Copertina

Corso di Fisica dell'Atmosfera

Modelli dinamici e vorticità

Giaiotti Dario & Stel Fulvio

Sommario della lezione

- Estensione del modello di vento geostrofico: l'attrito e Ekman layer (svolto alla lavagna)

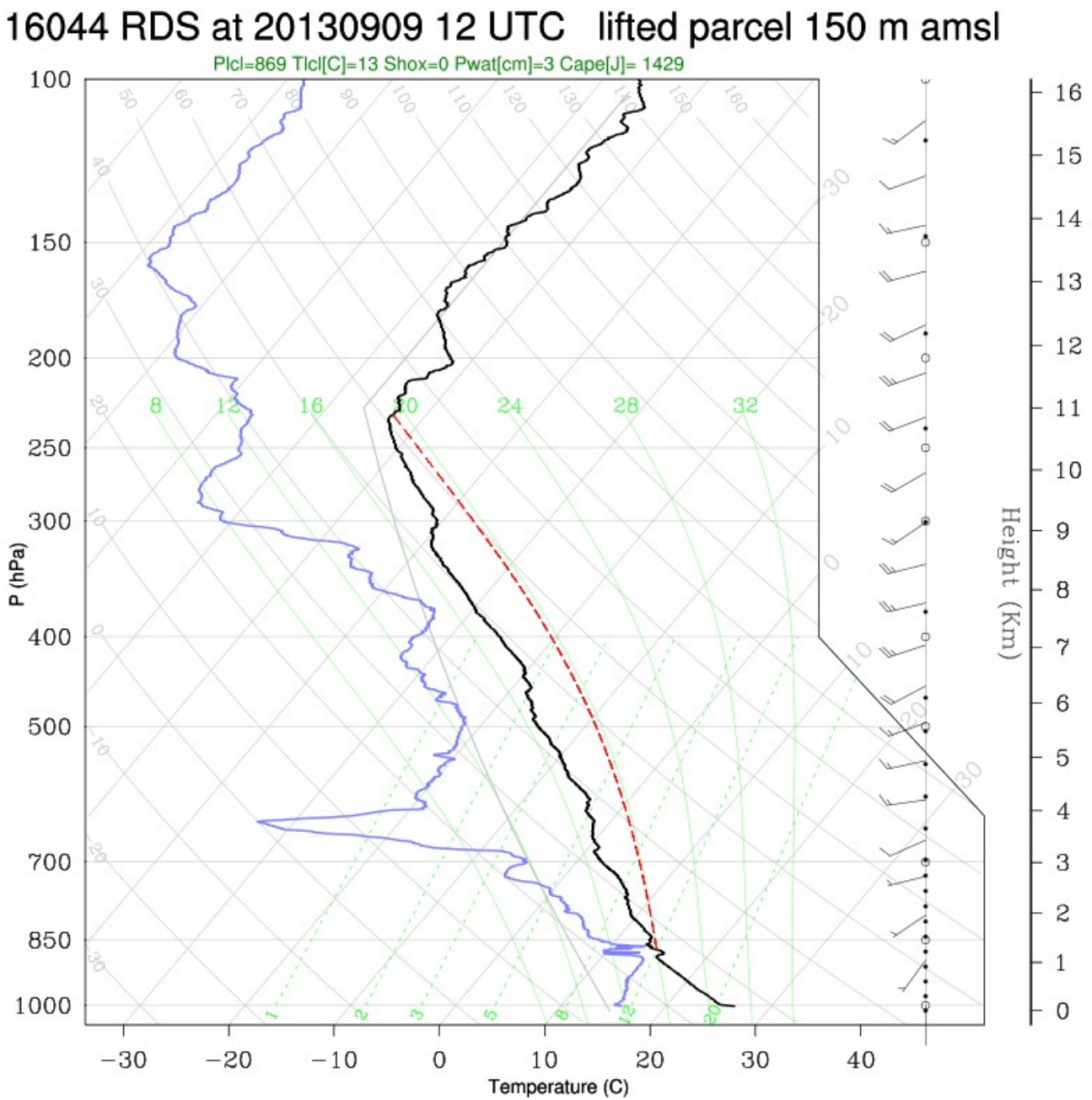
- Proprietà del campo di vento geostrofico (svolto alla lavagna)

- Equazione di conservazione della vorticità

- Vortici intensi alla meoscala e alla microscala: la teoria

- Vortici intensi alla meoscala e alla microscala: fenomenologia e teoria a confronto
- Bibliografia di riferimento e per approfondimenti.

Diagramma SkewT e CAPE (Convective Available Potential Energy)



Equazione di conservazione del quantità di moto (equazione del momento)

$$\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = -2\boldsymbol{\Omega} \times \boldsymbol{v} - \frac{1}{\rho}\boldsymbol{\nabla} p + \boldsymbol{g} + \nu \boldsymbol{\Delta} \boldsymbol{v}$$

Accelerazione volume d'aria elementare

Accelerazione di Coriolis

Accelerazione dovuta al gradiente di pressione

Accelerazione di gravità e centrifuga

Accelerazione di dissipazione

Equazione di conservazione della massa (equazione di continuità)

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0$$

Variazione di densità del volume elementare di aria

Flusso di massa attraverso il volume elementare di aria

[variazione del volume]

L'equazione di conservazione del quantità di moto in coordinate solidali con la Terra

Termini di curvatura — Coriolis — Gradiente di pressione — Dissipazione

$$\frac{du}{dt} - \frac{uv\ tan(\phi)}{R} + \frac{uw}{R} = 2\Omega v\ sin(\phi) - 2\Omega w\ cos(\phi) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + (\nu \boldsymbol{\Delta v})_x$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{u^2\ tan(\phi)}{R} + \frac{vw}{R} = -2\Omega u\ sin(\phi) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + (\nu \boldsymbol{\Delta v})_y$$

$$\frac{dw}{dt} - \frac{u^2 + v^2}{R} = 2\Omega u\ cos(\phi) - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} - g + (\nu \boldsymbol{\Delta v})_z$$

Eseguire l'analisi degli ordini di grandezza di ciascun contributo

Vortici intensi alla mesoscala e alla microscala: quali scale spazio-temporali

scale		minuti			ore		giorni	settimane		mesi	anni	km
Macro	α									onde planetarie	riscaldamento globale, El Nino/La Nina	>10000
	β								cicloni extra-tropicali, onde barocline			2000
Meso	α						frontogenesi	cicloni tropicali, fronti				200
	β					Linee di groppo, supercelle, temporali						20
	γ				downburst, grandinate							2
Micro	α			convezione profonda, tornadoes,								0,2
	β		dust devils, strato limite									0,02
	γ	turbolenza										< 0,02

Trasformazione della vorticità orizzontale in vorticità verticale

$$\dot{\zeta} = \vec{\omega}_h \cdot \nabla_h W + \zeta \frac{\partial W}{\partial z}$$

