Fisica della bassa atmosfera: Cenni, e qualche novità

16 Maggio 2025

Patrizia Favaron

Antefatto: Ma in che mondo viviamo?

$$N_i = r_i \delta_{ij} N_j + \alpha_{ij} N_j$$

Antefatto: Ma in che mondo viviamo?



Antefatto: Ma in che mondo viviamo?









In che mondo viviamo: breve riassunto

Al contatto con il suolo è sempre accaduto che:

- Le sostanze rilasciate in aria si muovono da un punto all'altro
- Muovendosi, conservano la loro individualità
  - Diluendosi e/o reagendo con altre sostanze durante il viaggio
- Il processo è così efficiente da rimescolare tutto, alla lunga
- Ma avviene con calma sufficiente perché, su tempi e distanze brevi, alcune sostanze possano essere utilizzate come segnali

E poi…

Poi, arriviamo noi umani, con le nostre attività

Arriva la rivoluzione industriale

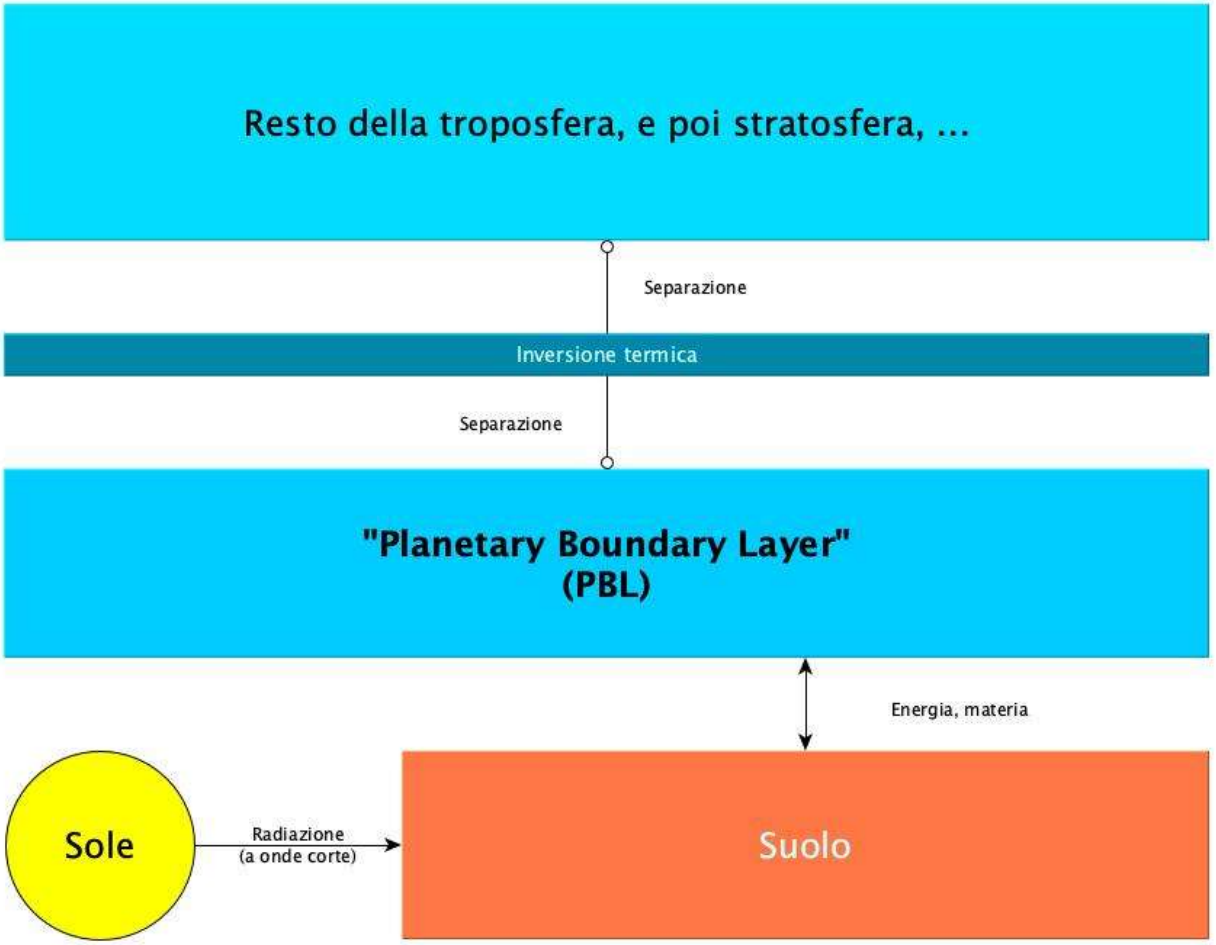
L’economia cresce e si sviluppa

E ci innestiamo nei meccanismi naturali già esistenti, godendo dei loro benefici

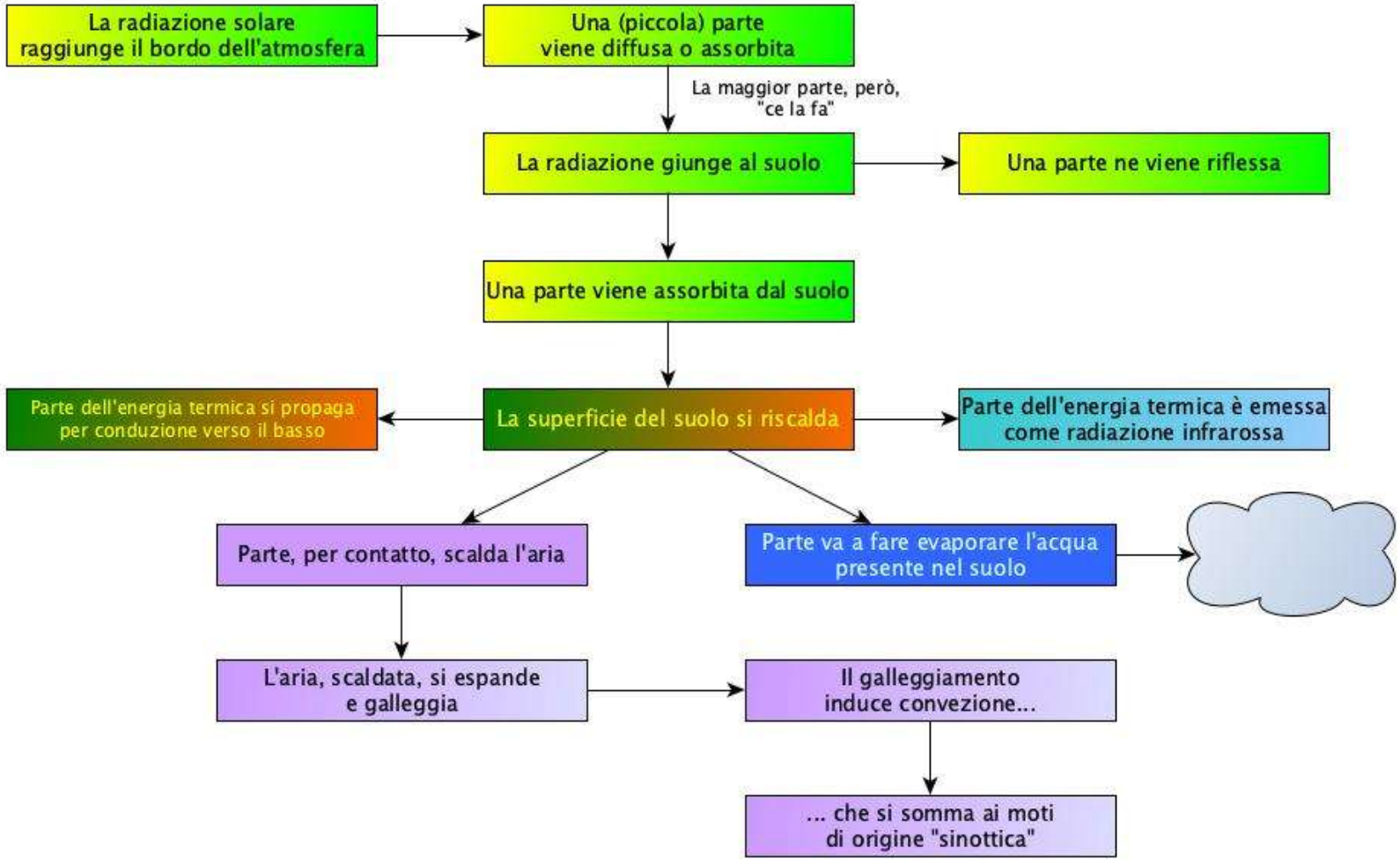
All’inizio, senza esserne neppure consapevoli

