



Accademia Nazionale dei Lincei
Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere
Milano 24-25 novembre 2005

Giornate di Studio sull' Ecosistema del Territorio Metropolitano di Milano

Il metabolismo urbano e la qualità dell'aria
Sergio Borghi



OMD

Osservatorio Meteorologico di Milano Duomo

Piazza del Duomo, 21 - 20121 Milano Tel. 02 86462443 - E-mail: sergio.borghi@meteoduomo.it





Metabolismo

(dal greco **μεταβολή** = cambiamento)

termine che indica l'insieme dei processi mediante i quali ogni forma di vita scambia energia e materiali organici e inorganici con l'ambiente.

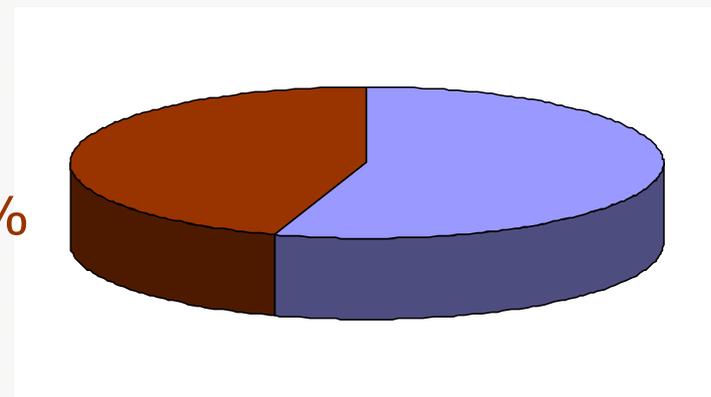
Dall'Enciclopedia Europea Garzanti



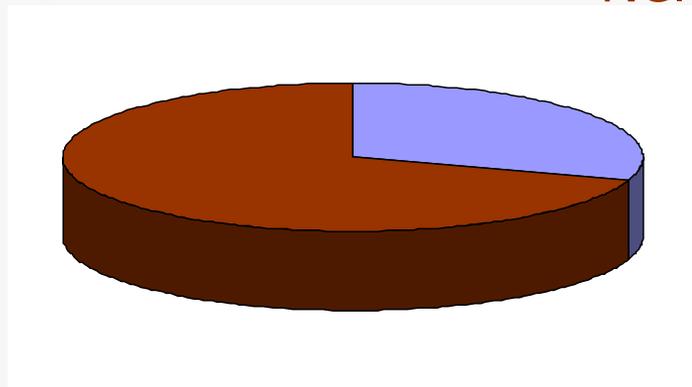
400 città nel mondo hanno più di 1 milione di abitanti

Popolazione residente nelle aree urbane
(secondo l'EEA più di 100 abitanti/km²)

Nel mondo 45%



In Europa 70%

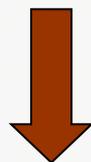




Processi di crescita e aggregazione



Città diffusa (bacino di risorse vitali)



Consumo di risorse materiali e di energia



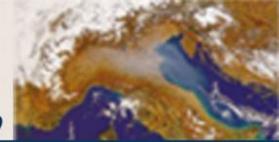
Metabolismo



Residui e rifiuti



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



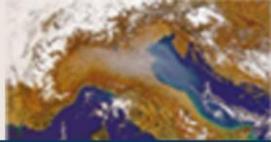
Inquinamento atmosferico da:

- traffico veicolare
- riscaldamento invernale
- condizionamento estivo
- consumi energetici civili e industriali

Principali prodotti inquinanti:

- (CO₂), CO
- SO₂ → SO₃
- NO_x
- VOC, IPA
- O₃
- Particolato atmosferico (PM₁₀, PM_{2.5})

Campi elettromagnetici ("Elettrosmog")



ASPETTI METEOROLOGICI

Milano appartiene ad un sistema contornato dai rilievi e dal mare

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

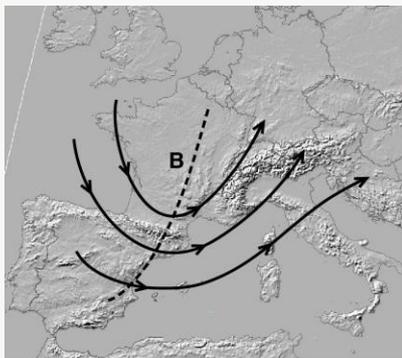
In condizioni dinamicamente attive: classificazione di "tipi circolatori"

In assenza di correnti intense: circolazione guidata dai campi termici



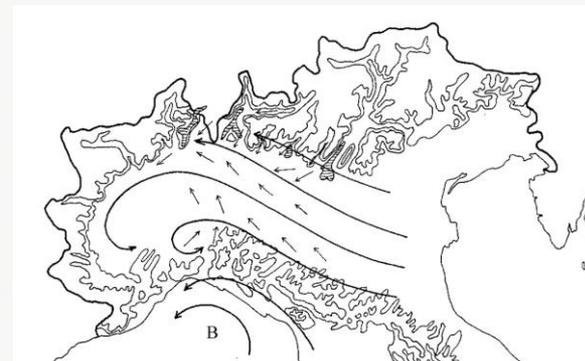
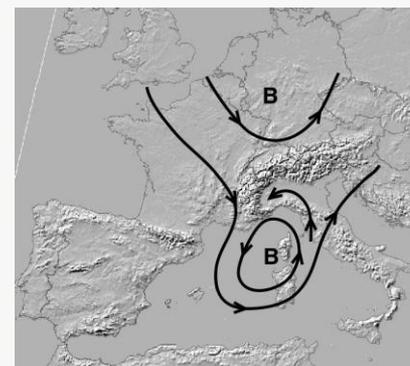
Tipo Circolatorio 1

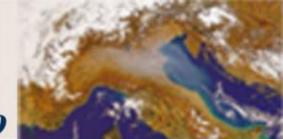
Libeccio



Tipo Circolatorio 2

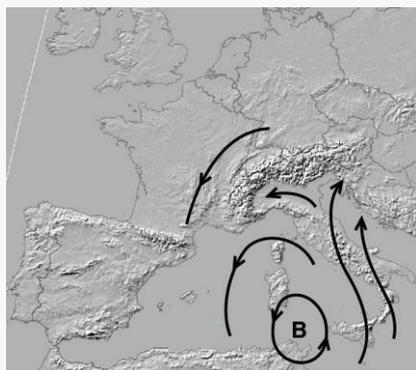
Ciclogenesi su Mar Ligure





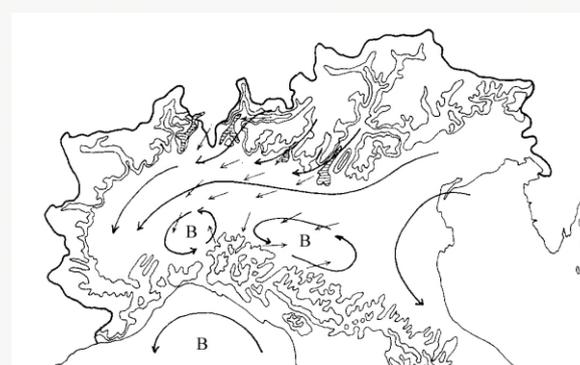
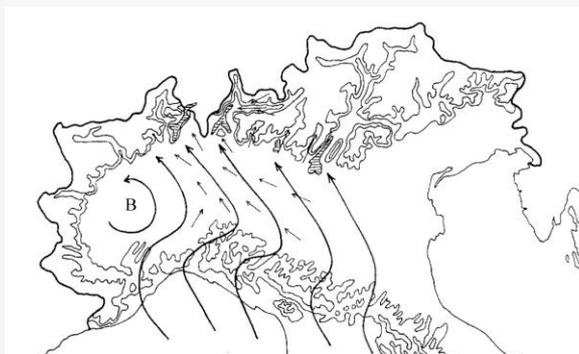
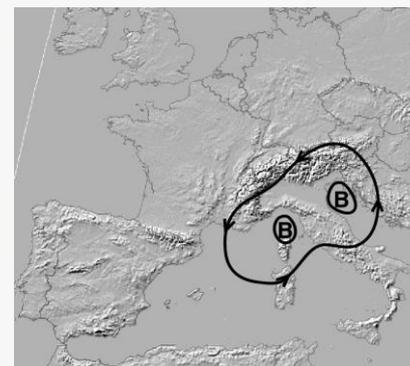
Tipo Circolatorio 3

