

Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute

Zürich

No. 146

TEMPO LOCALE E QUALITÀ DELL'ARIA
SUL PIANO DI MAGADINO

di

Ulrich Joss, Paolo Ambrosetti, Giovanni Kappenberger
Locarno-Monti

Aprile 1988

Wetterlagenklassifikation
Luftverunreinigung

551.589.1(494.5)
551.510.42

Riassunto

Viene qui descritta una classificazione delle situazioni meteorologiche introdotta per caratterizzare il tempo nella zona del Piano di Magadino, con particolare riguardo alla circolazione nello strato limite. In questo modo si può seguire la frequenza e la distribuzione stagionale delle singole situazioni.

Vengono inoltre studiati gli effetti del tipo di tempo sull'inquinamento atmosferico. A questo proposito sono disponibili dati di concentrazione di diversi inquinanti misurati da una stazione del Dipartimento dell'Ambiente del Canton Ticino. Alcune situazioni tipiche vengono analizzate in dettaglio.

Résumé

On décrit une classification des situations météorologiques, introduite pour caractériser le temps sur la plaine de Magadino, avec une attention particulière à la couche limite. De cette façon on peut tracer la fréquence et la distribution saisonnière des situations.

On étudie ensuite les effets du type de temps sur la pollution atmosphérique. Pour ce travail on a eu accès aux données d'une station de mesure des différents gaz polluants du Département de l'Environnement du canton Tessin. Quelques situations typiques ont été étudiées en détail.

Zusammenfassung

Es wird eine Wetterlagenklassifikation beschrieben, welche das Wetter in der Magadinoebene charakterisiert, wobei besonderes Gewicht auf die Zirkulationsverhältnisse in der Grundsicht gelegt wird. Damit können die Häufigkeit und die jahreszeitlichen Verteilungen der einzelnen Wettertypen dargestellt werden.

Es werden ebenfalls die Auswirkungen der Wettertypen auf die Luftverschmutzung untersucht. Dazu konnten die Daten über die Konzentration verschiedener Luftschadstoffe, welche durch eine Station des Umweltdepartements des Kantons Tessin gemessen wurden, herangezogen werden. Einige typische Situationen werden eingehend analysiert.

Abstract

A classification of the meteorological situations is introduced in order to describe the weather in the Magadino Plain. The scheme is specifically tailored to the circulation in the boundary layer. Frequency and seasonal distributions of the individual situations are compiled.

In addition the influence of the weather types on the air pollution is studied. This part of the report uses data of gas concentrations measured by a station of the Environment Department of the Canton Ticino. Some situations are analyzed in detail.

INDICE - INHALTSVERZEICHNIS

1. Prefazione	3
2. Classificazione dei tipi di tempo	4
2.1 Introduzione	5
2.2 Fonti d'informazioni	5
2.3 Struttura e classificazione	5
2.4 Tipi di tempo	8
2.4.1 Definizioni	8
2.4.2 Vento da nord o favonio (FA)	10
2.4.3 Avvezione da sud (S)	13
2.4.4 Torbido tutto il giorno (T)	18
2.4.5 Le situazioni con inversione (I1 E I2)	19
2.4.6 Brezze (B1, B2, B0)	20
2.4.7 Invernone (Bi)	21
2.4.8 Situazioni miste (*)	24
3. Analisi comparata delle diverse situazioni meteorologiche	25
3.1 Distribuzione lungo l'anno	25
3.2 Durata dei tipi di tempo	26
3.3 Differenze medie di temperatura tra MAG, OTL, e CIM	28
3.4 Differenze di pressione	28
3.4.1 Con bel tempo...	31
3.4.2 Situazioni avvettive	32
3.4.3 Altre situazioni	33
4. Sulla qualità dell'aria	34
4.1 Generalità	34
4.2 Giorni di tempo sereno	35
4.2.1 Giorno tipico estivo: Cadenazzo, fondovalle	35
4.2.2 Giorno tipico estivo: Isona, pendio	39
4.2.3 Giorno tipico invernale: Bellinzona	41
4.3 Precipitazioni con avvezione da sud	44
4.4 Favonio e invernone 1	54
4.5 Favonio e invernone 2	58
4.6 Favonio e inversione	62
5. Riassunto e conclusioni	68
6. Deutsche Kurzfassung	69
6.1 Klassifikation	69
6.2 Lufthygiene	71
7. Consigli e proposte	72
8. Letteratura citata	73

1. Prefazione

Negli ultimi anni c'è stato un crescente interesse per i problemi ambientali dovuto all'intensificazione dell'impatto delle attività antropogeniche sull'ecosistema. Dato che le immissioni avvengono, oltre che nel suolo e nell'acqua, anche nell'aria, lo studio dei movimenti locali della massa d'aria, la stratificazione e il ricambio verticale, la maggiore o minore diluizione degli inquinanti nell'atmosfera, come pure la loro deposizione al suolo dipendono dalla situazione meteorologica locale. Per questi motivi lo studio delle circolazioni locali è di competenza dei meteorologi.

Già dal 1980 esiste una collaborazione tra il Laboratorio di Studi Ambientali del Dipartimento dell'Ambiente del Cantone Ticino e il nostro Servizio Meteorologico. Sono stati condotti degli studi sulle caratteristiche chimiche delle precipitazioni dell'Italia Settentrionale e sul Ticino in concomitanza a enti di ricerca italiani.

Nel 1985 la Sezione energia e protezione dell'aria del Dipartimento Ambiente aveva proceduto all'acquisto di una stazione mobile di misura di diversi gas inquinanti e di alcuni parametri meteorologici rilevanti. Le prime misure si sono svolte sul Piano di Magadino, che si trova a vista d'occhio dal nostro Osservatorio.

La presenza delle stazioni automatiche dell'ISM a Magadino, Locarno-Monti e Cimetta forniscono un supporto di dati notevole, completato dalle osservazioni sinottiche a Magadino e Locarno-Monti. Ciononostante sono necessarie delle altre informazioni per ricostruire a posteriori la circolazione locale, la presenza e altezza di inversioni, l'intensità e distribuzione della foschia, ecc. Per questo motivo sono necessarie dei dati non convenzionali, anche per permettere la comprensione di fenomeni molto locali che sfuggono alle rilevazioni esistenti. La registrazione di immagini permette più facilmente la ricostruzione della situazione di un giorno particolare.

Per questo motivo abbiamo installato sul tetto del nostro Osservatorio una camera super8 diretta verso il piano di Magadino. La camera si trova in una cassa climatizzata, con un sistema di programmazione per la ripresa automatica di fotogrammi singoli ad intervalli di tempo programmabili. Questa apparecchiatura è stata sviluppata e costruita dal Servizio di protezione dell'aria dell'ISM a Payerne. Le riprese sono iniziate il 17.1.86 e sono previste fino alla primavera del 1988. I film super8 sono poi registrati su videocassetta U-matic per la visualizzazione e elaborazione. Vogliamo qui ringraziare i colleghi di Payerne per la loro preziosa collaborazione.

Mentre i film andavano accumulandosi abbiamo avuto la richiesta da Ueli Joss per svolgere un lavoro pratico nel campo della meteorologia, nel quadro dei suoi studi di geografia all'Università di Basilea. Dalla primavera all'autunno '87, per ben 6 mesi, il suo lavoro è stato di catalogare le immagini esistenti, elaborare una classificazione delle situazioni meteorologiche in funzione della circolazione locale sul piano di Magadino, utilizzando anche i dati convenzionali dell'ISM. Il Dipartimento Ambiente si è mostrato molto interessato a questo lavoro, mettendo a disposizione i dati ancora inediti sulla qualità dell'aria. Ciò ha permesso di completare il lavoro strettamente meteorologico con una ricerca sulla chimica e l'igiene dell'aria. I dati sui gas inquinanti dell'aria danno delle informazioni supplementari sulla circolazione dell'aria.

Il lavoro svolto da Ueli Joss è stato notevole e di grande competenza. Questo rapporto di lavoro condensa i suoi risultati principali.

La collaborazione con le autorità cantonali verrà continuata come pure lo studio della meteorologia dell'inquinamento nelle nostre regioni. Saranno necessarie delle serie di dati più lunghe ed ulteriori elaborazioni per permettere di calcolare delle statistiche più significanti e con una validità più generale. Questo lavoro ci ha permesso di formulare alcune prime ipotesi e verificarle, almeno parzialmente, sulla scorta dei dati attualmente disponibili.

Nel periodo settembre 87 - gennaio 88 una parte degli strumenti di misura si trovava al nostro Osservatorio a Locarno-Monti (NOx, O3, CO). Ciò ci ha permesso di seguire in dettaglio e in tempo reale la variazione di questi gas in una posizione di pendio. Durante il periodo invernale era pure operativa una stazione nel centro di Chiasso.

La situazione meteorologica della seconda metà del dicembre 1987 ha provocato delle concentrazioni elevate di gas inquinanti a basse quote su tutta la Pianura Padana ed in particolare anche nel Ticino. Ciò ha dimostrato l'estrema attualità del nostro lavoro e rappresenta uno stimolo a continuarlo.

2. Classificazione dei tipi di tempo

2.1 Introduzione

La presente classificazione è stata concepita per un'applicazione ben precisa e per un'area limitata (locale). Lo scopo iniziale consisteva nell'ordinare le immagini dei giorni registrati su dei filmati all'acceleratore (vedi 2.2). Dopo aver visto che le classificazioni come quelle di SCHUEPP del "Witterungskalender", di PERRET o di HESS/BREZOWSKI (basate essenzialmente sulla configurazione del campo barico) non funzionano su scala inferiore a quella sinottica-regionale, si è passati gradualmente a cercare degli indici locali, misurati o osservati nelle stazioni ANETZ nella zona studiata, quali criteri classificatori (1). Abbiamo così ottenuto uno schema di classificazione che sembra adatto al nostro scopo, cioè quello di spiegare la dipendenza delle concentrazioni di vari inquinanti dal tempo locale, sul Piano di Magadino. Però, già spostandosi nel Sottoceneri, o in Valle Leventina, i parametri o gli indicatori dovrebbero essere sostituiti con altri relativi al luogo. Sarebbe comunque pensabile che l'essenziale della classificazione, i tipi di tempo in sé, rimarrebbero invariati pur cambiando la regione.

La classificazione è lungi dal voler essere definitiva: semplicemente resta allo stato attuale per il tempo limitato disponibile. In particolare sarebbe interessante introdurre quale parametro classificatorio anche l'insolazione (importante per lo smog fotochimico) ed eventualmente le precipitazioni (per la deposizione umida di sostanze, nonché per la caratterizzazione più dettagliata di talune situazioni). Manca inoltre una

(1): (Anche per il progetto CLIMOD si è ricorso a criteri simili per caratterizzare la situazione meteorologica durante la quale può svilupparsi il cosiddetto "Möhlin-Jet": vedi CLIMOD, 1981, p.26.)

definizione per il cosiddetto invernone (che potrebbe essere classificato anche sotto le situazioni avvertive).

Diverse cose infine sarebbero ancora interessanti da studiare: per esempio confrontare la classificazione di BORGHI/GIUGLIACCI (1979) con la nostra; oppure, data la possibilità di classificare i giorni anche retrocedendo nel tempo, analizzare un periodo molto più lungo, per poi passare ad un'analisi statistica più significativa e dettagliata di quanto si è potuto fare in questo studio. Questo permetterebbe di capire meglio la distribuzione dei tipi di tempo lungo l'arco di un anno da un lato, i loro effetti locali dall'altro.

2.2 Fonti d'informazioni

Per questa classificazione non sono state intraprese alcune misurazioni supplementarie o specifiche - non sarebbe neppure stato possibile durante le 19 settimane a disposizione, nè tantomeno sarebbe stato sensato. Il lavoro è consistito nel cercare, ordinare, combinare, trasformare informazioni già esistenti.

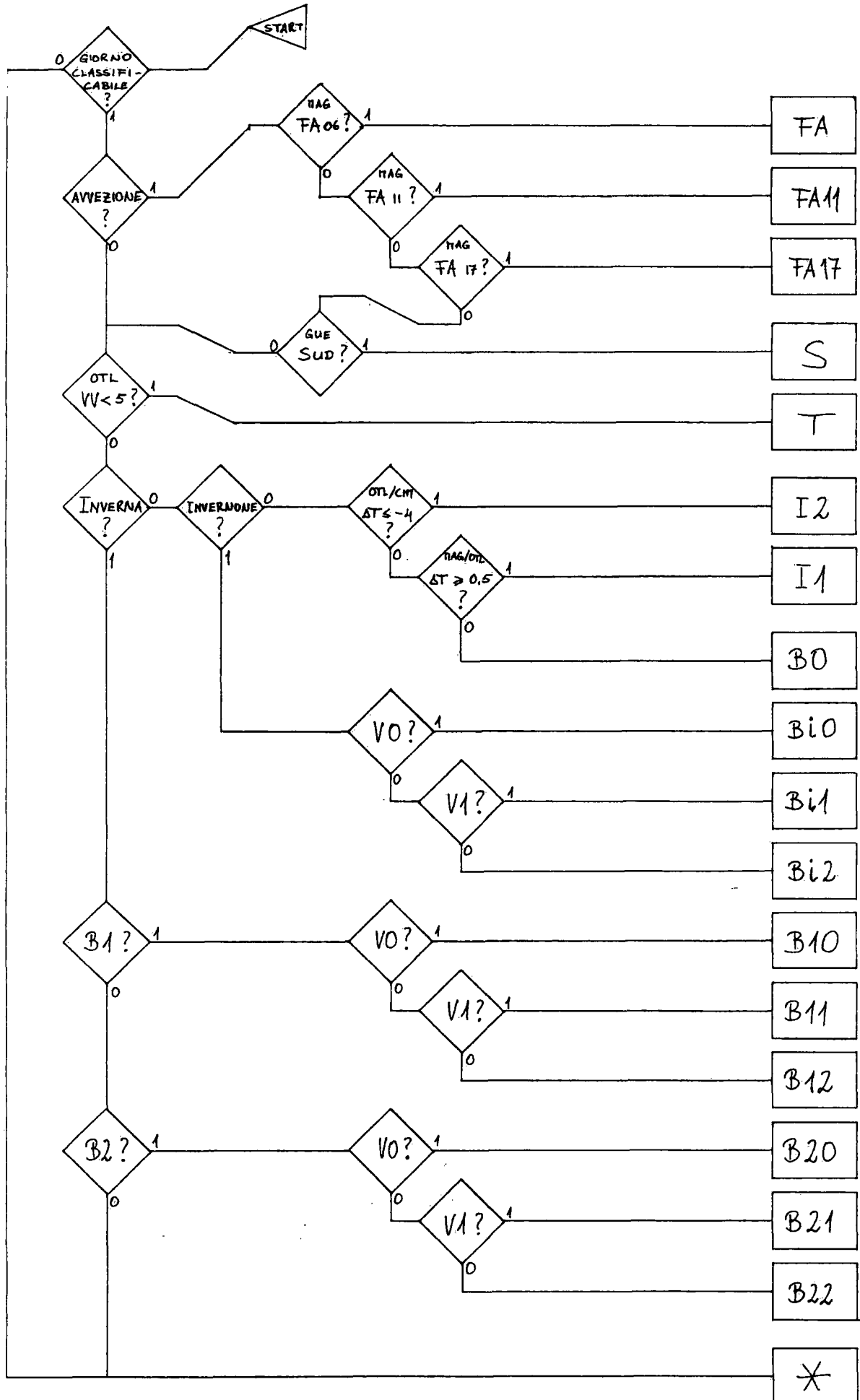
Per il lato meteorologico le fonti sono essenzialmente due: da un lato le registrazioni e osservazioni alle stazioni ANETZ e dall'altro dei filmati all'acceleratore. Per i dati provenienti dalla rete ANETZ c'era a disposizione la cosiddetta "Tageswertdatei", una parte della banca dati dell'Istituto Svizzero di Meteorologia, contenente, a seconda dell'elemento climatico, le registrazioni ai termini delle 0540, 1140, 1740, 2340 (d'ora in poi rispettivamente 06,12,18,24), oppure è memorizzato il valore medio giornaliero. Tutti questi dati costituiscono la base della classificazione; di grande utilità sono state anche le annotazioni del meteorologo di turno, nonché le cartine meteorologiche. Per casi particolari è stato inoltre possibile richiedere i dati con una risoluzione di 10 min. (vedi per es. cap.4.4).

I filmati all'acceleratore provengono da una cinepresa 8mm situata sul tetto dell'Osservatorio, direzionata verso ESE (100 gradi). Il campo visivo comprende grosso modo il Piano di Magadino con i pendii che lo circondano e il settore del Lago Maggiore tra il Piano di Magadino e il delta della Maggia. La cinepresa riprende un'immagine ogni 90 secondi, permettendo di osservare spostamenti e tipo delle nubi in altitudine, il carattere del tempo in generale, spostamenti di foschia, nebbie di pendio, cambiamenti improvvisi della massa d'aria, ecc. L'utilità dei filmati per questo lavoro consiste soprattutto nella ricostruzione dell'impressione visiva del tempo, nella riproduzione di tutti quei fenomeni visibili, ma non registrabili dagli strumenti in un punto sulla superficie terrestre. A tale proposito è stato redatto un "protocollo delle foschie", che considera giornalmente: ora di inizio/arrivo e scomparsa di strati di foschia, la loro densità, nitidezza e altitudine del limite superiore (se visibile) come pure i loro movimenti. Inoltre la visibilità pomeridiana, stimata in base alle immagini dei filmati, è anche criterio classificatorio per le situazioni di brezza (vedi cap. 2.4.1).

2.3 Struttura e classificazione

La classificazione considera soprattutto parametri come il vento, la visibilità e le differenze verticali di temperatura; sono questi i fattori più importanti per il ricambio e quindi l'igiene dell'aria. In particolare il peso maggiore ricade sul regime dei venti, che ci portano già ad una prima distinzione all'interno della classificazione (v. fig.1):

Figura 1 Schema di classificazione delle situazioni meteorologiche



Leggenda per la fig.1

1 = "risposta affermativa"

0 = "risposta negativa"

Stazioni ANETZ (indicano per quale stazione vale il criterio);

CIM: Cimetta

GUE: Glütsch (sopra Andermatt)

MAG: Aeroporto di Magadino

OTL: Osservatorio Ticinese Locarno-Monti

B1: Inverna solo al termine delle 12, vedi 2.4.1 6)

B2: Inverna anche al termine delle 18, vedi 2.4.1 6)

T -4 : la differenza della temperatura media tra OTL e CIM è inferiore a 4 gradi C, vedi 2.4.1 4)

T 0.5: la differenza tra la temperatura media tra MAG e OTL è superiore ai 0.5 gradi C, vedi 2.4.1 5)

FA06: vento da nord già al termine delle 06, vedi 2.4.1 1)

FA11: vento da nord al termine di mezzogiorno, vedi 2.4.1 1)

FA17: vento da nord solo al termine della sera, vedi 2.4.1 1)

Inverna: vedi 2.4.1 6)

Invernone: vedi 2.4.1 6) e 2.4.7

Sud: vento da sud, vedi 2.4.1 2)

VV < 5: visibilità tutto il giorno inferiore a 5 km, vedi 2.4.1 3)

V0: visibilità pomeridiana superiore a 10 km, vedi 2.4.1 6)

V1: visibilità pomeridiana tra 5 e 10 km, vedi 2.4.1 6)

distinguiamo innanzitutto tra situazioni avvevative (con notevole apporto orizzontale di aria) e situazioni con possibilità di circolazione locale.

Il Piano di Magadino è punto di sbocco di varie valli con orientamento nord-sud (Valli Leventina, Verzasca, Maggia, Vedeggio); quindi, a causa dell'incanalamento dei venti, le situazioni con marcata avvezione si limitano a quelle di avvezione da sud (S) e quelle di vento da nord (favonio, FA).

Le altre situazioni sono caratterizzate dalla possibile presenza dei venti locali (brezze), indotti da differenze termiche nella regione e dalla geomorfologia su scala locale-regionale; in questi casi non vi sono generalmente apporti sostanziosi di masse d'aria da altrove, per cui resta nella regione l'aria che c'era. Secondo BORGHI/GIUGLIACCI queste situazioni comprendono circa "il 40 % delle giornate in un anno" (BORGHI/GIUGLIACCI, 1979, p.27). Nel periodo in esame (e secondo le nostre definizioni!) le situazioni con possibilità di brezze sono ben 65 %, delle quali in 65% dei casi si è registrato il vento di valle pomeridiano (inverna). L'enorme importanza di questi giorni è dovuto soprattutto alla morfologia delle valli, le quali, aumentando notevolmente lo spessore dello strato indipendente dalle correnti geostrofiche, permettono uno sviluppo indisturbato di correnti locali. Così a volte i venti locali si sviluppano anche sotto condizioni di tempo che nella Valpadana non ammettono questo tipo di regime dei venti. Un'altra possibile interpretazione di questa differenza potrebbe essere dovuta alla presenza solo apparente dell'inverna, essendovi per ogni giorno solo 4 termini di registrazione a disposizione .

Infine, le situazioni che non presentano neppure la brezza pomeridiana sono state suddivise a seconda delle differenze di temperatura che vi sono tra Magadino (MAG, 197m, piano), Locarno-Monti (OTL, 366m, pendio) e Cimetta (CIM, 1671m, cima); con queste informazioni, per quanto insufficienti siano, si vuole stimare la stratificazione, la stabilità, come pure lo spessore dello strato limite planetario, e quindi la disponibilità o meno per gli scambi verticali. Infatti, venendo meno l'avvezione e le brezze per il ricambio orizzontale dell'aria, l'interesse ricade ovviamente sulla disponibilità per la convezione e la turbolenza dinamica.

2.4 Tipi di tempo

2.4.1 Definizioni

1) Vento da nord o favonio :=FA

Il favonio, per essere riconosciuto come tale, deve presentare le seguenti caratteristiche:

- *Magadino (MAG): umidità relativa inferiore a 40 %, oppure una caduta di oltre 40 % in 6 ore;
velocità media del vento superiore a 3 m/s;
visibilità superiore a 30 km;

- *Cimetta (CIM): direzione del vento tra 280 e 30 gradi (=NW-NE).

Un giorno di favonio viene definito come giorno, durante il quale il favonio c'è almeno in uno dei 4 termini d'osservazione.

Le situazioni di FA vengono ulteriormente suddivise a seconda della presenza del favonio lungo l'arco della giornata:

- *FA (senza ulteriore specificazione):= il favonio c'è già al termine delle 06;

- *FA11:= il favonio c'è a partire dal termine delle 12;
- *FA17:= il favonio c'è a partire dal termine delle 18;
- *FAE := favonio particolare con componente da est, con visibilità anche inferiore a 30 km (a causa dell'assenza delle precipitazioni sul versante nordalpino, responsabili per il dilavamento di aerosol che rendono torbida l'aria).

2) Avvezione da sud:=S

La situazione di avvezione da sud è data, quando durante almeno un termine della giornata:

- *Guetsch(GUE): Velocità media del vento superiore a 10 m/s;
direzione media del vento tra 90 e 200 gradi (=E-SW);
differenza di pressione da sud a nord delle Alpi $\geq 1,5$ hPa
(2).

3) Torbido tutto il giorno:=T

Un giorno del tipo T è dato, quando a

- *Locarno-Monti (OTL) la visibilità non oltrepassa 5 km durante tutto il giorno;
- *Contemporaneamente sono escluse le situazioni precedenti.

4) Inversione a media quota:=I2

Le condizioni per questa situazione di tempo sono:

- *Tra OTL e Cimetta (CIM) la differenza delle rispettive temperature medie giornaliere non oltrepassa 4 K.

5) Inversione a bassa quota:=I1

In questo caso l'inversione è la seguente:

- *La temperatura media giornaliera di OTL supera quella di MAG di almeno 0,5 K;
- *inoltre, ovviamente, la differenza di temperatura tra OTL e CIM è maggiore di 4 K.

6) Brezze locali:=B

Vista la sua frequente apparizione, questa situazione è stata ulteriormente suddivisa secondo due criteri. Da un lato secondo la durata della brezza pomeridiana (inverno), dall'altro secondo la visibilità pomeridiana. A questo modo, all'abbreviazione "B", comune a tutte queste situazioni, si aggiungono due indici, dei quali il primo caratterizza la durata dell'inverno, mentre il secondo indica la visibilità.

(2): (Informazione tratta dal "Witterungskalender der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt", gennaio 1986-febbraio 1987.)

In particolare l'inverna deve presentare le caratteristiche seguenti:

- *A Magadino (MAG) la direzione del vento è compresa tra 220 e 330 gradi (=W);
inoltre deve superare 1,5 m/s di velocità media (media su 10 minuti).

Questo porta alla suddivisione seguente:

- *B1:= inverna al termine d'osservazione delle 12
- *B2:= inverna anche al termine delle 18
- *Bi:= giorno con "invernone" (vedi CAP. 2.4.7)
- *B0:= inverna non registrata; sono però escluse anche le altre situazioni. Questo tipo di tempo non viene suddiviso secondo la visibilità (numero troppo esiguo di casi).

Inoltre, con il criterio della visibilità, viene definita la suddivisione seguente:

- *Bx0:= visibilità pomeridiana oltre 10 km;
- *Bx1:= visibilità pomeridiana tra 5 e 10 km;
- *Bx2:= visibilità pomeridiana tra 2 e 5 km.

7) Situazioni miste:=*

Le situazioni non-classificabili o miste (cioè con due o più situazioni in un giorno solo), vengono raggruppate in questa classe, contrassegnate con un asterisco.

2.4.2 Vento da nord o favonio (FA)

Come risulta dalla definizione (cfr.2.4.1,1)), l'aria favonica si presenta secca generalmente e con buona visibilità. Data l'alta velocità del vento a MAG è d'aspettarsi un buon rimescolamento dell'aria negli strati bassi. Come già accennato nel capitolo precedente, il favonio deve la sua limpidezza alle precipitazioni sul versante opposto (nel nostro caso quello nordalpino), che riducono il contenuto di aerosol liquidi e solidi attraverso il dilavamento.

L'apparire del favonio è legato ad un gradiente di pressione sulle Alpi (vedi fig.2, cartine meteo del 23.12.86). Questo è dell'ordine di grandezza di 5 hPa e si istaura di regola dopo il passaggio di un fronte freddo o un'occlusione analoga, con la rotazione dei venti dal settore meridionale a quello settentrionale. Se un'altra perturbazione segue poco dopo, l'evento favonico è di corta durata; se invece a N delle Alpi si forma un anticiclone con centro a occidente della regione alpina (come è stato il caso per il 23.12.86), oppure si forma una zona depressionaria sul Mediterraneo, allora può durare anche parecchi giorni (cfr. ZENONE, 1960). Nella classificazione di BORGHI/GIUGLIACCI (1979, p.7) la situazione di favonio corrisponde al tipo di tempo VI=3.

Per quanto riguarda la distribuzione lungo l'anno, si rimanda alla tabella sottostante:

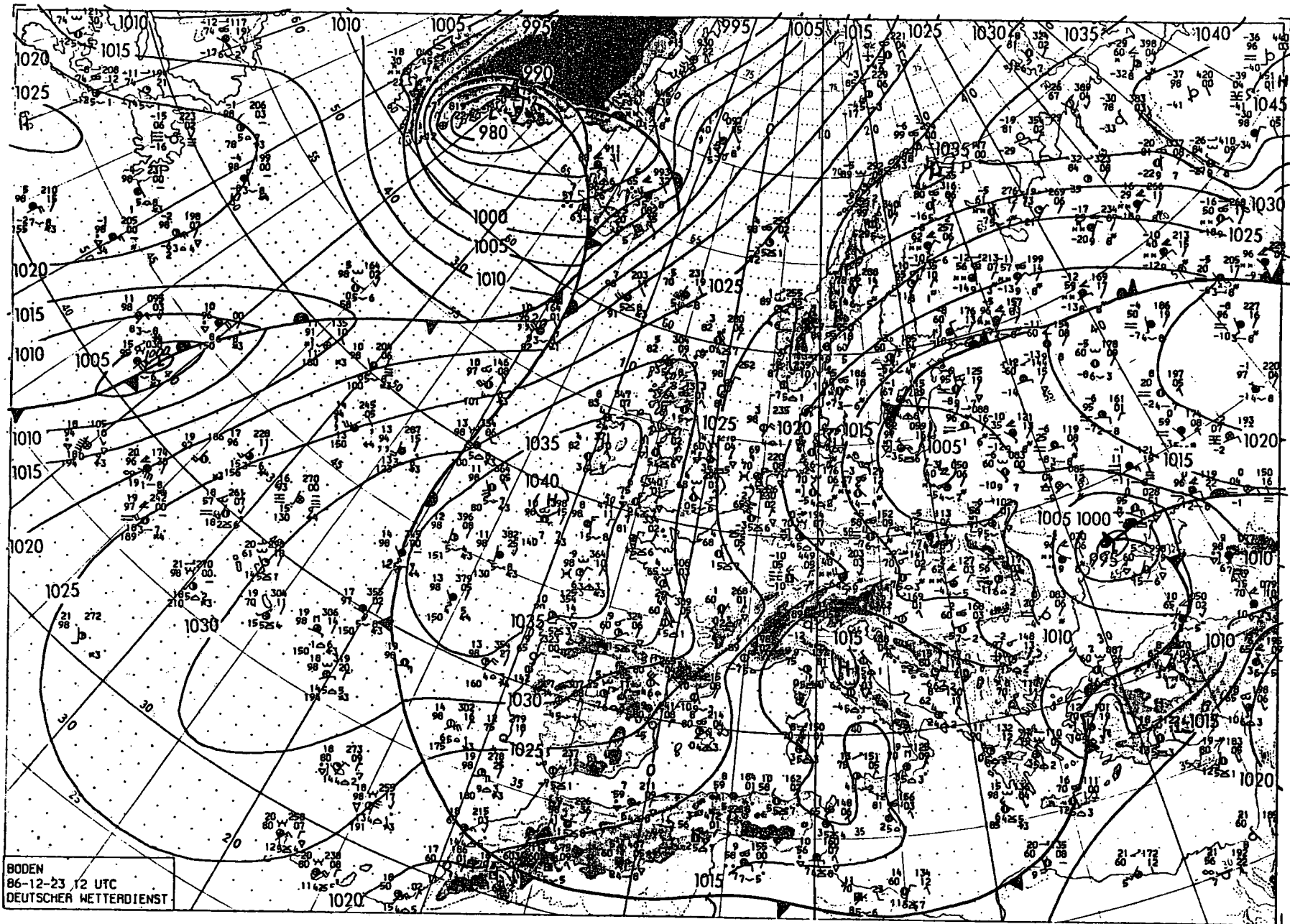
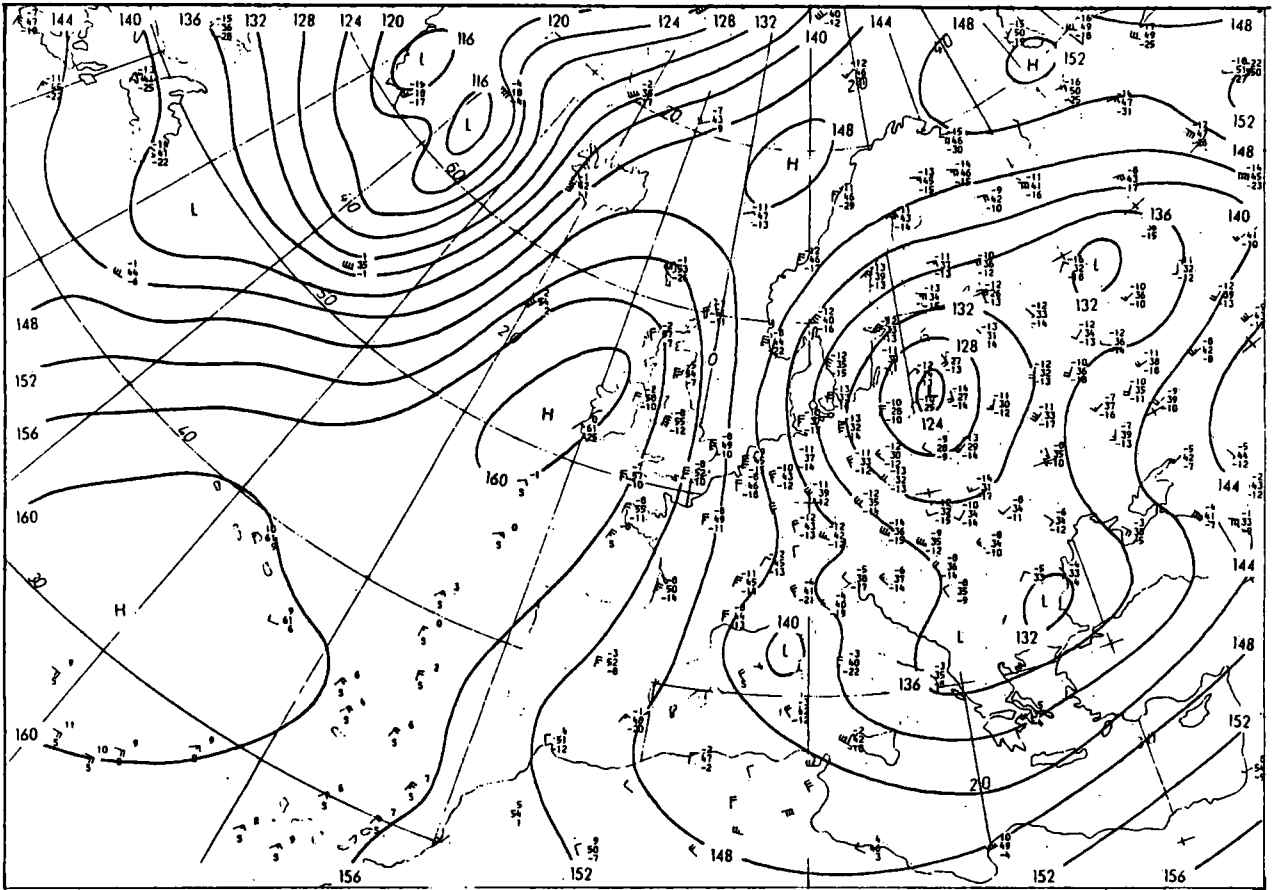


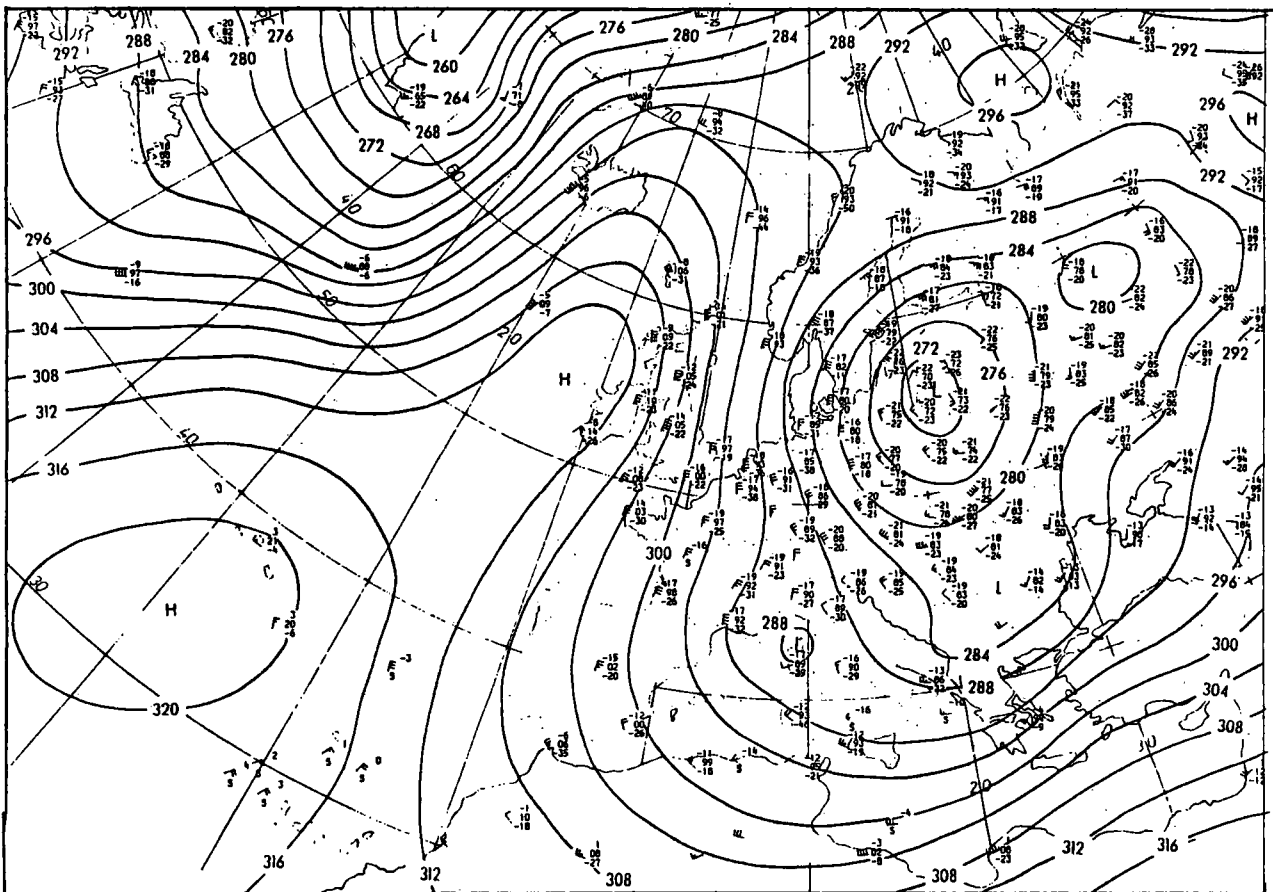
FIGURA 2a

Figura 2b

23.12.1986



850 hPa 00 UTC



700 hPa 00 UTC

Tabella 1: Distribuzione dei giorni con favonio nel ciclo annuo:

Mesi:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Tot.
ZENONE (1)	4,1	4,2	4,8	5,0	2,7	3,0	3,1	2,2	2,1	2,5	3,2	4,0	40,9
Magadino (2)	10	3	6	4	5	3	4	3	1	4	4	9	58
Ispra (3)	11	5	6	3	7	4	3	5	1	4	5	4	58

Note: (1)ZENONE, E.: Il favonio nel Ticino, Atti del Congresso di Meteorologia applicata al Volo a Vela, Varese 1960. (I dati si riferiscono a Lugano, 1901-1950.)

