

**Zeitschrift:** Bollettino della Società ticinese di scienze naturali  
**Herausgeber:** Società ticinese di scienze naturali  
**Band:** 79 (1991)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Inquinamento atmosferico invernale nel Ticino : effetti di trasporto orizzontale  
**Autor:** Ambrosetti, Paolo / Boffa, Gianni  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1003360>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## **INQUINAMENTO ATMOSFERICO INVERNALE NEL TICINO: EFFETTI DI TRASPORTO ORIZZONTALE**

**PAOLO AMBROSETTI**

Osservatorio Ticinese - Istituto Svizzero di Meteorologia  
6605 Locarno-Monti

**GIANNI BOFFA**

Sezione energia e protezione dell'aria  
Dipartimento cantonale dell'ambiente - 6500 Bellinzona

---

### **RIASSUNTO**

Vengono studiate qui le correlazioni tra la particolare situazione geografica del Ticino e l'inquinamento atmosferico invernale in funzione della meteorologia locale. In particolare si cerca di distinguere l'effetto dovuto alle sorgenti indigene e l'apporto dell'avvezione esterna. L'analisi di una settimana del febbraio 1990 permette di mettere in luce diversi meccanismi di trasporto e di accumulo di inquinanti. Si cerca inoltre di stabilire delle zone differenziate per quel che concerne le concentrazioni massime misurate in base all'orografia e posizione rispetto alle sorgenti d'emissione.

### **SUMMARY**

We discuss here the relationships between the peculiar geographical position of the Ticino and the winter atmospheric pollution with respect to the local meteorology. We try also to distinguish the contribution of the local sources and those of the external advection. The analysis of a week during February 1990 shows the different transport and accumulation mechanisms of pollutants. We propose a differentiation of regions with respect to the maximal concentration of pollutants on the basis of the orography and position to the emission sources.

### **INTRODUZIONE**

A causa del maggior carico ambientale degli ultimi anni e la crescente preoccupazione da parte della popolazione, autorità e comunità scientifica per l'inquinamento atmosferico sono state messe in esercizio stazioni di misura e si sono avviati studi su questo delicato e complesso problema. Se da un lato le emissioni di gas inquinanti hanno un peso notevole, la meteorologia gioca un ruolo determinante nelle concentrazioni che questi gas possono raggiungere. In AMBROSETTI et al., 1987; JOSS et al., 1988 già si aveva affrontato il problema in termini generali, rispettivamente più localizzati. Nel frattempo le misure da parte delle stazioni cantonali della Sezione energia e protezione dell'aria sono continuate con un maggior numero di punti misura. Contemporaneamente la collaborazione tra le due istituzioni a cui appartengono gli autori ha permesso di avanzare nella comprensione dei meccanismi che determinano le situazioni critiche. Lo scopo è quello di poterle prevedere in anticipo onde poter prendere delle misure o almeno per poter avvertire autorità e popolazione. Inoltre si cerca di distinguere e quantificare gli effetti della produzione locale e degli apporti esterni.

Possiamo distinguere chiaramente un periodo estivo e uno invernale per l'inquinamento atmosferico, dove le concentrazioni critiche interessano generalmente gas differenti e sono determinate da situazioni meteorologiche distinte. In questo lavoro ci soffermeremo principalmente sulle situazioni invernali, analizzando in particolare una sequenza di giorni in cui si sono verificati diversi meccanismi di distribuzione e concentrazione degli inquinanti. La scelta

del periodo non è stata casuale: normalmente i processi di trasporto e concentrazione dipendono da molti fattori in parte antagonisti, per cui l'effetto di ciascuno di essi è difficilmente riconoscibile. Nel caso in questione alcuni fenomeni di trasporto sono apparsi in un certo senso «puri» tanto da poter essere distinti. Purtroppo questo si verifica raramente, ciò che appunto rende difficile per il momento una previsione attendibile.

## ASPETTI OROGRAFICI E SITUAZIONI METEOROLOGICHE

La complessa orografia del cantone Ticino ha un influsso molto importante sulla stratificazione verticale dell'atmosfera, sui movimenti d'aria in occasione di regimi di brezze, inibendo, rispettivamente favorendo, la concentrazione o la diluizione delle sostanze inquinanti nello strato limite dell'atmosfera.

Possiamo suddividere a questo proposito la nostra regione nelle seguenti zone d'influsso:

1. le valli del Sopraceneri (Leventina, Blenio, Maggia, Verzasca, Onsernone, Centovalli e parzialmente anche la Riviera);
2. il Piano di Magadino (Locarnese, Bellinzonese e parte della Val Riviera);
3. la conca di Lugano, la piana del basso Vedeggio, il Pian Scairolo e la piana del Laveggio;
4. il basso Mendrisiotto (la conca di Chiasso e la campagna Adorna)
5. il resto del Sottoceneri (le valli, le zone collinari sopra i 400-600 m).

Questa suddivisione è senz'altro grossolana e può apparire arbitraria, inoltre a seconda delle circostanze dovrebbe essere modificata. Possiamo comunque adottarla come ipotesi di lavoro. In effetti in ciascuna di queste zone primeggiano diversi meccanismi di trasporto delle masse d'aria, rispettivamente agiscono sistemi di blocco della circolazione e del rimescolamento. Possiamo prendere come regola generale il fatto che le situazioni d'inquinamento più critiche si verificano quando l'aria resta praticamente immobile per diversi giorni, senza che ci sia un rimescolamento verticale (ossia casi d'inversione termica marcata, senza vento). In questo modo le emissioni locali si accumulano giorno dopo giorno. Le concentrazioni di partenza, ossia prima che si instauri un forte anticiclone, contribuiscono però a determinare i valori massimi. Per questo motivo i meccanismi di trasporto, soprattutto orizzontale, possono giocare un ruolo apprezzabile sulle concentrazioni elevate finali dopo un periodo di accumulo.

