



Copertina

# Corso di Fisica dello Strato Limite Atmosferico

## Trasporto radiativo e bilancio energetico nel surface layer

Giaiotti Dario & Stel Fulvio

## Sommario della lezione

- Trasporto radiativo in atmosfera ed equazione del trasporto
- Esempi di spessore ottico delle nubi
- Esempi di evoluzione della temperatura nel surface layer
- Il ruolo della superficie terrestre nell'evoluzione del ABL
- Bibliografia di riferimento e per approfondimenti.

## Equazione del trasporto radiativo

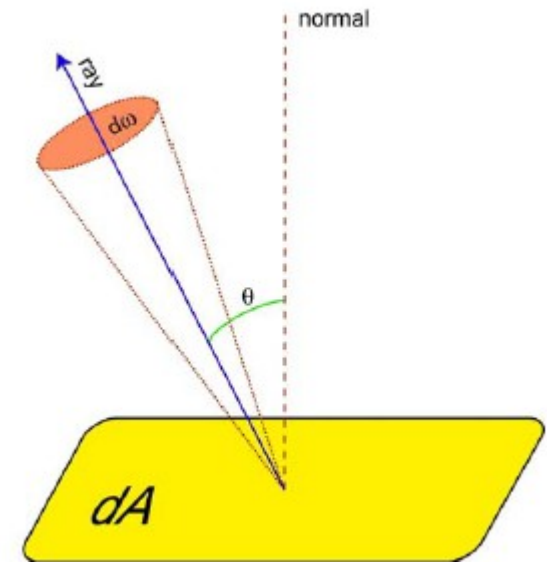
Derivazione dell'equazione del trasporto radiativo



$$dE_\nu = I_\nu(\cos \theta) \cos \theta dA d\omega d\nu dt$$

$$\frac{dI_\nu}{d\tau_\nu} = I_\nu - S_\nu$$

Derivazione svolta alla lavagna



# Spessore ottico delle nubi

Otticamente spessa



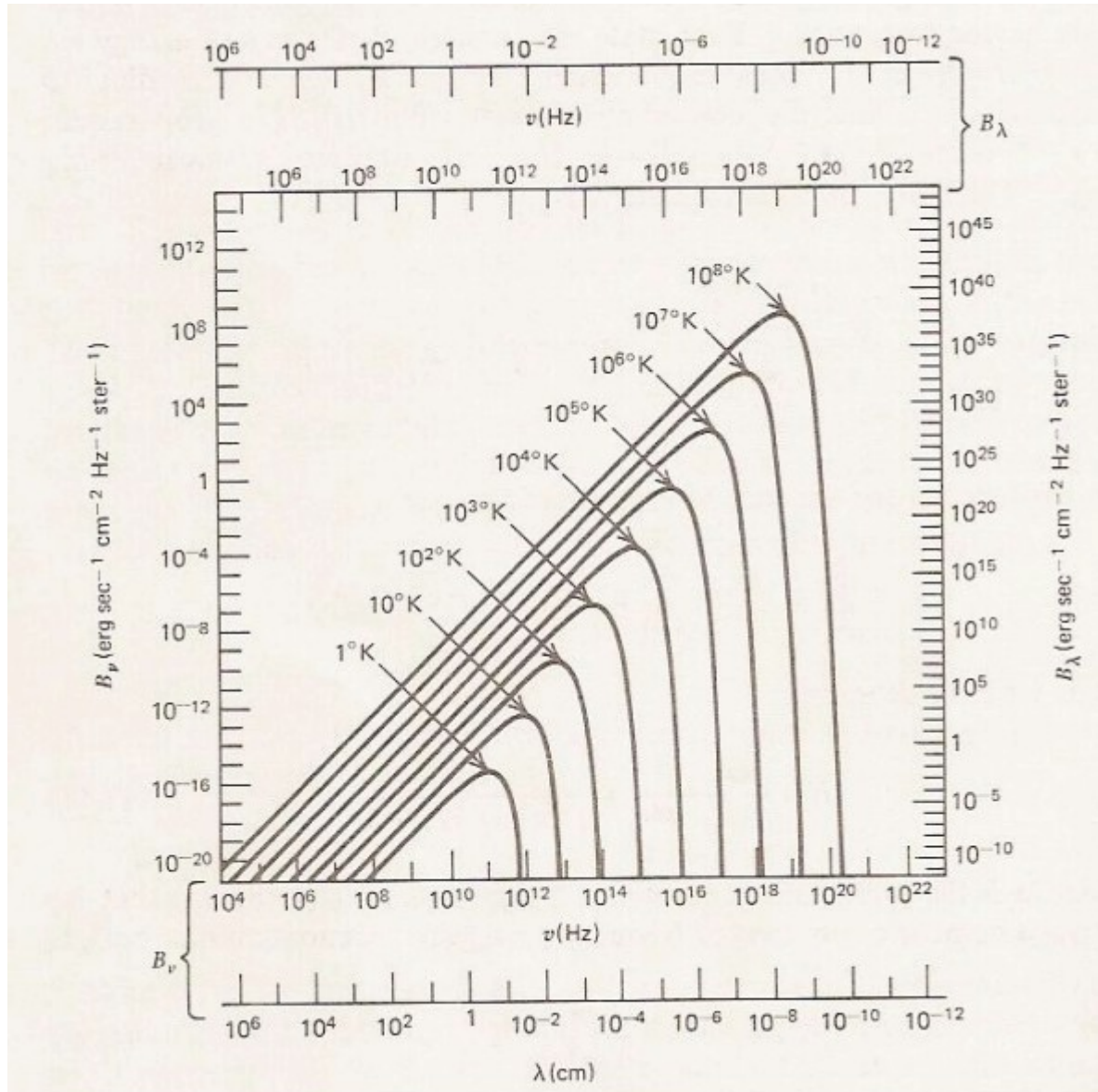
Otticamente sottile



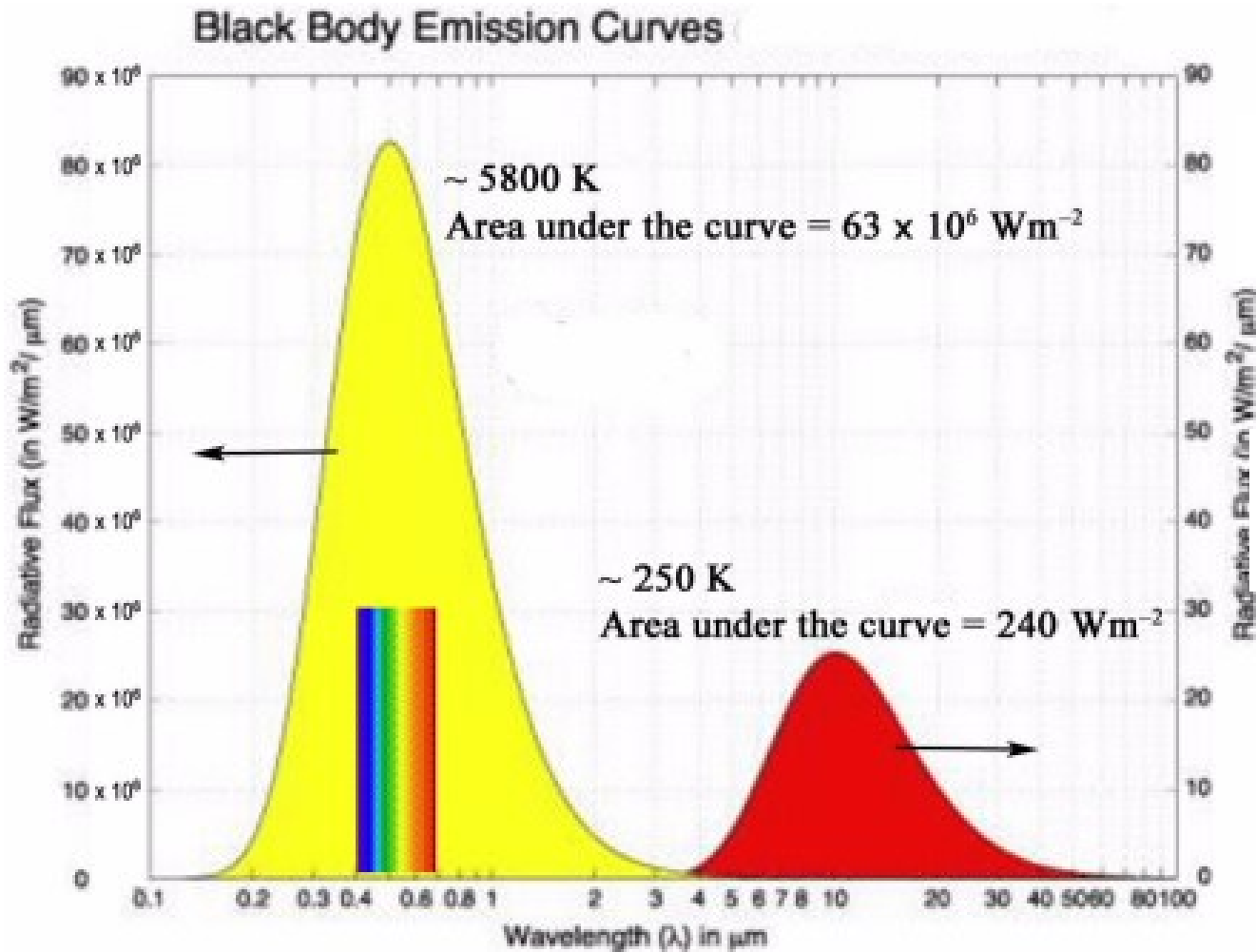
## Intensità specifica di corpo nero in funzione della temperatura del corpo

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3/c^2}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$



## Flusso radiativo di corpo nero a due temperature

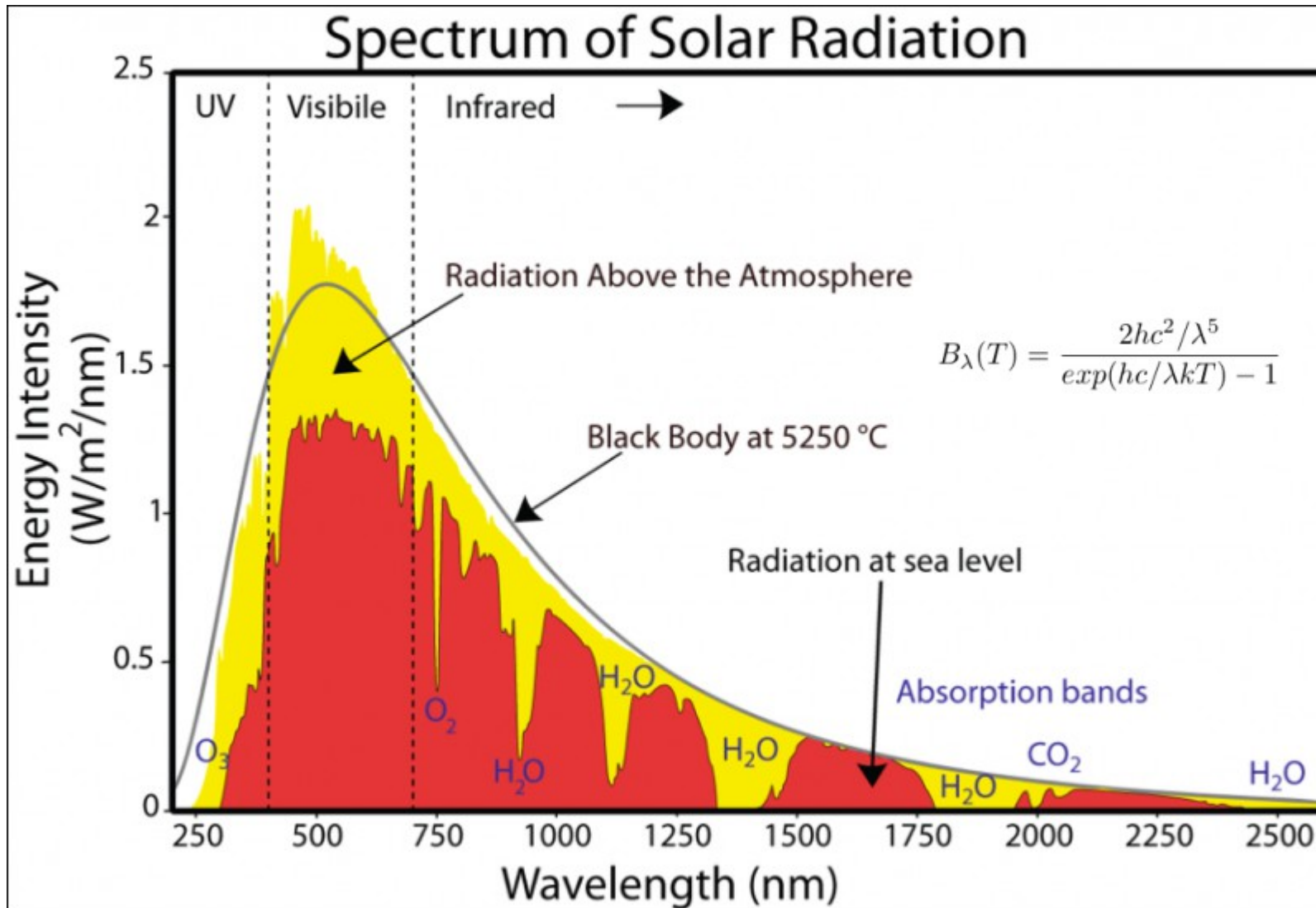


$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3/c^2}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

