

Approccio tossicologico alla stima delle concentrazioni e delle distanze di massima ricaduta per inquinanti aerodispersi, mediante "modelli gaussiani"



Dr. Giovanni De Vito  
Dipartimento di Medicina Clinica e Prevenzione  
Universita' degli Studi di Milano Bicocca

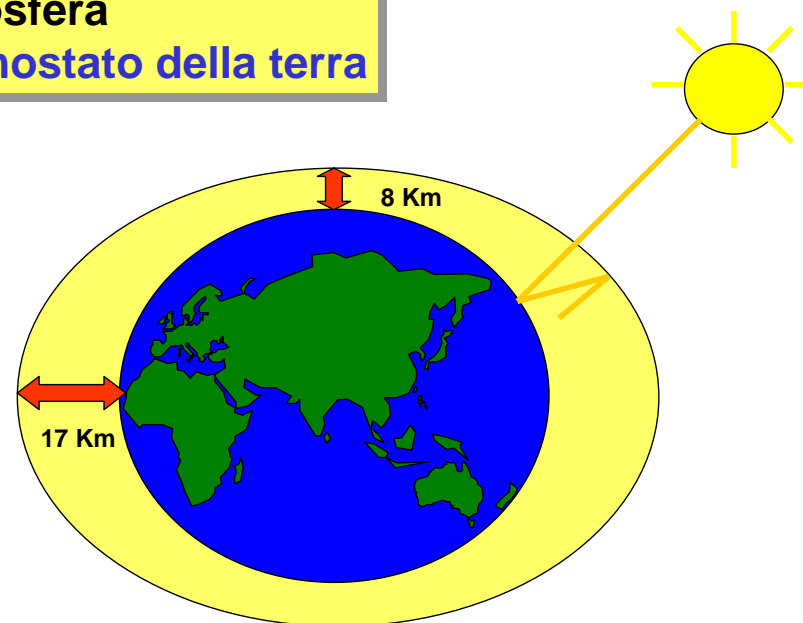
**Il materiale del Corso  
e' disponibile on- line  
sul Web all'indirizzo:**

<http://www.medlavoro.medicina.unimib.it/devito/devito-camini.htm>

Le diapositive del corso sono nel formato .pdf

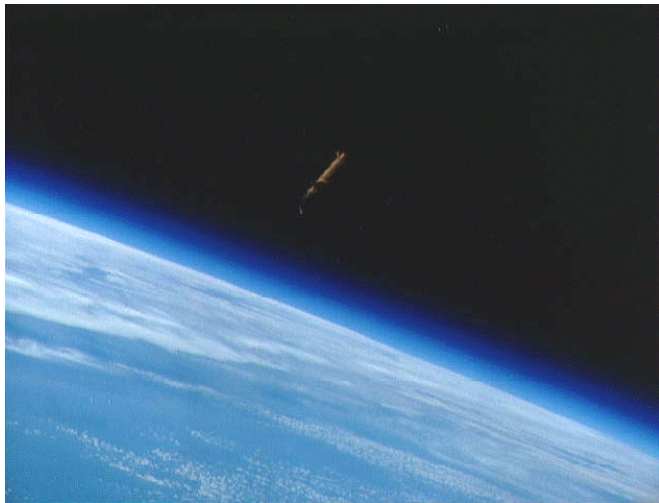
**Cenni di  
METEOROLOGIA**

**Troposfera  
Il termostato della terra**

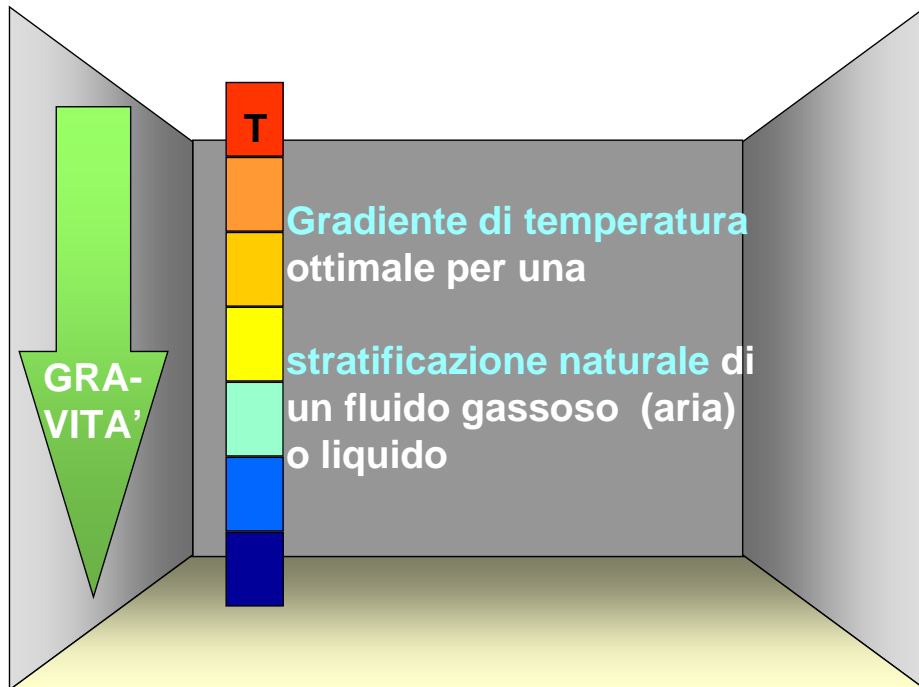
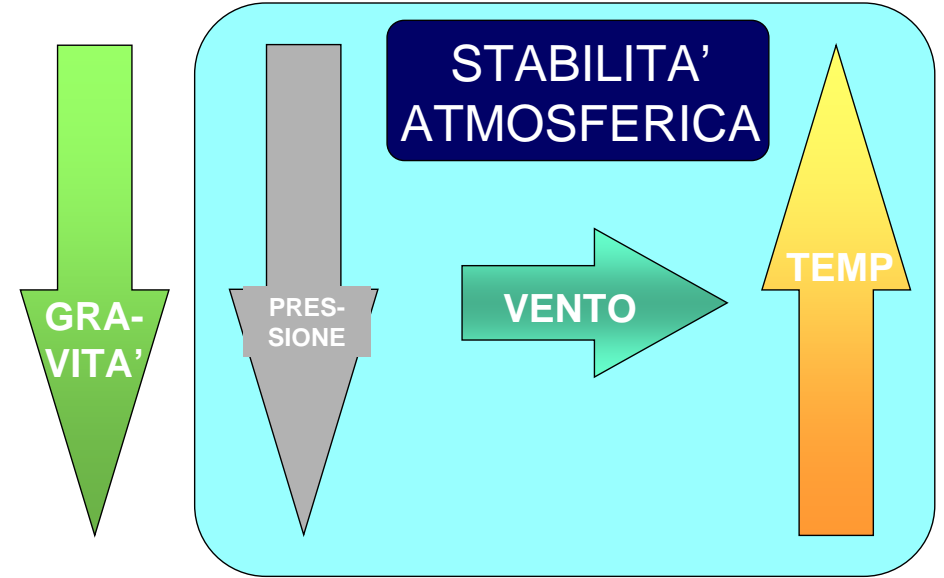


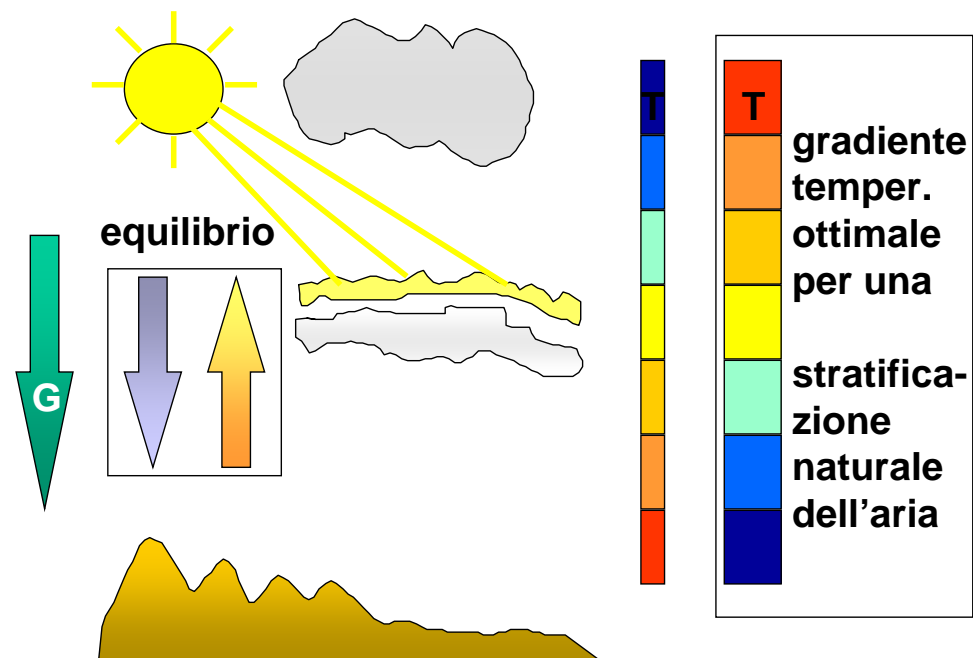
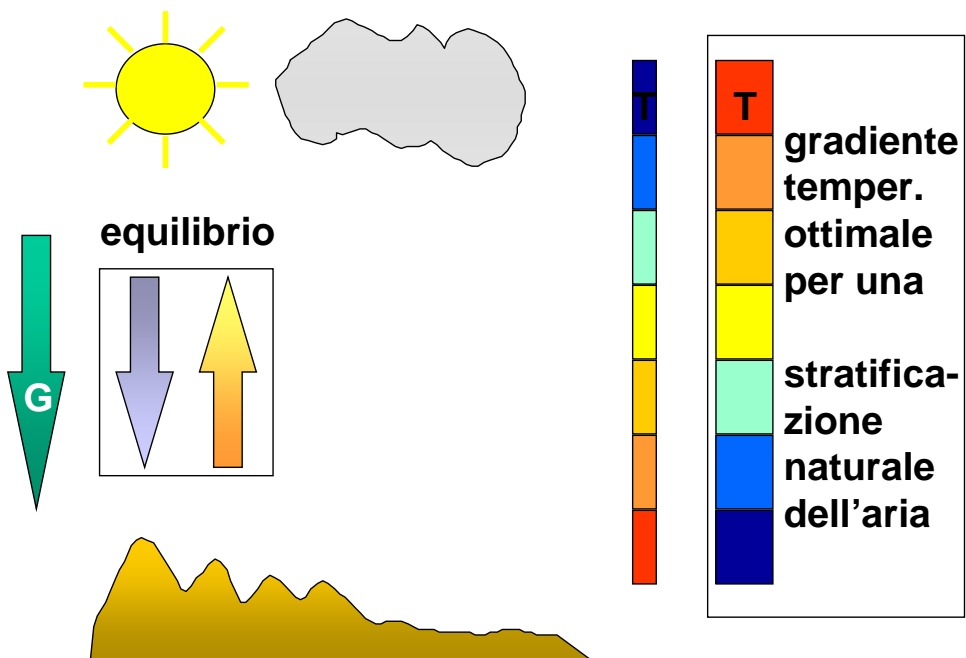
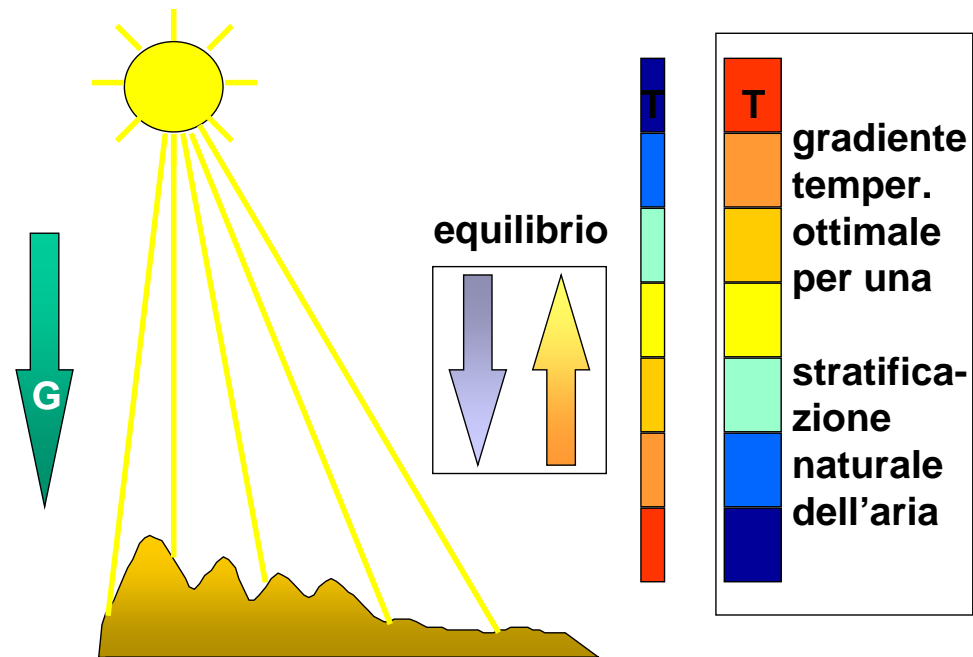
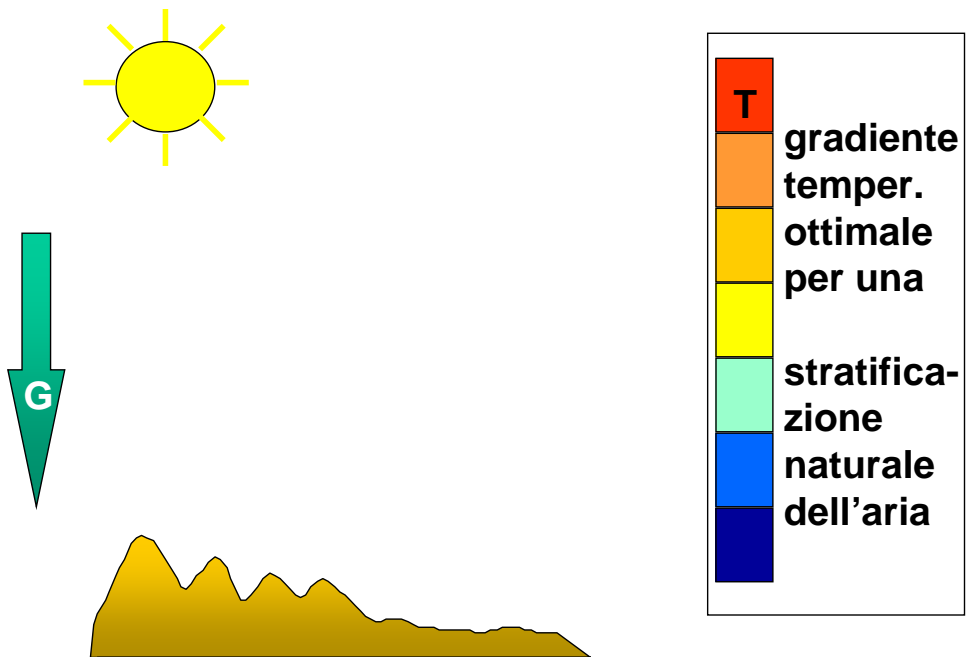
# Troposfera

