

La supercella tornadica tra Brescia e Cremona del 6 giugno 2017



**Analisi meteorologica, radarmeteorologica, satellitare e nefologica,
analisi dei danni con applicazione della scala EF e ricostruzione del
percorso dei tornado**

*Valentina Abinanti, Alberto Gobbi, Alessandro Piazza,
Marco Rabito, Pierluigi Randi, Davide Rosa, Giacomo Venturin*

Indice

Introduzione	2
1. ANALISI SINOTTICA, A MESOSCALA E TERMODINAMICA	3
1.1 Situazione in alta troposfera	3
1.2 Situazione in media troposfera	6
1.3 Situazione in bassa troposfera	10
1.4 Analisi termodinamica.....	20
2. ANALISI SATELLITARE E RADARMETEOROLOGICA	28
3. ANALISI NEFOLOGICA	37
4. ANALISI DEI DANNI CON APPLICAZIONE DELLA SCALA EF E RICOSTRUZIONE DEL PERCORSO DEI TORNADO	48
4.1 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo dei tornado	48
4.2 Mappe delle isolinee di danno dei tornado.....	53
Sitografia	56

Introduzione

Nel corso del pomeriggio del 6 giugno 2017 una supercella temporalesca ha generato ben tre tornado mesociclonici tra le province di Brescia e Cremona di cui gli ultimi due a distanza ravvicinata sia nel tempo che nello spazio. Si è trattato di un evento davvero particolare e di notevole rilevanza, sia per l'intensità che per l'estensione dei danni, i quali sono stati utilizzati per stimare la velocità del vento applicando i criteri indicati dal documento in uso negli Stati Uniti "A Recommendation for an Enhanced Fujita Scale" che disciplina le procedure per giungere alla classificazione dei tornado.

Il presente rapporto scientifico si pone anche l'obiettivo di considerare e analizzare i vari fattori termodinamici che hanno generato la supercella e i relativi tornado con l'ausilio dei modelli meteorologici, del radiosondaggio di Milano e delle stazioni meteorologiche al suolo delle reti osservative MeteoNetwork e del Centro Meteo Lombardo. L'analisi delle immagini da satellite e dei prodotti radarmeteorologici di riflettività, unita all'attento esame delle fotografie scattate da Alessandro Piazza e Valentina Abinanti con il team di ZenaStormChaser, consente di definire in maniera soddisfacente le condizioni al contorno che hanno generato la serie di tornado oggetto di questo lavoro.

Negli ultimi anni l'impatto di questo genere di fenomenologia estrema è stato osservato e riportato con una frequenza molto più ravvicinata rispetto al passato. Talvolta risulta semplicistico ed azzardato imputare al Cambiamento Climatico ed al Global Warming ogni considerazione inerente intensità e frequenza dei fenomeni estremi collegati all'attività temporalesca, sebbene concetti di fondo di tipo prettamente meteorologico ne diano ampia giustificazione: calore, umidità, energia a disposizione, contrasti più accesi, isole di calore ecc...

Il rapidissimo progresso scientifico e la disponibilità per tutti di mezzi di documentazione fotografica e video, nonché dei mezzi di comunicazione di massa (smartphones, webcams, social network ecc.), ci permette di avere notizia quasi in tempo reale e in maniera capillare anche degli eventi più piccoli. Non solo. L'urbanizzazione, in molti casi "selvaggia" che ha interessato il nostro territorio (si suggerisce la lettura di "La megalopoli padana" ed. Marsilio, di Eugenio Turri), aggiunge un ulteriore fattore a supporto della più fitta rilevazione di questa fenomenologia a piccola scala in quanto interessante, sempre più spesso, zone abitate che un tempo erano agricole.

La climatologia, dal punto di vista prettamente scientifico, si confronta con queste inevitabili considerazioni e, pur indicando come *probabile o molto probabile* la correlazione tra maggiore frequenza ed intensità di questi eventi e il Cambiamento Climatico, non dispone ancora della cosiddetta "pistola fumante", mancando appunto una casistica sufficientemente completa e dettagliata degli eventi minori occorsi nel passato. Il Global Warming appare come parte in causa sebbene occorra prendere sempre con le pinze questa considerazione, sulla base di quanto sopra illustrato.

Approfondimenti e studi come questo si propongono come strumento di catalogazione e analisi degli eventi con maggiore impatto ed avrà pieno titolo per essere utilizzato, nel futuro, da una climatologia degli eventi estremi che possa disporre di maggiori informazioni e di una casistica più ampia per fornire delle risposte a quelle domande che il cittadino pone sempre con più insistenza: I tornado sono più frequenti ed intensi sul territorio padano rispetto a 30/40 anni fa? Per quale motivo?

Per la piena comprensione dei vari concetti esposti in questo rapporto scientifico si consiglia il libro "Temporali e Tornado" ed. Alpha Test (2009) e un'approfondita lettura di "Il tornado di Pianiga, Dolo e Mira dell'8 luglio 2015" di Valentina Abinanti, Daniele Bianchino, Alberto Gobbi, Zuara Mistrorigo, Marta Valeria Perini, Marco Rabito, Pierluigi Randi, Davide Rosa, Tobia Scortegagna, Diego Valeri, reperibile ai seguenti links:

http://documenti.serenissimameteo.it/documents/tornado_8luglio2015_capitoli.pdf

http://documenti.serenissimameteo.it/documents/tornado_8luglio2015_schede.pdf

Marco Rabito

Presidente Associazione Serenissima Meteo

1. ANALISI SINOTTICA, A MESOSCALA E TERMODINAMICA

di Pierluigi Randi

Nelle ore pomeridiane del 6 giugno 2017, con particolare riferimento nel periodo compreso tra le 15.30 e le 17 locali, un episodio di tempo severo ha coinvolto il comparto lombardo comprendente alcune aree delle province di Cremona e Brescia ove è transitato un sistema temporalesco di notevole intensità che ha generato almeno tre tornado, all'origine di gravi danni.

Di seguito verranno analizzati alcuni fattori che si ritiene possano aver assunto un ruolo di primaria importanza nell'innescare del sistema temporalesco e conseguenti tornado. A tale scopo sono stati utilizzati sia i dati al suolo rilevati dalle stazioni appartenenti a varie reti osservative presenti sul territorio, sia quelli relativi ai modelli numerici, in forecast e reforecast, considerandoli in funzione dei modelli concettuali (da letteratura).

L'analisi e la valutazione delle condizioni termodinamiche in medio-alta troposfera sono state effettuate in massima parte sulla base degli output del modello WRF-ARW 5 km (WRF MeteoNetwork) con dati al contorno GFS 0.5° e inizializzazione 12Z del 6/6/2017, del modello WRF-ARW 3 km (WRF Consorzio LaMMA Toscana) con dati al contorno ECMWF 0.25° e inizializzazione 06Z del 6/6/2017 (archivio del forecast) ed infine AROME 1.3 km con dati al contorno GFS 0.25° e inizializzazione 00Z del 6/6/2017.

In particolare, per il modello WRF MeteoNetwork, i dati di inizializzazione e al contorno, oltre che dal modello globale GFS 0.5°, fanno riferimento anche alla SST 0.083° (temperatura superficiale del mare), ai dati di radianza da satellite e ai valori di temperatura, pressione e umidità registrati dalla rete delle stazioni meteorologiche MeteoNetwork. Il modello WRF MeteoNetwork opera su 38 livelli verticali, la parametrizzazione convettiva è assente poiché si fa riferimento al calcolo esplicito dei processi convettivi.

Poiché le varie immagini riportate possono essere relative a tre forme di orario (locale, solare, UTC), queste per ovvie ragioni di uniformità saranno tutte corredate con l'ora italiana nella relativa didascalia, salvo diversa indicazione.

1.1 Situazione in alta troposfera

Nella giornata del 6 giugno si assiste, ai piani troposferici più elevati, all'ingresso da ovest di una stretta saccatura atlantica nel campo del geopotenziale (livello isobarico di 300 hPa preso a riferimento) proveniente dalla Francia, come si evince dalla Fig. 1.1. Nell'ora indicata l'asse di saccatura è in procinto di attraversare il nord Italia, specie il settore a nord del Po, con i massimi di vento che si dispongono da SSW davanti all'asse e da WNW dietro, con valori del getto in accelerazione fino a 50-60 m/s.

Si tratta di valori alquanto elevati e peraltro l'accelerazione del flusso risulta assai repentina grazie al rapido movimento verso levante dell'asse di saccatura. La medesima corrente a getto favorisce il passaggio sulla verticale di un'area di forte divergenza effettiva in quota (da jet streak rettilinea), segnatamente nel settore anteriore sinistro (ellisse rossa in Fig. 1.2), la quale riveste un importante ruolo nel sostenere forti moti verticali su scala più ampia, inclini a generare convezione profonda.

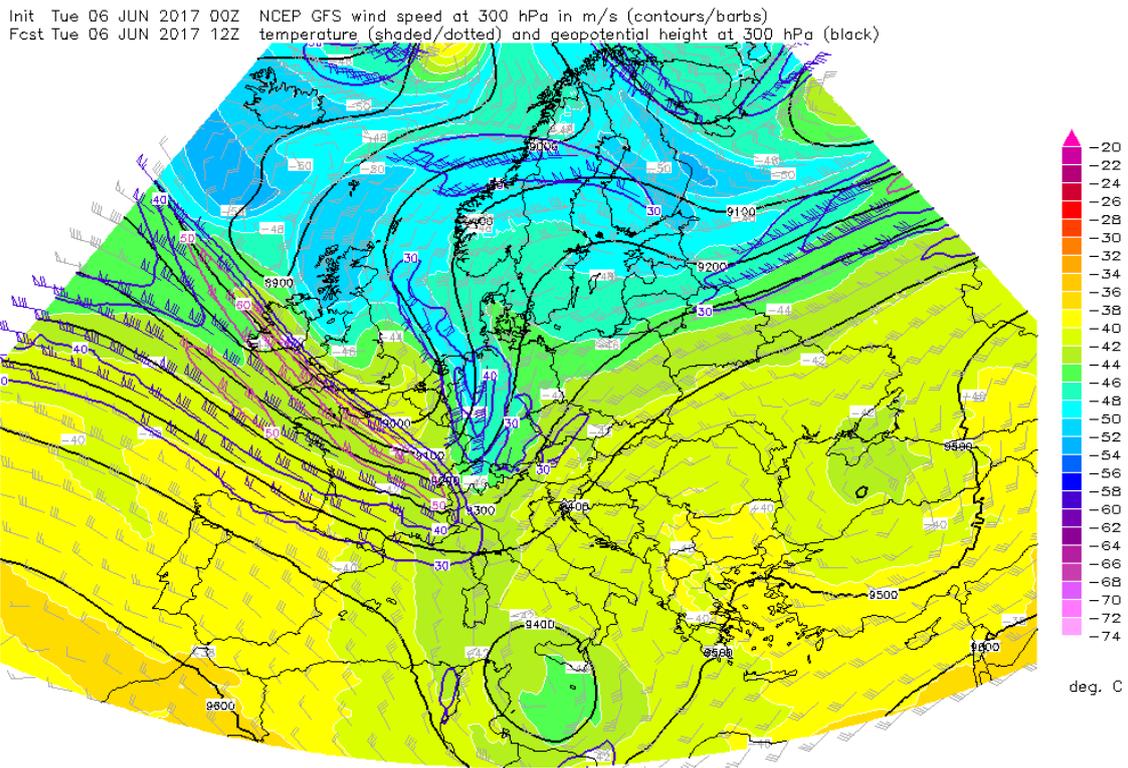


Fig. 1.1 - Temperatura e geopotenziale sul piano isobarico di 300 hPa ore 14 locali. Fonte: GFS 0.25°

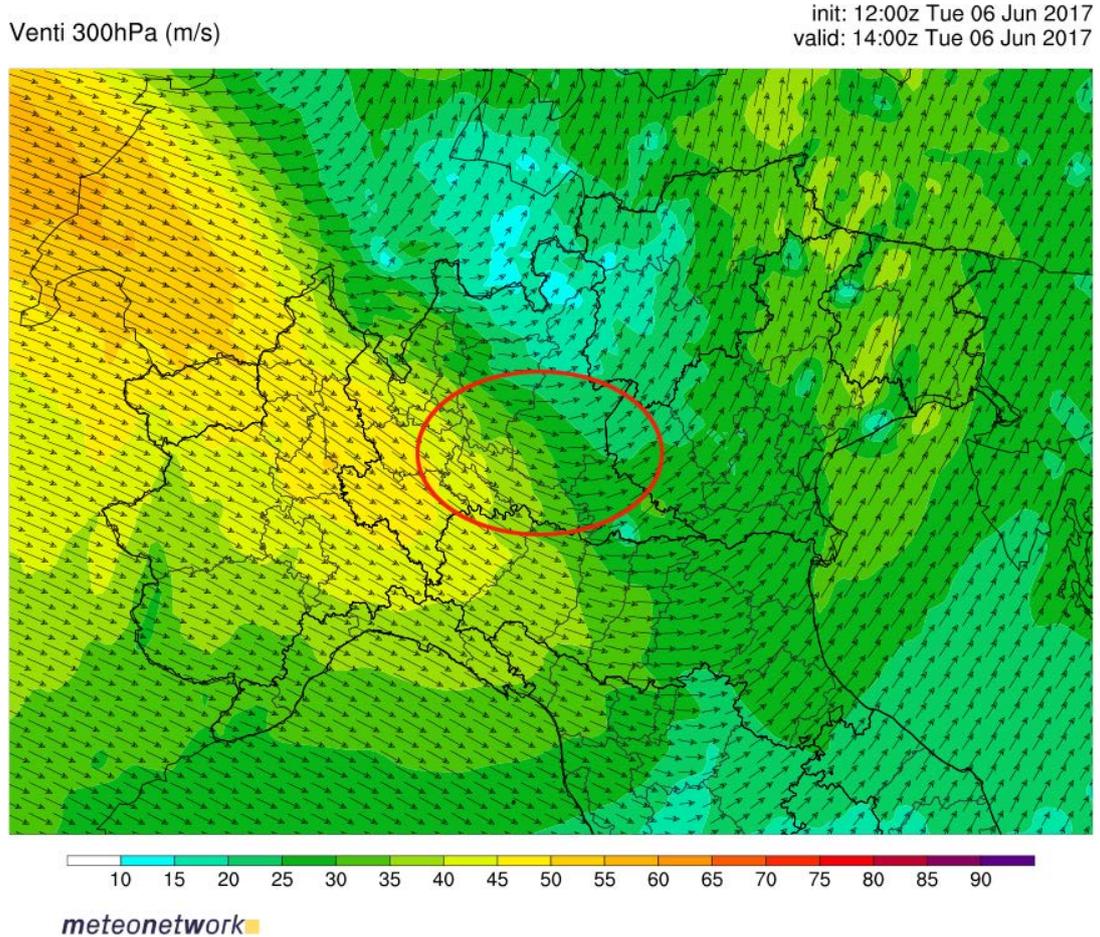


Fig. 1.2 - Velocità e direzione del vento in m/s sul piano isobarico di 300 hPa ore 16 locali. Fonte WRF MeteoNetwork

In ogni caso, anche successivamente al passaggio dell'asse di saccatura, si assiste al persistere di forti correnti, in questo caso occidentali, sempre sul livello isobarico di 300 hPa, inclini a mantenere nell'area interessata condizioni di forte speed wind shear verticale. Tale aspetto è meglio individuabile nella mappa di Fig. 1.2 dove si nota come un forte getto con direzione WNW-ESE interessi il Piemonte e la Lombardia dietro all'asse di saccatura, presentando massimi di vento oltre 50 m/s al confine tra le due regioni (pavese e milanese) in ulteriore evoluzione verso levante.

In questi casi si genera sempre un'intrusione verso l'alta e media troposfera di aria stratosferica più secca: ciò accade perché, in concomitanza al passaggio di saccature di questo tipo e con le suddette dinamiche, si manifesta un raffreddamento per il quale l'aria, nel contempo più secca, aumenta la propria densità e occupa pertanto uno spessore inferiore favorendo in tal modo un abbassamento della tropopausa.

Le intrusioni dall'alto di aria stratosferica più secca e dotata di elevata vorticità sono sempre correlate ad intensi moti verticali che, qualora le condizioni negli strati troposferici più bassi siano favorevoli, possono contribuire al verificarsi di fenomeni convettivi anche severi. L'intrusione di aria secca alle quote di media e alta troposfera è ben rintracciabile anche nell'immagine satellitare nel campo del vapore acqueo relativa alle ore 14 locali (Fig. 1.3).

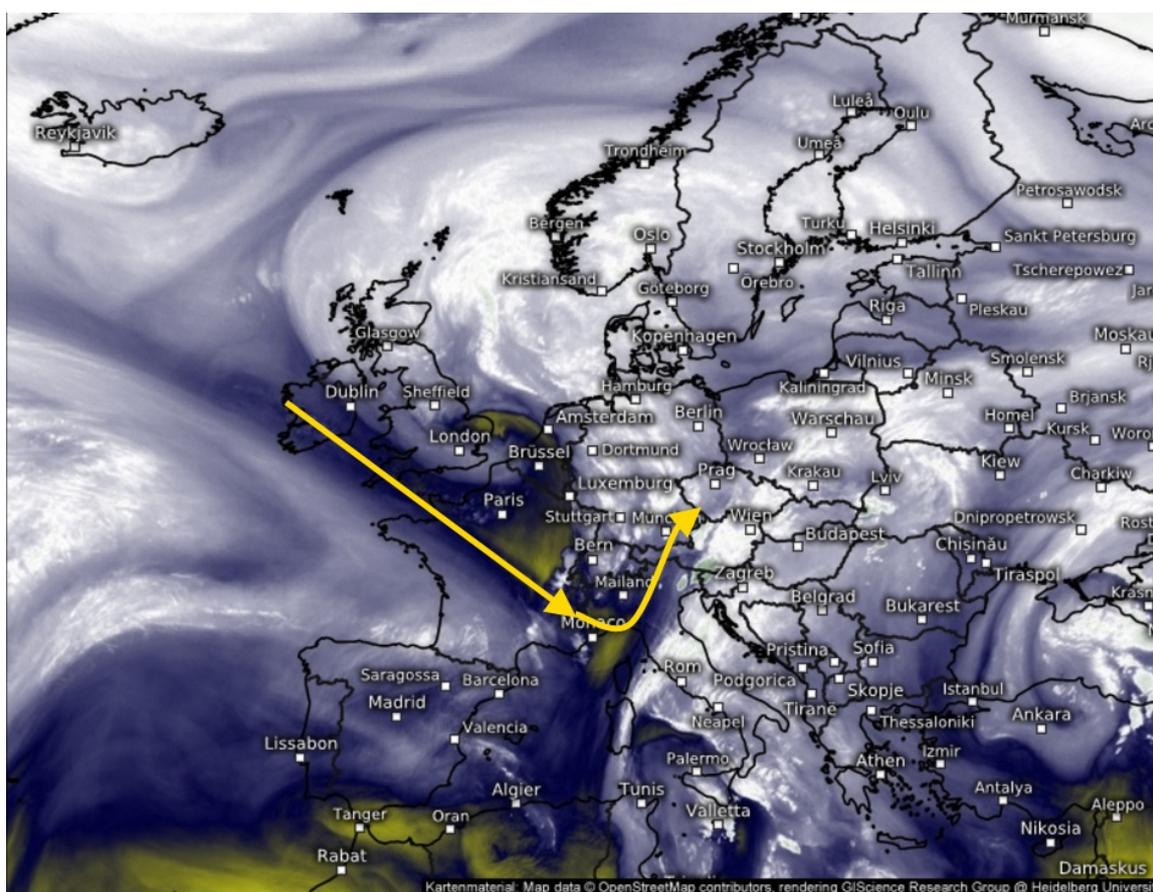


Fig. 1.3 - Immagine da satellite delle ore 14 locali nel campo del vapore acqueo. Fonte: Eumetsat elaborazione Kachelmann wetter

L'immagine da satellite di Fig. 1.3 indica una fascia caratterizzata da aria umida (colore tendente al bianco, anche per effetto di copertura nuvolosa) davanti alla saccatura avanzante in quota, ed essa corrisponde ad una avvezione di aria calda di origine subtropicale con limite della tropopausa più elevato.