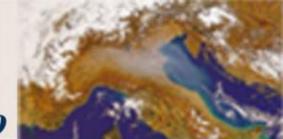
Scirocco



Tipo Circolatorio 4

Depressione sdoppiata su Mar Ligure e Alto Adriatico

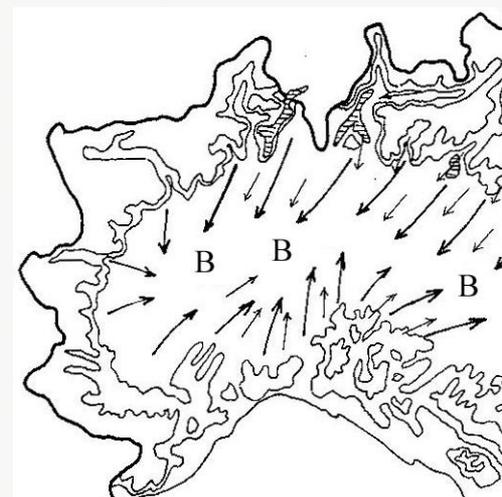
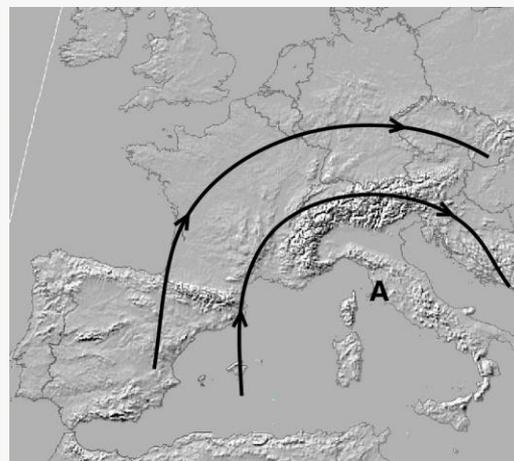




Tipo Circolatorio 5 – Anticiclone sul Mediterraneo



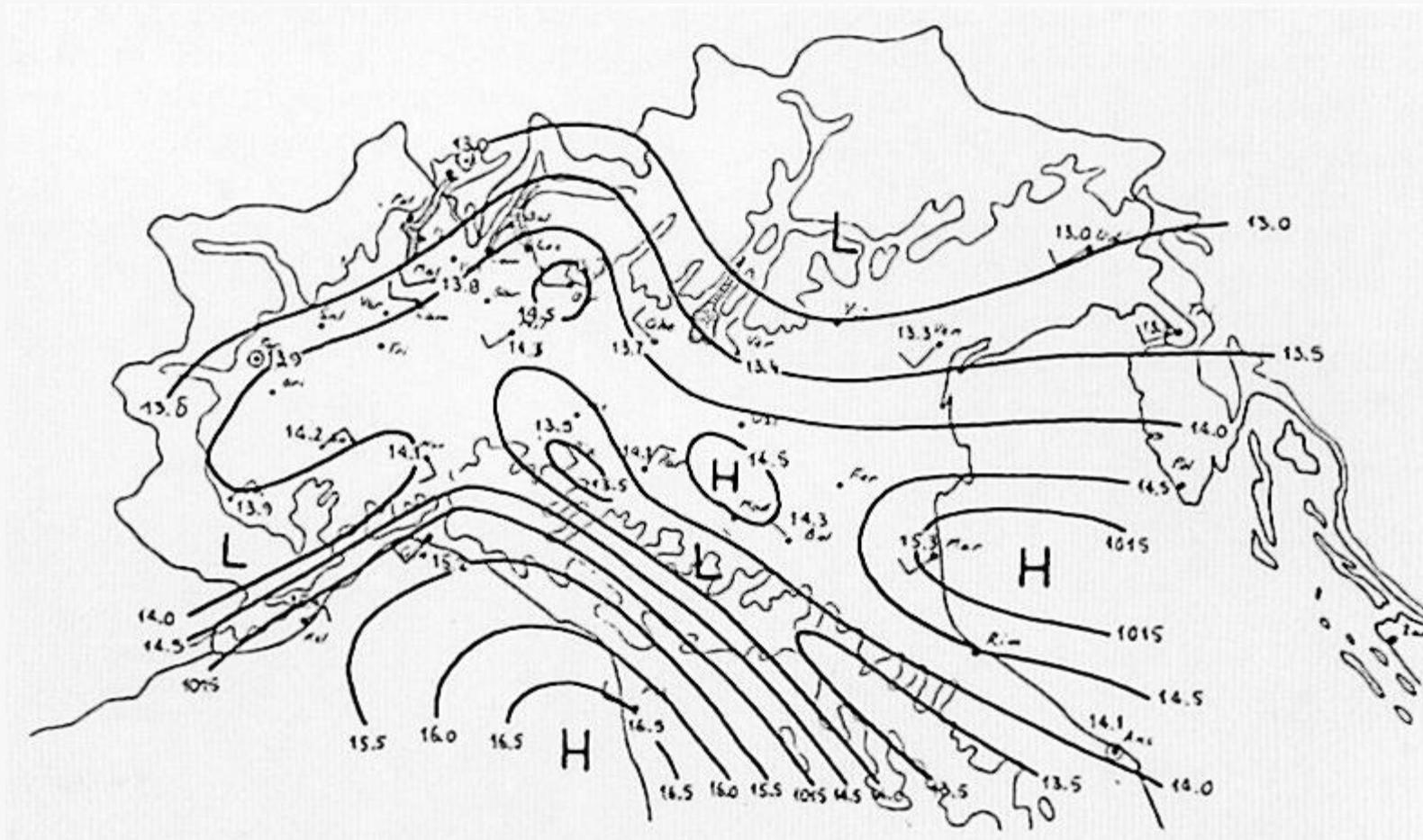
Brezze diurne



Brezze notturne



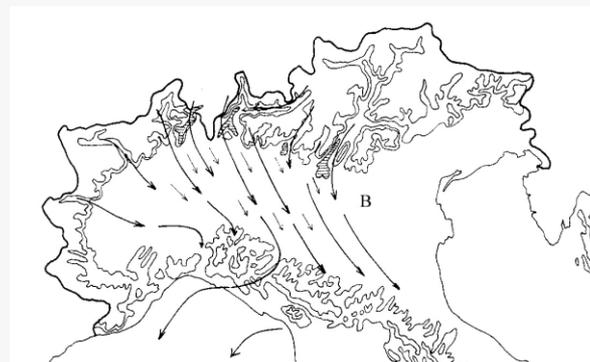
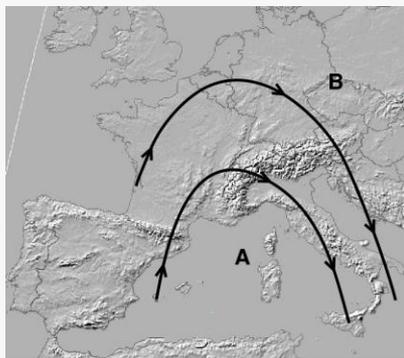
Brezza diurna rilevabile a scala nord-italiana





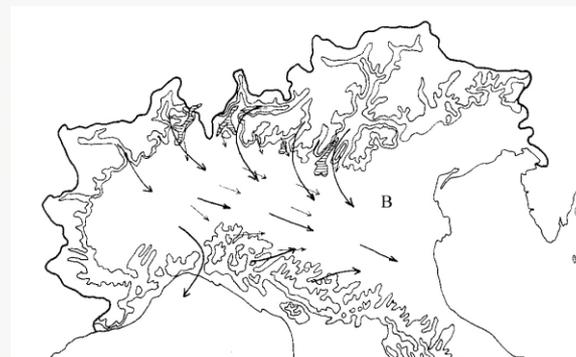
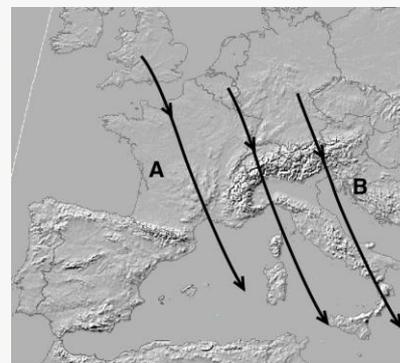
Tipo Circolatorio 6