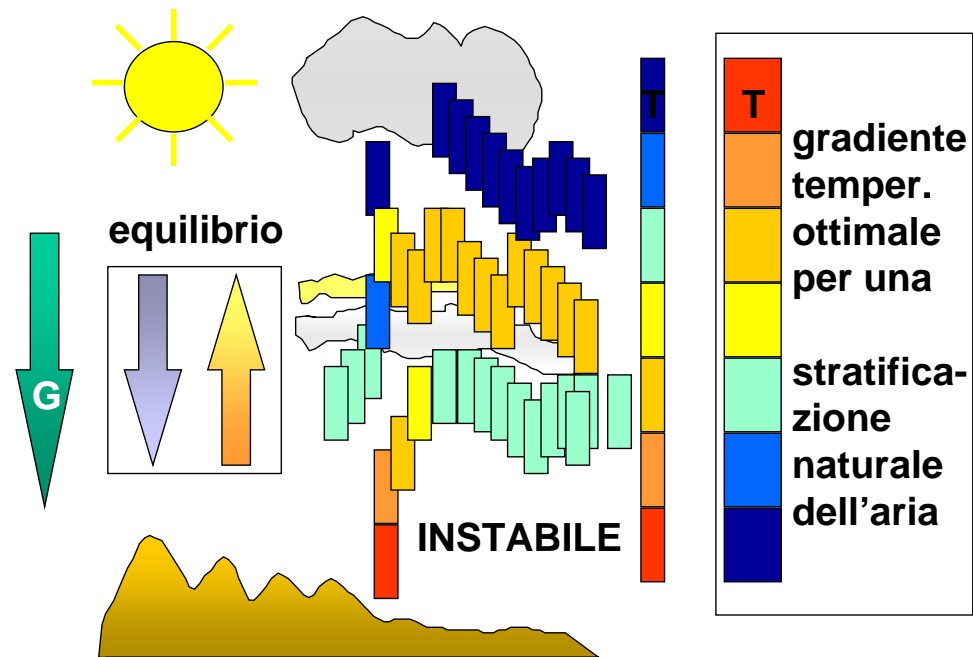
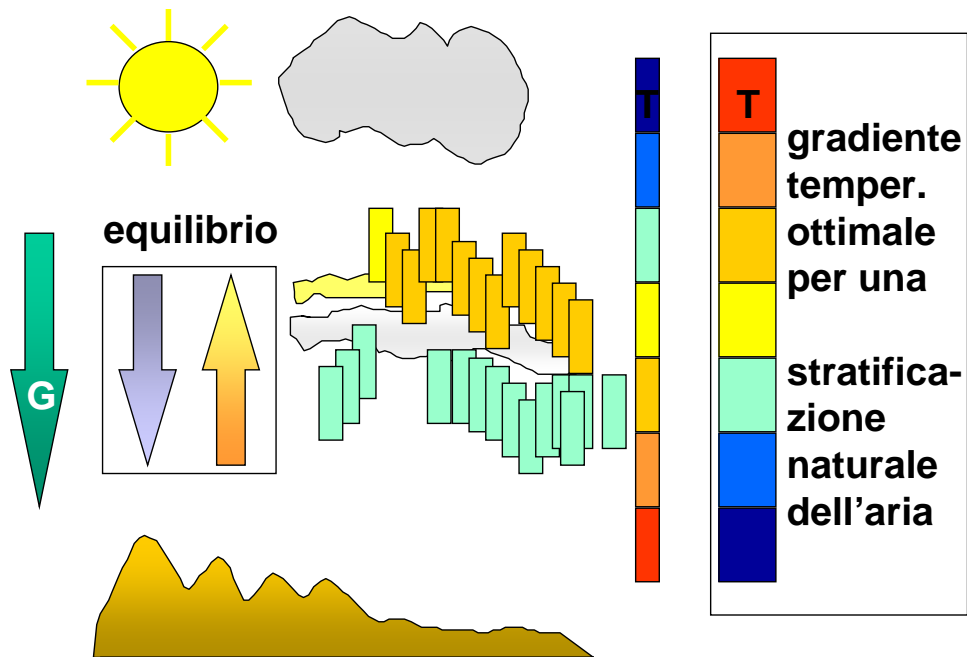
## Il termostato della terra



# Principali parametri fisici responsabili della direzione dei fumi



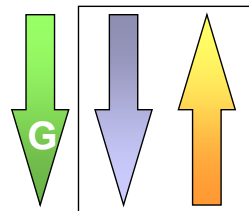




giorno

strati alti (si scaldano tardi)  
aria fredda concentrata

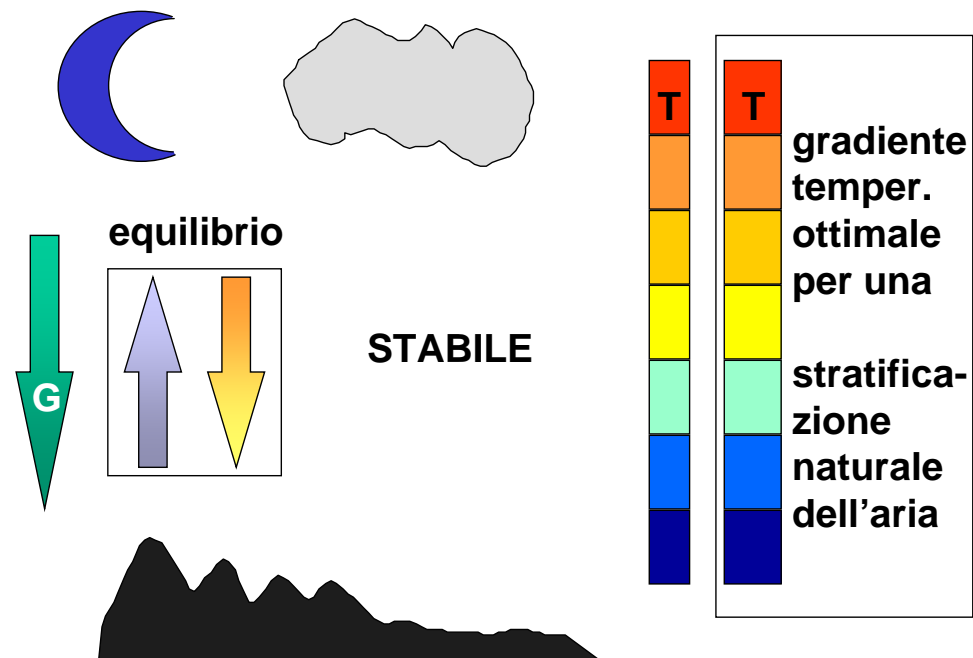
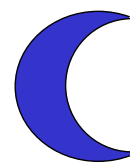
$$\frac{dt}{dz} = -1^\circ\text{C}/100\text{ m}$$



$$\frac{dt}{dz} = -.35^\circ\text{C}/100\text{ m}$$

$U=80\%$

suolo (si scalda prima)  
aria calda diluita

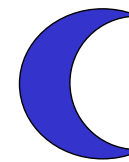


notte

strati alti  
aria calda diluita

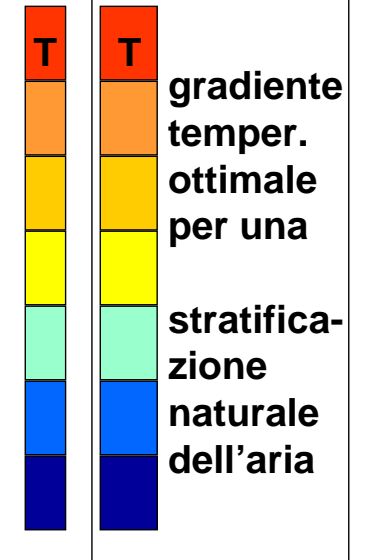
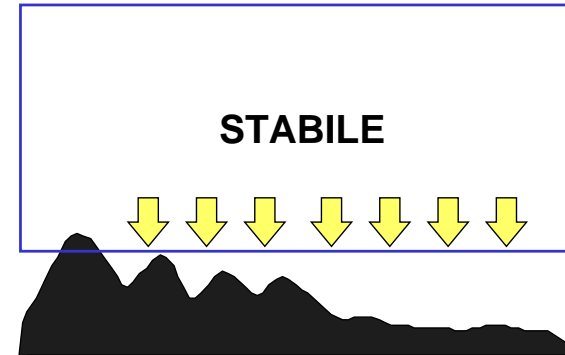


suolo  
aria fredda concentrata



## INVERSIONE TERMICA

NOTTI SERENE - ALTA PRESSIONE  
VENTO LEGGERO  
(INVERNO)



### Inversione Termica

al suolo, in quota, subsidenza

L'inversione termica al suolo è causata da un forte raffreddamento del suolo per effetto del irraggiamento notturno o per presenza di neve oppure quando masse di aria calda scorrono sopra una superficie fredda.

Questo tipo di inversione è favorito dalla presenza: di **notti invernali** che sono più lunghe rispetto alle giornate diurne, quindi la perdita di calore è maggiore rispetto l'apporto; di un **cielo sereno o con poche nubi preferibilmente molto alte**, affinché la perdita di calore venga ritardata; dalla presenza di **aria con movimenti lievi o nulli** per dare modo agli strati più bassi di rimanere a contatto con il suolo; dalla presenza di un **manto nevoso sulla superficie** che funge da ostacolo all'assorbimento di calore diurno della superficie.

### Inversione Termica

L'inversione termica al suolo

Le zone dove si verificano più di frequente sono le **aree continentali lontano dal mare**, ad es. la pianura padana e all'interno delle grandi valli, ad esempio quella alpina. Invece nelle **zone continentali di alta latitudine**, come la Siberia, l'inversione termica permane tutto l'inverno, ai **poli** questa è la situazione normale. Sulle città, durante **giornate nebbiose**, il fumo dei camini e delle ciminiere tende a mescolarsi con la nebbia e non riesce a risalire poiché incontra una barriera di aria fredda, causando la cappa di smog.

## Inversione Termica

### L'inversione termica in quota

è dovuta allo **scorrimento di masse d'aria calda al di sopra di uno strato di aria fredda**.

Questo tipo di inversione è visibile in corrispondenza all'interruzione dello sviluppo verticale di un **cumulonembo**: c'è un'estensione in orizzontale della nube, che dà origine alla caratteristica "incudine". L'inversione in quota rappresenta un fenomeno del tutto normale sulle nostre regioni.

## Inversione Termica

Un'altro tipo di inversione è quello che si verifica **nelle zone anticicloniche e viene detta subsidenza**.

Si verifica normalmente verso i **1500 metri** ed è causata dalla **compressione con conseguente riscaldamento dell'aria**. Questa altezza rappresenta un limite per inquinamento e foschie. Si può facilmente notare durante un'escursione in montagna oppure quando si prende l'aereo.

## Inversione Termica



Caso di inversione termica nei bassi strati il 15.9.1996. La fascia grigio-violetto all'orizzonte indica il livello dell'inversione, con accumulo di Ozono al suolo. (foto Centro Geofisico Prealpino da Campo dei Fiori verso la pianura lombarda)

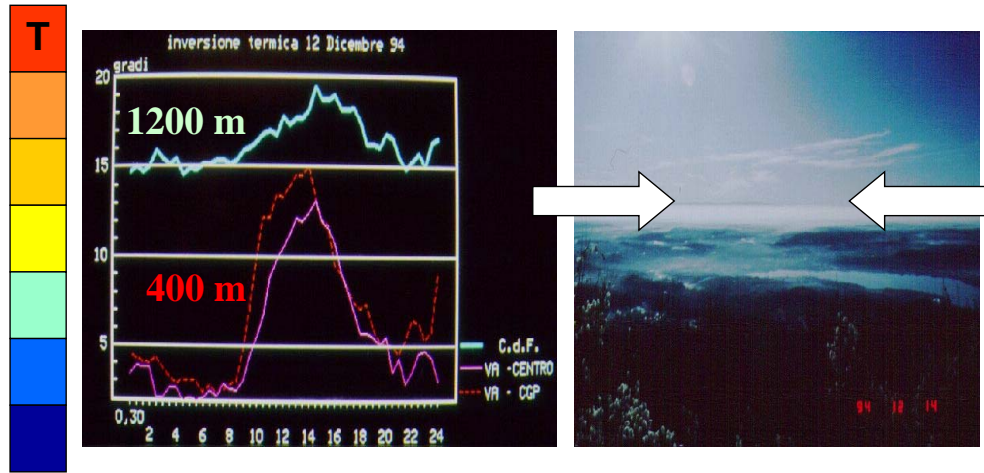
## Inversione Termica

### Permanente

Quando le condizioni termiche che portano all'inversione termica si mantengono per lunghi periodi, l'inversione tende a perpetuarsi fino all'instaurarsi della inversione termica permanente

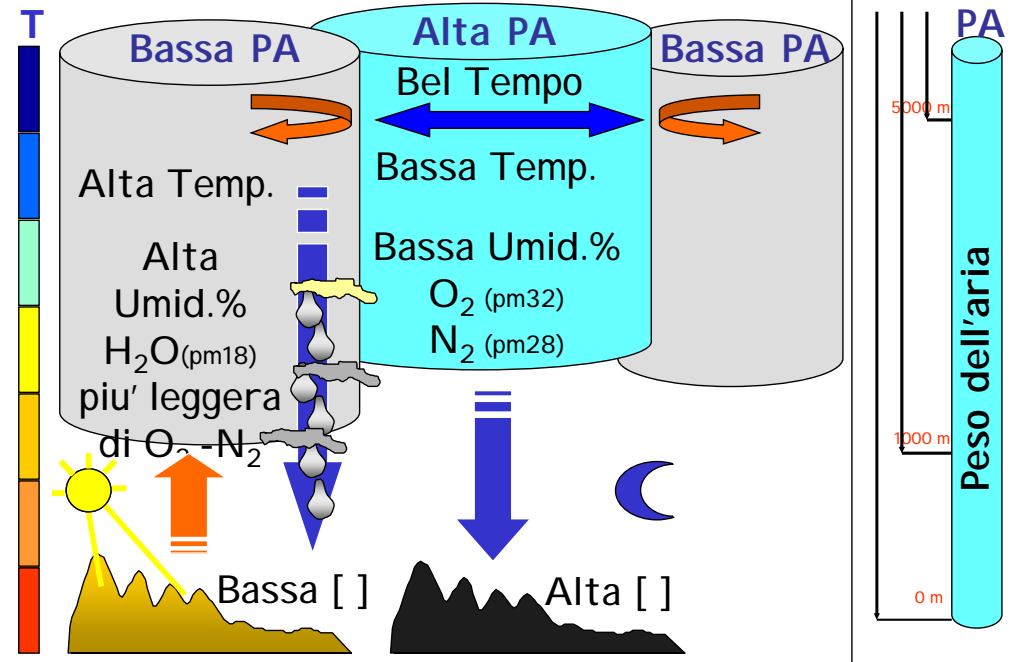


## Inversione Termica - Dicembre 1994



Grafici diurni delle temperature alle stazioni di Varese Centro Geofisico (m 410, in rosso), di Varese Centro (m 380, in violetto) e di Campo dei Fiori (m 1226 in azzurro).

