

Copertina

Corso di Fisica dell'Atmosfera

# Modelli dinamici e vorticità

Giaiotti Dario & Stel Fulvio

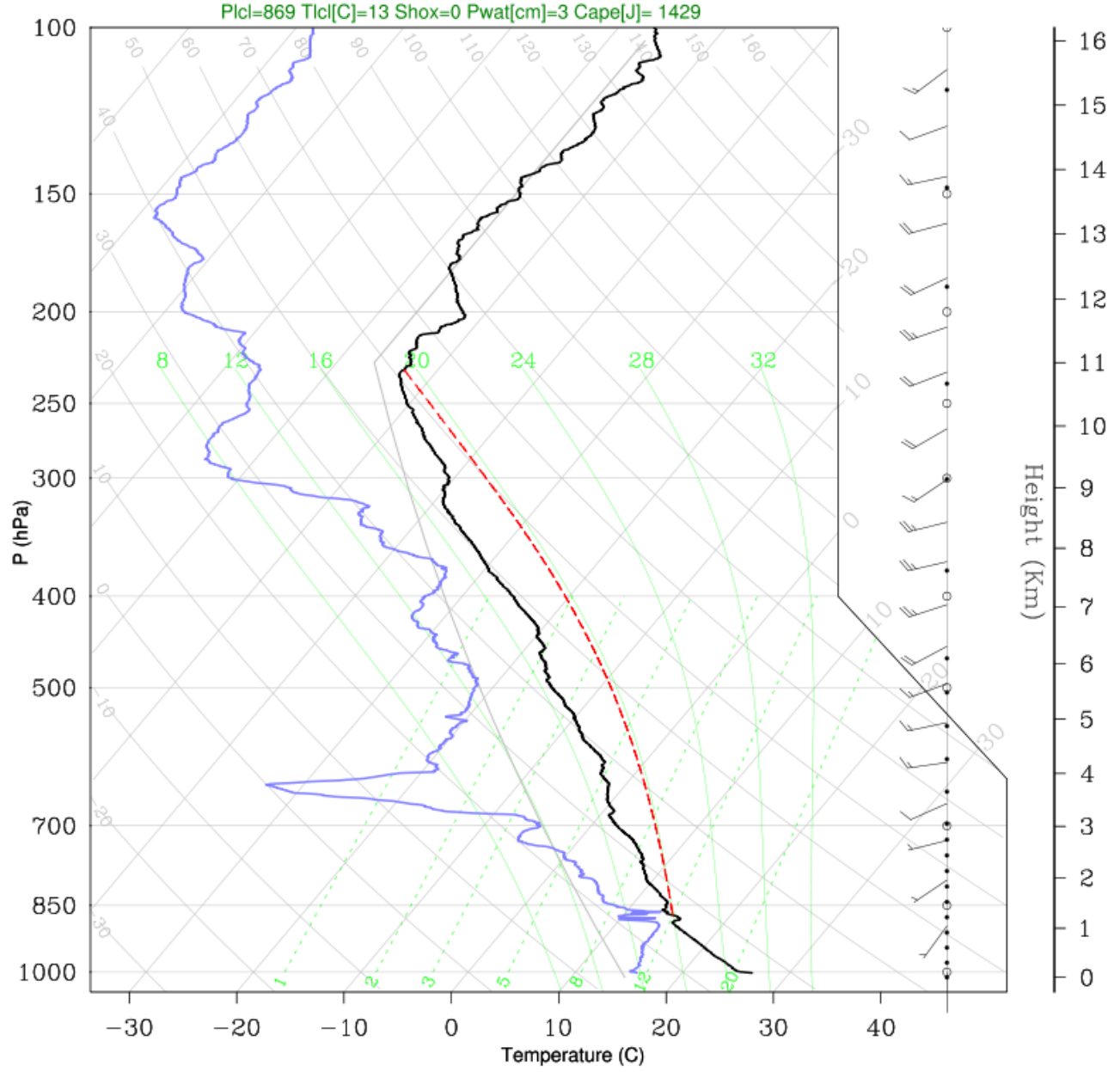
## Sommario della lezione

- 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)

16044 RDS at 20130909 12 UTC lifted parcel 150 m amsl



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

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

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)

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

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


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

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

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

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	$\alpha$					onde planetarie	riscaldamento globale, EL Nino/La Nina	>10000	
	$\beta$				cicloni extra-tropicali, onde barocline		2000		
Meso	$\alpha$				frontogenesi	cicloni tropicali, fronti			200
	$\beta$			Linee di groppo, supercelle, temporali					20
	$\gamma$		downburst, grandinate					2	
Micro	$\alpha$		convezione profonda, tornadoes,					0,2	
	$\beta$	dust devils, strato limite						0,02	
	$\gamma$	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