Föhn



Tipo Circolatorio 7

Correnti stabili da Nordovest

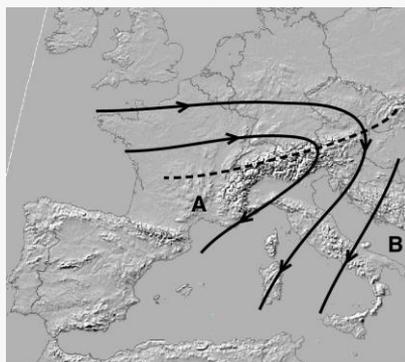




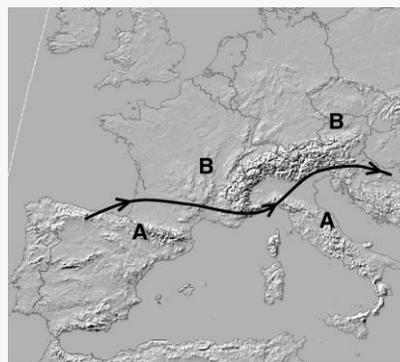
OMD



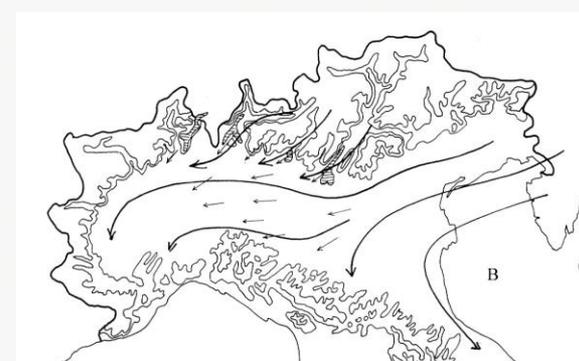
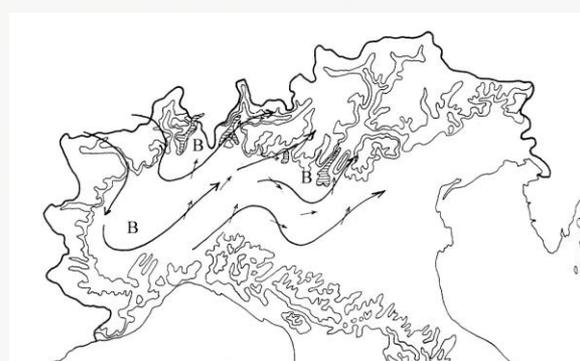
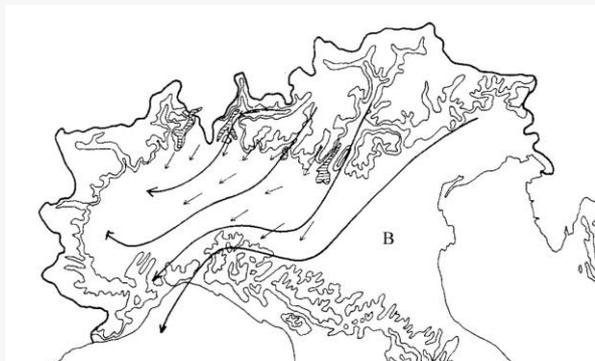
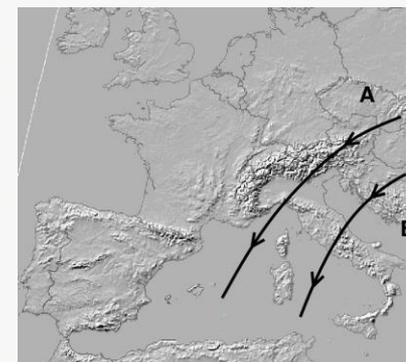
Tipo Circolatorio 8 *Grecale*



