

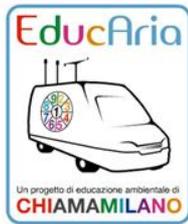
# CONFERENZE DIVULGATIVE EDUCARIA

CAMBIAMENTI CLIMATICI E INQUINAMENTO : QUALE RAPPORTO ?  
SERGIO BORGHI



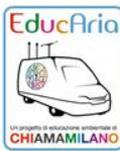
**OMD Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo**

Piazza del Duomo, 21 - 20121 Milano Tel. 02 86462443 - [www.meteoduomo.it](http://www.meteoduomo.it)





Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo OMD



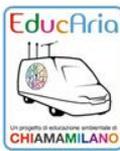
CONFERENZE DIVULGATIVE EDUCARIA

# Cambiamenti climatici e inquinamento: quale rapporto ?

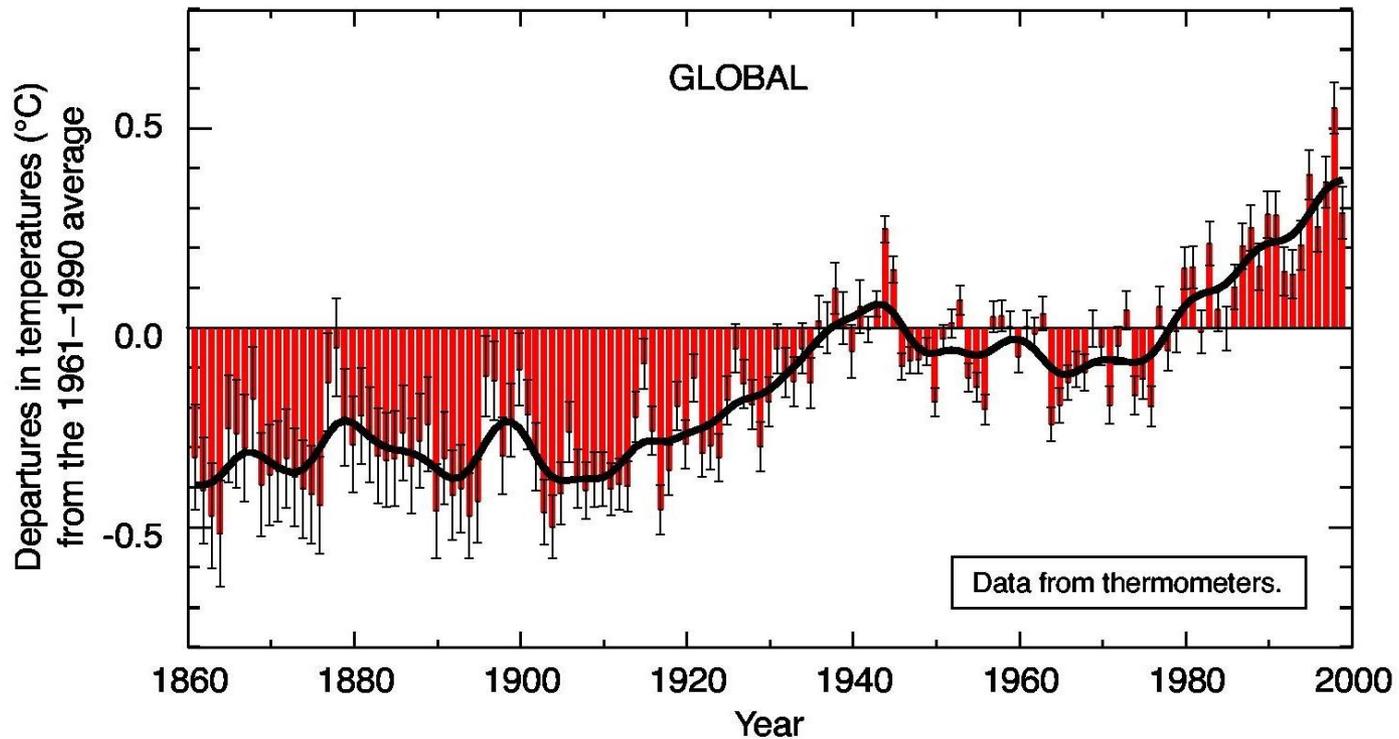
*Sergio Borghi*

Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo  
Piazza del Duomo 21  
20121 Milano

E-mail: [sergio.borghi@meteoduomo.it](mailto:sergio.borghi@meteoduomo.it)



A partire dal 1900 la temperatura media della Terra è aumentata di 0.6 °C

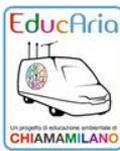




Scriveva Leopardi (1798-1837) nei

*“Pensieri”* (XXXIX):

... "è manifesto per isperienza, e per ragioni naturali, che la civiltà degli uomini venendo innanzi, rende l'aria, ne' paesi abitati da essi, di giorno in giorno più mite"



Affermava Flaubert (1821-1880) nel suo

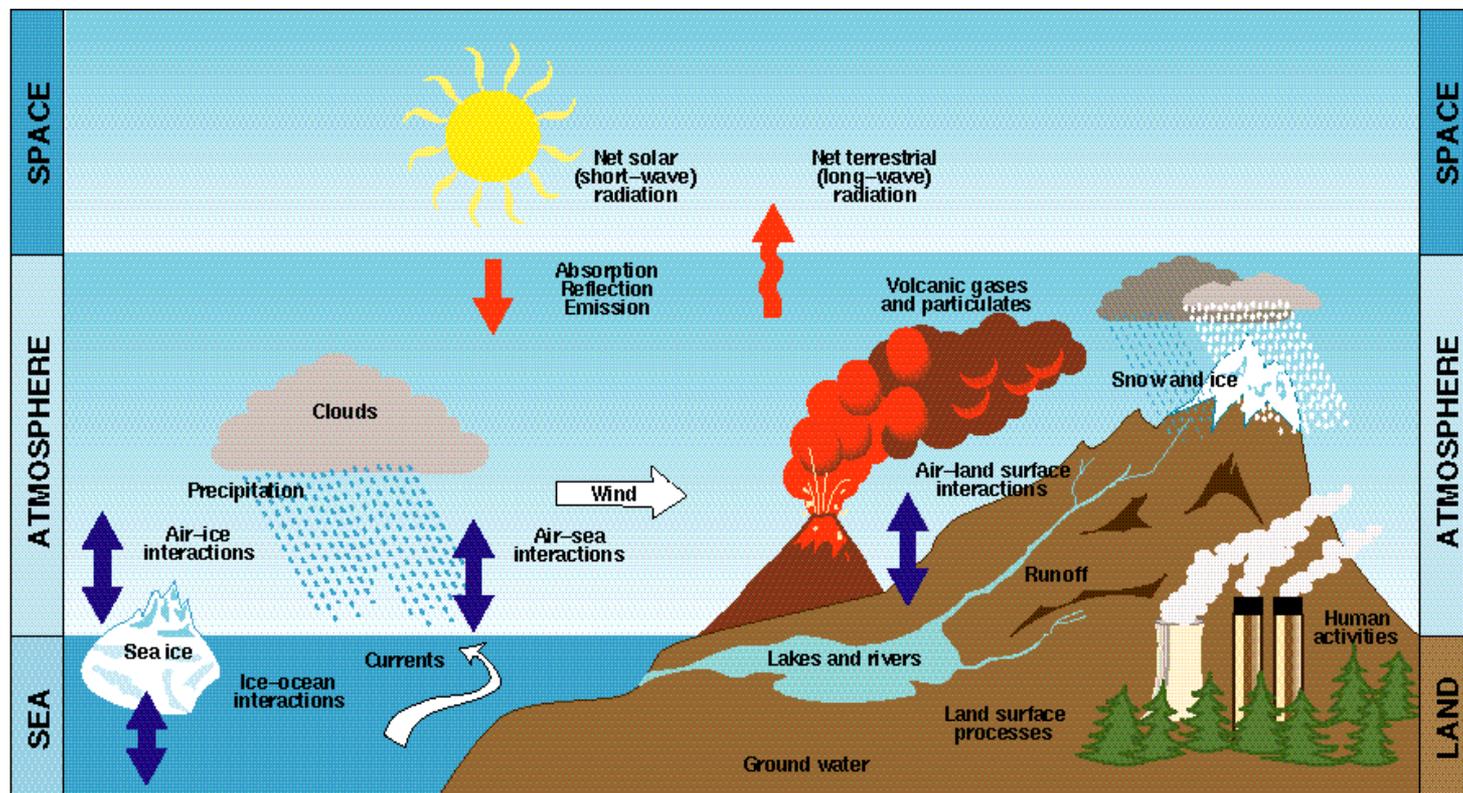
*“Dictionnaire des idées reçues” :*

Hiver: toujours eceptionnel

Été : toujours eceptionnel



## IL SISTEMA CLIMA





# LE CAUSE DEL CAMBIO CLIMATICO

## NATURALI

## ANTROPICHE

### VARIAZIONE DELLA RADIAZIONE SOLARE

Diretta

Attività Solare

Indiretta

Teoria di Milankovitch

### INTERAZIONI TRA LE DIVERSE COMPONENTI DEL SISTEMA CLIMA

Interazione atmosfera-atmosfera

Le nubi

Interazione atmosfera-oceano

El Niño

Interazione atmosfera-biosfera

Ciclo del carbonio

### ERUZIONI VULCANICHE

Immissione di aerosol in atmosfera

SO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>

### DERIVA DEI CONTINENTI

### IMMISSIONE DI GAS SERRA IN ATMOSFERA

SO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

Combustibili fossili

CO<sub>2</sub> CH<sub>4</sub>

Incendi

CH<sub>4</sub>

Allevamenti

### BUCO DELL'OZONO

### IMMISSIONE DI AEROSOL IN ATMOSFERA

Black Carbon, Organic Carbon

Combustibili fossili

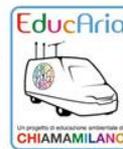
Black Carbon

Incendi

### SFRUTTAMENTO DEL TERRENO

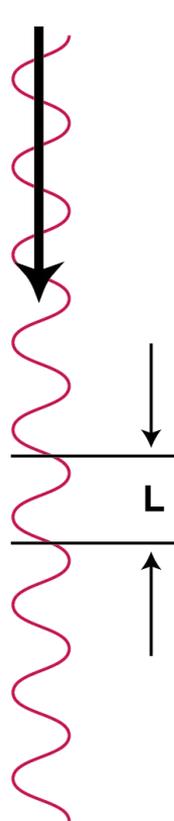
Variazioni del potere riflettente della superficie

Riduzione delle foreste



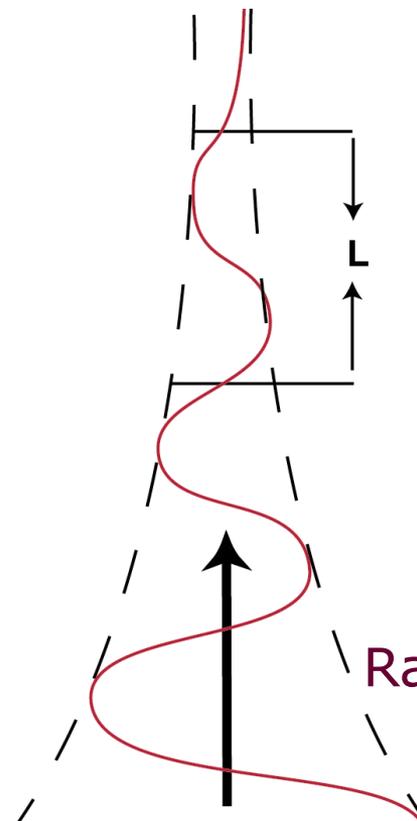
## Il riscaldamento dell'atmosfera: onda corta e lunga

