



Climate change e ripercussioni sui fenomeni convettivi alla mesoscala

Ferrara 20 settembre 2019

P. Randi

DEKRA Meteorological Technician

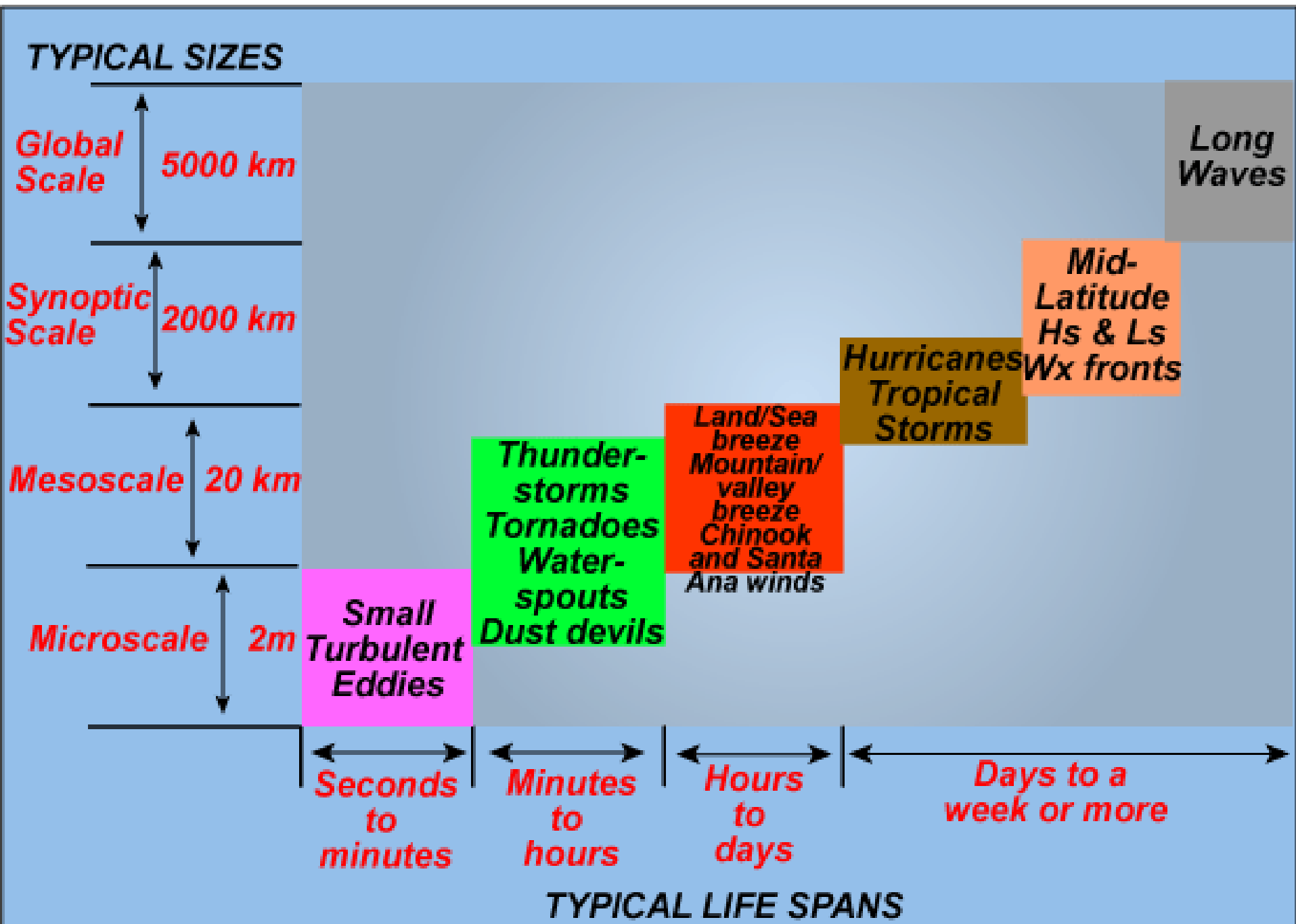
Vice Presidente AMPRO (Ass. Meteorologi Professionisti)

Meteocenter s.r.l.

Length scale	1 month		1 day		1 hour		1 min		Time scale
10000 km	standing waves	ultra-long waves	tidal waves						macro α scale
2000 km		baroclinic waves							macro β scale
200 km			Fronts Hurricanes						meso α scale
20 km			Low-level jet Squall lines Inertial waves Lake/Mountain						meso β scale
2 km			Thunderstorms Inertia Grav. Waves Clear air Turb Urban effects						meso γ scale
200 m					Tornadoes Convection Short GWs				micro α scale
20 m							Dust devils Thermals Wakes		micro β scale
							Plumes roughness turbulence		micro γ scale

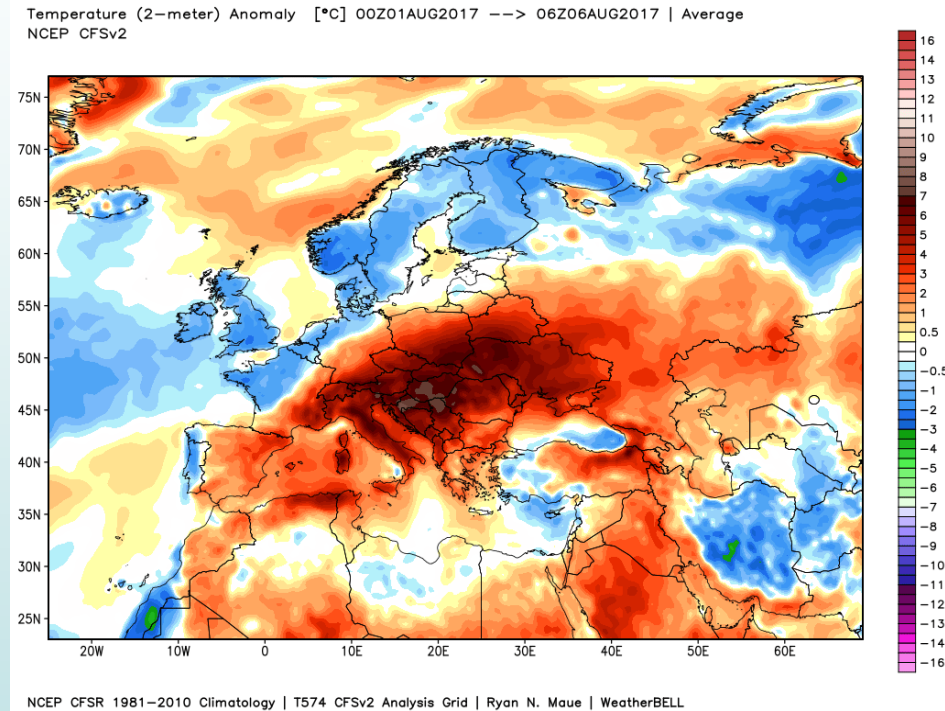
Orlanski (1975) Scale definitions

TIME AND SPACE SCALE OF ATMOSPHERIC MOTION



Eventi “estremi”

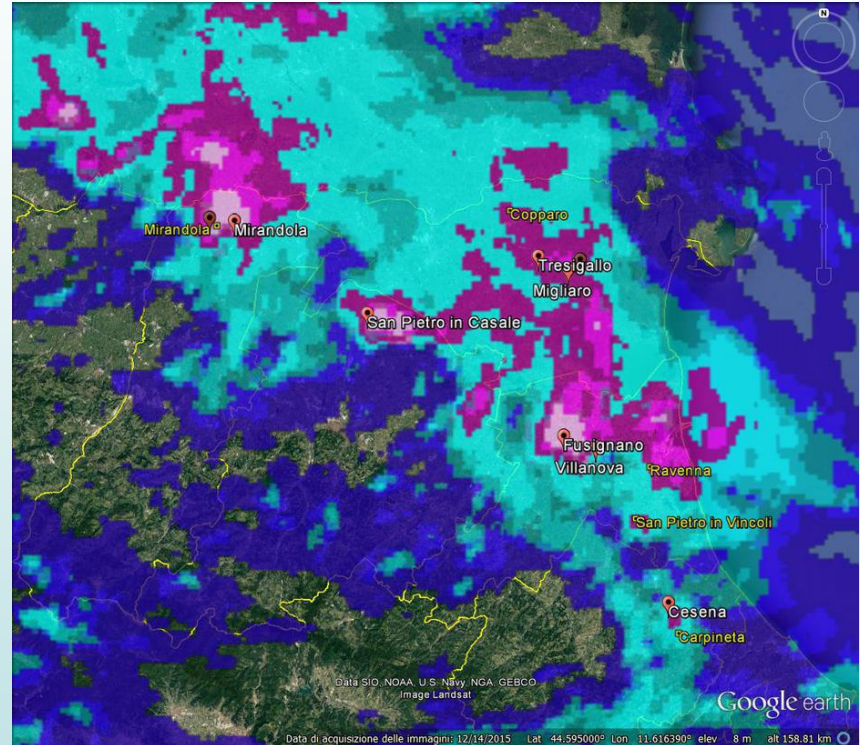
- Uno degli approcci utili a comprendere come il clima stia mutando, e così anche la meteorologia locale, è l'analisi di quanto gli eventi 'intensi' stiano diventando sempre più 'estremi'.
- Queste due parole non sono affatto sinonimi, ma nascondono una fondamentale differenza: un evento meteo **intenso** è un qualsiasi fenomeno atmosferico che mette a rischio vite umane, mentre un evento meteo **estremo** è sì intenso quanto raro, in base alla statistica che descrive la probabilità che possa accadere in un determinato luogo



Onda di calore agosto 2017: esempio di evento estremo

Eventi “estremi”

- Il cambiamento climatico sta **variando la statistica degli eventi estremi** e la tendenza sembra portare verso un **pericoloso aumento della loro frequenza**.
- Ciò vale anche per il nostro territorio, e ciò che è accaduto nell'ultimo decennio ne è una dimostrazione.

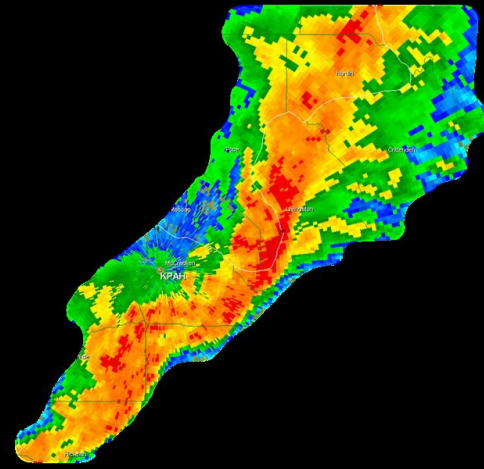


Alluvione lampo del 21/09/2016: 90-150 mm in 4 ore tra Alfonsine e Fusignano (RA); picco di 200 mm a Fusignano nord

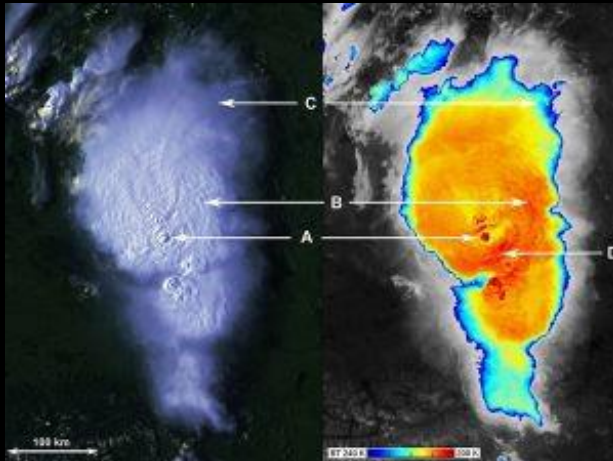
Diverse categorie di temporali



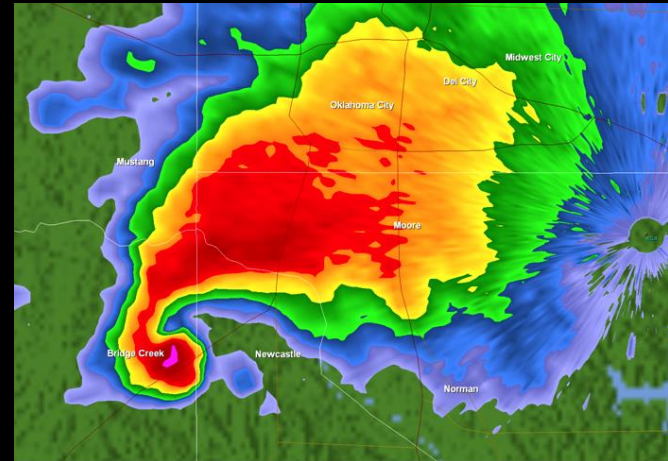
Cella singola



QLCS (squall line, bow echo, etc.)



MCS, MCC, MCV



Supercella

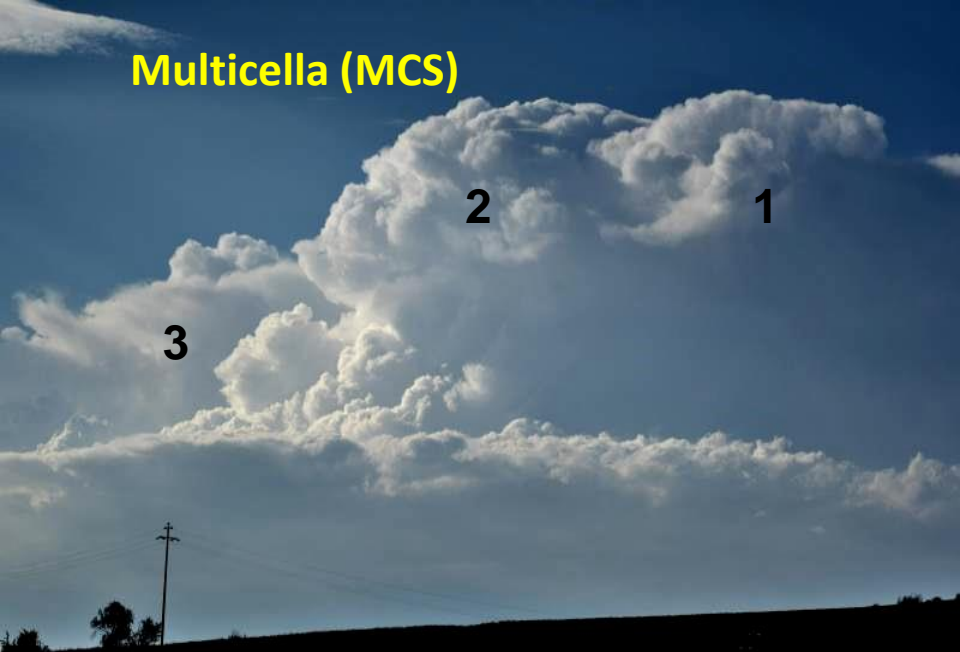
Cella singola



Multicella da fronte (QLCS)



Multicella (MCS)



Supercella



Tipologia e rischio

CELLE SINGOLE

QLCS, MCS, MCC, MCV

SUPERCELLE

BASSO

MEDIO

ELEVATO

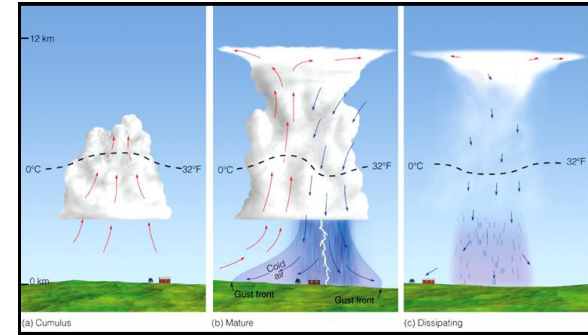
Grandine, venti forti lineari, piogge intense

Grandine di grosse dimensioni, venti forti lineari (downburst), flash flood, landspout/waterspout (tornado non mesociclonici da QLCS, MCS, MCC), tornado mesociclonici (supercelle)

Due sono gli ingredienti **fondamentali** per lo sviluppo di sistemi temporaleschi:

- 1) aria instabile
- 2) moti verticali

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz$$



Tre invece gli ingredienti **fondamentali** per lo sviluppo di sistemi temporaleschi **violenti/severi**:

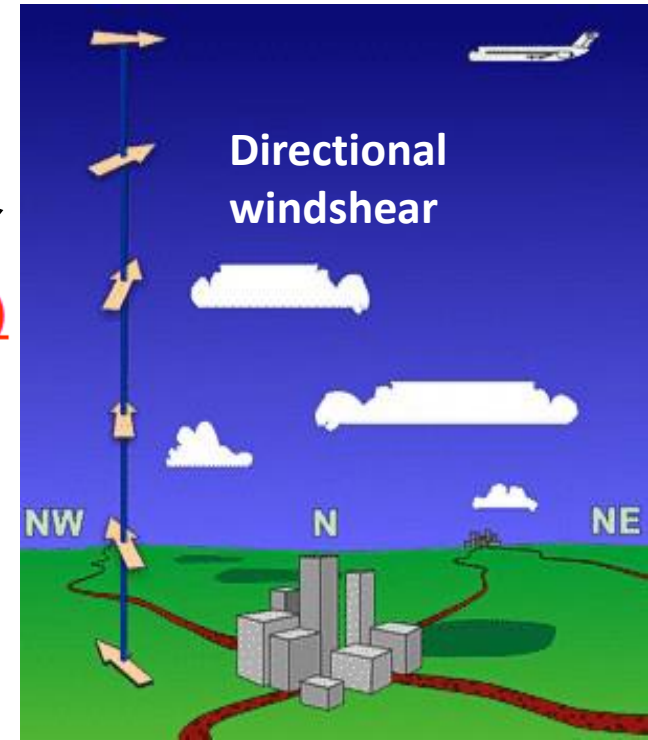
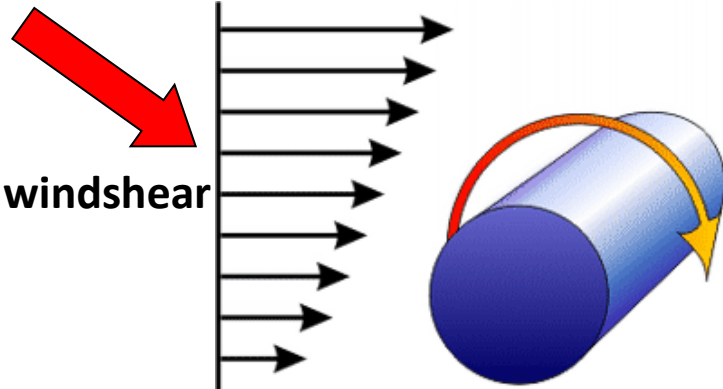
- 1) aria instabile
- 2) moti verticali

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{v,parcel} - T_{v,env}}{T_{v,env}} \right) dz$$

3) Wind-shear positivo (directional/speed)



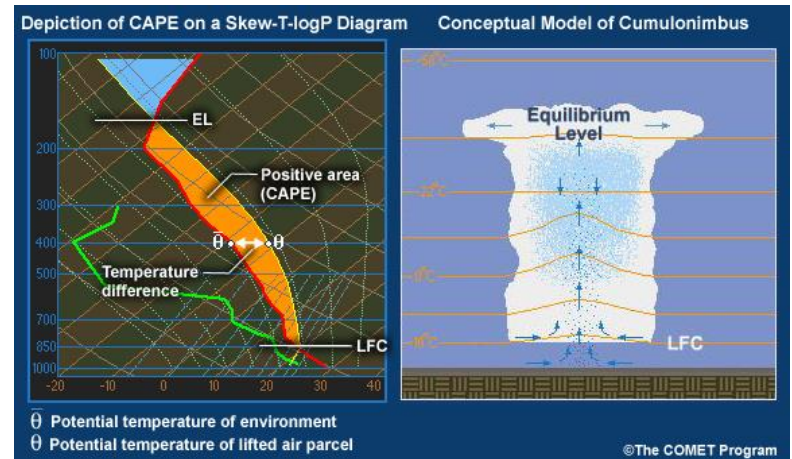
Speed windshear



RUOLO DEL CAPE

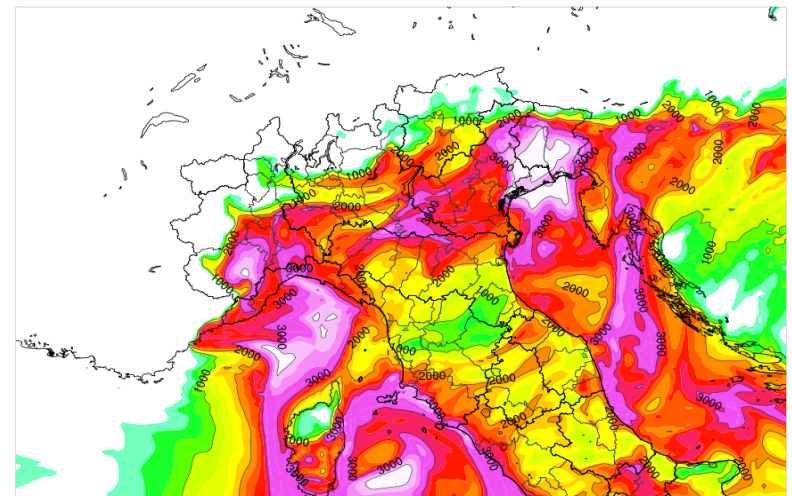
- Indica l'energia potenziale disponibile per la convezione (**Convective Available Potential Energy**)
- Rappresenta l'energia totale di galleggiamento acquisita dalla massa d'aria finché, durante l'ascesa, **resta più calda dell'ambiente circostante**; in pratica, è una misura del lavoro svolto dalla spinta di galleggiamento e si esprime in J/kg di aria.

$$\text{CAPE} = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{v,\text{parcel}} - T_{v,\text{env}}}{T_{v,\text{env}}} \right) dz$$



Most Unstable CAPE (J/kg)