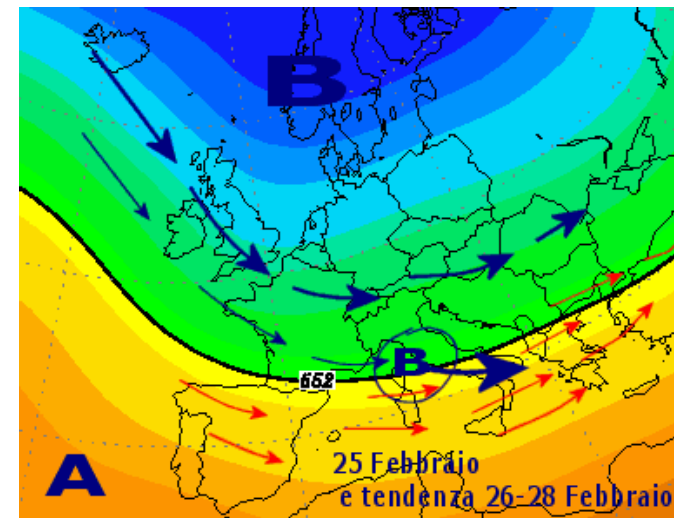
## Pressione atmosferica e moti dell'aria



## Anticiclone

Massa d'aria con una pressione atmosferica più alta di quella delle zone circostanti, attorno alla quale circolano correnti aeree spiraliformi discendenti che ruotano in senso orario nell'emisfero nord e antiorario in quello sud. E' associato al tempo stabile, quindi al bel tempo, ma non è sempre così. Infatti, nel semestre freddo, può essere accompagnato da foschie e nebbie. Di particolare importanza è l'anticiclone delle Azzorre che ha il suo centro in prossimità delle isole Azzorre e va ad influenzare la situazione meteorologica europea portando in genere situazioni di bel tempo.

