



ALLEGATO 6 – I DATI METEOCLIMATICI -

1 La Rete Meteoidrologica Regionale

L'Osservatorio Meteo Idrologico della Regione Liguria (OMIRL) nasce in ottemperanza alle Leggi Regionali 45/1994 e 45/1996, nelle quali è disposta la realizzazione, da parte della Regione Liguria, di una rete osservativa in tempo reale che consenta "...la rilevazione dei dati idropluviometrici al suolo, con particolare riferimento alle piogge intense ed in interconnessione con altre reti operanti sul territorio regionale e finitime..." [L.R. 45/1996 – Art.5 Comma 3].

Il sistema – realizzato nel periodo 1998-2000 – consente il monitoraggio continuo delle condizioni meteoidrologiche sul territorio regionale, attraverso circa 140 stazioni periferiche che trasmettono i dati rilevati dai sensori verso il Centro di Controllo.

Per circa un centinaio di esse il segnale viaggia su una rete di ripetitori dedicati che consente la copertura del territorio ligure in percentuale superiore al 90% e l'acquisizione di tutti i dati rilevati in circa 5 minuti; per le restanti (circa 35) la trasmissione verso Centro dei dati rilevati avviene via modem GSM o telefonico.

Il Centro di Controllo della rete è localizzato presso ARPAL, cui è affidata la gestione dell'intero sistema di previsione e di osservazione delle condizioni meteo-idrologiche; tale centro è costituito da un sistema Hardware/Software che consente:

- l'acquisizione dei dati sia delle centraline direttamente connesse via dorsale radio che di quelle delle altre reti integrate;
- l'archiviazione dei dati in un unico Data Base relazionale;
- la validazione dei dati rilevati;
- l'elaborazione statistica degli stessi;
- la visualizzazione di tutta la rete su un quadro sinottico;
- la redistribuzione dei dati ad altri utenti.

Oltre alla Regione Liguria, altre Amministrazioni ed Enti (Provincia della Spezia, Comune di Genova, Centro di Agrometeorologia Applicata Regionale, Azienda Maediterranea Gas e Acqua di Genova) partecipano al potenziamento della rete OMIRL per la quale è programmato, nei prossimi anni, il raggiungimento di una copertura territoriale ancora più capillare.

L'acquisizione dei dati è realizzata attraverso Data Logger e sensori conformi alle norme della World Meteorological Organization, realizzati con componentistica a basso consumo alimentata con i soli pannelli solari.

Alle stazioni in telemisura prettamente dedicate ai fini di telerilevamento e monitoraggio per scopi di protezione civile si affiancano circa 15 Stazioni con registrazione dei dati su memoria e-straibile (EPROM) o a scarico manuale attraverso porta seriale RS232 effettuato da personale specializzato direttamente in loco.

Esistono differenti tipologie di stazioni ed i parametri rilevabili sono:

- temperatura aria (ca. 100 stazioni);
- umidità relativa (ca. 20 stazioni);
- precipitazione (ca. 120 stazioni);
- livello idrometrico (ca. 30 stazioni);
- direzione e velocità vento (ca. 20 stazioni, di cui 5 con palo a 10m, le restanti a 3m);



- pressione atmosferica (ca. 10 stazioni);
- radiazione solare (ca. 20 stazioni).

Oltre alle stazioni di tipo elettronico, sono presenti circa 85 stazioni meccaniche (afferenti alla rete ex-Servizio Idrografico e Mareografico, Comparto di Genova), con registrazione dei dati termopluvio-idrometrici su supporto cartaceo. La Figura illustra la consistenza della rete osservativa regionale.

ARPAL ha avviato inoltre un'indagine preliminare sul territorio della Provincia di Genova, volta ad analizzare le caratteristiche della sensoristica meteorologica attualmente presente presso le centraline di rilevamento della qualità dell'aria.

Lo scopo è quello di effettuare uno studio di fattibilità circa un'eventuale ricollocazione e/o aggiornamento della strumentazione di rilevamento strettamente meteorologica utilizzata per fini di monitoraggio di qualità dell'aria, previa valutazione tecnica dell'adeguatezza dell'attuale posizionamento, tecnologia e stato di manutenzione di tale sensoristica meteorologica.

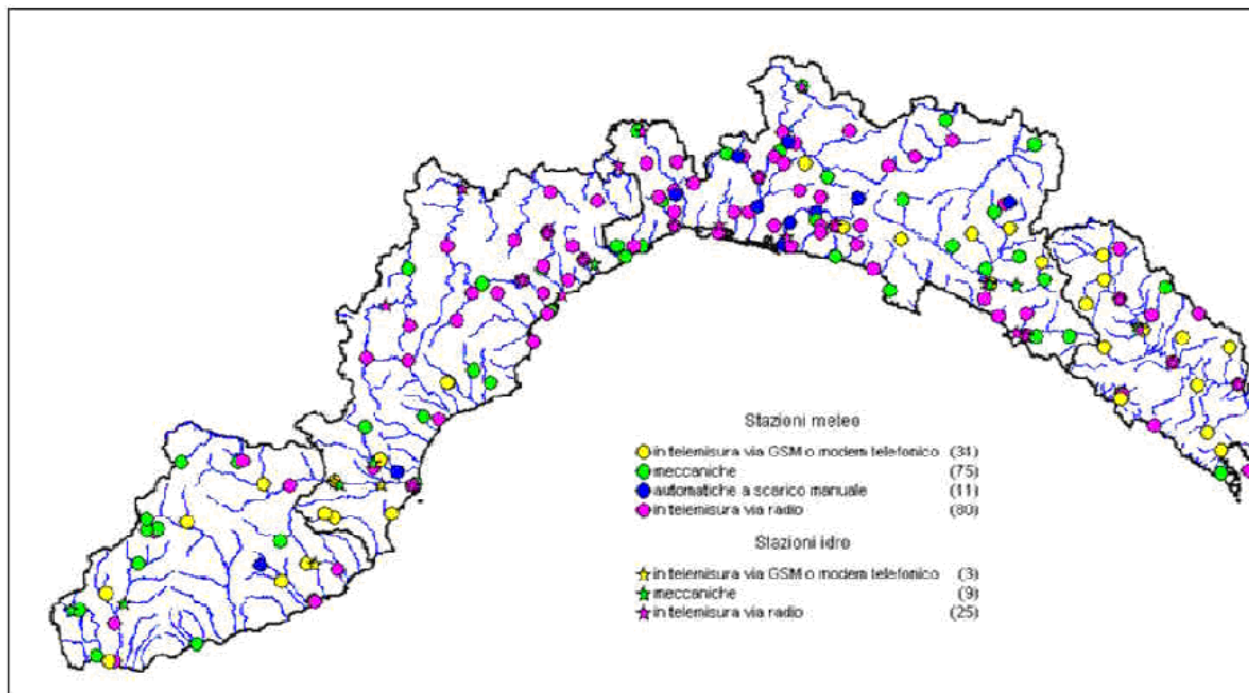


Figura 12: Rete osservativa meteo-idrologica della Liguria.



2 Condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti

L'individuazione delle condizioni meteorologiche che possono determinare episodi di inquinamento atmosferico nell'area ligure richiede un'analisi sistematica degli episodi di maggior interesse.

L'analisi preliminare delle concentrazioni misurate, dei periodi interessati e delle condizioni meteorologiche prevalenti durante i periodi, ha permesso di indicare approssimativamente nelle condizioni di alta pressione, che determinano la prevalenza di venti deboli e la crescita delle temperature al suolo, quelle che con maggior probabilità causano una crescita delle concentrazioni degli inquinanti nei bassi strati dell'atmosfera.

Questa indicazione, che sarà successivamente ripresa ed approfondita, deve comunque essere confermata caso per caso, attraverso un esame approfondito di osservazioni meteorologiche locali, carte meteorologiche sinottiche e risultati delle simulazioni meteorologiche disponibili per i periodi in esame.

L'esame dei dati si è concentrato sui rilevamenti di NO₂ nel periodo 1998-2003 in alcune stazioni delle reti di rilevamento della qualità dell'aria della regione Liguria.

La scelta è basata sulla considerazione che il biossido di azoto è uno degli inquinanti più critici rispetto ai limiti di legge (in particolare sulla media annuale) e la regione Liguria dispone di una buona copertura di misure (al contrario del PM₁₀ che, pur essendo forse anche più critico, non si dispone al momento di una adeguata serie storica di dati).