Tipo Circolatorio 9 *Ovest ondulato*

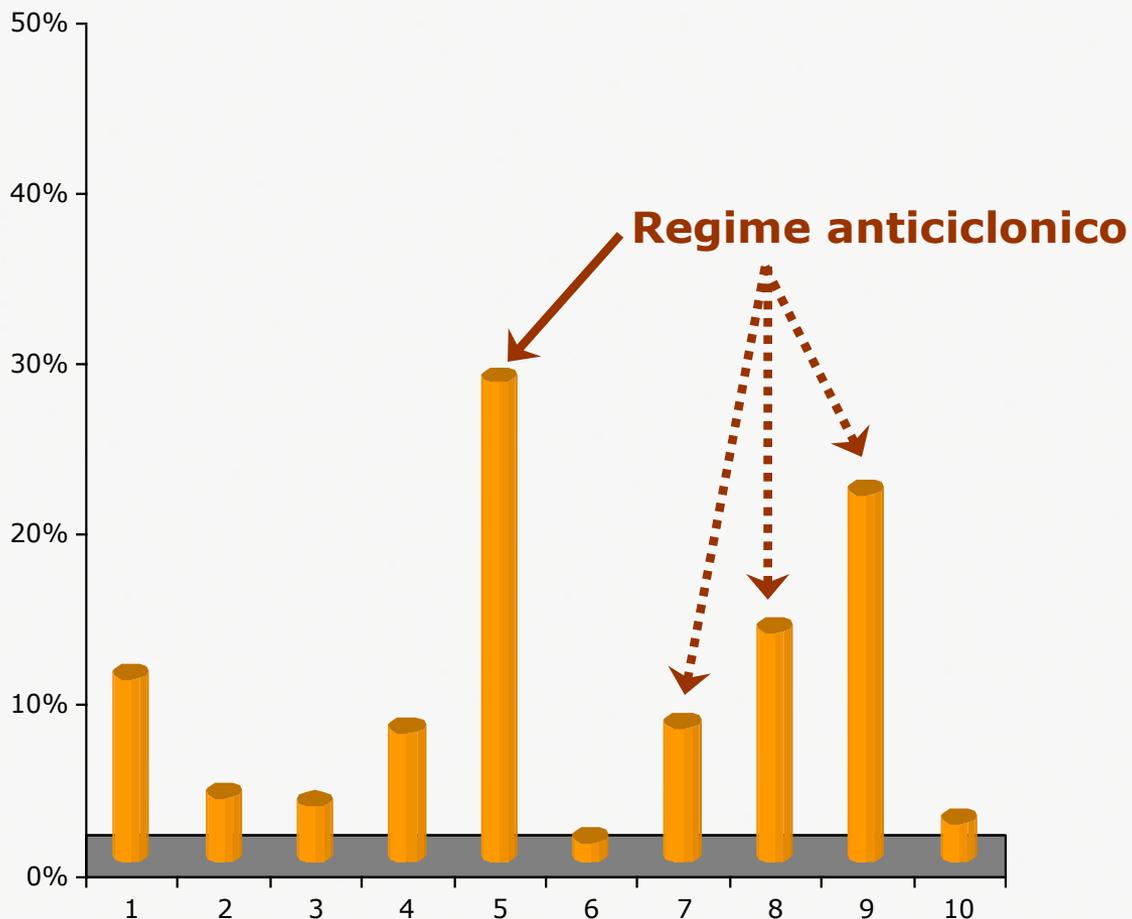


Tipo Circolatorio 10 *Bora*



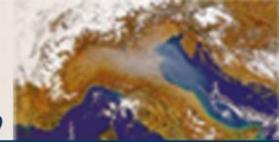


Periodo 1976-94 – Distribuzione percentuale dei tipi circolatori



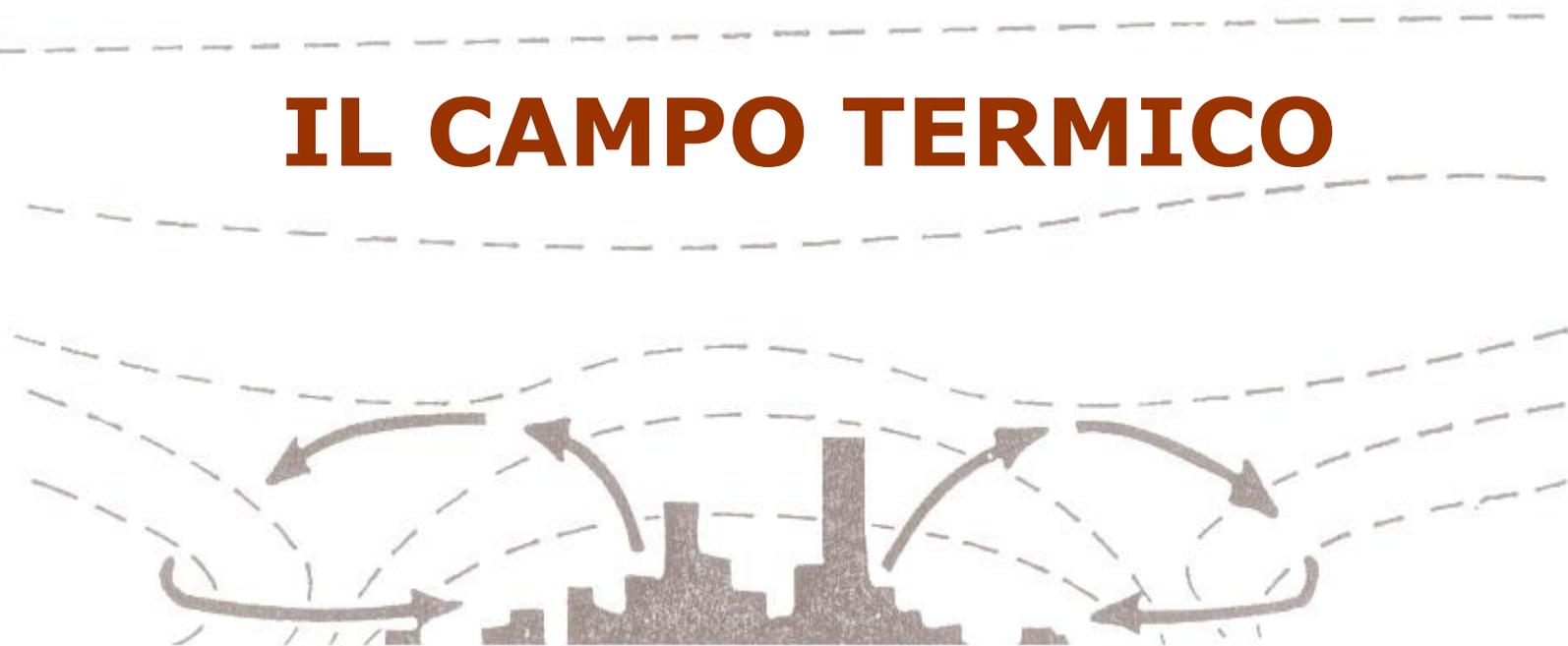


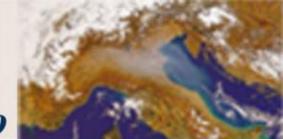
OMD



QUANDO DOMINA

IL CAMPO TERMICO





Tipi 5, (7, 8, 9)

Ventilazione debole → Sviluppo dell'*ISOLA DI CALORE*

Modello monodimensionale

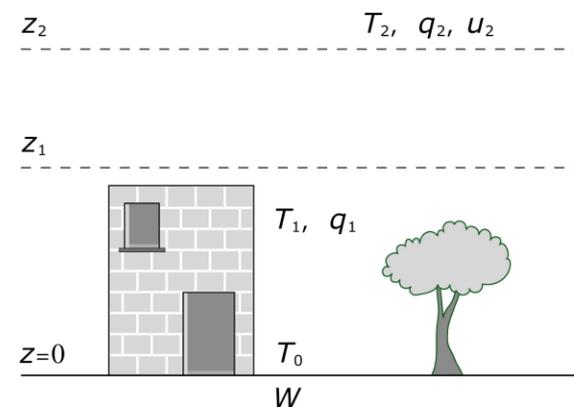
Quattro equazioni di bilancio

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. 1: Flussi di calore latente all'altezza media degli edifici





OMD

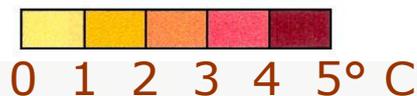
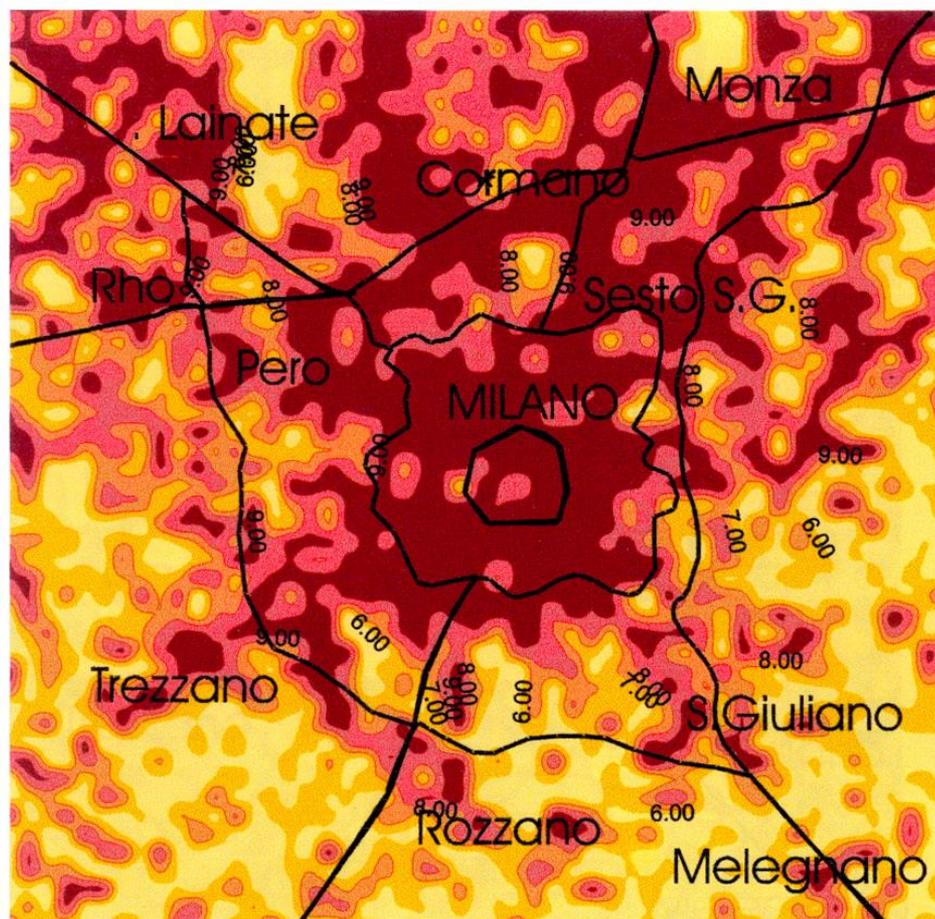