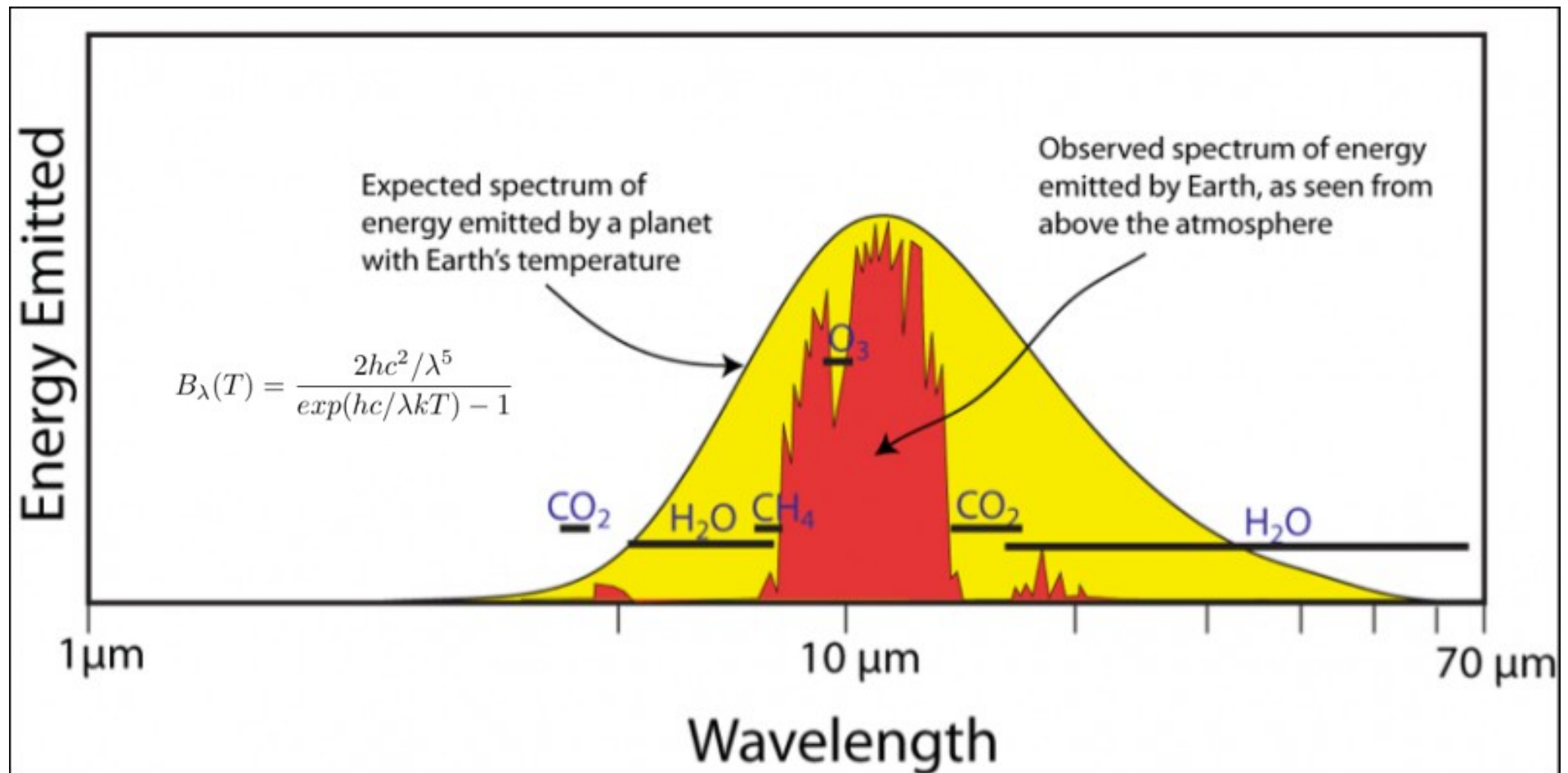
## Radiazione di corpo nero (solare) e spettro reale sul pianeta Terra

Si deve tener conto che nell'equazione del trasporto esiste l'assorbimento (e l'emissione)



## Radiazione di corpo nero (Terra) e spettro reale al di sopra dell'atmosfera Terrestre

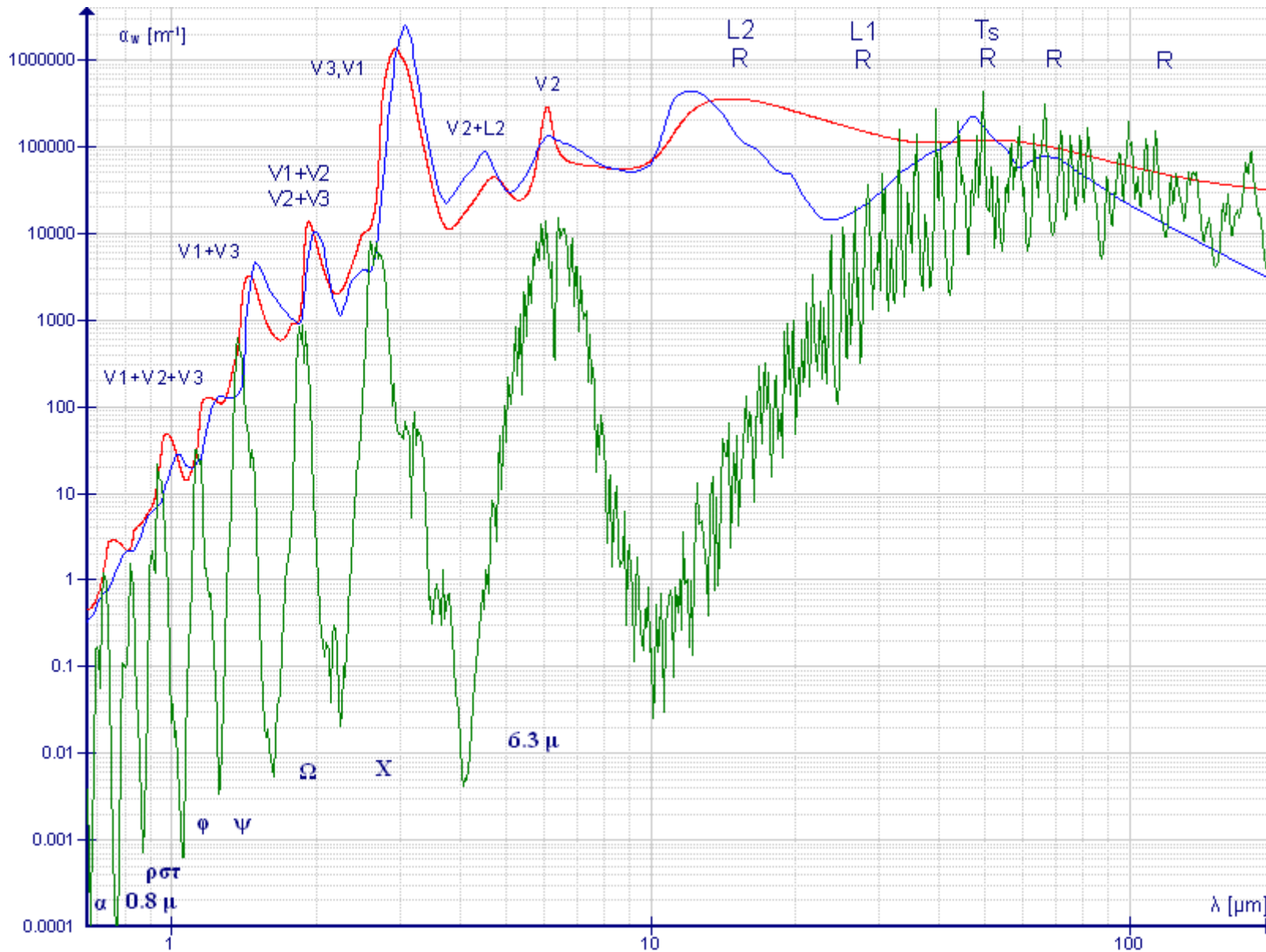
Si deve tener conto che nell'equazione del trasporto esiste l'assorbimento (e l'emissione)