Le stazioni prese in esame sono state le seguenti:

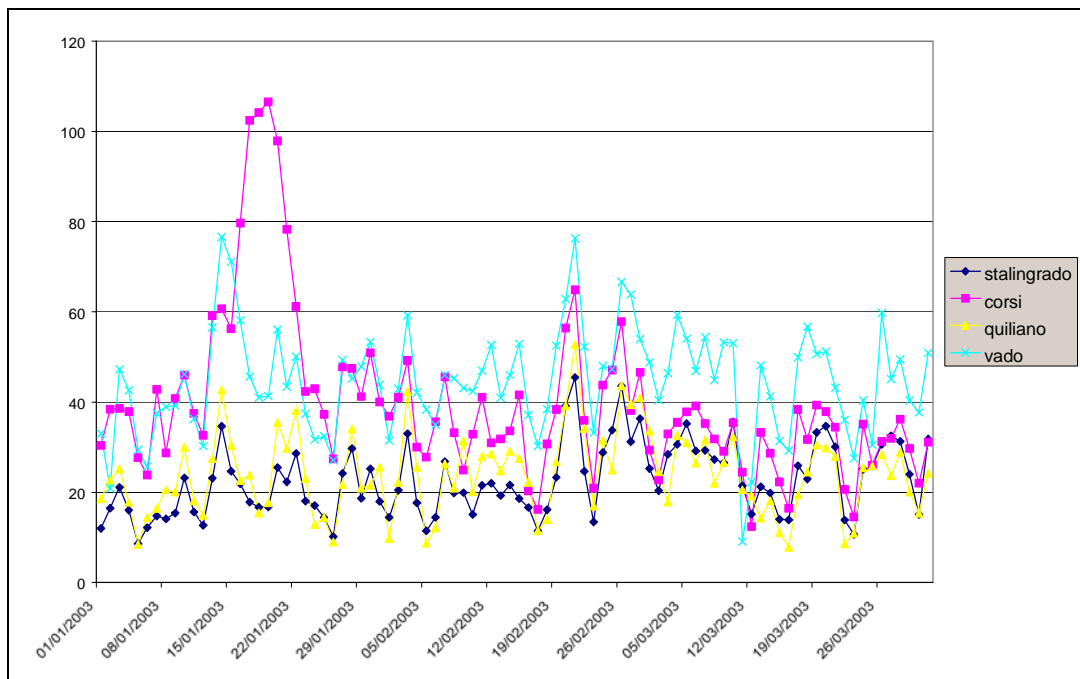
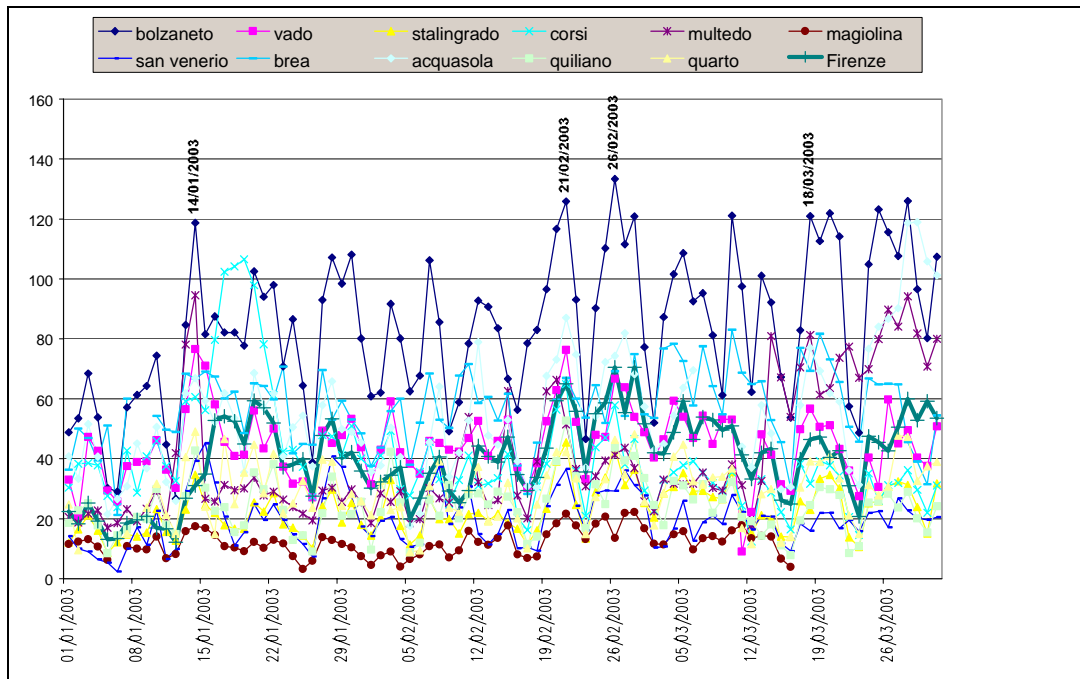
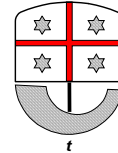
- Bolzaneto, Muledo, Quarto, Acquasola, c.so Firenze per la Provincia di Genova
- Vado, via Stalingrado, Corsi, Quiliano per la Provincia di Savona
- via Brea per la Provincia di Imperia
- Magiolina, San Venerio per la Provincia di La Spezia

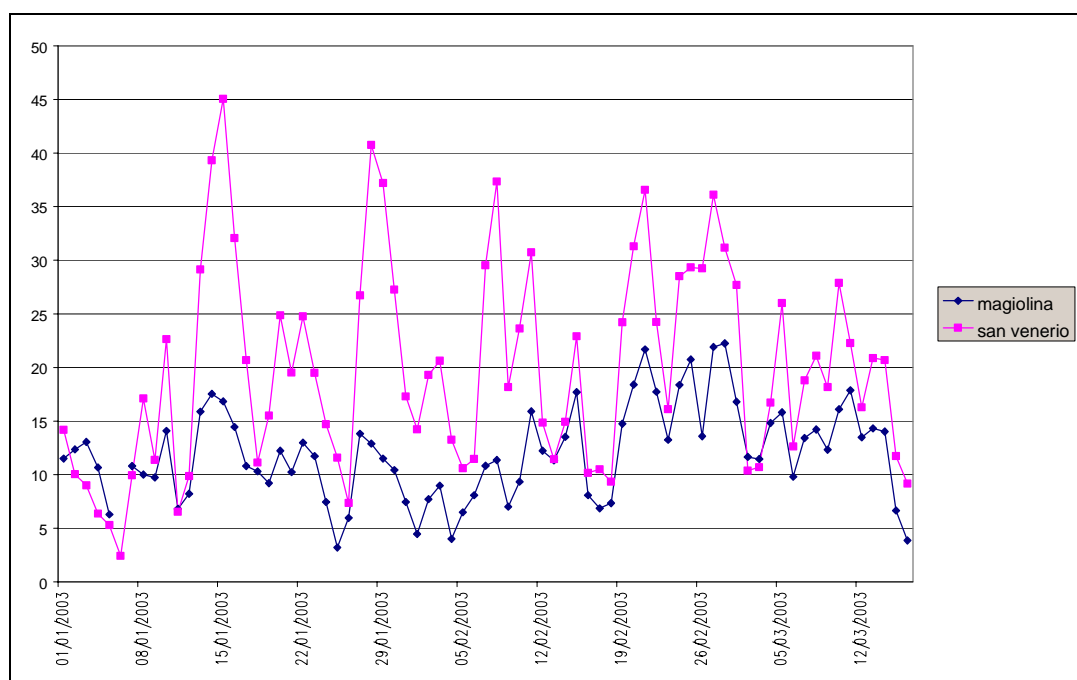
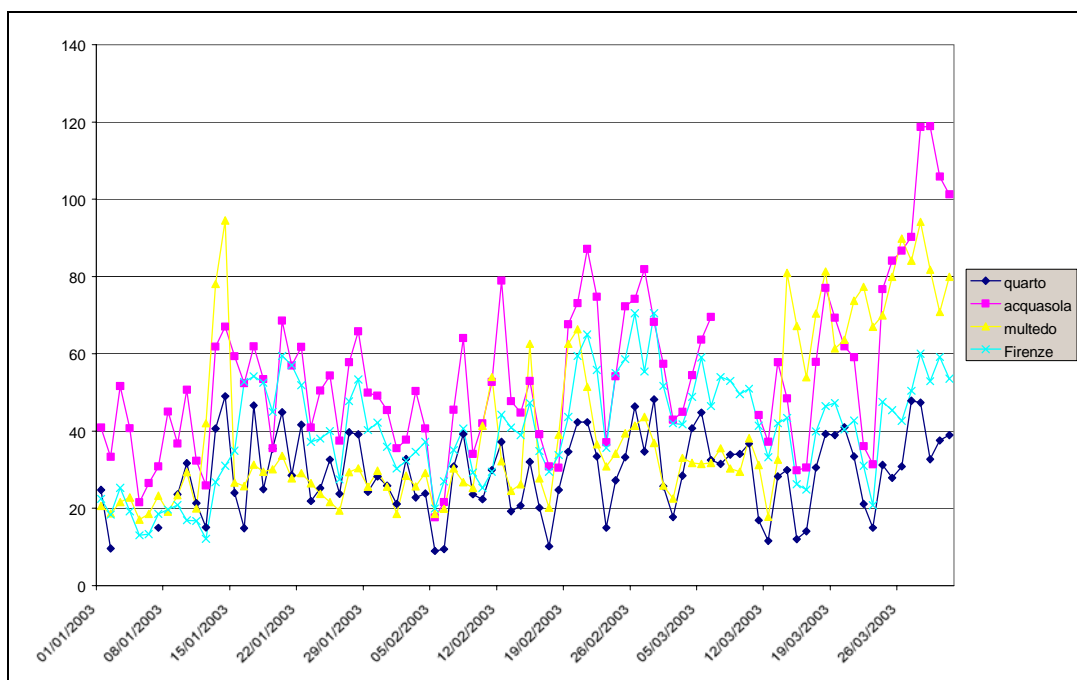
Durante i periodi esaminati, gli andamenti temporali delle concentrazioni medie e massime giornaliere di NO₂ non mostrano significative variazioni in funzione della stagione. Contrariamente a quanto si osserva nelle aree caratterizzate da clima continentale, quali la pianura padana, non si rileva la presenza di episodi di inquinamento invernale, che si distinguono, per intensità e durata dei periodi caratterizzati da concentrazioni elevate, dai livelli di concentrazione osservati durante gli altri periodi dell'anno.

