



festival
meteorologia

Grandinate estreme in Pianura Padana
*"l'estate 2021 e possibili scenari da impatto dei
cambiamenti climatici"*



Associazione
AMPRO
Meteo Professionisti



PRETEMP.it
PREvisioni TEMPorali

P. RANDI

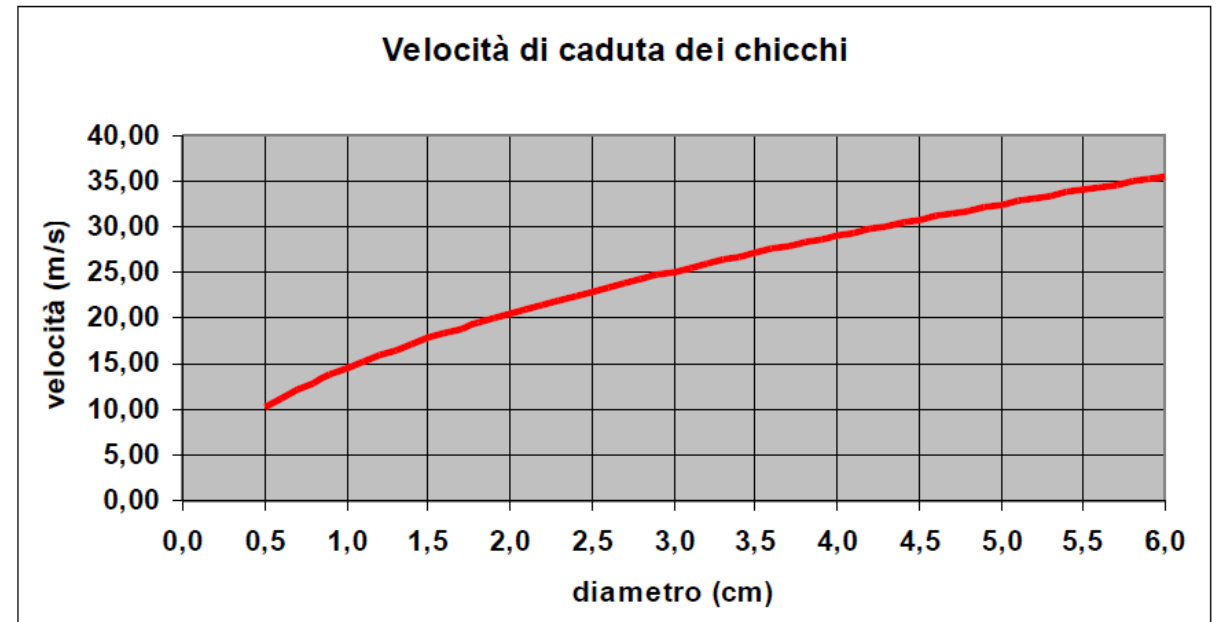
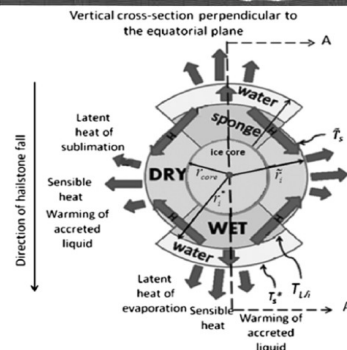
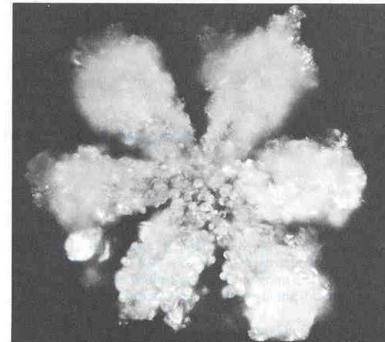
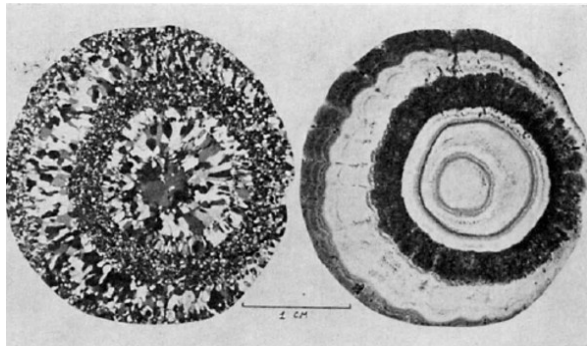
TM DEKRA

METEOCENTER s.r.l.

LA GRANDINE

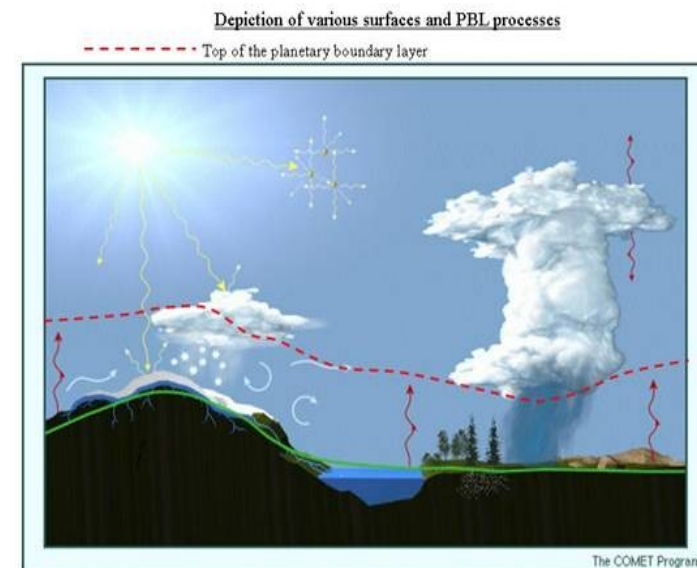
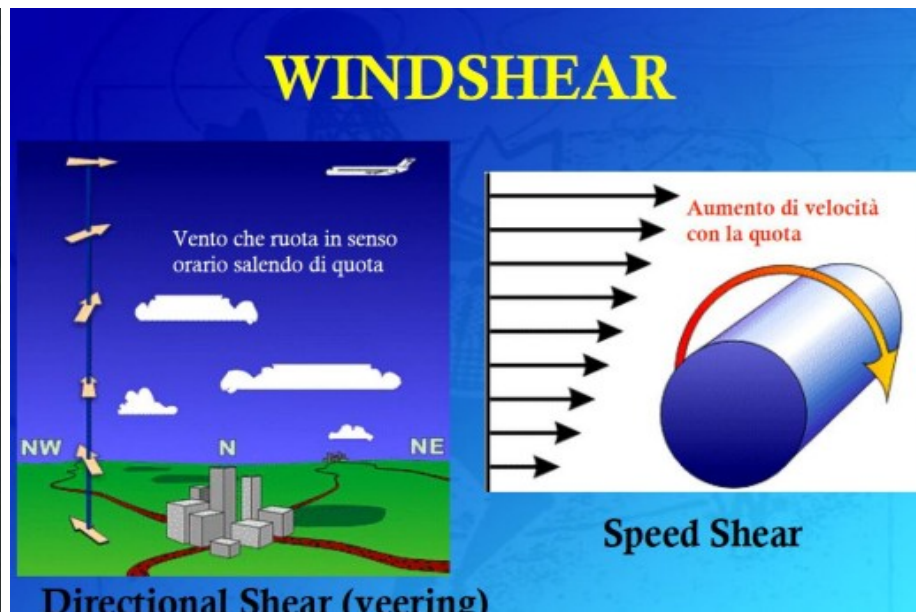
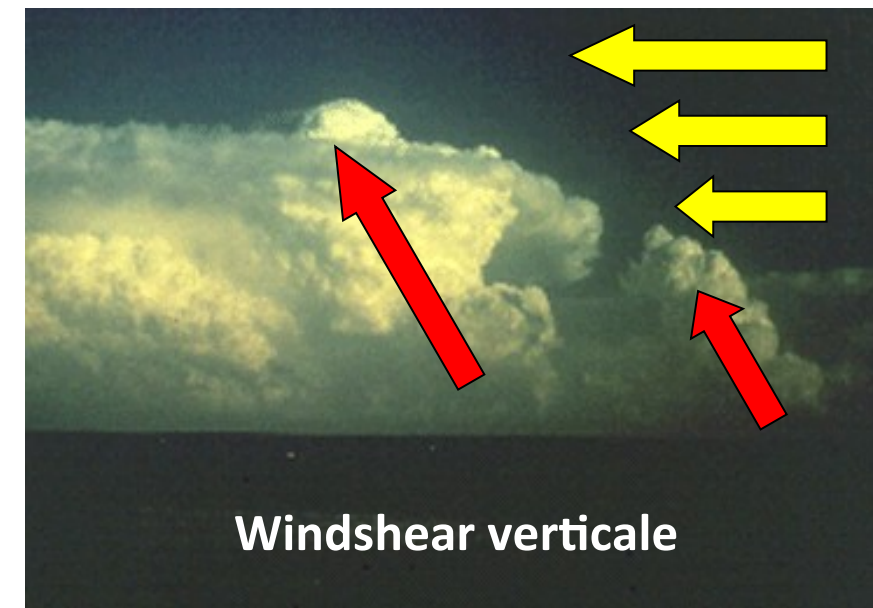
✓ Sferoidi o blocchi di ghiaccio irregolari

- ✓ Diametro di **5 mm** o più (WMO).
- ✓ **Di grandi dimensioni hanno punte e lobi; densità $> 0,8 \text{ g/cm}^3$.**
- ✓ **Aumenta di dimensioni per accrescimento/ accrezione tramite acqua sopraffusa.**
- ✓ Struttura interna con strati di ghiaccio opaco contenenti molte bolle d'aria (**crescita secca**) alternati a strati di ghiaccio trasparente (**crescita umida**).



COME SI FORMA

- ✓ Importante la dinamica nelle nubi, specie per i moti verticali, ma sono fondamentali i processi microfisici.
- ✓ Ingredienti:
- ✓ **Intensi moti ascendenti** (CAPE), **non perfettamente verticali** ma inclinati (windshear); infatti la grandine è un fenomeno tipico delle medie latitudini dove il **gradiente termico tra aria polare e sub-tropicale è alto** (baroclinicità).
- ✓ **Abbondante vapore acqueo nei bassi strati e concentrato entro il PBL**



COME SI FORMA

✓ Acqua: elevata tensione superficiale; sfavoriti i cambiamenti di stato.

✓ Il vapore "fa fatica" a diventare liquido; l'acqua liquida "fa fatica" a diventare ghiaccio.

✓ Pochi nuclei di solidificazione o quiete: acqua **sopraffusa**.

✓ Nelle nubi:

✓ $-15^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$: acqua sopraffusa (goccioline)

✓ $-40^{\circ}\text{C} < T < -15^{\circ}\text{C}$: acqua sopraffusa (goccioline) e cristalli di ghiaccio

✓ $T < -40^{\circ}\text{C}$ cristalli di ghiaccio.

✓ Stato di sopraffusione = **metastabile**: brusche variazioni di pressione, onde d'urto, portano in tempi brevissimi l'acqua allo stato solido (producendo CL di solidificazione).

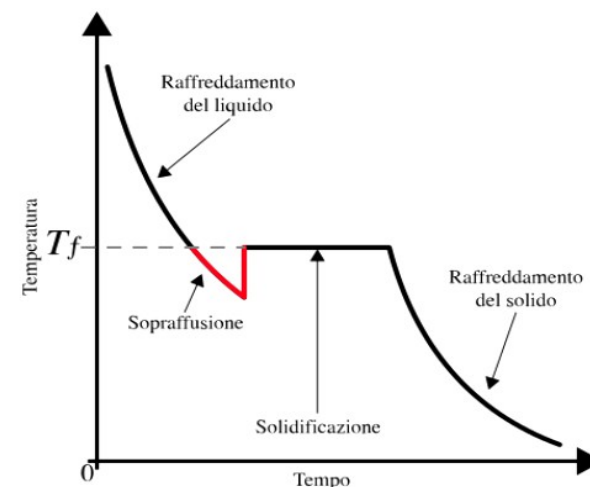
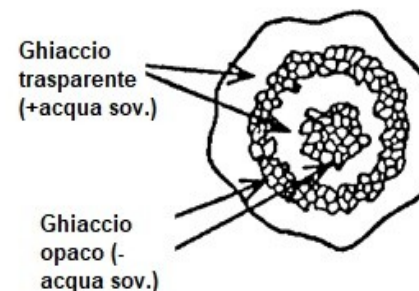
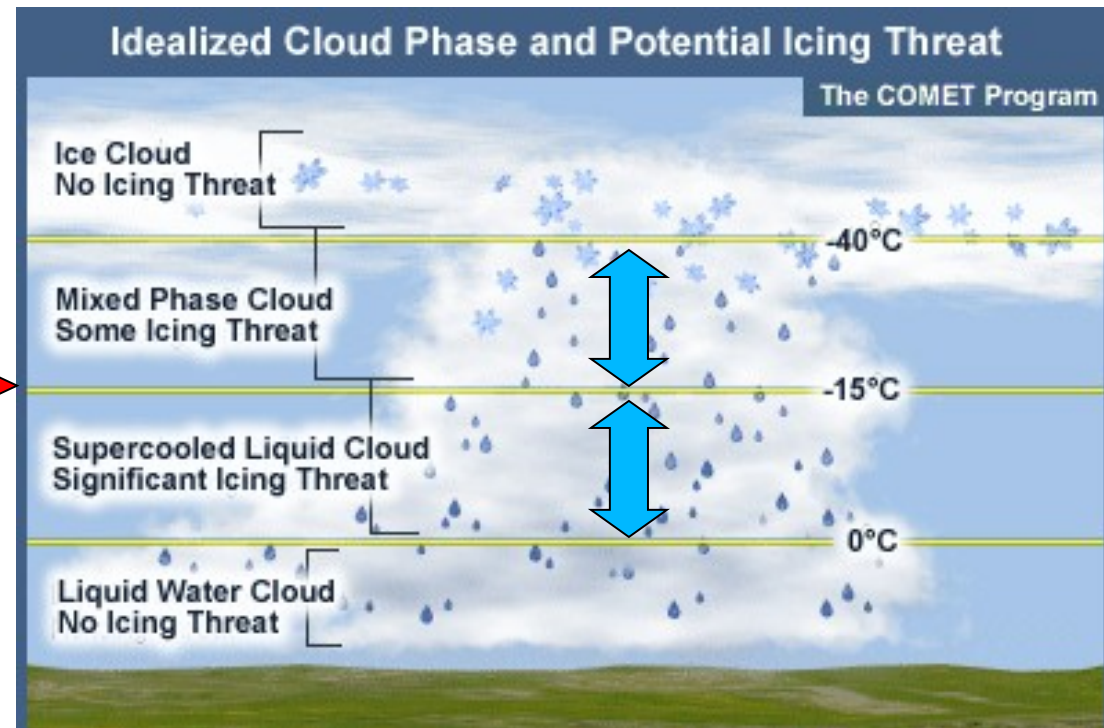
✓ Quindi per la formazione serve:

✓ - **Acqua sopraffusa**

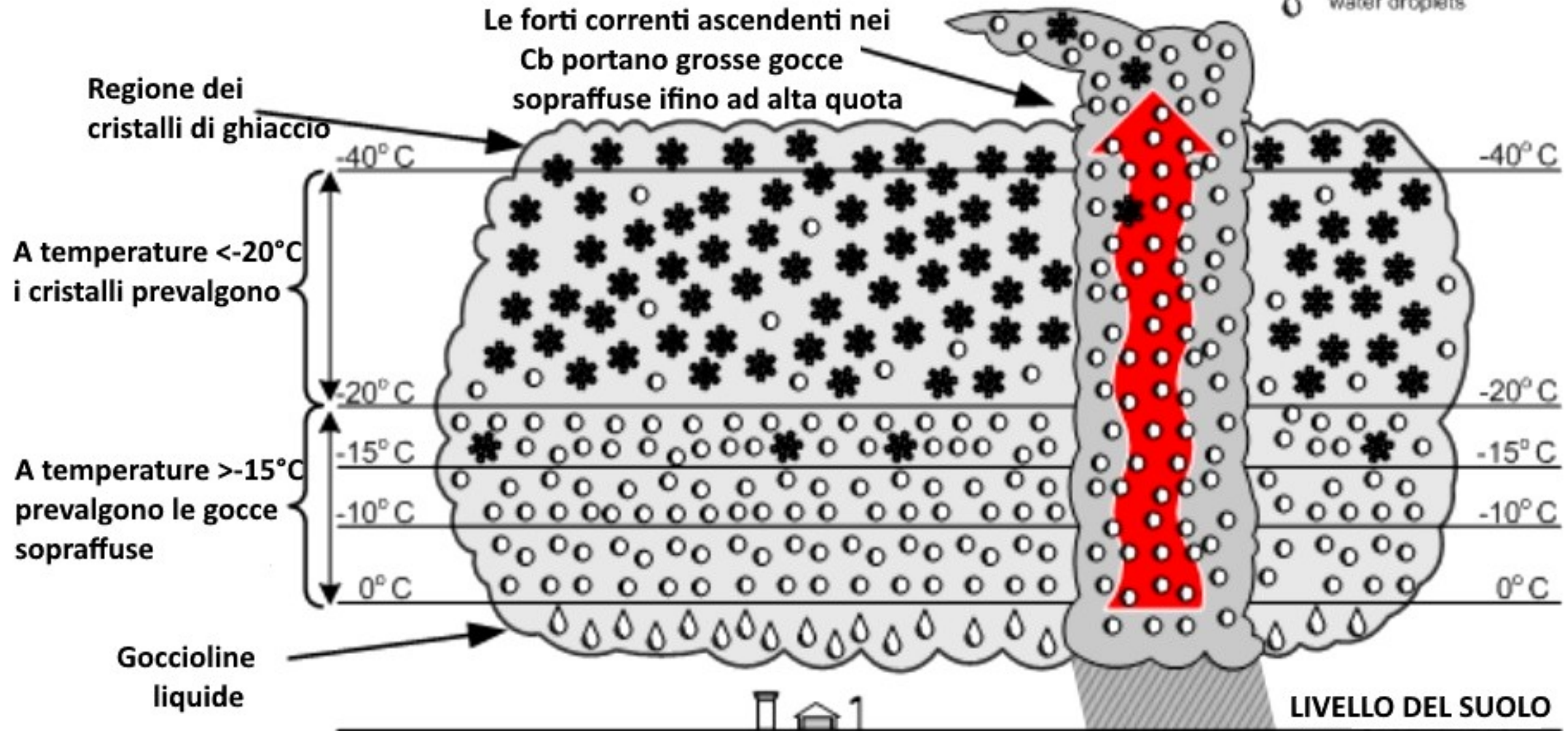
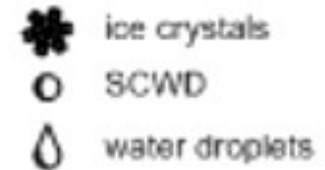
✓ - **Presenza di ghiaccio**

✓ I moti ascendenti favoriscono la condensazione.