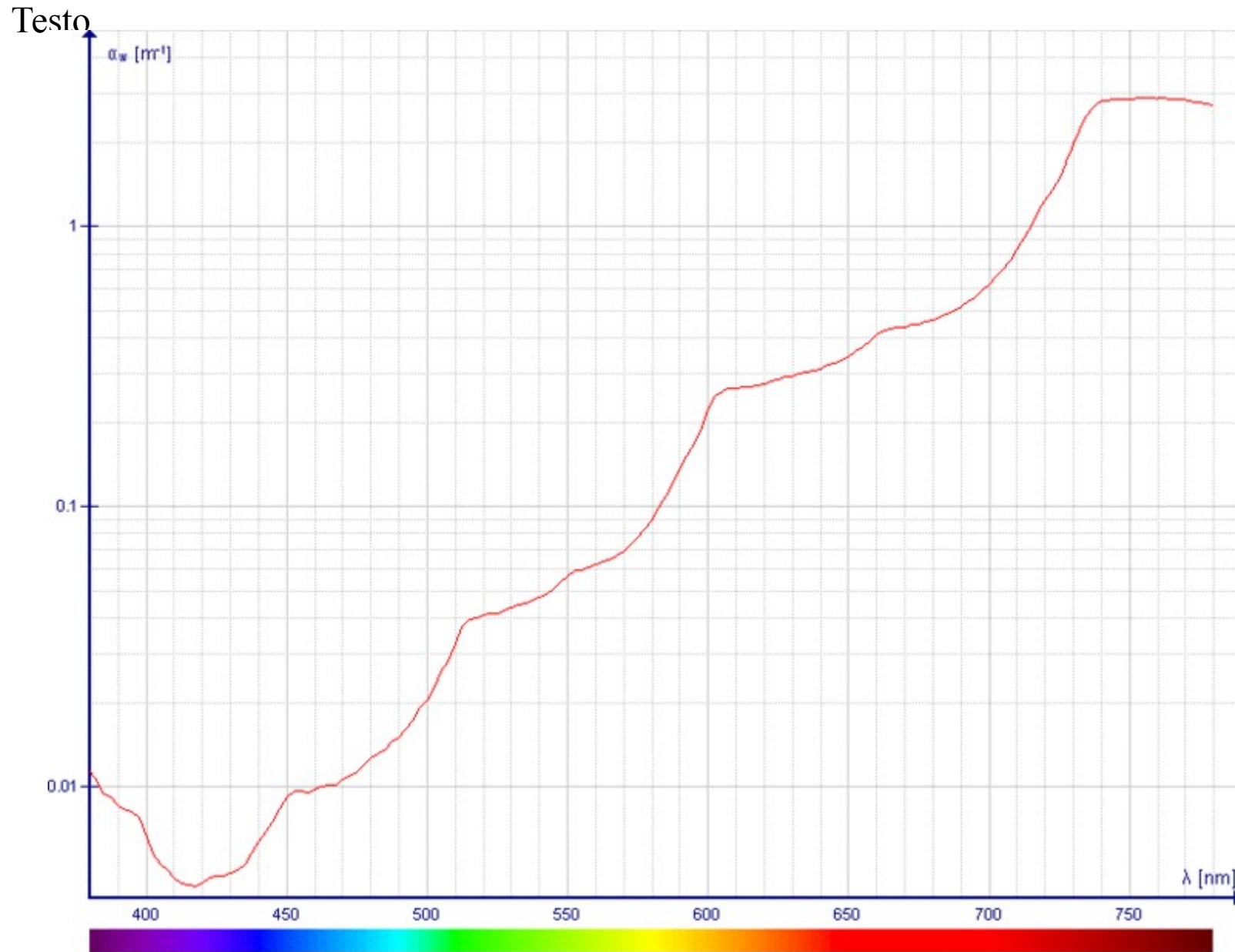


# Spettro di assorbimento della molecola dell'acqua nell'infrarosso

Liquida Solida Vapore



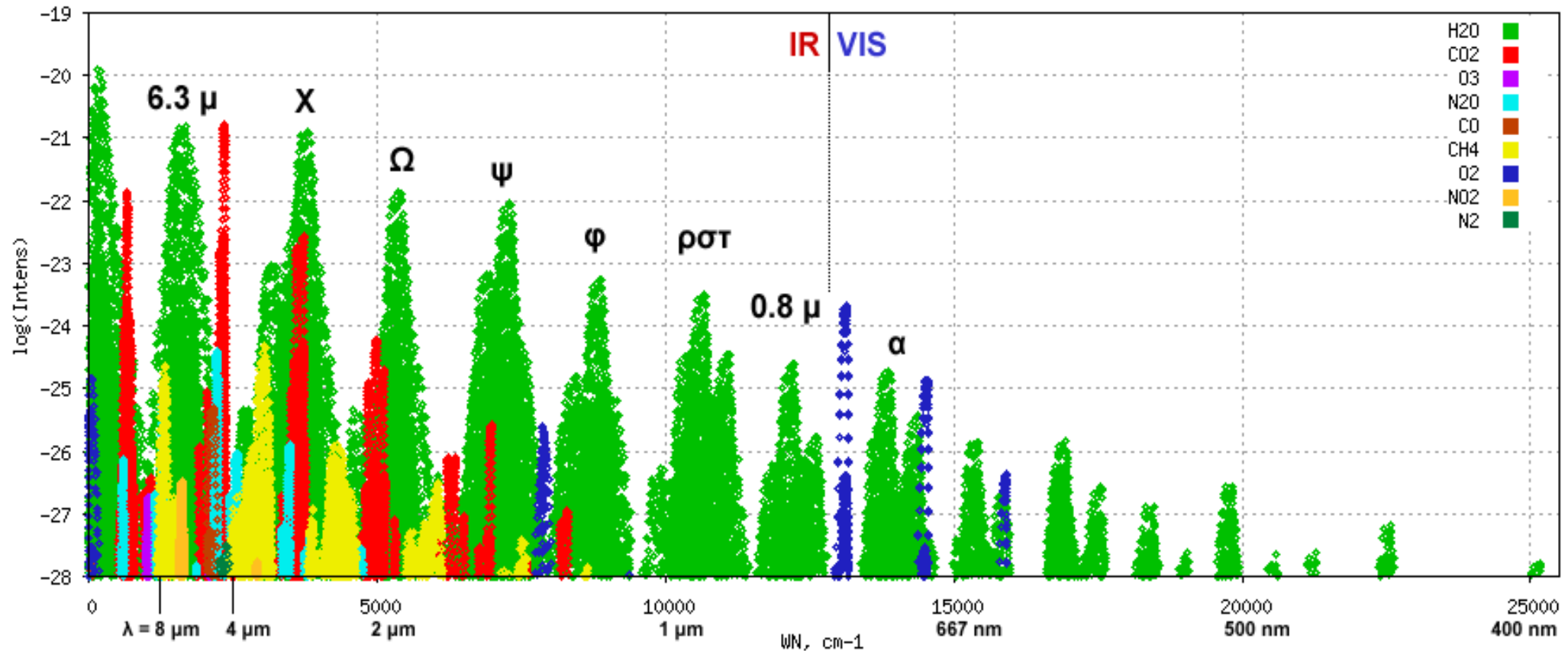
## Spettro di assorbimento della dell'acqua liquida nel visibile



## Spettro di assorbimento delle miscela di alcuni gas nell'infrarosso e nel visibile

<http://hitran.iao.ru/>

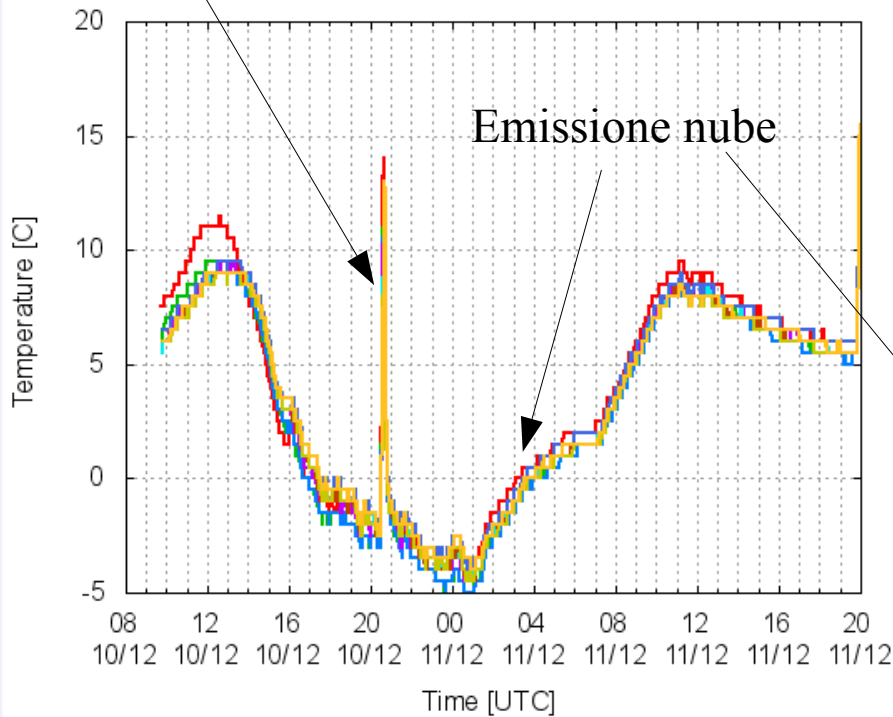
HITRAN on the Web. Gas mixture: Atmosphere of Earth. Stick spectrum at T=239.79834301K.



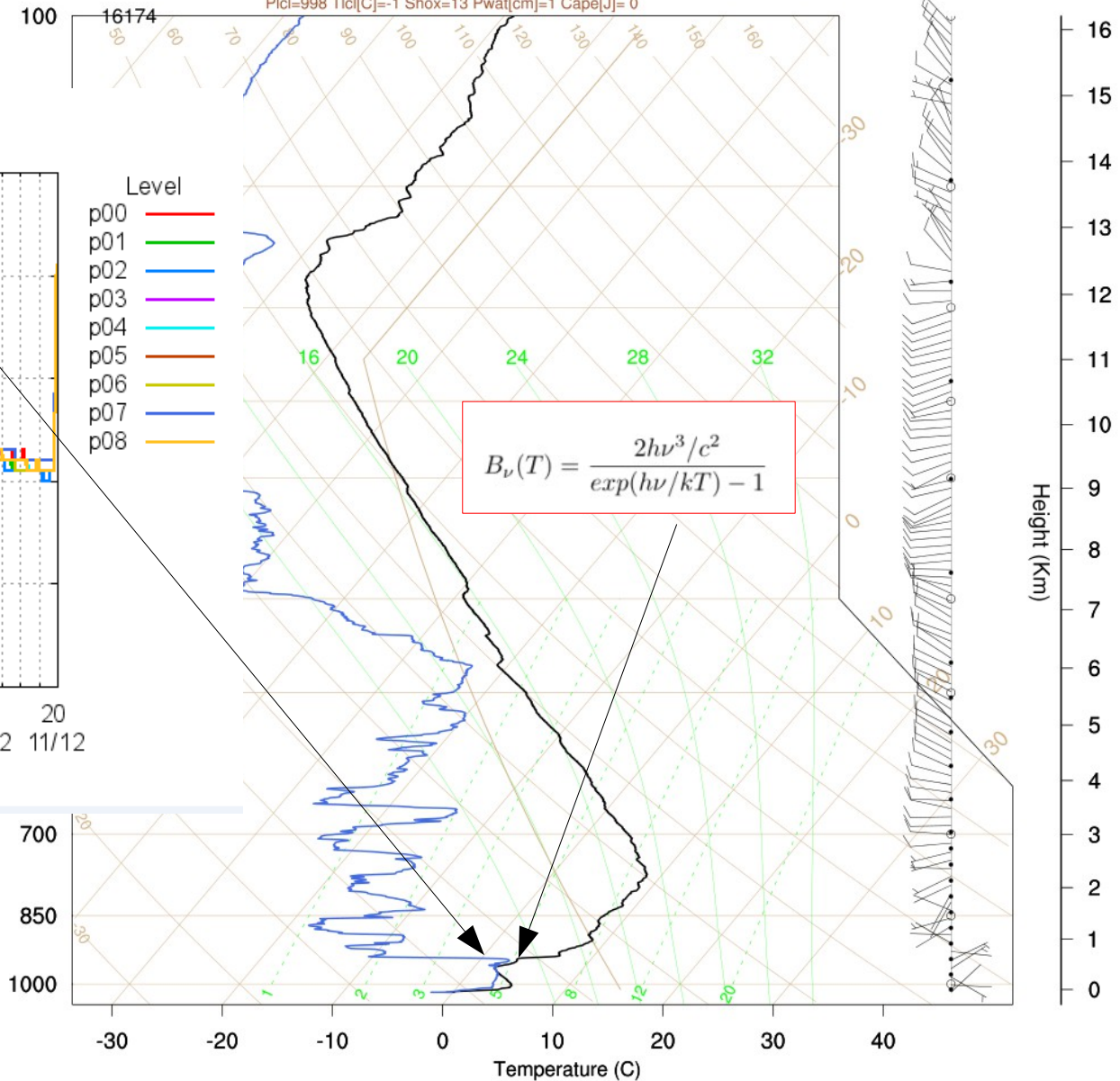
# Evoluzione delle temperature notturne nel surface layer in presenza di nubi o nebbia

Spike per download

Ziracco ABL temperatures 20161211



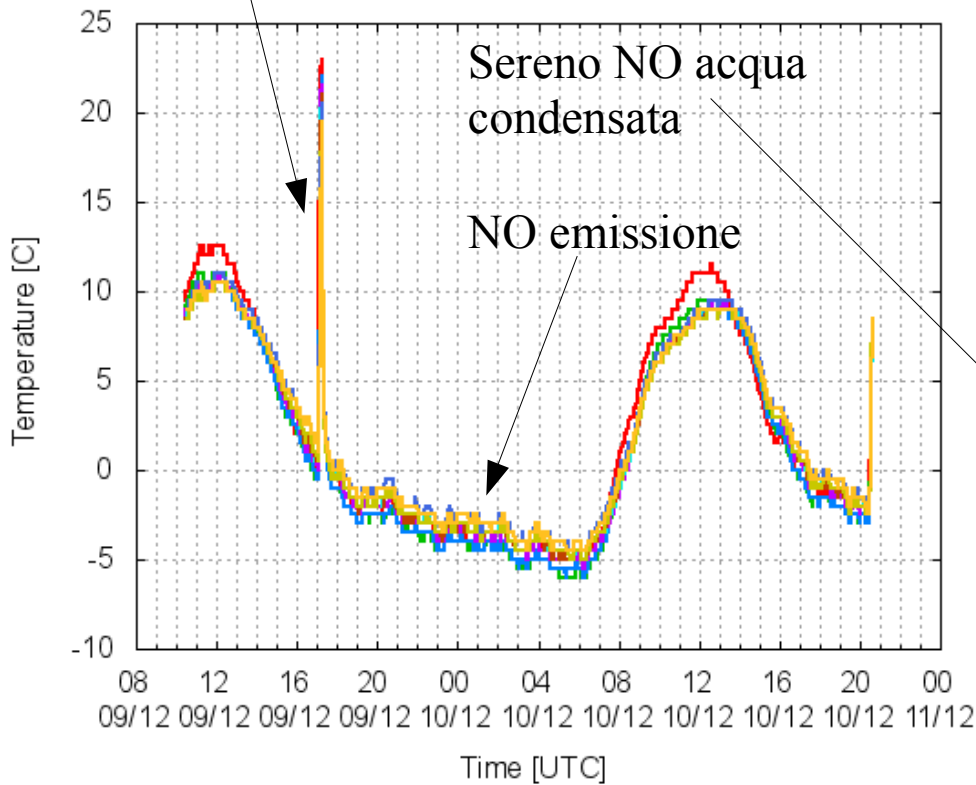
16044 LIPD RIVOLTO 24Z161210



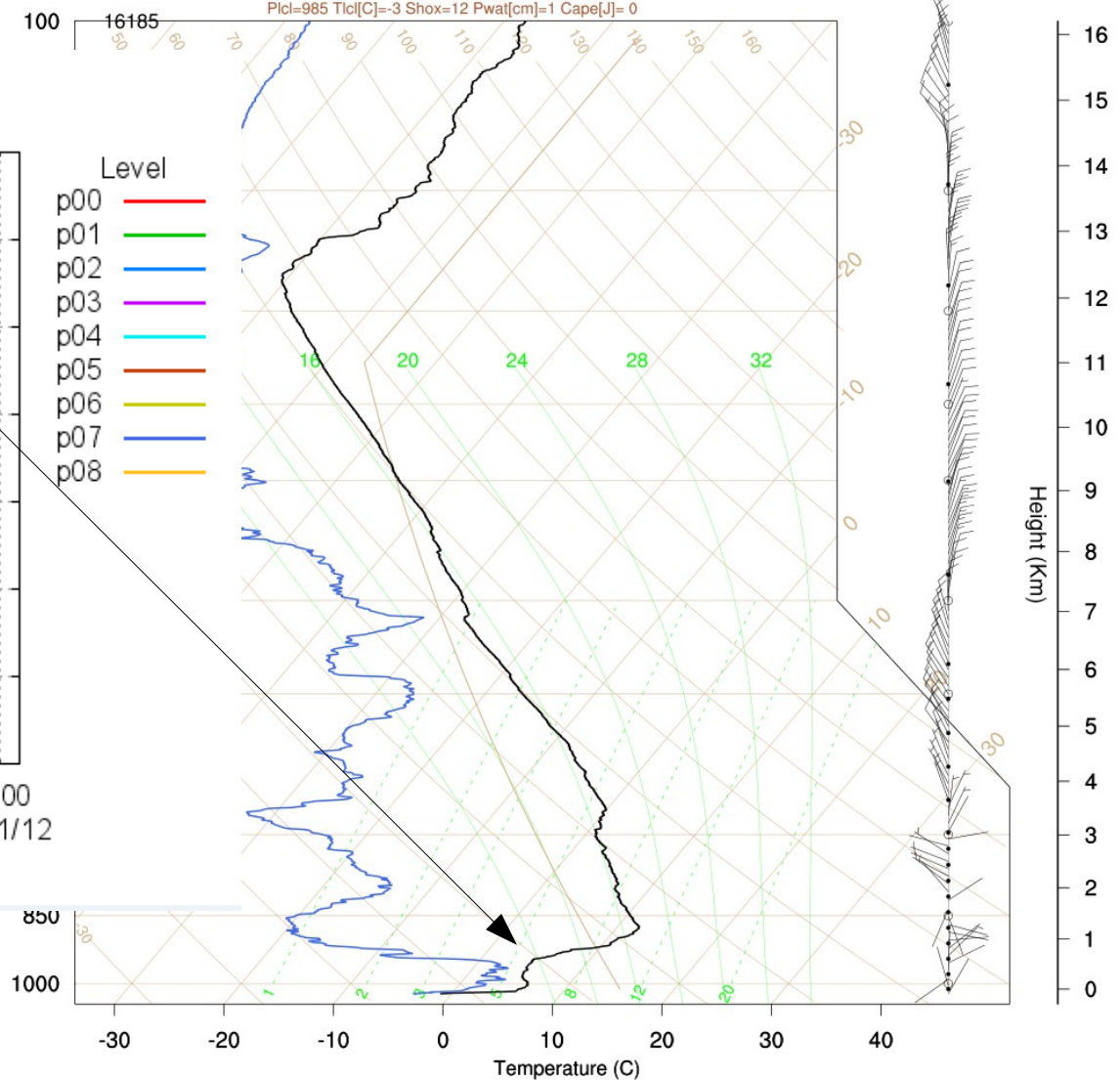
# Evoluzione delle temperature notturne nel surface layer in assenza di nubi