Qui, però, comincia la nostra esplorazione

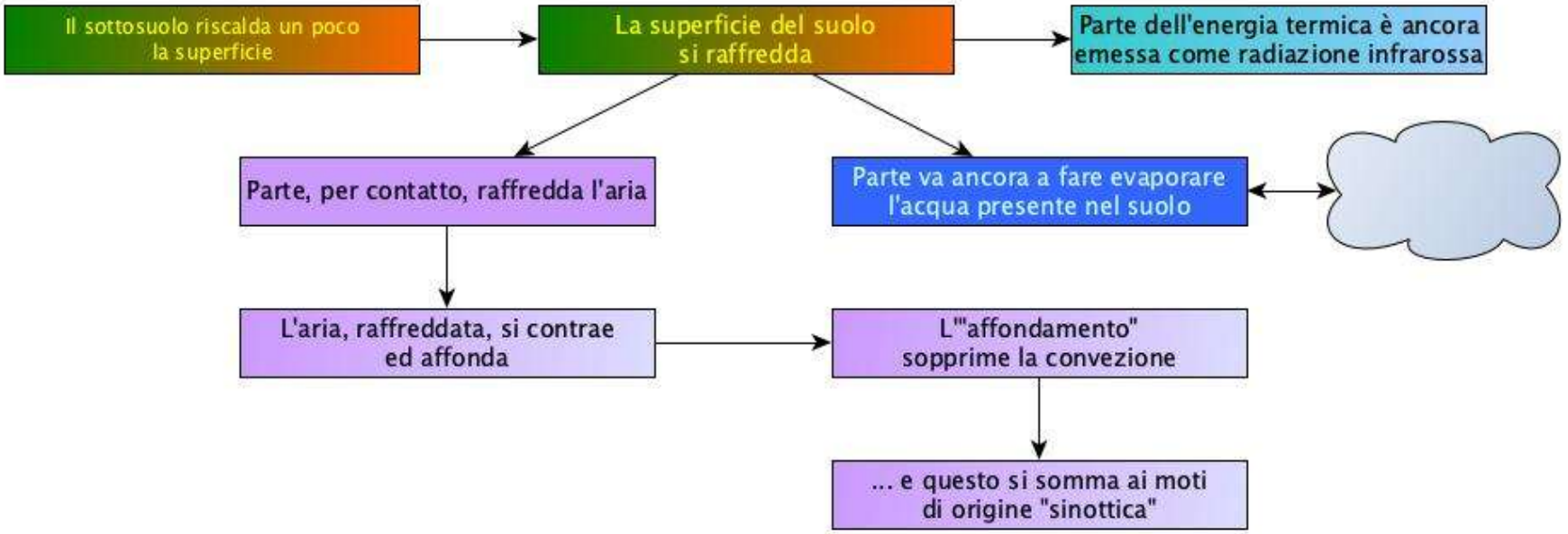
Anatomia della «bassissima atmosfera» (dove siamo noi)



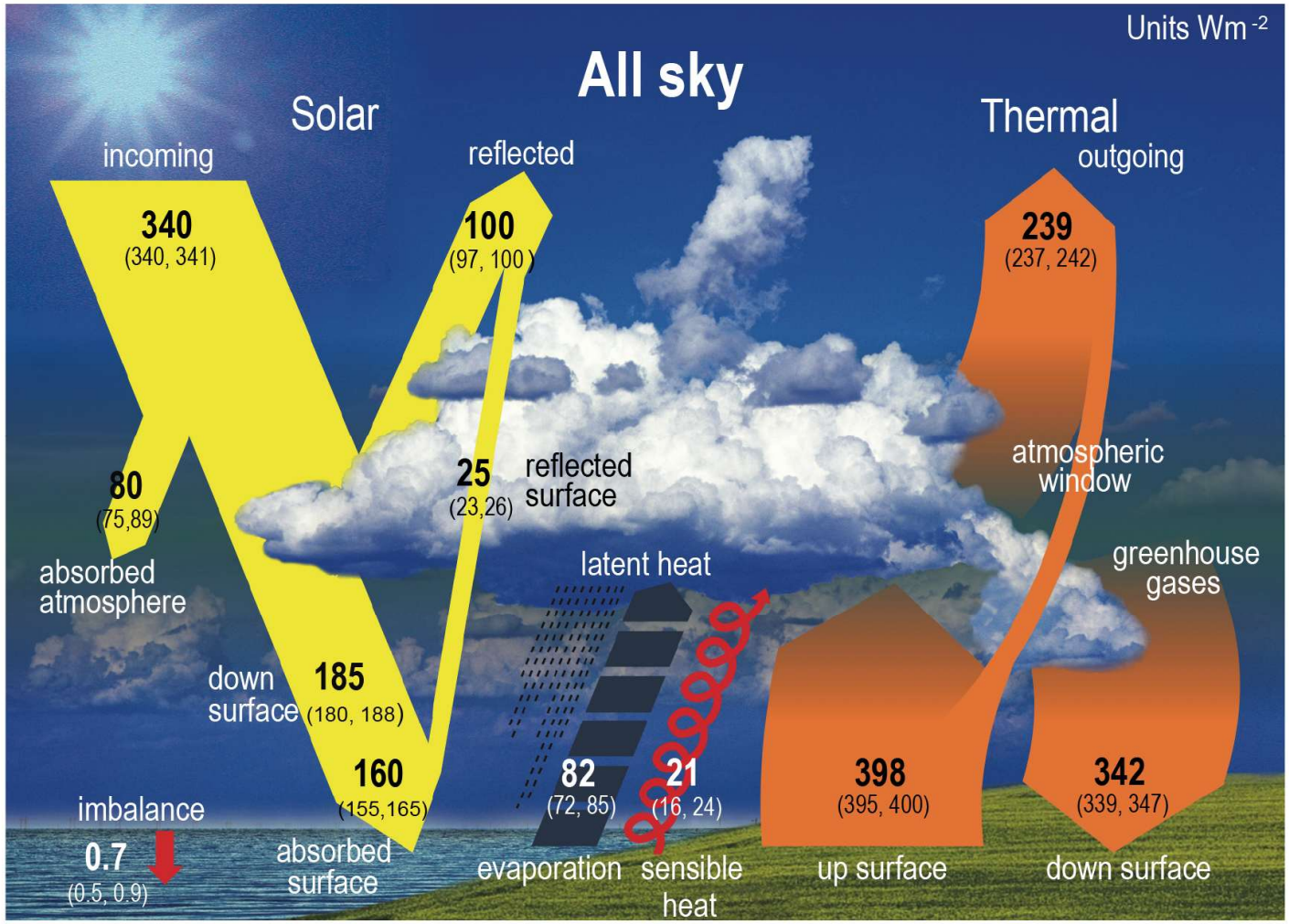
Fisiologia: giorno



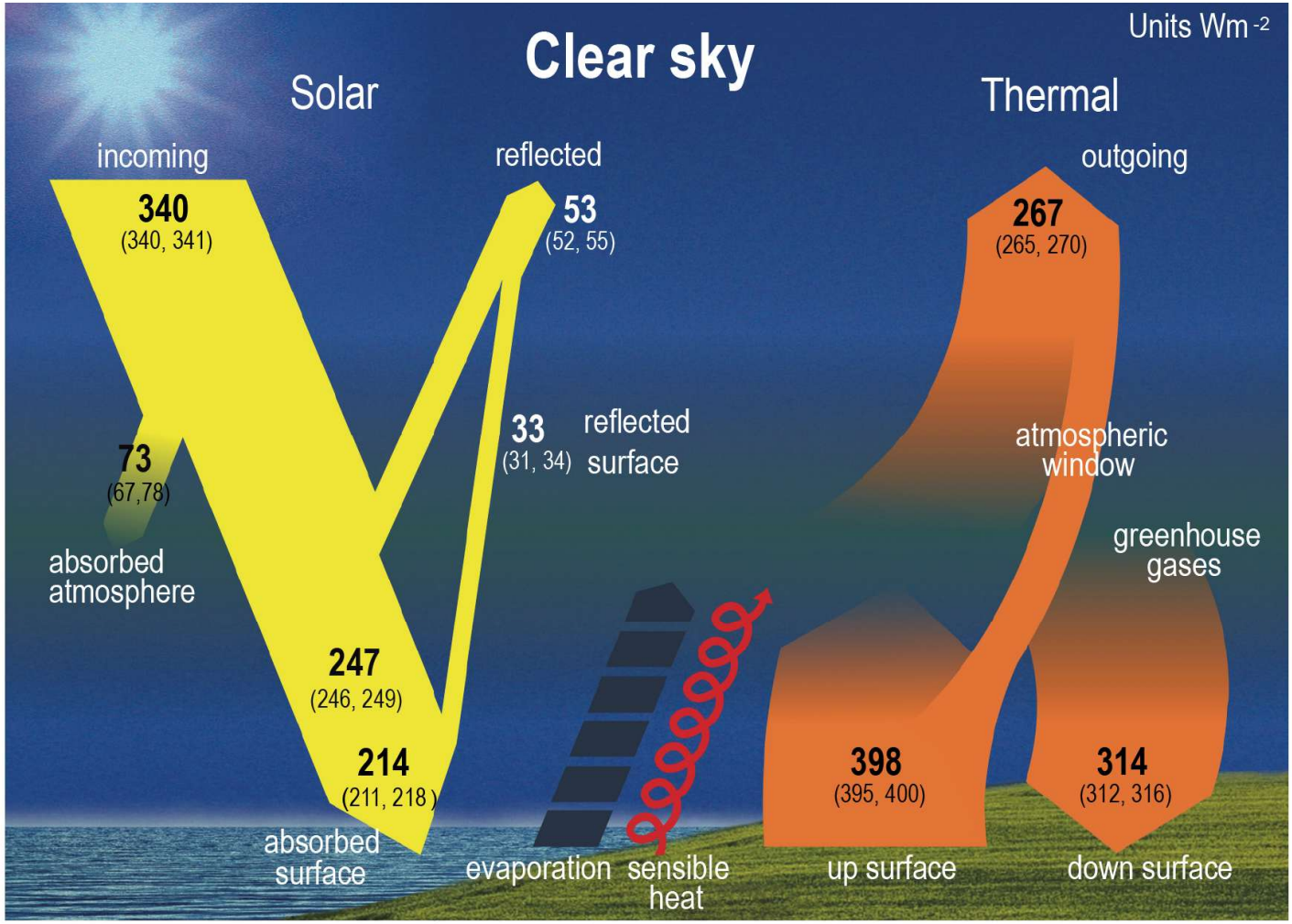
Fisiologia: notte



Bilancio energetico tra superficie terrestre e atmosfera (fonte: IPCC)