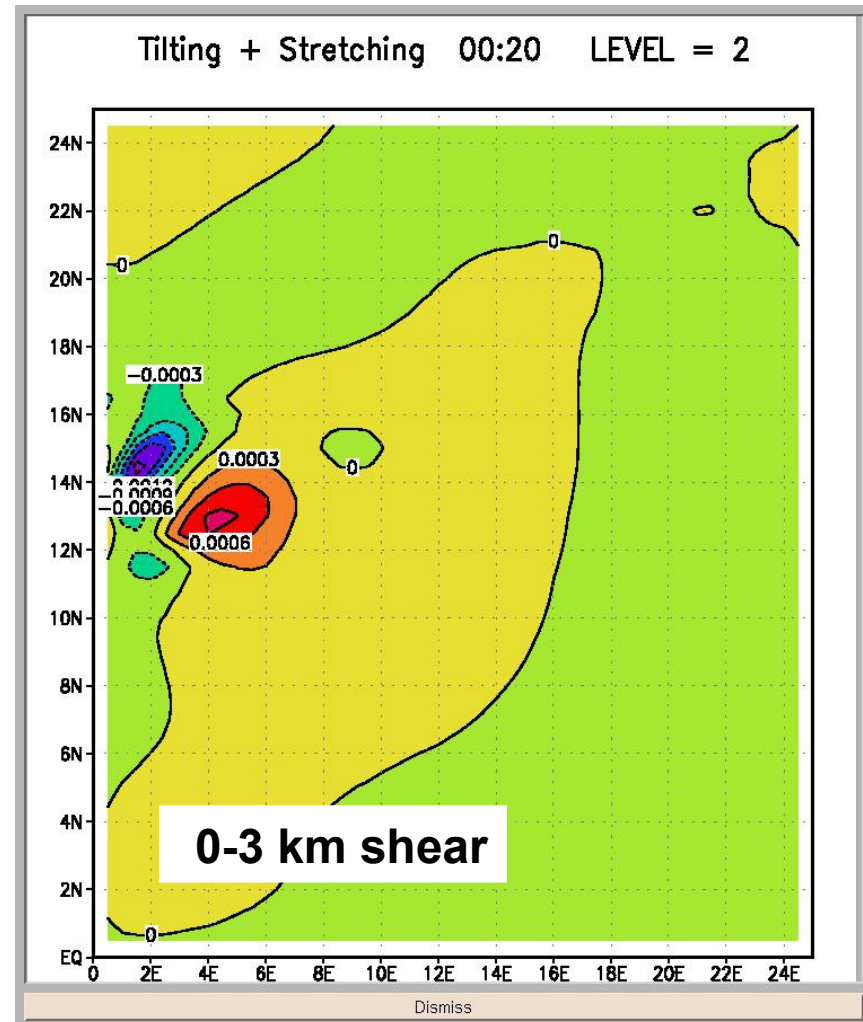
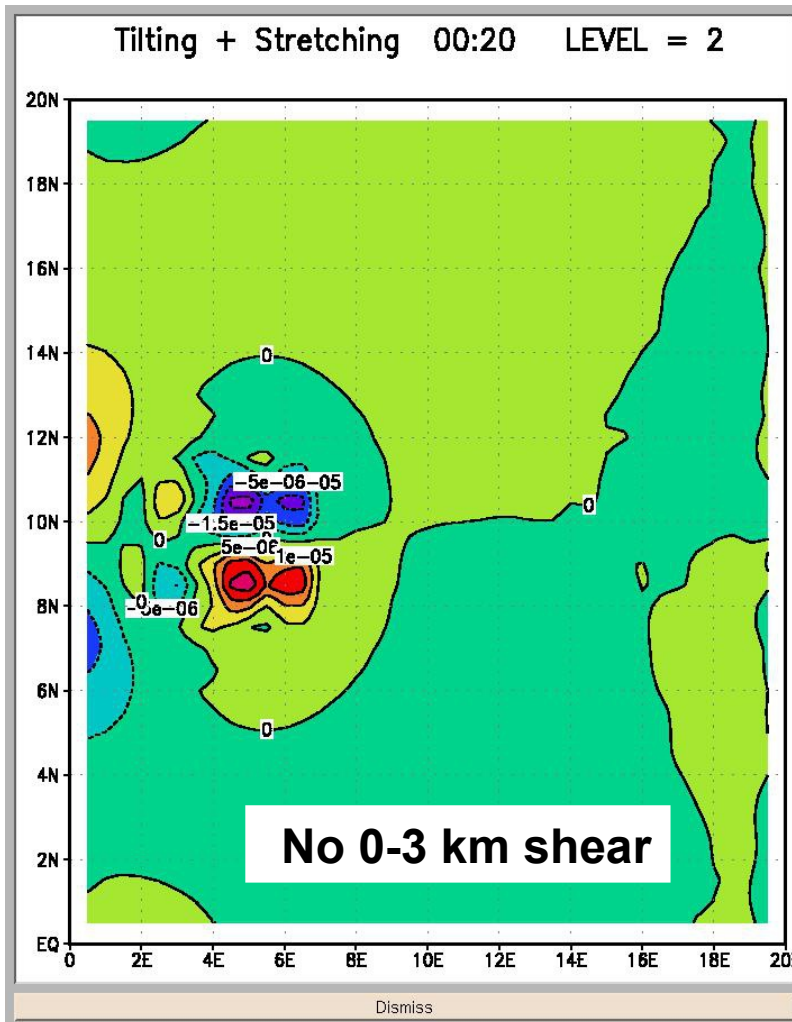
since Davies-Jones  
Klemp & Rotunno  
Weisman & Klemp  
works in 1980's



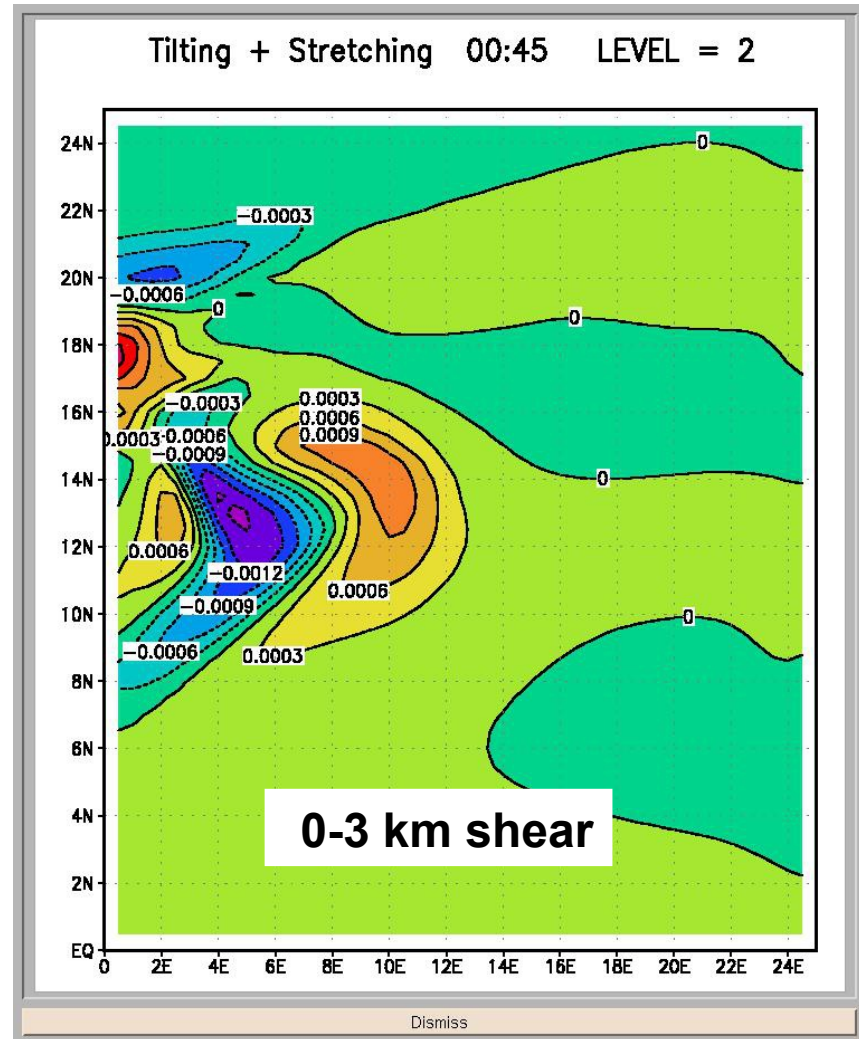
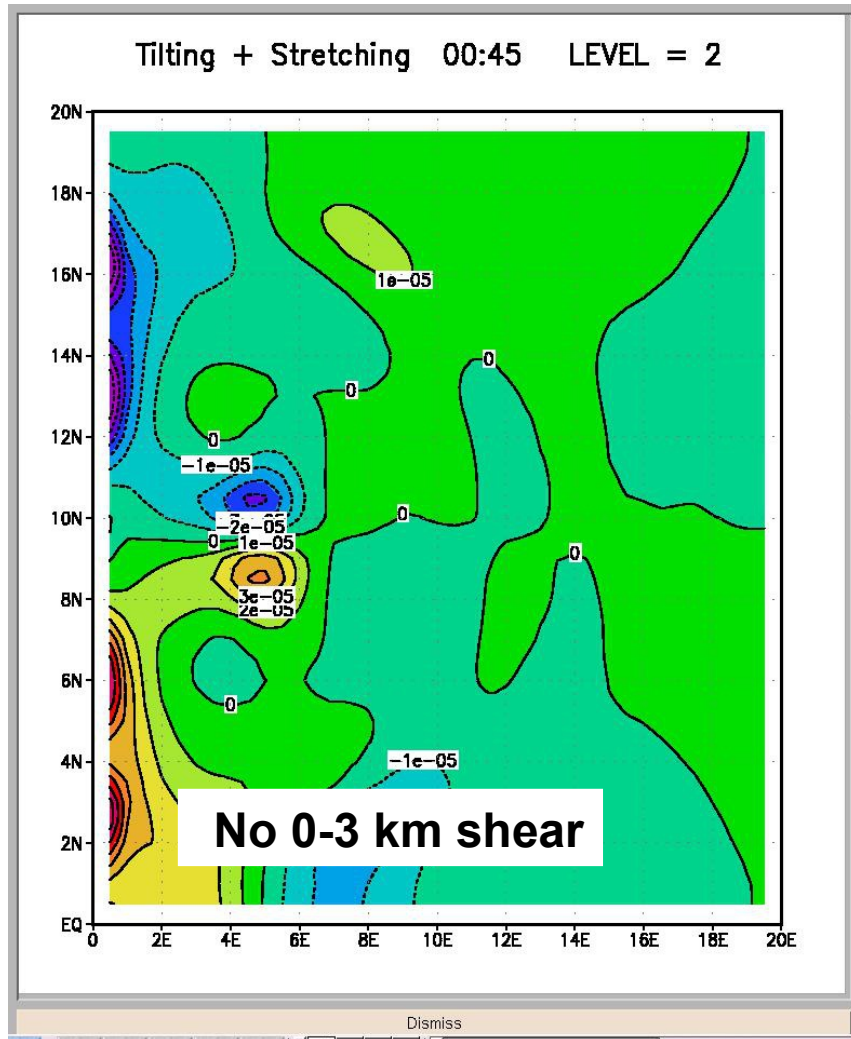


