

# Analisi dei tornado del 19 settembre 2021 in Pianura Padana tramite simulazioni numeriche ad altissima risoluzione

Francesco De Martin<sup>1</sup>

Relatore: Prof. Vincenzo Levizzani<sup>2</sup>  
Correlatori: Dott. Silvio Davolio<sup>2</sup>, Dott. Mario Marcello Miglietta<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laureato del corso di laurea magistrale in Fisica del Sistema Terra, Università di Bologna, <sup>2</sup>CNR-ISAC, Bologna, <sup>3</sup>CNR-ISAC, Padova

## Scopo della tesi

Il 19 settembre 2021 una goccia fredda è entrata dalla Francia sul Nord Italia, attraversando da ovest a est tutta la Pianura Padana. Si sono così innescati numerosi forti temporali, che hanno generato ben 7 tornado in poche ore. La tesi ha cercato di rispondere alla domanda:

**Com'è stato possibile lo sviluppo di così tanti tornado in poche ore in Pianura Padana?**

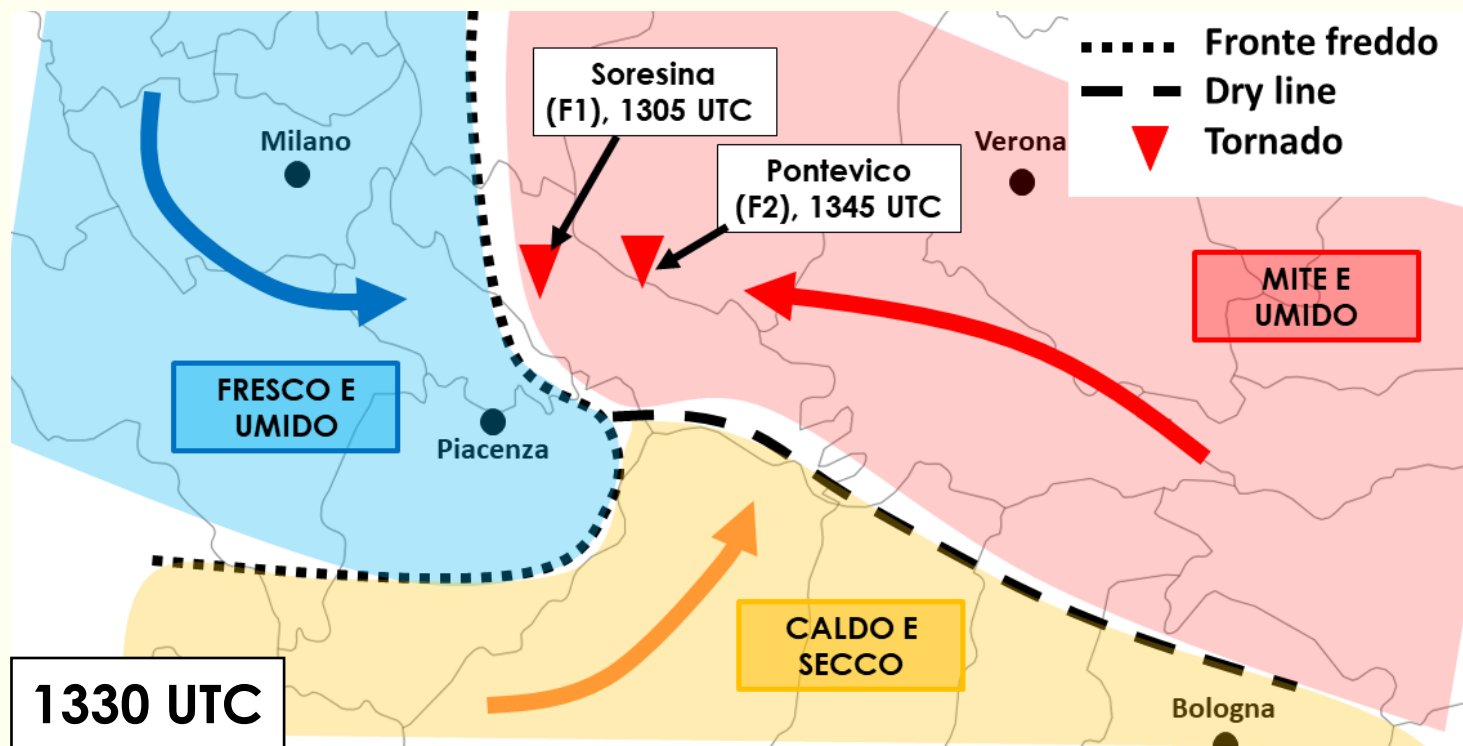
## Cos'è una supercella?

