

INQUINAMENTO ATMOSFERICO, METEOROLOGIA E CLIMA : RECIPROCHE INTERAZIONI

*Prof. Grazia Ghermandi
Dipartimento di Ingegneria «Enzo Ferrari» , Modena*

13 novembre 2012 - Corso di Scienze Associazione Cultura e Vita

COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA TERRESTRE

L'atmosfera terrestre è costituita di **aria**, un "aerosol" nel quale particelle liquide e solide sono disperse in un miscuglio di gas.

La composizione dell'atmosfera può essere considerata costante. Essa però è un sistema dinamico, in continua interazione con biosfera, oceani, masse continentali.

I gas atmosferici presenti nell'aria sono prodotti di attività biologiche, esalazioni vulcaniche, spray marino, attività umane e inoltre subiscono modificazioni e reazioni chimiche che si innescano in atmosfera. Fenomeni chimici e fisici di deposizione possono rimuovere i gas dall'atmosfera.

Le sostanze inquinanti immesse direttamente in atmosfera (inquinanti primari) possono subire anch'esse modificazioni e/o reazioni chimico-fisiche, con altre sostanze e/o con l'ossigeno atmosferico, anche con il contributo dell'energia solare; questi processi possono determinare la formazione di altri inquinanti (inquinanti secondari).

COMPOSIZIONE DELL'ATMOSFERA: AL SUOLO		
Gas	Formula o simbolo	% in volume
Azoto	N ₂	78,884
Ossigeno	O ₂	20,947
Argo	Ar	0,934
Vapore acqueo	H ₂ O	0,33
Ossido di carbonio	CO ₂	0,032
Neon	Ne	0,00181
Elio	He	0,0005
Metano	CH ₄	0,0002
Idrogeno	H	0,00005
Criptone	Kr	0,000011
Xeno	Xe	0,000008
Ozono	O ₃	0,00004
Ossidi di azoto	NO NO ₂ N ₂ O	Tracce
Monossido di carbonio	CO	Tracce
Ammoniaca	NH ₃	Tracce
Biossido di zolfo	SO ₂	Tracce
Solfuro di idrogeno	H ₂ S	Tracce

INQUINAMENTO ATMOSFERICO, DEFINIZIONI NORMATIVE

“stato di qualità dell’aria atmosferica conseguente all’immissione nella stessa di sostanze di qualsiasi natura in misura e condizioni tali da alterarne la salubrità e da costituire pregiudizio diretto o indiretto per la salute dei cittadini o danno ai beni pubblici e/o privati”.

[Articolo 2 del D.P.R. n°203 del 24 maggio 1988]

“ogni modificazione dell’aria atmosferica, dovuta all’ introduzione nella stessa di una o più sostanze in quantità e con caratteristiche tali da ledere o da costituire pericolo per la salute umana o per la qualità dell’ambiente oppure tali da ledere i beni materiali o compromettere gli usi legittimi dell’ambiente”.

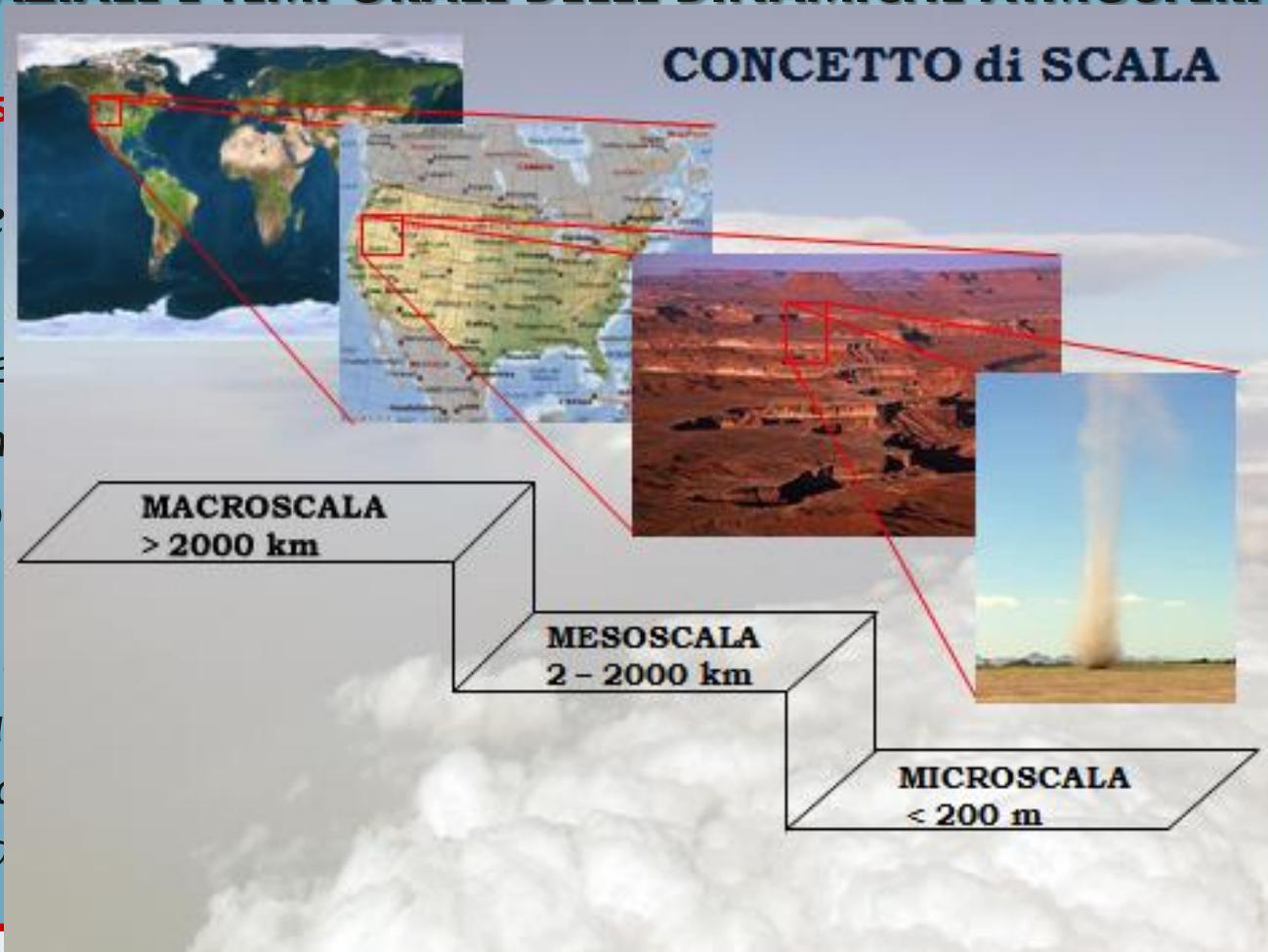
[Titolo I dell’Art. 268 del D.Lgs. 152/2006]

SCALA SPAZIALE E TEMPORALE DELLE DINAMICHE ATMOSFERICHE

Le **scale** s

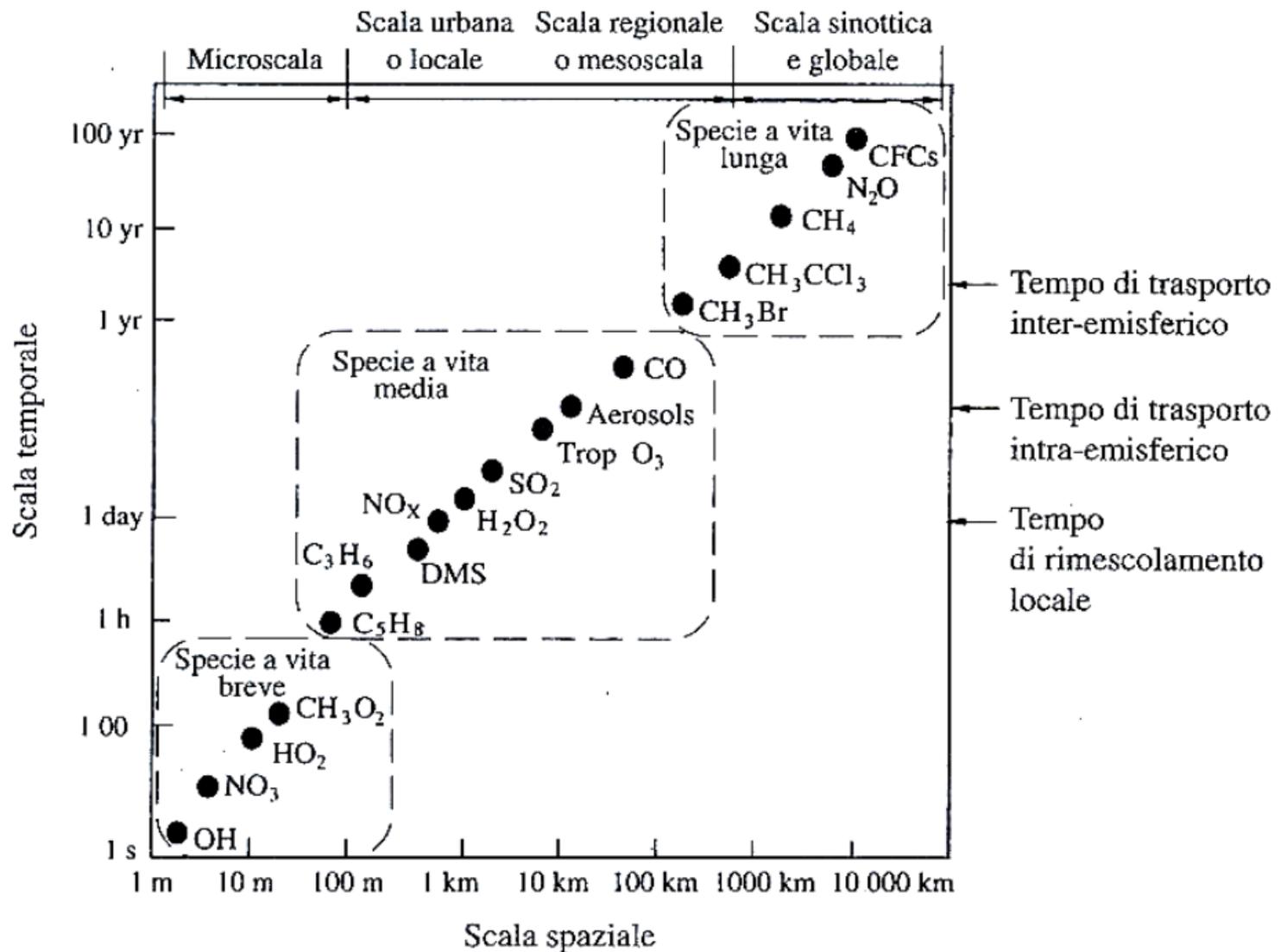
poche de
10 -15 km
da alcune
da centin
oltre 500

Si definis
molecola
fisici o tra
di second



**LE SOSTANZE CON
PROCESSI DI TRASP
STABILI SONO CO**

Hydrogen chloride (HCl)
Hydrogen sulfide (H₂S)
Hydrogen peroxide (H₂O₂)
Dimethyl sulfide (CH₃SCH₃)



Variabilità spaziale e temporale degli inquinanti in atmosfera

SCALE SPAZIALI DI FENOMENI DI INQUINAMENTO

Processo	scala (km)
inquinamento urbano	1-100
inquinamento regionale	10-1 000
deposizione e piogge acide	100-2 000
inquinanti tossici	0.1-100
assottigliamento dell'ozono stratosferico	1 000-40 000
incremento dei gas serra	1 000-40 000
interazioni aerosol-clima	100-40 000
trasporto troposferico e processi di ossidazione	1-40 000
interazione stratosfera-troposfera	0.1-100
trasporto stratosferico e processi di ossidazione	1-40 000

Gas in atmosfera e scale spaziali interessate

*Fenomeni
transfrontalieri*

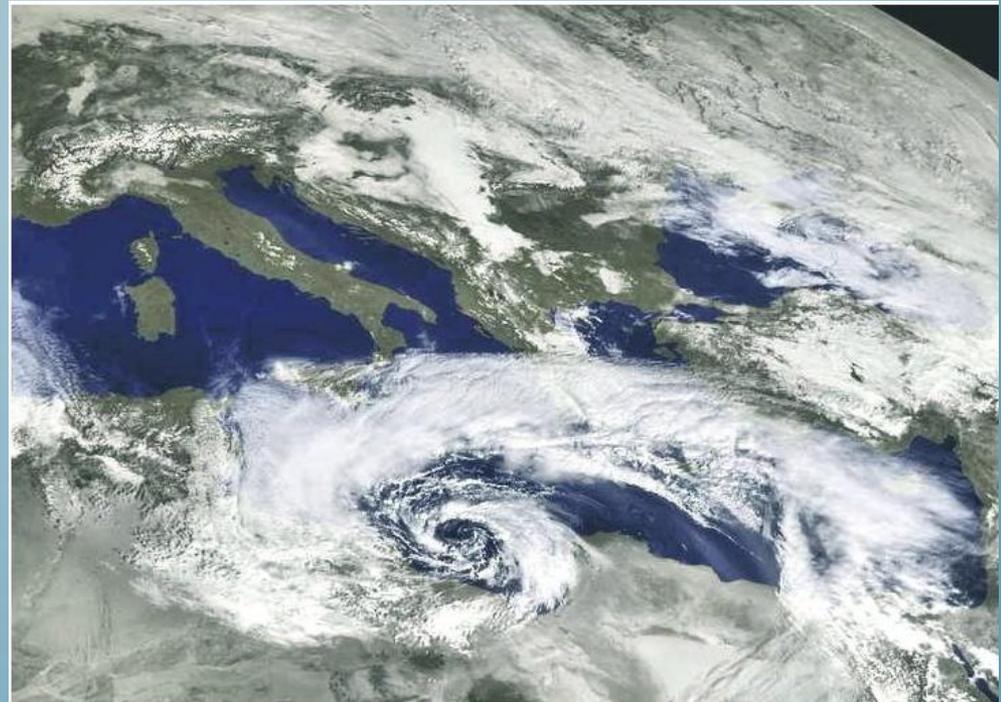
*Fenomeni
a Scala
Globale*

SCALE SPAZIALI DEI FENOMENI ATMOSFERICI

La dinamica del sistema oceano-atmosfera è sostanzialmente guidata dal bilancio dell'energia ricevuta dalla radiazione solare, che alimenta il sistema climatico, e dalla rotazione terrestre .

*La circolazione atmosferica è complessa , con **venti** permanenti e periodici di origine barica e termica e **moti turbolenti** a diversa scala spazio temporale. Gli effetti i cicloni e anticicloni, fronti, brezze, uragani , temporali, trombe d'aria, sono intrinsecamente legati fra loro.*

Gli inquinanti atmosferici sono coinvolti nei moti atmosferici ad ogni scala spazio-temporale.