✓ Il ghiaccio raccoglie le goccioline sopraffuse le quali congelano rilasciando il **calore latente di solidificazione**.



DISTRIBUZIONE DI GOCCE, GOCCE SOPRAFFUSE E CRISTALLI DI GHIACCIO NELLE NUBI STRATIFORMI E IN QUELLE CUMULIFORMI

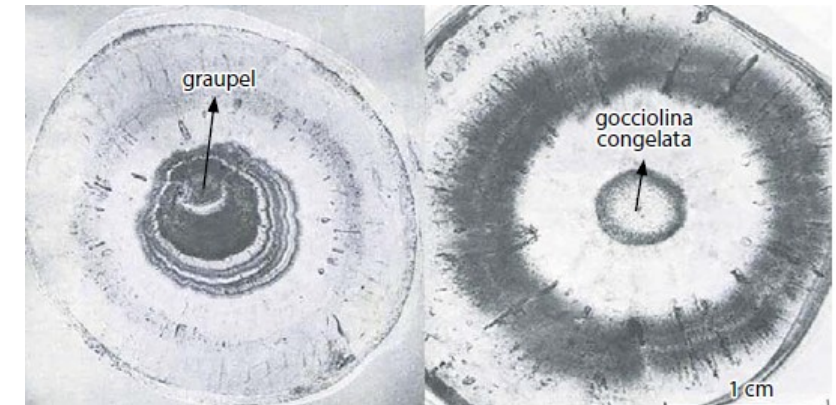


Anche nella grandine c'è "dell'arte"

- ✓ Per gli strati opachi e trasparenti:
- ✓ Ruolo del ricircolo nella nube sembra marginale
- ✓ **Più importante l'abbondanza di acqua sopraffusa**
- ✓ **Tanta** acqua sopraffusa -> molto calore latente e congelamento lento e ordinato (**strati trasparenti**)
- ✓ **Poca** acqua sopraffusa -> poco calore latente e congelamento rapido e disordinato (**strati opachi**)
- ✓ La formazione è molto rapida: in 20 minuti dallo sviluppo della nube può aversi grandine al suolo
- ✓ **Primo stadio lento (formazione embrione)**
- ✓ **Secondo stadio rapido (accrescimento o accrezione del chicco)**
- ✓ L'embrione è piccolo (<0,5 cm) e può restare a lungo sospeso nella nube o passare da una nube all'altra.



Lobi e punte



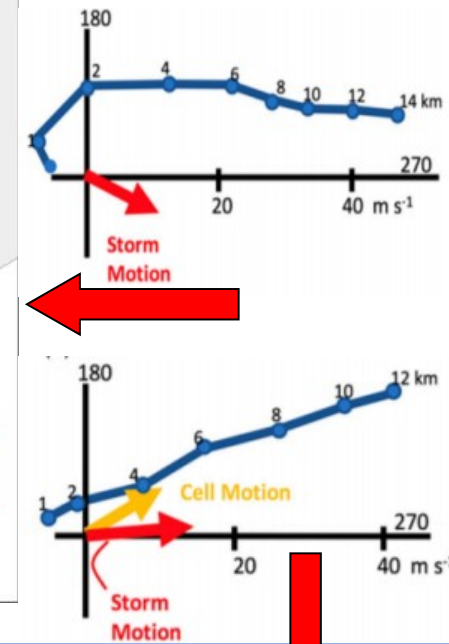
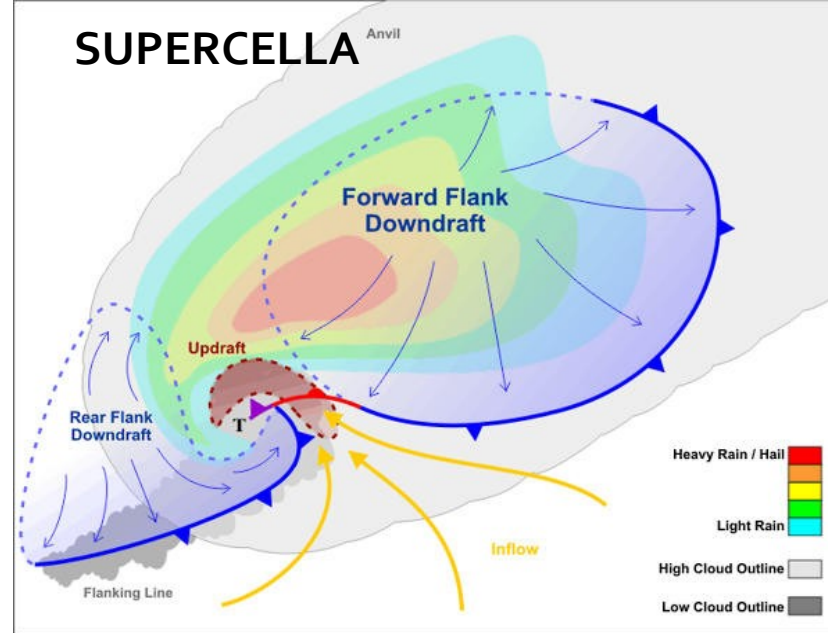
L'embrione è formato da gocce congelate o più spesso da **graupel di forma conica**

Grandine di grosse dimensioni: cosa serve?

- ✓ **Convezione profonda; updraft ampio in diametro.**
- ✓ Updraft e Downdraft ben separati (multicelle) o che interagiscono ma senza prevalere (supercelle).
- ✓ Grandi gocce sopraffuse (**updraft intenso**).
- ✓ Elevato windshear (specie DLS 0-6 km); elevato CAPE, elevato SRH (Storm Relative Helicity).
- ✓ Far restare il più a lungo possibile gli embrioni o i chicchi già formati nella **HAIL GROWTH ZONE (layer -10/-30°C)** ovvero la regione della nube più ricca di acqua sopraffusa e di migliore efficienza di crescita, **in particolare nel range -10/-20°C.**
- ✓ **Molto vapore acqueo in particolare nello strato superiore dell'inflow (3-6 km dal suolo, generalmente appena al di sotto della HGZ).**

Tipi di temporale favorevoli:

- **Temporali a supercella (updraft rotante, SRH elevato.**
- **Temporali a multicella (QLCS/MCS, updraft ben separato da downdraft, alti DLS e CAPE). MCS meglio se giovani.**



QLCS/SQUALL

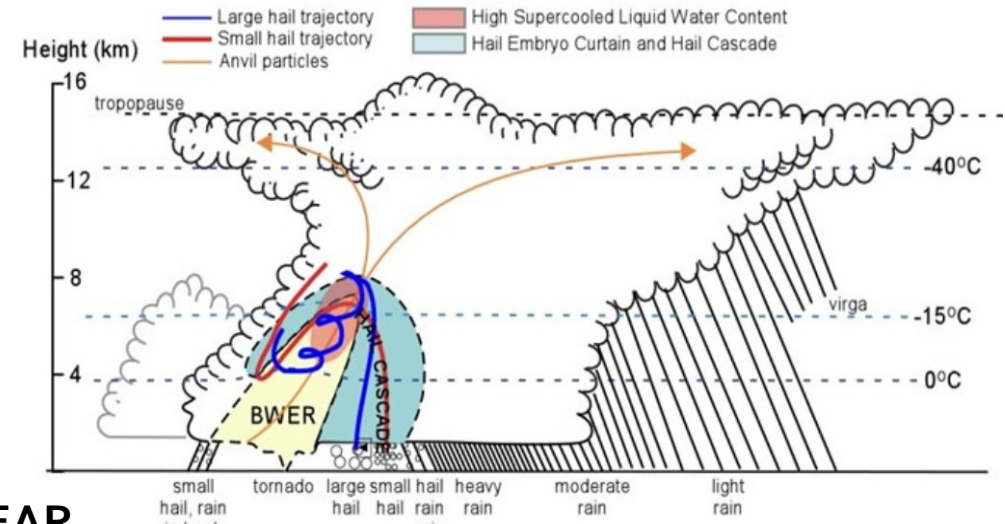


GRANDINE di grosse dimensioni da supercella

La rotazione impressa all'updraft grazie allo shear aumenta la forza ascensionale **di un fattore superiore a 2** rispetto alla sola spinta di galleggiamento (CAPE).

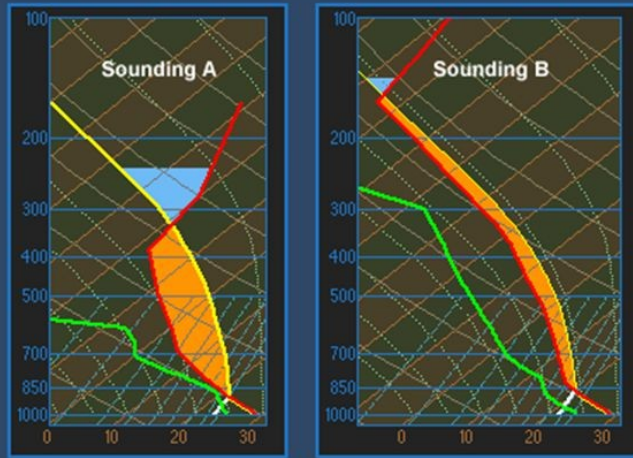
Una corrente mesociclonica curva la traiettoria del chicco in modo tale da tenerlo più a lungo all'interno dell'updraft.

CAPE più favorevole se "fat" (elevato e concentrato in basso).



Fat vs Skinny Cape

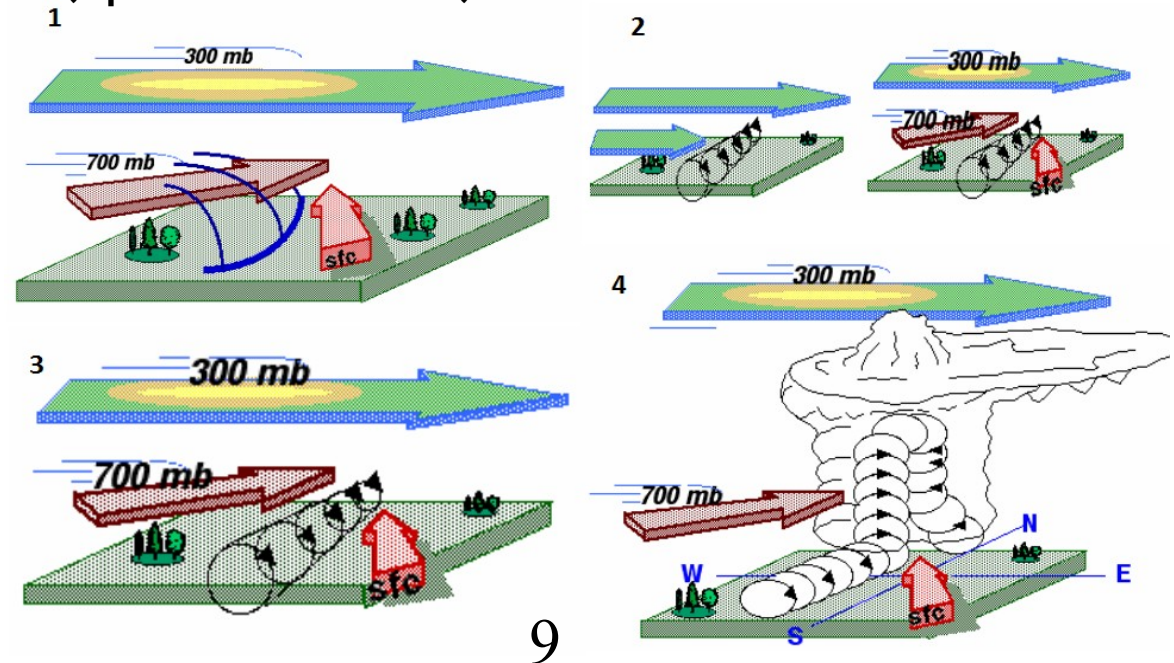
Effect of CAPE on a parcel is influenced by the distribution of the buoyancy and moisture in the sounding



The COMET Program

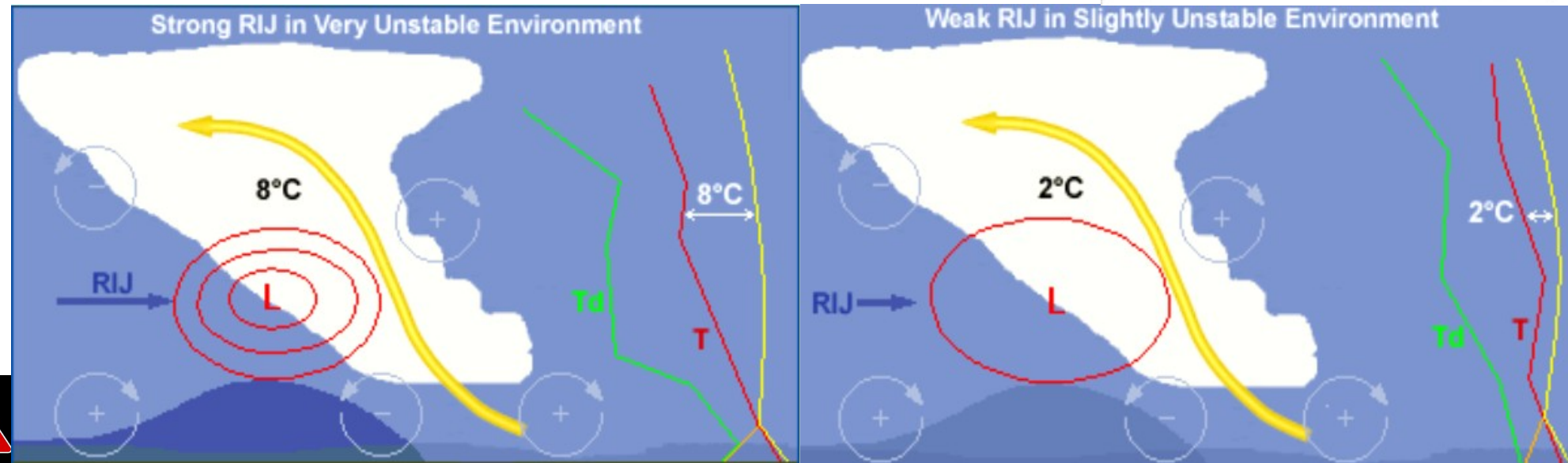
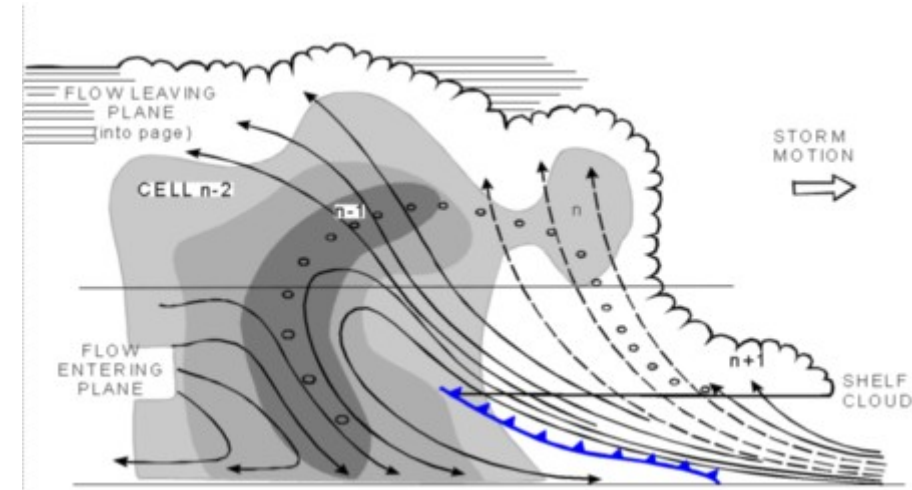
Equal CAPE

SHEAR (Speed+Directional)



GRANDINE di grosse dimensioni da multicella/QLCS

- **Elevate umidità relativa e Theta-E nello strato limite e fino alla HGZ**
- **Lapse rate 800-600 hPa > 5,0 °C/km; molto vapore acqueo sotto HGZ**
- **CAPE HGZ (layer tra le isoterme -10 e -30°C) >30% del CAPE totale**
- **Livello dello zero di bulbo umido < 3700 m (molto teorico).**
- **Mix ratio >10 g/Kg; PWAT >25 mm**
- **Strato secco tra media e alta troposfera**



Il rischio aumenta nel caso di elevato CAPE/gradiente termico verticale, e intensità dell'afflusso secco alle quote medio-alte (sistema a sinistra)

Grandine di grosse dimensioni: cosa serve?

