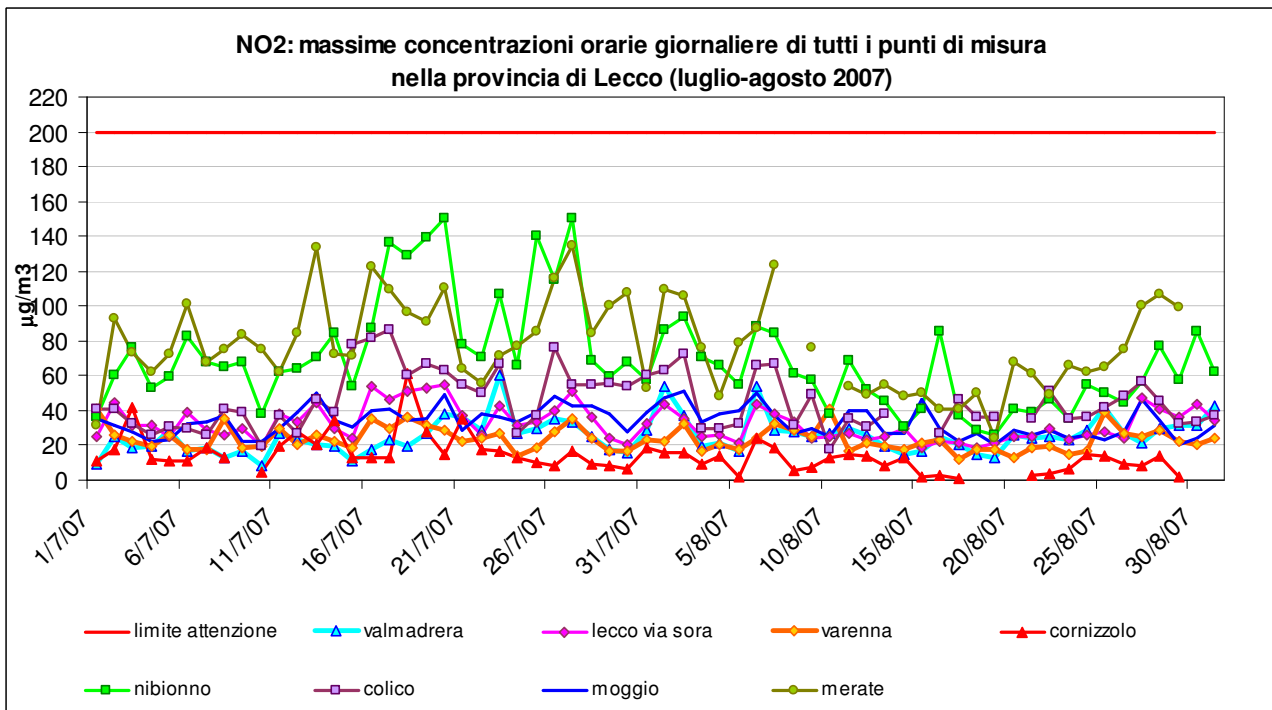
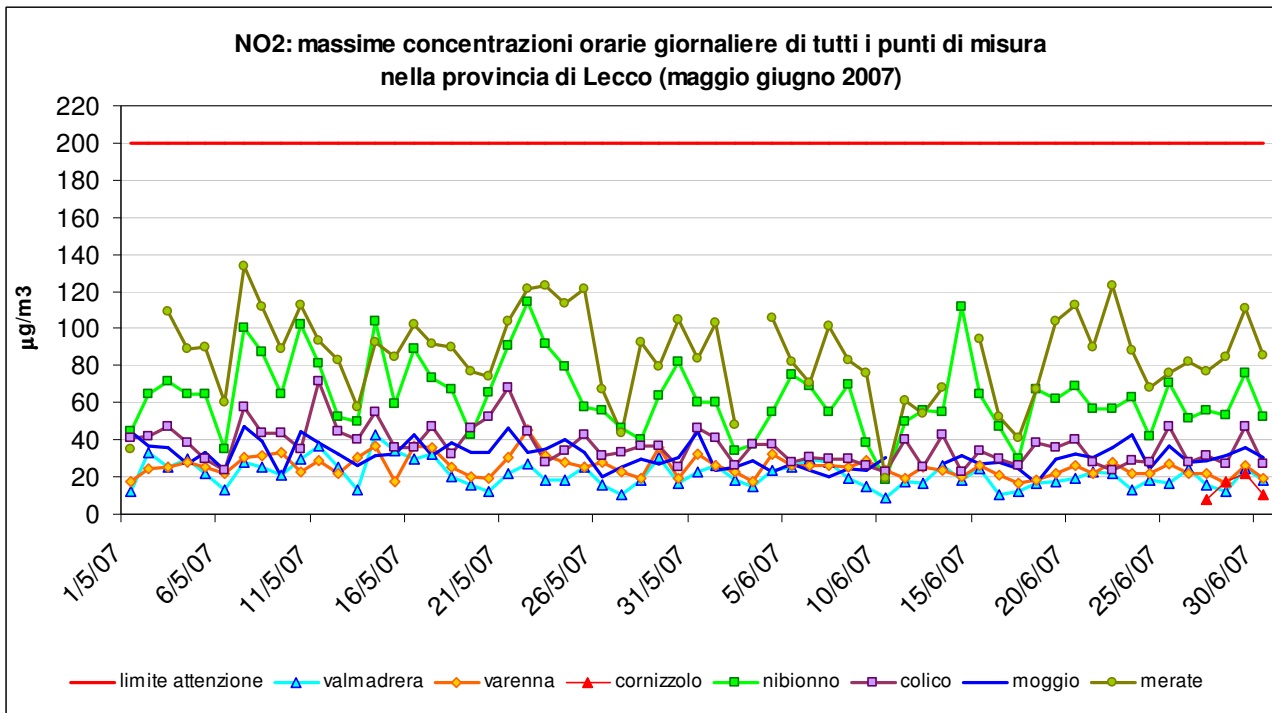