Nella nostra regione non esistono grosse sorgenti inquinanti puntiformi, quali potrebbero essere delle centrali termoelettriche o altre industrie di notevoli dimensioni. D'altra parte però le emissioni a volte restano comprese in un volume d'aria molto ridotto a causa delle condizioni meteorologiche e della presenza di fondivalle o conche di dimensione limitata. Ciò determina una concentrazione d'inquinanti piuttosto elevata in zone relativamente circoscritte.

A livello sinottico le condizioni anticicloniche favoriscono la formazione di inversioni termiche permettendo una stratificazione molto stabile della bassa troposfera. Le conche e le zone pianeggianti in generale si trovano quindi a sopportare delle concentrazioni elevate. Le valli o più generalmente le regioni collinari con pendii soleggiati, sono in parte favorite per l'insorgere di brezze termiche che permettono un trasporto verticale delle masse d'aria e di conseguenza una maggior diluizione degli inquinanti. Un caso particolare, fortunatamente poco frequente (es: febbraio 1989), si verifica in condizioni di sbarramento da sud, ossia quando una sovrappressione a meridione delle Alpi spinge le masse d'aria provenienti da sud, e quindi piuttosto umide, verso la catena alpina. L'afflusso d'aria più calda in quota determina una stratificazione molto stabile. Inoltre la coltre nuvolosa compatta riflette gran parte della radiazione solare, inibendo lo sviluppo di brezze.

La suddivisione della nostra regione è quindi determinata da questi meccanismi di accumulo, rispettivamente di diluizione delle emissioni. Passiamo quindi in rassegna le zone scelte e vediamo come reagiscono le immissioni nelle situazioni anticicloniche con la presenza di una inversione termica:

1. Le valli del Sopraceneri:

La presenza di pendii generalmente soleggiati durante le fasi d'alta pressione permette un rimescolamento verticale sufficiente a diluire le emissioni relativamente di poca entità. Con la brezza di monte, molto importante d'inverno, l'aria tende ad essere respinta verso i fondivalle e verso meridione dall'afflusso d'aria pulita proveniente dall'alto. Inoltre il centro dell'anticiclone si trova spesso sulle Alpi e al nord di esse, in modo che la sussidenza che

ne risulta convogliata aria pulita verso il basso. L'eccezione è rappresentata dai fondivalle, spesso ombreggiati durante l'inverno quando il sole è basso sull'orizzonte, e dove l'inversione termica non riesce sempre ad essere rotta in giornata. Particolarmente critica può risultare la bassa Leventina, dove le industrie di Bodio rappresentano una sorgente relativamente importante d'inquinanti.

2. Il Piano di Magadino:

Il pendio destro del Ticino, rispettivamente del Verbano, gode di una buona esposizione che favorisce lo sviluppo delle brezze termiche di tipo valle-monte. Inoltre la presenza del lago permette quelle terra-acqua che si sommano alle altre. Solo in casi di forti inversioni basse (p.e. nei giorni precedenti il Natale 1987) e nei giorni con un'irraggiamento solare ridotto (vicino al solstizio invernale) si può verificare una concentrazione d'inquinanti importante (cfr. AMBROSETTI, 1988).

3. Ceresio e zone limitrofe:

Per certi aspetti la situazione è simile a quella del Piano di Magadino a causa della presenza del Ceresio. L'assenza delle grandi valli e la maggior lontananza dalla catena principale delle Alpi fa sì che le brezze notturne di monte proveniente dalle Alpi non riescono a raggiungere queste zone, ossia scavalcare il Monte Ceneri e di conseguenza il ricambio d'aria è minore. Il maggior carico inquinante dovuto alla zona urbana luganese favorisce perciò delle concentrazioni più elevate (cfr. p.e. DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, 1990 e BUWAL, 1990). Inoltre queste regioni restano più frequentemente nella zona d'influenza dell'inversione invernale sulla Pianura Padana.

4. Basso Mendrisiotto:

In questa zona l'effetto alpino diventa minimo, mentre quello dell'inversione sulla Padana predominante. La conca di Chiasso favorisce la formazione di un lago d'aria fredda con un'inversione bassa più persistente. Quando sulla vicina Pianura padana si verificano delle nebbie persistenti (a causa dell'effetto anticiclonico), che impediscono il riscaldamento del suolo, i trasporti orizzontali sono praticamente assenti. Spesso però sono preceduti da una fase avvertiva che dà una «buona base» di partenza al carico inquinante.

5. Sottoceneri collinare:

Queste zone si trovano spesso sopra l'inversione bassa e sopra le sorgenti più importanti. Esse restano comunque sotto l'inversione principale, che risulta visualizzata da uno strato di nuvolosità bassa o foschia. Anche durante il semestre invernale i pendii soleggiati favoriscono lo sviluppo di brezze termiche che rimescolano l'aria.

In presenza di emissioni locali importanti, quali per esempio strade di grande traffico, si possono misurare concentrazioni maggiori che nella regione circostante (cfr. DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, 1990). Questo fatto deve essere tenuto presente, quando si cerca di stimare le possibili immissioni a partire dalla suddivisione proposta.