Nel paragrafo successivo viene riportata in dettaglio l'analisi effettuata sul periodo Gennaio-Marzo 2003 che è stato scelto come riferimento per questa primo esame delle situazioni meteorologiche critiche per la dispersione degli inquinanti in atmosfera. Il periodo è caratterizzato da una buona copertura dei dati di inquinamento e meteorologici e presenta episodi caratteristici (anche se non di elevata intensità) che sono stati riscontrati anche negli altri anni.

2.1. Analisi Gennaio-Marzo 2003

Vengono mostrati i grafici dell'andamento dell'NO₂ (medie giornaliere) di tutte le stazioni prese in esame e separatamente, per maggiore leggibilità, il gruppo di stazioni della provincia di Savona, alcune del gruppo della Provincia di Genova e le due della Provincia di La Spezia.



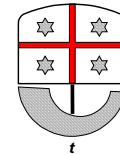


La stazione di Bolzaneto presenta i valori più elevati ad esclusione di alcuni giorni di gennaio in cui è superata da Corsi e a fine periodo da Acquisola.

Risulta evidente il minor inquinamento per le stazioni di La Spezia e Imperia che occupano sempre la parte inferiore del grafico, mentre molto simili sono i valori per le stazioni di Genova e Savona.

Gli andamenti presentano episodi di maggior inquinamento nei giorni:

- 14 gennaio 2003
- 21 febbraio 2003
- 26 febbraio 2003



- 18 marzo 2003

In tali giornate (tutte lavorative), si evidenzia come le medie giornaliere aumentino in maniera sensibile, e, soprattutto, in tutte le stazioni in maniera sincrona.

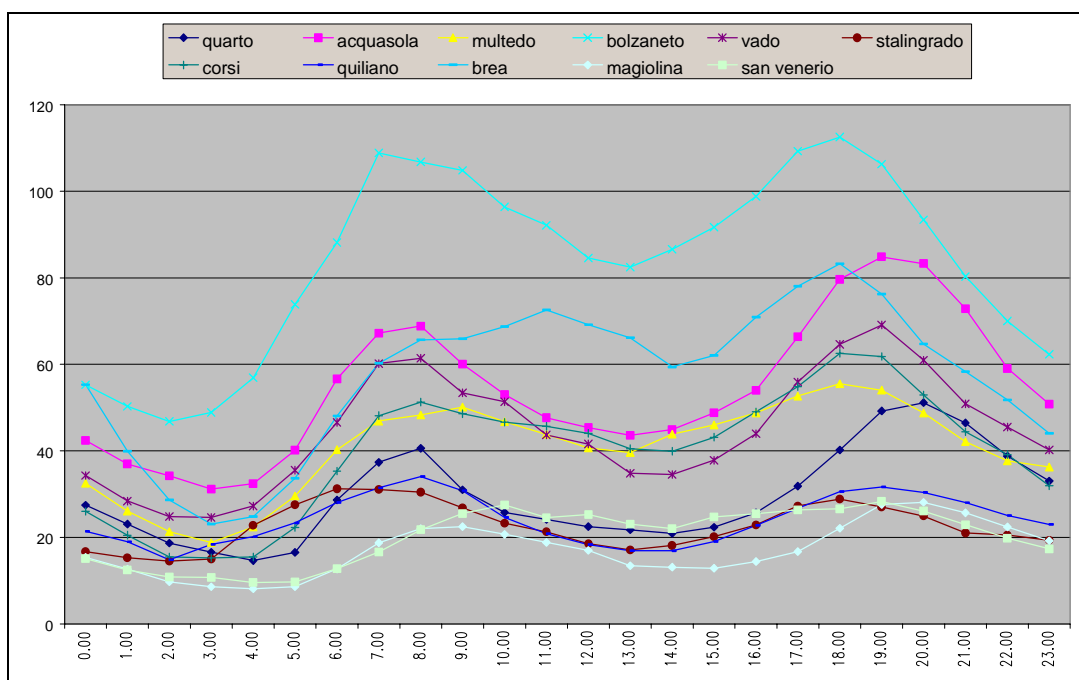
In effetti vi sono altri episodi in cui le concentrazioni aumentano in maniera ancor più evidente, ma paiono essere eventi locali in quanto non visibili sulle altre stazioni.

Questi casi sono stati esaminati singolarmente in dettaglio con lo scopo di individuare e caratterizzare le condizioni meteorologiche tipiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti atmosferici sulla regione per la stagione invernale.

Va inoltre evidenziato come le ultime due settimane di marzo 2003 sono caratterizzate da un livello di concentrazione superiore alla media del periodo. Nell'ambito di questa tendenza generale, che può essere ricondotta alla situazione sinottica, si osserva una variazione a scala giornaliera che sembra essere legata alle specifiche condizioni locali. In particolare, mentre in alcune stazioni si individuano due picchi distinti di concentrazione, intervallati da un minimo centrato sul fine settimana, in altre si ha un unico periodo di concentrazioni superiori alla norma, caratterizzato da una variabilità intergiornaliera molto ridotta. Queste situazioni necessitano di indagini più approfondite, che consentano di valutare adeguatamente l'andamento delle concentrazioni in funzione delle caratteristiche, in particolar modo geografiche e topografiche, del sito di misura.

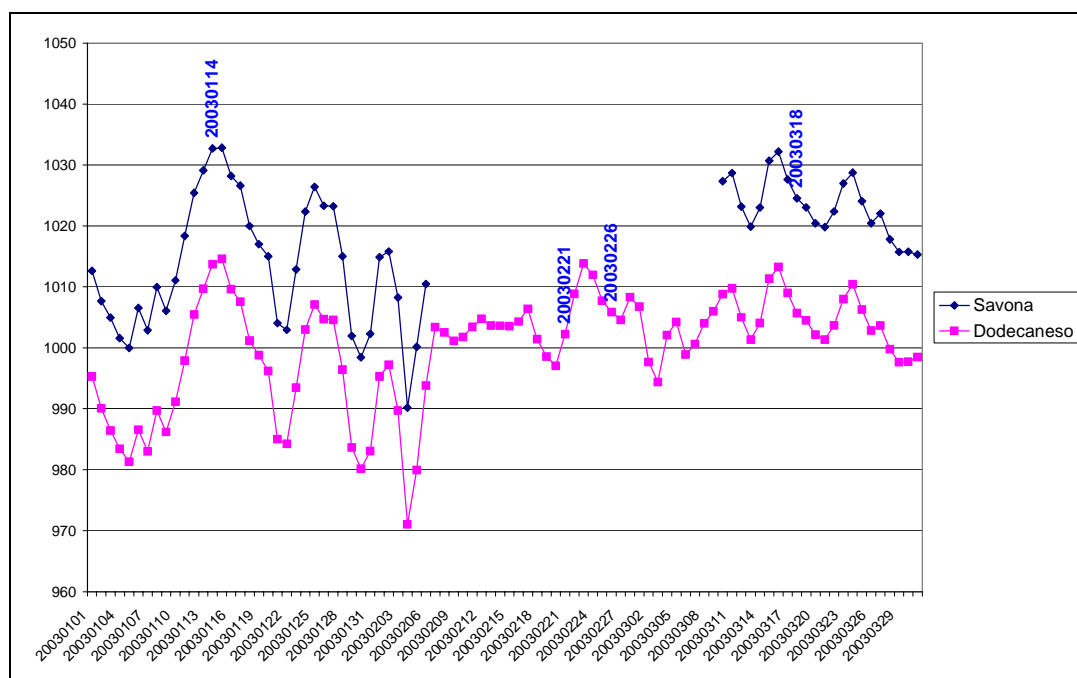
L'analisi dei dati su scala settimanale evidenzia una tendenza all'accumulo di inquinanti nel corso della settimana lavorativa (con punte massime tra Giovedì e Venerdì) ed un successivo crollo delle concentrazioni tra il Sabato e Domenica, che si ripropone ciclicamente per tutto il periodo d'indagine: tale andamento appare legato ad una riduzione delle attività produttive oltre che alla diminuzione del traffico veicolare urbano.