Vortice sul golfo della sirte visto dal satellite METEOSAT 8 il 1° febbraio 2006

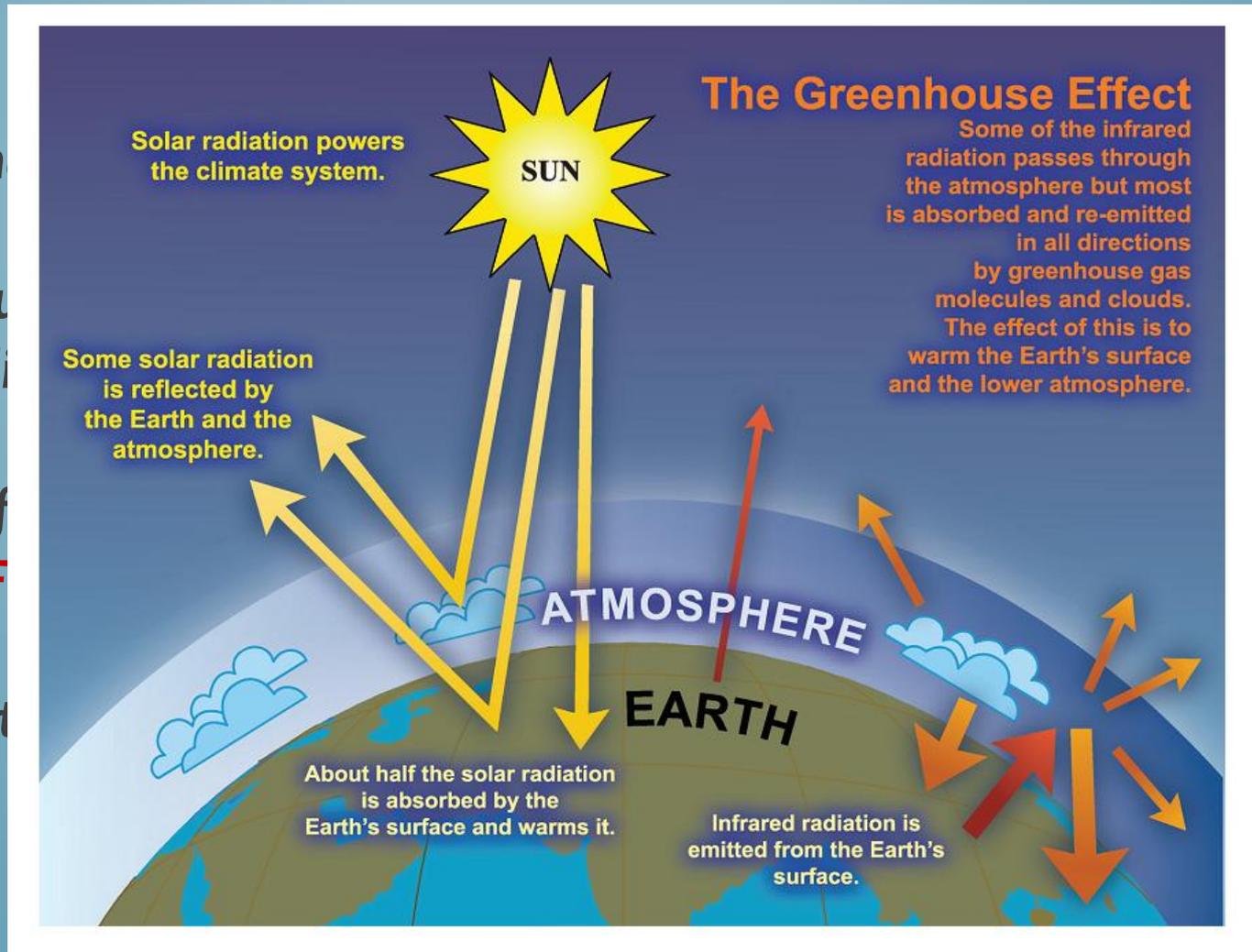
**FENOMENI DI INQUINAMENTO ANTROPICO
CHE IMPATTANO SUL CLIMA A LIVELLO
GLOBALE**

**FENOMENI METEO CLIMATICI CHE
CONDIZIONANO LA DISPERSIONE E L'IMPATTO
DI INQUINANTI A LIVELLO URBANO E LOCALE**

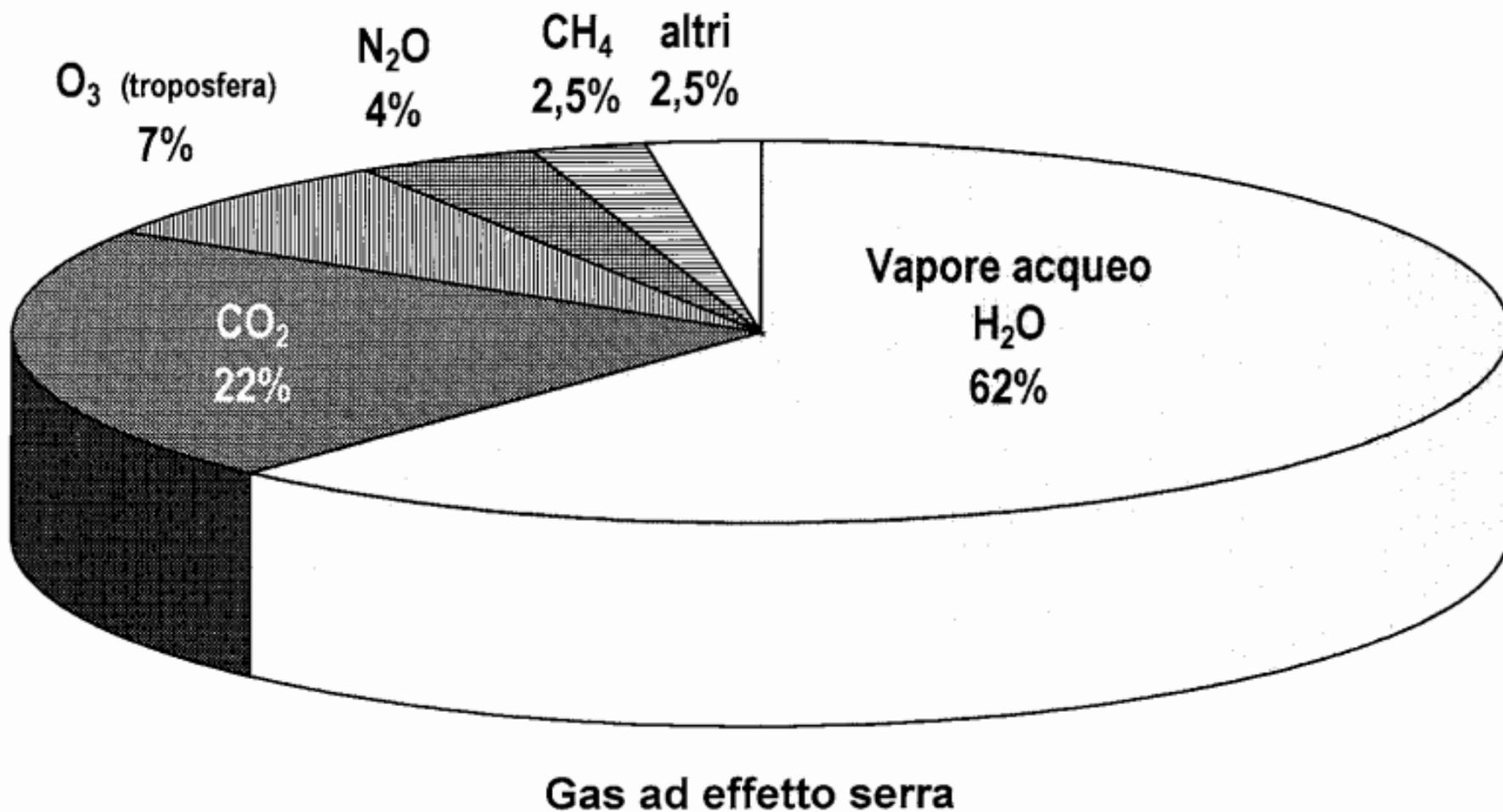
FENOMENI DI INQUINAMENTO ANTROPICO CHE IMPATTANO SUL CLIMA A LIVELLO GLOBALE : INTENSIFICAZIONE DELL'EFFETTO SERRA NATURALE

La Terra ha
di circa 15
temperatu
sarebbe di

Questa dif
chiama **EF**
è grazie a
caratterist



EFFETTO SERRA NATURALE

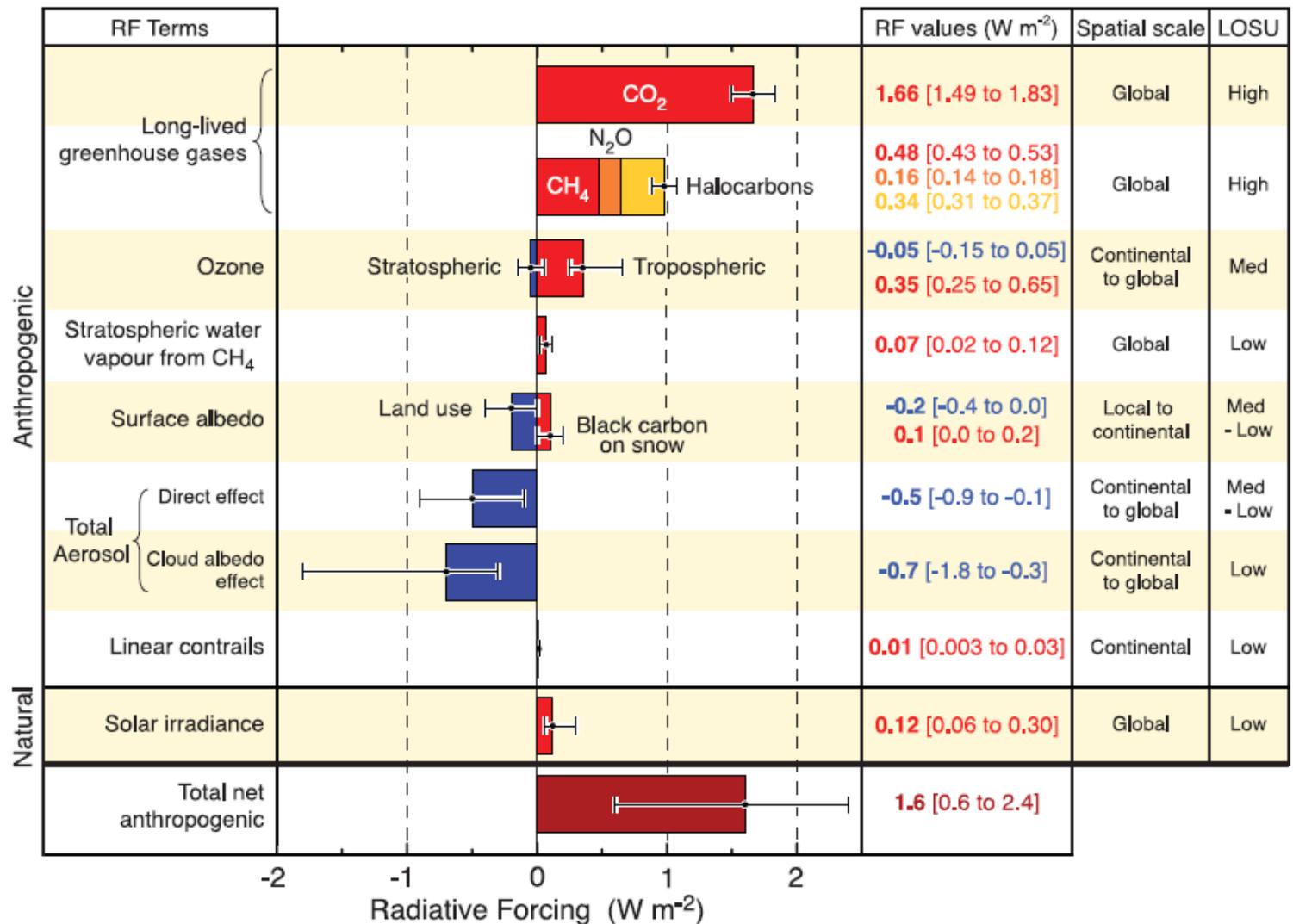


INTENSIFICAZIONE DELL'EFFETTO SERRA

Il ruolo potenziale di ogni gas nell'intensificazione dell'effetto serra può essere stimato supponendo che la concentrazione del gas serra in atmosfera venga pressoché raddoppiata.

Gas traccia	Aumento della concentrazione		Aumento della temperatura [K]
Anidride carbonica (CO ₂)	300	→ 600 ppm	2 ... 4
Ozono troposferico (O ₃)	0,03	→ 0,06 ppm	0,9
Clorofluoroidrocarburi (CFC)	0	→ 1 ppbs	0,6
Protossido di azoto (N ₂ O)	0,3	→ 0,6 ppm	0,4
Metano (CH ₄)	1,7	→ 3 ppm	0,3
Ammoniaca (NH ₃)	0	→ 1 ppb	0,09
Tetraclorocarburo (CCl ₄)	0	→ 1 ppb	0,08
Cloroformio (CHCl ₃)	0	→ 1 ppb	0,06
Tetrafluorocarburo (CF ₄)	0	→ 1 ppb	0,06
Acido nitrico (HNO ₃)	raddoppio		0,06
Metilcloruro (CH ₂ CCl ₂)	0	→ 1 ppb	0,03
Metilcloroformio (CH ₃ CCl ₃)	0	→ 1 ppb	0,02
Etilene (C ₂ H ₄)	0,2	→ 0,4 ppb	0,01
Totale (con 3 K per il CO ₂)			5,6

RADIATIVE FORCING COMPONENTS

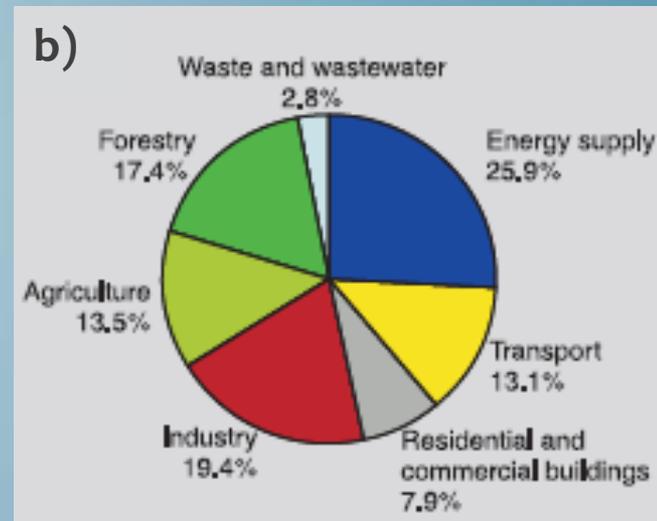
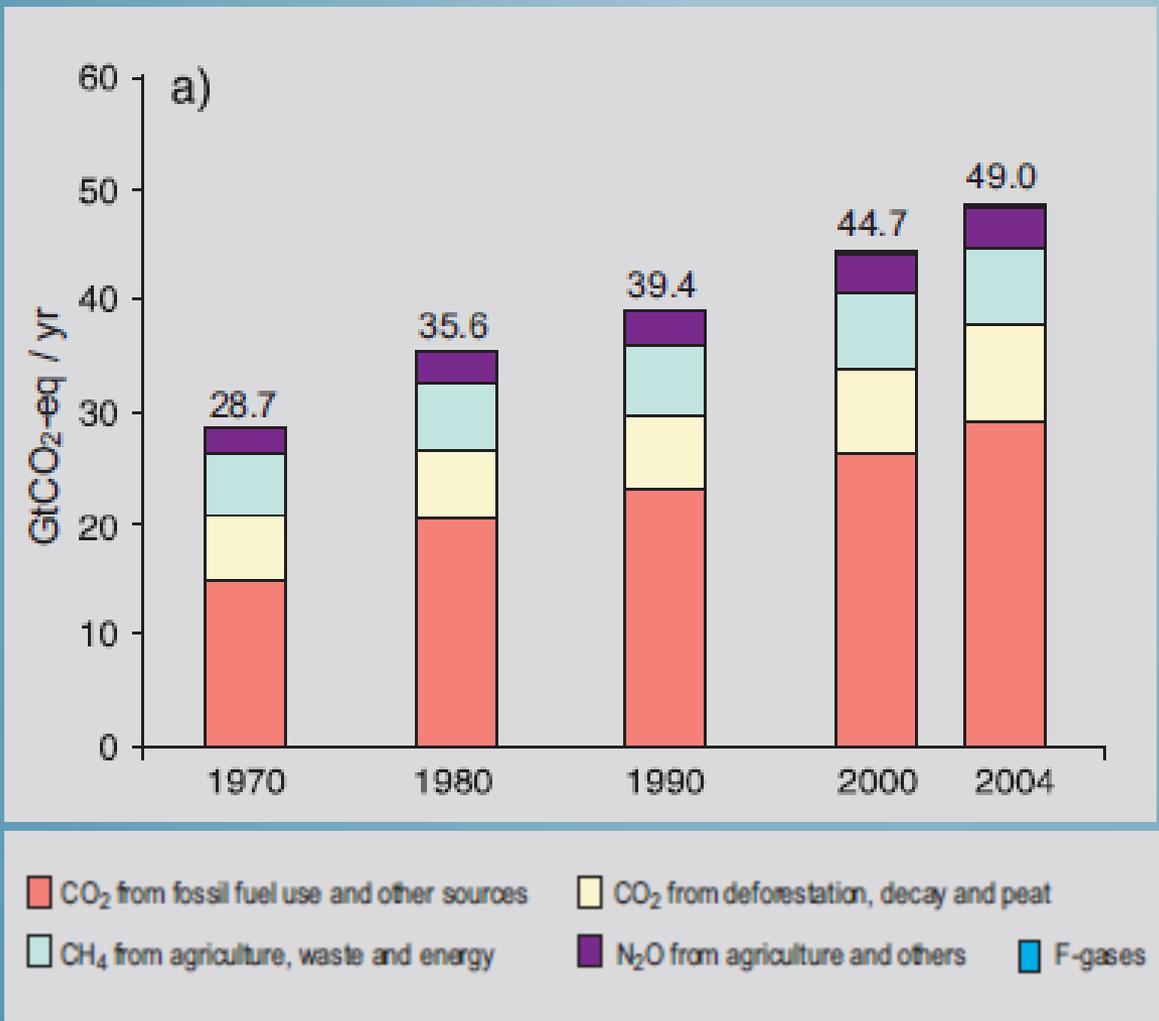


©IPCC 2007: WG1-AR4

RADIATIVE FORCING GLOBALE MEDIO (RF) E RANGE NEL 2005, SCALA SPAZIALE DEL FORCING E LIVELLO VALUTATO DI CONOSCENZA SCIENTIFICA (LOSU). IL RADIATIVE FORCING NETTO ANTROPOGENICO (E SUO RANGE) NON SI PUÒ OTTENERE PER SEMPLICE ADDIZIONE DEI COMPONENTI, PERCHÉ HANNO INCERTEZZE (BARRE) ASIMMETRICHE. FATTORI DI FORCING NON CITATI HANNO LOSU MOLTO BASSO O NATURA EPISODICA (AEROSOL VULCANICI). IL FATTORE SCIE LINEARI NON INCLUDE ALTRI EFFETTI DEL TRASPORTO AEREO SULLA NUVOLOSITÀ.