(2)Dati dalla stazione di Magadino per 1986; il mese di gennaio è di 1987; cfr. anche tab.3.

(3)BOLLINI, G., et al., 28. Annuario Meteorologico di Ispra, Ispra 1987. (I dati sono di Ispra per il 1986, eccetto il mese di dicembre, che è del 1985).

La tabella mostra innanzitutto che come la comparsa del favonio sia un fenomeno soprattutto invernale/primaverile. Confrontando i nostri con i dati di ZENONE risulta però che soprattutto dicembre '86 e gennaio '87 hanno avuto parecchio favonio.

Una caratteristica importante, soprattutto in funzione della composizione dell'aria, è il suo arrivo spesso improvviso, che nel giro di poche ore sostituisce il tempo torbido e piovvigginoso con un tempo sereno, arieggiato e secco. A causa del gradiente termico verticale elevato, a basse quote si registrano temperature spesso sopra la norma, mentre in montagna resta fresco. Ma non solo i parametri meteorologici registrano dei bruschi cambiamenti, l'aria che scende dalle Alpi è anche molto diversa nella sua composizione. Quindi, proprio in vista delle misure per l'igiene dell'aria, la situazione di FA è stata ulteriormente suddivisa (vedi 2.4.1) secondo l'ora della comparsa del favonio: il carico inquinante dell'aria mostra un andamento caratteristico lungo l'arco della giornata, di conseguenza anche la composizione dell'aria rimossa dall'arrivo del favonio (v. cap.4.4, 4.5, 4.6).

2.4.3 Avvezione da sud (S)

Le situazioni di avvezione da sud sono quelle che in genere portano le precipitazioni orografiche sul versante sudalpino, e, seppur con altre definizioni, sono già state oggetto di studi in precedenza (ZENONE, 1959).

Di regola queste situazioni sono collegate ad una depressione con centro ad ovest del decimo parallelo, che convoglia aria spesso calda e umida verso le Alpi; corrisponde più o meno al tipo di tempo VI=4 secondo la classificazione di BORGHI/GIUGLIACCI (1979, p.8). Fig.3 mostra le cartine del campo barico a 850 e 700 hPa del 7.4.86 quale esempio tipico per questa situazione.

I venti sul Piano di Magadino con situazione di avvezione da sud rimangono comunque molto deboli e direzione variabile: l'avvezione vera e propria avviene negli strati meno influenzati dall'attrito dovuto alla topografia complessa.

Esistono però anche dei casi di S durante i quali non si registrano precipitazioni a sud delle Alpi; un esempio chiaro è riconoscibile sulla fig.4 (cartine del 1.10.86), dove la corrente da sud è anticiclonale, collegata ad una zona di alta pressione sull'Europa orientale. I giorni con

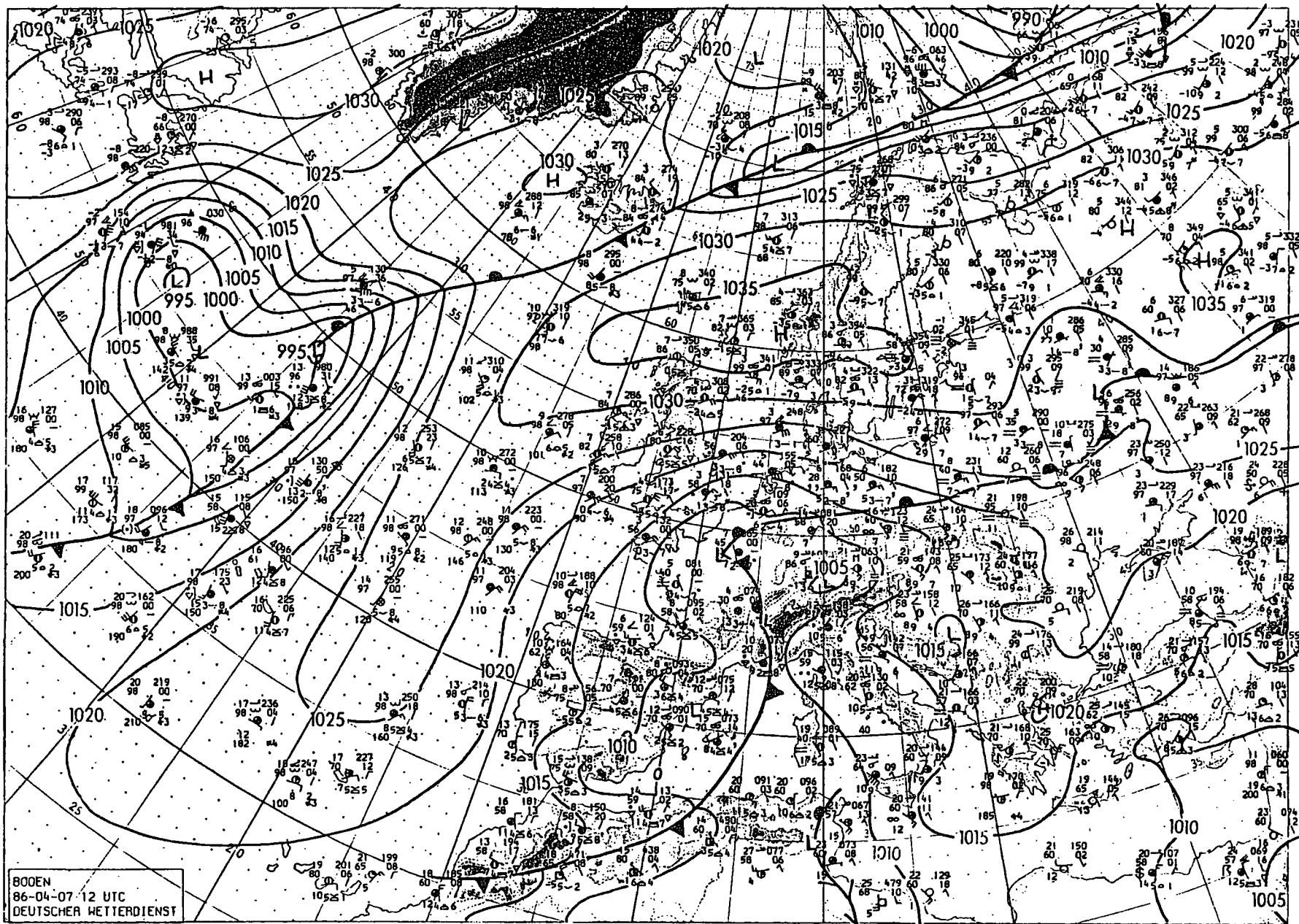
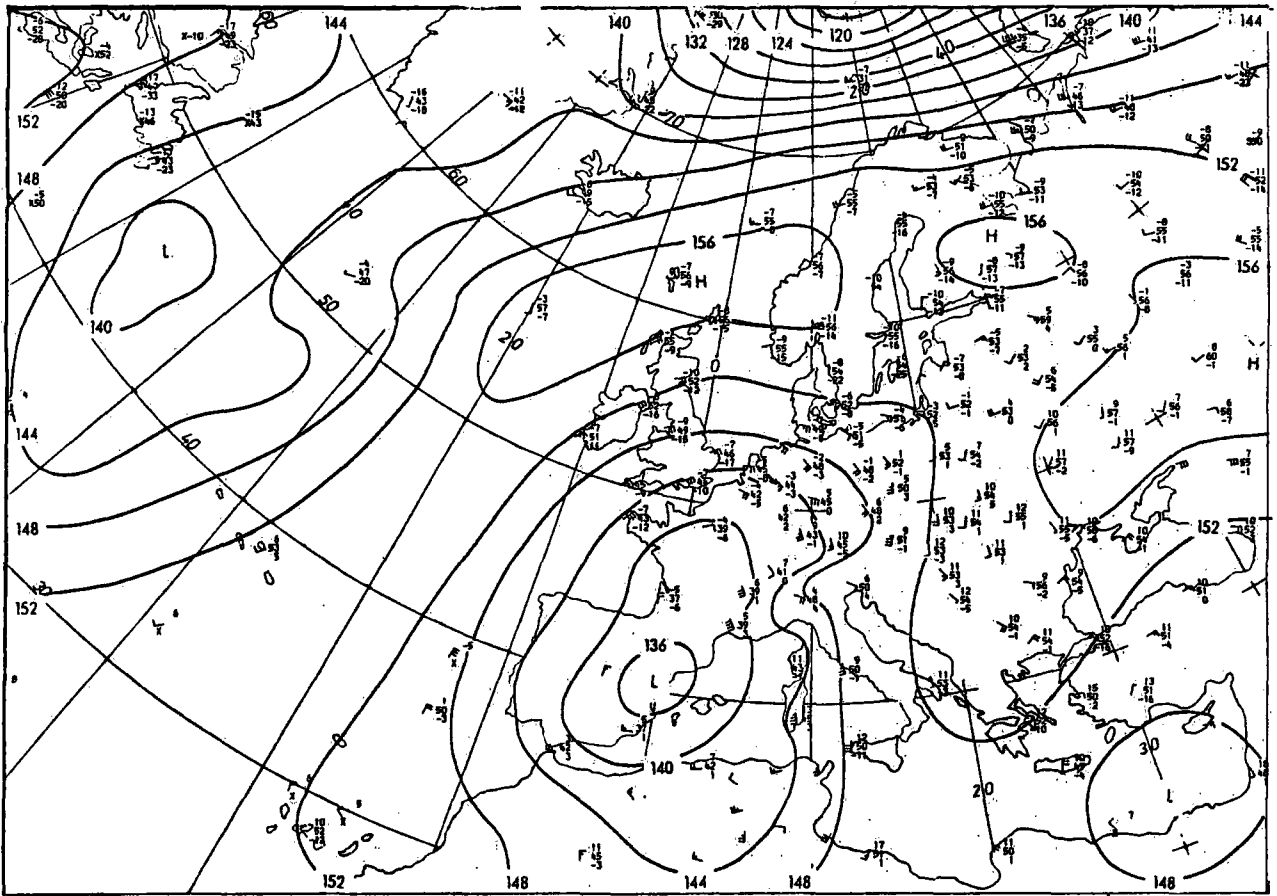


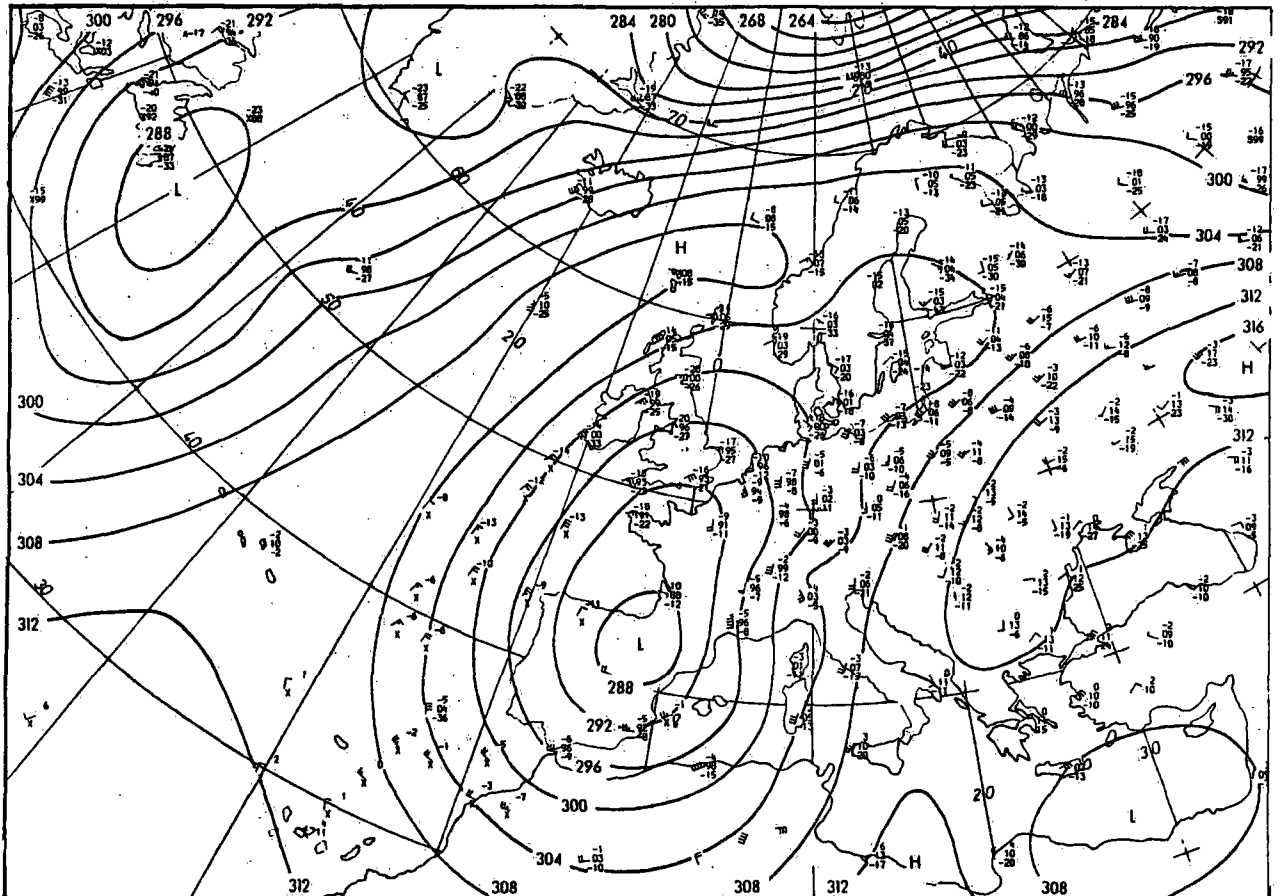
Figura 3a

Figura 3b

7.04.1986



850 hPa 00 UTC



700 hPa 00 UTC

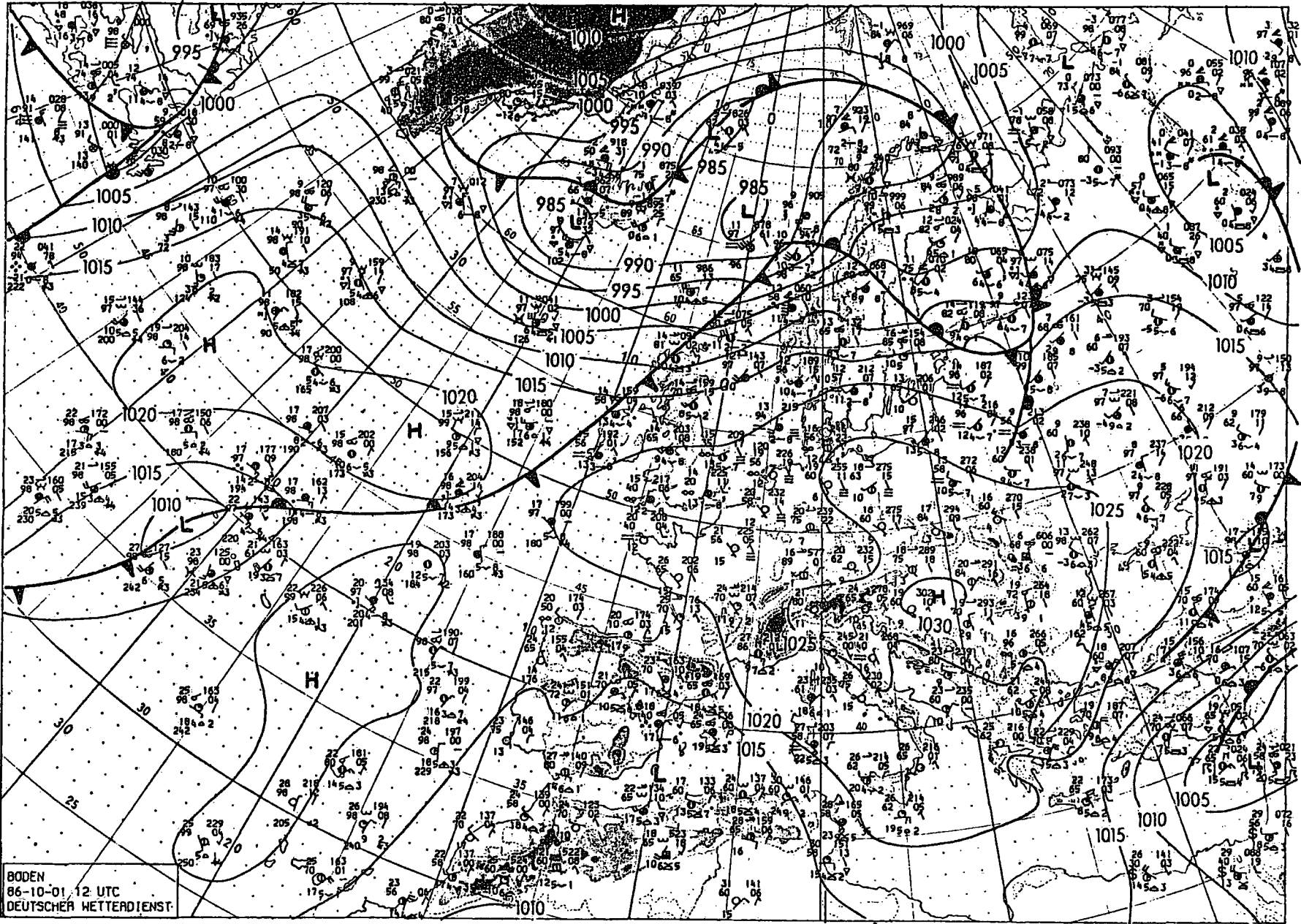
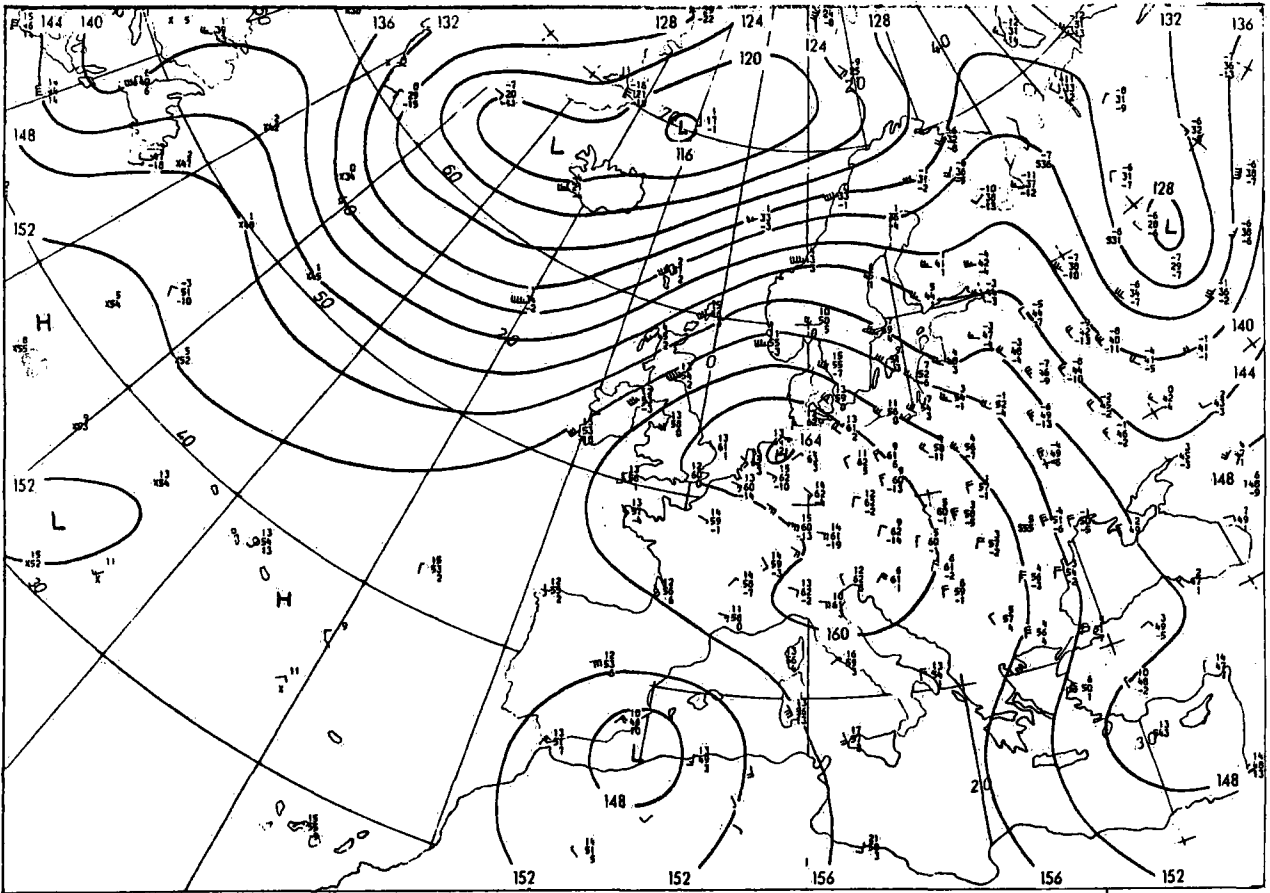


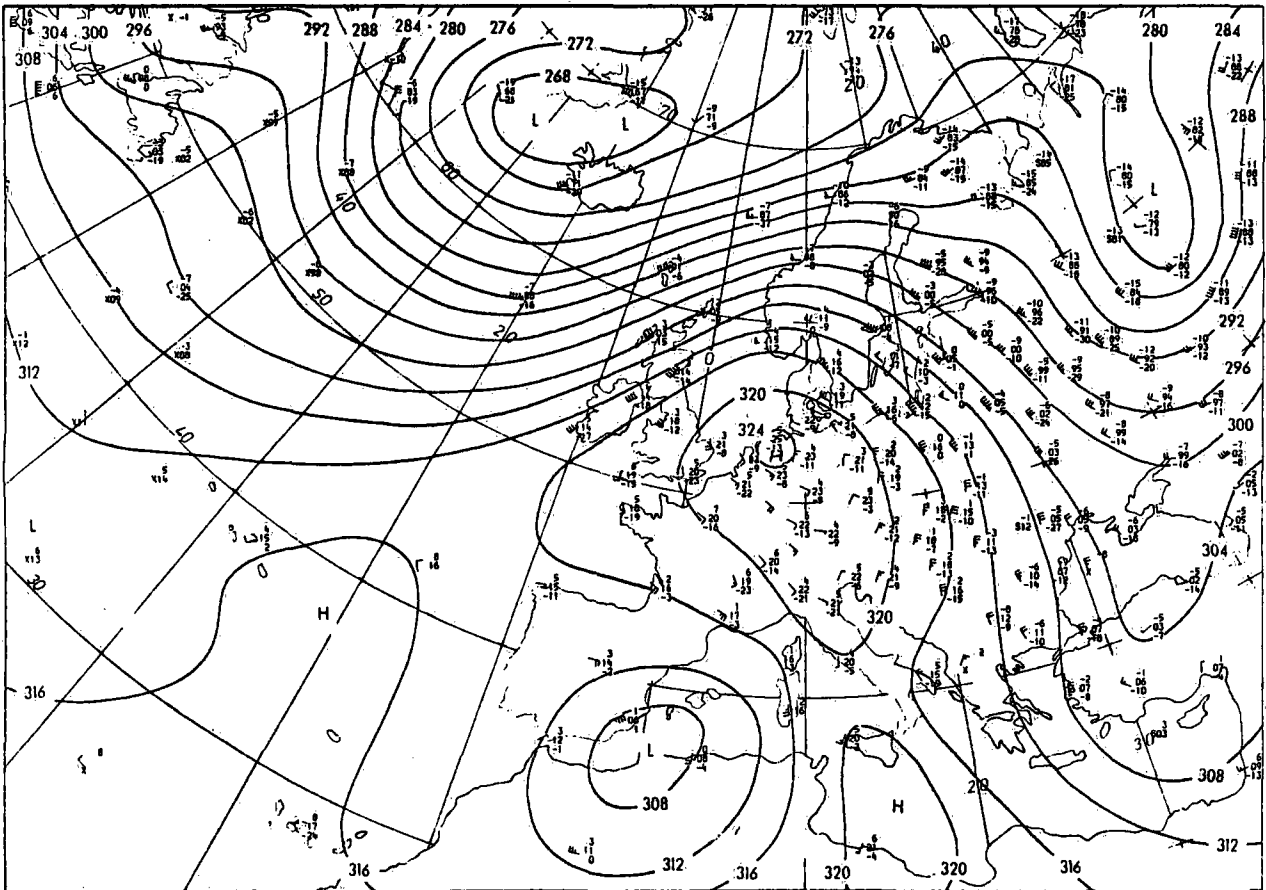
Figura 4a

Figura 4b

1.10.1986



850 hPa 00 UTC



700 hPa 00 UTC

questo tipo di tempo sono perlopiù estivi e con temperature sopra la norma.

Visto che la situazione S può presentare caratteristiche così diverse, volendo differenziare ulteriormente la classificazione, qui si potrebbe distinguere per esempio tra S- (ciclonale) e S+ (anticiclonale), oppure tra S1 (con precipitazioni) e S0 (senza precipitazioni). Altre possibilità sono facilmente immaginabili.

Da non scordare inoltre è l'importanza di questo tipo di tempo per le deposizioni acide sul pendio sudalpino. Infatti si legge a pag. 56 del rapporto finale del "Gruppo di Studio delle Caratteristiche Chimiche delle Precipitazioni dell'Italia Settentrionale"(1986): "L'analisi meteorologica suggerisce che l'acidità riscontrata nel bacino del Lago Maggiore è da collegarsi alla prevalenza di venti sud Occidentali durante i periodi di pioggia che tendono a trascinare verso le Prealpi tutte le emissioni del triangolo industriale. Le precipitazioni a carattere orografico (effetto Stau) dilavano l'aria ed alleggeriscono il carico ionico delle nubi. In tal modo le precipitazioni arrivano nelle zone centrali delle Alpi avendo già perso parte del carico inquinante." Questa è anche una delle ragioni per la limpidezza dell'aria favonica nelle vallate dall'altra parte delle Alpi. Sarà da chiarire se sia possibile, o perlomeno se nel periodo considerato si è potuto constatare un apporto di sostanze inquinanti gassose dal triangolo industriale, non (ancora) in soluzione acquosa. Per la risposta vedi cap.4.3.

Il periodo da noi classificato (15.1.86-7.2.87) è da considerare ricco di avvezione da S: 63 giorni costituiscono il 16 % sul totale dei giorni. Come mostra tab.3 oltre la metà di questi giorni sono compresi nei mesi gennaio-aprile; il mese di aprile con 16 giorni di S ne risulta straordinariamente ricco, causando "esondazione del Verbano, straripamenti, scoscendimenti e numerose valanghe nelle vallate" (SPINEDI/KAPPENBERGER, 1986, p.17). Contrariamente alle altre situazioni la frequenza dei giorni con S, come pure la loro distribuzione lungo l'anno (tab.3) sono perciò considerare con cautela.

Inoltre, come si vede da fig.6, la situazione di avvezione da S, in confronto alle altre situazioni sembra mostrare una certa tendenza a persistere durante vari giorni. Ma affermazioni più affidabili richiederebbero una valutazione statistica di vari anni.

2.4.4 Torbido tutto il giorno (T)

Abbiamo visto finora le situazioni avvezzive, cioè con netto apporto di aria da altre regioni, che costituiscono il 32 % dei giorni considerati. Mettendo da parte le situazioni non classificabili o miste (4,6 %, vedi cap. 2.4.8), rimangono 63,5 % di situazioni durante le quali l'aria presente resta essenzialmente nella zona, seppure talvolta con spostamenti dovuti ai venti locali termici.

I giorni durante i quali la visibilità resta praticamente tutto il giorno sotto 5 km vengono raggruppati in questa classe. Le situazioni sinottiche che portano generalmente a questo tipo di tempo possono raccolte in due gruppi: da un lato quelle in cui c'è avvezione da SW-SE in altitudine (a 500 hPa) ma non abbastanza marcata per essere classificata sotto S, in genere collegata all'arrivo di una saccatura. La maggioranza dei casi è però costituita da situazioni con un centro depressionario circa sopra le nostre regioni o poco più a meridione (bassa pressione sul Golfo di Genova). In genere è una situazione transitoria, che raramente dura più di un giorno, v. fig.6. Precede di solito la situazione di avvezione da sud (S), oppure la segue precedendo l'arrivo del favonio, o infine, se la depressione mediterranea è in esaurimento o in allontanamento, allora T è seguita da un miglioramento graduale del tempo.

La tab.3, che mostra la distribuzione dei tipi di tempo sui mesi

considerati, non lascia vedere un'andamento per questa situazione; sembra quasi esserci una frequenza leggermente maggiore durante i mesi primaverili e autunnali, ma è poco convincente.

2.4.5 Le situazioni con inversione (I1 e I2)

Se le situazioni FA, S, T possono essere escluse, e non vi è neppure invernata, rimangono i giorni con aria perlopiù stagnante (vedi fig.1). La notte spira spesso debolmente la brezza di monte (tramontana), che però (vedi cap.4.2.3) ha una debole intensità, direzione variabile e probabilmente, a causa della stratificazione stabile, anche uno spessore ridotto. Sono queste le condizioni ideali per l'accumulo di sostanze inquinanti gassose, che, come vedremo più tardi, raggiungono le concentrazioni più alte con I1 e I2.

Le inversioni sono definite, oltre che dall'assenza di venti, dalle temperature medie giornaliere delle stazioni ANETZ MAG, OTL e CIM (vedi definizioni, cap.2.4.1,4)). È chiaro che la presenza di inversioni non può essere stabilita che con una certa imprecisione, dovuta in parte alla ridotta risoluzione termica verticale (3 stazioni per quasi 1500 m di dislivello), in parte alla debole risoluzione temporale. Inoltre i valori-soglia (-4K per I2, risp. 0,5K per I1) sono stati determinati empiricamente, non esistendo alcuna base di confronto, fuorchè l'aspetto di eventuali strati di foschia registrati sui filmati. Infatti un primo tentativo di classificazione di B0, I1, I2 aveva come criterio classificatorio i valori stimati dello spessore, della densità, dei movimenti, nonché della nitidezza del limite superiore delle foschie visibili sui filmati. L'impiego della temperatura media di MAG, OTL e CIM sembra però dare risultati più affidabili, in quanto i gradienti verticali della temperatura sono pur sempre degli indicatori essenziali per la stima o per il calcolo della disponibilità scambi verticali dell'aria.

Questi due tipi di tempo rappresentano le condizioni di bel tempo invernale, con cielo generalmente sereno. Con l'insolazione diurna solo debole, rispetto alle giornate estive, e le notti lunghe, risulta una perdita di energia della superficie terrestre con conseguente raffreddamento, che determina delle correnti discendenti (catabatiche) dai pendii. L'aria fredda si accumula nelle valli, formando i cosiddetti laghi di aria fredda, che stabilizzano la stratificazione, impedendo gli scambi verticali.

A dipendenza di vari parametri come la situazione sinottica, la temperatura e l'umidità dell'aria, nonché della persistenza o meno dello status quo, l'inversione si crea solo in vicinanza del suolo (tra MAG e OTL, I1) o più in alto tra OTL e CIM (I2). Anche con le situazioni di brezza si forma generalmente l'inversione notturna: questa si limita però ad alcuni decimetri di spessore e si dissolve rapidamente con il riscaldamento mattutino del suolo. Invece, con le situazioni I1, pur non potendo escludere una corta dissoluzione sul mezzogiorno, l'inversione resta in modo abbastanza marcato da giustificare questa denominazione (soprattutto considerando che l'apparizione dell'inverna a MAG è legata alla labilizzazione dello strato limite).

Come mostrano le fig.6 e tab.3, questa situazione è tipicamente invernale e può durare anche parecchi giorni, soprattutto I2. Inoltre sembra che Giove-Pluvio abbia concesso più tempo stabile e sereno all'inverno 1986/'87 che non a quello precedente.

Per caratterizzare meglio la persistenza delle inversioni (sempre sulle medie giornaliere), la fig.6 mostra, oltre alla distribuzione della durata di I1 e I2, anche quella di inversioni in generale, tra MAG e OTL, risp. tra OTL e CIM. Durante le inversioni a media quota, infatti, c'è

praticamente sempre anche inversione a bassa quota; inoltre anche situazioni di brezze (soprattutto autunnali) possono, nella media giornaliera, mostrare un'inversione di temperatura. A questo modo possono esserci (nel nostro caso) perfino 19 giorni consecutivi con inversione termica tra MAG e OTL. Questo evidentemente si ripercuote sulla concentrazione delle sostanze inquinanti dell'aria negli strati bassi dell'atmosfera.