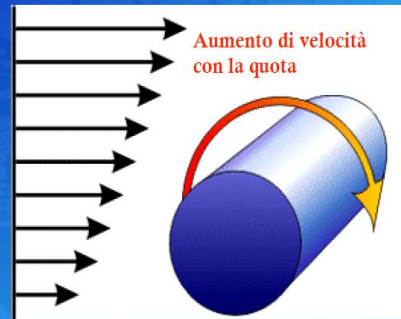
init: 00:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015



250 500 750 1000 1250 1500 1750 2000 2250 2500 2750 3000 3250 3500 3750 4000

RUOLO DEL WINDSHEAR

WINDSHEAR



Speed Shear

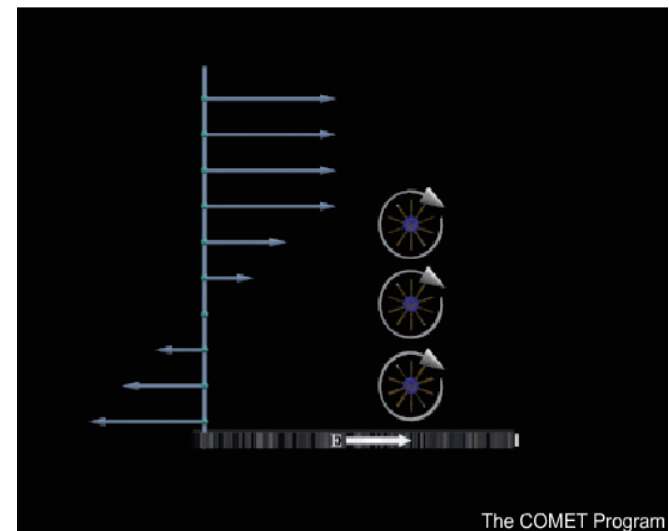
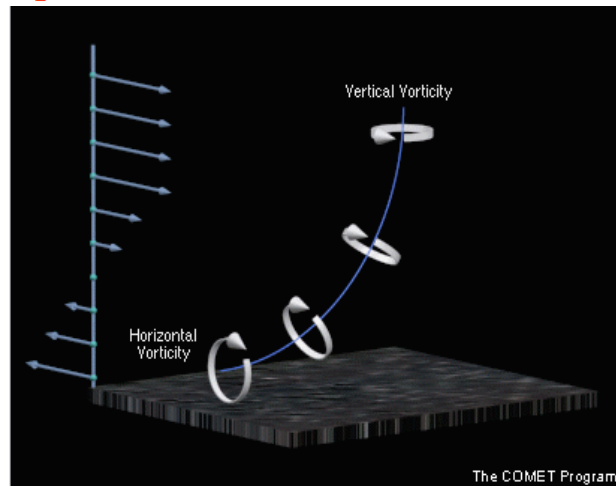
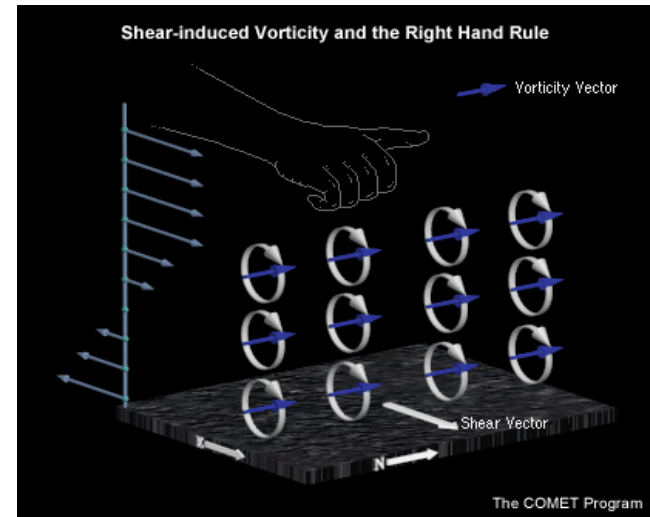
Directional Shear (veering)

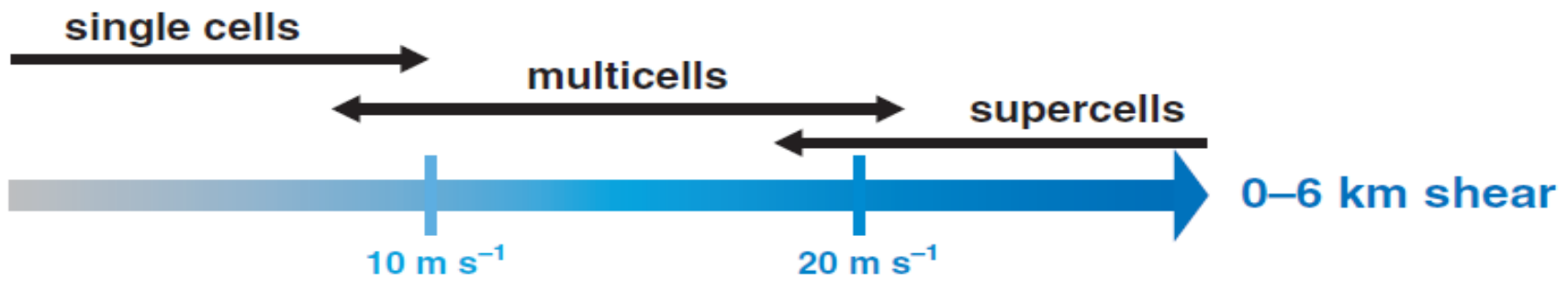
Una solida combinazione di entrambi è la soluzione migliore per tempeste severe



Ruolo del windshear

- Mantiene attiva la separazione di updraft e downdraft prolungando il ciclo evolutivo dei sistemi temporaleschi e trasformandoli in complessi.
- Migliora la forza e l'intensità dell'updraft ben oltre quanto si potrebbe ottenere con la sola spinta di galleggiamento (CAPE).
- Alimenta vortici di aria ad asse orizzontale tra le diverse quote che possono essere tramutati ad asse verticale per mezzo degli updraft.
- Può mantenere in vita le tempeste anche nelle ore notturne, compensando la naturale perdita di instabilità con effetti dinamici.

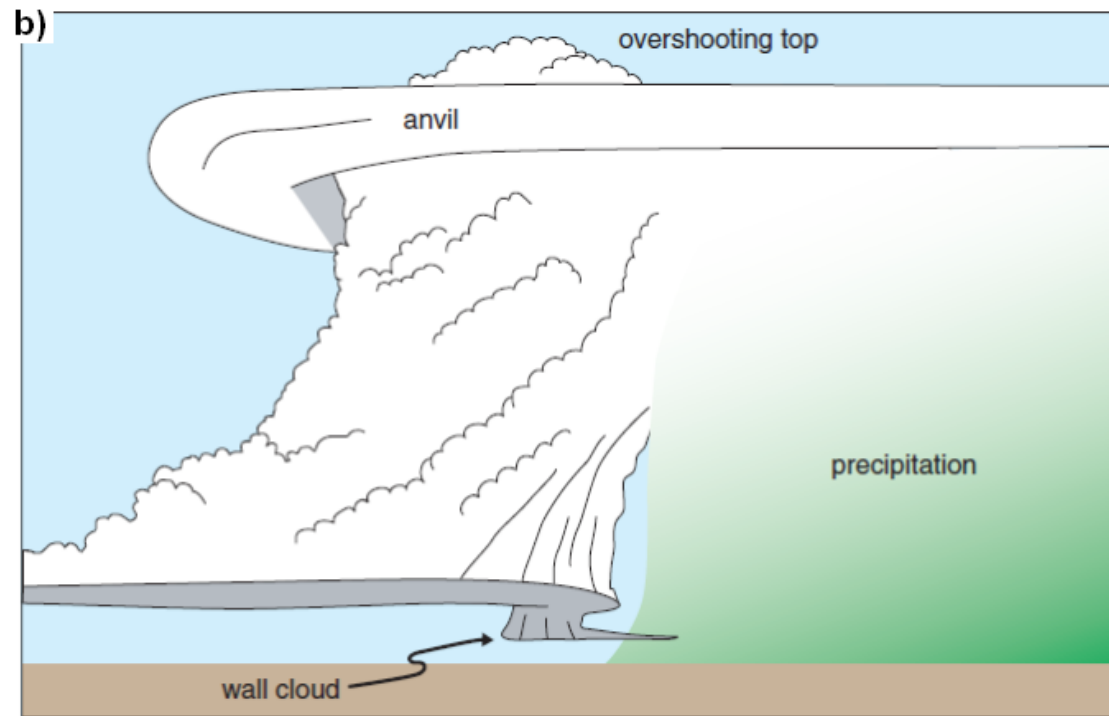
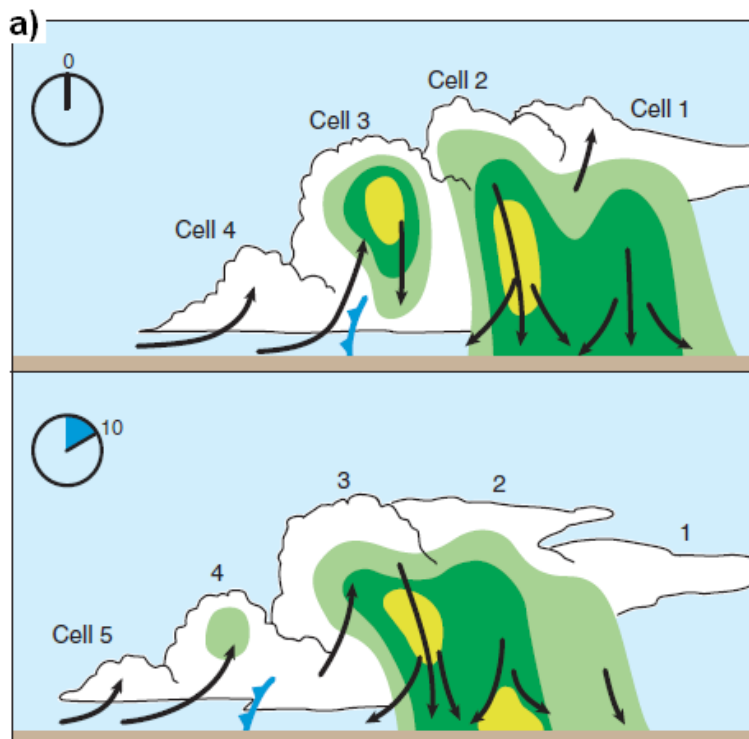




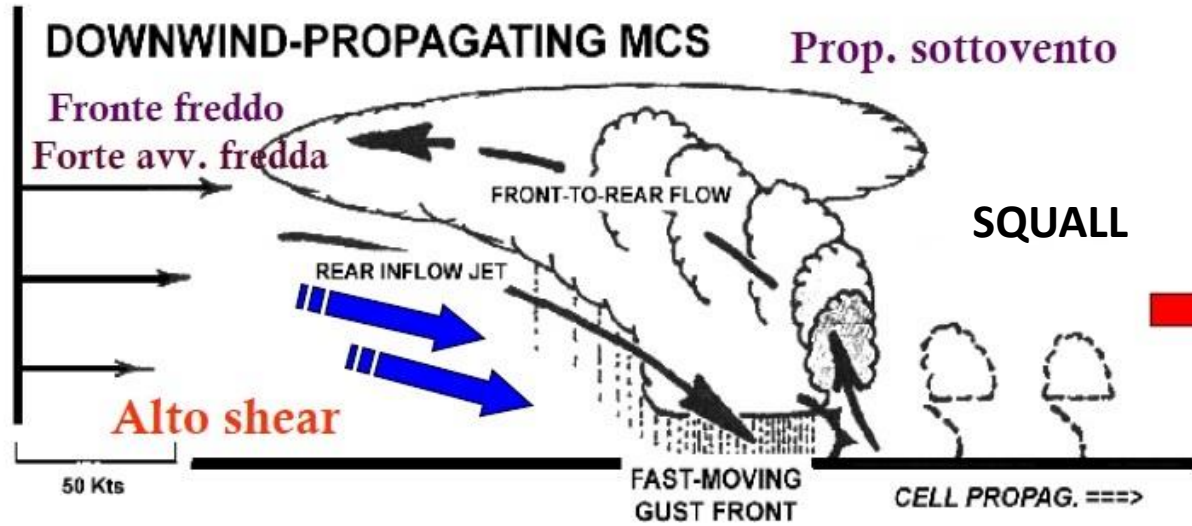
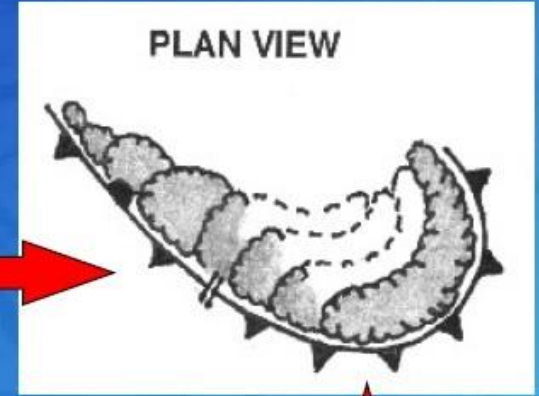
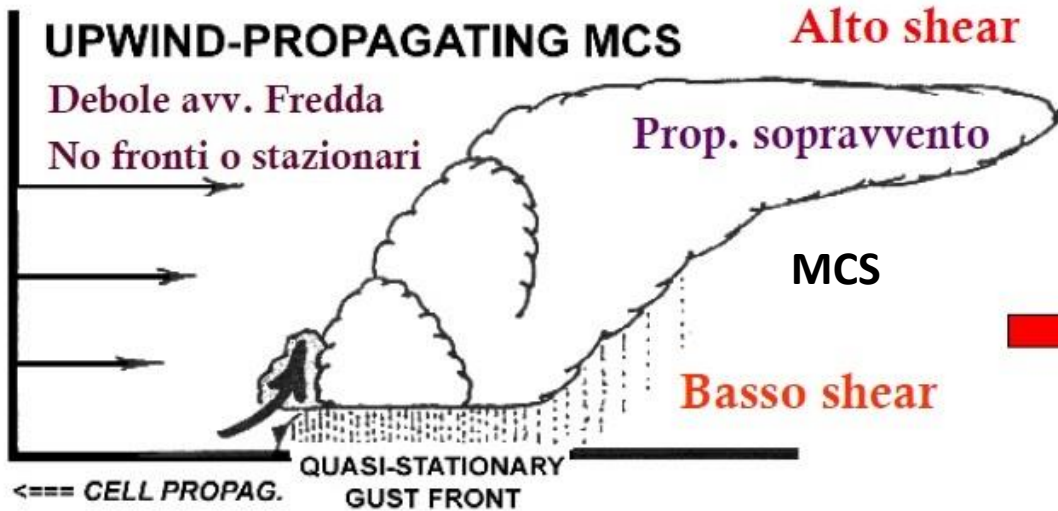
Un debole gust front non è in grado di innescare nuove celle in modo organizzato

a) Il gust front innesca ripetutamente nuove celle (downshear flank); la propagazione del sistema deriva dal sollevamento frontale del gust front stesso

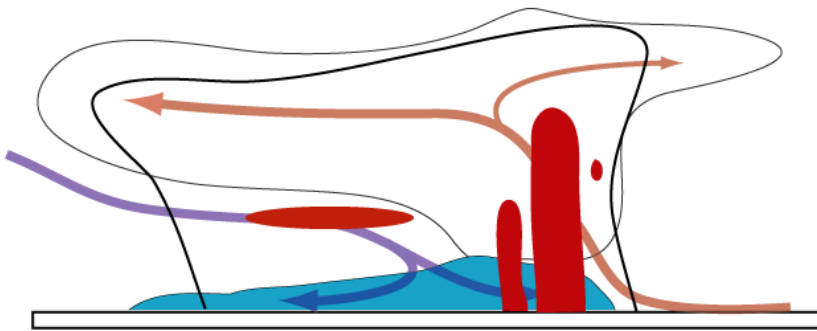
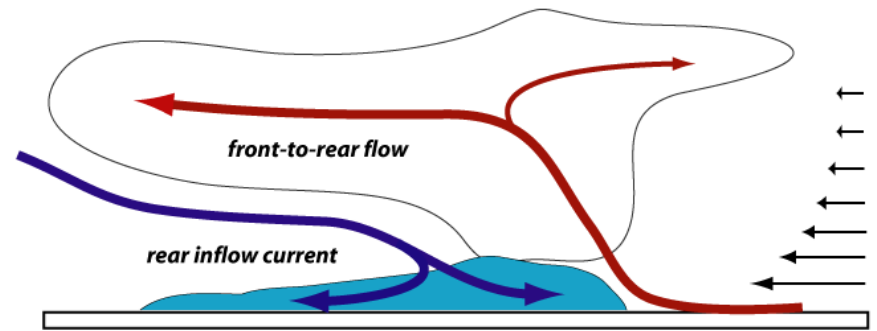
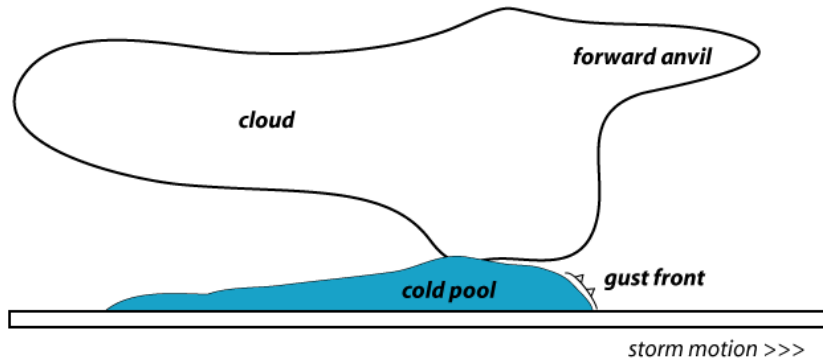
b) Le correnti ascensionali possono essere quasi stazionarie: propagazione indotta dal gradiente verticale di pressione presente su uno strato profondo anziché da sollevamento da gust front



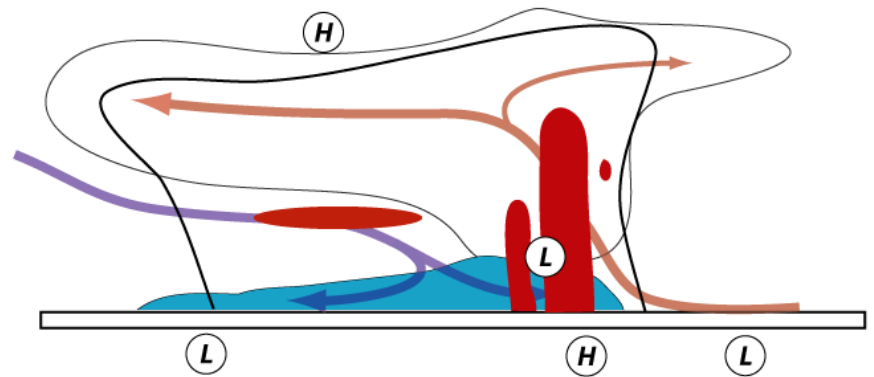
Evoluzione sistemi multicellulari (QLCS, MCS, etc.)



QLCS (squall) modello concettuale



Principali echi radar; sistema multicellulare



Principali centri di pressione

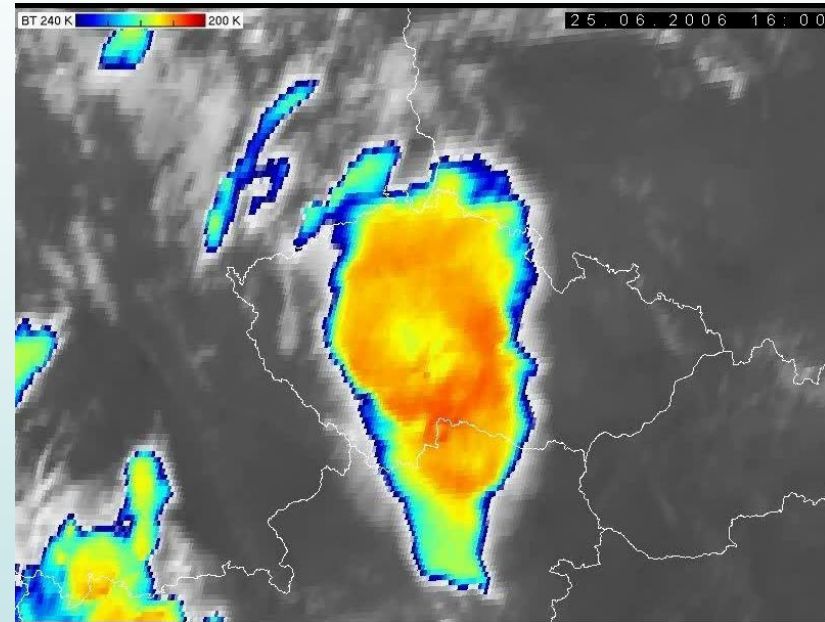
MCS (definizione)

Un MCS (Mesoscale Convective System) è:

- un sistema organizzato esteso orizzontalmente per parecchie centinaia di km (200-400 km alle med. lat.) e di forma circolare o ovale;
- a convezione profonda (+ grande di un temporale), attivo per > 4hr;
- normalmente è un Sistema a Multi-Cella (celle in diversi stadi di sviluppo), ma può anche contenere una Super-Cella.

Un MCS porta:

- Forti piogge (>50mm/24h), inondazioni;
- Grandine ma essenzialmente nella prima fase;
- Forte vento, attività elettrica, talora trombe d'aria.