In corrispondenza della stretta saccatura in entrata da ovest si nota l'ingresso di aria più secca, con limite della tropopausa più basso, proveniente dalla Francia e in procinto di interessare l'intero nord Italia. Tale zona è identificabile da una tonalità di colore più scura (bassa umidità relativa) con il percorso dell'intrusione secca indicato dalle frecce gialle, le quali seguono i contorni della saccatura stessa (Fig. 1.3).

In ogni caso, come spesso accade sulla nostra penisola in caso di eventi di tempo particolarmente severo, le forzanti più importanti, e talora decisive, si sono attuate ai piani troposferici inferiori, ciò a causa della complessa orografia alpina ed appenninica e alla particolare struttura del classico diurno PBL (Planetary Boundary Layer) della Pianura Padana, il quale nel periodo estivo è quasi sempre sede di aria assai calda e umida su spessori spesso ragguardevoli.

Si passa quindi ad analizzare la situazione a quote via via più basse.

1.2 Situazione in media troposfera

Per quanto concerne il piano isobarico di 500 hPa (circa 5 km di quota), nelle prime ore del pomeriggio del giorno 6, si individua il passaggio di una saccatura nel campo del geopotenziale la quale indirizza il proprio asse in corrispondenza dell'Italia settentrionale con associate correnti da SW a spiccata curvatura ciclonica e con ingresso da ovest di un nucleo di aria fredda collegato ad elevati valori di vorticità positiva che si portano velocemente verso la Lombardia. L'ingresso della saccatura e del nucleo di aria fredda sul piano isobarico di 500 hPa è ben evidente nella mappa di Fig. 1.4.

Le aree in colore verde sempre più scuro di Fig. 1.4 identificano l'avvezione fredda proveniente dalla Francia che nel primo pomeriggio abborda da ovest il Piemonte e la Lombardia, mentre le isoipse (linee nere) mostrano un flusso sud-occidentale in intensificazione davanti all'asse della saccatura stessa. I massimi di avvezione fredda si notano su Lombardia centro-settentrionale, cui corrisponde peraltro l'arrivo di una massa d'aria decisamente più secca.

Il sovrapporsi di aria fredda e secca al di sopra di uno spessore di aria assai più calda e umida nei bassi strati (come si vedrà in seguito) rappresenta una delle condizioni ideali per la formazione di intensi sistemi temporaleschi rendendo particolarmente instabile il profilo verticale, tanto più in corrispondenza dell'arrivo di strette saccature nel campo del geopotenziale.

Restringendo il dominio di interesse alla sola Italia settentrionale, si riporta una mappa sempre relativa al campo di geopotenziale sul livello di 500 hPa e prevista per la medesima ora (Fig. 1.5).

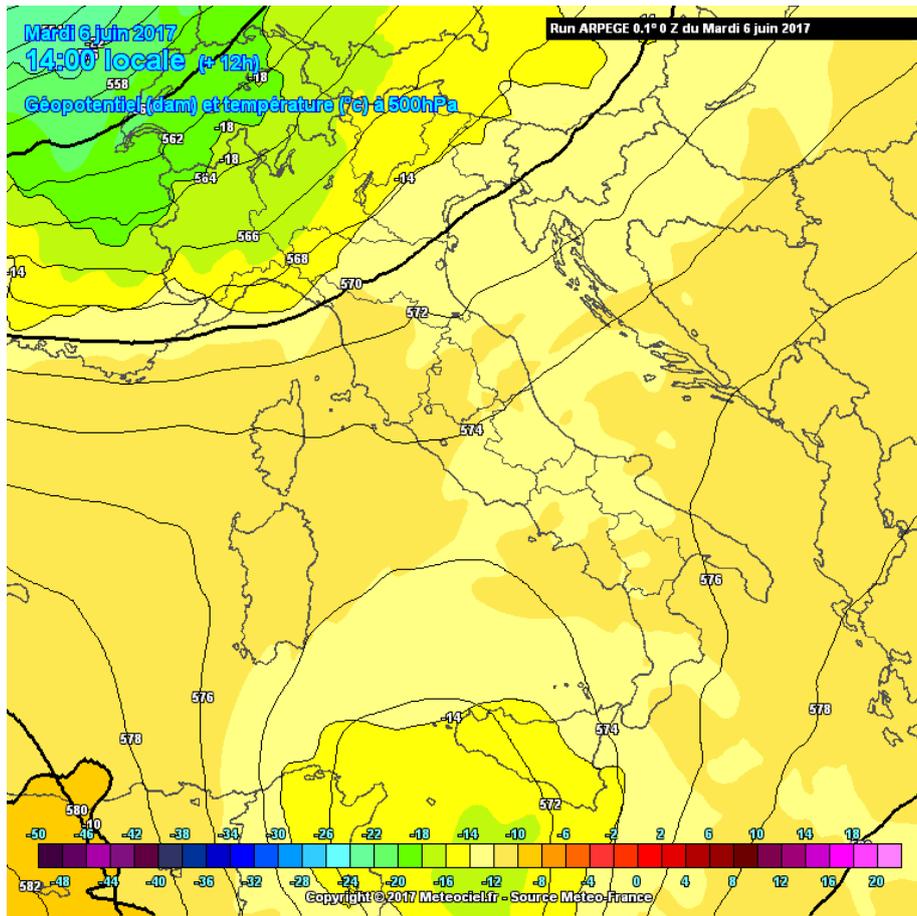


Fig. 1.4 - Geopotenziale e temperature in °C previste sul piano isobarico di 500 hPa ore 14 locali. Fonte 10 km Arpege

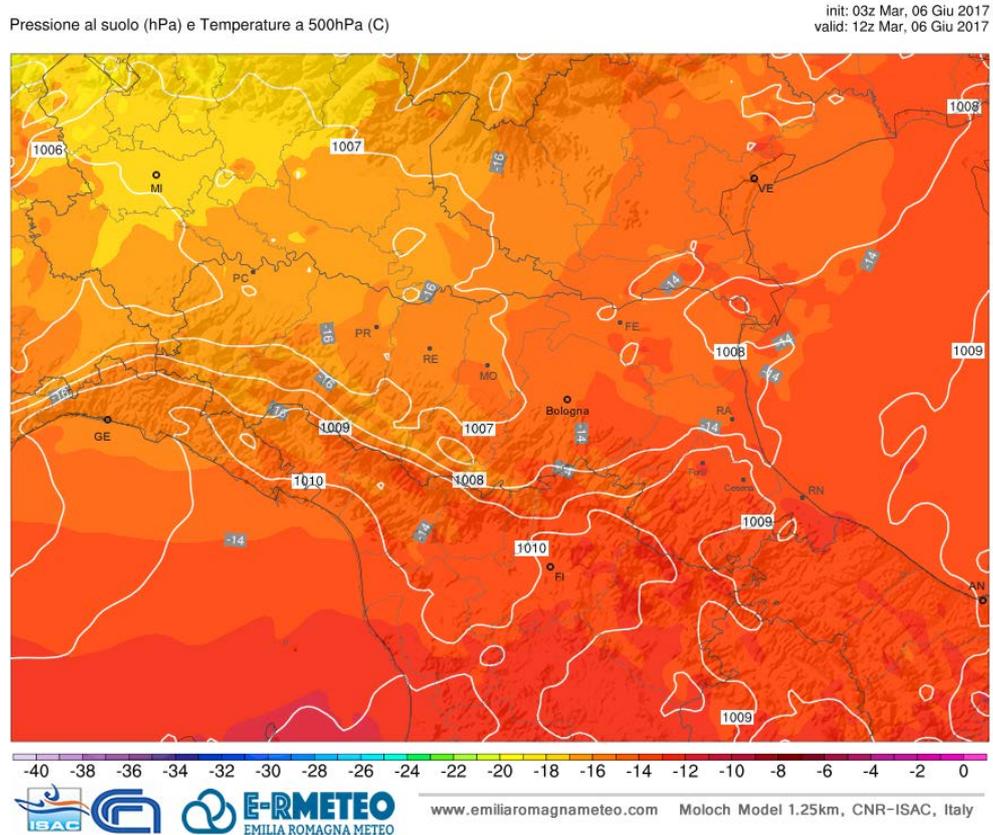


Fig. 1.5 - Pressione al suolo e temperature in °C sul piano isobarico di 500 hPa ore 14 locali. Fonte 1.25 km Moloch

Nelle prime ore del pomeriggio si osserva infatti l'avanzare di aria fredda, legata al progredire della saccatura nel campo del geopotenziale, verso il comparto lombardo con isoterme di -18/-19°C (area in colore giallo scuro nella Fig. 1.5). Nel contempo anche sul piano isobarico di 500 hPa si nota l'entrata di aria più secca da ovest in concomitanza all'avanzare della saccatura atlantica, come indicato in Fig. 1.6.

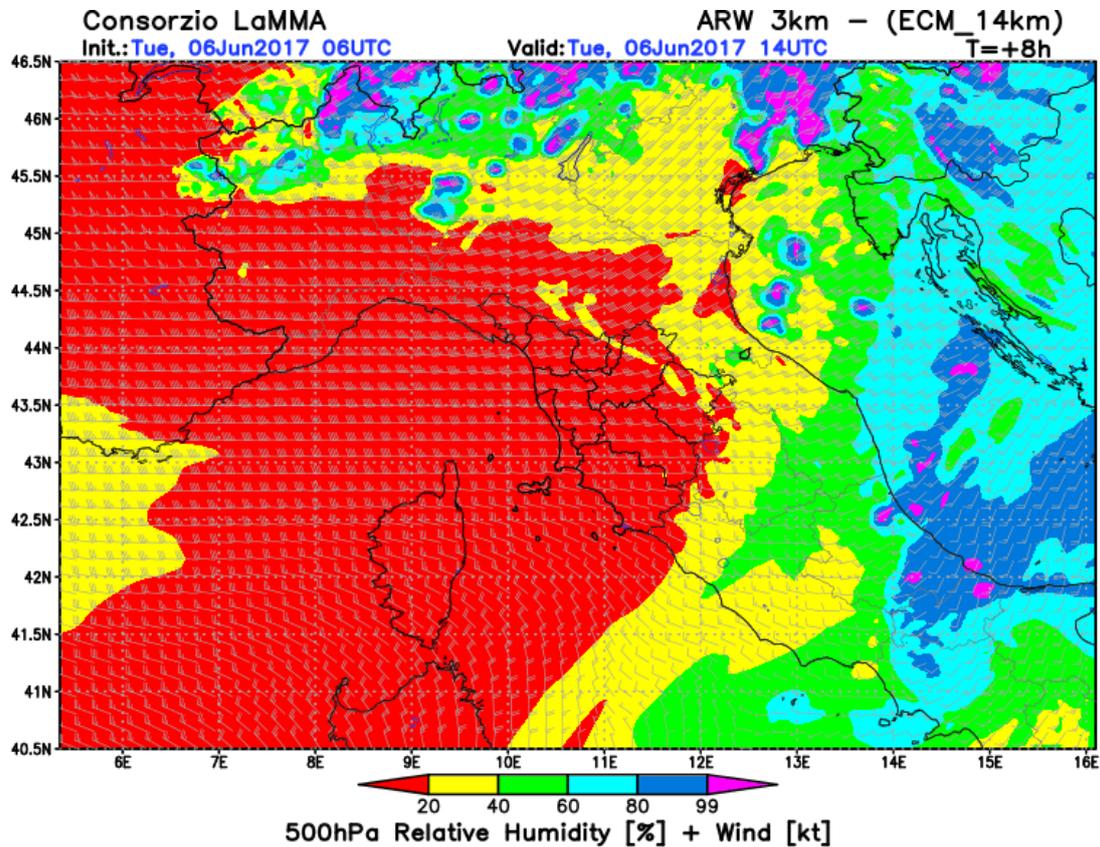


Fig. 1.6 - Umidità relativa in % e vento sul piano isobarico di 500 hPa, previsione ore 16 locali. Fonte 3 km WRF Lamma model

L'arrivo di aria più secca contribuisce a rendere alquanto instabile il profilo verticale, stante la presenza di aria molto calda e umida nei bassi strati. Il rapido ed incisivo passaggio della stretta saccatura sul piano isobarico di 500 hPa è ben evidenziato anche dai campi di vorticità relativa, sia pure previsti, come desumibile dalla mappa in Fig. 1.7. In essa si notano elevati valori di velocità del vento con rotazione da WSW a spiccata curvatura ciclonica davanti all'asse avanzante e da WNW dietro. La disposizione di tali flussi genera l'avvezione da ovest di un nucleo di vorticità positiva che si porta dal Piemonte alla Lombardia.

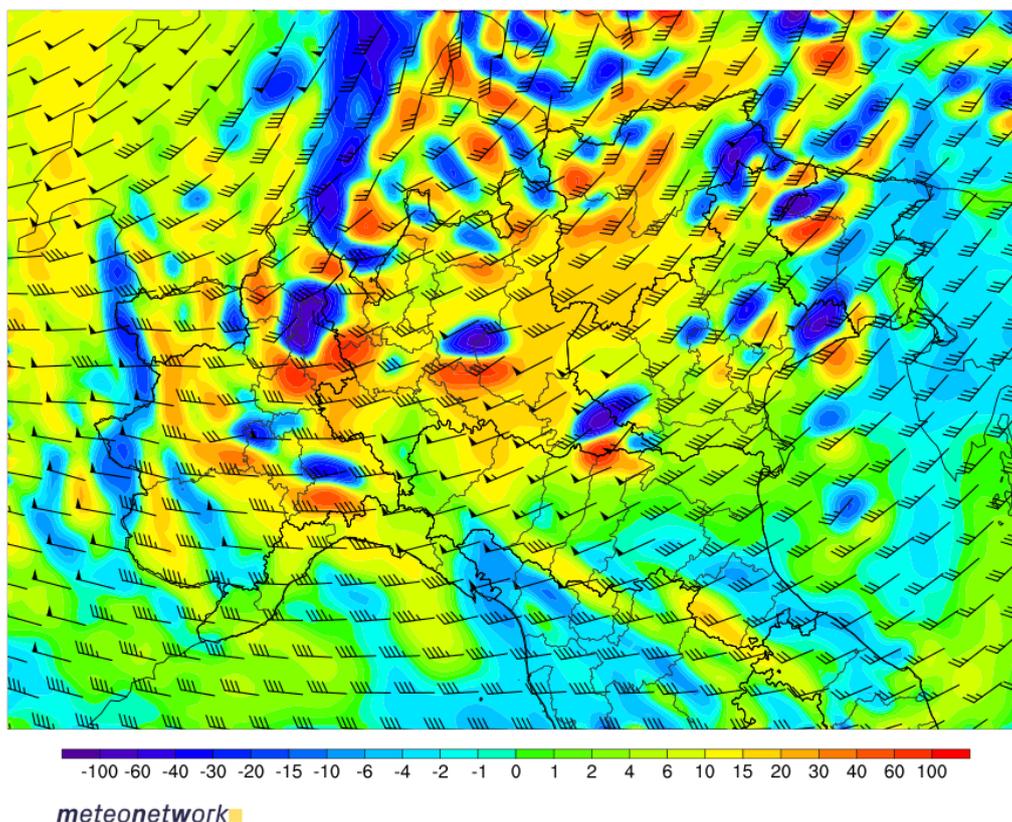


Fig. 1.7 - Previsione vorticità relativa e vento in nodi sul livello di 500 hPa ore 16 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

Si prende inoltre in considerazione la previsione del gradiente di temperatura potenziale equivalente tra i piani isobarici di 500 hPa e 850 hPa. Ricordiamo che la temperatura potenziale equivalente (Theta-E) equivale alla temperatura che assumerebbe una particella d'aria se venisse portata da una determinata quota di riferimento al livello convenzionale dei 1000 hPa, adiabaticamente (cioè senza scambio di calore con l'ambiente) e supponendo di far condensare il vapore acqueo presente e sfruttando il calore latente così ottenuto per scaldare la particella stessa.

Questo parametro risulta utile, assieme ad altri, per valutare la stabilità di una massa d'aria: a parità di temperatura, una massa d'aria con Theta-E elevata presenta un elevato contenuto di umidità. Nonostante sia più utilizzata nelle cross-section verticali per soppesare la stabilità atmosferica, il valore di Theta-E appare in ogni caso di buon aiuto per l'individuazione delle aree inclini all'innescio di attività temporalesca più o meno intensa. Zone con alti valori di Theta-E ("Theta-E ridge") sono in genere caratterizzate da aria calda e umida, pertanto leggera e potenzialmente instabile.

La previsione dei valori di Theta-E a due diversi livelli isobarici (generalmente tra i piani isobarici di 500 hPa e 850 hPa) consente di ricavare il parametro "Delta Theta-E", che rappresenta un buon indice per caratterizzare l'instabilità dell'aria, con valori positivi per aria stabile, negativi per aria condizionatamente instabile o instabile.

Nel caso del 6 giugno si nota una previsione di valori di Delta Theta-E assai negativi, rivelatori di aria potenzialmente alquanto instabile, tra le pianure del Piemonte e della Lombardia, ove si raggiunge un delta di $-18/-19^{\circ}\text{C}$, come ben si nota in Fig. 1.8.