Ritorniamo però ancora rapidamente ai problemi della classificazione (fig.1). Qui risulta che i tipi di tempo I1 e I2 sono possibili solo in assenza dell'inverna (dato che un giorno con inverna non può essere classificato come I1 o I2); ma proprio l'elevato numero di giorni con inversione tra MAG e OTL, risp. tra OTL e CIM suggeriscono che devono esserci dei casi di inversioni non registrati dalla classificazione, compresi in giorni di brezza. Per illustrare il dilemma, qui sotto è riportata la tabella 2, con la temperatura media (TT, gradi Celsius), le direzioni (DD, gradi) e le velocità medie (FF, m/s) del vento ai 4 termini (H1=06 UTC, H2=12 UTC, H3=18 UTC, H4=24 UTC) per le stazioni MAG, OTL, CIM, del 16.9.1987.

Tabella 2:

STAZIONE	TT	16 settembre 1987							
		DDH1	FFH1	DDH2	FFH2	DDH3	FFH3	DDH4	FFH4
CIM	20,0	326	1,1	193	1,8	245	2,1	0	0
OTL	21,2	360	0,4	180	1,4	360	1,1	351	0,6
MAG	19,7	90	1,4	270	1,8	153	0,2	90	0,8

Considerando solo la temperatura, questo giorno verrebbe classificato come I2, mentre esaminando i venti si constata la presenza dell'inverna a MAG al termine di mezzogiorno, che porterebbe alla classe B1.

Ci si può chiedere, quindi, se il criterio dell'inversione non debba precedere quello dell'inverna, cioè la presenza delle brezze pomeridiane verrebbe considerata per la classificazione solo se non vi sono tali inversioni. Oppure, un'ulteriore alternativa consisterebbe nel combinare inverna e inversione per formare delle classi portanti, per esempio, la seguente denominazione: "inversione a bassa quota con breve dissoluzione sul mezzogiorno". Per finire si rischia però di ottenere uno spettro interminabile di tipi di tempo e troppo pochi casi per classe, di modo che risultano impossibili i lavori statistici... Quindi, in modo quasi arbitrario, si è deciso di dare più peso al criterio della brezza, qualora questa venga registrata.

Il vantaggio di questa classificazione sta nell'individuare i giorni con aria stagnante in uno strato limitato, ciò che può avere conseguenze notevoli sulla qualità dell'aria in prossimità del suolo.

2.4.6 Brezze (B1, B2, B0)

Con circa 42 % dei giorni considerati questa è la classe numericamente più importante (resterebbe da vedere come cambierebbe la sua importanza relativa su un periodo pluriennale).

Come già accennato varie volte, sono queste le situazioni in cui la stazione di Magadino (MAG) registra i venti termici locali nel loro ciclo giornaliero; sono indotti, appunto, dall'alternarsi del riscaldamento

diurno e del raffreddamento notturno. Il vento termico notturno e mattutino è chiamato tramontana, e, seguendo l'inclinazione della valle, a Magadino spira in media dal settore est (vedi anche ISM/SMA, 1986), con forze tra 0 e 4 m/s.

Tra le nove di mattina e mezzogiorno, a dipendenza della stagione, la tramontana cessa e viene sostituita dal vento di valle (inverno). L'inverno soffia dal settore W con forze tra 1 e 5 m/s (medie su 10 min.); il periodo durante il quale ha la maggiore costanza e intensità è primavera/inizio estate. La sua presenza è osservabile anche dagli alberi sul fondovalle tra Arbedo e Biasca, che, seguendo la direzione del vento, pendono verso N; a quanto pare neppure i venti da N (favonio e venti di monte) riescono ad impedire la crescita vistosamente obliqua; forse proprio perché il periodo migliore dell'inverno coincide con il periodo di crescita dei rami ancora teneri in primavera.

L'inverno è il vento tipico per i giorni di bel tempo estivo, con l'anticiclone delle Azzorre sull'Europa centrale, senza gradienti su scala sinottica marcati in vicinanza (vedi fig.5, cartine del 29.7.86). Nel corso della giornata, a causa delle correnti ascensionali, si creano spesso annuolamenti cumuliformi sulle cime delle montagne, che sui filmati all'acceleratore appaiono come violenti bollori. Poi, verso il tramonto, con il cessare della forza motrice, cessa anche il vento di valle: il termine delle 17 UTC appare addirittura ideale per un'ulteriore distinzione dell'inverno in base alla sua durata. Infatti (vedi tab.3) in settembre le situazioni B2 non compaiono quasi più, mentre le B1 ci sono con una certa frequenza da marzo fino a novembre; come c'era d'aspettarsi, questo sembra confermare la dipendenza della durata dell'inverno dal numero di ore di sole o dalla stagione già solo con 390 giorni classificati.

La situazione B0, da quanto risulta dai 10 casi nel periodo classificato, sembra un po' non essere né carne né pesce, come dice il proverbio, cioè né bello né brutto tempo. Sono giorni senza inversione (secondo le definizioni di I1 e I2!) e senza inverno, la tramontana c'è a volte, una discreta insolazione pure. Ma in tutta quest'amorfità sembra stagliarsi la possibilità di dividere le situazioni B0 in 2 gruppi: da un lato i B0 che seguono o precedono la situazione T, dall'altro quelli che seguono o precedono FA. In base a questa distinzione possono anche essere caratterizzate meglio: innanzitutto si può dire che (come T) B0 sono situazioni di transizione. Le prime presentano praticamente le stesse caratteristiche come T, ma il contenuto minore di vapore acqueo o di nebbia permette una migliore visibilità; ma la copertura di nuvole (Sc, St, Ac, As), con inversione in altitudine, impedisce lo sviluppo della brezza di valle. Non di rado con questa situazione si registrano deboli precipitazioni, principalmente sotto forma di neve in inverno. Nell'altro gruppo di B0, quello legato a FA, l'inverno probabilmente non si sviluppa a causa di una leggera sovrappressione a N delle Alpi, eventualmente con vento da nord in altitudine, che blocca i venti anabatici (ascendenti) sopra le montagne; di conseguenza non si sviluppa neppure la brezza di valle.

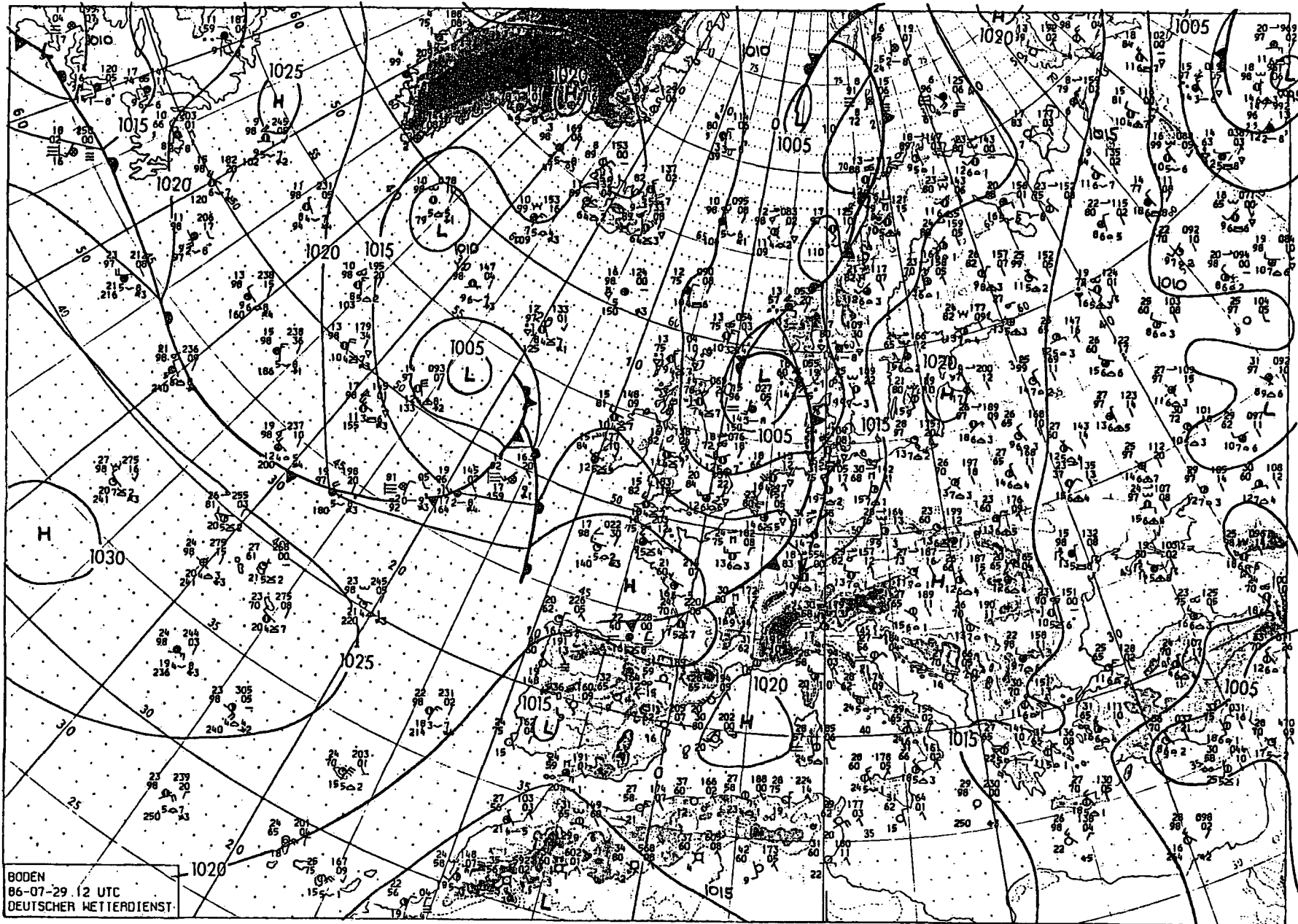
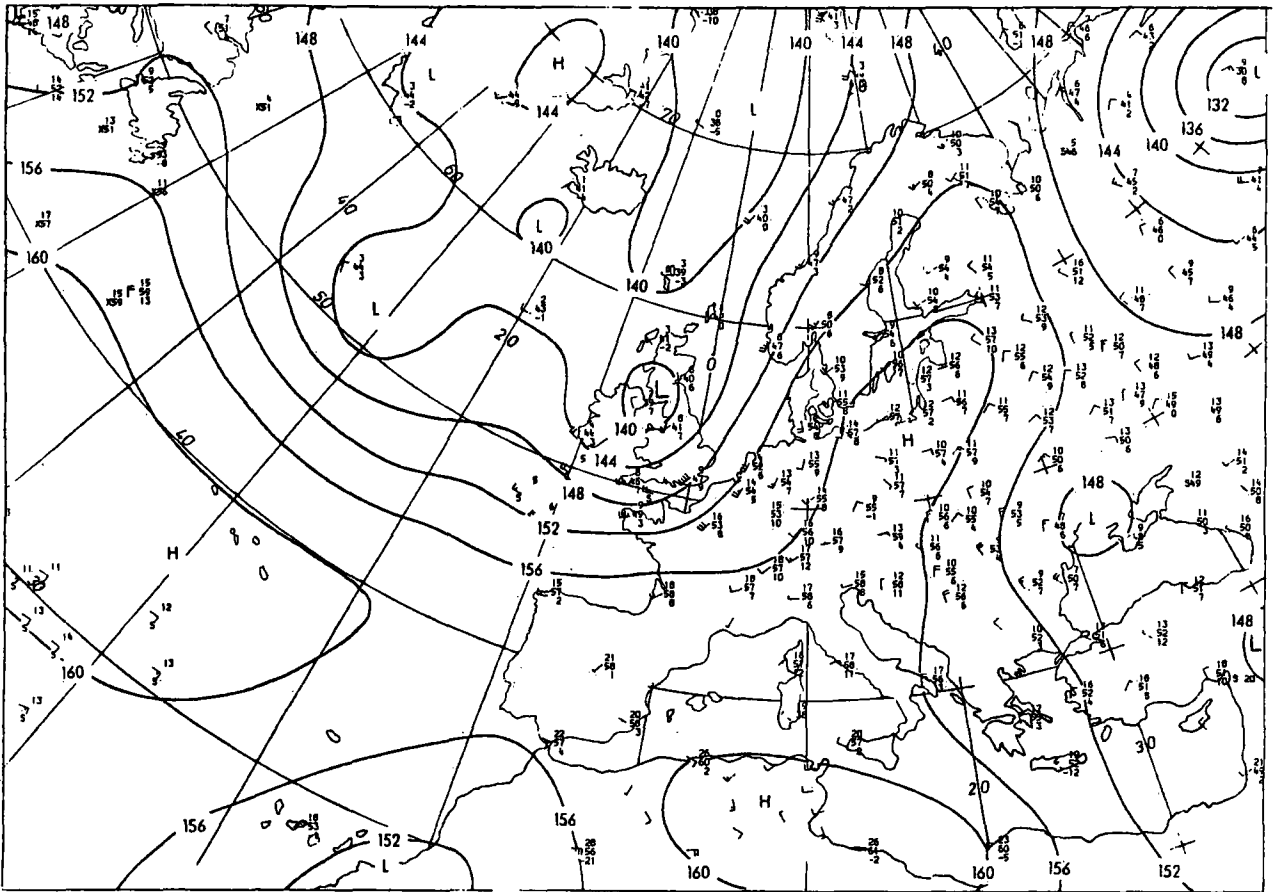


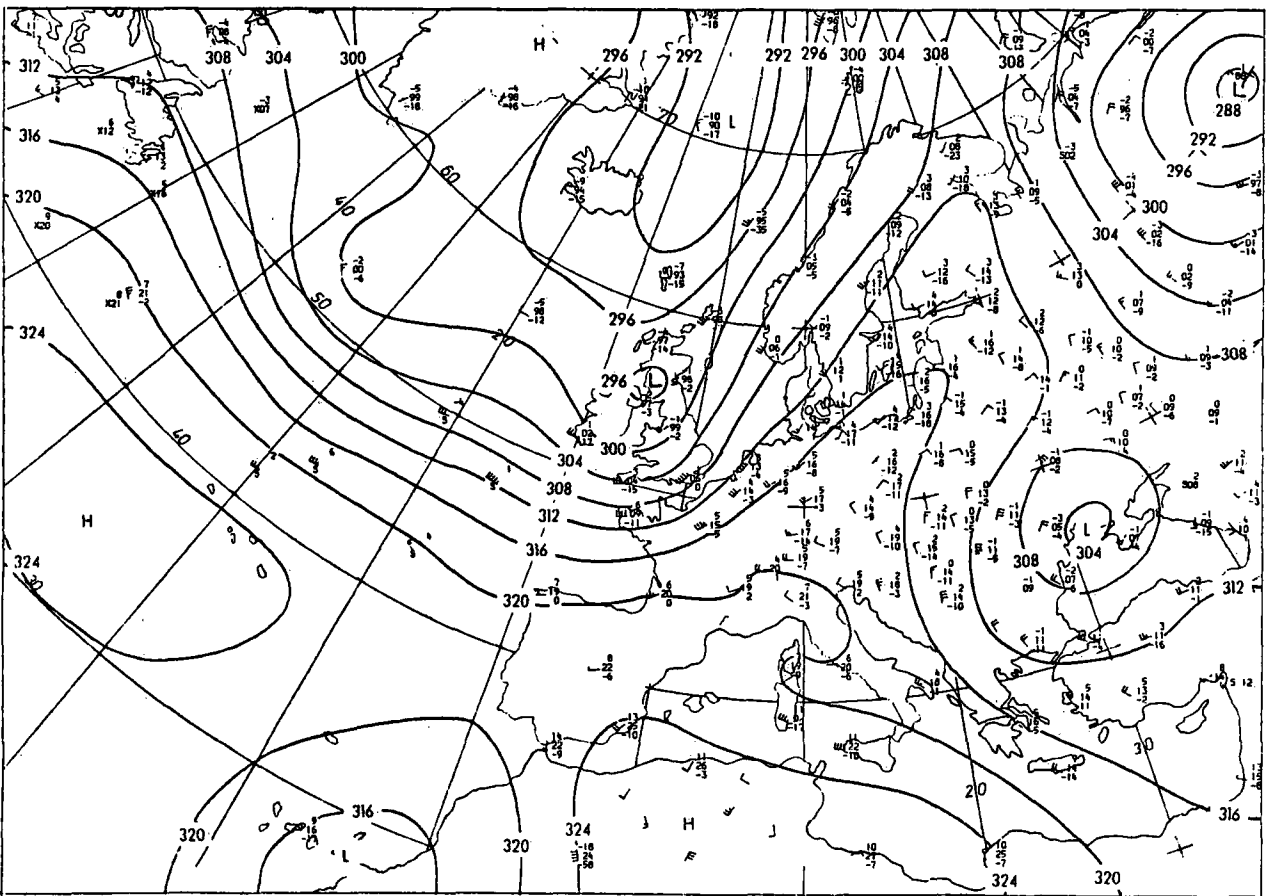
Figura 5a

Figura 5b

29.07.1986



850 hPa 00 UTC



700 hPa 00 UTC

2.4.7 Invernone (Bi)

Già il nome suggerisce che l'invernone sia parente stretto dell'inverna. Infatti i due venti sono entrambi locali e spirano dalla medesima direzione risalendo il Lago Maggiore. La differenza essenziale consiste però nell'origine dei due venti: l'inverna è di origine termica, mentre l'invernone è di origine dinamica, causato cioè da gradienti di pressione governati dal campo barico sinottico-regionale. Questa differenza comporta, che, mentre l'inverna è legata al riscaldamento diurno e soffia esclusivamente tra la tarda mattinata e la sera, l'invernone può durare anche la notte, oppure iniziare il mattino presto, ecc.; insomma è indipendente dal ciclo giornaliero, anche se si rafforza generalmente nelle ore pomeridiane. Di conseguenza è spesso difficile valutare sul momento se si tratti di inverna o invernone, ancora più difficile sarà la distinzione in un secondo tempo in base ai dati misurati alle poche stazioni presenti nella regione. Essendo però nel contempo vento locale e fenomeno avvertivo (che entra quindi in considerazione per l'importazione di inquinanti dalla Valpadana, vedi cap. 4.5 e 4.6) si è deciso di far comunque rientrare l'invernone nella classificazione, qualora venga osservato e annotato dal meteorologo di turno a Locarno-Monti (OTL).

Le condizioni preliminari, necessarie affinché l'invernone possa svilupparsi, possono essere circoscritte come segue. Un anticiclone passeggero e postfrontale si sposta dalla Germania verso l'Austria e la Jugoslavia il giorno precedente, dando luogo, sul suo lato meridionale, alla "bise" sull'Altipiano. Con il suo spostamento sulle Alpi Orientali si crea un gradiente di pressione dalla Slovenia verso la Pianura Padana, che dà origine alla tipica "bora" sul Golfo di Trieste; dell'aria fredda si riversa dalle Alpi Giulie sulla Pianura Padana, dove, al suo limite verso la Francia, è impedita dalle Alpi Occidentali. A questo modo l'aria fredda, come la lingua di un ghiacciaio, si espande verso N e affluisce nelle vallate subalpine. Questa corrente si infila anche sul Verbano e raggiunge il Piano di Magadino da SW, con velocità anche temibili per i velisti sul lago. Normalmente il cielo si copre di Sc la cui base si aggira sui 800-1500 m circa. Questo fenomeno meteorologico, nel gergo dell'Istituto Svizzero di Meteorologia è chiamato generalmente "ritorno da Est", perché l'aria fredda gira praticamente attorno alla catena alpina e ritorna sulla Pianura Padana da Est, solitamente in concomitanza con una depressione mediterranea. L'invernone può avvenire anche con caduta di pressione sull'Europa Occidentale, a causa dell'arrivo di una perturbazione atlantica, precedendo quindi la situazione di avvezione da sud.

Un processo che sempre accompagna l'invernone nella regione è l'aumento della pressione atmosferica (dovuto all'afflusso di aria fredda), che entrerebbe in considerazione come eventuale criterio di classificazione, per identificare l'invernone esclusivamente da dati numerici.

2.4.8 Situazioni miste (*)

Nel periodo classificato i giorni inclassificabili sono risultati essere il 4,6 % del totale: sono generalmente dei casi in cui il tipo di tempo cambia troppo velocemente per permettere l'assegnazione ad una delle classi definite; in altre parole si hanno due o più situazioni riunite in un sol giorno. Pur essendo sicuramente dei giorni molto interessanti, non sono stati esaminati ulteriormente.

3. Analisi comparata delle diverse situazioni meteorologiche

3.1 Distribuzione lungo l'anno

Tabella 3: Distribuzione dei tipi di tempo lungo il periodo esaminato:

	MESI												(2) totale		
	(1) 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1			
FA	3	-	3	4	4	1	1	1	-	2	3	6	5	-	33
FA11	3	1	2	-	1	1	2	2	1	1	-	3	4	-	21
FA17	2	-	1	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	-	7
FAE	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
T	-	3	1	4	2	-	1	1	2	-	2	1	2	1	20
S	6	9	4	16	5	2	2	4	4	5	4	1	2	-	64
I1	1	4	4	-	1	-	-	-	-	-	5	5	4	-	24
I2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	11	12	3	31
BO	1	5	-	1	-	1	-	-	-	-	2	-	-	-	10
B10	-	2	4	-	7	3	2	5	7	7	2	-	-	1	41
B11	1	1	3	-	7	6	4	3	3	2	6	1	-	1	37
B12	-	-	7	-	-	4	4	1	9	12	-	-	-	1	38
B20	-	-	1	1	2	4	3	3	1	-	-	-	-	-	15
B21	-	-	-	-	-	6	5	3	1	-	-	-	-	-	15
B22	-	-	-	-	1	1	4	2	-	-	-	-	-	-	8
Bi0	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	5
Bi1	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	5
Bi2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
*	-	1	1	4	1	-	1	5	-	-	3	2	2	-	20
Invers. tra OTL e 7 MAG >=1K	7	6	8	2	8	3	1	1	4	22	21	24	21	6	134
Invers. tra CIM e 2 OTL >=-4K	2	-	2	-	-	-	-	-	-	5	7	12	14	7	49

La tabella mostra per ogni mese il numero di giorni assegnati ai vari tipi di tempo.

Il primo e l'ultimo mese della tabella (gennaio 1986 risp. febbraio 1987) sono incompleti e sono quindi stati messi tra parentesi (comprendono risp. 17 e 7 giorni).

Qui vengono esaminate cose già viste nei rispettivi sottocapitoli precedenti, però con le varie situazioni confrontate tra loro.

Sono stati classificati circa 390 giorni; sicuramente non bastano per affermazioni statisticamente valide: ciononostante certe tendenze riguardo alla distribuzione sul ciclo annuo di determinate situazioni sono riconoscibili. Questo vale per le situazioni FA, I1, I2, B1, B2. La prima (FA), come già accennato, è una situazione perlopiù invernale; questo deriva essenzialmente dall'attività ciclonale più marcata in inverno, dovuta a sua volta al maggiore contrasto termico tra basse e alte latitudini. Il fatto che il favonio è più frequente in inverno, farebbe supporre che ciò dovrebbe valere anche per la situazione S; data però la distribuzione anomala durante la primavera 1986, sarebbe troppo azzardato a partire dal periodo considerato voler dedurre delle tendenze caratteristiche.

Le situazioni I1, I2, B1, B2 rappresentano tutte situazioni soleggiate, cioè di bel tempo. Sotto queste condizioni sono d'aspettarsi le peculiarità

micro- e mesoclimatiche delle stagioni, in particolar modo riguardo al regime dei venti. Quest'ultimo è poi anche il criterio che li distingue e caratterizza nella classificazione (vedi fig. 1 e cap. 2.4.5). Di conseguenza non stupisce che le situazioni di inversione (I1 e I2) siano autunnali e invernali (bilancio energetico negativo, raffreddamento del suolo, inversioni). Inoltre, esaminando le inversioni tra MAG e OTL, risp. tra OTL e CIM (in fondo alla tabella), si conferma la predilezione della stratificazione stabile con scarso ricambio d'aria durante l'inverno. Si osserva però anche che l'estate non è esente da inversioni tra MAG e OTL, che si manifestano ancora tramite le temperature medie giornaliere. Allo stesso modo non stupisce che le situazioni di brezza siano estive, ma non è qui il luogo per spiegare i meccanismi che causano le brezze termiche. Dalla tabella deriva inoltre che non è possibile dedurre delle tendenze sul ciclo annuo per le seguenti situazioni: S, T, Bi, *.

3.2 Durata dei tipi di tempo

La figura 6 è composta da 17 istogrammi. Sulle ascisse, con "D", è riportato il numero di giorni di persistenza consecutiva di una situazione, mentre sull'asse verticale è indicato con "n" il numero di casi in cui si è riscontrata una persistenza di D giorni. Inoltre, con "o", nei grafici è pure riprodotto il prodotto di n e D (con la scala sull'ordinata dimezzata), che indica in pratica il "peso" della durata sul numero dei giorni di una data situazione, cioè quanti giorni sono complessivamente raggruppati in una classe di durata.

Anche qui vale ovviamente quanto detto in 3.1 riguardo all'insicurezza dell'interpretazione dovuta al fatto che i giorni classificati sono solo 390.

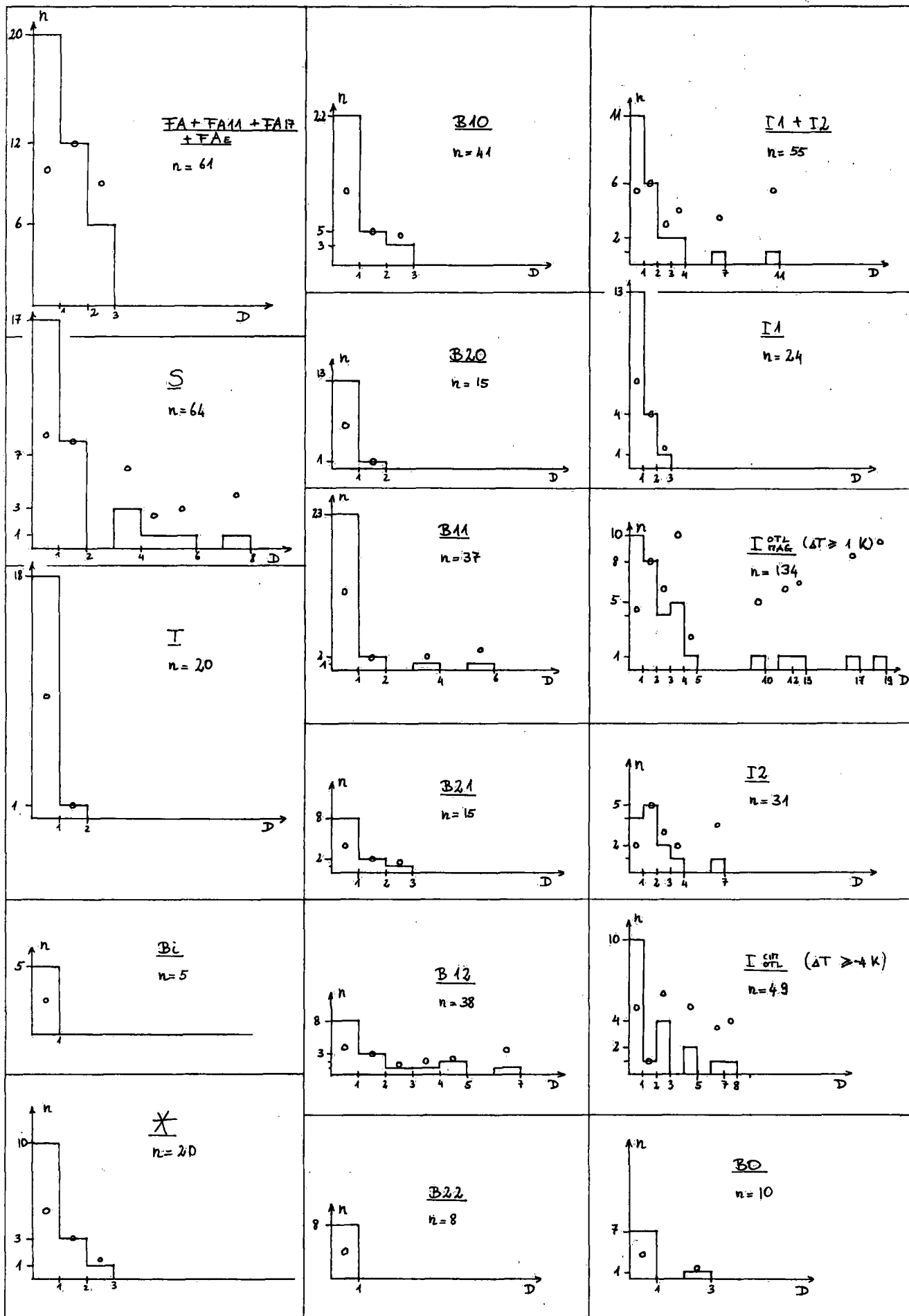
Le situazioni di tempo che più sembrano disponibili a persistere a lungo sono: S, B11, B12 e le situazioni di inversione. Per T e B0 è già stato menzionato il carattere transitorio, che vale anche per Bi.

Da quanto si può osservare dal periodo classificato, sembra che, all'interno della classe S, siano soprattutto i casi ciclonali (vedi 2.4.3) a durare a lungo, mentre quelli anticiclonali (ed estivi) tendono a durare poco.

Le altre situazioni di lunga persistenza sono quelle con bel tempo anticiclonale o con pressione livellata (vedi 3.1 riguardo alla differenza essenziale tra B e I). Il fatto che siano proprio i tipi di tempo con scarso ricambio dell'aria a durare a lungo, ha per conseguenza l'accumulo delle esalazioni antropogene durante vari giorni, ma su questo avremo occasione di ritornare più avanti (vedi cap.4).

La situazione I1, a giudicare dal relativo istogramma, non dura mai oltre 3 giorni. Bisogna però considerare, che l'inversione a basse quote non esclude quella a medie quote (I2), cioè, come già accennato sopra, quasi tutti i giorni di I2 mostrano anche inversione sotto OTL; in altre parole I1 esclude I2, ma non viceversa: è una questione di definizione. E per questa ragione che è sorta l'esigenza di esaminare anche la durata delle inversioni tra OTL e MAG separatamente, dove il valore-soglia è stato alzato da 0,5 a 1 K (cioè: la temperatura media giornaliera di OTL supera quella di MAG di almeno 1 K). Con questa definizione l'inversione può persistere anche per quasi 3 settimane, ed i casi in cui dura un solo giorno sono di minore importanza numerica rispetto a quelli di durata superiore.

Figura 6 Durata delle situazioni in giorni: n = numero dei casi; D = durata in giorni



3.3 Differenze medie di temperatura tra MAG, OTL e CIM

Qui si tratta di vedere in che modo le differenze medie di temperatura e le loro deviazioni standard tra MAG e OTL e tra OTL e CIM dipendono dai vari tipi di tempo (fig.7). Conoscendo anche i dislivelli tra le stazioni è facile calcolare poi i gradienti medi, per confrontarli con alcuni gradienti termici verticali particolari (MAG si trova a 197 m/slm, OTL a 366 m e CIM a 1671 m).

Innanzitutto si vede, che praticamente tutte le situazioni possono presentare un'inversione di temperatura tra OTL e MAG; le situazioni meno predisposte in questo senso sono S, T e B0. Le prime sono collegate a tempo generalmente coperto, per cui la mancanza di inversioni non stupisce, mentre B0 per definizione non può mostrare un aumento della temperatura media tra MAG e OTL superiore a 0,5 K (altrimenti rientrerebbe in I1 o I2), per cui anche qui tutto resta nella normalità (grazie a Dio!...). Per le differenze di temperatura tra OTL e CIM è interessante notare la variabilità relativamente debole nelle situazioni S (nonostante il numero elevato di casi). E da attribuirsi probabilmente al gradiente termico verticale vicino a quello adiabatico umido, dato che spesso la situazione S, ma anche la T, è accompagnata da pioggia o nevicata. Contrasta invece la grande variabilità delle differenze di temperatura nella situazione B0, che possono arrivare vicine a quelle dovute alla compressione adiabatica nelle FA: qui si rimanda alla suddivisione di B0 nei 2 gruppi riportati sotto 2.4.6; la rassomiglianza con FA, nonchè la loro variabilità dovrebbero quindi essere comprensibili.

La situazione FA, come già accennato (cfr. anche con 2.4.2), presenta differenze di temperatura molto elevate tra OTL e CIM. Tra OTL e MAG, per contro, inversioni non sono una rarità; ciò è dovuto al fatto che di regola il favonio arriva più tardi e finisce prima sul Piano di Magadino, inoltre spesso cessa verso le ore notturne. Quindi, con l'aria molto secca e il cielo sereno, l'inversione si forma rapidamente e in maniera efficace, non appena il favonio perde un po' di forza. Il problema di quando il favonio raggiunge il Piano di Magadino e quando no, non è di facile soluzione e non ha purtroppo potuto essere analizzato.

I tipi di tempo I1 e I2, riguardo alle differenze di temperatura, riflettono semplicemente le definizioni (2.4.1, 4) e 5)). Interessante è però, che l'inversione tra MAG e OTL appare più marcata con I2 che non con I1.

Le situazioni B10, B11, B12, B20, B21, B22, B1 mostrano come le differenze verticali di temperatura aumentano progressivamente in entrambi i livelli, mentre la variabilità diminuisce. Le differenze medie di temperatura aumentano, perchè con maggior vento termico corrisponde una minore disponibilità alle inversioni, dovuta a sua volta alla labilizzazione più efficace con B2, alla minore perdita radiativa di energia dovuta alla foschia densa, nonchè al miglior rimescolamento degli strati con più inverte. Questo determina anche una diminuzione della variabilità.

3.4 Differenze di pressione

L'idea di esaminare le differenze di pressione al sud delle Alpi è sorta nel tentativo di trovare una spiegazione per i meccanismi che portano all'invernone (2.4.7). Ma visto che una spiegazione fondata richiederebbe l'analisi di tanti casi e questo richiederebbe più tempo di quanto ce ne sia a disposizione, questo capitolo si limita a mostrare la distribuzione della pressione atmosferica per 10 giorni singoli con condizioni di tempo molto diverse.