L'andamento orario tipo per il periodo in esame mostra una notevole similitudine per tutte le stazioni, con la doppia modulazione giornaliera, una alle 8:00 e l'altra mediamente attorno alle 18:00. L'unica stazione che appare leggermente differente da questo punto di vista è Brea, dove la doppia modulazione appare debole e non molto formata.





Apparentemente tutte le situazioni di “inquinamento” prese in considerazione sono caratterizzate da campi di pressione al suolo sufficientemente livellati e con valori piuttosto elevati, come mostrato nella figura sottostante.



Si nota però che, se questo è vero per il primo episodio, per gli altri non è così fondante, in quanto esistono altri periodi in cui la pressione al suolo risulta elevata ma non si osservano episodi di inquinamento acuto e generalizzato. Osservando il campo di temperatura, però, si nota come ai casi presi in esame corrisponda un repentino aumento della temperatura media giornaliera.

Queste considerazioni evidenziano situazioni critiche diverse tra regioni continentali e regioni marine: infatti in Pianura Padana si osserva frequentemente come il ristagno dell'aria e quindi degli inquinanti atmosferici sia sempre favorito dalla presenza di un campo anticiclonico, soprattutto se associato ad una significativa inversione termica (in particolare nei periodi invernali); in Liguria, invece, le condizioni sinottiche legate ad un campo anticiclonico non rappresentano una condizione necessaria e sufficiente a spiegare il significativo accumulo degli inquinanti registrato in alcuni casi. Infatti, nella stagione invernale accade che valori di pressione significativamente alti (al suolo), siano invece associati ad un rinforzo del gradiente barico (e quindi della circolazione dai quadranti settentrionali). Tale condizione si verifica con una certa frequenza: un aumento della pressione ai bassi livelli determina l'instaurarsi di un significativo rinforzo delle correnti di Grecale (tra Est e Nord-Est), in particolare a Ponente e sul Genovese. Ne consegue che masse d'aria più fredda e densa tendono a sconfinare dalla Pianura Padana verso i versanti tirrenici, determinando un deciso calo delle temperature e condizioni sfavorevoli all'accumulo degli inquinanti in atmosfera.

Infatti, non di rado sono stati registrati situazioni in cui l'aumento delle concentrazioni è stato meno significativo o ha mostrato un repentino calo, in anticipo rispetto al weekend: da un'analisi delle previsioni meteorologiche si è evidenziato come tali situazioni fossero legate ad un'improvvisa irruzione di correnti fredde o all'approssimarsi di un sistema frontale da occidente.

Un'analisi preliminare volta ad individuare la relazione esistente tra i valori di concentrazione di NO₂ e diversi parametri meteorologici ha rilevato che, quando viene presa in considerazione l'intera serie di dati, la nuvola dei punti è estremamente dispersa. Viceversa, una relazione significativa si evidenzia quando si opera soltanto su uno o due giorni della settimana e si



analizzano i livelli di concentrazione che, in quel particolare giorno, si sono registrati durante tutto il periodo indagato.

In particolare, conducendo l'analisi sui giorni di sabato e domenica, è emerso un legame significativo. Nello specifico, conformemente a quanto ci si deve attendere, si osserva una correlazione negativa tra la velocità del vento e la concentrazione di inquinante (coefficiente di correlazione pari a -0.8). Una correlazione emerge anche quando la stessa analisi viene condotta rispetto alla temperatura media giornaliera

Viceversa, da un'analisi preliminare sembrerebbe che le situazioni ad elevato accumulo possano essere favorite dalla coesistenza di una situazione anticiclonica ben strutturata a tutte le quote e di un gradiente livellato e debolmente anticiclonico (scarsa circolazione). Tali situazioni sinottiche sono associate ad elevata subsidenza e richiami di masse d'aria caldo-umida dal Nord-Africa con conseguente aumento delle temperature.

2.2. Conclusioni

L'analisi dei dati di concentrazione di NO₂ e la verifica meteorologica relativa ai casi di inquinamento, ha messo in evidenza che:

- non sembra che tale gas abbia particolari pattern di variazione mensili, stagionali né tantomeno annuali;
- non sono stati evidenziati fenomeni particolarmente acuti di inquinamento da NO₂ che si staccassero per durata ed intensità dall'andamento medio di tale gas;
- gli episodi più interessanti sono stati visualizzati durante il periodo freddo, o quanto meno, non durante i mesi estivi;
- negli episodi presi in esame esiste una parziale somiglianza nelle condizioni meteorologiche presenti, ovvero campi di alta pressione soprattutto al suolo più che in quota, dove sono state osservate strutture a volte non proprio simili tra di loro, pur restando la matrice di tipologia anticiclonica; a campi livellati di pressione con valori elevati accomuna questi episodi la buona radiazione al suolo (cielo poco nuvoloso) e la scarsa ventilazione; tale struttura inibisce una buona dispersione verticale degli inquinanti in particolare è critica per gli inquinanti emessi vicino al suolo (es. traffico veicolare) che sembrano caratterizzare in modo dominante i dati rilevati della rete di monitoraggio;
- spesso (ma non sempre) durante situazioni di inquinamento superiore alla media, si riscontra un gradiente di temperatura positivo, ovvero una situazione in cui la differenza di temperatura nel tempo cresce positivamente;
- non è stato possibile mostrare che ad evidenti aumenti di pressione al suolo si siano riscontrati parziali aumenti nei valori di concentrazione di NO₂ (la condizione "alta pressione" è condizione necessaria ma non sufficiente per l'aumento nei valori di inquinamento)

Sarebbe fondamentale avere dei dati di profilo termodinamico per poter verificare eventuali subsidenze di masse d'aria più calde associabili a tali aumenti.



3 Condizioni meteorologiche sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti secondari

L'esame dei dati si è concentrato sui rilevamenti di ozono (O₃) nel periodo 1998-2003 in alcune stazioni delle reti di rilevamento della qualità dell'aria della regione Liguria. La scelta è basata sulla considerazione che l'ozono è uno degli inquinanti secondari più critici rispetto ai limiti di legge e si dispone di serie di dati sufficientemente lunghe.

L'esame delle serie temporali di lungo periodo si è basata sulle misure della postazione di Quarto disponibili dal 1997 al 2003.

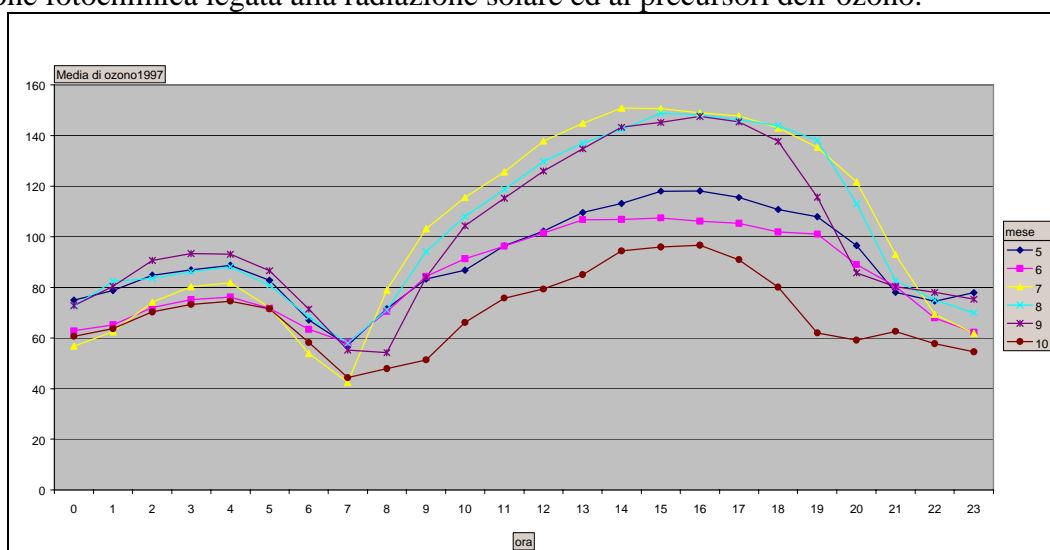
Sono stati quindi analizzati alcuni episodi di inquinamento fotochimico osservati durante le estati 2002 e 2003.