Spike per download

Ziracco ABL temperatures 20161210



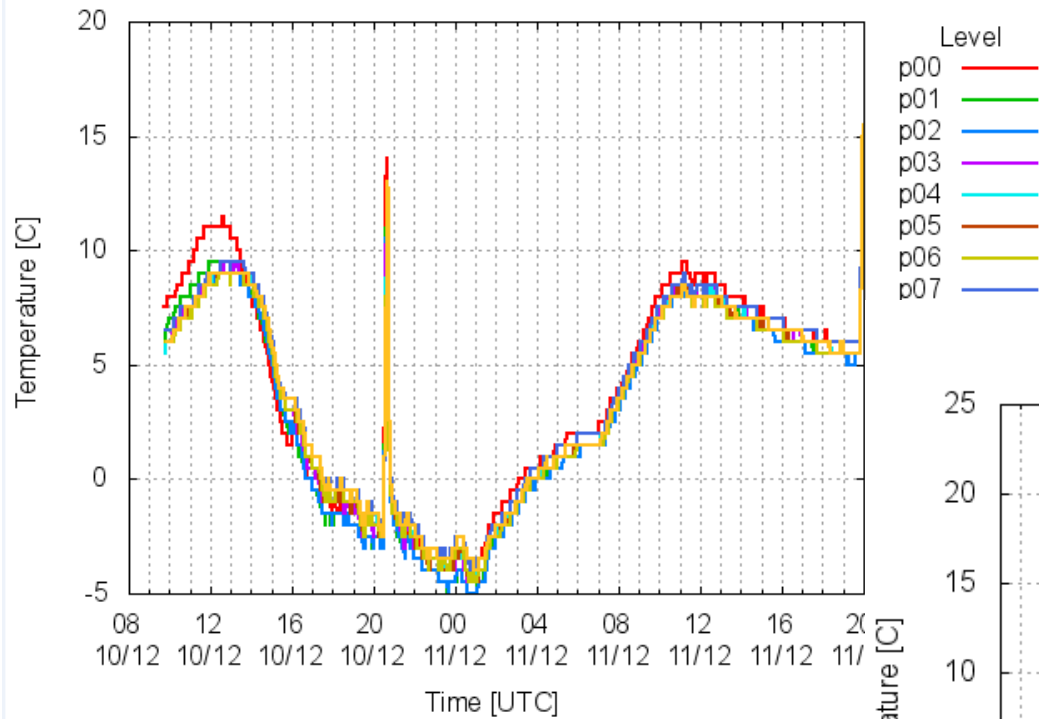
16044 LIPD RIVOLTO 24Z161209



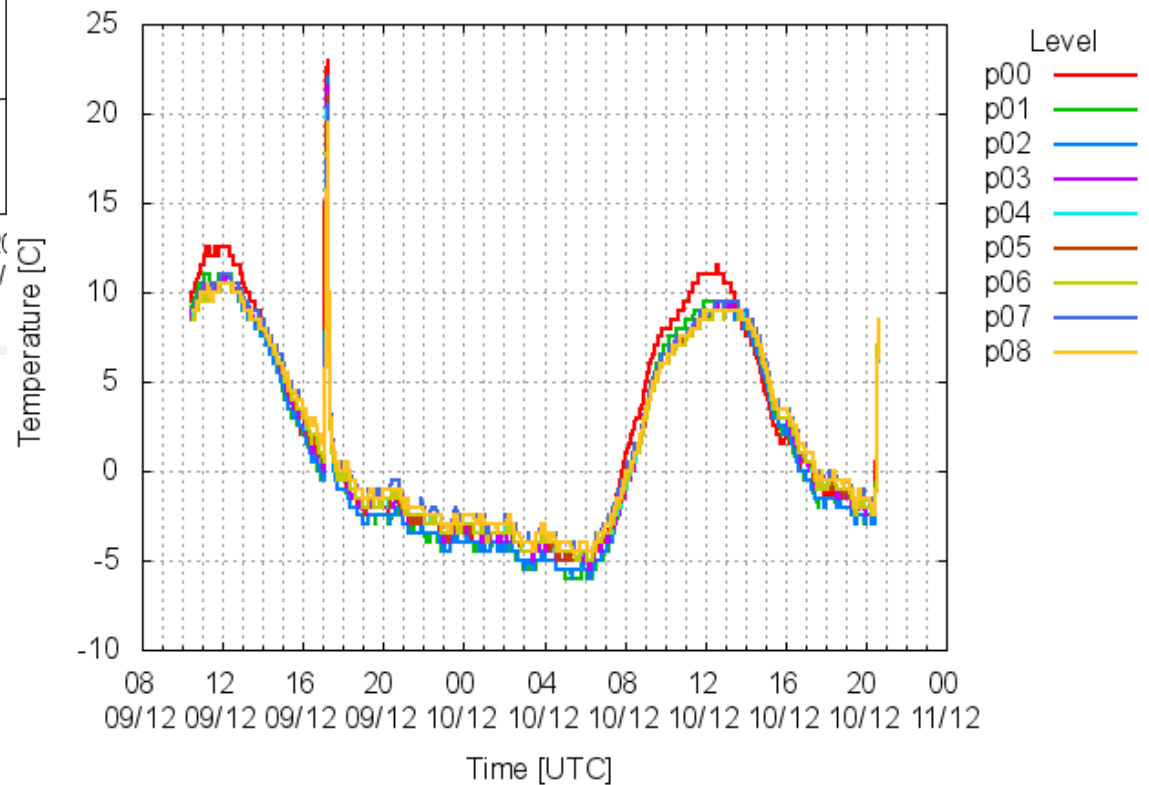
# Evoluzione delle temperature nel surface layer in presenza o assenza di nubi



Ziracco ABL temperatures 20161211



Ziracco ABL temperatures 20161210

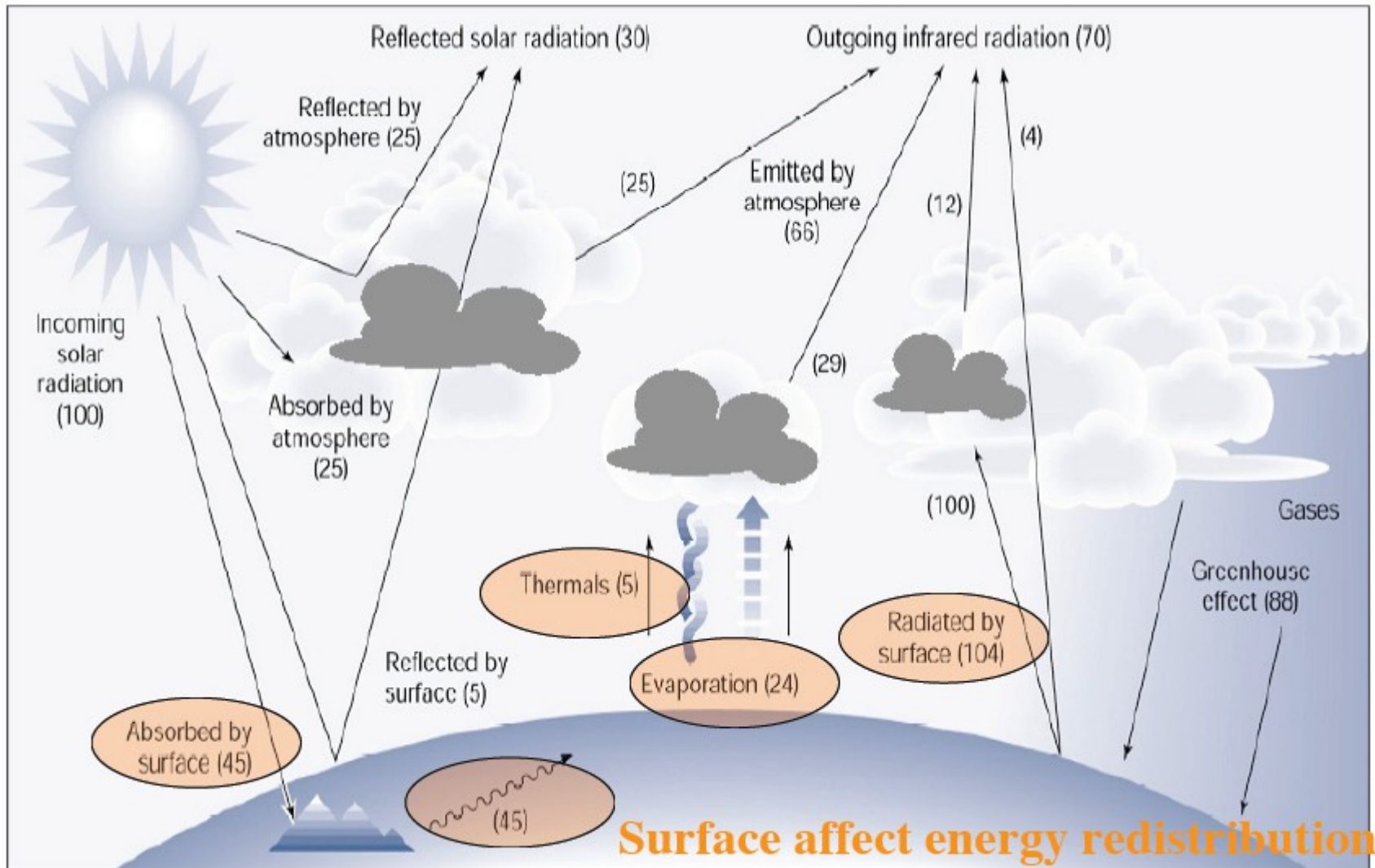




## Bilancio energetico globale: il ruolo del trasporto radiativo

Della radiazione solare incidente:

- 30% riflesso verso lo spazio (25% da atmosfera + 5% dalla superficie)
- 70% assorbito e riemesso (25% da atmosfera + 45% dalla superficie [24% evaporazione acqua])



## I modelli di Strato Limite Atmosferico ed i modelli di superficie terrestre

Per descrivere al meglio l'evoluzione diurna e climatica dello strato limite atmosferico è necessario utilizzare anche un modello di superficie terrestre (marina è più facile).