Radiazione solare



Assorbimento del suolo

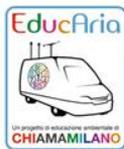
Onda corta proveniente dal sole non assorbita dall'atmosfera, con oscillazione ad ampiezza costante



Emissione del suolo

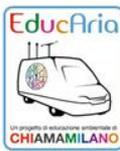
Onda lunga emessa dal suolo, assorbita progressivamente dall'atmosfera con oscillazione ad ampiezza decrescente

Radiazione terrestre



## Schematizzazione dell'effetto serra





Inquinamento atmosferico da:

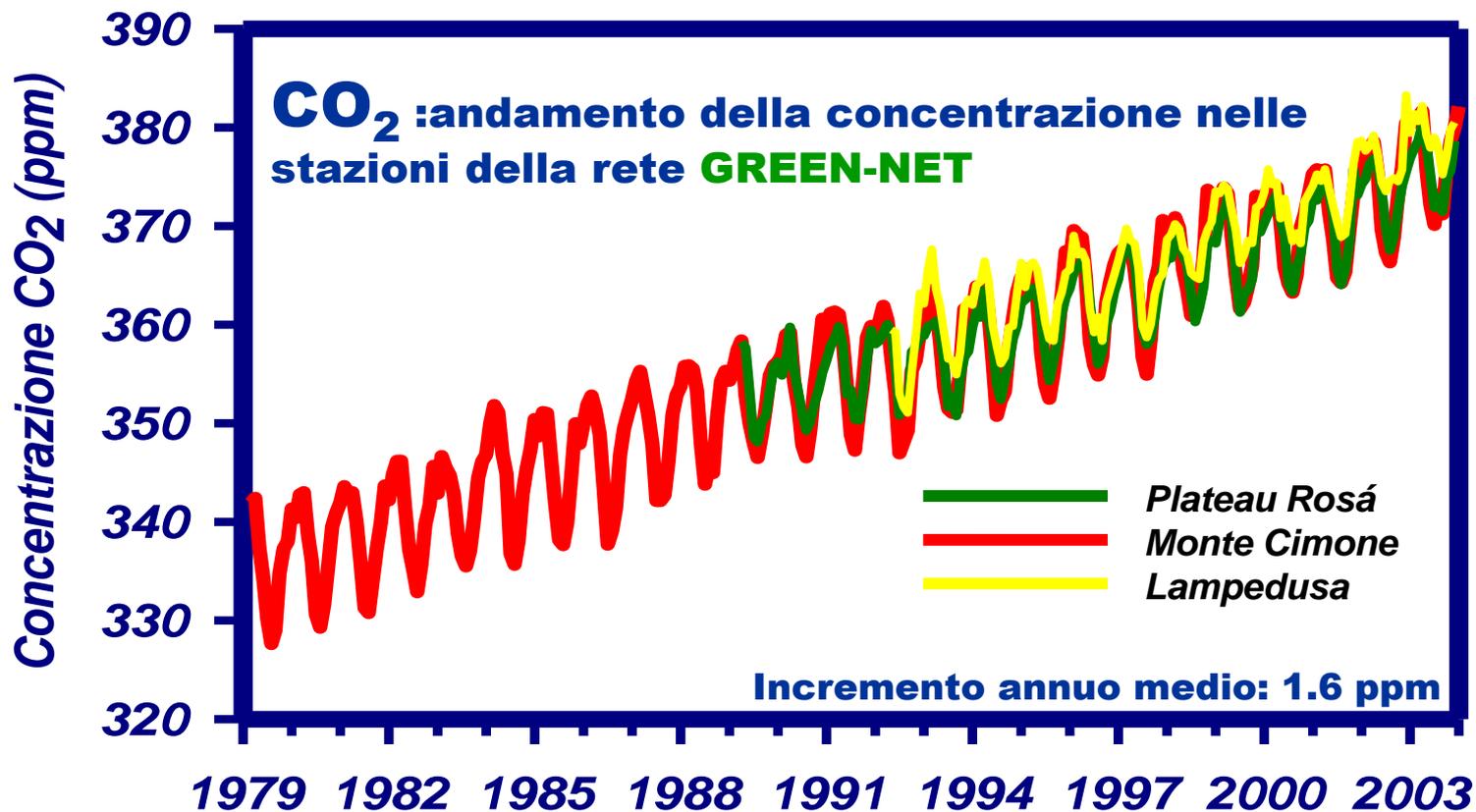
traffico veicolare  
riscaldamento invernale  
condizionamento estivo  
consumi energetici civili e industriali

Principali prodotti inquinanti:

(CO<sub>2</sub>), CO  
SO<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub>  
NO<sub>x</sub>  
VOC, IPA  
O<sub>3</sub>  
Particolato atmosferico (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)



## Rete Nazionale dei Gas a Effetto Serra



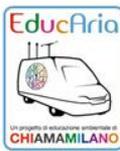
Plateau Rosa



Monte Cimone



Lampedusa



400 città nel mondo hanno più di 1 milione di abitanti

Popolazione residente nelle aree urbane  
(secondo l'EEA più di 100 abitanti/km<sup>2</sup>)





Cause antropiche  
Processi di crescita e aggregazione



*Città diffusa* (bacino di risorse vitali)



Consumo di risorse  
materiali e di energia



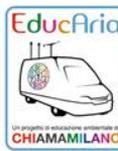
*Metabolismo*



Residui e  
rifiuti



Pressione sull'ambiente  
Inquinamento atmosferico  
(Qualità dell'aria)



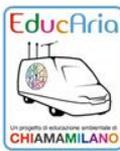
## Interazione mari-atmosfera



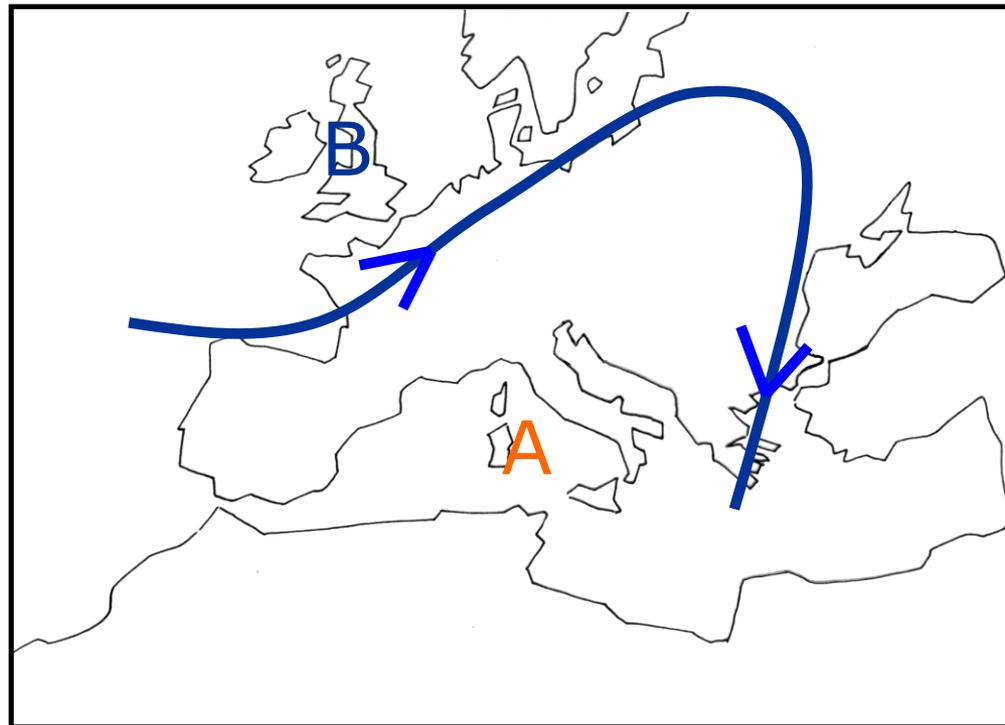
Influenze sulla circolazione dell'atmosfera a grande scala

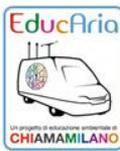


- Fluttuazioni climatiche di breve periodo
- Anomalie climatiche intense

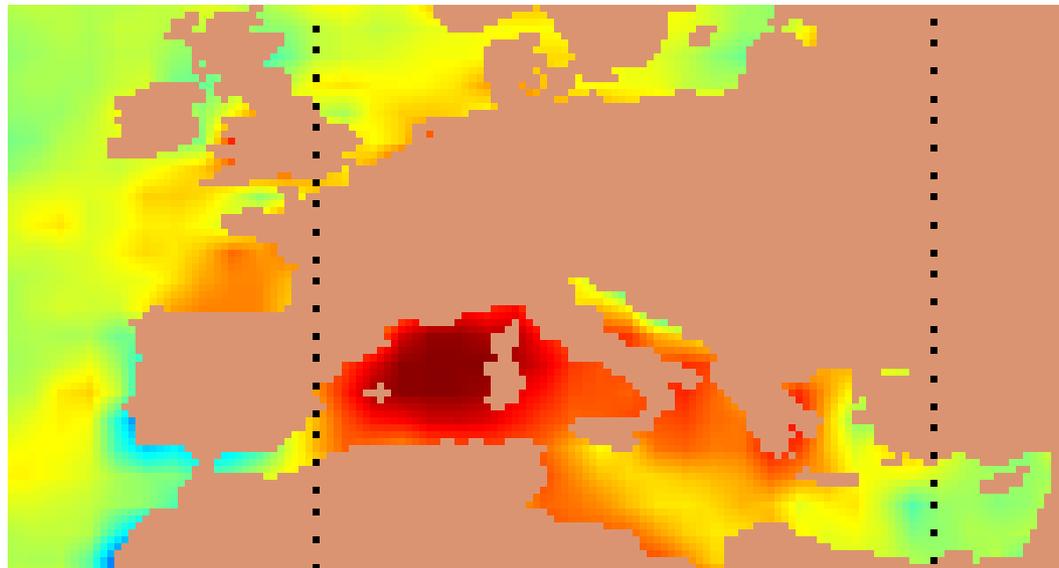


Fenomeno sempre più frequente  
Consolidamento dell'alta pressione sul Mediterraneo  
Persistenza di cielo sereno e soleggiamento efficace