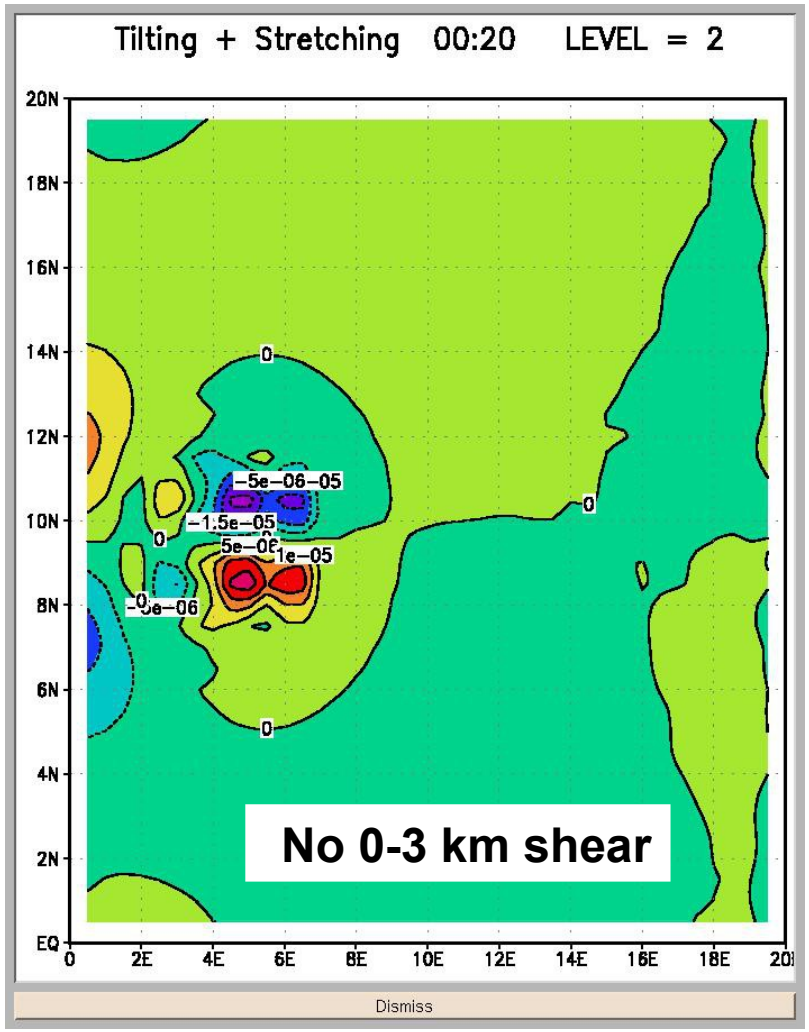
$$\dot{\vec{\omega}}_h = \vec{\omega} \cdot \nabla \vec{V}_h + \nabla \times \vec{B}$$

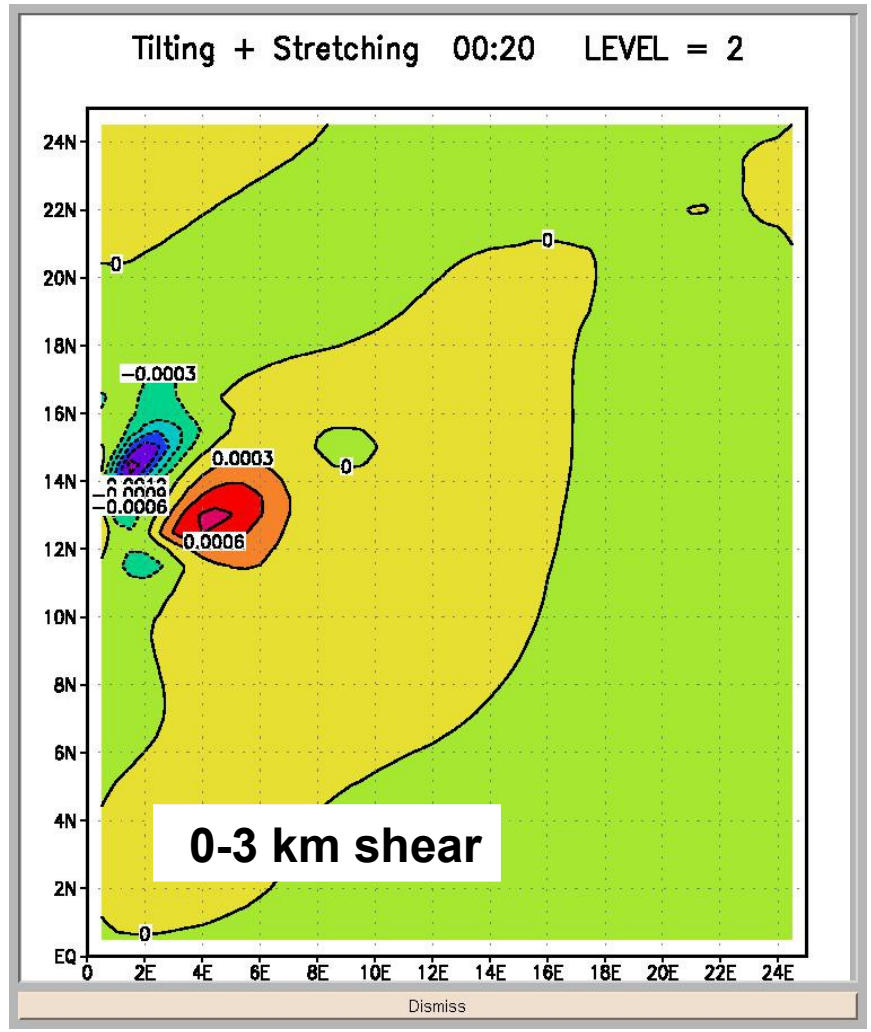
Lagrangian differential approach

since Davies-Jones
Klemp & Rotunno
Weisman & Klemp
works in 1980's

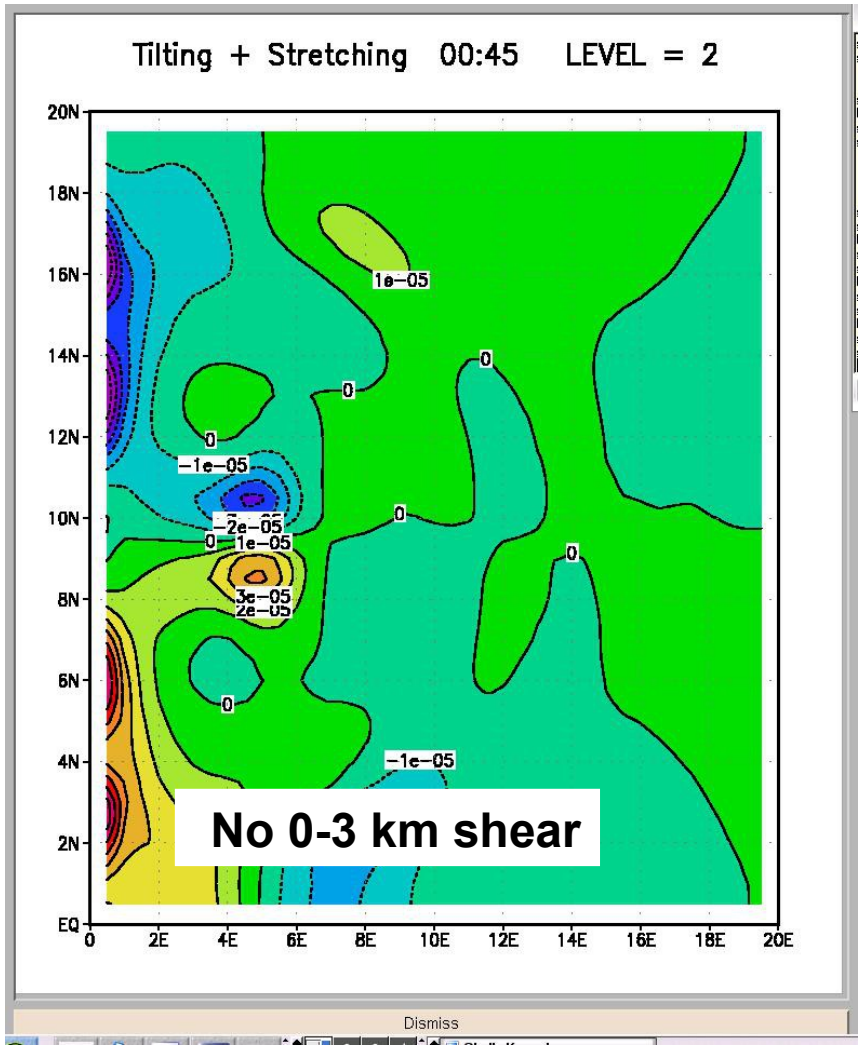
Simulazione numerica tramite modello WRF di supercella (risoluzione 0.5 km dopo 20')

