

# Meteorologia ed inquinamento

Situazioni meteorologiche favorevoli all'accumulo di sostanze inquinanti

Ing. Gianluca Bertoni

MeteoVarese – MeteoNetwork

[www.meteovarese.net](http://www.meteovarese.net)

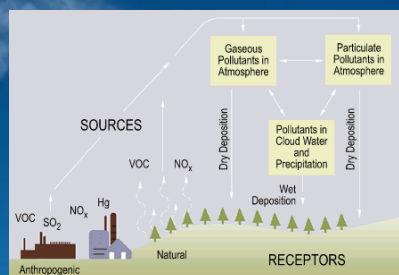
MeteoVarese

## Il destino degli inquinanti

Gli inquinanti una volta emessi nell'atmosfera tendono a subire fenomeni di:

1. **Trasporto** (avvezione, diffusione turbolenta, diffusione molecolare, innalzamento);
2. **Rimozione** (secca, umida e occulta);
3. **Trasformazione** (chimici, fisico-chimici).

Tali fenomeni sono profondamente legati alle condizioni meteorologiche (le precipitazioni consentono la rimozione umida degli inquinanti, il föhn il trasporto e la diffusione degli inquinanti ...)

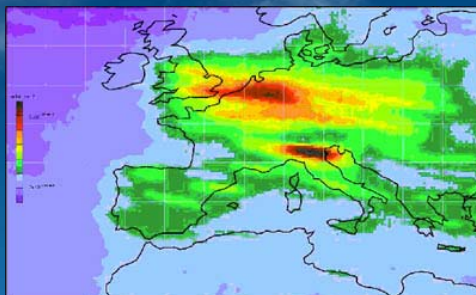


MeteoVarese

## L'importanza della meteorologia

La conoscenza delle condizioni meteorologiche è quindi fondamentale per prevedere il comportamento delle sostanze inquinanti emesse in atmosfera.

Particolari condizioni meteorologiche possono favorire l'accumulo di sostanze inquinanti negli strati inferiori dell'atmosfera (strato limite planetario)



MeteoVarese

## Le condizioni peggiori

**Venti deboli o assenti:** scarso rimescolamento e assenza di trasporto orizzontale

**Tempo molto stabile con presenza di inversioni termiche**

Le inversioni termiche limitano i moti convettivi riducendo il volume a disposizione per la dispersione degli inquinanti.

**Cielo sereno:** favorisce la formazione di smog fotochimico (ad. es. Ozono) da parte delle radiazioni ultraviolette.

**Valli chiuse e conche:** favoriscono la formazione di inversioni termiche forti e persistenti

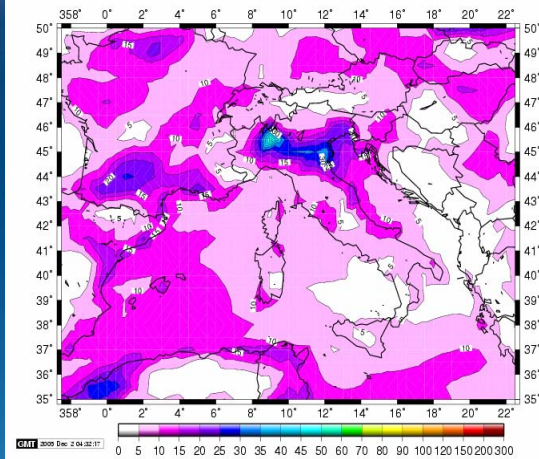
MeteoVarese

## Previsione = Prevenzione

Sono stati sviluppati dei modelli per la previsione delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera.

Abbiamo quindi a disposizione degli elementi oggettivi per poter intervenire con misure preventive cercando di evitare situazioni di inquinamento acuto.

PM10 mean - 04/12/2005 - CETEMPS



## Il profilo verticale dell'atmosfera

I fenomeni di inquinamento interessano principalmente la troposfera (spessore 7-15 km a partire dal suolo)

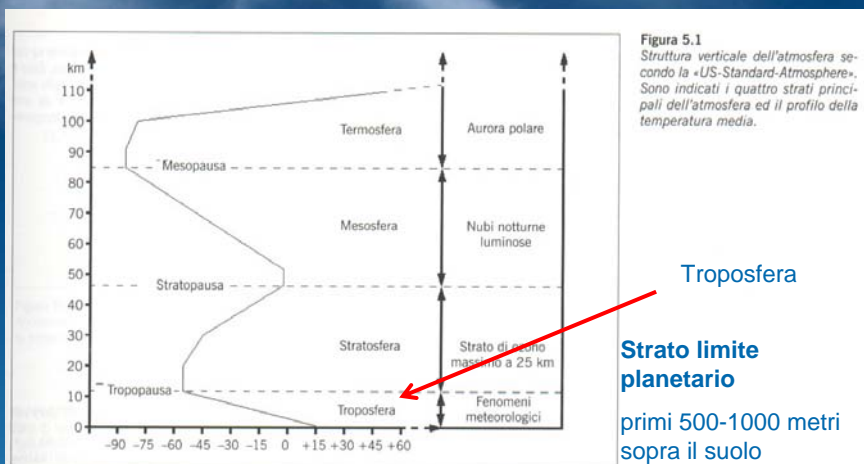


Figura 5.1  
Struttura verticale dell'atmosfera secondo la «US-Standard-Atmosphere». Sono indicati i quattro strati principali dell'atmosfera ed il profilo della temperatura media.