EMISSIONE ANNUA GLOBALE ANTROPOGENICA DI GAS SERRA (GHG)

1970 AL 2004 (IPCC 2007)



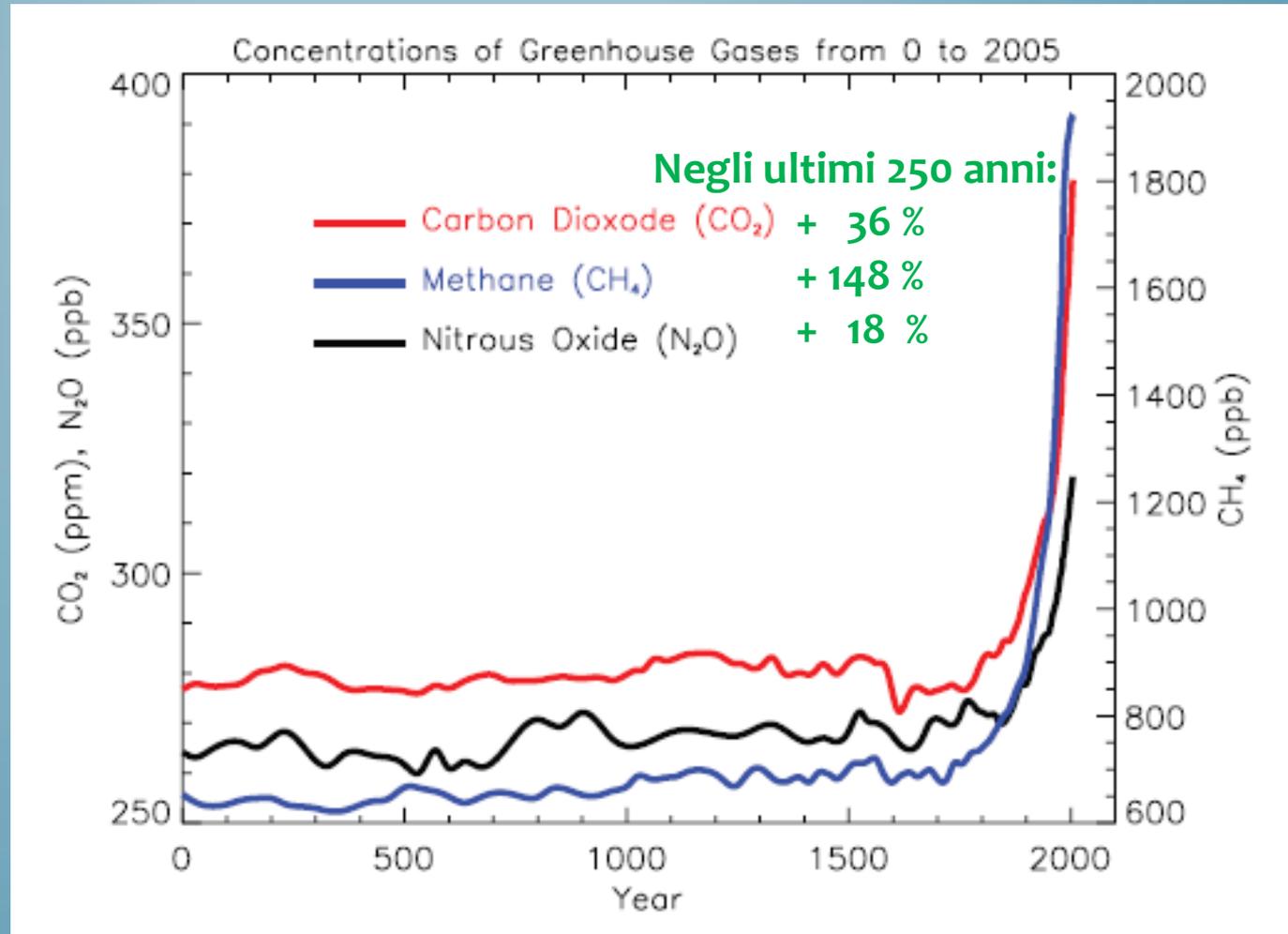
a) Emissioni globali annue di GHG antropogenici dal 1970 al 2004

b) Ruolo dei diversi settori nelle emissioni totali di GHG antropogenici nel 2004

LE ATTIVITÀ UMANE CONTRIBUISCONO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

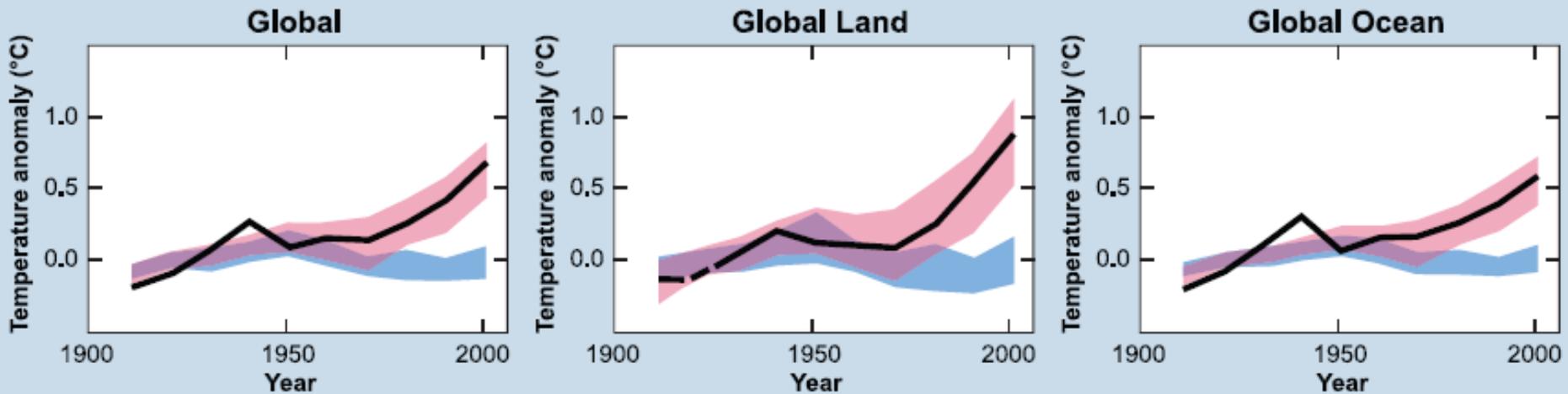
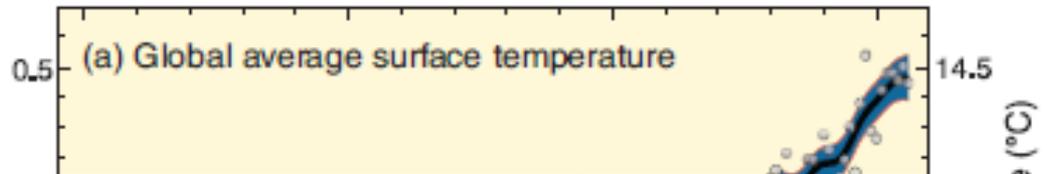
Le attività umane provocano infatti cambiamenti della concentrazione di gas serra e particolato, e della nuvolosità, nell'atmosfera terrestre.

Concentrazioni atmosferiche di importanti GHG a lunga vita nel corso degli ultimi 2000 anni. Gli aumenti dal 1750 ad ora sono attribuiti alle attività umane (uso di combustibili fossili, produzione di cemento, combustione di biomasse, agricoltura ...)



CONTRIBUTO DELLA CLIMATICI RISPETTO

Changes in temperature, sea level and Northern Hemisphere snow cover



models using only natural forcings
 models using both natural and anthropogenic forcings

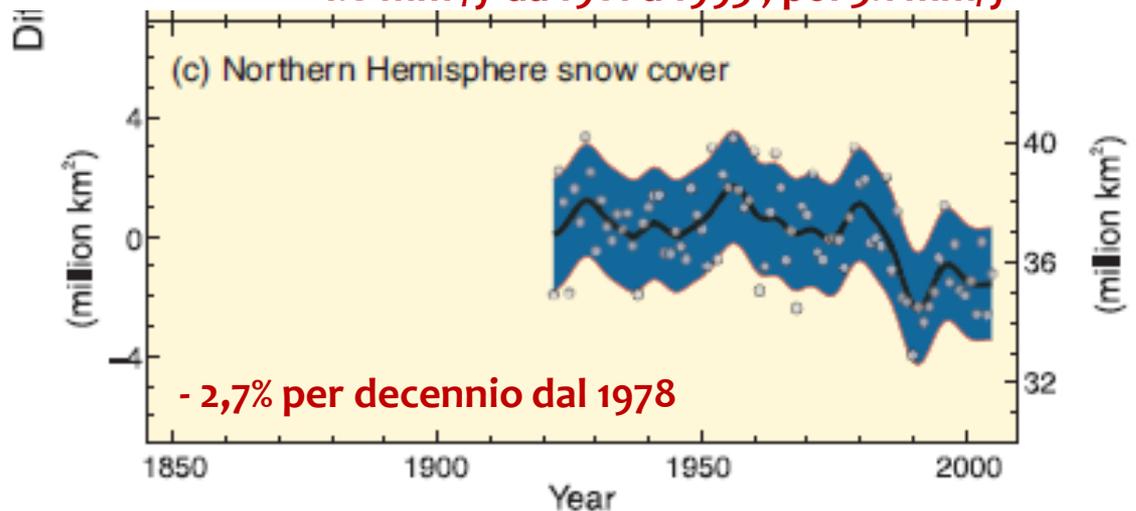
observations

**Aumento totale nel secolo : 0.76°C (0.57÷ 0.95)
 + 1.8 mm /y da 1961 a 1993 , poi 3.1 mm/y**

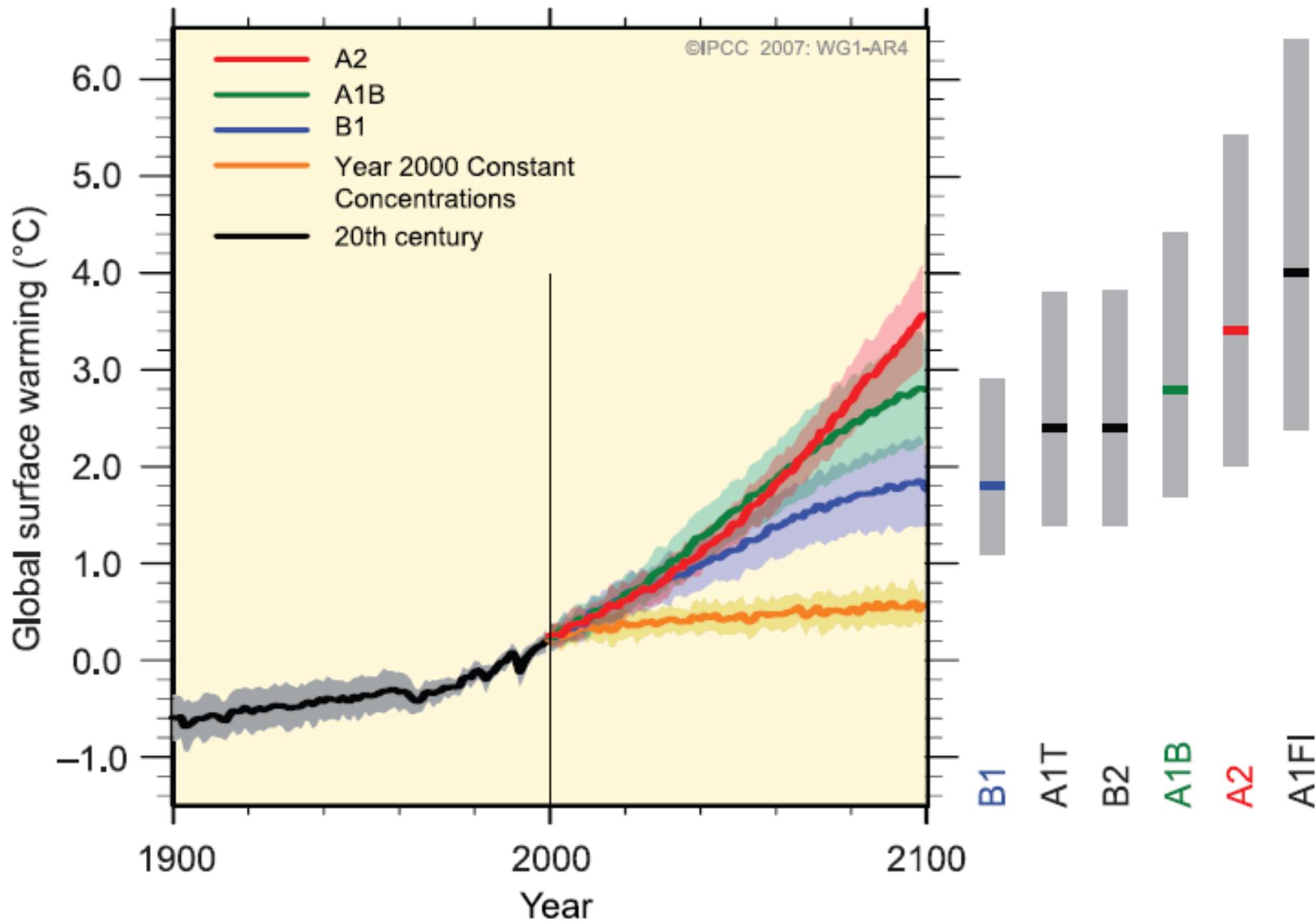
Ciò risulta evidente anche con simulazioni dell'andamento medio dal 1906 al 2005, solo il forzante naturale

(Dati IPCC , 2007)

Grazia Ghermandi - Dip. Ingegneria



MULTI-MODEL AVERAGES AND ASSESSED RANGES FOR SURFACE WARMING



OSSERVAZIONE DIRETTA DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI RECENTI

- *Allargamento e incremento di laghi glaciali*
- *Instabilità del terreno in regioni con permafrost*
- *Valanghe di tipo roccioso nelle regioni montuose*
- *Aumento del ruscellamento*
- *Riscaldamento di laghi e fiumi*
- *Cambiamento nell'abbondanza di specie acquatiche (pesci, plancton e alghe)*
- *Anticipo degli eventi primaverili*
- *Effetti sulla salute umana*

**Impatto
nel XXI
secolo**

Ondate di calore e precipitazioni intense più frequenti

Riscaldamento maggiore delle terre anche a latitudini più settentrionali

Diminuzione della copertura nevosa e dei ghiacci marini

Rallentamento della MOC (meridional overturning circulation), circolazione superficiale e profonda che comprende tutti gli oceani.