Studio di Severe convective storms
over the Czech Republic (25/06/06),
di Martin Setvak (CHMI)

MCS: “ingredienti”

Lo sviluppo di sistemi convettivi intensi è associato il più delle volte a una forzante sinottica a grande scala e a instabilità potenziale per la convezione. Un sistema convettivo si sviluppa se la situazione sinottica permette moti verticali su tutta la troposfera fino alla tropopausa

Una volta innescato un MCS ha un'interazione nei due sensi con la forzante sinottica (mutua modifica)

INGREDIENTI

In quota (forzante a grande scala)

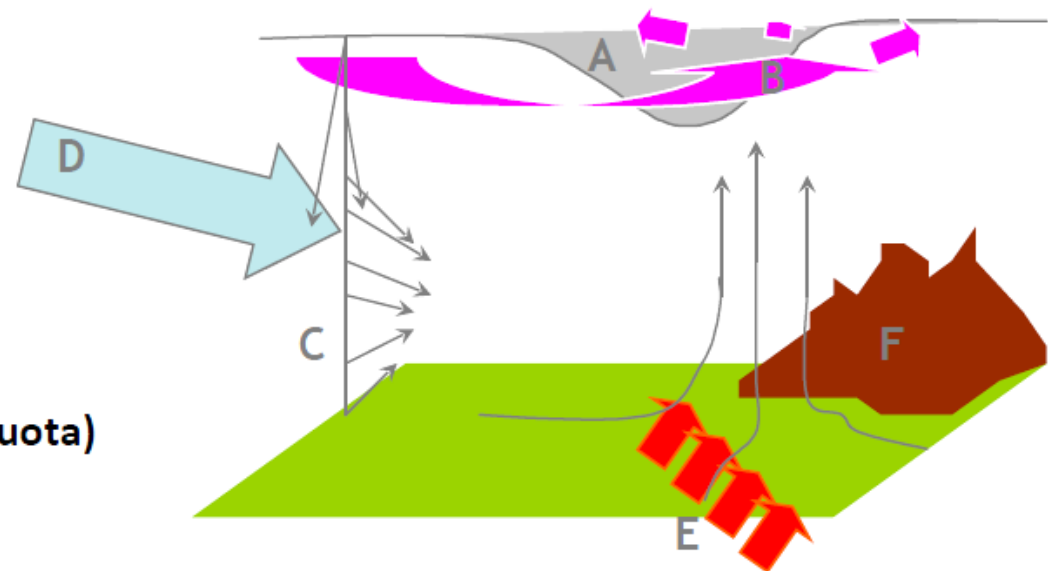
- Anomalia di tropopausa (A)
- Intenso flusso ciclonico divergente (B) nell'alta troposfera (spesso da SW)

Media troposfera

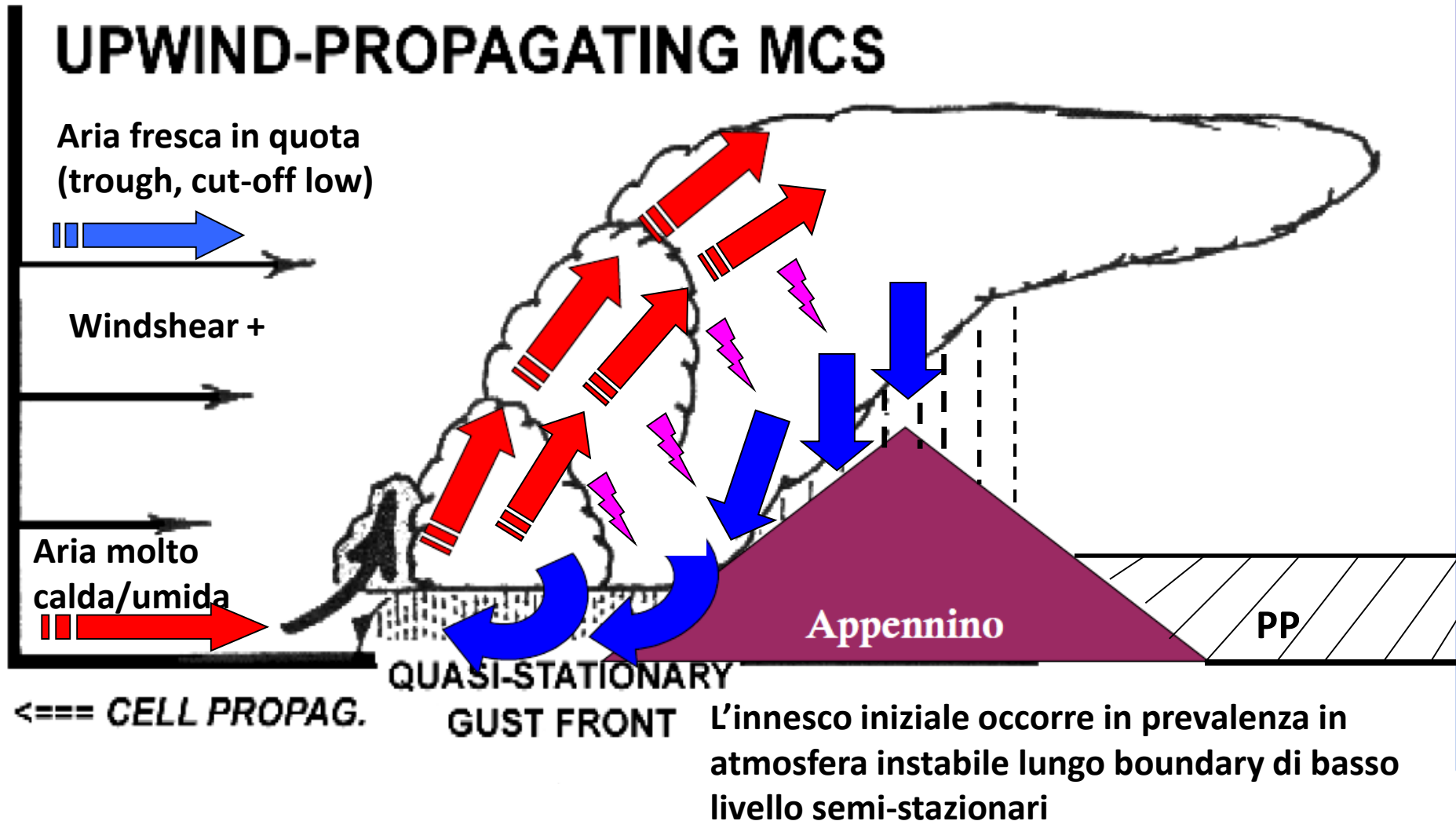
- Forte Shear (C) (variazione vento con la quota)
- Intrusione secca (D)

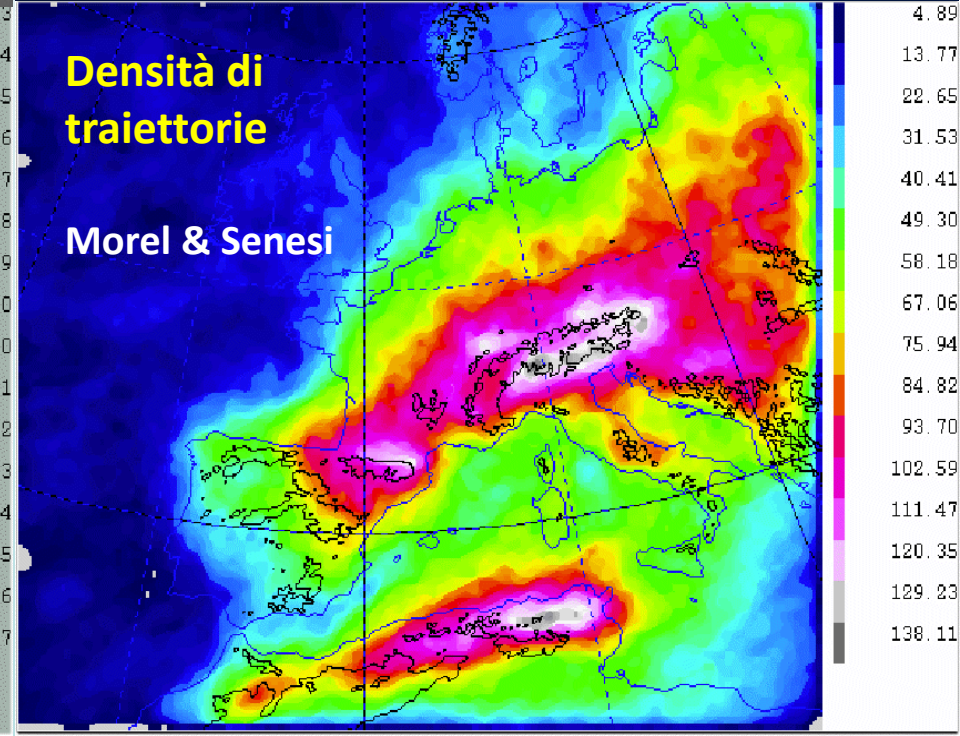
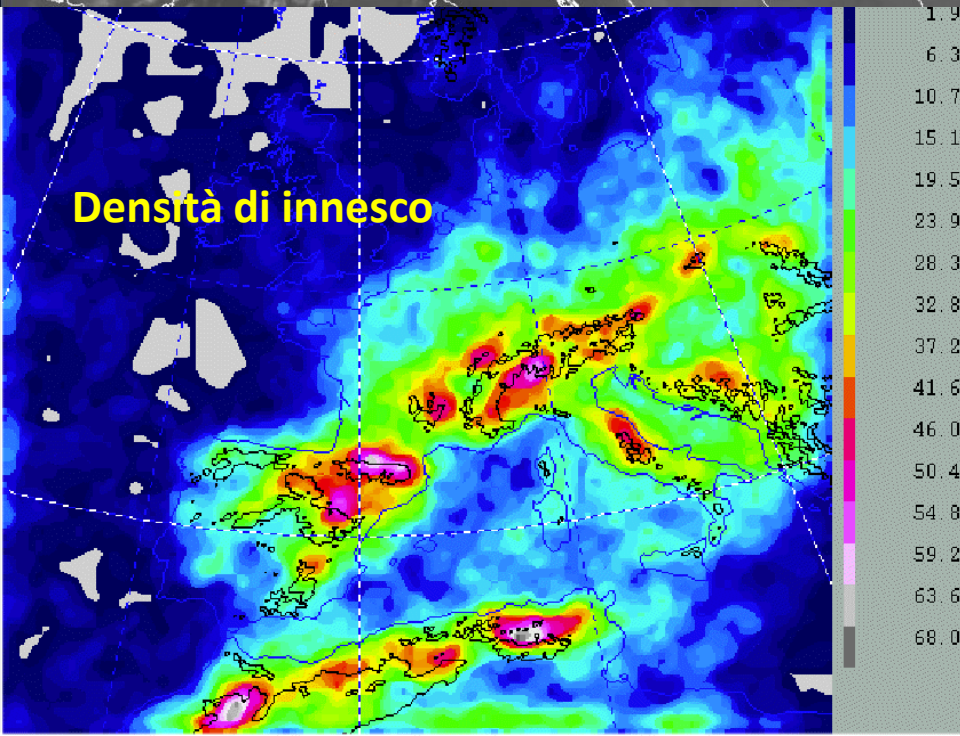
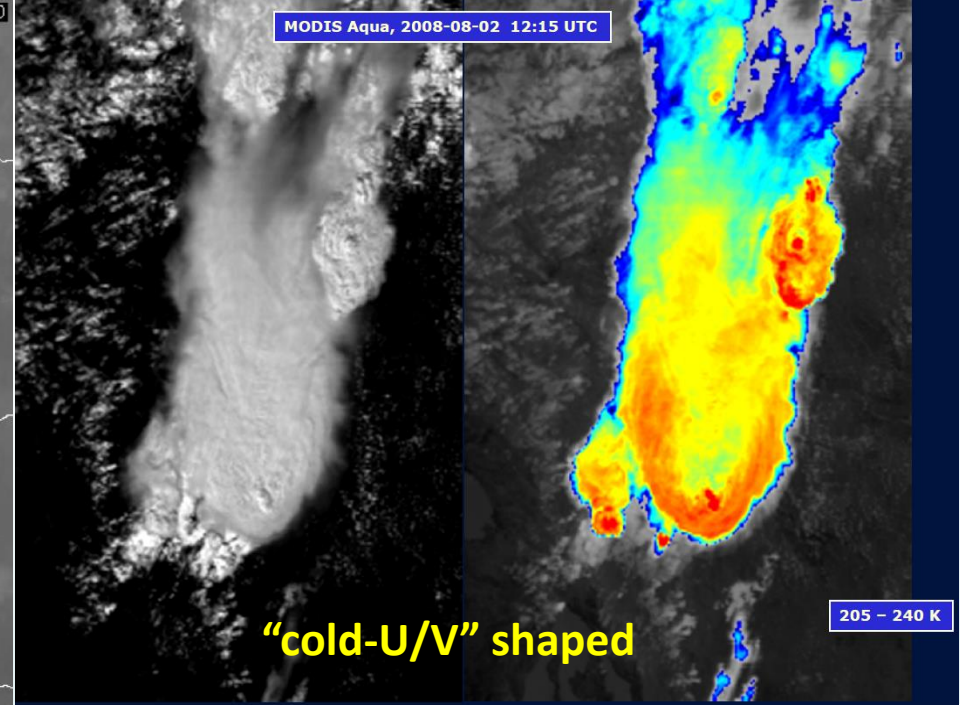
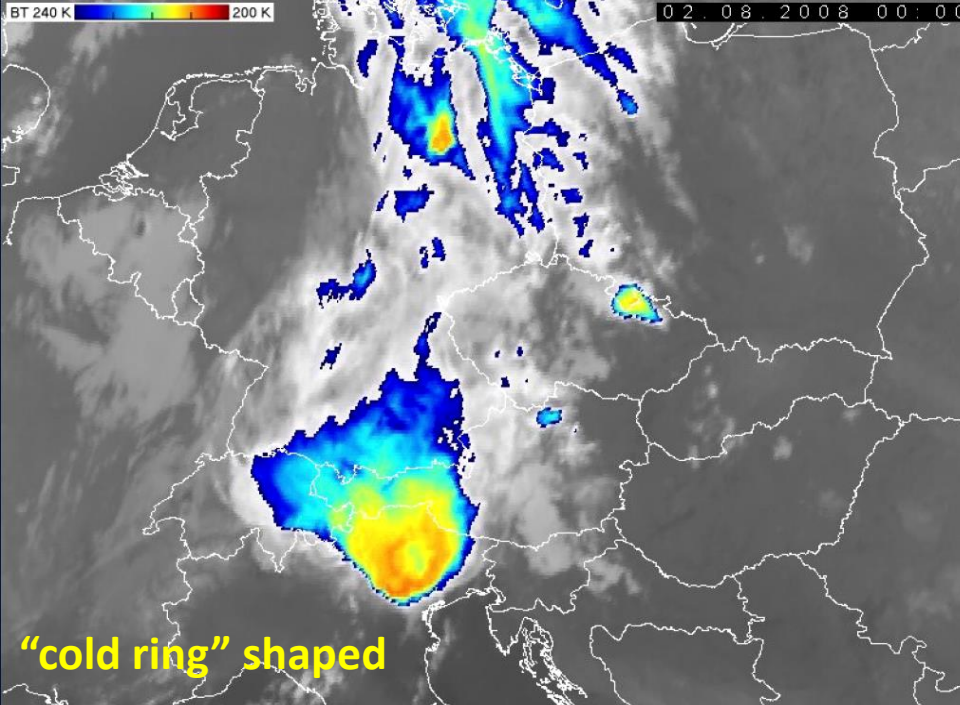
Bassi strati

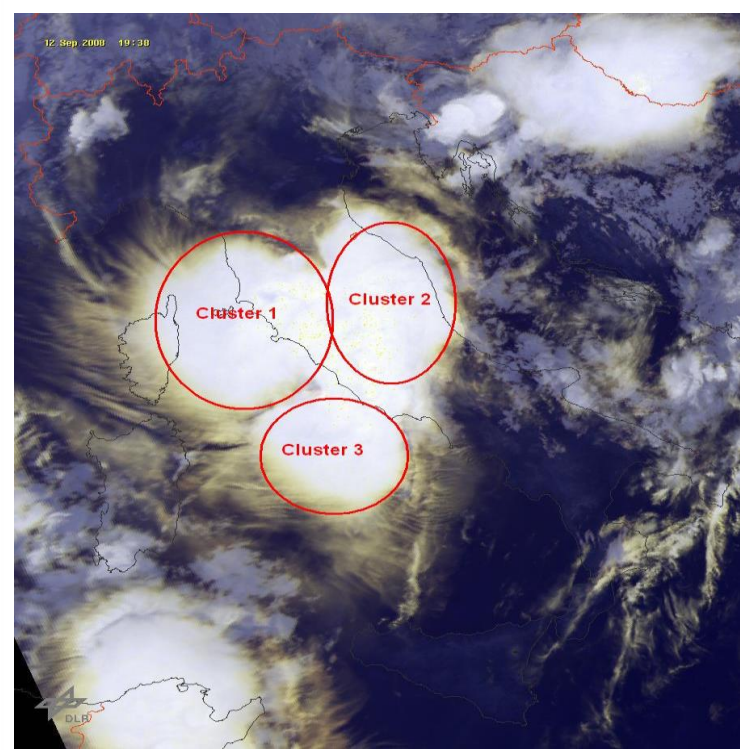
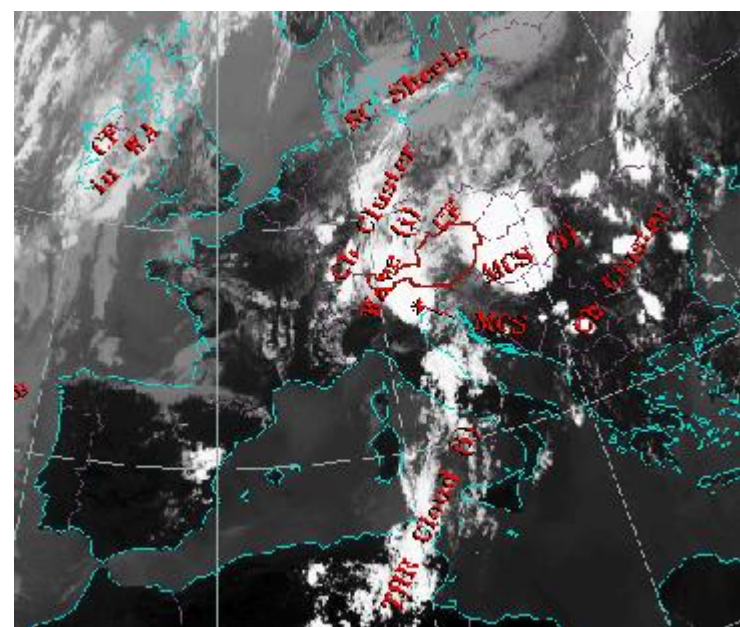
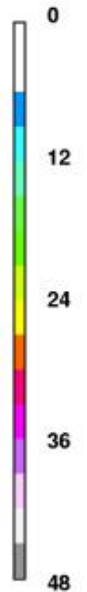
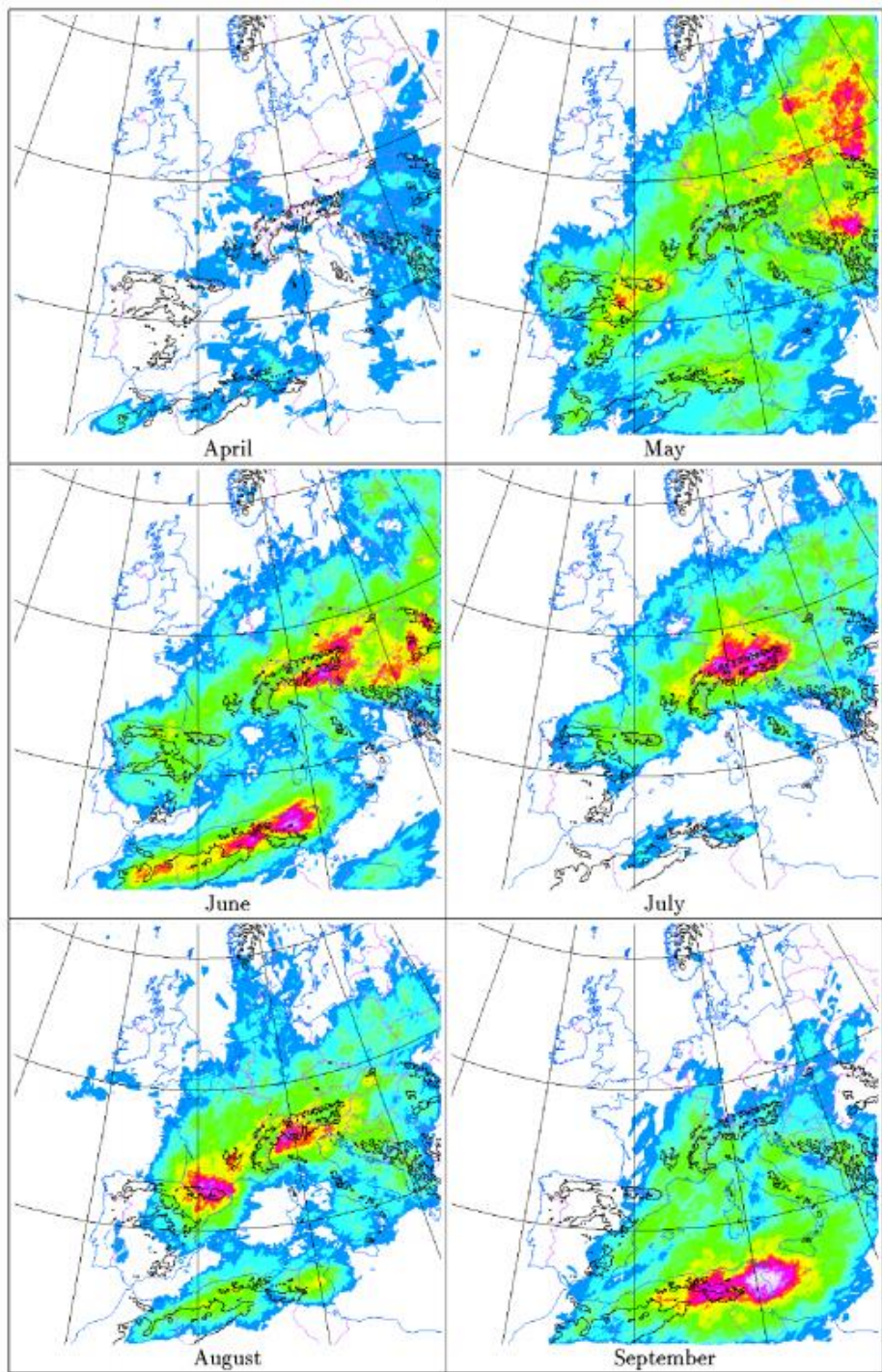
- Avvezione caldo umida (E)
- Forzante (F) (linea frontale, barriera orografica, linea di convergenza, isola di calore, brezze,...)