Troposfera

Strato limite planetario

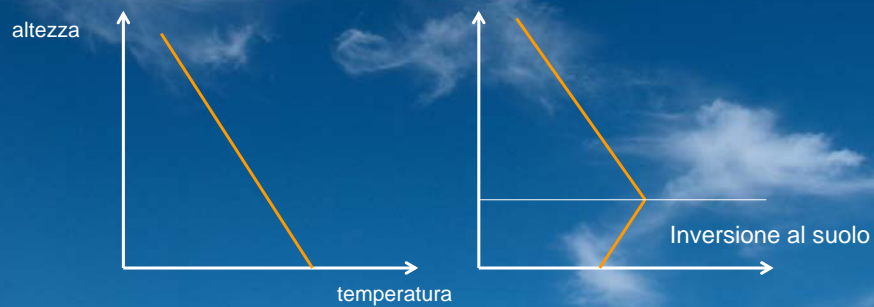
primi 500-1000 metri sopra il suolo

MeteoVarese

## Gradiente termico verticale della troposfera

Generalmente la temperatura diminuisce all'aumentare della quota (diminuzione di circa  $0,65^{\circ}\text{C}$  ogni 100 metri).

Esistono tuttavia dei casi in cui si verifica la situazione inversa.



MeteoVarese

## Inversioni termiche

1) Inversione da irraggiamento: si genera in seguito al raffreddamento notturno del suolo. Il limite inferiore coincide con il suolo. Sono spesso 100-300 metri in estate, 400-600 metri in inverno.

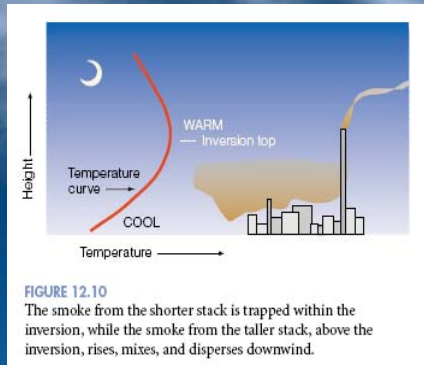
2) Inversione da subsidenza: si genera in seguito ad un prolungato periodo anticiclonico. Il limite inferiore è generalmente compreso tra 800-2000 metri. Sono spesso qualche centinaio di metri



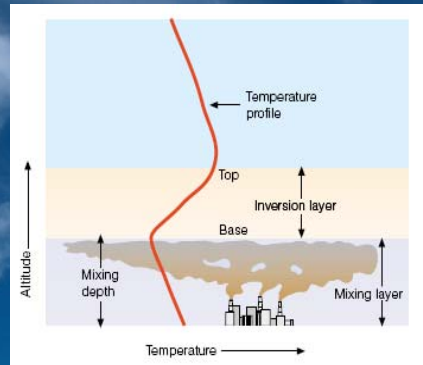
MeteoVarese

# Inversioni termiche

## Inversione da irraggiamento



## Inversione da subsidenza



MeteoVarese

# Inversioni termiche

Le situazioni peggiori si hanno nel periodo invernale in condizioni anticicloniche.

Le inversioni da irraggiamento tendono infatti a saldarsi alle inversioni da subsidenza formando un unico strato inversionale dello spessore di circa 1000-1500 metri.

L'assenza dei venti limita pesantemente il trasporto orizzontale degli inquinanti.

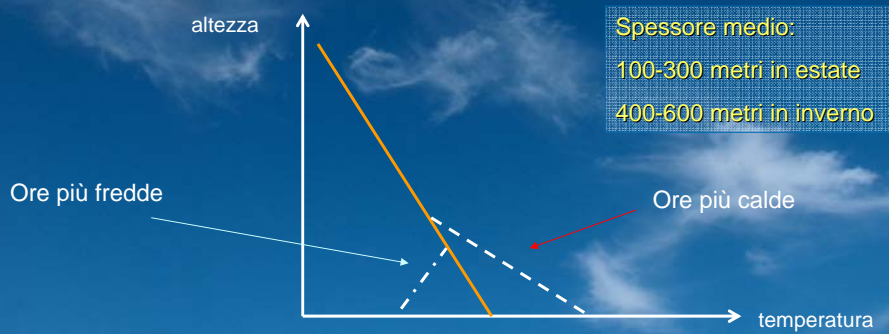


MeteoVarese

## Inversioni da irraggiamento

Il suolo influenza fortemente la T degli strati d'aria a contatto con esso.

Se il suolo è più freddo dell'aria sovrastante questa si raffredda progressivamente formando uno strato di spessore variabile in relazione alla stagione.