Perché:

- il 70% del flusso radiativo solare raggiunge la superficie del pianeta;
- la superficie terrestre è il mezzo confinante dell'atmosfera dal basso, quindi dà le condizioni al contorno;
- la risoluzione spaziale degli attuali e futuri modelli numerici alla mesoscala ( $< 2$  km) deve risolvere fenomeni e processi fisici che derivano dalle disomogeneità delle proprietà della superficie terrestre



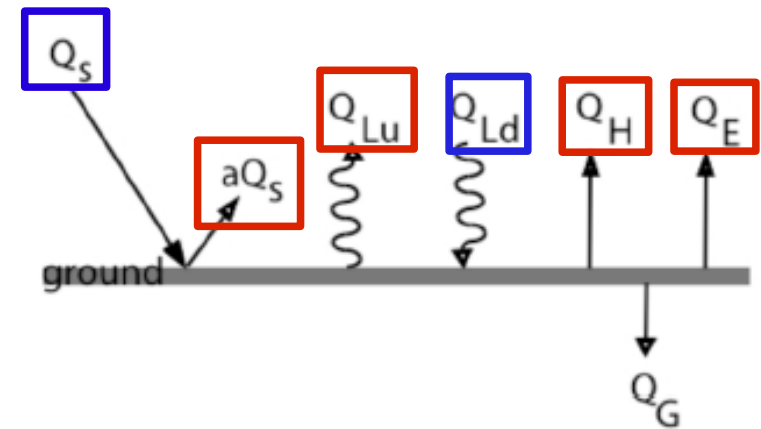
## Cronologia evolutiva dei modelli di superficie terrestre

- Gen-0 (prior to 60s): lack of land-surface processes (prescribed diurnal cycle of surface temperature)
- Gen-1a (mid 60s): surface model with time-fixed soil moisture
- Gen-1b (late 60s): Bucket Model (Manabe 1969): time- and space-varying soil moisture
- Gen-2 (70s): Big-leaf model (Deardorff 1978): explicit vegetation treatment; a major milestone
- Gen-3 (late 80s): development of more sophisticated models including hydrological, biophysical, biochemical, ecological processes (e.g., BATS, SiB, NCARLSM, Century)
- mid 90s: implementation of advanced LSMs at major operational numerical weather prediction (NWP) centers

↓  
**Oggi**

## Interfaccia tra modello di superficie e di Strato Limite Atmosferico

Il modello di superficie deve fornire **4** importanti campi energetici al modello di ABL  
Il modello di ABL deve fornire **2** campi energetici al modello superficiale



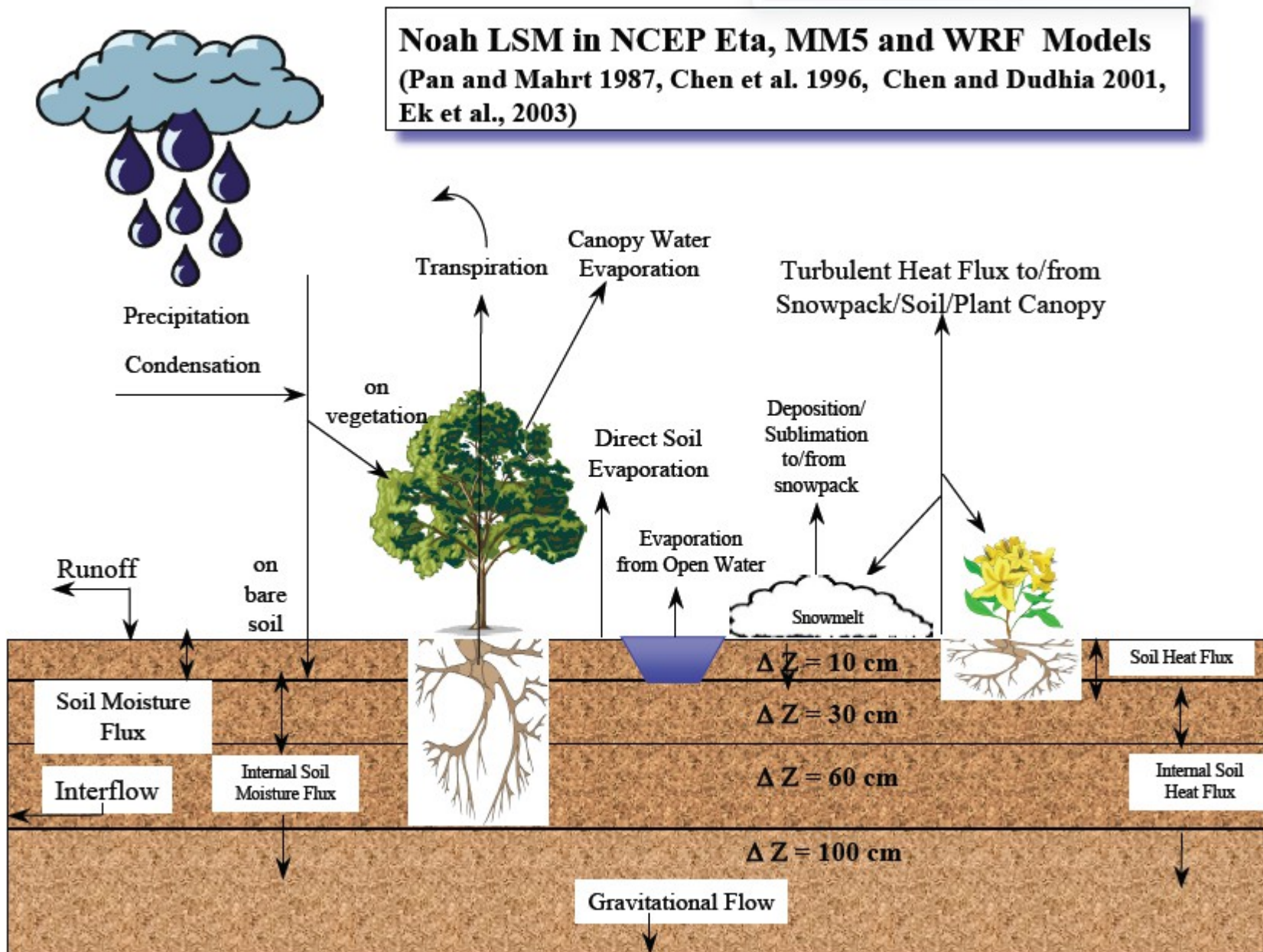
- surface sensible heat flux  $Q_H$
- surface latent heat flux  $Q_E$
- upward longwave radiation  $Q_{Lu}$ 
  - Alternatively: skin temperature and sfc emissivity
- upward (reflected) shortwave radiation  $aQ_s$ 
  - Alternatively: surface albedo, including snow effect

## Meccanismi fisici per la redistribuzione dell'energia, del momento e della massa

Nel surface layer è importante anche la conduzione del calore e la diffusione molecolare, ma solo per pochi millimetri dalla superficie confinante

- Molecular conduction of heat, diffusion of tracers, and viscous transfer of momentum cause transport between the surface and the lowest millimeters of air diffusion
  - Diffusivity for momentum, heat, and water vapor:  $\sim 10^{-5} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$
  - Require large gradient (e.g.,  $10^4 \text{ Km}^{-1}$ )
  - Can be neglected above the lowest few centimeter
- Turbulent fluxes:
  - Diffusion coefficient depend on height, wind speed, friction, instability:  $\sim 10^0 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ , about  $10^4$ -  $10^5$  larger than molecular diffusivity
  - Caused by small and large eddies: very efficient

## Schema di un modello superficiale utilizzato nei modelli atmosferici ad area limitata



## Elementi essenziali per il modello di superficie

- Land-use (vegetation) type
- Soil texture
- Slope
- Secondary parameters can be specified as function of the above three primary parameters
- The following parameters can be specified either from the table or from 2-d data
  - Albedo
  - Green vegetation fraction
  - Maximum snow albedo

## Provenienza delle informazioni superficiali

Si tratta di misure, essenzialmente del tipo remote sensing

### AVHRR vs MODIS land-use data set

	<b>AVHRR</b>	<b>MODIS</b>
<b>Data Collection Instrument</b>	AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)	MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)
<b>Channels</b>	5 channels	15 land surface/vegetation dedicated channels
<b>Data Collection Dates</b>	April 1992 – March 1993	January 2001 – December 2001 Reflecting recent land-use change
<b>Data Provider</b>	USGS/ORNL	Boston University
<b>Classification Scheme</b>	Modified USGS	Modified IGBP IGBP used in NPOESS and next-generation NWP models
<b># of Categories</b>	24*	19*

## Provenienza delle informazioni superficiali: esempio Corine Land Cover CLC

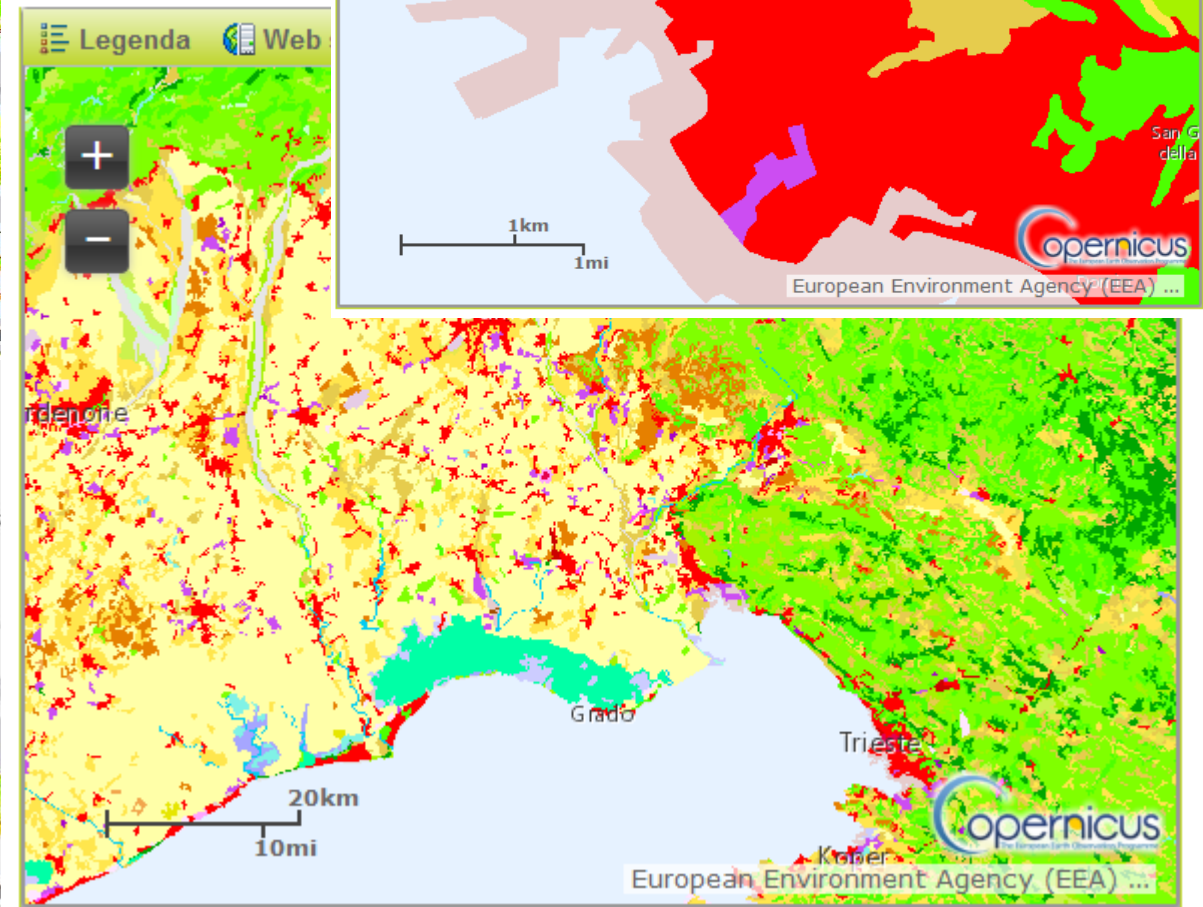
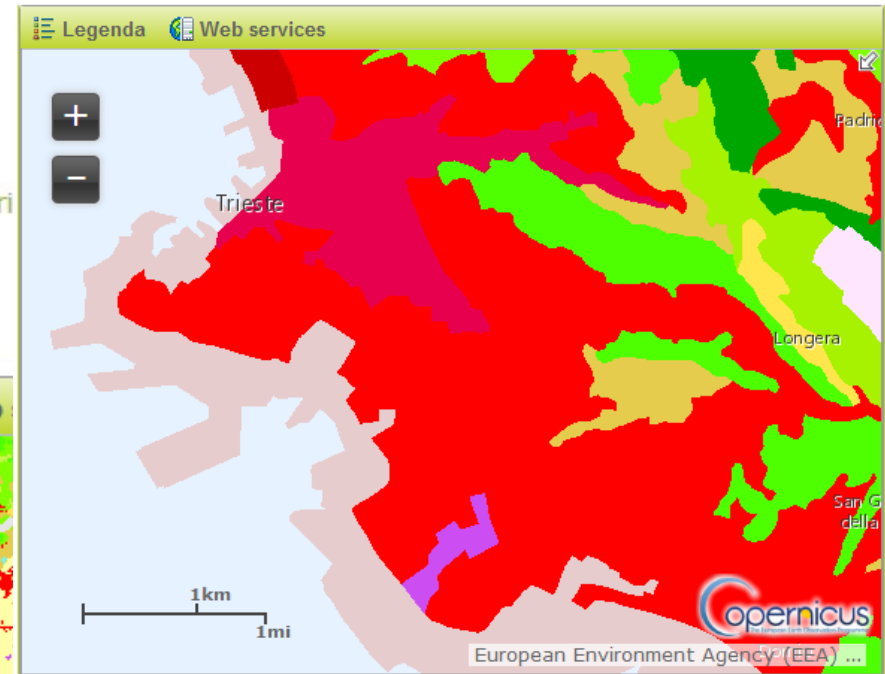
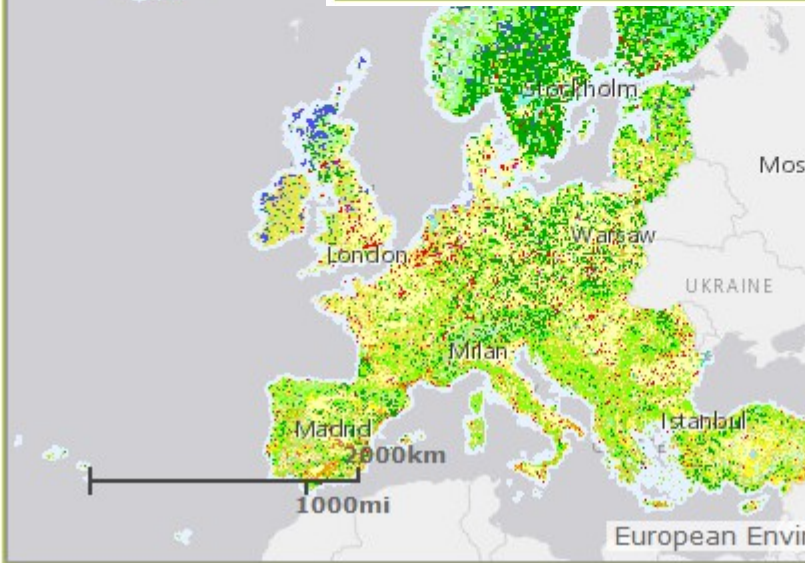
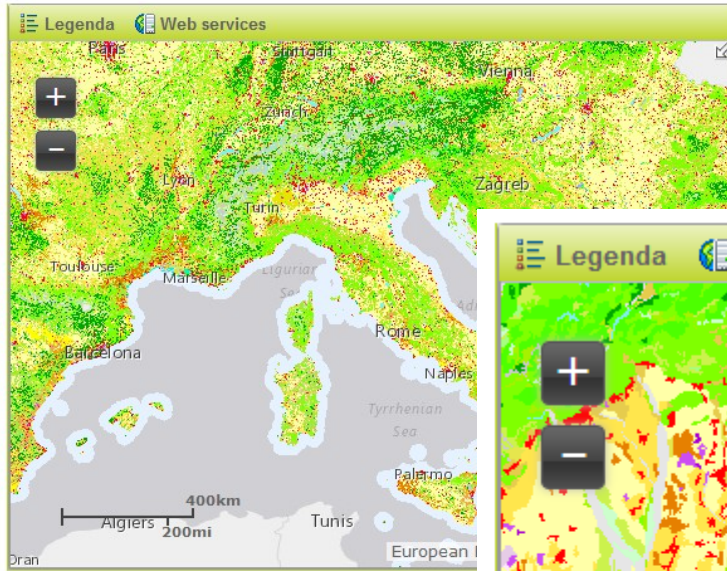
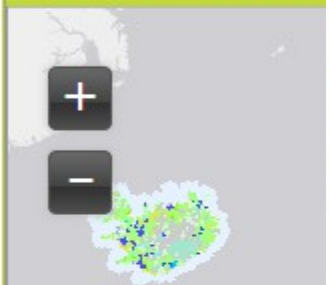
Informazioni prodotte dal sistema europeo di monitoraggio ambientale (COPERNICUS)