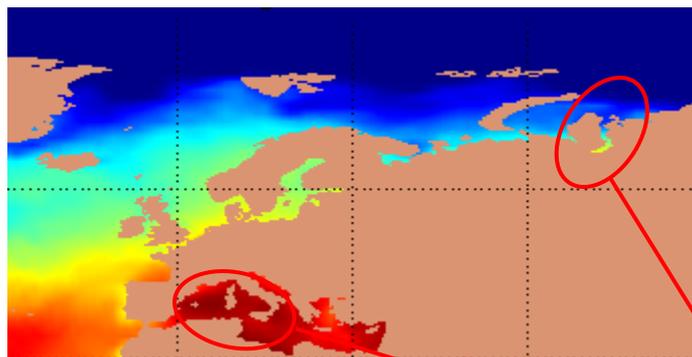
## 23 agosto 2003 - Anomalia termica del Mediterraneo



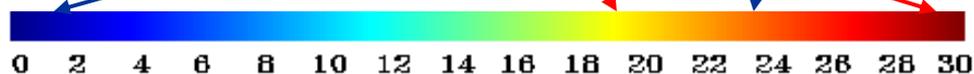
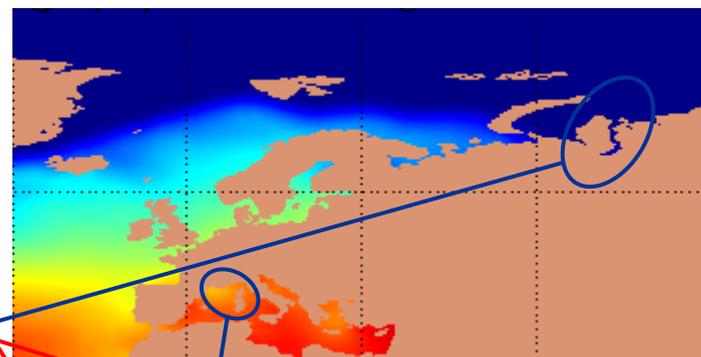


## Temperatura superficiale del mare il 27 agosto 2003

Condizioni osservate

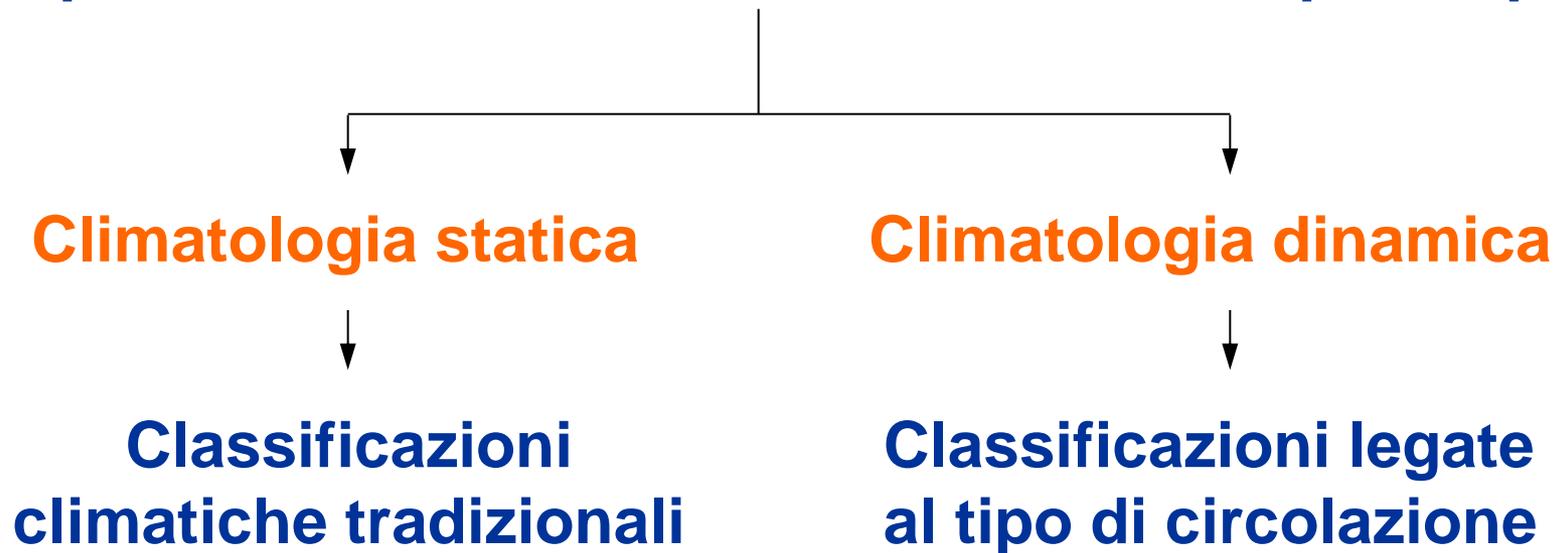


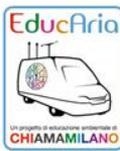
Condizioni medie climatiche





## Inquadramento del clima locale nelle scale più ampie





## IL CASO DI MILANO

Milano appartiene ad un sistema contornato dai rilievi e dal mare

In questo sistema la circolazione è modificata dalle Alpi e dagli Appennini

In condizioni dinamicamente attive: classificazione di "tipi circolatori"

In assenza di correnti intense: circolazione guidata dai campi termici



## Climatologia statica

### Classificazioni tradizionali del clima:

Tropicale umido

Subtropicale (umido; con estati secche)

Secco (deserti, steppe)

Temperato (marittimo; continentale)

Boreale (solo emisfero nord: Siberia, Canada)

Polare

Della montagna

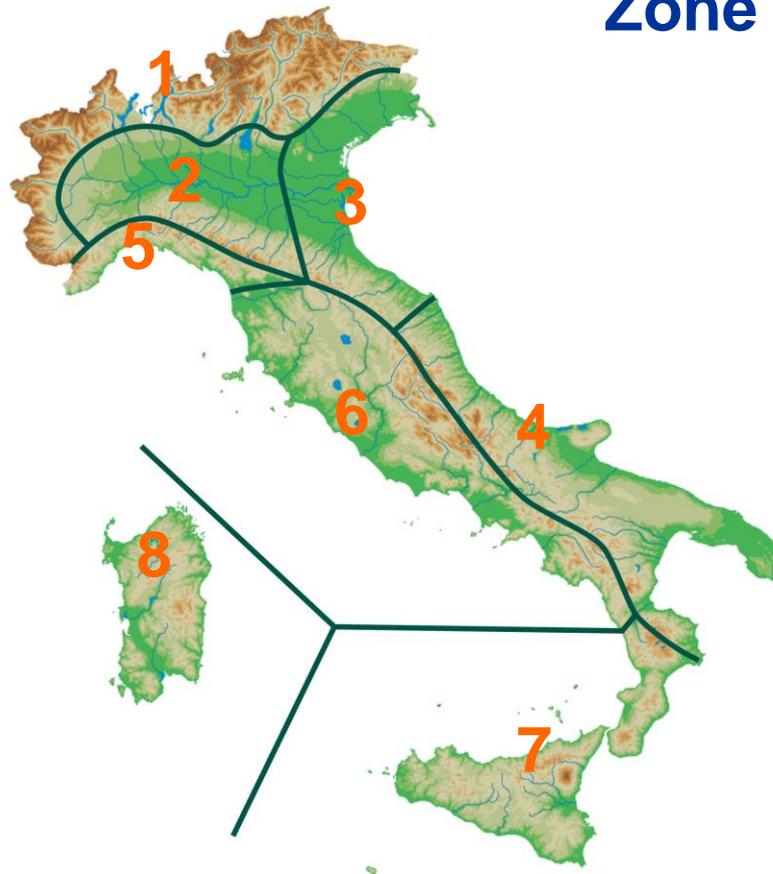
*(classificazioni di Köppen, Thornthwaite)*



## Clima dell'Italia

temperato marittimo, tipico dell'area mediterranea

### Zone climatiche



1 - Alpi

2 – Valle Padana

3 – Alto Adriatico

4 – Medio e Basso Adriatico

5 – Versante Ligure

6 – Versanti Tirrenici

7 – Calabria e Sicilia

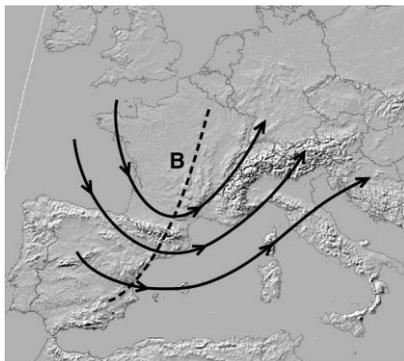
8 - Sardegna



# Climatologia dei tipi circolatori

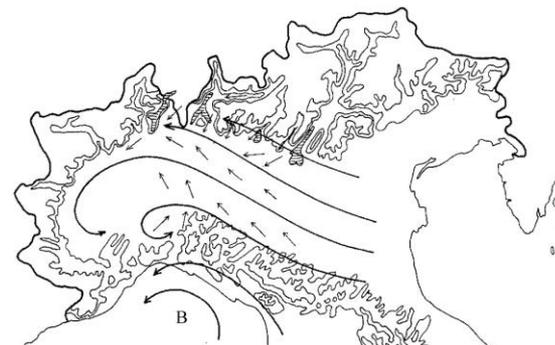
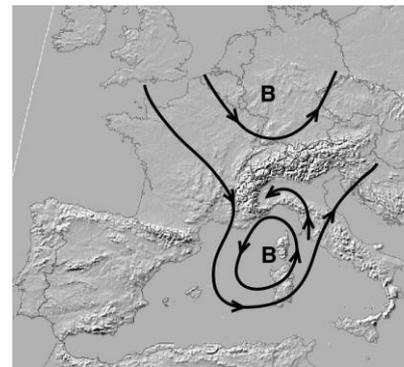
## Tipo Circolatorio 1

*Libeccio*



## Tipo Circolatorio 2

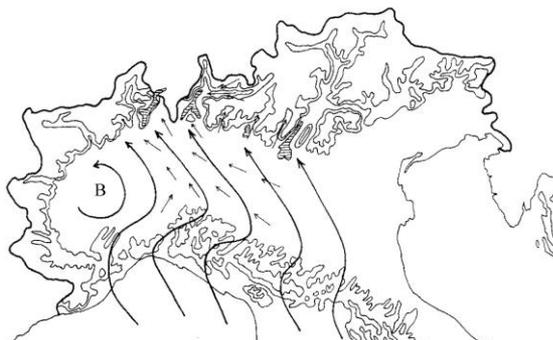
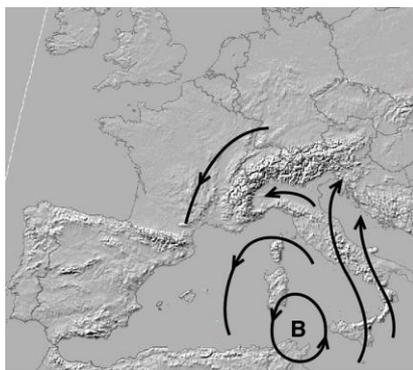
*Ciclogenesi su Mar Ligure*