Figura 15: Confronto giorni tipo NO₂

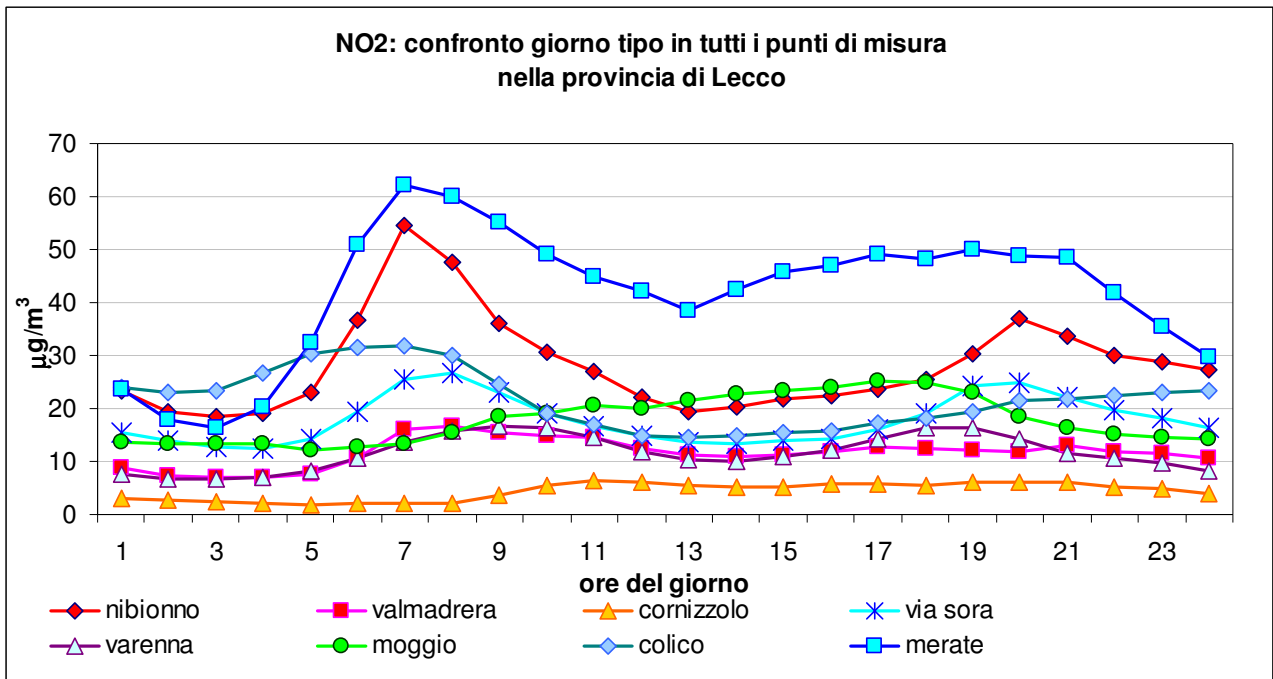