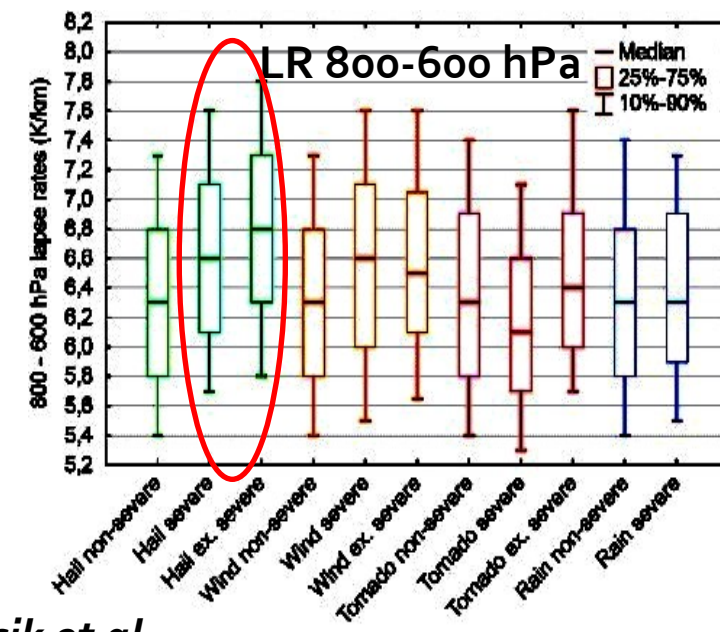
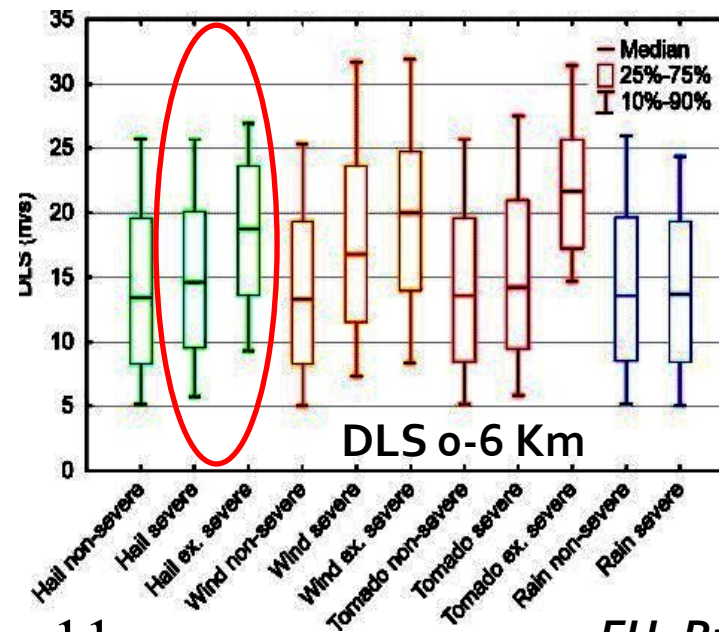
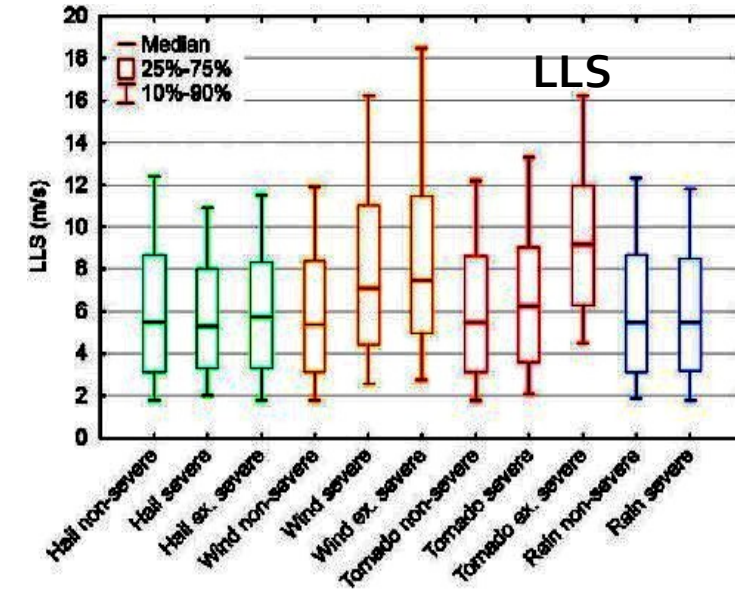
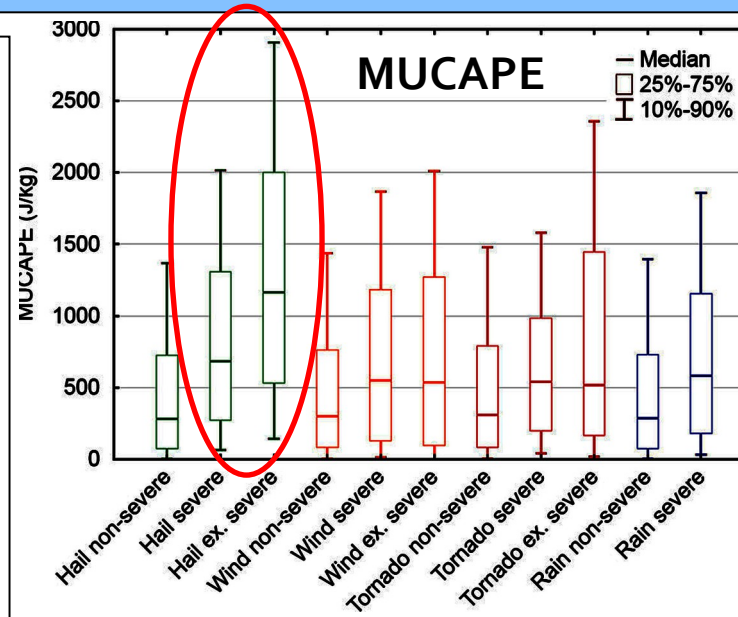
I rischi di grandine estrema aumentano con l'accoppiata alto CAPE + alto SHEAR 0-6 Km. Infatti, la più alta concentrazione di eventi estremamente gravi si manifesta con alti valori di MUCAPE e DLS.

Il CAPE si mostra notevolmente più alto per gli eventi di grandine >5 cm.

L'LLS sembra non variare particolarmente con l'aumentare della severità della grandine (più importante per forti venti e tornado).

La grandine estrema si verifica in genere con CAPE alto e la sua probabilità aumenta quando le condizioni diventano più favorevoli per le supercelle (cioè, quando CAPE e DLS aumentano).

Anche il gradiente termico tra 800 e 600 hPa (LR) aumenta in caso di grandine di grosse dimensioni.

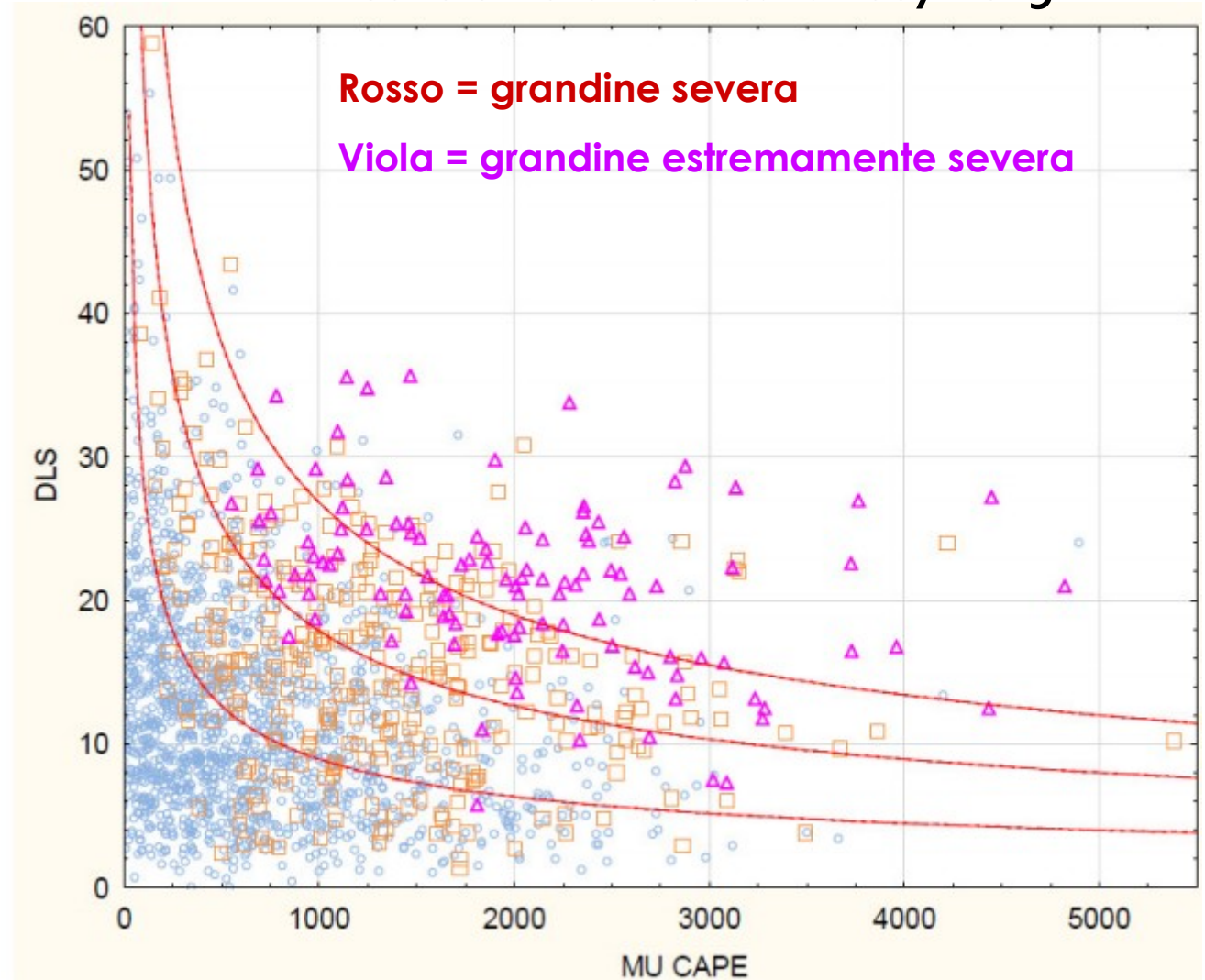


GRANDINE di grosse dimensioni

Attraverso la combinazione **CAPE-bulk wind shear** (**severe Index**) sembra che la severità della grandine sia più sensibile al **CAPE** rispetto al **wind shear**, specie nel discriminare tra eventi severi ed estremamente severi (*Pucik et. al.*)

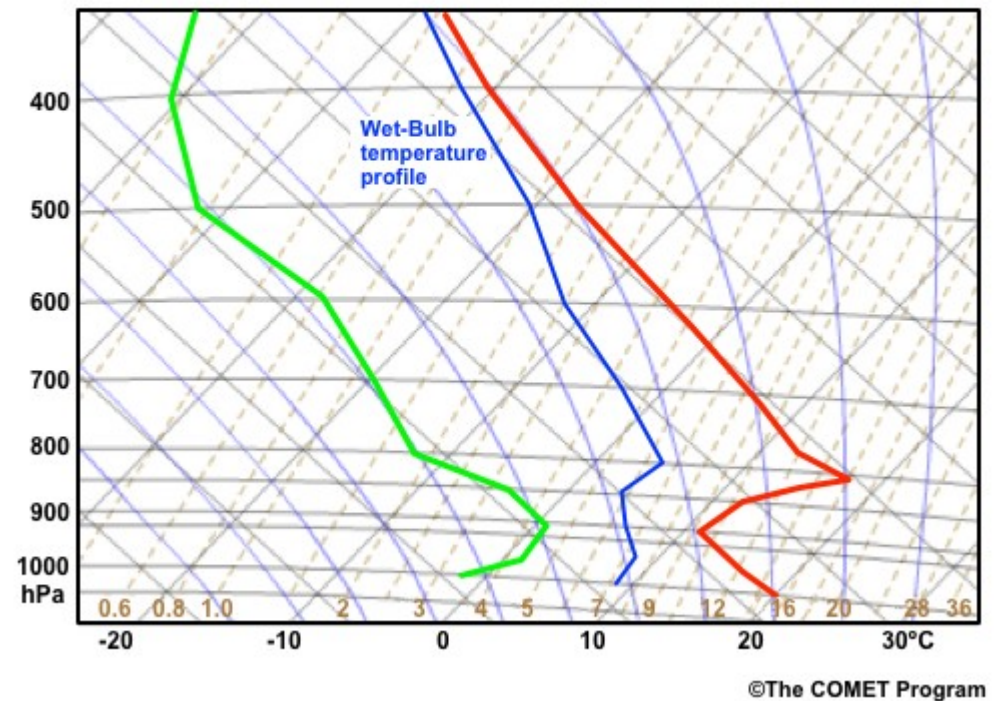
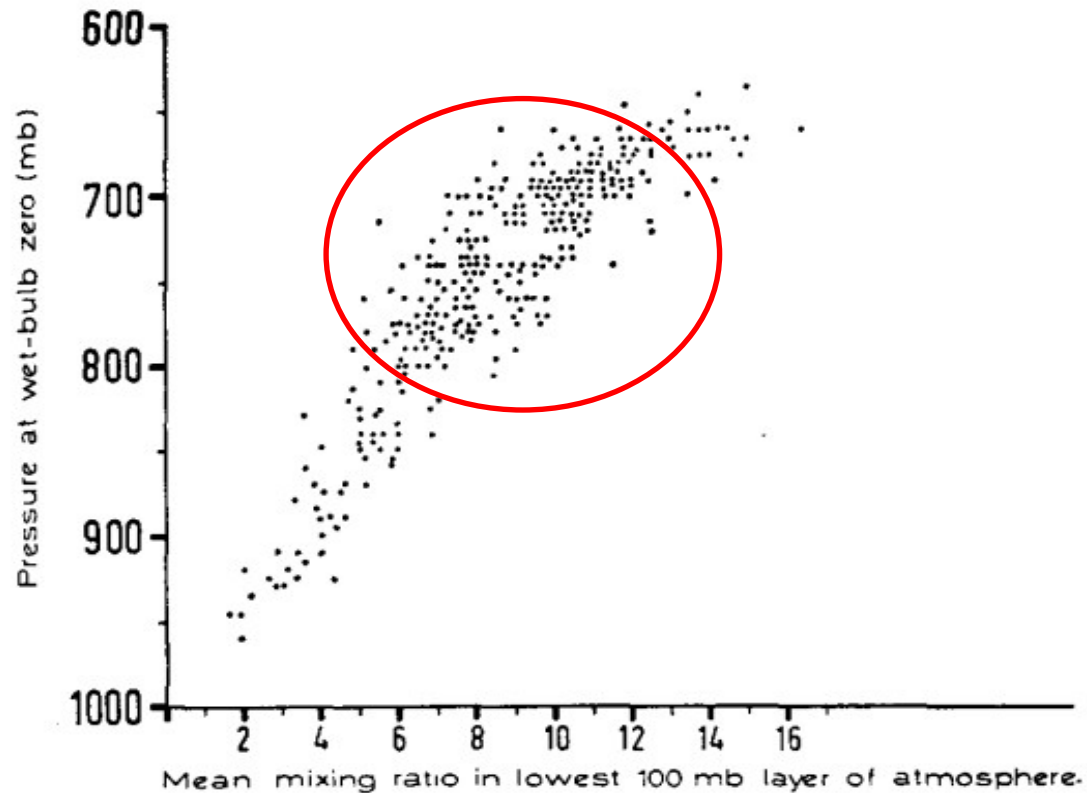
Alcuni eventi molto severi si sviluppano in ambienti poco "appariscenti".