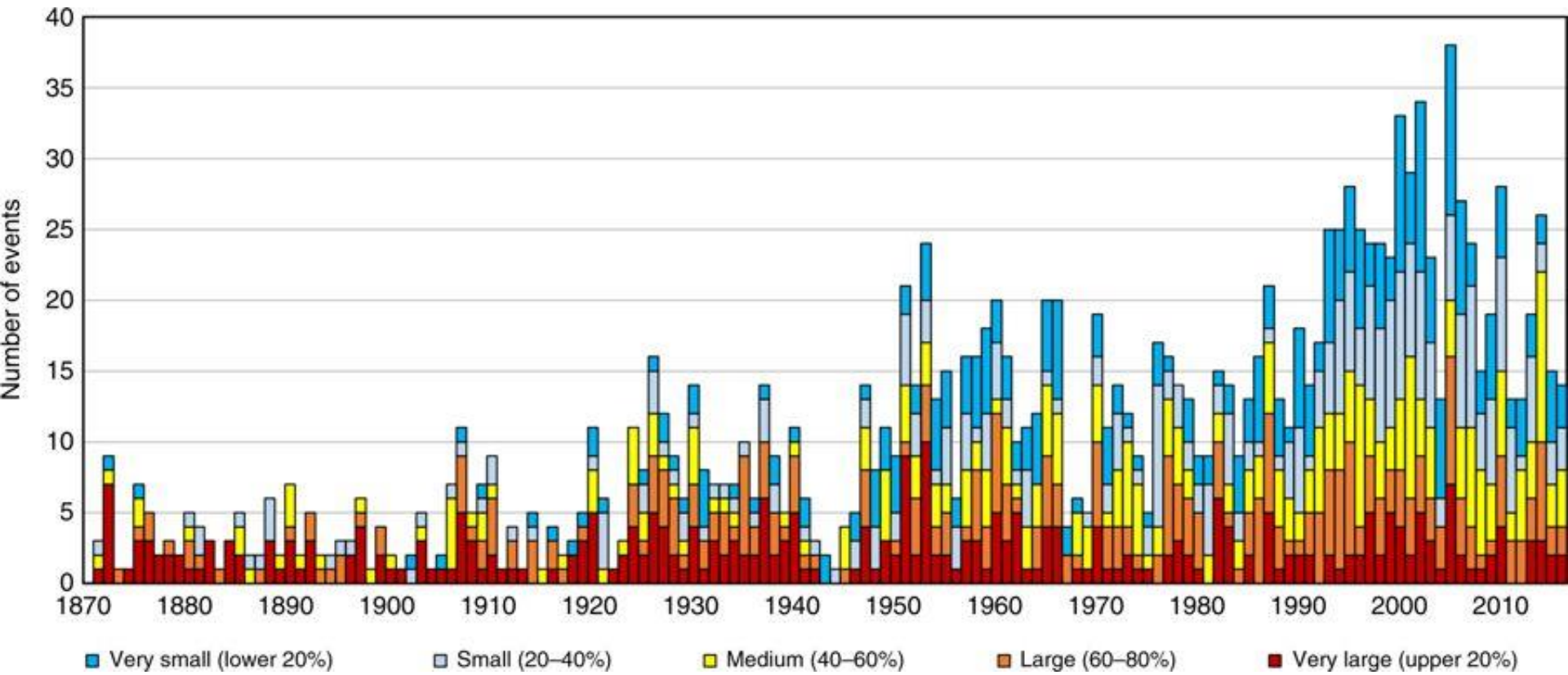
Propagazione MCS sopravvento indotta orograficamente





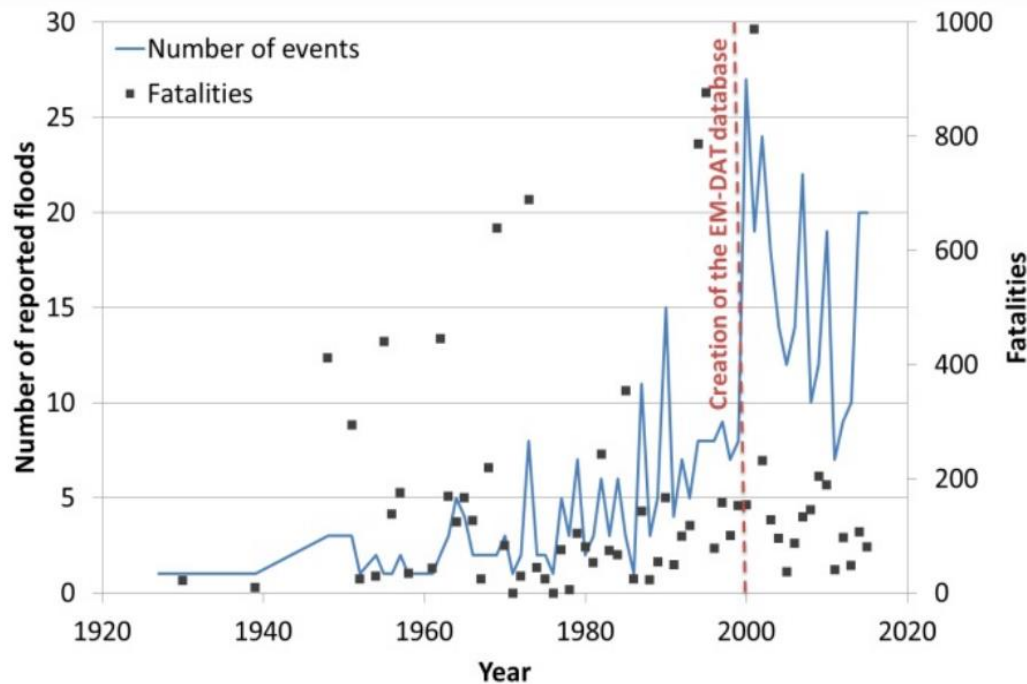


Trend alluvioni in Europa



Severità delle alluvioni. Numero annuale di eventi alluvionali classificati per gravità in quintili

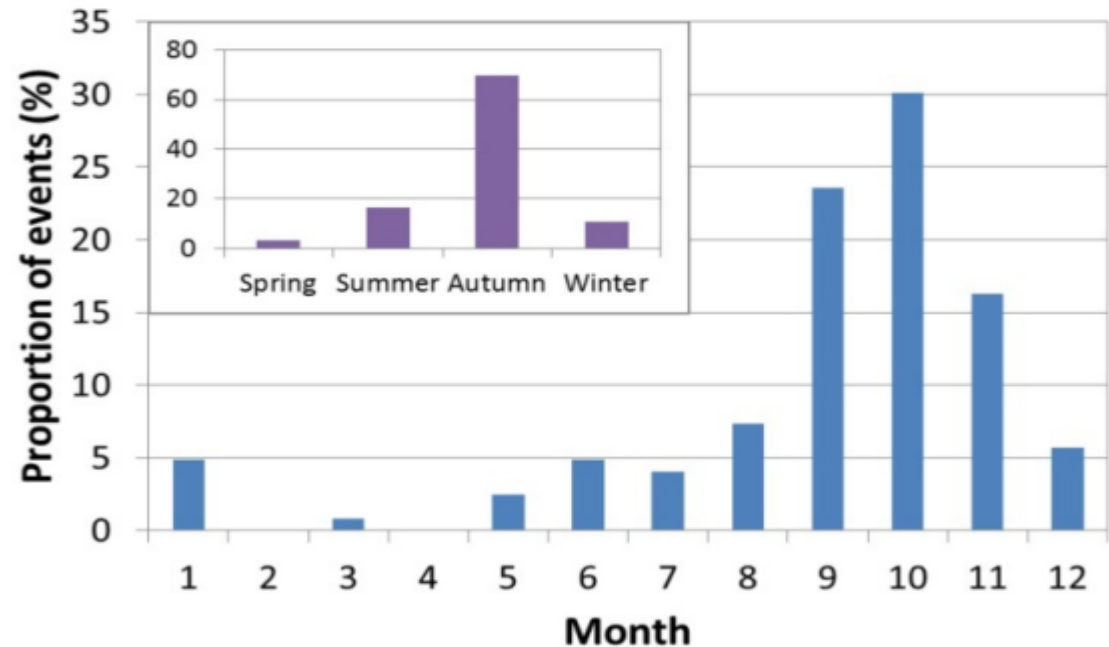
Trends in flood losses in Europe over the past 150 years [Dominik Paprotny](#), [Antonia Sebastian](#), [Oswaldo Morales-Nápoles](#) & [Sebastian N. Jonkman](#)



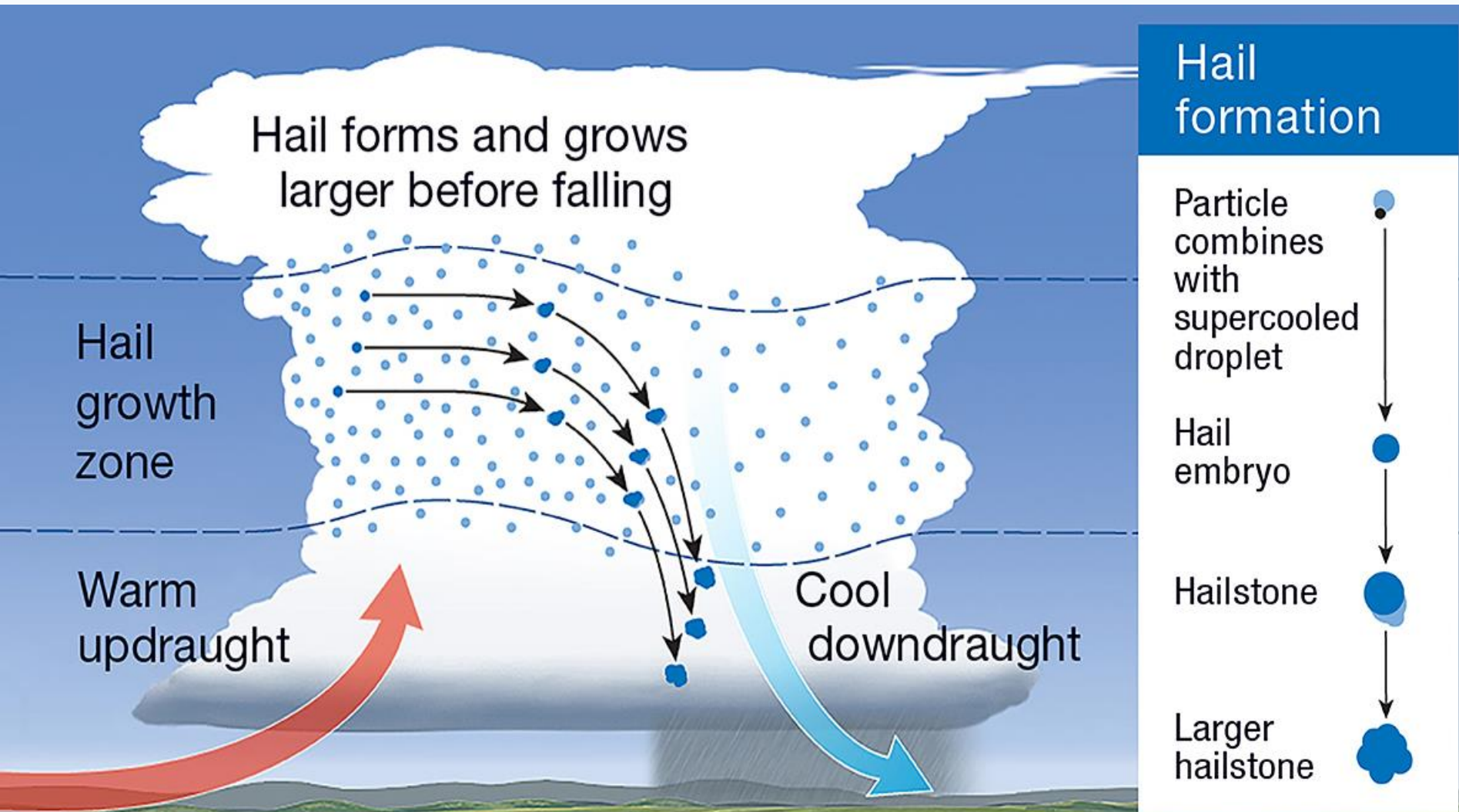
Variazioni nel numero di alluvioni severe nei paesi che circondano il Mar Mediterraneo (EM-DAT database)



Stagionalità della frequenza di eventi di alluvione sul Mediterraneo (EM-DAT database)



GRANDINE

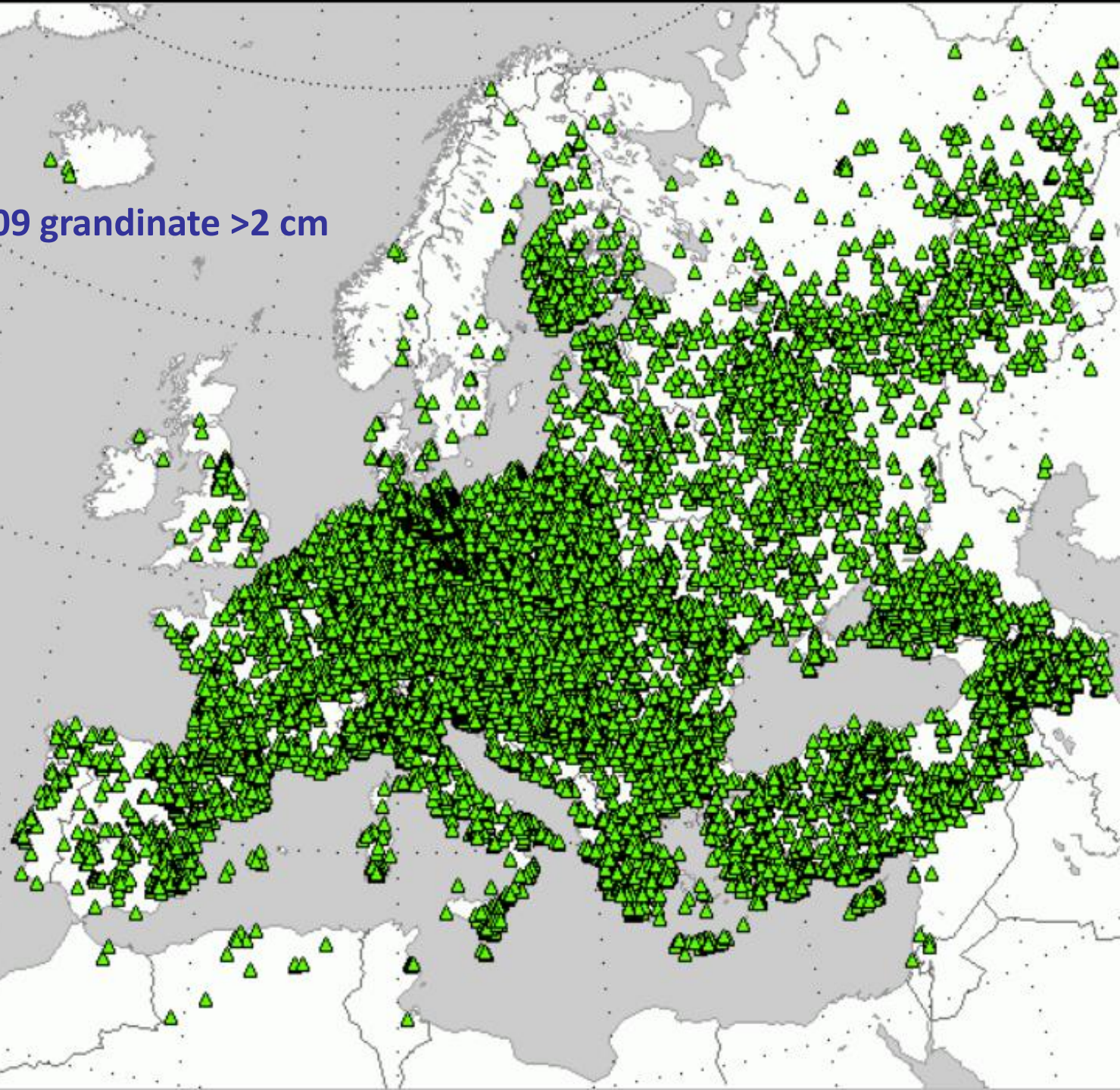


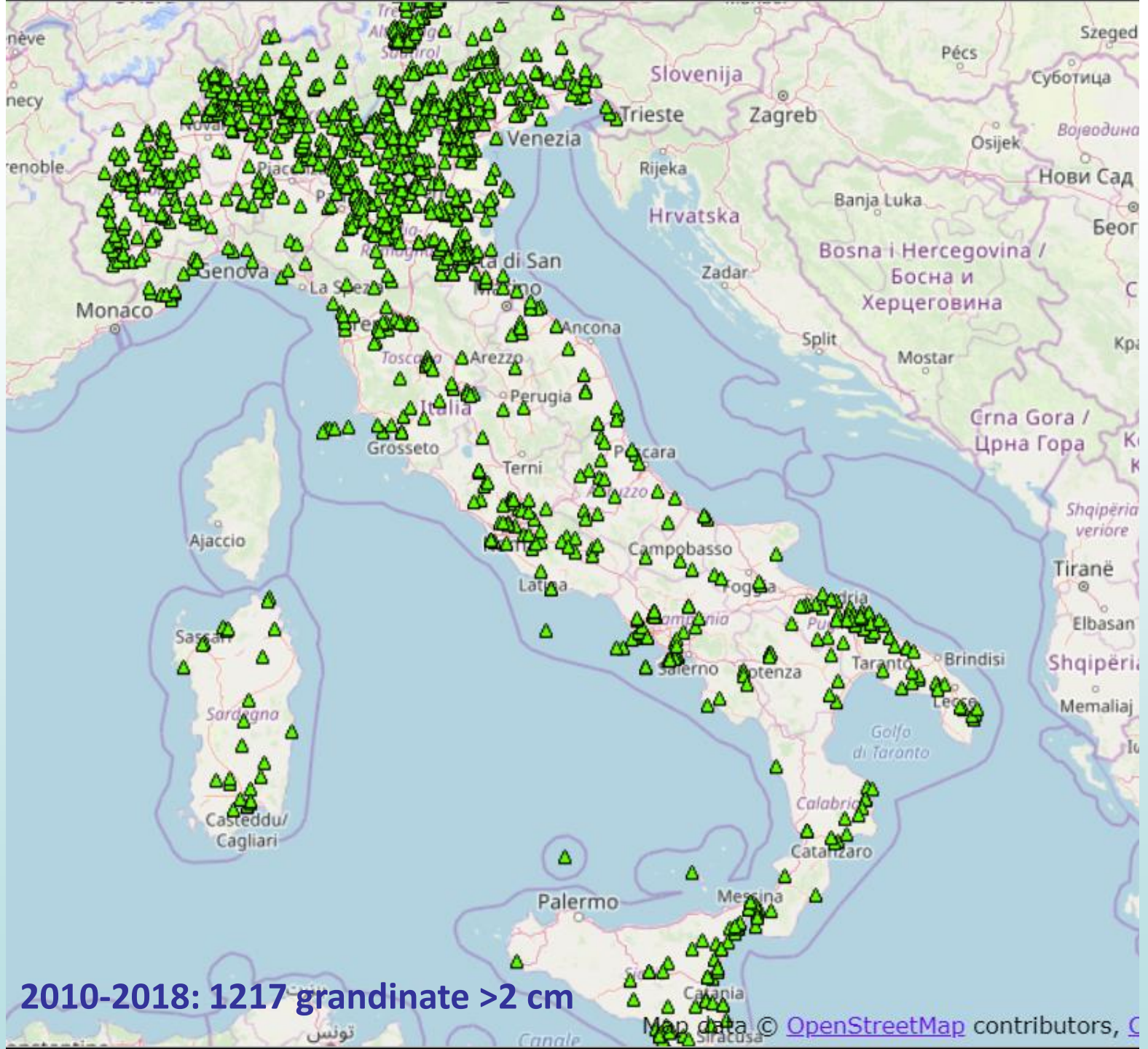
2010-2018: 19909 grandinate >2 cm

🕒 2019-09-19 22:18:11



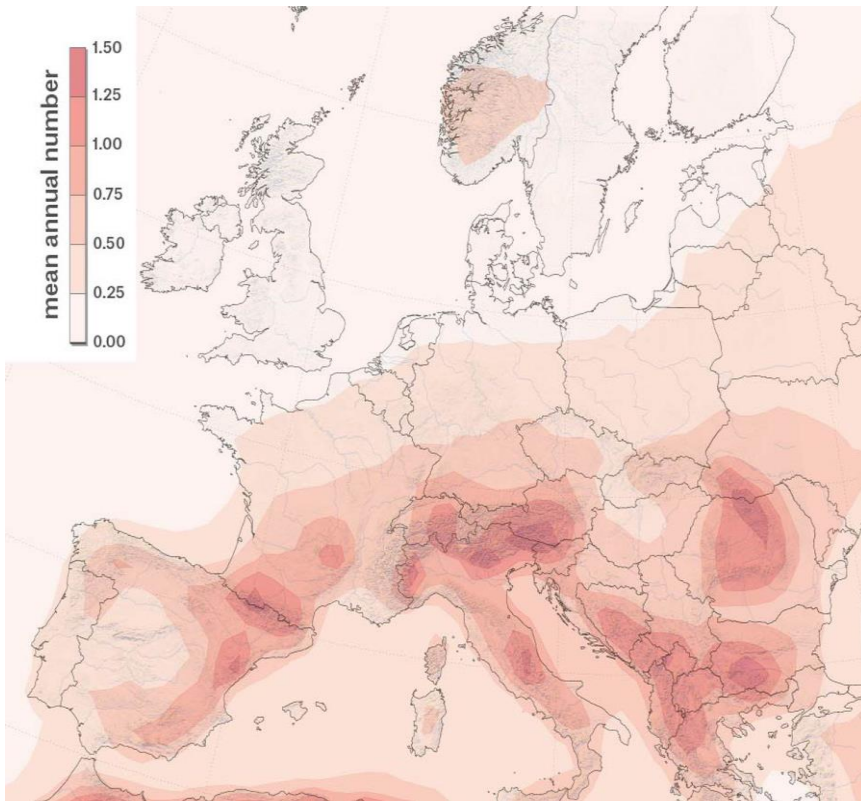
European Severe
Weather Database
www.eswd.eu
(c) ESSL