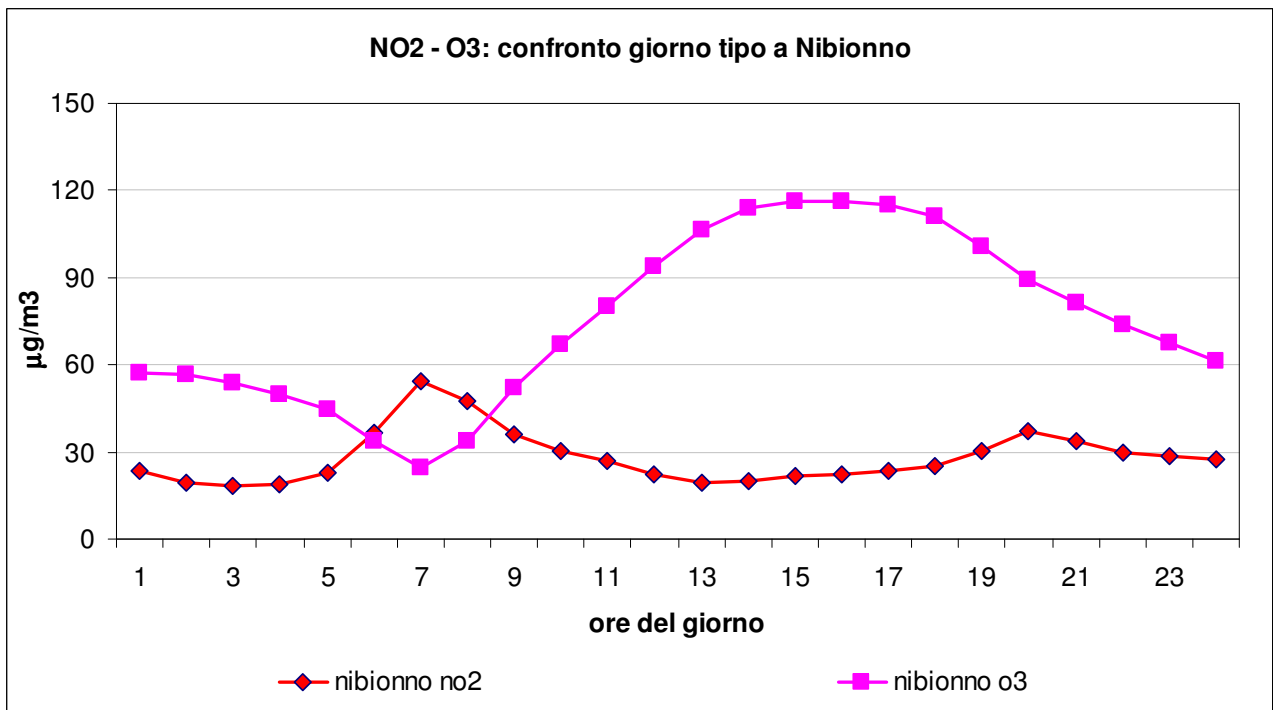
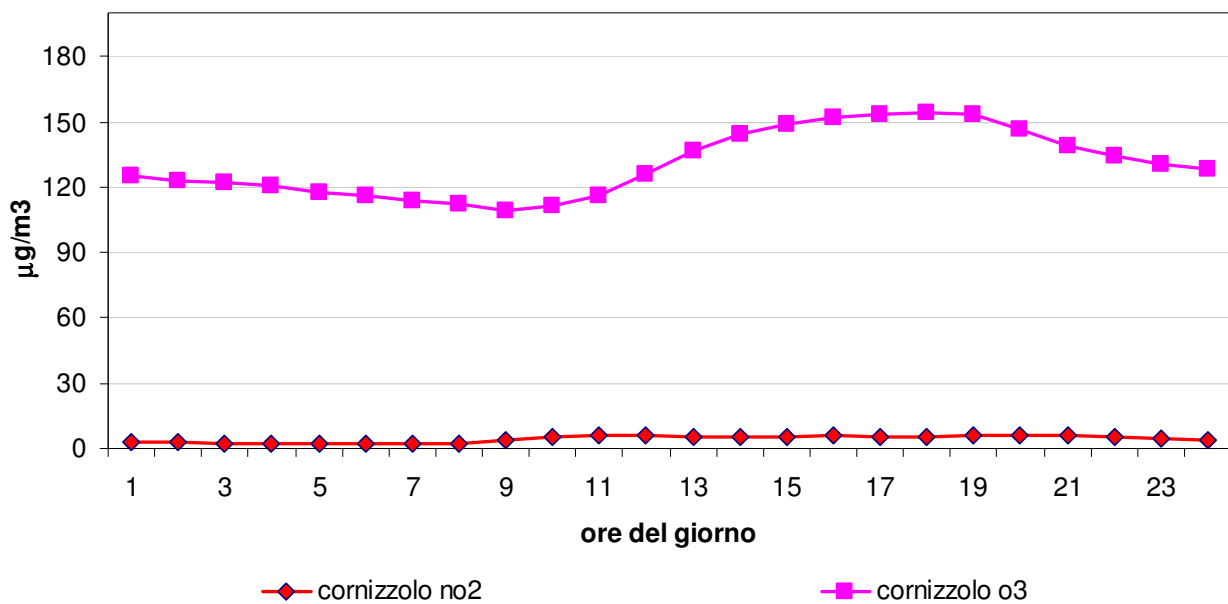