## Fronti caldi, freddi e precipitazioni

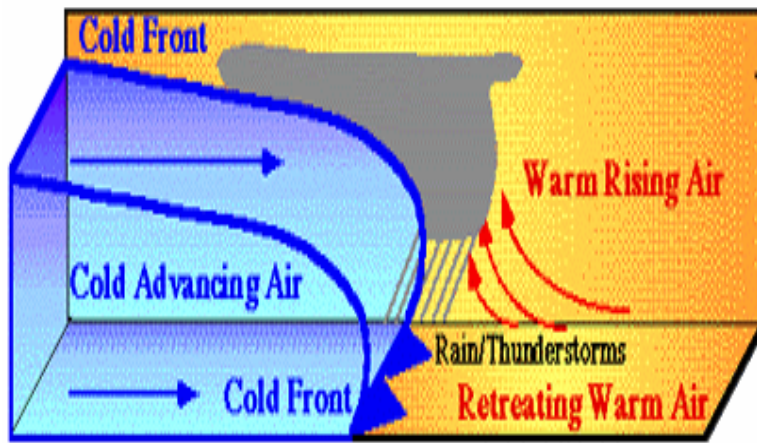


Fronti freddi più veloci

si infilano sotto i caldi

Fronti caldi più lenti

## Fronti caldi, freddi e precipitazioni



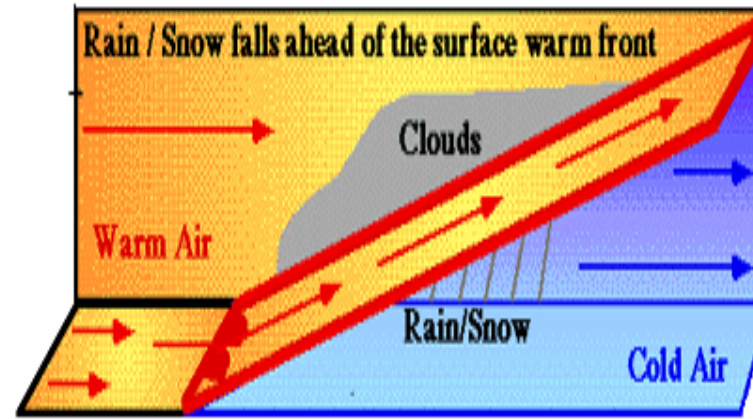
Fronti freddi piu' veloci

si infilano sotto i caldi

Fronti caldi piu' lenti

Entra il fronte freddo

## Fronti caldi, freddi e precipitazioni



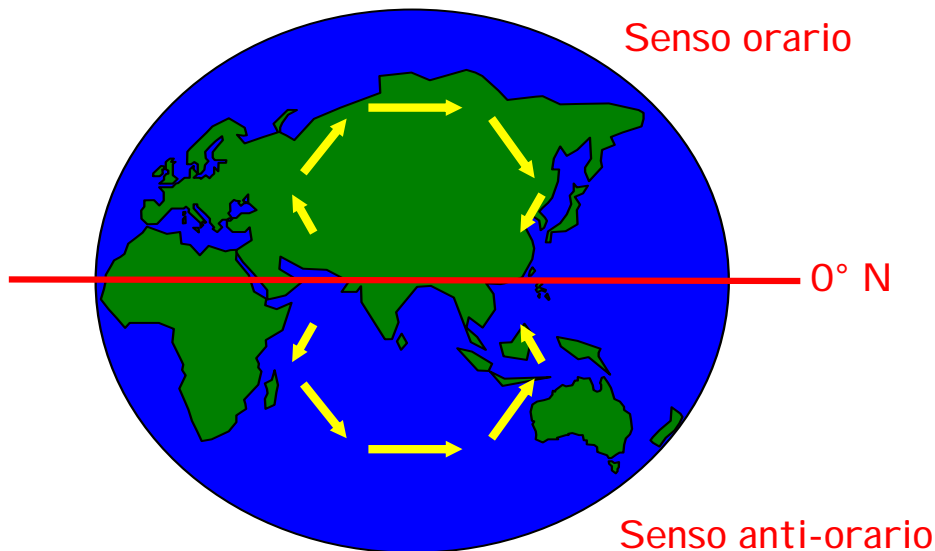
Fronti caldi piu' veloci

si posizionano sopra i freddi

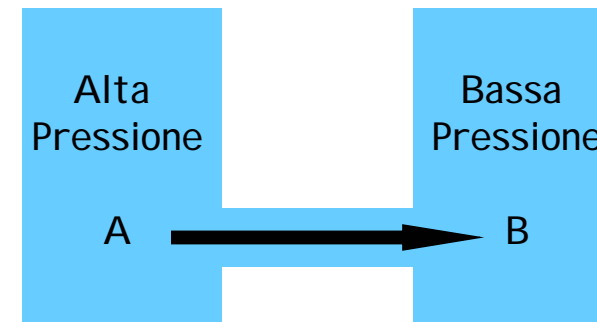
Entra il fronte caldo

## Legge di Coriolis

Direzione dei fluidi e dell'aria nei 2 emisferi

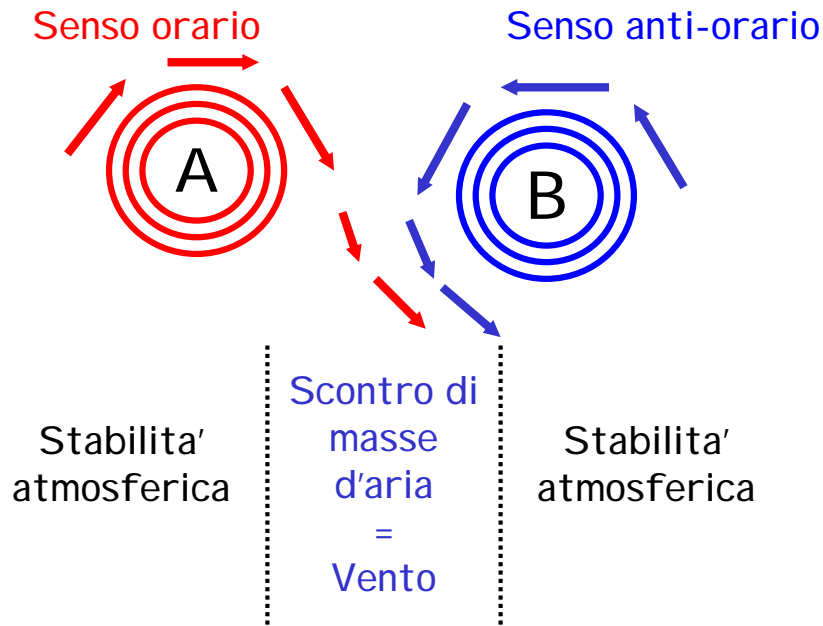


## Movimento di fluidi ed aria rispetto alla pressione atmosferica

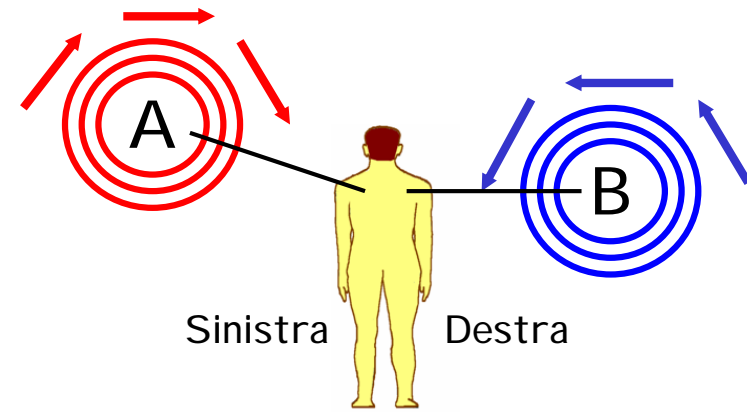




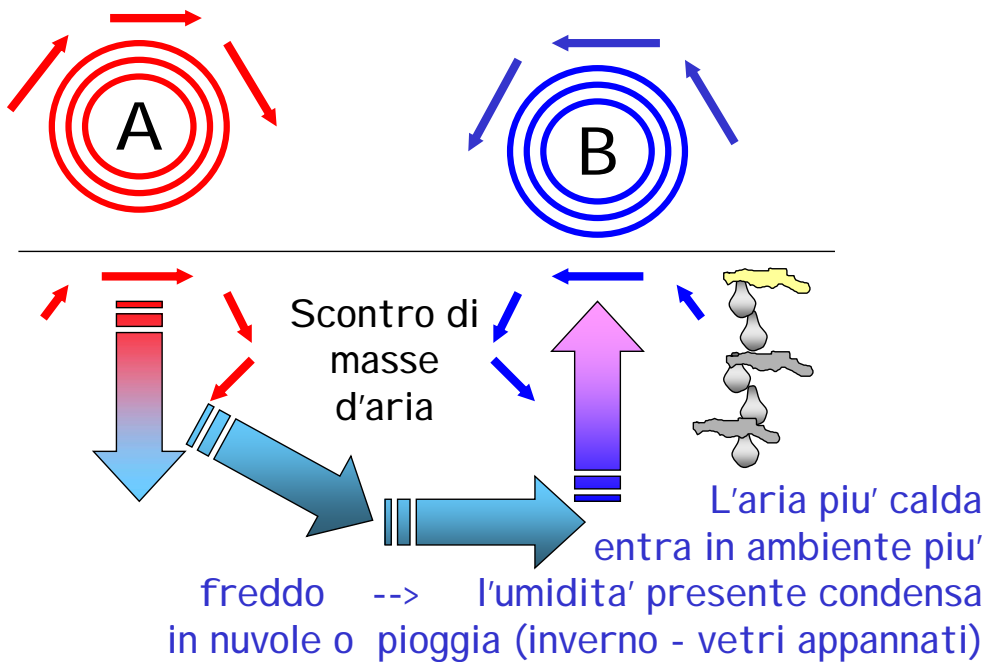
## Legge di Buys-Ballot



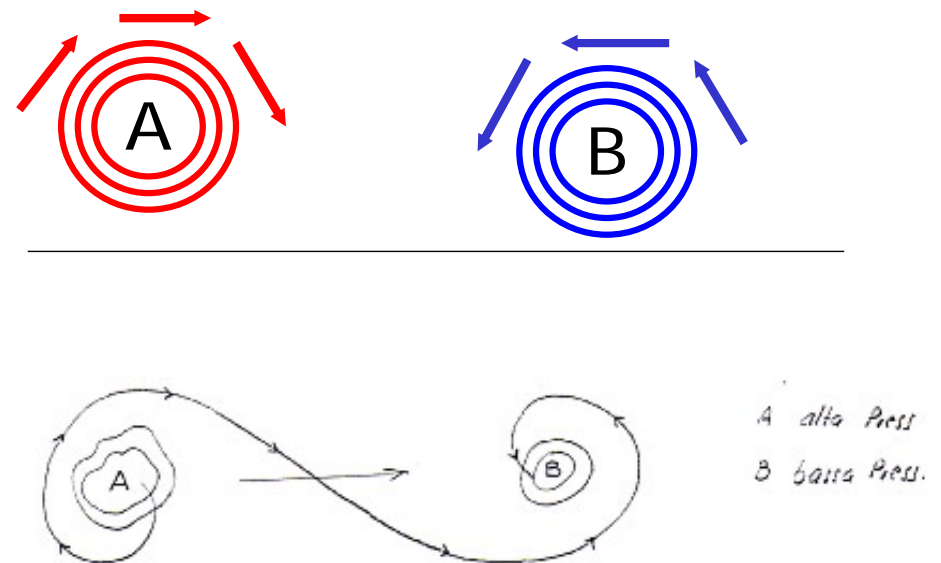
## Legge di Buys-Ballot



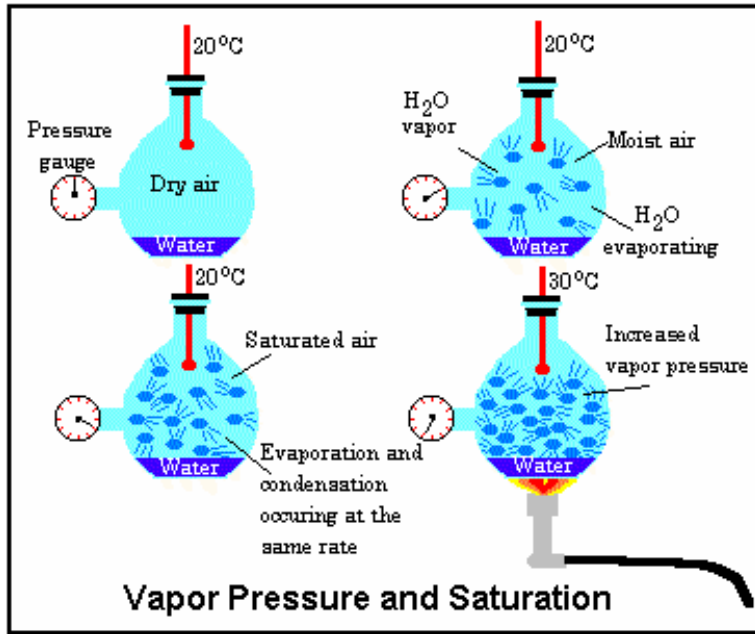
## Precipitazioni nelle basse pressioni



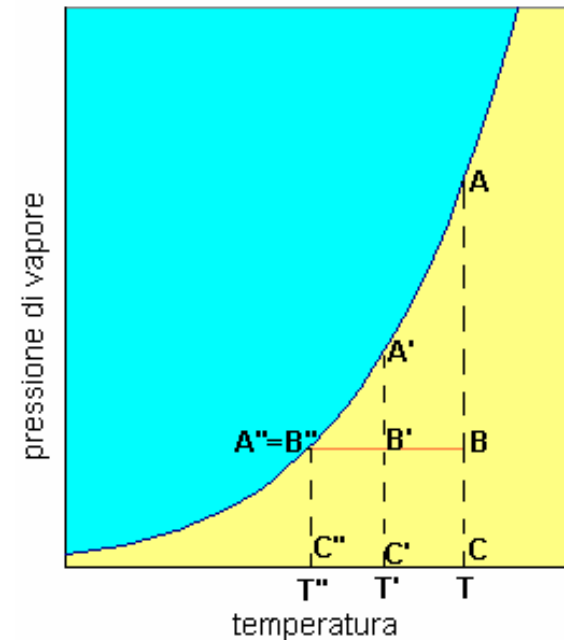
## Precipitazioni nelle basse pressioni



## Precipitazioni nelle basse pressioni



## Curva pressione di vapore - temperatura



All'aumentare della temperatura aumenta la pressione di vapore

## Curva della pressione del vapore saturo

temperatura	pressione	temperatura	pressione		
°F	°C	mbar	°F	°C	mbar
0	-17,8	1,5	65	18,3	21
5	-15,0	1,9	70	21,1	25
10	-12,2	2,4	75	23,9	29,6
15	-9,4	3	80	26,7	35
20	-6,7	3,7	85	29,4	41
25	-3,9	4,6	90	32,2	48,1
30	-1,1	5,6	95	35,0	56,2
35	1,7	6,9	100	37,8	65,6
40	4,4	8,4	105	40,6	76,2
45	7,2	10,2	110	43,3	87,8
50	10,0	12,3	115	46,1	101,4
55	12,8	14,8	120	48,9	116,8
60	15,6	17,7	125	51,7	134,2

All'aumentare della temperatura aumenta la pressione di vapore

## Umidita' Relativa

**Relative Humidity**

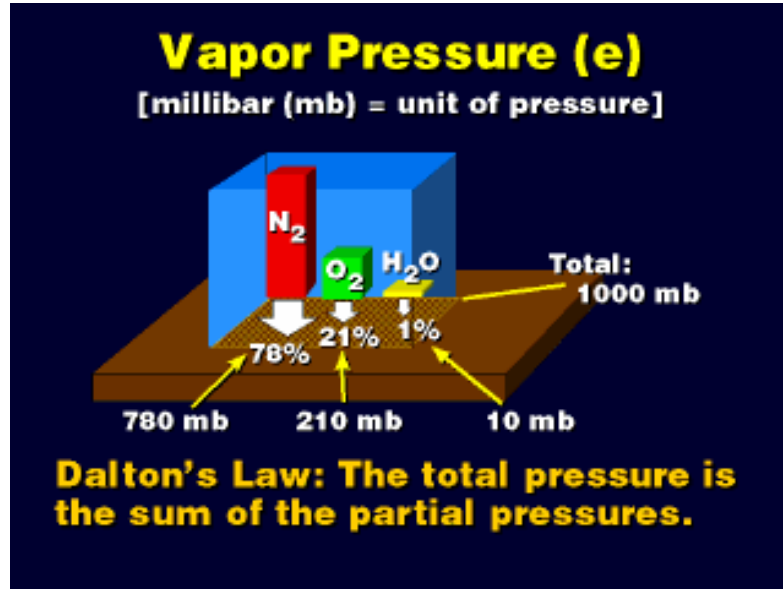
**Fraction relating amount of vapor in the air vs. the amount needed for saturation**

$$RH (\%) = \frac{e_{\text{actual}}}{e_{\text{saturation}}} \times 100\%$$

L'umidità relativa è funzione della temperatura. Infatti è il rapporto tra la pressione parziale di vapore attuale e la pressione di vapore saturo a quella temperatura

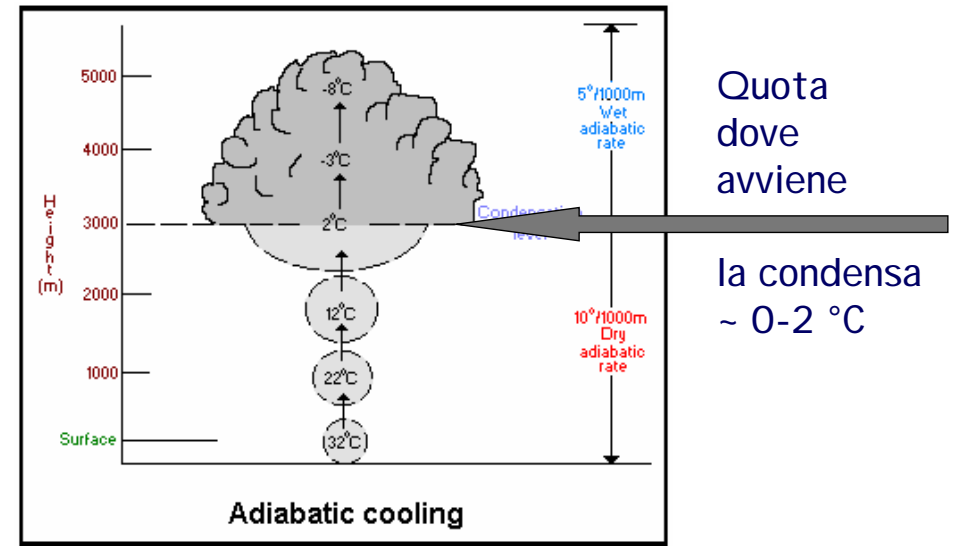
## Legge di Dalton

contributo in pressione di N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O

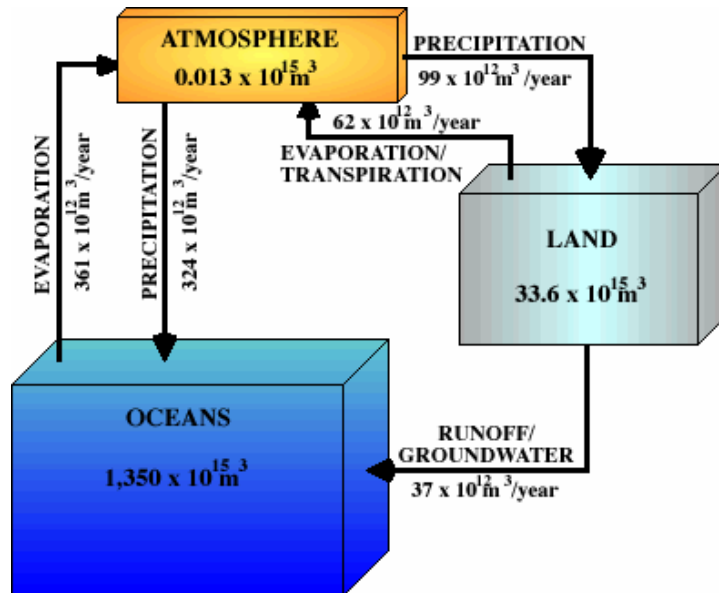


## Curva della pressione del vapore saturo

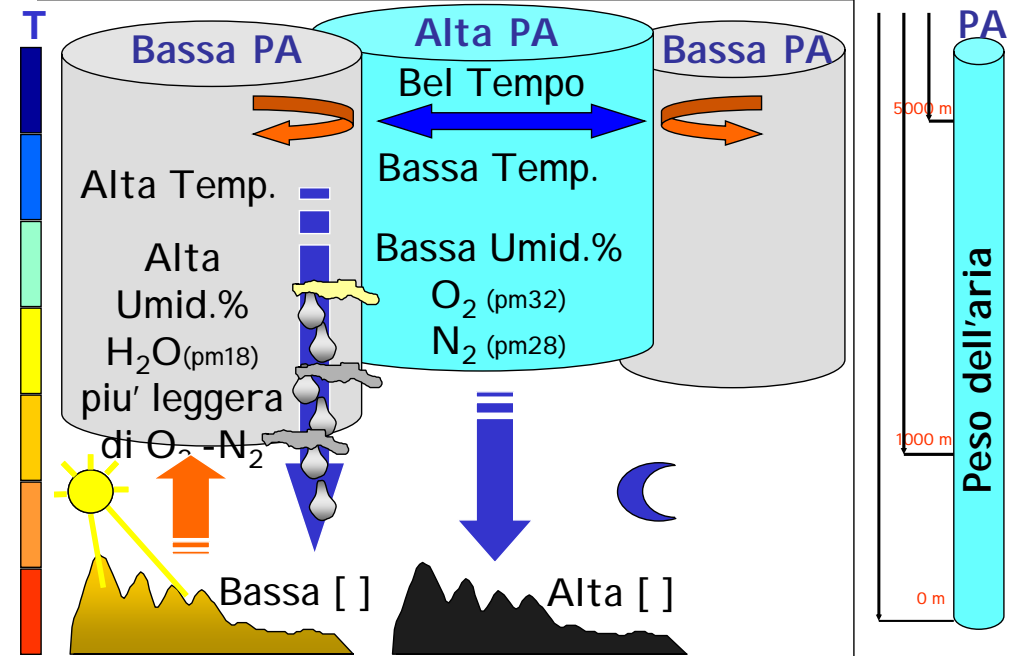
Le nubi formate per convezione sono dovute al fatto che l'aria calda tende a salire (correnti convettive).



## Ciclo piogge/evaporazione

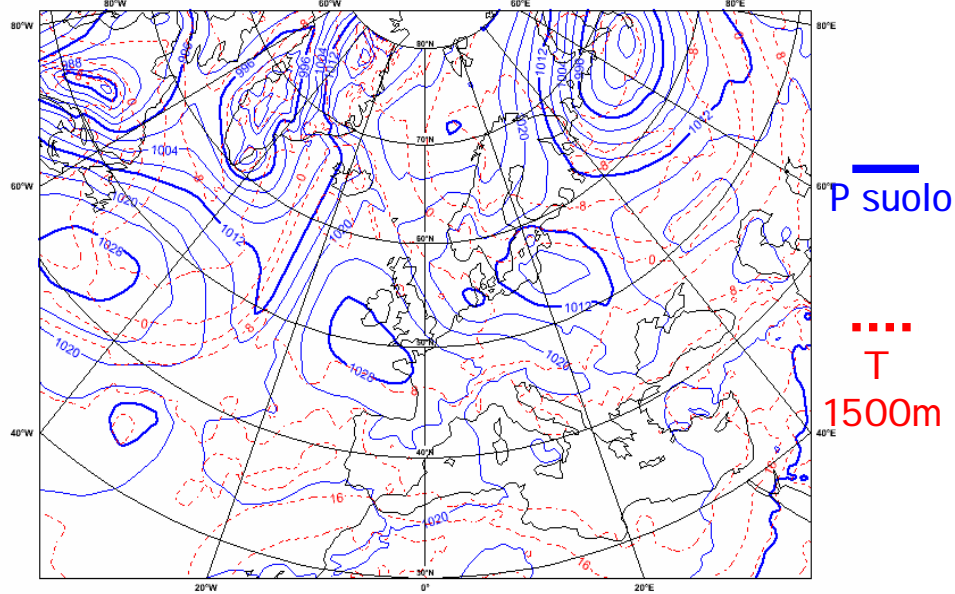


## Pressione atmosferica e moti dell'aria

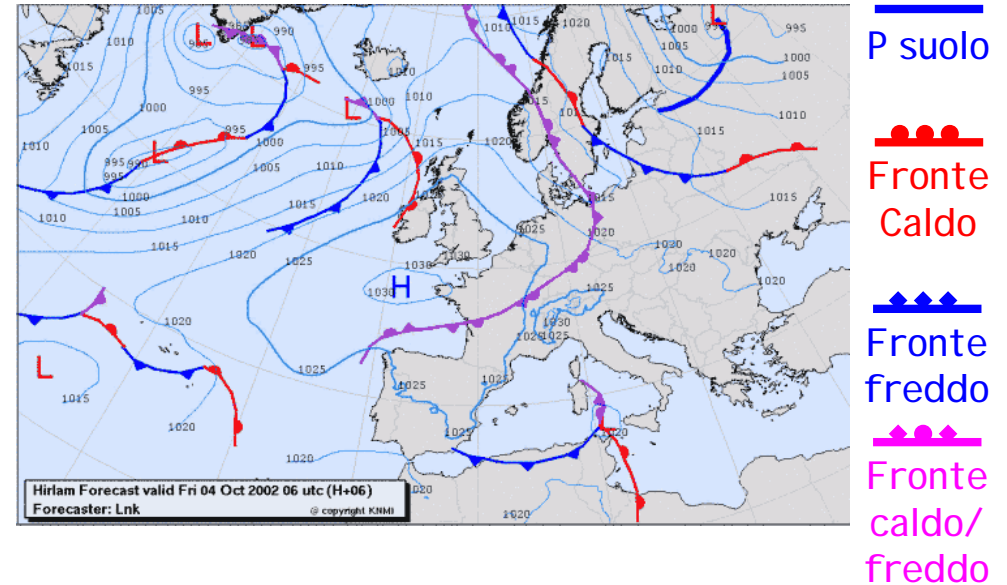


## Carte sinottiche del tempo

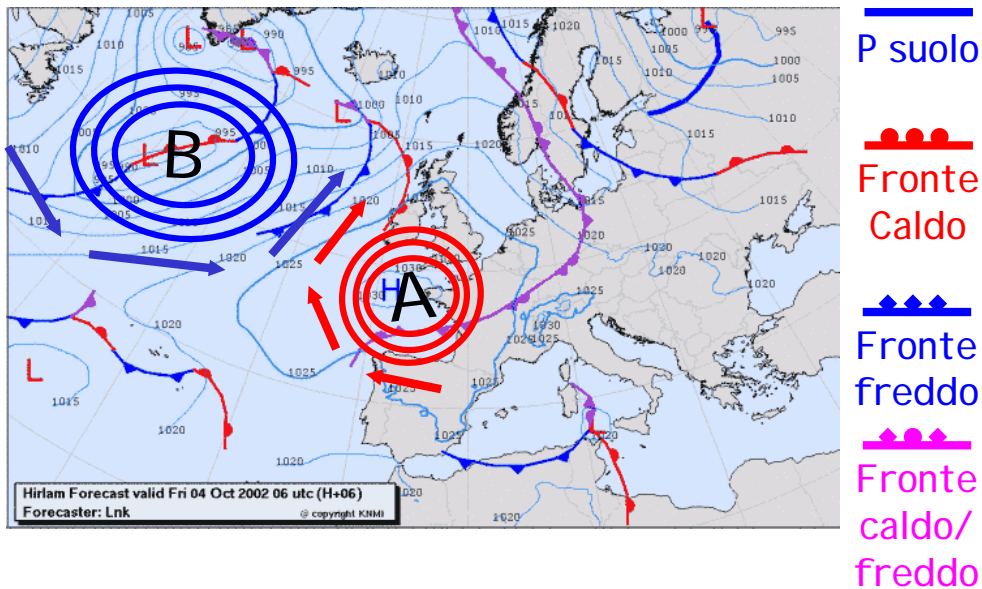
Giovedì 3 Ottobre 2002 12UTC ECMWF Forecast t+48 VT: Sabato 5 Ottobre 2002 12UTC  
Pressione al suolo + Temperatura 850 hPa



## Carte sinottiche del tempo e fronti



## Carte sinottiche del tempo e fronti



## Carte sinottiche del tempo

- 1) Sono diffuse dai centri meteorologici e rappresentano la situazione di una certa zona, attuale o prevista.
- 2) Il titolo della carta riporta il tipo di analisi, al data e l'ora di emissione, la stazione emittente e il periodo di validità.
- 3) Possono riferirsi al suolo o in quota; quelle che ci interessano di più sono quelle di analisi in superficie.
- 4) Sulla carta vengono riportati i valori della pressione in hectopascal al livello del mare uniti in isobare.