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED EVENTI METEOCLIMATICI ESTREMI

Un cambiamento climatico determina cambiamenti nella frequenza, intensità, estensione territoriale, durata e tempi di eventi meteorologici e climatici estremi , che possono produrre condizioni senza precedenti .

Modifiche di eventi estremi possono essere collegati a cambiamenti di valor medio, varianza, o forma di distribuzioni di probabilità di una grandezza o tutti di questi insieme. Alcuni eventi climatici estremi (ad esempio la siccità) possono essere il risultato di un accumulo di eventi meteorologici o climatici che non sono “estremi “ quando considerati singolarmente.

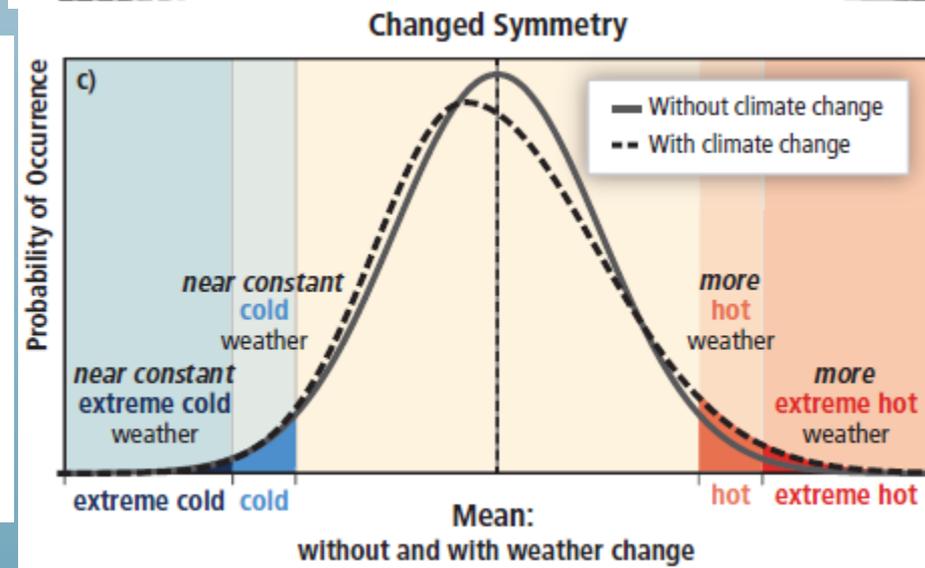
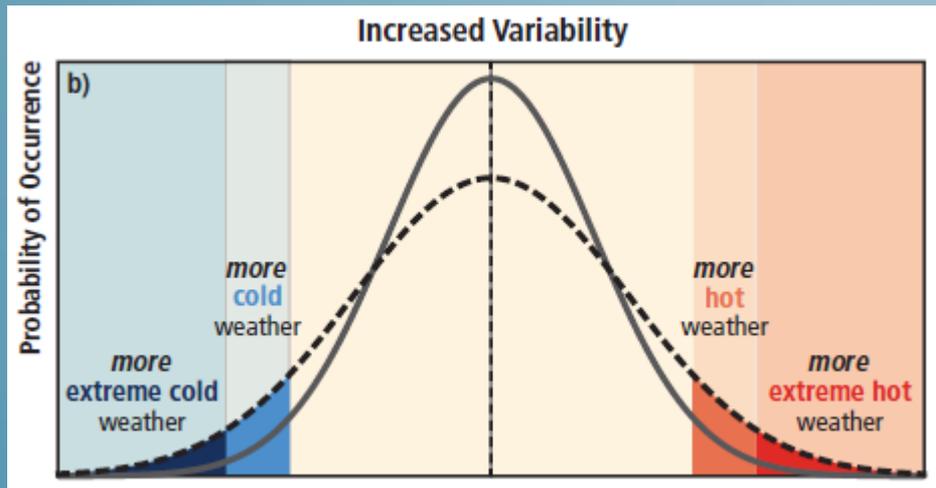
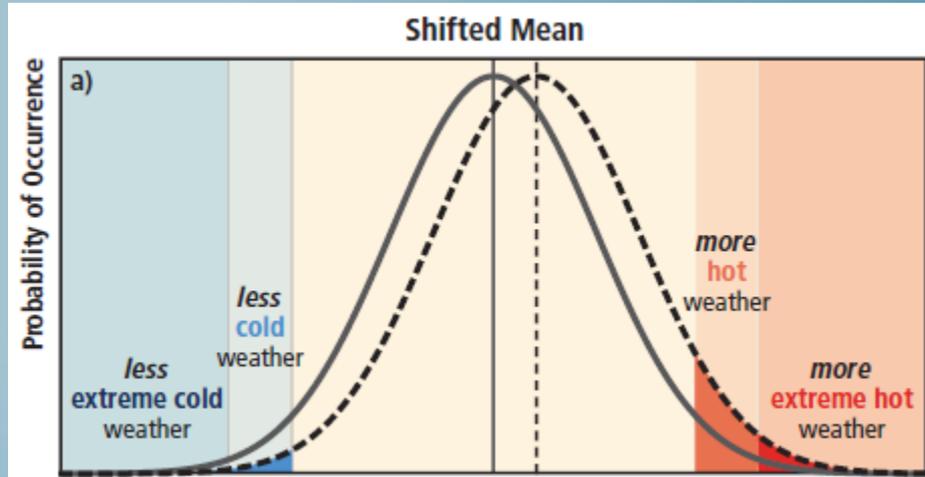
Molti eventi meteorologici e climatici estremi continueranno ad essere il risultato della variabilità naturale del clima, che sarà un fattore importante, in aggiunta all'effetto dei cambiamenti climatici antropogenici, nel determinare in futuro eventi estremi .

L'impatto di eventi climatici estremi e la possibilità di produrre effetti disastrosi dipende sia dagli eventi stessi che dalla esposizione e vulnerabilità dei sistemi umani e naturali.

Cambiamenti climatici di origine antropica e naturale variabilità del clima influenzano entrambi i cambiamenti di esposizione e vulnerabilità.

EFFETTO DELLA VARIAZIONE DI TEMPERATURA SUL POSSIBILE VERIFICARSI DI VALORI ESTREMI

- a) *Semplice shift dell'intera distribuzione verso un clima più caldo*
- b) *Aumenta la variabilità della temperatura, ma non il valor medio*
- c) *Cambia la forma della distribuzione: la simmetria si altera verso la parte più calda*



IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*

RICONSIDERAZIONE DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI (NIPCC, 2011)

IPCC : La maggior parte dell'aumento osservato delle temperature medie globali a partire dalla metà del XX secolo è molto probabilmente dovuta all'aur

NIPCC

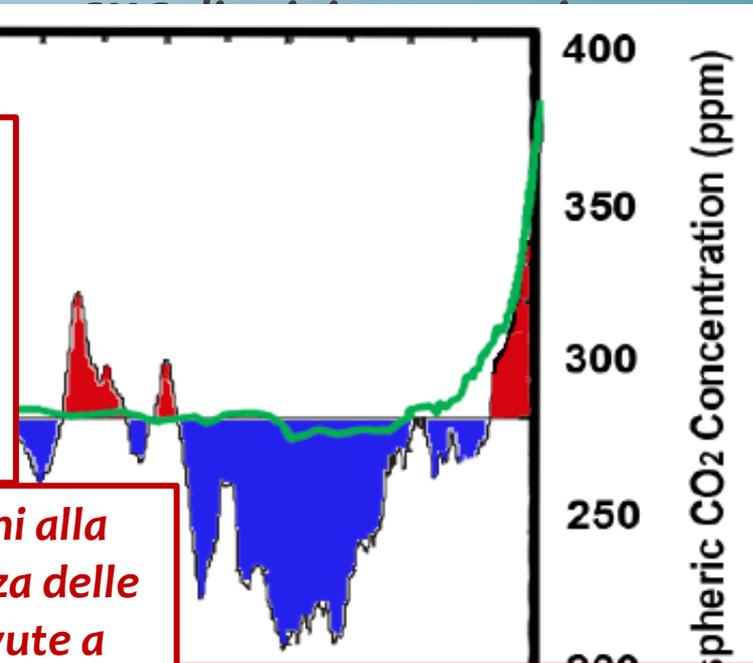
Eventi estremi e distruttivi sarebbero stati più frequenti e gravi durante la Piccola Età Glaciale che in seguito.

Frequenza e gravità di inondazioni, siccità, uragani sarebbero correlati più a processi naturali che al cambiamento climatico di origine antropica.

Il riscaldamento globale porta più benefici che danni alla salute umana, perché riduce la prevalente incidenza delle patologie legate a climi freddi rispetto a quelle dovute a clima caldo.

La ricerca IPCC sottovaluta le capacità di adattamento della società, che fra 100 anni saprà adeguarsi molto meglio di oggi ai cambiamenti climatici.

Beneficiare dell'aumento di temperatura e di CO₂ atmosferica (maggiori raccolti).



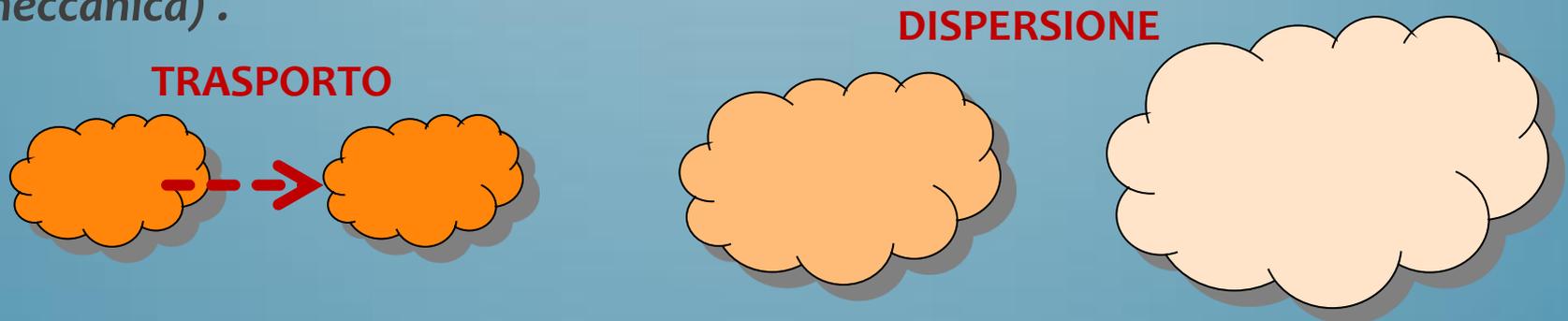
mare e lo scioglimento di ghiacci non seguirebbero una riduzione di CO₂ in atmosfera. I benefici nell'andamento delle temperature sarebbero attribuibili a crescenti livelli di CO₂.

FENOMENI METEOCLIMATICI CHE INTERAGISCONO CON L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO : SCALA URBANA - LOCALE

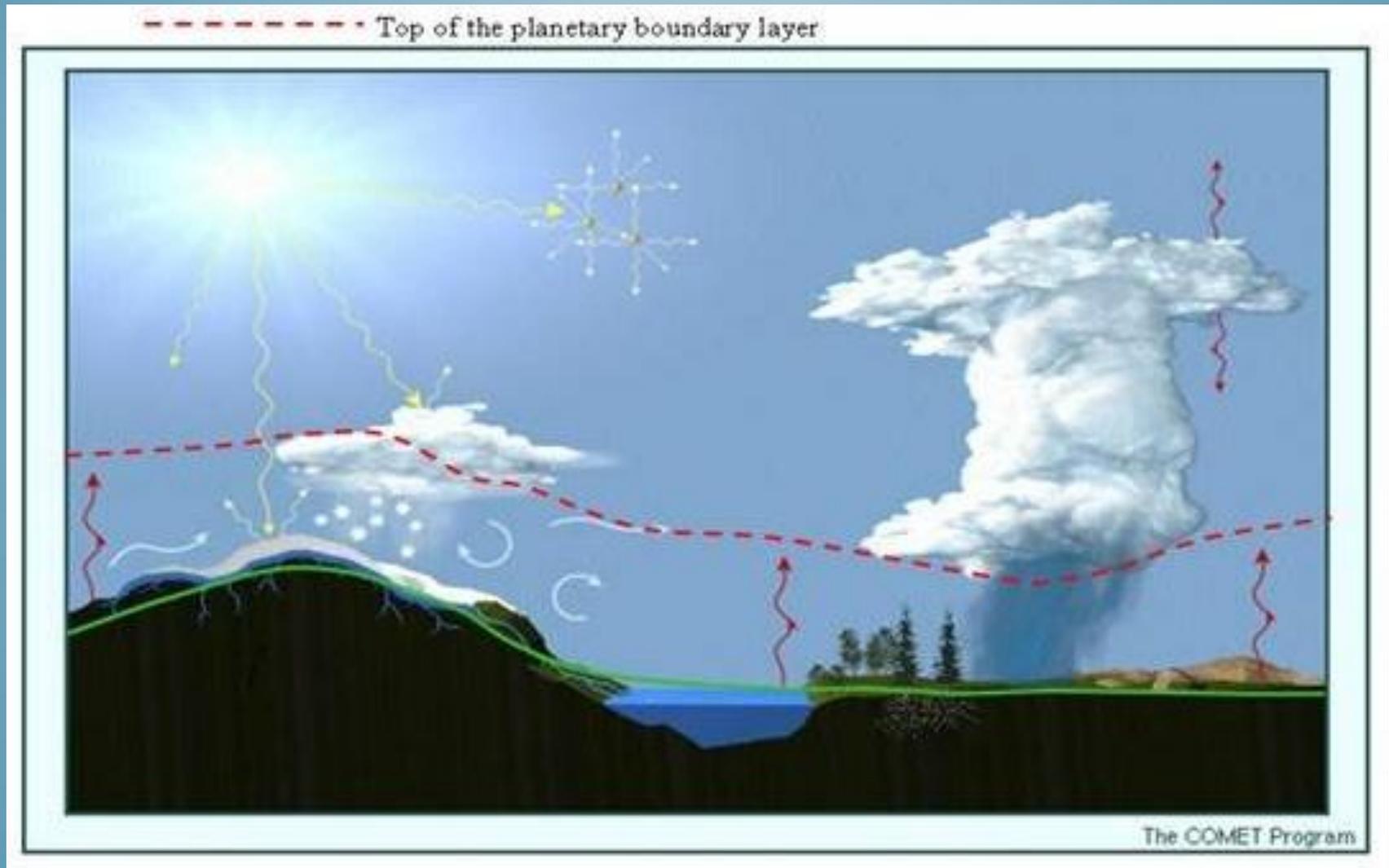
Il moto dell'aria è sempre vario: la rilevazione della velocità del vento con un anemometro mostra che in ogni punto la situazione cambia nel tempo, sia per evoluzione delle condizioni meteorologiche che per la "turbolenza" atmosferica, che determina continue variazioni della velocità locale del vento.

Il vento è responsabile del trasporto, cioè del trasferimento di sostanze da un luogo a un altro in atmosfera, la turbolenza provoca invece la dispersione laterale e verticale delle sostanze, generalmente su un più grande volume di aria.