# Simulazione numerica tramite modello WRF di supercella (risoluzione 0.5 km dopo 20')

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



# 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

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

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

Rasmussen and Blanchard  
Wea. Forecasting 1998

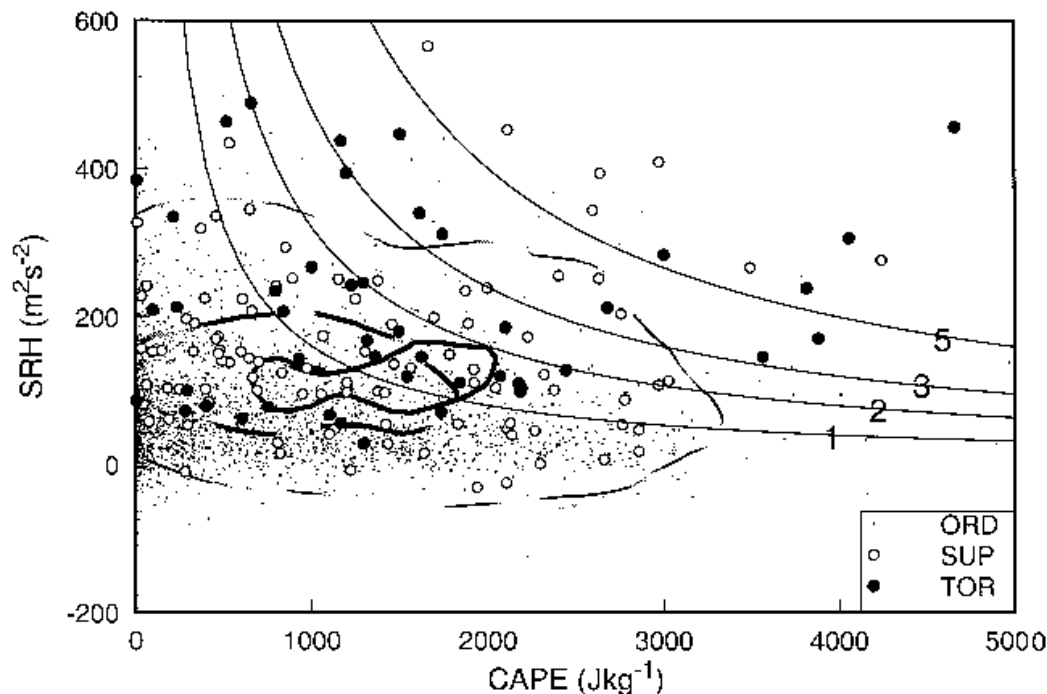


FIG. 11. As in Fig. 9 except for EHI. Labeled curves are lines of constant EHI. Probability density contours are for probability of  $2 \times 10^{-2}$  ( $m^2 s^{-2} J kg^{-1}$ )<sup>-1</sup> (thin contours),  $1 \times 10^{-3}$  ( $m^2 s^{-2} J kg^{-1}$ )<sup>-1</sup> (heavy contours), and black for TOR, medium gray for SUP, and light gray for ORD. Thin black contour omitted.