Per permettere un confronto diretto le pressioni atmosferiche sono

Figura 7

DIFFERENZE MEDIE DI TEMPERATURA (ΔT) TRA
CIMETTA (CIM), KOCARNO-MONTI (OTL) E MAGADINO (MAG):

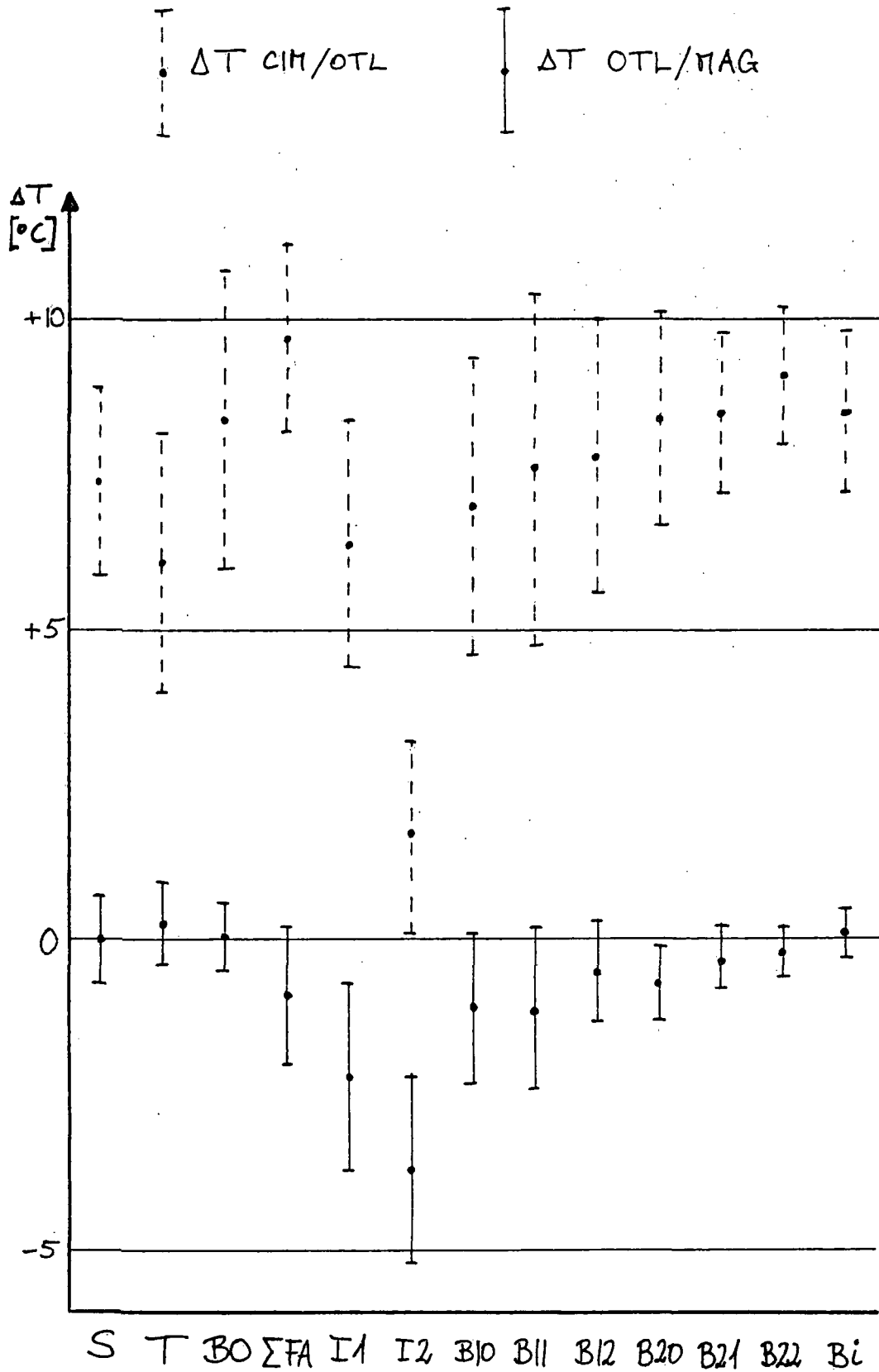


Tabella 5 Differenze di pressione tra le stazioni ANETZ al sud delle Alpi

1) 23.12.86 : FA				
	06	12	18	24
PIO	+45	+12	+14	+14
SBE	+46	+9	+19	+15
ROB	+31	+7	+17	+6
CIM	+20	+3	+18	+6
OTL	+5	-2	+7	-2
MAG	917.9	921.6	922.1	923.7
LUG	-4	-9	-10	-10
KLO	+58	+28	+26	+31

2) 4.3.86 : FA				
	06	12	18	24
PIO	+24	-13	+2	-1
SBE	+33	0	+15	0
ROB	+27	-2	+7	+17
CIM	+23	+5	+18	+18
OTL	+2	-2	+1	0
MAG	916.4	918.8	919.0	921.0
LUG	-7	-4	0	-3
KLO	+51	+32	+13	-2

3) 15.12.86 : FA				
	06	12	18	24
PIO	+38	+5	+8	+5
SBE	+41	+8	+20	+14
ROB	+25	+11	+13	+14
CIM	+19	+8	+24	+19
OTL	0	0	-4	-4
MAG	919.2	921.6	921.9	920.4
LUG	-15	-5	-6	-9
KLO	+53	+16	-27	-52

4) 16.12.86 : FA11				
	06	12	18	24
PIO	+17	+17	+14	+16
SBE	+23	+12	+10	+16
ROB	+18	+1	0	+6
CIM	+22	+8	+10	+15
OTL	0	-4	+2	-1
MAG	918.1	919.9	921.7	923.5
LUG	-9	-15	-9	-14
KLO	-17	+27	+23	+5

5) 22.4.86 : S				
	06	12	18	24
PIO	-19	-18	-15	-28
SBE	-3	-4	+1	-4
ROB	+9	+18	+25	+25
CIM	+4	+5	+6	+8
OTL	-2	+2	-3	-7
MAG	919.6	920.0	919.1	919.3
LUG	-6	-8	-10	-2
KLO	+8	-1	-9	-6

6) 5.4.86 : T				
	06	12	18	24
PIO	-5	-9	-4	-7
SBE	+5	+1	+10	+4
ROB	+8	+6	+14	+15
CIM	+13	+10	+16	+14
OTL	-2	-2	-2	-2
MAG	918.8	920.1	919.9	920.3
LUG	-7	-8	-10	-5
KLO	+35	+33	+43	+23

7) 28.6.86 : B22				
	06	12	18	24
PIO	+5	-20	+1	+19
SBE	+24	-13	+10	+37
ROB	+18	-16	+1	+25
CIM	+33	-5	+14	+33
OTL	-2	-3	-2	0
MAG	930.8	930.3	927.5	926.5
LUG	-6	-4	-4	-5
KLO	-2	+14	+22	0

8) 2.12.86 : T2				
	06	12	18	24
PIO	+21	+4	+18	+22
SBE	+37	+11	+34	+39
ROB	+29	+2	+29	+31
CIM	+31	+9	+33	+41
OTL	+2	-2	+1	+1
MAG	933.0	935.0	935.3	937.3
LUG	-5	-7	-6	-6
KLO	+39	+26	+22	+4

9) 11.3.86 : B11				
	06	12	18	24
PIO	-1	+3	-1	+2
SBE	+11	-4	+11	+13
ROB	+13	-14	+10	+12
CIM	+17	+2	+16	+17
OTL	-1	-3	-3	-2
MAG	925.7	927.4	925.6	926.7
LUG	-2	-4	-4	-5
KLO	-2	-20	-24	-10

- Per ognuno dei 9 giorni considerati c'è una tabellina; per ogni giorno vi sono 4 termini: alle 06, 12, 18, 24 ora UTC;
- Sono state riportate le differenze di pressione in 1/10hPa rispetto alla stazione di MAG;
- La stazione di KLO, in fondo ad ogni singola tabellina, è messa per stimare il gradiente di pressione attraverso le Alpi;
- Per MAG è riportata la pressione in hPa, ridotta a 800 m/slm: questo permette di vedere il cambiamento della pressione nel tempo;
- Le stazioni sono elencate secondo la loro posizione nord-sud.
- Le differenze di pressione tra LUG e MAG sono tutte < 0; non si è purtroppo ancora potuto stabilire se si tratti di un'errore di misura sistematico o di un interessante fenomeno mesoclimatico.

state ridotte al livello di 800 m/slm, che corrisponde più o meno all'altitudine media della regione in questione. Le stazioni ANETZ considerate sono le seguenti:

Tabella 4: Stazioni meteorologiche al sud delle Alpi:

STAZIONE	ABBREVIAZIONE	ALTITUDINE
Piotta	PIO	1015 m
S. Bernardino	SBE	1638 m
Robbia (Poschiavo)	ROB	1081 m
Cimetta	CIM	1647 m
Locarno-Monti	OTL	379 m
Magadino	MAG	198 m
Lugano	LUG	276 m
Kloten	KLO	432 m

Osservazioni per la lettura della tabella 5:

- (1) per ognuno dei 9 giorni considerati c'è una tabellina; per ogni giorno vi sono 4 termini: alle 06, 12, 18, 24 ora UTC;
- (2) Sono state riportate le differenze di pressione in 1/10hPa rispetto alla stazione di MAG;
- (3) la stazione di KLO, in fondo ad ogni singola tabellina, è messa per stimare il gradiente di pressione attraverso le Alpi;
- (4) per MAG è riportata la pressione in hPa, ridotta a 800 m/slm: questo permette di vedere il cambiamento della pressione nel tempo;
- (5) le stazioni sono elencate secondo la loro posizione nord-sud.
- (6) le differenze di pressione tra LUG e MAG sono tutte < 0; non si è purtroppo ancora potuto stabilire se si tratti di un'errore di misura sistematico o di un interessante fenomeno mesoclimatico.

3.4.1 Con bel tempo...

Esaminiamo dapprima un giorno estivo durante il quale le condizioni sono indisturbate, cioè un giorno senza correnti avverse e praticamente senza nuvolosità (vedi tab.5.7). La situazione è di B22, cioè con inverte ben sviluppata e foschia densa; la distribuzione della pressione su scala sinottica è livellata. Dopo la dissoluzione dei Cu e Sc mattutini, l'inso-lazione di fine-giugno è molto intensa; con la massa d'aria già calda il 28.6.86 è risultato uno dei giorni più caldi dell'anno.

La tabella 5.7 mostra chiaramente che anche i venti termici locali sono governati da gradienti di pressione a mesoscala. Infatti le stazioni più a nord, cioè più vicine alla catena alpina, la mattina mostrano sovrappressione rispetto a MAG, che provoca quindi il vento di monte (tramontana). Questo gradiente orientato verso MAG (e verso la Pianura Padana) si rovescia nettamente a mezzogiorno, dando luogo all'inverte. La sera alle 18 UTC le differenze di pressione hanno già nuovamente assunto la configurazione notturna, che dovrà ancora rafforzarsi; ciononostante l'inverte a MAG non è ancora cessata.

Un esempio per una situazione di bel tempo invernale (I2) è riportata sulla tab.5.8. La notte anche qui il gradiente è diretto nettamente verso MAG; ma a differenza del caso di inverte estivo, pur indebolendosi, le differenze di pressione notturne non sembrano rovesciarsi durante il giorno, il bilancio energetico negativo è dominante.

3.4.2 Situazioni avvelte

Dalle situazioni di brezze termiche passiamo a quelle avvelte e a quelle più complesse.

Tab.5.1 mostra un giorno di FA già menzionato nel cap. 2.4.2 e del quale le fig. 2a,b mostrano il campo barico sinottico (23.12.86). Il favonio era iniziato il giorno precedente (FA11) e, dopo una breve pausa notturna dovuta ad un'inversione formatasi tra MAG e OTL, riprende la mattina del 24.12. Innanzitutto si vede il netto gradiente di pressione tra KLO e MAG (5,8 hPa alle 06), che si indebolisce nel corso della giornata. La differenza di pressione è netta anche tra MAG e le stazioni ticinesi più a N, ma confrontando la tab.5.1 con 5.8 (I2), si vede che il quadro è quasi il medesimo. Se ne deduce che considerare soltanto queste tabelle non basta a spiegare i venti locali. È necessario tener conto anche dei giorni precedenti: il 22.12.86 vi è stato il passaggio di un fronte freddo attivo, seguito dall'anticiclone passeggero visibile sulla fig. 2a, dovuto all'afflusso di aria artica (v. fig. 2b).

Molto interessanti sono i giorni 4.3, 15 e 16.12.86 sulle seguenti tre tabelle, durante i quali il favonio c'è stato ma è cessato nel corso della giornata, oppure è iniziato solo nel corso della mattina. Da notare che tab.5.3 e 5.4 si riferiscono a due giorni consecutivi. Questi tre giorni verranno ancora analizzati più in dettaglio più avanti, sotto l'aspetto dell'igiene dell'aria: qui si tratta soltanto di esaminare la distribuzione della pressione.

Il 4.3.86 c'è stato favonio postfrontale la mattina nelle prime 4 stazioni della tabella (che sono quelle sopra 800 m/slm): la rassomiglianza con la distribuzione della tabella 5.1 è inequivocabile. Nel corso della mattina raggiunge il Piano di Magadino, ma verso le 13 UTC l'invernone ha riportato la foschia. Interessante notare, che il favonio soffiava ancora a mezzogiorno (3,1 m/s di media a MAG), anche se PIO registra già una pressione di 1,3 hPa inferiore rispetto a MAG; anche rispetto a SBE e ROB il gradiente si era già rovesciato. Poi verso sera, sembra istaurarsi la distribuzione di pressione catabatica, riconosciuta già sulla tab.5.7. Da notare, inoltre, che mentre la differenza di pressione tra KLO e MAG diminuisce, la pressione a MAG aumenta: questo aumento accompagna tipicamente l'invernone, come già menzionato nel cap. 2.4.7. Questo giorno verrà esaminato dal profilo dell'igiene dell'aria nel cap.4.4.

I giorni 15/16.12.86 mostrano le conseguenze di due passaggi frontali rapidi, ma visto che saranno oggetto del cap.4.5 ci limitiamo ad osservare come il 15.12 il favonio piuttosto forte è collegato all'ormai conosciuta distribuzione di pressione. Contemporaneamente la differenza di pressione tra MAG e KLO si rovescia in maniera si potrebbe dire spettacolare, per riformarsi il giorno seguente e dar luogo nuovamente al favonio, questa volta come FA11.

Infine, come ultimo caso di giorno avvelto, la tab.5.5) mostra la distribuzione della pressione atmosferica con una situazione di S. Le differenze tra MAG e KLO sono deboli, mentre si osserva una differenza nettamente negativa tra MAG e PIO che permane durante tutto il giorno. Inaspettata è la differenza positiva tra MAG e ROB, che si traduce in una differenza molto forte tra PIO e ROB (5,3 hPa a mezzanotte del 22.4.86): infatti con il 22.4.86 la scelta è caduta su un giorno assai poco tipico per S, dove un lieve cuneo di alta pressione, appena visibile sulla cartina sinottica, penetra da SE, dando luogo alla differenza di pressione osservata tra ROB e PIO. Infatti CIM registrava vento forte da E-SE tutto il giorno.

3.4.3 Altre situazioni

Da vedere restano ora le tab.5.6 e 5.9, con rispettivamente una situazione di T e Bi.

Il 5.4.86, con T, si nota una differenza positiva abbastanza netta tra KLO e MAG, che è dovuta all'avvezione di aria fredda a basse quote al nord delle Alpi (Bise). In altitudine c'è però avvezione di aria calda da SW, che non solo impedisce il favonio, ma genera una zona perturbata quasi stazionaria a ridosso delle Alpi. A basse quote risulta così un gradiente nord-sud, mentre più in alto sud-nord. La distribuzione della pressione sulla tab.5.6 è probabilmente da spiegarsi con la sovrapposizione dei due effetti: da un lato quello dell'avvezione da SW, che determina la differenza negativa PIO-MAG, dall'altro lato effetti catabatici e forse la sovrappressione a nord portano a differenze positive tra MAG e le stazioni SBE, ROB e CIM.

Sulla tab.5.9 dell'11.9.86, è riportata la distribuzione della pressione durante un giorno di invernone. La situazione sinottica corrisponde a quanto descritto sotto 2.4.7: un fronte freddo poco attivo era passato il 9.9.86 seguito da un'anticiclone passeggero, che durante l'11.9.86 ha dato luogo a venti dal settore E sulla Pianura Padana. L'invernone ha soffiato a Locarno-Monti già a partire da mezzanotte del 10., mentre a MAG, a causa dell'inversione al suolo, è giunto soltanto alla 03 dell'11.9. La tendenza ascendente della pressione a MAG è durata fino alle 13 UTC, dopodiché ha cominciato a diminuire; il comportamento della velocità del vento è analogo.

Il termine di mezzogiorno è quello che meglio rispecchia la situazione. Si nota chiaramente la tendenza al risucchio di aria verso le Alpi. Molto più nettamente la distribuzione caratteristica è visibile per il 28.9.87, nella tabella qui sotto:

TABELLA 6: Distribuzione della pressione al sud delle Alpi il 28.9.87:

ORE	28.9.1987			
	0600	1100	1320	
PIO	+6	-21	-21	Per la lettura della tabella vedi cap.3.4, presso le "Osservazioni per la lettura della tabella 5".
SBE	+29	-18	-15	
ROB	+16	-12	-14	
CIM	+27	-21	-7	
OTL	0	-1	-2	
MAG	924,3	926,1	926,0	
LUG	-5	+1	+1	

Si conferma la tendenza ascendente della pressione a MAG fino verso le 09, dopodiché rimane costante fino nel pomeriggio. Molto chiaramente è visibile il rovesciamento delle differenze di pressione con MAG, accompagnato da un'entrata di foschia molto marcata con aria fresca e autunnale. Il cielo limpido del giorno di favonio precedente si copre gradualmente di Sc con base a circa 1300 m. Da notare è inoltre che perfino LUG (cfr. nota (6) della tab.5) segna sovrappressione rispetto a MAG.

4. Sulla qualità dell'aria

4.1 Generalità

Dal 15.11.85 il Dipartimento dell'Ambiente del Canton Ticino, Sezione Energia e Protezione dell'Aria, possiede una stazione mobile per la misura dei seguenti inquinanti gassosi dell'aria: diossido di zolfo (SO₂), acido solfidrico (H₂S), monossido di azoto (NO), diossido di azoto (NO₂), metano (CH₄), altri idrocarburi (NMHC = NonMethane-HydroCarbons), monossido di carbonio (CO), ozono (O₃); inoltre la stazione registra anche i principali parametri meteorologici, quali velocità e direzione del vento orizzontale e del vento verticale, temperatura, irradiazione, umidità dell'aria. Vogliamo ora esaminare in quale modo le sostanze sopracitate vengono influenzate dalle condizioni meteorologiche. Verranno esaminati alcuni casi concreti con il maggior dettaglio possibile, dapprima sotto l'aspetto meteorologico nel quadro spazio-temporale, poi sotto l'aspetto dell'igiene dell'aria.

Purtroppo non è stato possibile eseguire lavori di tipo statistico (per quanto possibile vengono eseguiti dalle istanze competenti del Cantone stesso), in quanto i dati riguardanti l'inquinamento atmosferico provengono da luoghi diversi, perlopiù dal Piano di Magadino (Bellinzona, Cadenazzo, Camorino), ma anche da altre parti del Ticino (Ambrì, Isole, Lugano). Questo comporta anche che i dati dai vari luoghi non sono confrontabili tra di loro, poichè le condizioni meteorologiche cambiano (3). L'interpretazione di quanto si osserva dalle misure sulla qualità dell'aria è ulteriormente resa difficile per i motivi seguenti:

1. Le apparecchiature della stazione di misura rilevano la concentrazione ossia la quantità di gas per un determinato volume unitario. L'ubicazione delle misure determina così le concentrazioni rilevate: se una piccola sorgente di gas inquinanti si trova nelle immediate vicinanze della stazione, si possono trovare valori elevati, malgrado che la quantità totale può essere ridotta. E quindi importante che la zona di misura sia sufficientemente ventilata, affinché i dati siano rappresentativi.
2. Vengono misurate le concentrazioni delle immissioni, ma poco o nulla si sa sulle emissioni, su come variano nello spazio e nel tempo - ci si limita a stime qualitative e (soprattutto riguardo a emittenti puntiformi) incomplete.
3. Le misure avvengono in un punto solo, sulla superficie terrestre. Talvolta sarebbe però necessario, oltre che interessante, conoscere le concentrazioni dei inquinanti anche in punti più o meno vicini; per esempio quando la troposfera è fortemente stratificata (come la pasta sfoglia) non si conosce la composizione degli strati soprastanti (risp. sottostanti), di conseguenza spesso è impossibile sapere se l'aumento o la diminuzione della concentrazione di un gas sia dovuto a trasporto verticale (rimiscolamento degli strati) o a trasporto orizzontale (vedi GUSTEN H., in HUTZINGER O., 1986, p.89). Le concentrazioni possono

(3) Si è discusso parecchio se convenga spostare la stazione di misura o se convenga mantenerla a lungo in un posto solo. Nel primo caso si aprono strade a tantissime ipotesi interessanti per spiegare le cause delle variazioni delle concentrazioni dei inquinanti, ma sono praticamente impossibili le affermazioni statistiche affidabili. Nel secondo caso si ottengono informazioni più affidabili per un posto singolo, ma resta all'oscuro completamente il resto del Cantone.

diminuire rapidamente quando avviene un rimescolamento con aria meno inquinata, generalmente proveniente dagli strati superiori.

4. Anche i dati meteorologici provengono da pochi punti più o meno lontani dalla stazione di misura dei inquinanti gassosi.
5. I processi chimici nell'atmosfera complicano parecchio la comprensione dei fenomeni esaminati, particolarmente per quanto riguarda la foschia estiva (smog fotochimico).

I comportamenti essenziali dei inquinanti vengono però descritti qualitativamente nei prossimi capitoli. Si tratta di situazioni dominate da correnti locali, scelte appositamente per illustrare i comportamenti dei gas nel modo più marcato possibile, con concentrazioni elevate e cambiamenti estremi. In generale però gli andamenti delle concentrazioni non sono però così tipici: questo è il caso per tutte le altre situazioni meteorologiche della classificazione descritta nei capitoli precedenti, che occupano quindi posizioni intermedie; non sono però da escludere neppure comportamenti più estremi.

Sono anche stati calcolati gli andamenti giornalieri medi delle concentrazioni dei inquinanti a secondo del tipo di tempo e del luogo dove si trovava la stazione di misura. Per questioni di tempo i grafici così ottenuti non hanno però potuto essere discussi su queste pagine. Interessanti risultati statistici potrebbero però essere ottenuti con periodi pluriennali e con stazioni fisse, qualora sia le misurazioni della qualità dell'aria, sia la classificazione delle situazioni meteorologiche dovessero essere continuati.

4.2 Giorni di tempo sereno

4.2.1 Giorno tipico estivo: Cadenazzo, fondovalle

La fig.8 mostra l'andamento lungo 3 giorni consecutivi dei seguenti parametri: velocità e direzione del vento, concentrazioni dell'ozono e del diossido di azoto. Dapprima però la tabella sottostante caratterizza brevemente i giorni 27-29 luglio 1986 dal punto di vista meteorologico per Magadino (MAG) e Locarno-Monti (OTL):

TABELLA 7: Dati meteorologici per i giorni 27-29 luglio 1986

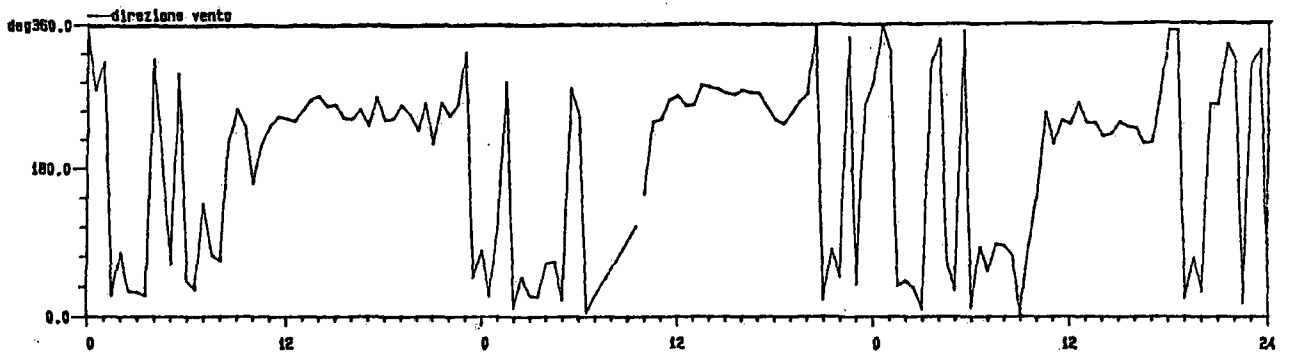
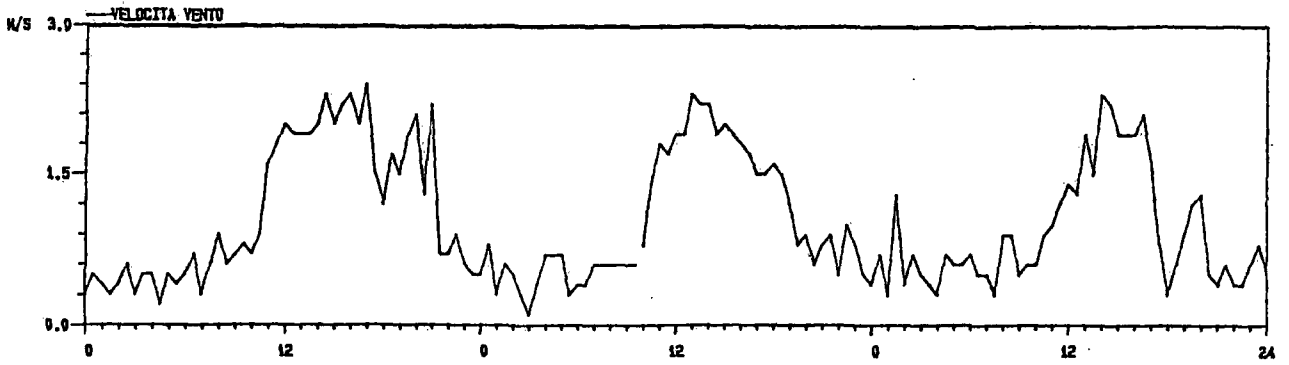
GIORNO	27.7		28.7		29.7	
	B21		B22		B21	
	OTL	MAG	OTL	MAG	OTL	MAG
temperatura media [gradi C]	22,3	22,7	23,7	23,8	24,2	23,5
temperatura massima [gradi C]	27,9	28,0	29,5	29,5	30,0	29,5
temperatura minima [gradi C]	16,7	13,5	18,6	19,0	19,4	17,7
umidità relativa minima [%]	47,3	44,0	38,7	40,0	47,0	46,9
umidità relativa massima [%]	77,0	90,0	81,1	83,0	78,1	89,5
soleggiamento relativo [%]	96	94	88	97	56	50

Si tratta di giorni tipicamente estivi, anticiclonali, con temperature massime vicine a 30 gradi; la notte, con cielo sereno, si forma l'inversione sul Piano di Magadino, per cui l'umidità relativa massima è maggiore a MAG che non a OTL.

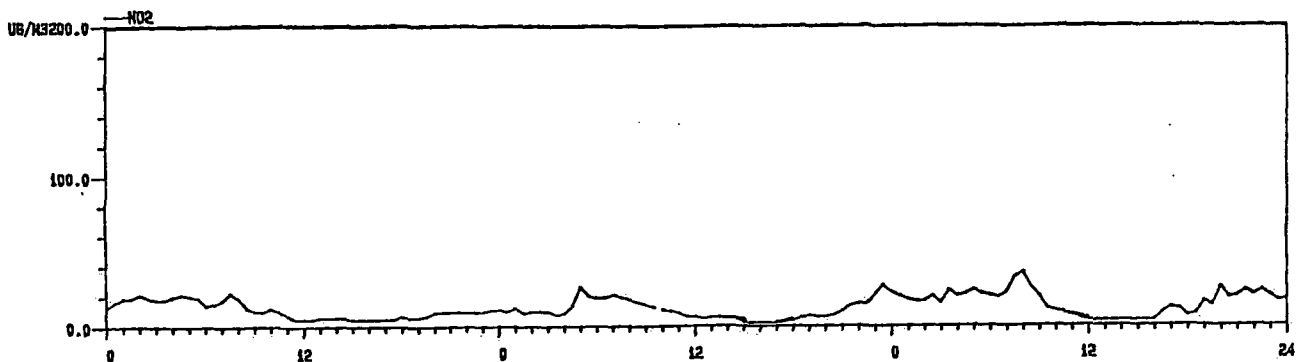
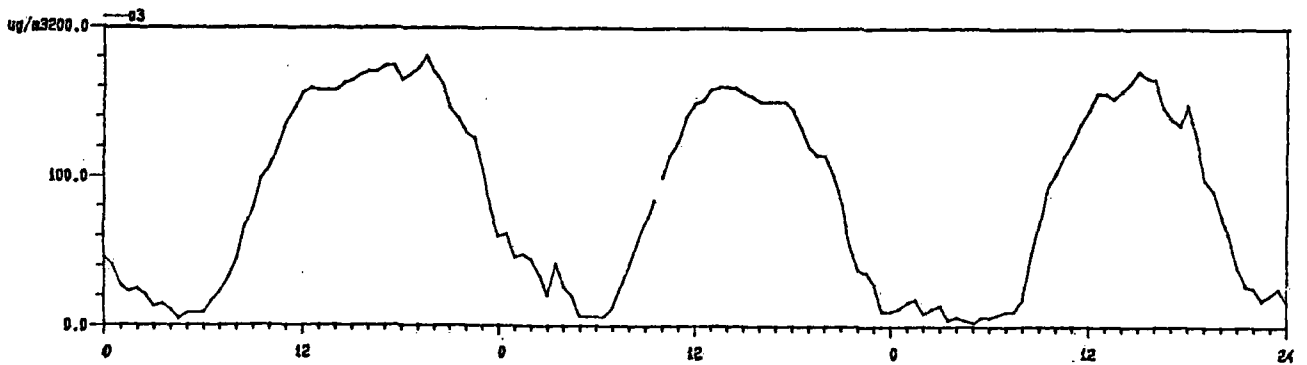
Queste sono le condizioni ottimali per lo smog fotochimico, che si

CADENAZZO, luglio 1986

Figura 8



CADENAZZO, luglio 1986



27-JUL-86

28-JUL-86

29-JUL-86

forma a partire dagli ossidi di azoto e dai prodotti di combustione incompleta quali CO e idrocarburi, sotto l'influsso della radiazione solare. Prodotti tipici ne sono l'ozono (vedi fig.8) e molte altre sostanze altamente reattive tra le quali i cosiddetti PAN (PerossiAcetilNitrati), e l'acido nitrico. I meccanismi per la produzione dell'ozono possono essere così riassunti: le attività umane provocano delle emissioni, tra le quali i già citati NO, CO, NMHC. Varie reazioni portano all'ossidazione dell'NO a NO₂; quest'ultimo, sotto l'azione della luce ultravioletta (lunghezza d'onda < 420 nm) libera un radicale ossigeno, che con ossigeno molecolare riforma ozono. In seguito l'O₃ inizia delle reazioni con gli idrocarburi: sono delle reazioni a catena che, accompagnate da ulteriore produzione di NO₂ (ossidazione di NO), conducono alla formazione di PAN, aldeidi, acido nitrico e altro.

Il ruolo degli ossidi di azoto è catalitico: la fotodissociazione dell'NO₂ produce O₃ (e NO), che inizia le reazioni con NMHC, i quali a loro volta ossidano nuovamente NO a NO₂. A questo modo ogni molecola di NO emessa può produrre parecchie molecole di O₃; inoltre le concentrazioni di NO_x (=NO+NO₂) necessarie per iniziare la produzione di O₃ sono molto basse: 0,03 ppb sono sufficienti secondo FISHMAN et al. 1979 (citato in ALTSHULLER A.P., 1986, p.254). Un ottimo articolo sullo smog fotochimico è quello di GUSTEN H., in HUTZINGER O., 1986, p.53ff., che ne mostra anche l'estrema complessità.

La fig.8 può quindi essere commentata come segue, cominciando dal pomeriggio: con l'inverna (visibile sui grafici relativi al vento dalla direzione W=270 gradi e la velocità > 1,5 m/s) lo strato limite planetario viene rimescolato, e l'ozono prodotto tramite la fotodissociazione dell'NO₂ viene ripartito in modo più o meno omogeneo su uno strato di uno spessore relativamente grande che varia a seconda della topografia e delle correnti termiche; durante il periodo diurno, con la luce del sole, prevale la produzione. Con il diminuire dell'insolazione e la conseguente efficacia della fotodissociazione dell'NO₂, con le emissioni serali di NO diminuisce anche la produzione di O₃; di conseguenza in poco tempo prevale l'ossidazione di NO con l'ozono. Contemporaneamente il suolo si raffredda e la stratificazione degli strati bassi si stabilizza, impedendo gli scambi verticali; quindi, attraverso le reazioni di decomposizione chimica, appoggiate dall'assorbimento da parte degli esseri viventi (deposizione secca), il bilancio notturno dell'ozono è nettamente negativo in prossimità del suolo (sotto l'inversione notturna). A questo modo la concentrazione dell'O₃, come visibile sul relativo grafico, si avvicina a zero.

Mentre vicino al suolo la concentrazione dell'ozono scende a valori molto bassi (grazie alle reazioni chimiche e alla deposizione secca), questo non è il caso sopra l'inversione notturna (cfr. anche LOPEZ A. et al. in: Commission of the European Communities, 1981, p.365). Qui soltanto le reazioni chimiche provvedono alla decomposizione dell'ozono, la quale risulta quindi molto meno efficace. Inoltre anche le reazioni chimiche stesse sono meno efficaci, perché, una volta terminato il vento di valle (o poco dopo), l'emissione serale di NO, responsabile principale per la decomposizione nella troposfera, rimane in prossimità del suolo a causa dell'inversione al suolo; di conseguenza la concentrazione di NO sopra l'inversione è più bassa.

Riassumendo si ottiene questo: di giorno si genera ozono troposferico, tramite (non solo) le reazioni menzionate; questo è distribuito su uno spessore relativamente grande grazie al buon rimescolamento. La notte, invece, l'ozono viene decomposto soltanto in prossimità del suolo, mentre più in alto i valori permangono alti. Se la situazione meteorologica si mantiene per diversi giorni, come generalmente accade, è quindi possibile una produzione continuata durante vari giorni, senza che vi sia una decomposizione sufficientemente efficace: a questo modo i valori-limite federali vengono superati giorno per giorno in modo sempre più massiccio. Visto che

non è possibile cambiare la situazione di tempo (ci mancherebbe!), per evitare tali concentrazioni non resta che la possibilità di una drastica riduzione dell'emissione dei gas precursori (NO_x, NMHC, CO).

L'efficacia della produzione e della decomposizione dell'ozono dipendono molto dalla presenza di sostanze che possono essere ossidate dall'O₃ (che viene quindi consumato), tra le quali figura soprattutto l'ormai noto monossido di azoto. È provato da numerose misure che le concentrazioni medie dell'ozono sono inferiori nelle città rispetto alle zone rurali, poichè in città avviene più emissione di NO. Purtroppo qui non è ancora stato possibile considerare questo aspetto, perchè durante il periodo estivo 1986 la stazione di misura si trovava sul Piano di Magadino, in zona perlopiù rurale, fino in settembre, e questo mese non può più essere confrontato con le misure estive.

Per quanto riguarda le concentrazioni massime registrate si può dire che i valori rappresentati su fig.8 sono tra i più alti del periodo considerato; valori più alti però ci sono (per esempio il 20.9.87 a Locarno-Monti: media semioraria 140 ppb = ca. 275 µg/m³): resterà da vedere dove, quando e perchè.

Qualche parola ancora riguardo alle altre sostanze misurate (CO, CH₄, NMHC, SO₂, H₂S, NO, NO₂): in estate le concentrazioni di tutte le altre immissioni sono perlopiù basse. Questo fatto è dovuto a vari fattori. Le emissioni dal canto loro sicuramente sono inferiori rispetto all'inverno (vedi fig.10), per quanto riguarda le sostanze emesse dai riscaldamenti (SO₂ e in misura minore CO, NMHC). Il fatto però che le emissioni dovute al traffico privato sono superiori in estate (turismo), ciononostante i valori degli NO_x sono superiori in inverno, conduce alla conclusione che il migliore ricambio d'aria in estate, dovuto alle brezze termiche e i processi fotochimici, giochino un ruolo di primaria importanza per la diluizione risp. l'assorbimento delle emissioni. In altre parole: in estate le concentrazioni delle immissioni diminuiscono probabilmente più grazie alla migliore trasmissione e in parte grazie alla produzione di altre sostanze contenenti azoto, che non a causa della minore entità delle emissioni.