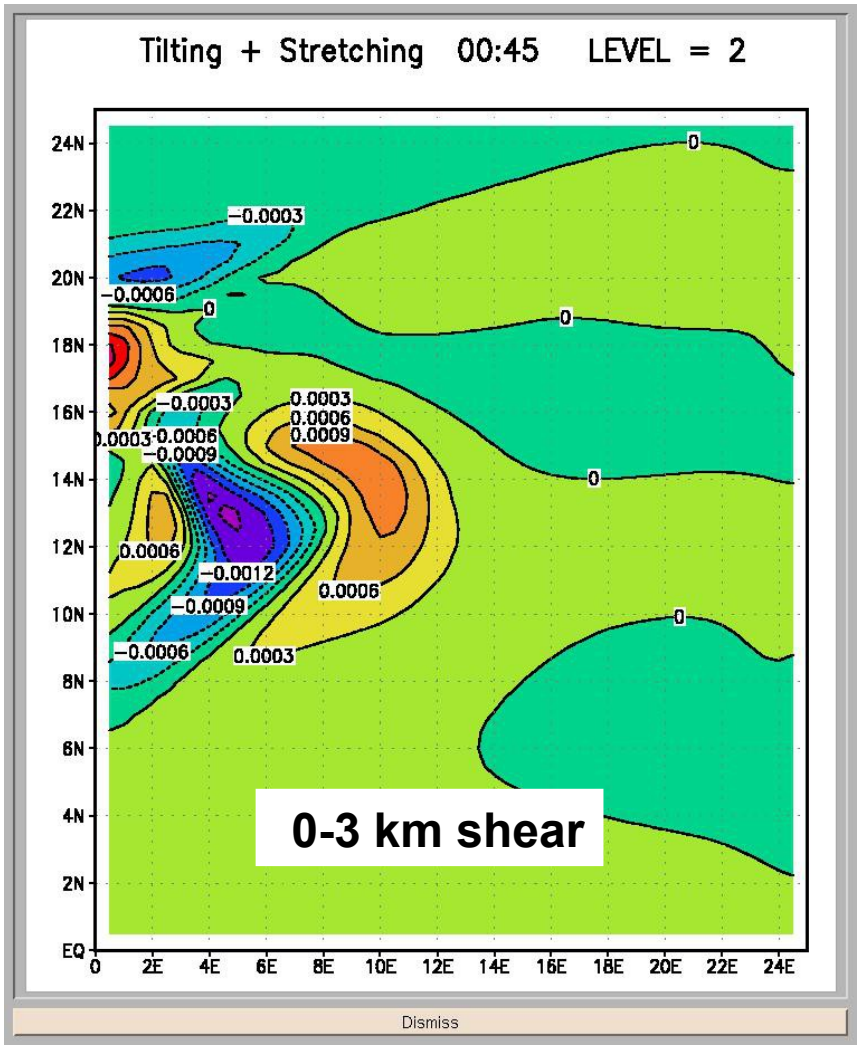
$$\dot{\zeta} = \vec{\omega}_h \cdot \nabla_h W + \zeta \frac{\partial W}{\partial z}$$





Simulazione numerica tramite modello WRF di supercella (risoluzione 0.5 km dopo 45')





Vortici intensi alla meoscala e alla microscala: fenomenologia e teoria a confronto

$$\mathrm{EHI} = \frac{(\mathrm{CAPE})\ (\mathrm{SRH})}{1.6 \times 10^5}.$$

$$\mathrm{SRH} = -\int_0^h \mathbf{k} \cdot (\mathbf{V} - \mathbf{c}) \times \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial z}\, dz,$$

Rasmussen and Blanchard
Wea. Forecasting 1998

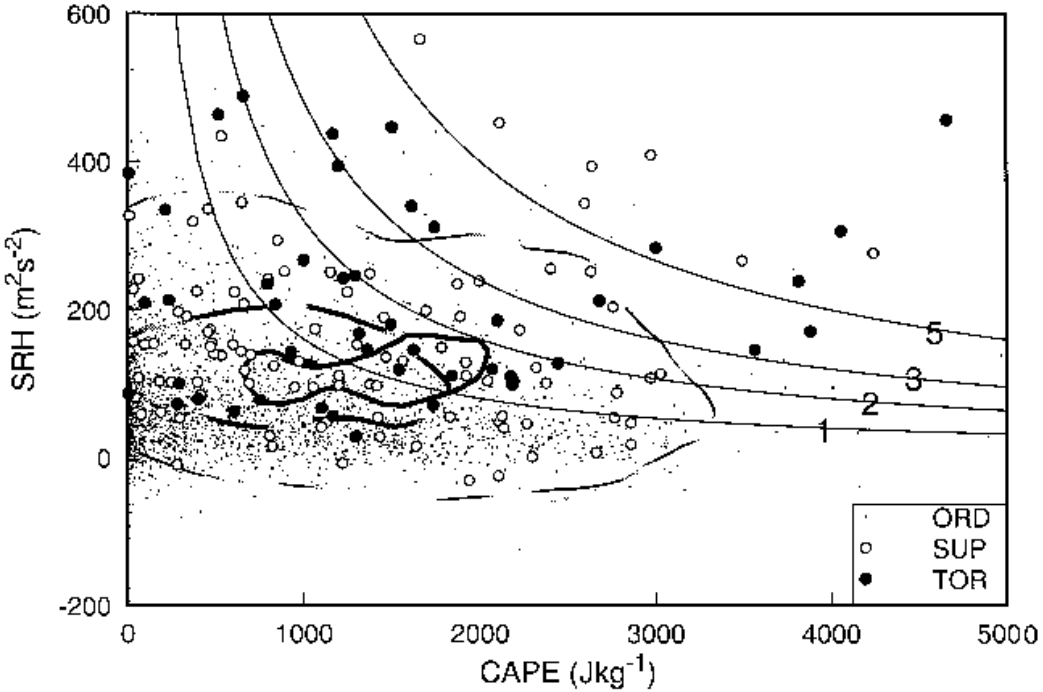


FIG. 11. As in Fig. 9 except for EHI. Labeled curves are lines of constant EHI. Probability density contours are for probability of 2×10^{-7} $(\mathrm{m^2\,s^{-2}\,J\,kg^{-1}})^{-1}$ (thin contours), 1×10^{-6} $(\mathrm{m^2\,s^{-2}\,J\,kg^{-1}})^{-1}$ (heavy contours), and black for TOR, medium gray for SUP, and light gray for ORD. Thin black contour omitted.