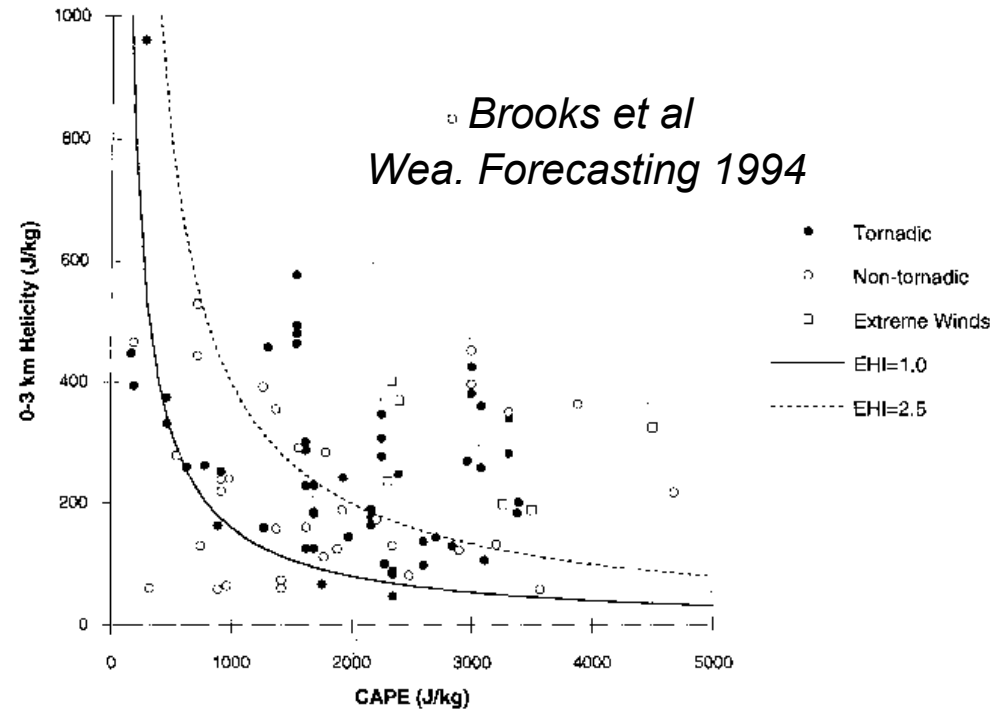


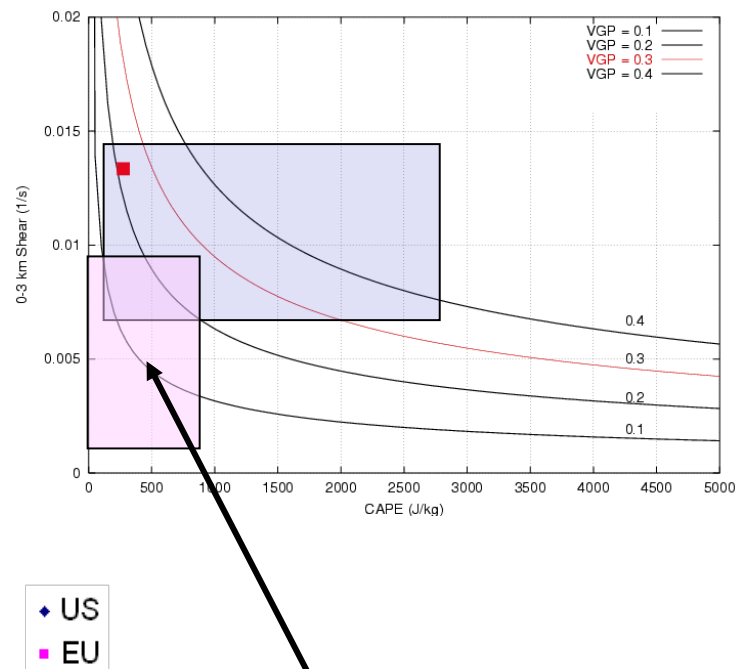
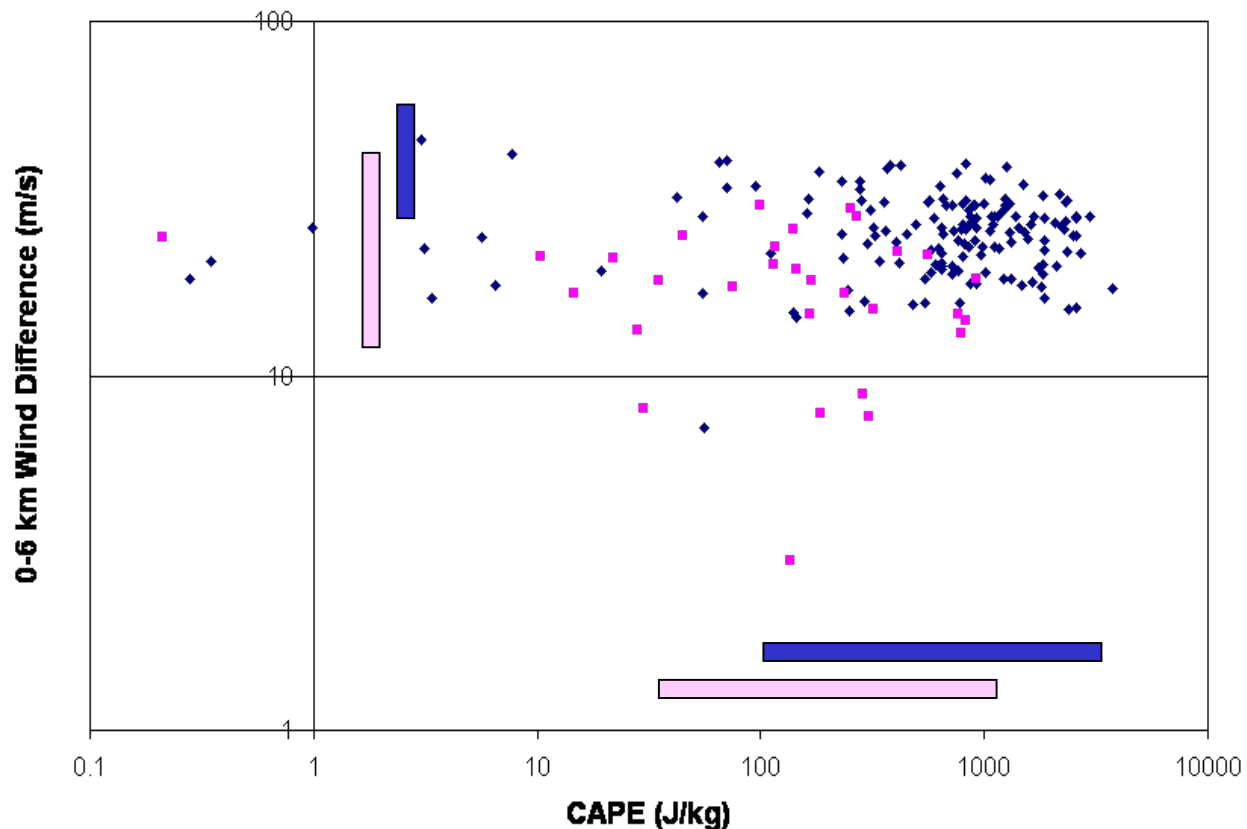
FIG. 5. CAPE and 0-3-km helicity values (both in  $J kg^{-1}$ ) for proximity soundings. Energy-helicity index (EHI) isopleths of 1.0 and 2.5 are indicated by solid and dashed lines, respectively.