Centro EU e nord Italia 2007-2019



GRANDINE, WBZ e Mix Ratio

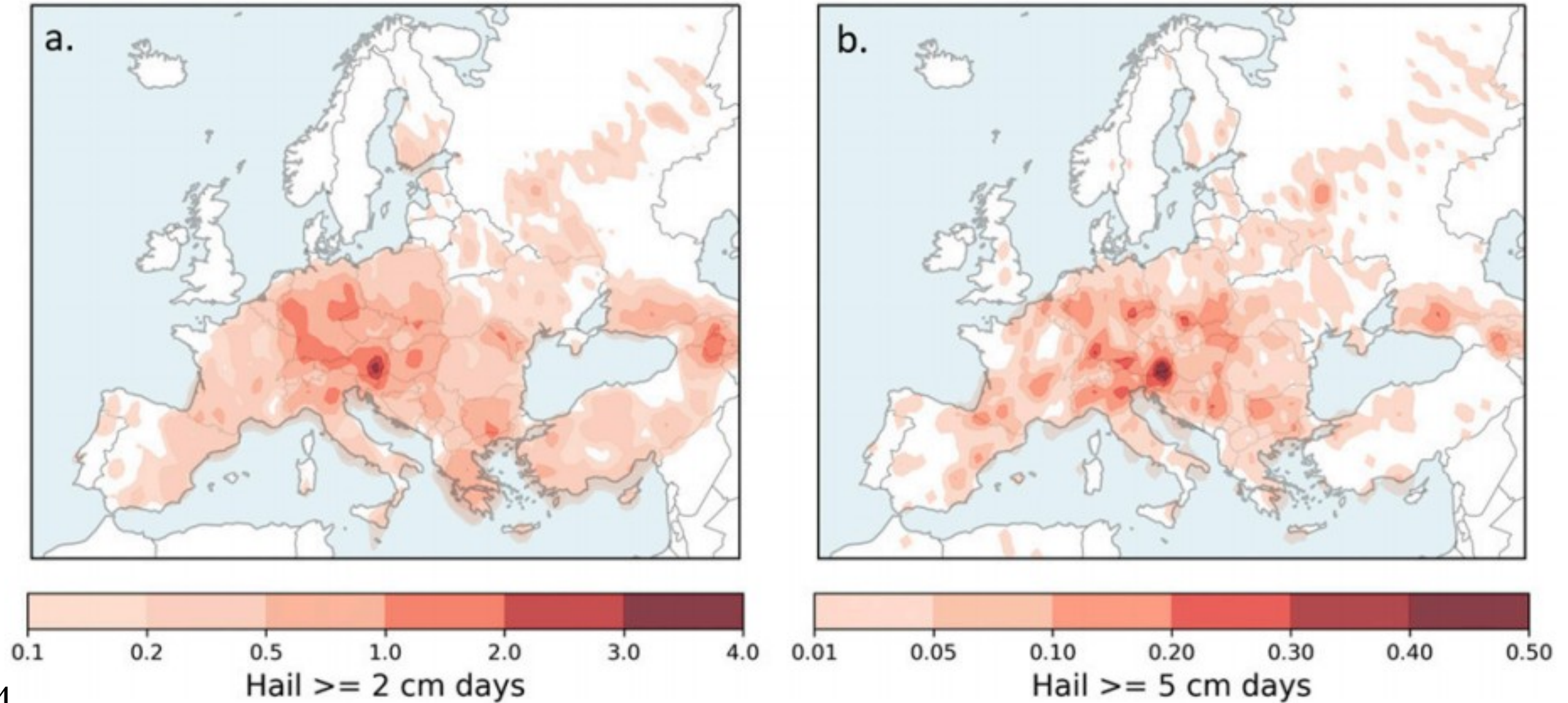
WBZ: range ottimale di altezza media tra **2200** e **3700** con i massimi di frequenza tra **3000** e **3500** m. Sotto i **1800** m grandine piccola o graupel (ambiente troppo freddo); sopra **3700** m ambiente troppo caldo e fusione (**tranne supercelle**).



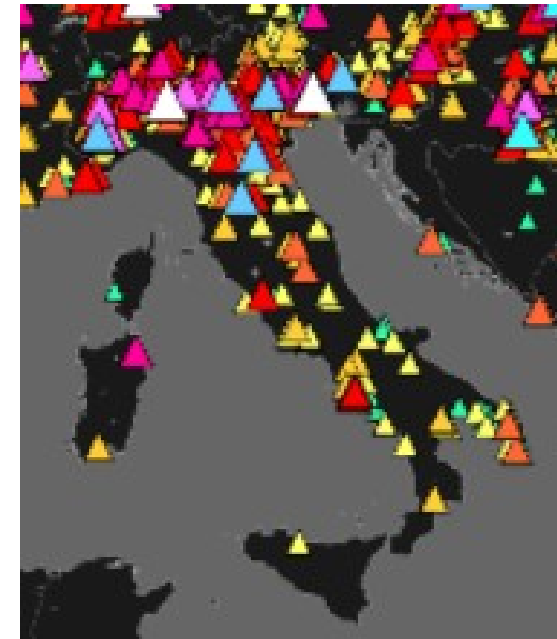
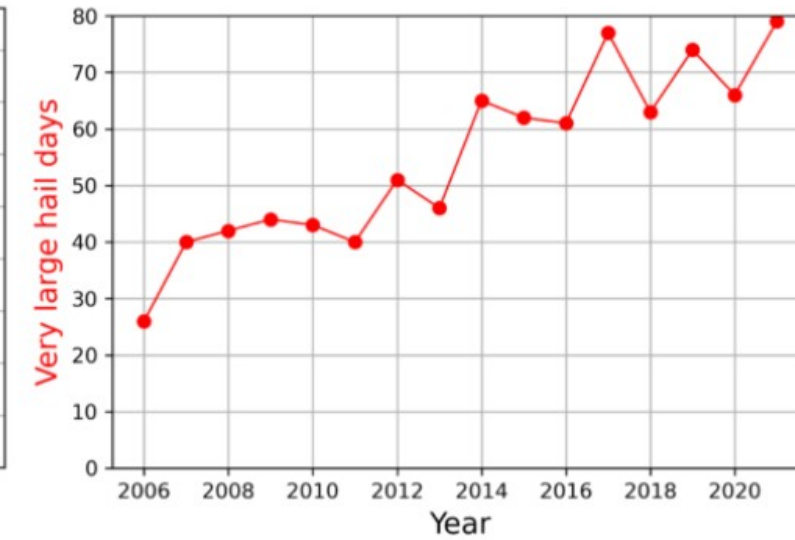
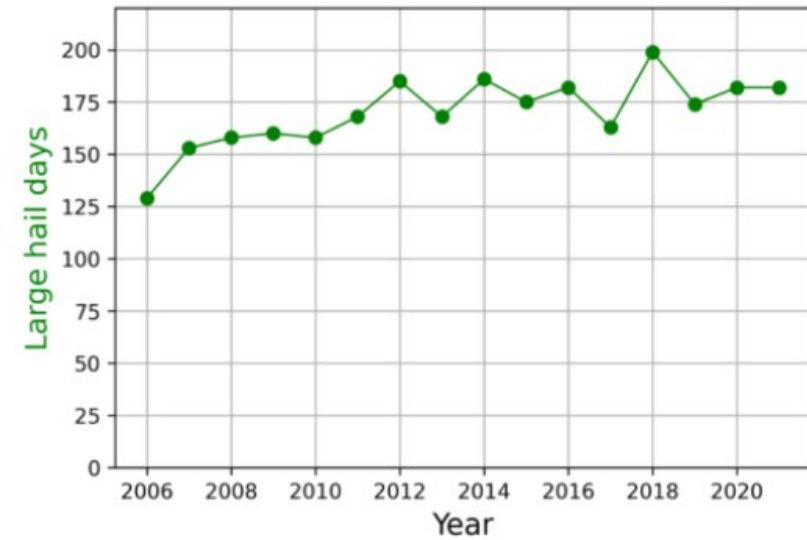
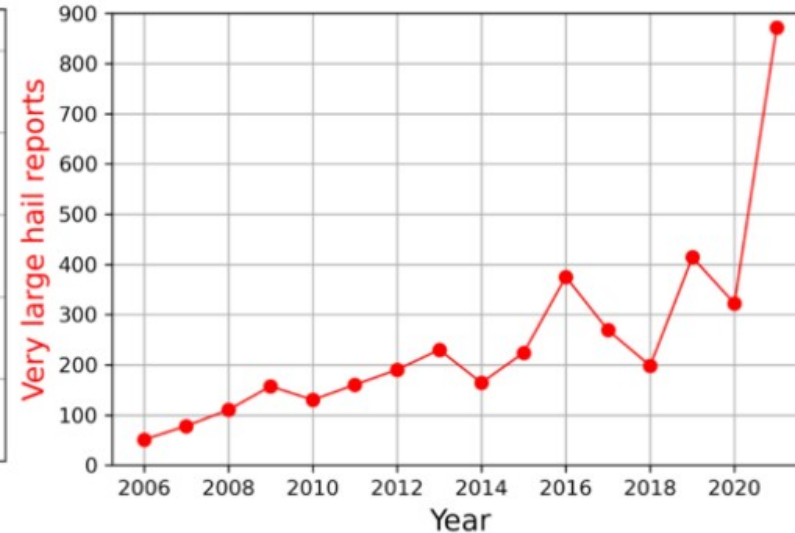
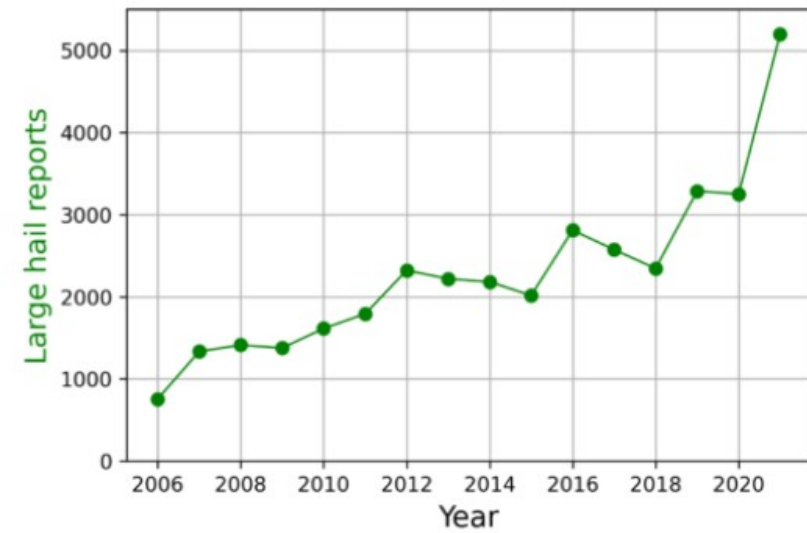
Nord-Est Italia (Morgan et. al.): correlazione tra altezza WBZ e mixing ratio medio nei 100 hPa inferiori: più densità di eventi per WBZ tra i livelli isobarici di **800** e **650** hPa e mixing ratio compreso tra **5** e **13** g/kg (anni 60/70).

GRANDINE severa frequenza

1990-2019 ESSL

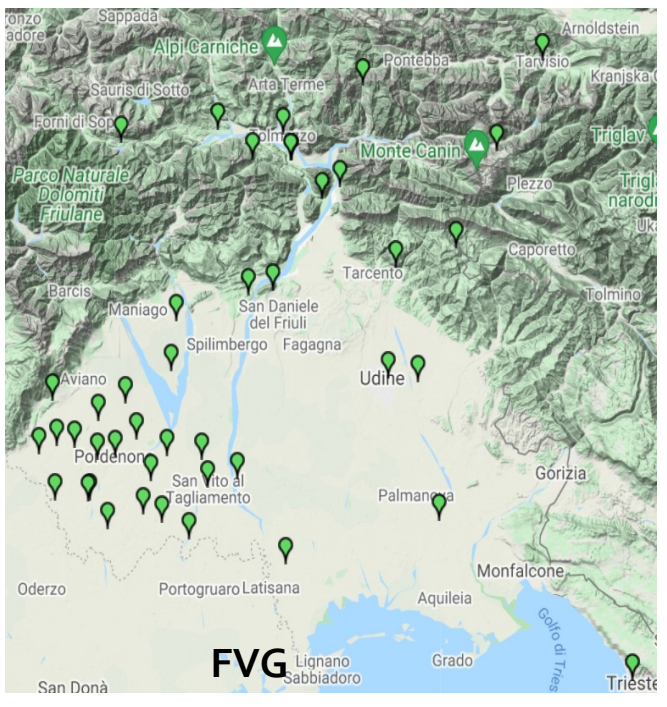
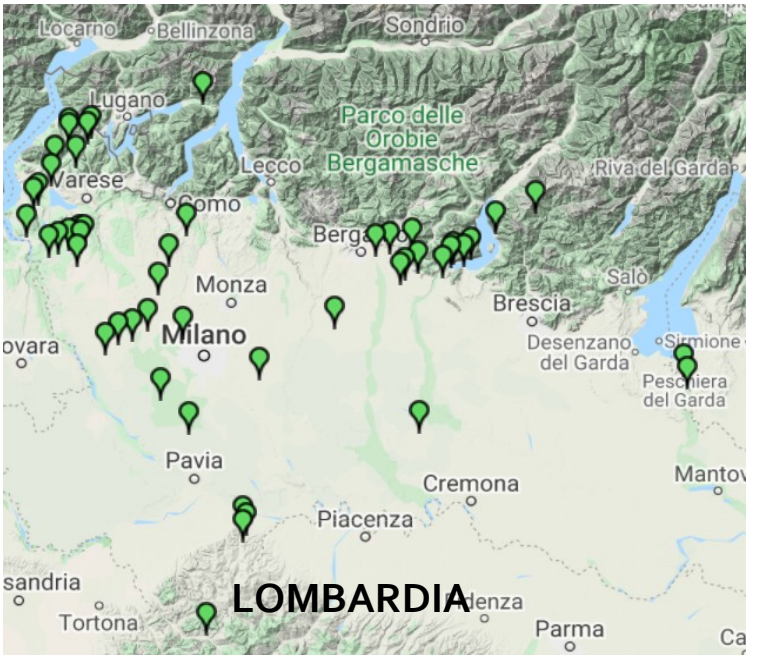
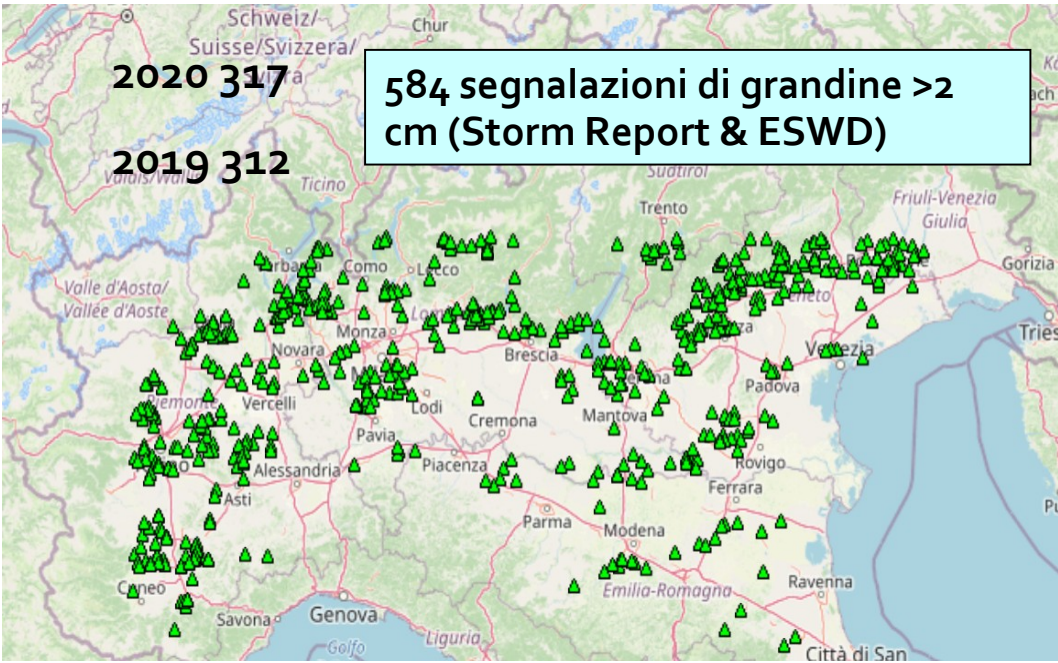