Brooks et al
Wea. Forecasting 1994

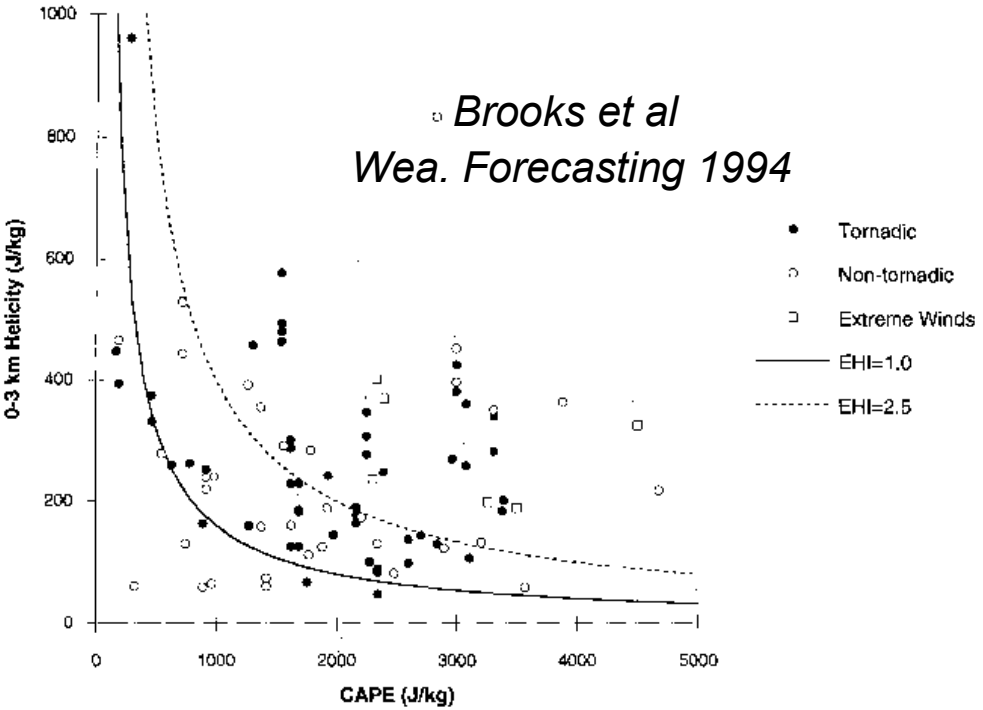
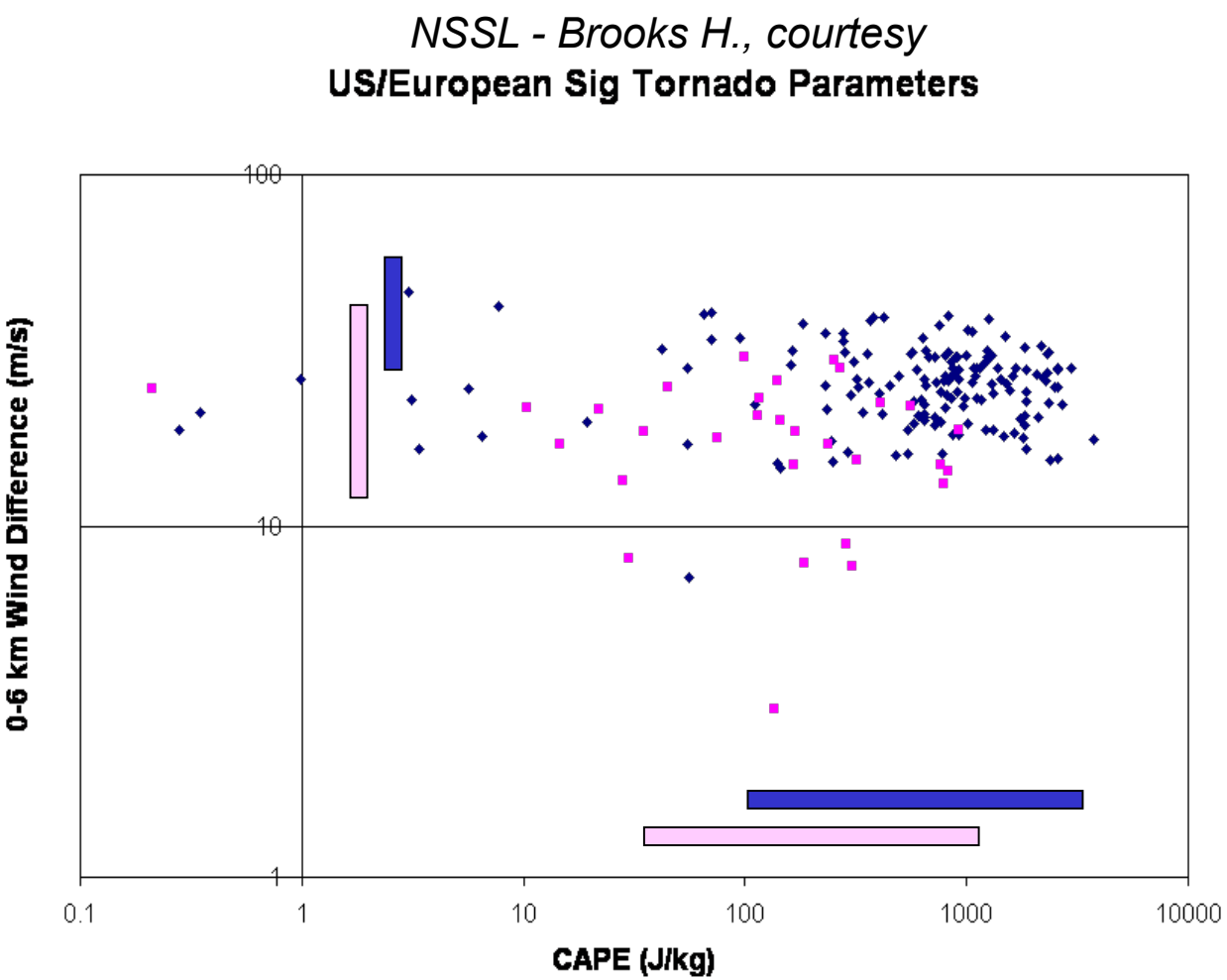


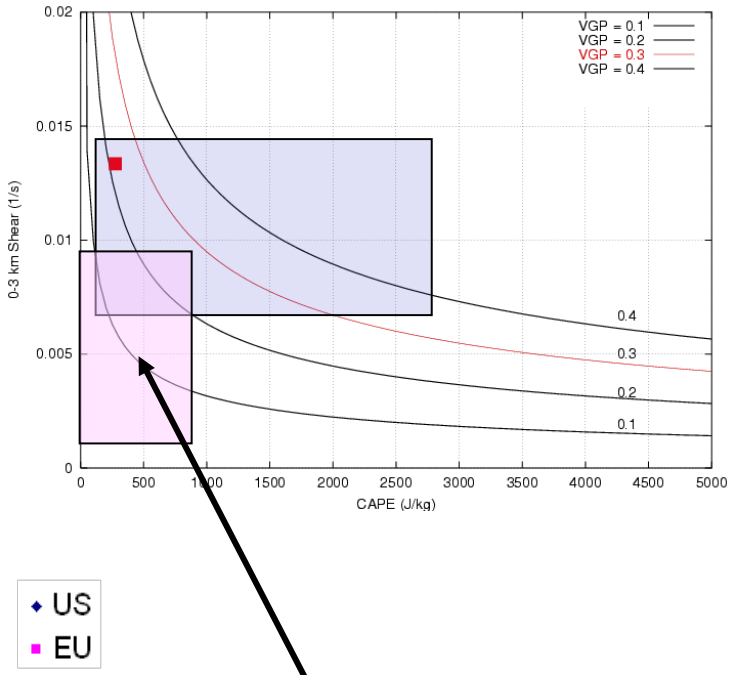
FIG. 5. CAPE and 0–3-km helicity values (both in J kg^{-1}) for proximity soundings. Energy-helicity index (EHI) isopleths of 1.0 and 2.5 are indicated by solid and dashed lines, respectively.