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

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

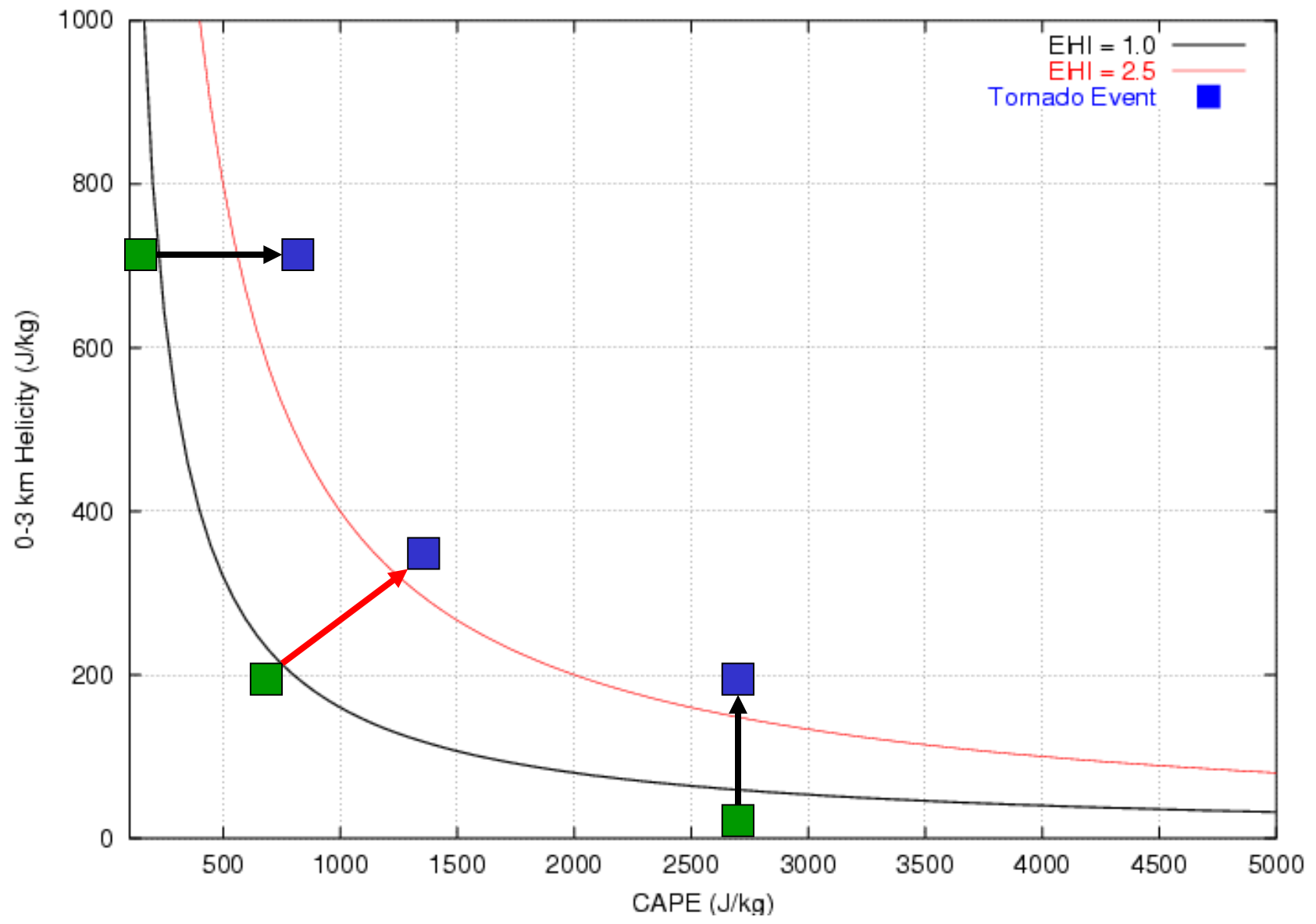
## Le regole empiriche sono funzione dell'area geografica a cui si riferiscono

NSSL - Brooks H., courtesy  
US/European Sig Tornado Parameters



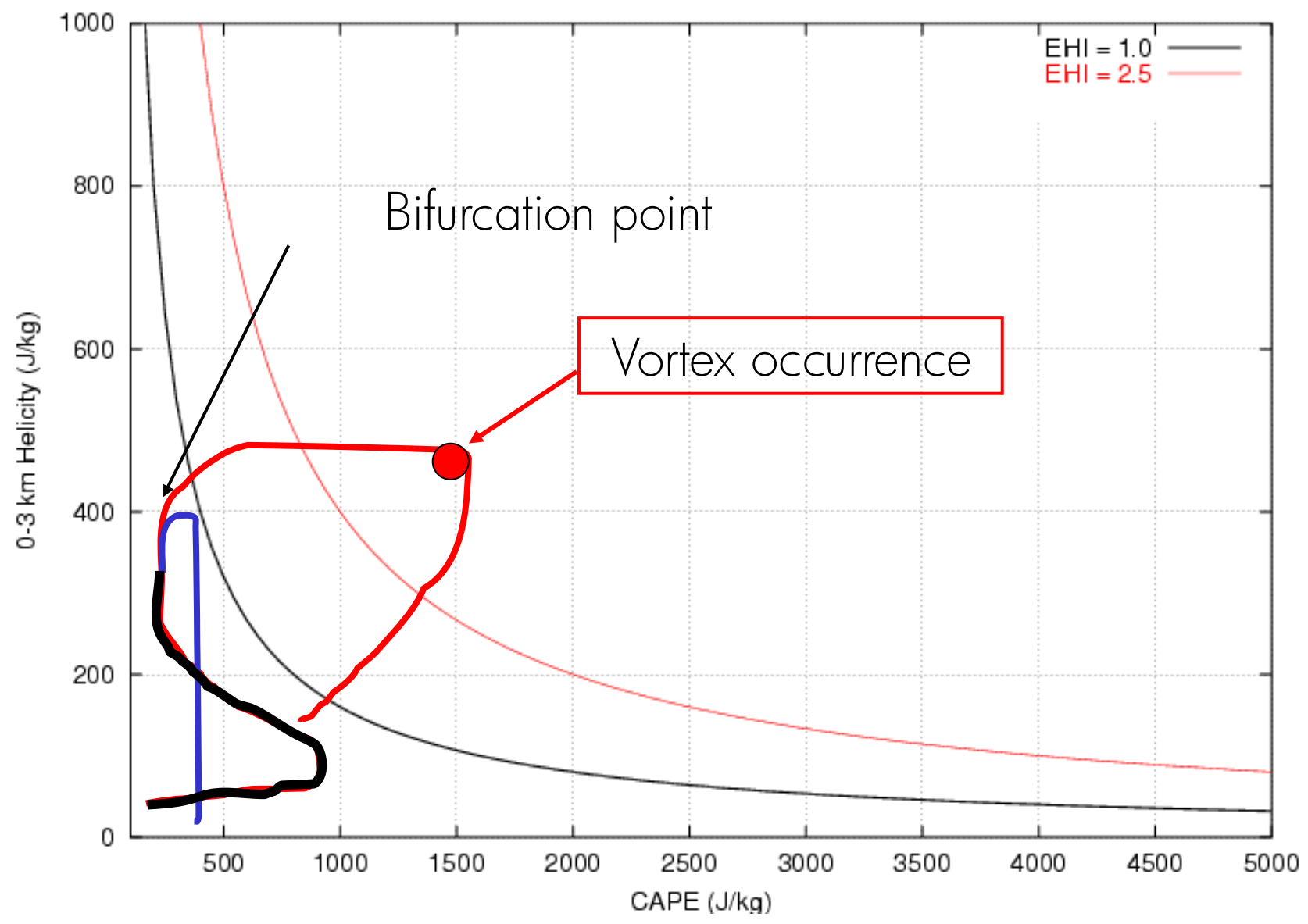
Indebolimento della  
regola empirica  
Saranno prodotti  
parecchi falsi allarmi