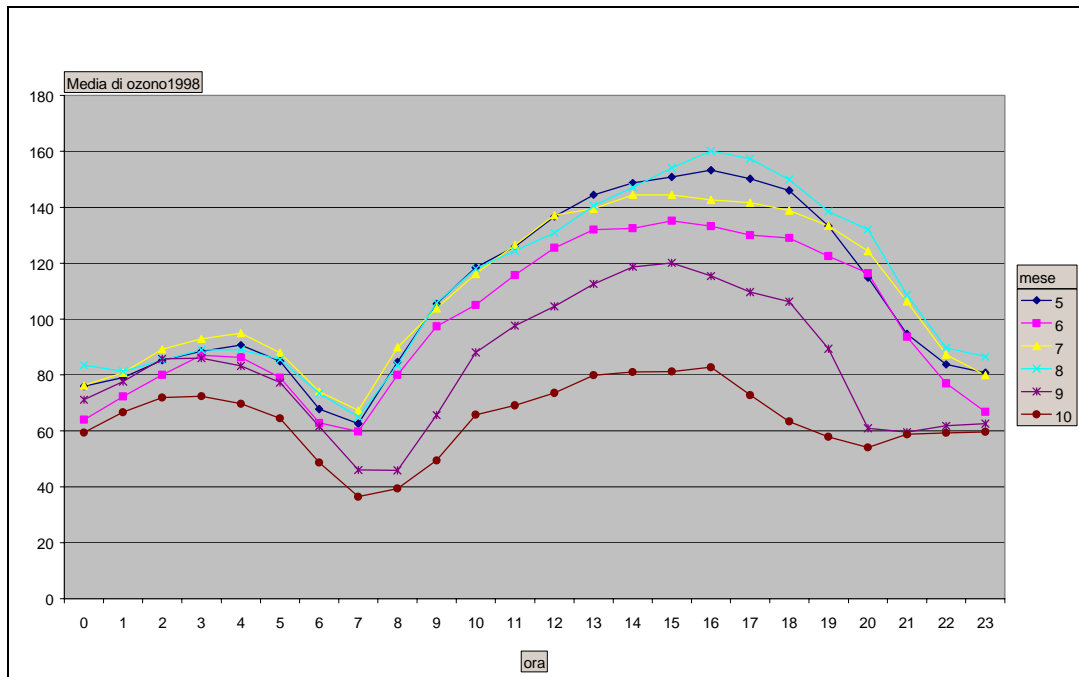
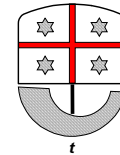
Per quanto riguarda le informazioni meteorologiche sono stati utilizzati i dati locali della postazione di Genova Dodecaneso, mentre, per le informazioni meteorologiche a mesoscala e scala sinottica si è fatto uso delle immagini da satellite e dei campi meteorologici prodotti dal modello Bolam.

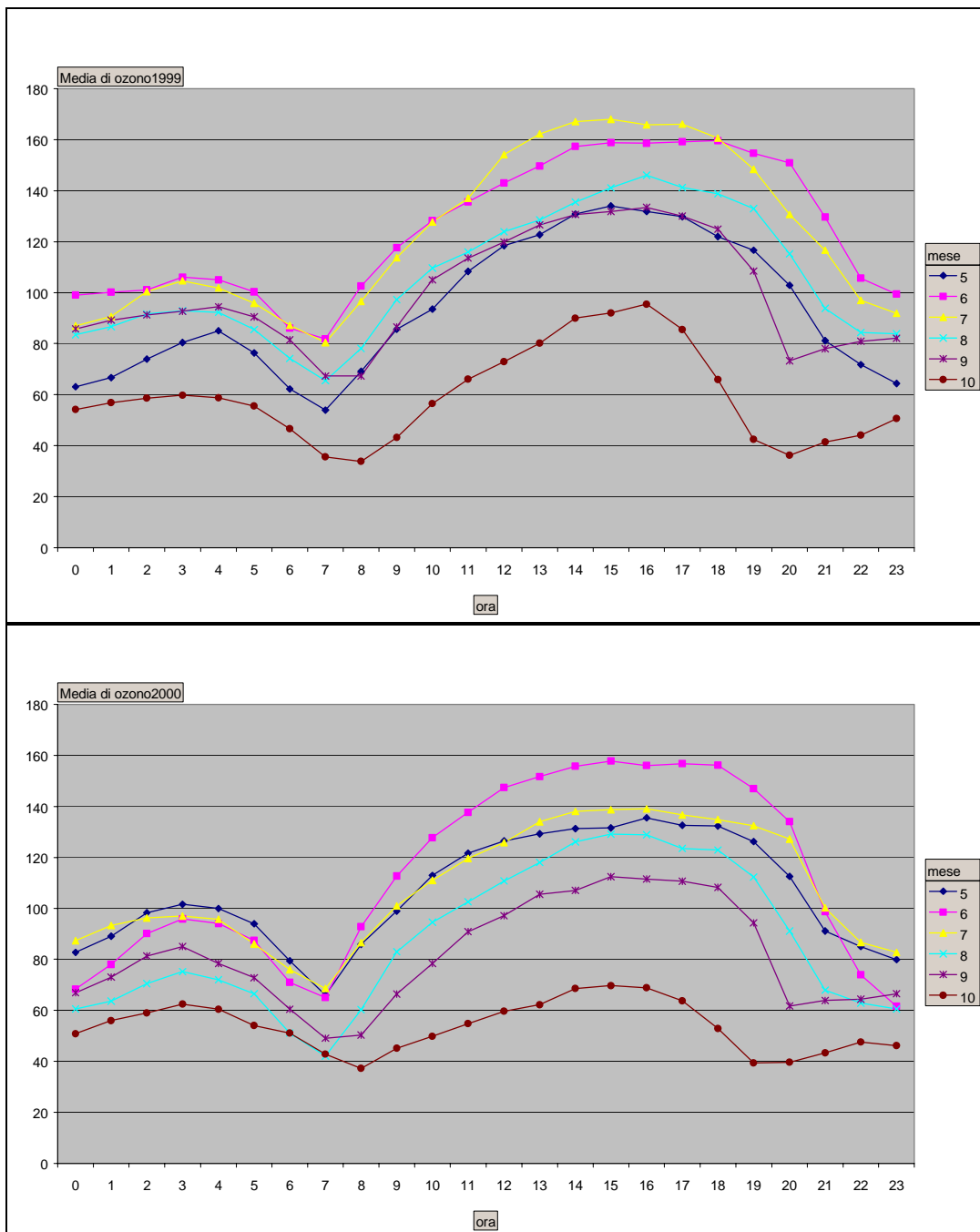
3.1. Analisi delle misure di ozono nella postazione di Quarto, 1997-2003