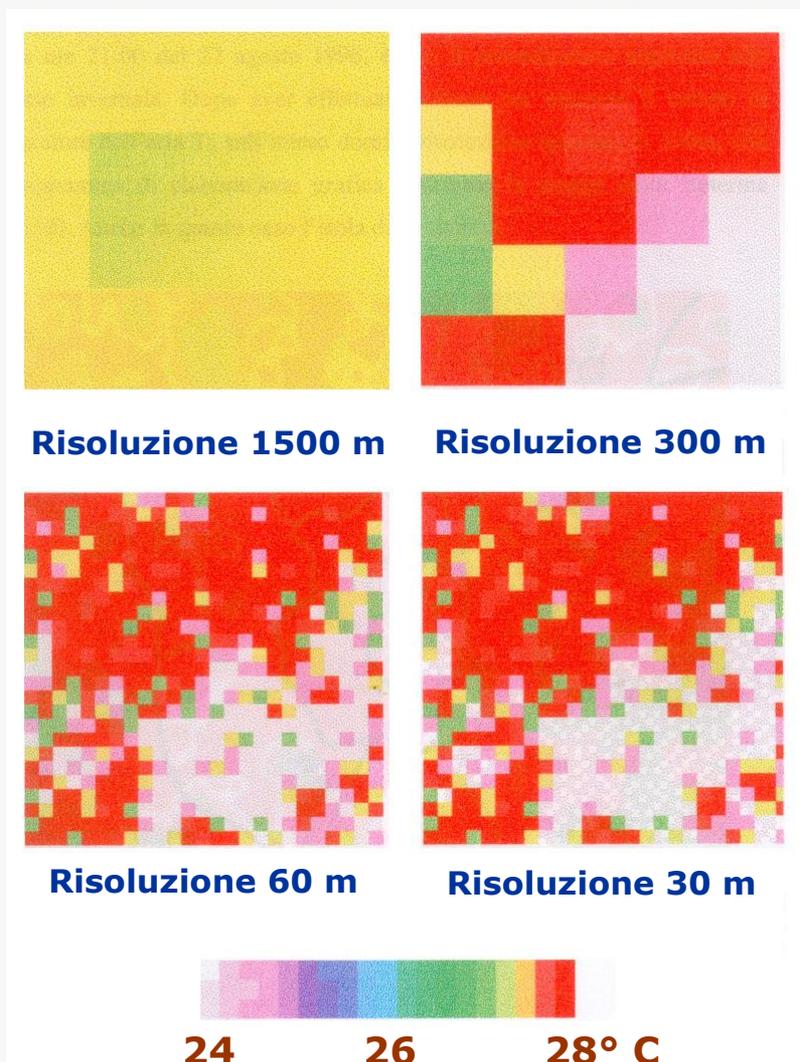
Applicazione del modello

7 agosto 1998 - ore 20

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

Passo di griglia 60 m





Zona Parco Sempione

Applicazione del modello
alle risoluzioni indicate

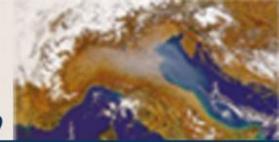
22 agosto 1998 - ore 23

I colori rappresentano
le temperature in °C



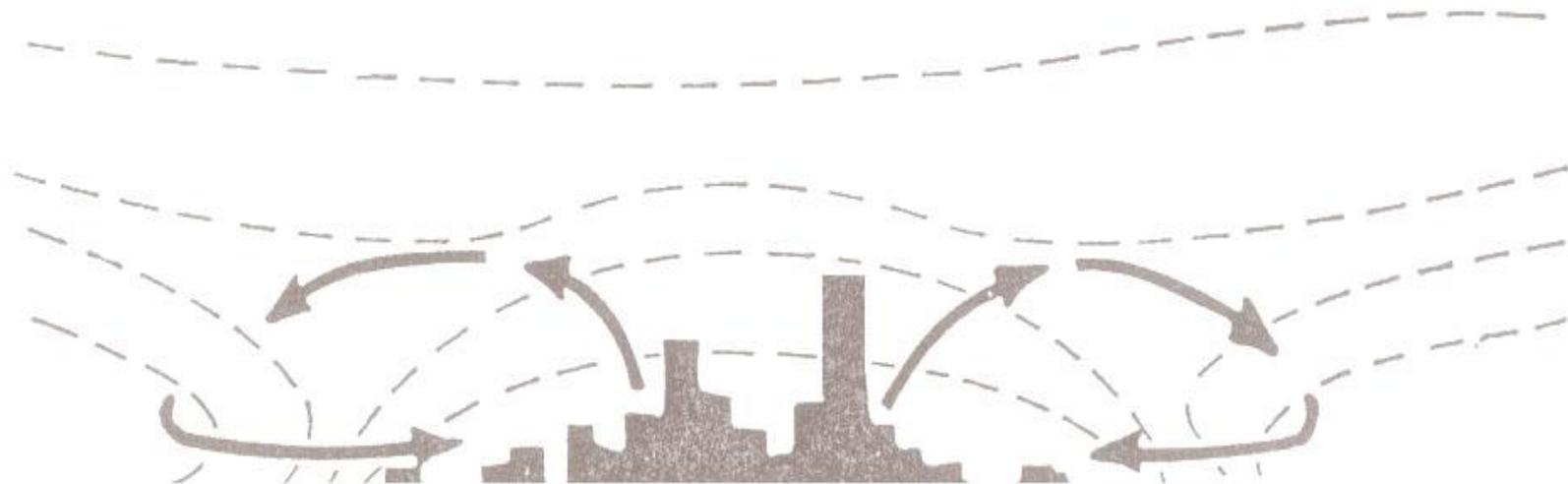
OMD

Giornate di Studio sull'Ecosistema del Territorio Metropolitan di Milano



Accademia Nazionale dei Lincei - Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Milano, 24-25 novembre 2005

GLI EFFETTI DEL VENTO





OMD



Air Pollution Mass Flow over Milan Area

Atmospheric Environment Vol. 16, No.5, 1982

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

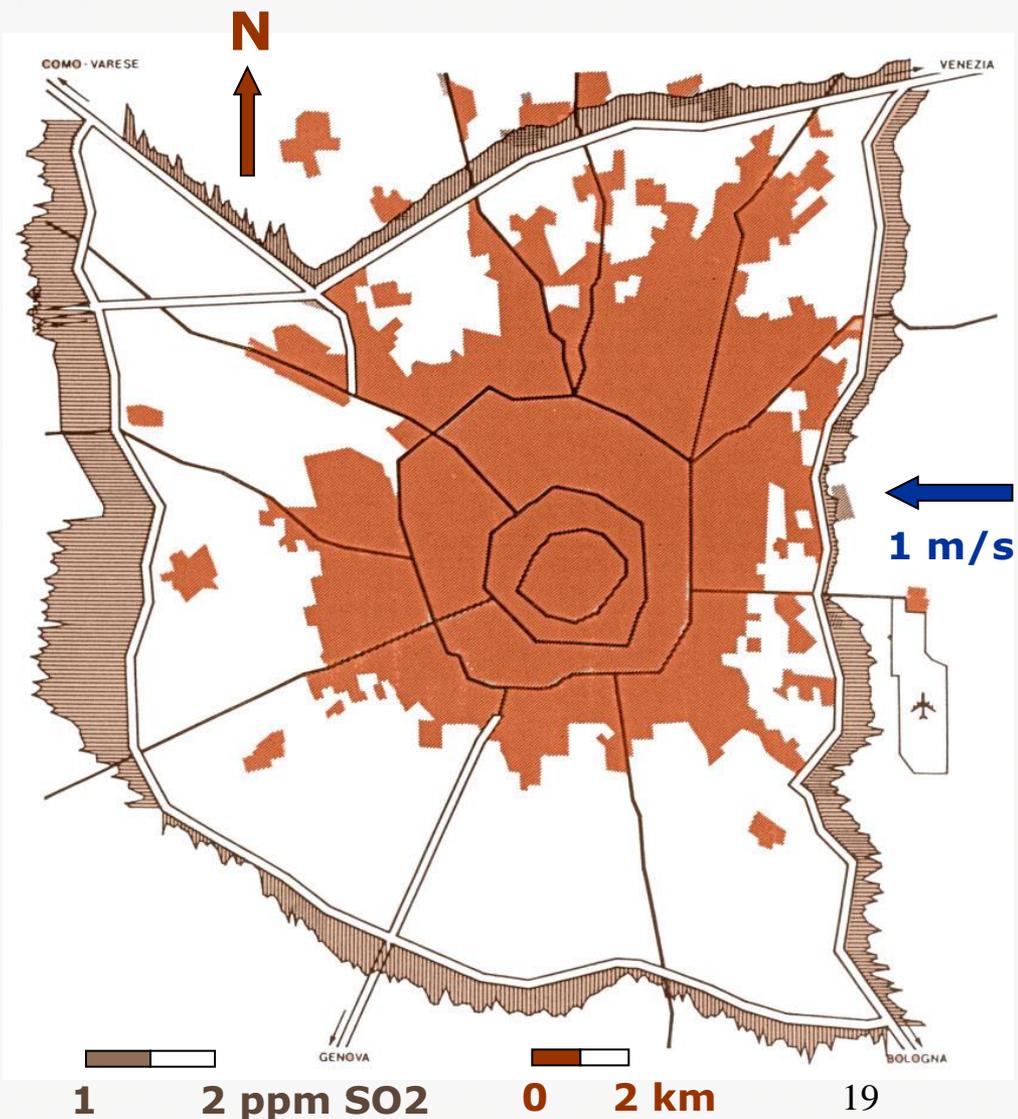
JRC Ispra

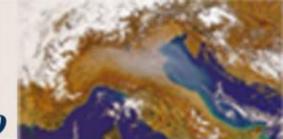
Oss. Met. Brera - MI

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 SO₂ utilizzando luce solare diffusa come sorgente luminosa.