$$\dot{\zeta} = \boxed{\vec{\omega}_h \cdot \nabla_h W} + \zeta \frac{\partial W}{\partial z}$$

$$\dot{\vec{\omega}}_h = \vec{\omega} \cdot \nabla \vec{V}_h + \nabla \times \vec{B}$$

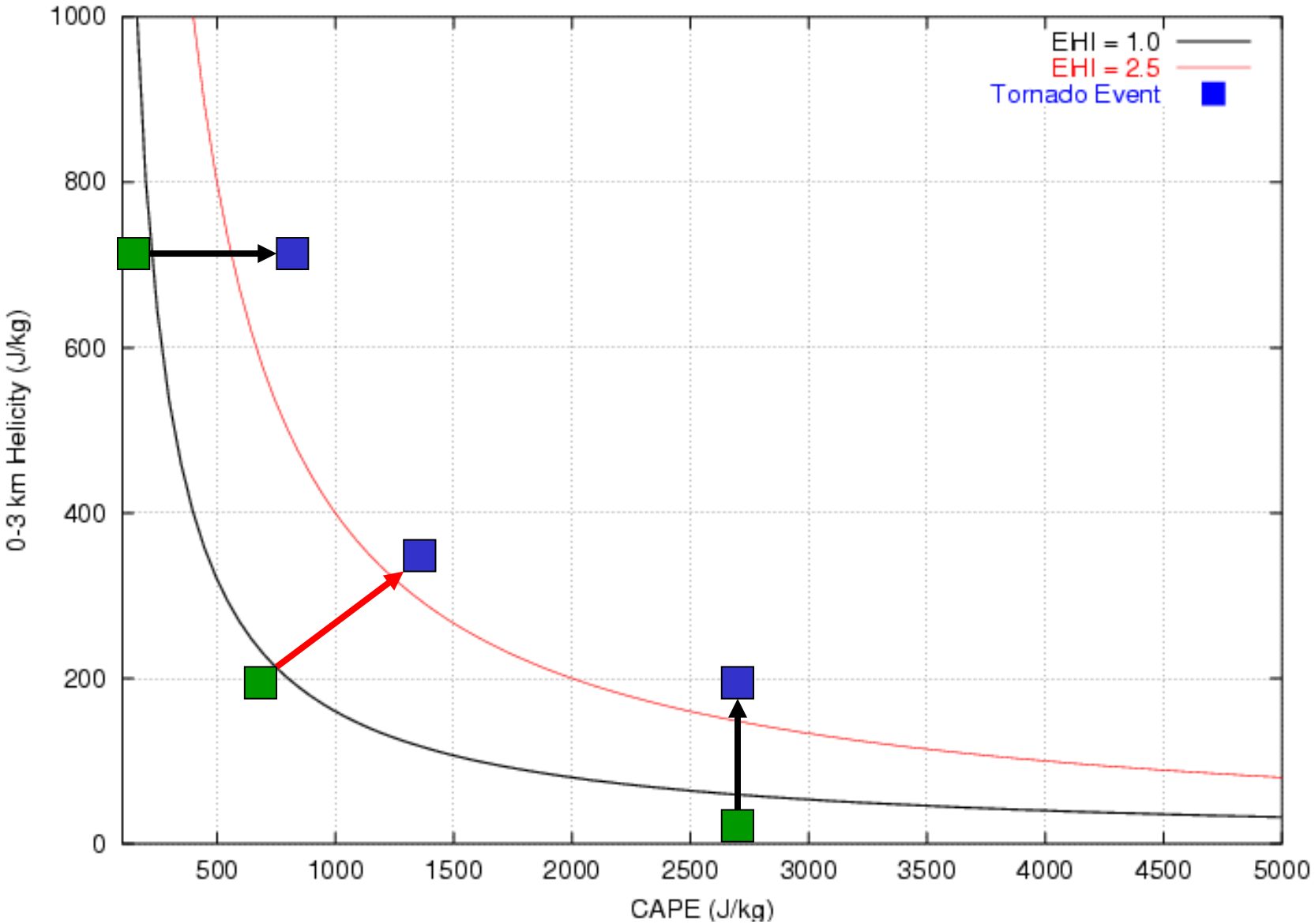
Le regole empiriche sono funzione dell'area geografica a cui si riferiscono