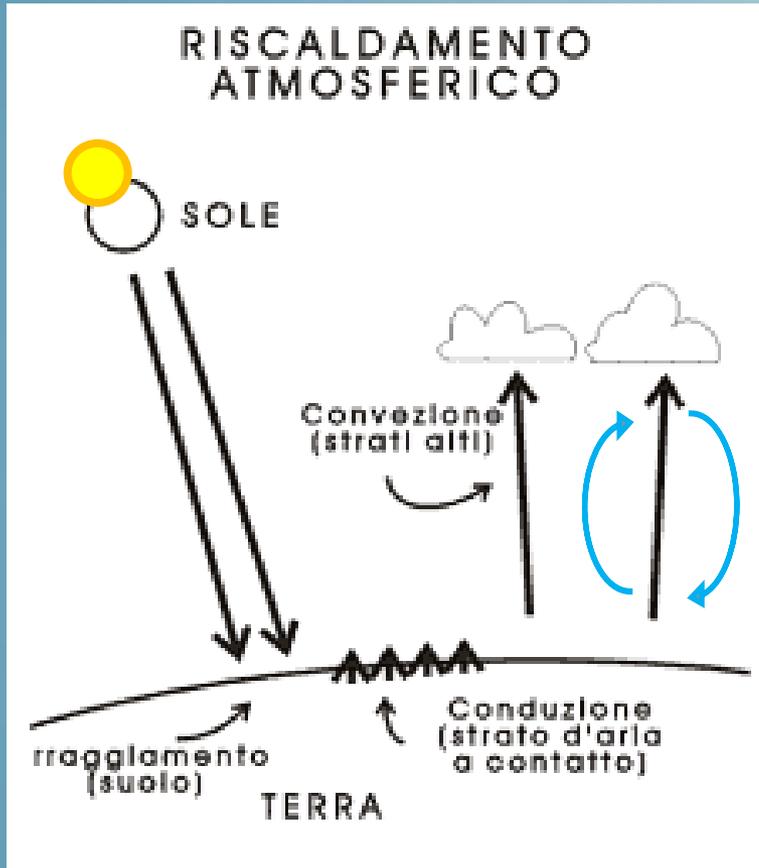
La turbolenza atmosferica è causata da variazioni di densità dell'aria (turbolenza termica), da variazioni del profilo della velocità (turbolenza meccanica) .



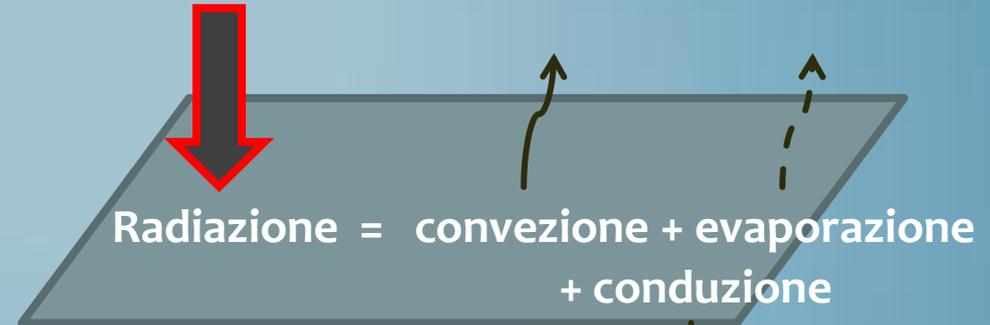
LO STRATO LIMITE PLANETARIO



BILANCIO ENERGETICO ALLA SUPERFICIE TERRESTRE



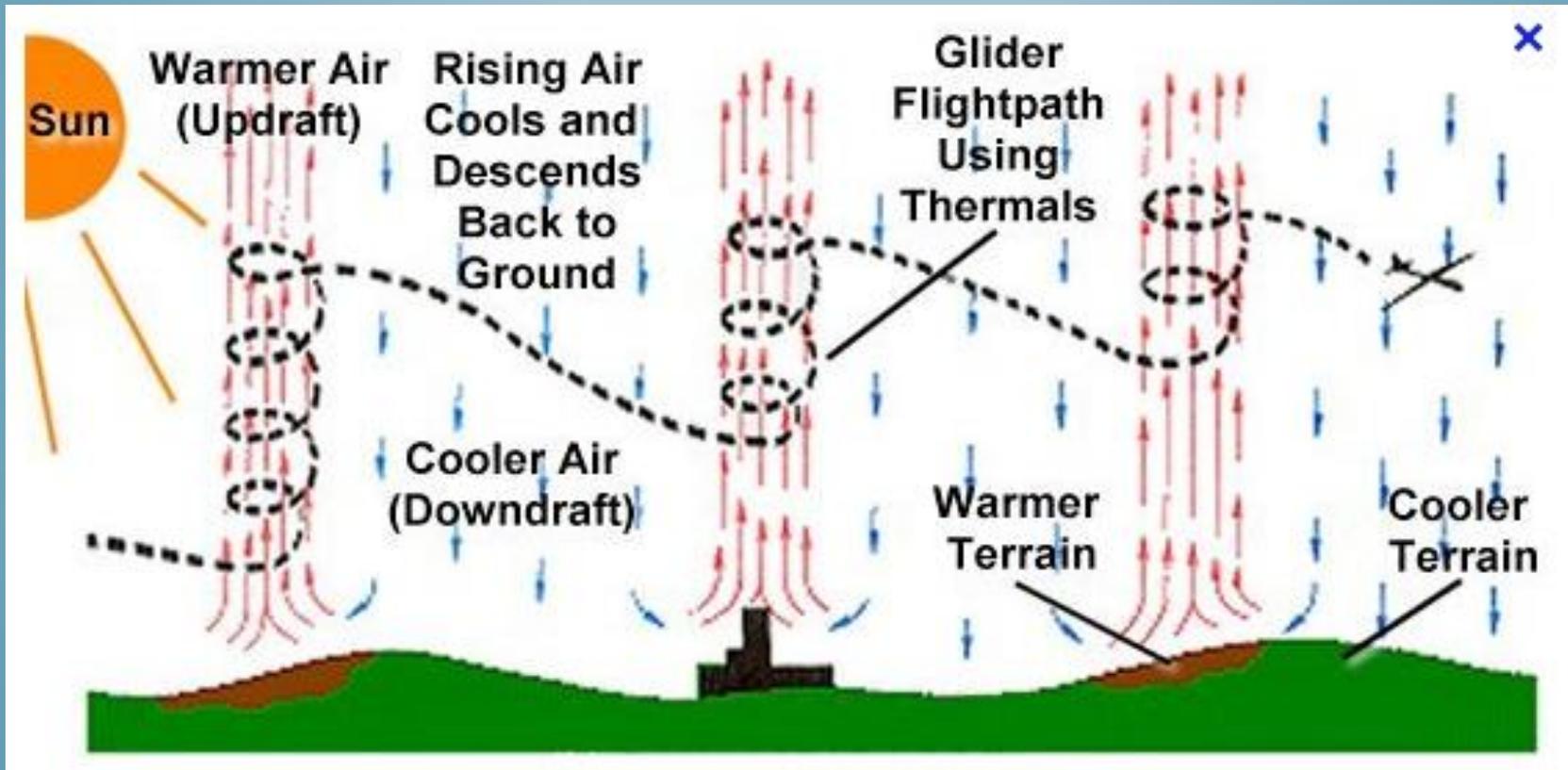
GIORNO



NOTTE



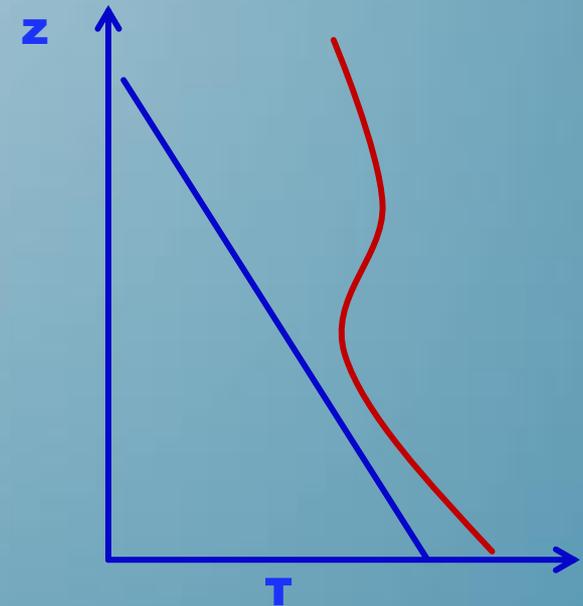
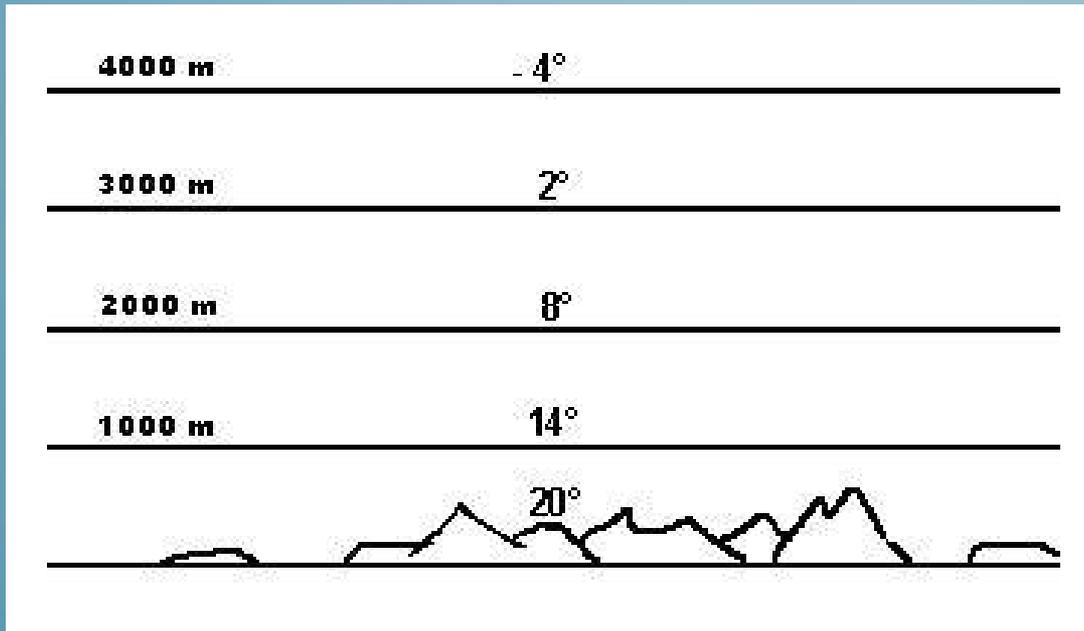
MOTO TURBOLENTO DELL'ARIA E CORRENTI TERMICHE NELLO SLP



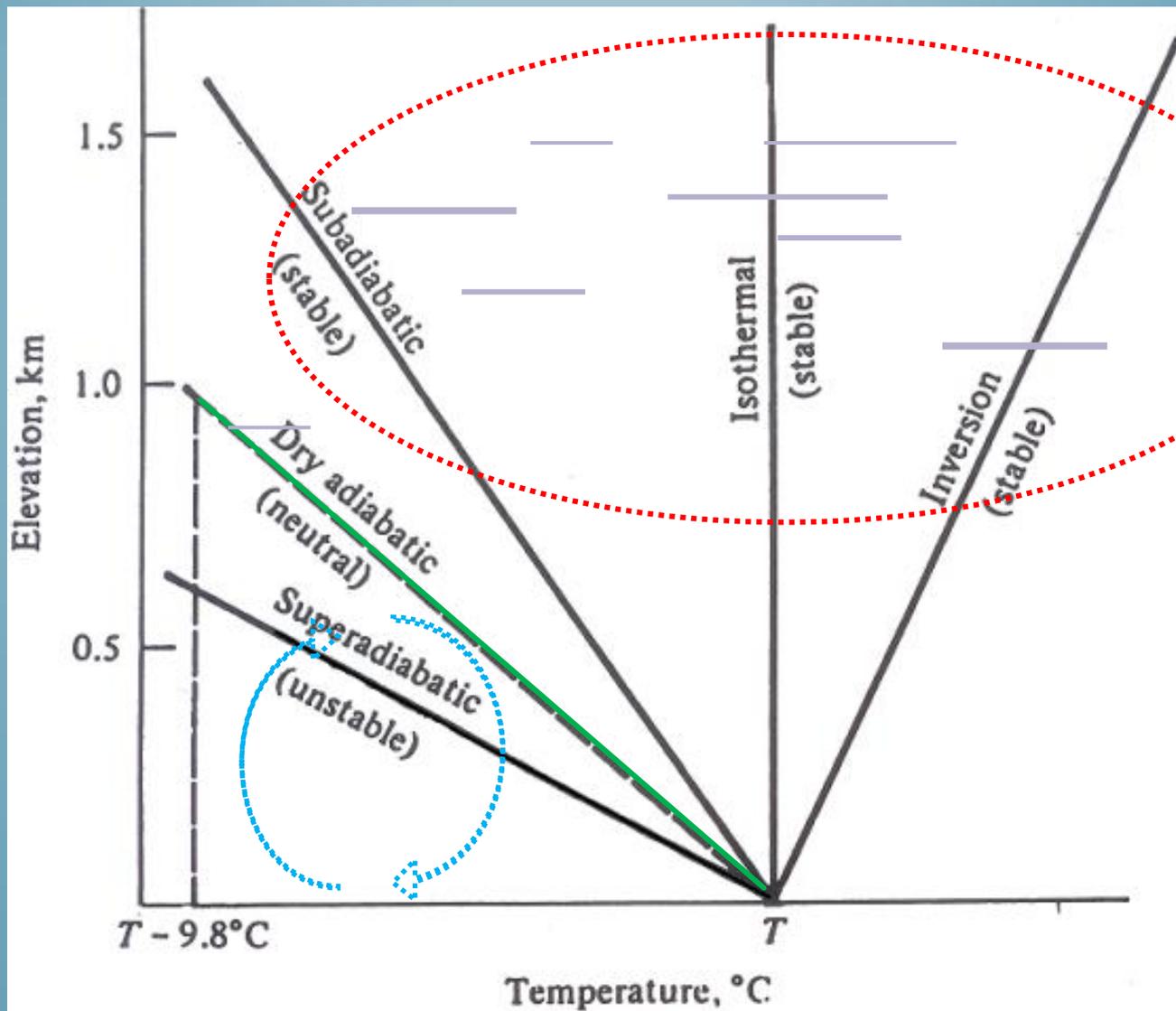
IL GRADIENTE TERMICO VERTICALE IN ATMOSFERA

Il gradiente termico verticale esprime il cambiamento della temperatura dell'aria T al variare della quota z , ed è dato dal rapporto fra la variazione di temperatura e la corrispondente variazione di quota.

Nello SLP corrisponde, in media, alla diminuzione di $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$, ma può discostarsi molto da questo valore, cambiare da luogo a luogo e nello stesso luogo e con la quota (può anche essere positivo, ossia la temperatura aumenta con l'elevazione).