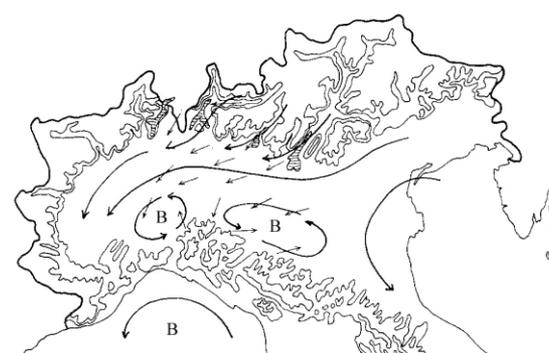
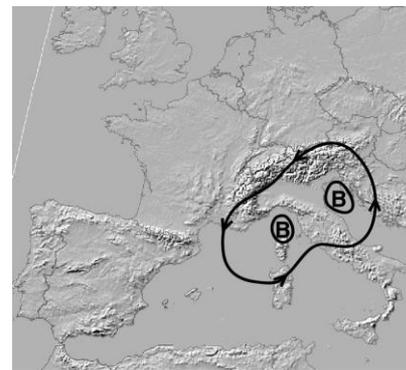


# Climatologia dei tipi circolatori

## Tipo Circolatorio 3 *Scirocco*



## Tipo Circolatorio 4 *Depressione sdoppiata su Mar Ligure e Alto Adriatico*





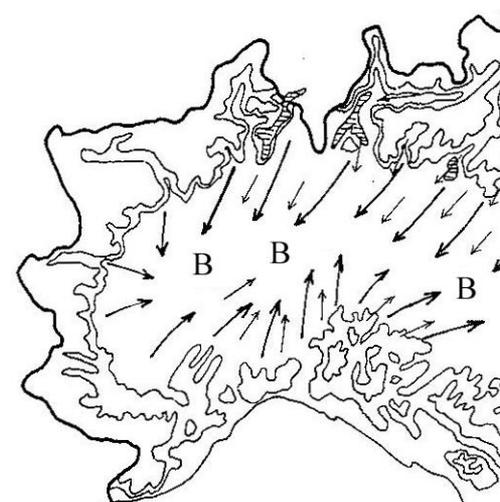
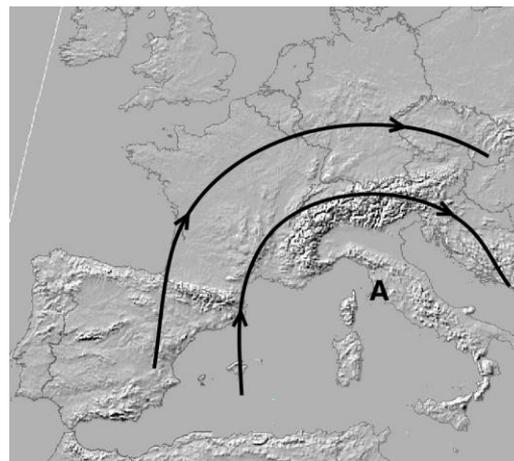
# Climatologia dei tipi circolatori

## Tipo Circolatorio 5 – Anticiclone sul Mediterraneo

Importante per la Valle Padana (60-70% delle situazioni)



Brezze diurne



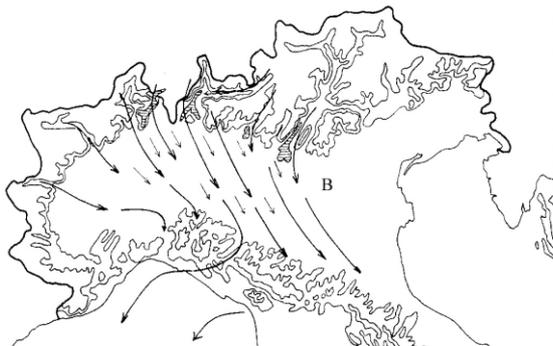
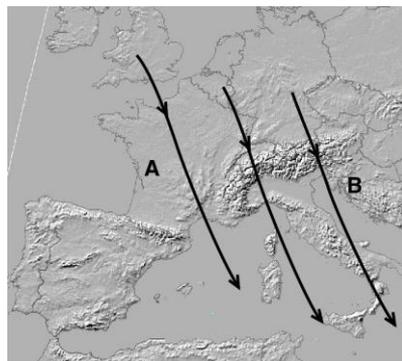
Brezze notturne



# Climatologia dei tipi circolatori

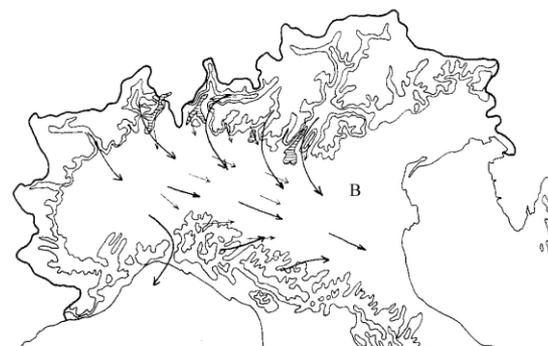
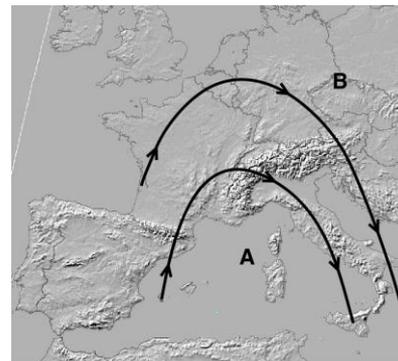
## Tipo Circolatorio 6

*Föhn*



## Tipo Circolatorio 7

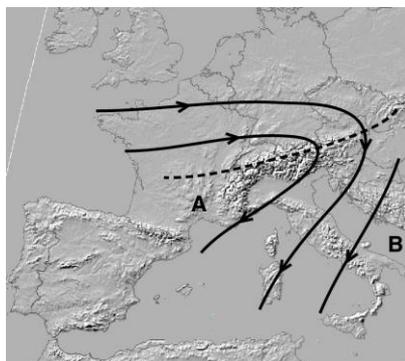
*Correnti stabili da Nordovest*



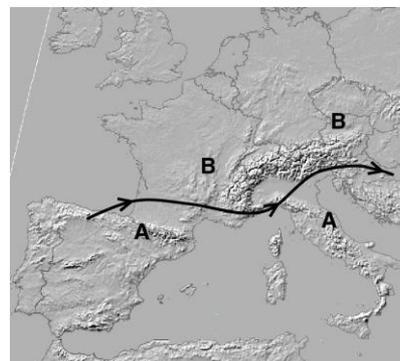


# Climatologia dei tipi circolatori

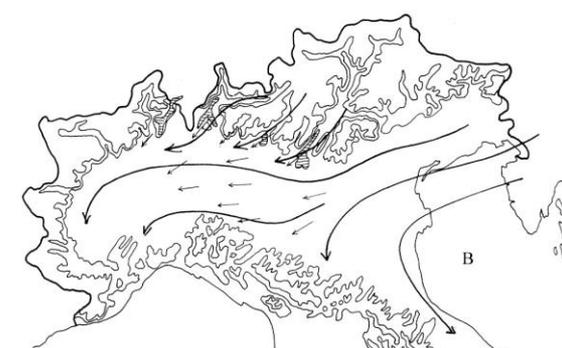
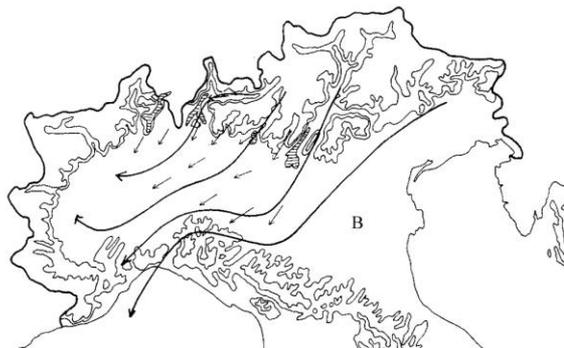
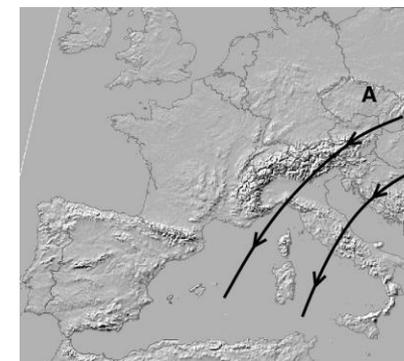
**Tipo Circolatorio 8**  
*Grecale*