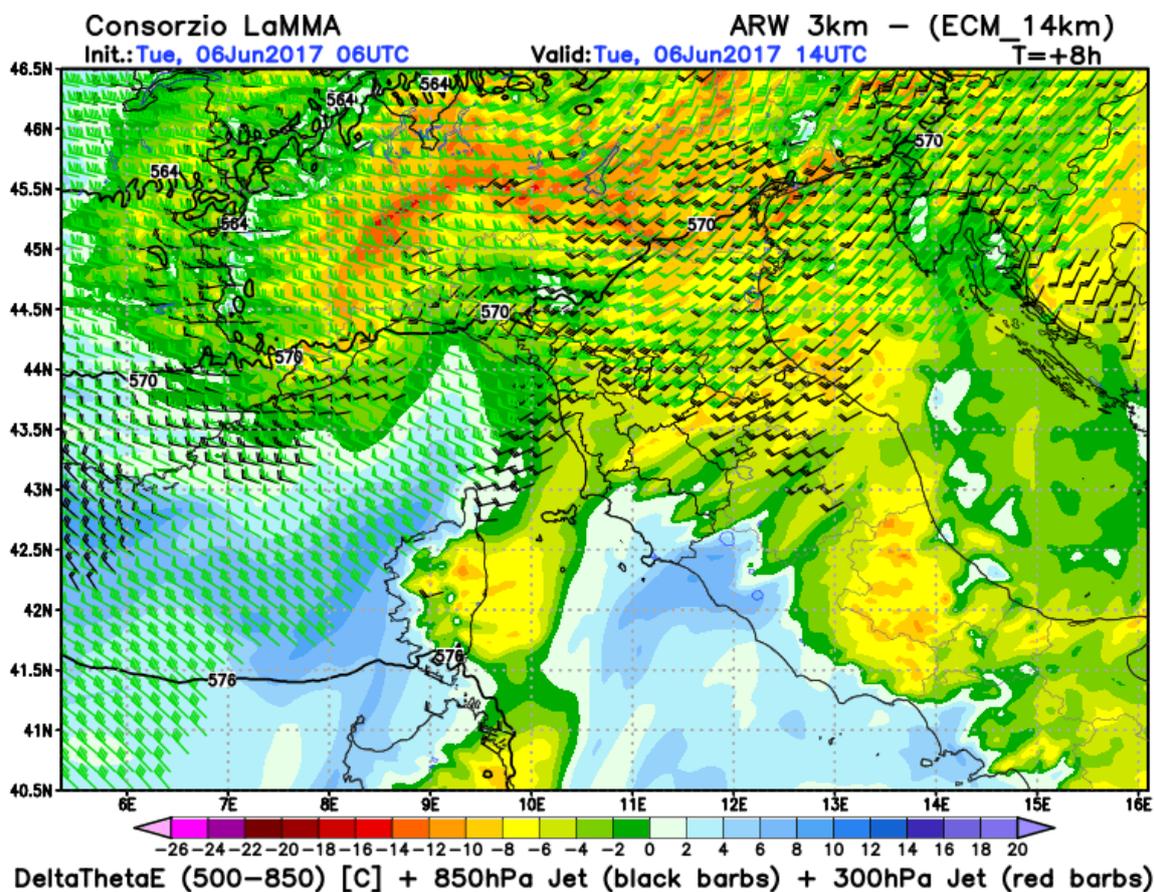


Fig. 1.8 - Delta Theta-E 500-850 hPa, vento a 850 hPa e 300 hPa, previsione ore 16 locali. Fonte 3 km WRF Lamma

1.3 Situazione in bassa troposfera

Come sovente accade in caso di severi outbreak temporaleschi sulla nostra penisola, con particolare riferimento al nord Italia e Pianura Padana, sono le forzanti e le dinamiche inerenti i bassi strati a risultare decisivi, e tale aspetto risulta puntualmente verificato anche in occasione degli eventi del 6 giugno 2017, sia per motivi legati alla complessa orografia (interazione tra correnti orografiche appenniniche e alpine), sia per la particolare conformazione del PBL tipico della Pianura Padana, sia per l'azione di precedenti sistemi convettivi presenti nell'area interessata.

Si passa quindi ad analizzare gli aspetti, inerenti i bassi strati, ritenuti più importanti nella genesi delle condizioni di "severe weather" osservate. Infatti su questi livelli si vanno a determinare condizioni particolarmente favorevoli alla strutturazione di un profilo termo-igrometrico e del vento altamente incline all'incremento dei valori di elicità e di wind shear positivo di basso livello.

In primo luogo era presente, nel pomeriggio, un afflusso da ovest di correnti più fredde sul piano isobarico di 850 hPa (temperature sull'ordine dei 6°C a circa 1500 m di quota), in netto contrasto con una precedente rimonta di aria calda sub-tropicale (valori di 12°C su alto Adriatico ma fino a 18-19°C sull'Italia meridionale).

Da notare l'elevato gradiente termico orizzontale tra regioni nord-occidentali e nord-orientali, come visibile nella mappa di Fig. 1.9.

Temperature (deg. C) at 850 hPa
Initial time Sat, 06/05/2017 03:00 UTC
Forecast + 9 h (000 d 09 h) valid Sat, 06/05/2017 12:00 UTC

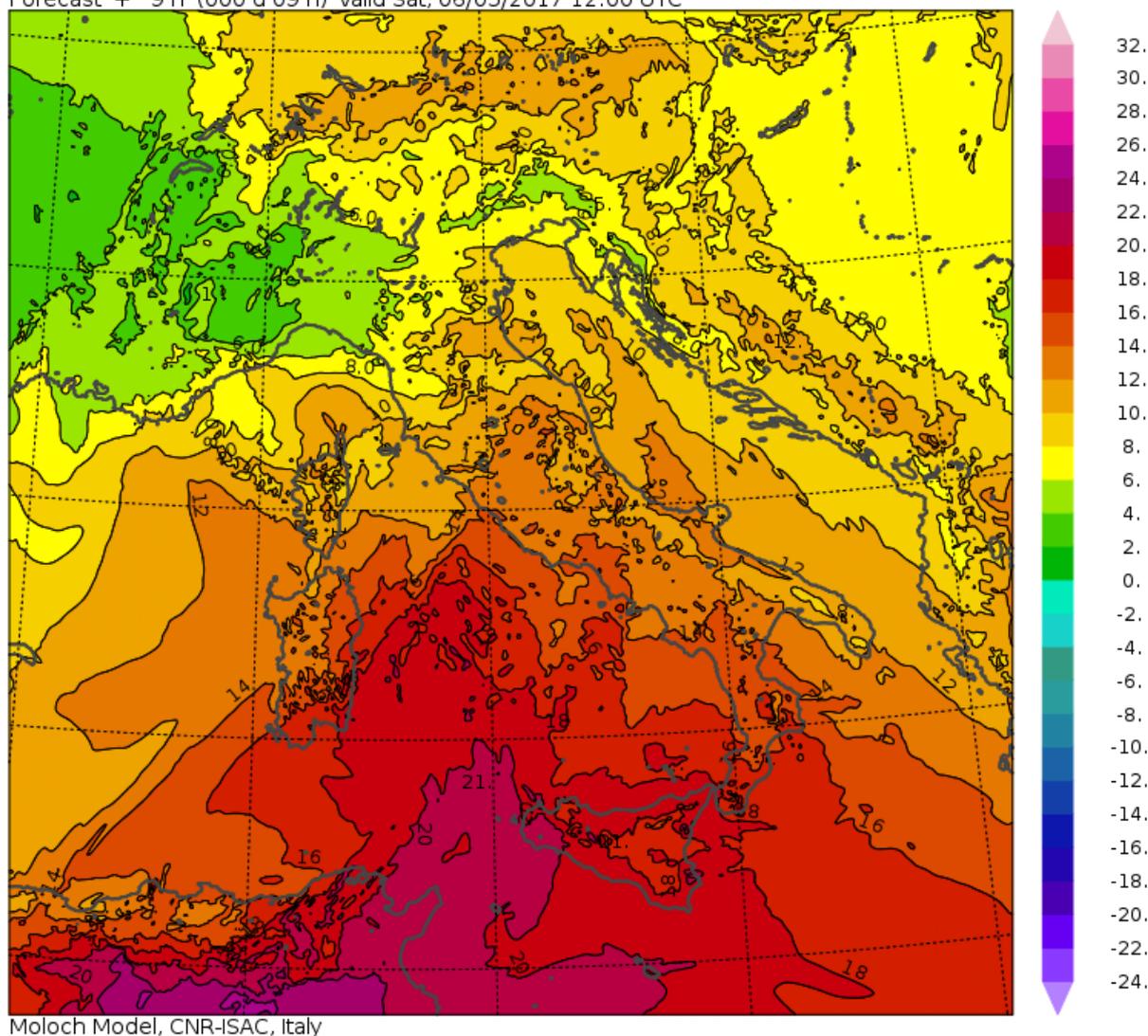


Fig. 1.9 – Temperatura prevista in °C sul piano isobarico di 850 hPa ore 14 locali. Fonte 1.25 km Moloch model

Al suddetto profilo termico corrisponde, alla medesima quota, una disposizione del vento da SW caratterizzato da valori di umidità relativa decrescenti, anche per motivi orografici (vento di caduta dalla catena appenninica), mentre l'afflusso vero e proprio di aria fredda viene convogliato da venti occidentali che progressivamente si fanno strada attraverso il Piemonte.

Si tratta di una condizione tipicamente frontale e il campo igrometrico, incluse le aree ad elevato gradiente, può essere osservato in Fig. 1.10 e Fig. 1.11.

Umidita' relativa (%) Vento a 850hPa

init: 12:00z Tue 06 Jun 2017
valid: 14:00z Tue 06 Jun 2017

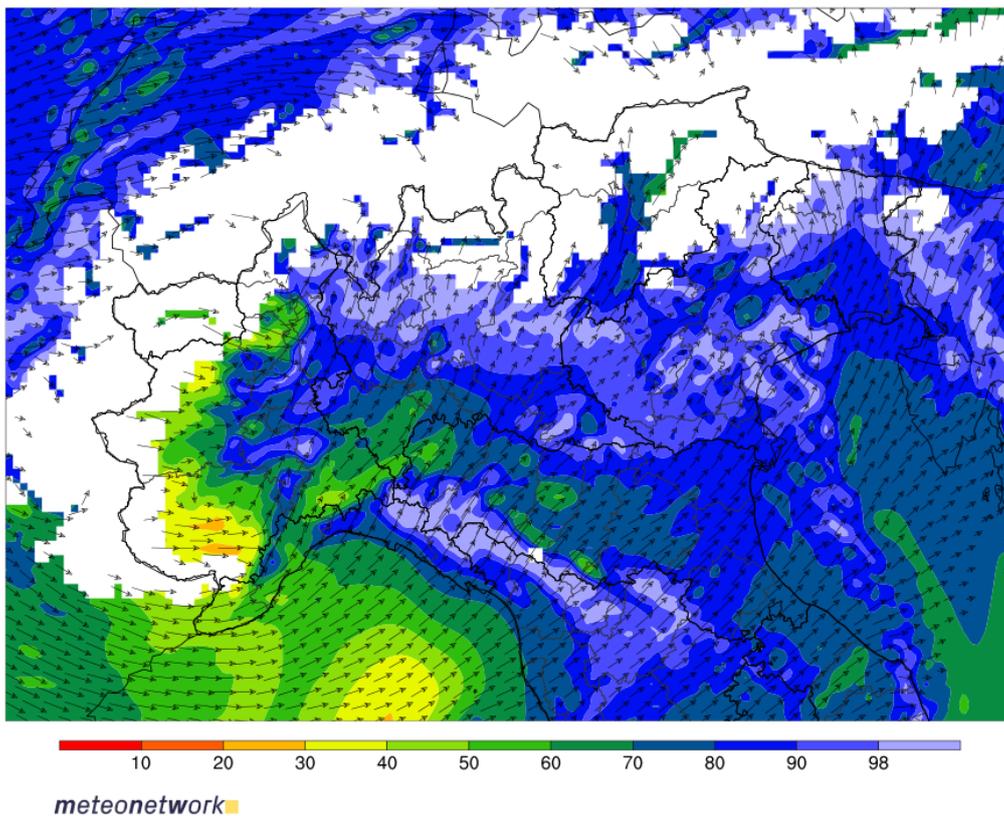


Fig. 1.10 - Previsione umidità relativa e vento sul livello di 850 hPa ore 16 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

Umidita' relativa (%) Vento a 850hPa

init: 12:00z Tue 06 Jun 2017
valid: 15:00z Tue 06 Jun 2017

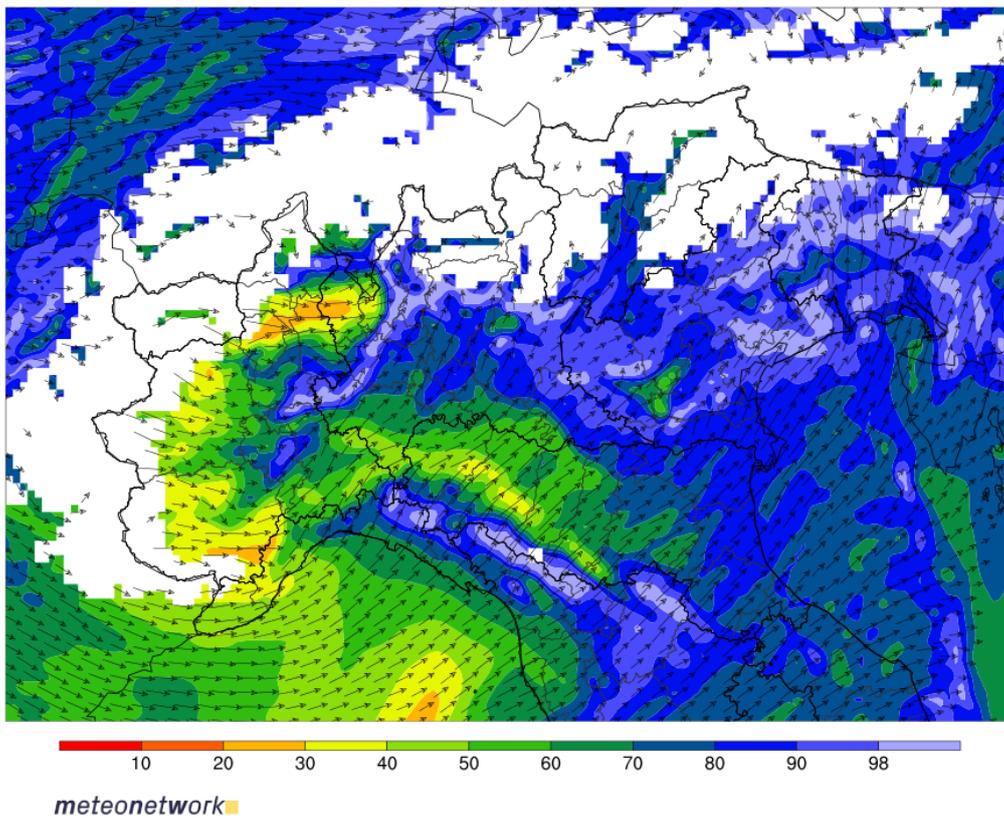


Fig. 1.11 - Previsione umidità relativa e vento sul livello di 850 hPa ore 17 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

Le correnti da SW affluiscono dal golfo ligure risalendo poi sul crinale appenninico tosco-emiliano laddove i valori di umidità relativa aumentano (stau orografico), per poi ridiscendere sulla pianura padana centro-occidentale con conseguente riscaldamento per compressione adiabatica e perdita di umidità relativa (fohn). Già sul piano isobarico di 850 hPa si nota la delimitazione di una linea secca (dry-line) che attraverso l'Emilia abborda la Lombardia meridionale evolvendo gradualmente verso nord-est, mentre su quella centro-settentrionale prevalgono correnti ugualmente sud-occidentali ma caratterizzate da tassi igrometrici superiori per la mancanza dell'effetto fohn (Fig. 1.11).

Venendo alla situazione al suolo, assai importante in circostanze di questo tipo, alle ore 15 locali circa si nota la chiusura di un minimo barico al suolo sul basso Piemonte con asse orientato da SW a NE e con saccatura inserita fino al settore sud-occidentale della Lombardia (Fig. 1.12). Tale minimo, in parte legato alle dinamiche in atto alle quote superiori descritte in precedenza, e in parte ascrivibile alla forzante orografica (afflusso di aria fredda da N-NW al suolo sbarrato e quindi deviato dalla presenza della catena alpina), riveste un ruolo di primaria importanza nel favorire l'attivazione e l'intensificazione delle correnti secche sud-occidentali in discesa dalla catena appenninica (dry-line) facendole poi confluire con flussi orientali richiamati dal minimo stesso in quella posizione.

L'analisi della pressione al suolo, riferita al primo pomeriggio, è riportata in Fig. 1.12.

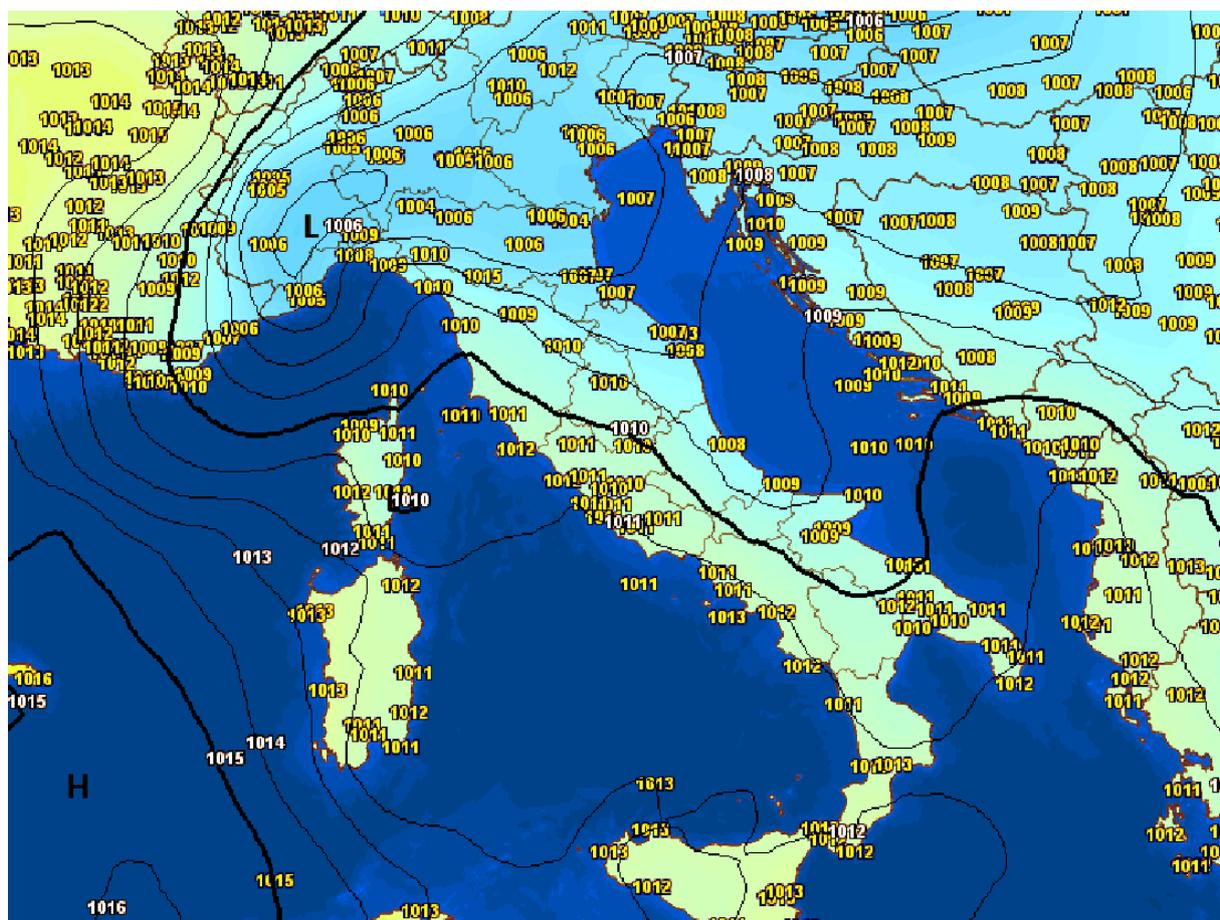


Fig. 1.12 – Analisi barica al suolo delle ore 15 locali. Fonte e plotting Meteociel

La depressione chiusa al suolo (indicata nella mappa di Fig. 1.12 con la lettera L, con valore di 1005 hPa) spinge infatti il flusso sud-occidentale verso la catena appenninica tosco-emiliana (favorendo poi l'attivazione della dry-line sottovento), ma la saccatura che si inserisce immediatamente a nord dell'Oltrepò Pavese causa la confluenza dei venti secchi appenninici con correnti più umide, caratterizzanti il classico PBL estivo padano, da nord-est.