Interessante in questo riguardo è anche l'andamento estivo della concentrazione del metano (CH₄); dato il tempo di persistenza molto lungo (7-8 anni), le concentrazioni sono generalmente molto costanti attorno a 1,8 mg/m³. Le emissioni provengono da fonti naturali (decomposizione biologica) o in misura probabilmente minore da emissioni antropogene. Il fatto ora è che in estate presenta regolarmente un massimo notturno sui 2 mg/m³, mentre di giorno diminuisce a 1,8 mg/m³. Si suppone che questo andamento è dovuto alla decomposizione biologica molto attiva in estate, che emette parecchio metano. Questo viene però diluito con la labilizzazione dello strato limite durante il giorno, mentre di notte, con il terreno relativamente caldo (rispetto all'inverno) e la stratificazione stabile, il CH₄ emesso provoca le concentrazioni più alte constatate (4).

Infine occorre ancora considerare la possibilità di importazione di inquinanti, particolarmente O₃, con le brezze termiche. Secondo BORGHI/-GIUGLIACCI, con le brezze termiche "si riconosce che, anche se le velocità descritte sono relativamente modeste, il percorso descritto da una generica massa d'aria nell'arco di 24 ore, è dell'ordine di 100-150 km." (BORGHI/-GIUGLIACCI, 1979, p.25). Visto che si tratta di spostamenti che avvengono, circa sulle stesse distanze, in entrambe le direzioni (a monte e a valle),

- (4) Tra i giorni 2-6 luglio 1986 gli strumenti hanno misurato un aumento graduale della concentrazione del metano fino a 4 mg/m³. Non ha potuto essere chiarito se si trattava della conseguenza di un guasto di un gasodotto (se c'è) o di altro.

si può assumere un rimescolamento dell'aria non trascurabile tra le valli insubriche e Lombardia e Piemonte settentrionali, senza però che vi sia un netto trasporto di sostanze da una parte all'altra della frontiera. Risultati meno speculativi potrebbero essere ottenuti con modelli empirici o numerici.

Resta ancora da menzionare l'aspetto della visibilità durante le giornate di bel tempo. Già ROESLI ha scritto nel 1973, "dass früher an schönen Tagen die Sichtverhältnisse in der Magadino-Ebene besser gewesen seien. Tatsächlich kann diese Behauptung (...) aufgrund meteorologischer Beobachtungen bestätigt werden." (ROESLI H.P., 1973, p.122) E poco dopo: "Die Zunahme (dei giorni con visibilità <15 km e umidità relativa tra 40 e 80%) ist mit 51% in den Sommermonaten besonders markant." (ROESLI H.P., 1973, p.124) Questo peggioramento della visibilità estiva è da attribuire con ogni probabilità ai prodotti dello smog fotochimico. Secondo GASSMANN (in: FRÖHLICH C. (ed.), 1985, p.117), infatti, i prodotti solubili in acqua (per es. gli acidi) provocano la formazione di goccioline dell'ordine di grandezza dei micrometri con umidità relative ancora inferiori a 100%, tramite l'abbassamento della pressione di saturazione.

4.2.2 Giorno tipico estivo: Isona, pendio

B. BRODER (in: FRÖHLICH C. (ed.), 1985, p.120ff), nella sua ricerca sui inquinanti ed i venti locali, ha concluso che, mentre sul fondovalle l'andamento della concentrazione dell'ozono corrisponde a quanto constatato sul Piano di Magadino (descritto nel capitolo precedente), in località su un pendio il quadro si presenta diverso. Mentre durante il pomeriggio vengono raggiunti gli stessi valori massimi sul fondovalle e sul pendio (ca. 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le diverse posizioni topografiche si differenziano soprattutto la notte, a causa appunto dei venti locali termici.

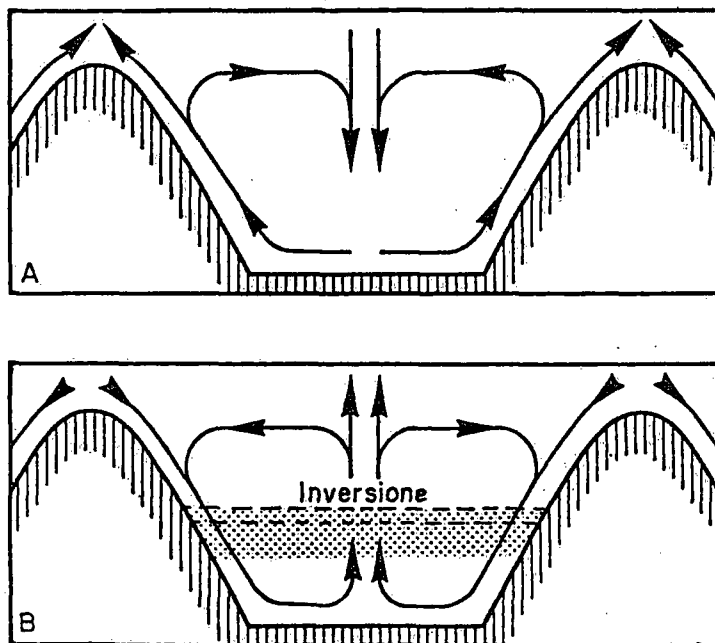


Figura 9a

Rappresentazione schematica della circolazione locale in una valle:

A = periodo diurno,

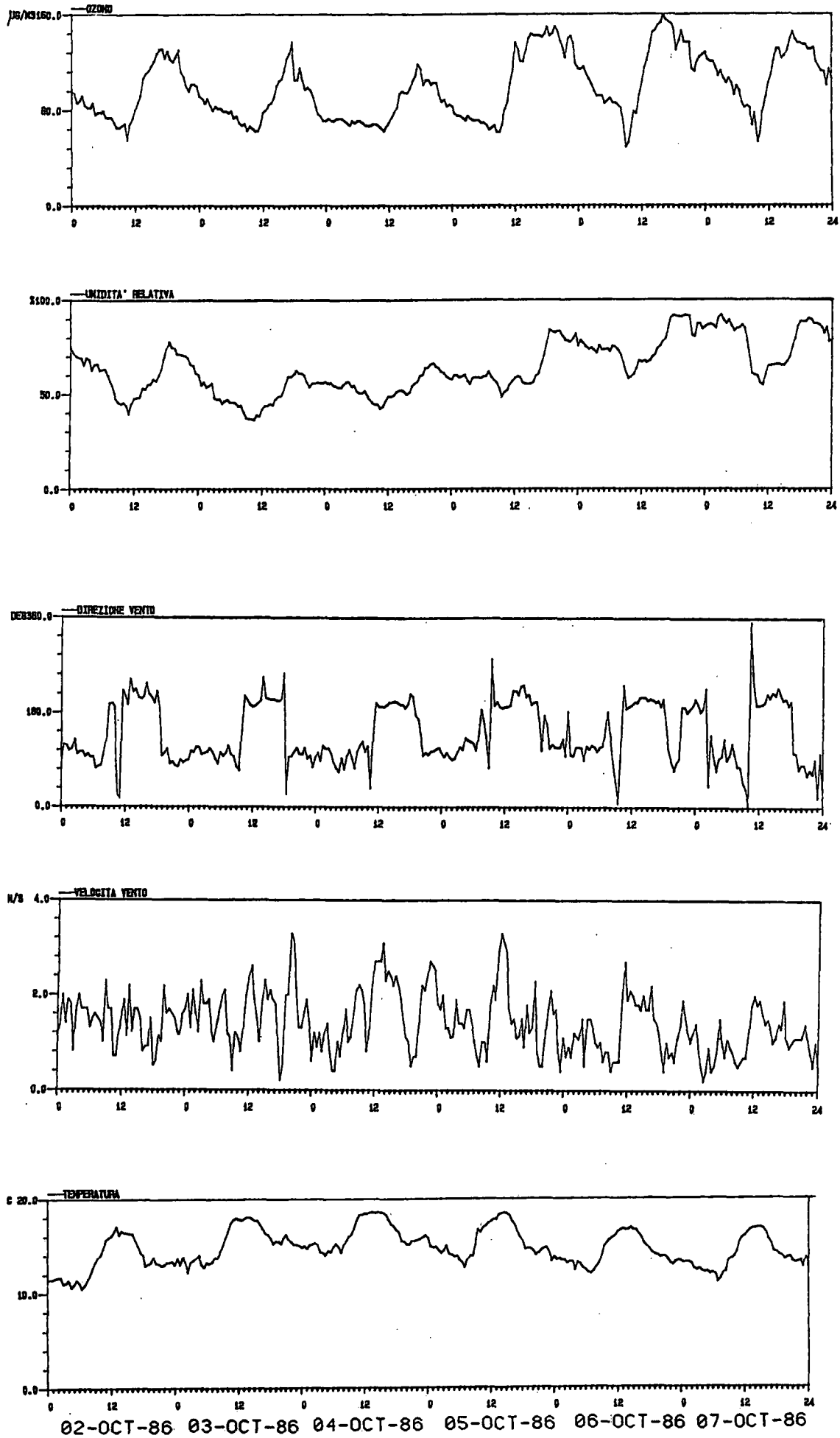
B = periodo notturno.

Tratto da BRODER in: FROEHLICH, C., 1985, p.125.

Infatti (vedi fig.9a), la notte le correnti catabatiche scendono dai pendii; per ragioni di continuità l'aria che scende dev'essere sostituita

Figura 9

ISONE, ottobre 1986



con aria proveniente da livelli superiori. Come già menzionato nel capitolo precedente, nell'aria discendente manca la deposizione secca dell'O₃, per cui sopra l'inversione, l'aria che scende la sera dai pendii risulta più ricca di ozono. Durante la discesa verso il fondovalle in quest'aria entrano in azione i processi della deposizione secca, cosicchè raggiunge il fondovalle già povera di ozono. Per le stesse ragioni di continuità, sopra il fondovalle risulta una corrente ascendente (vedi fig.9a). Questa circolazione nello strato limite planetario assicura così una certa diminuzione della concentrazione di O₃ durante la notte (a danno del regno vegetale, cfr. HOVARTH et al., 1985, p.74; SATORIUS, 1987, p.51). Il valore minimo sui pendii viene raggiunto nel momento in cui la corrente discendente viene sostituita da quella ascendente, cioè prima che i gas precursori dell'ozono, in parte freschi di giornata, diano inizio ad un nuovo aumento della concentrazione.

Questo andamento tipico sul pendio è confermato dai grafici di fig.9, per i quali la stazione di misura si trovava all'Alpe del Tiglio (coord. chilom.: 720,9/111,6), a circa 1000 m di altitudine; lo stesso andamento è stato confermato durante il settembre 1987 a Locarno-Monti.

I giorni 2-7 ottobre, tutti anticiclonali e del tipo B1, con visibilità in progressivo peggioramento, non sono più propriamente estivi, ma grazie alla massima insolazione possibile i venti locali termici si sono sviluppati ugualmente in modo caratteristico. Di giorno, ca. tra le 10 e le 18 (OEC), la brezza ascendente spirava da SSW, con velocità generalmente tra 1 e 2,5 m/s (sembrano quasi confluire le brezze di valle della Valle Vedeggio e della valle del Ticino), portando aria progressivamente più carica di O₃. Dopo un cambio di direzione netto la corrente discendente (confermato anche dal grafico, qui non riportato, dei venti verticali) viene dal settore E-SE, conformemente alle aspettative. Questa porta ad una graduale diminuzione della concentrazione di O₃, che raggiunge il minimo al momento del cambio di direzione.

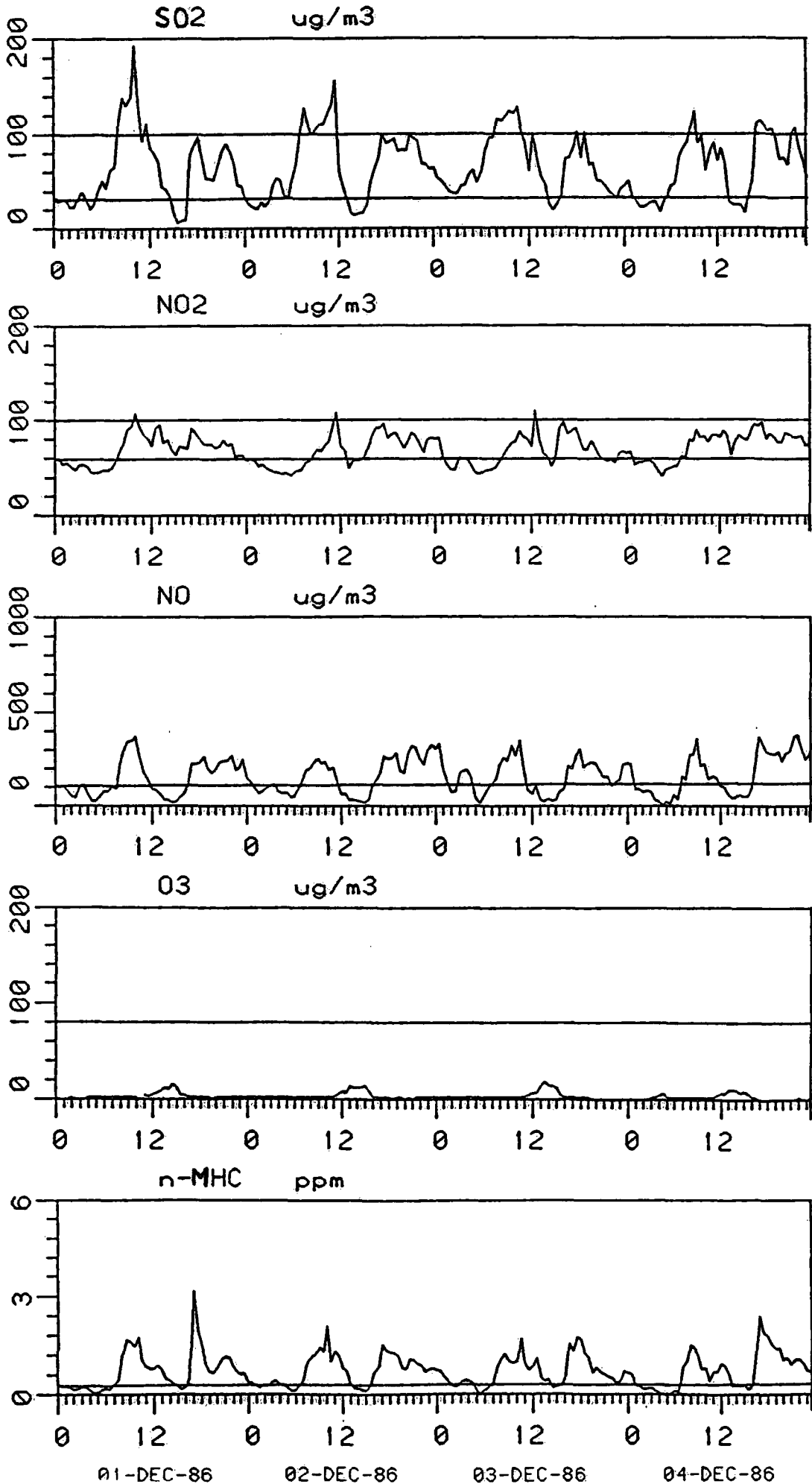
Interessante dal punto di vista meteorologico è l'osservazione che l'umidità relativa aumenta durante il pomeriggio, con vento ascendente, e raggiunge il massimo al cambio di direzione. Inoltre la temperatura aumenta anch'essa con la corrente da sud, ma diminuisce solo lievemente durante la notte. Questo è dovuto alla situazione meteorologica particolare, con un anticiclone molto caldo e secco sull'Europa centrale (circa 15 gradi a 850 hPa!). Durante le ore diurne l'insolazione permette alla brezza di valle di raggiungere l'Alpe del Tiglio, portando aria progressivamente più umida dalla Valle Vedeggio. Di notte, invece, la sussidenza anticiclonale porta aria calda e secca da livelli superiori. Questa tendenza diminuisce verso il 6/7.10.

4.2.3 Giorno tipico invernale: Bellinzona

Già nel capitolo 2.4.5 si era accennato brevemente all'accumulo di inquinanti nelle situazioni di inversione persistenti: i giorni 2-4 dicembre, rappresentati su fig.10 sono di questo tipo. Il tempo freddo anticiclonale durava dal 28. novembre e sarebbe continuato ancora per diversi giorni. Queste sono le condizioni nelle quali le emissioni sono più intense (in particolare il riscaldamento), ma la diluizione delle sostanze è molto inefficace, le emissioni rimangono quindi in un volume d'aria molto ridotto. A questo proposito si sono rivelate utili le immagini sui film, che permettono di osservare parecchie caratteristiche della foschia contenente le sostanze inquinanti (vedi cap. 2.2). Si è potuto osservare, e non solo durante questi giorni all'inizio di dicembre '86, che la mattina poco dopo l'alba il Piano di Magadino si copre rapidamente di uno strato di foschia (favorita dall'umidità relativa alta), con limite superiore fra 300

Figura 10

BELLINZONA, dicembre 1986



e 400 m/slm, che scivola lentamente verso il Lago Maggiore (tramontana). La foschia sembra poi scomparire verso le 14-15 OEC.

Osservando ora la fig.10 si osserva regolarmente, ogni mattina verso le 8-9 OEC un netto aumento delle concentrazioni di SO₂, NO, NMHC. La curva del monossido di carbonio (non rappresentata) è analoga. Questi andamenti sono dovuti alle emissioni mattutine (riscaldamento mattutino, traffico verso il posto di lavoro).

Verso mezzogiorno le concentrazioni diminuiscono; qui varie spiegazioni entrano in considerazione: rimescolamento degli strati (=distribuzione delle sostanze in un volume maggiore), diminuzione delle emissioni, deposizione secca della sostanze, trasformazioni chimiche. Esaminiamole più da vicino:

- Un certo rimescolamento dello strato d'aria più prossimo al suolo è molto probabile, dovuto al riscaldamento, seppur limitato, con l'insolazione. D'altra parte il minimo relativo pomeridiano interviene anche durante i giorni di tempo coperto o di pioggia, per cui questa spiegazione non basta.
- La diminuzione delle emissioni appare come l'influsso d'importanza maggiore, ma necessiterebbe ulteriore verifica.
- Depositione secca: la sua efficacia dipende dalle caratteristiche del suolo (è soggetta quindi a cambiamenti stagionali), dalla concentrazione delle sostanze e, a seconda del peso delle particelle, dal rimescolamento dell'aria. Vista la stagione, a causa tra l'altro della vegetazione a riposo, si può stimare che probabilmente non è molto efficace; ma questa affermazione è da prendere con cautela.
- Trasformazioni chimiche: la grossa incognita. Variano fortemente da sostanza a sostanza, a seconda della composizione dell'aria, della temperatura e dell'insolazione. Le sostanze più disponibili a reagire sembrano essere, a giudicare dalla letteratura, NO_x, NMHC e O₃ (vedi smog fotochimico). Visto però che dipendono dalla temperatura e dall'insolazione, in inverno entrambe ridotte, e visto inoltre che gli andamenti di NO e NMHC sono analoghi al meno reattivo SO₂, l'efficacia di tali reazioni appare notevolmente ridotta. Si osserva d'altronde che la concentrazione massima dell'NO₂ avviene più tardi rispetto a quella di NO; si osserva pure che l'ozono appare (in concentrazioni molto ridotte) solo dopo il calo della concentrazione di NO. Questo conduce all'ipotesi che probabilmente l'ozono prodotto viene dapprima consumato rapidamente dall'NO, conducendo al massimo dell'NO₂ 2 o 3 ore più tardi (sul mezzogiorno) a causa del tempo necessario per l'ossidazione. E soltanto quando, con l'aiuto degli effetti discussi sopra, la concentrazione dell'NO è molto ridotta, può avvenire una produzione di O₃ misurabile.

Riassumendo gli influssi principali, che determinano il minimo relativo pomeridiano delle concentrazioni, si può dire che sono probabilmente le minori emissioni durante il giorno, appoggiate da un debole rimescolamento. Le reazioni chimiche sembrano esercitare un influsso qualitativo interessante, ma quantitativamente pressochè trascurabile. La deposizione secca probabilmente non è molto efficace, ma su di essa si sa poco.

Proseguendo lungo l'arco della giornata si giunge alla sera con un secondo massimo delle immissioni, dovuto con ogni probabilità ad un nuovo massimo delle emissioni (traffico e riscaldamento serali). Si è potuto inoltre osservare a più riprese, che per NO e CO il massimo che prevale è quello serale, mentre che per NO₂ il massimo sul mezzogiorno supera quello serale. È possibile che questa differenza tra NO₂ e i due monossidi sia dovuta alle reazioni fotochimiche più attive la mattina, che porterebbero (attraverso una seppur moderata produzione di O₃) alla produzione di NO₂ sul mezzogiorno, mentre la sera questa avviene in misura più limitata. Per SO₂ e NMHC in media i due massimi sembrano equivalersi, ma il massimo serale dura più a lungo.

Per riassumere passiamo ora in rassegna le caratteristiche generali del carico inquinante presente nell'aria durante i giorni di tempo sereno.

- In estate le sostanze emesse sono presenti in concentrazioni ridotte; sotto l'influsso della radiazione solare e della temperatura elevate possono però formarsi delle quantità di ozono (5) largamente superiori ai valori-limite indicati nell'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico.
- In inverno le emissioni non vengono diluite in modo efficace. A questo modo possono accumularsi delle concentrazioni notevoli di SO₂, NO_x, NMHC, CO, e i valori-limite di NO₂ e SO₂ vengono superati. Non esistono valori-limite per NMHC, NO.
- Durante i mesi autunnali e primaverili il quadro delle concentrazioni dei inquinanti è intermedio: concentrazioni moderate di SO₂, NO_x, CO, NMHC durante le ore principali di emissione, e valori dell'ozono più bassi rispetto ai giorni pienamente estivi.

4.3 Precipitazioni con avvezione da Sud

Durante l'aprile 1986, la stazione di misura si trovava presso il Centro Diagnostico a Camorino, in mezzo al Piano di Magadino. In questo periodo regnava avvezione da Sud, accompagnata da frequenti precipitazioni. Vogliamo qui indagare l'effetto di dilavamento dell'aria dovuto alle precipitazioni, supponendo che dei gas inquinanti vengano importati con l'aria umida dalla vicina Lombardia, dove ci sono delle forti sorgenti inquinanti.

Evidentemente la domanda più ampia, cioè se vi è sovente apporto di inquinanti gassosi dalla vicina Italia verso il piano di Magadino, non può trovare risposta esauriente con lo studio di alcune settimane. Bisogna però considerare quanto segue:

1. Generalmente una forte avvezione da sud apporta aria umida proveniente dal Mediterraneo. Trovando le Alpi come ostacolo essa è sollevata determinando delle precipitazioni. Inoltre, come vedremo, delle reazioni chimiche portano alla trasformazione degli inquinanti e alla loro dissoluzione nelle gocce di pioggia.
2. Il periodo qui considerato è un esempio di una buona avvezione da Sud durata diversi giorni e che ha portato abbondanti precipitazioni. I valori misurati non raggiungono valori elevati. Le concentrazioni alte degli inquinanti si registrano sempre con scarso ricambio dell'aria, con la presenza di inversioni basse e la quasi assenza di correnti a basse quote.
3. Ricordiamo inoltre che misuriamo delle concentrazioni e non delle quantità assolute (che richiederebbero misure nelle tre dimensioni). Se c'è avvezione da sud, lo strato atmosferico interessato ha un maggiore spessore che durante le situazioni anticicloniche stabili, per cui anche se c'è un apporto questo viene diluito in un volume maggiore, e le concentrazioni misurate non risulteranno così elevate.
4. Dai tre punti precedenti segue che, con buona probabilità, i casi in cui potrebbe esservi sostanzioso apporto di sostanze inquinanti gassose (non sciolte in acqua piovana) costituiscono avvenimenti poco comuni nella regione interessata; il grosso dell'inquinamento degli strati bassi dell'atmosfera è prodotto nella regione e qui dovrà essere ridotto. In

- (5) Si ricorda che l'ozono non è l'unica sostanza inquinante dello smog fotochimico; vi si aggiungono in particolare i PAN (PerossiAcetil-Nitrati), acido nitrico, radicali ossidanti (HO_x o organici).

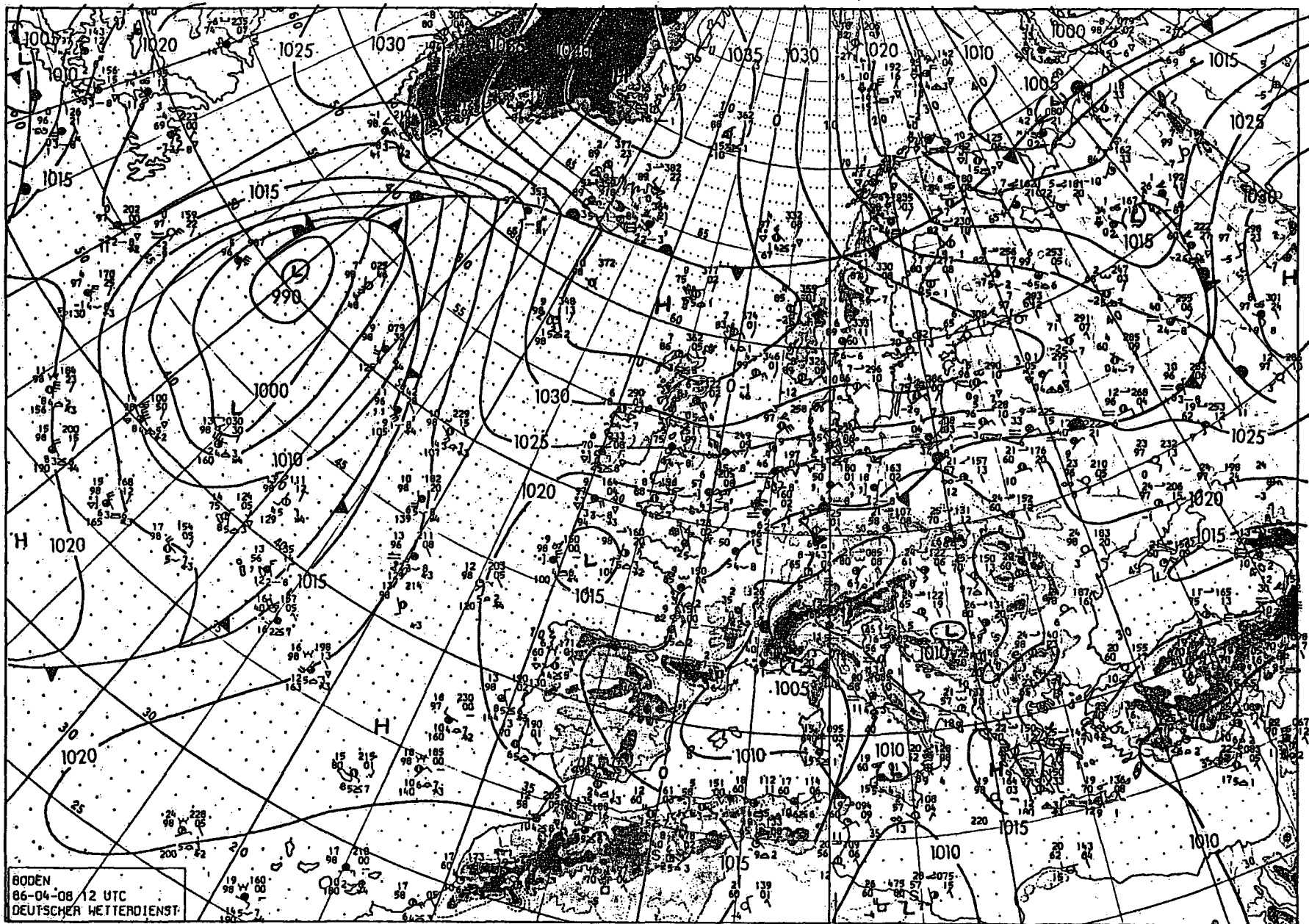
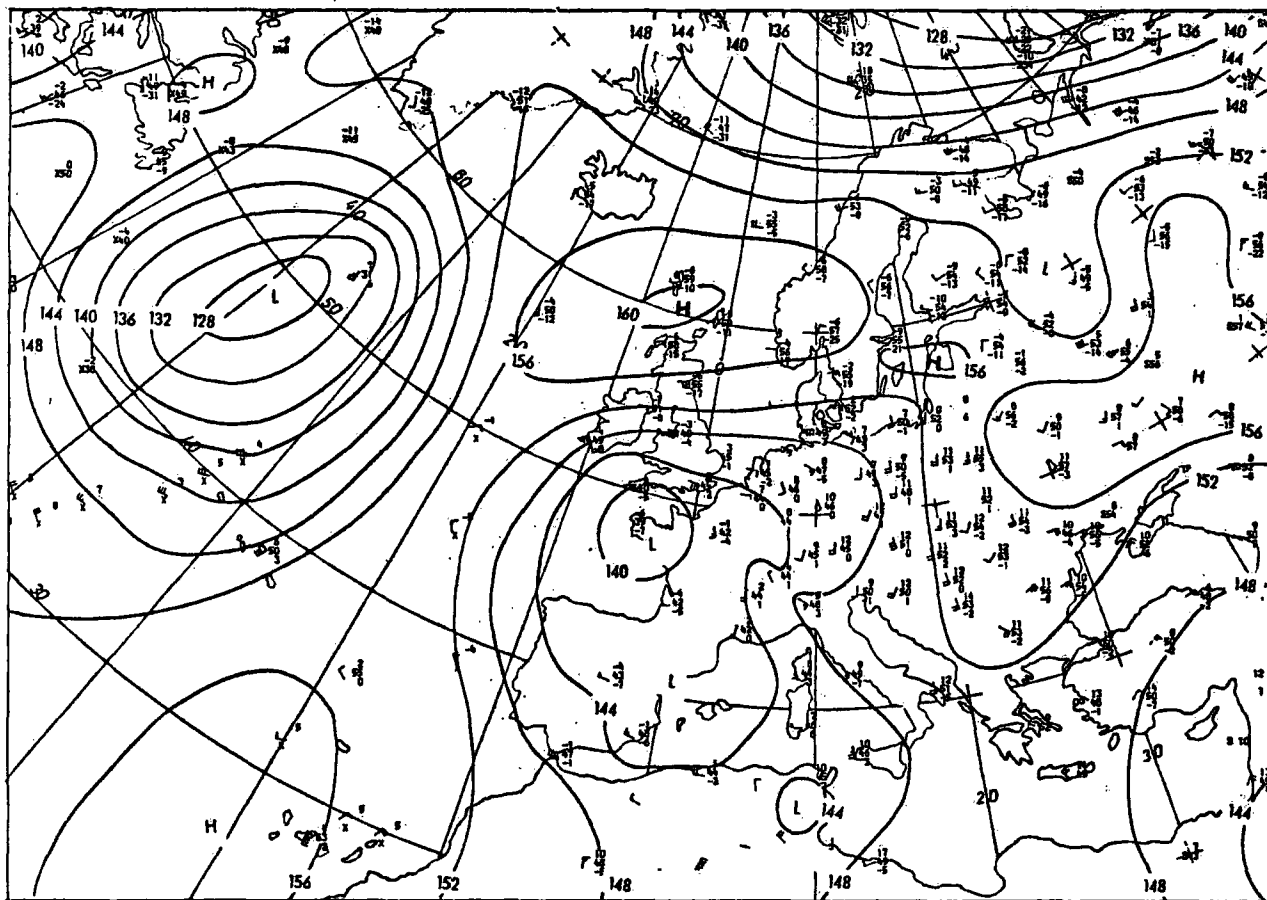