## Carte sinottiche del tempo

- 5) Nelle carte italiane viene rappresentata un'isobara ogni 4 hectopascal.
- 6) Nell'alta pressione l'isobara più alta (con il maggior numero di hectopascal) sarà, ovviamente, al centro; L'alta pressione nel gergo meteorologico è detta circolazione anticiclonica e nelle carte internazionali viene indicata con la lettera. H (high) .Mentre la bassa pressione è chiamata circolazione ciclonica o a anche circolazione depressionaria. Viene indicata con la lettera L (low)

## Carte sinottiche del tempo

- 7) Per quanto detto sul vento, e cioè che si genera per differenza di pressione (maggiore è la differenza, maggiore sarà la forza del vento) ne consegue che più le isobare sono vicine, più forte è il vento.

La differenza di pressione in rapporto con la distanza si chiama gradiente barico.

Variazione di pressione  
\_\_\_\_\_  
distanza

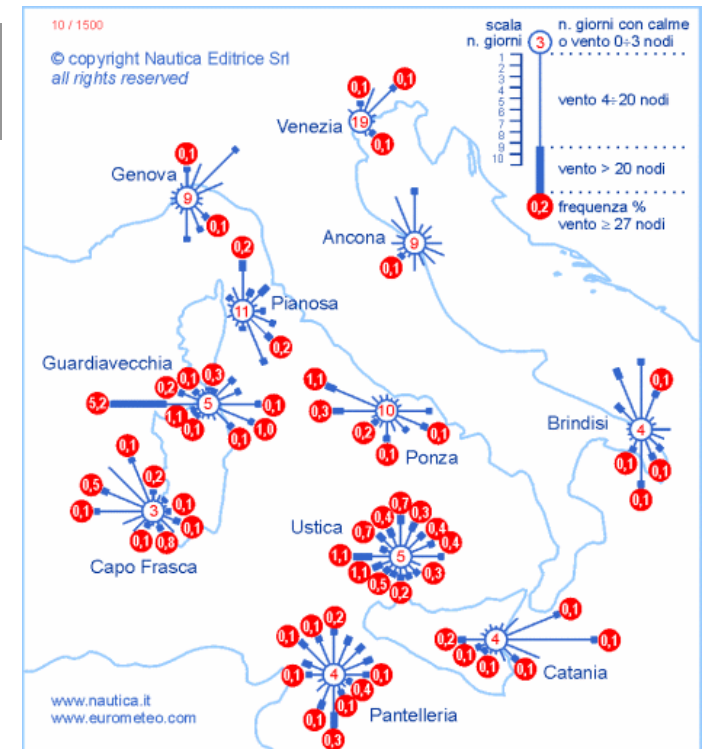
= **gradiente barico**

## Carte sinottiche del tempo

Maggiore sarà la distanza, minore sarà il gradiente barico (se c'è poco gradiente, c'è poco vento e i fenomeni sono modesti). Minore sarà la distanza, maggiore sarà il gradiente barico (se c'è alto gradiente i fenomeni sono molto violenti)

- 8) Il vento tenderebbe ad avere per la legge di Coriolis una direzione perpendicolare alle isobare, ma a causa dell'orografia, al suolo viene frenato e deviato, nell'emisfero Nord . verso sinistra di 10°-30° rispetto alle isobare stesse.
- 9) Dalla alta pressione il vento esce deviato in senso orario, nella bassa pressione entra in senso antiorario.

## Venti prevalenti



## Categorie di stabilità atmosferica Pasquill (1961)

A - estremamente instabile

( $dT/dz < -1.9/100m$ ,  $u < 2m/s$ )

B - moderatamente instabile

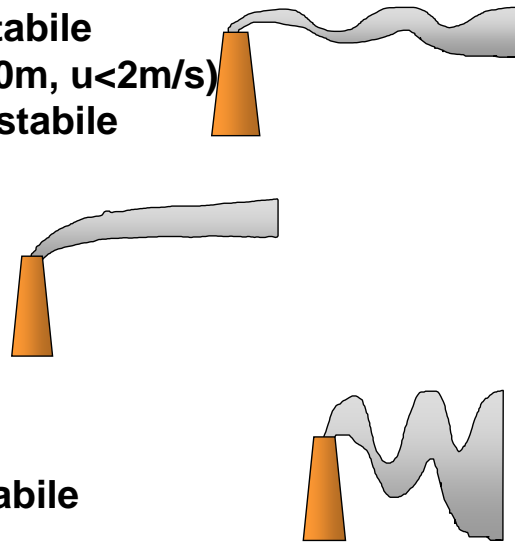
C - poco instabile

D - neutra

( $u > 6m/s$ )

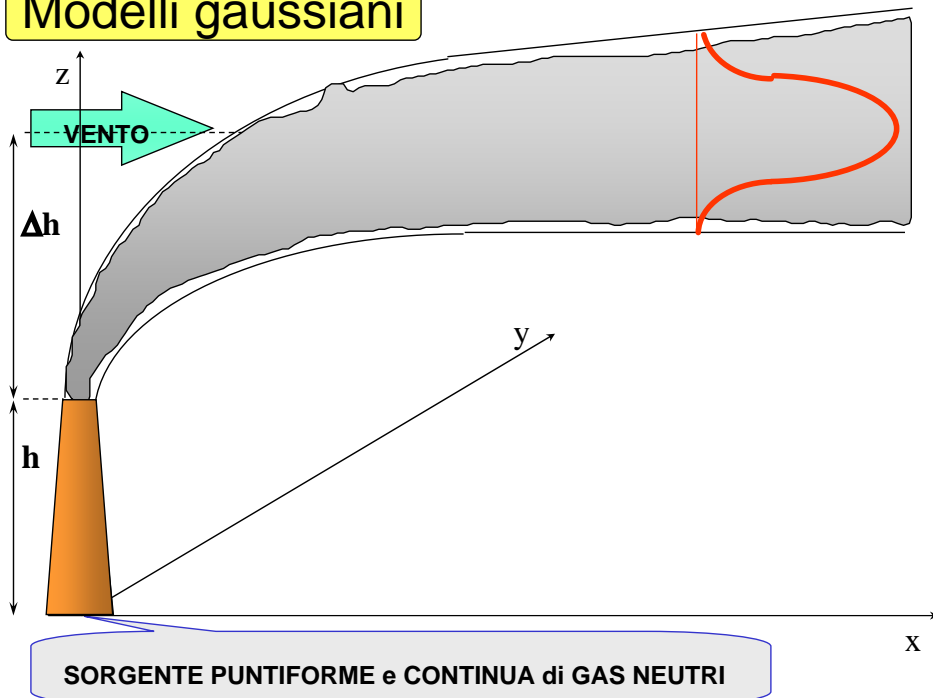
E - poco stabile

F - moderatamente stabile



## Modelli GAUSSIANI

### Modelli gaussiani



### Modelli gaussiani

- 1 sorgente in quota, puntiforme, completa riflessione
- 2 sorgente in quota, puntiforme, completo assorbimento
- 3 sorgente in quota, puntiforme, inversione termica vicino
- 4 sorgente in quota, puntiforme, inversione termica lontano
- 5 sorgente in quota, lineare infinita, completa riflessione
- 6 in quota intrappolamento della scia

### Modelli K

- 1 sorgente vicina, puntiforme, completa riflessione
- 2 sorgente vicina, lineare infinita, completa riflessione



## Sorgenti multiple

## Modelli a scatola

- 1 sorgenti multiple, uniformi, completa riflessione
- 2 sorgenti multiple, uniformi, completa riflessione, più aree

## Modelli a tubo di flusso

- 1 considerano anche effetti inerziali e dovuti alla densità

## Caratteristiche dell'emissione

### Durata

- Continua (che genera plume o pennacchio)
- Discontinua (che genera puff)

### Velocità di efflusso

- Bassa
- Alta - pennacchi forzati

### Densità

- Gas neutri
- Aerosol
- Gas Pesanti

## Caratteristiche dell'emissione

### Numero

- Sorgente singola
- Sorgenti multiple

### Raggruppamento

- Sorgente isolata
- Sorgente in box

### Dimensioni

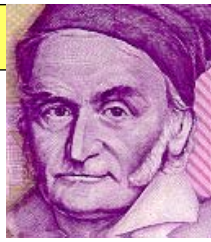
- Sorgente puntiforme
- Sorgente lineare

## Caratteristiche dell'emissione

### Ostacoli

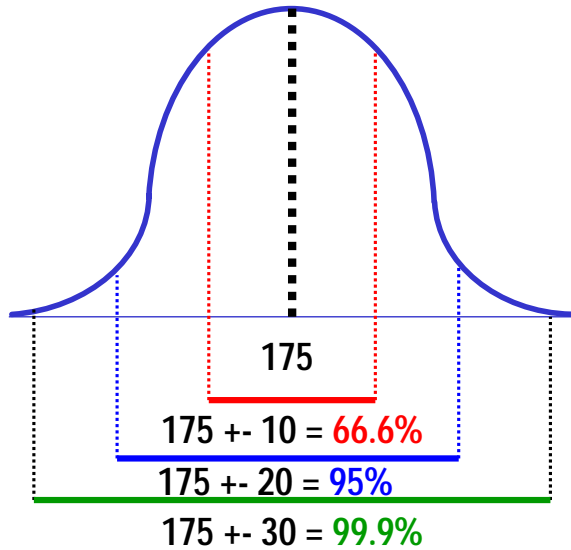
- Non presenti (valle)
- Presenti

## La curva di Gauss



Carl Friedr. Gauss  
1777-1855

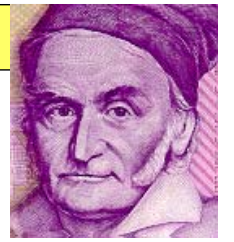
Altezza della popolazione 1000 maschi



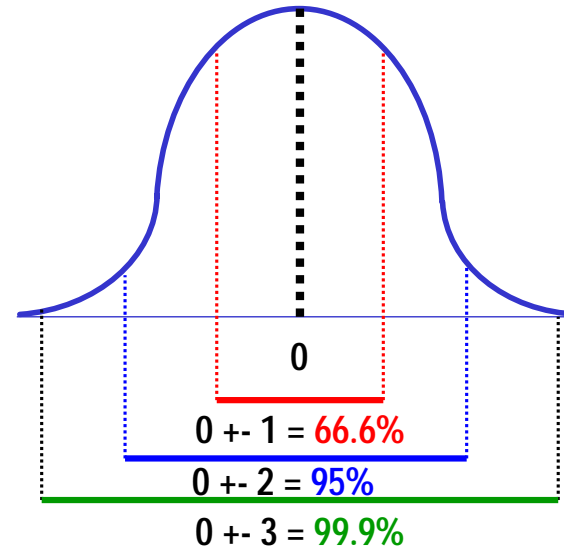
Media = 175  
varianza = 10

Media =  
= Moda =  
= Mediana

## La curva di Gauss



Deviata normale standardizzata



Media = 0  
varianza = 1

Media = Moda = Mediana

trasformazione di h=205  
a deviate norm.stand.

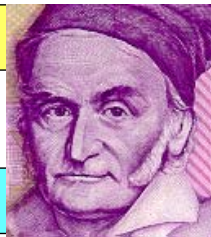
x-media

z = -----

dev.standard

z = (205-175)/10 = 3

## Modello gaussiano



Deviata normale standardizzata

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Deviata log-normale standardizzata

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} \exp\left[-\frac{(\log(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$




## Modelli gaussiani

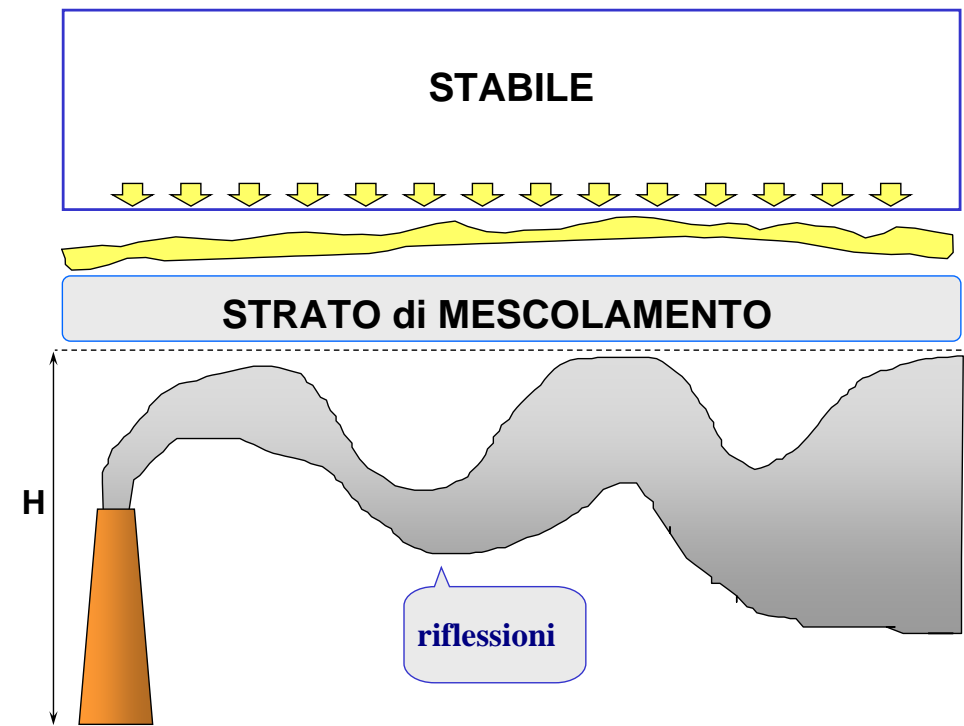
Pennacchio gaussiano - Riflessione al suolo

$$C(x,y,z) = \frac{q}{2\pi(u)\sigma_y\sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

$$\left[ \exp\left(-\frac{(z-h(x))^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h(x))^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

riimmissione in atmosfera

-   $\sigma_x$  = proporzionale alla velocità del vento ed aumenta con l'instabilità
-   $\sigma_y$  = aumenta con la velocità del vento e con la rugosità del suolo
-   $\sigma_z$  = se stabile diminuisce con la quota, se instabile varia molto, se neutro è costante