Inoltre l'elevato gradiente barico esistente tra il versante alpino meridionale e settentrionale innesca le prime correnti di fohn provenienti da NW, che si dirigono progressivamente nell'area interessata dalla confluenza prima descritta. Normalmente condizioni al suolo di questo tipo, che spesso si presentano in situazioni atmosferiche alquanto instabili fino alle alte quote, preludono ad attività temporalesca non diffusa ma molto facilmente severa, specie in presenza delle dinamiche attive nel contempo alle quote superiori.

Scendendo maggiormente nel dettaglio si utilizzano le carte di analisi del vento al suolo relative alla rete osservativa MeteoNetwork. Al netto dei possibili margini di errore nella rilevazione dei valori in velocità e direzione del vento, dovuti al posizionamento degli anemometri, specie in prossimità di aree urbane, o non collocati all'altezza standard di almeno 10 m dal suolo, è ugualmente possibile risalire ad alcuni interessanti elementi di valutazione (Fig. 1.13, Fig. 1.14, Fig. 1.15, Fig. 1.16, la lettera B indica il centro della bassa pressione al suolo in traslazione verso E-NE tra le ore 15 e le ore 16 locali).

Il profilo del vento al suolo indica, alle ore 15 locali (Fig. 1.13 e Fig. 1.15), un flusso sud-occidentale proveniente dall'Emilia (fohn appenninico a delimitare una dry-line) che si porta in direzione del pavese. Più a est prevalgono correnti orientali (nello specifico a nord delle province di Mantova e Cremona), le quali in questo caso sono in parte modulate dalla presenza di una linea temporalesca (QLCS) sulla Lombardia occidentale comportandosi come corrente di inflow che si muove in direzione del sistema convettivo. In questa fase è il cremonese settentrionale a trovarsi nella zona di confluenza tra il flusso sud-occidentale e quello orientale, predisponendo pertanto i bassi strati alla genesi di forti moti verticali.

Alle ore 16 locali la distribuzione dei valori di umidità relativa evidenzia molto bene l'interazione tra il flusso sud-occidentale secco proveniente dall'Emilia e quello più umido (in prevalenza con vento orientale) presente più nord (Fig. 1.17). Normalmente i valori igrometrici si prestano meglio, rispetto a quelli anemometrici, ad analisi di questo tipo, stante una migliore collocazione (in linea generale) dei sensori anche di tipo amatoriale, che richiedono credenziali meno restrittive in sede di rilevamento.

In questa fase si nota molto bene l'azione delle correnti secche in risalita dall'Emilia con valori di umidità relativa inferiori al 40% (colorazione tendente al giallo) in stridente contrasto con i valori assai più elevati presenti più a nord (70-80%, colorazione tendente al blu). Il gradiente igrometrico orizzontale maggiore è localizzato sulla provincia di Cremona, con la massa d'aria più secca in graduale estensione verso nord (Fig. 1.17).

Occorre precisare che gli elevati valori di umidità relativa presenti sul centro-nord della Lombardia possono essere localmente condizionati da eventuali precipitazioni in atto, in ogni caso in senso generale il profilo igrometrico raffigurato può considerarsi abbastanza coerente con la situazione reale.

Surface Wind Speed (km/h)

Date: Tue 06 Jun 2017
Time: 15:00 CET / 13:00 UTC

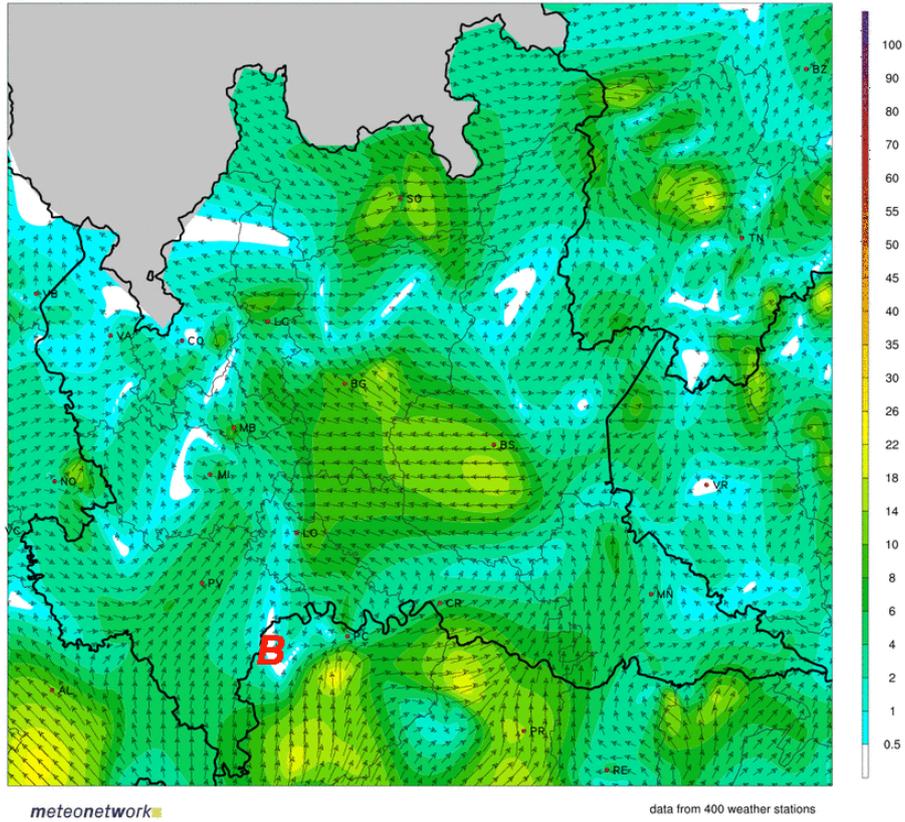


Fig. 1.13 - Analisi direzione e velocità del vento al suolo delle ore 15 locali. Fonte: rete osservativa MeteoNetwork

Surface Wind Speed (km/h)

Date: Tue 06 Jun 2017
Time: 16:00 CET / 14:00 UTC

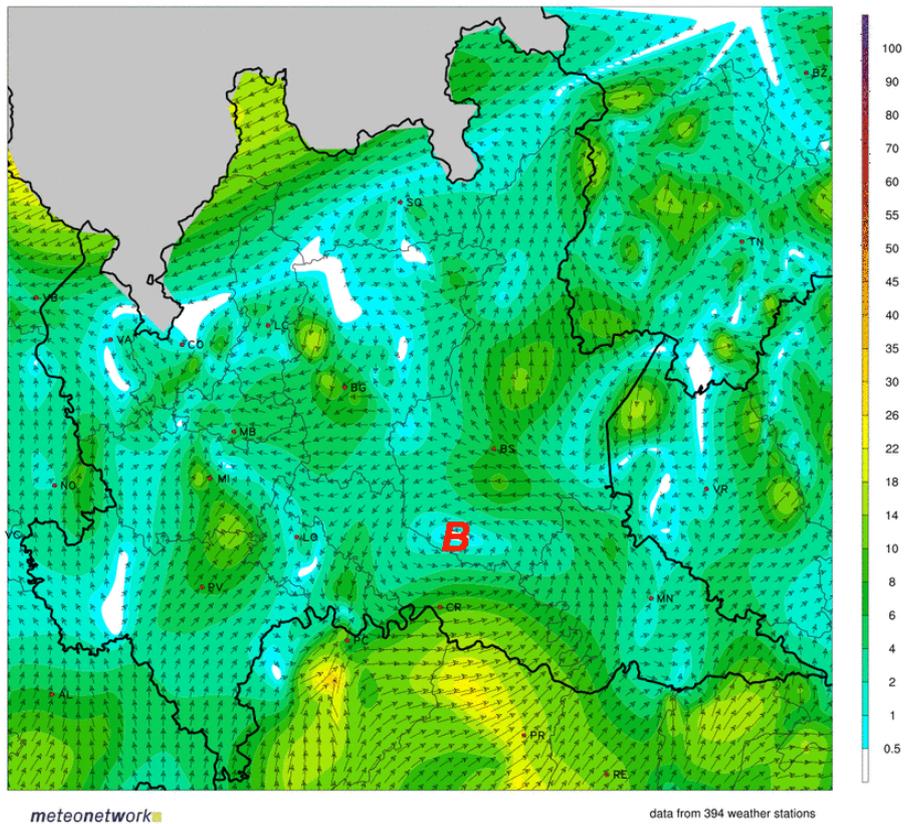


Fig. 1.14 - Analisi direzione e velocità del vento al suolo delle ore 16 locali. Fonte: rete osservativa MeteoNetwork

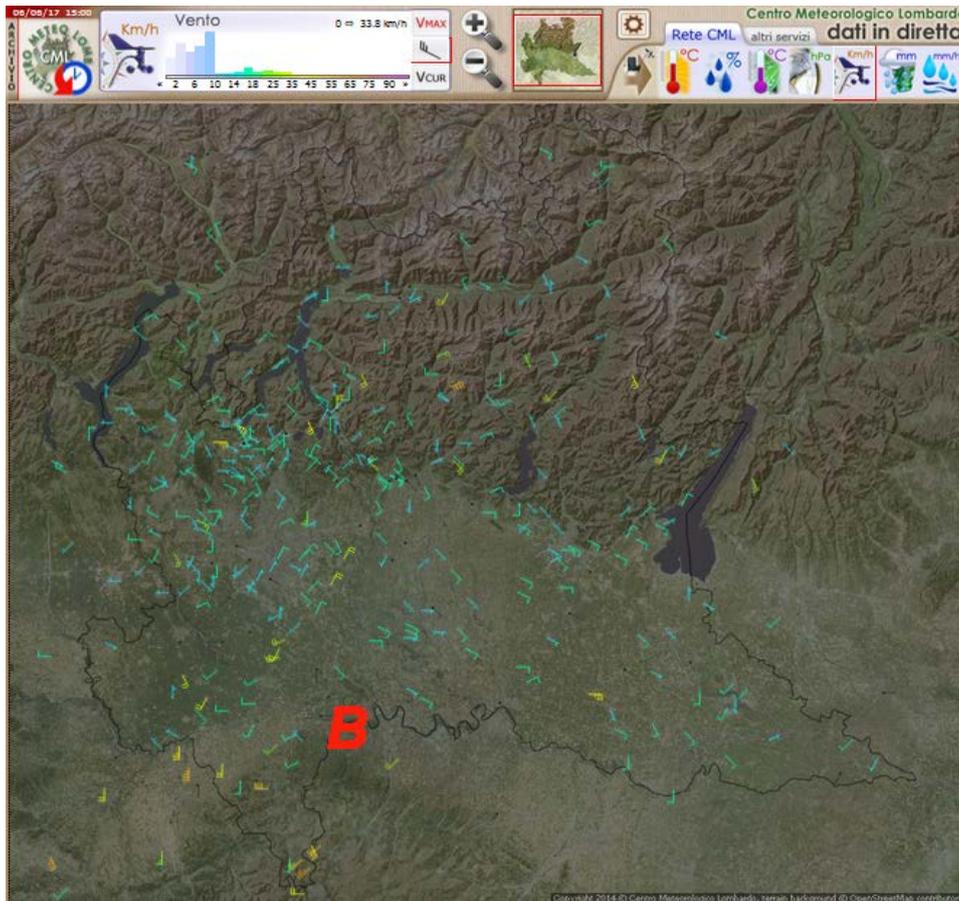


Fig. 1.15 - Analisi direzione del vento al suolo delle ore 15 locali. Fonte: rete Centro Meteo Lombardo

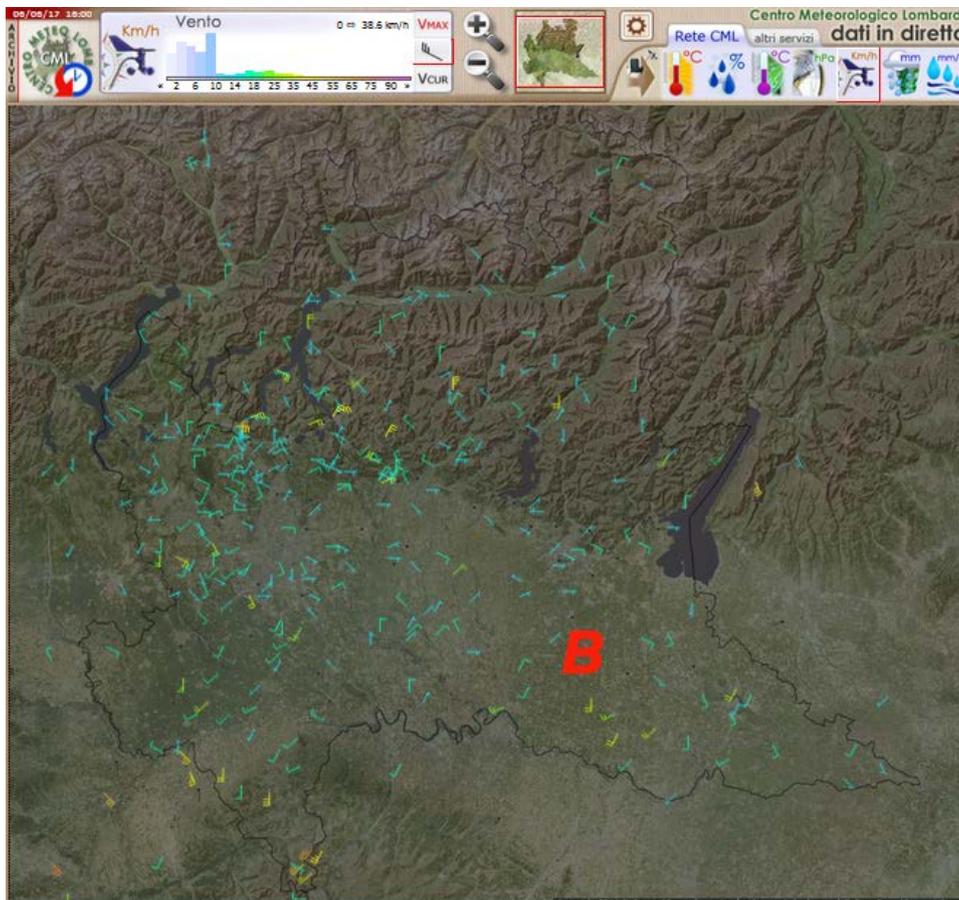


Fig. 1.16 - Analisi direzione del vento al suolo delle ore 16 locali. Fonte: rete Centro Meteo Lombardo

2m Relative Humidity (%)

Date: Tue 06 Jun 2017
Time: 16:00 CET / 14:00 UTC

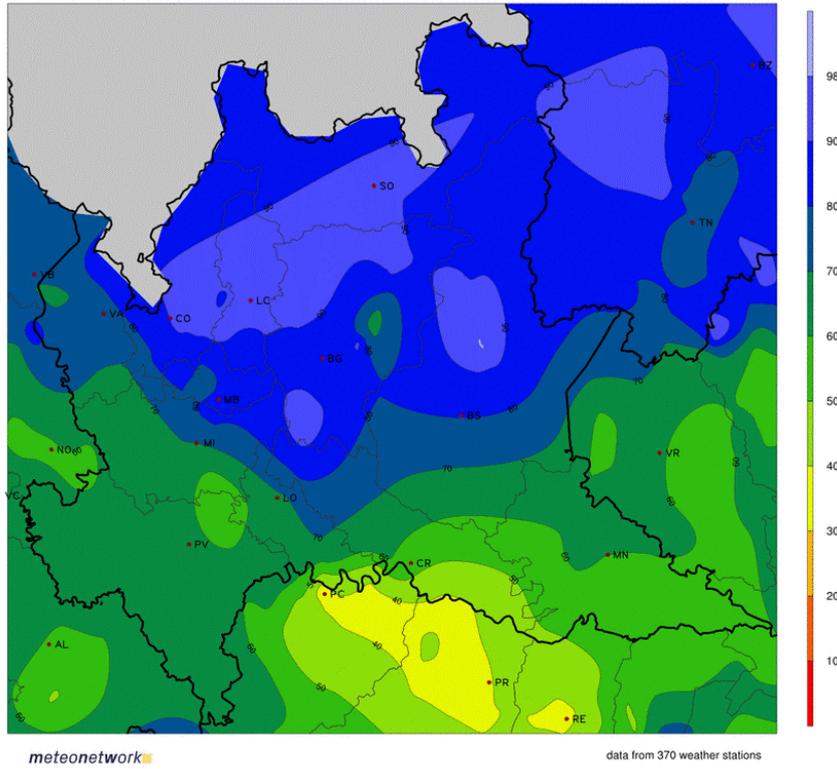


Fig. 1.17 – Analisi umidità relativa al suolo delle ore 16 locali. Fonte: rete osservativa MeteoNetwork