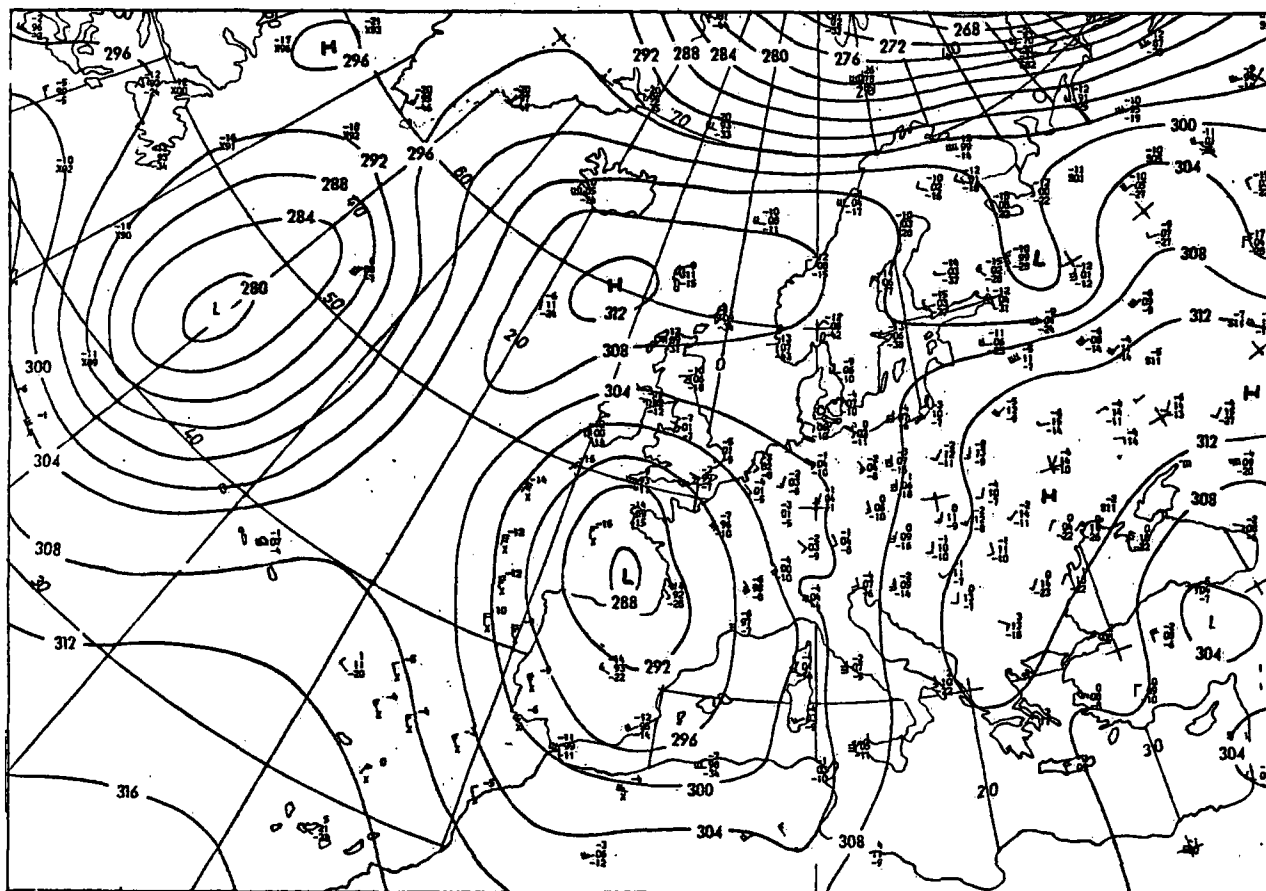
Figura 11a

Figura 11b

8.04.1986



850 hPa 00 UTC



700 hPa 00 UTC

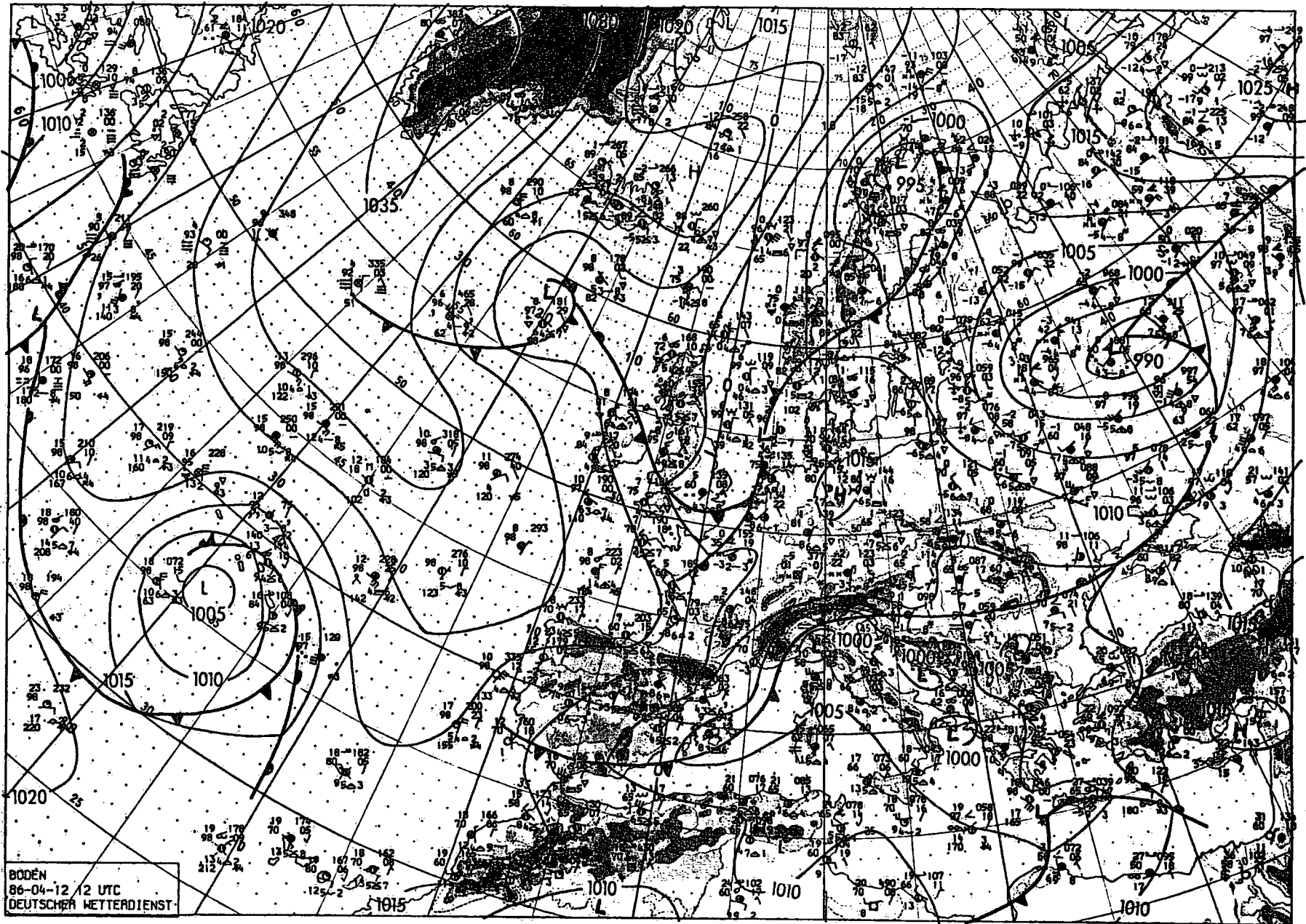


Figura 12a

Figura 12b

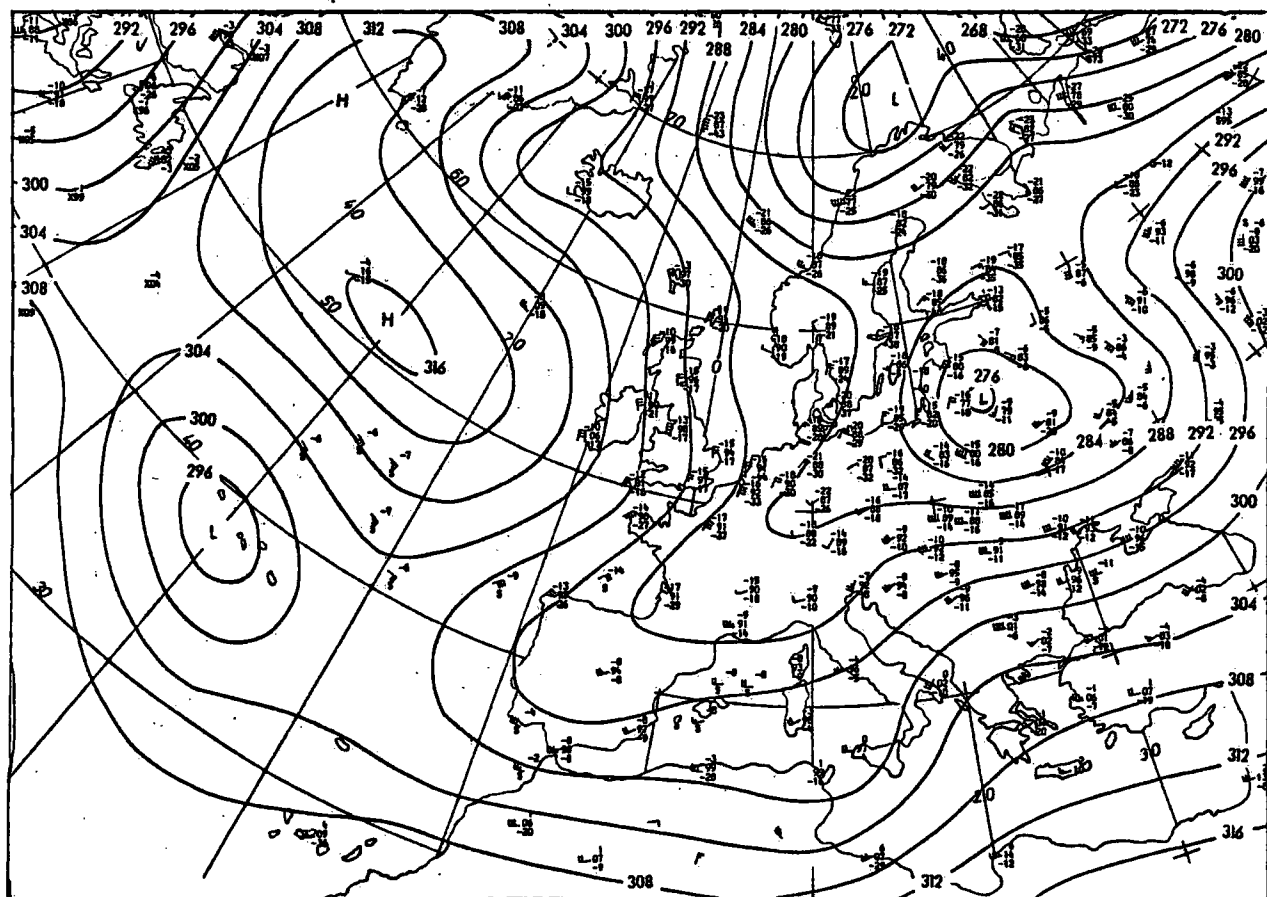
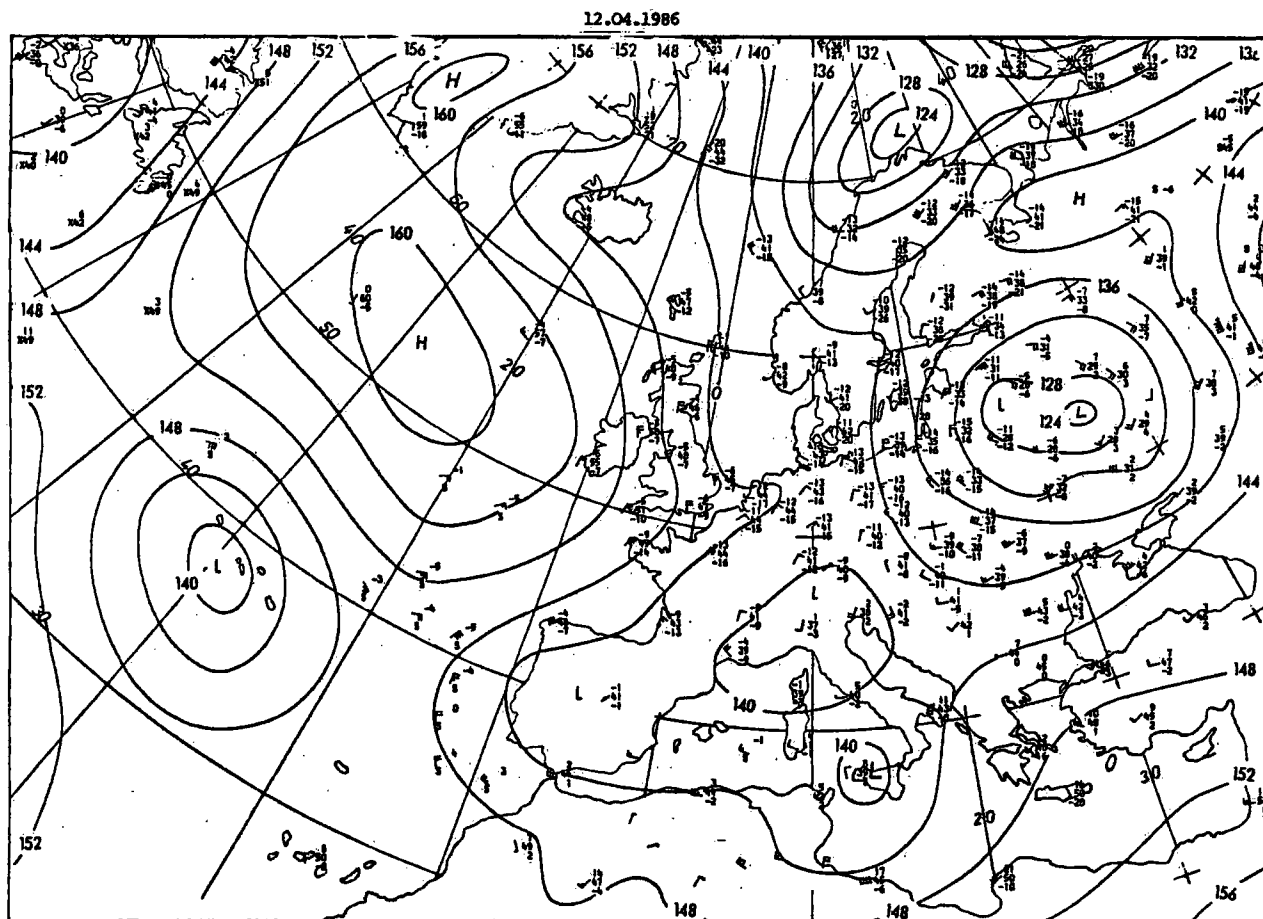


Figura 13a

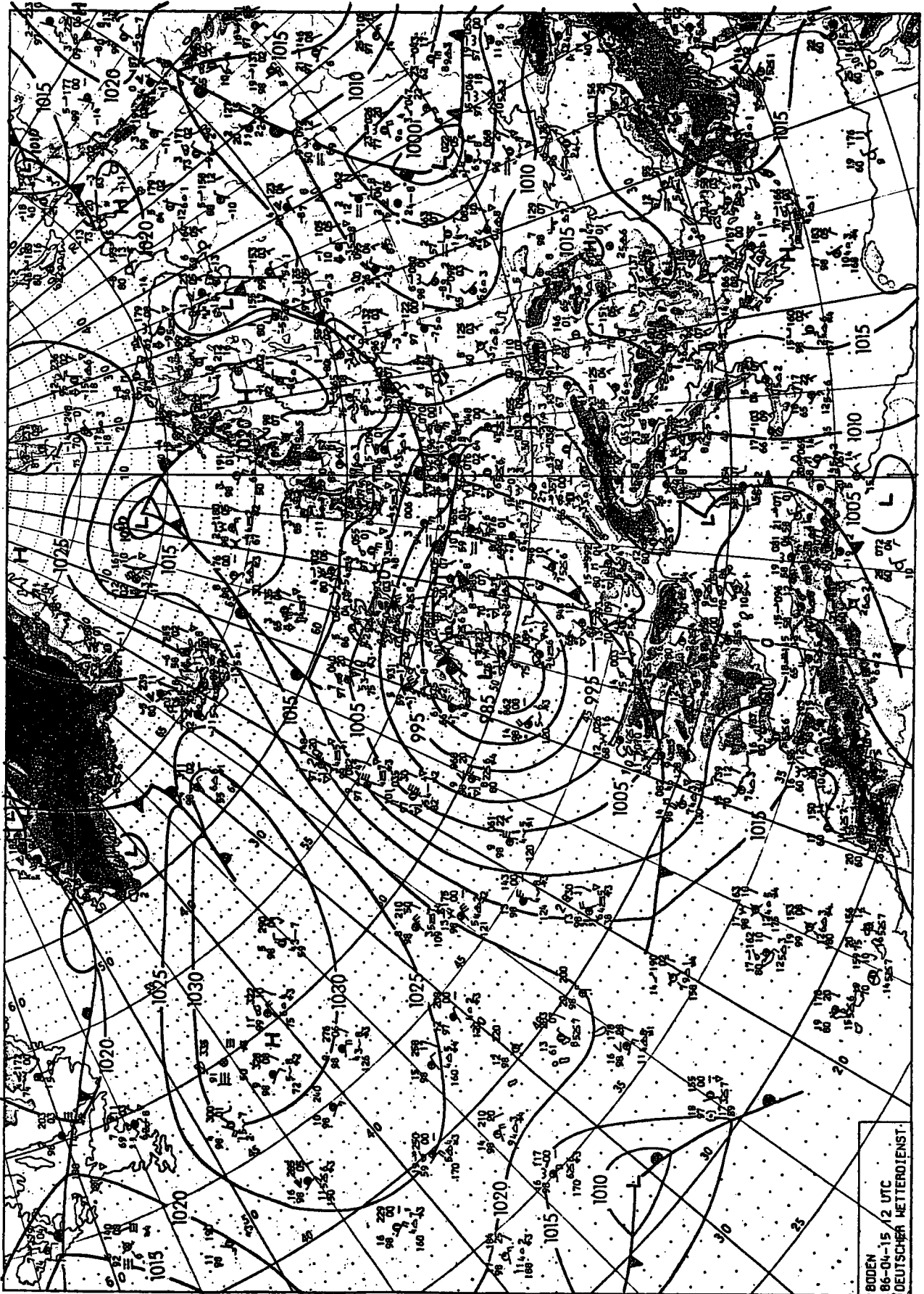
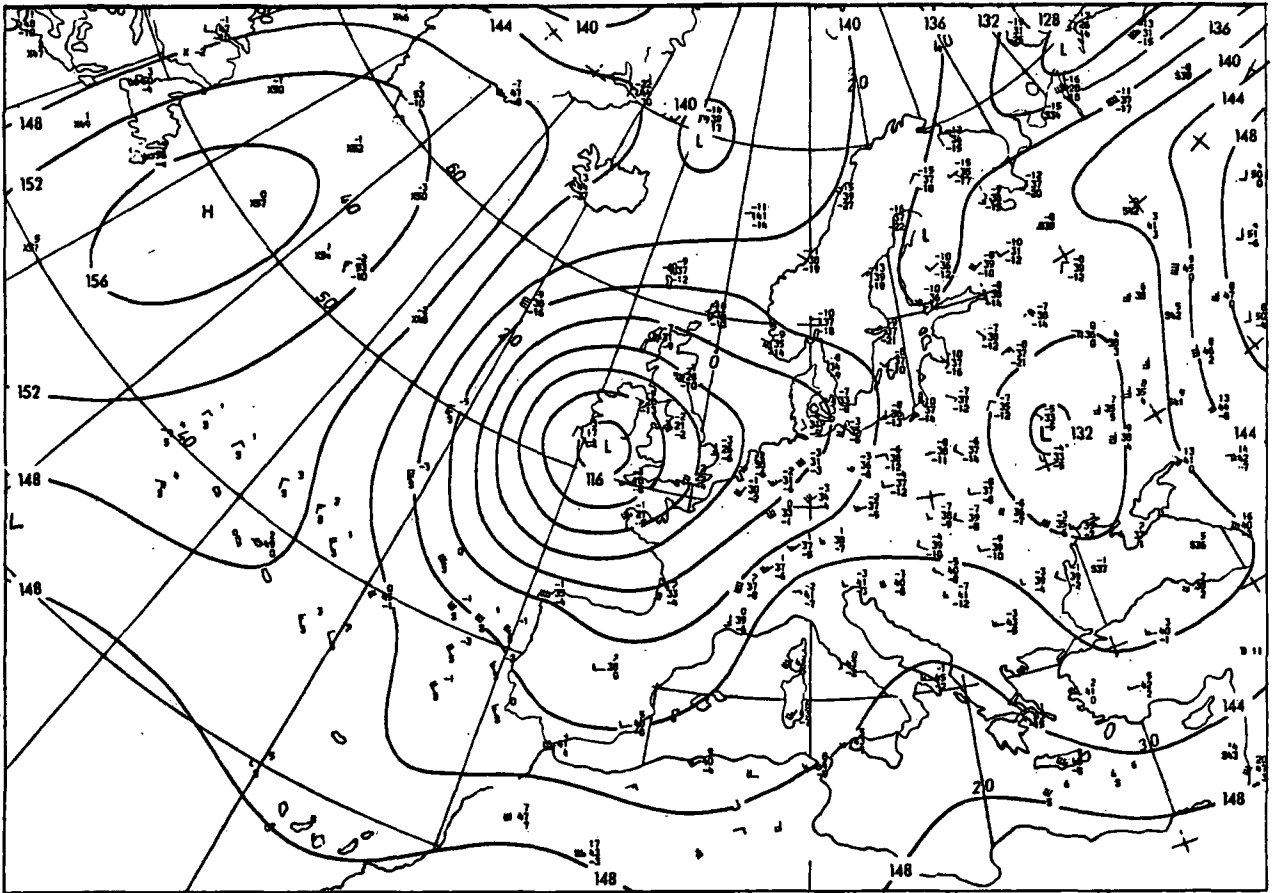
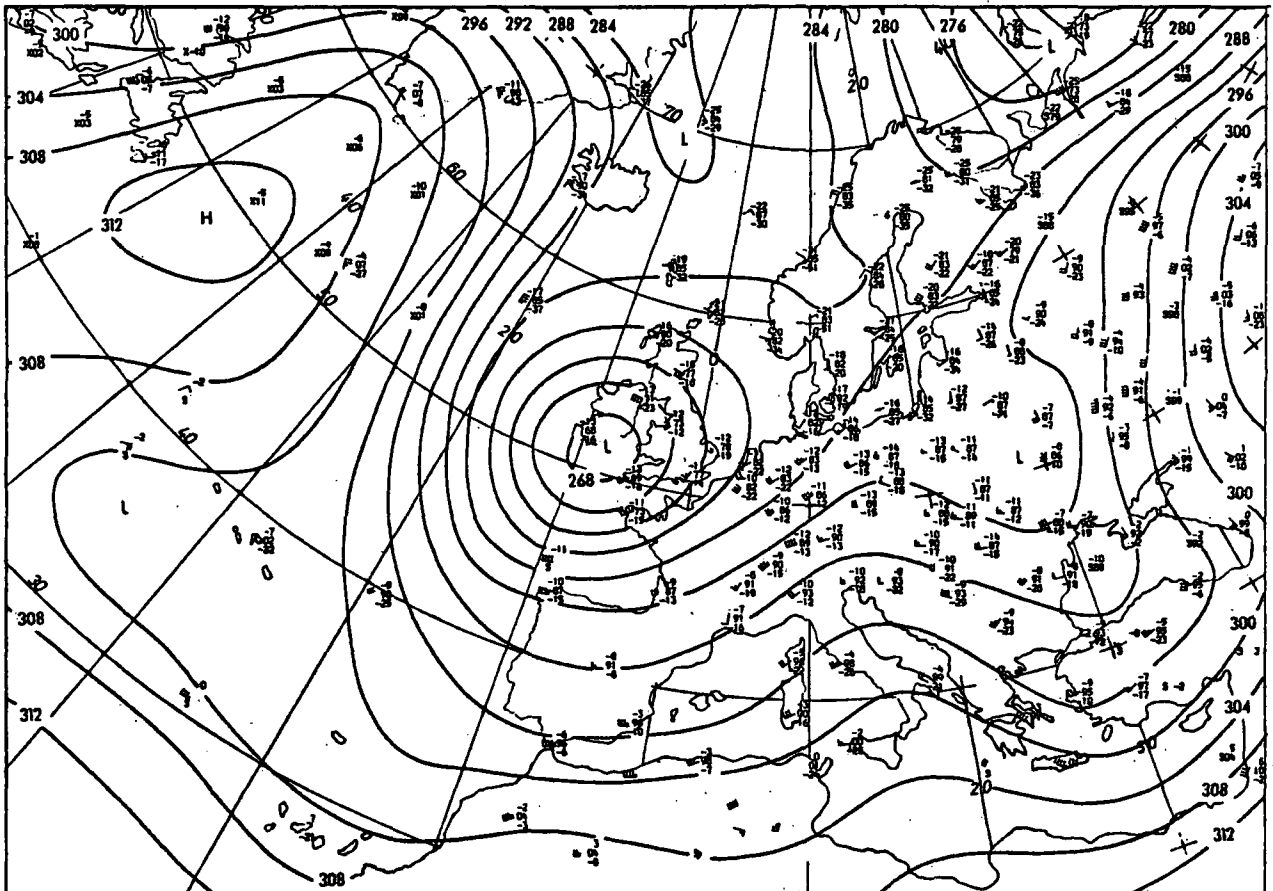


Figura 13b

15.04.1986



850 hPa 00UTC



700 hPa 00 UTC

effetti ciò che è determinante per l'igiene dell'aria sono soprattutto le concentrazioni elevate nei luoghi abitati.

Ritornando al periodo in questione, esaminiamo dapprima la situazione meteorologica, secondo la quale l'apporto di sostanze appare senz'altro possibile. Il periodo compreso tra il 1.4. e il 18.4.86 può essere suddiviso in 4 fasi. La prima fase, dal 1.4. al 5.4., è dominata da un fronte stazionario sulle Alpi, come già descritto nel cap.3.4.3. Con l'aria fredda continentale a nord delle Alpi e l'avvezione calda al Sud risulta un contrasto termico notevole, al quale si aggiunge l'effetto orografico dovuto all'avvezione da SW. La seconda fase, tra il 6.4. e il 9.4. è caratterizzata da una perturbazione che, dalla Penisola Iberica, si sposta lentamente verso E, dando luogo ad una marcata avvezione prefrontale dal settore sud (fig.11a,b, cartine del 8.4.86), con abbondanti precipitazioni. La depressione nel frattempo si sposta verso E, colmandosi. Dietro di essa si avvicina un anticiclone dall'Islanda che dà inizio alla terza fase, con carattere più transitorio. A causa dell'avvezione di aria molto fredda a N delle Alpi si crea, oltre a quello termico, anche un gradiente di pressione da N a S, rafforzato dalla formazione di una depressione secondaria sul Golfo di Genova (fig.12a,b, cartine del 12.4.86). Il 12 aprile, addirittura, lo scontro tra aria fredda e calda sulle Alpi ha provocato una nevicata di 15 cm fino in pianura: fino in questo momento, dall'inizio di aprile, erano caduti 326 mm di acqua a Locarno-Monti. Con l'allontanamento della depressione verso E la corrente da nord può oltrepassare le Alpi, dando luogo a favonio a partire dalla mattina del 13.4.86. Il tempo secco è però di corta durata: una nuova saccatura si avvicina dall'Atlantico il 14.4, per dare inizio a una nuova fase di avvezione da sud che porta quasi 100 mm di pioggia in più a Locarno-Monti (vedi fig.13a,b, cartine del 15.4.86; vedi inoltre SPINEDI/KAPPENBERGER, 1986).

Fig.14 mostra l'andamento delle medie giornaliere dei gas NO, NO₂ CO, O₃ a Camorino, ai quali è stato aggiunto l'andamento del diossido di azoto della stazione NABEL (Nationales Netz für die Beobachtung der Luftfremdstoffe) di Lugano e le precipitazioni giornaliere a Magadino. Qui si notano gli aumenti dell'NO e del CO a Camorino. Il primo di essi avviene a cavallo tra la prima e la seconda fase del periodo, mentre il secondo picco avviene durante la quarta fase. Durante entrambi i picchi l'avvezione è di SW-S. Seguiamo dapprima l'andamento delle concentrazioni medie giornaliere dei gas riportati su fig.14. Si osserva inoltre quanto segue:

- Le concentrazioni di NO e CO mostrano un andamento parallelo: entrambi sono gas emessi direttamente dalla combustione a temperatura e/o pressione elevate (soprattutto dai motori a scoppio).
- La concentrazione dell'ozono è complementare rispetto a quella di CO e NO; questo è dovuto alle reazioni che avvengono tra le sostanze (vedi GUSTEN H. in: HUTZINGER O., 1986, p.57f.)
- I vari gas diminuiscono sistematicamente dopo delle precipitazioni abbondanti e naturalmente anche con l'arrivo del vento da nord.
- L'evoluzione del NO₂ a Lugano e a Camorino è praticamente parallela, con valori circa doppi a Lugano, mentre le precipitazioni sono state circa uguali.

Un'esatta ricostruzione dell'apporto, produzione locale e dilavamento dei gas inquinanti non è semplice e si possono formulare solo delle ipotesi. Cerchiamo di vedere alcuni elementi:

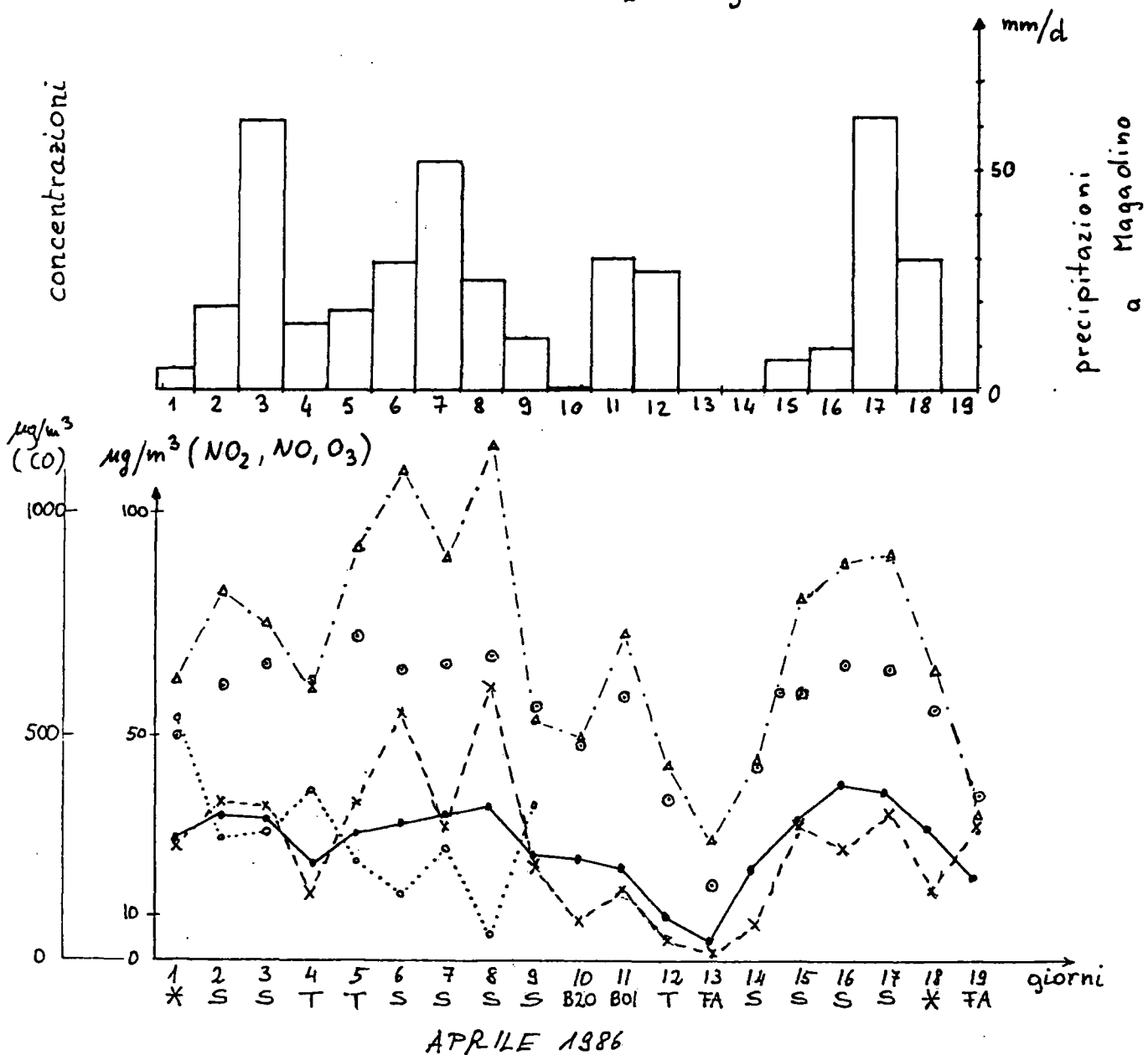
1. A Lugano (stazione NABEL) le concentrazioni medie giornaliere dell'NO₂ più elevate indicano una maggior produzione locale, in quanto l'avvezione di alcuni giorni avrebbe portato a delle quantità simili nei due posti di misura.

Figura 14

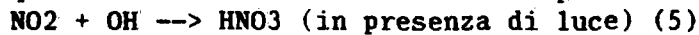
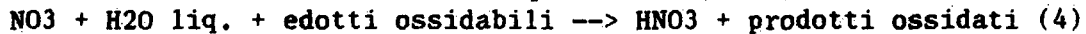
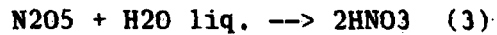
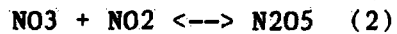
Concentrazioni medie giornaliere dei gas :

—●— NO_2 ○..... O_3 } Camorino
 -x- NO -Δ- CO

○ NO_2 Lugano (NABEL)



2. Le reazioni chimiche che maggiormente determinano l'allontanamento dei principali inquinanti presenti sembrano essere (cfr. PLATT U., 1986, p.299 ff., CALVERT J.G. et al., 1986, p.615 ff.):



L'ossidazione dell'anidride solforosa a solfato è una somma di processi apparentemente più complicati: a seconda dell'acidità delle goccioline, della presenza o meno di altre sostanze quali O_3 , H_2O_2 , ioni metallici catalizzanti prevale l'una o l'altra reazione di ossidazione. Vogliamo quindi limitarci alle reazioni di dilavamento degli ossidi di azoto.

Dalla reazioni (1) è visibile che l'ossidazione di NO_2 a NO_3 richiede ozono, il cui trasporto su distanze anche considerevoli è stato documentato da vari autori (vedi ALTSHULLER, A.P., 1977, p.256; GUSTEN H. in: HUTZINGER, O., 1986, P.89); nei sistemi depressionari non è neppure da escludere la presenza di ozono di origine stratosferica. Secondo PLATT, U., 1986, p.312 (6) le reazioni (1)-(3) prevalgono durante le ore notturne e il tasso di conversione di NO_x a HNO_3 è di 15-26 % per ora con concentrazioni di O_3 tra 30 e 50 ppb. Le reazioni (1) seguita da (4), con le stesse concentrazioni di O_3 , avrebbero un'efficacia di 8-13 % per ora. La reazione (5), invece, è efficace soprattutto durante le ore diurne, in quanto il radicale OH è un prodotto di reazioni fotolitiche.

Sembra quindi, presupposta una certa concentrazione di ozono, che l'allontanamento di buona parte degli ossidi di azoto possa avvenire nel giro di poche ore. Sarebbe a questo punto interessante conoscere le concentrazioni di O_3 negli strati medio-bassi dell'atmosfera prima del mescolamento con le emissioni. I meccanismi di dilavamento descritti nella letteratura più recente sembrano però confermare quanto postulato dal "Gruppo di Studio delle Caratteristiche Chimiche delle Precipitazioni dell'Italia Settentrionale" (1986) riguardo alla deposizione di nitrati e solfati sul pendio sudalpino.

3. Le situazioni con avvezione da S mostrano velocità del vento elevate soprattutto a media e alta quota (vedi 2.4.3). Il trasporto di inquinanti sul Piano di Magadino richiede quindi ulteriore tempo, durante il quale NO_2 può trasformarsi in acido nitrico sciolto in acqua.

Non sono però soltanto le considerazioni teoriche a suggerire che le immissioni, le cui medie giornaliere sono riportate su fig.14, siano prevalentemente di produzione endogena. Infatti, osservando gli andamenti a corto termine (medie semiorarie) è caratteristica la diminuzione delle concentrazioni (escluso O_3) con aumenti della velocità del vento, ciò che fa supporre che l'aria che arriva sia più "pulita" di quella già presente da più tempo.

La risposta alla domanda in merito al sospettato importo di ossidi d'azoto è quindi la seguente: probabilmente l'aria di cui era composta la corrente da sud non portava un carico "eccessivo" di inquinanti gassosi; appare tuttavia probabile che le emissioni vengano ossidate e dilavate per buona parte nel giro di poche ore. Le emissioni misurate in vicinanza del

(6) vedi però anche CALVERT J.G. et al., 1986, p.620 e 626.

suolo sono perlopiù di produzione locale anche durante i periodi di avvezione da Sud.

In base alle misure eseguite nel periodo di permanenza degli apparecchi di misura all'Osservatorio a Locarno-Monti si sono potute fare delle osservazioni interessanti. Una prima valutazione ci permette di affermare ciò che segue:

- Il limite dell'inversione termica è determinante per causare una concentrazione elevata degli inquinanti primari al suolo (tipicamente gli NOx e CO). La posizione dell'Osservatorio, sopra o sotto l'inversione era facilmente deducibile seguendo l'evoluzione dei gas citati.
- In condizioni d'avvezione dal Lago Maggiore si nota generalmente un incremento di inquinanti più marcato sul pendio che sul Piano di Magadino.
- Le concentrazioni elevate si osservano in condizioni stabili non avvelte.

Si può quindi dedurre che esiste un'avvezione di gas inquinanti dalla Pianura Padana, soprattutto nel Mendrisiotto, quando spirano venti dal settore sud. Non sono però queste le situazioni critiche per l'igiene dell'aria, dato che in presenza di movimenti d'aria il volume di diluizione degli inquinanti è nettamente maggiore, e in presenza della fase liquida l'ossidazione e dissoluzione degli inquinanti primari a inquinanti secondari è questione di ore. Secondo BARBIERI (1986) si può stimare a 2/3 in quantitavo d'inquinati importati nelle piogge acide sul Ticino e 1/3 alla produzione indigena. Per ciò che riguarda l'inquinamento atmosferico sull'insieme del Ticino, la produzione locale probabilmente ammonta almeno a 2/3 o 3/4 del totale.

4.4 Favonio e invernone 1

Il 4. marzo 1986 è già stato esaminato sotto l'aspetto della distribuzione della pressione (tab.5.2), ed è stata descritta brevemente anche la situazione del tempo su scala sinottica. In questo capitolo si tratta di seguire l'andamento di alcuni parametri meteorologici significativi sull'arco della giornata (fig.15), per potere, in seguito capire meglio l'andamento delle concentrazioni dei inquinanti a Bellinzona (fig.16) e tentare di intuire la diversa composizione delle due masse d'aria.