## **ANALISI DEL PERIODO 4-10 FEBBRAIO 1990**

Per mostrare la complessità dei fenomeni di trasporto e accumulazione degli inquinanti nella nostra regione abbiamo scelto la settimana dal 4 al 10 febbraio 1990. In un tempo limitato si sono verificate diverse fasi che illustrano abbastanza chiaramente il problema. Il tempo meteorologico è di per sé unico, cioè non si ripete mai esattamente nei suoi dettagli. In questo senso il periodo scelto non è tipico. Inoltre generalmente i diversi meccanismi che determinano i valori delle immissioni si sovrappongono, sommandosi o compensandosi a vicenda. Per questo motivo risulta normalmente difficile valutare singolarmente gli effetti. Comunque non è lo scopo di questo lavoro cercare di dare un approccio statistico climatologico come invece proposto da JOSS et al., 1988.

Vediamo dapprima la sequenza dei giorni dal punto di vista sinottico:

### **4 febbraio**

La notte passaggio di un fronte freddo poco attivo con sviluppo del favonio progressivamente fino in pianura. La nebbia presente viene spazzata e si ha un ricambio dell'aria da nord a sud. In giornata sviluppo di un forte anticiclone sulle Alpi e di conseguenza una forte sussidenza.

### **5 febbraio**

Bel tempo con sussidenza pronunciata. Debole foschia sul Piano di Magadino che permette di distinguere delle inversioni marcate. Inversione principale sopra Milano a ca. 600 metri.

### **6 febbraio**

Il centro dell'anticiclone si sposta verso est. In quota una corrente meridionale spinge aria calda e secca dal Mediterraneo alle Alpi. Questo rafforza l'inversione (a Milano sempre verso 600 metri).

### **7 febbraio**

Indebolimento dell'anticiclone. Afflusso da sud d'aria meno calda e più umida: la formazione di banchi nuvolosi diminuisce l'irraggiamento solare. Affievolimento delle brezze termiche. Inversione sopra Milano verso 500 metri. Nebbia compatta sulla Pianura padana.

### **8 febbraio**

Il calo della pressione sulla Francia dovuto all'avvicinarsi di un debole fronte freddo determina un gradiente isobarico sulle Alpi occidentali, ossia una caduta della pressione più rapida sulla Francia che sulla Pianura padana occidentale. In questo modo l'aria sulla Pianura padana viene spinta nelle vallate prealpine. Un'inversione costante attorno a 600 metri viene osservata sul Piano di Magadino.

### **9 febbraio**

Dopo il passaggio del fronte segue una corta fase di vento da nord (a Lugano circa 15 ore, a Chiasso solo 5). In seguito avviene il rientro dell'aria umida dalla Valpadana, dato che si riforma un cuneo di alta pressione a nord delle Alpi che determina una corrente da est sul versante sudalpino.

### **10 febbraio**

L'anticiclone si è ristabilito nella zona alpina con centro però sulle regioni orientali. Ristabilimento del regime di brezza.

In questo periodo la misura degli inquinanti atmosferici ha permesso di seguire la successione di tre fenomeni distinti: la variazione delle concentrazioni con un regime di brezza in presenza o meno di sorgenti locali, la penetrazione d'aria dalla Valpadana lungo la valle del Ticino l'8 febbraio e l'entrata del favonio e il ritorno dell'aria inquinata alla sua cessazione.

### **Regime di brezza**

In AMBROSETTI, 1988 è già stato analizzato questo fenomeno sul pendio sopra Locarno. In questo caso analizziamo i dati misurati a Chiasso e a Ispra. In prossimità della prima stazione esistono delle emissioni locali importanti, mentre vicino alla seconda le sorgenti locali sono molto deboli. La figura 1 mostra l'andamento giornaliero nelle due stazioni in condizioni di brezza termica.

A Ispra la concentrazione media di diossido d'azoto ha registrato un aumento a partire dal 4 febbraio, cioè da quando si è instaurato un anticiclone sulla nostra regione. Il ciclo giornaliero mostra un marcato aumento nella tarda mattinata e una altrettanto repentina diminuzione la sera. Il minimo notturno è passato da 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del 4 febbraio a 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del 7; il massimo in corrispondenza all'afflusso di aria dalla pianura circostante, da 85 a 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . L'aumento regolare della media giornaliera è dovuto all'accumulo degli inquinanti intrappolati sotto l'inversione termica rimasta più o meno costante verso 600 metri sopra Milano. Il ciclo giornaliero è dato dai minimi notturni determinati dalla discesa dai monti d'aria più pulita, contrapposti ai massimi pomeridiani quando le brezze di valle apportano aria più carica d'inquinanti dalla pianura. Spostandoci a Chiasso vediamo che l'andamento è simile con minimi passati da 33 a 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e massimi da 110 a 211  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  per il biossido d'azoto. I valori medi e soprattutto i massimi sono più elevati a causa delle emissioni locali dovute al traffico della regione, nettamente più intenso che quello di Ispra.