Il 2021 in Europa (al 31/10)
 871 Report grandine >5 cm
 Fonte ESSL/ESWD

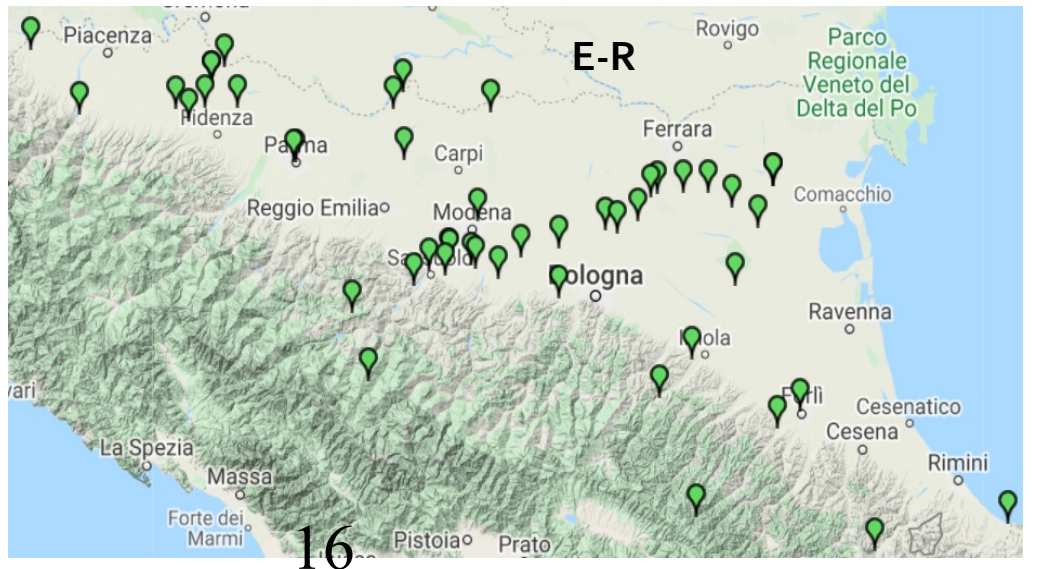


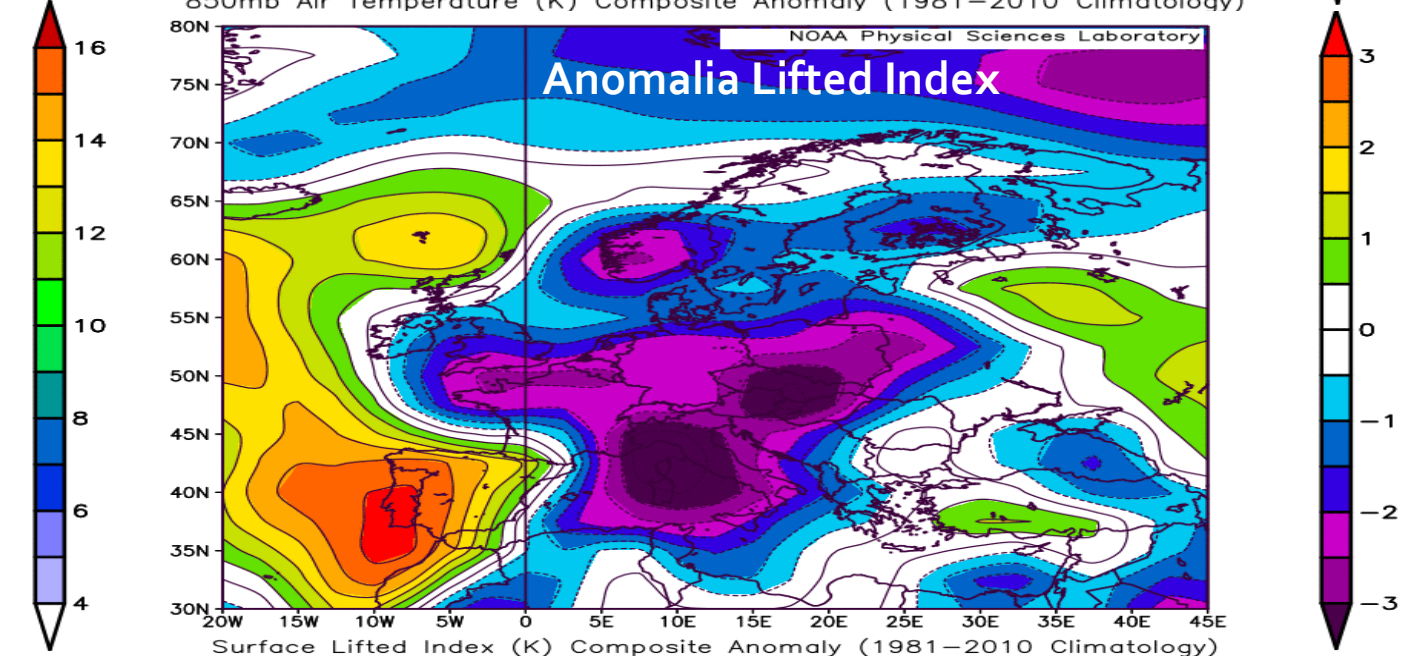
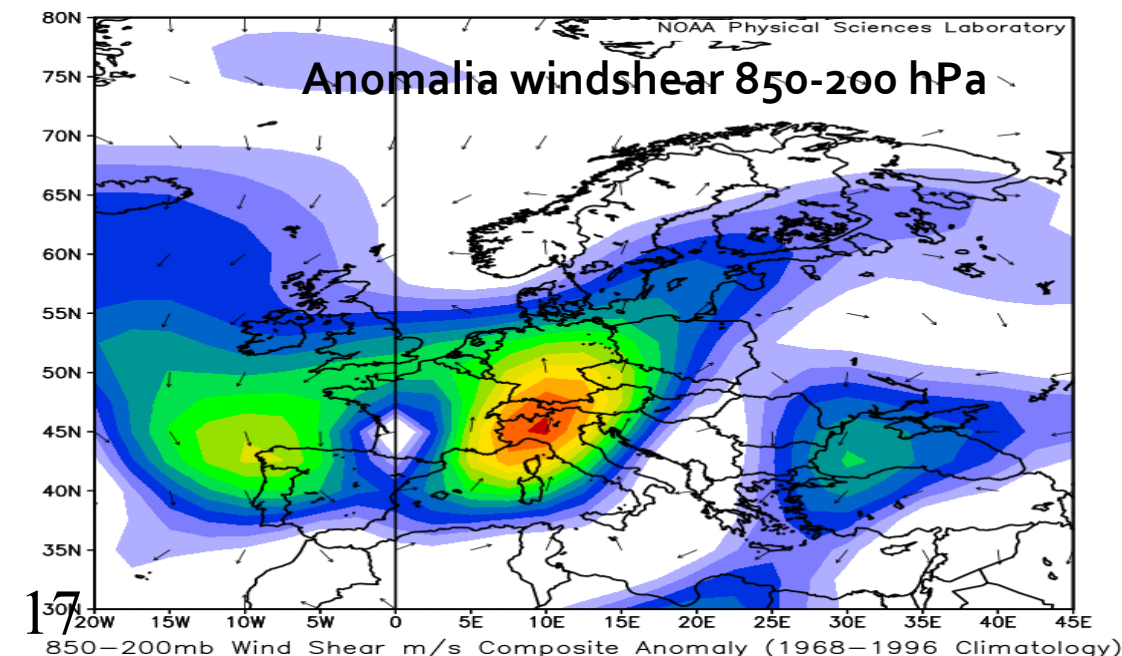
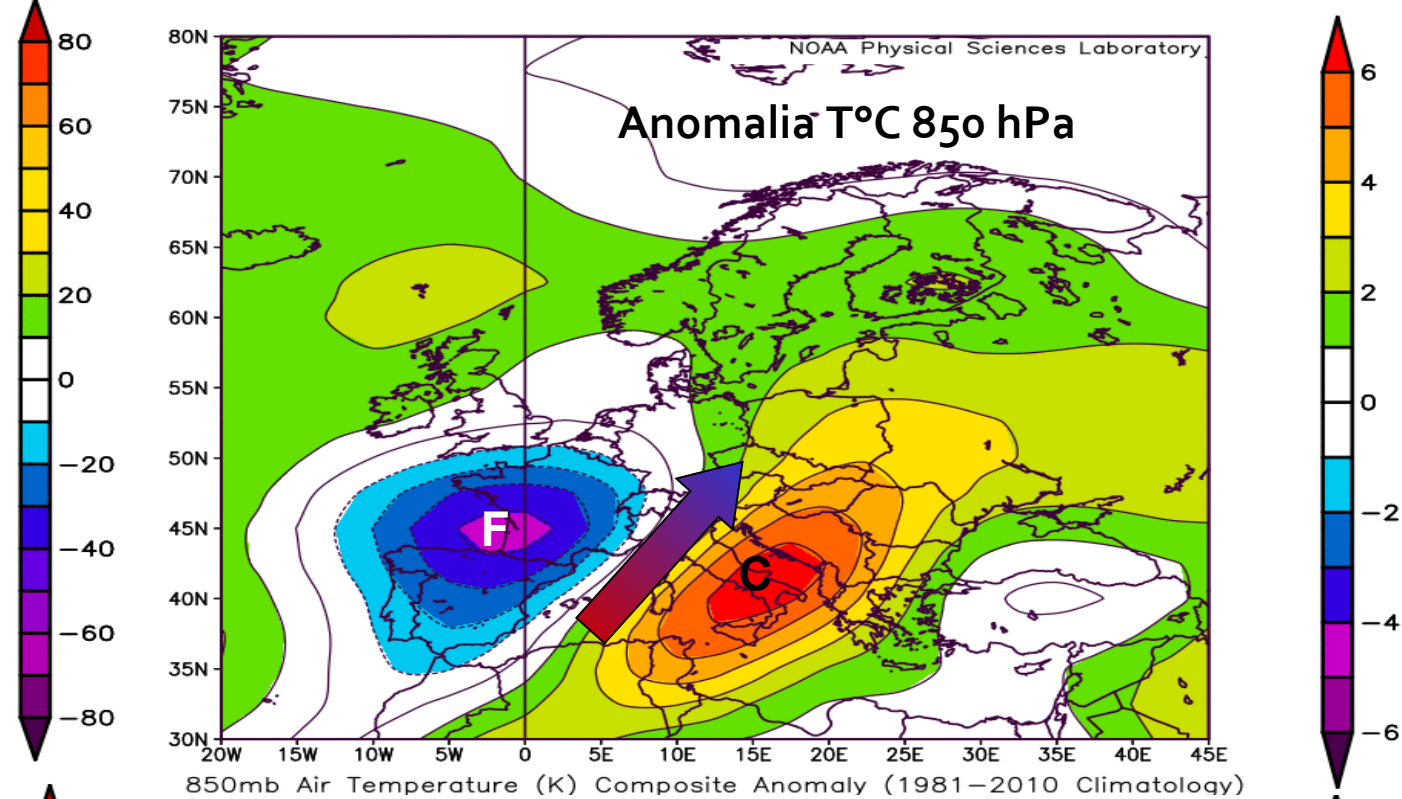
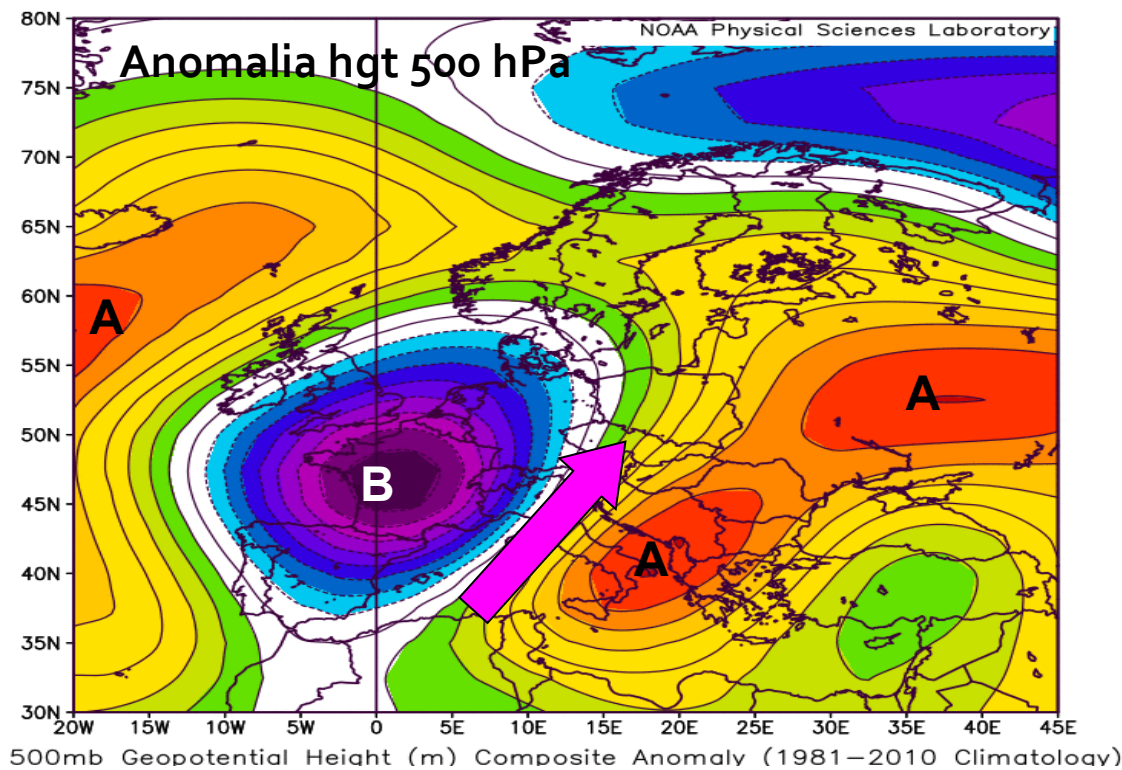
Size	unk	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	≥ 10 cm	Total	Size Ratio
Reports 2021	795	1,646	1,137	746	462	196	98	61	25	29	5,195	84.7 %

Data as of October 31st, 2021. European Severe Weather Database (ESWD), European Severe Storm Laboratory (ESSL).

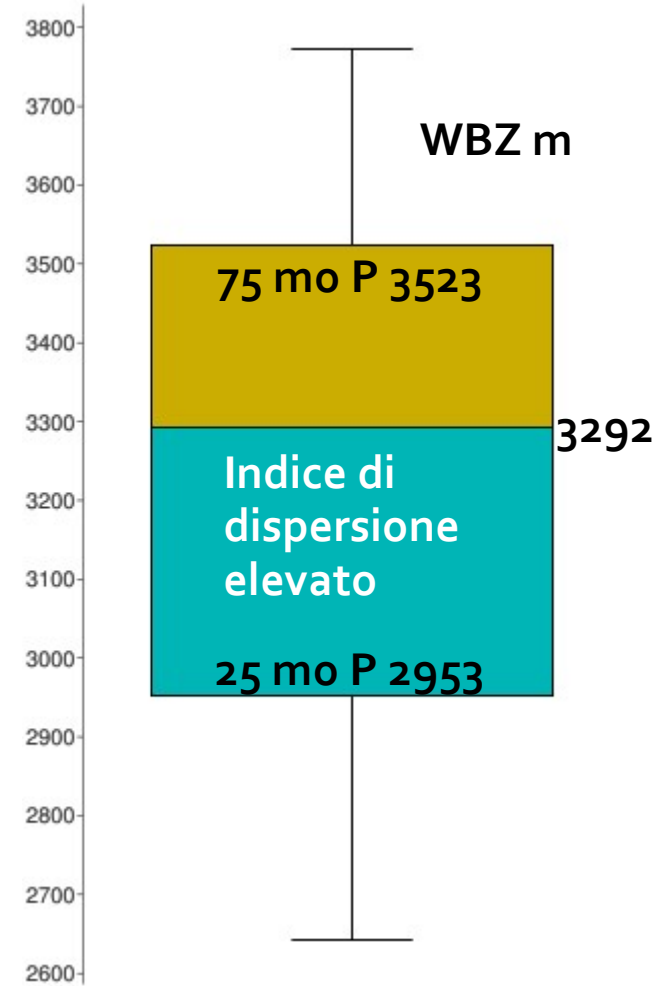
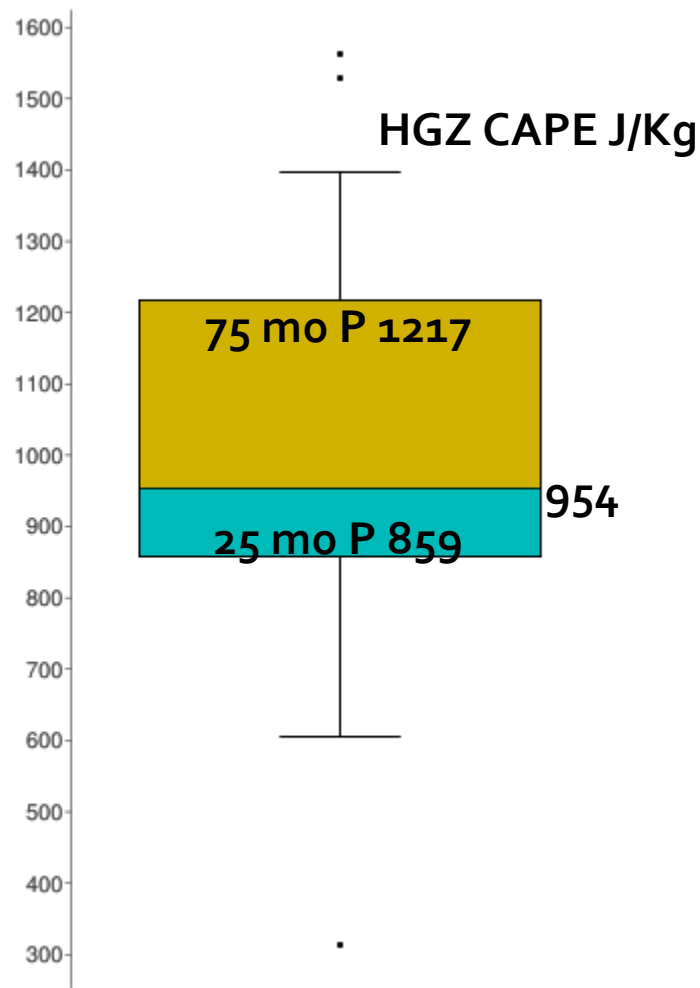
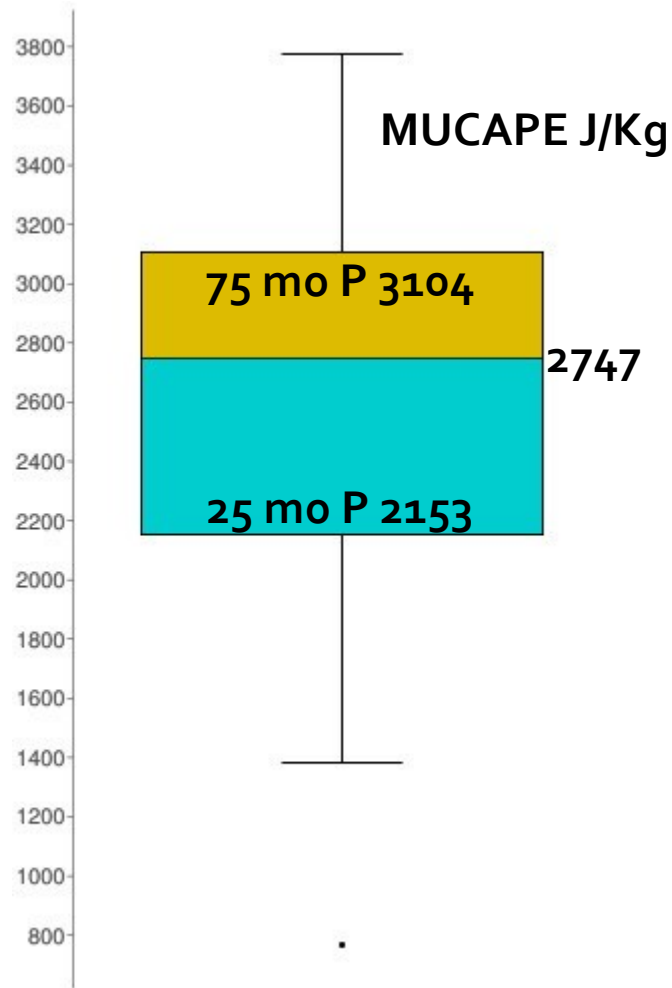