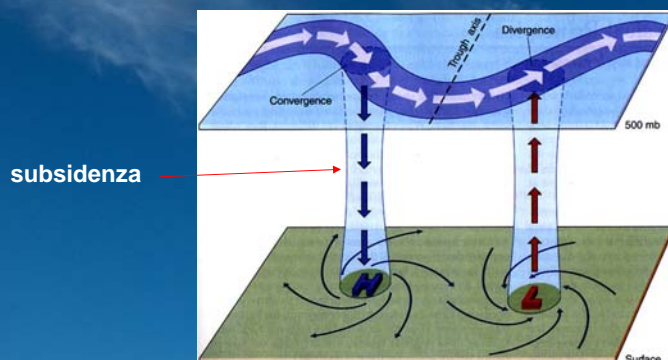


MeteoVarese

## Inversioni da subsidenza

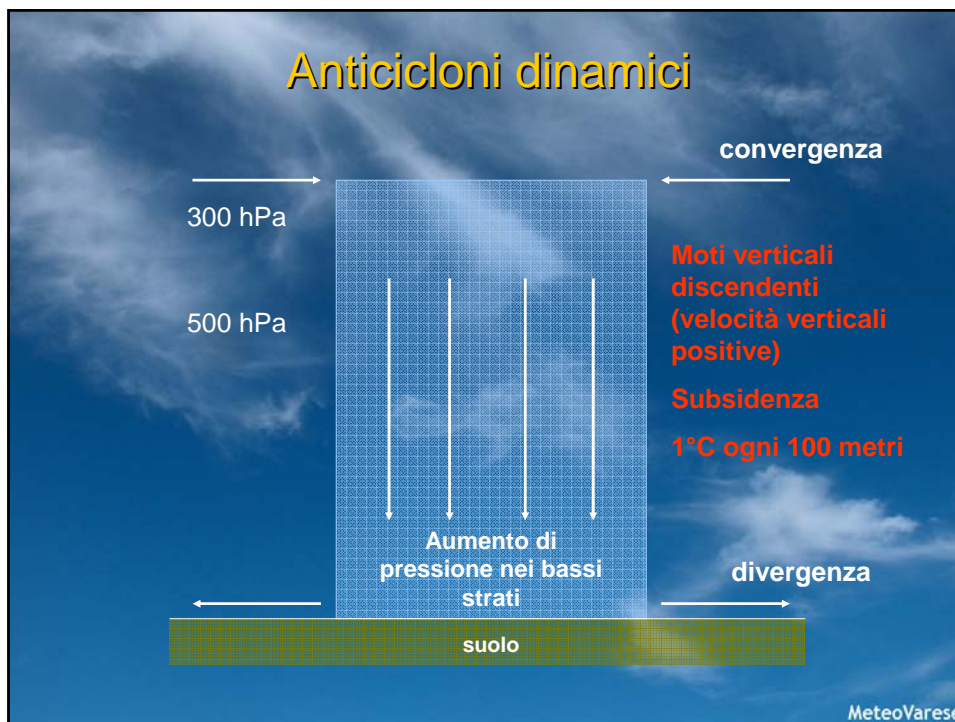
Negli anticicloni dinamici l'aria discende in corrispondenza del centro del sistema.

Nel moto discendente (subsidenza anticiclonica) le masse d'aria si riscaldano per compressione adiabatica ( $1^{\circ}\text{C}$  ogni 100 metri) determinando gradienti termici verticali nulli o positivi. Le masse d'aria comprimono infatti al suolo masse d'aria più fredde. Si crea l'inversione da subsidenza.



MeteoVarese

## Anticicloni dinamici

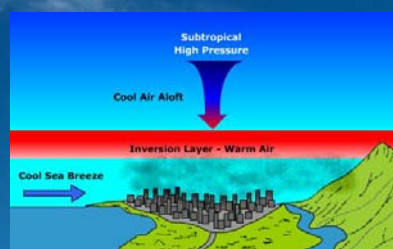
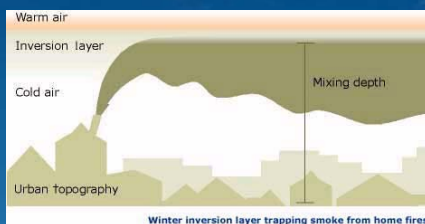


## Inversioni termiche - effetti

L'inversione si comporta come un coperchio e mantiene bloccati gli inquinanti nello strato inferiore dell'atmosfera e riduce il volume di atmosfera disponibile per la diluizione.

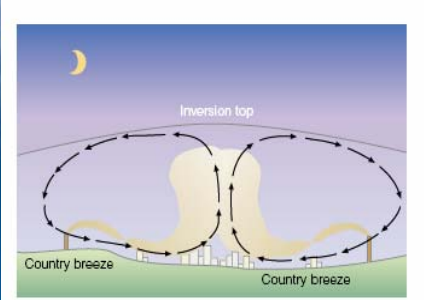
L'assenza di vento non consente il trasporto e la diffusione orizzontale degli inquinanti.

**Il "catino" padano si comporta quindi come una scatola chiusa in cui giorno dopo giorno tendono ad accumularsi sostanze inquinanti nei bassi strati, finché non mutano le condizioni meteorologiche.**



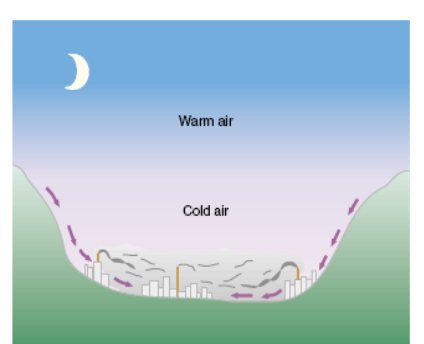
MeteoVarese

### Effetto delle brezze



**FIGURE 12.15**  
On a clear, relatively calm night, a weak country breeze carries pollutants from the outskirts into the city, where they concentrate and rise due to the warmth of the city's urban heat island. This effect may produce a pollution (or dust) dome from the suburbs to the center of town.