**Tipo Circolatorio 9**  
*Ovest ondulato*

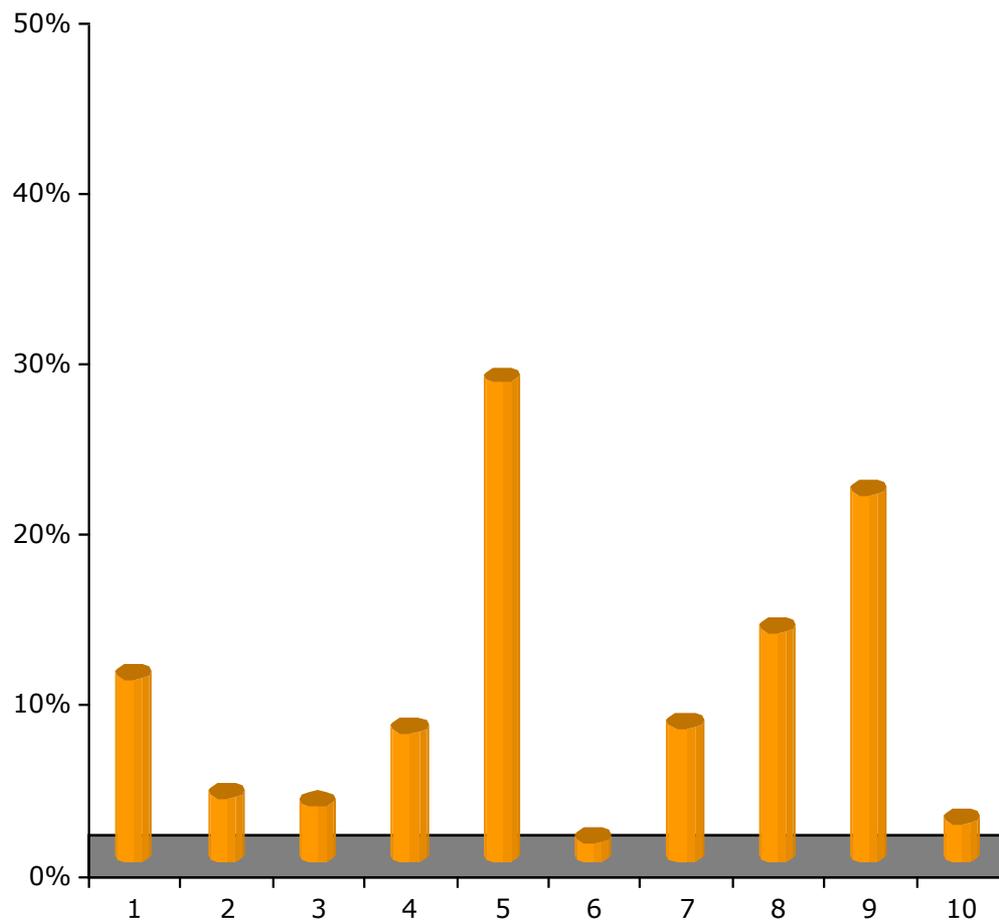


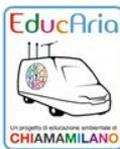
**Tipo Circolatorio 10**  
*Bora*





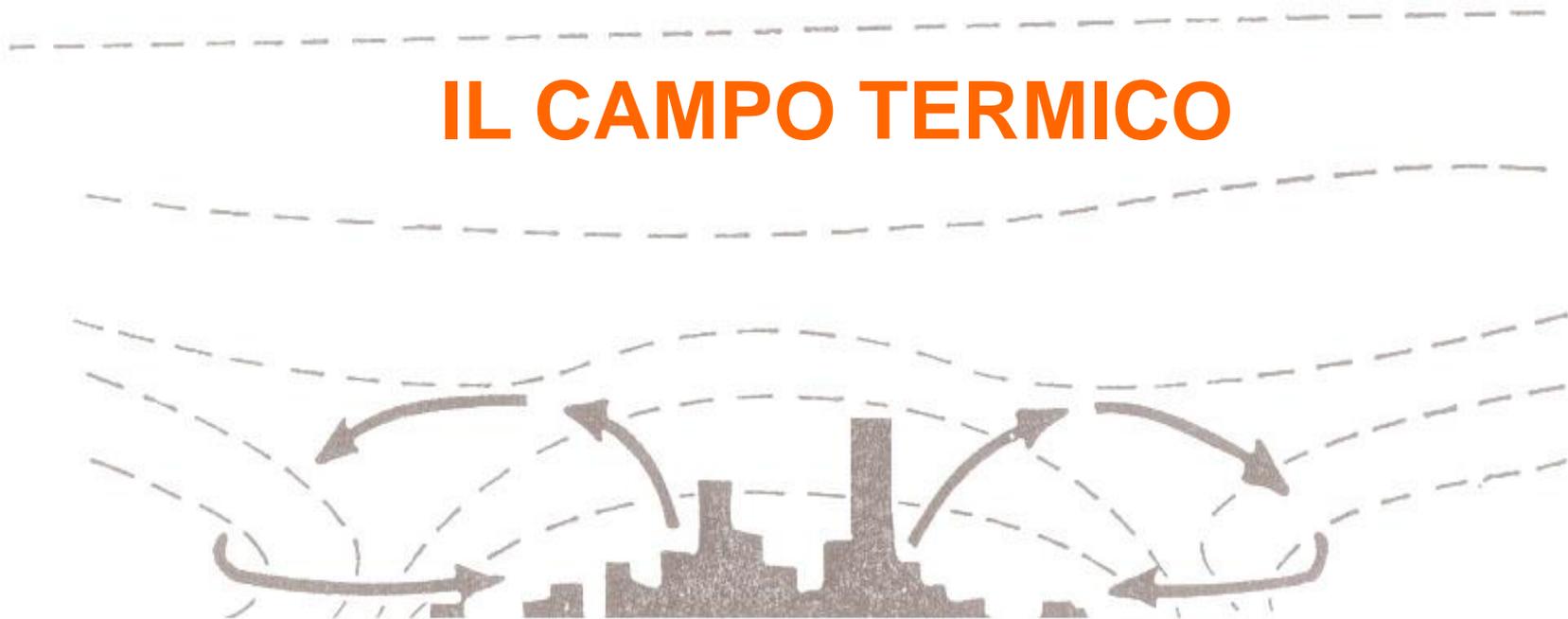
## Periodo 1976-94 – Distribuzione percentuale dei tipi circolatori





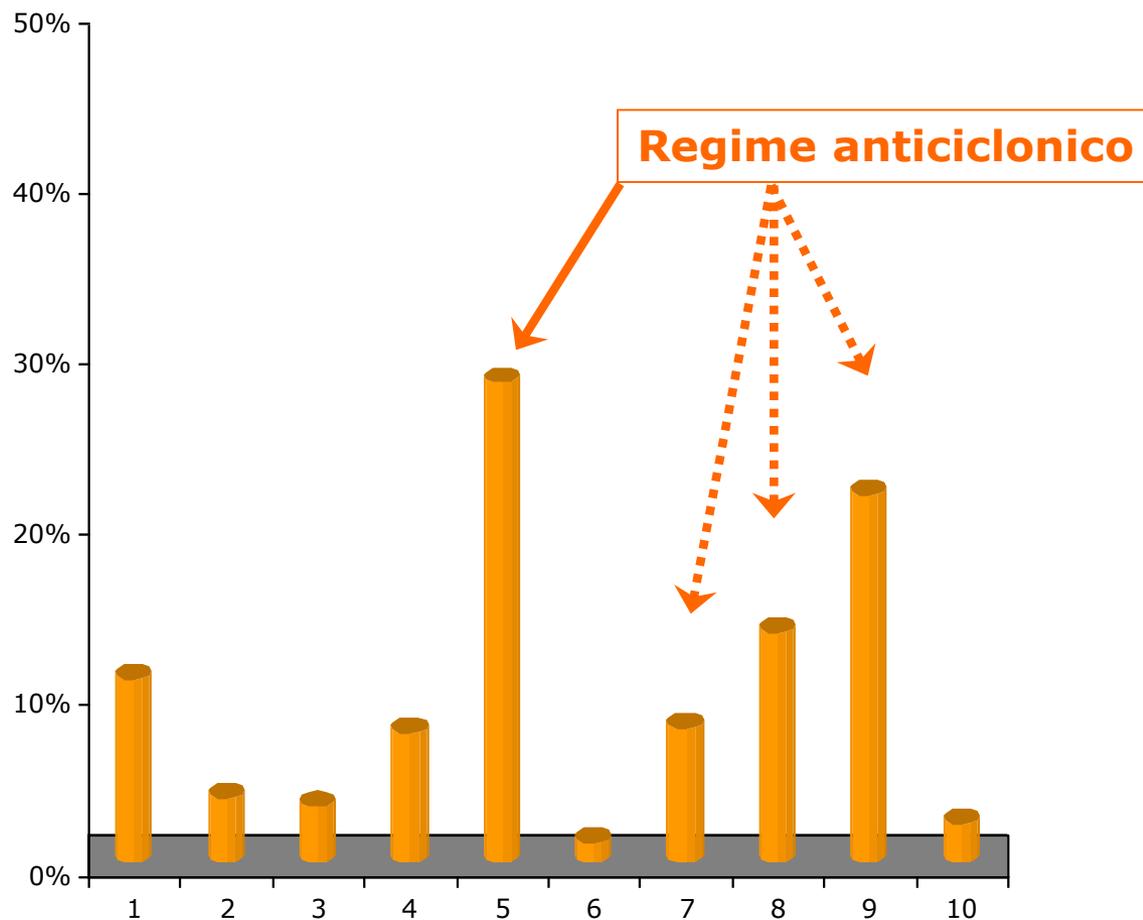
# QUANDO DOMINA

## IL CAMPO TERMICO





## Periodo 1976-94 – Distribuzione percentuale dei tipi circolatori

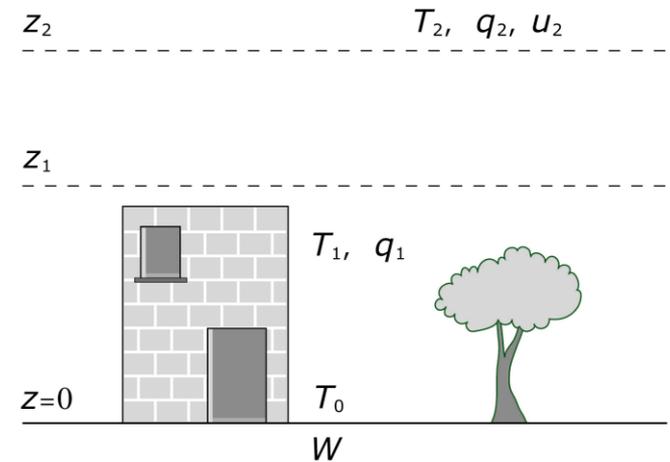




## Tipi 5, (7, 8, 9)

Ventilazione debole → **ISOLA DI CALORE**

**Modello monodimensionale** →



## Quattro equazioni di bilancio

**Eq. 1: Bilancio energetico sulla superficie degli edifici**

**Eq. 2: Bilancio energetico sulla superficie del suolo**

**Eq. 3: Flussi di calore sensibile all'altezza media degli edifici**

**Eq. 4: Flussi di calore latente all'altezza media degli edifici**

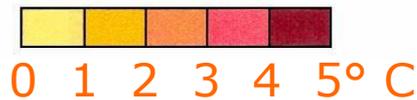
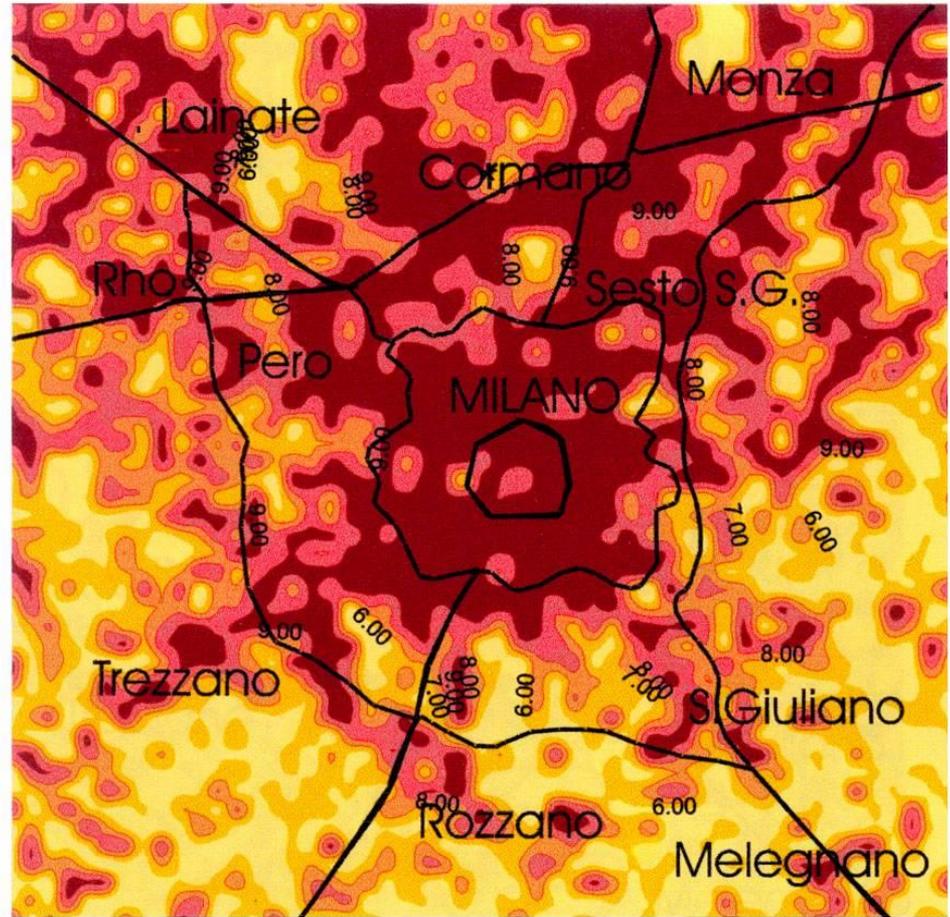