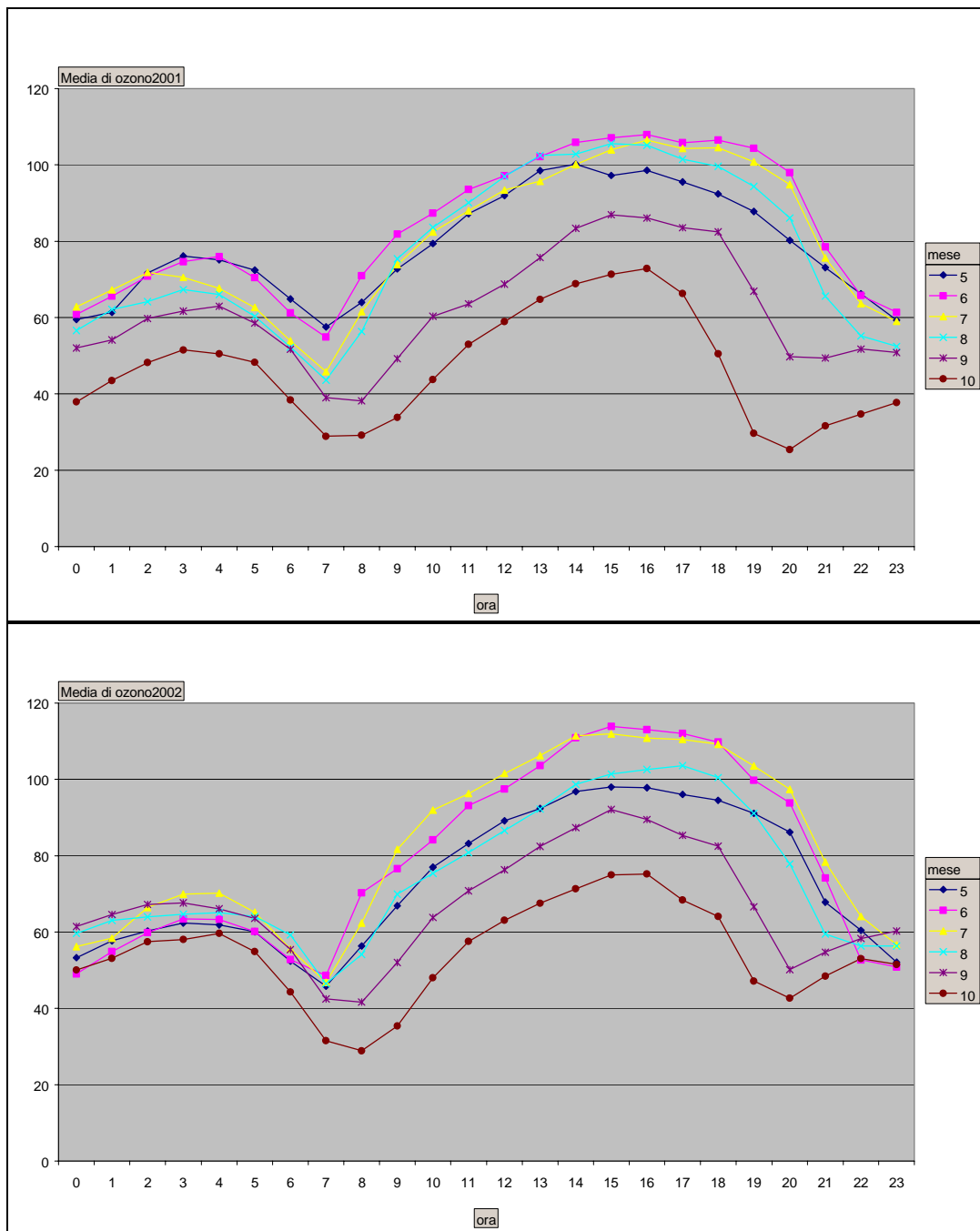
L'analisi della media dei dati orari mensili evidenzia per tutte le annate prese in esame la bimodalità dell'andamento orario dell'ozono, con un massimo assoluto nelle ore centrali della giornata, tra le 14 e le 16, correlato con la produzione fotochimica, ed un massimo relativo durante le ore notturne, tra le 3 e le 4 della mattina, legato probabilmente ad un trasporto di ozono dall'Appennino ligure dovuto alla brezza di monte. Le figure seguenti riportano le medie orarie (giorni tipo) per i mesi estivi di ognuno degli anni presi in considerazione.

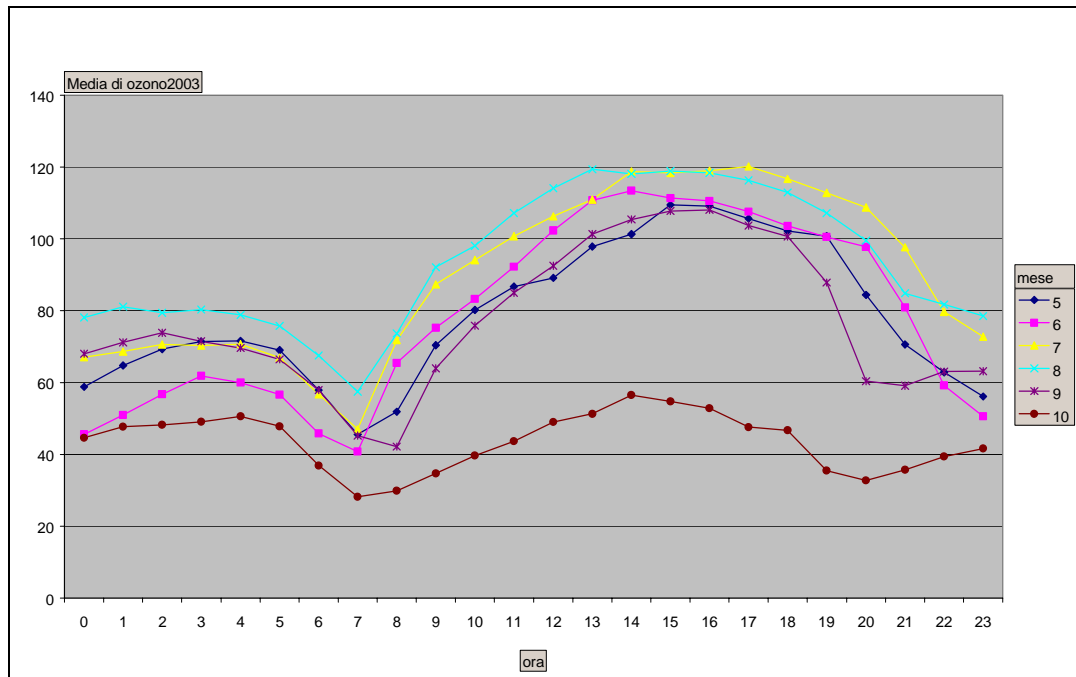
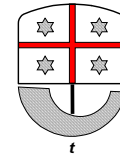
I valori orari più elevati in tutte le annate si osservano nei mesi di giugno o luglio, mentre i valori meno elevati sono sempre durante il mese di ottobre, andamento questo piuttosto tipico legato alla produzione fotochimica legata alla radiazione solare ed ai precursori dell'ozono.