La fig.15 mostra l'andamento della temperatura dell'aria (medie su 10 min.), il punto di rugiada, la direzione e la velocità del vento, per mezzo dei quali è possibile stabilire con sufficiente precisione le ore dei cambiamenti della massa d'aria avvenuti il 4.3.86. Dapprima a MAG la temperatura oscillava tra +2,5 e -0,5 gradi, mentre OTL registrava temperature attorno a 4,5 gradi, con un punto di rugiada uguale a quello di MAG: tra OTL e MAG si era formata l'inversione notturna tipica con cielo sereno; il raffreddamento sul Piano di Magadino abbassa la temperatura praticamente fino alla temperatura per la quale l'aria è satura di vapore acqueo. Mentre a Locarno-Monti l'aria comincia a seccare per effetto favonico già prima delle 0200 (con abbassamento del punto di rugiada), a MAG questo processo inizia solo dopo le 0430. Le variazioni della temperatura e del punto di rugiada rispecchiano l'effetto della graduale erosione dell'aria stabile sul Piano: l'aria favonica che scende dalle Alpi con velocità anche intense riesce solo gradualmente ad evacuare l'aria fredda e relativamente densa presente sul Piano di Magadino erodendola dall'alto. Verso le 0700 si afferma però e porta l'umidità relativa a circa 50% (nel

ANDAMENTO DI ALCUNI PARAMETRI
METEOROLOGICI, Magadino, 4. Marzo 1986

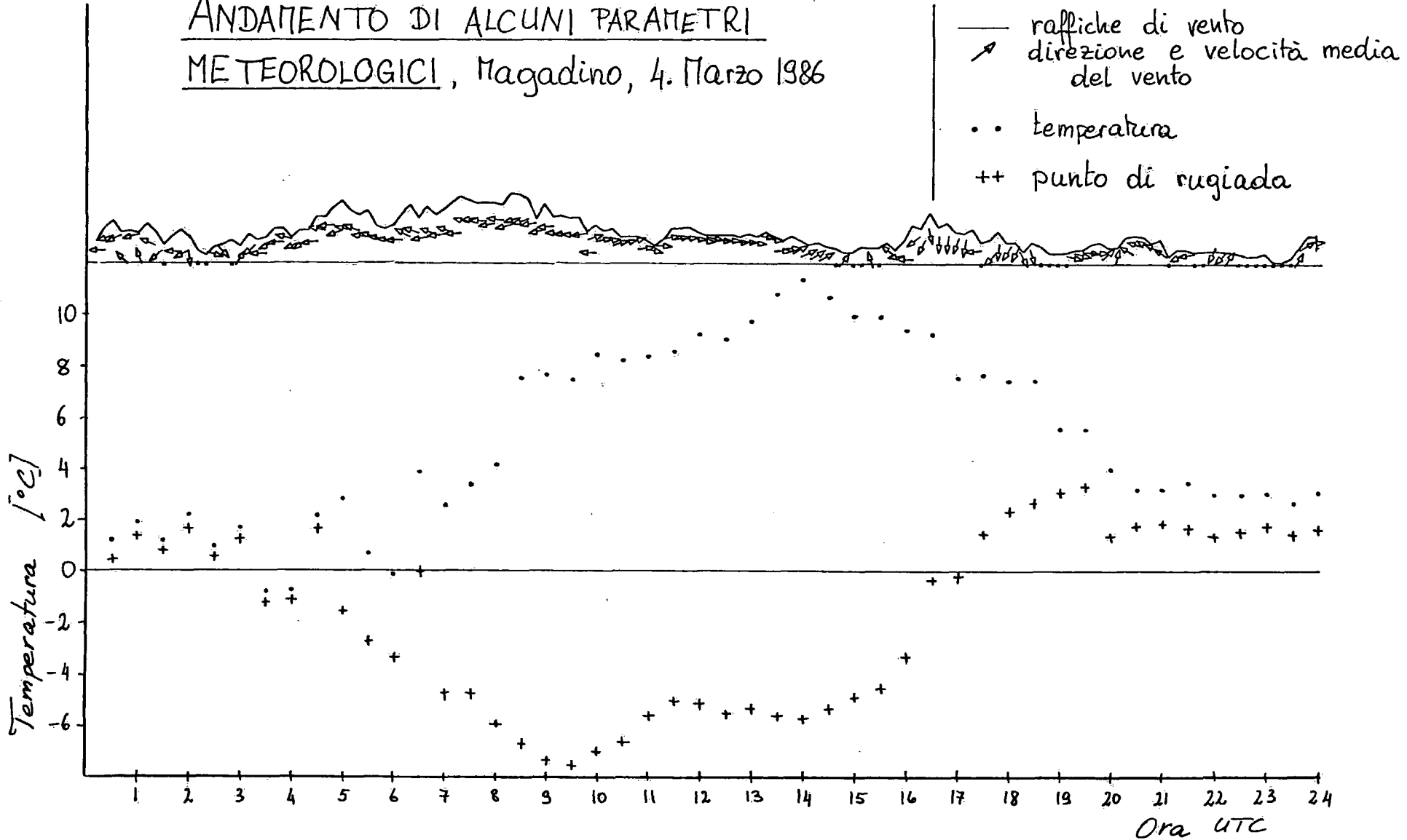


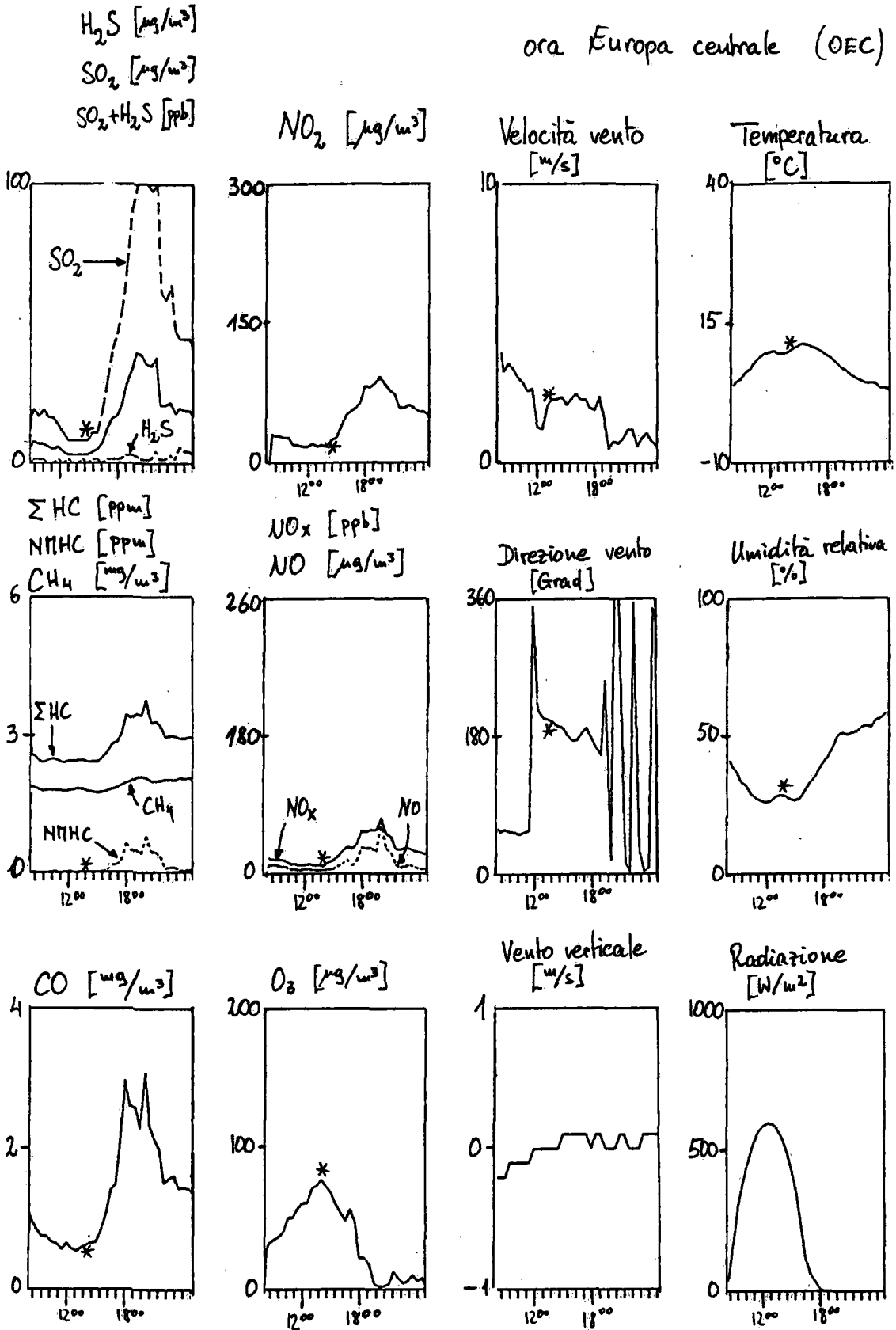
Figura 16

CONCENTRAZIONI DEI POLLUTANTI E PARAMETRI METEO

Bellinzona, 4. Marzo 1986 dalle 08²⁰ fino 5. Marzo 1986, 01¹⁰

* = Ore 14, inizio arrivo foschia

ora Europa centrale (OEC)



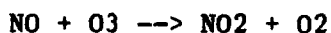
corso della giornata scende ancora sotto 30%). Come indicato sulla figura, il favonio soffia dal settore E, uscendo quindi dalla Val Riviera. Anche a Bellinzona (fig.16) il favonio è ben visibile dai grafici: il vento, a velocità abbastanza elevata, soffia da NE con umidità relativa attorno a 40%.

Alle 1000 il vento a MAG gira improvvisamente, senza alcun'indugio, da E a W; a Bellinzona questo cambio avviene solo dopo le 1100, mentre a Locarno era già avvenuto circa alle 0930. Come già visto in precedenza, si tratta di invernone, che si è levato perchè l'anticiclone passeggero presente a nord delle Alpi si è spostato progressivamente verso E, facendo affluire aria fredda da E sulla Pianura Padana (vedi 2.4.7), che poi ha raggiunto anche le nostre regioni. Il favonio della mattina aveva però spinto l'aria torbida incontrata verso meridione, di modo che l'invernone dapprima riporta aria favonica e limpida da sud, e soltanto più tardi porta aria torbida. Questo si vede sulla fig.15 dalla curva del punto di rugiada. L'entrata dell'invernone è segnata da un leggero innalzamento del punto di rugiada, che permane però basso (circa -5,5 gradi). Soltanto dopo le 14 il punto di rugiada inizia ad aumentare in modo consistente: infatti a partire da quell'ora aumenta anche (e non solo!) la torbidità dell'aria. Infine l'arrivo dell'invernone è riconoscibile anche dalla curva della temperatura dell'aria, che subisce un leggero, ma, in assenza di nubi, inaspettato calo.

Verso sera poi, l'invernone si calma, la temperatura si riavvicina al punto di rugiada, e cade la notte.

Le conseguenze di questi cambiamenti di massa d'aria per l'igiene dell'aria sono visibili sulla fig.16 che riporta appunto le concentrazioni dei inquinanti misurati a Bellinzona (vicino alla scuola Arti e Mestieri, in città). L'aria favonica di regola è quasi esente da sostanze inquinanti, essendone stata dilavata durante l'ascesa sull'altro pendio alpino. Questo vedremo chiaramente più tardi (cfr.cap.4.6). Unicamente l'ozono è favorito dal favonio. Questo è dovuto, probabilmente, alla somma di due effetti: da un lato al migliore rimescolamento degli strati, che porta ozono da strati soprastanti, dall'altro alla maggiore limpidezza dell'aria, che permette la trasmissione di più radiazione ultravioletta con lunghezza d'onda < 420 nm, responsabile per la fotodissociazione dell'NO₂. Concentrazioni del diossido d'azoto attorno a 8 ppb = ca 15 µg/m³, infatti, sono sufficienti per produrre concentrazioni di ozono attorno a 50 µg/m³ (vedi: ALTSCHULLER A.P., 1986, p.250 e 254; LOHSE C. et al., in: Commission of the European Communities, 1981, p.261; GUSTEN H., in: HUTZINGER O., 1986, p.56).

Con l'arrivo dell'aria torbida, segnata con * sui grafici della fig.16, si nota un aumento molto netto della concentrazione di SO₂, CO, NO₂; questo significa molto probabilmente che queste sostanze sono arrivate con l'aria torbida, contenute in essa, perchè in base a quanto si osserva in tutti gli altri giorni dell'anno, i massimi delle immissioni (e delle emissioni) avvengono durante la tarda mattinata e durante la sera (vedi cap. 4.2.3). La curva di NMHC (= idrocarburi non-metano) percontro non ha subito un aumento con l'arrivo della foschia: il suo aumento avverrà soltanto quando l'invernone perde forza, verso sera; è dovuto cioè alle emissioni locali (traffico serale). Lo stesso vale per NO, dove qui c'è da menzionare, che il monossido d'azoto eventualmente presente nell'aria si ossida rapidamente con l'ozono fino all'esaurimento di uno dei due edotti, secondo la reazione:



Con questo non si intende però affermare che l'intero carico inquinante della sera del 4.3.86 (che tra l'altro non è eccezionalmente alto) sia dovuto all'apporto tramite l'invernone: sicuramente le emissioni serali hanno contribuito con la loro parte. Dopo aver visto un anno di grafici,

però, un aumento pomeridiano dei inquinanti, che inoltre correla così bene con la situazione meteorologica particolare, risalta chiaramente. Un altro caso analogo con aria più inquinata è trattato nel cap.4.5.

Infine, onde evitare interpretazioni affrettate, è necessario aggiungere anche questo: è fuori dubbio che l'invernone, in casi del genere, porta con sé un certo carico inquinante; forse l'ironia della sorte vuole però che parte delle sostanze che arrivano erano già state prodotte più a nord (per esempio nella nostra regione), sono poi state spinte alcuni 100 km a sud dal favonio, e ritornano a nord con l'invernone... Ma per confermare tale ipotesi sarebbero necessarie ricerche specifiche in merito.

Osserviamo però ora un altro caso in cui il vento da nord è seguito da invernone.

4.5 Favonio e invernone 2

Abbiamo già incontrato questo periodo nel capitolo 2.4.2, parlando delle differenze di pressione tra le stazioni in zona.

L'evoluzione del tempo può essere così descritta: un fronte occluso raggiunge la Svizzera durante le prime ore del 14.12.86, seguito da un anticiclone passeggero freddo. Giungendo sul Mediterraneo questa zona perturbata si riattiva, formando una depressione mediterranea in dissoluzione e in spostamento verso est. A questo modo viene a crearsi un netto gradiente di pressione da nord al sud delle Alpi, con conseguente favonio nelle vallate sudalpine. L'avvicinarsi di una nuova e più marcata perturbazione atlantica porta però al crollo del gradiente di pressione meridionale (caduta rapida di pressione a nord delle Alpi), e alla sostituzione del vento da nord con invernone: l'aria fredda dell'anticiclone passeggero ha ormai girato attorno alle Alpi e, con la corrente da est associata al lato settentrionale della depressione mediterranea, si riversa sulla Pianura Padana il 15.12.86. Il fronte freddo della nuova depressione raggiunge poi la Svizzera la notte tra il 15 e il 16.12; di conseguenza la mattina seguente un nuovo evento favonico investe le valli sudalpine.

Le conseguenze di questi cambiamenti di massa d'aria dovuti agli avvenimenti su scala sinottico-regionale non sono molto diverse da quanto visto per il 4.3.86 (nel cap.4.4): dapprima dell'aria torbida e umida viene sostituita da aria favonica discendente dalle Alpi con contenuto di vapore acqueo e (come si vedrà subito) di inquinanti molto basso: questo cambio avviene a Locarno-Monti alle 03, a Magadino poco dopo le 06 (vedi fig.17) e a Bellinzona (fig.18a,b) alle 0330. La differenza dell'ora di arrivo tra OTL e MAG è dovuta all'inversione al suolo presente sul Piano.

Il pomeriggio del 15.12, poi, l'invernone riporta dell'aria torbida sul Piano di Magadino. Il cambio di massa d'aria collegato all'arrivo dell'invernone è avvenuto a OTL alle 1310, mentre la rotazione del vento avviene ca. 20 minuti più tardi. A Magadino (vedi fig.17), invece, è avvenuta prima la rotazione del vento (alle 1310), mentre il cambio di massa d'aria, segnato con "*" sulla figura, segue dopo mezz'ora; a Bellinzona il cambio avviene come a Magadino: anche qui la rotazione del vento alle 15 precede il cambio di massa d'aria di circa un'ora (risoluzione temporale semioraria). A MAG e Bellinzona l'invernone segna il suo inizio con un nuovo relativo picco della velocità del vento, mentre a OTL non appare (infatti anche la rotazione del vento è più graduale, e la posizione dell'Osservatorio probabilmente poco idonea per questo). Con circa +1 grado C il punto di rugiada dell'aria torbida a MAG supera quello dell'aria favonica di 9 gradi. Inoltre tra le 1310 e le 14 la temperatura cade di 3,0 gradi (a Locarno-Monti di 4,4 gradi!): l'aria che arriva è

Figura 17

Magadino
15/16.12.1986

ANDAMENTO DI ALCUNI PARAMETRI METEOROLOGICI :

Temperatura dell'aria	—	Punto di rugiada	- - - - -
VENTO :	0 - 1 m/s		
	> 8,0 m/s		
Directione del vento sull'ordinata			
* = Momento dell'arrivo dell'aria forbida			
	1,1 - 2,5 m/s		
	2,6 - 4,0 m/s		
	4,1 - 6,0 m/s		
	6,1 - 8,0 m/s		

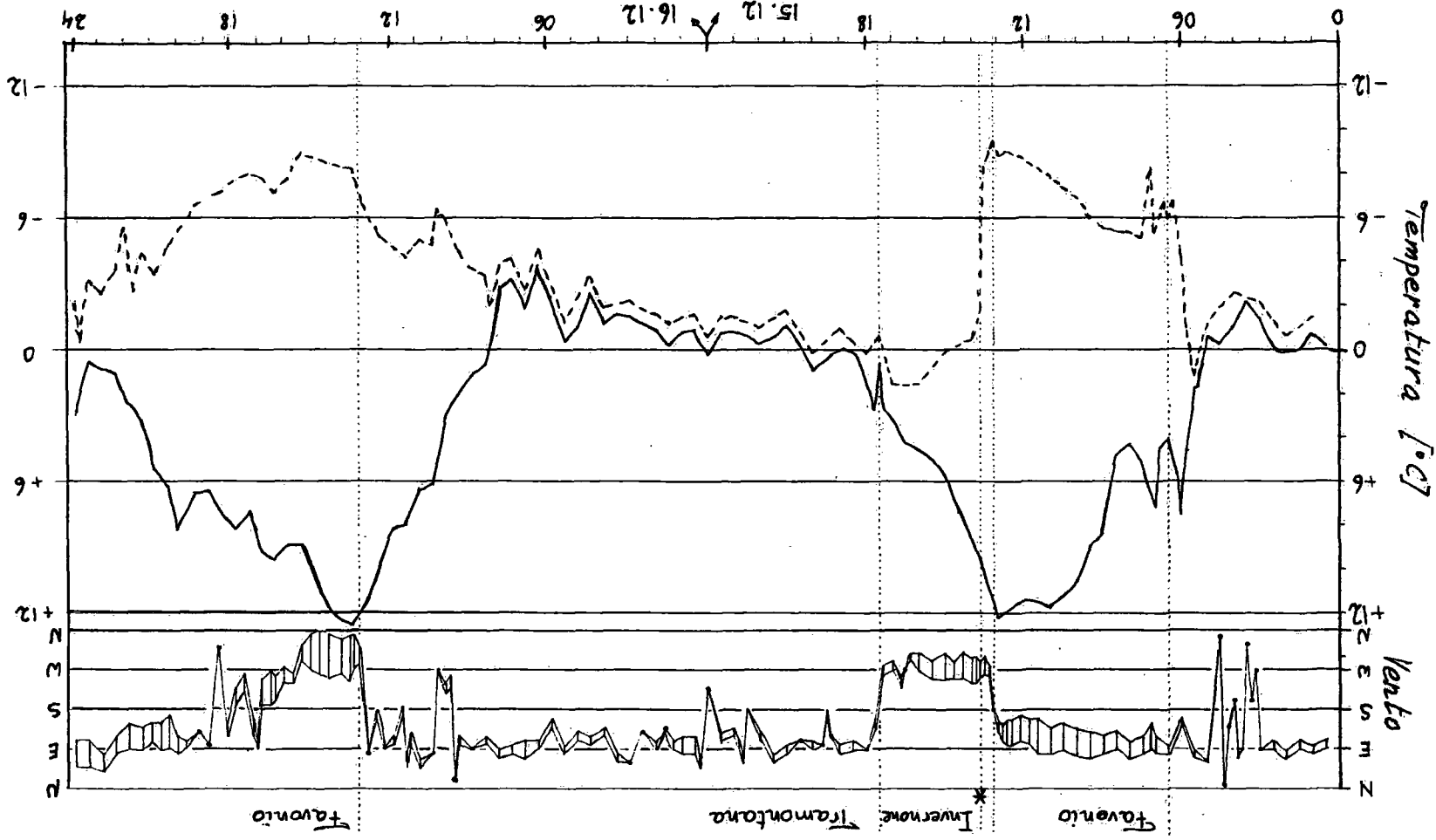


Figura 18a

BELLINZONA, dicembre 1986

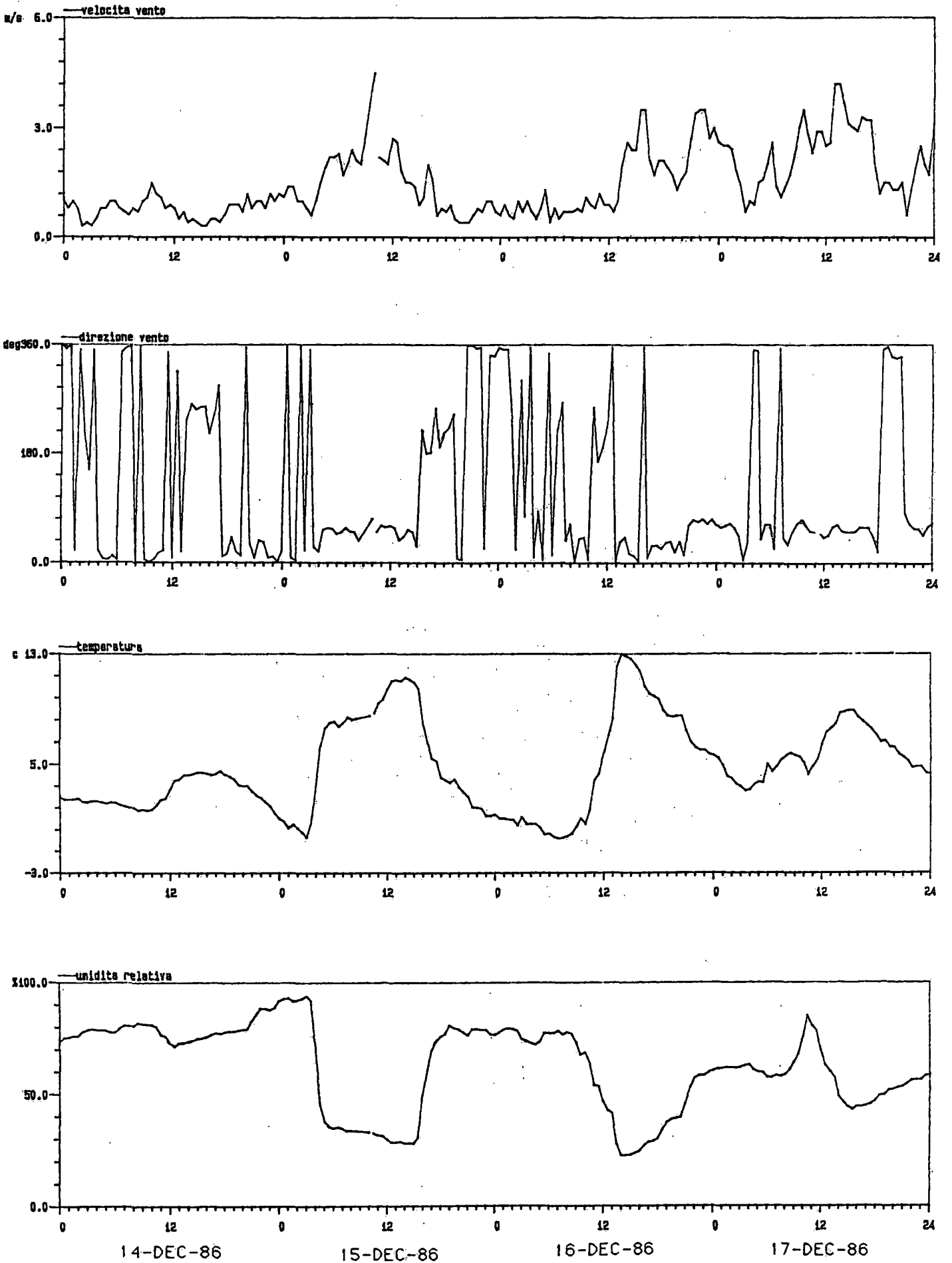
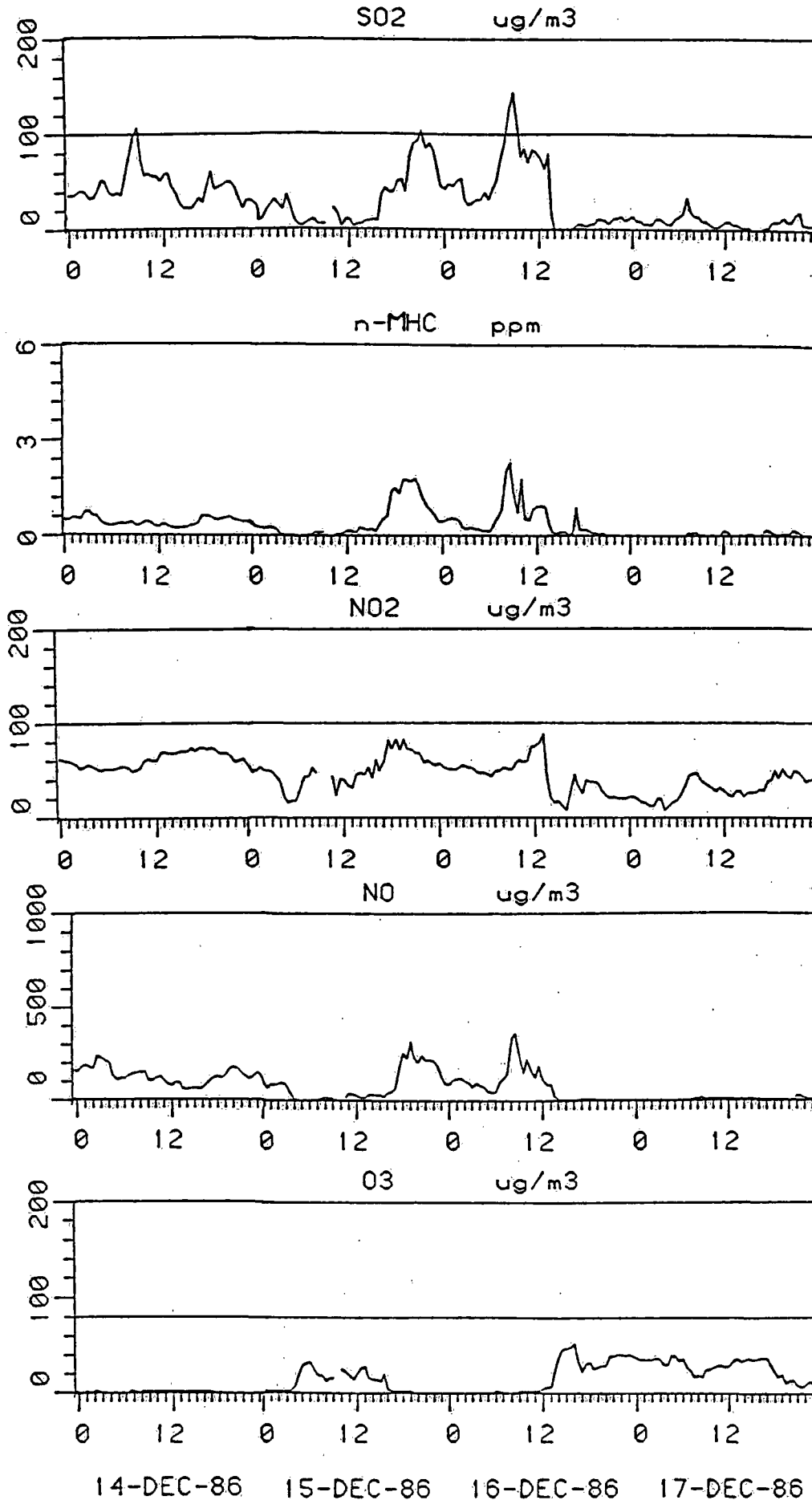


Figura 18b

BELLINZONA, dicembre 1986



nettamente più fredda e più umida. Questo è visibile anche sui filmati all'acceleratore, dove l'aria torbida, spingendosi sotto l'aria favonica più leggera, rimane sotto 400-450 m/slm.

Come visibile dalle fig.18a e b, la massa d'aria che arriva con l'invernone non presenta solo altre caratteristiche meteorologiche: le concentrazioni dei inquinanti segnano degli aumenti. Durante la notte si registra un minimo (molto) relativo, mentre la mattina seguente tra le 0630 e le 08 le concentrazioni si arrampicano nuovamente a valori addirittura più elevati della sera precedente.

Considerando che i valori medi dei inquinanti erano più bassi i giorni precedenti (vedi tab.8), si può supporre che molto probabilmente si è verificato importo di inquinanti gassosi.

TABELLA 8: Concentrazioni medie giornaliere di NMHC, CO, NO2, NO, O3:

GIORNO	Tipo di tempo	NMHC [ppm]	CO [mg/m3]	NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	NO [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	O3 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
13.12	I2	0,30	1,52	59,7	83,0	1,8
14.12	T	0,42	2,08	61,8	127,8	1,2
15.12	FA	0,49	1,81	49,6	85,8	10,4
16.12	FA11	0,43	1,49	43,0	77,1	16,7
17.12	FA	0,04	0,47	30,5	8,5	27,1

Si pone quindi la domanda sulla provenienza dell'aria: purtroppo i gas inquinanti non portano la firma, per cui si può estrapolare la loro provenienza in base al regime dei venti in quel periodo. Per questo motivo possiamo ipotizzare l'avvezione dalla Pianura Padana, dato che l'aumento più sensibile è quello del SO2. L'arrivo del vento da nord più persistente nella giornata del 16.12 ha definitivamente ripulito l'aria facendo crollare i valori del NO, SO2, NMHC, CO, mentre, come è consuetudine, l'ozono aumentava.

4.6 Favonio e inversione

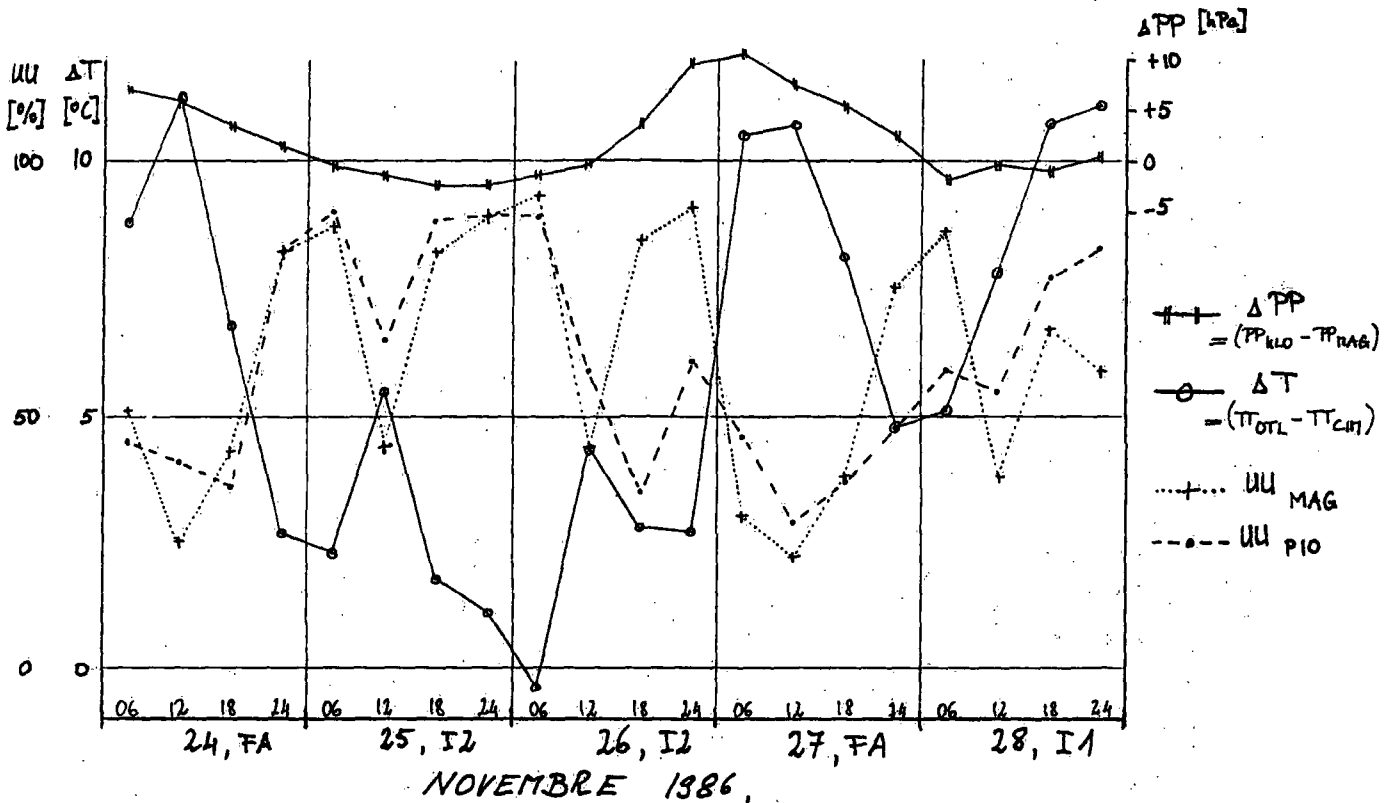
Questo periodo di cinque giorni (24-28 novembre 1986) è stato scelto per mostrare, in maniera esemplare, come aumenta il carico inquinante nell'aria a Bellinzona, dopo un evento favonico, con dell'aria "nuova" che poi permane nella regione.