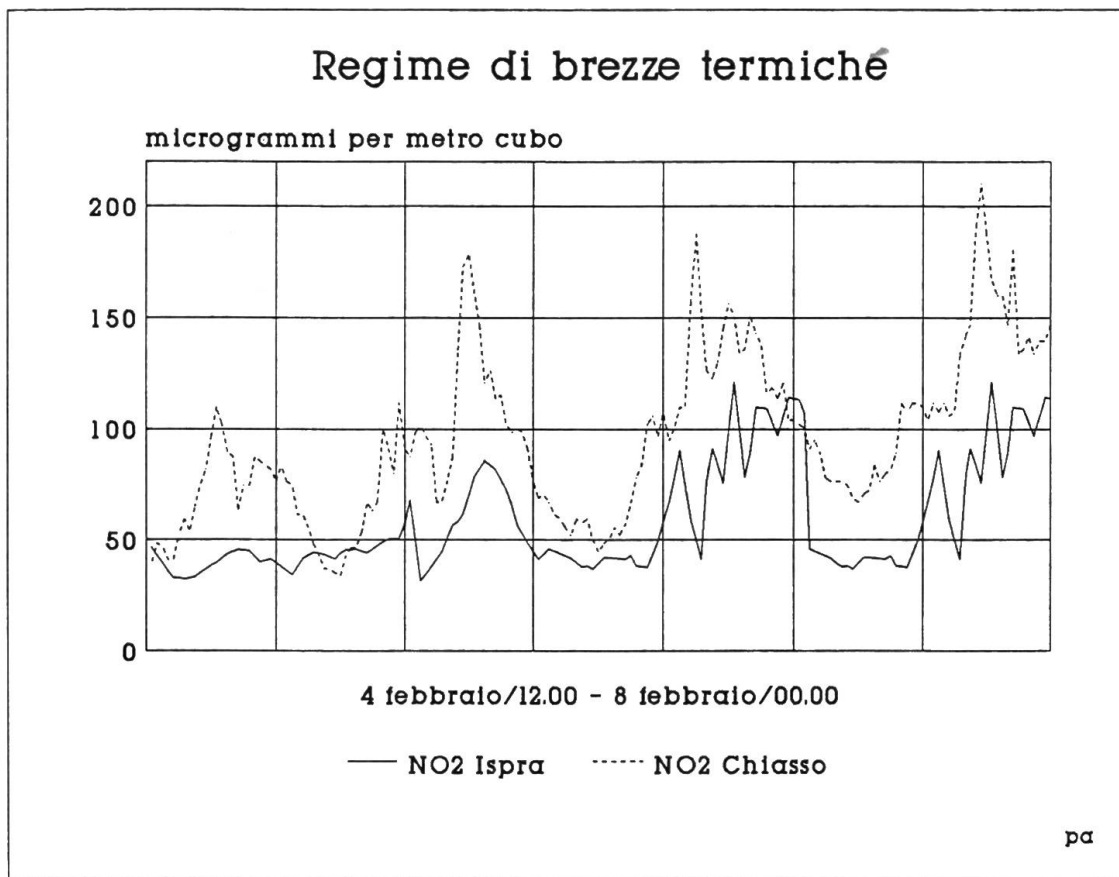


Figura 1

Viene mostrata l'evoluzione della concentrazione di biossido d'azoto ad Ispra e a Chiasso durante un periodo anticiclonico caratterizzato dalla presenza d'una inversione e un ciclo giornaliero di brezze termiche. A Chiasso i valori giornalieri sono più elevati a causa del maggior traffico. Le medie giornaliere vanno aumentando a causa dell'accumulo d'inquinanti.

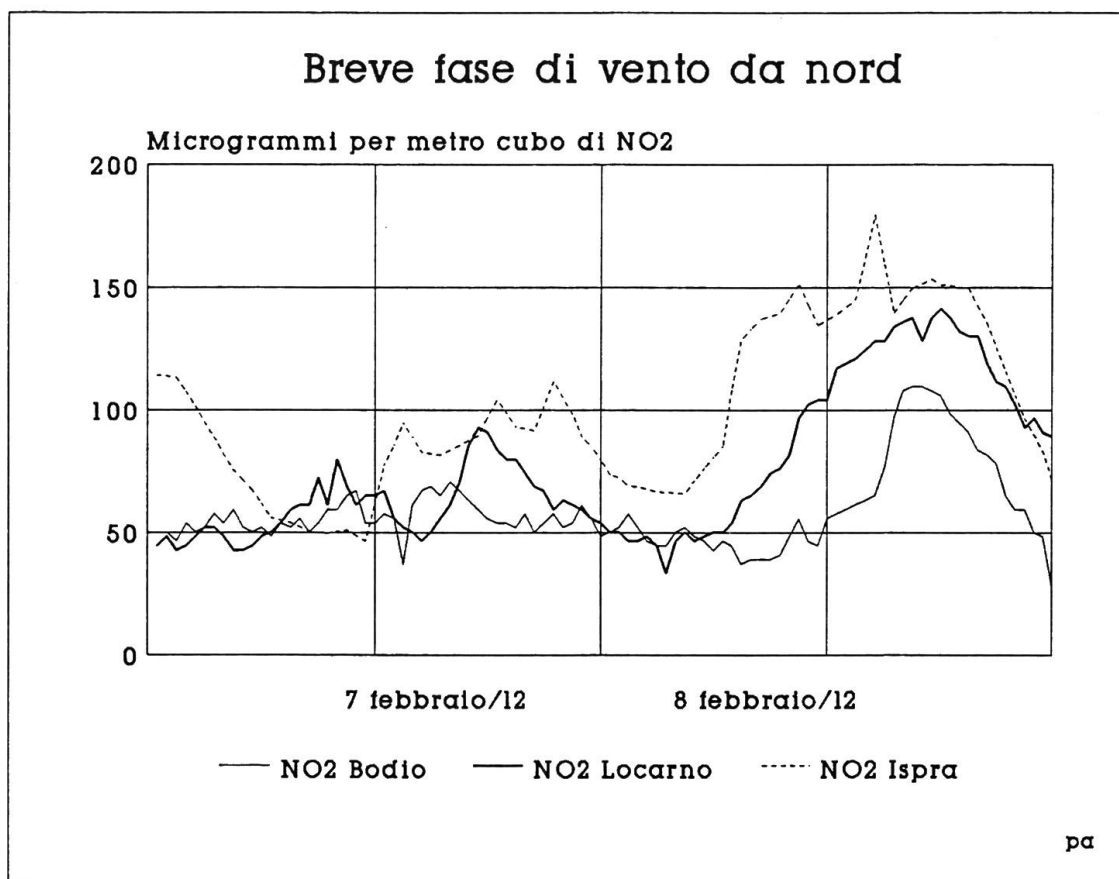
#### Penetrazione dell'aria inquinata nella valle del Ticino