La **supercella** è un sistema convettivo caratterizzato da un "profondo" e "persistente" mesociclone. (Doswell and Burgess, 1993)

## Cos'è un tornado?

Il **tornado** è una colonna d'aria rapidamente rotante estesa verticalmente dalla superficie alla base di un cumulonembo, normalmente associata a una nube a imbuto e con velocità minima del vento pari a 29 m/s. (Hushcke, 1959)

## Osservazioni al suolo

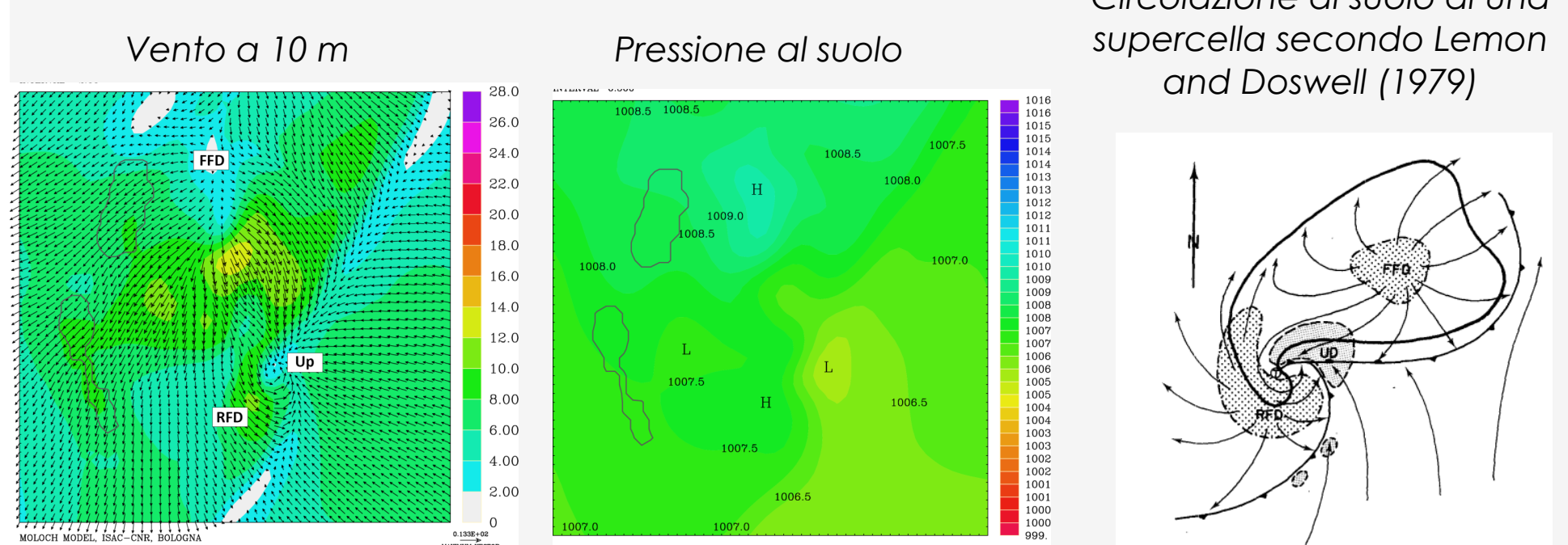


- Dall'analisi dei campi di temperatura, umidità e vento al suolo è stato osservata la presenza di due discontinuità nei bassi livelli atmosferici (un fronte freddo e una dry line) durante l'evento del 19 settembre 2021, come si può osservare dalla mappa schematizzata sopra.
- Queste discontinuità separavano tre masse d'aria molto diverse che interagivano tra loro sulla Pianura Padana: una **massa d'aria mite e umida** proveniente dal Mar Adriatico e associata a correnti da sud-est; una **massa d'aria calda e secca** da sud-ovest discendente dagli Appennini; una **massa d'aria fresca e umida** proveniente dalle Alpi Occidentali e associata a correnti da nord-ovest.
- I tornado si sono sempre sviluppati nei pressi di queste discontinuità.

## Simulazione di MOLOCH delle supercelle

È la prima volta che MOLOCH è stato usato per simulare delle supercelle: i campi di vento e pressione al suolo sono stati confrontati con un modello teorico per verificare le simulazioni ottenute.

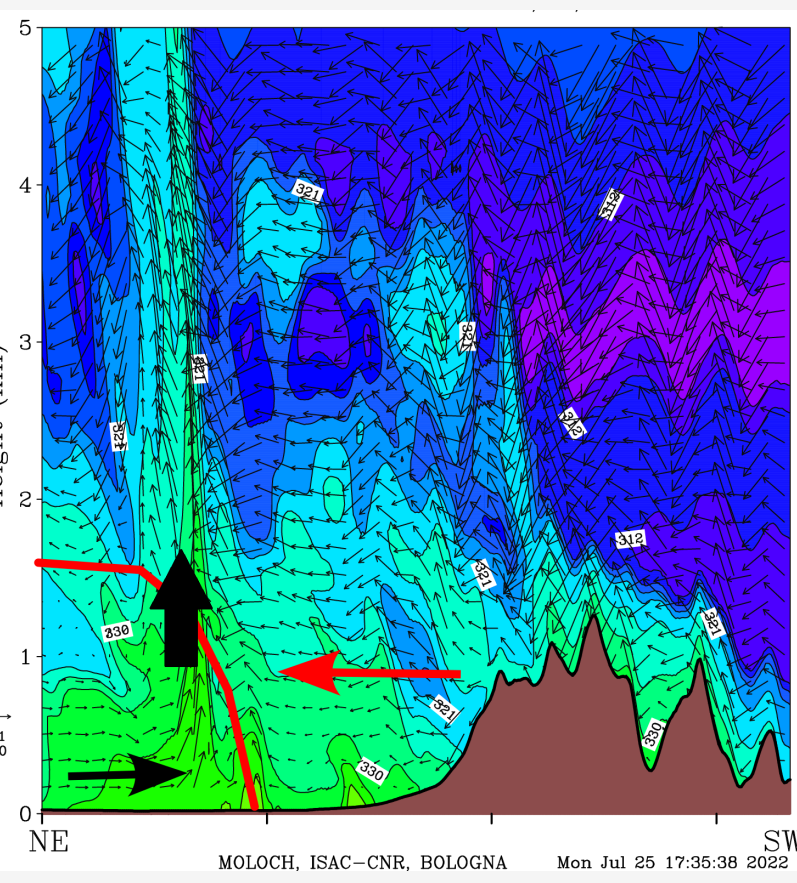
**Dominio 25 km x 25 km centrato su una supercella simulata in Lombardia da MOLOCH nella simulazione con griglia 500 m**