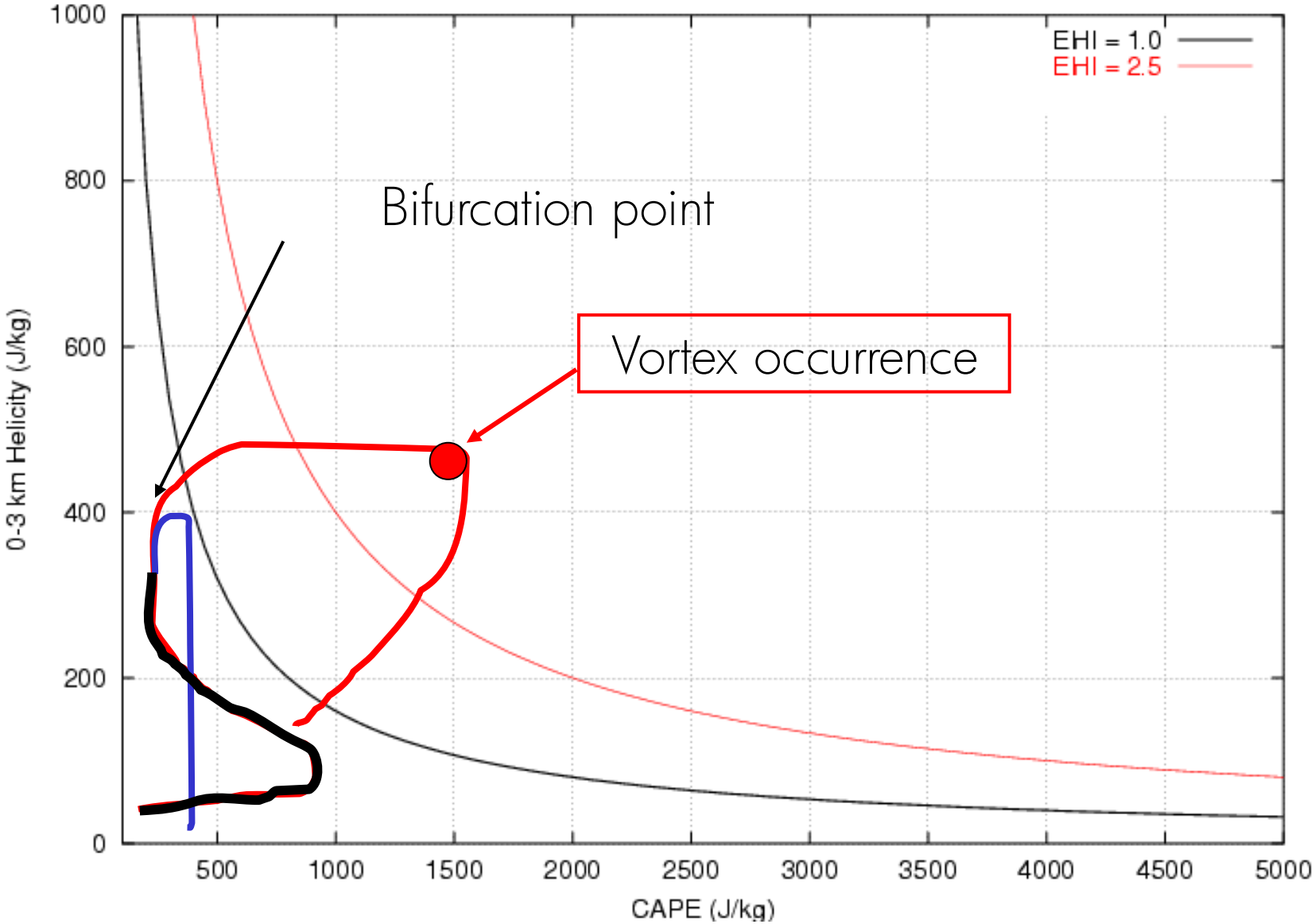


Indebolimento della regola empirica
Saranno prodotti parecchi falsi allarmi

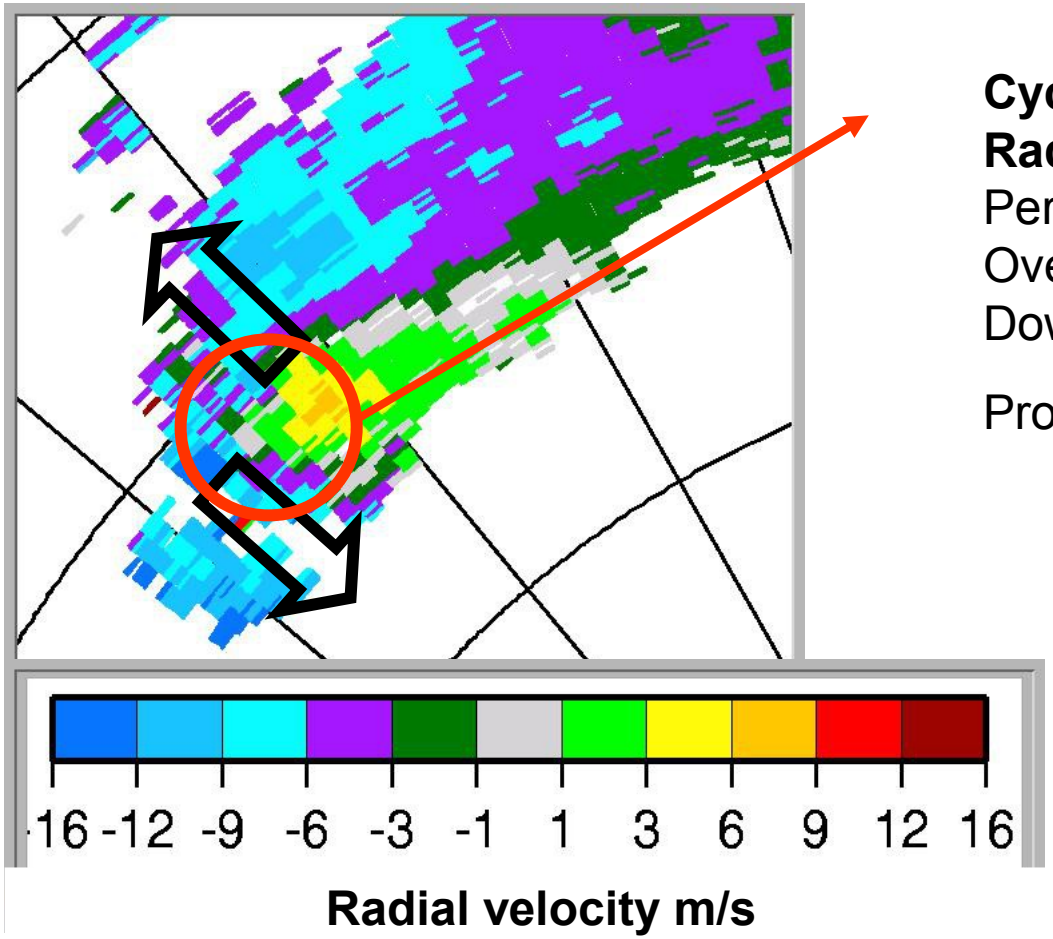
Sensitività delle regole empiriche agli errori di misura



Fluttuazioni dello strato limite e le regole empiriche



Esempio di osservazione di un mesociclone tramite radar Doppler in banda C



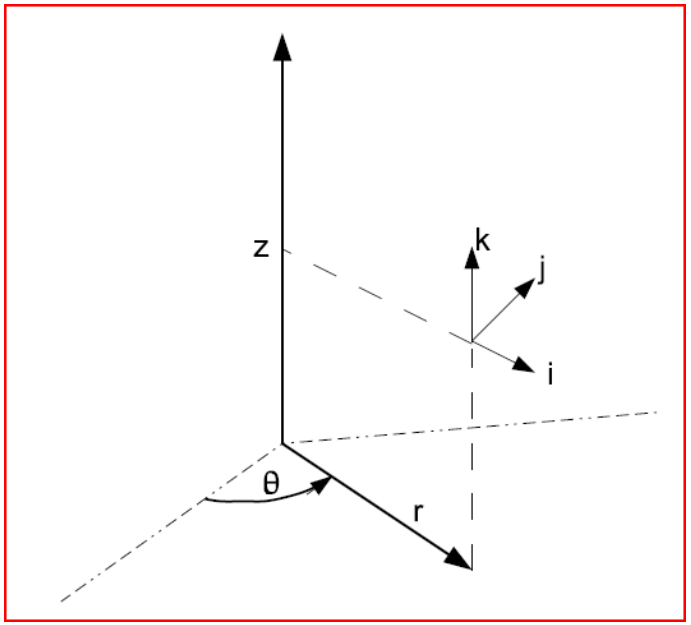
Rotation signature for Mesocyclone
PPI 2003 07 17 17:05 UTC
elevation = 1.0 deg, R = 75 km

Cyclonic Rotating Thunderstorm
Radius of rotation about **4 km**
Periferical average **wind speed 12 m/s**
Overall **structure motion 4 m/s**
Downdraft - updraft interaction

Produced effects:

- Long lived storm (2 hours)
  30km path (> 15 villages interested)
- heavy rainfalls (>10 mm/5')
- strong electrical activity
- hailstones size > 2.5 cm
- local downdraft intensity
  20-30 m/s