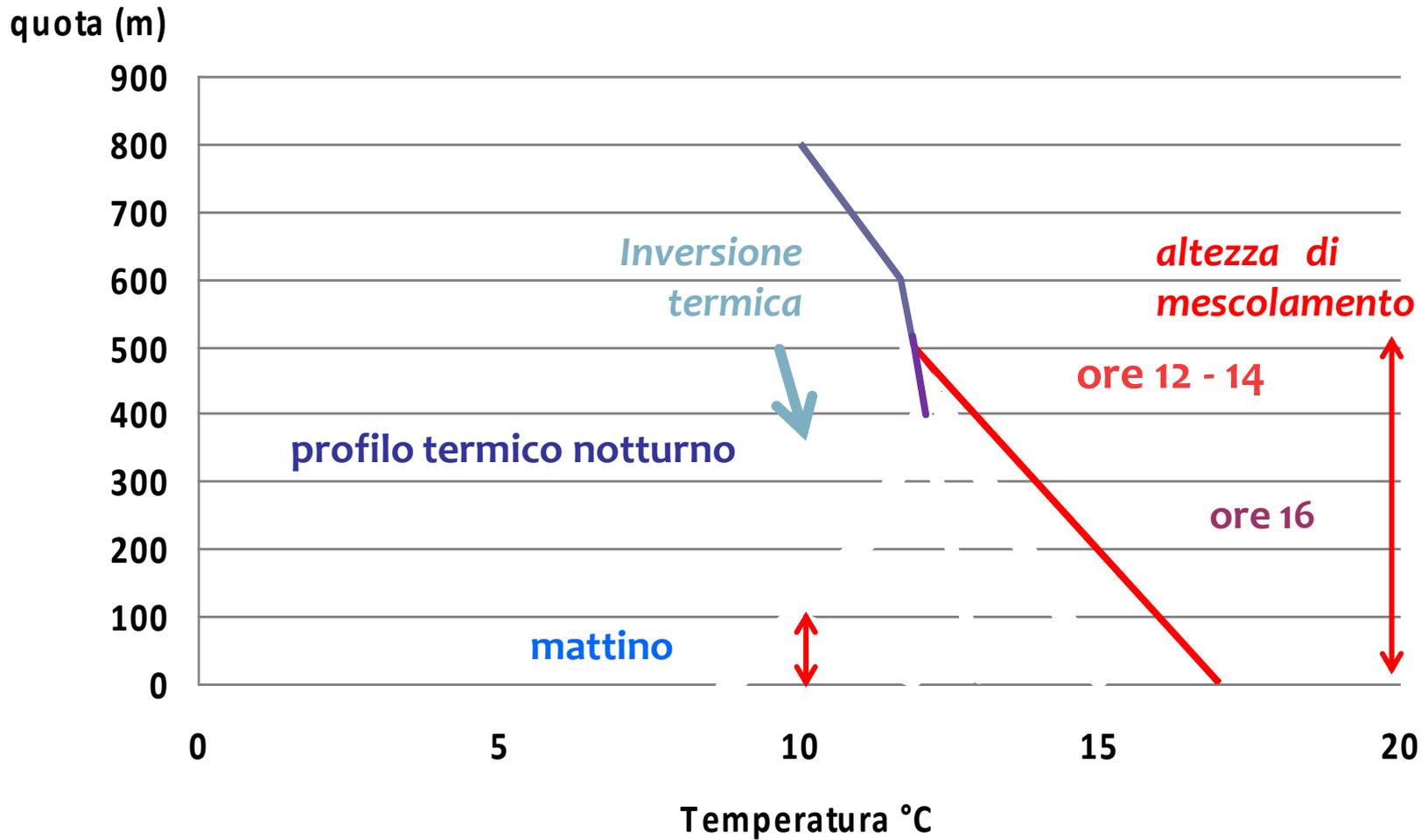


IL GRADIENTE TERMICO VERTICALE IN ATMOSFERA E LE CONDIZIONI DI STABILITÀ O INSTABILITÀ DELL'ARIA

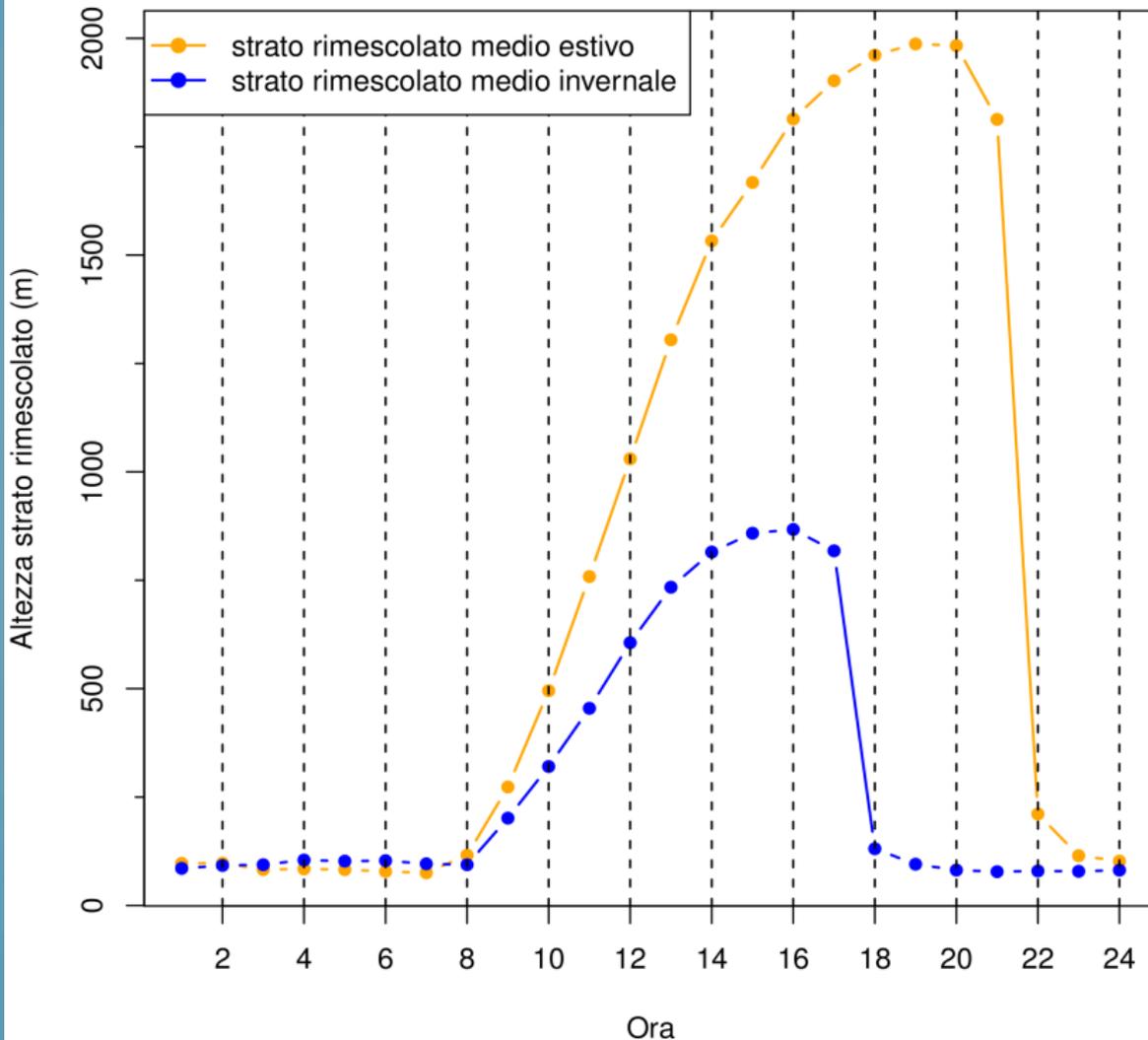


EVOLUZIONE DIURNA DEL PROFILO TERMICO VERTICALE IN AREA RURALE, CON CIELO SERENO

Variazione diurna del profilo termico verticale



ANDAMENTO ORARIO DELLO SVILUPPO VERTICALE MEDIO DELL'ALTEZZA DI MESCOLAMENTO A MODENA NEL 2008



Il mixed layer è lo strato d'aria intensamente rimescolato che si forma a livello del suolo, limitato, nel primo mattino, dalla sovrastante inversione notturna.

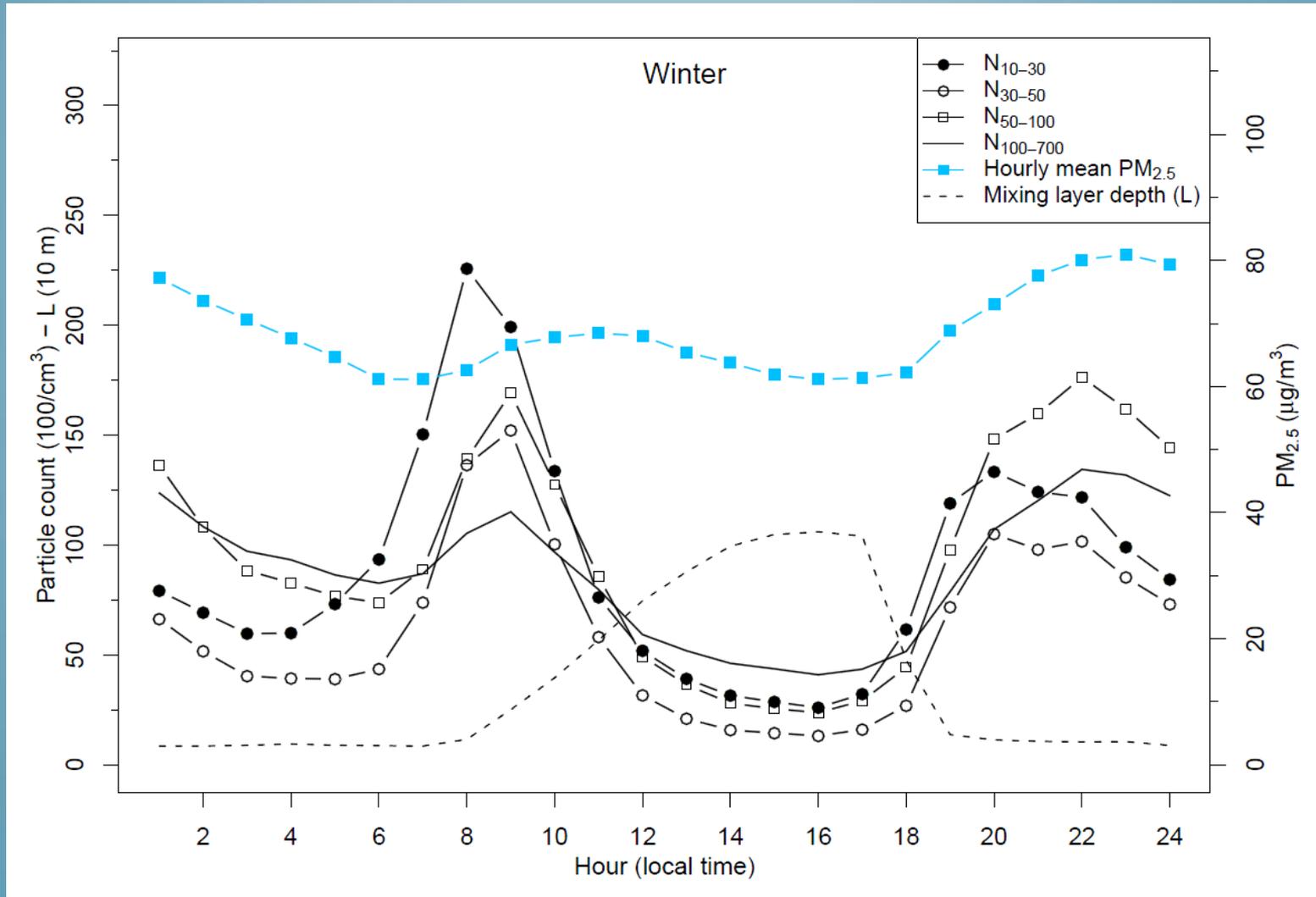
Il suo spessore è massimo nella parte centrale della giornata.

Simulazione del modello CALMET, non considera l'isola di calore.

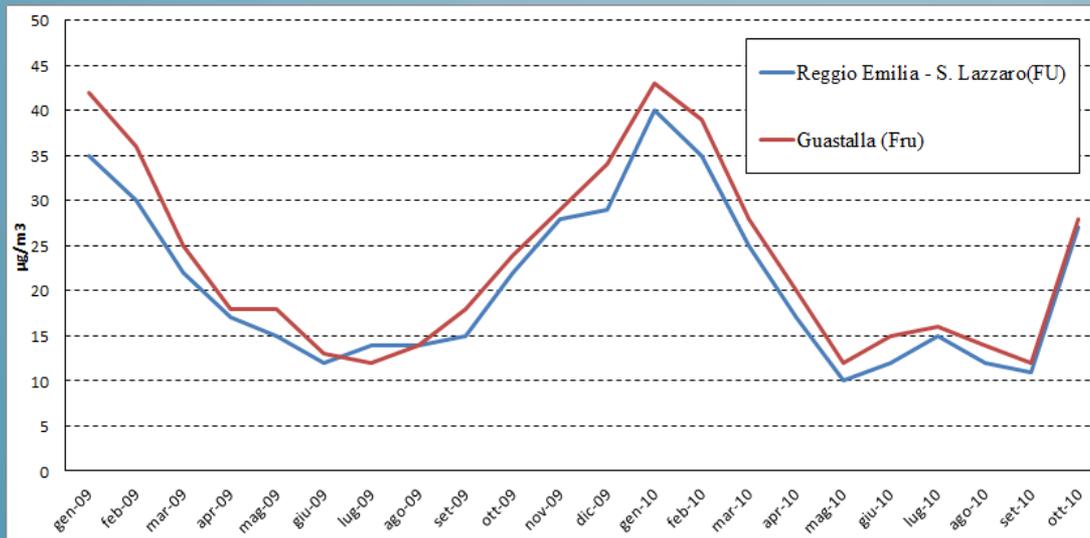
INVERSIONE TERMICA IN CONDIZIONI DI ALTA PRESSIONE



ANDAMENTO DIURNO DI NANOPARTICOLATO (NUMERO DI PARTICELLE) E DI PM_{2.5} A MODENA (dati febbraio-aprile 2008)

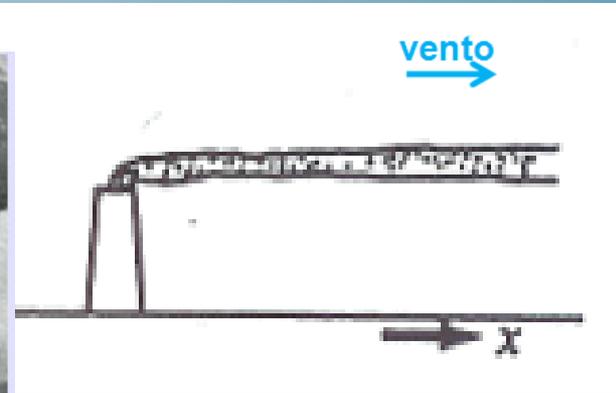
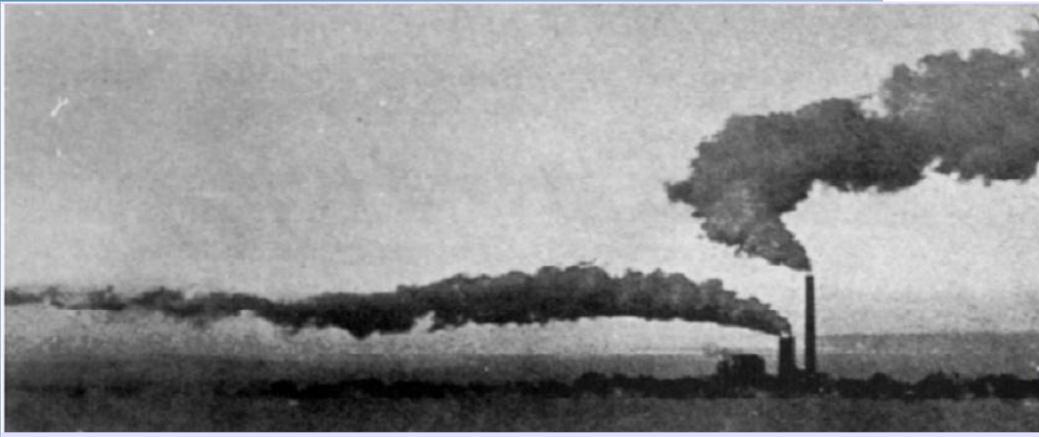