Bilancio energetico tra superficie terrestre e atmosfera (fonte: IPCC)



Effetti misurabili

Cosa accade all’atmosfera al contatto con la superficie terrestre?

Dipende: dall’essere giorno o notte,

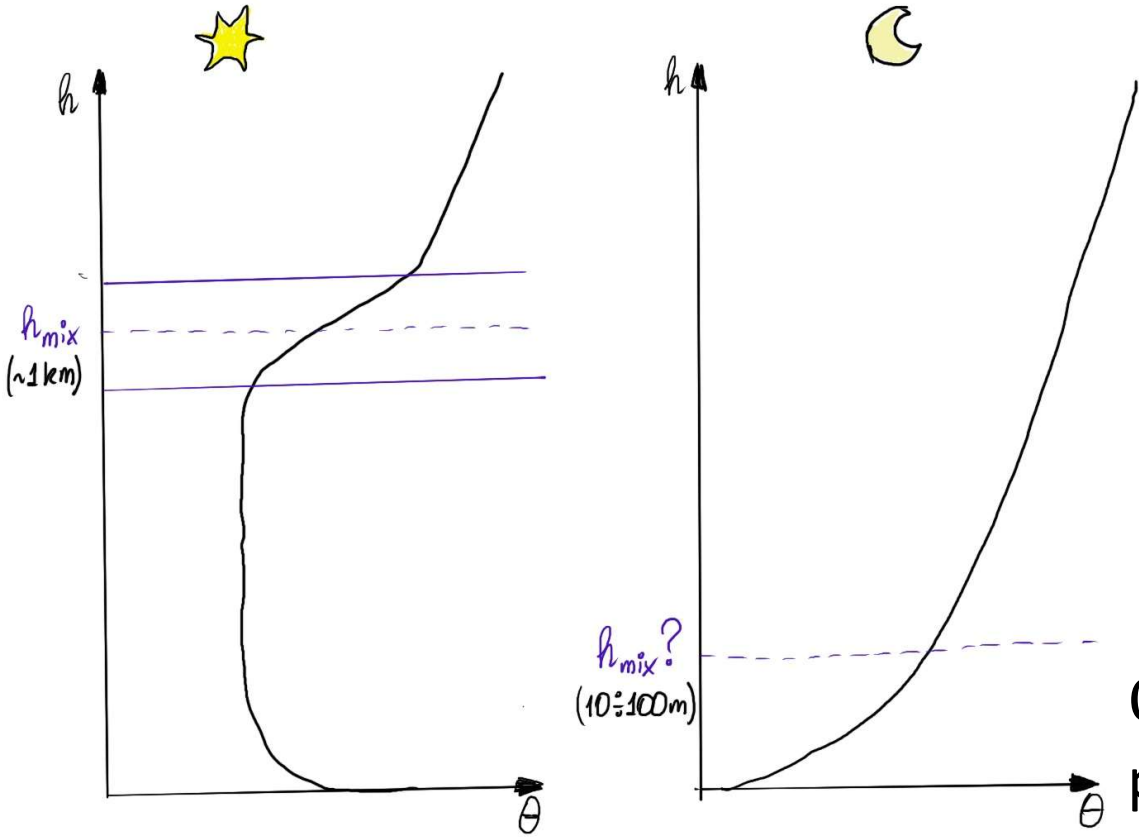
Da com’era andata il giorno prima.

Da…

Le conseguenze sono oggettive, riscontrabili, e macroscopiche.

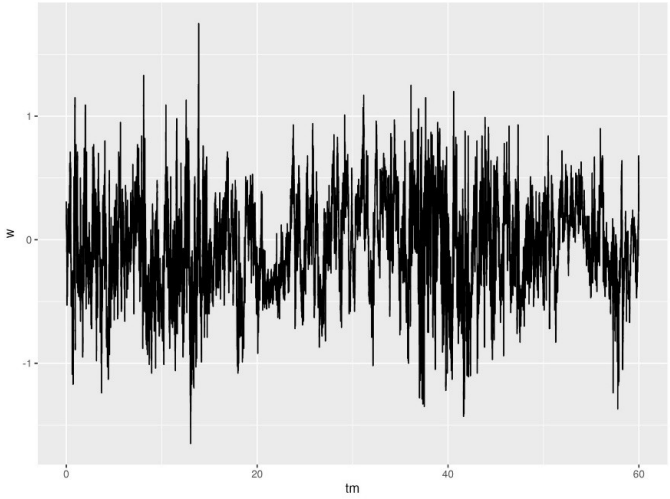
Pur di avere a disposizione gli strumenti che permettono di osservarle
e misurarle 😊

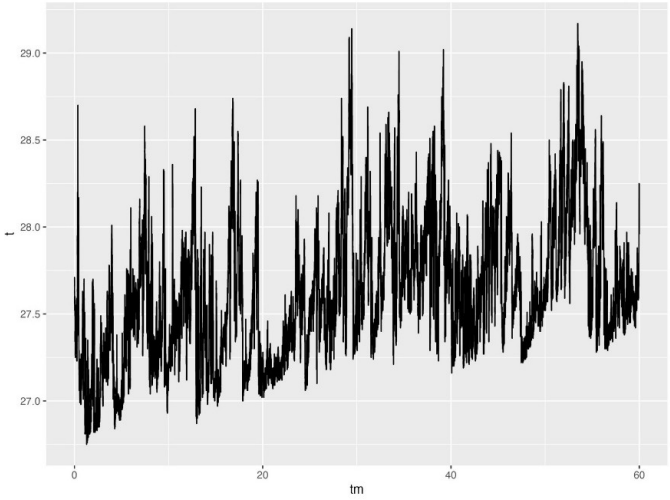
Effetti misurabili



Θ: temperatura potenziale

Giorno, segnatura strumentale





15. 08. 2016, ore 12 - 13

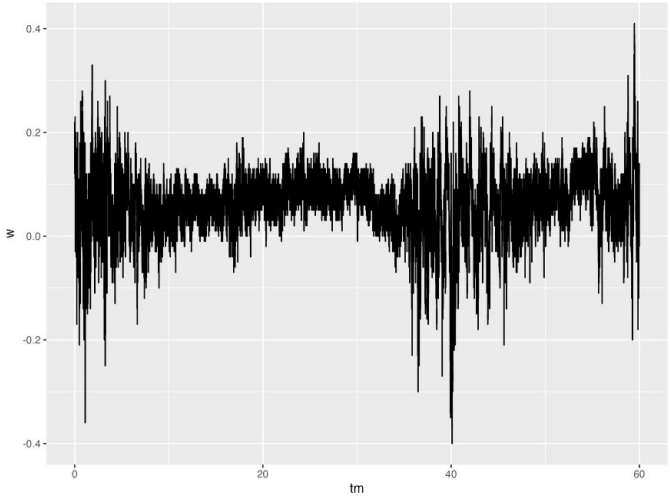
Giorno, bel tempo.

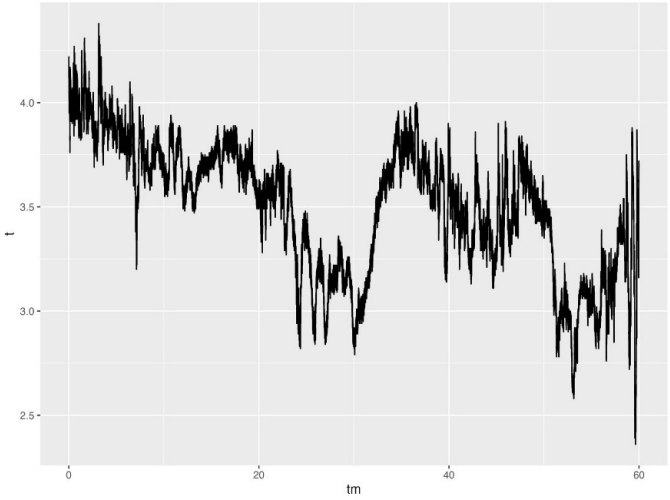
Correlazione $\overline{w'\theta'}$ tra velocità verticale del vento (sopra) e temperatura (sotto) *positiva* (valore: +0.0830)

Flusso turbolento di calore sensibile, $H_0 = \rho C_p \overline{w'\theta'}$, *positivo*:

Viene pompato calore nell'aria al contatto con il suolo.