Le principali caratteristiche delle supercelle sono riprodotte fedelmente da MOLOCH

## Innesco della convezione in Emilia

Sezione verticale tra La Spezia e Mantova: **temperatura potenziale equivalente (colori)** e **vento tangente la sezione**.



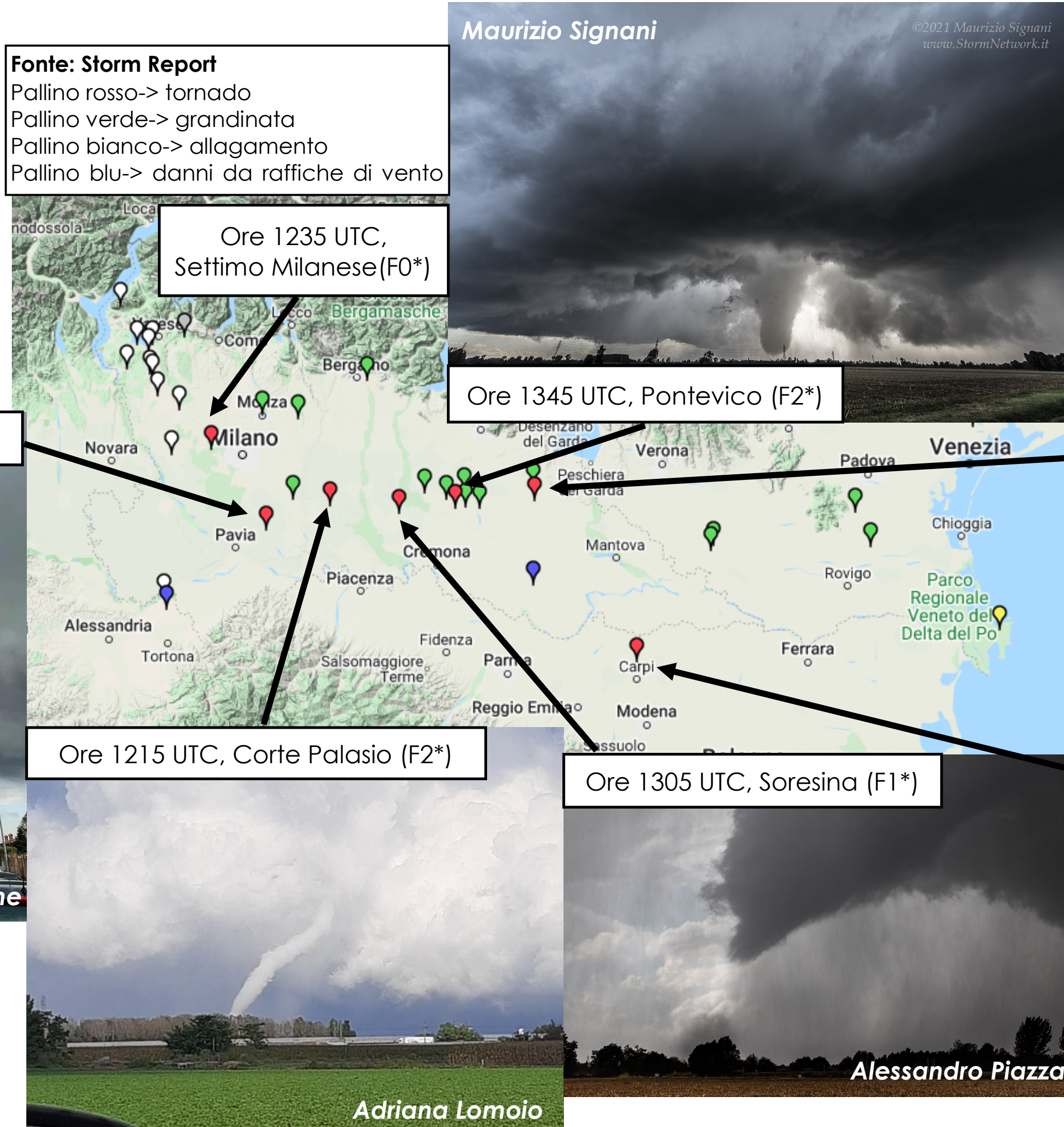
L'innescio dei temporali in Lombardia è stato dovuto a un fronte freddo. In Emilia invece l'innescio (**freccia nera spessa**) è stato generato dall'interazione tra la lingua instabile di origine adriatica (**freccia nera**) e il flusso da sud-ovest discendente dagli Appennini (**freccia rossa**) che ha generato una convergenza dinamica al suolo, come si può vedere della sezione verticale a sinistra. Per conservazione della massa, si sono così sviluppati moti verticali e dunque temporali.