CONCENTRAZIONI MEDIE MENSILI DI PM_{2.5} IN STAZIONI DI FONDO URBANO E RURALE

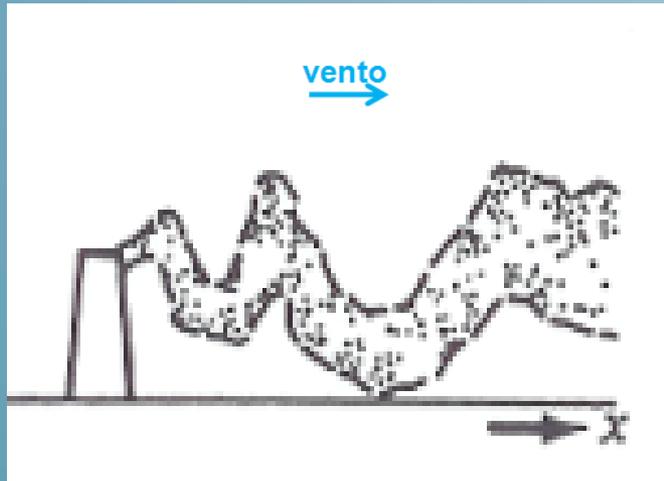


*dati stazioni Arpa
gennaio 2009 ottobre 2010*

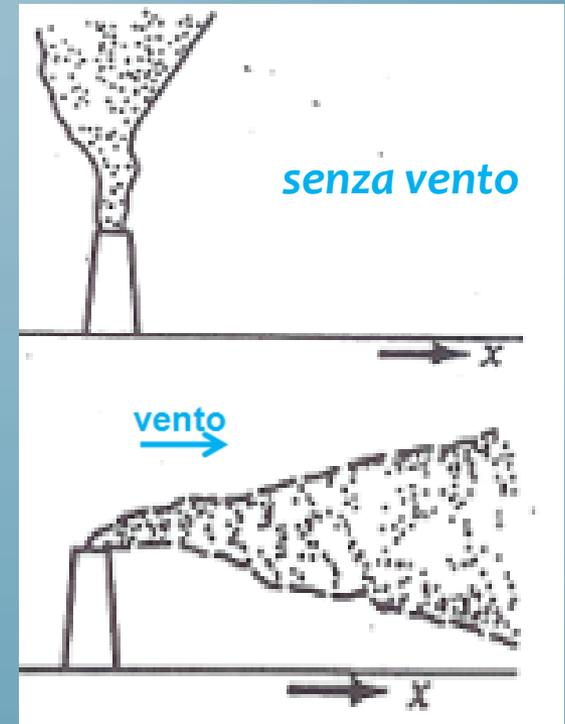
ATMOSFERA STABILE O INSTABILE: EFFETTI SULLA DISPERSIONE DI UN PLUME



Condizione molto stabile

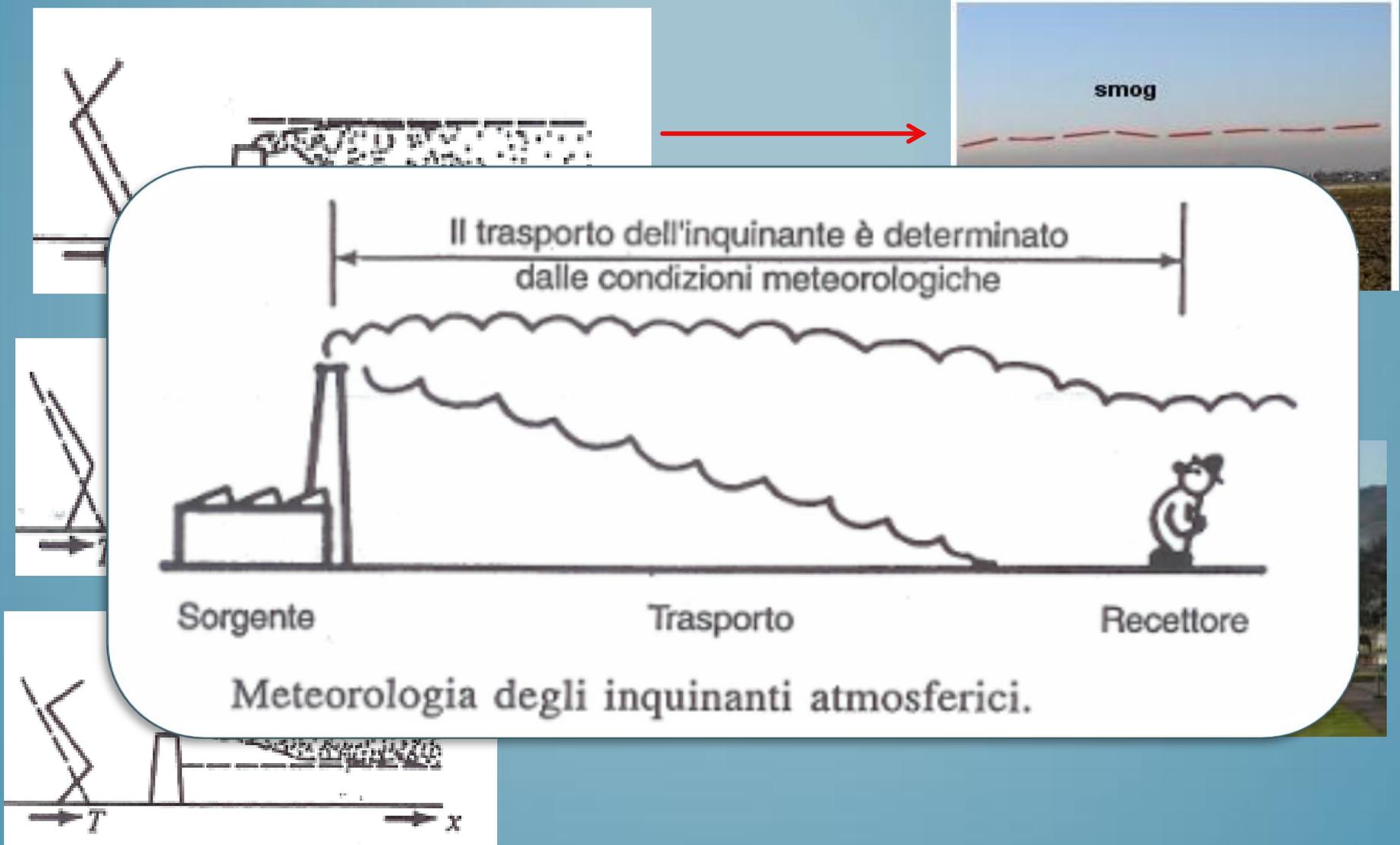


Condizione instabile

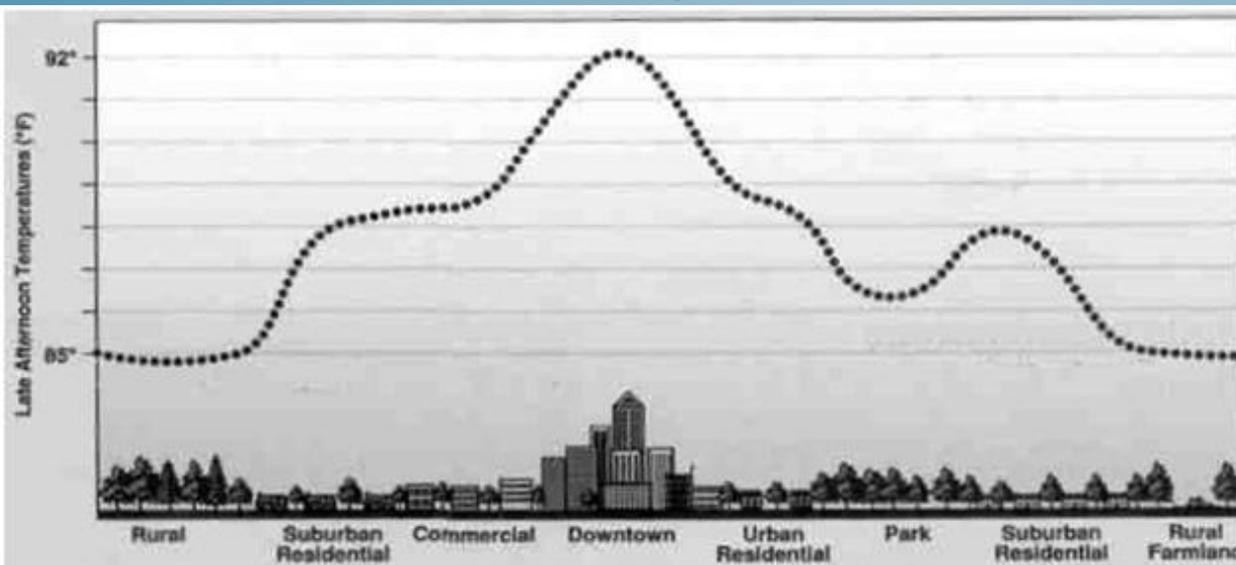


Condizione di neutralità

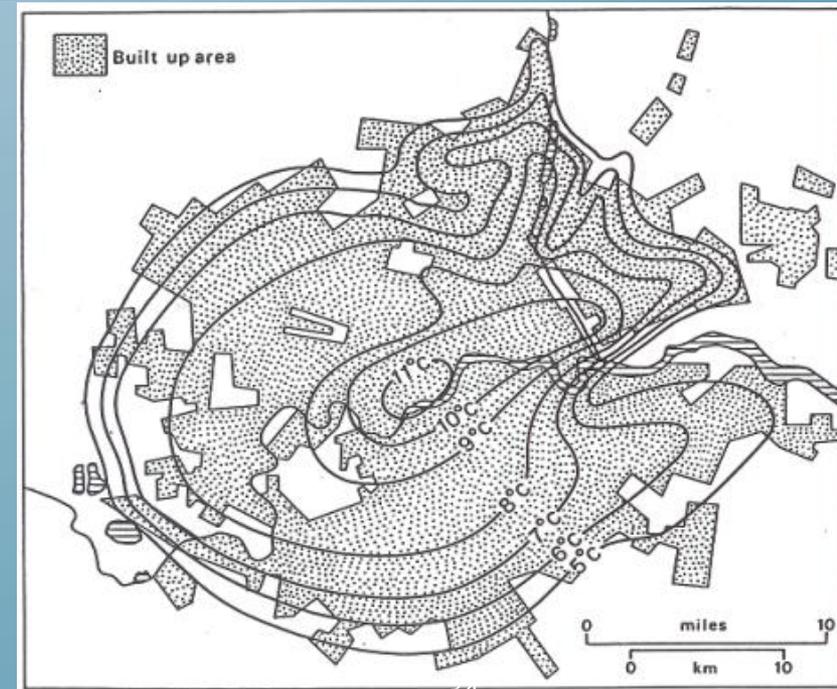
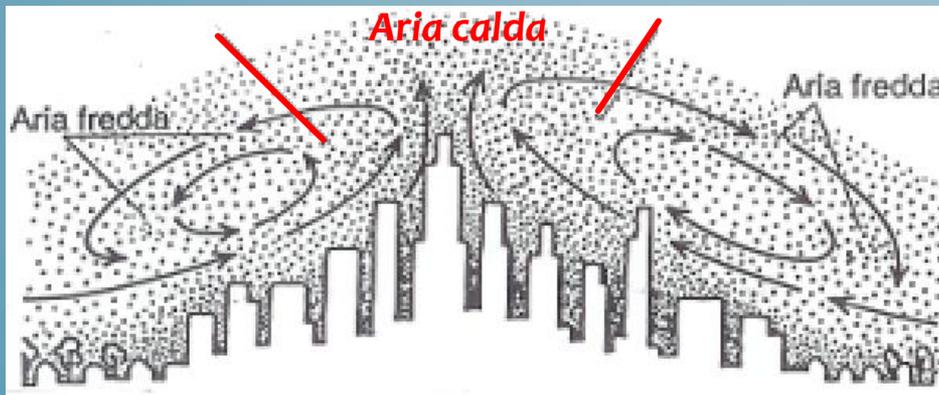
EFFETTI DI INVERSIONE TERMICA



L'EFFETTO DELLA CITTÀ, ISOLA DI CALORE



Sezione trasversale di una tipica isola di calore urbana



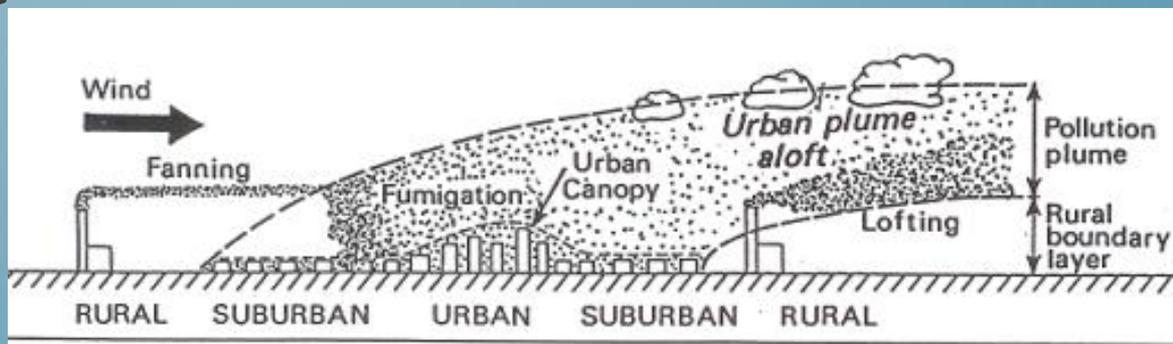
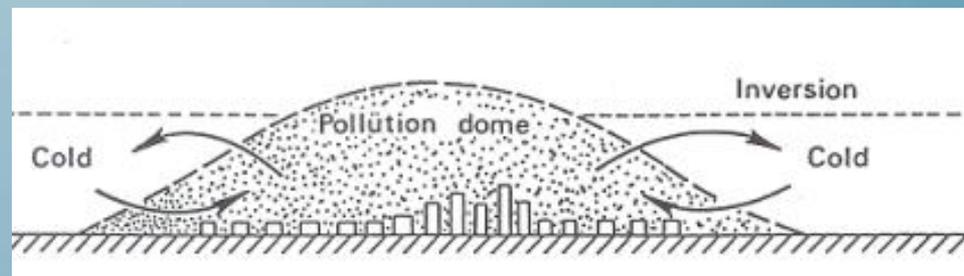
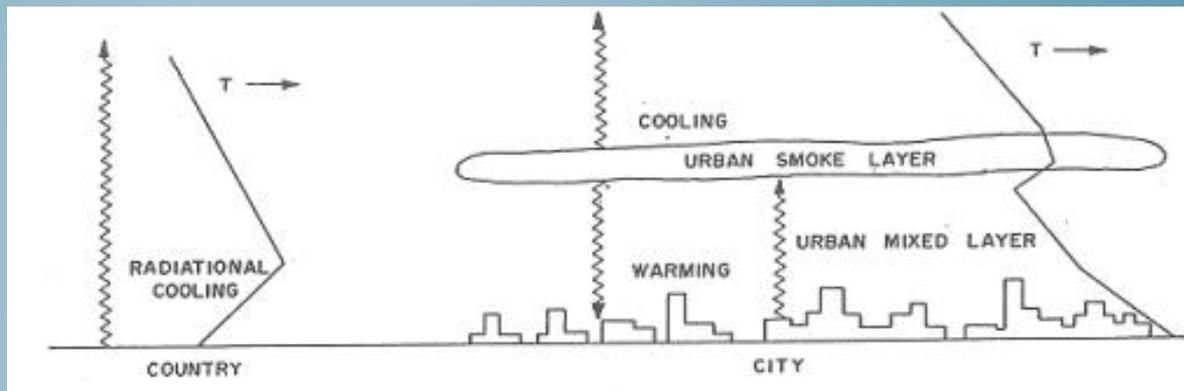
La distribuzione del minimo di temperatura, a Londra nel maggio 1959, mostra la relazione fra isola di calore e superficie edificata