Modelli gaussiani  
 Pennacchio gaussiano - Riflessione al suolo  
 Inversione termica

$$C(x,y,z) = \frac{q}{2\pi(u)\sigma_y H} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \left(\frac{n\pi}{H}\right)^2 \frac{\sigma_z^2}{2}\right)$$

strato di mescolamento

riflessioni

$$\sum_{n=0}^{\infty} \left( \cos \frac{n\pi z}{H} \cos \frac{n\pi h(x)}{H} \right)$$

Modelli gaussiani  
 Pennacchio gaussiano - Riflessione al suolo  
 Massima concentrazione

Sorgenti singole

$$C_{max} = \frac{2}{2.718} \frac{q}{\pi(u)h(x)^2} \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

Sorgenti multiple

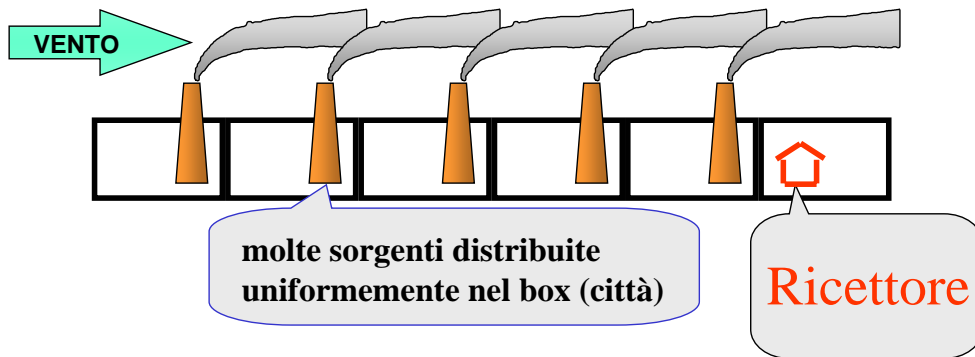
$$C_{max, N_3} = (C_{max,1}) (N_3)^{0.8}$$

$$C_{max, N_x} = \sum_{n=0}^x (C_{max,x})$$

## Modelli gaussiani

Pennacchio gaussiano - Riflessione al suolo  
Massima concentrazione

### Sorgenti Multiple - Modelli a scatola



## Modelli gaussiani

Calcolo dell'innalzamento del Pennacchio

### Modello di Briggs - Tabelle

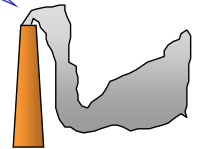
- $v_s > 1.5 u$  ( $v_s > 10$  m/s)
- $\Delta T_{\text{fumi-aria}}$  ( $\Delta T > 50$ ,  $\Delta T < 50$ )
- categorie di Pasquill



$v_s < 1.5 u$

$$\Delta h(x) = -2d_s [(v_s/u) - 1.5]$$

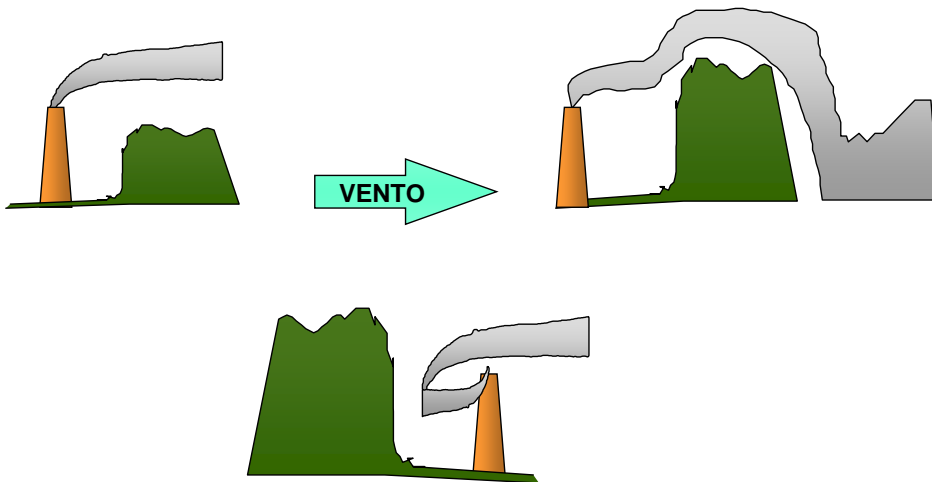
riduzione della quota del pennacchio in caso di risucchio



## Modelli gaussiani

Pennacchio gaussiano

### Ostacoli



### Stime di



$\sigma_y$



$\sigma_z$



Briggs

i valori di  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  sono desunti da dati sperimentali variabili in base a:

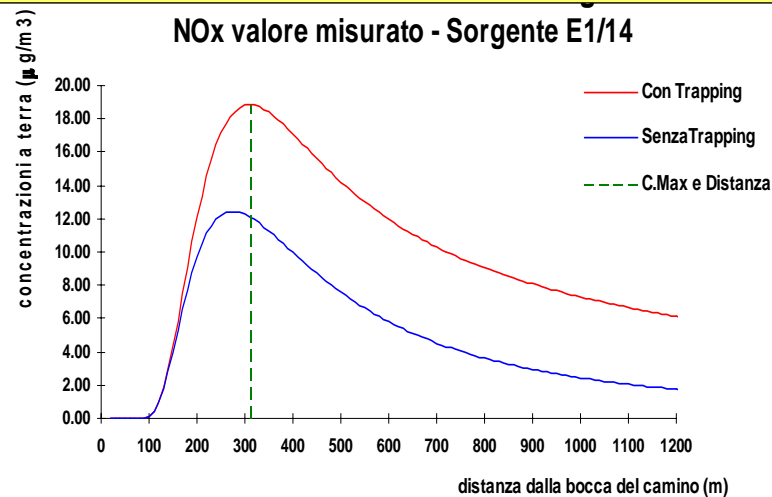
- quota
- tempo di campionamento
- distanza dalla sorgente
- condizioni di stabilità atmosferica
- velocità del vento

si usano TABELLE di riferimento

## Modelli gaussiani

### Pennacchio gaussiano - Riflessione al suolo

### Simulazione di ricaduta e Distanza di massima ricaduta



## Modelli gaussiani

### Vantaggi

i valori di  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  sono desunti da dati sperimentali  
sono disponibili tabelle o curve che riducono i calcoli

### Problematiche

molti modelli per molte situazioni  
difficile la valutazione delle situazioni con ostacoli  
modello applicabile per distanza dalla sorgente 0-10 km  
modello applicabile per  $u \geq 1$  m/s

## Parametri per i programmi di calcolo Decisioni per un approccio tossicologico "situazione peggiore"

- $h_s$  (m) altezza geometrica del camino
- $V_s$  (m/sec) velocità di efflusso dei fumi allo sbocco  
(calcolato dall'area e dalla portata)
- $d_s$  (m) diametro del camino
- $T_s$  (°C) temperatura dei fumi, nel caso di range si sceglie  
la più bassa
- $T_a$  (°C) temperatura ambiente, posta a 20 °C ossia vicino  
alla  $T_s$  più rappresentata di 22 °C

## Parametri per i programmi di calcolo Decisioni per un approccio tossicologico "situazione peggiore"

- $u_{10}$  (m/sec) velocità del vento alla quota di riferimento  
10 m, si da 1 m/sec
- $L$  (m) altezza dello strato di mescolamento, si pone a  
10 m dall'innalzamento del pennacchio
- $S$  categoria di stabilità di Pasquill, si pone a rurale  
aperto
- $q_s$  (m<sup>3</sup>/h) portata dell'emissione, scegliere sempre la max
- $C_s$  (mg/m<sup>3</sup>) concentrazione dell'inquinante, scegliere  
sempre la max

## Composti

Benzene, Toluene, Alchilbenzeni, NOx

Naftalene TLV/TWA 52 mg/m<sup>3</sup>

Betanaftolo colorante, insetticida

no TLV/TWA ma nelle urine metabolita tossico 2-naftolo  
presente in concentrazioni pari al 5% del naftalene  
somministrato --> TLV naftalene 52 mg/m<sup>3</sup> --> 5% = 2 mg/m<sup>3</sup>  
acuta lieve, effetto su acqua,  
uomo (nefrotossico, irritante cute/occhio, metaemoglobinizz.),  
non studi di cancerogenesi, non mutageno

Ac.BON ac.betaossinaftoico, prodotto finito dal betanaftolo

DL50 >1 g/Kg, contenere < 1 mg/ m<sup>3</sup> (comitato esperti)  
acuta lieve, non dati di cancerogenesi, non mutageno,  
non sensibilizzante

## Composti

Ac.Schaeffer ac.nafton-sulfonico,

intermedio per coloranti azoici, no TLV disponibile o propon.  
acuta modestamente tossici, non mutageno

Ftalocianina di rame colorante blu --> rosso,

dose non effetto 1 g/kg, TLV/TWA proponibile 1-5 mg/m<sup>3</sup>  
MAC russo 5 mg/m<sup>3</sup>  
non dati cancerogenesi, mutageno (contaminazione da  
composti metallici)

## Risultati

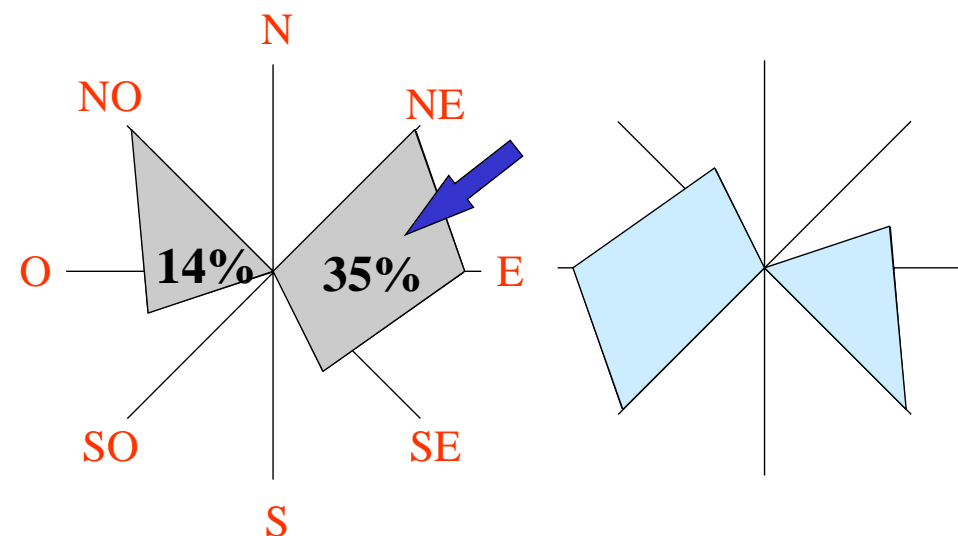
	µg/m <sup>3</sup>			m dist
	autor.	mis.	riferim	
Benzene	1.5	< 0.16	urb.30 rur.10	70
Toluene	12	0.6		40
Alchilbenzeni	558	0.7	30	40
Naftalene	32	0.1	2 mg/m <sup>3</sup>	90
NOx (ctm)	114	48	40	500
Betanaftolo	30	0.5	20-40 *	140
Ac.BON	5	0.3	10-20 *	90
Ac.Schaeffer	0.1	0.08	10-20 *	120
Ftalocianina di rame	86	3	10-20 *	20

\* -(50-100 volte) il TLV/TWA

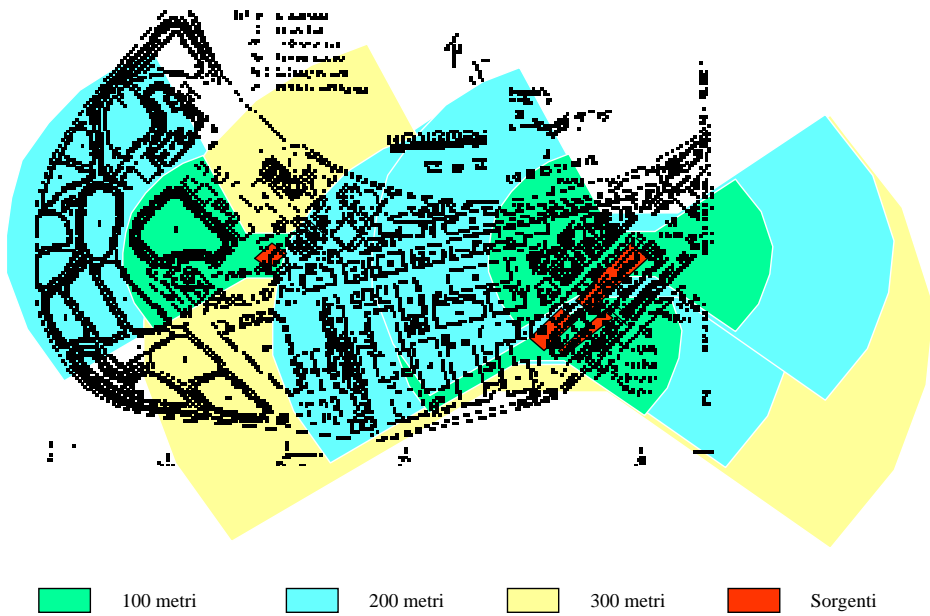
## Rosa dei Venti

Direzione Vento = Provenienza

Direzione Fumi = Dove va







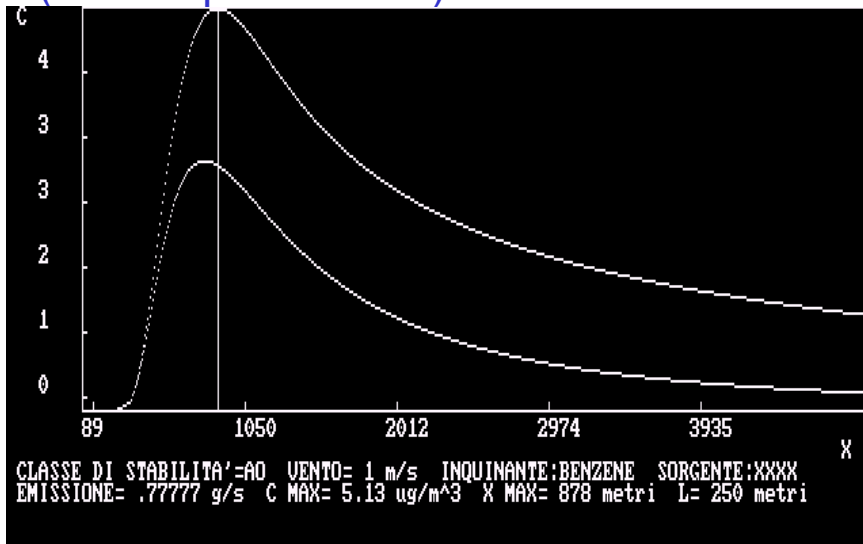
Aree nelle quali sono collocabili i punti di massima ricaduta