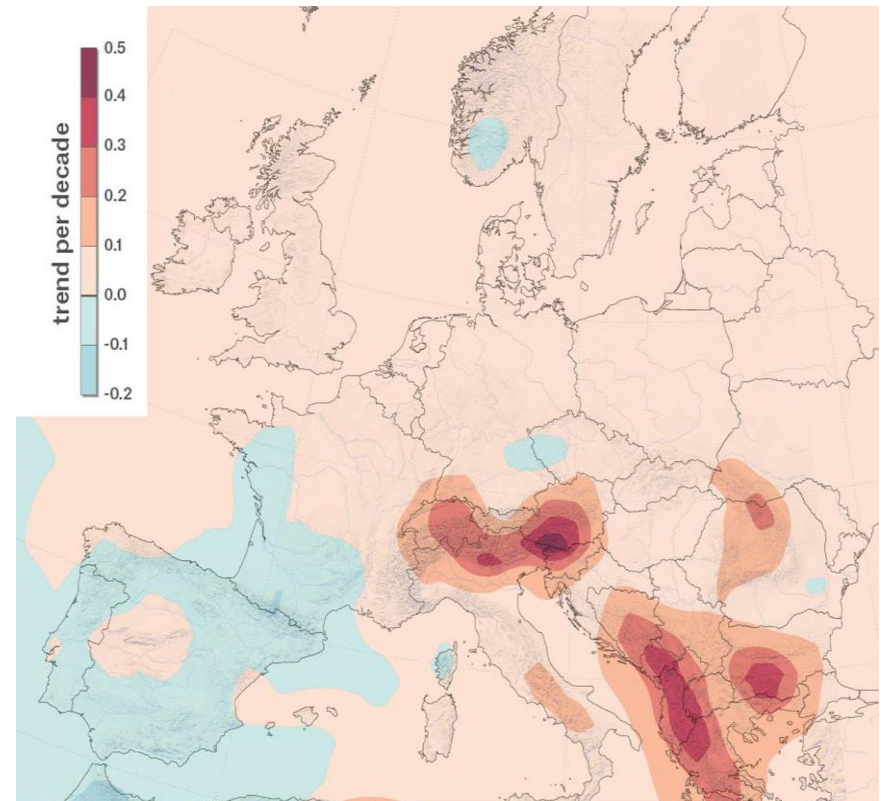


2010-2018: 1217 grandinate >2 cm

1979-2015 frequenza (ESWD)

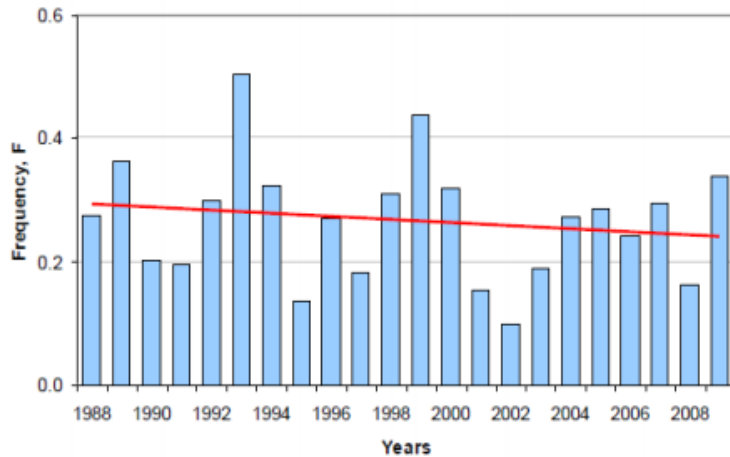


1979-2015 trend (ESWD)



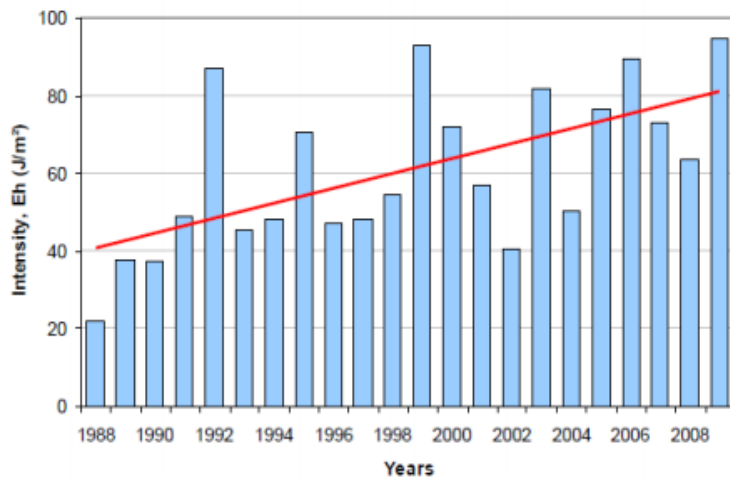
il numero di eventi di grandine è aumentato significativamente nel corso dei 37 anni considerati. L'aumento è stato particolarmente marcato nell'Italia settentrionale e sulla costa adriatica, mentre gli aumenti sono stati minori nell'Europa centrale - in Francia, negli stati del Benelux e in Germania. Si sono rilevate lievi diminuzioni per il sud-ovest della Francia e parti della penisola iberica.

France/Italy Hailpad Data



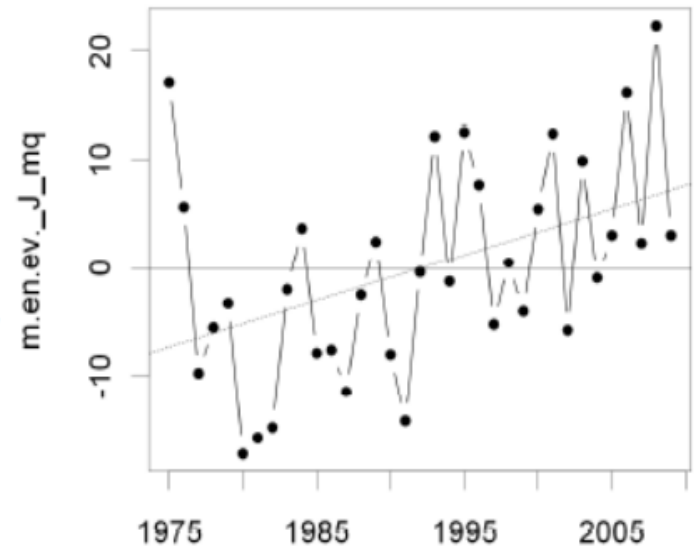
Occurrence

Il trend del fenomeno grandine mostra un calo in frequenza ma un aumento in intensità (Kinetic energy)



Kinetic Energy

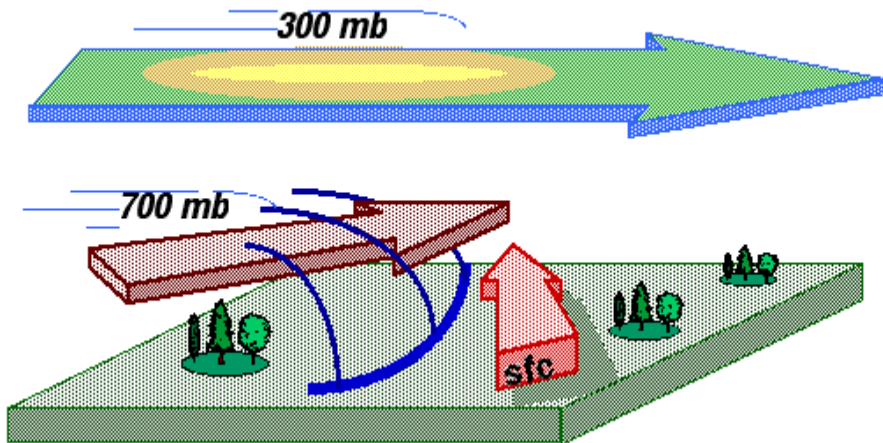
Berthet et al. (ECSS 2009)



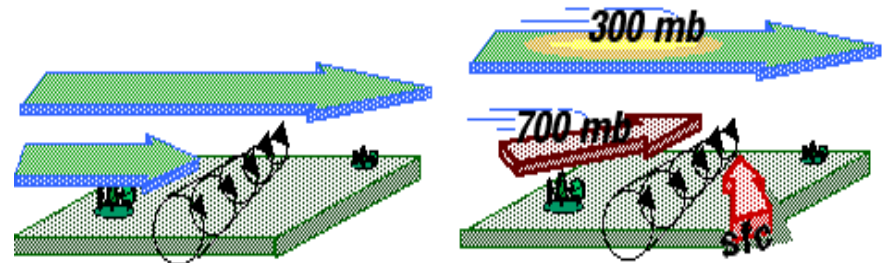
Eccel et al. (2011)

Mesocicloni e windshear

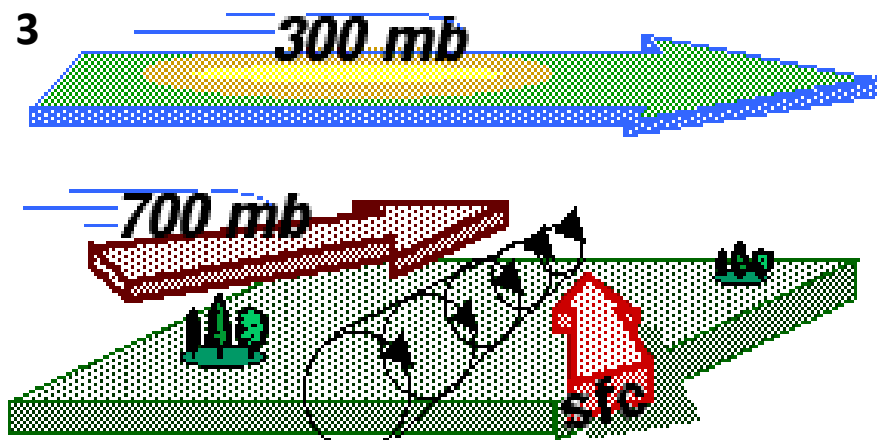
1



2

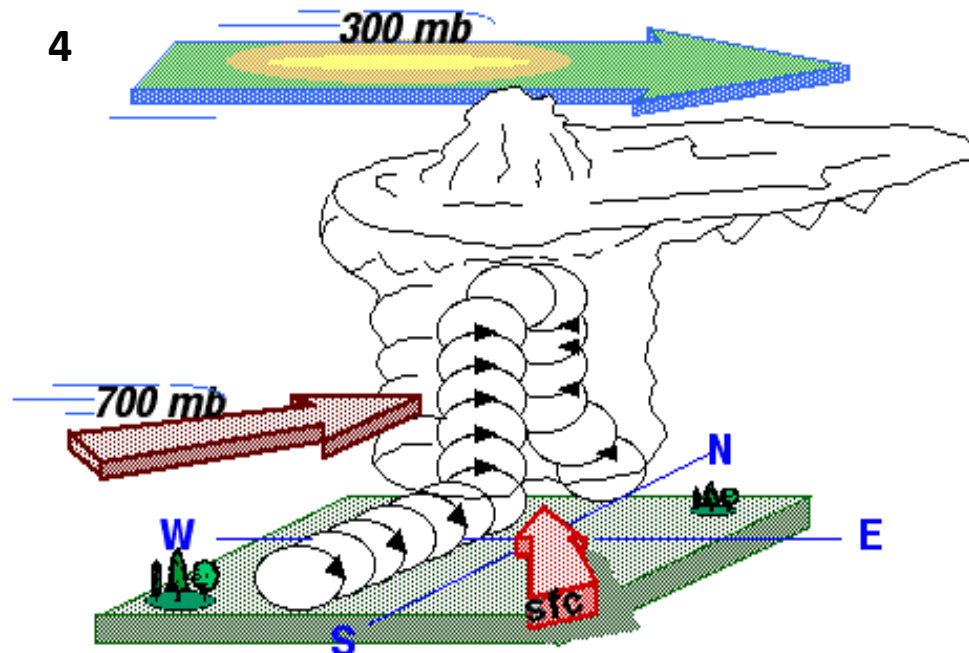


3



Speed+directional windshear= tubi di vorticità ad asse orizzontale

4

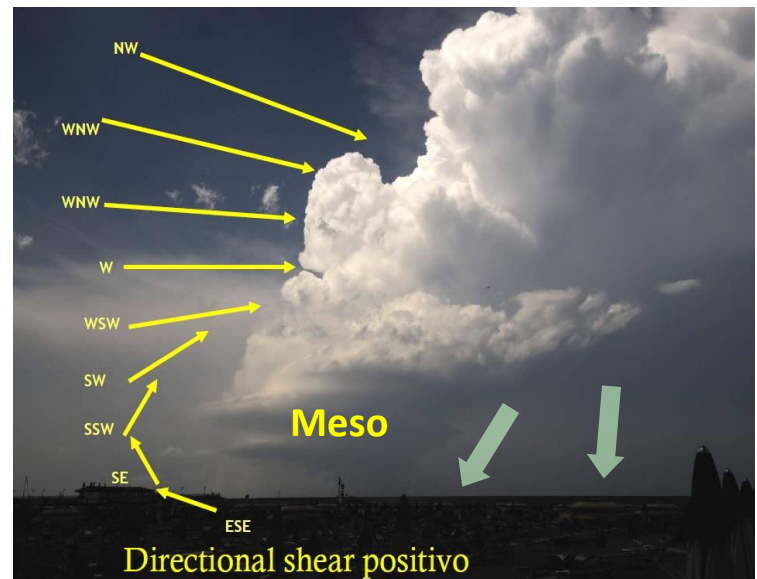
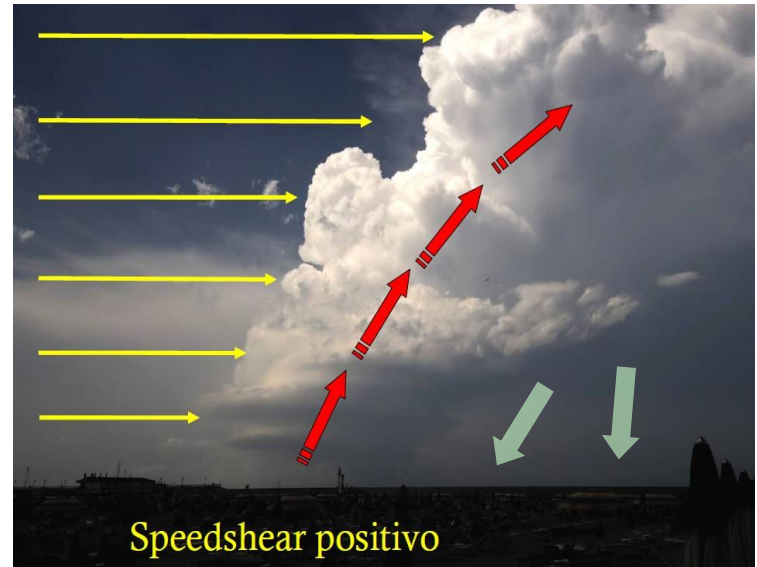
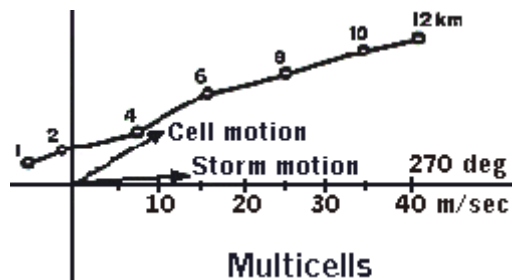
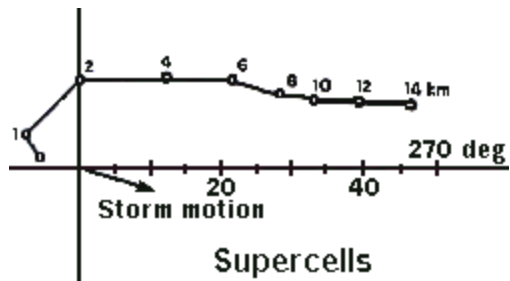


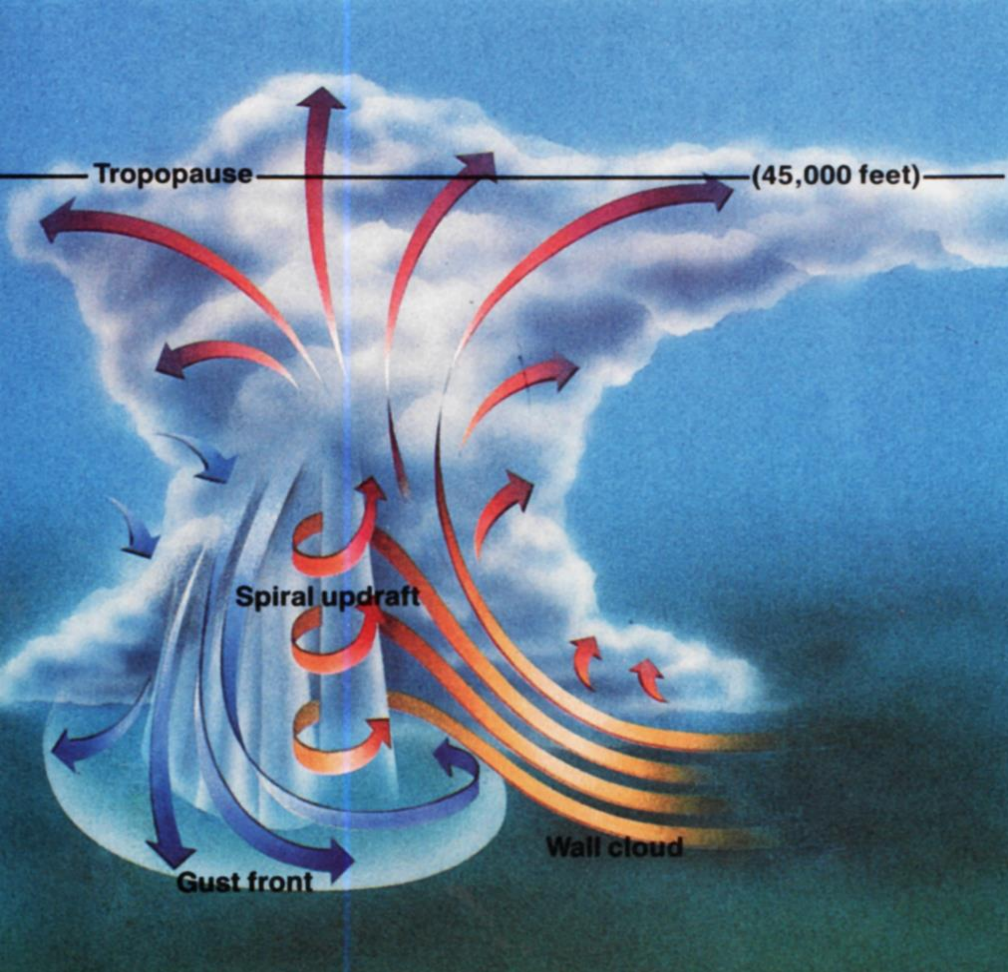
Tilting da convezione= da asse orizzontale ad asse verticale

SUPERCELLE

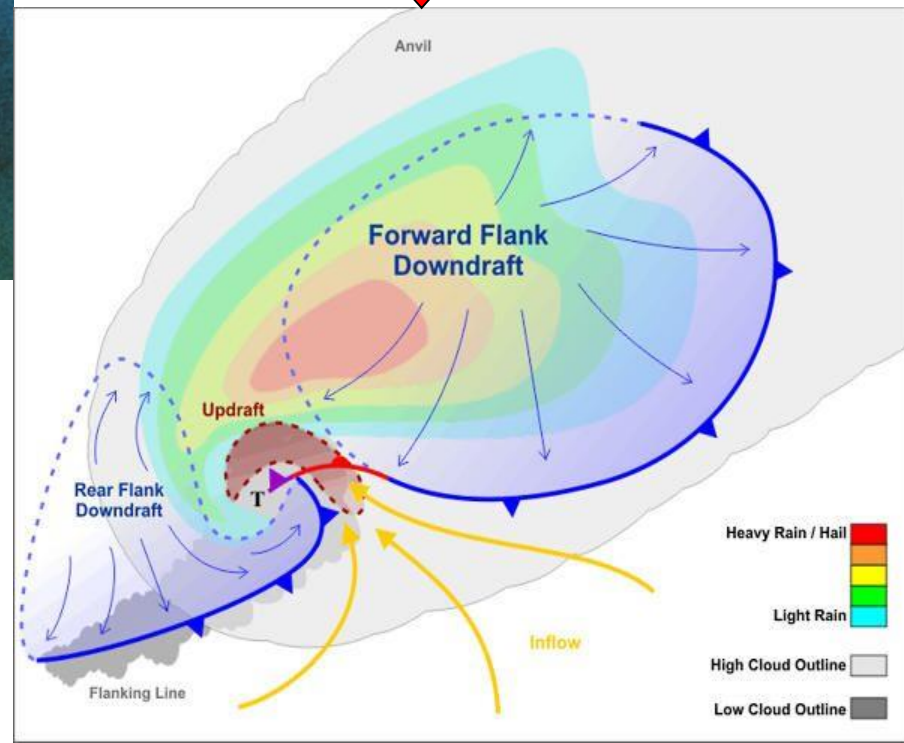
Cesenatico, 21 luglio 2008

- Non tutti i tipi di shear sono adatti: **ne serve a sufficienza per separare corrente ascendente e discendente, ma non troppo da ridurre la sinergia tra le due (altrimenti si formano multicelle).**