CLC 2012

(V 18.5.1) Final produ

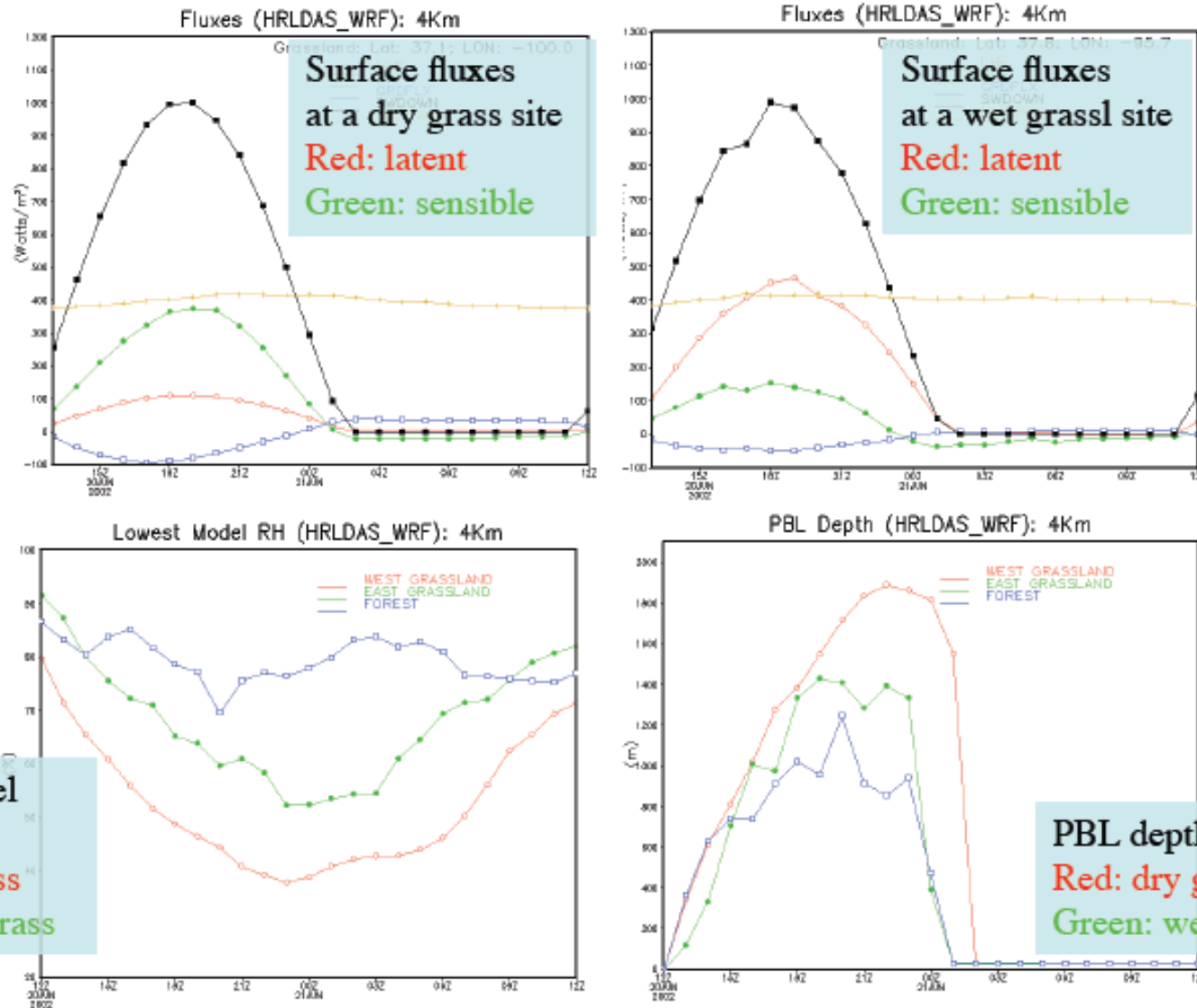
Map View Metadata

Legenda Web s



# Dipendenza delle grandezze dell'ABL dal modello superficiale adottato

## WRF/Noah simulated typical summer surface fluxes and PBL depth



Lowest model level RH  
Red: dry grass  
Green: wet grass

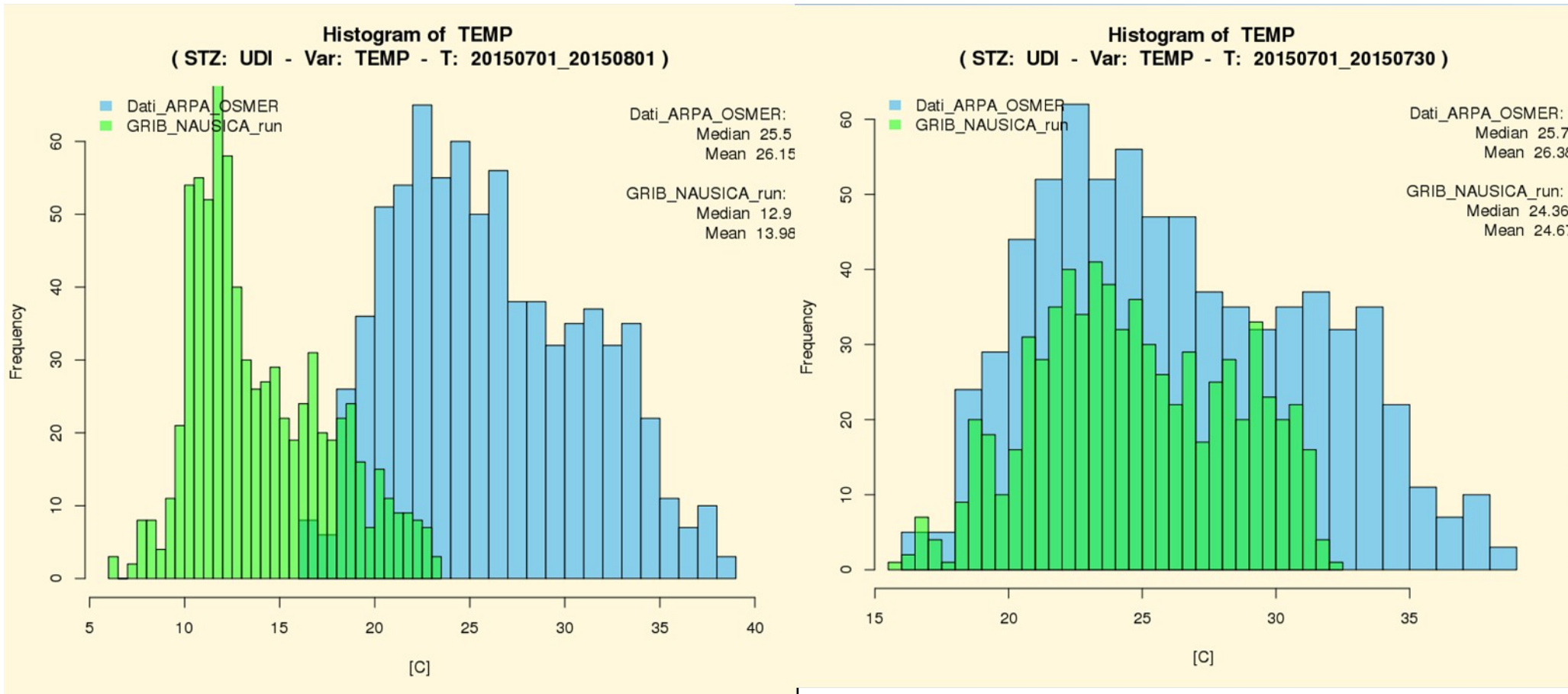
PBL depth  
Red: dry grass  
Green: wet grass



# Effetti del modello dell'uso del suolo nelle simulazioni numeriche di ABL



## Simulazione annuale con modello WRF



Modello di suolo con solo tre livelli e condizione al contorno

Modello di suolo con Noha

## Propagazione del calore nel suolo

Misure eseguite nel sottosuolo (campagna) ogni 20 cm di profondità, da superficie a -1 m

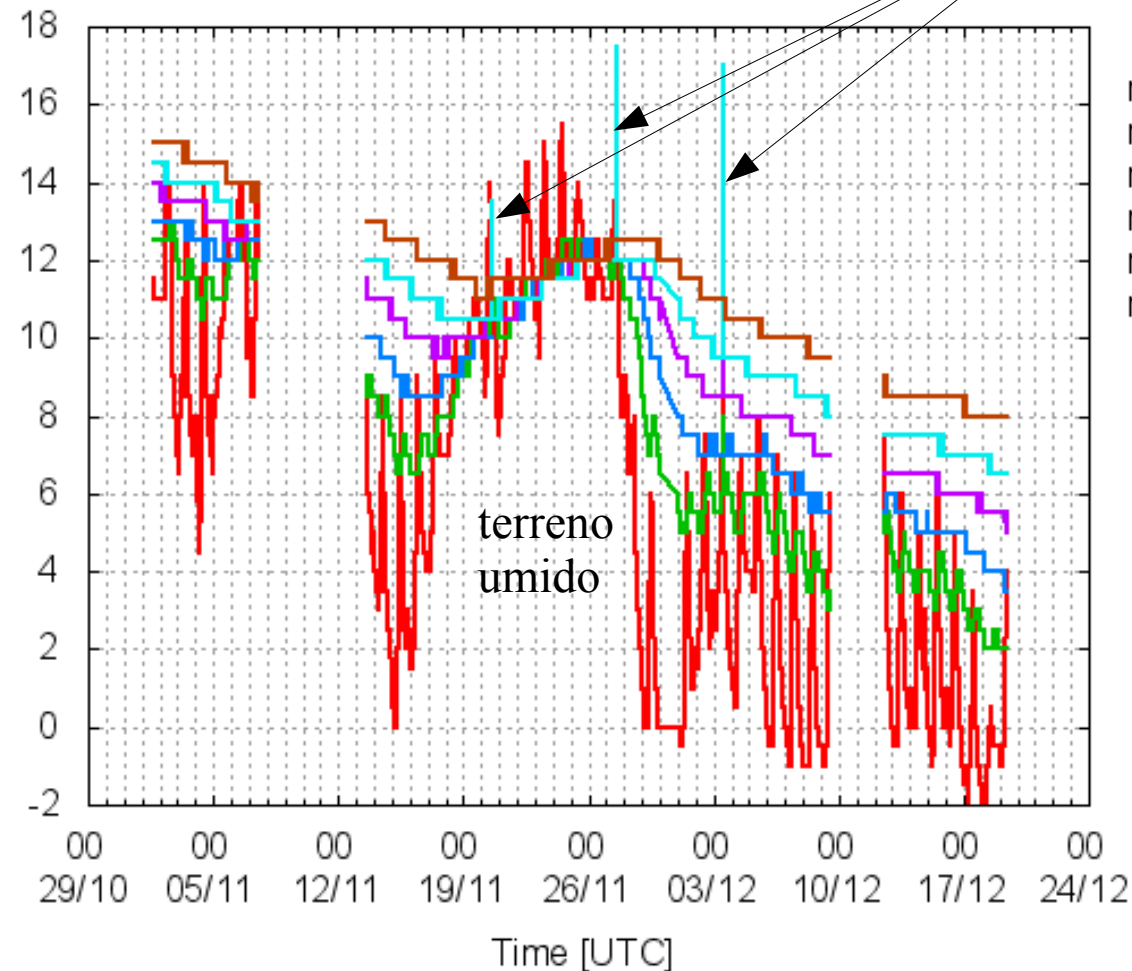
Novembre 2016

Spike per scaricamento dati

giorno	Pioggia mm	Temp. min °C	Temp. med °C	Temp. max °C
1	0.0	5.0	10.6	13.6
2	0.0	6.0	10.8	14.4
3	0.0	5.4	10.6	14.5
4	0.0	3.4	9.4	15.1
5	82.7	7.1	10.6	15.6
6	9.7	8.6	13.0	16.4
7	0.1	4.9	9.1	13.5
8	0.0	3.5	7.9	11.9
9	0.7	2.8	7.1	11.8
10	0.1	3.7	6.1	10.1
11	0.1	4.4	8.7	12.0
12	0.5	0.7	9.0	16.1
13	0.0	0.3	6.5	11.5
14	0.0	2.9	5.5	9.4
15	0.0	-0.2	3.8	10.9
16	0.0	-0.9	4.2	10.6
17	0.0	4.0	7.4	10.7
18	● 27.0	7.4	9.4	11.4
19	● 88.4	9.5	11.7	13.5
20	0.1	7.5	11.4	16.1
21	1.7	7.9	11.9	14.1
22	3.7	11.7	13.8	17.2
23	0.6	9.3	13.4	17.8
24	0.5	11.9	13.9	16.9
25	● 30.2	11.5	13.2	14.4
26	7.4	10.9	12.3	14.1
27	0.0	7.1	10.5	13.0
28	0.0	-1.0	7.1	10.8
29	0.0	-3.3	1.0	7.5
30	0.0	-4.4	0.9	8.9