### Effetto conca



**FIGURE 12.14**  
At night, cold air and pollutants drain downhill and settle in low-lying valleys.

MeteoVarese

## Grantola - Valtravaglia (VA)



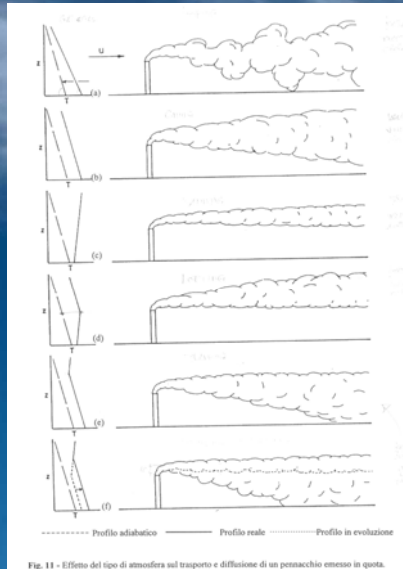
**Calm winds and the inversion result in poor air quality.**

- 1 The winter sun, low in the sky, supplies less warmth to the Earth's surface.
- 2 Warmer air aloft acts as a lid and holds cold air near the ground.
- 3 Pollution from wood fires and cars are trapped by the inversion.
- 4 Mountains can increase the strength of valley inversions.