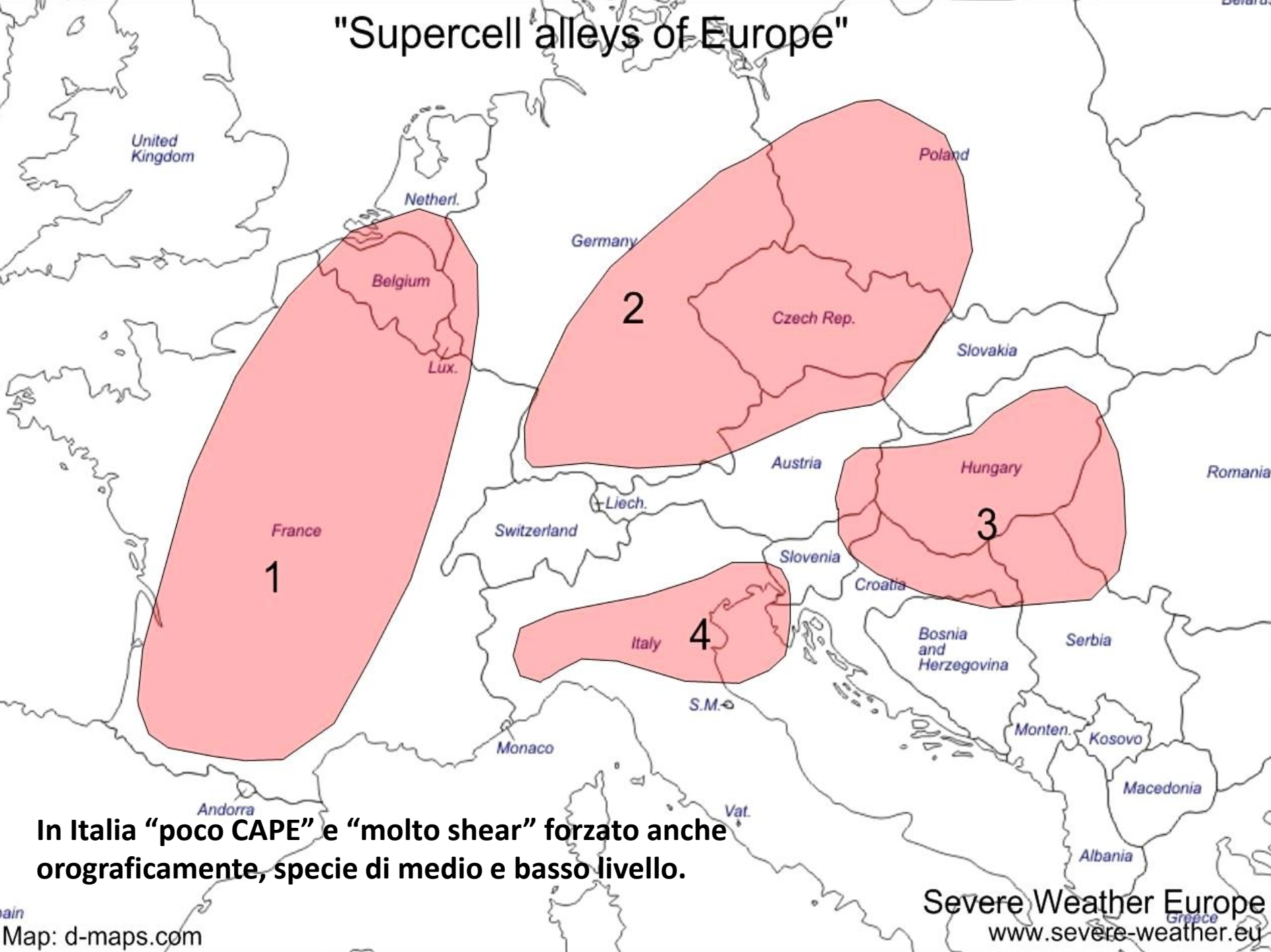


Il temporale a supercella ha una anatomia piuttosto complessa, con corrente calda e fredda che interagiscono ma non si ostacolano. In pratica si attuano le stesse dinamiche delle normali perturbazioni, ma su scala molto più piccola (mesoscala).



Il mesociclone nasce nella corrente calda dal tilting verso l'alto dei tubi di vorticità dovuti al windshear, ma è mantenuto dall'interazione tra la corrente calda ascensionale (frecce rosse) e quella fredda discendente (frecce blu)

"Supercell alleys of Europe"



In Italia "poco CAPE" e "molto shear" forzato anche orograficamente, specie di medio e basso livello.

Tornado

Vortice d'aria a forma di imbuto o cilindro che si sviluppa tra la base di una cella convettiva profonda (temporale) e il suolo o il mare (lago)

- 1) vortice d'aria verticale**
- 2) connessione alla cella temporalesca**
- 3) connessione al suolo (o all'acqua)**



(1+2+3)
Tornado
(tromba d'aria)




(1+3)
Vortice d'aria
connesso al suolo
(diavolo di polvere)



(2)
Nube a imbuto connessa
ad una cella
temporalesca (funnel)



(3)
Vortice d'aria non
connesso a cella
temporalesca

A large, dark, mesocyclonic tornado is seen over a town. The funnel is very wide and dark, extending from a high cloud base down to the ground. In the foreground, there is a paved area, a grassy field, and some buildings.

**S. Giorgio di
Piano (BO)**


Tornado mesociclonico 03/05/2013

Foto dall'ospedale di Bentivoglio di Simona Elena Cioinac

A mesocyclonic tornado is seen over a road. The funnel is dark and extends from a high cloud base down to the ground. In the foreground, there is a road with a car and some utility poles.

Nonantola (MO)

Tornado mesociclonico 30/04/2014

A landspout is seen over a house. The funnel is narrow and extends from a high cloud base down to the ground. In the foreground, there is a house and some trees.

**Landspout (tornado non mesociclonico)
23/09/2015 Vada (LI)**

A waterspout is seen over a field. The funnel is narrow and extends from a high cloud base down to the ground. In the foreground, there is a field and some buildings.

Waterspout Valli di Comacchio 21/05/2015

Tornado:



Sono il risultato dell'intensificazione di vorticità pre-esistente. La vorticità è molto diffusa, basta "solo" trovare il meccanismo per "metterla assieme".

$$\frac{d}{dt}(\zeta + f) = -(\zeta + f) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \eta - \frac{\partial w}{\partial x} \chi \right) + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial y} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial \alpha}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + Fr$$



vortice

=



ballerina

+



motociclista

+



insalata

+



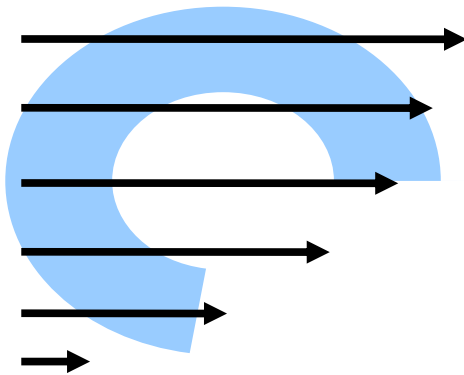
dissipazione

Tornado:

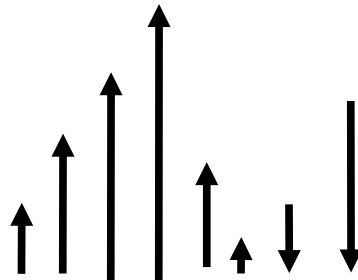
I meccanismi che portano alla formazione o intensificazione dei vortici sono solo tre

Il meccanismo del **motociclista** e della **ballerina** necessitano di **vortici pre-esistenti**
Questi due meccanismi necessitano anche di **variazioni nelle velocità verticali**

Il meccanismo dell'**insalata** necessita di **differenze nella densità** (temperatura)



Vortici pre-esistenti
(anche orizzontali)



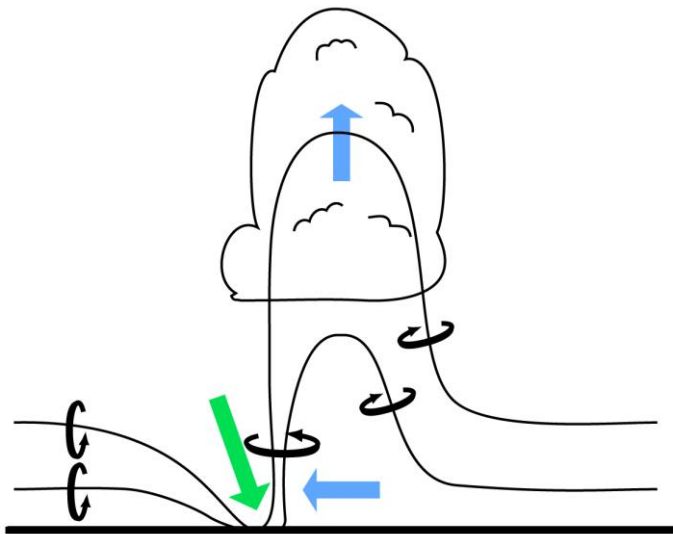
Cambiamenti nelle
velocità verticali



Differenze nella
temperatura

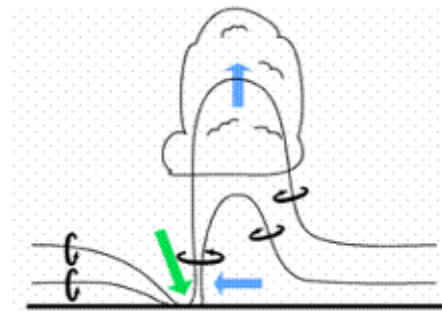
Tornado:

Nei mesocicloni i “tubi di vorticità” si intensificano per il meccanismo del motociclista e della ballerina (“strizzati” dalla corrente discendente-RFD)



Vortici pre-esistenti (anche orizzontali)

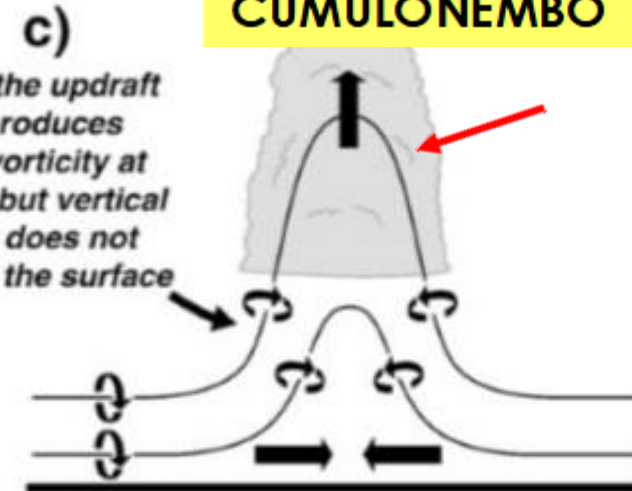
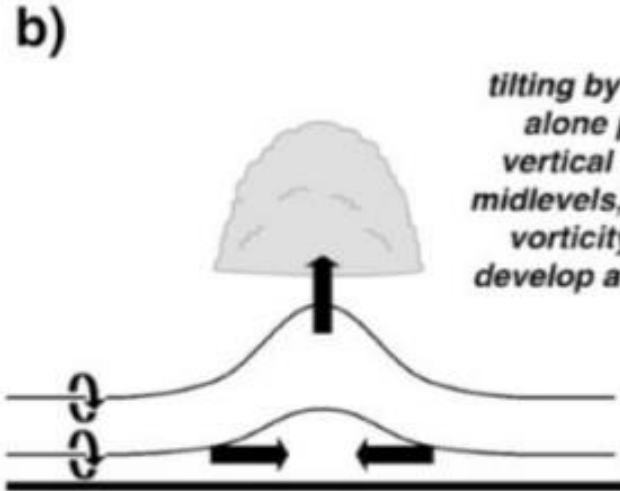
Cambiamenti nelle velocità verticali



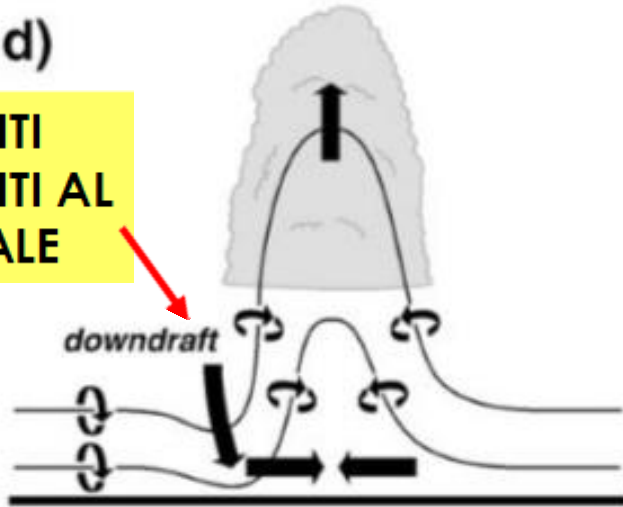
Cortesia Paul Markovski

**CORRENTE
ASCENDENTE AL
CUMULONEMBO**

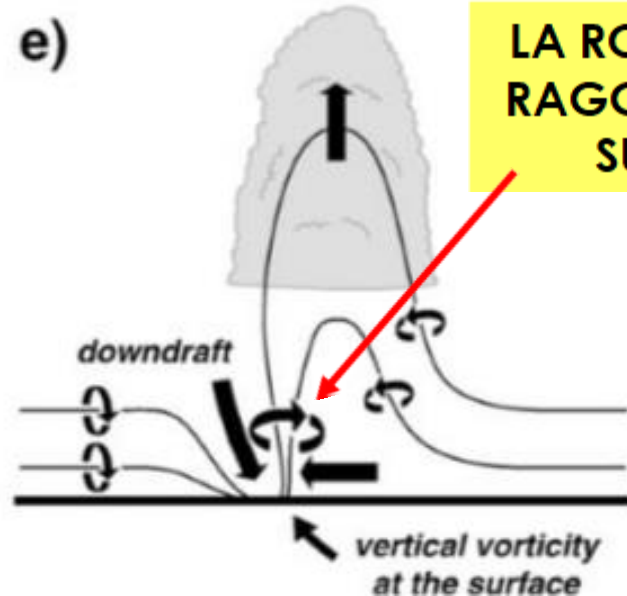
**a) FORMAZIONE
DI ROTORI
ORIZZONTALI**



**d) CORRENTI
DISCENDENTI AL
TEMPORALE**

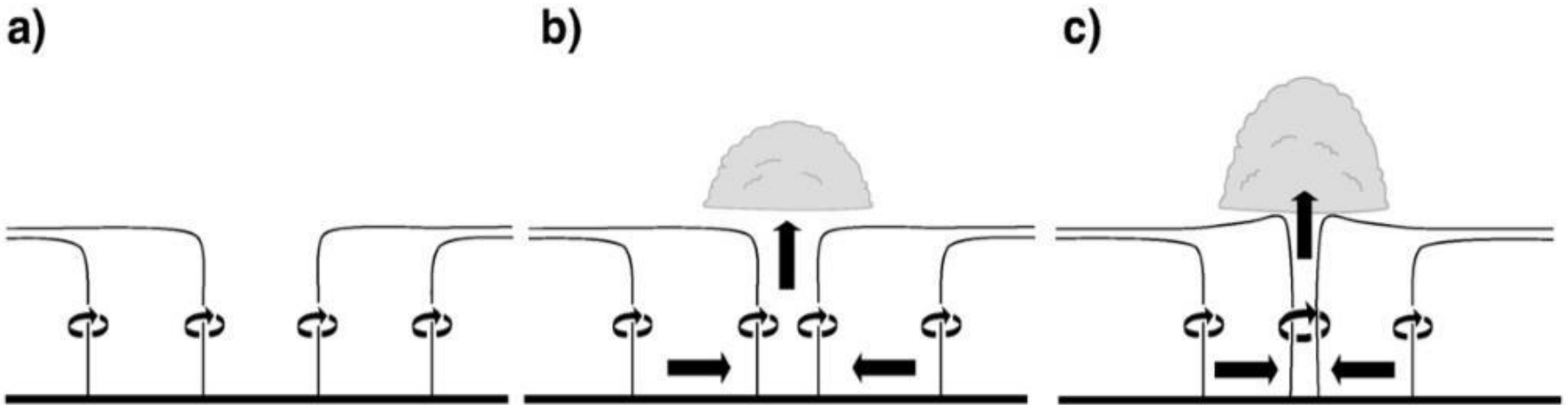


**e) LA ROTAZIONE
RAGGIUNGE IL
SUOLO**

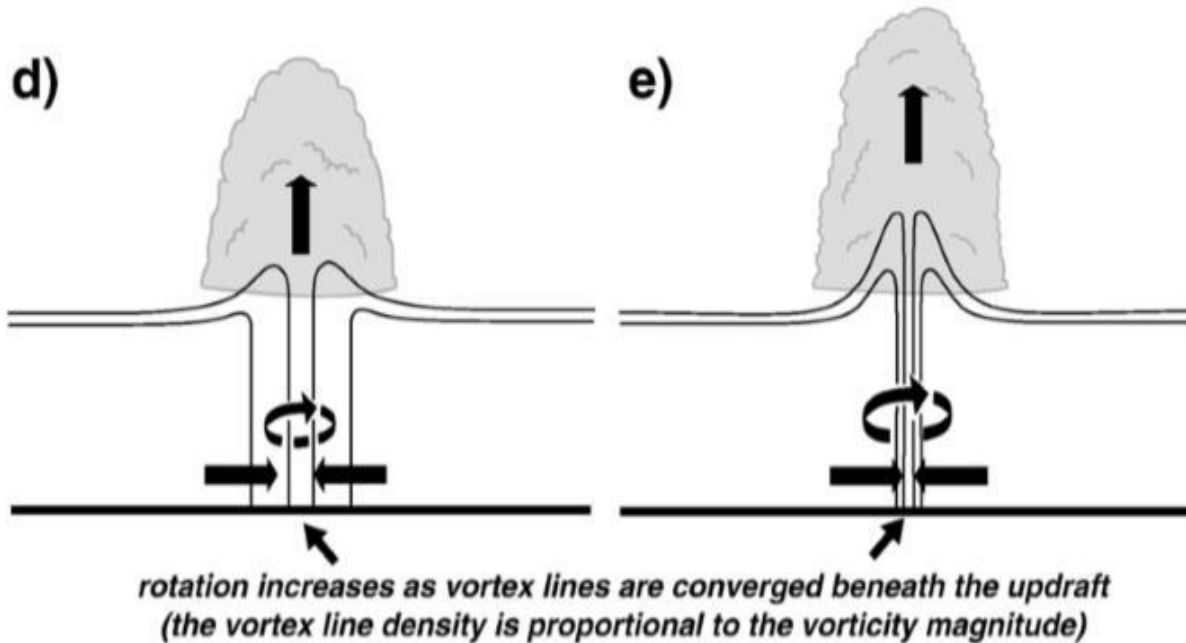


Ruolo windhear "speed"

Ruolo windhear "directional": più importante nei bassi strati



Non è necessaria la corrente discendente come nel caso di "speed" (es. congesti e waterspout)

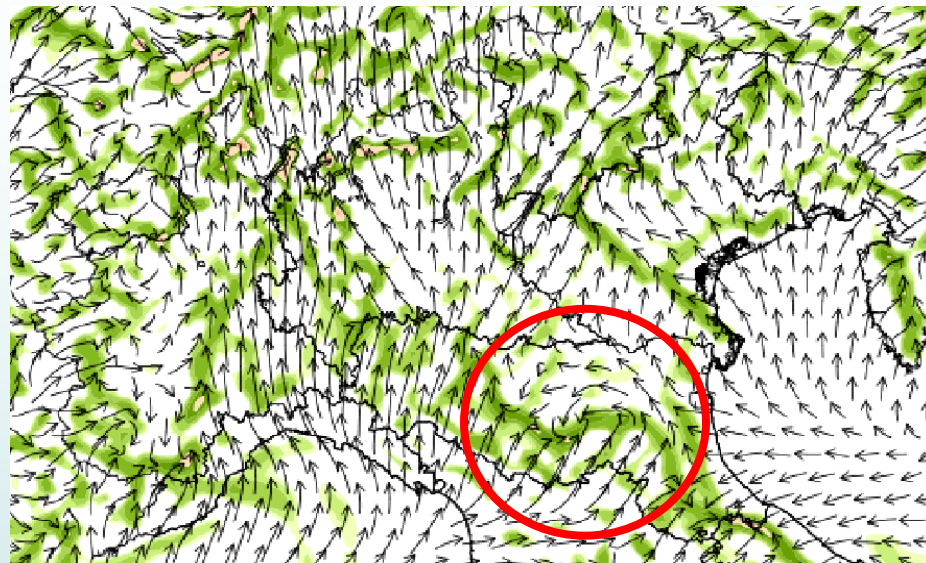


In questo caso si sviluppano rotori verticali nella bassa troposfera. Lo sviluppo di una torre convettiva può avvicinare i rotori sotto la base di aspirazione del cumulonembo ed intensificare le loro velocità ascendenti, fino a produrre anche in questo caso fenomeni tornadici.

Nella realtà si hanno molte sfumature con varie accoppiate di windshear direzionale ed in velocità, e quasi mai solo uno o l'altro.

ITALIA SUPERCELLE E TORNADO

- Nel nostro paese in genere l'instabilità termodinamica (**CAPE**) non è generalmente così importante come negli altri paesi (USA e Europa continentale), più affine a Grecia e Inghilterra.
- Sempre in Italia la complessa orografia (Alpi, Appennino, profili costieri) tende a modulare e forzare sensibilmente lo shear di basso livello, con incremento dei parametri di elicità 0-1 km e/o 0-3 km, ritenuti importanti nella tornadogenesi.