## Sensibilità delle regole empiriche agli errori di misura

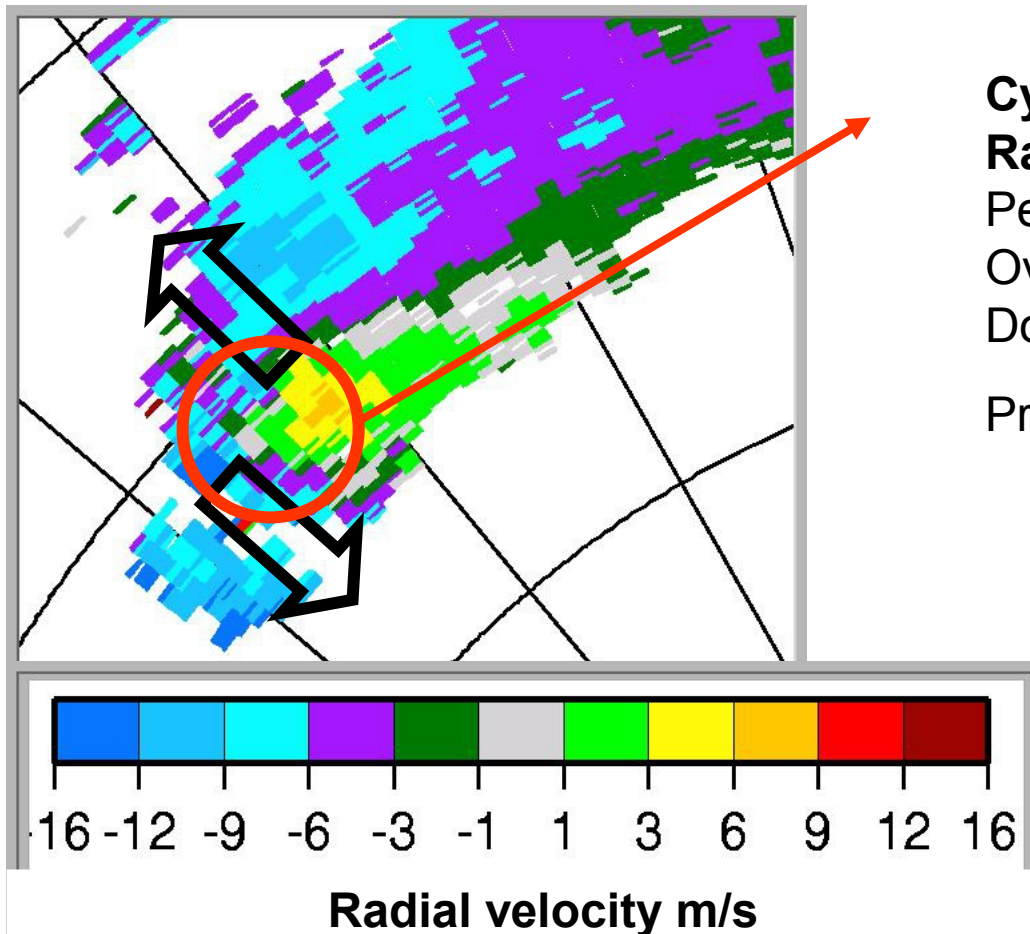




# Fluttuazioni dello strato limite e le regole empiriche



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



### 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:

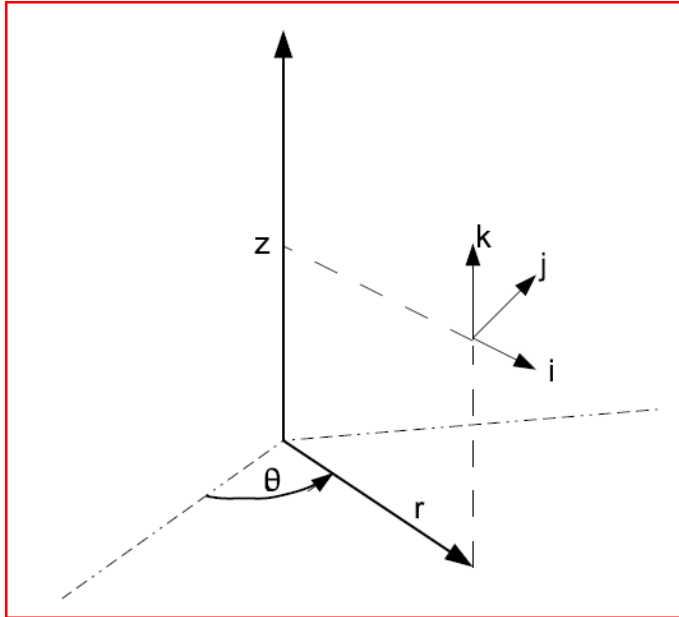
- Long lived storm (2 hours)  
30km path ( > 15 villages interested)
- heavy rainfalls (>10 mm/5')
- strong electrical activity
- hailstones size > 2.5 cm
- local downdraft intensity  
20-30 m/s