## Acronimi

**BOLAM:** BOlogna Limited Area Model  
**IFS:** Integrated Forecast System  
**MOLOCH:** MOdello LOCALE sviluppato in H-Hybrid

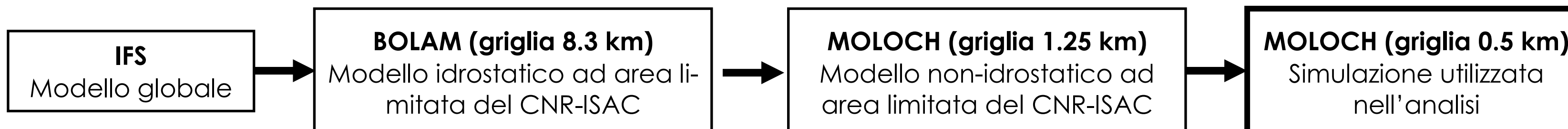
## Bibliografia

- Doswell, C. A. e D. W. Burgess (1993). "Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models". In: Geophysical Monograph-American Geophysical Union 79, pp. 161-161.
- Hushcke, R. E. (1959). Glossary of Meteorology. Boston: Amer. Meteor. Soc.
- Lemon, L. R. e C. A. Doswell III (1979). "Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis". In: Monthly Weather Review 107.9, pp. 1184-1197.
- Rotunno and Klemp (1985). "On the rotation and propagation of simulated supercell thunderstorms". In: Journal of Atmospheric Sciences 42.3, pp. 271-292.



**Perché i tornado si sono formati nei pressi delle discontinuità?**  
A questa domanda si è cercato di dare una risposta studiando la vorticità attraverso simulazioni numeriche ad altissima risoluzione