MeteoVarese

## Effetti sulle emissioni da un camino



Looping: atmosfera instabile

Coning: atmosfera neutra

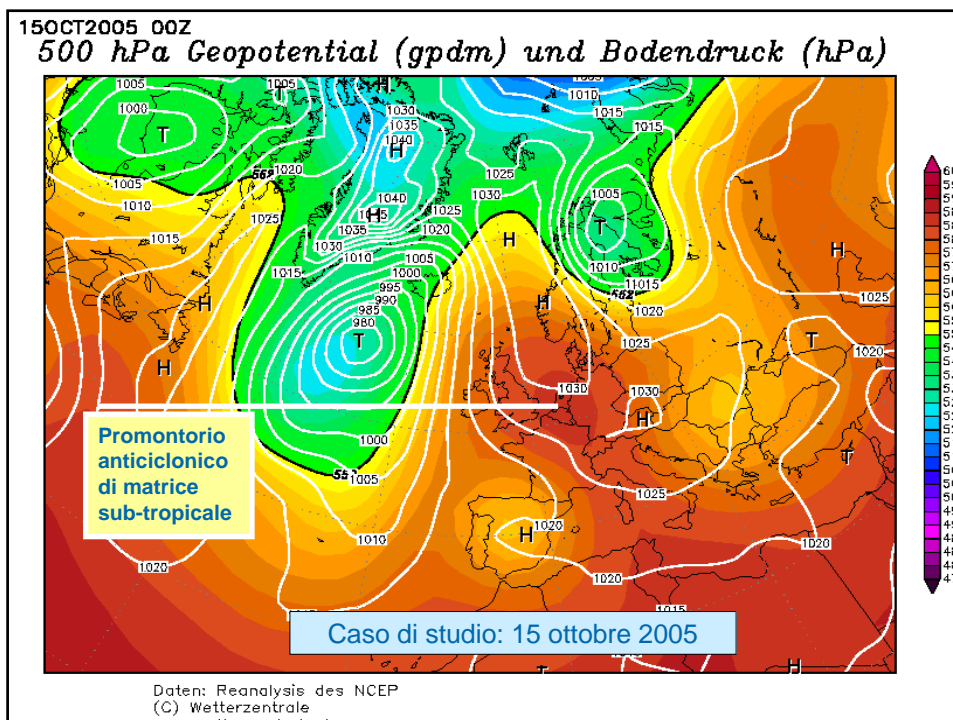
Fanning: inversione al suolo

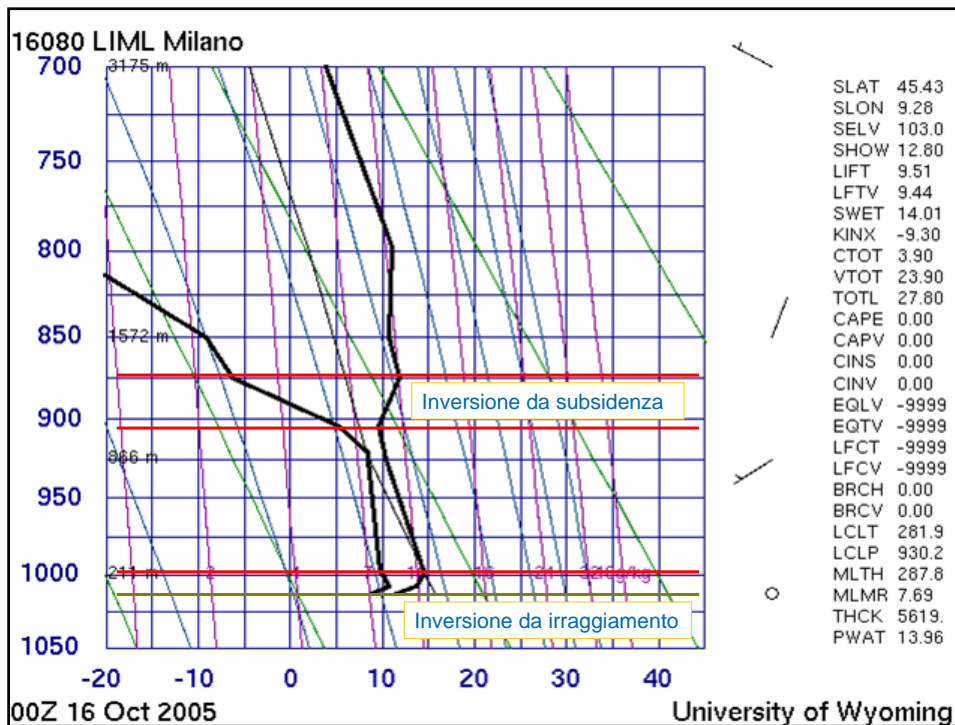
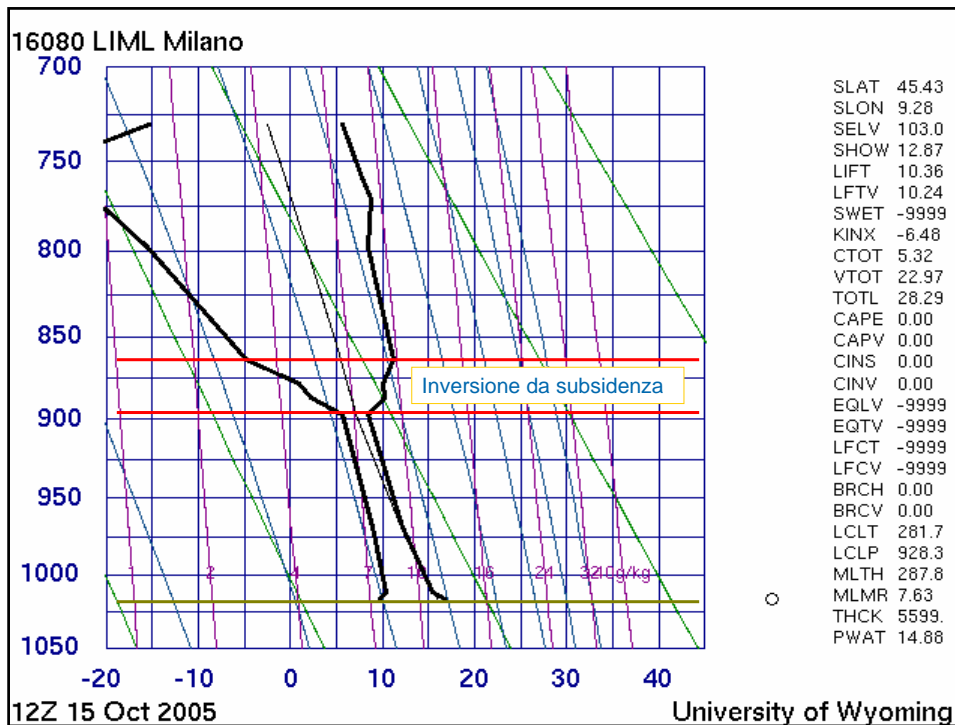
Lofting: inversione al suolo

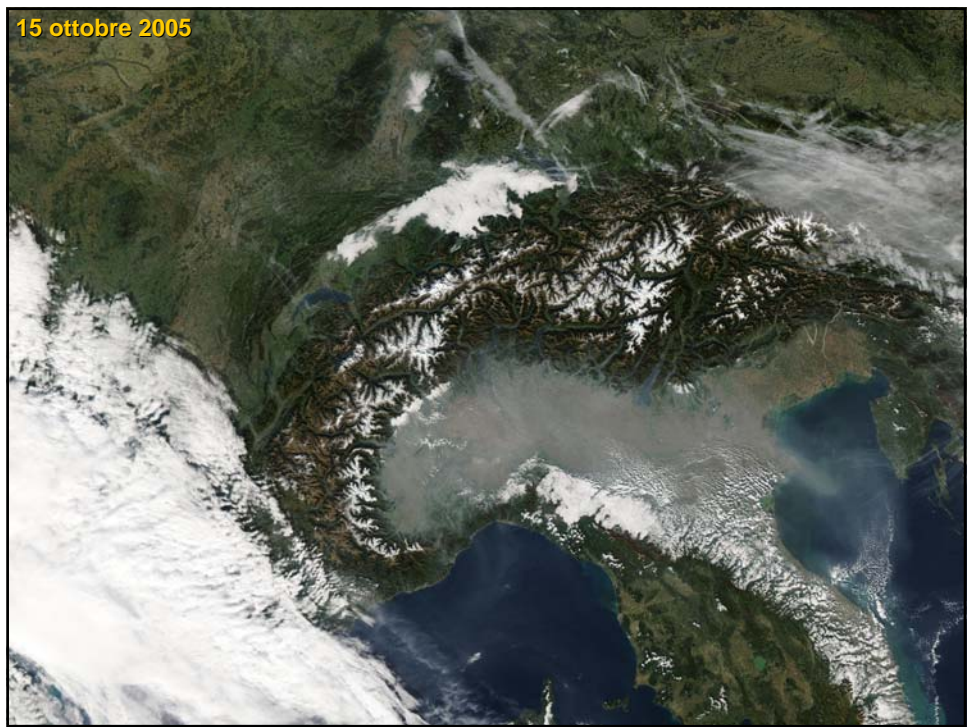
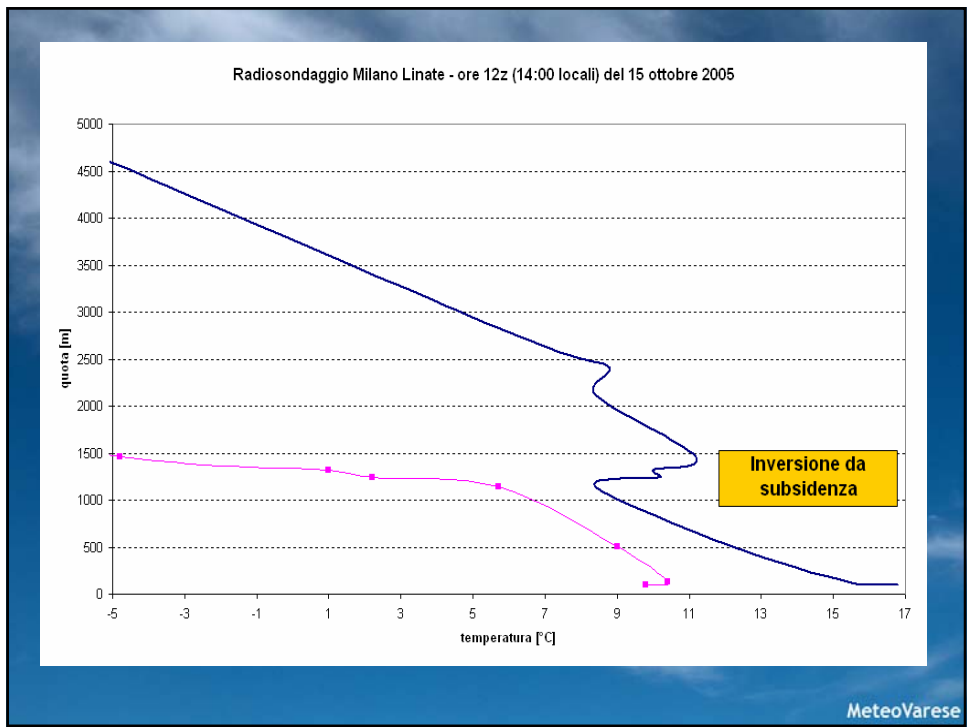
Trapping (fumigazione): inversione in quota