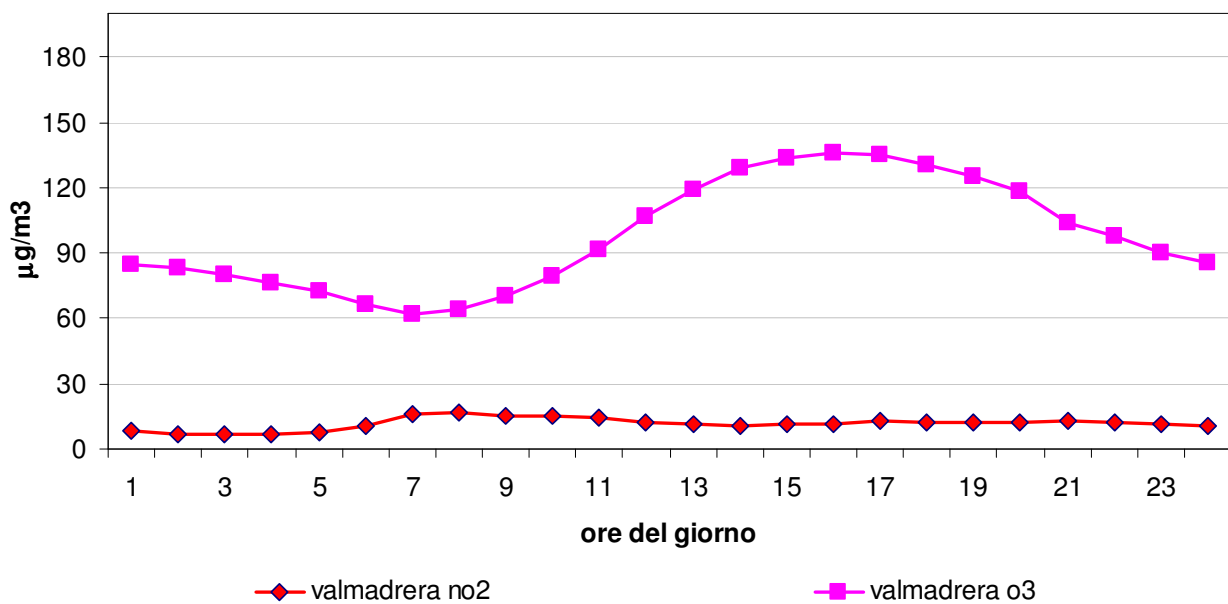
Figura 16: Confronto giorni tipo O₃-NO₂



NO2 - O3: confronto giorno tipo sul Monte Cornizzolo



NO2 - O3: confronto giorno tipo a Valmadrera



I dati degli inquinanti rilevati nei diversi siti sono stati messi a confronto.