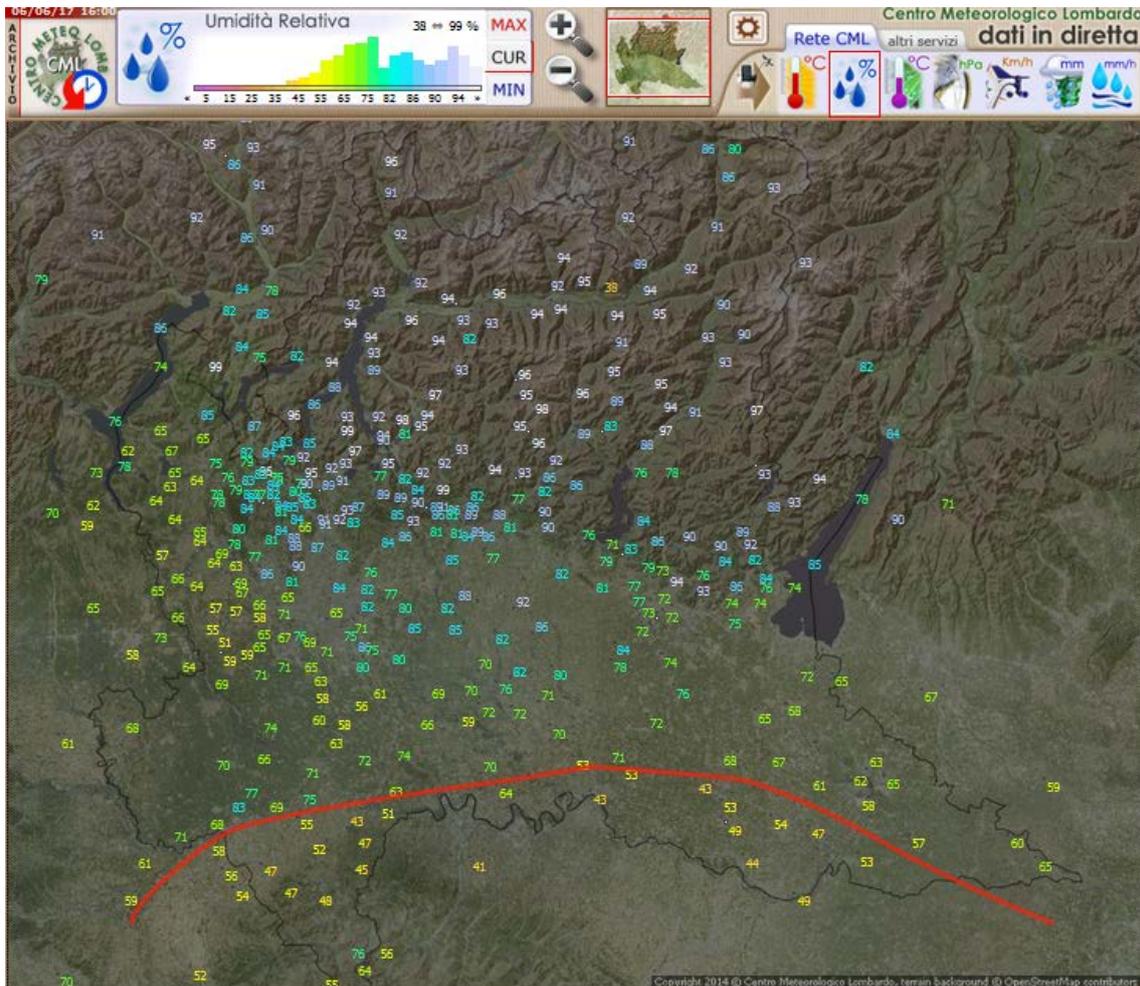


Fig. 1.18 – Analisi umidità relativa al suolo delle ore 16 locali. Fonte: rete Centro Meteo Lombardo

La dry-line appenninica avanzante verso nord-est è individuabile anche dalla linea rossa tracciata in Fig. 1.18 in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale di umidità relativa al suolo, nonché dalla mappa di analisi della temperatura di rugiada (dew point) che evidenzia la presenza di aria più secca sul comparto emiliano e ben più umida a mano a mano che si procede verso nord (Fig. 1.19).

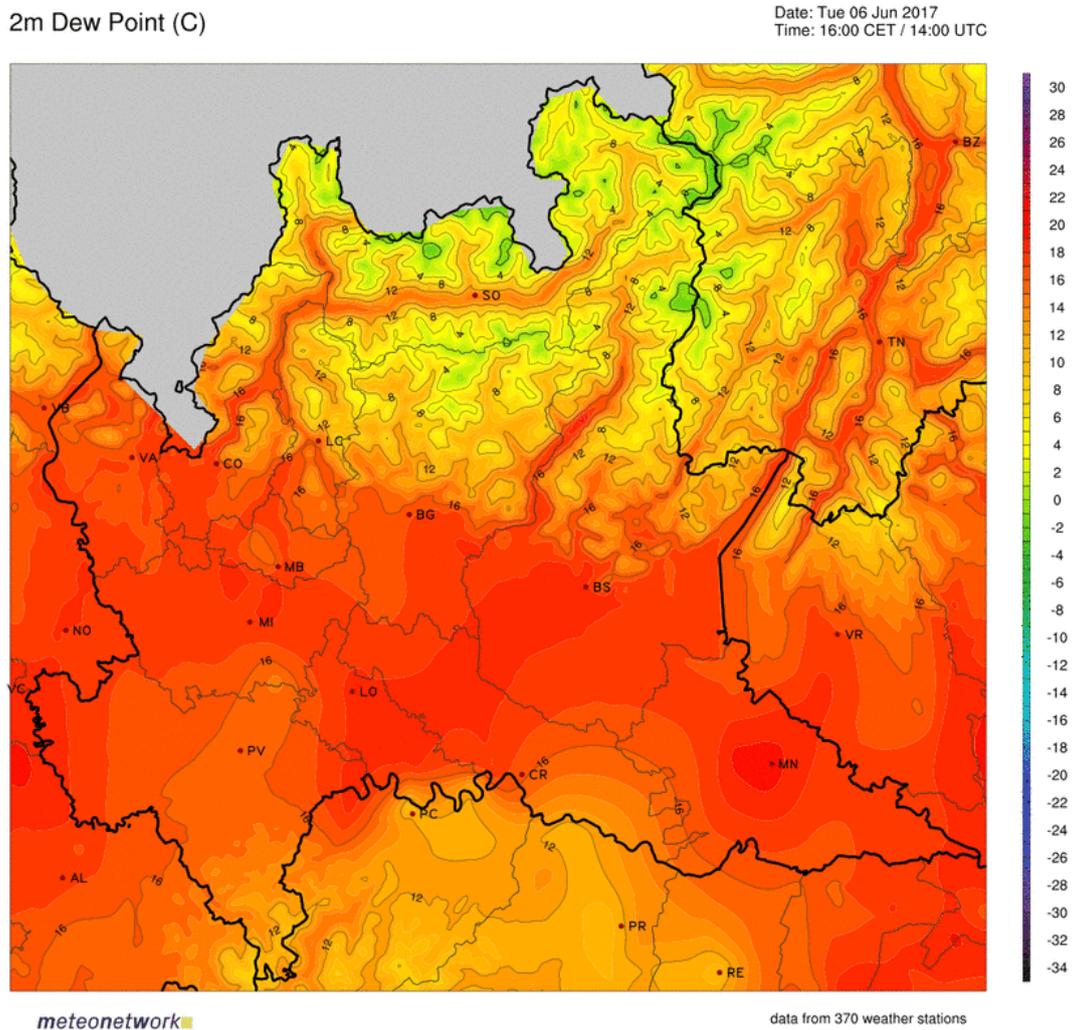


Fig. 1.19 - Analisi temperatura di rugiada al suolo delle ore 16 locali. Fonte: rete osservativa MeteoNetwork

La presenza della dry-line avanzante verso settentrione è indicata dai valori di dew point più bassi (fino a 11-12°C, sintomo di aria secca) che dall'Emilia invadono progressivamente il pavese, mentre più a nord si osservano valori di 16-18°C con massimi areali fino a 19-20°C, segnale della presenza di aria più umida (Fig. 1.19).

L'azione dei venti sud-occidentali più secchi in discesa dall'Appennino favorisce anche una specifica distribuzione dei campi di energia potenziale convettiva disponibile (CAPE). Infatti le masse d'aria secca nei bassi strati tendono a stabilizzare l'atmosfera, a meno che non entrino in contrasto con masse più umide, inibendo in massima parte i moti convettivi proprio a causa del "sequestro" dell'energia disponibile per la convezione. Nel contempo gli stessi venti secchi tendono a "spazzare" ed accumulare il CAPE a ridosso delle aree nelle quali essi convergono con masse d'aria dalle caratteristiche quasi opposte, oppure accumulandolo in prossimità dei rilievi, in questo caso fascia alpina e prealpina, ma di riflesso anche sulle alte pianure limitrofe al corrugamento alpino.

Anche se si ritorna nel campo della previsione e non dell'analisi, è interessante notare questo tipo di azione, la quale può concentrare e incrementare sensibilmente la quantità di CAPE in aree alquanto ristrette, che potranno pertanto essere soggette ad attività convettiva assai più vistosa rispetto ad altre zone anche a breve distanza. In tal senso si considera la previsione del modello AROME 1.3 km che nella corsa delle ore 00 UTC mette ben in evidenza questo aspetto (Fig. 1.20 e Fig. 1.21).

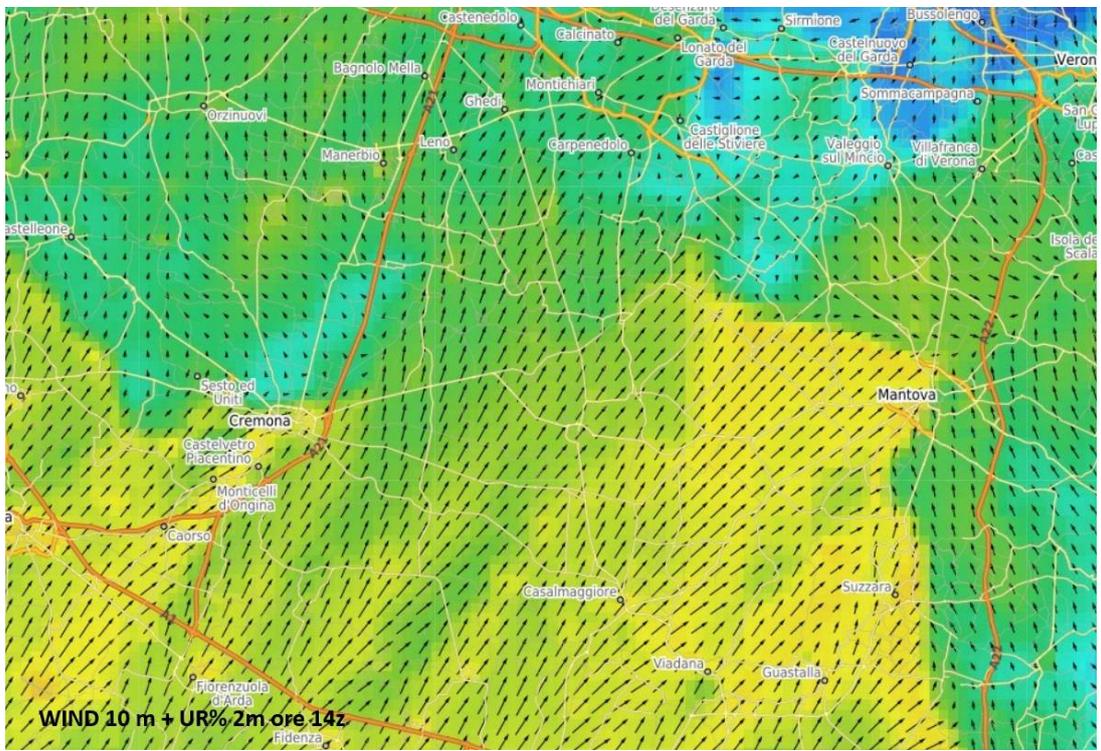


Fig. 1.20 - Previsione direzione e velocità del vento a 10 m in km/h e umidità relativa a 2 metri ore 14 locali. Fonte 1.3 km AROME model plotting infoclimat

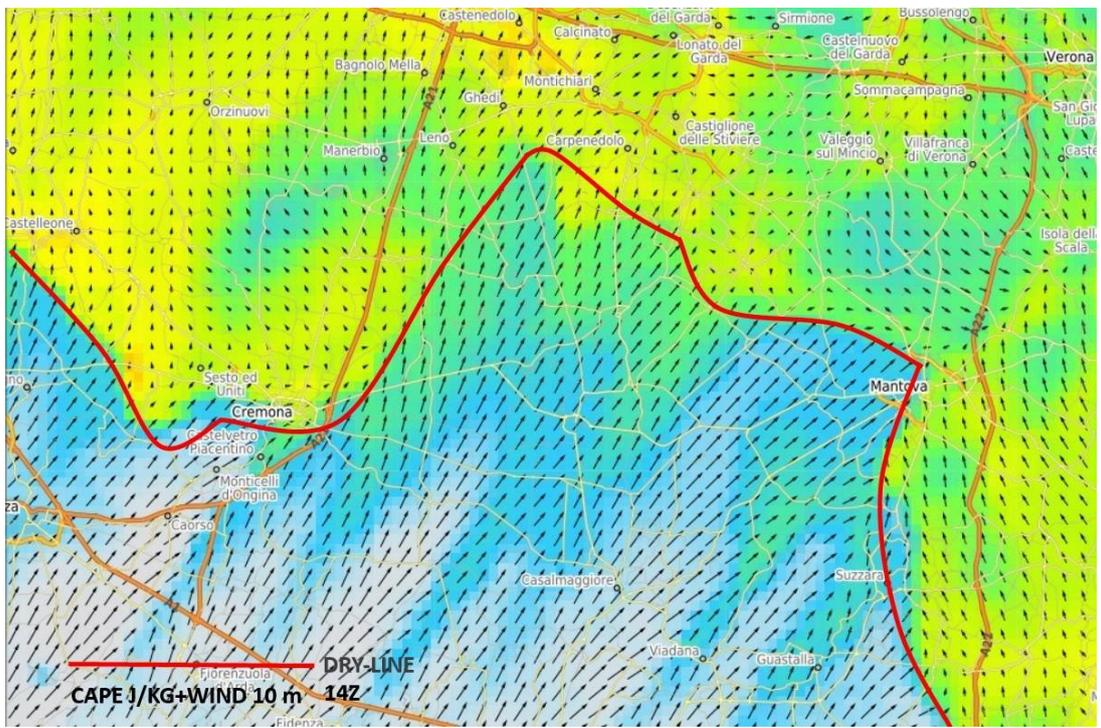


Fig. 1.21 - Previsione direzione e velocità del vento a 10 m in km/h e CAPE in J/kg ore 14 locali. Fonte 1.3 km AROME model plotting infoclimat

Appare ben evidente, in Fig. 1.21, l'effetto di accumulo verso nord-est dei valori di CAPE (aree tendenti al colore giallo pari a circa 1500 J/kg), con l'afflusso secco da SW che libera le aree interessate dall'energia potenziale convettiva disponibile accumulandola e spingendola nel contempo sempre più a nord.

Normalmente la linea di avanzata delle dry-line appenniniche non è mai regolare, essendo il flusso del vento modulato dai profili vallivi appenninici che si affacciano all'Emilia. Per tale ragione il fronte secco è quasi sempre alquanto ondulato, con spinte dell'aria secca che possono apparire pulsanti ed irregolari. Nello specifico, la linea rossa indica l'andamento della dry-line, che appare più pronunciata tra reggiano e modenese, spingendo o concentrando il CAPE in territorio lombardo. In particolare, valori via via più elevati di CAPE si riscontrano sul cremonese settentrionale e in generale su bresciano (Fig. 1.21).

In linea di massima, e in base agli aspetti fin qui analizzati, la severa attività convettiva occorsa tra le province di Cremona e Brescia, con la formazione di una supercella "ciclica", si è innescata lungo un boundary ben definito e duraturo tra flussi caldi e secchi da SW (dry-line appenninica), attivi in bassa troposfera, e masse d'aria più umida e assai instabile presenti sulla Lombardia centro-settentrionale, il tutto favorito dalla chiusura di un minimo barico al suolo in movimento tra Piemonte e Lombardia.

Ciò in concomitanza all'avanzare verso est di un veloce fronte freddo davanti a un asse di saccatura in quota proveniente dai quadranti occidentali in transito sulla Val Padana, e a una considerevole accelerazione della corrente a getto di alta quota incline a stabilire elevati valori di speed wind shear verticali, mentre le dinamiche occorse nei bassi strati hanno contemporaneamente incrementato quelli di directional wind shear, in particolare immediatamente a nord della dry-line appenninica in avanzamento verso il territorio lombardo.

1.4 Analisi termodinamica

Avendo già introdotto la situazione relativa alla distribuzione dei valori di CAPE, si passa di seguito ad approfondire gli aspetti termodinamici e di stabilità.

In primo luogo si individuano le caratteristiche della massa d'aria calda e umida presente a nord della dry-line appenninica. Una buona indicazione in tal senso è fornita dalla temperatura potenziale equivalente (ThetaE): valori elevati di tale grandezza indicano che l'eventuale quantità di calore latente di condensazione è alquanto alta, poiché il vapor acqueo da condensare è presente in notevole quantità.

La massa d'aria presente sulla pianura lombarda, a nord della dry-line, presentava nelle ore pomeridiane temperature potenziali equivalenti sull'ordine dei 60-62°C ma con alcuni picchi areali superiori ai 65°C, segnale che l'atmosfera era predisposta ad innescare moti convettivi potenzialmente profondi e prolungati.

La mappa prevista inerente il campo di ThetaE sul piano isobarico di 950 hPa è riportata in Fig. 1.22: in essa appare evidente come le regioni centro-settentrionali della penisola siano interessate da un afflusso di aria calda e umida davanti al sistema frontale avanzante dalla Francia che già a quell'ora abborda il Piemonte con aria più fredda e secca rivelata da un brusco calo dei valori di ThetaE sempre a 950 hPa.