## Simulazioni numeriche generate



## Studio della vorticità

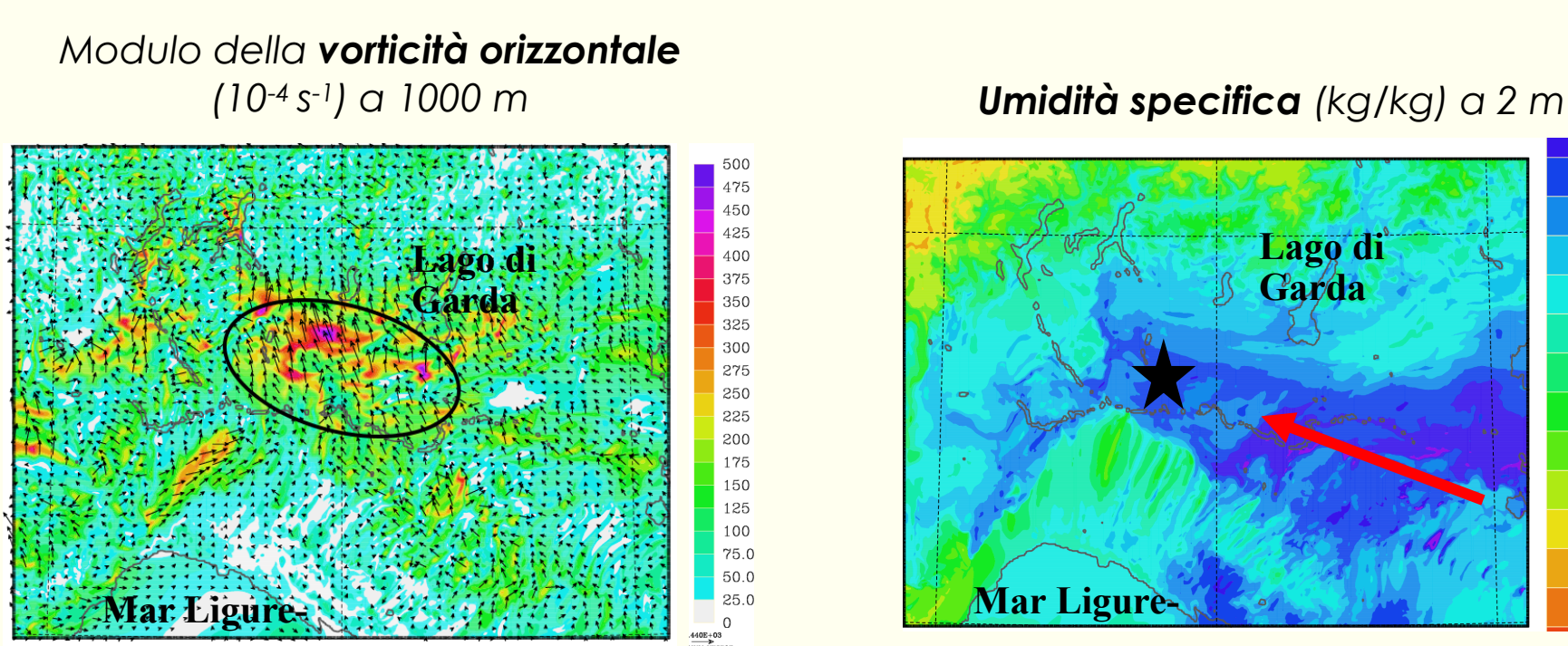
### CONSIDERAZIONI TEORICHE

$$\frac{d\vec{\omega}}{dt} = -(\vec{\omega} \cdot \nabla)\vec{\omega} + (\vec{\omega} \cdot \nabla)\vec{v} + \nabla \times (\vec{k}B)$$

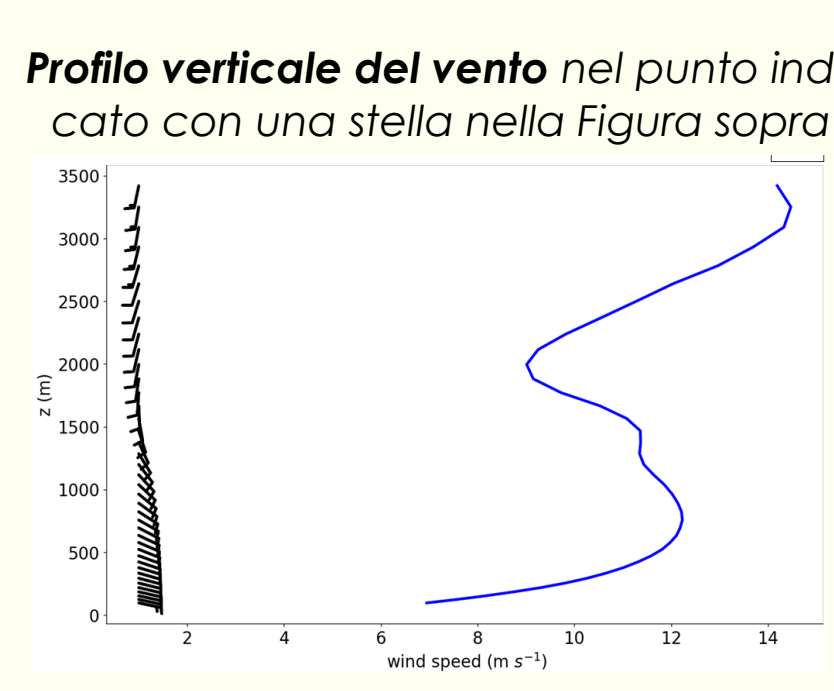
Termini avvertivo, Termini di stretching e tilting, Termini di produzione baroclinica

Dall'equazione di vorticità si ottiene che la vorticità che genera le supercelle si origina sul piano orizzontale tramite produzione baroclinica (ossia lungo gradienti di forza di galleggiamento), oppure in presenza di windshear. La vorticità così generata viene poi trasferita sul piano verticale dalla corrente ascendente tramite i meccanismi di tilting e stretching (Rotunno and Klemp, 1985)