Trapping – lofting: innalzamento del limite inferiore dell'inversione in quota

MeteoVarese



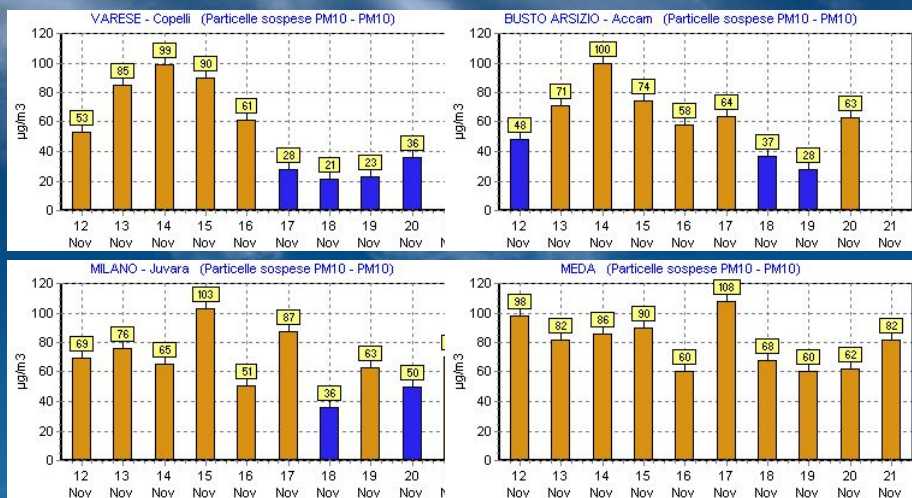




16 ottobre 2005 – vista dalla Val Cannobina verso il varesotto ed il Canton Ticino



## Ottobre 2005 – situazione di inquinamento acuto in buona parte della Lombardia



MeteoVarese

## PM10

L'allegato III del Decreto Ministeriale n.60 del 2 aprile 2002 stabilisce che dal 01.01.2005 i seguenti valori limite per il materiale particolato (PM10):

**Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana:**  
**50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (valore medio nell'arco delle 24 ore).

Tale valore non deve essere superato per più di 35 volte nell'arco dell'anno civile.

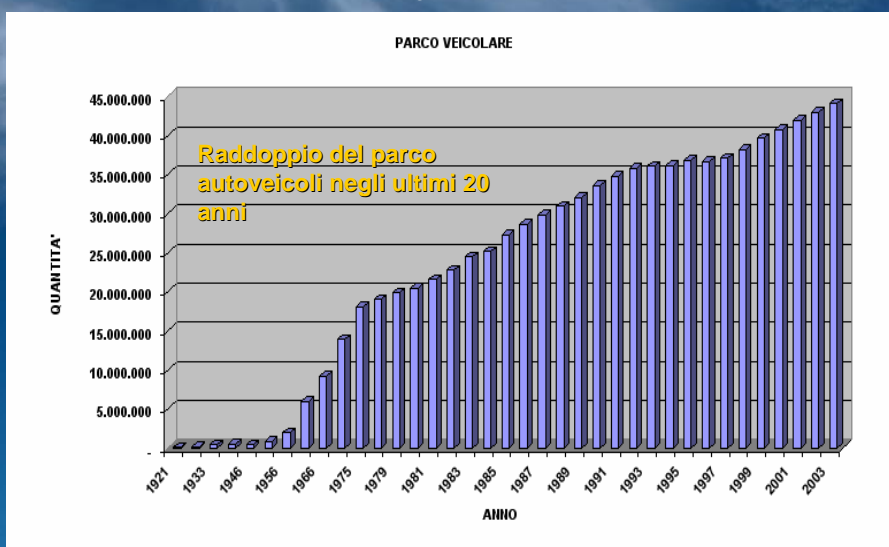
**Valore limite annuale per la protezione della salute umana:**  
**40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**  (valore medio nell'arco dell'anno civile).