Notte, segnatura strumentale





08. 03. 2016, ore 00 - 01

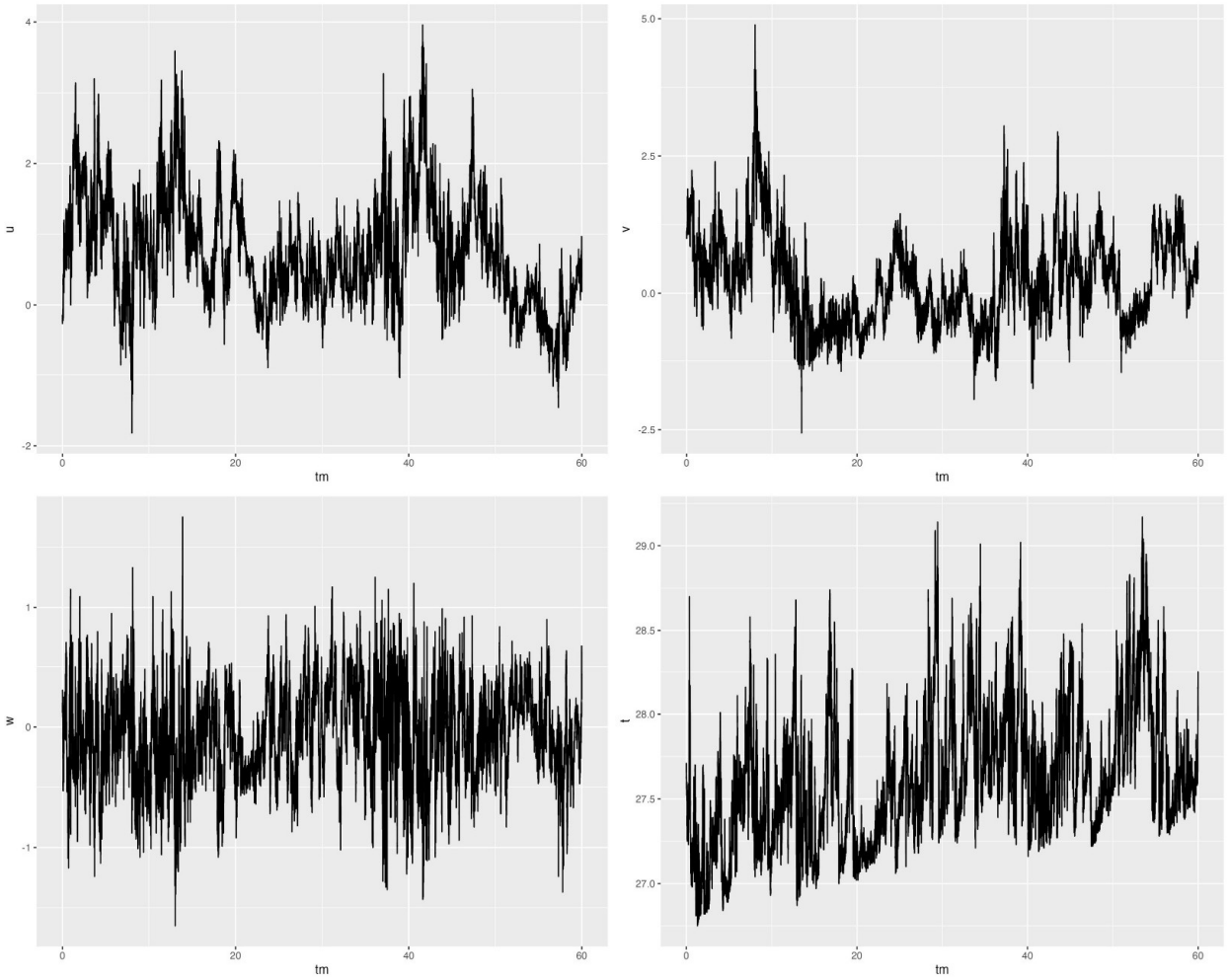
Notte.

Correlazione $\overline{w'\theta'}$ tra velocità verticale del vento (sopra) e temperatura (sotto) *negativa* (valore: -0.0056)

Flusso turbolento di calore sensibile, $H_0 = \rho C_p \overline{w'\theta'}$, *negativo*:

Calore dall'atmosfera verso il suolo.

A proposito di vento…



15. 08. 2016, ore 12 – 13

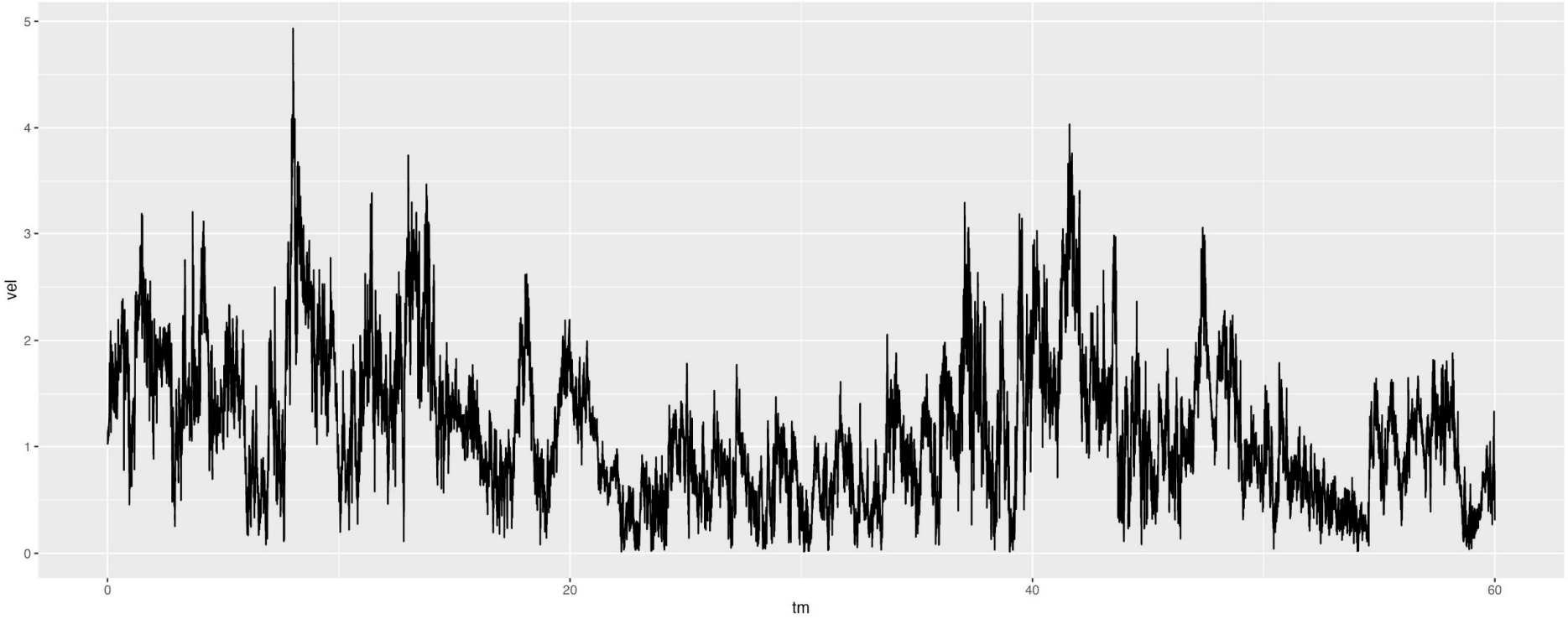
Qui vediamo tutte e tre le componenti del vento