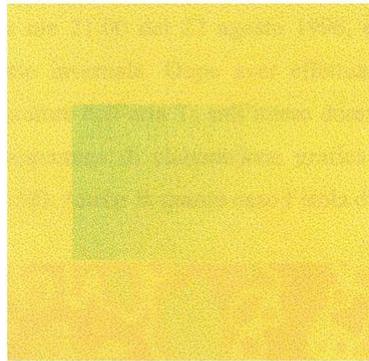
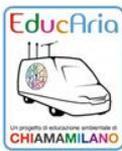
## Applicazione del modello

7 agosto 1998 - ore 20

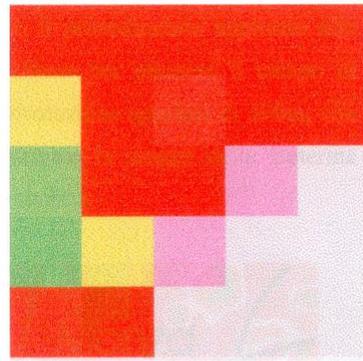
I colori rappresentano in °C le differenze di temperatura rispetto ai punti più freddi

Passo di griglia 60 m

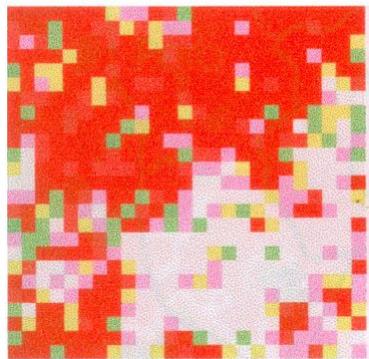




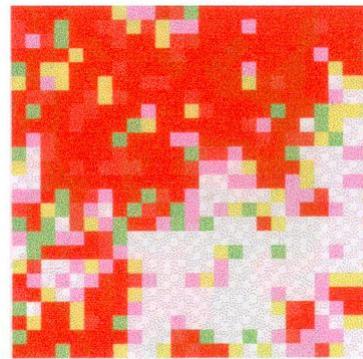
Risoluzione 1500 m



Risoluzione 300 m



Risoluzione 60 m



Risoluzione 30 m



24

26

28° C

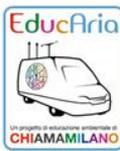
## Zona Parco Sempione

Applicazione del modello

alle risoluzioni indicate

22 agosto 1998 - ore 23

I colori rappresentano  
le temperature in °C



# GLI EFFETTI DEL VENTO





## CONFERENZE DIVULGATIVE EDUCARIA

### Air Pollution Mass Flow over Milan Area

*Atmospheric Environment* Vol. 16, No.5, 1982

S. Sandroni, M. De Groot, S. Borghi, L. Santomauro

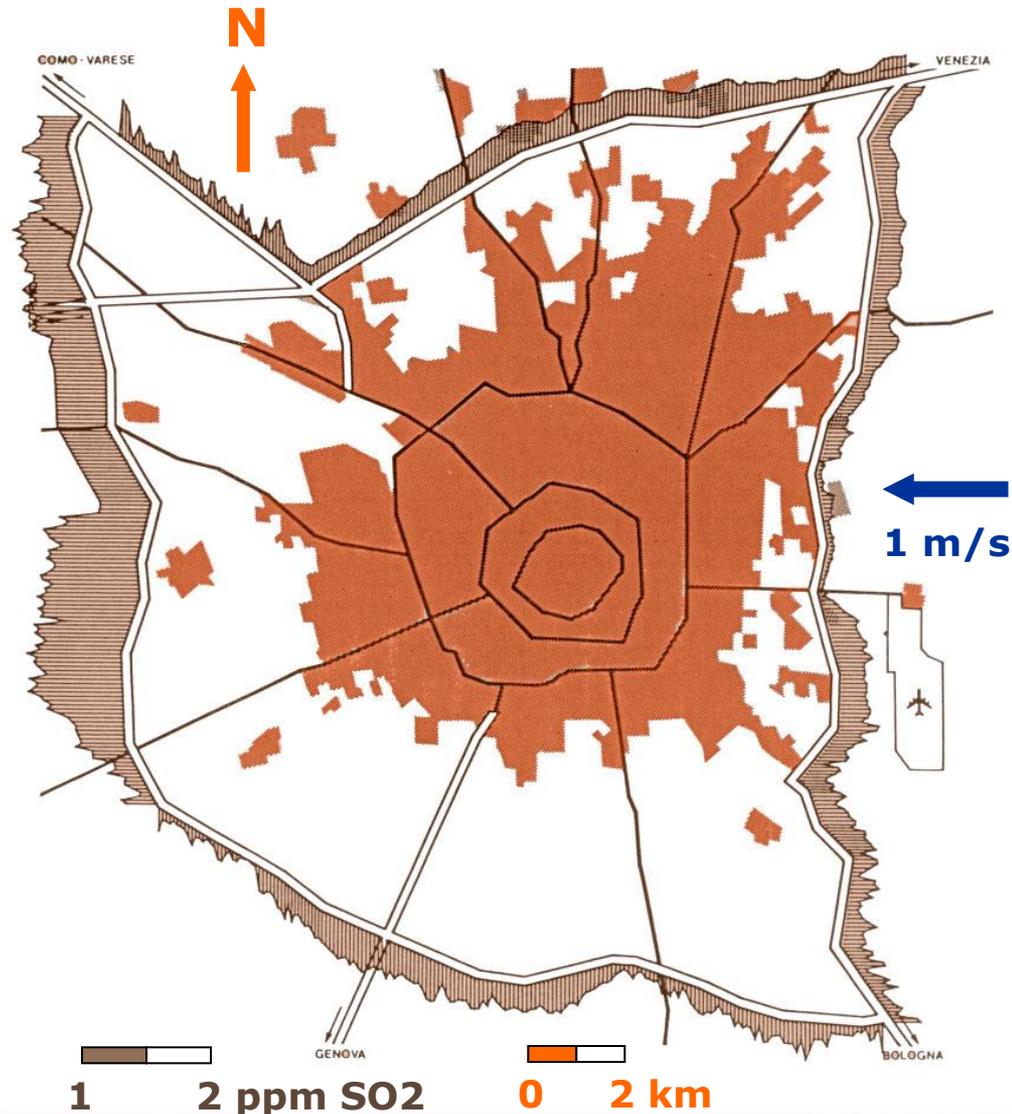
JRC Ispra

Oss. Met. Brera - MI

L'esperimento fu condotto più volte tra il 1980 e il 1981.

La stima del trasporto di inquinanti fu eseguita con metodi spettrometrici (Cospec III). Lo spettrometro, montato su un mezzo, percorse le tangenziali di Milano e rilevò il carico verticale di SO<sub>2</sub> utilizzando luce solare diffusa come sorgente luminosa.

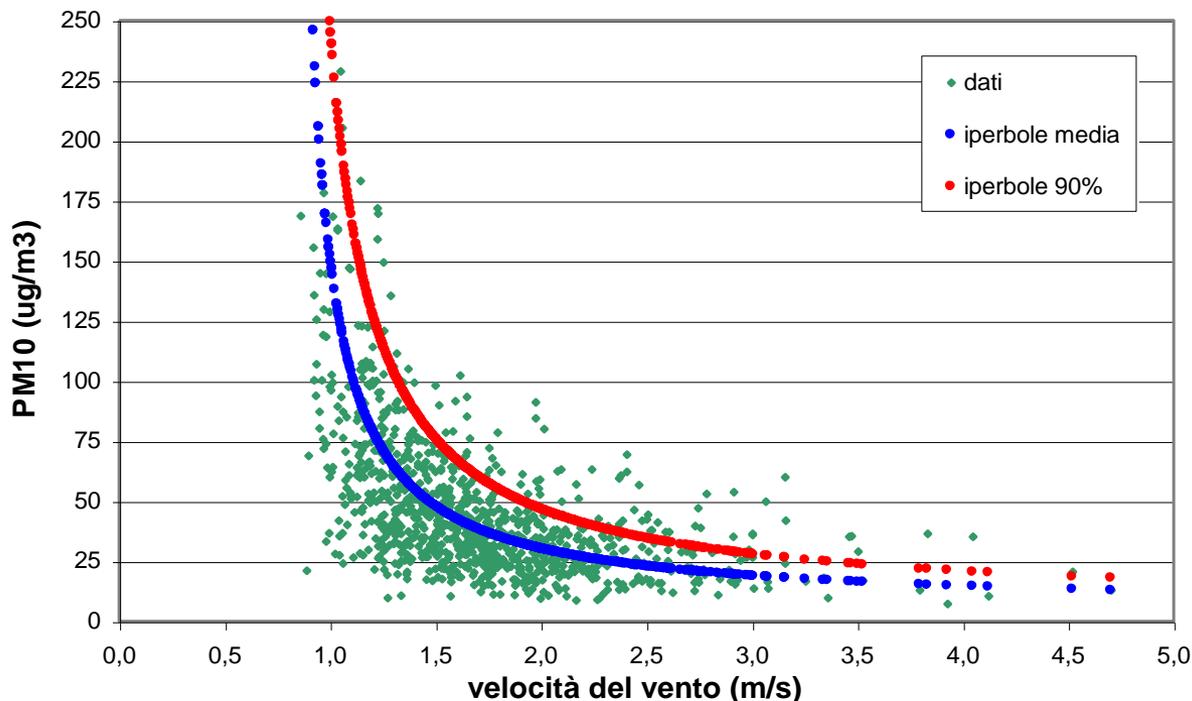
Lo schema riporta i risultati ottenuti il 14.1.1981, con un percorso della durata di circa 1 ora e 30 minuti effettuato intorno a mezzogiorno.





## VALUTAZIONE IN AMBIENTE URBANO DELL'EVOLUZIONE DEL PM10 IN RELAZIONE ALLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE E AI PRINCIPALI INQUINANTI

Tesi di laurea in Scienze Ambientali di Alessandro Mauro



Stazione di via Juvara (anno 2000)  
Relazione tra velocità del vento e concentrazione di PM10.