03/05/2013



ITALIA SUPERCELLE E TORNADO

- Le condizioni di windshear e CAPE non sono le stesse sulle varie zone del pianeta.
- Ad esempio nella Tornado Alley (USA) abbondano shear e CAPE con fenomeni spesso molto violenti.
- In Italia le condizioni sono diverse: più spesso molto shear e poco CAPE

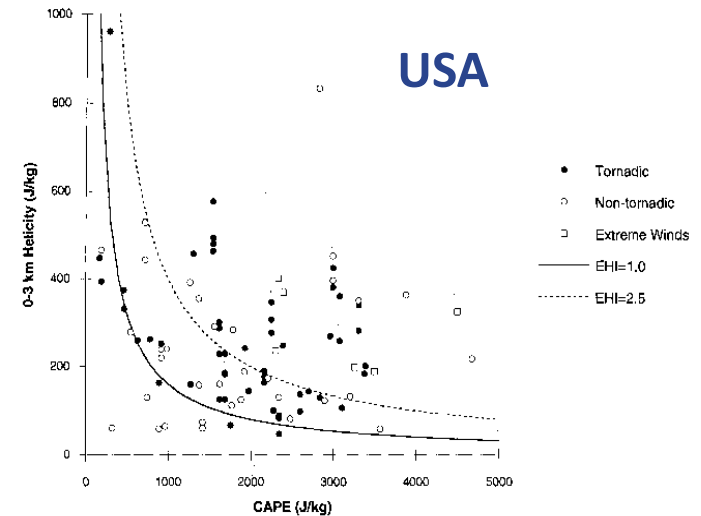
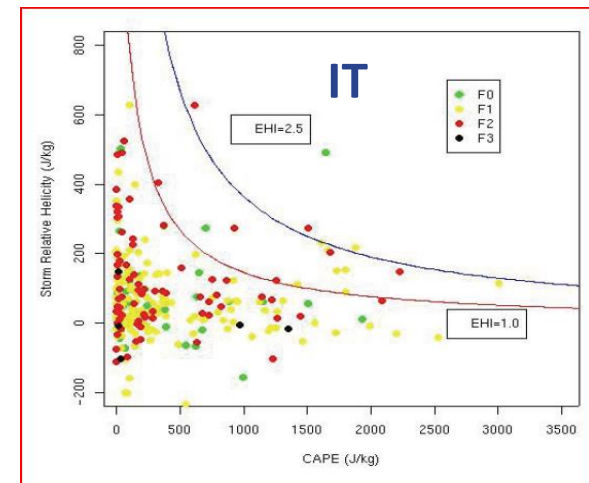
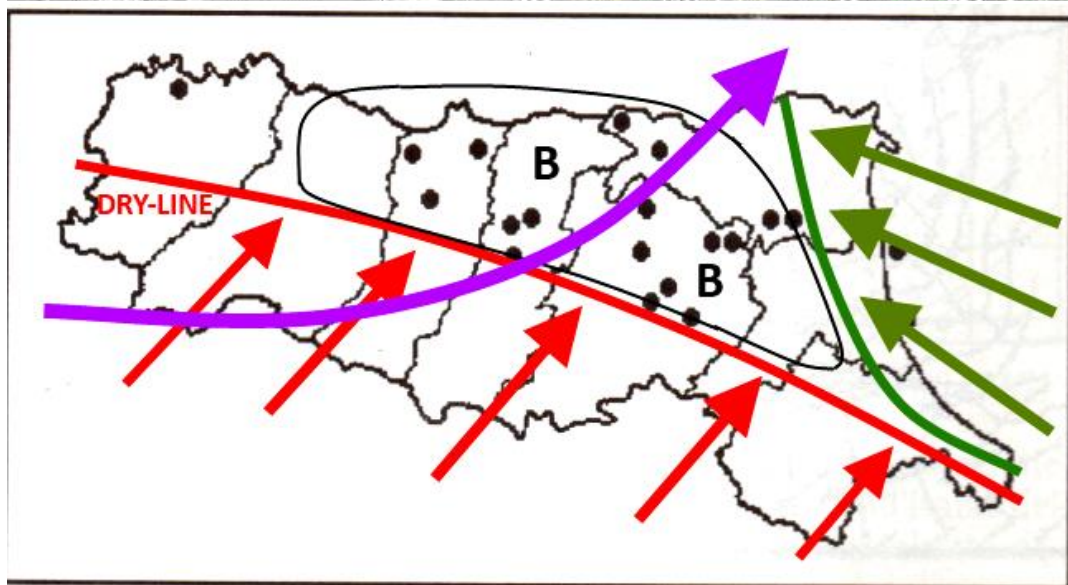
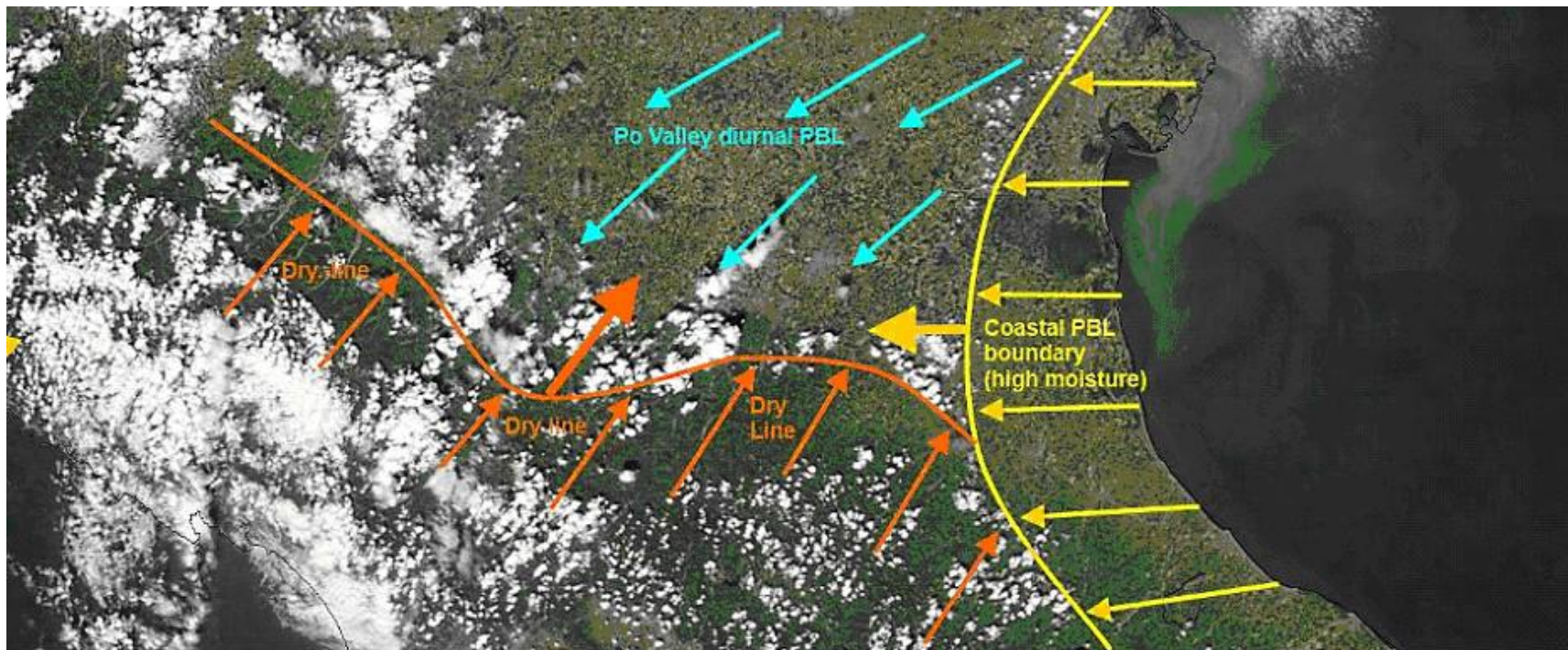





FIG. 5. CAPE and 0-3-km helicity values (both in $J\ kg^{-1}$) for proximity soundings. Energy-helicity index (EHI) isopleths of 1.0 and 2.5 are indicated by solid and dashed lines, respectively.





-  Aria caldo-umida marittima (bassi strati)
-  Aria calda e secca (fohn con dry-line bassi strati)
-  Corrente a getto (alta quota)

“Emilia Alley”

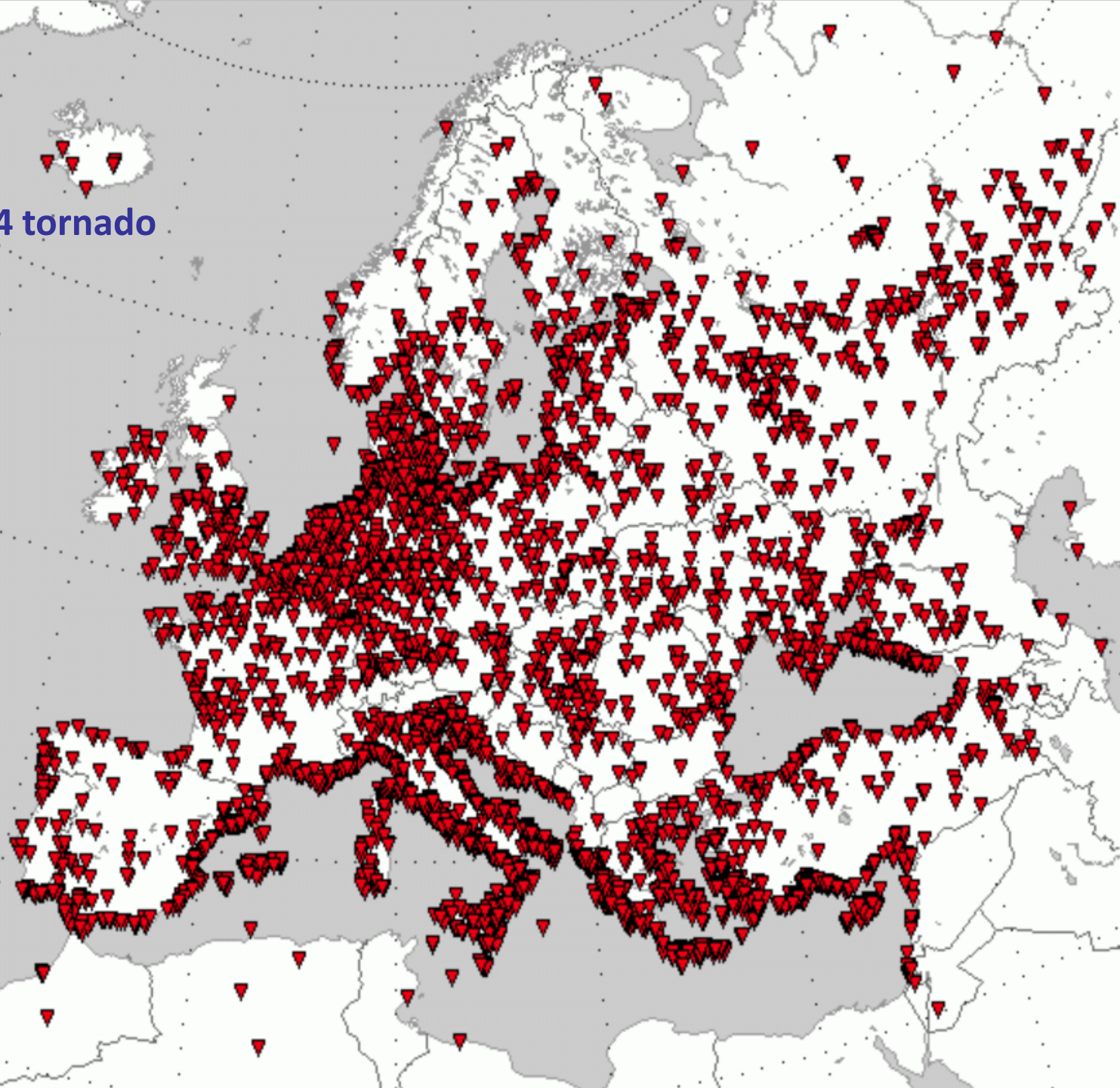
Fig. 1 - Trombe d'aria verificatesi in Emilia-Romagna nel periodo 1984-1995.

2010-2018: 4754 tornado

© 2019-09-19 18:48:03



European Severe
Weather Database
www.eswd.eu
(c) ESSL

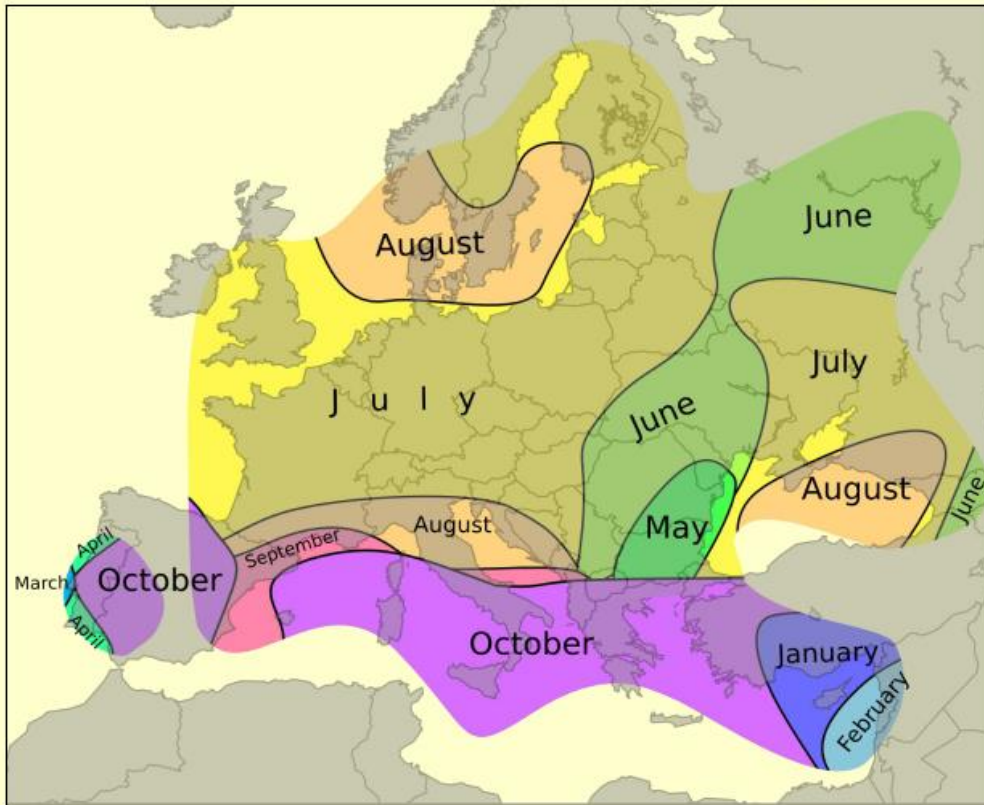




2010-2018: 732 tornado

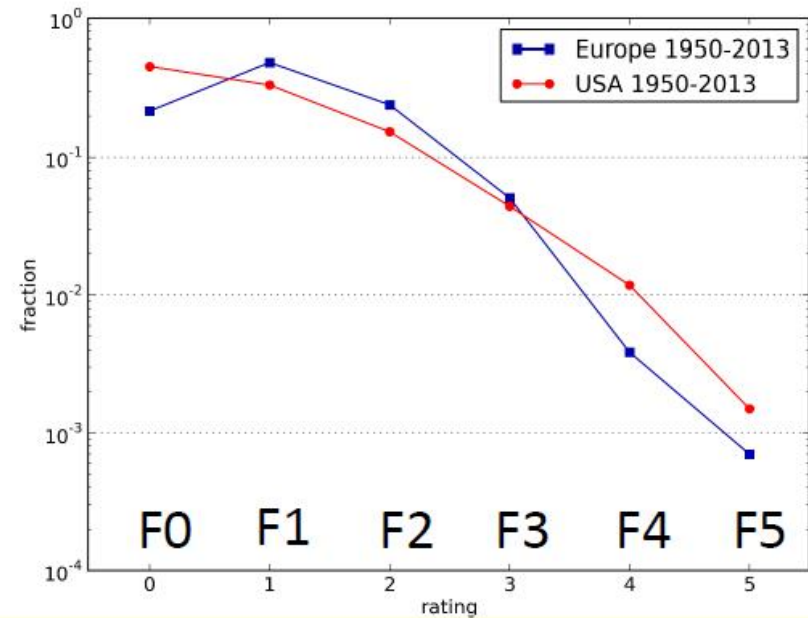
Diverse scale di severità tra USA ed Europa

Month of maximum tornado activity



Stagionalità

Tornado intensity distribution



Classi di intensità scala F

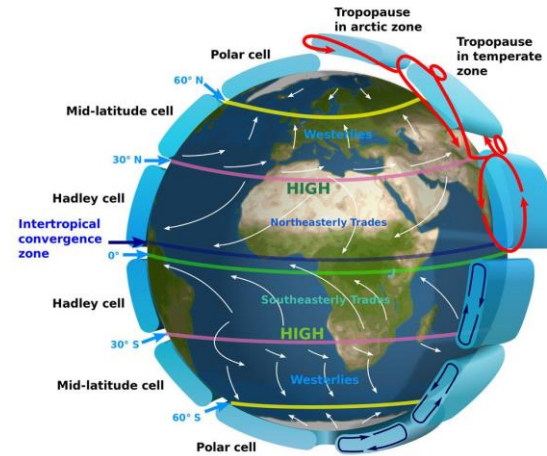
Tornado in aumento?

- ✓ Non è possibile fornire una risposta certa. Non esistono osservazioni su di un periodo sufficientemente lungo.
- ✓ L'apparente maggior frequenza di tornado può essere condizionata dai mezzi che la tecnologia ci mette oggi a disposizione (radar, cam, chasers, etc.), o dai mezzi di informazione che spesso scambiano per tornado fenomeni che non lo sono (ma questo accadeva anche in passato).
- ✓ Tuttavia diversi studi ed analisi relative al tema del climate change, mettono in evidenza la probabilità che rimanga sostanzialmente stabile la frequenza di tornado, ma che aumentino quelli violenti (grado EF 2-3 o superiore).



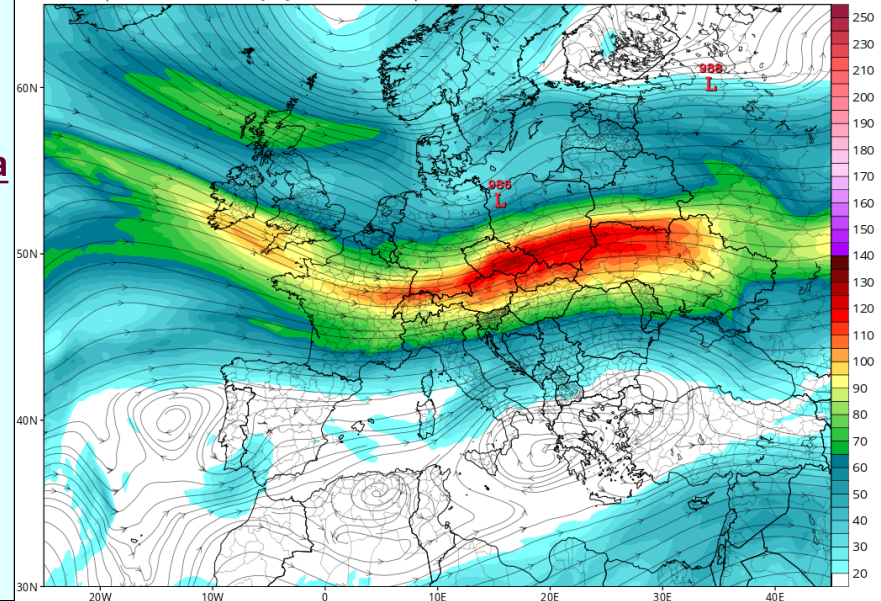
Tropicalizzazione del clima?

- ✓ **No.**
- ✓ Il tornado non è un fenomeno tipico delle zone tropicali.
- ✓ I tornado, specie quelli mesociclonici, **sono una caratteristica delle medie latitudini.**
- ✓ E' infatti a queste latitudini che si possono combinare quei fattori che portano alla formazione di una supercella, a cominciare dal più importante, **ovvero l'esistenza a breve distanza tra masse d'aria diversa, una calda, sia di tipo umido che di tipo secco, ed un'altra più fredda; aggiungendo inoltre gli effetti del passaggio del jet-stream alle alte quote.**
- ✓ Ai tropici, per definizione, **non c'è la massa d'aria fredda che permetta quel livello di shear del vento grazie al quale una corrente ascensionale possa ruotare su sé stessa,** anche se non si può escludere l'innescarsi di qualche tornado (non mesociclonico).