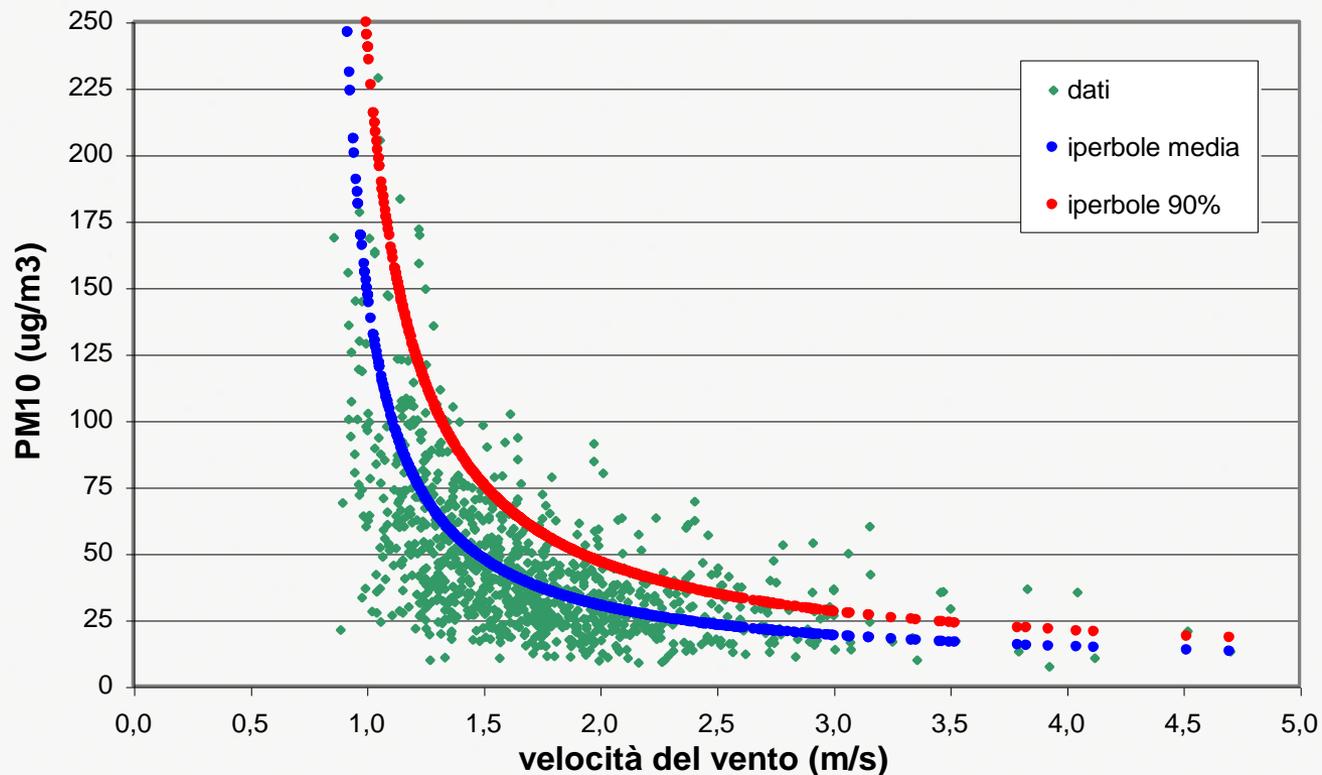
Lo schema riporta i risultati ottenuti il 14.1.1981, con un percorso della durata di circa 1 ora e 30 minuti effettuato intorno a mezzogiorno.



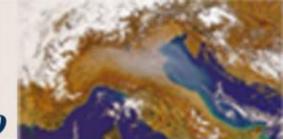


VALUTAZIONE IN AMBIENTE URBANO DELL'EVOLUZIONE DEL PM10 IN RELAZIONE ALLE CONDIZIONI METEOROLOGICHE E AI PRINCIPALI INQUINANTI

Tesi di laurea in Scienze Ambientali di Alessandro Mauro



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

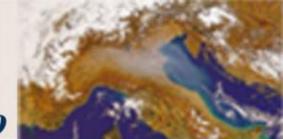


Modello del vento

$$u_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{con } z_0 \text{ "roughness length"}$$

$$u_z = \frac{u_*}{k} \left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \Psi\left(\frac{z}{L}\right) \right] \quad \text{con } L = \frac{T_0}{kg\theta_*} u_*^2$$

Il problema è la determinazione di z_0 in ambito urbano



Calcolo di z_0 per un'area edificata di assegnata estensione

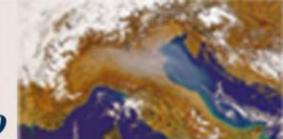
$$z_0 = \frac{h_{media}}{2 \cdot A} \quad (\text{Lettau, 1970})$$

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

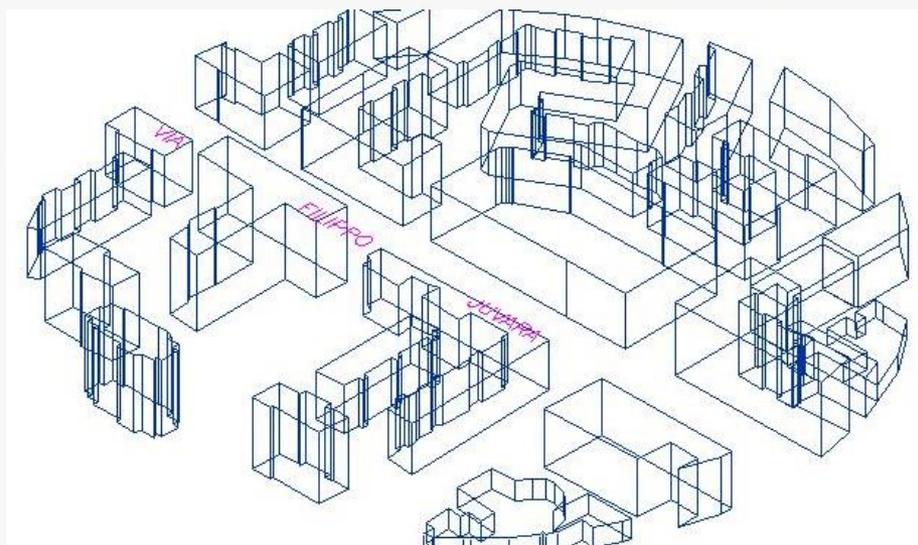


OMD



Area d'indagine di Via Juvara

Assonometria
dell'edificato



Sezione N-S

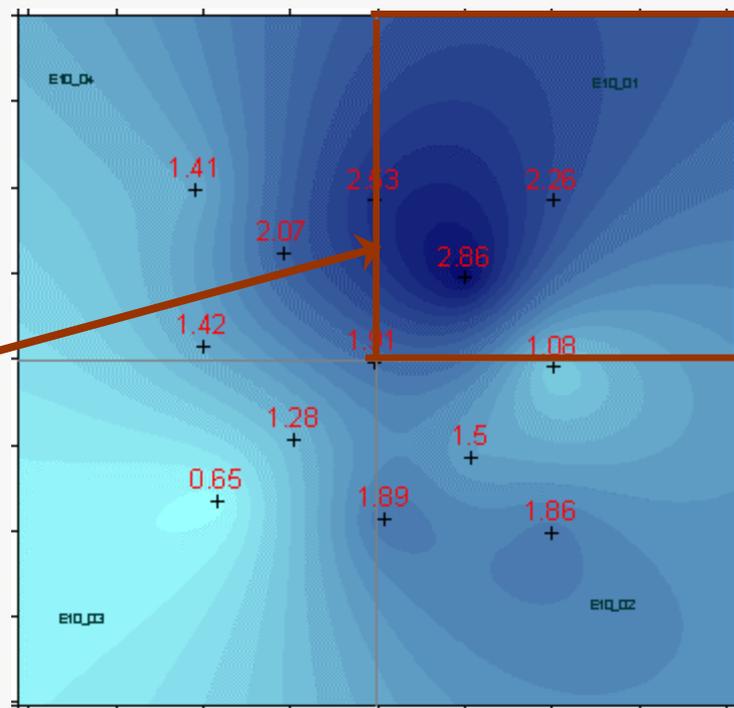
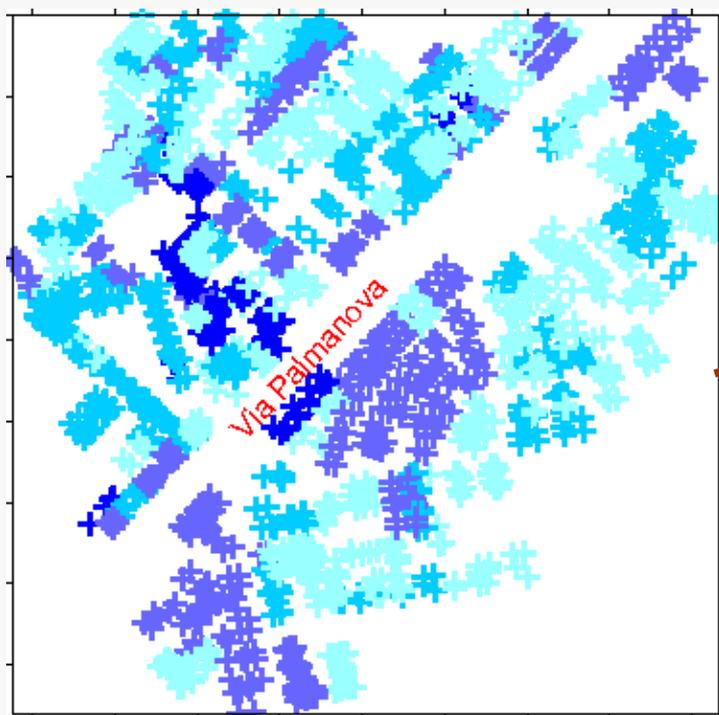