T[°C]

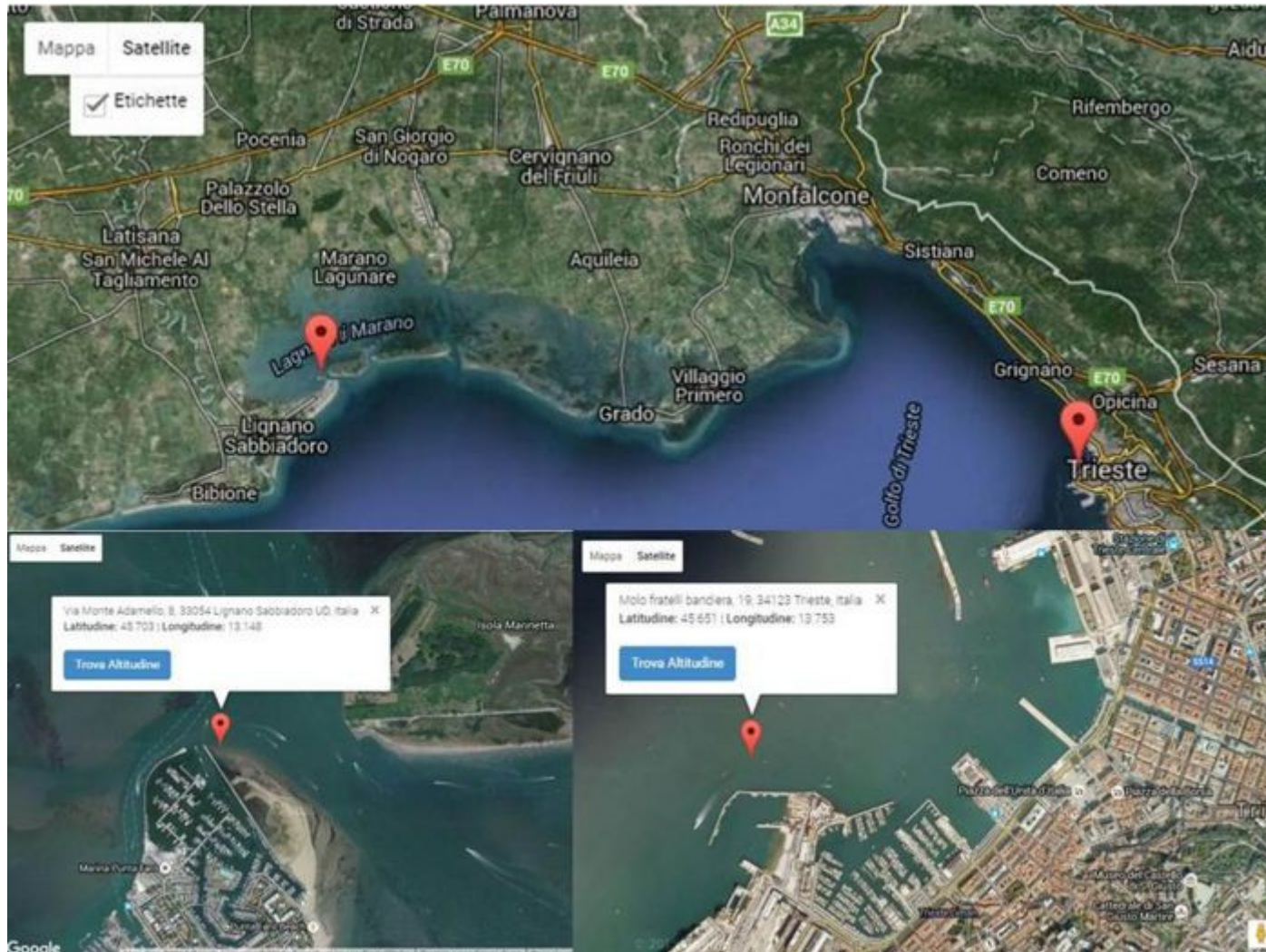
Ziracco ABL temperatures 20161222



- Level
- m01 — -2 cm
  - m02 —
  - m03 —
  - m04 —
  - m05 —
  - m06 — -1 m

## Importanza delle condizioni superficiali del mare nelle simulazioni numeriche di ABL

Rilevamento delle temperature superficiali del mare da satellite: esistono peculiarità non acquisite



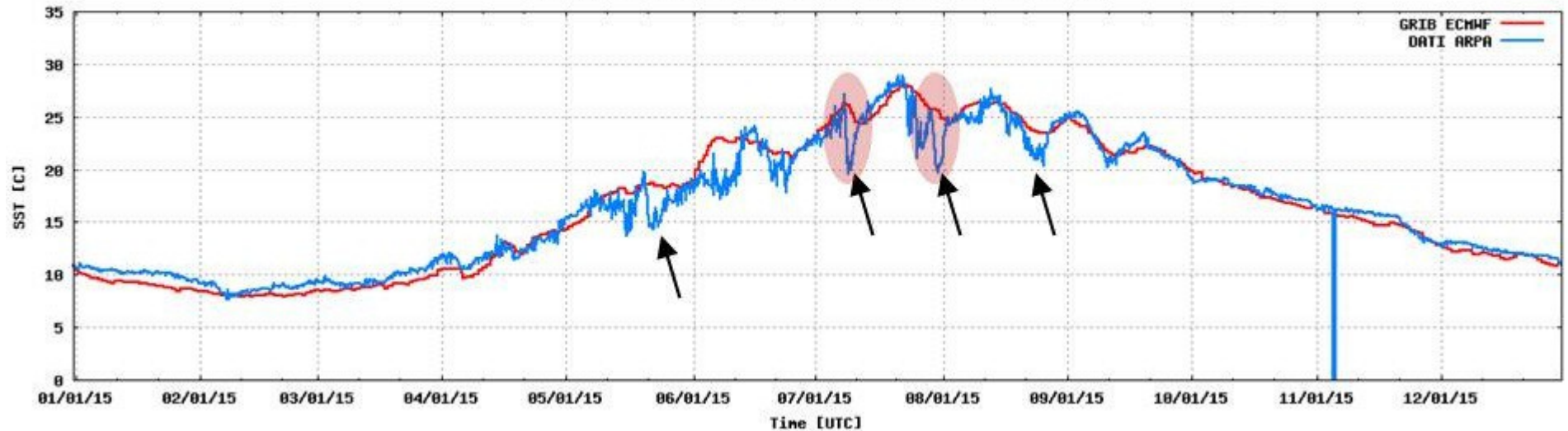
## Variazioni della temperatura superficiale del mare ed importanza per ABL

La temperatura reale può discostarsi di alcuni gradi da quella utilizzata come condizioni al contorno

Confronto GRIB ECMWF - DATI ARPA (stazione LIGNANO - anno 2015)



Confronto GRIB ECMWF - DATI ARPA (stazione TRIESTE - anno 2015)

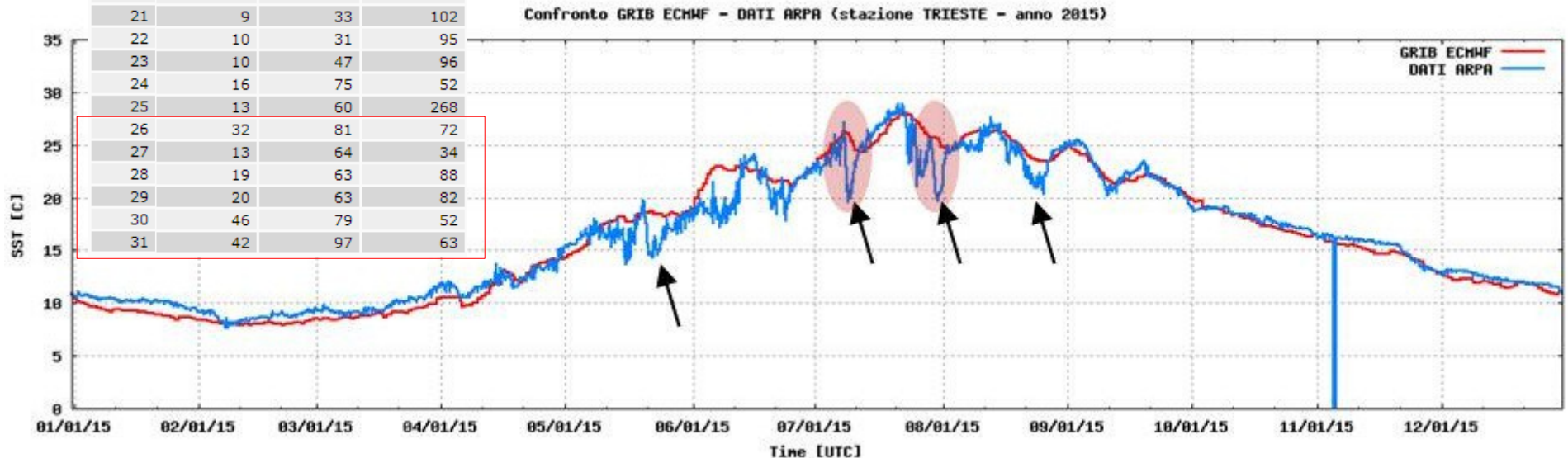


## Variazioni rapide della temperatura superficiale del mare - cause

La temperatura superficiale del nor Adriatico varia rapidamente nel giro di alcune ore a causa del fenomeno del upwelling, il quale è determinato dal vento (Bora)