Abbiamo visto sopra che l'8 febbraio una corrente più forte ha spinto aria dalla Valpadana nelle vallate prealpine. Vediamo come è stata osservata (figura 2):

A Locarno si è misurato un rapido aumento dell'umidità assoluta dell'aria con un calo della visibilità. Per tutta la giornata si osservava un limite della foschia attorno ai 600 metri. D'altra parte in poche ore la concentrazione di  $\text{NO}_2$  è passata da 60 a 130-150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , le polveri in sospensione da 40 a 130  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e il vento aveva una velocità media di 1.5-2 m/s. A Ispra, a circa 45 km da Locarno, è stato osservato lo stesso fenomeno con un anticipo di 7 ore. A 1.8 m/s si percorrono in quell'intervallo di tempo la distanza che separa i due punti di misura. Anche a Brione si è registrato un incremento delle concentrazioni in concomitanza con Locarno. A Bodio, circa 40 km più a nord lungo la valle del Ticino, 5 ore più tardi la concentrazione di  $\text{NO}_2$  saliva da 50 a 115  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Vediamo quindi che questa massa d'aria ha subito una diluizione minima a causa della presenza di un'inversione relativamente costante. La stazione di misura del Mottarone sopra Stresa, a 900 metri di quota, non ha registrato il benché minimo aumento delle immissioni al passaggio di questa corrente inquinante e solo parecchie ore dopo, cioè quando il rimescolamento verticale dovuto ad un leggero innalzamento dell'inversione ha permesso alla massa d'aria di salire fino alla stazione di misura, ha fatto registrare un aumento da 40 a 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  di biossido d'azoto.

Quest'esempio mostra molto bene che una massa d'aria può percorrere distanze anche relativamente lunghe senza subire forti diluizioni se persiste un'inversione piuttosto bassa che inibisce l'espansione e di conseguenza il rimescolamento della massa d'aria iniziale. Per questo





**Figura 2**

Il fenomeno della penetrazione d'aria piuttosto inquinata nella valle del Ticino sotto un'inversione costante viene qui illustrata dalle concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate ad Ispra, Locarno e Bodio. Il movimento della massa d'aria aveva una velocità quasi costante di circa 1.5-2 m/s.

motivo i valori di Ispra sono comparabili a quelli di Locarno. In seguito la corrente ha potuto dividersi tra la Valle del Ticino e la Valmaggia, la Mesolcina e la Val Blenio e raggiungendo Bodio i valori sono leggermente diminuiti.

#### **Fase di vento da nord e rientro della massa d'aria padana.**

Durante l'inverno in occasione di fasi d'inquinamento più o meno acute si aspetta il vento da nord, che con l'apporto di aria d'alta quota ripulisce ben bene la nostra regione. Anche otticamente ciò risulta ben chiaro: si passa da una visibilità ridotta ad una trasparenza perfetta nello spazio di poche ore. Durante la stagione invernale 89/90 abbiamo installato una camera fissa sulla torre dell'antenna PTT sul Monte Morello con vista su Chiasso. Abbiamo potuto osservare perciò l'entrata del favonio e il conseguente ritorno della foschia in questa zona il 9 febbraio. Abbiamo già ricordato sopra che a Chiasso questa fase di aria limpida è durata solo 5 ore. Il grafico 4 mostra l'andamento dell' NO<sub>2</sub> e dell' SO<sub>2</sub>. Il vento da nord persiste fino a quando c'è una spinta dovuta alla pressione più elevata a nord delle Alpi e continua grazie ad un certo impulso dinamico. Quando questo viene a mancare si forma una leggera depressione che favorisce il ritorno dell'aria preesistente. Il movimento è alquanto rapido: le immagini registrate al Monte Morello mostrano questo ritorno fulmineo, che abbiamo cercato di visualizzare con il disegno nella figura 5. Anche i dati relativi all'inquinamento mostrano una rapida diminuzione delle concentrazioni con l'arrivo del vento da nord, seguita dopo 5 ore da un altrettanto rapido aumento delle concentrazioni con la rotazione del vento a sud, fino a raggiungere valori comparabili a quelli precedenti l'arrivo del vento da nord.