Modello semplice di vortice atmosferico – Rankine vortex

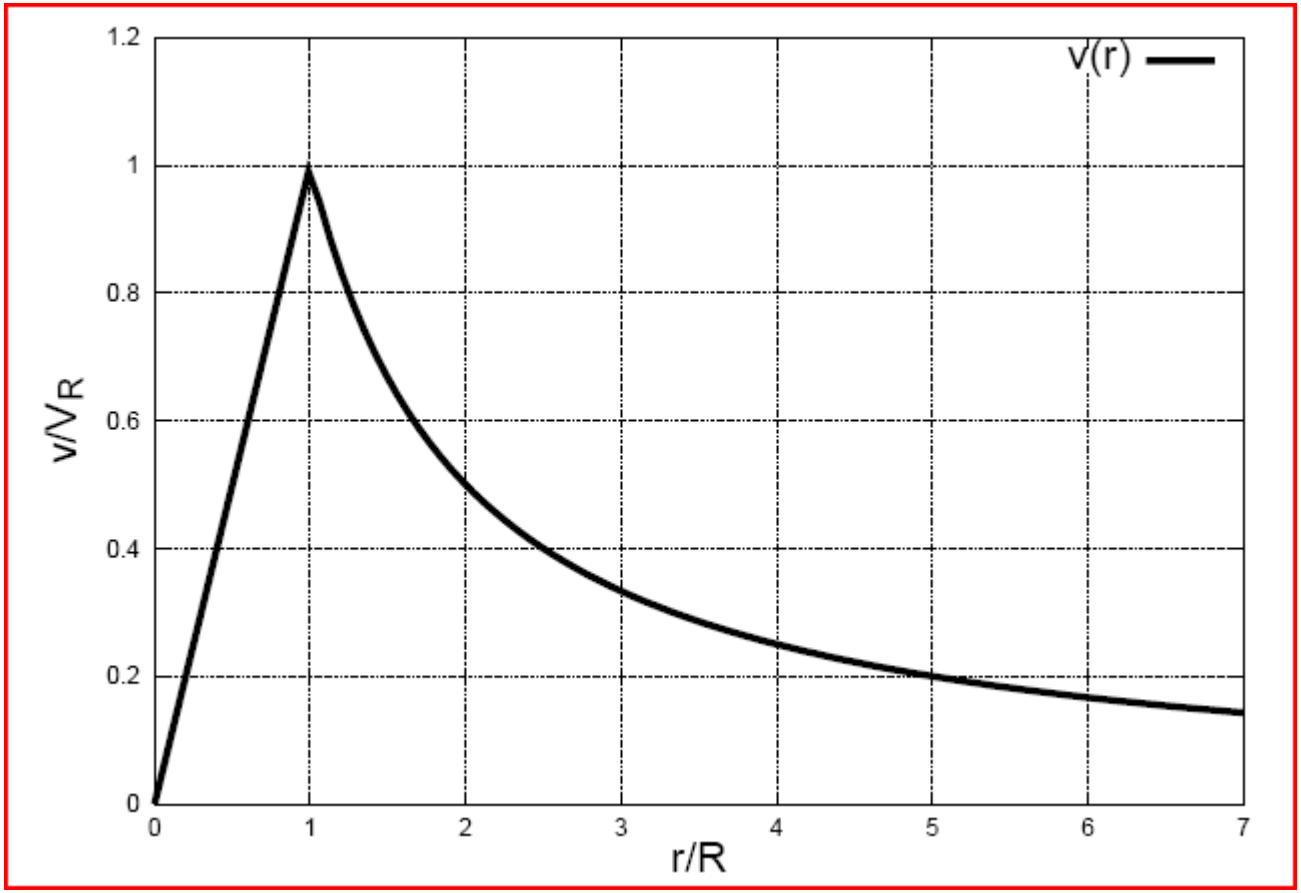


Il modello Rankine vortex, descritto in coordinate cilindriche, assume nulle le componenti radiali e verticali della velocità, mentre per quella tangenziale ci sono due regimi:

- rotazione rigida (parte interna del vortice)
- decrescita iperbolica (parte esterna del vortice)

$$\boldsymbol{v} = v_r \boldsymbol{i} + v_\theta \boldsymbol{j} + v_z \boldsymbol{k} \quad \text{where} \quad \begin{cases} v_r = 0 \\ v_\theta = \begin{cases} V_R \frac{r}{R} & \text{if} \quad 0 \leqslant r < R \\ V_R \frac{R}{r} & \text{if} \quad R \leqslant r \end{cases} \\ v_z = 0 \end{cases}$$

Rankine vortex: velocità e vorticità

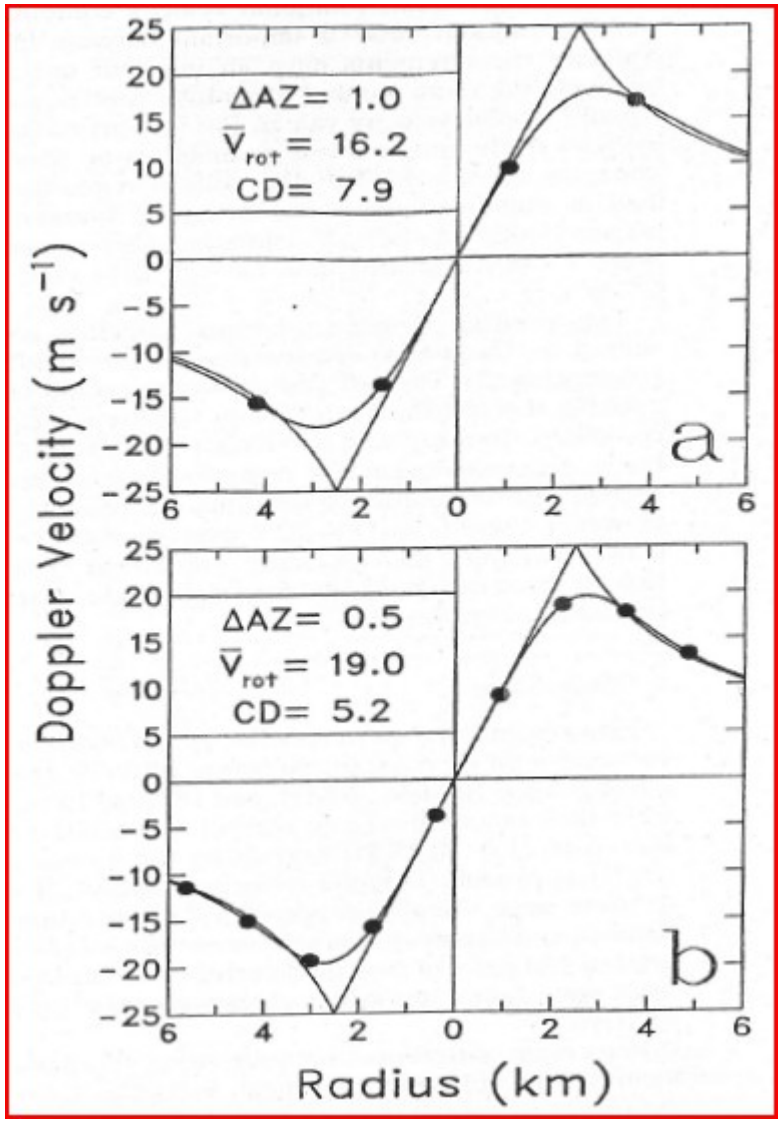


Nel modello Rankine vortex, descritto in coordinate cilindriche, ci sono due regimi di vorticità, entrambi costanti ed uniformi:

- $\neq 0$ (parte interna)
- $= 0$ (parte esterna)

$$\nabla \times \boldsymbol{v} = \boldsymbol{k}\,\frac{1}{r}\frac{\partial(r v_\theta)}{\partial r} = \boldsymbol{k}\,\left(\frac{v_\theta}{r} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r}\right) = \boldsymbol{k}\,\begin{cases} 2\frac{V_R}{R} & \text{if} \quad 0 \leqslant r < R \\ 0 & \text{if} \quad R \leqslant r \end{cases}$$