## Per i profili verticali di vento di vento spesso si pone

$$u_z = \frac{u_*}{k} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad \text{ove}$$

$z_0$  “roughness length” (“lunghezza di ruvidità”)  
 $u_*$  “velocità d’attrito”  
 $u_z$  velocità del vento alla quota  $z$   
 $k$  costante di Von Karmán

$Z_0$  è un parametro ricorrente di rilevante importanza, di particolare interesse nello studio della turbolenza



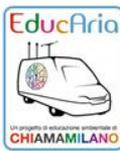
## Il problema è la determinazione di $Z_0$ in ambito urbano

Esempio di calcolo di  $z_0$   
per un'area edificata di assegnata estensione

$$z_0 = \frac{h_{media}}{2 \cdot A} \quad (\text{Lettau, 1970})$$

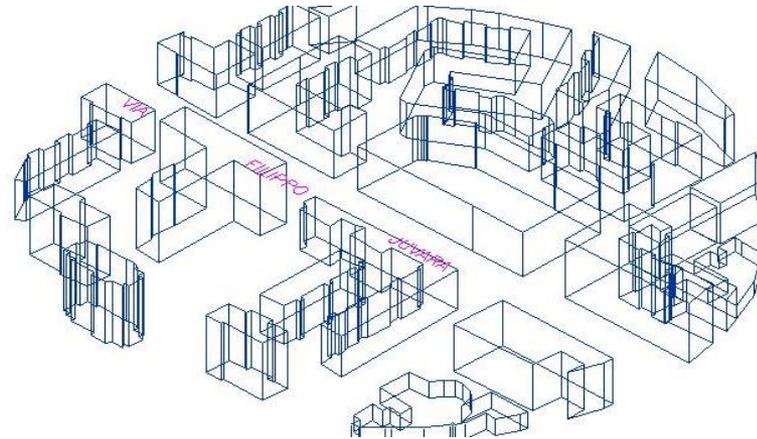
ove  $h_{media}$  è l'altezza media degli edifici dell'area

$A$  è il rapporto tra l'estensione dell'area interessata (solo la parte coperta da edifici) e la sezione verticale presentata al flusso d'aria dagli edifici della zona

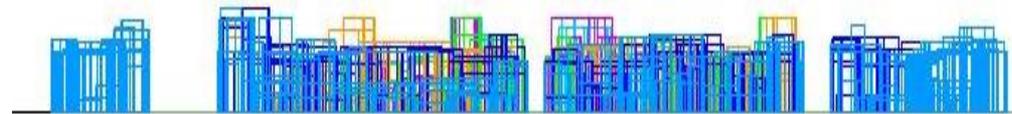


# Milano - Area d'indagine di Via Juvara (diametro 250 m)

Assonometria dell'edificato



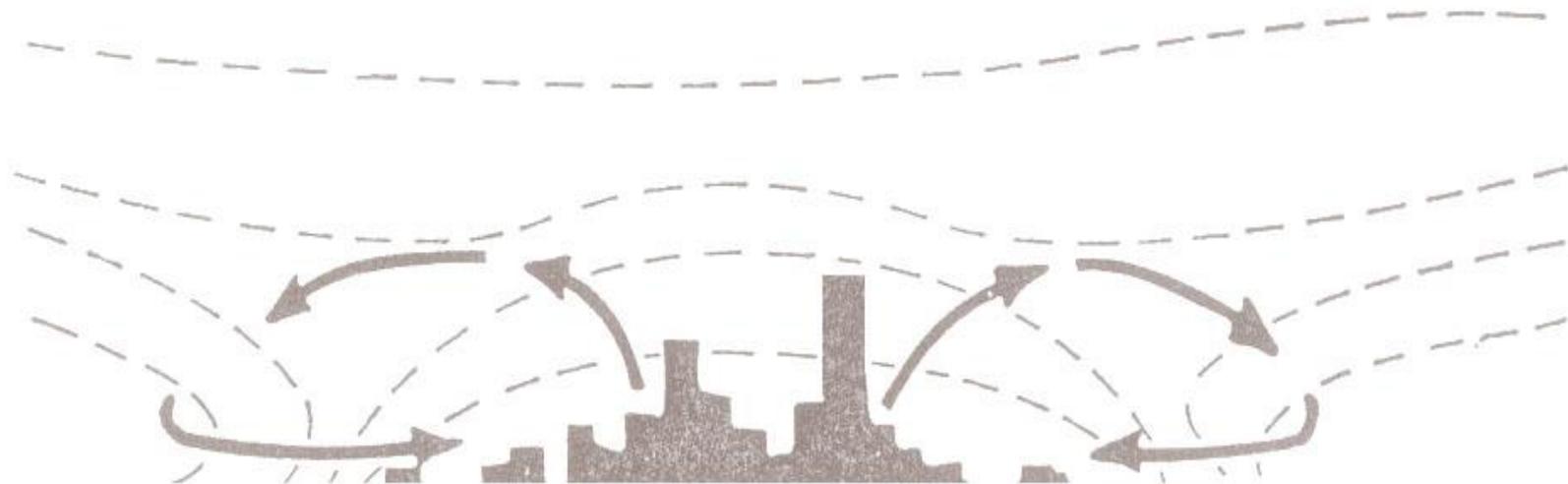
Sezione N-S

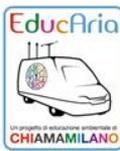


$$h_{media} = 18,9 \text{ m} \quad A = 3,1 \text{ m}^2 \quad Z_0 = 3 \text{ m}$$

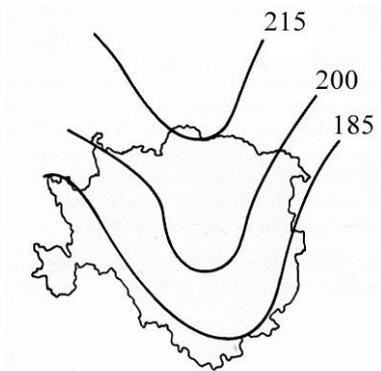


# CHE ASPETTARSI DALLA PIOGGIA?

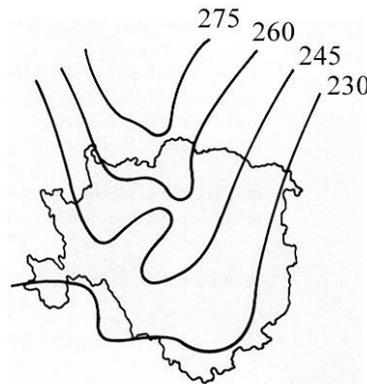




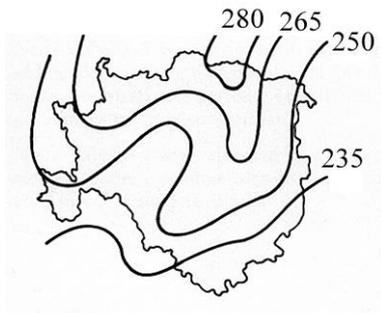
# Precipitazioni medie stagionali in mm (1895-1979)



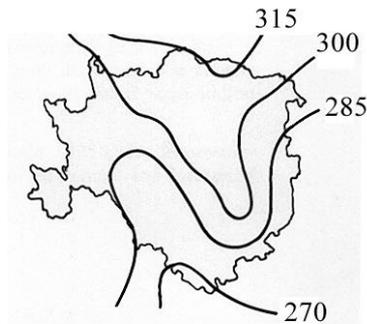
**Inverno**



**Primavera**



**Estate**



**Autunno**

Il regime pluviometrico dell'area metropolitana milanese

(A. Gentile, G. Spadoni)  
Comune di Milano, 1981



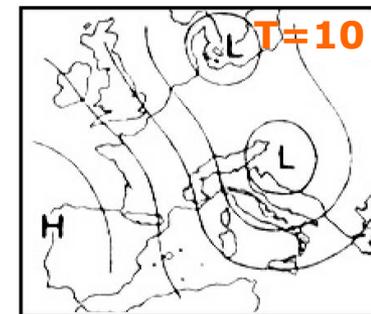
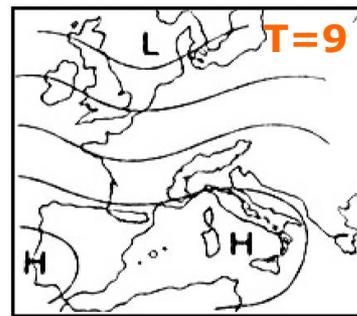
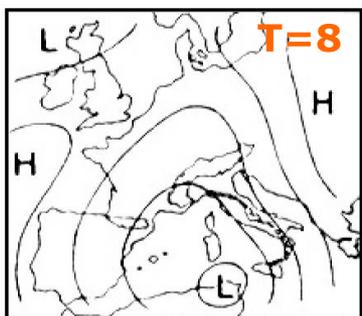
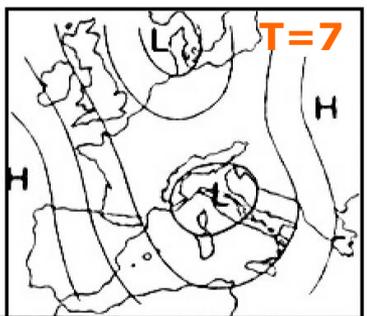
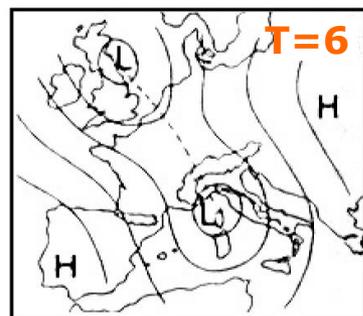
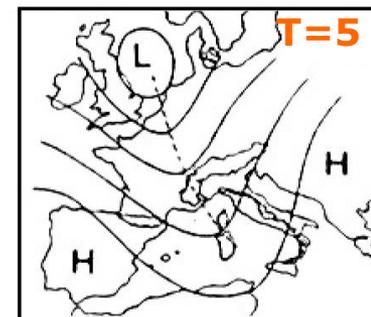
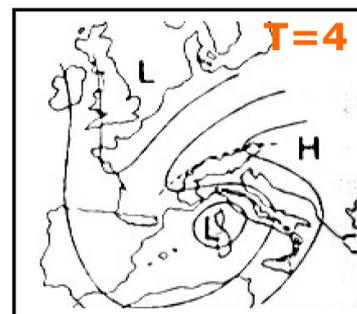
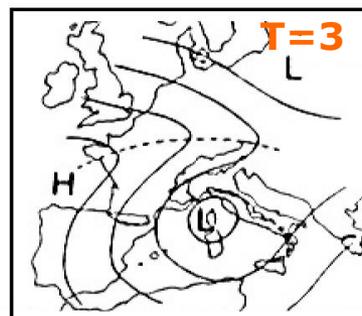
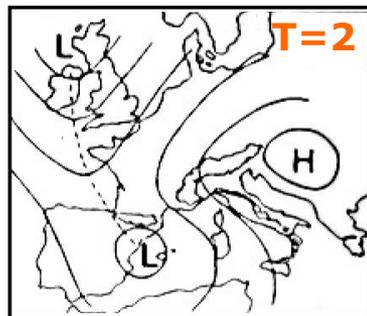
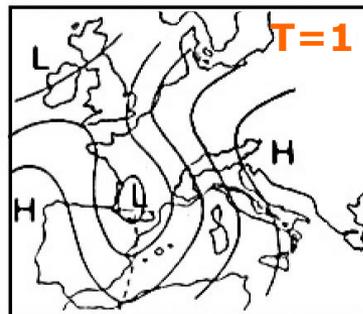
## Episodi significativi di pioggia Distribuzione areale tipica a Milano

Sono stati analizzati 103 episodi di pioggia nel periodo 1984-1988 utilizzando 15 siti della rete pluviometrica del Comune di Milano.

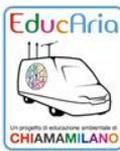
Gli episodi sono stati scelti in modo tale che 10 almeno delle 15 stazioni avessero registrato 10 o più millimetri di pioggia.