Il PM10 è composto da polveri di dimensioni finissime che riescono a penetrare attraverso le vie aeree e depositarsi nell'apparato respiratorio. (crisi di asma, tosse, bronchite, malattie polmonari e cardio-circolatorie)

MeteoVarese

## PM10 - Il contributo del traffico veicolare

A Milano circa il 26% del PM10 ha origine dal traffico veicolare (Marazzan et al., 2003)



MeteoVarese

## La zona meno adatta

- Le maggiori attività produttive si trovano nella zona di Italia caratterizzata da condizioni meteorologiche meno adatte ad ospitarle.
- I carichi inquinanti immessi nell'atmosfera tendono per molti periodi dell'anno (soprattutto invernali) a rimanere intrappolati nei bassi strati dell'atmosfera.
- Ne conseguono rischi per la salute dei cittadini con aumento dei ricoveri ospedalieri e delle morti premature.
- L'inquinamento interessa tutti.

MeteoVarese

- Se le condizioni atmosferiche non mutano, non è lecito attendersi la diminuzione delle concentrazioni di PM10 in seguito al blocco del traffico.
- C'è comunque un miglioramento della situazione in quanto non si incrementano i livelli esistenti.
- Le brezze favoniche provocano un miglioramento solo lungo le zone pedemontane e le valli.

MeteoVarese

## Il ruolo dei cambiamenti climatici

- L'attuale tendenza mostra una riduzione delle precipitazioni su buona parte del NW italiano ed una aumento del numero di giornate anticicloniche.
- Gli anticicloni sono responsabili della formazione delle inversioni da subsidenza e del ridotto trasporto orizzontale degli inquinanti.
- La mancanza di precipitazioni riduce i fenomeni di "pulizia" dell'aria (rain out e wash out).

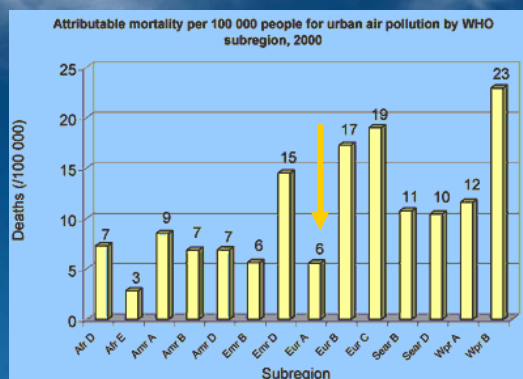
MeteoVarese

## Gli effetti dell'inquinamento

### Organizzazione mondiale della sanità (www.who.int)

EUR A

Andorra, Austria, Belgium, Croatia, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Israel, Italy, Luxembourg, Malta, Monaco, Netherlands, Norway, Portugal, San Marino, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, United Kingdom



**6 persone su 100.000 muoiono per cause riconducibili all'inquinamento dell'aria**

MeteoVarese

## Qualche numero

Fonte:

HEALTH IMPACT ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IN THE EIGHT MAJOR ITALIAN CITIES - World Health Organization 2002

<http://www.euro.who.int/document/E75492.pdf>

### Milano

Mortalità attribuibile a valori di PM10 - persone con età uguale e superiore a 30 anni

PM 10 superiore a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  4,2%

### Stima per le città di TO, GE, MI, BO, FI, ROMA, NA, PA

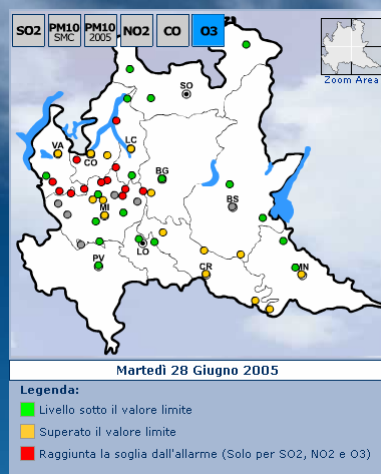
Numero di morti per incidenti stradali nelle 8 città: 488 in un anno

Numero di morti per inquinamento nelle 8 città: 3.472 in un anno

In Lombardia il 40% delle polveri fini si origina dal traffico veicolare, il 22% dalle combustioni residenziali (dati INEMAR 2001)