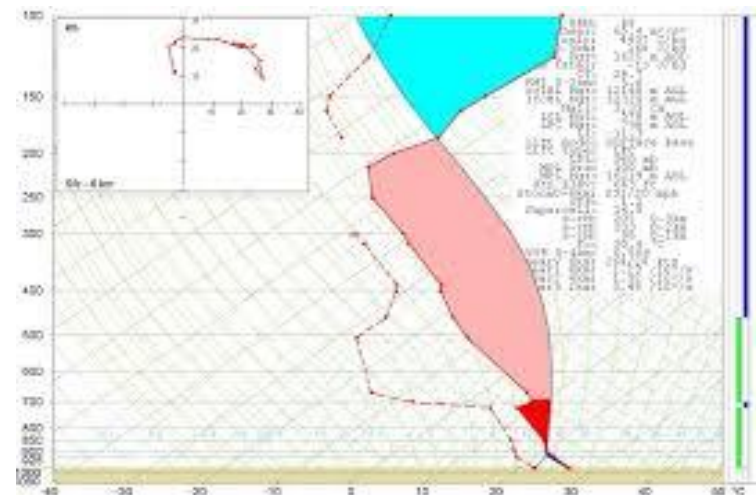
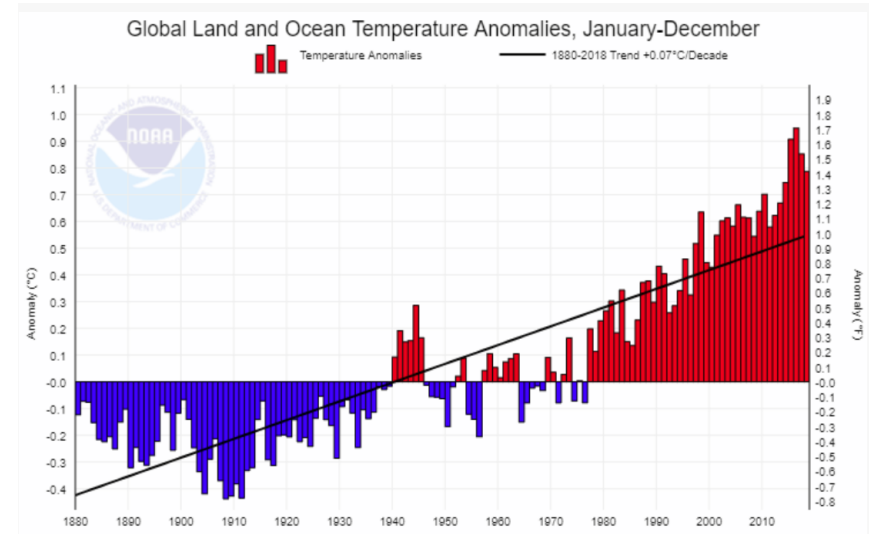
GFS 250mb Wind Speed/Streamlines (kt) & MSLP Extrema (mb)
Init: 12z Sep 19 2019 Forecast Hour: [252] valid at 00z Mon, Sep 30 2019

TROPICALTIDBITS.COM



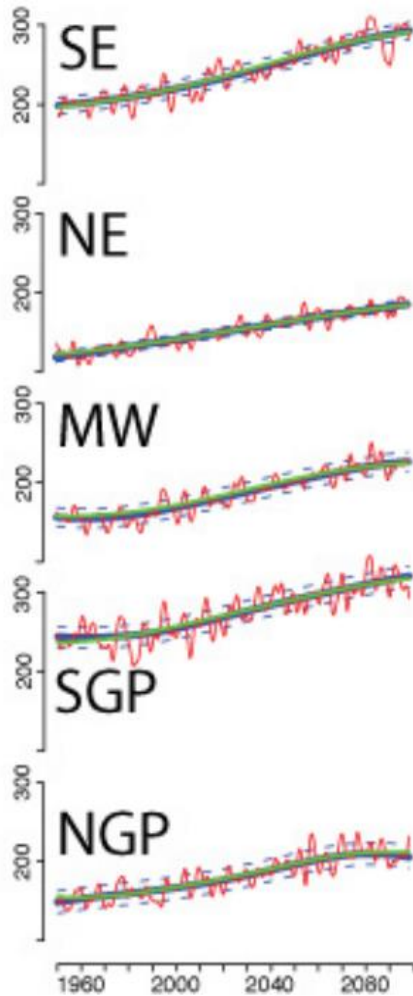
Global warming e severe weather

- Gli scenari climatici di lungo periodo concordano nell'indicare, nei prossimi 100 anni, un ulteriore aumento della temperatura media ed un innalzamento in latitudine della fascia anticiclonica subtropicale.
- Ciò si tradurrebbe in una maggiore quantità di energia termica disponibile (es. CAPE) ed in una minore quantità di windshear.
- La combinazione tra i due effetti, potrebbe comunque incrementare il potenziale per tempeste severe.

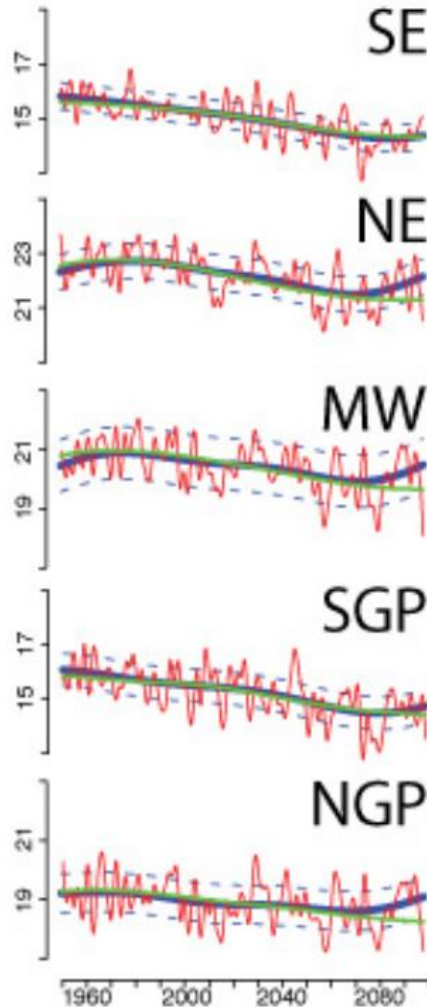


Cosa potrà accadere se si riscaldano in eccesso i bassi strati?

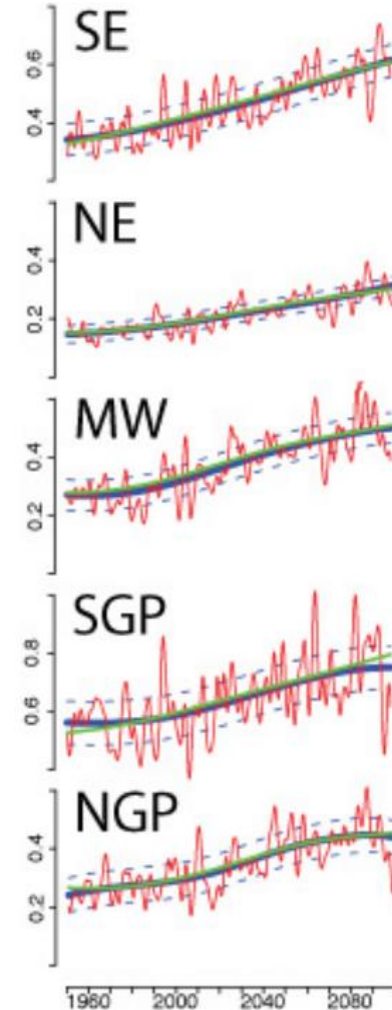
Updraft

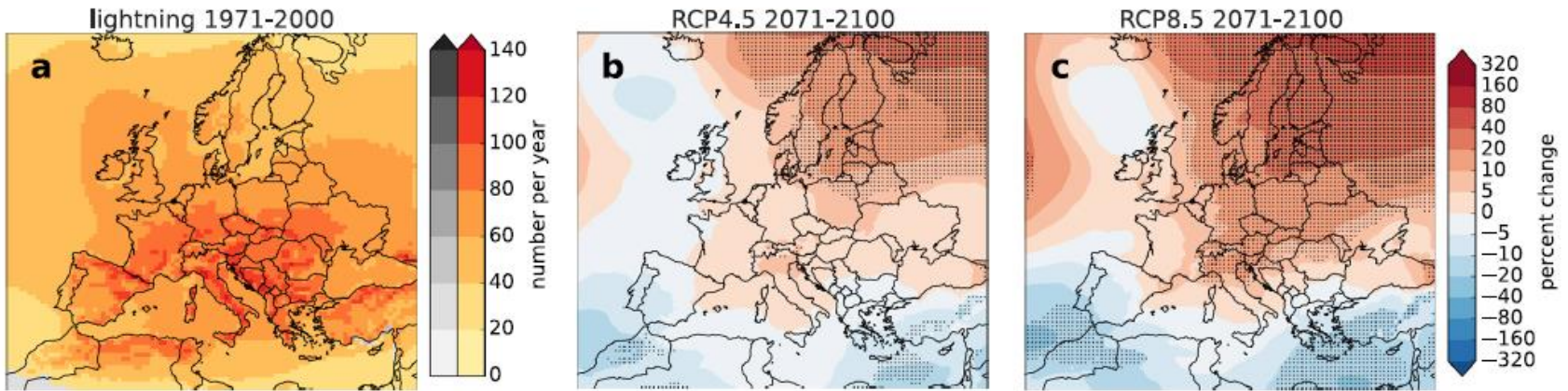


Shear

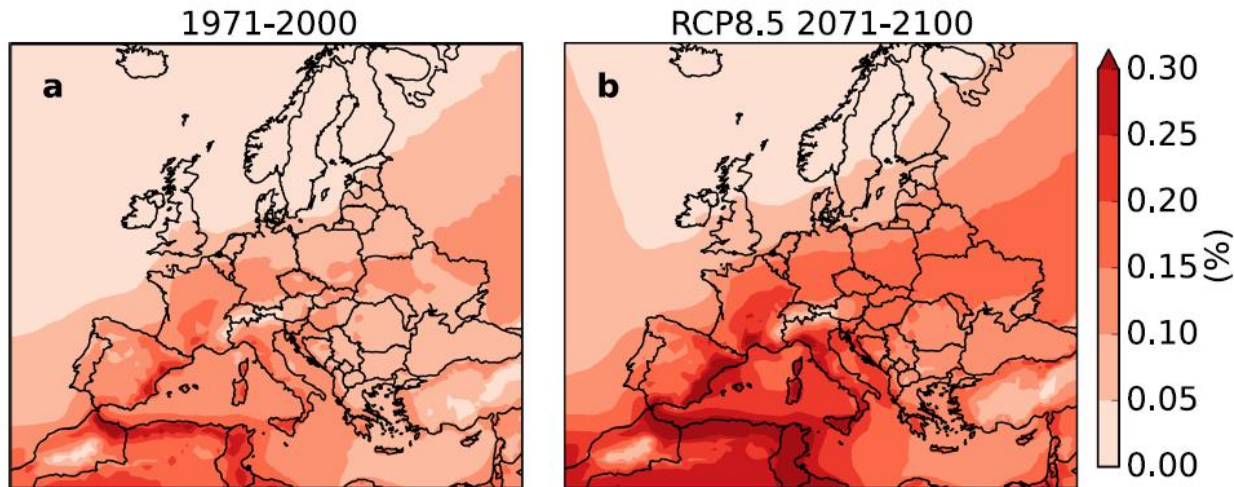


Combination





Densità ceraonica del periodo storico (1971–2000) e percentuale di variazione alla fine del secolo (2071–2100) sulla base di scenari b RCP4.5 ec c RCP8.5. Le tendenze in b, c sono ritenute molto confidenti dove la variazione è maggiore di due volt) la deviazione standard iniziale dell'ensemble del modello adottato.

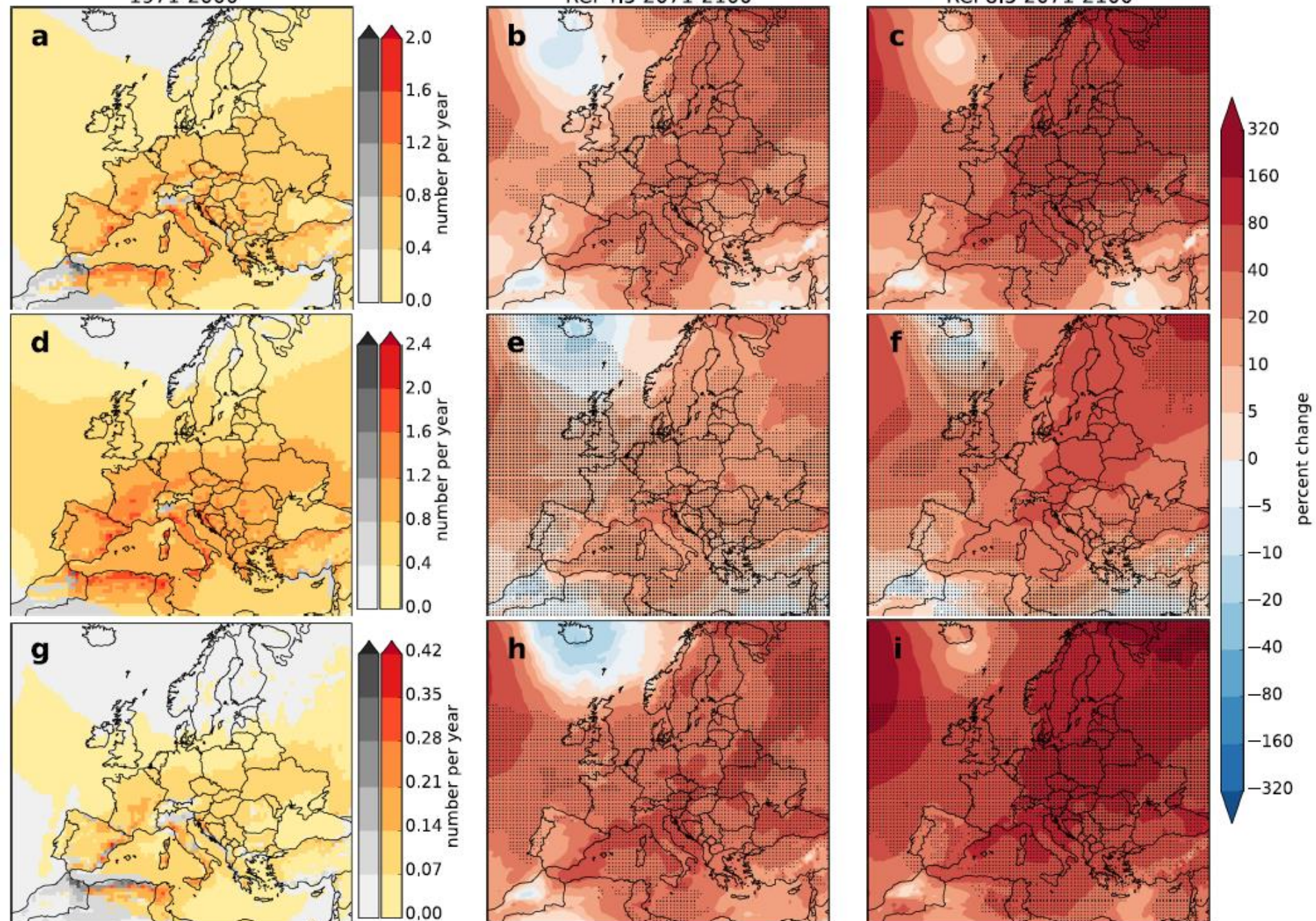


Percentage of lightning cases with hail ≥ 5 cm for a 1971–2000 and b RCP8.5 2071–2100

1971-2000

RCP4.5 2071-2100

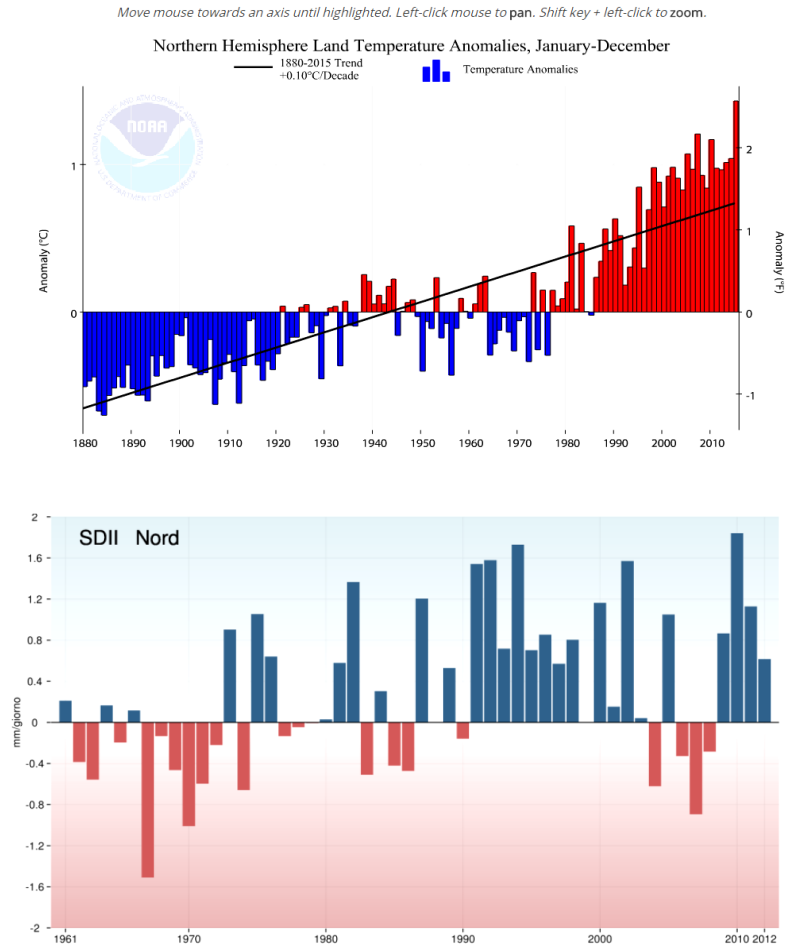
RCP8.5 2071-2100



2 As in Fig. 1, but for a-c hail ≥ 2 cm, d-f wind gusts ≥ 25 m/s, and g-i hail ≥ 5 cm

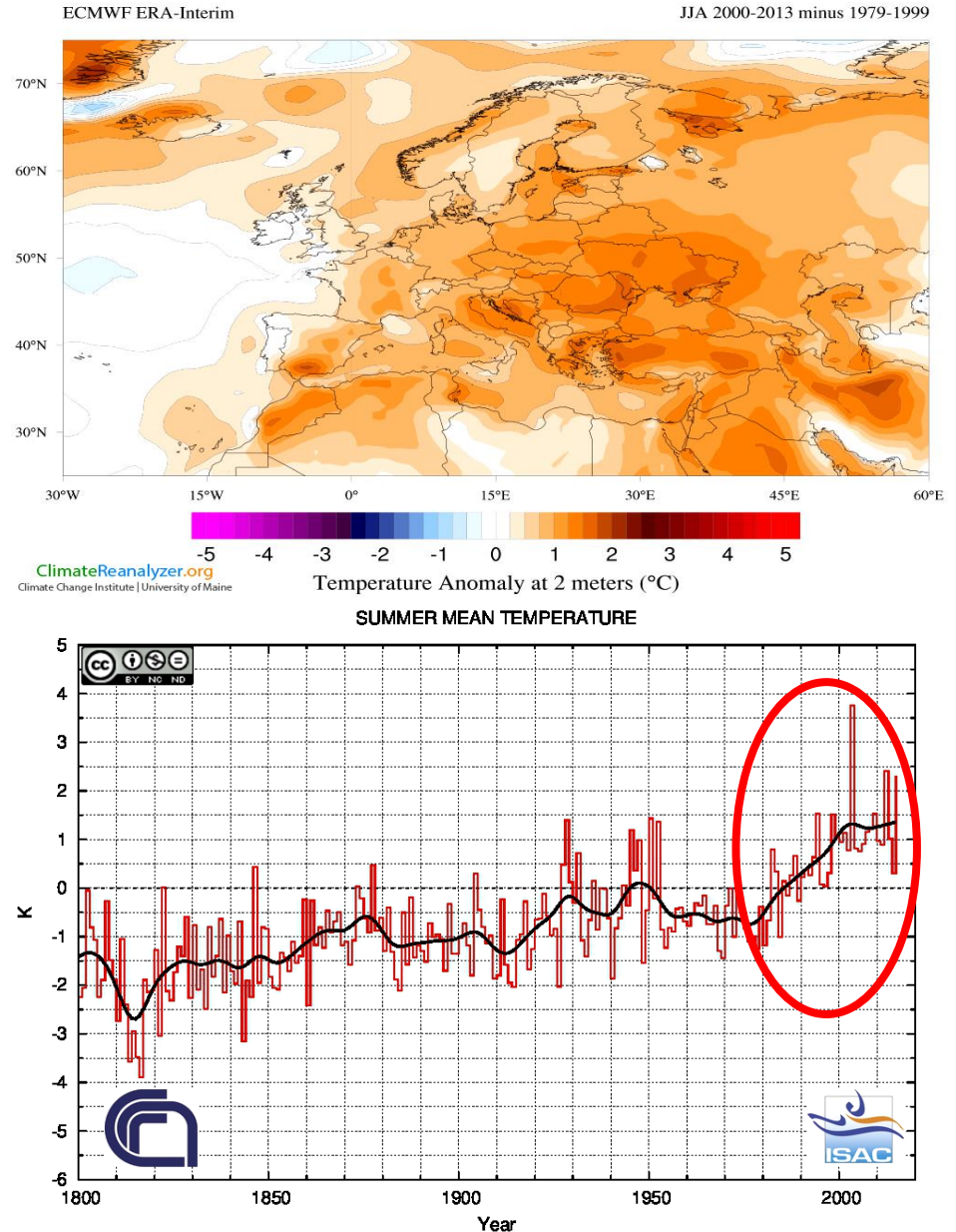
In sintesi....

- Tra gli effetti del climate change, uno dei tanti che ci riguardano assai da vicino è quello legato al verificarsi di **precipitazioni estremamente violente nell'unità di tempo (ore), su aree territorialmente molto ristrette (mesoscala), e non necessariamente nella stagione "calda".**
- Quindi eventi alluvionali che interessano non più ampi bacini o molti bacini, **ma singoli bacini o addirittura parti di uno stesso bacino, che tra l'altro sono estremamente difficili da prevedere se non con qualche ora di anticipo (e non sempre).**
- Siccome i modelli di clima mostrano un segnale piuttosto forte sul futuro incremento di questo tipo di fenomeni, reti osservative ben gestite e con copertura il più capillare possibile, dovranno rappresentare un punto fermo anche a scopo di protezione civile.
- **Per il "piccolo" servono tanti "occhi" e con "vista" perfetta.**



In sintesi....

- La stagione “calda” (mag-set), che si sta dimostrando la più sensibile in tema di incremento delle temperature, sta subendo una sempre maggiore frequenza ed intensità di onde di calore sub-tropicali, con valori medi di CAPE più elevati rispetto al passato.
- E se da un lato abbiamo appurato che il **CAPE** non è l'elemento essenziale per determinare rotazione, dall'altro è pur vero che favorisce convezione profonda e prolungata in grado di incrementare il tilting e lo stretching verso l'alto dei tubi di vorticità.
- **Ecco perché estati sempre più calde potranno avere un importante ruolo nell'accrescere sensibilmente l'incidenza di tempeste severe a causa del passaggio da un mix “poco CAPE molto SHEAR” ad un mix “molto CAPE molto SHEAR”.**





Associazione
AMPRO
Meteo Professionisti



**GRAZIE per
l'attenzione**



Associazione
AMPRO
Meteo Professionisti