PROFILO TERMICO NELL'ARIA SULLA CITTÀ

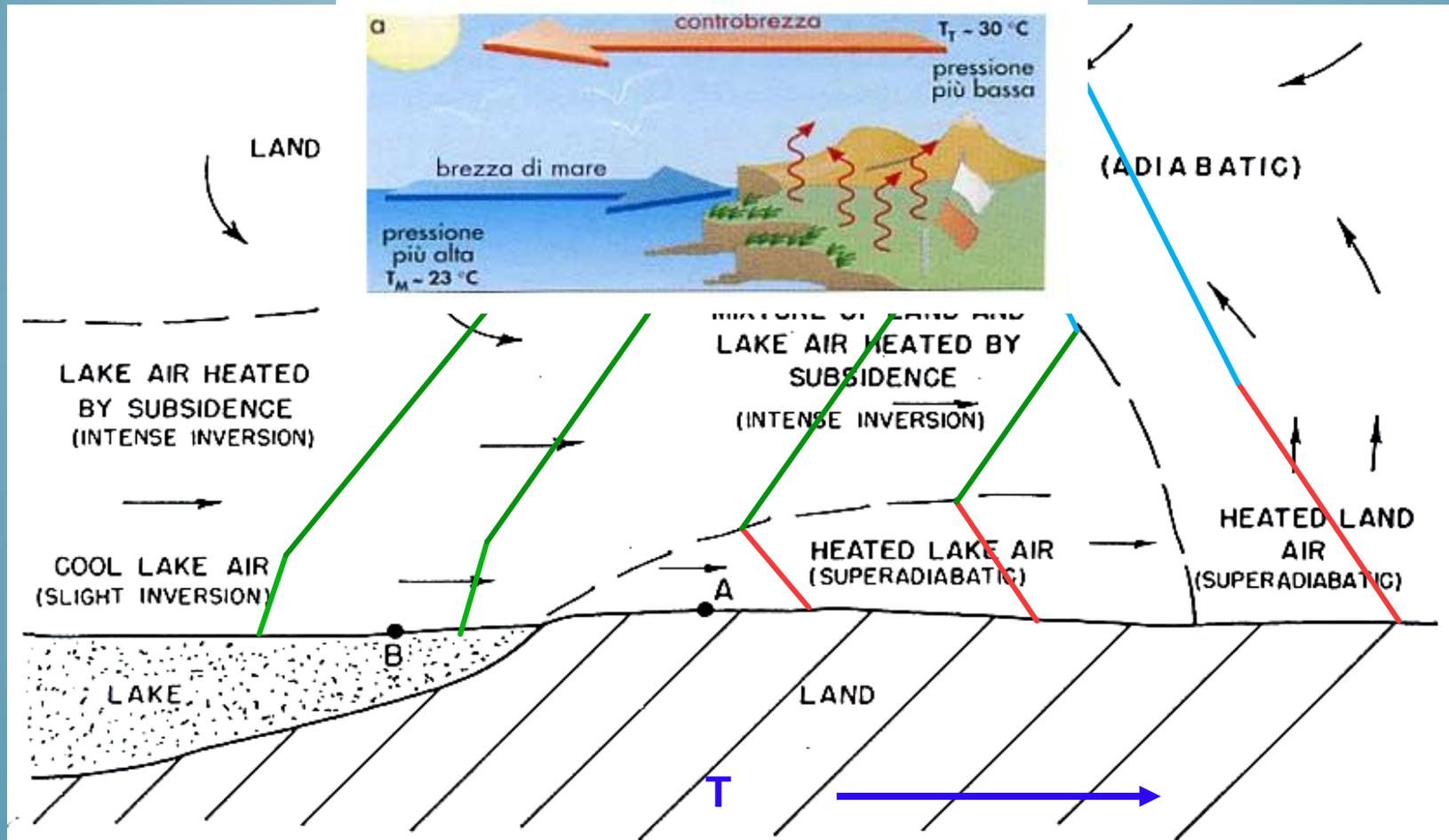
La radiazione infrarossa emessa anche verso il basso dallo strato di fumo riscalda l'aria sulla città e inibisce lo sviluppo dell'inversione notturna così che sulla città è presente un mixed layer notturno.

L'inversione sulla città resiste anche di giorno e stabilizza la "cappa" di smog.

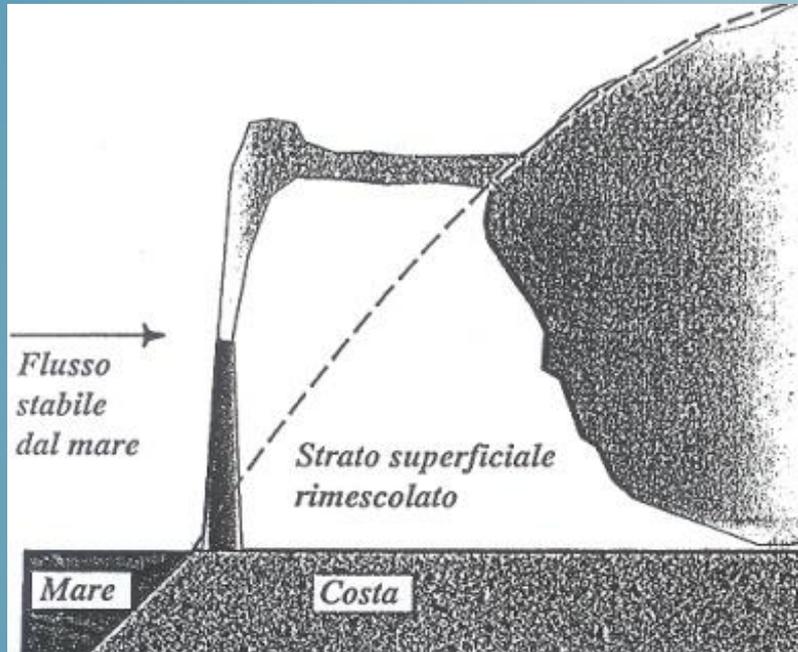
Al primo mattino, dopo una notte serena ed in presenza di vento, gli inquinanti sospesi in atmosfera dall'inversione presente in area rurale possono creare fumigazione sulla città



SCHEMA DELLO SVILUPPO DELLA BREZZA DI MARE/LAGO CON VENTO LEGGERO (MESOSCALA)

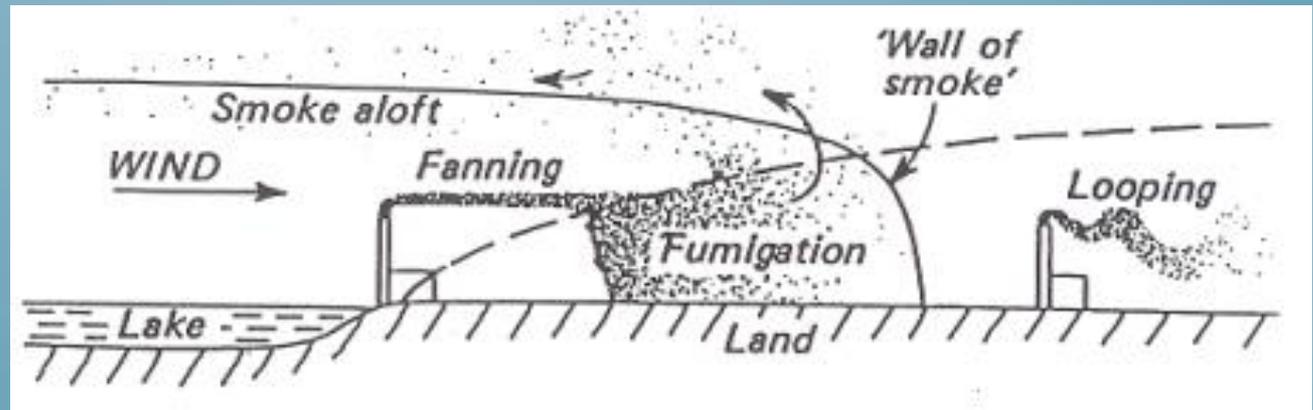


EFFETTO DELLE LINEE DI COSTA

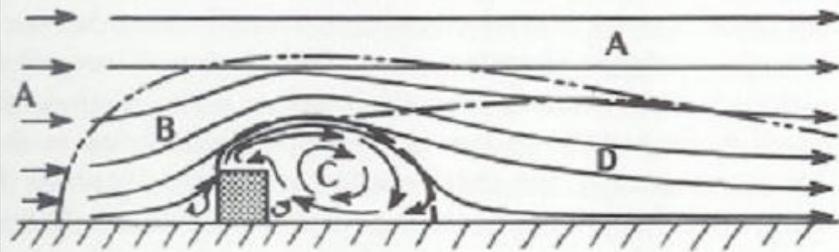


In primavera ed estate le brezze mare – terra creano celle di circolazione che possono svilupparsi fino a 2 Km in verticale e 20 km sull'orizzontale.

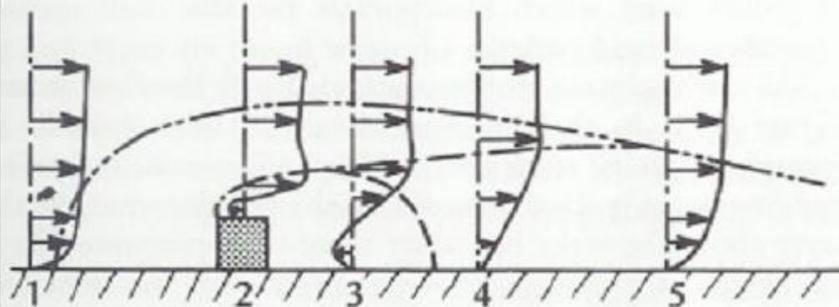
Di giorno, la brezza proveniente dal mare viene riscaldata al contatto con la costa calda, sulla quale si sviluppa un mixed layer costiero : in esso gli inquinanti portati dalla brezza entro masse d'aria fresca, con profilo d'inversione, si rimescolano e possono creare fumigazione.



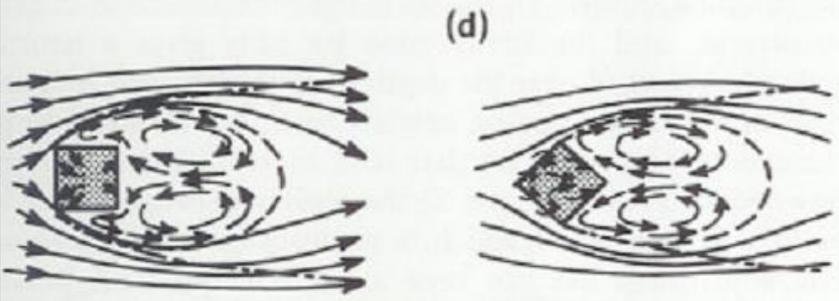
TURBOLENZA DI VENTO



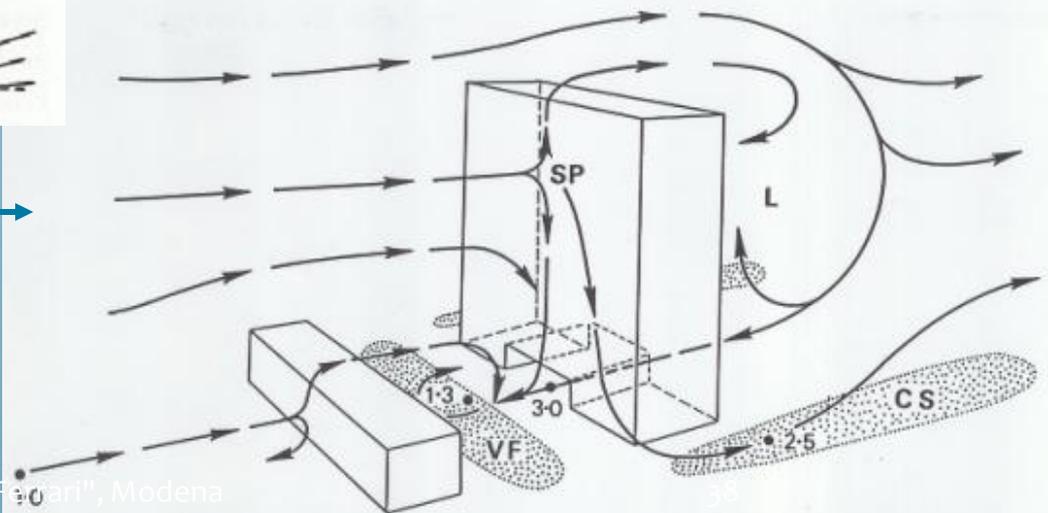
Il flusso attorno ad un edificio, vista laterale e zone di flusso :
A : indisturbato, B: deviato (sopravento), C: turbolento, D: scia (sottovento)



Profili di velocità attorno all'edificio

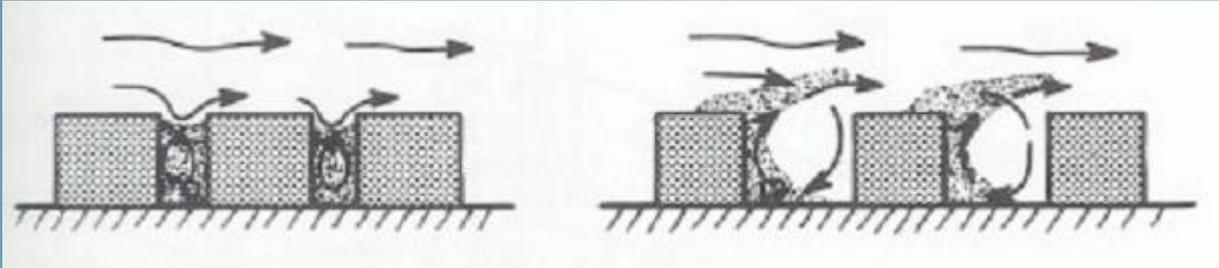


Vista in pianta del flusso per diverse orientazioni dell'edificio



Flusso in zona urbana attorno a edifici. I numeri sono i valori relativi della velocità del vento. Le aree punteggiate sono quelle di alta velocità e turbolenza a livello della strada

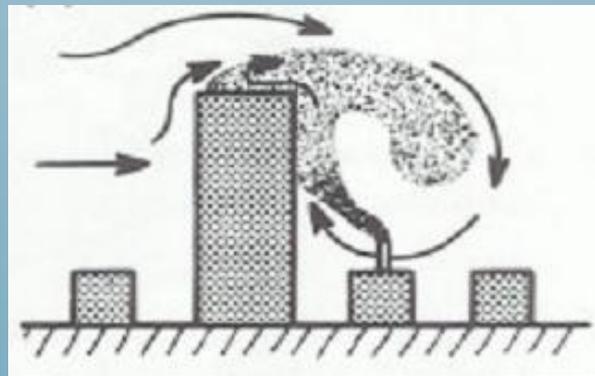
LA TURBOLENZA MECCANICA (EFFETTI DI VENTO)



Emissioni a livello del suolo.

E' critico il rapporto

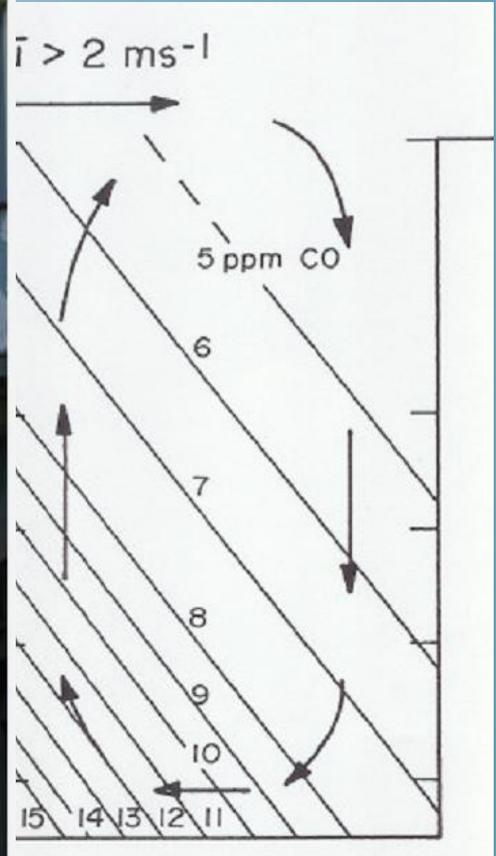
*altezza edifici
larghezza strada*



Emissioni in quota: la dispersione dipende dalla presenza di edifici vicini di diversa altezza

Influenza degli edifici sul flusso d'aria e sulla dispersione degli inquinanti

LA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI NEL CANYON URBANO



13 novembre 2012
Corso di Scienze Associazione Cultura e Vita

grazie