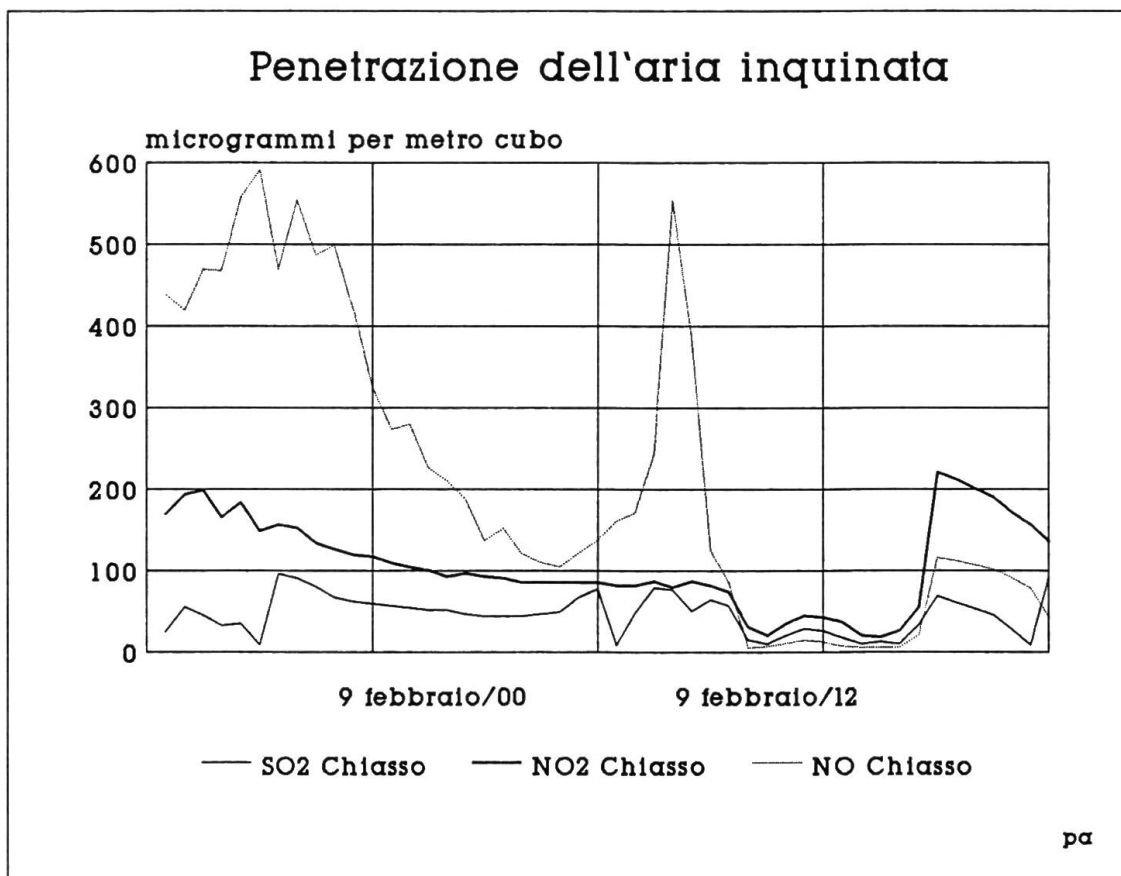


Figura 3

Un caso d'arrivo del vento da nord a Chiasso e conseguente ritorno d'aria dalla pianura Padana viene illustrato dal grafico che indica le concentrazioni a Chiasso di SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>. Queste scendono a valori molto bassi con l'arrivo d'aria pulita proveniente d'alta quota e ritornano a valori comparabili a quelli precedenti con il ritorno d'aria più inquinata. Interessante osservare l'ossidazione del NO.

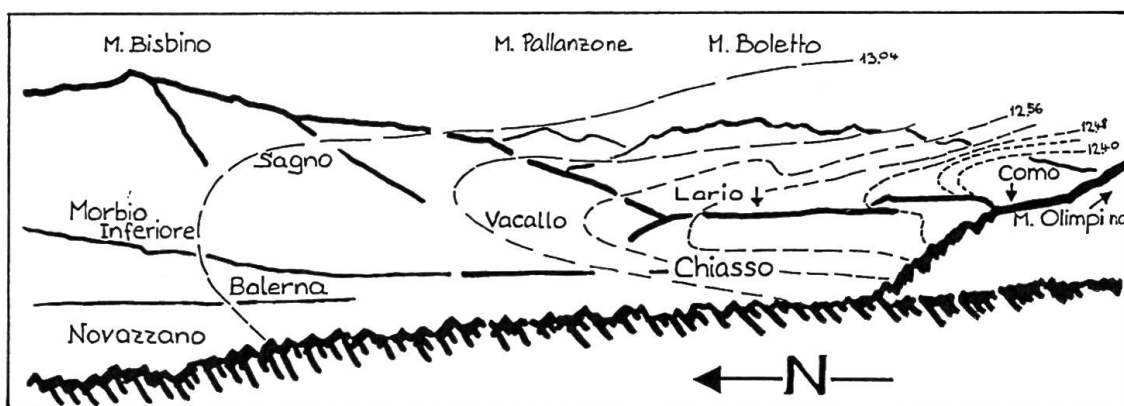


Figura 4

Il disegno è stato fatto a partire dal film registrato a partire dall'antenna PTT sul Monte Morello con una camera fissa rivolta verso Chiasso. Il mattino dell'otto febbraio 1990 il vento da nord aveva ripulito anche questa zona permettendo un'ottima visibilità. Le curve tratteggiate indicano l'entrata dell'aria umida e inquinata da sud: le prime tratte apparivano alle 12.40 e in meno di 15 minuti tutta la conca di Chiasso era stata invasa raggiungendo Morbio Inferiore.