### VORTICITA' DA WINDSHEAR

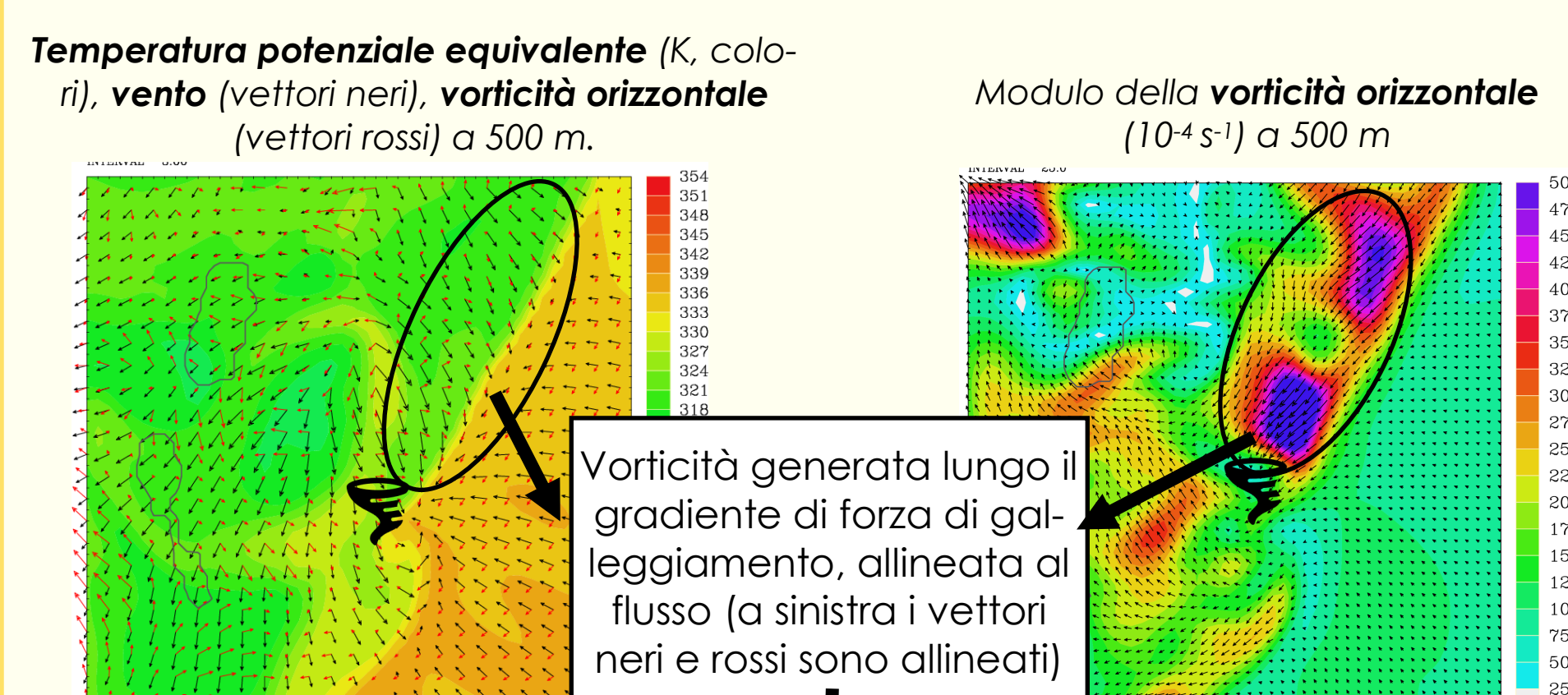


La lingua di aria mite e umida che dal Mar Adriatico si è spinta sulla pianura lombarda (**freccia rossa**) generava non solo elevata instabilità ma anche vorticità. La lingua instabile era infatti associata a un Low-Level Jet (profilo del vento a destra) che produceva marcato windshear e quindi vorticità orizzontale, la quale veniva poi trasportata dal flusso verso i temporali.