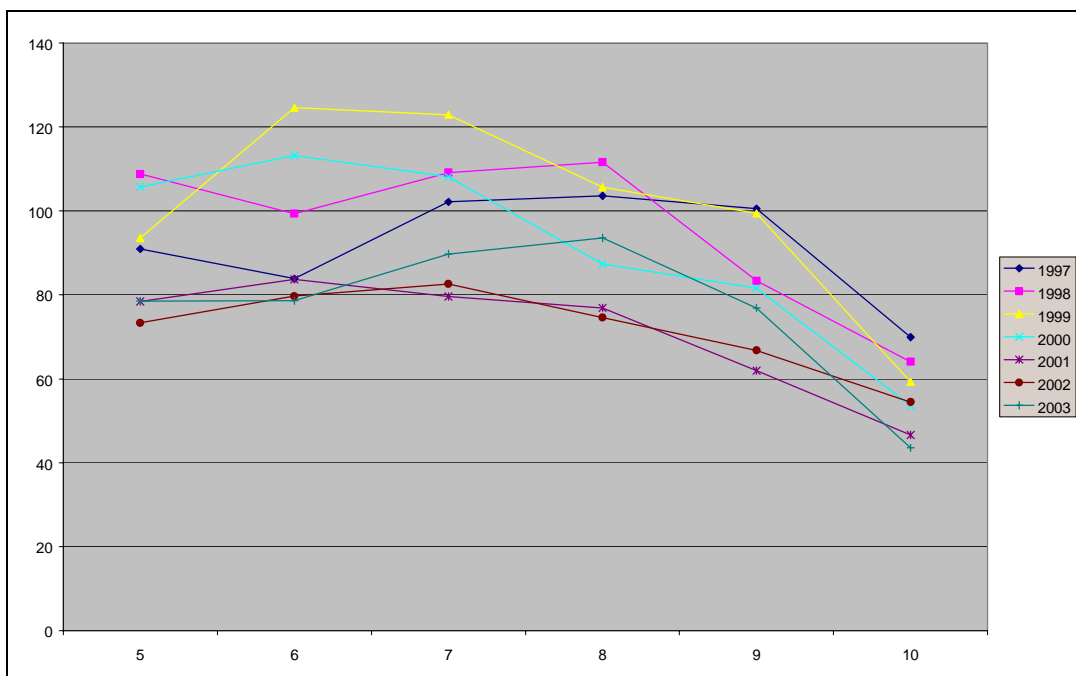




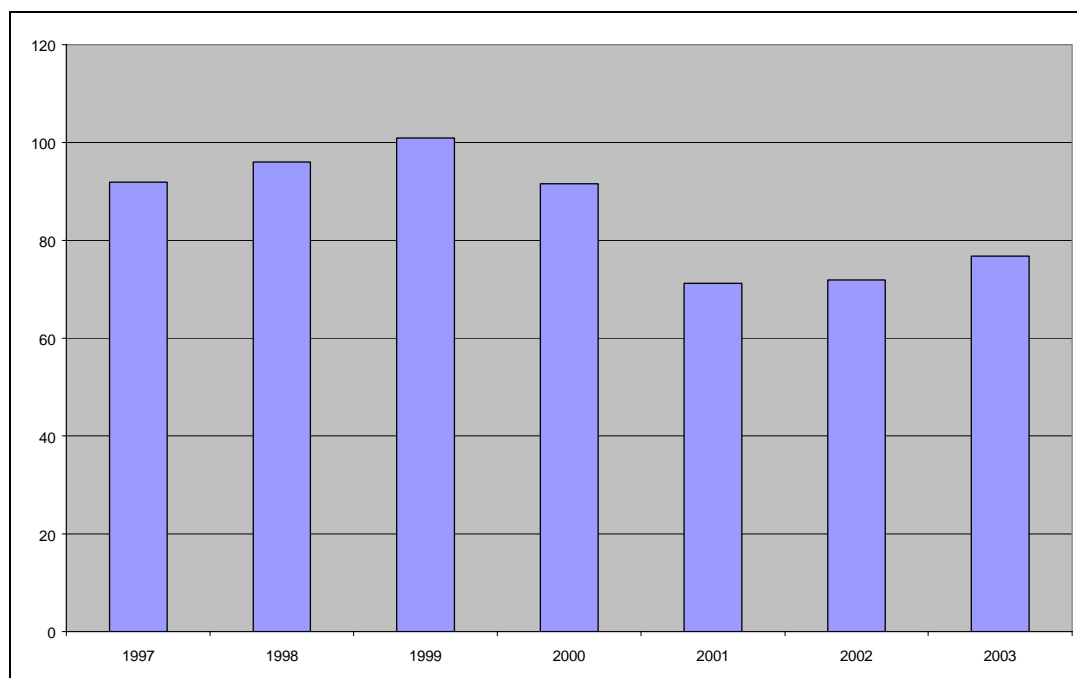




Gli andamenti delle medie mensili, illustrati nella figura seguente, mostrano i valori massimi tra giugno ed agosto. In particolare, tra il 1999 ed il 2001 il massimo mensile si osserva a giugno; tra il 97 ed il 98 e nel 2003 il massimo si osserva ad agosto, mentre nel 2002 il massimo si osserva a giugno.



I valori medi annuali di ozono mostrano una generale tendenza alla diminuzione sulla finestra temporale presa in esame.



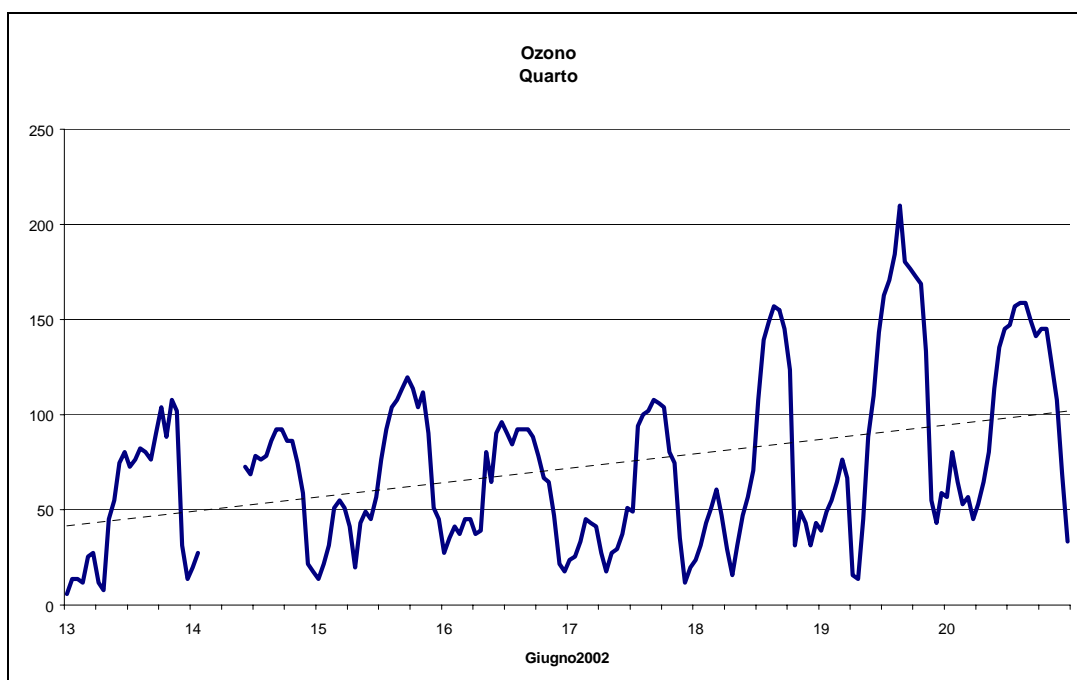
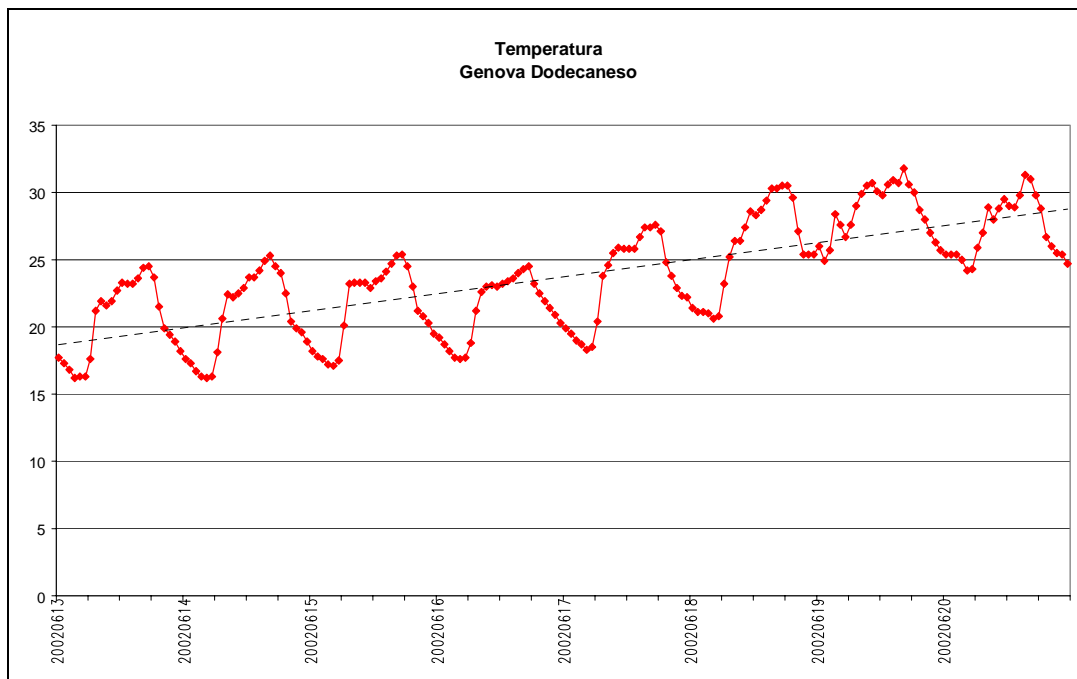
Viene riportato come esempio tipico di situazione critica per gli inquinanti secondari l'episodio relativo al periodo 12-20 giugno 2002.