## Software utilizzabili

- **CalMet** (california univ.meteology)  
necessita di dati meteo continui per prevedere le condizioni meteo nei diversi giorni
- **CalGrid** (california univ.diffusion model)  
**CalPuff** se applicato ai dati previsionali di CalMet genera delle griglie di diffusione/concentrazione

## Software utilizzabili

- **DiffGauss** Politecnico di Milano  
(Basic/SpreadSheet)

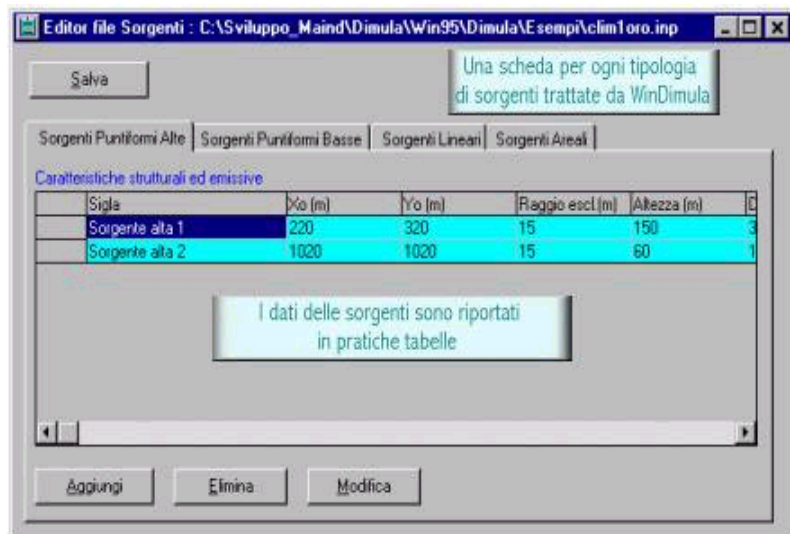


## Software utilizzabili

- **Dimula** applicazione del modello di Briggs  
**Win-Dimula** (ENEA) risolve il problema dell'instabilità per  $u_{10} < 1$  m/sec

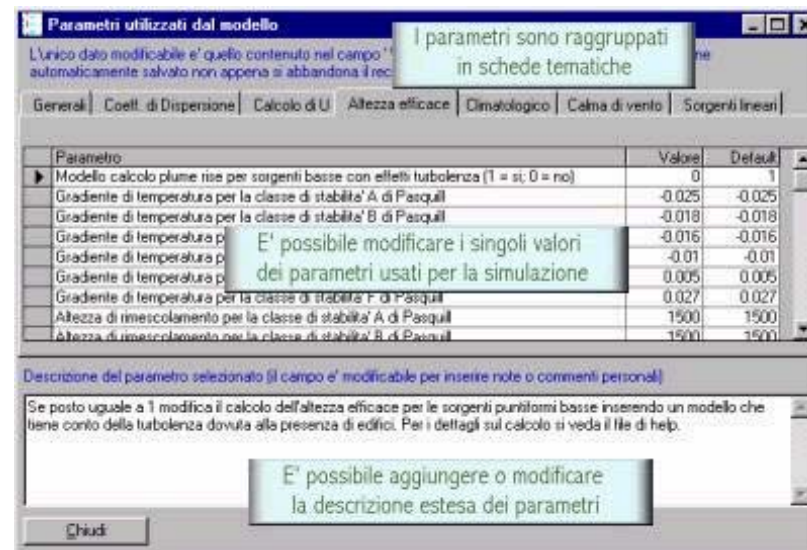
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



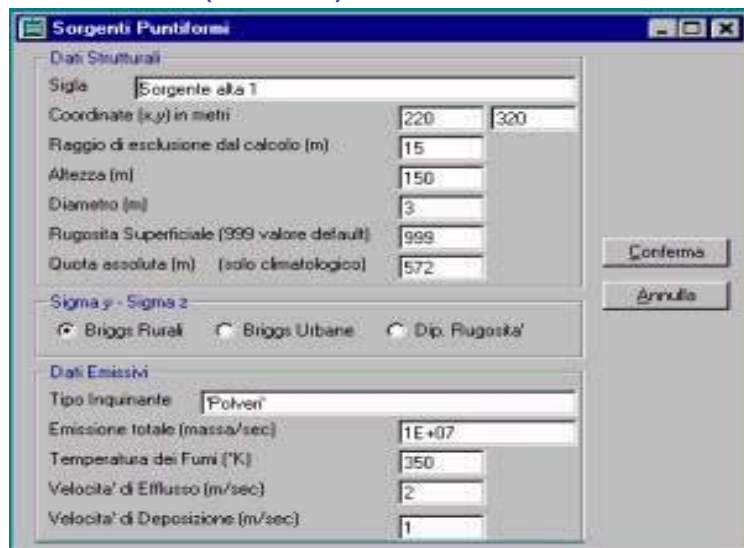
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



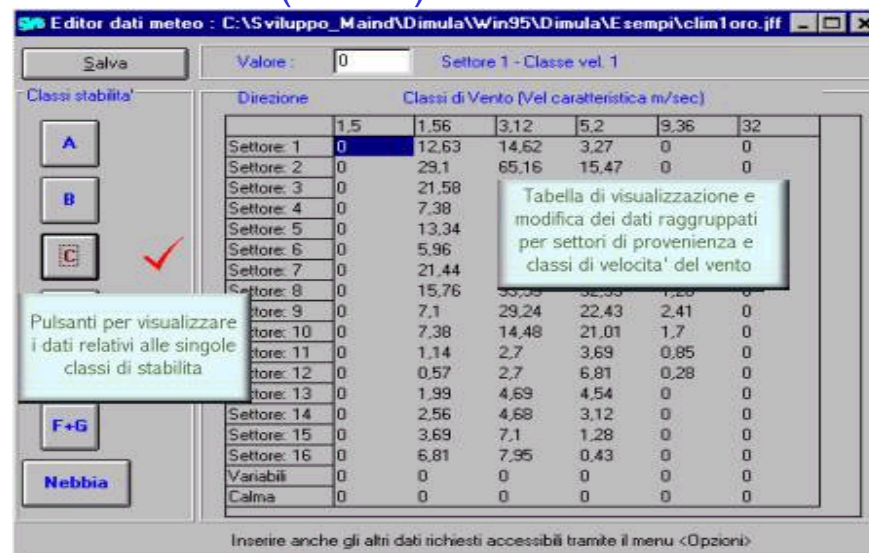
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



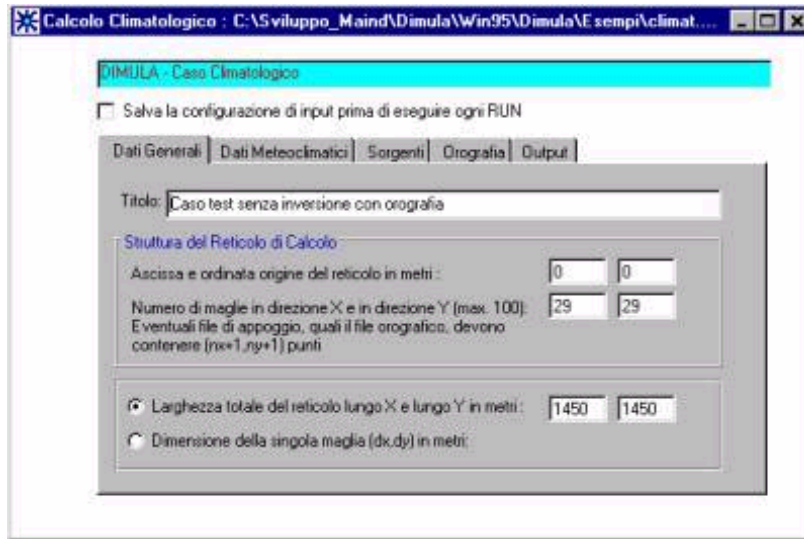
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



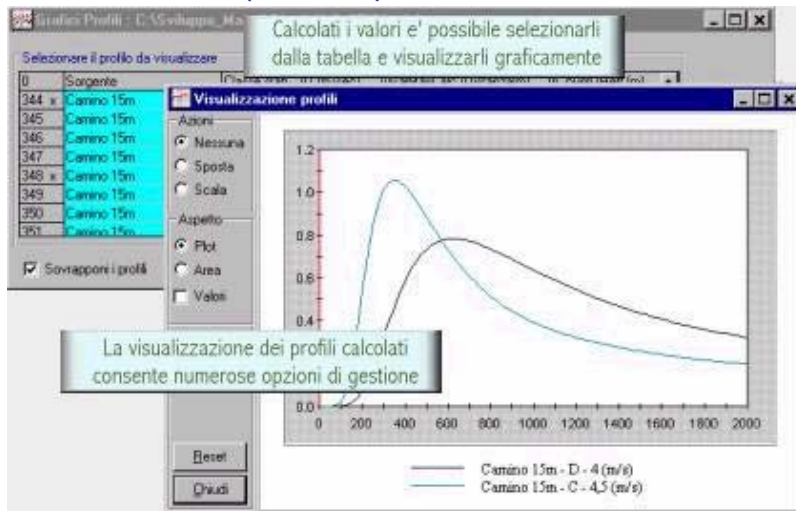
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



# Software utilizzabili

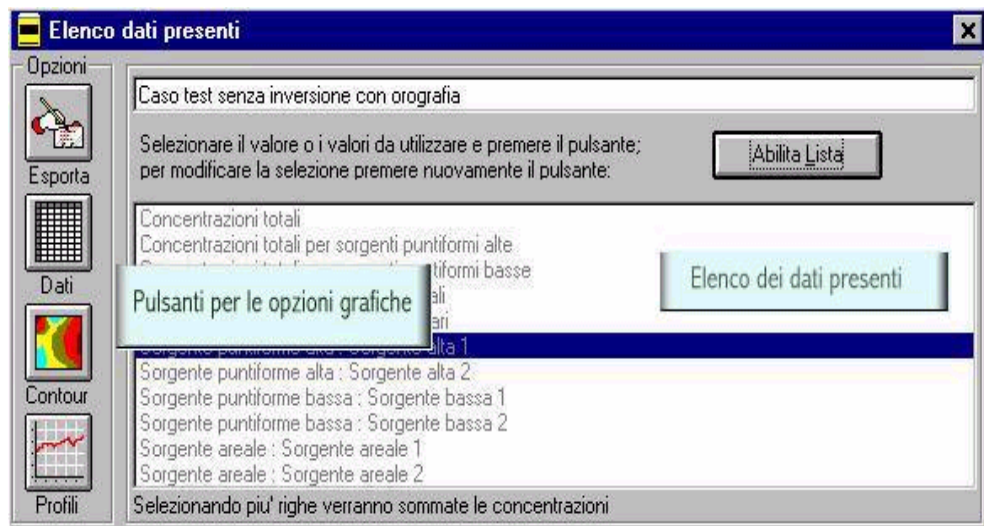
## Win-Dimula (ENEA)





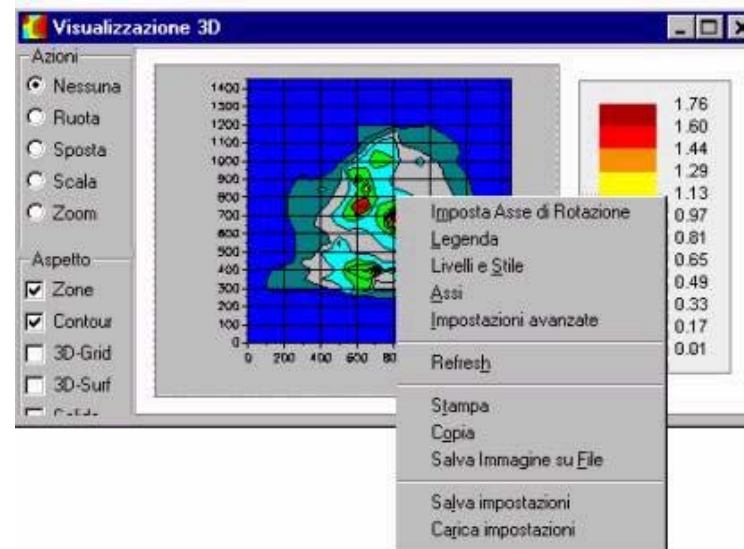
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



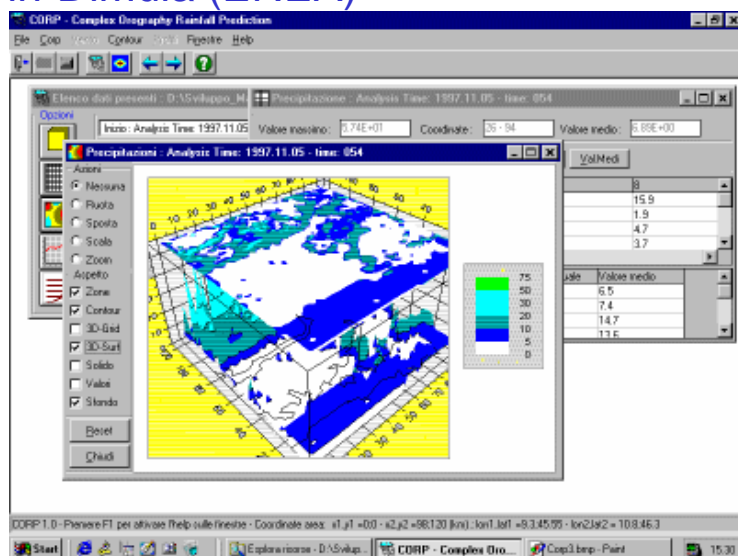
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



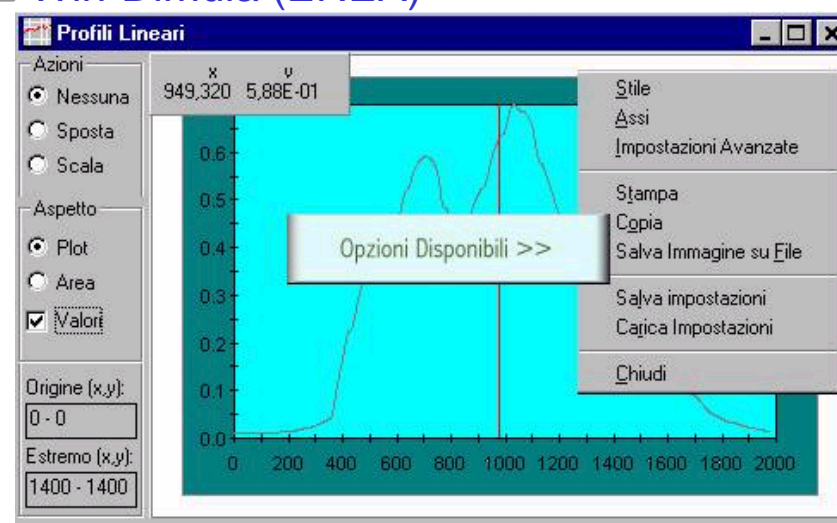
# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