Incluse le due orizzontali

Variazione

Cambiamento rapidissimo

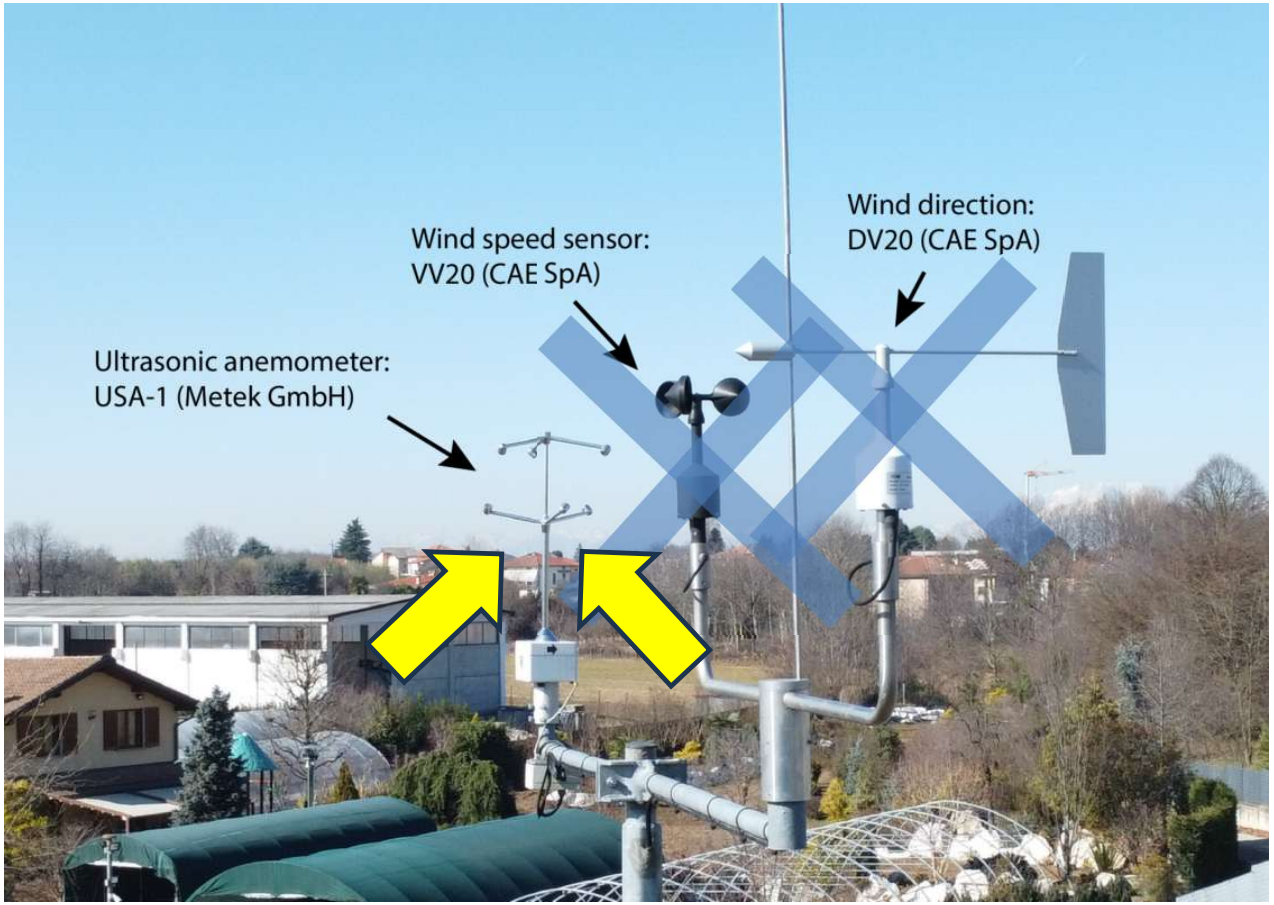
A proposito di vento…



15. 08. 2016, ore 12 – 13 Questa, invece, la velocità orizzontale

Anche qui, fluttuazioni rapidissime: tanto, da non avvertirle «a pelle»

Come misurare?



I dati che abbiamo visto sono stati acquisiti dalla stazione di Cinisello Parco Nord della rete SHAKEUP di ARPA Lombardia.

Qui il dettaglio degli anemometri di un'altra delle stazioni.

Quello usato è l'**anemometro ultrasonico triassiale**.

Come misurare?

	Sonico	Coppe e banderuola
Soglia di attivazione	0.01 m/s	0.5 – 1.5 m/s
Componenti vento	u, v, w	u, v
Temperatura	Si	No
Rateo campionamento	40+ Hz	0.1 Hz
Risoluzione	0.01 m/s	? (0.1+ m/s)

L'anemometro ultrasonico triassiale, operando come **anemometro ad alta risoluzione** e come **profilatore di turbolenza**, permette di misurare e indagare il PBL.



Rappresentazione matematica: la Decomposizione di Reynolds

Ipotesi di (da Vinci 😊 -)Reynolds:

Ogni grandezza misurata nello Strato Limite Planetario si può scrivere come sovrapposizione di un *valor medio* e di una *fluttuazione:*

$$x(t) = \bar{x}(t) + x'(t)$$

Valore — Media — Fluttuazione

Rappresentazione matematica: la Decomposizione di Reynolds

La «media» è un operatore caratterizzato dalle *condizioni di Reynolds*:

i) $\overline{\alpha x + \beta y} = \alpha\bar{x} + \beta\bar{y}$ (linearità)

ii) $\overline{x'} = 0(t)$

iii) $\overline{x \cdot \bar{y}} = \overline{\bar{x} \cdot y} = \bar{x} \cdot \bar{y}$

iv) Per ogni successione x_n uniformemente convergente è $\overline{\lim_{n\to\infty} x_n} = \lim_{n\to\infty} \overline{x_n}$

Dall'ultima condizione si ha in particolare che

$$\overline{\frac{\partial x}{\partial p}} = \frac{\partial \bar{x}}{\partial p}$$

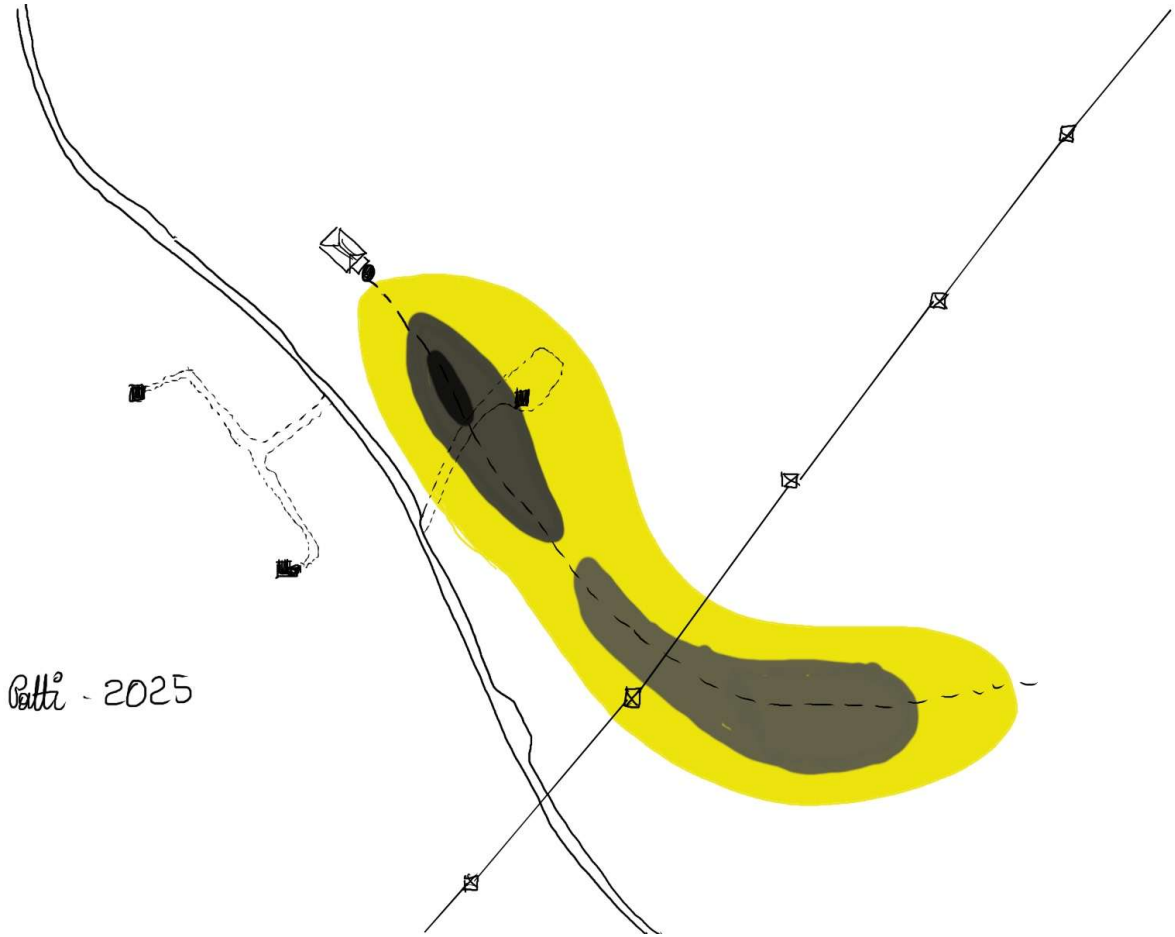
(x, y sono grandezze misurate funzioni del tempo, α, β numeri reali).

Verso la modellistica predittiva:
Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\delta_{i3} g + f_c \varepsilon_{ij3} u_j - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu_j \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_j^2}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u_i' u_j'}}{\partial x_j} = -\delta_{i3} g + f_c \varepsilon_{ij3} \overline{u}_j - \frac{1}{\bar{\rho}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu_j \frac{\partial^2 \overline{u}_j}{\partial x_j^2}$$

Dispersione? Visione «classica»



La turbolenza comporta rimescolamento regolare.