Rotation signature for Mesocyclone

PPI 2003 07 17 17:05 UTC

elevation = 1.0 deg, R = 75 km

## Modello semplice di vortice atmosferico – Rankine vortex



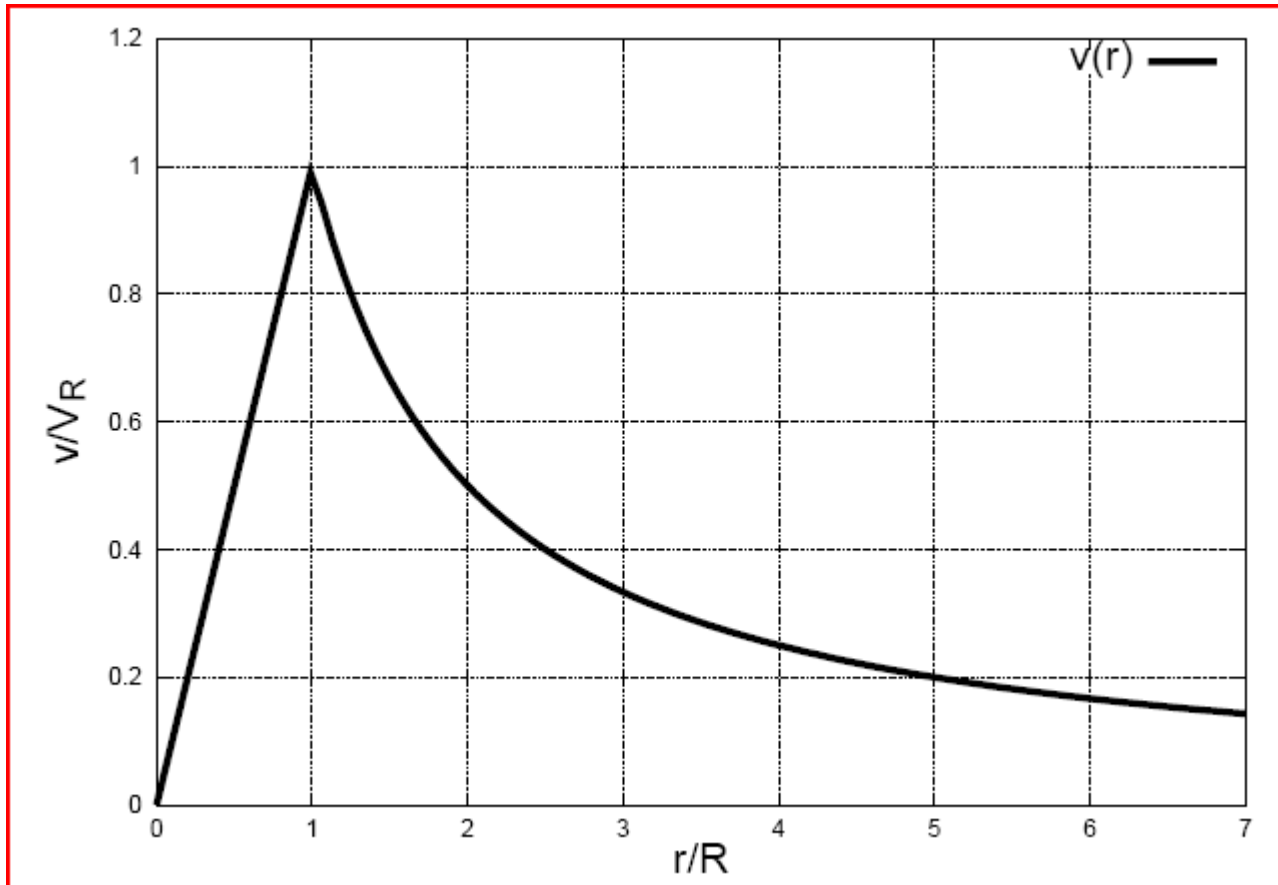
Il modello Rankine vortex, descritto in coordinate cilindriche, assume nulle le componenti radiali e verticali della velocità, mentre per quella tangenziale ci sono due regimi:

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

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



## Rankine vortex: velocità e vorticità

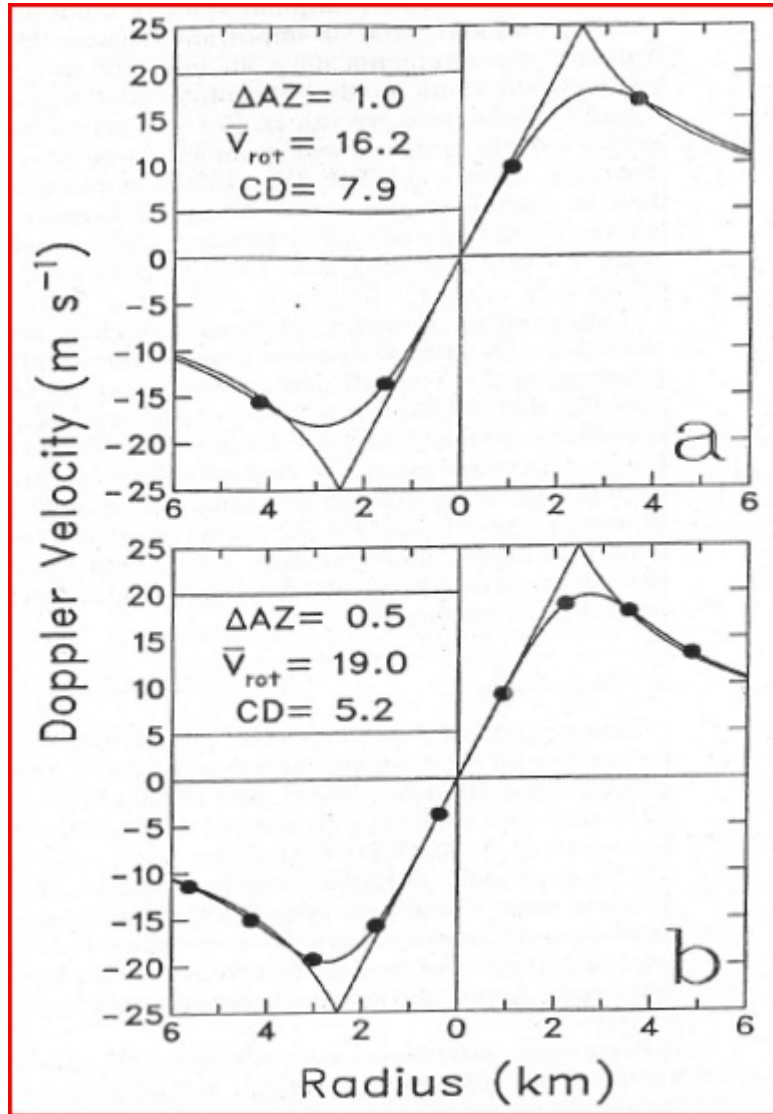


Nel modello Rankine vortex, descritto in coordinate cilindriche, ci sono due regimi di vorticità, entrambi costanti ed uniformi:

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

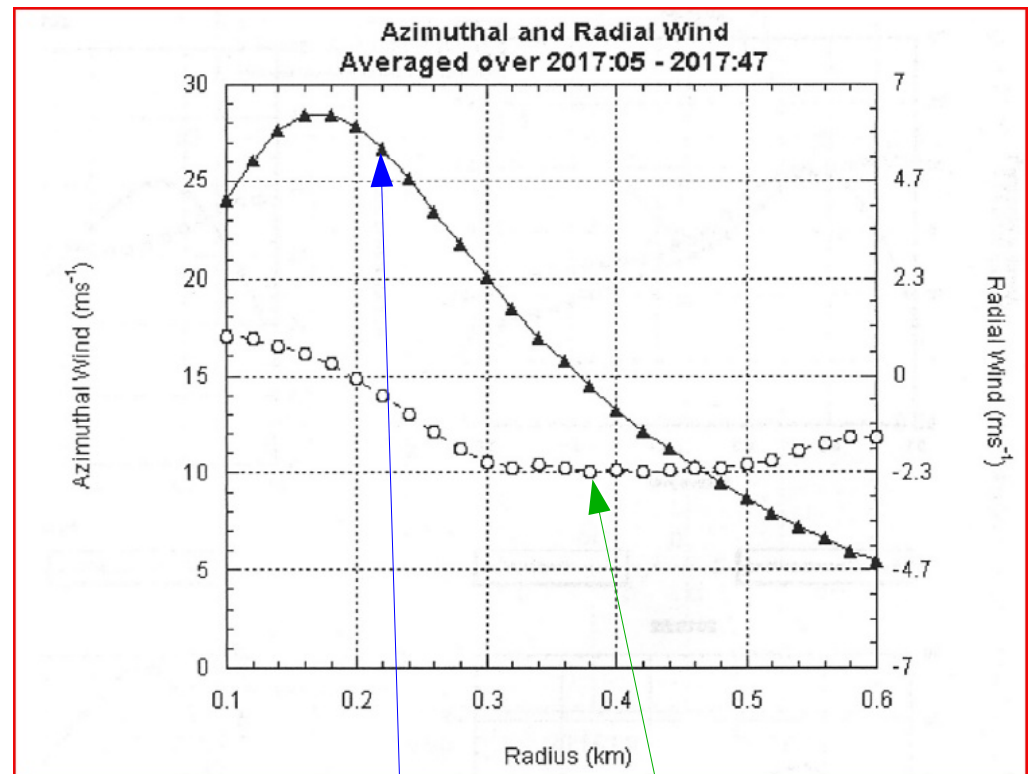
$$\nabla \times \mathbf{v} = k \frac{1}{r} \frac{\partial(rv_\theta)}{\partial r} = k \left( \frac{v_\theta}{r} + \frac{\partial v_\theta}{\partial r} \right) = k \begin{cases} 2\frac{V_R}{R} & \text{if } 0 \leq r < R \\ 0 & \text{if } R \leq r \end{cases}$$

## Rankine vortex: esempi reali



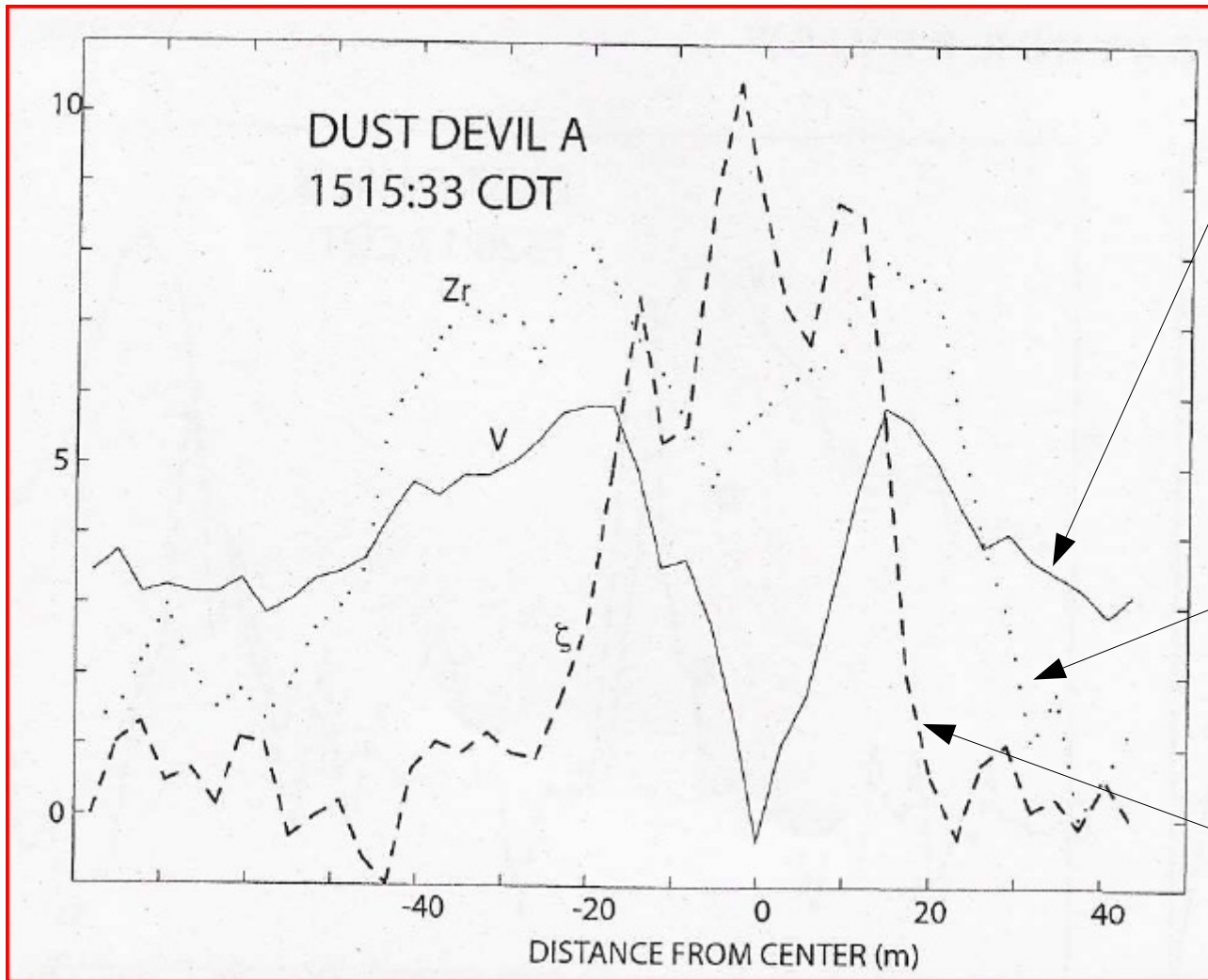
Misure della velocità tangenziale di un mesociclone eseguite tramite radar meteorologico Doppler alla distanza di 150 km dal vortice.

- a) risoluzione in azimuth  $1.0^\circ$
- b) risoluzione in azimuth  $0.5^\circ$



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  $\text{ms}^{-1}$

Riflettività radar  $\text{dBz/C}$  (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 in Biblioteca Tecnico Scientifica (BS/04./M/0010) [pagine 83-84]
- [2] Dynamics of the atmosphere, 1995, Dutton J. A., New York Dover publication inc., 617 pp, - disponibile in Biblioteca Tecnico Scientifica (BS/04./M/0022). [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 Gll). [per approfondimenti]
- [4] An Introduction to Fluid Dynamics, 1967, Batchelor -G.K., Cambridge University Press, 615 pp, - disponibile in Biblioteca Tecnico Scientifica (BS/02/B/0006)[pagine: 81-87 per approfondimenti]
- [5] Atmospheric convection : research and operational forecasting aspects, 2007, D. B. Girotti et al., Wien Springer, 226 pp disponibile in Biblioteca Tecnico Scientifica (BS/04/M/0015) [pagine: 189-192], [27-39 per approfondimenti].