ESTATE 2021 PIANURA PADANA



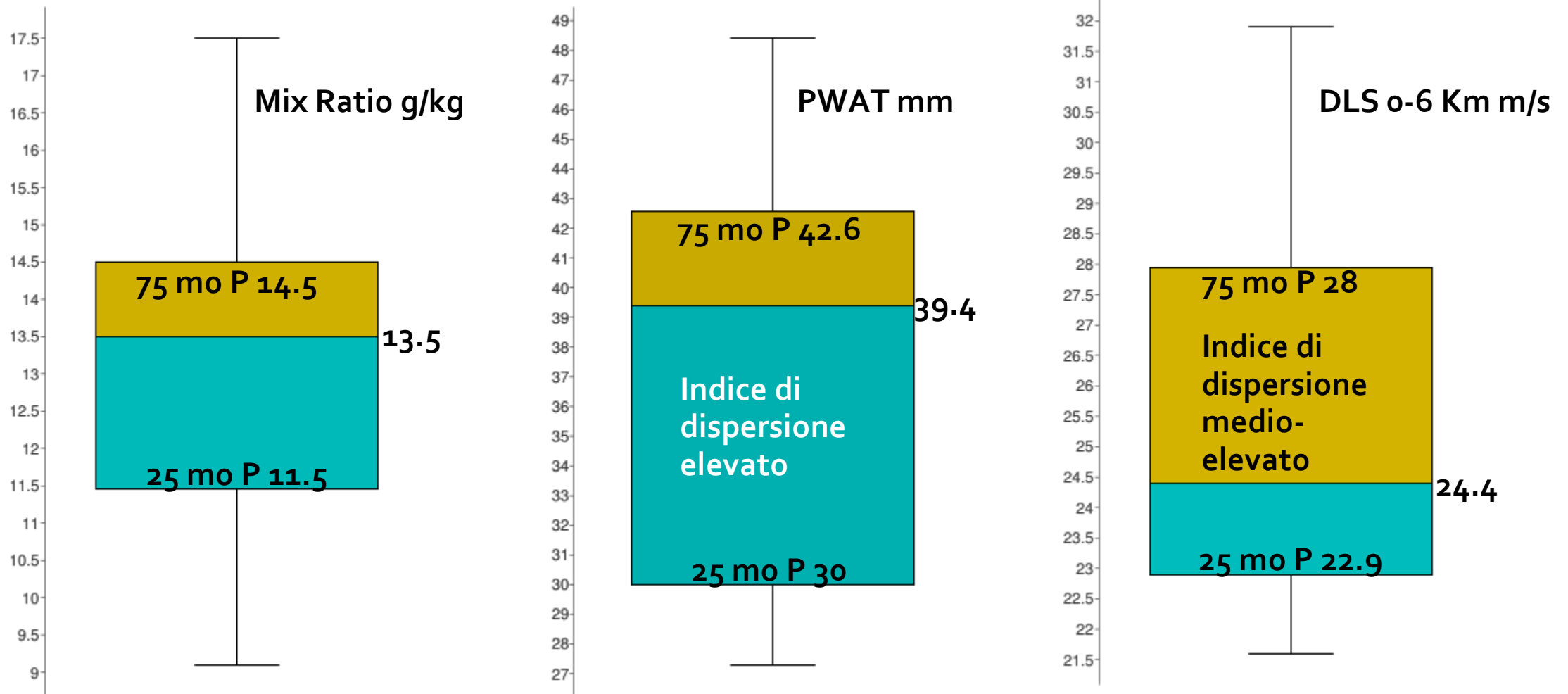


PP ESTATE 2021 17 eventi di grandine molto severa (>5 cm)



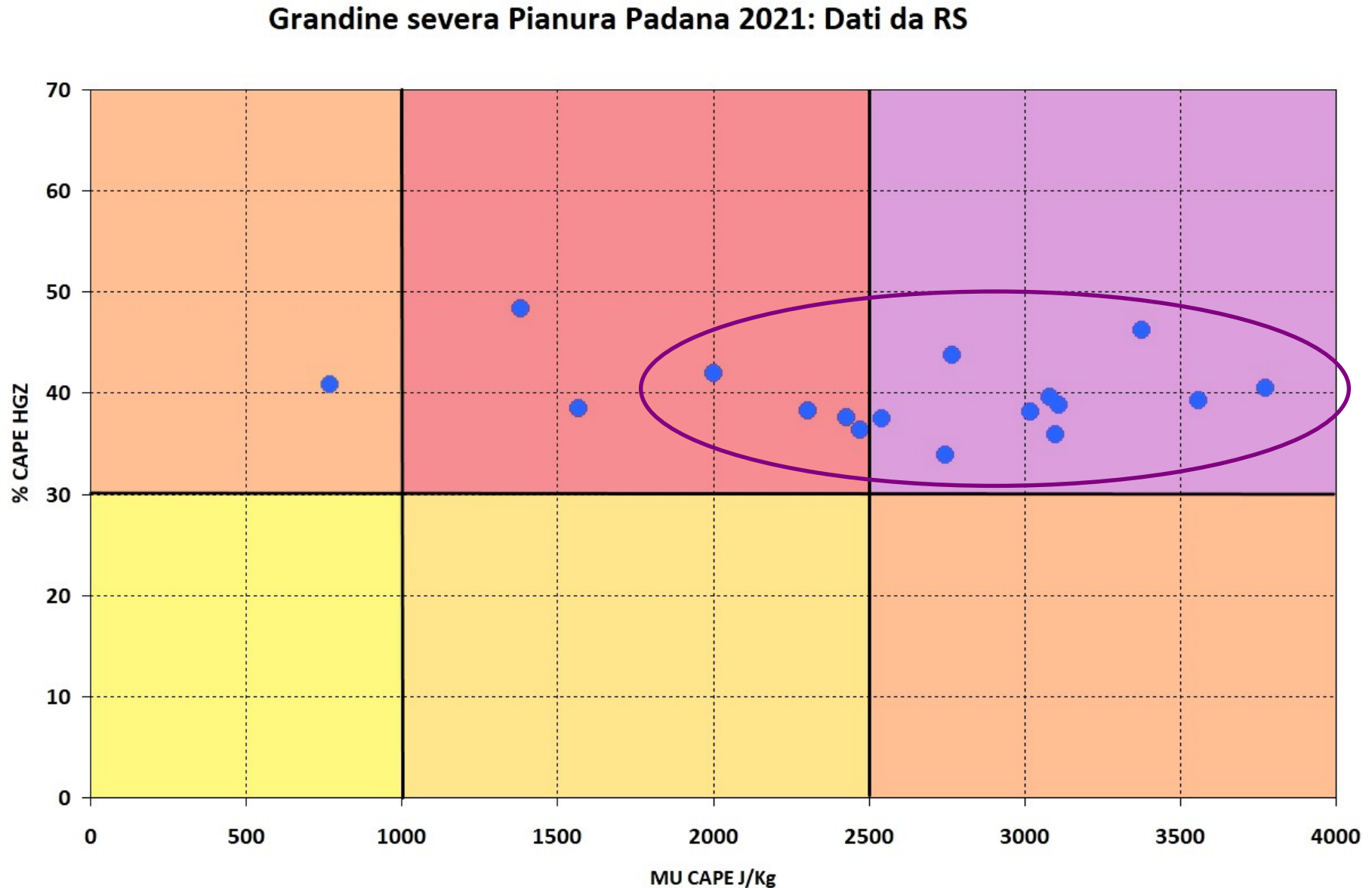
DATI DA RADIOSONDAGGI (SP. CAPOFIUME, CAMERI, CUNEO, UDINE)

PP ESTATE 2021 17 eventi di grandine molto severa (>5 cm)



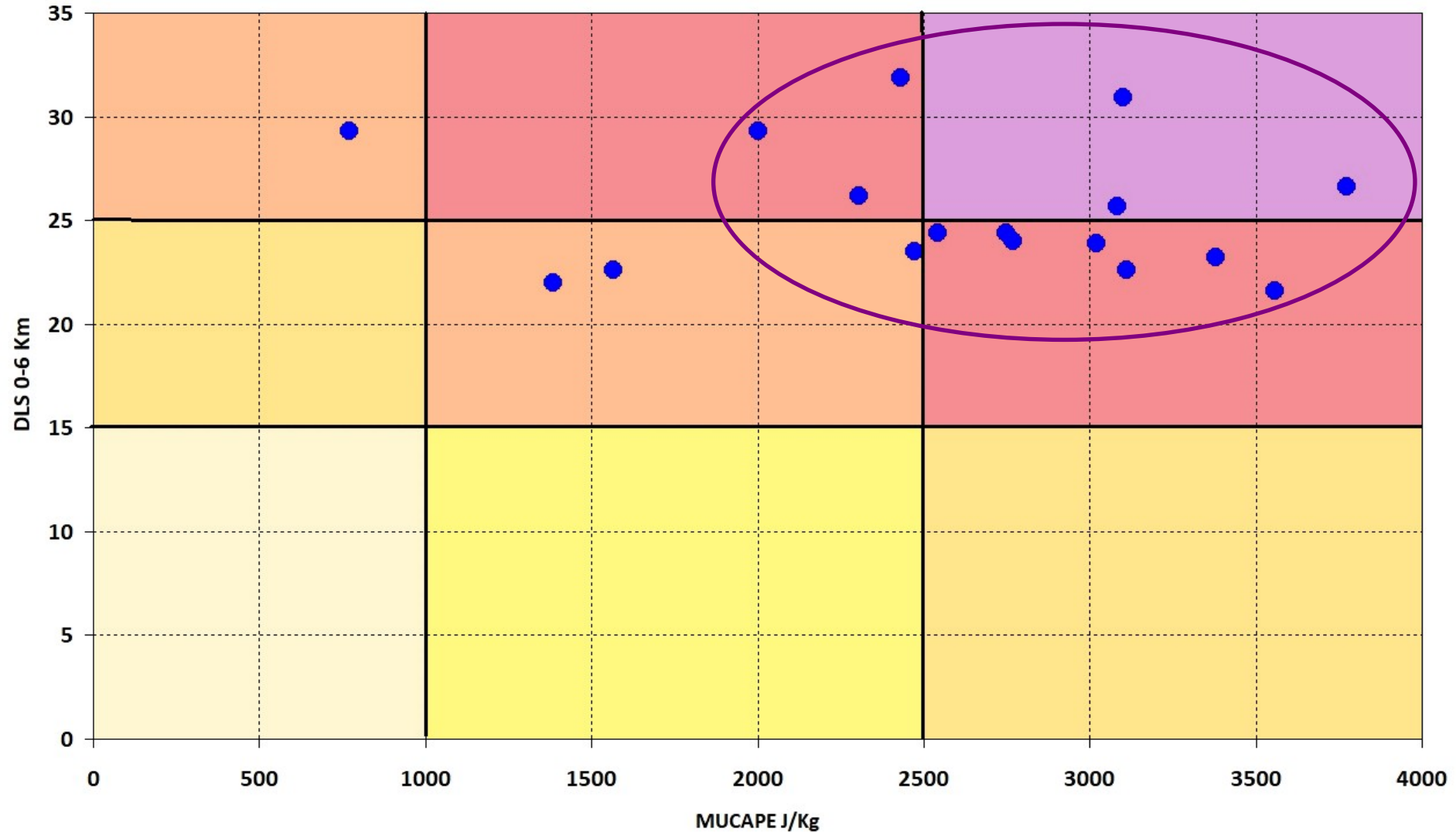
DATI DA RADIOSONDAGGI (SP. CAPOFIUME, CAMERI, CUNEO, UDINE)

PP ESTATE 2021 Correlazione MUCAPE/CAPE HGZ%



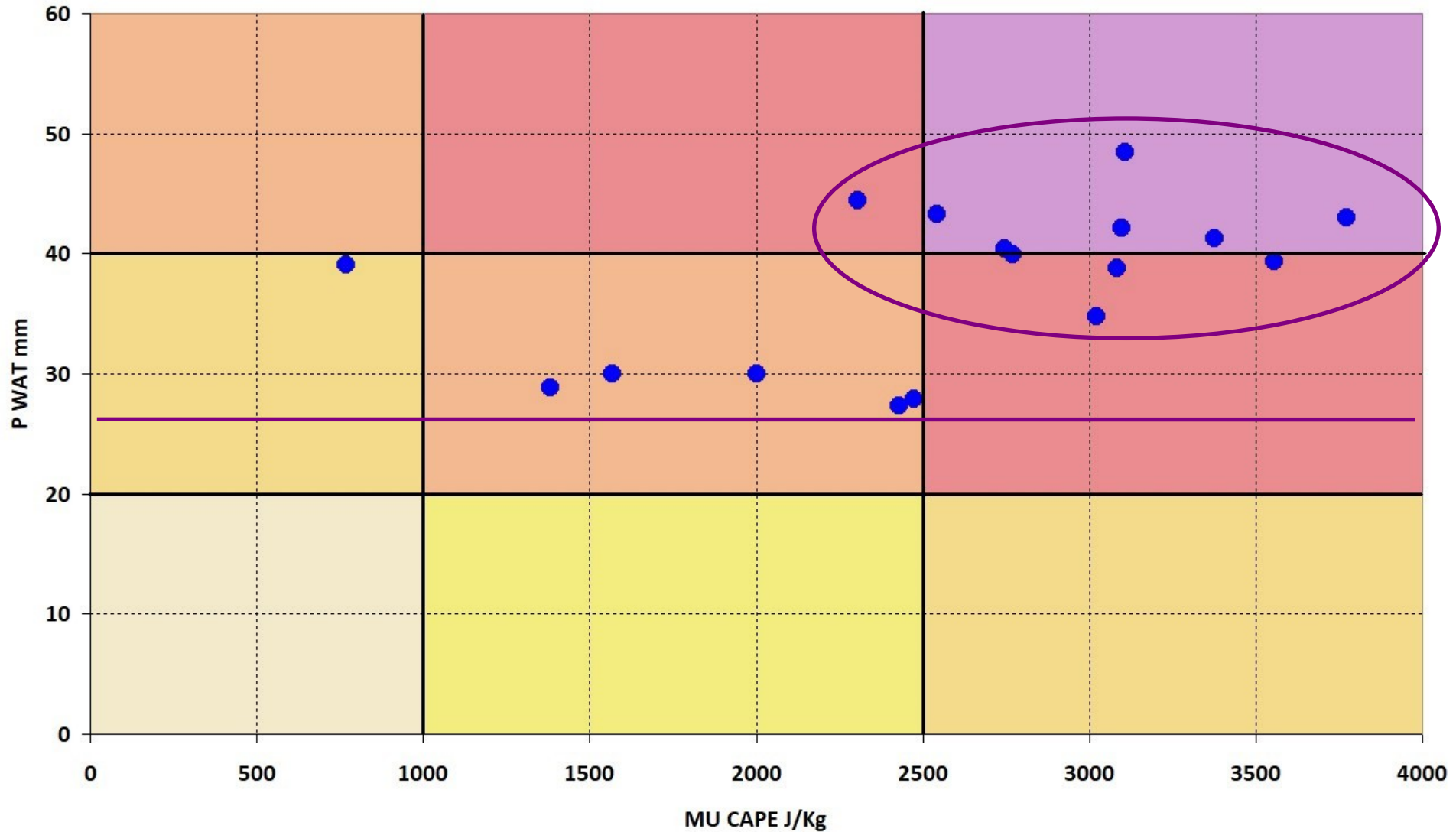
PP ESTATE 2021 Correlazione MUCAPE/DLS 0-6 Km