Che si sovrappone al trasporto a distanza dovuto al vento medio.

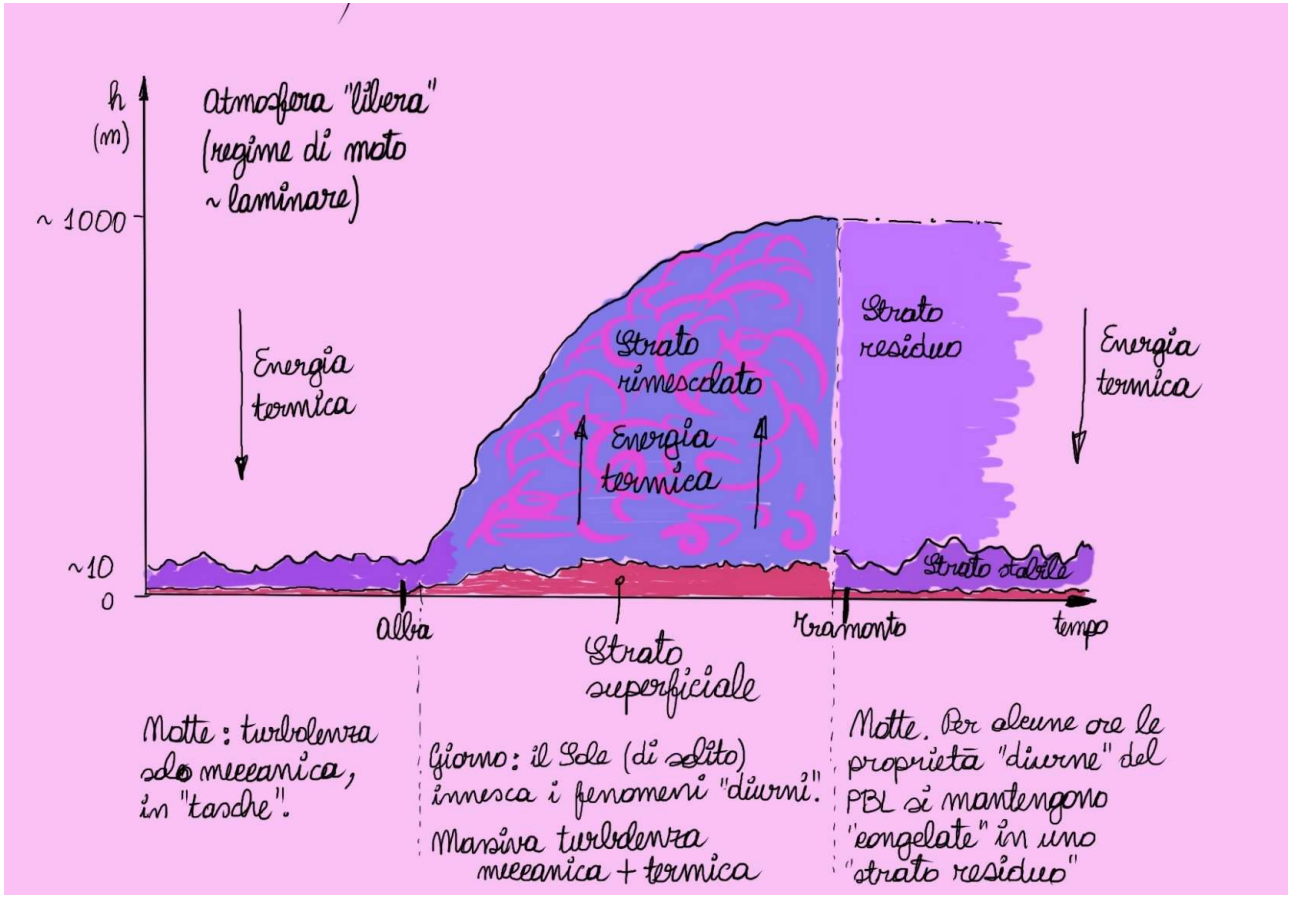
Vento e intensità della turbolenza cambiano nel tempo e nello spazio in modo continuo e regolare.

Dispersione? Visione «classica»

Il rimescolamento avviene però (quasi del tutto) solo entro lo Strato Limite Planetario…

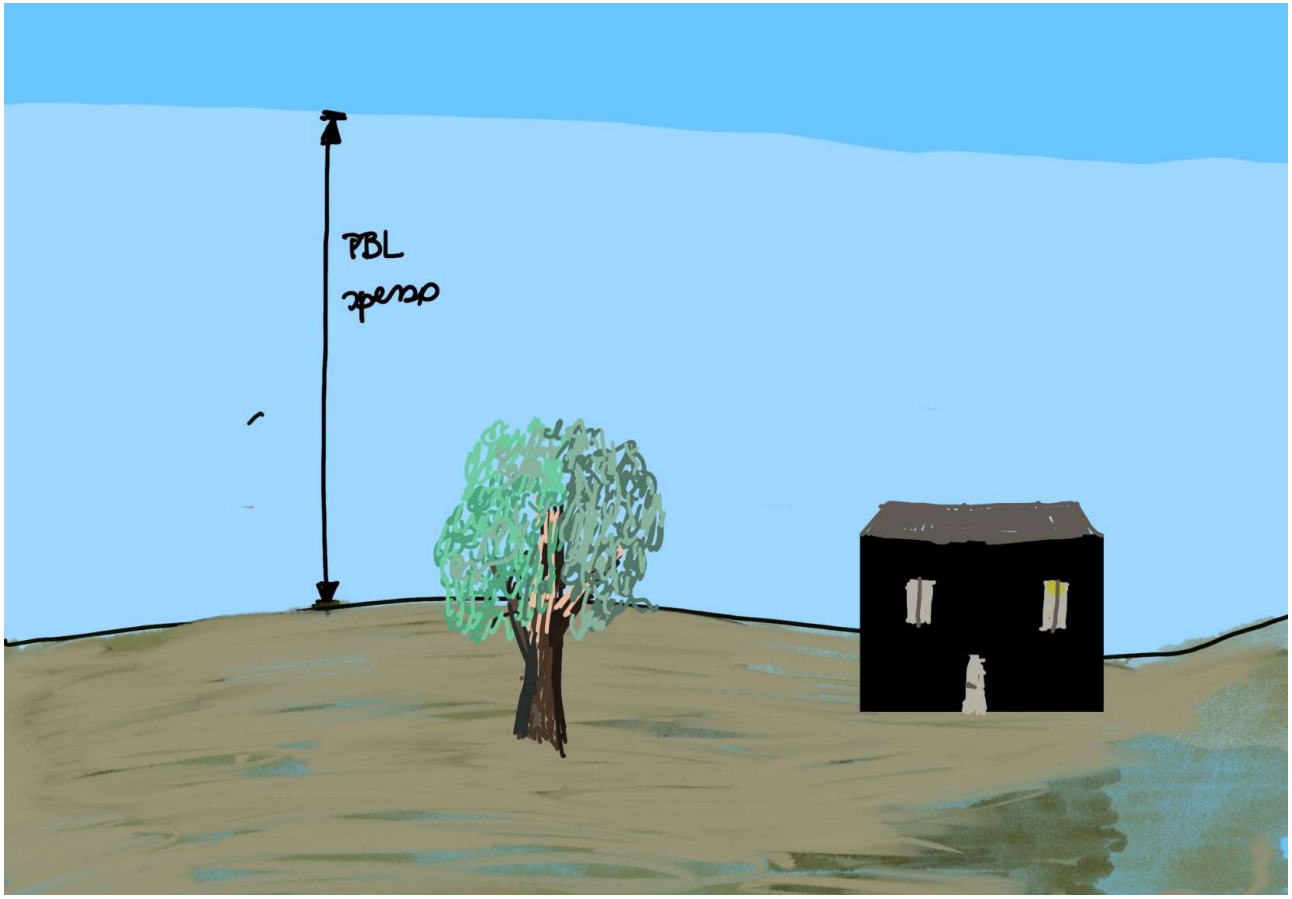


Dispersione? Visione «classica»



… il cui spessore varia però nel tempo in funzione del bilancio energetico superficiale.