Tabella 3: Caratteristiche del sito di campionamento e delle centraline fisse di confronto.

	rete	Tipo zona Dec. 2001/752/CE	Tipo stazione Decisione 2001/752/CE	Quota s.l.m. (metri)	Periodo di misura
Colico	Pub	SUBURBANA	FONDO	218	Stazione fissa
Varenna	PUB	RURALE	FONDO	220	Stazione fissa
Lecco-via Sora*	PUB	URBANA	FONDO	267	Stazione fissa
Monte Cornizzolo**	Pub	RURALE	FONDO	1100	27/06/2007 – 29/8/2007
Moggio	Pub	RURALE	FONDO	1194	Stazione fissa
Valmadrera	PRIV	SUBURBANA	FONDO	237	Stazione fissa
Nibionno	PUB	SUBURBANA	TRAFFICO	310	Stazione fissa
Merate	Pub	URBANO	TRAFFICO	292	Stazione fissa

*Attiva dal 1 luglio 2007

**Campagna con laboratorio mobile dal 27 giugno al 29 agosto 2007

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 NO₂ e O₃ relativi al periodo 1 maggio – 31 agosto 2007:

- % rendimento
- media delle concentrazioni medie orarie;
- valore massimo orario;
- numero giorni in cui sono stati superati i livelli di attenzione;
- numero ore e giorni di superamento soglia di informazione e soglia di allarme per ozono.

Tabella 4: Livelli di concentrazione inquinanti nei diversi siti

NO₂	% Rendimento	Media (µg/m ³)	Max Media 1h (µg/m ³)	Nr. giorni superamento Liv.Attenzione
Colico	97	22	86	0
Varenna	100	13	46	0
Lecco-via Sora*	100	18	55	0
Monte Cornizzolo**	91	4	62	0
Moggio	99	18	51	0
Valmadrera	100	12	60	0
Nibionno	99	28	151	0
Merate	94	42	134	0

O₃	% Rendimento	Media (µg/m ³)	Max Media 1h (µg/m ³)	Max Media 8 h (µg/m ³)
Colico	97	90	210	175
Varenna	100	99	301	272
Lecco-via Sora*	99	102	281	253
Monte Cornizzolo**	92	131	302	259
Moggio	99	101	279	238
Valmadrera	100	91	282	262
Nibionno	100	66	279	241
Merate	97	58	235	182

O₃ superamenti	Nr. ore sup. Soglia di Informazione	Nr. giorni superamento Soglia di informazione	Nr. ore superamento Soglia di allarme	Nr. giorni superamento Soglia di allarme
Colico	14	6	0	0
Varenna	154	33	15	6
Lecco-via Sora*	103	21	6	2
Monte Cornizzolo**	168	22	12	2
Moggio	87	21	7	3
Valmadrera	97	21	14	5
Nibionno	39	9	5	1
Merate	16	7	0	0

*Attiva dal 1 luglio 2007

**Campagna con laboratorio mobile dal 27 giugno al 29 agosto 2007

Conclusioni

Le misure effettuate sul territorio della provincia di Lecco hanno consentito una caratterizzazione dei livelli di ozono.

- Le concentrazioni di O_3 , misurate nell'estate 2007, sono risultate elevate in tutta la provincia di Lecco.

Si possono individuare diversi episodi acuti a partire dal 20 maggio in corrispondenza di condizioni meteorologiche di stabilità che hanno favorito la formazione di questo inquinante. I più significativi sono stati quelli del 13-20 luglio e 26-29 luglio sia per durata che intensità, con concentrazioni di ozono che hanno raggiunto i $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ben oltre la soglia di allarme pari a $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

I siti in cui si misurano valori di O_3 più elevati, sono quelli rurali: Monte Cornizzolo e Moggio. D'altra parte le massime orarie registrate a Valmadrera, Lecco-via Sora e Varenna sono confrontabili con quelle dei siti rurali.

Diversi sono i superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana nel triennio 2005-2007. Secondo il Dlgs. 183/04 il numero di giorni di superamento del valore bersaglio, come media degli ultimi 3 anni, non dovrebbe essere superiore a 25 nel 2010. Attualmente ciò è soddisfatto solo a Merate.

E' stato calcolato il valore di AOT40, come media degli AOT40 degli ultimi 5 anni, valore bersaglio per la protezione della vegetazione che non dovrà superare i $18,000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ nel 2010, per le stazioni di Merate, Nibionno, Varenna e Colico. Solo nelle stazione di Merate i valori sono al di sotto di tale limite, negli altri siti attualmente sono talvolta tre volte tanto.

- L' NO_2 rilevato nelle varie stazioni di monitoraggio è risultato essere piuttosto basso, in linea con le concentrazioni tipiche del periodo estivo.

I valori più elevati di NO_2 si misurano presso le stazioni da traffico di Merate e Nibionno. Nei siti rurali le concentrazioni sono estremamente basse.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Amministrazione Comunale e l'Associazione Società Escursionisti Civatesi per l'insostituibile collaborazione apportata durante la campagna di monitoraggio.