Calcolo di di Z_0 in m per venti provenienti da N o da S

Altezza degli edifici

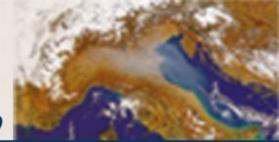
Mappatura di Z_0





OMD

Giornate di Studio sull'Ecosistema del Territorio Metropolitan di Milano



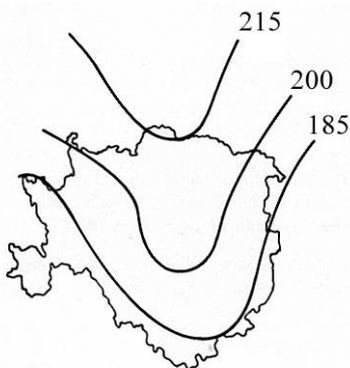
Accademia Nazionale dei Lincei - Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere - Milano, 24-25 novembre 2005

CHE ASPETTARSI DALLA PIOGGIA?

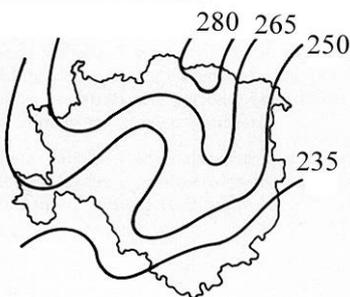




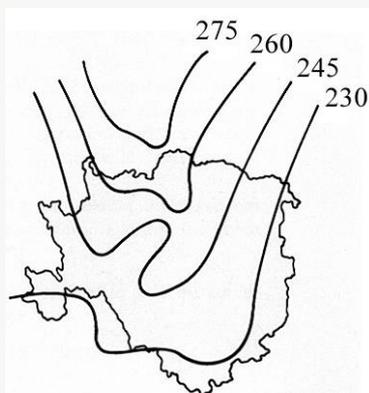
Precipitazioni medie stagionali in mm (1895-1979)



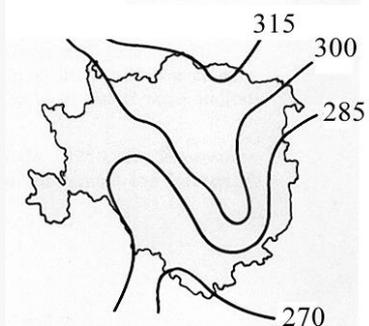
Inverno



Estate



Primavera



Autunno

Il regime pluviometrico dell'area metropolitana milanese

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



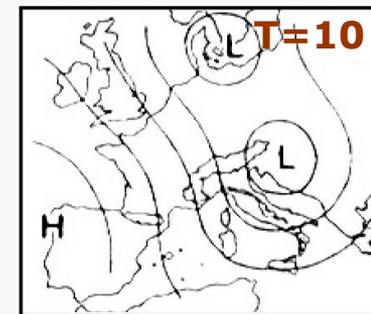
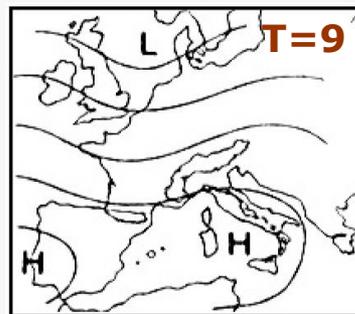
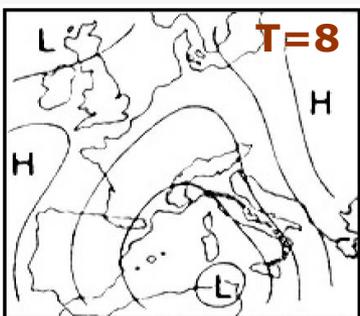
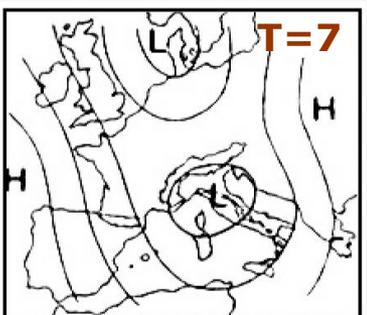
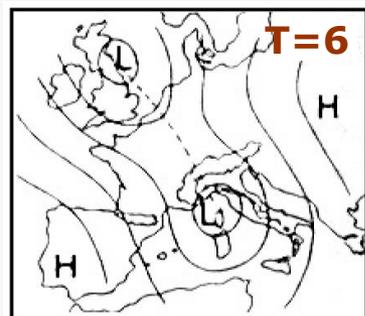
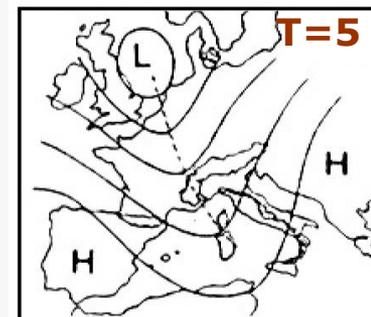
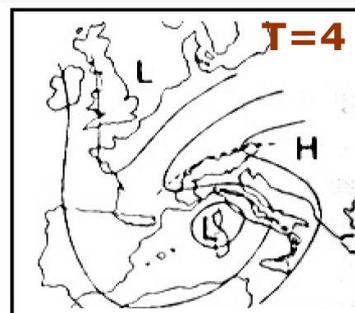
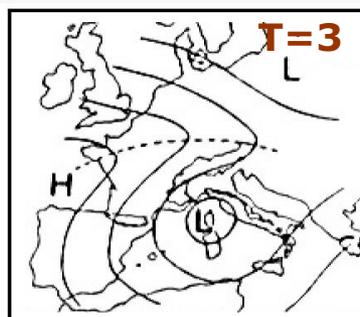
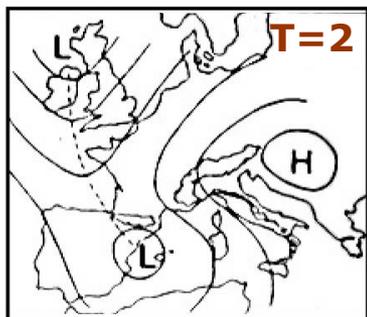
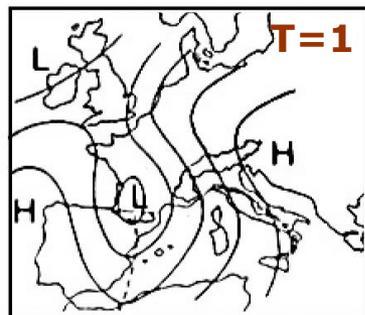
Episodi significativi di pioggia Distribuzione areale tipica a Milano