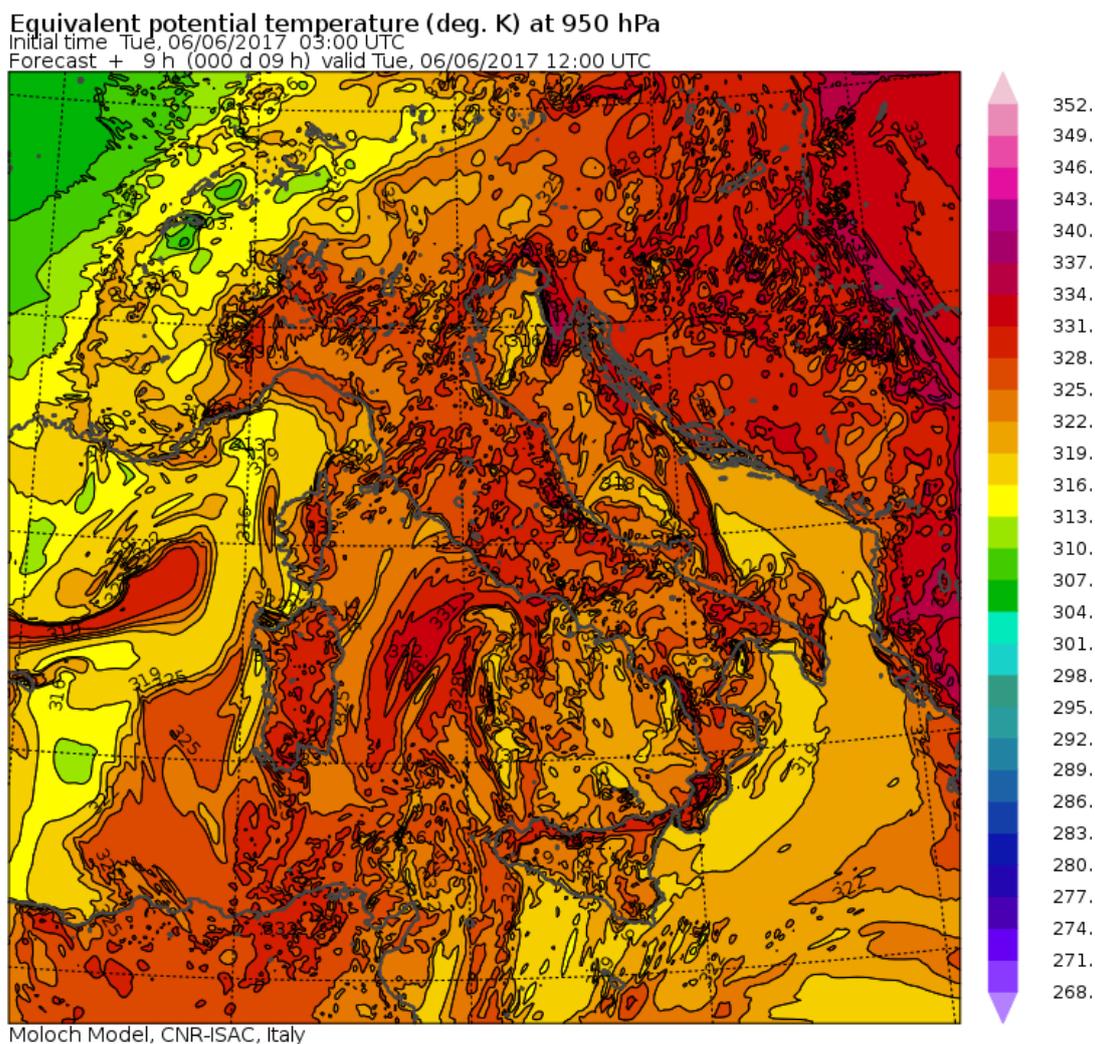


Fig. 1.22 - Valori previsti di ThetaE in °K ore 14 locali. Fonte 1.25 km Moloch model

Peraltro, proprio in concomitanza al procedere del fronte verso levante, si verificano immediatamente ad est incrementi areali anche sensibili di tale grandezza, principalmente sulla pianura lombarda; da notare anche l'azione orografica (fohn appenninico) dei venti da SW nei bassi strati che determina una flessione dei valori di ThetaE in progressiva estensione alla limitrofa pianura emiliana.

Si passa ad un altro indice termodinamico che sovente sulla Pianura Padana mostra un buono skill (abilità di previsione) sulla probabilità di fenomeni convettivi di un certo rilievo, specie se di origine frontale. I valori, sia pure previsti, di Lifted Index nelle prime ore del pomeriggio del giorno 6 indicano un profilo termodinamico potenzialmente alquanto instabile.

Non esistono soglie specifiche in grado di correlare nel senso stretto del termine LI all'intensità dei temporali, tuttavia valori dell'indice via via più negativi evidenziano una crescente instabilità atmosferica. La previsione di tale indice è proposta nella Fig. 1.23.

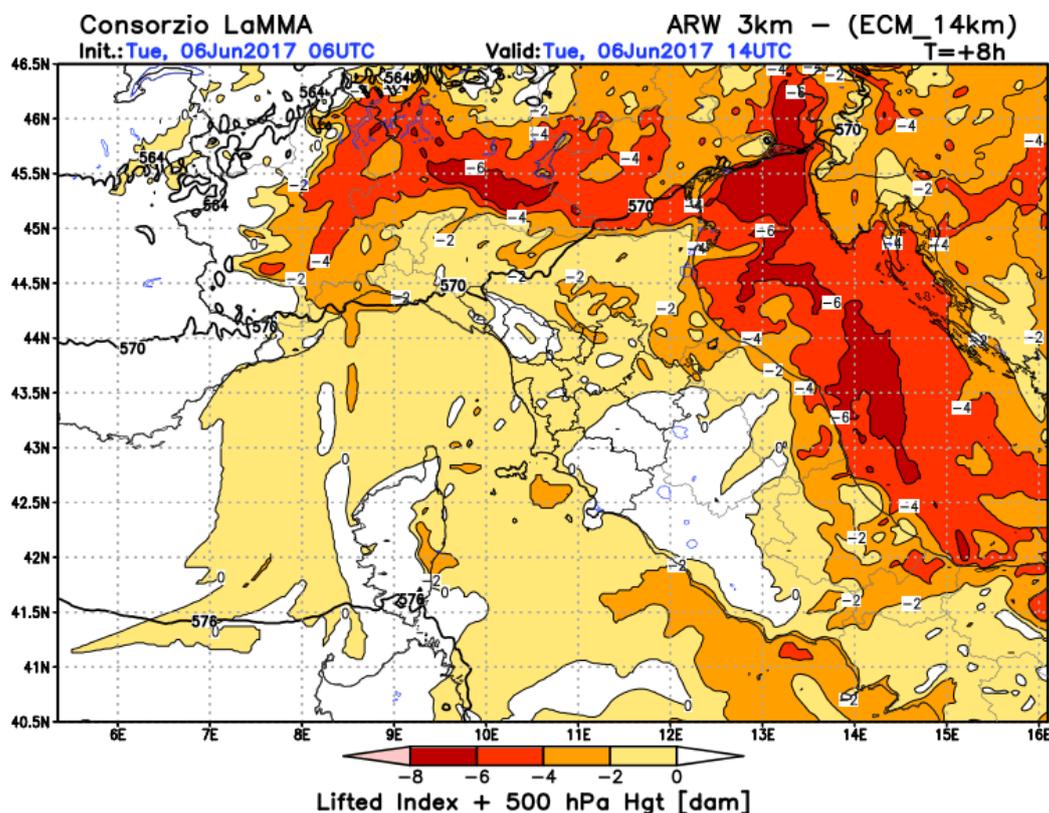


Fig. 1.23 - Valori previsti di Lifted Index in °C ore 16 locali. Fonte 3 km WRF Lamma model

La previsione di tale indice mostra, nell'area pianeggiante lombarda, valori compresi tra -4°C a -6°C , a riprova della presenza di una massa d'aria assai instabile (Fig. 1.23). Si ricorda che valori di LI di -6°C indicano alta probabilità di temporali severi. Si noti, in particolare, l'accumulo di valori negativi di LI, forzato sia dall'avanzata verso est della linea frontale già attiva sul Piemonte che dalla risalita verso nord della dry-line appenninica, la quale in Emilia rende la massa d'aria progressivamente meno instabile. La simultanea azione di tali dinamiche concentra infatti l'aria più instabile in una ristretta fascia pianeggiante che giunge fino alle Prealpi lombarde, e proprio su quella fascia si avranno i fenomeni più vistosi.

Nella Fig. 1.24 è riportata la differenza vettoriale nella velocità del vento tra 500 m e 6 km di quota (0-6 km shear vector, DLS), prevista sul nord Italia. Si sottolinea che generalmente valori pari o superiori a 35-40 nodi risultano facilmente inclini all'innesco di updraft inclinati e rotanti. Da notare come i massimi areali di Bulk shear, intorno a 28-30 m/s (pari a circa 54-58 nodi), si collochino tra le pianure di Piemonte e Lombardia, ad indicare elevata predisposizione alla genesi di intensi moti verticali dotati di rotazione ed inclinazione. Anche in questo caso è evidente la concentrazione di valori elevati a nord del Po come conseguenza della risalita della dry-line appenninica, mentre valori altrettanto elevati caratterizzano la zona frontale che procede da ovest verso est.

Un ulteriore indice che tiene in considerazione il wind shear verticale è rappresentato dal BRN shear: la soglia minima per l'innesco di temporali a supercella e mesocicloni indicata dalla letteratura scientifica corrisponde a $35\text{-}40\text{ m}^2/\text{s}^2$. Nel caso specifico si nota una previsione di valori sui $50\text{-}60\text{ m}^2/\text{s}^2$ sulla fascia pianeggiante compresa tra Piemonte orientale e ovest Lombardia, in successiva evoluzione verso levante col progredire del sistema frontale in precedenza citato (Fig. 1.25). Tali valori, sebbene con picchi alquanto localizzati, si collocano ben oltre la soglia prima individuata, pertanto rappresentano un ulteriore indizio sulla elevata predisposizione dei moti verticali (updraft) ad assumere rotazione ed inclinazione.

Bulk Shear 0-6km (m/s)

init: 00:00z Tue 06 Jun 2017
valid: 12:00z Tue 06 Jun 2017

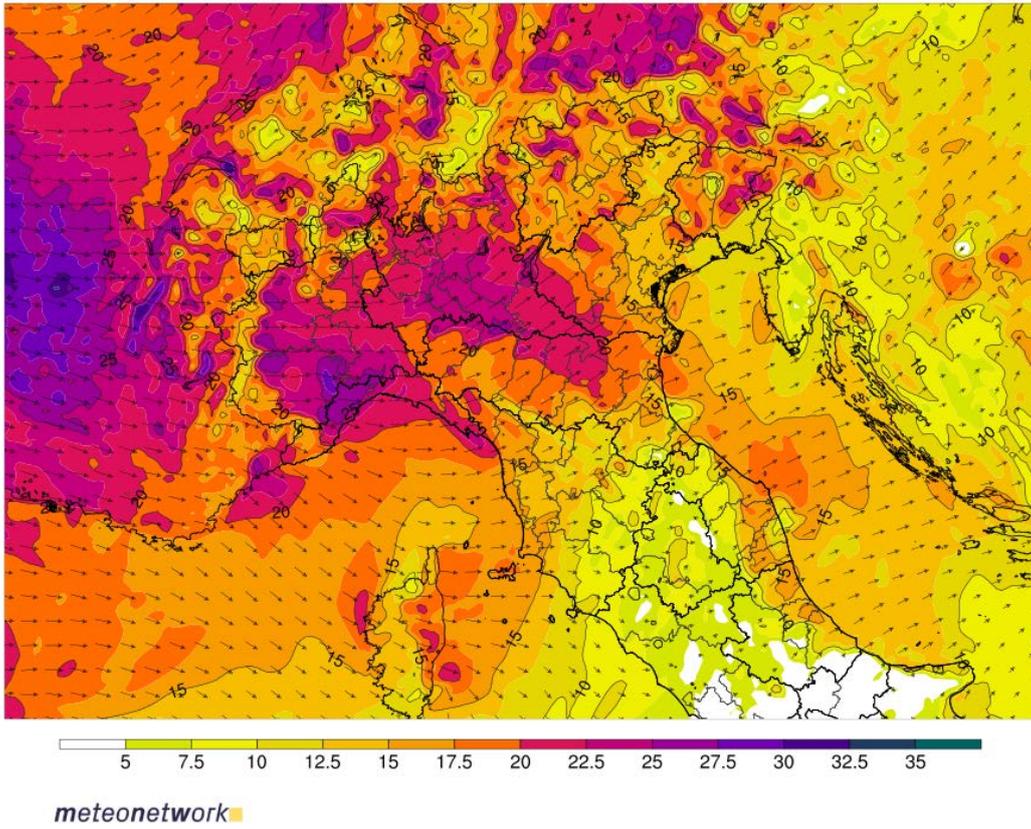


Fig. 1.24 - Previsione valori di wind shear in velocità 0-6 km ore 14 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

BRN SHEAR (m^2/s^2)

init: 12:00z Tue 06 Jun 2017
valid: 15:00z Tue 06 Jun 2017

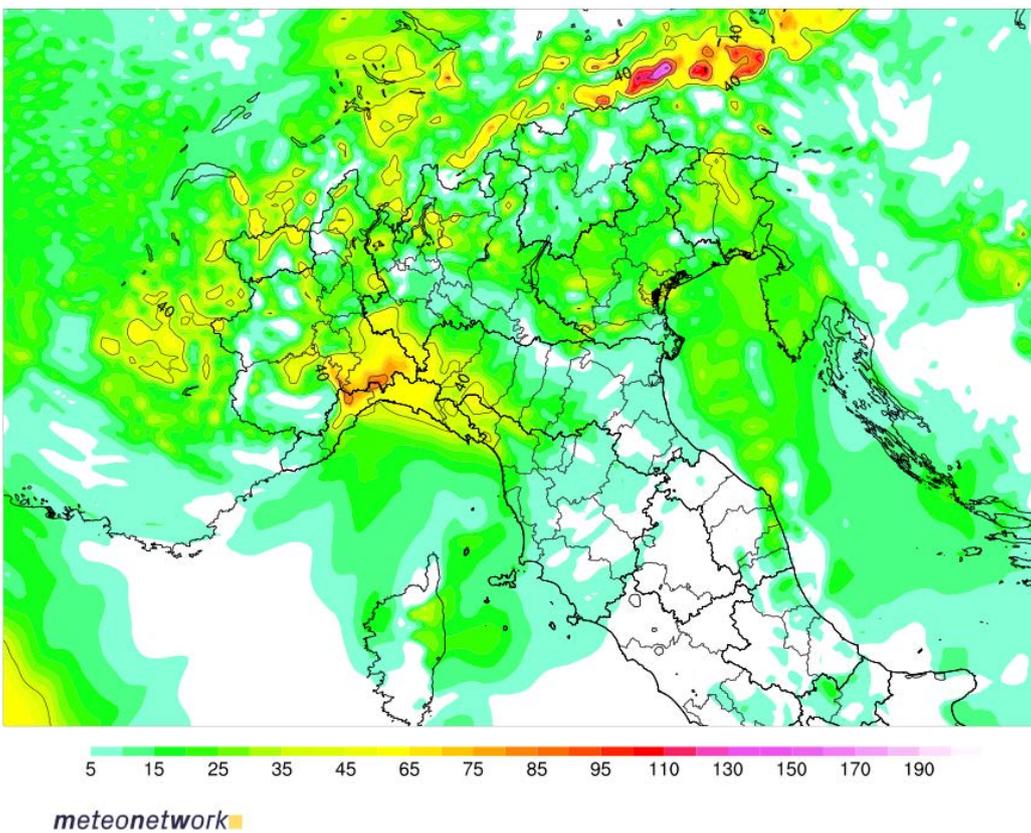


Fig. 1.25 - Previsione valori di BRN shear ore 17 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

Si passa quindi a valutare l'indice SWEAT (Severe Weather Threat Index): questo indice, che tiene in considerazione lo shear nel campo del vento ed alcuni parametri termodinamici (temperatura di rugiada sul piano isobarico di 850 hPa, TT index, velocità del vento di medio e basso livello, avvezione calda tra i livelli di 850 hPa e 500 hPa), è stato concepito negli USA per la previsione di intensi fenomeni convettivi e possibilità di tornado.

Da approfondimenti statistici svolti in USA è stato calcolato che il valore di 300 dell'indice SWEAT rappresenta la soglia per intensi temporali e 400 è la soglia per aversi tornado. Tuttavia la casistica italiana mostra che tali soglie sono molto meno attendibili essendo la maggior parte dei vortici non associati a supercelle o a supercelle che presentano dinamiche d'innesco leggermente diverse rispetto a quelle americane (in generale più directional wind shear di basso livello e meno CAPE in confronto agli USA). In genere i tornado italiani, sia mesociclonici che non, mostrano elevata frequenza nel range SWEAT 250÷350 con qualche caso intorno ai 400. Nel caso del 6 giugno 2017 viene riportata in Fig. 1.26 la distribuzione dei campi di SWEAT index alle ore 14 locali sul nord Italia.

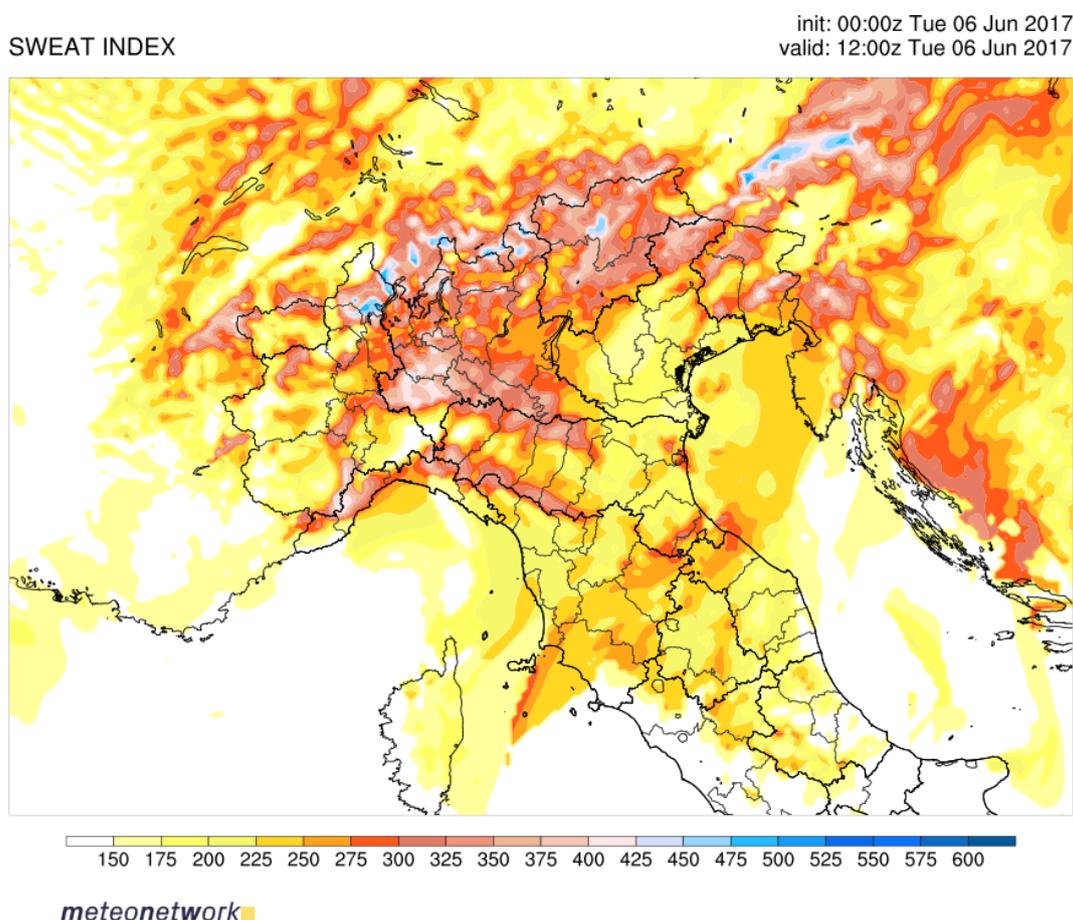


Fig. 1.26 - Previsione valori di SWEAT Index ore 14 locali. Fonte 5 km WRF MeteoNetwork

Come si può notare, nelle prime ore del pomeriggio, aree con valori previsti di SWEAT compresi tra 350 e 400 si riscontrano su Lombardia centro-meridionale con i picchi nelle province di Pavia (settore nord), Milano, Lodi e Cremona. Tale range è ben coerente, anzi leggermente superiore, con la tipica casistica di fenomeni vorticosi osservati nella nostra penisola, per cui un ulteriore elemento si aggiunge nel determinare un quadro atmosferico incline a generare elevata instabilità. Anche in questa circostanza i valori dell'indice vengono "accumulati" in zone ben circoscritte dall'azione dell'aria più fredda e secca post-frontale che avanza dal Piemonte e dalla contemporanea spinta della dry-line appenninica verso nord-nord-est (Fig. 1.26).