Dispersione? Visione «classica»



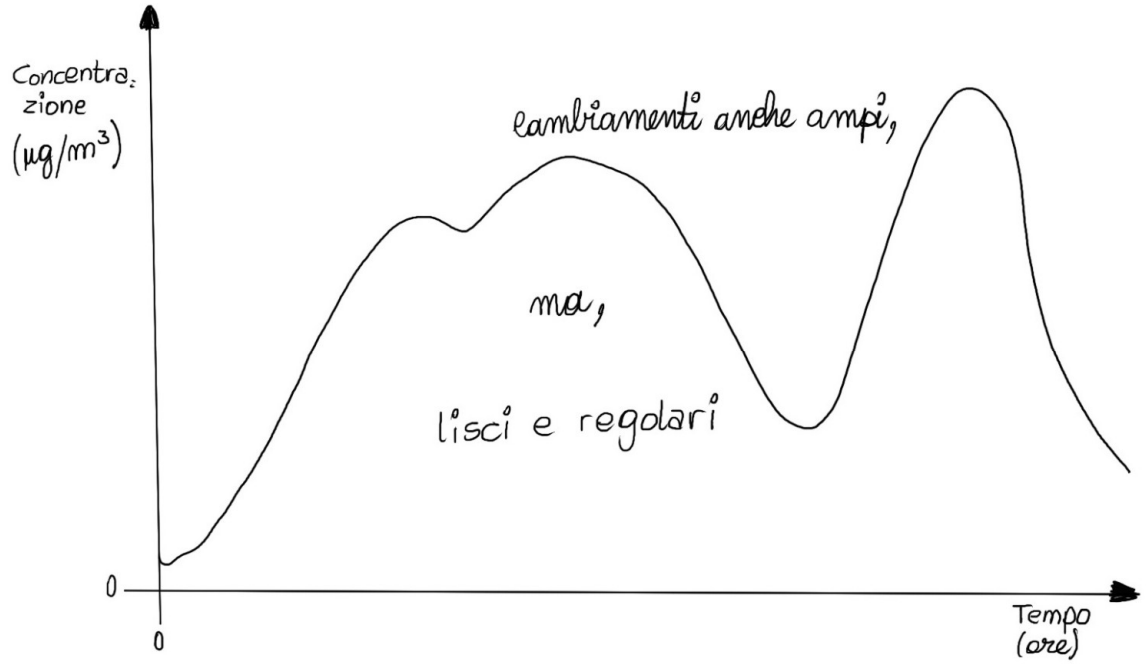
I cambiamenti di spessore, naturalmente, influiscono sulla concentrazione al suolo.

Dispersione? Visione «classica»



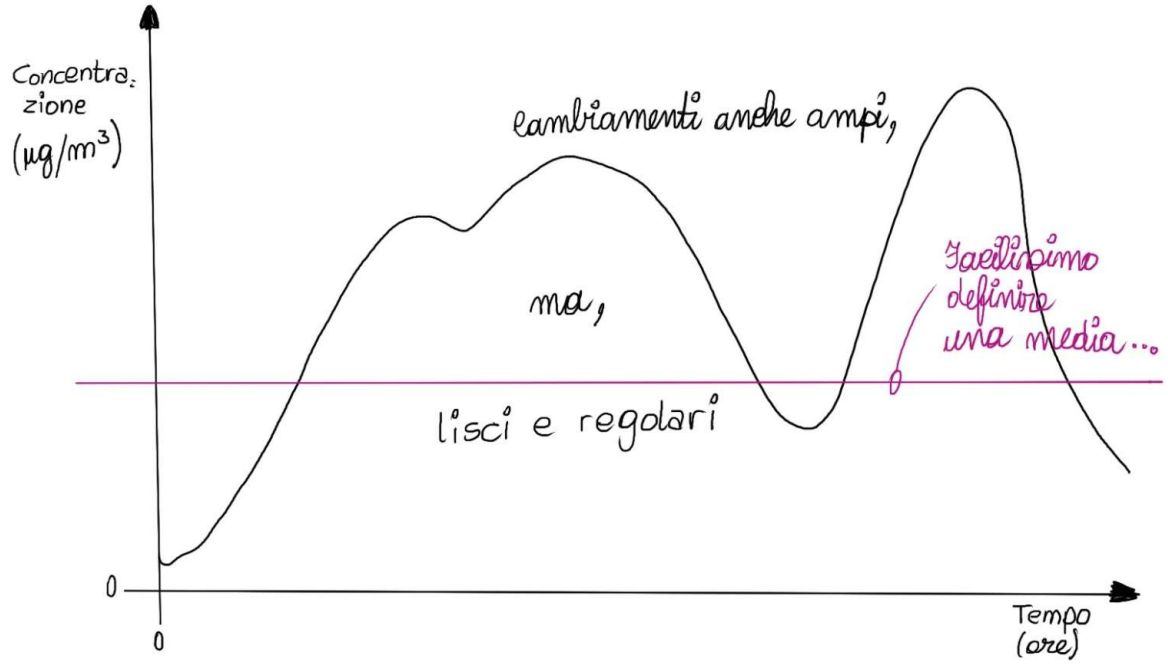
I cambiamenti di spessore, naturalmente, influiscono sulla concentrazione al suolo.

Dispersione? Visione «classica»



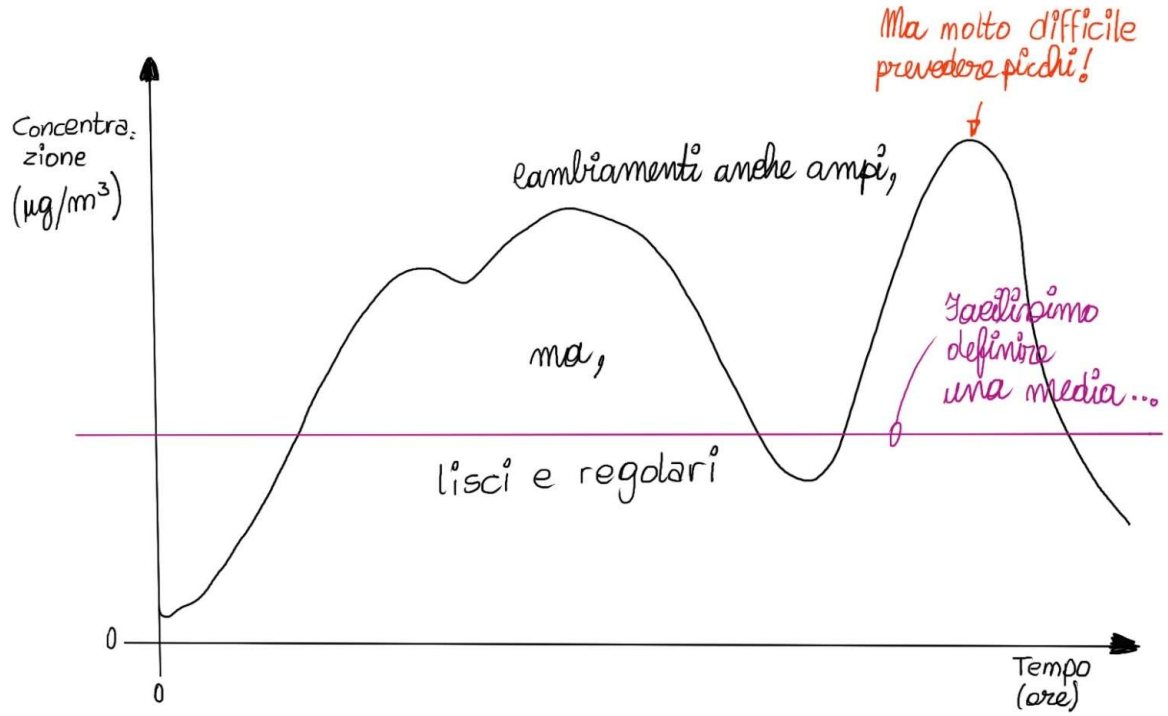
Cosa possiamo aspettarci, nella descrizione «classica»?

Dispersione? Visione «classica»



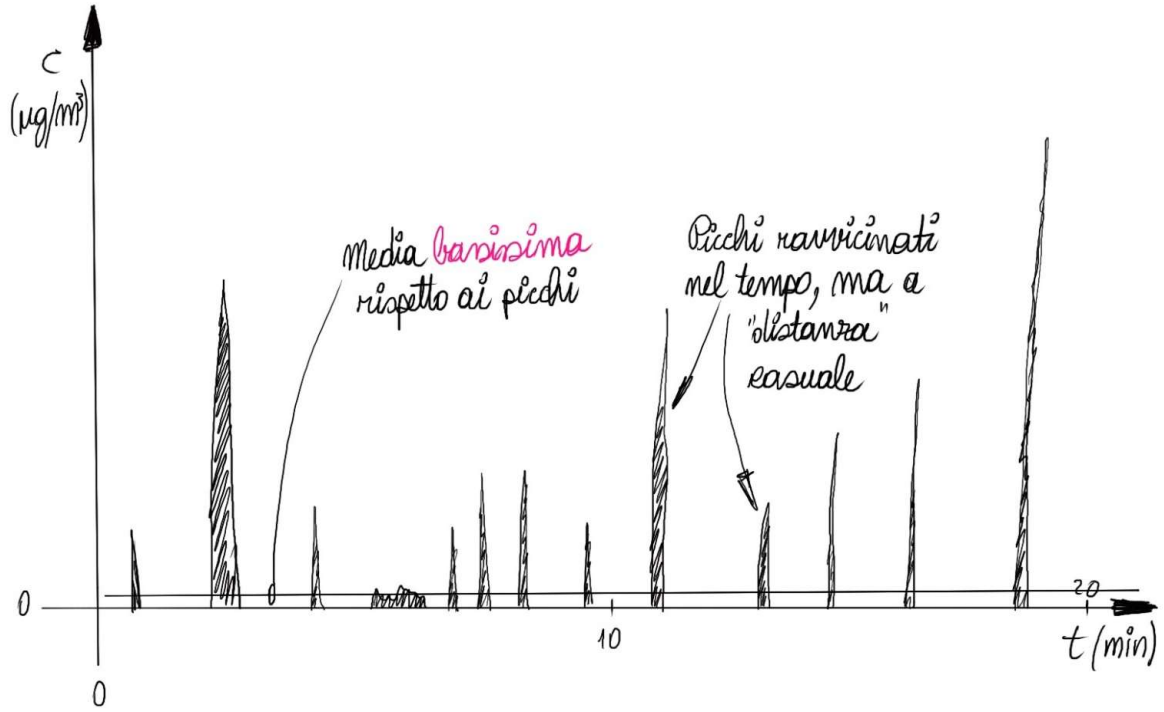
Cosa possiamo aspettarci, nella descrizione «classica»?