## Tipi circolatori collegati agli episodi di pioggia

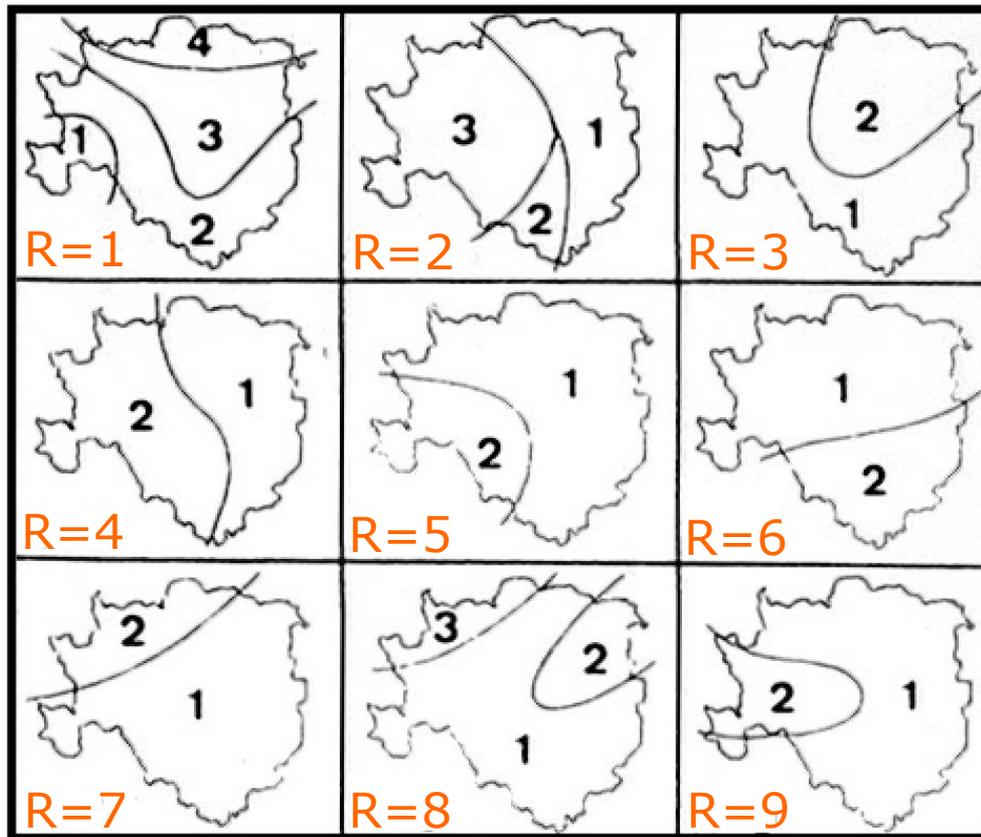


T = 1, 2, ... , 10



# I principali tipi di distribuzione delle precipitazioni a Milano

R = 1, 2, ... , 9



All'interno delle mappe i numeri indicano quantità crescenti di precipitazione



## Frequenze di accoppiamento R \ T

R\T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	28									
2		14					1			
3			11			12	2			
4				4						
5					15					
6							2			
7							3	4		
8									2	
9										5



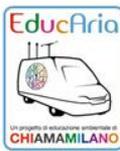
## wash-out o rain-out?

ILE – Isotopic Lead Experiment (1975-1980)

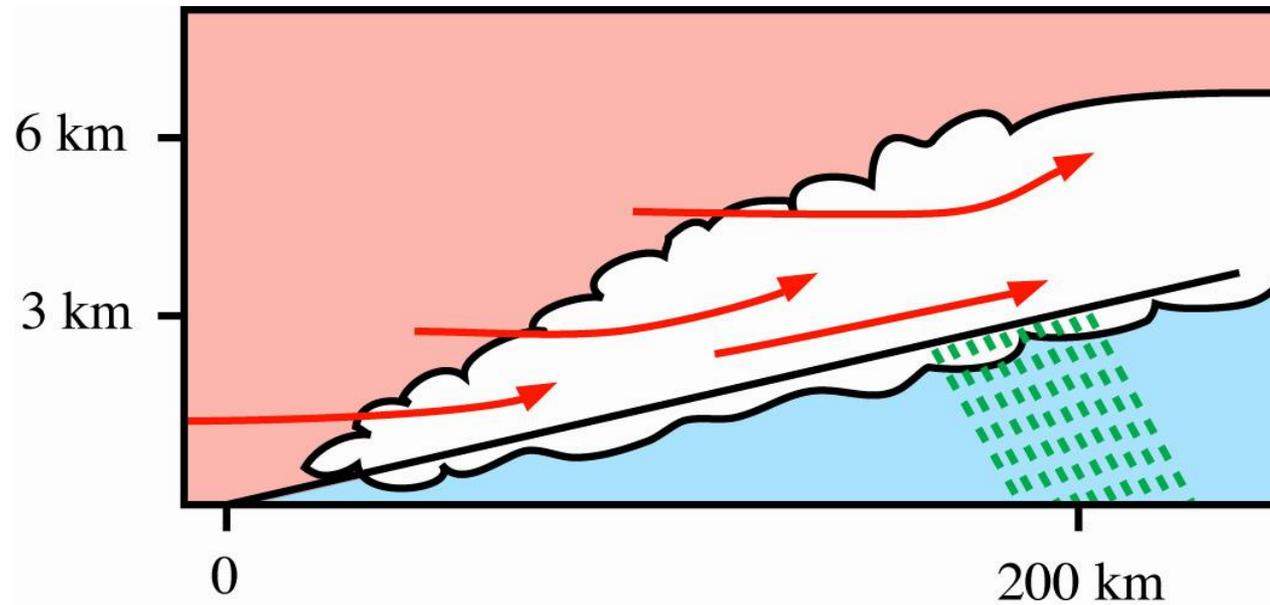
Spettrografia di massa su polveri e pioggia

Rapporti isotopici  $Pb206/Pb207$  differenti

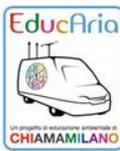
Le gocce di pioggia accompagnano al suolo le particelle che ne hanno costituito i nuclei di condensazione



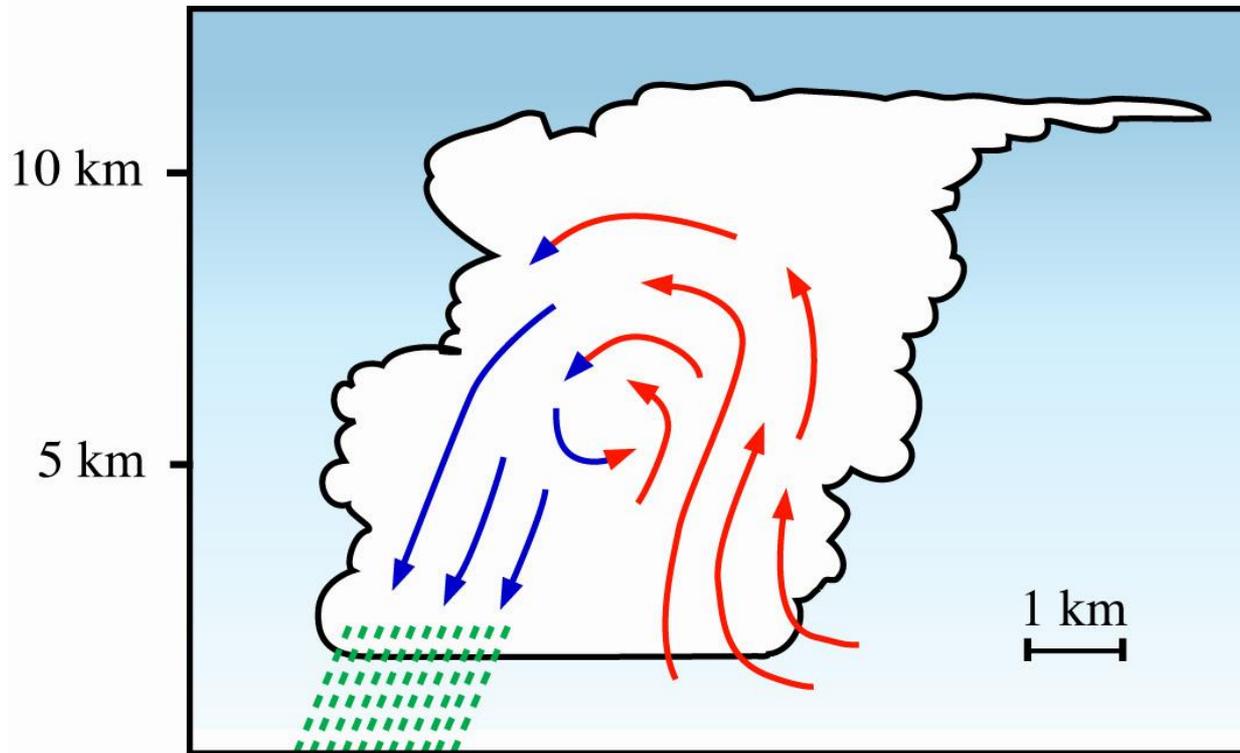
## Nubi stratificate



Al suolo giunge particolato di provenienza lontana



## Nubi convettive



Al suolo giunge il particolato di origine locale



## CONFERENZE DIVULGATIVE EDUCARIA

### Alcuni record storici a Milano negli ultimi decenni

- Pioggia massima:** mensile: 376,0 mm ottobre 1987  
giornaliera: 257,8 mm 24 agosto 1987  
oraria: 109.0 mm 24 agosto 1987 (dalle 13 alle 14)
- Nevicata massima:** 70 cm dal 14 al 16 gennaio 1985
- Nevicata tardiva:** 17 aprile 1991  
(sbalzo di temperatura da 16,4 a -0,1°C in due ore)
- Siccità:** dal 22 gennaio al 25 aprile 1997 (94 giorni)  
(interruzione di 4 giorni alla fine di febbraio con complessivi 10 mm di pioggia)
- Temperatura massima:** assoluta: 39,8° C l'11 agosto 2003  
di febbraio: 25,2°C il 15 febbraio 1990 (15.2.1929: -14,1°C)  
media di ottobre: 17,0°C (2006) (valore climatico 13,7°C)  
media massime di ottobre 21,4°C (2006) (val. clim. 17,4°C)
- Vento più intenso:** 100 km/h il 28 marzo 1997



## Cause termiche e circolatorie dei cambiamenti stagionali

Nel periodo estivo il Mediterraneo accumula calore; attualmente in maggior misura a causa dell'incremento demografico degli ultimi decenni

L'alta pressione mediterranea persiste più a lungo e fino ad ottobre le temperature restano elevate

Le perturbazioni atlantiche incontrando i rilievi europei seguono sempre più spesso traiettorie a nord delle Alpi, favorendo l'afflusso da est di aria artica di origine continentale

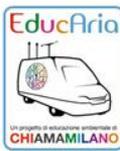
L'alta pressione mediterranea finalmente cede ma la circolazione si sviluppa sul Mediterraneo e le temperature si mitigano presto

Maggiori consumi energetici  
Maggiori immissioni di CO<sub>2</sub>  
Estate prolungate

L'autunno arriva in ritardo

L'inverno talvolta anticipa con episodi di bora ma poi tende a rimanere mite

La primavera inizia presto ma tende anche a finire tardi



GRAZIE PER L'ATTENZIONE