Fin qui si è fatto riferimento, per quanto concerne gli aspetti termodinamici e di stabilità, a grandezze o parametri previsti e non effettivamente rilevati, anche se alla luce dei fenomeni occorsi possono essere considerati sufficientemente rappresentativi della situazione venutasi a creare. Tuttavia, il ricorso a dati di analisi anziché di previsione si rende necessario al fine di caratterizzare ancora meglio la situazione di quel pomeriggio, anche se si tratta di un valore puntuale con tutti i limiti del caso, poiché in condizioni fortemente dinamiche vi possono essere differenze anche sensibili su brevi distanze.

Pertanto si prende in considerazione il radiosondaggio effettuato a Milano (synop) delle ore 12 UTC equivalenti alle ore 14 locali, considerandolo abbastanza rappresentativo delle condizioni presenti nell'area pianeggiante lombarda a quell'ora (Fig. 1.27). I dati rilevati dalle radiosonde vengono elaborati e visualizzati attraverso un grafico caratteristico detto diagramma aerologico. Quello di uso più comune è lo Skew T-ln p, così detto poiché ha come coordinata verticale la pressione tra il suolo ed il livello di 100 hPa in scala logaritmica, mentre sull'asse delle ascisse si trovano i valori della temperatura.

Le isoterme sono tuttavia inclinate di 45° verso destra rispetto alle linee orizzontali della pressione. L'andamento della temperatura con la quota è evidenziato dalla linea continua che rappresenta la curva di stato. La linea tratteggiata più a sinistra corrisponde invece al dew point, vale a dire la temperatura Td fino alla quale occorre raffreddare, a pressione costante, una massa d'aria a temperatura T per portarla alla saturazione e quindi alla condensazione. Maggiore è il raffreddamento richiesto (ovvero quanto più elevata è la differenza T-Td), più secca sarà la massa d'aria. Pertanto una curva del dew point vicina alla temperatura effettiva sottintende aria molto umida (curva di stato e di dew point molto vicine tra loro), oppure satura se le due curve coincidono.

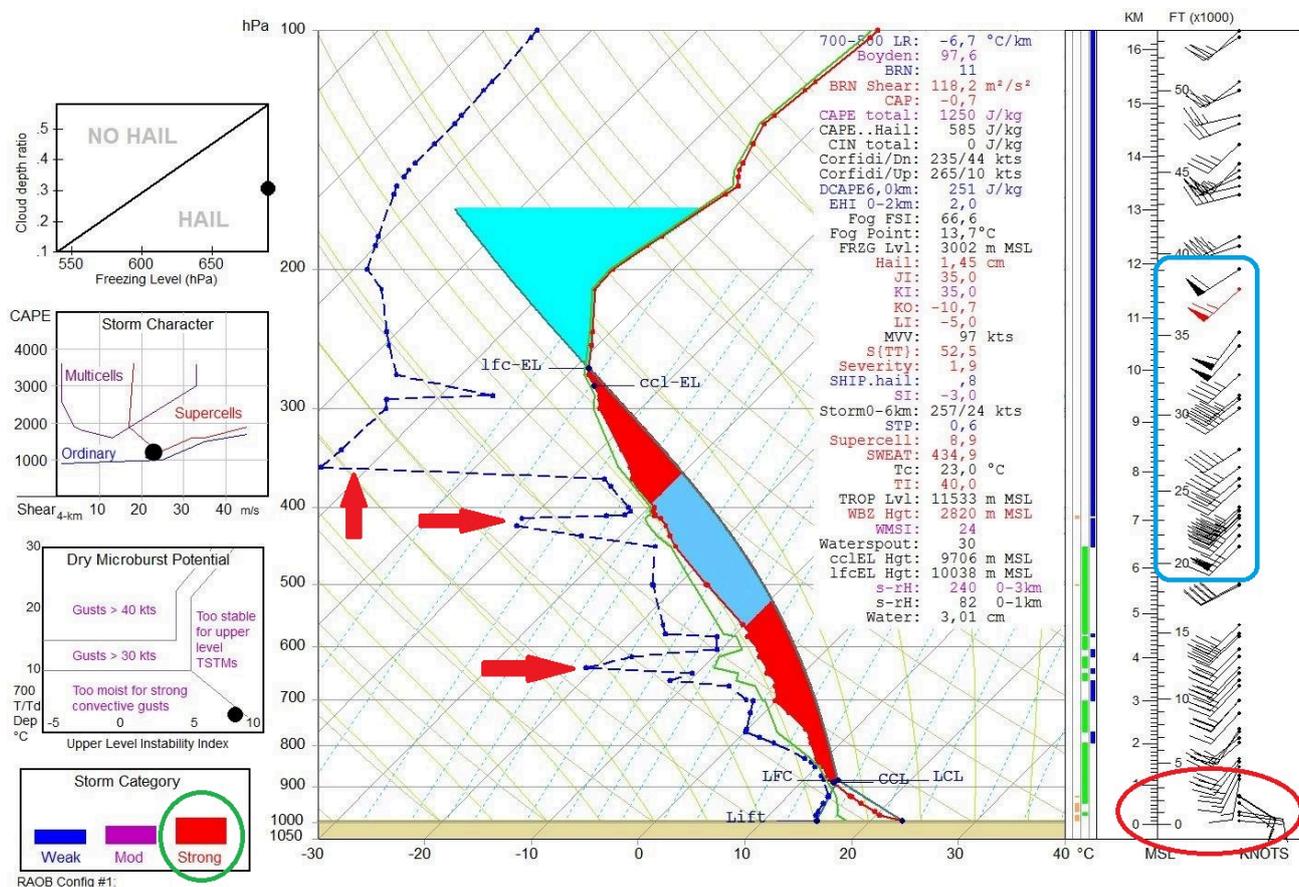


Fig. 1.27 - Radiosondaggio di Milano Linate ore 12 UTC. Fonte: weather.uwyo.edu, elaborazione RAOB

Nel radiosondaggio di Fig. 1.27 si notano alcuni elementi di sicuro interesse. In primo luogo emerge un elevato directional wind shear positivo tra il suolo e i primi 1000 m di quota (cerchio rosso in basso a destra) con direzione del vento che passa dalla direzione ESE fin dentro i limiti del PBL a SW, quest'ultimo da considerarsi come vento sinottico, il quale non risentendo ancora degli effetti orografici (dry-line appenninica più a sud) si comporta come vento caldo e assai umido (curva di stato e del dew point molto vicine verso i 1000-1200 m di quota).

In secondo luogo emerge anche un sensibile rinforzo dei venti da SW tra i 5 ed i 12 km (riquadro azzurro a destra), con picchi sui 63 nodi intorno agli 11.5 km di quota ove scorrono i massimi di intensità della corrente a getto (vettore rosso nel grafico). Si tratta di uno stato di speed wind shear fortemente positivo con un repentino rinforzo in media ed alta troposfera. In tal modo si delinea un profilo verticale del vento classico, ovvero elevato directional wind shear nei bassi strati ed altrettanto elevato speed wind shear di alto livello, elementi che quasi sempre presuppongono l'innesco di temporali a supercella e di mesocicloni come poi puntualmente occorso.

Da rilevare anche tre distinte intrusioni di aria secca (frecce rosse): la prima tra i piani isobarici di 700 e 600 hPa, la seconda tra i livelli di 500 e 400 hPa e una terza sopra il piano dei 400 hPa di probabile origine stratosferica in seno all'acuta saccatura in quota avanzante da ovest. Anche in questo caso sono soddisfatte le condizioni per le quali la presenza di aria secca e più densa al di sopra di uno strato ben più umido nei bassi strati costituisce uno stato estremamente instabile, essendo peraltro tipico dei passaggi frontali.

Il CAPE (area colorata in rosso e celeste) ammonta a 1250 J/Kg, valore non particolarmente elevato in rapporto alle caratteristiche del catino padano, tuttavia ciò non fa altro che confermare come la maggior percentuale dei casi di severi outbreak temporaleschi (con strutture supercellulari) occorra in Italia di preferenza con valori medio-bassi di CAPE ma con valori elevati di directional (bassi strati) e speed wind shear (quote superiori), in buona parte forzati dalla complessa orografia che caratterizza la zona, con particolare riferimento al directional wind shear di basso livello.

La conformazione dello spessore del CAPE appare abbastanza "stirata" verso l'alto (in gergo CAPE "magro"), e ciò indica generalmente che la convezione può innescarsi già nelle prime ore pomeridiane e prolungarsi per diverso tempo, al contrario del CAPE "grasso", ovvero in gran parte concentrato nei bassi strati, il quale sovente implica una convezione esplosiva ma in genere ritardata (tardo pomeriggio). Ciò corrisponde in gran parte a quanto verificatosi, del resto anche la temperatura convettiva, che risulta di 23°C, era già stata raggiunta al momento del lancio del radiosondaggio.

Si sottolinea anche l'elevato valore di BRN shear pari a 118.2 m²/s² (valori di tale indice superiori a 80 m²/s² contemplano supercelle di lunga durata) e l'allarmante valore dell'indice Supercell Composite Parameter pari a 8.9. Infine, si può notare anche un valore di SWEAT Index superiore a 400 (434,9, colonna a destra nel grafico) ed un valore di Lifted Index di -5,0°C, i quali non fanno altro che confermare i valori desunti da previsione, con i modelli ad area limitata che nel complesso hanno simulato molto bene le condizioni venutesi a creare quel pomeriggio.

Sebbene si tratti di una condizione relativamente restrittiva, anche il software RAOB, che correla il valore di CAPE e del wind shear 0-4 km, indica una probabilità di fenomeni intermedia tra celle ordinarie e supercelle, mentre il prospetto di "storm category" si colloca decisamente nella categoria "strong" (cerchio verde in basso a sinistra).

Si riportano quindi i più significativi valori dei parametri dinamici desunti dall'odografo di Milano Linate delle ore 12 UTC (Fig. 1.28).

- VGP 0-4 km 0.43 (soglia di allerta 0.2)
- SREH 0-2 km $247 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (soglia di allerta $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$)
- Shear 0-6 km 46 nodi (soglia di allerta 40 nodi)
- Storm motion (0-6 km) 24 nodi verso E-NE

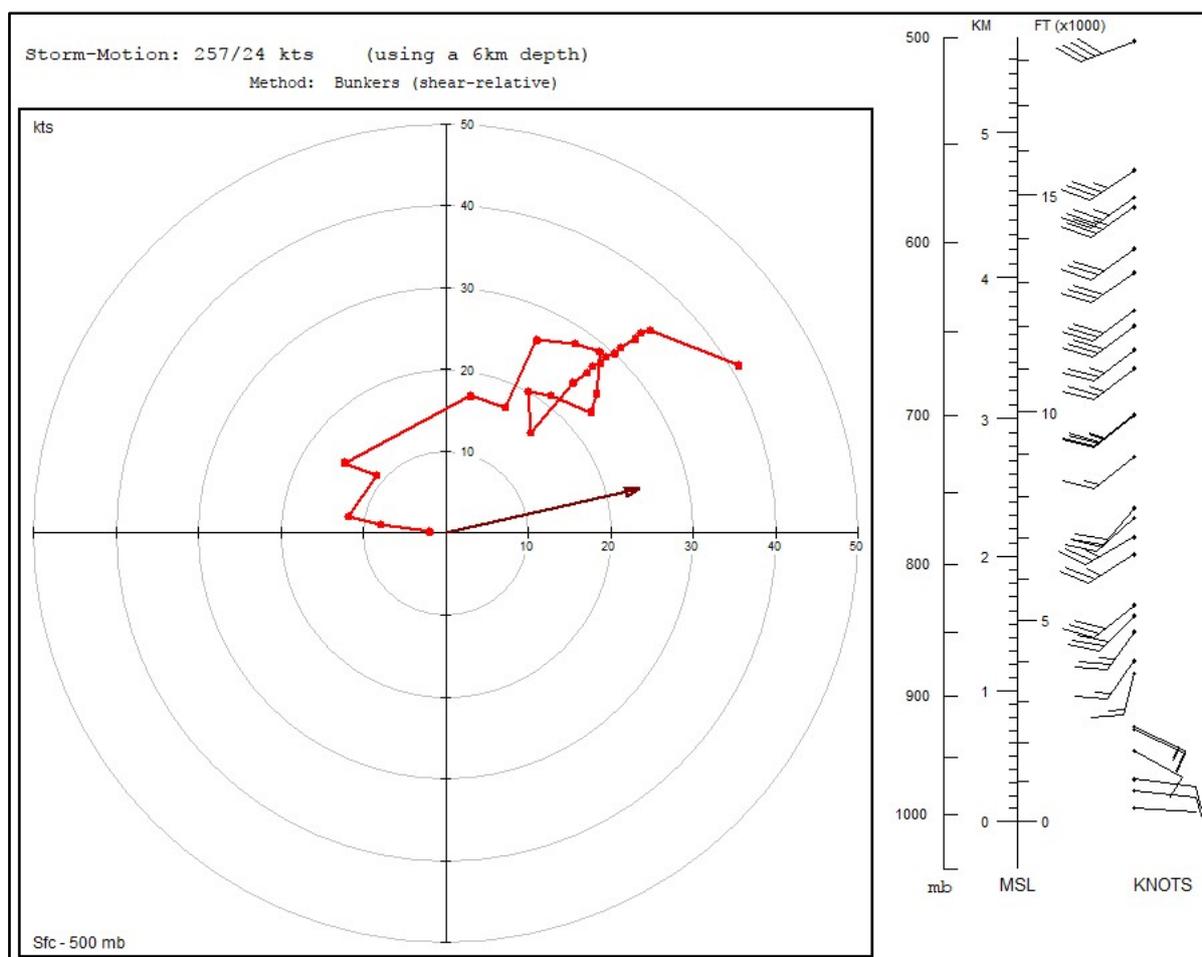


Fig. 1.28 – Odografo suolo – 500 mb di Milano Linate ore 12 UTC. Fonte: weather.uwyo.edu, elaborazione RAOB.

In buona sostanza anche i dati rilevati effettivamente, e non soltanto quelli di previsione, mostrano un set-up troposferico decisamente favorevole al verificarsi di “severe weather”, trovando conferma nella sequenza di eventi riscontrati in zona durante il pomeriggio del 6 giugno 2017.

2. ANALISI SATELLITARE E RADAR METEOROLOGICA

di Alberto Gobbi

Alle ore 14.30 locali sulla Lombardia occidentale è attiva una serie di intensi temporali, disposti secondo un asse nord-sud in traslazione verso il bresciano. Alcune celle temporalesche denotano già caratteristiche supercellulari, in particolare il temporale presente immediatamente a est di Milano, indicato dall'ellisse rossa in Fig. 2.1 e dalla freccia nera in Fig. 2.2, evolverà in supercella tornadica.

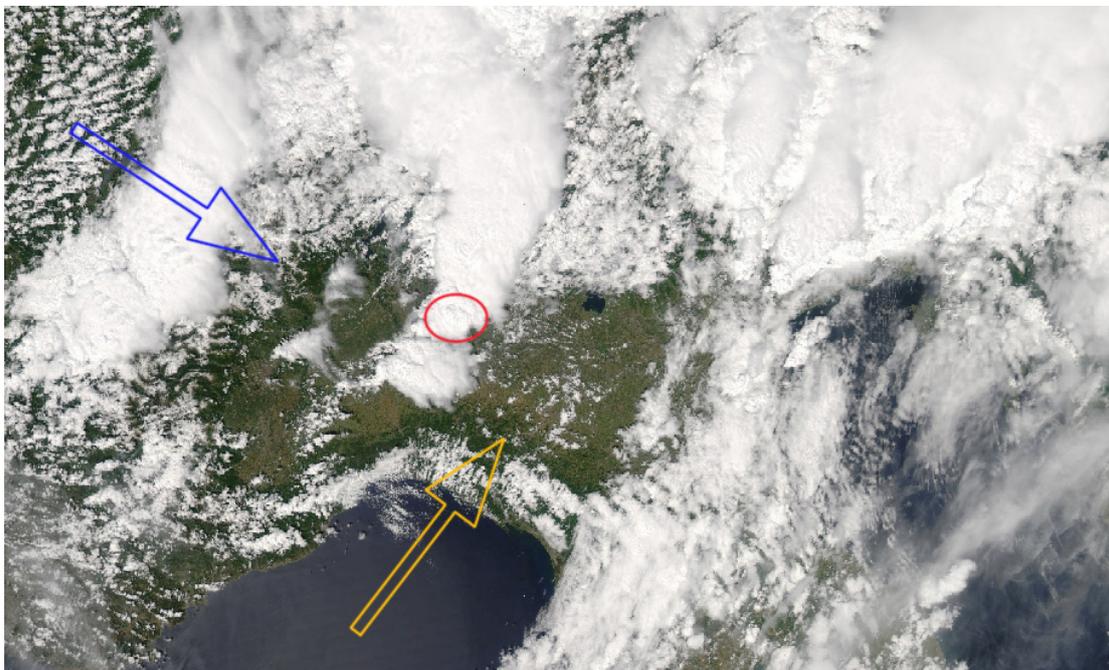


Fig. 2.1 – Immagine da satellite visibile ore 14.30 locali. La freccia blu indica il flusso freddo post-frontale, la freccia gialla il flusso caldo sud-occidentale davanti al fronte freddo. Fonte: www.ssec.wisc.edu

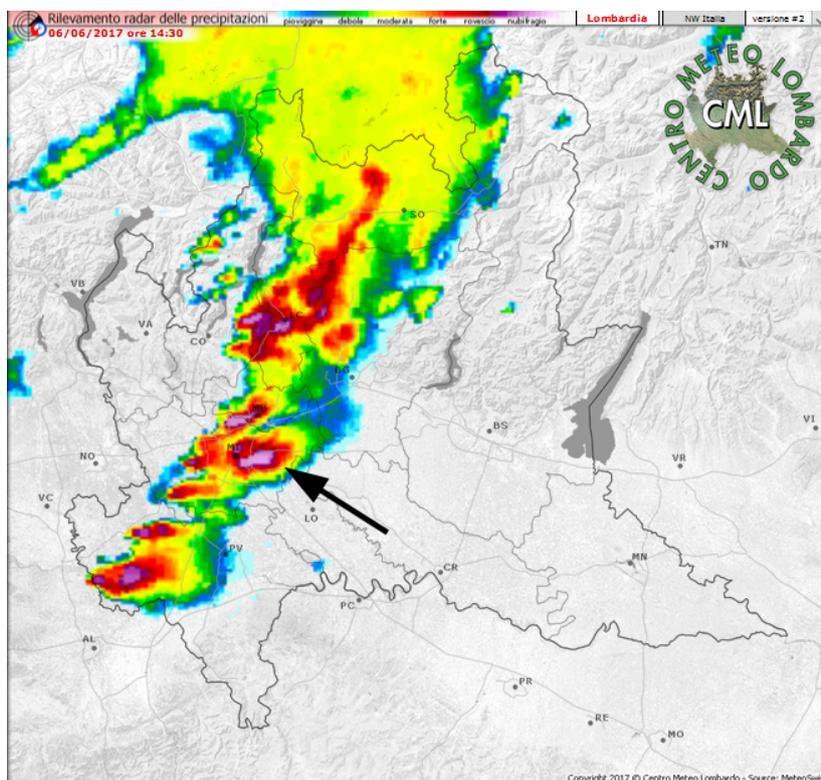


Fig. 2.2 – Immagine radar MeteoSwiss ore 14.30 locali. Fonte: www.centrometeolombardo.com/radar/

Un ingrandimento dell'immagine dal satellite visibile, riportato in Fig. 2.3, permette di osservare il boundary nei bassi strati tradito da una linea di cumuli in risalita verso nord (linea rossa) originata dal flusso secco sud-occidentale al suolo in discesa dall'Appennino (frecche gialle) che converge con il flusso più umido orientale in azione sul bresciano. La linea blu individua un altro boundary tra il flusso secco da SW e quello più umido da SE che non ha avuto un ruolo diretto nella tornadogenesi ma che ben delimita il fronte secco al suolo (dry-line) identificabile dalla linea bianca in Fig. 2.4 tracciata lungo il massimo gradiente orizzontale dei valori di temperatura di rugiada. L'ellisse nera in Fig. 2.3 identifica la supercella tornadica, mentre il rettangolo nero individua un cluster di celle temporalesche che subirà una rapida dissoluzione a causa del flusso secco sud-occidentale al suolo.