Il 23.11 un fronte freddo attraversa la Svizzera; l'aria fredda ad essa associata provoca un netto gradiente di pressione dal nord a sud delle Alpi, dando luogo ad una giornata di favonio in Ticino; verso sera il vento da nord termina. I giorni 25 e 26.11 sono dominati da un anticiclone passeggero, piuttosto caldo in altitudine, che porta due giorni di tempo sereno e autunnale. Durante le notti dai pendii scende aria fredda, che, con l'aria calda in altitudine, crea una stratificazione molto stabile, nella quale sono praticamente impossibili i ricambi d'aria verticali. Verso le 04 OEC del 27.11, con l'anticiclone delle Azzorre che si spinge sull'Europa Centrale, il favonio irrompe nuovamente sul Piano di Magadino, evacuando le inversioni. Su fig.19 sono rappresentati alcuni parametri significativi, che mostrano questi cambiamenti. In particolare la differenza di temperatura tra CIM e OTL segna la fine del favonio la sera del 24.11, nonché il suo ritorno la notte sul 27.11. La differenza di

Figura 19

ANDAMENTO DI ALCUNI PARAMETRI METEO

24 - 28 Novembre 1986



ΔPP : Differenza di pressione (ridotta al livello del mare) tra KLOTEN e PIAGADINO;

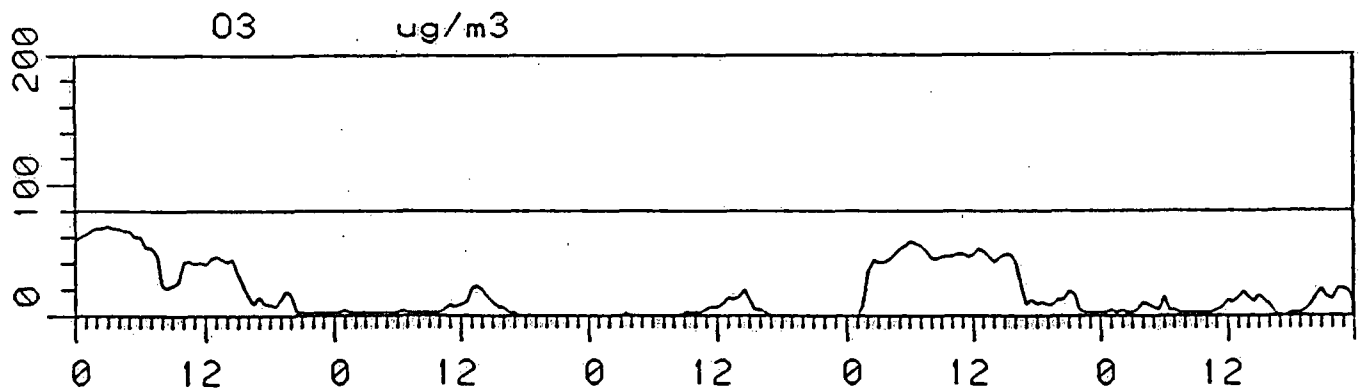
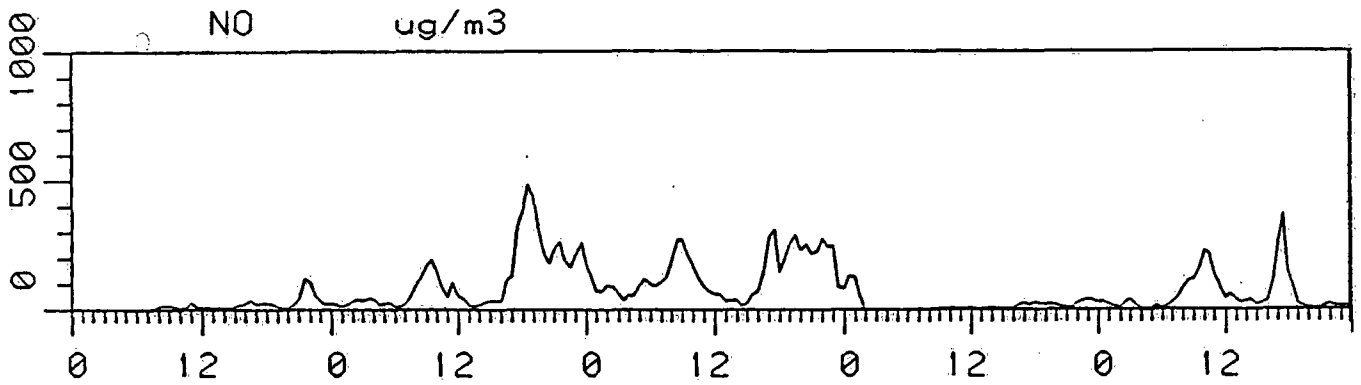
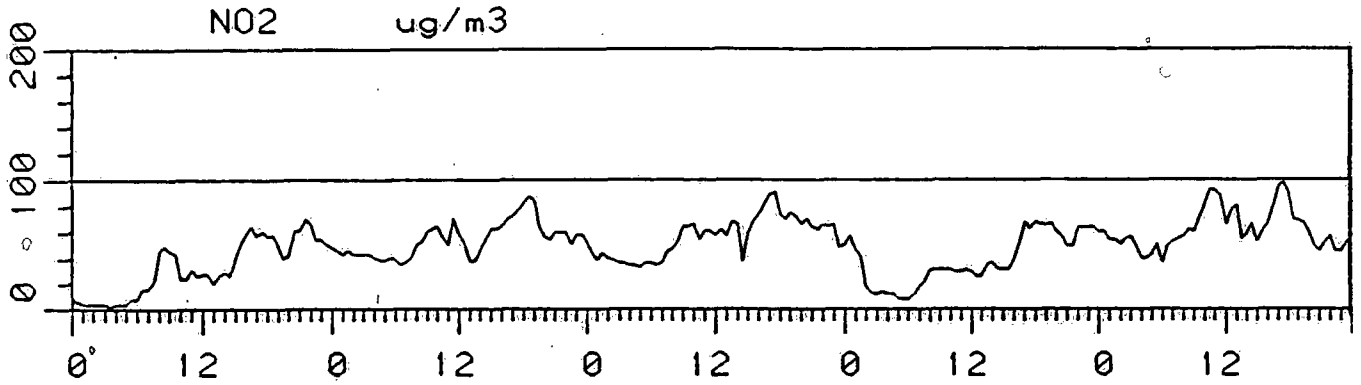
ΔT : Differenza di temperatura tra LOCARNO-TIONTI e CIMETTA;

UU : Umidità relativa momentanea a $\begin{cases} \text{PIAGADINO} \\ \text{PIOTTA} \end{cases}$

Sull'ascissa : i giorni con il rispettivo tipo di tempo

Figura 20b

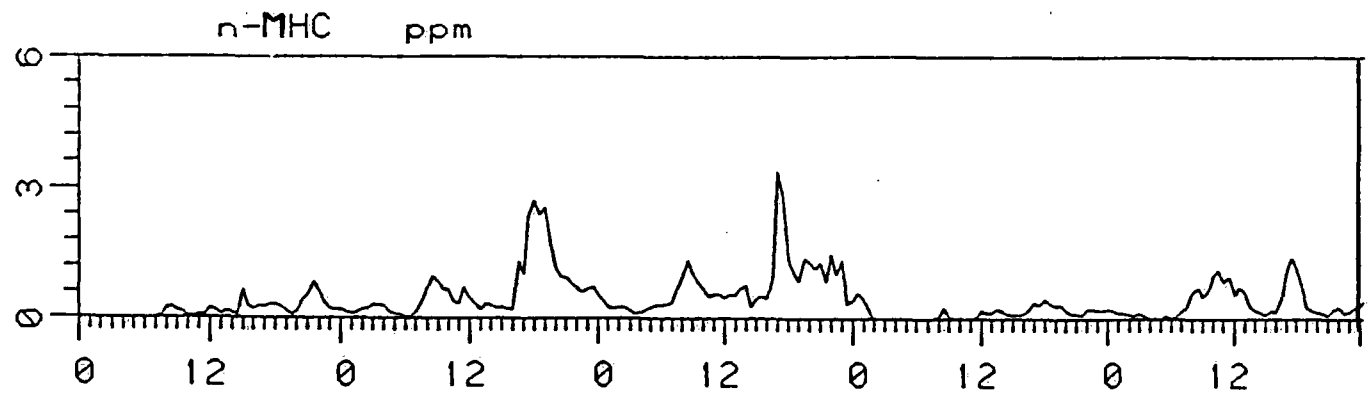
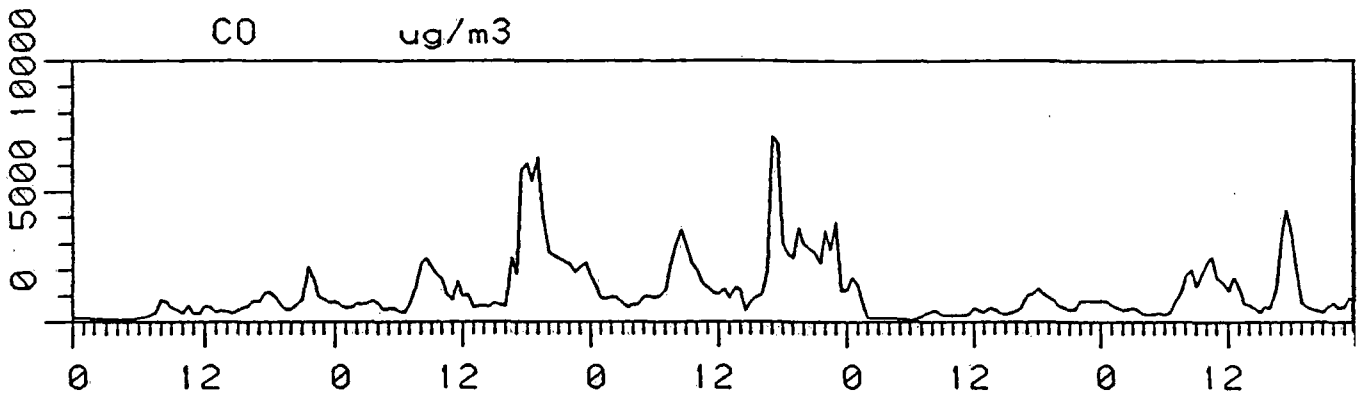
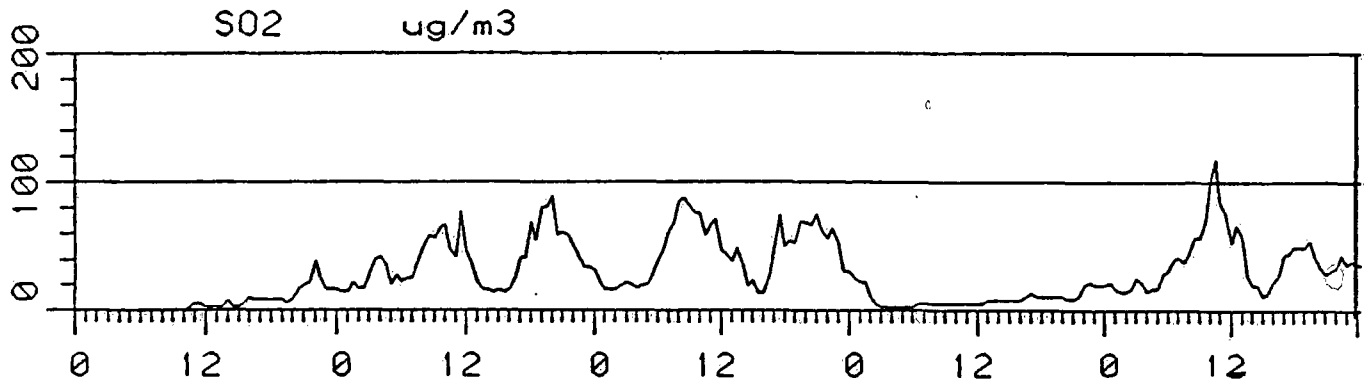
BELLINZONA, novembre 1986



24-NOV-86 25-NOV-86 26-NOV-86 27-NOV-86 28-NOV-86

Figura 20c

BELLINZONA, novembre 1986



24-NOV-86 25-NOV-86 26-NOV-86 27-NOV-86 28-NOV-86

pressione MAG-KLO mostra l'andamento della forza motrice del favonio. Le curve dell'umidità relativa mostrano quando, a causa delle inversioni, l'aria si raffredda, avvicinando la sua temperatura al punto di rugiada; inoltre si vede che a Piotta (PIO, 1007 m/slm) il favonio era ritornato già la sera del 26.11.

Le fig.20a,b,c mostrano l'andamento dei parametri meteorologici e delle concentrazioni dei inquinanti a Bellinzona, dove la stazione di misura si trovava tra il 24 e il 28.11.86. Con una risoluzione temporale semioraria risulta facile stabilire con precisione quando una massa d'aria sostituisce quella già presente (soprattutto quando i cambi sono così marcati).

A Bellinzona il favonio è cessato il 24.11, tra le 1930 e le 2000 OEC, com'è visibile dalla velocità del vento in diminuzione, che non mostra più la direzione costante da NE; inoltre la temperatura in netto calo riproduce la formazione dell'inversione al suolo. I due giorni che seguono mostrano dei netti contrasti termici e di umidità tra giorno e notte, mentre il vento resta molto debole e variabile. Il ritorno del favonio verso le 02 del 27.11 è molto netto: in un'ora la temperatura sale da 3,4 a 12,2 gradi C, mentre l'umidità relativa cade da 75 a 40%; il vento riprende a soffiare a velocità sostenuta da NE (trovandosi sottovento di un edificio, l'anemometro non registra velocità tipiche). Seguirà una giornata di vento nuovamente debole, ma senza l'inversione a media quota (vedi fig.19).

Le conseguenze di questi cambi di massa d'aria per gli inquinanti gassosi sono molto appariscenti: come già constatato prima (vedi cap.4.4), il favonio provoca un netto aumento della concentrazione dell'ozono, probabilmente a causa del rimescolamento degli strati prossimi al suolo ed eventualmente per l'apporto di ozono di origine stratosferica (cfr. YOUNG 1987, vedi anche cap.4.2.3). Con il terminare improvviso del vento da NE alle 20 del 24.11, la massa d'aria presente rimane praticamente sul posto, permettendo un picco ridotto per le sostanze CO, NO, SO₂, NMHC, mentre NO₂ era già presente moderatamente durante il giorno appena trascorso. Il giorno seguente, però, l'accumulo dei inquinanti è efficace quanto le emissioni: sono riconoscibili i due massimi (mattutino e serale) già discussi in precedenza (cap.4.2.3). Di nuovo la concentrazione di NO₂ raggiunge valori massimi mattutini sul mezzogiorno, qualche ora dopo quelli di NO. Si conferma anche che i massimi serali di NO e CO superano quelli mattutini, ma lo stesso vale per NMHC, NO₂. In seguito, con il ritorno del favonio la mattina presto del 27.11 si vede il tipico calo delle concentrazioni di NO_x, SO₂, NMHC, CO. Conformemente alle aspettative la concentrazione dell'ozono aumenta rapidamente in piena notte. Inoltre, mentre le altre sostanze rimangono a concentrazioni basse, il diossido di azoto raggiunge 40 µg/m³ il pomeriggio del 27.11; in altre parole le differenze di concentrazione variano meno per l'NO₂ tra giorni di favonio e altri, probabilmente a causa dell'ossidazione di NO con O₃. C'è però anche da considerare, che 40 µg/m³ NO₂ = ca. 21 ppb sono concentrazioni basse, se confrontate con 214 µg/m³ = ca. 173 ppb (media del 26.11.86, peraltro purtroppo non eccezionale) per il monossido di azoto. Ci si stupisce quasi, a questo proposito, che non esistano valori-limite federali per NO, considerata l'importanza di questo gas per le reazioni (foto-)chimiche ed i prodotti che ne derivano.

Sulle fig.20a,b,c si vedono però anche delle variazioni più a corto termine. Di queste parecchie sembrano dovute a influssi "casuali"; altre invece, che coinvolgono contemporaneamente diversi parametri, non possono più essere considerate "casuali". Il 24.11, per esempio, alle 08 circa, si nota un minimo relativo della concentrazione dell'ozono (ca. 20 µg/m³), che coincide con un massimo relativo di NO₂. Allo stesso momento c'è però un minimo relativo della velocità del vento. Si suppone quindi che all'ora delle emissioni mattutine vi sia stato un momento di minor ricambio d'aria, durante il quale parte dell'NO è stato rapidamente ossidato a NO₂ tramite O₃, HO₂ o altro.

5. Riassunto e conclusioni

In questo lavoro vengono dapprima definiti i criteri per la classificazione del tempo locale in diverse situazioni, essenzialmente in base agli elementi climatici vento e (distribuzione verticale della) temperatura. A questo modo si sono create delle classi con regime dei venti più avvevativo, altre determinate da correnti termiche a mesoscala, altre ancora senza vento e con stratificazione stabile. Nel cap.3 le varie situazioni vengono confrontate secondo la durata, la distribuzione lungo il periodo esaminato (15 gennaio 1986 fino 7 febbraio 1987) e secondo la distribuzione della pressione atmosferica ridotta a 800 m/slm. Ogni classe così definita ha delle ripercussioni specifiche sulle qualità nello spazio e nel tempo di altri fenomeni.

Tra questi fenomeni vi è anche quello dell'inquinamento dell'aria, che, si può dire, è legato strettamente al tempo locale: ogni situazione di tempo influisce sulle emissioni, ma soprattutto sulla loro trasmissione (e trasformazione) in maniera più o meno caratteristica, modificando il quadro delle immissioni a seconda del caso. Di questi aspetti si occupa la seconda parte del lavoro. Non è stato possibile discutere il comportamento medio delle situazioni, ma ciononostante le tendenze caratteristiche traspaiono. A scopo illustrativo vengono quindi descritti alcuni periodi particolarmente interessanti, che hanno permesso di giungere alle conclusioni seguenti:

- Le concentrazioni alte dei inquinanti si verificano praticamente solo con situazioni di venti deboli (I1, I2, B1, B2); in condizioni del genere ogni aumento della velocità del vento si riflette in una diminuzione delle concentrazioni. In particolare la presenza di un anticiclone con aria calda in quota e uno strato sottile di aria fredda in prossimità del suolo, determina un'inversione termica che inibisce lo scambio verticale. E quanto avvenuto nei giorni precedenti il Natale '87, quando è stato diffuso un avviso di preallarme per l'inquinamento. Di conseguenza l'affermazione che "tutta l'aria sporca del Ticino viene prodotta in Italia" risulta infondata. I inquinanti vengono principalmente prodotti nella regione e qui deve avvenire la riduzione delle emissioni, se si vuole evitare che in certe situazioni si raggiungano delle concentrazioni allarmanti. Altro discorso vale per le precipitazioni acide: secondo alcuni studi 2/3 degli inquinanti contenuti nelle precipitazioni sul Ticino son importati da sud.
- I valori-limite di CO, NO2, SO2 vengono superati soprattutto durante le situazioni di inversione e/o di venti deboli in prossimità del suolo. I valori-limite di O3 invece vengono superati soprattutto durante i giorni di brezze termiche con buona insolazione, non soltanto in estate e talvolta in maniera molto massiccia. Anche vento da nord, però, può causare un aumento improvviso della concentrazione di O3 in prossimità del suolo, anche in piena notte, superando talvolta i valori-limite. In questi casi si suppone che in parte si tratti di ozono d'origine stratosferica, affluito dietro ad un fronte polare (cfr. YOUNG, 1987).

Valutazioni più dettagliate in riguardo ai valori dei vari inquinanti sono pubblicate dai responsabili delle stazioni di misura del Cantone (Dipartimento dell'Ambiente, Sezione Energia e Protezione dell'Aria).

6. Deutsche Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden für die Magadino-Ebene, zwischen Bellinzona und dem Lago-Maggiore lokale Wetterlagen definiert und hinsichtlich einiger Merkmale verglichen. Darauf aufbauend werden die lufthygienischen Verhältnisse diskutiert, wobei insbesondere anhand konkreter Fallstudien auf die Fragen eingegangen wird, unter welchen Bedingungen bedrohliche, grenzwertüberschreitende Schadstoffkonzentrationen erreicht werden, sowie inwiefern Schadstoffimport (aus der Po-Ebene) in Frage kommt. Die Arbeit musste in sehr kurzer Zeit verfasst werden, sodass nicht alle Aspekte aufgeführt werden konnten, vor allem was die Lufthygiene betrifft. Ausserdem stellt der deutsche Teil auch nur eine erweiterte Zusammenfassung des in italienischer Sprache geschriebenen dar.

6.1 Klassifikation

Für die Klassifikation des lokalen Wetters standen für die Periode 15.1.86 - 07.2.87 Zeitrasterfilme zur Verfügung, für welche alle 90 Sekunden vom Dach des Observatoriums in Locarno-Monti (OTL) ein Bild von der Magadino-Ebene gemacht wurde. Diese Filme, auf Video-Kassetten kopiert, dienten dann vor allem zum visuellen Nachvollzug des Wetterablaufs; aber auch zur genauen zeitlichen Festlegung von markanten Luftmassenwechseln, sowie zur Verfolgung von Dunstschichten waren die Filme von grossem Nutzen. Dazu standen die Messwerte der ANETZ-Stationen Magadino (MAG), Locarno-Monti (OTL) und Gimetta (CIM) zur Verfügung; diese wurden aber bei Bedarf mit denen anderer Stationen der Südabdachung der Alpen, sowie denen von Klotten und Glütsch ergänzt.

In der Klassifikation wurden folgende Wettertypen ausgeschieden, welche im Kap.2.3 ausführlich definiert und beschrieben werden:

FA=Föhnlagen: bei diesen bricht der (Nord-)Föhn zu irgendeiner Tageszeit bis in die Ebene ein. Je nach Zeitpunkt des Föhneinbruchs wird unterschieden zwischen FA, FA1, FA17,FAE; letzterer bildet ein seltenes Phänomen, bei welchem der Föhn aus NE-Richtung kommt und auf der Alpennordseite keine Niederschläge fallen. Die guten Sichtverhältnisse bleiben deswegen aus. Föhnlagen ziehen die kalten Jahreszeiten vor und dauern selten über 4 Tage hintereinander. Der markante Luftmassenwechsel führt immer zu geringen Konzentrationen der meisten Luftschadstoffe; von diesen bildet das Ozon eine Ausnahme: hier verzeichnete man meistens einen Anstieg der Konzentration, der auf bessere Einstrahlungsbedingungen, Durchmischung der bodennahen Luftschichten, sowie auf den Miteinbezug von stratosphärischen Ozon, welches hinter der Kaltfront einfließt (YOUNG 1987), zurückzuführen ist.

S=Südlagen: von diesen, oft regenbringenden Lagen war die untersuchte Periode reich beschert; vor allem der Monat April ging als sehr niederschlagsreich in die Annalen ein. Bei den Südlagen herrscht eine allgemeine S-Strömung vor, die am Alpensüdhang zum Aufsteigen gezwungen ist (Stau effekt). Diese Lagen kommen auch für die Schadstoffadvektion in Betracht, wie im 2. Teil noch die Rede sein wird. Sie spielt auch für die Versauerung der Alpenseen im Tessin eine entscheidende Rolle (nasse Deposition). Andererseits gibt es auch antizyklonale Südlagen, bei welchen infolge der Subsidenz kein Stau mit Niederschlägen eintritt. Wie aus Fig.6 hervorgeht, können Südlagen auch während über

einer Woche wetterbestimmend bleiben.

T=Trübe Tage: diese Lagen treten im allg. auf, wenn entweder die Süd- advektion für den Typ S zu schwach bleibt, oder falls die Alpensüdseite im randlichen Einflussbereich eines Genua-Tiefs liegt. Im Übrigen weisen solche Tage Merkmale auf, die zwischen denen der Süd- und der Lokalwindlagen liegen.

I1+I2=Inversionslagen: Die Lagen I1 und I2 umfassen die winterlichen Schönwettertage, wobei unterschieden wird zwischen solchen, bei denen die Inversion unterhalb OTL liegt (I1), und jenen, bei welchen auch zwischen OTL und CIM höchstwahrscheinlich eine ganztägige Inversion vorhanden war (I2). Dabei ist zu beachten, dass die Inversion im Falle von I2 auch zwischen OTL und MAG besteht. Die Inversionslagen weisen erwartungsgemäss einen deutlichen Jahresgang auf (Tab.3), ausserdem sind sie oft mehrtägig bis mehrwöchig (Fig.6). Wegen der stabilen Schichtung bleibt die Luft tagelang mit geringem Austausch in der Umgebung liegen, sodass unter diesen Bedingungen die höchsten NO-, SO₂-, CO- und Kohlenwasserstoff-Konzentrationen festgestellt werden.

B1+B2+B0=Lokalwindlagen: Diese Tage treten auf, wenn Tal- und Bergwind sich in typischer Weise gegenseitig ablösen; es handelt sich um die sommerlichen Schönwettertage, die mit etwa 42% die zahlenmässig grösste Bedeutung einnehmen. Je nach der Dauer des (Inverna genannten) Talwindes wird zwischen B1 und B2 unterschieden; bei B0 wird keine Inverna festgestellt (vgl. 2.3.6), aber auch Inversionen sind dann nicht beständig genug, um die Zuweisung zu den Typen I1 und I2 zu ermöglichen. Ueberhaupt ist das Kriterium des Talwindes dem der Inversionen übergeordnet, d.h. wenn Inverna festgestellt wird, sind I1 und I2 automatisch ausgeschlossen. Bei solchen Bedingungen werden in lufthygienischer Sicht v.a. hohe Ozon-Konzentrationen gemessen, was inzwischen auch aus anderen Regionen nicht nur der Schweiz bekannt ist.

Bi=Invernone: hier handelt es sich um eine besondere Wettererscheinung: Invernone ist der Name eines Lokalwindes, dessen Ursachen in der regionalen, dynamisch bedingten Druckverteilung zu suchen sind. Er tritt auf, wenn sich ein kaltes Zwischenhoch nördlich der Alpen befindet und sich in östlicher Richtung fortbewegt; wenn das Zwischenhoch, um die Ostalpen drehend, als Bora kalte Luft auf die Po-Ebene ausfliessen lässt, und vor allem wenn gleichzeitig ein Föhnloch auf der Alpensüdseite besteht, dann breitet sich diese Kaltluft oft auch in die insubrischen Täler aus. Entsprechend dem Verlauf des Langensees fliesst diese meist kühl-trübe Luft von SW her auf die Magadino-Ebene ein. Da die Kaltluft als festländisch geprägt zu betrachten ist, besteht die Möglichkeit des Schadstoffimports.

*=Gemischte Tage: diese seien v.a. der Vollständigkeit halber aufgeführt; es handelt sich hier um Tage, die wegen zu uneinheitlichem Wetter nicht klassifiziert werden konnten (4,6%).

Fig.6 zeigt die Anzahl Fälle (n), bei welchen eine Lage eine Dauer von D Tagen aufweist; es zeigt sich, dass vor allem S, B11, B12 und die Inversionslagen mehrtägig zu sein scheinen.

Tab.3 zeigt die Verteilung der Wetterlagen auf die untersuchten Monate. Obwohl es sich insgesamt um lediglich 390 Tage handelt, zeichnen sich gewisse Tendenzen bereits aus: so sind die Lokalwindlagen (erwartungsgemäss) ausgesprochen sommerlich, die Inversionslagen hingegen winterlich. Die Föhnereignisse ziehen Winter und Frühling vor: Eine langjährige Statistik wurde diesbezüglich von ZENONE (1960) erstellt (siehe Tab.1).

Ueber die Druckverteilung an den ANETZ-Stationen der Alpensüdseite (Tab.4) gibt Tab.5 Auskunft; es wurden 9 Tage gewählt, für welche der Luftdruck auf 800 m.ü.M. reduziert wurde. Die Abweichungen des Luftdruckes an den Stationen gegenüber Magadino (MAG) wurden in 1/10 hPa aufgeführt, während in Magadino selbst der reduzierte Luftdruck der 4 Beobachtungsterminen die Drucktendenz wiedergibt. Sehr deutlich zeigen sich hier u.a. die tagesperiodischen Luftdruckunterschiede auf Tab.5.7).

6.2 Lufthygiene

Im zweiten Teil geht es um die Abhängigkeit der Schadstoffkonzentrationen auf der Magadino-Ebene, von den zuvor definierten Wetterlagen. Die Messungen werden seit dem 15.11.85 von einer mobilen Messstation des Kantons an verschiedenen Standorten durchgeführt, zum grossen Teil auf der Magadino-Ebene. Wegen der Heterogenität der Messreihen können aber keine Mittelwerte angegeben werden, und auch die Abschätzung der zeitlichen und örtlichen Repräsentativität der einzelnen Messreihen muss leider ausbleiben. Trotzdem können einige Folgerungen deutlich gezogen werden:

- Hohe Schadstoffkonzentrationen von NO, NO₂, CO, SO₂ treten bei winterlichen Hochdrucklagen mit (auch bodennah) stabiler Schichtung auf, also vor allem bei I1, I2 (siehe Fig.10). Hohe Ozonkonzentrationen sind mit geringen Konzentrationen der anderen Schadstoffe, sowie mit Wärme und Sonnenschein verbunden; sie treten deshalb vor allem bei B1 und B2 auf (siehe Fig.8). Es konnte auch der von BRODER (in: FROELICH, 1985, S.120ff.) beschriebene, für Hanglagen typische Ozonkonzentration--Tagesgang festgestellt werden.
- Die eidg. Grenzwerte werden für NO₂, SO₂, O₃ bei obigen Situationen z.T. erheblich überschritten (v.a. bez. O₃); genauere Angaben diesbezüglich sind jedoch Kompetenz des Kantons.
- Es wird im Tessin oft von massiver Schadstoffadvektion aus der benachbarten Po-Ebene gesprochen. Hohe Konzentrationen in Bodennähe werden jedoch v.a. bei Schwachwindlagen im Winter gemessen, wenn eine tiefliegende thermische Inversion den vertikalen Austausch verhindert. Das war der Fall vor Weihnachten 1987, als eine Luftverschmutzungswarnung ausgegeben wurde. Die erwähnte Aussage ist nur teilweise begründet und ist für die Lufthygiene von wenig Bedeutung. Anders sieht es hingegen bei der Deposition von Schadstoffen aus, welche bei Südstaulagen ausgewaschen werden. Nach BARBIERI (1986) sind etwa 2/3 der Depositionen -am Beispiel des Schwefels abgeschätzt- welche im Tessin durch Niederschlag zu Boden kommen, von Süden importiert. Bei guter Ausprägung der Tal- und Bergwinde pendeln die bodennahen Luftmassen etwa 100-150 km weit hin und her; die Luftmassen werden durchmischelt, vermutlich ohne dass weder von deutlichem Schadstoffimport noch -export gesprochen werden kann.

Diese Schlussfolgerungen werden anhand ausgewählter Perioden dargestellt.

7. Consigli e proposte

Nel tempo limitato di questo lavoro, non sono stati esaminati tutti gli aspetti che sembravano fornire conoscenze nuove sul tempo locale e i suoi effetti sulla qualità dell'aria. Parte degli aspetti che sarebbe auspicabile esaminare sono già stati menzionati in precedenza.

Visto che verranno installate delle stazioni di misura della qualità dell'aria fisse, sarebbe innanzitutto auspicabile continuare la classificazione, poichè soltanto considerando dei periodi di tempo più lunghi sono possibili delle correlazioni anche quantitative. A questo scopo sarebbero però da migliorare alcuni aspetti all'interno della classificazione, tra i quali: 1. ridefinire o sostituire la visibilità pomeridiana (vedi cap.2.4.1) (per es. semplicemente con la media delle visibilità ai termini di mezzogiorno e sera); 2. distinguere tra situazione di sud anticiclonale e ciclonale.

Per quanto riguarda la qualità dell'aria, sarebbe interessante studiare il rapporto tra le concentrazioni di NO₂ e NO ($=\frac{[NO_2]}{[NO]}$). Visto che grosso modo con l'atmosfera più reattiva l'ossidazione è molto efficace, e NO₂ è quasi l'edotto-chiave (oltre alla radiazione ultravioletta) per la produzione dell'ozono, si potrà forse stabilire un indice empirico, nel quale dovranno rientrare anche radiazione e temperatura, che servirà per stimare o prevedere la disponibilità per la produzione di O₃. Vedi anche GUSTEN, in HUTZINGER O., 1986, p.57f. Inoltre sarà da studiare ulteriormente il ruolo dell'inverna per l'O₃ in estate. A Locarno-Monti si è infatti constatato regolarmente un aumento improvviso della concentrazione di O₃ con l'arrivo di questo vento termico; ci si chiede, quindi, se ciò sia dovuto semplicemente al miglior rimescolamento dell'aria o ad altro. D'altra parte, penetrazione negli strati bassi d'ozono d'origine stratosferica con l'arrivo del vento da nord dopo un passaggio frontale anche di notte, e quindi in assenza dei processi fotochimici, deve essere provata.

Indirizzo degli autori:

Ulrich Joss
Motto
6655 Intragna

Paolo Ambrosetti e Giovanni Kappenberger
Osservatorio Ticinese
6605 Locarno-Monti

8. Letteratura citata:

- ALTSHULLER A.P.: The Role of Nitrogen Oxides in Nonurban Ozone Formation in the Planetary Boundary Layer over N America, W Europe and Adjacent Areas of Ocean; Review Paper, Atmospheric Environment, Vol.20, N.12, 1977, p.245-268.
- BARBIERI A. et al: Acidità delle precipitazioni nel Cantone Ticino: cause ed effetti; Atti del convegno "Il controllo dell'atmosfera e le precipitazioni acide", Milano, 19.11.1986.
- BOLLINI et al.: 28. Annuario Meteorologico 1986 di Ispra; Commissione delle Società Europee, Centro comune di Ricerca, Ispra, 1987.
- BORGHI S./GIUGLIACCI M.: Circolazione atmosferica nella valpadana centro--occidentale e suo impatto sul trasporto di particelle; Osservatorio Meteorologico di Brera-Milano, 1979.
- CALVERT J.G. et al.: Some Considerations of the Important Chemical Processes in Acid Deposition, in: JAESCHKE W. (ed.), 1986, p.615-647.
- CHAMEIDES W.L./STEDMAN D.H.: Tropospheric Ozone: Coupling Transport and Photochemistry; J. Geoph. Res., Vol.82, N.12, 1977.
- Commission of the European Communities: Physico-Chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants; Proceedings of the Second European Symposium held in Varese, Italy 29.Sept-1.Oct. 1981, Reidel, Dordrecht, 1981.
- Eidgenössische Kommission Meteorologie des Schweizerischen Gebietes Hochrhein/Oberrhein: Möglichkeiten regionaler Klimaveränderungen durch menschliche Einwirkungen; Schlussbericht über das Projekt CLIMOD, EDMZ, Bern, Juni 1981.
- FABIAN P.: Atmosphäre und Umwelt, Chemische Prozesse, menschliche Eingriffe; 2. Auflage, Springer, Berlin, 1987.
- FROELICH C. (Hrsg.): Das Klima, seine Veränderungen und Störungen; Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, wissenschaftlicher Teil 1983, Birkhäuser, Basel, 1985.
- Gruppo di Studio delle Caratteristiche Chimiche delle Precipitazioni dell'Italia Settentrionale: Rapporto Finale (Anni 1983-1984), Piacenza, 1986.
- HOVARTH M., BILITZKY L., HUETTNER J.: Ozone; Topics in inorganic and general chemistry, Monograph 20, Elsevier, Amsterdam, 1985.
- HUTZINGER O. (Ed.): The Handbook of Environmental Chemistry, Air Pollution; Vol.4, Part A, Springer, Berlin, 1986.
- Institut Suisse de Meteorologie (ISM/SMA), Section de la Protection de l'Air: PNR 14: NABEL-ANETZ, Roses des Vents, Payerne, Juin 1986.
- JAESCHKE W. (Ed.): Chemistry of Multiphase Atmospheric Systems; NATO ASI Series, Vol. G6, Springer Verl., Berlin Heidelberg, 1986.

- PLATT U.: The Origin of Nitrous and Nitric Acid in the Atmosphere; in: JAESCHKE W., 1986, p.299-319.
- ROESLI H.P.: Abnahme der horizontalen Sichtweite in der Magadino-Ebene, Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1973, p.122-125.
- SATORIUS, R.: Ozon und Umwelt; in: Promet 1/2, 1987, p.48-52
- SPINEDI F./KAPPENBERGER G.: Le precipitazioni dell'Aprile 1986 nella Svizzera Italiana; Neve e Valanghe, n.4, 1986, p.16-21.
- YOUNG M.V. et al.: Interpretation of satellite imagery of a rapidly deepening cyclone, Q.J.R. Meteorol. Soc., 113, pp.1089-1115, 1987.
- ZENONE E.: Le situazioni di "Stüdstau" al sud delle Alpi, dovute a campi isallobarici negativi di 24 ore; Geofisica e Meteorologia, Bollettino della Società Italiana di Geofisica e Meteorologia, Vol.VII, N.5/6, Genova, 1959
- ZENONE E.: Il "favonio" nel Ticino; Atti del Congresso di Meteorologia applicata al Volo a Vela Alpino, Varese, 1960.