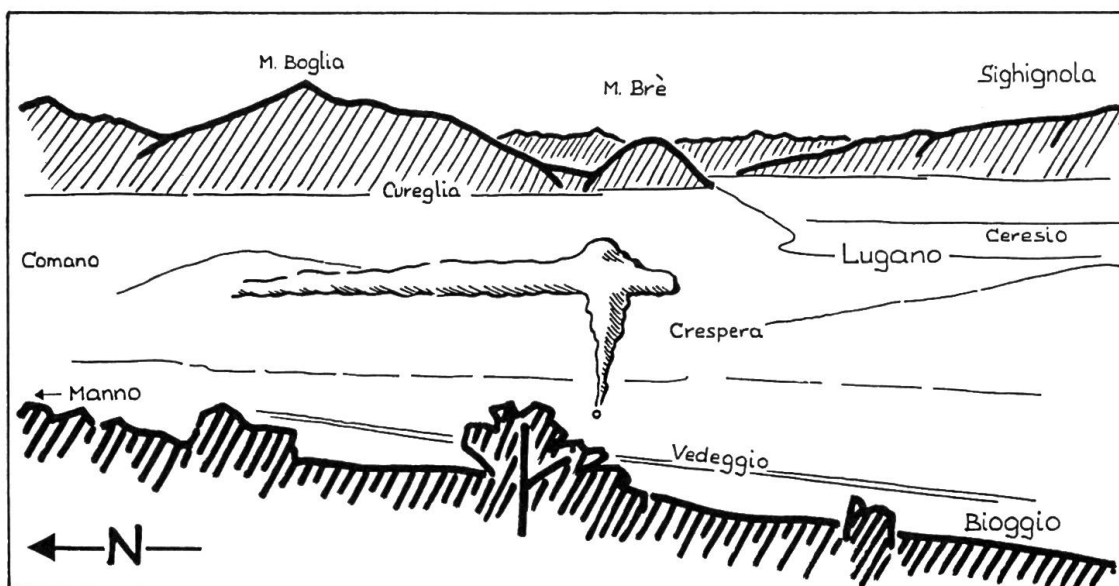


Figura 5

Abbiamo installato la camera fissa al Kurhaus di Cademario e il disegno riproduce un caso di fumigazione nella piana di Bioggio il 6 gennaio 1988 a partire dalle emissioni dell'impianto d'incenerimento. Il fumo sale fino a raggiungere un'inversione ben marcata a 600 m e si diffonde dapprima verso nord in seguito verso sud.

## MECCANISMI DI TRASPORTO

Abbiamo già in parte identificato i vari meccanismi che intervengono nel trasporto e accumulazione d'inquinanti atmosferici nella nostra regione. Il problema principale consiste nel valutare il contributo di tutti i fattori in gioco, dato che taluni favoriscono la diluizione, mentre altri la inibiscono. Per poter arrivare ad una previsione delle concentrazioni a partire unicamente dalla meteorologia e da una conoscenza statistica delle emissioni, dobbiamo poter valutare il peso di ciascuno di questi fattori, in particolare bisogna quantificare il contributo locale e quello avvevivo. Delle situazioni particolari, quali quelle descritte nel paragrafo precedente, ci permettono di fare un piccolo passo nella buona direzione. Ad esempio un'inversione stabile e costante su una vasta regione permette di seguire i movimenti orizzontali senza troppa fatica, come per l'8 febbraio 1990.

Anche in queste condizioni ideali di trasporto  $\text{SO}_2$ , CO e VOC (composti organici volatili) raggiungono la nostra regione con concentrazioni inferiori a quelle registrate in prossimità delle sorgenti. La scelta di usare l' $\text{NO}_2$  come riferimento deriva dal fatto che questo gas risulta chimicamente più stabile degli altri misurati e può quindi percorrere delle maggiori distanze. Gli altri vengono distrutti più rapidamente (p.e. l' $\text{SO}_2$ ) e quando arrivano le loro concentrazioni sono spesso talmente ridotte da confondersi con le emissioni locali.

In questo breve paragrafo vorremmo fare il punto sulle nostre conoscenze dei meccanismi di trasporto. Nelle conclusioni cercheremo d'illustrare i problemi tuttora aperti.

Durante la stagione invernale gli anticloni determinano una stratificazione più o meno stabile della bassa troposfera (lo strato limite planetario, PBL = Planetary Boundary Layer), con aria relativamente calda in quota e aria più fredda in prossimità del suolo. In realtà non si ha una sola inversione, bensì diverse a quote differenti e più o meno persistenti a dipendenza del gradiente verticale di temperatura. GIULIACCI, 1985 analizza dettagliatamente questo problema a partire dai radiosondaggi di Milano per un periodo di 5 anni: l'inversione al suolo viene generalmente rotta in giornata, mentre quelle superiori sono più tenaci, soprattutto da dicembre a febbraio. In questi casi si verifica il fenomeno della fumigazione: le emissioni vengono sollevate nello strato tra il suolo e l'inversione persistente e disperse nell'area circostante. Questo fenomeno si può a volte osservare sul Piano di Magadino e nella piana di Bioggio, data la presenza dell'impianto d'incenerimento rifiuti.

Se l'aria è sufficientemente umida si forma uno strato di nebbia o nebbia alta (ossia distaccata dal suolo) che riduce fortemente l'insolazione e di conseguenza il riscaldamento del suolo. Se al contrario l'aria risulta sufficientemente secca, durante il giorno gli strati inferiori si espandono riscaldandosi. Non potendo estendersi verticalmente a causa del blocco esercitato dall'inversione, l'aria sulla Pianura padana si spinge nelle vallate prealpine alimentando le brezze dei laghi (l'inverno sul Verbano e la breva sul Ceresio). La notte, a causa della contrazione della massa d'aria, si osserva un movimento in senso inverso. A dipendenza dell'irraggiamento solare (a sua volta funzione della stagione), dell'evoluzione della pressione atmosferica, l'innevamento, la posizione dell'anticiclone, ecc. avremo un maggior percorso delle masse risalenti o discendenti le valli prealpine.

Quando sulla Pianura padana si instaura una corrente da est (tipicamente quanto l'anticiclone sposta il suo centro sui Balcani), l'aria generalmente molto inquinata della zona industriale lombarda viene spinta nella nostra regione. Dato che a volte coincide con le brezze termiche può essere confusa con quest'ultima. Nel Locarnese il vento che ne deriva è conosciuto come «invernone».