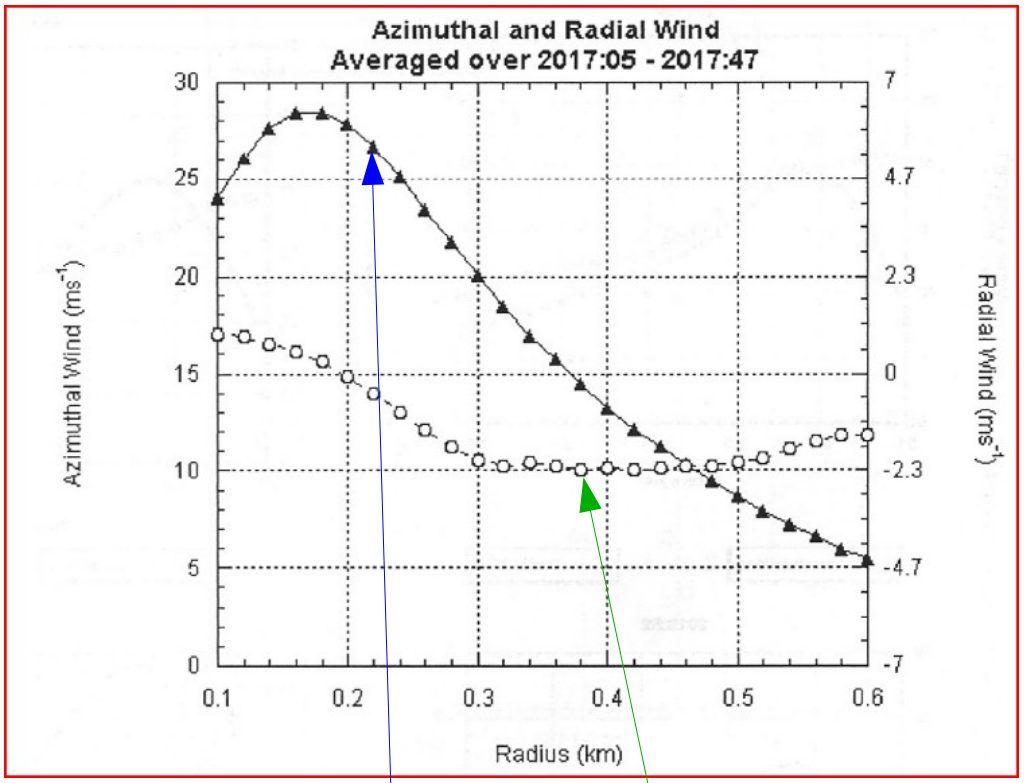
Rankine vortex: esempi reali



Misure della velocità tangenziale di un mesociclone eseguite tramite radar meteorologico Doppler alla distanza di 150 km dal vortice.

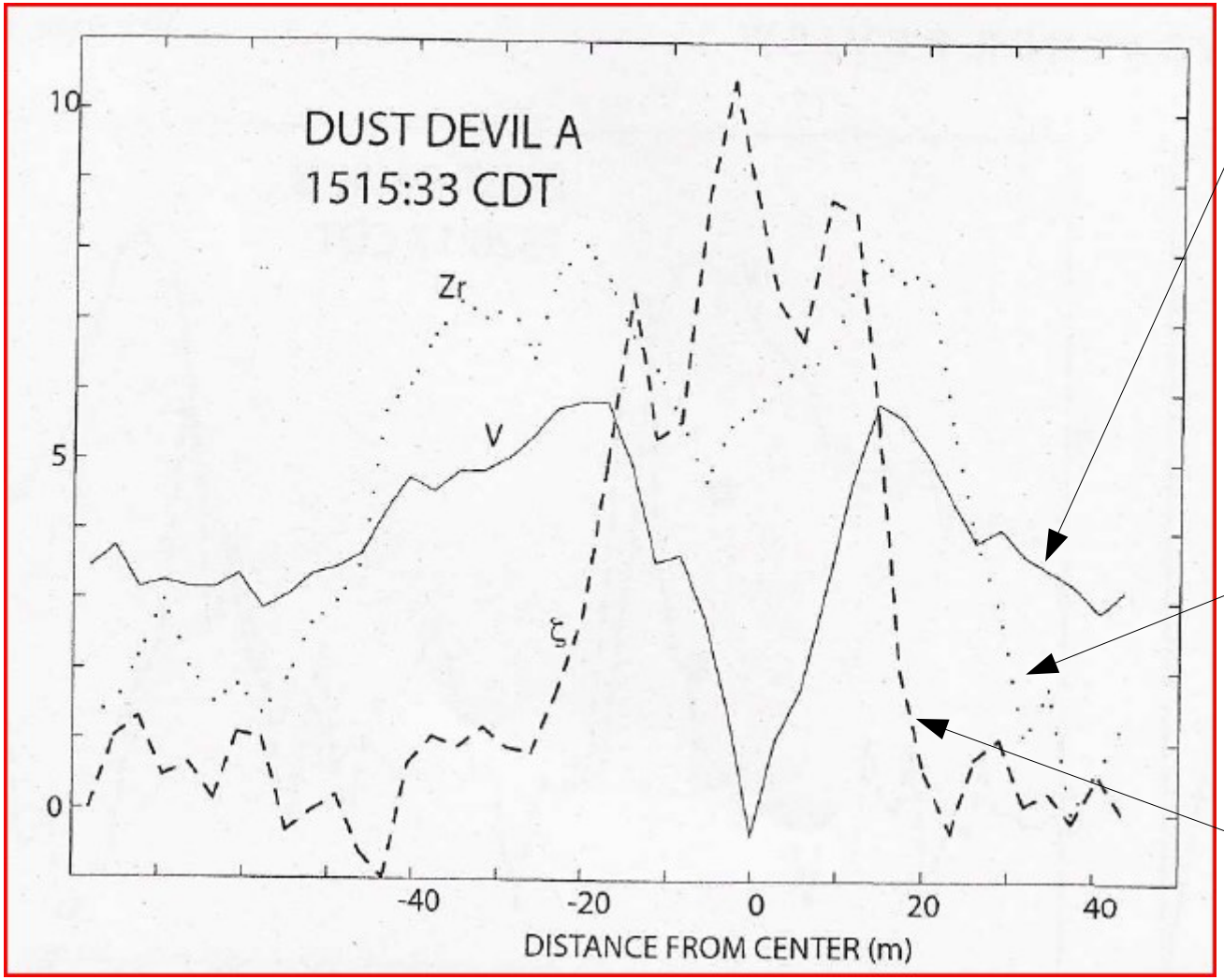
a) risoluzione in azimut 1.0°

b) risoluzione in azimut 0.5°



Misure di velocità tangenziale e radiale dei venti in un tornado tramite radar meteorologico Doppler

Rankine vortex: esempi reali



Misura della velocità tangenziale in un dust devil tramite radar meteorologico Doppler.

Velocità tangenziale in ms^{-1}

Riflettività radar dBz/C (C opportuna costante di scala)

Componente verticale della vorticità $10*s^{-1}$

Bibliografia

[1] An introduction to dynamic meteorology, 2004, Holton J. R., Amsterdam Elsevier Academic Press, – disponibile all'ICTP Library (551.51 HOL 4th ed.). [pagine 83-84]

[2] Dynamics of the atmosphere, 1995, Dutton J. A., New York Dover publication inc., 617 pp, - disponibile all'ICTP Library (551.51 DUT). [pagine 289-293, 333-343]

[3] Atmosphere-ocean dynamics, 1982, Gill A. E. New York, NY Academic Press, 662 pp, - disponibile all'ICTP Library (551.51 GIL). [per approfondimenti]

[4] An Introduction to Fluid Dynamics, 1967,Batchelor -G.K., Cambridge University Press, 615 pp, - disponibile all'ICTP (532.5 BAT) [pagine: 81-87 per approfondimenti]

[5] Atmospheric convection : research and operational forecasting aspects, 2007, D. B. Giaiotti et al., Wien Springer, 226 pp [pagine: 189-192], [27-39 per approfondimenti].