Grandine severa Pianura Padana 2021: Dati da RS

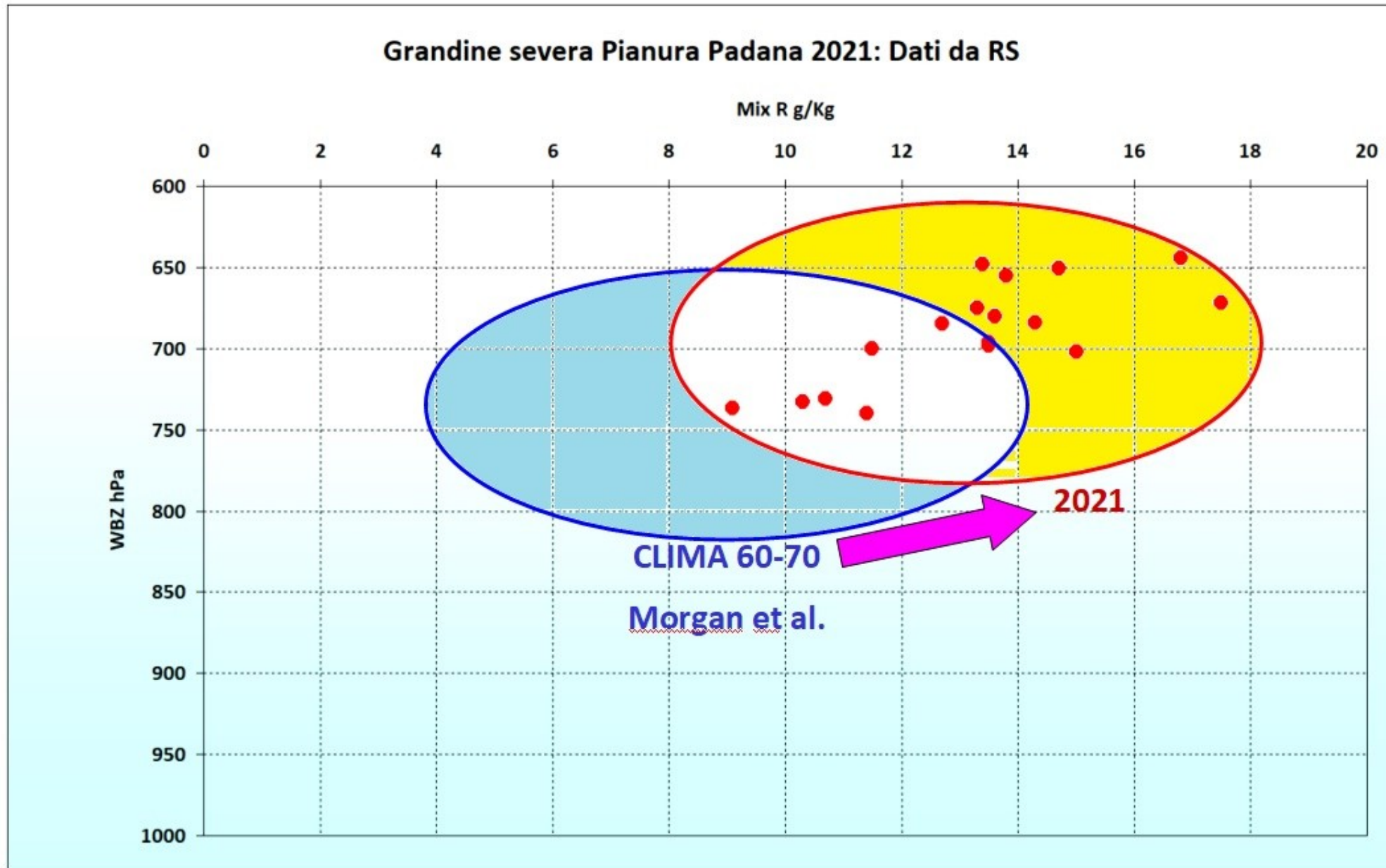


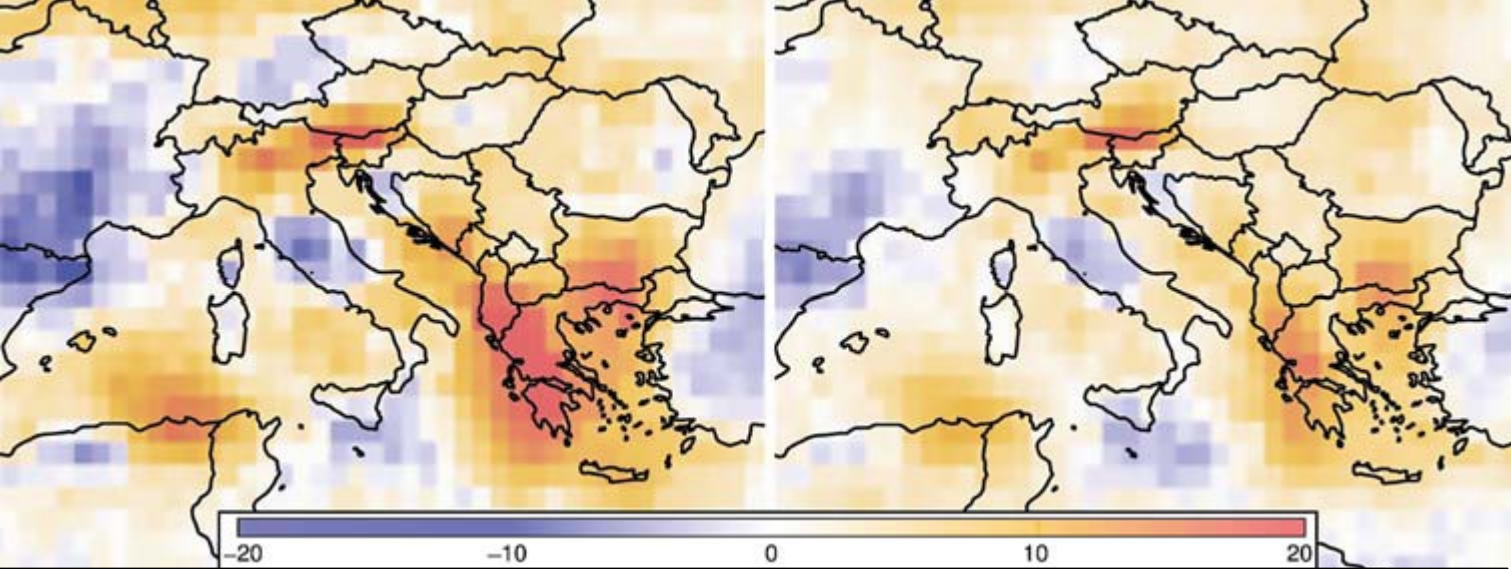
PP ESTATE 2021 Correlazione MUCAPE/PWAT

Grandine severa Pianura Padana 2021: Dati da RS



PP ESTATE 2021 correlazione Mix R/WBZ hPa

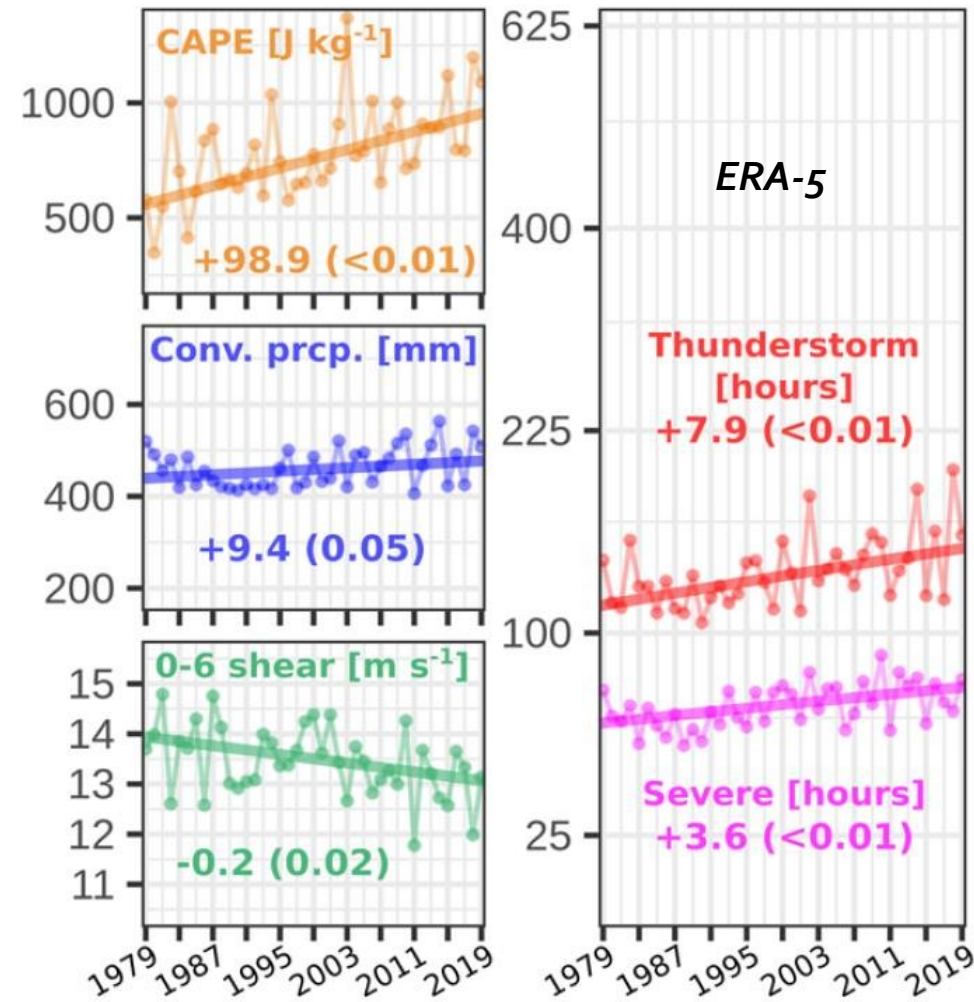




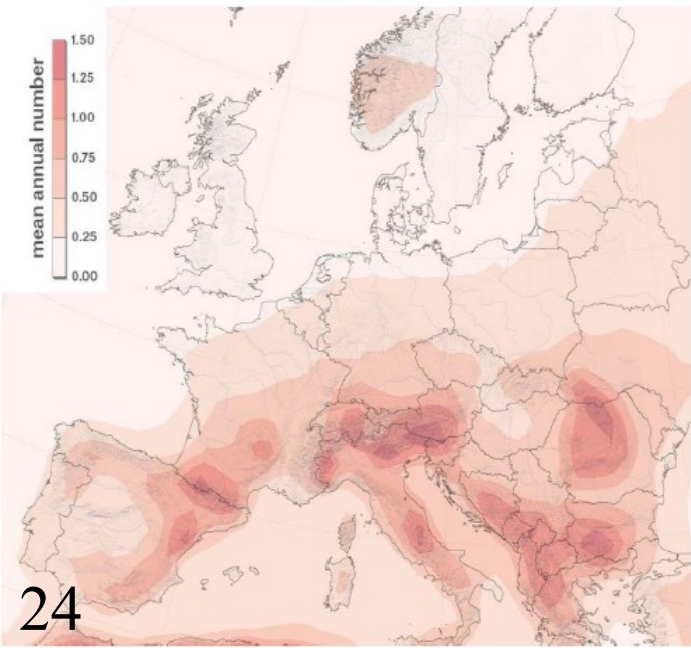
Variazioni pluriennali nella media annuale del numero di giorni con temporali (sinistra) e temporali intensi (destra) nella regione mediterranea, calcolate come differenza tra i valori medi annuali del 1979-1997 e del 1998-2017. Adattato da Taszarek et al. (2019).

TREND OSSERVATI

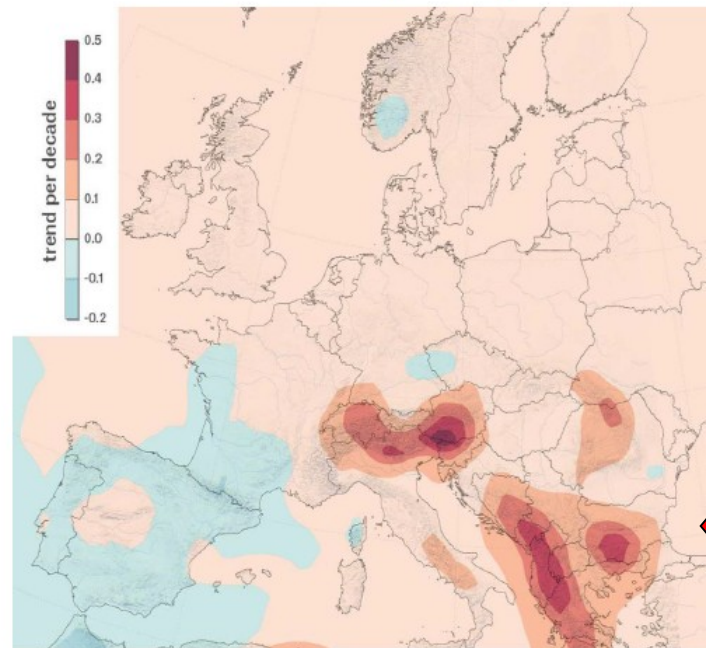
Southern Europe



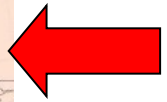
1979-2015 frequenza (ESWD)



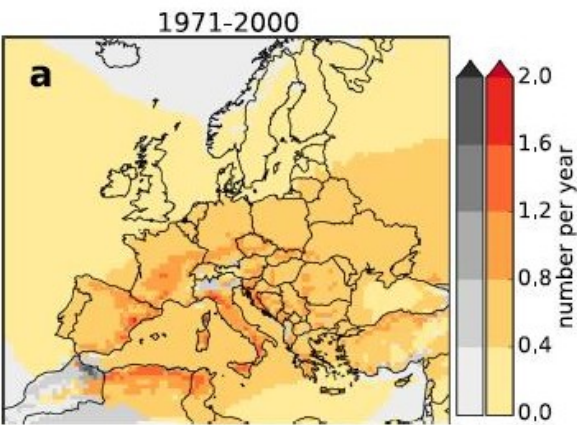
1979-2015 trend (ESWD)



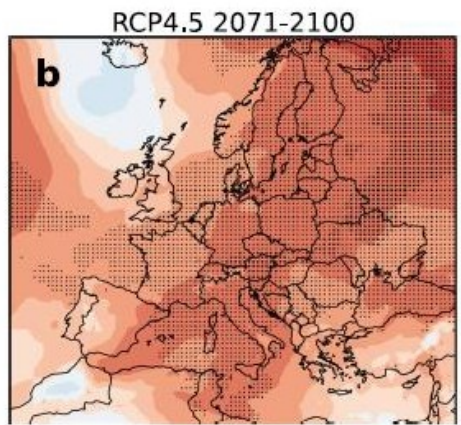
Frequenza (sn) e trend (ds) giorni annui con grandine



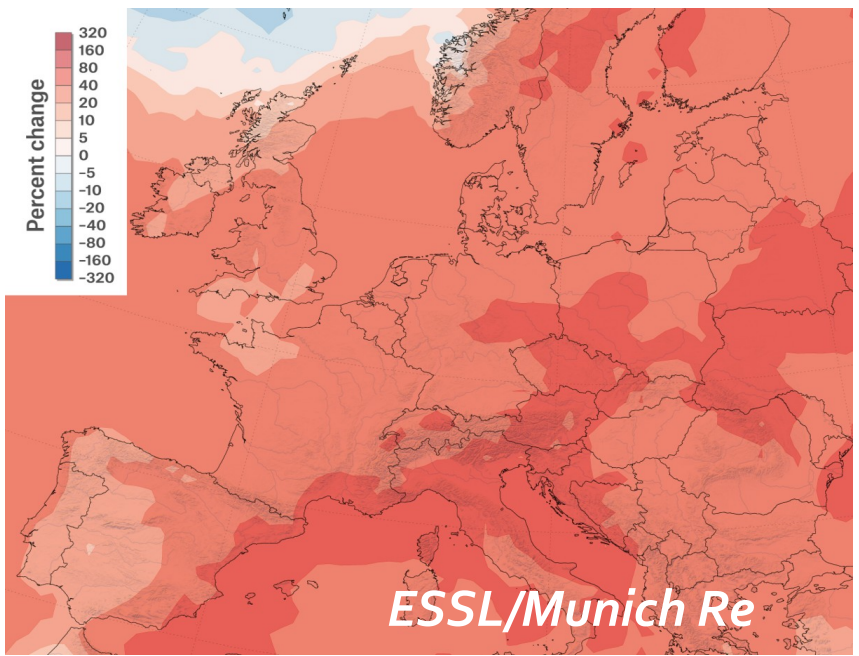
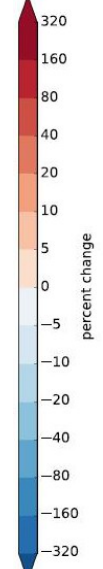
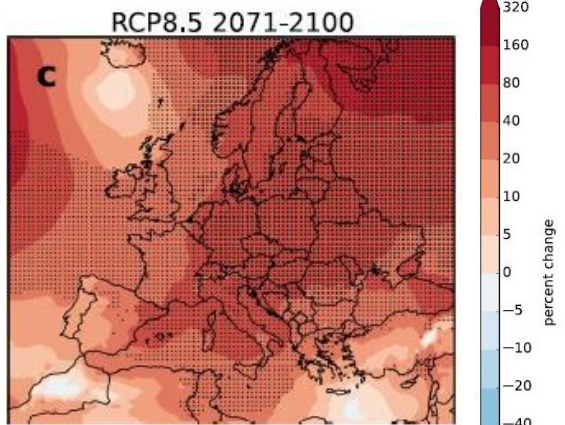
Scenari futuri



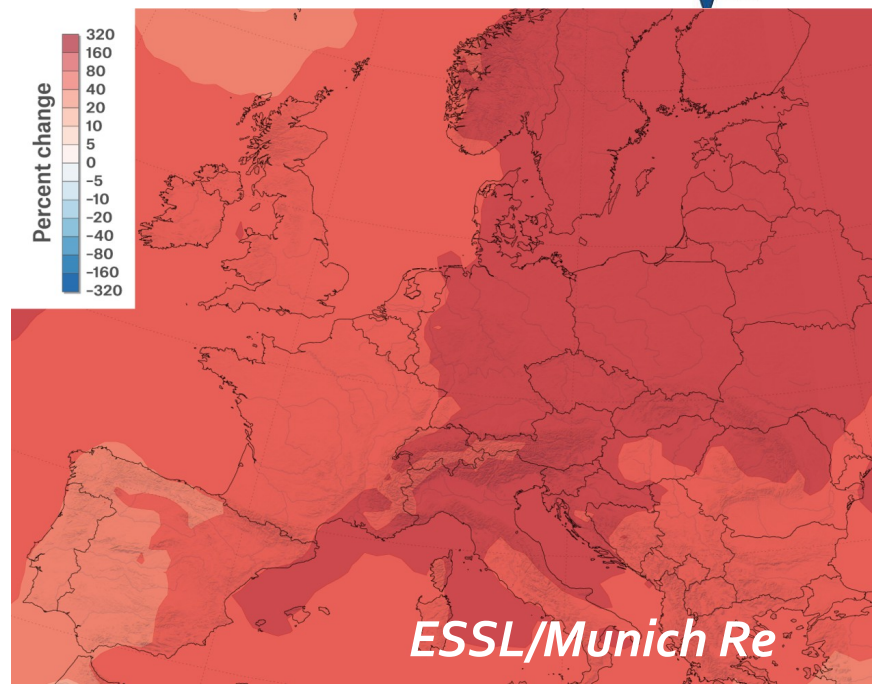
Grandine >2 cm



A.T. Rädler et al.