Il meccanismo principale di diluizione è dato dalle correnti termiche di pendio, ossia i venti anabatici e catabatici. Questi sono particolarmente efficaci sui pendii soleggiati rivolti a sud. Durante il giorno, a causa del riscaldamento solare, queste correnti portano aria inquinata dagli strati inferiori verso l'alto interessando una fascia di 50-100 metri di spessore lungo il pendio. La notte aria pulita scende dalla montagna in uno strato generalmente più sottile. L'innevamento dei pendii gioca un ruolo importante: gli ultimi inverni poveri di neve hanno favorito questo tipo di circolazione locale, dato che l'albedo (ossia la riflettività del suolo) era piuttosto bassa. Per questo motivo nelle valli o nella fascia collinare del Cantone si registrano concentrazioni inferiori d'inquinanti rispetto alle zone pianeggianti, conche o fondivalle.

## CONCLUSIONI

Nel paragrafo precedente abbiamo illustrato i meccanismi conosciuti nel trasporto, concentrazione e diluizione degli inquinanti. Queste conoscenze si sono acquisite per mezzo di studi «teorici» da una parte e analizzando i dati misurati e/o osservati dall'altra. Attualmente restano ancora delle domande senza una risposta o al massimo con delle ipotesi di lavoro. Cerchiamo qui di riassumerle:

1. Le inversioni termiche o più generalmente il limite di rimescolamento verticale:  
Dove e quando è valido il radiosondaggio di Milano-Linate per la nostra regione?  
Quando l'inversione persiste sulla Pianura padana, dove viene rotta in giornata dalle nostre parti?  
In che modo possiamo determinare questi parametri dai dati meteorologici attualmente disponibili e se non fossero sufficienti quali altre misure si ritengono necessarie?
2. Le brezze termiche:  
Le misure del vento attualmente disponibili vengono eseguite a pochi metri dal suolo. Al di sopra le brezze dovrebbero essere più intense, di quanto?  
Sul Piano di Magadino durante alcuni mesi il versante sinistro resta ombreggiato, mentre quello destro esposto al sole. Quali sono le conseguenze sulle concentrazioni di inquinanti?  
Che intensità e durata devono avere le brezze per attraversare l'inversione in funzione della sua altezza e intensità?
3. Rappresentatività delle misure di concentrazione:  
Le misure attualmente eseguite in modo puntiforme sono valide per il luogo di misura. Quali sono i gradienti di concentrazione a partire da questo punto in funzione delle emissioni, situazione meteorologica e orografia?  
Per comprendere meglio i meccanismi di distribuzione (p.e. la fumigazione) sarebbe necessario conoscere pure i gradienti verticali delle immissioni.
4. Nella maggioranza delle situazioni intervengono vari meccanismi di diluizione durante il trasporto nell'atmosfera. Gli inquinanti raggiungono le nostre regioni con variazioni della concentrazione che non permettono di distinguerli dalla produzione locale. Una domanda

fondamentale resta quindi stabilire la frazione d'inquinamento importato rispetto al totale misurato. Questo apporto sfugge purtroppo al controllo da parte nostra.

Risulta attualmente difficile trarre delle conclusioni definitive. Questo articolo vuole fare il punto alle nostre conoscenze in questo campo. Bisognerà attendere ancora degli anni di ricerca prima che tutte le ipotesi formulate vengano confermate o corrette e le considerazioni essenzialmente qualitative possano essere quantificate. Lo scopo, lo ricordiamo, è la possibilità di formulare delle previsioni attendibili delle immissioni a partire dalle emissioni locali, dagli apporti esterni e dalla previsione meteorologica. Si potrà inoltre valutare esattamente gli effetti dei provvedimenti che si stanno prendendo affinché i limiti d'inquinamento proposti dall'ordinanza federale sulla protezione dell'aria vengano rispettati.

## **RINGRAZIAMENTI**

Ringraziamo il JRC di Ispra per averci messo a disposizione i dati delle loro stazioni, come pure i nostri colleghi per la collaborazione e commento al nostro testo. I disegni tratti dai film sono stati eseguiti da Giovanni Kappenberger.

## **BIBLIOGRAFIA**

- AMBROSETTI, P., 1988 - Wind regime in a south-alpine valley and its impact on air quality - International Conference on Alpine Meteorology - Sestola (Italia)
- AMBROSETTI, P., KAPPENBERGER, G., ROESLI, H. P., 1987 - La meteorologia dell'inquinamento atmosferico nella Svizzera Italiana - Boll. Soc. Tic. Sc. Nat., Lugano, LXXV - 67-80.
- BORGHI, S., GIULIACCI, M. 1979 - Circolazione atmosferica nella Pianura padana occidentale e suo impatto sul trasporto di particelle - Milano.
- BUWAL, 1990 - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Luftbelastung 1989, Messresultate des nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) - Schriftreihe Umweltschutz Nr. 122 - Berna 1990. (pubblicazione annuale dal 1981)
- DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, 1988 - Analisi della qualità dell'aria in Ticino, Novembre 1985 - Aprile 1988 - 1 Vol. + 1 allegato, Bellinzona.
- DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, 1989 - Analisi della qualità dell'aria in Ticino, 1988 - Bellinzona
- DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE, 1990 - Analisi della qualità dell'aria in Ticino, 1989 - Bellinzona
- GIULIACCI, M., 1985 - Climatologia statica e dinamica della Valpadana - Milano Consiglio Nazionale delle Ricerche AQ/3/18.
- JOSS, U., AMBROSETTI, P., KAPPENBERGER, G., 1988 - Tempo locale e qualità dell'aria sul Piano di Magadino - Rapporto di lavoro Nr. 146, Istituto Svizzero di Meteorologia, Locarno-Monti.