MeteoVarese

## Ozono – un problema estivo

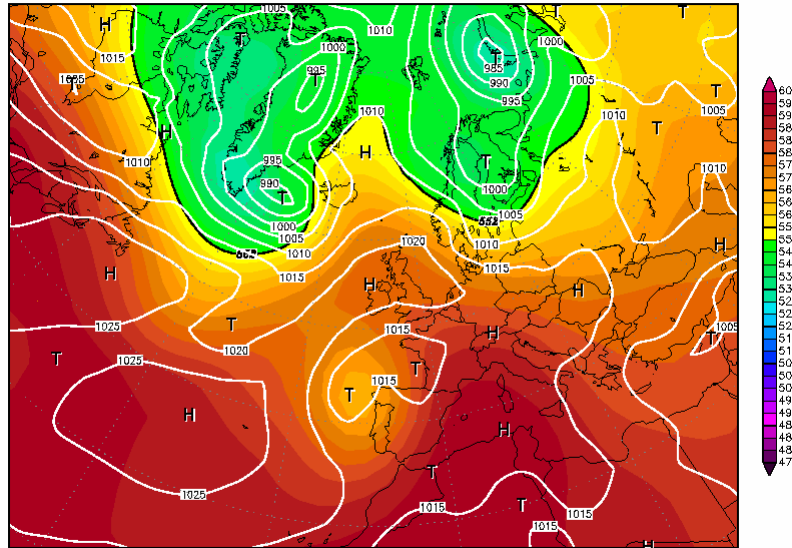


Stralcio della risposta della Provincia di Milano (su richiesta del 22.07.05)

“Dai dati in nostro possesso e trasmessi da ARPA risulta che i superamenti della soglia dell'O3 vicini ma inferiori ai  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  siano stati registrati - salvo uno o due episodi sporadici - nelle stazioni di Erba e soprattutto di Busto Arsizio e di Gallarate, tutti al di fuori della Provincia di Milano.”

28JUN2005 00Z

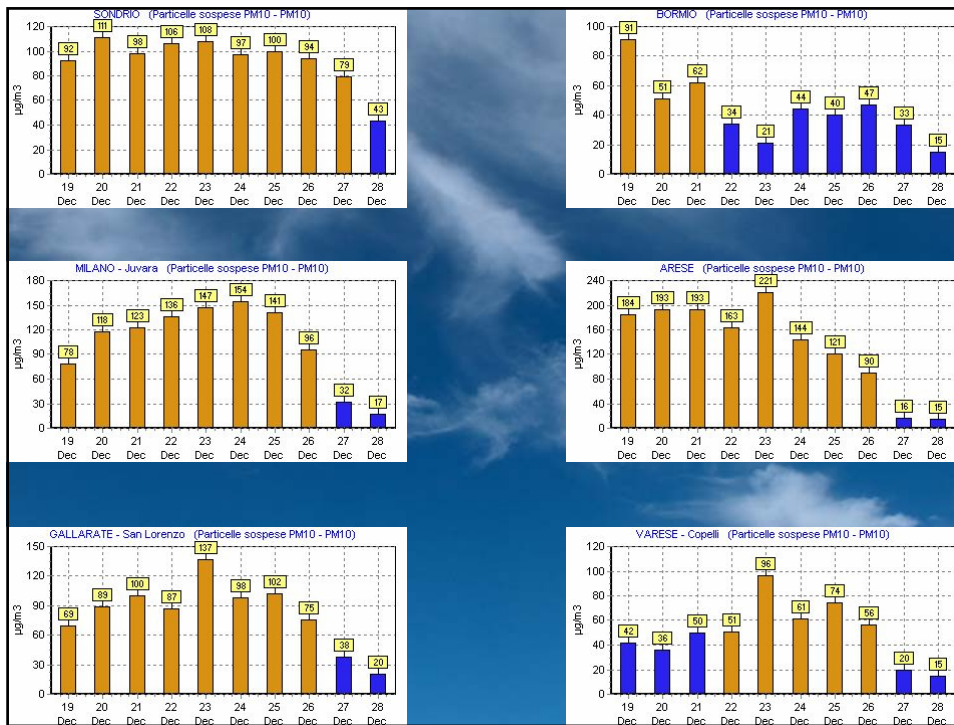
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

MeteoVarese



> ARPA LOMBARDA - REGIONE LOMBARDA (2003). *INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in regione Lombardia nell'anno 2001. Dati per revisione pubblica*, ARPA Lombardia Settore Aria, Regione Lombardia DG Qualità dell'Ambiente, novembre 2003, <http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemari/inemarihome.htm>

Distribuzione percentuale delle emissioni in Lombardia - dati finali

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	COV	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	PM2.5	PM10	PTS	CO <sub>2</sub> eq	Precurs. O <sub>3</sub>	Tot. acidif.
Produzione energia e trasform. combustibili	66	12	0	0	0	23	2	0	6	6	7	19	5	17
Combustione non industriale	8	8	4	2	25	24	12	0	22	19	16	21	8	4
Combustione nell'industria	15	22	2	0	3	19	5	0	7	8	10	17	10	11
Processi produttivi	5	1	10	0	1	5	0	0	5	10	9	4	5	1
Entrate e distribuzione combustibili			4	21									2	2
Uso di solventi	0	0	47		0			0	1	2	2		22	0
Trasporto su strada	4	51	23	1	65	26	11	3	40	37	36	23	39	21
Altre sorgenti mobili e macchinari	2	5	1	0	1	1	1	0	7	6	5	1	2	2
Trattamento e smaltimento rifiuti	0	1	0	26	0	1	1	0	0	0	0	4	1	0
Agricoltura	0	1	0	49	3		68	97	6	8	11	9	1	43
Altre sorgenti assottinate	0	0	9	1	2		0	0	5	4	4	0	4	0
Totale	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100