Dispersione? Visione «classica»



Cosa possiamo aspettarci, nella descrizione «classica»?

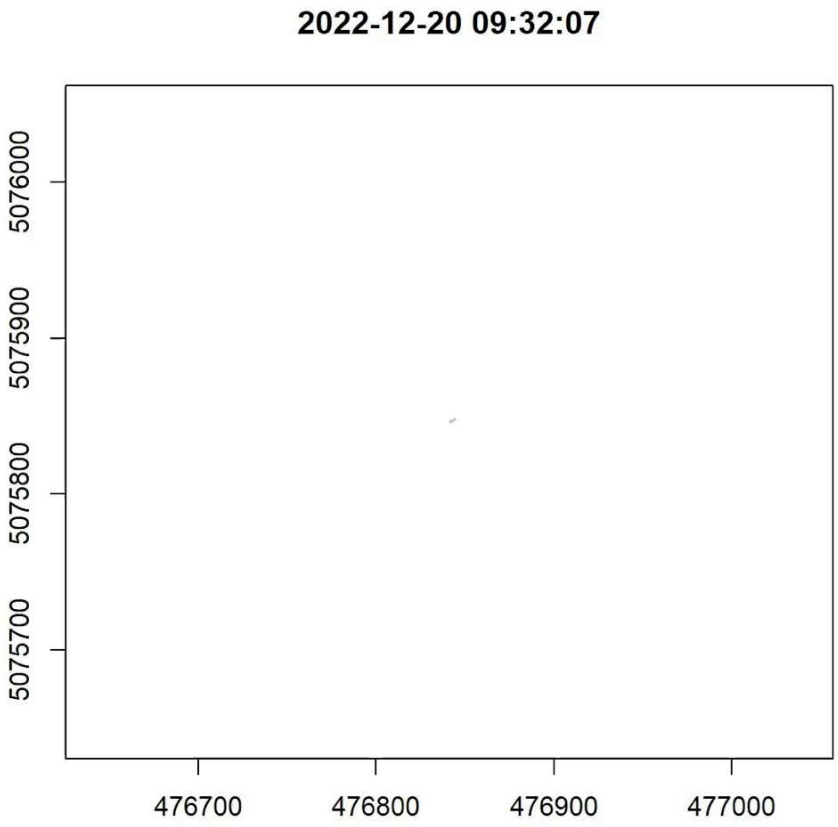
Cosa dicono gli esperimenti



Esempi:

- Campagne Fontanella 1 e 2 (UNIMI, Fisica dell'Ambiente e UNICATTBS, Fisica Ambientale)
- Campagne Bardello 1 e 2 (UNINSUBRIA – *questo pomeriggio)*

Cosa dicono gli esperimenti – Bardello 1



Questa la forma del «pennacchio» nella campagna Bardello 1

Ipotesi di lavoro:

- Approssimazione «Lagrangian-is-Eulerian» (LiE 😘)
- Statistica della turbolenza ottenibile in tempo reale dai dati di un anemometro ultrasonico tri-assiale
- Emissione costante e non reattiva

Simulazione compiuta con un modello sperimentale «non-classico» (*data driven*), nato nel gruppo di Fisica dell'Ambiente UNIMI (prof.ssa Roberta Vecchi) e applicato qui da noi nell'ambito della Tesi di Simone Zintu (prof.ssa Cristiana Morosini)

Superare la visione «classica»

I modelli di dispersione convenzionali (Calpuff, Spray, …) non riproducono i picchi.

Superare la visione «classica»

I modelli di dispersione convenzionali (Calpuff, Spray, …) non riproducono i picchi.

Il «difetto» è all'origine:

$$c(t) = \bar{c}(t) + c'(t)$$

Superare la visione «classica»

I modelli di dispersione convenzionali (Calpuff, Spray, …) non riproducono i picchi.

Il «difetto» è all'origine:

$$c(t) = c_{synoptic}(t) + c_{meandering}(t) + \cdots + c_{K41}(t)$$

Superare la visione «classica»

I modelli di dispersione convenzionali (Calpuff, Spray, …) non riproducono i picchi.

Il «difetto» è all'origine:

$$c(t) = c_{synoptic}(t) + c_{meandering}(t) + \cdots + c_{K41}(t)$$

In pratica:

- Dalla Decomposizione di Reynolds,
- Ad una **scomposizione basata su fenomeni identificabili**

Superare la visione «classica» - Il contributo UNINSUBRIA…

Bulletin of Atmospheric Science and Technology (2025) 6:4
https://doi.org/10.1007/s42865-025-00089-y

RESEARCH

Check for updates

The efficient identification of horizontal meandering in raw ultrasonic anemometer data

Patrizia Favaron[1] · Simone Zintu[2] · Cristiana Morosini[2]

Received: 27 May 2024 / Accepted: 5 January 2025
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG 2025

Abstract
This paper shows a new experimental method for the detection and identification of sub-mesoscale low-frequency components, in particular horizontal meandering, in raw data from three-axial ultrasonic anemometers and other high resolution, high sampling-rate three-dimensional wind sensors. The proposed method is a combination of autocorrelation-based detection and FFT-based filtering, well known in literature. The results of the application of the described method to a sample of hourly raw data files are shown as well. The method can be used as a building block for eddy covariance and other data processing procedures as well as in all the situations where very short time scales (about 10s) are relevant, such as in odour or toxic chemical dispersion.

Keywords Meandering · Stable boundary layer · Ultrasonic anemometer · Autocorrelation ·

Ci siamo anche noi 😍

Studio basato sui dati della stazione di Cinisello Parco Nord (rete SHAKEUP, di ARPA Lombardia),

«sottoprodotto» del lavoro delle campagne di Bardello 1 e 2.

Superare la visione «classica» - … parte minuscola di un grande sforzo collettivo

Sviluppo portato avanti da numerose Università ed Enti di ricerca nel Mondo

Obbiettivo: identificare e isolare i ***low frequency phenomena***.

«Leading partner» in Italia:

- CNR ISAC Torino (gruppo di Domenico Anfossi e Silvia Trini-Castelli)
- CNR ISAC Lecce (Mortarini, Cava, …)

Noi, abbiamo appena cominciato…

Superare la visione «classica» - Un *enorme* problema pratico

Mancano dati adatti!

In un nostro studio recente (Morosini C., Favaron P., Zanardini E., Torretta V., Modelling wastewater treatment plant odour dispersion in weak wind conditions: importance of high-resolution meteorological data, *Environmental Technology*, in corso di pubblicazione) toccata con mano la necessità di dati meteo ad alta risoluzione (anemometro ultrasonico 3D) per una modellazione sensata.

Superare la visione «classica» - Un *enorme* problema pratico

In Lombardia, comunque, non abbiamo troppe ragioni di lamentela:

- **Rete micro-meteorologica SHAKEUP di ARPA Lombardia** (Arconate, Caiolo, Passo del Foscagno, Mantova Lunetta, Cinisello Parco Nord, Pieve San Giacomo, Vertemate con Minoprio).
- **Stazione avanzata ENIPOWER** di Ferrera Erbognone.
- **Stazioni micro-meteorologiche A2A** (Brescia Verziano, Brescia Mompiano, Milano AMSA Silla 2).
- Stazioni micro-meteorologiche mobili e rilocabili di ARPA Lombardia.
- Stazioni di altri soggetti privati (Servizi Territorio srl, …)
- Stazioni micro-meteorologiche universitarie fisse e rilocabili (UNIMI, UNICATT Brescia, POLIMI)

E poi? E poi?

Be', poi si procede.

Pomeriggio faremo vedere due studi nati qui da noi:

- Dispersione odori dall'impianto di trattamento acque di Como città (Como Acque)
- Dispersione odori dall'impianto di captazione delle acque di sifonamento ipolimnico del Lago di Varese (Provincia di Varese)

Ma, mica finisce qui!
Il gruppo di lavoro informale di studio degli aspetti pratici della dispersione di sostanze odorigene e altri contaminanti, di cui faccio parte insieme ai/alle proff.{sse} Cristiana Morosini, Elisabetta Zanardini e Vincenzo Torretta, ha già messo gli occhi su una prossima grossa preda…

Grazie per l’attenzione!

(E se avete qualche curiosità, trovate me, colleghi e colleghe nei momenti di intervallo e nel pranzo 😊)