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

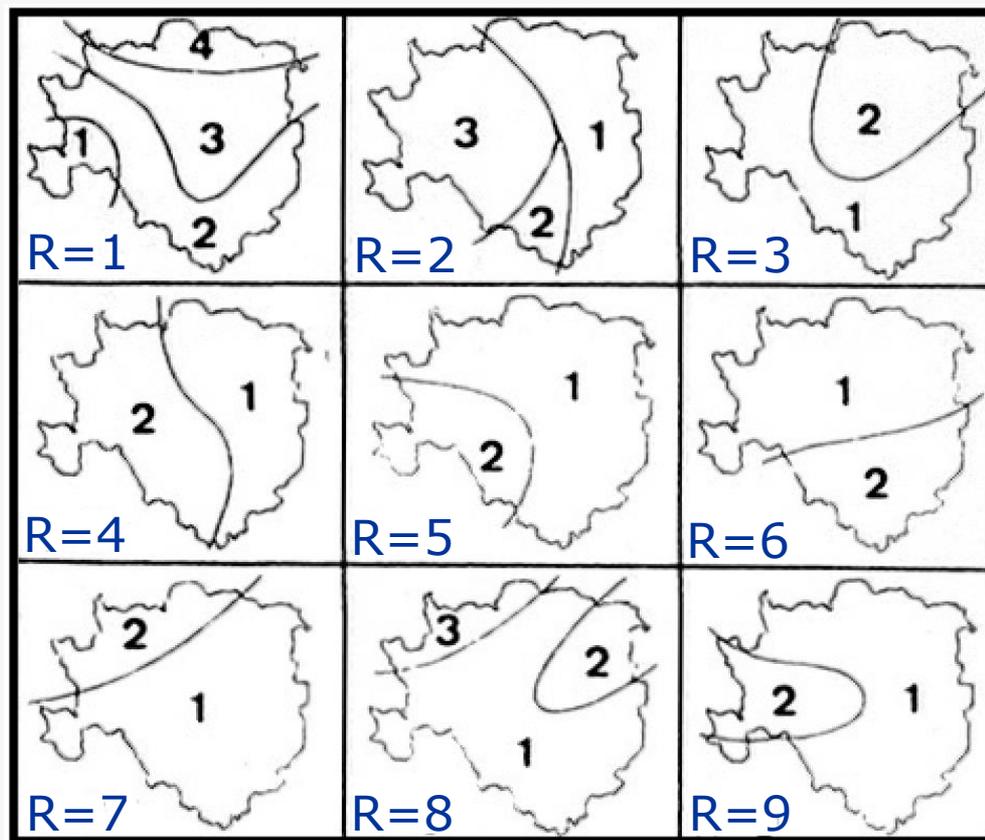


T = 1, 2, ... , 10



I principali tipi di distribuzione delle precipitazioni a Milano

$R = 1, 2, \dots, 9$

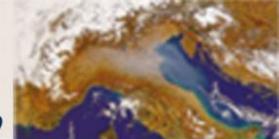


All'interno delle mappe i numeri indicano quantità crescenti di precipitazione



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)

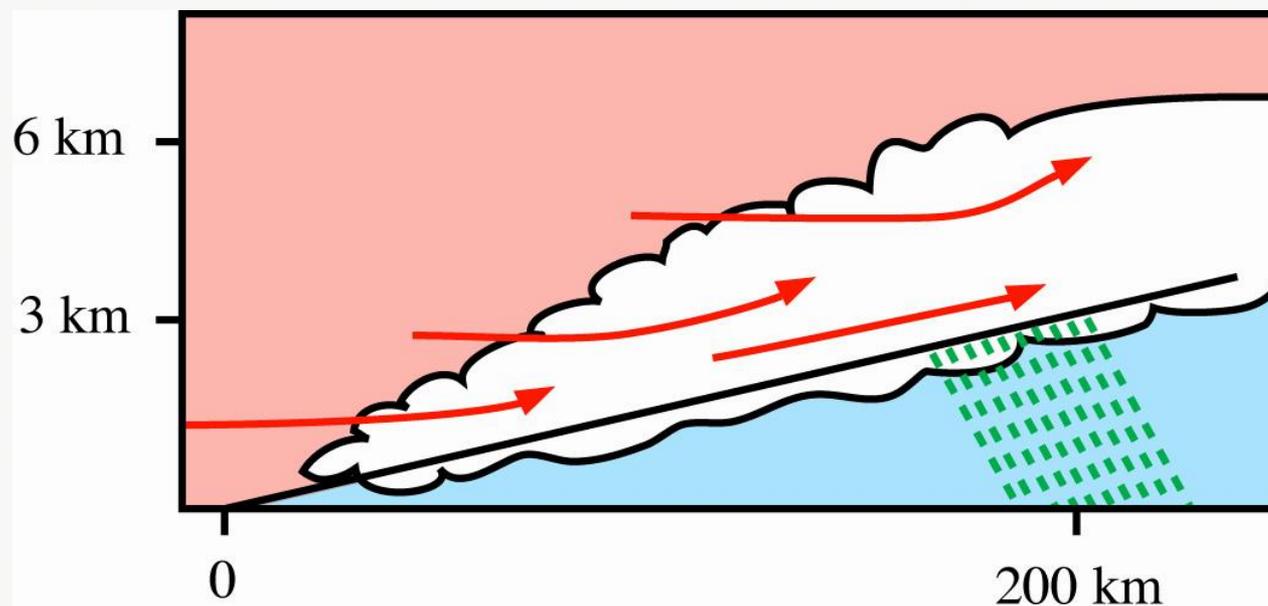
Spettrografia di massa su polveri e pioggia

Rapporti isotopici Pb206/Pb207 differenti

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



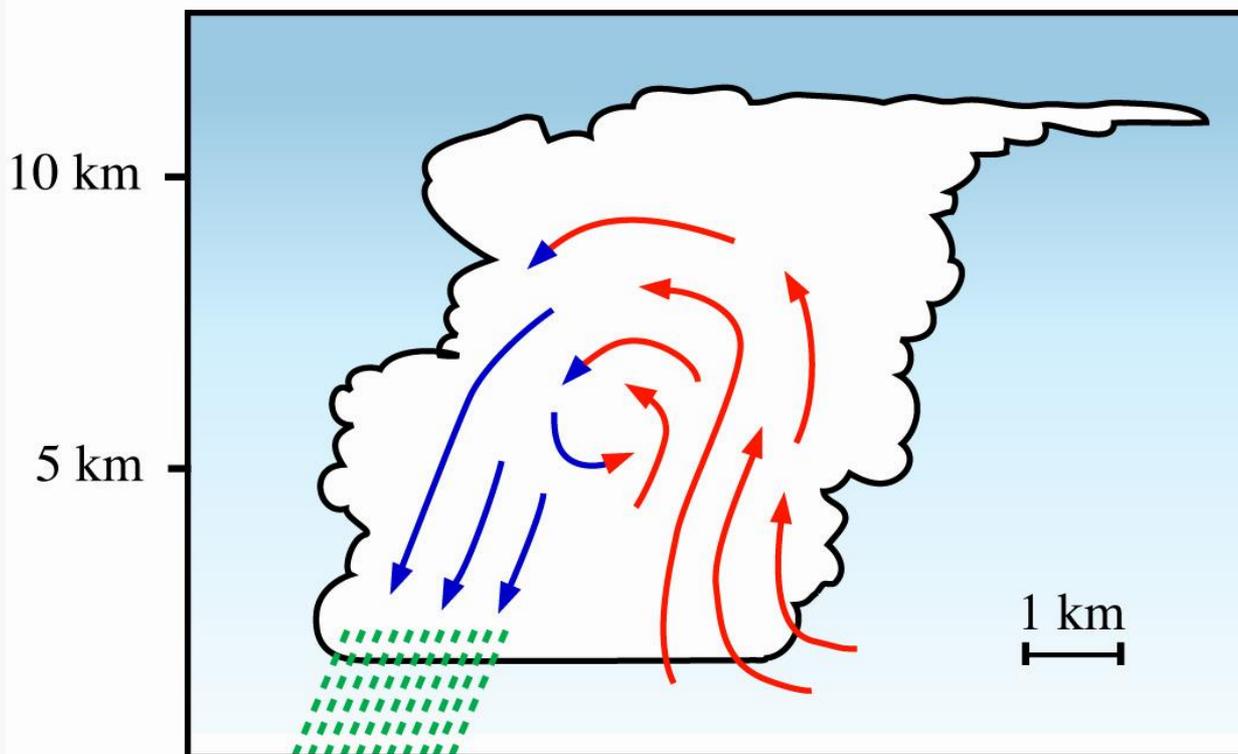
Nubi stratificate



Al suolo giunge particolato di provenienza lontana



Nubi convettive



Al suolo giunge il particolato di origine locale



Quale futuro per la meteorologia urbana a Milano?

Un modello meteorologico integrato che
coinvolga anche gli aspetti radiometrici