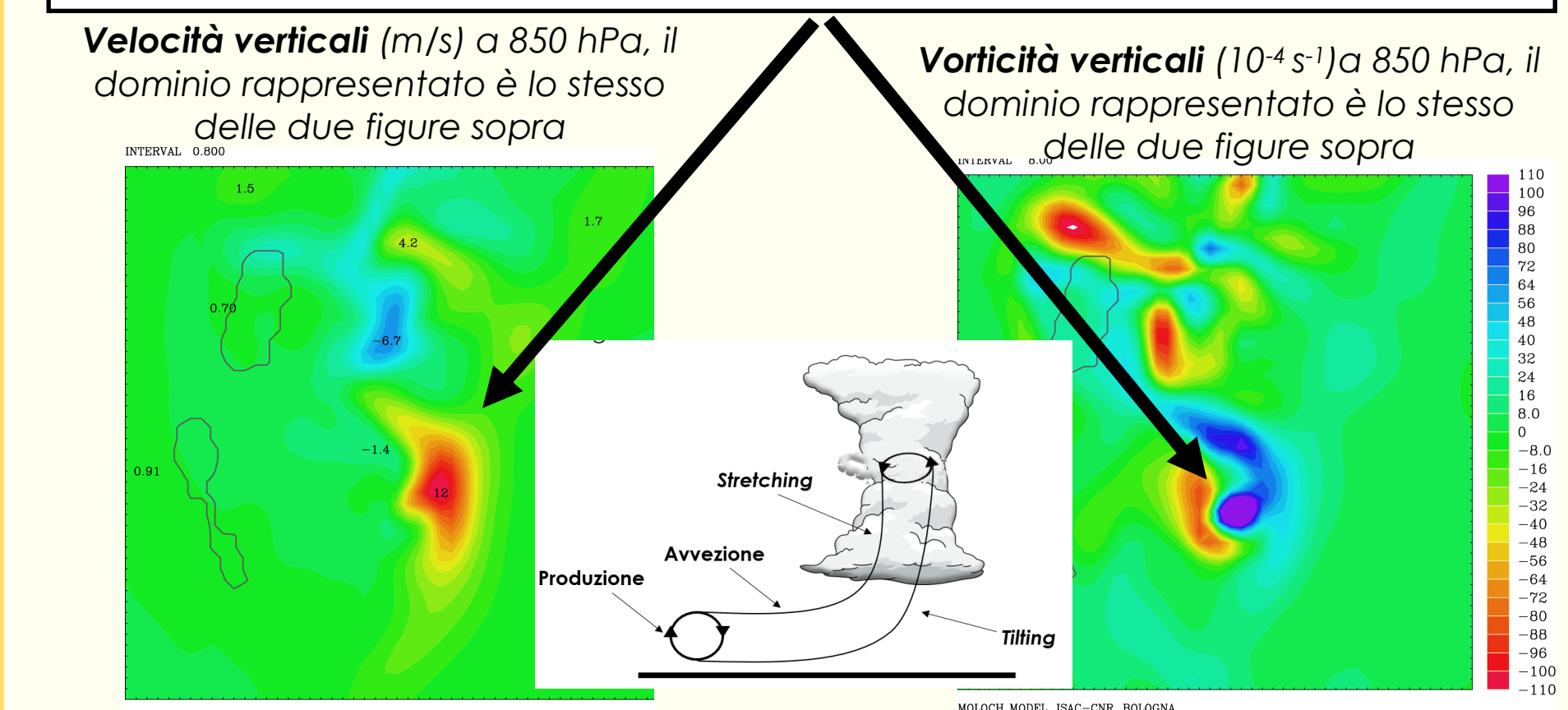
### VORTICITA' BAROCLINA

**Dominio 25 km x 25 km centrato su una supercella simulata in Lombardia da MOLOCH nella simulazione con griglia 500 m**

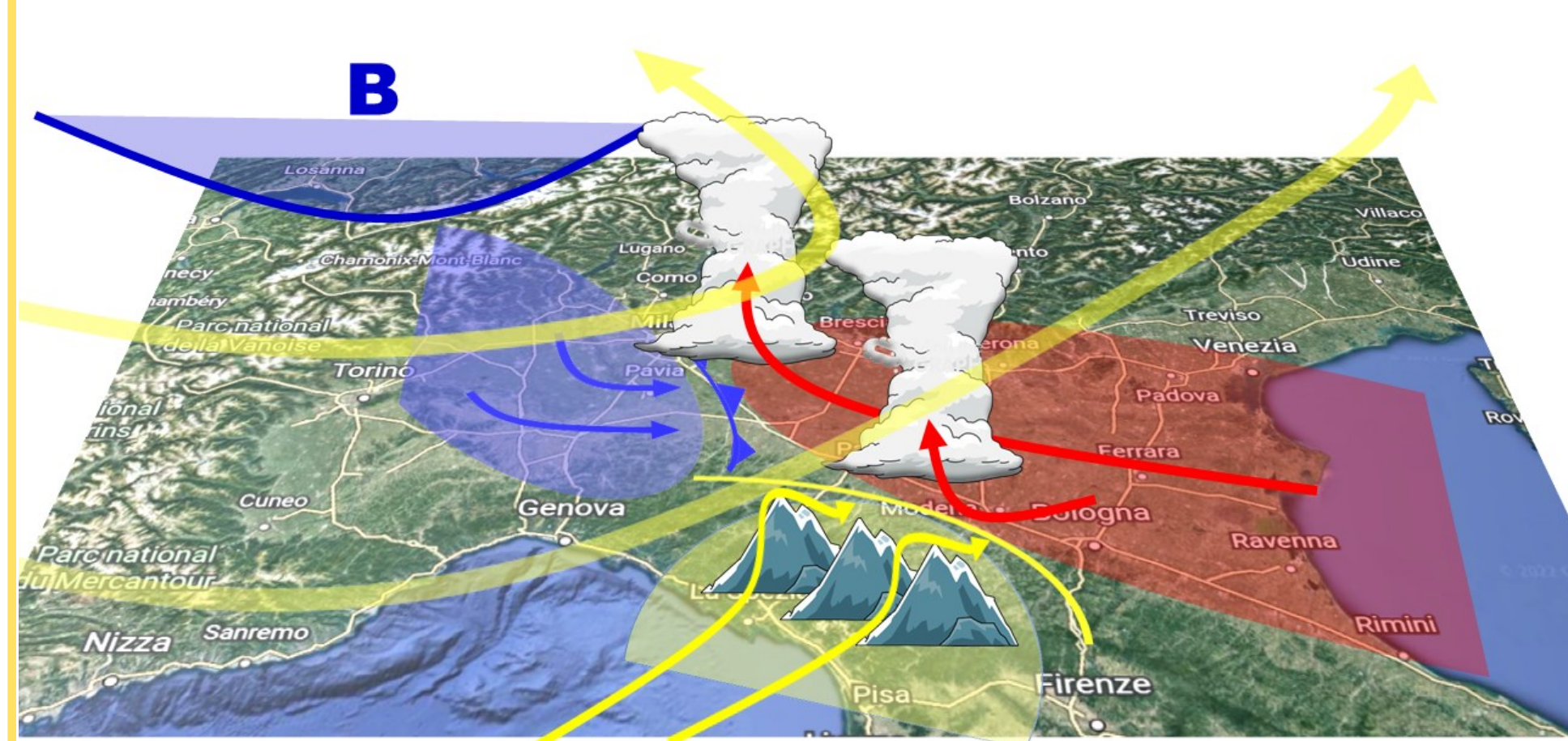


È vorticità prodotta con meccanismo baroclinico nel settore nord-est della supercella e trasportata dal flusso verso l'updraft, collocato al centro del dominio rappresentato (icona del tornado).

L'updraft, associato a intense velocità verticali, raddrizza la vorticità orizzontale sull'asse verticale (tilting e stretching), generando la marcata vorticità ciclonica nei bassi livelli atmosferici caratteristica delle supercelle tornadiche.