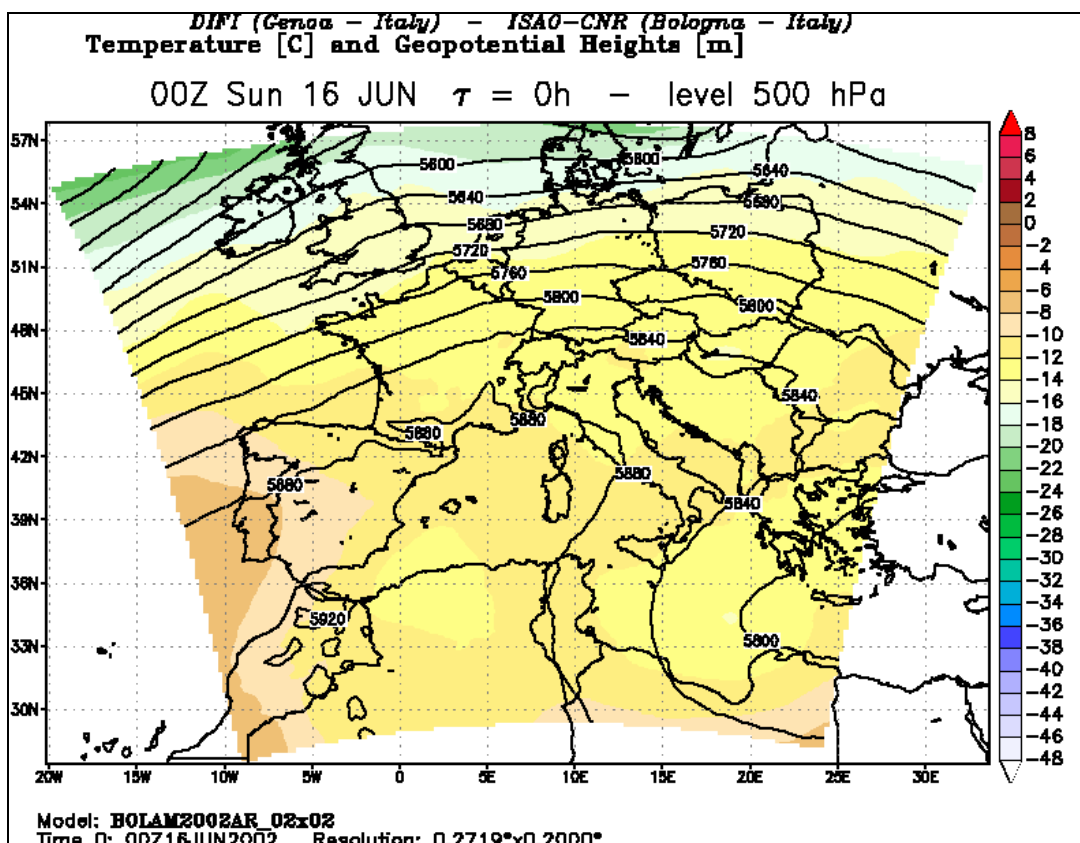
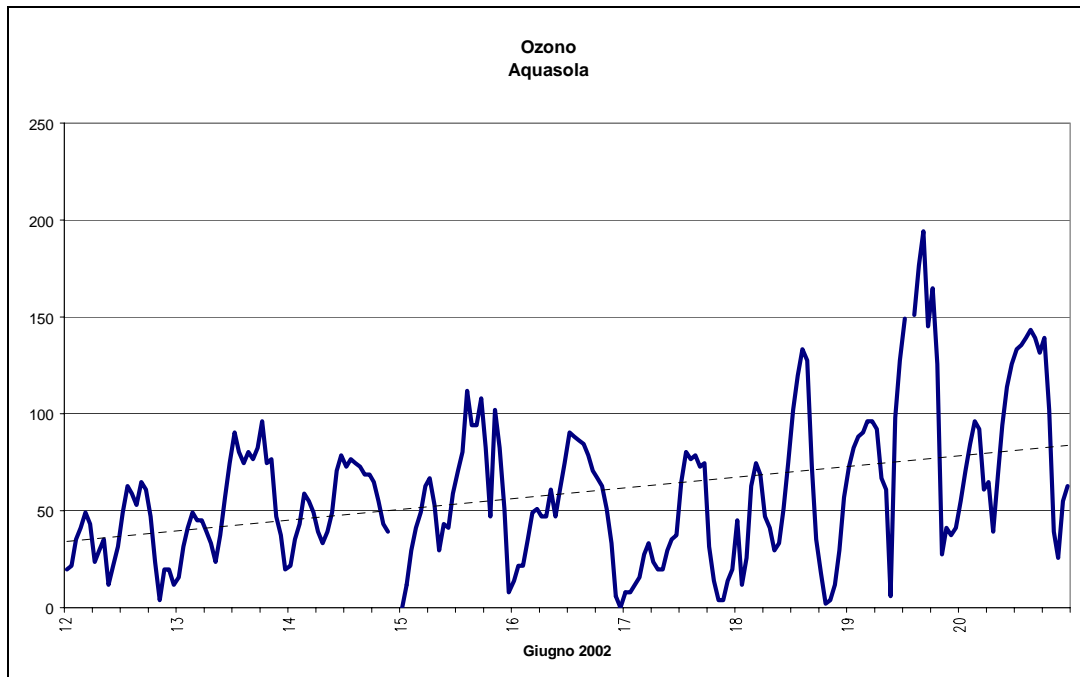
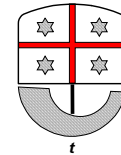
In questo periodo è ben visibile un fenomeno di accumulo di ozono, le cui concentrazioni aumentano costantemente nel corso dei diversi giorni. Il fenomeno si riscontra in tutte le postazioni della rete.

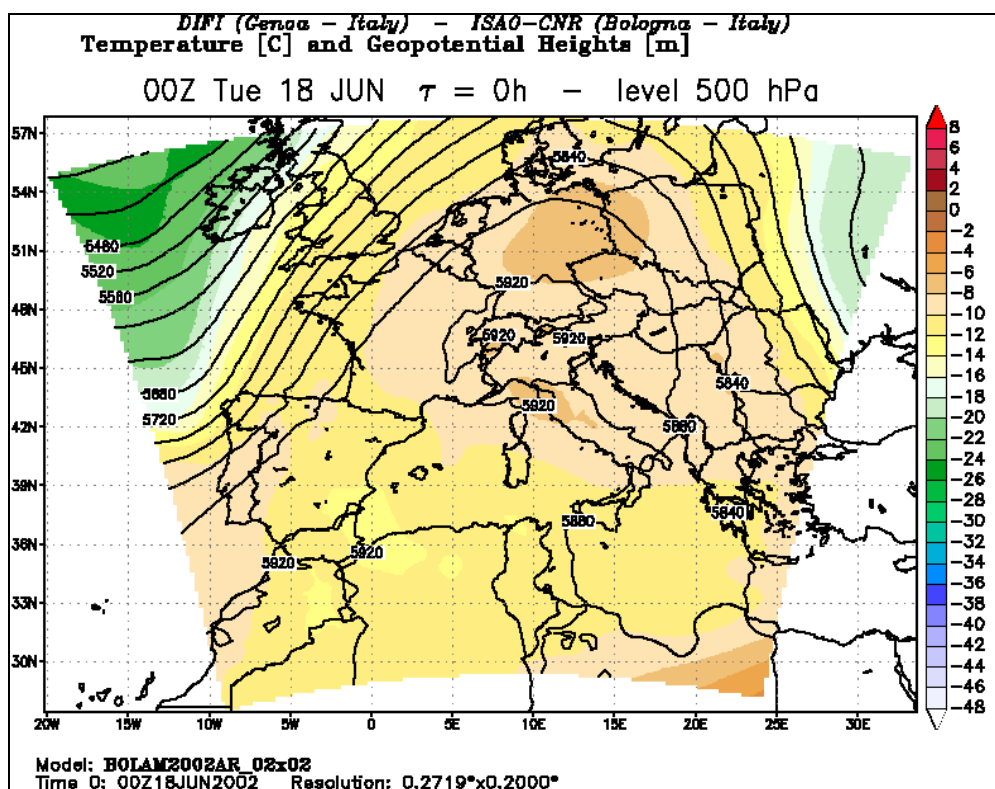
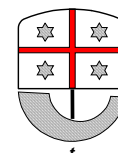
Queste situazioni di accumulo di ozono sono caratterizzate generalmente dalla presenza di strutture anticicloniche persistenti associate a condizioni di elevata subsidenza con aumento della temperatura a tutte le quote. In tali condizioni quello che accade è che i processi antagonisti alla formazione di ozono durante la notte non risultano essere molto efficaci, e di conseguenza la produzione fotochimica della giornata si sovrappone all'ozono non distrutto durante la notte, a formare accumulo.

Come è possibile osservare dalle figure seguenti, che riportano i campi di geopotenziale e temperatura a 500 hPa per i giorni 16 e 18 giugno alle 0 UTC, è visibile un notevole aumento di temperatura determinato appunto da una struttura anticiclonica di origine africana ben consolidata a tutti i livelli. Il fenomeno è confermato dalla crescita delle temperature al suolo registrata dalla postazione di Dodecaneso.

E' visibile anche un aumento nelle concentrazioni medie giornaliere di NO₂ presso le stazioni di Bolzaneto, corso Firenze, Multedo, e Quarto.







3.2. Considerazioni

L'analisi preliminare dei dati orari e giornalieri di O₃ relativi alle stazioni di Quarto e Aquasola ha messo in evidenza quanto segue:

- gli andamenti orari di ozono nelle due stazioni sembrano possedere una spiccata bimodalità, con un massimo notturno sicuramente di origine avvevativa, ed un massimo diurno di natura fotochimica;
- l'andamento dei valori medi mensili risulta in accordo con i dati di molte stazioni di misura di O₃ presenti in Italia, con tendenza ad un massimo estivo collocato tra giugno ed agosto;
- si riscontra una tendenza alla diminuzione dei valori medi annuali di ozono, nel corso del periodo esaminato (1977-2003);
- sono stati messi in evidenza alcuni casi di accumulo "fotochimico" tipico dei periodi estivi, le condizioni meteorologiche associate a tali eventi sono caratterizzate generalmente dalla presenza di strutture anticicloniche persistenti, con aumento della temperatura a tutte le quote e subsidenza sia a scala sinottica che locale.

L'andamento ed il trasporto di ozono nel periodo estivo è legato anche ai regimi di brezza, dominanti a scala locale nel periodo caldo, con un'alternanza giornaliera tra la circolazione di mare e quella di terra; l'andamento bimodale dell'inquinante, strettamente legato alla radiazione solare, sembra risentire di questo cambio di circolazione tra il giorno e la notte. Sarebbe importante individuare e selezionare alcune stazioni ritenute più rappresentative della reale circolazione delle masse d'aria sul capoluogo (come ad esempio Cogoleto), anche attraverso un'attenta analisi della topografia, fattore che in una regione come la Liguria gioca un ruolo molto importante nella concentrazione e dispersione degli inquinati.