# Software utilizzabili

## Win-Dimula (ENEA)



## Software utilizzabili

■ Win-Dimula (ENEA)

**PREZZI 2003**

**WinDIMULA2 versione base (2 abilitazioni)**

**EURO 350.00**

Calcolatore limiti di legge

EURO 70.00

Rumore ambientale

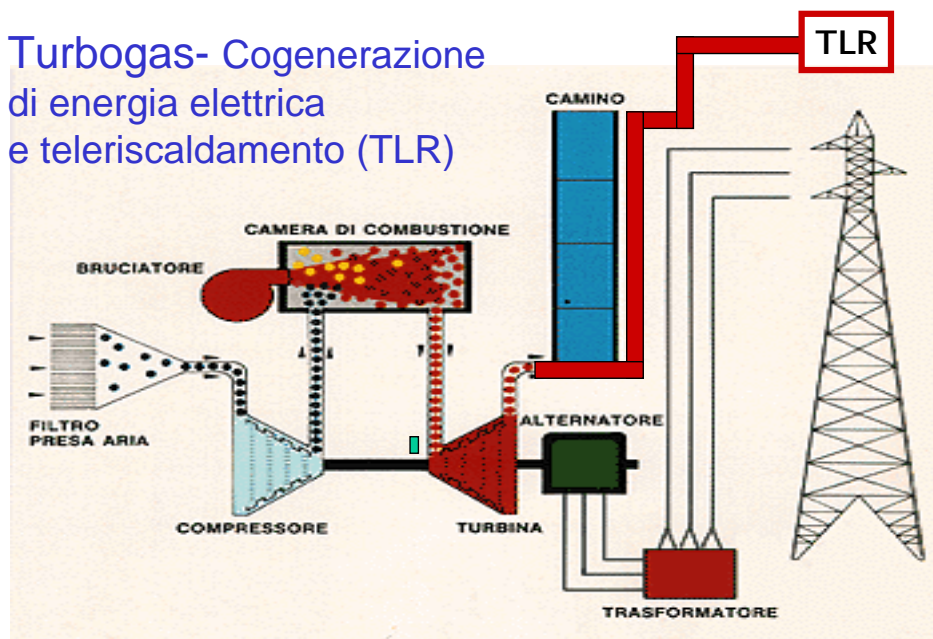
EURO 200.00

## Esercitazione 1



## Esercitazione 1

Turbogas- Cogenerazione di energia elettrica e teleriscaldamento (TLR)



## Esercitazione 1

Turbogas

Numero Motori

1 3

Potenza elettrica	KW	1020	3060
Portata volumetrica	Nm <sup>3</sup> /h	4632	13896
Portata di massa	kg/h	6067	18201
Portata emissioni NOx	g/sec	0.129	0.387
Portata emissioni CO	g/sec	0.257	0.771
Temperatura con TLR	°C	128	128
Temperatura w/o TLR	°C	514	514
Altezza camino	m	13.8	13.8
Diametro camino	mm	400	400
Velocita' uscita con TLR	m/sec	15	15
Velocita' uscita w/o TLR	m/sec	29.5	29.5
Autorizzati NOx	mg/Nm <sup>3</sup>	200	200
Autorizzati CO	mg/Nm <sup>3</sup>	100	100

# Esercitazione 1

## Caldaia Booster

Potenza termica	KW	11628
Portata volumetrica	Nm <sup>3</sup> /h	15852
Portata di massa	kg/h	12100
Portata emissioni NO <sub>x</sub>	g/sec	0.881
Portata emissioni CO	g/sec	0.441
Temperatura	°C	120
Velocita' uscita	m/sec	12.6
Autorizzati NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	100
Autorizzati CO	mg/Nm <sup>3</sup>	200

# Esercitazione 1

## Valori limite per inquinanti aerodispersi

MINISTERO AMBIENTE - DECRETO 2 aprile 2002, n. 60

### NO<sub>x</sub>

Puntuale (AMBIENTE) 1 ora 200 µg/m<sup>3</sup>

Annuale (area) salute umana 40 µg/m<sup>3</sup> -2005

Annuale (area) protezione vegetazione 30 µg/m<sup>3</sup> -2005

### CO

Puntuale (AMBIENTE) 1 ora 200 µg/m<sup>3</sup>

Media giornaliera/ 8 ore (area) 10 µg/m<sup>3</sup>

### PM<sub>10</sub>

Puntuale (AMBIENTE) 50 µg/m<sup>3</sup>

superamento max 35 volte anno

Annuale (area) 40 µg/m<sup>3</sup>

-2005

## NO<sub>x</sub> - DM 60/2002

### I. Valori limite per il biossido di azoto e gli ossidi di azoto

I valori limite devono essere espressi in µg/m<sup>3</sup>. Il volume deve essere normalizzato ad una temperatura di 293 K e a una pressione di 101,3 kPa.

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
1. Valore limite orario per la protezione della salute umana	1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare più di 18 volte per anno civile	50% del valore limite, pari a 100 µg/m <sup>3</sup> , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% al 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	50% del valore limite, pari a 20 µg/m <sup>3</sup> all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010
3. Valore limite annuale per la protezione della vegetazione	Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	Nessuno	19 luglio 2001

## PM<sub>10</sub> - DM 60/2002

### FASE I

1. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> da non superare più di 35 volte per anno civile	50% del valore limite, pari a 25 µg/m <sup>3</sup> , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	20% del valore limite, pari a 8 µg/m <sup>3</sup> , all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2001 e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005

### FASE 2 (1)

1. Valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana	24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub> da non superare più di 7 volte l'anno	Da stabilire in base ai dati, in modo che sia equivalente al valore limite della fase I	1° gennaio 2010
2. Valore limite annuale per la protezione della salute umana	Anno civile	20 µg/m <sup>3</sup> PM <sub>10</sub>	10 µg/m <sup>3</sup> al 1° gennaio 2005 con riduzione ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% il 1° gennaio 2010	1° gennaio 2010

(1) Valori limite indicativi da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria.



# CO - DM 60/2002

## VALORE LIMITE PER IL MONOSSIDO DI CARBONIO

Il valore limite deve essere espresso in  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Il volume deve essere normalizzato ad una temperatura di 293 K e ad una pressione di 101,3 kPa.

	Periodo di mediazione	Valore limite	Margine di tolleranza	Data alla quale il valore limite deve essere raggiunto
Valore limite per la protezione della salute umana	Media massima giornaliera su 8 ore	$10 \text{ mg}/\text{m}^3$	$6 \text{ mg}/\text{m}^3$ all'entrata in vigore della direttiva 2000/69 (13/12/2000). Tale valore è ridotto il 1° gennaio 2003, e successivamente ogni 12 mesi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungere lo 0% al 1° gennaio 2005	1° gennaio 2005

Inverno - Calma di vento - modello euleriano  
(situazione protratta per più giorni in assenza di vento)

Massima  $\text{NO}_x$   $181 \text{ ug}/\text{m}^3$   
(area dell'impianto)

Media  $\text{NO}_x$   $41 \text{ ug}/\text{m}^3$  (cerchio più esterno)

# DM 60/2002

	ANNO	$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{PM}_{2,5}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\text{SO}_2$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	CO $\text{mg}/\text{m}^3$
Val. qualità dell'aria DM 2/4/02 n.60	2003	60		54	125	14
	2004	55		52	125	12
	2005	50		50	125	10
	2010	20		40	125	10

## Esercitazione 1

### Risultati

Turbogas massima  $\text{NO}_x$   
=  $15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3 * 3 \text{ motori}$   
=  $47.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Caldaia massima  $\text{NO}_x$   
=  $87.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Totale massima  $\text{NO}_x$   
=  $47.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 +$   
 $87.3 \mu\text{g}/\text{m}^3 =$   
 **$131.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$**

## Esercitazione 1

### Risultati

Previsione tipi di vento  
Giorno SW SE (SE-S-WSW) e MW-NNE  
Notte NE

Distanze di ricaduta  
Entro 600m estate  
Entro 900m inverno

150-270° estate	NOx 10.5 ug/m3
150-270° inverno	NOx 10.4 ug/m3
tipica estate asse SW-NE	NOx 62 ug/m3

150-270° estate	CO 11 ug/m3
150-270° inverno	CO 14.3 ug/m3

## Esercitazione 1

### Risultati

Condizioni di Stabilita' di Pasquill piu' frequenti  
F+G e Nebbia

Altezza stato di rimescolamento piu' basso  
Dicembre 200 m

Risultati  
Giugliacci

media	Inverno
NOx 40 ug/m3	33 ug/m3
CO 39 ug/m3	32 ug/m3

## Esercitazione 1

### Risultati

Inverno - Calma di vento - modello euleriano (situazione protratta per piu' giorni in assenza di vento)  
Massima NOx 181 ug/m3 (area dell'impianto)  
Media NOx 41 ug/m3 (cerchio piu' esterno)

### Conclusioni

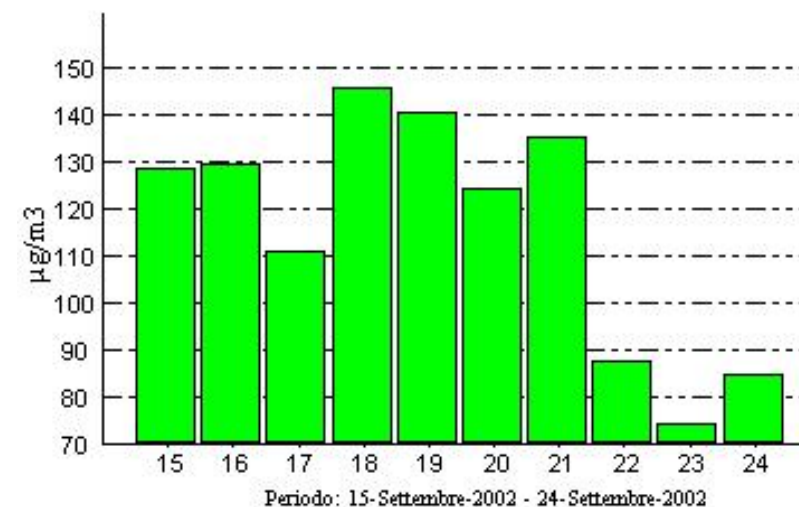
In inverno, la sostituzione delle caldaie porta ad una sostanziale riduzione delle concentrazioni medie in aria vicino al suolo su tutta l'area, in modo piu' rilevante nei settori 30-150° (abitazioni)

Situazioni limite in inverno (calma di vento) a dare concentrazioni elevate ma sotto la soglia (181 ug/m3)

Estate 150-270°	media	NOx	11 ug/m3
Estate 150-270°	media	CO	15 ug/m3

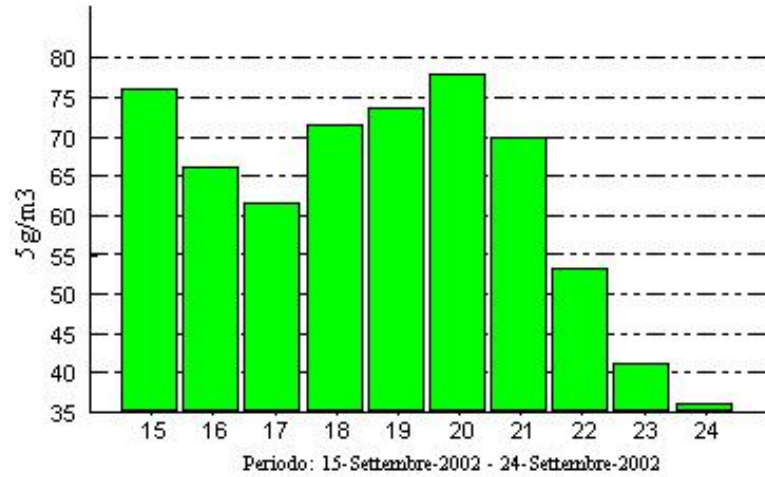
## Dati centraline ARPA

Monitor: NO2 - Massimi giornalieri



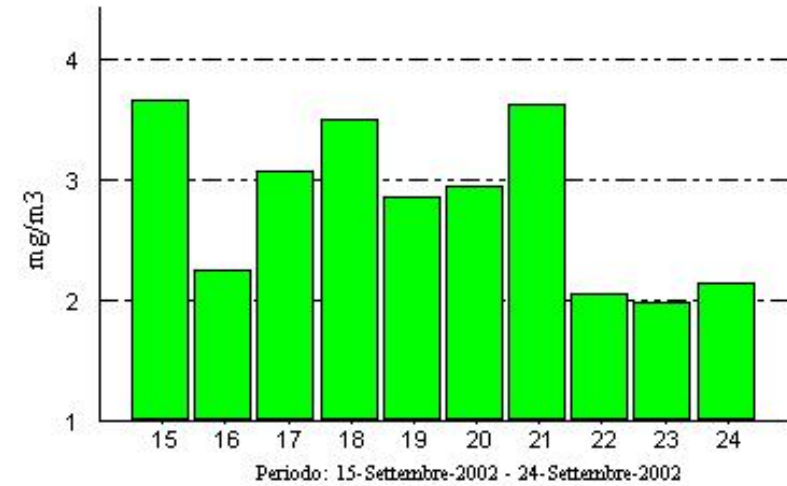
# Dati centraline ARPA

Monitor: PTS - Medie giornaliere



# Dati centraline ARPA

Monitor: CO - Massimi giornalieri



## AUTUNNO 2003 – funzionamento motori

Data	Data				%
Inizio rilevazione	Fine Rilevazione	Mot. 1	Mot. 2	Mot. 3	
22-09-03 09,20	23-09-03 10,00	0-24	06,30-21,30	06,30-21,30	75%
29-09-03 14,45	30-09-03 16,00	5-24	Fermo	Fermo	25%
02-10-03 15,55	03-10-03 15,40	0-24	06,30-21,30	06,30-21,30	75%
06-10-03 09,00	07-10-03 11,05	0-24	06,30-21,30	06,30-21,30	75%
07-10-03 10,00	08-10-03 10,10	0-24	06,30-21,30	06,30-21,30	75%
13-10-03 09,00	14-10-03 10,30	0-24	06,30-21,30	06,30-21,30	75%

## INVERNO 2004 – funzionamento motori

Data	Data				%
Inizio rilevazione	Fine Rilevazione	Mot. 1	Mot. 2	Mot. 3	
02-02-04	03-02-04	5-24	06,30-21,30	06,30-21,30	69%
03-02-04	04-02-04	5-24	06,30-21,30	06,30-21,30	69%
04-02-04	05-02-04	5-24	06,30-21,30	06,30-21,30	69%
05-02-04	06-02-04	5-24	06,30-21,30	06,30-21,30	69%
09-02-04	10-02-04	5-24	06,30-21,30	06,30-21,30	69%