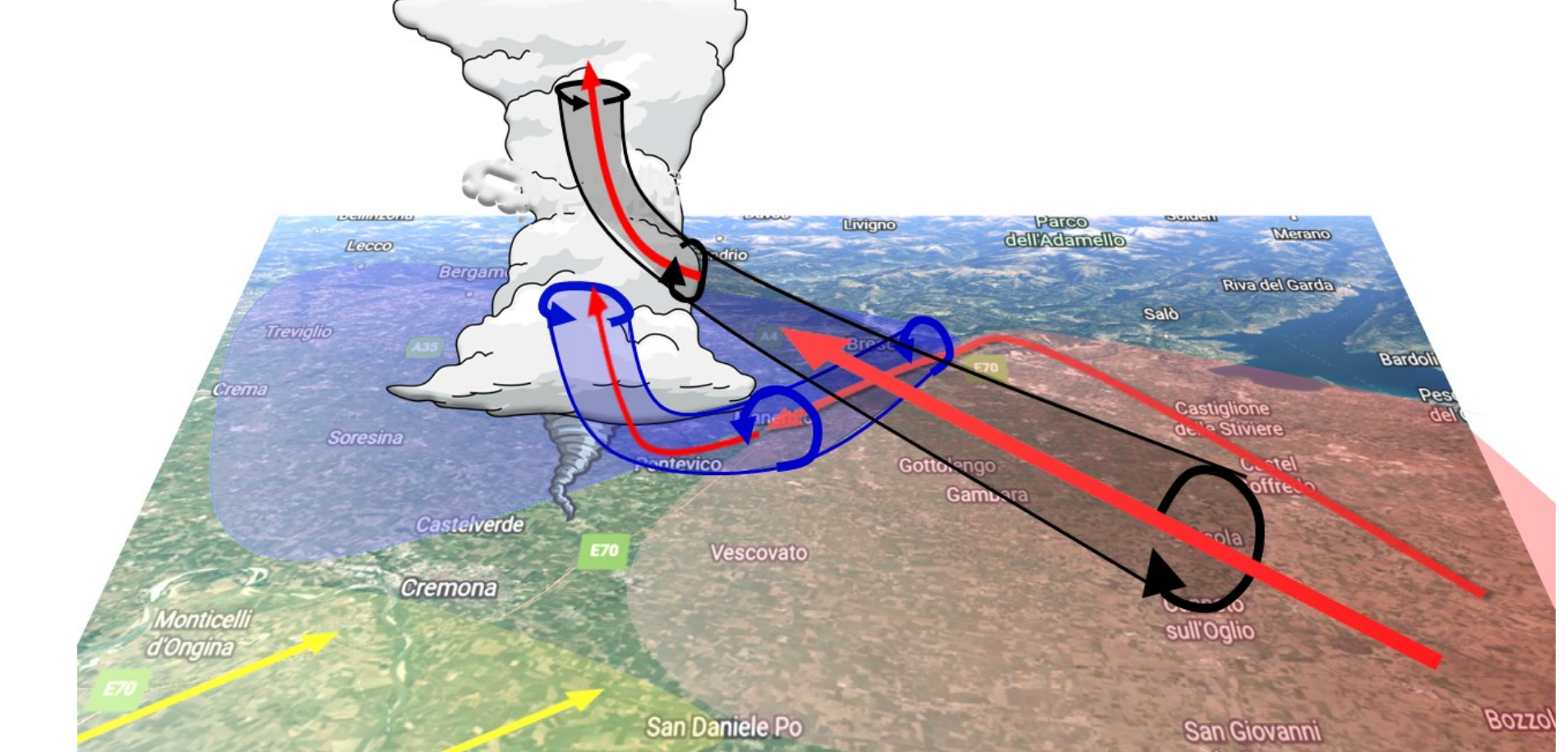
## Innesco della convezione



## Conclusioni

- La convezione si è sviluppata lungo un fronte freddo che si è creato tra una massa d'aria fredda discendente dalle Alpi Occidentali (**freccie blu**) e una lingua calda e instabile proveniente dal Mar Adriatico (**freccie rosse**).
- Una massa d'aria secca da sud-ovest (**freccie gialle**), generando una dry line, ha permesso l'innescio della supercella che ha sviluppato il tornado di Carpi in Emilia.
- In quota la forte divergenza del getto polare (freccie gialle trasparenti) permetteva condizioni ottimali per forti temporali.

## Genesi della vorticità



Le supercelle e i tornado si sono formati nei pressi dell'intersezione delle 3 diverse masse d'aria, dove veniva generata vorticità sul piano orizzontale attraverso due meccanismi:

- Produzione baroclinica (**freccie blu**) lungo il freddo dove c'era un forte gradiente di forza di galleggiamento.
- Produzione da windshear all'interno della lingua instabile dove c'era un Low Level Jet con associato marcato windshear (**freccie rosse**).

Questa vorticità veniva poi raddrizzata sull'asse verticale dalle intense correnti ascendenti associate alla convezione atmosferica, generando così i tornado.