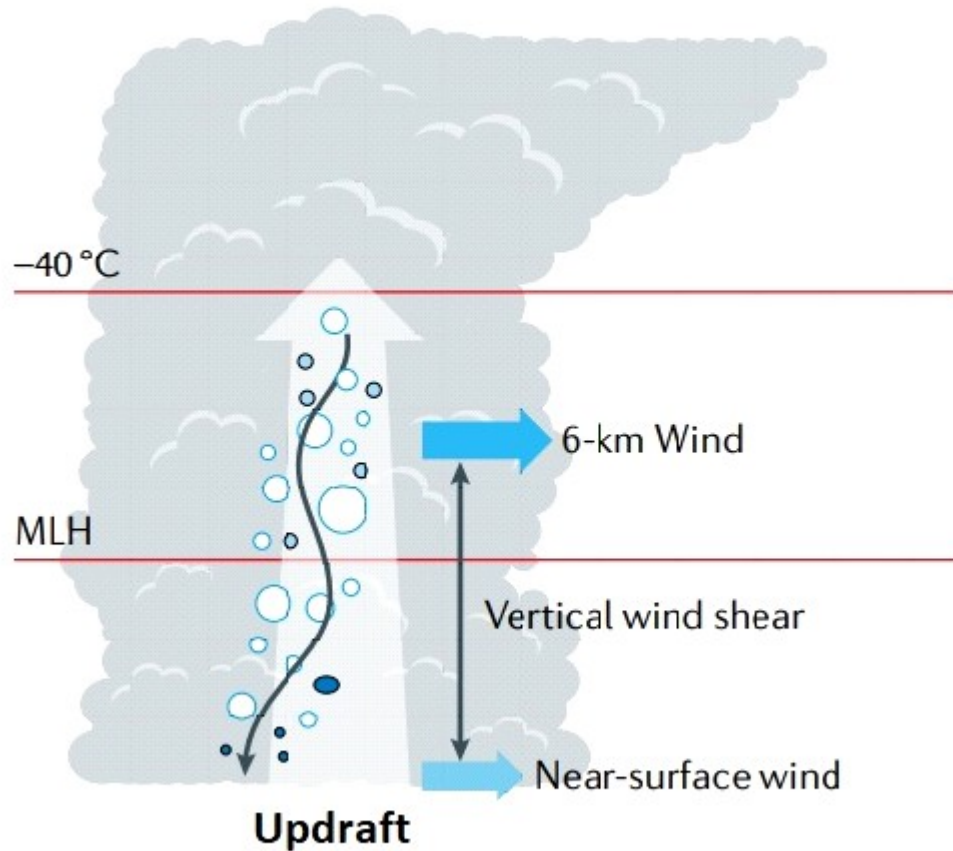
Scenario di variazione percentuale delle grandinate con chicchi >5 cm in uno scenario climatico moderato RCP 4.5 (aumento della temperatura di circa 2,6°C, 2071–2100)



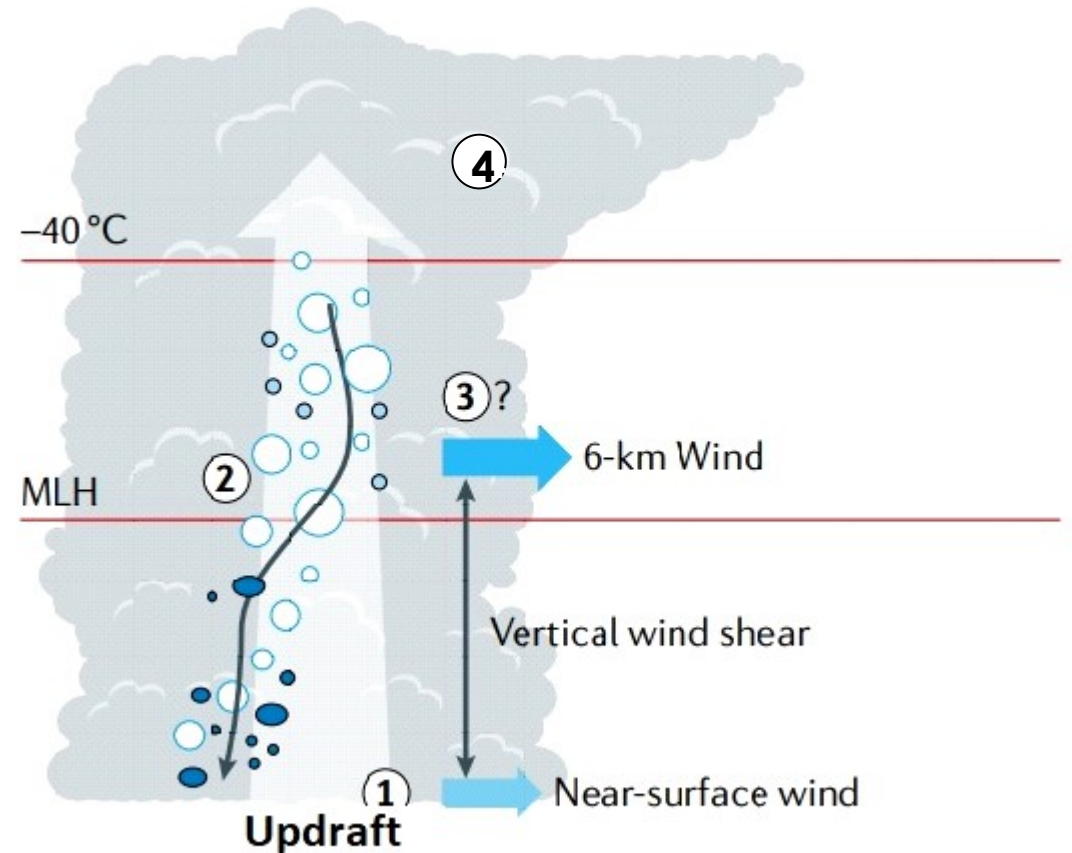
Scenario di variazione delle grandinate con chicchi >5 cm in uno scenario climatico "business as usual" RCP 8.5 (aumento di temperatura >4°C, 2071–2100)



a Clima attuale



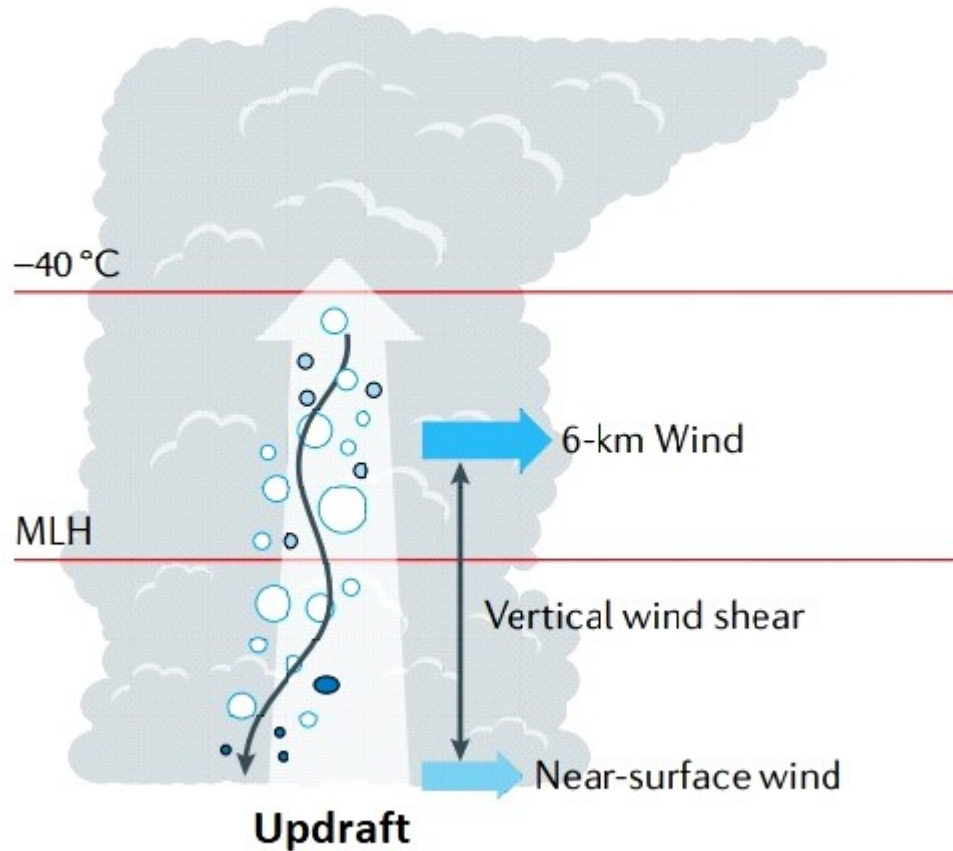
b Clima futuro



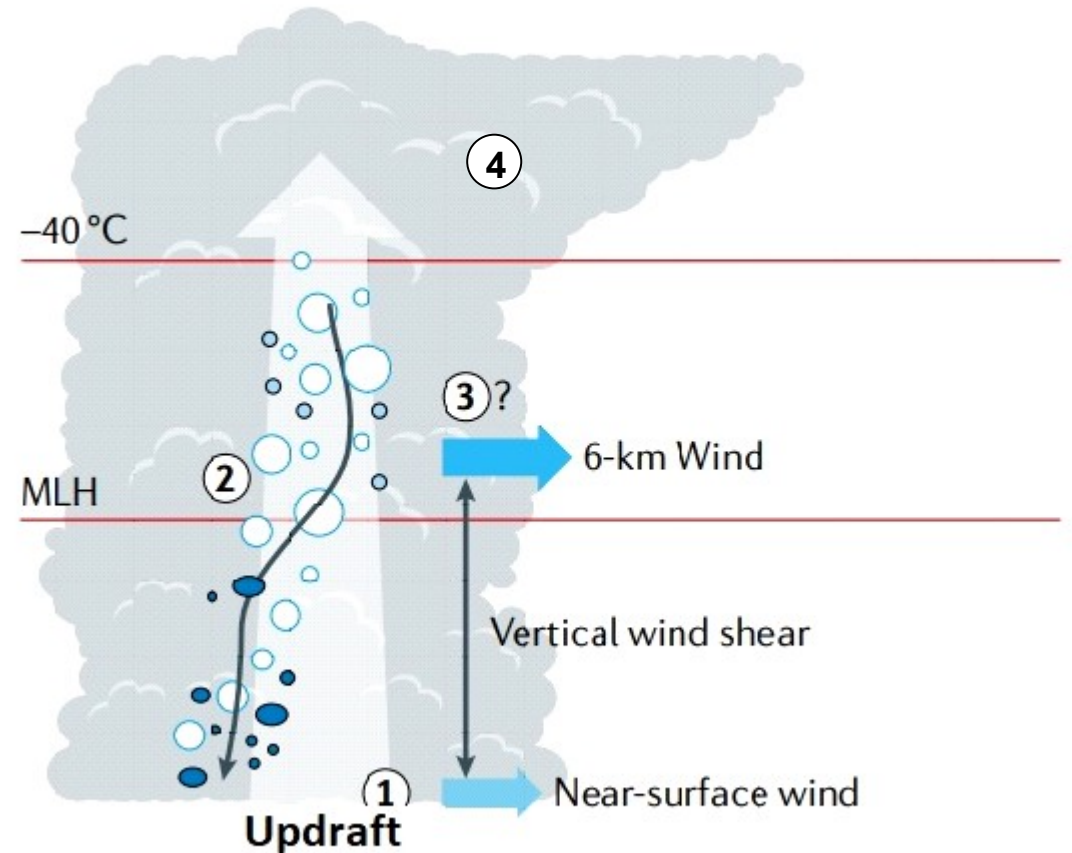
○ Grandine ● Acqua sopraffusa ● Pioggia

- 1) Un PBL più caldo e umido porta ad una maggiore instabilità (+CAPE) e forza delle correnti ascensionali che possono sostenere chicchi grandi.
- 2) Freezing level (MLH) a quota più alta porta a più acqua liquida e una maggiore fusione dei chicchi piccoli di grandine, ma anche a uno spostamento della distribuzione verso chicchi di grandine più grandi.

a Clima attuale



b Clima futuro

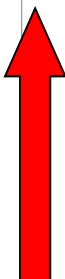
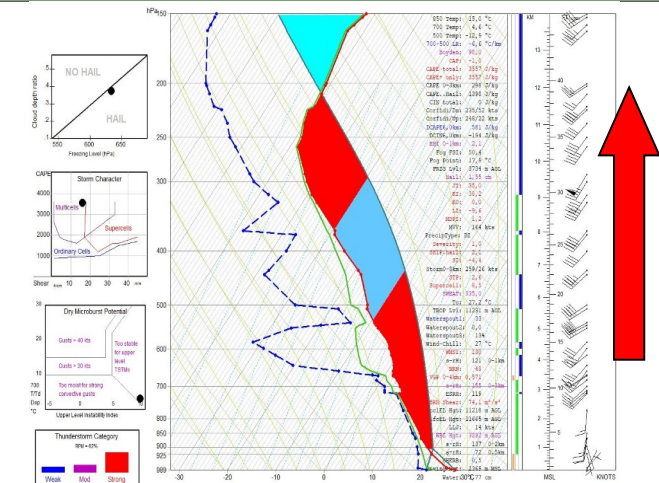
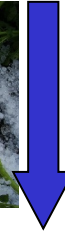


○ Grandine ● Acqua soprappusa ● Pioggia

- 3) I cambiamenti nel wind shear verticale potranno influenzare la struttura del temporale e la traiettoria della grandine, ma sarebbero generalmente oscurati dai cambiamenti di instabilità.
- 4) La riduzione dello spessore di nube sopra il livello dei -40°C determinerebbe un minore numero di embrioni (relativo), che però avrebbero a disposizione molta acqua, anche soprappusa (meno chicchi ma più grandi).

CENTRO EUROPA E NORD ITALIA TREND

Trend osservati	Proiezioni future	Cambiamenti rilevanti
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ancora non bene delineati ✓ Aumento dei danni. ✓ Aumento di intensità. ✓ Aumento delle dimensioni favorito da ambienti più instabili 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incremento in frequenza di ambienti più instabili ma con incertezza moderatamente elevata. Probabile aumento di grandinate severe, calo di quelle deboli, <u>tuttavia.....</u> ✓ <u>Gli scenari futuri sugli eventi di grandine sono soggetti a grandi incertezze, perché essi avvengono su piccola scala e non possono essere rappresentati direttamente nei modelli climatici globali e regionali.</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Incremento dell'instabilità convettiva dovuta all'aumento di temperatura e umidità di basso livello. ✓ L'aumento del CAPE sembra possa ampiamente controbilanciare un teorico calo dello shear. ✓ Innalzamento quota zero termico



BIBLIOGRAFIA

- "A Climatology of Thunderstorms across Europe from a Synthesis of Multiple Data Sources". *Pucik T. et al. 2018*
- "Characterisation of hail storms using a multi-data approach". *Wapler K. 2017*
- "Climate change will result in more severe hailstorms in Europe". *Radler A. Et al. 2020*
- "Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data". *Taszarek M. et al. 2021*
- "La Grandine" *Stel F. 2012*
- "Large Hail Incidence and Its Economic and Societal Impacts across Europe". *Pucik T. et al. 2019*
- "Hail in Northeast Italy: Climatology and Bivariate Analysis with the Sounding-Derived Indices". *Manzato A. 2012*
- "Hail observations and hailstorm characteristics in Europe: A review". *Punge H.J. 2016*
- "Hail potential in Europe based on a regional climate model hindcast". *Mohr S. 2015*
- "Proximity Soundings of Severe and Nonsevere Thunderstorms in Central Europe". *Pucik T. et al. 2015*
- "Severe thunderstorms and climate change". *Brooks H. 2014*
- "The effects of climate change on hailstorms". *Robert J. Trapp et al. 2021*
- "The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms". *Kunz M. 2007*

BIBLIOGRAFIA con conflitto di interessi

GRAZIE PER
L'ATTENZIONE