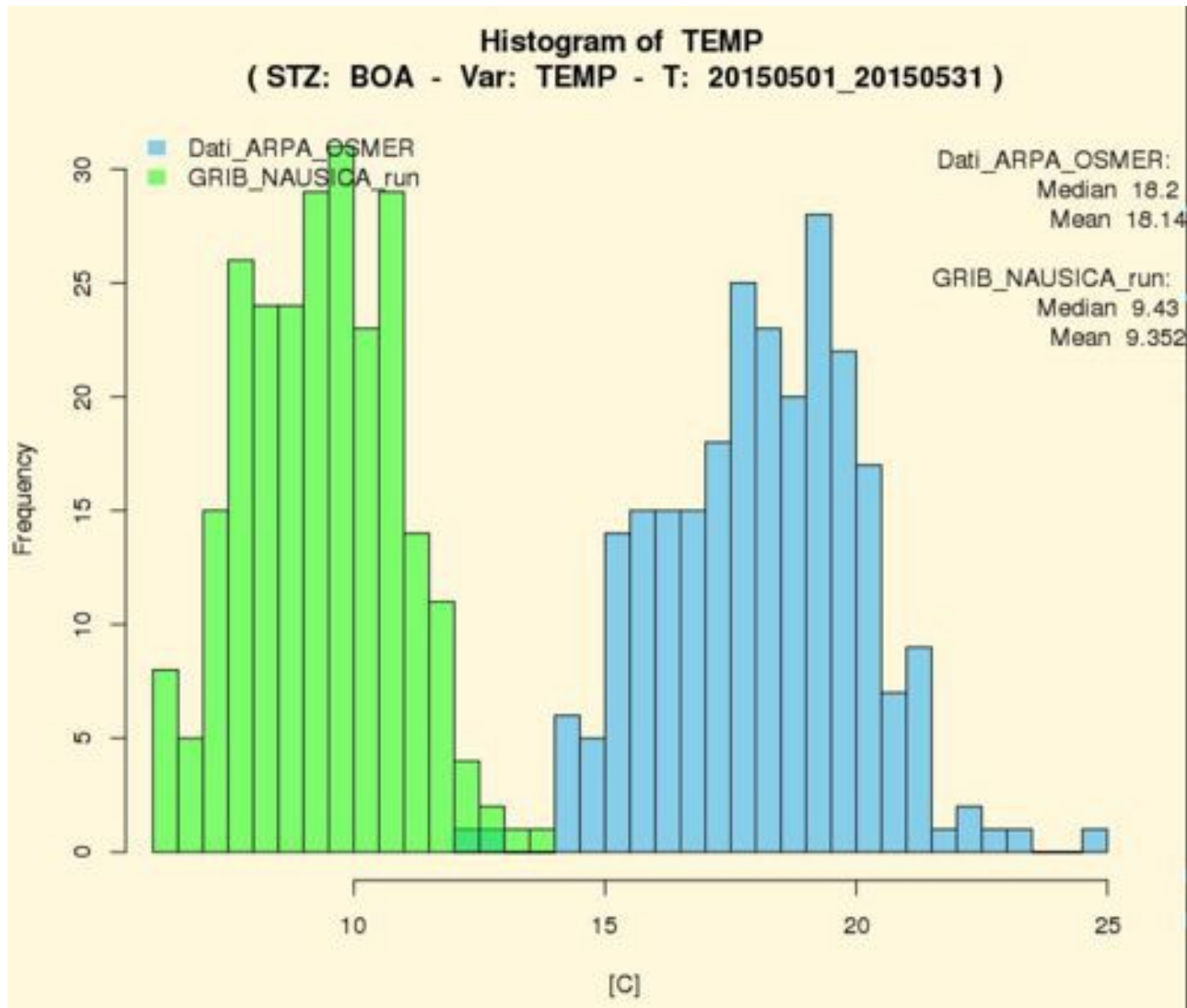
giorno	Vento med km/h	Vento max km/h	Dir. V. max °N
1	6	14	302
2	6	32	316
3	7	36	44
4	6	24	116
5	7	21	252
6	6	15	130
7	7	23	293
8	16	88	30
9	43	99	51
10	24	92	43
11	6	16	75
12	6	23	206
13	17	53	58
14	9	36	92
15	6	13	292
16	6	14	289
17	6	23	306
18	7	15	294
19	7	16	317
20	9	25	106
21	9	33	102
22	10	31	95
23	10	47	96
24	16	75	52
25	13	60	268
26	32	81	72
27	13	64	34
28	19	63	88
29	20	63	82
30	46	79	52
31	42	97	63

Rimescolamento dell'intera colonna d'acqua

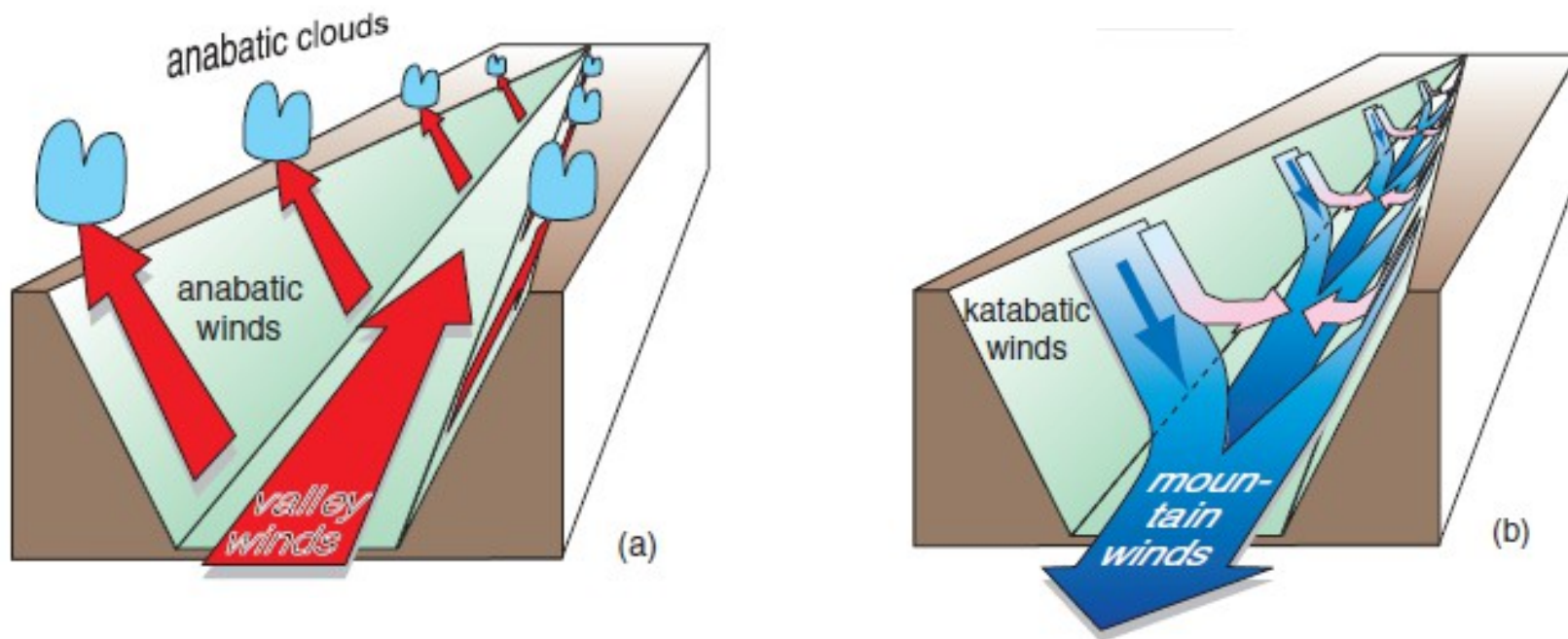


## Effetti del modello di temperatura superficiale nelle simulazioni numeriche di ABL

Le differenze tra le temperature sono amplificate nelle situazioni in cui il mare risponde prontamente alle forzanti meteorologiche (mari poco profondi)

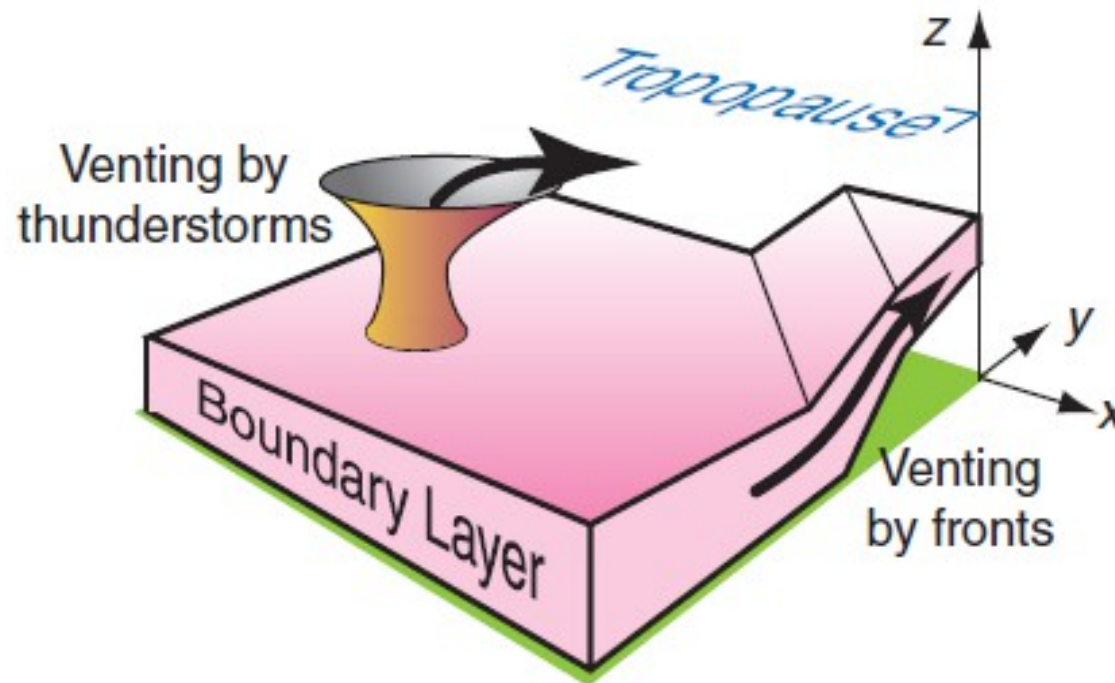


## Effetti orografici sullo Strato Limite Atmosferico



**Fig. 9.31** (a) Daytime conditions of anabatic (warm upslope) winds along the valley walls, and associated valley winds along the valley floor. (b) Nighttime conditions of katabatic (cold downslope) winds along the valley walls, and associated mountain winds draining down the valley floor streambed. [Adapted

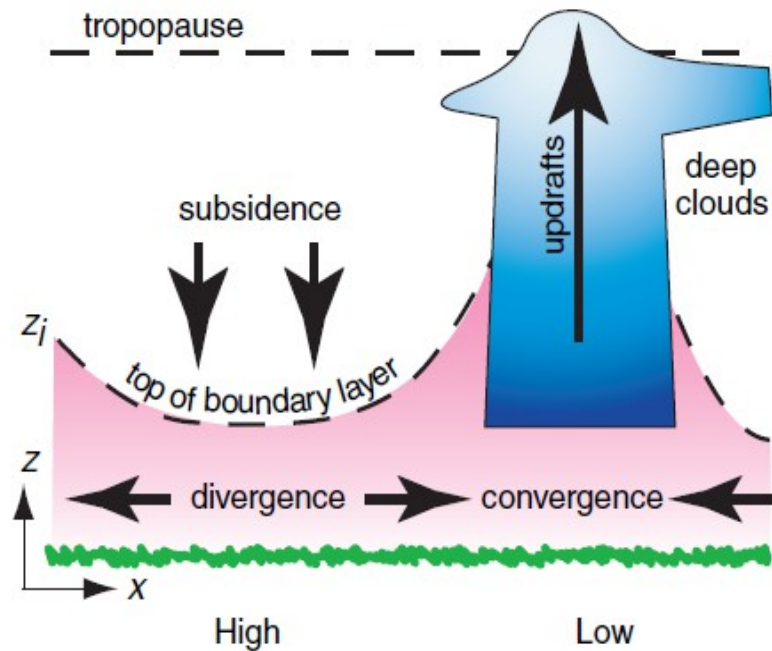
## Strato Limite Atmosferico in condizioni particolari (Fronti e Convezione Atmosferica Profonda)



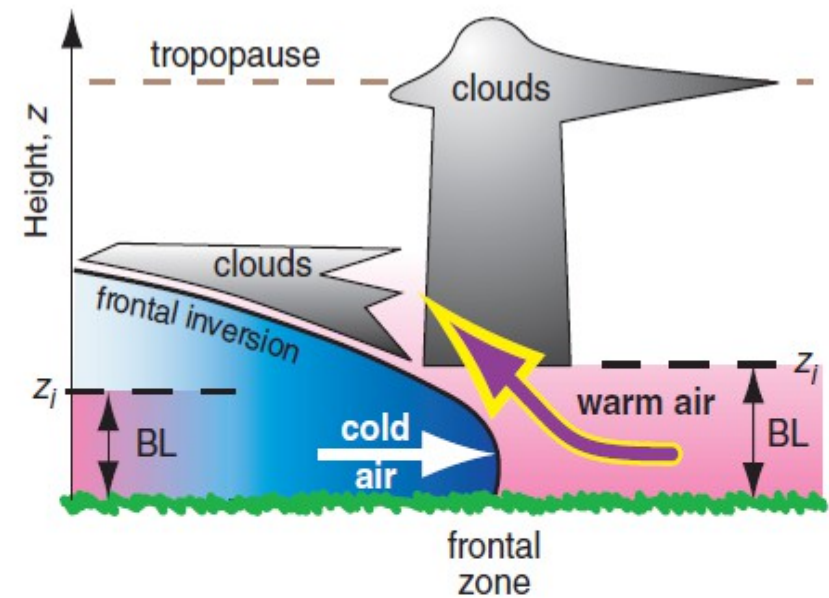
**Fig. 9.29** The two dominant mechanisms for boundary-layer air to pass the capping inversion and enter the free atmosphere. [Courtesy of Roland B. Stull.]



## Strato Limite Atmosferico in condizioni particolari (Fronti e Convezione Atmosferica Profonda)



**Fig. 9.28** Vertical slice through an idealized atmosphere showing variations in the boundary layer depth  $z_i$  in cyclonic (low pressure) and anticyclonic (high pressure) weather conditions. [Adapted from *Meteorology for Scientists and Engineers*, A



**Fig. 9.30** Vertical cross section illustrating the destruction of the capping inversion  $z_i$  and venting of boundary layer (BL) air near frontal zones, and subsequent reestablishment of the capping inversion under the frontal inversion after cold frontal passage. [Adapted from *Meteorology for Scientists and Engineers*, A

## Bibliografia di riferimento

**Radiative Transfer** Dover Publications Inc. S. Chandrasekhar

**The Atmospheric Boundary Layer**, Garratt J. R., Cambridge University Press -

**An Introduction to Boundary Layer Meteorology**, Stull R. B., Kluwer Academic Publisher

<http://www.cv.nrao.edu/course/ast534/Radxfer.html>

[http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/reference/docs/Tsay\\_et\\_al.\\_\(1990\).pdf](http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/reference/docs/Tsay_et_al._(1990).pdf)

<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19860018367.pdf>