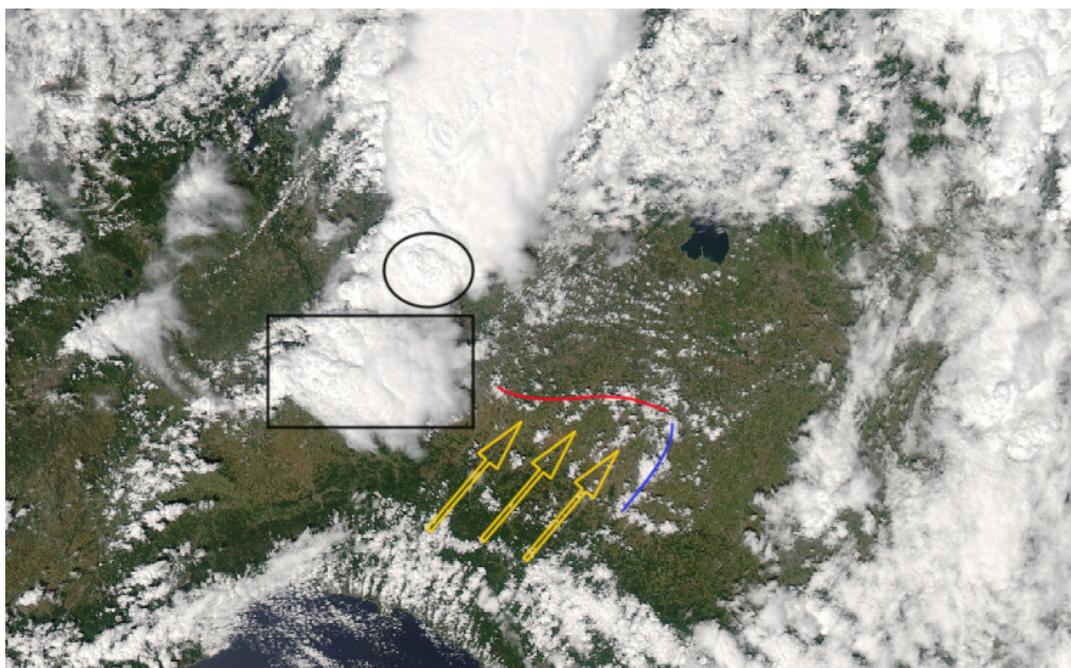


Fig. 2.3 – Immagine da satellite visibile ore 14.30 locali. Fonte: www.ssec.wisc.edu

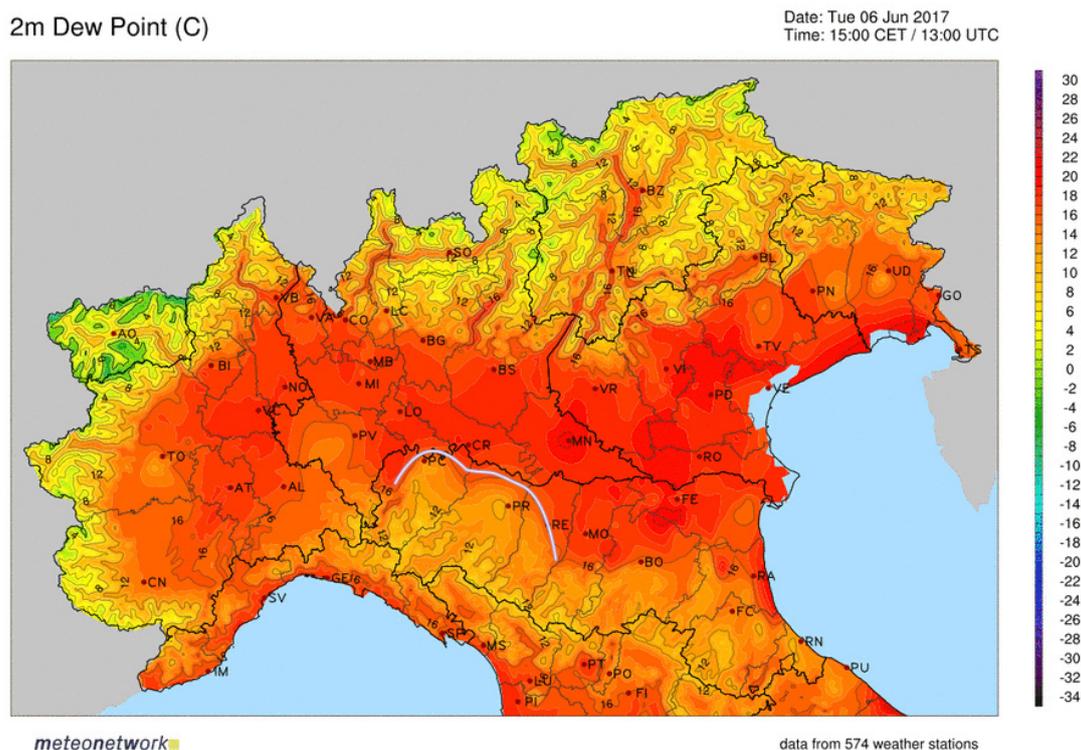


Fig. 2.4 – Dew point al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto ore 15 locali

In Fig. 2.5 si riporta un ulteriore ingrandimento dell'immagine da satellite visibile, il cerchio rosso indica il cumulonembo della supercella tornadica a est di Milano che traslerà verso il bresciano poco a nord del boundary identificato dalla linea gialla. Le celle più a sud, invece, trovandosi nel loro moto di traslazione a sud del medesimo boundary, subiranno un rapido indebolimento per l'aria secca nei bassi strati legata ai venti sud-occidentali di caduta dall'Appennino. In tal senso, l'ellisse nera in Fig. 2.6 identifica la supercella tornadica, mentre il rettangolo nero individua il cluster di celle temporalesche che subirà una rapida dissoluzione a causa del flusso secco al suolo (freccia rossa) dietro al fronte secco in salita verso nord (linea rossa).

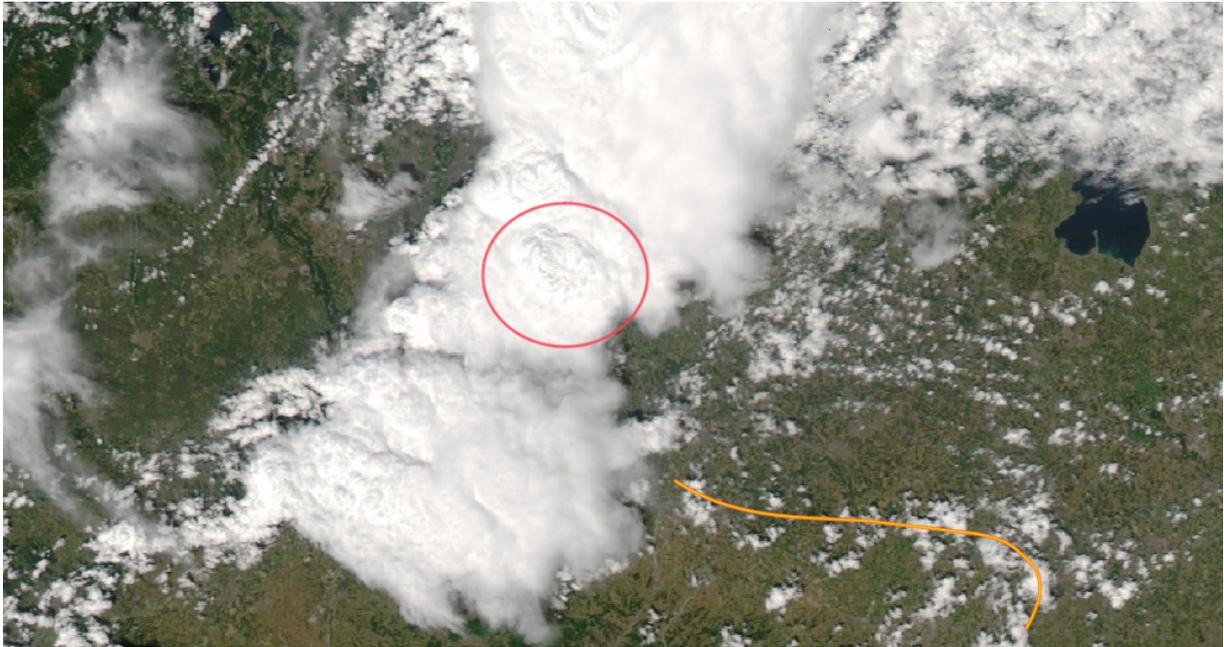


Fig. 2.5 – Immagine da satellite visibile ore 14.30 locali. Fonte: www.ssec.wisc.edu

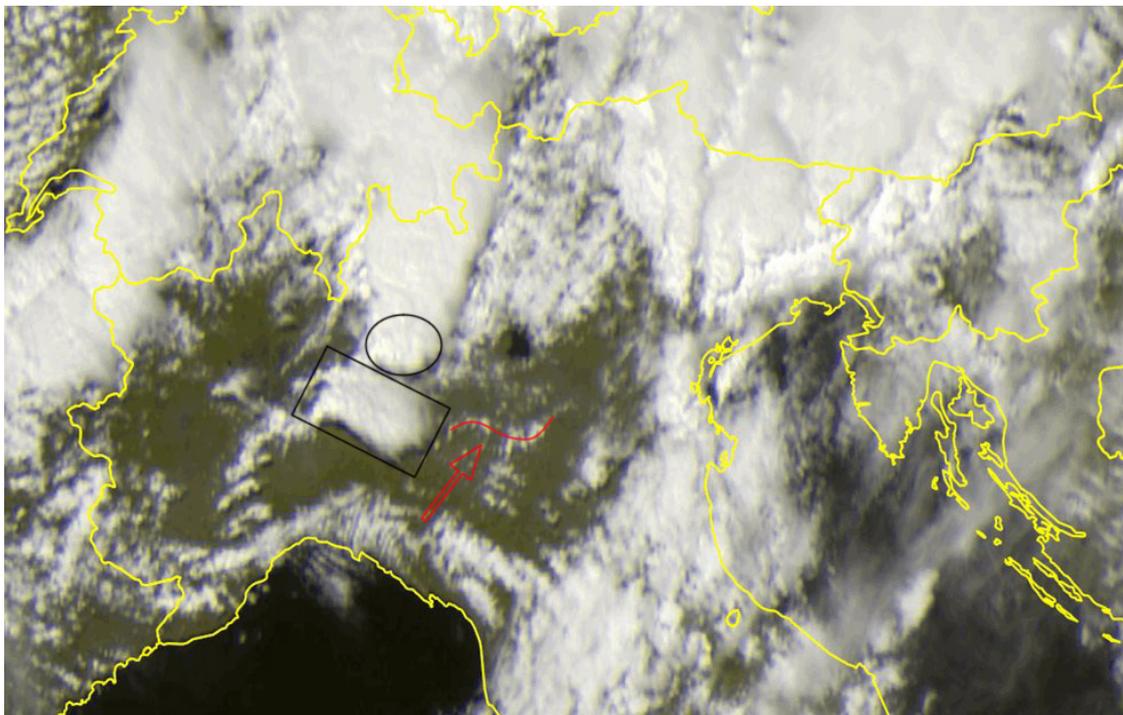


Fig. 2.6 – Immagine da satellite visibile ore 14.50 locali. Fonte: sat24.com

Alle ore 15.30 locali un primo tornado colpisce l'area a nord di Crema (CR), l'ellisse rossa nell'immagine da satellite visibile di Fig. 2.7 individua la supercella tornadica, mentre il rettangolo nero evidenzia le incudini in dissoluzione delle celle temporalesche a sud della dry-line. La freccia nera in Fig. 2.8 indica la medesima supercella tornadica a nord di Crema.

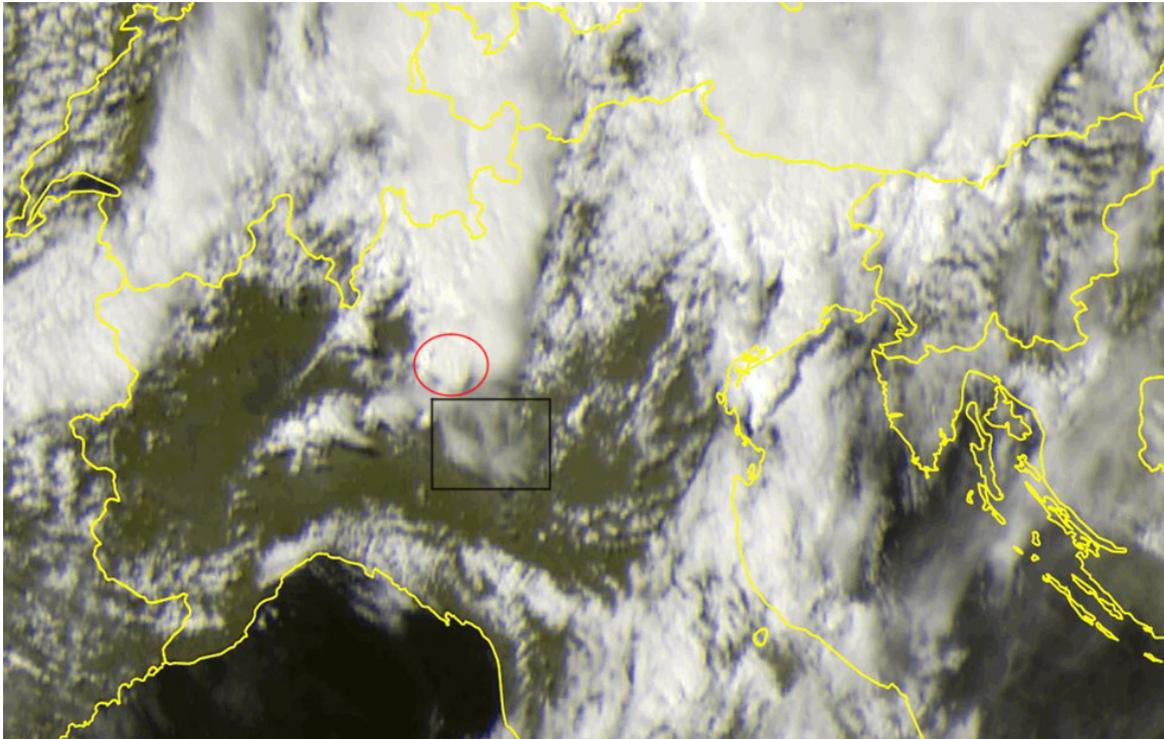


Fig. 2.7 – Immagine da satellite visibile ore 15.30 locali. Fonte: sat24.com

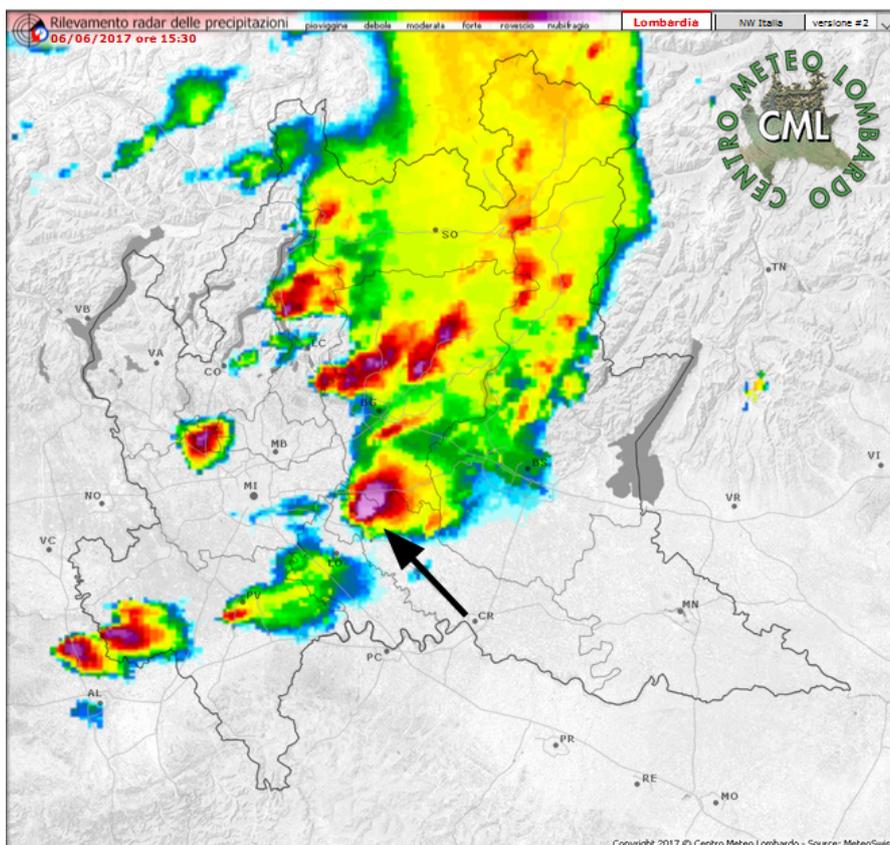


Fig. 2.8 – Immagine radar MeteoSwiss ore 15.30 locali. Fonte: www.centrometeolombardo.com/radar/

Le immagini del radar meteorologico di Milano Linate (Fig. 2.9 e Fig. 2.10, in scala di colori e di grigi, rispettivamente) mostrano due importanti echi radar tipici delle supercelle tornadiche: l'eco ad uncino e il V-notch, tracciati rispettivamente dalla freccia curva rossa e dalle linee blu in Fig. 2.10, la freccia gialla indica il flusso sud-occidentale in media troposfera che va ad impattare verso l'updraft della supercella generando il suddetto V-notch.

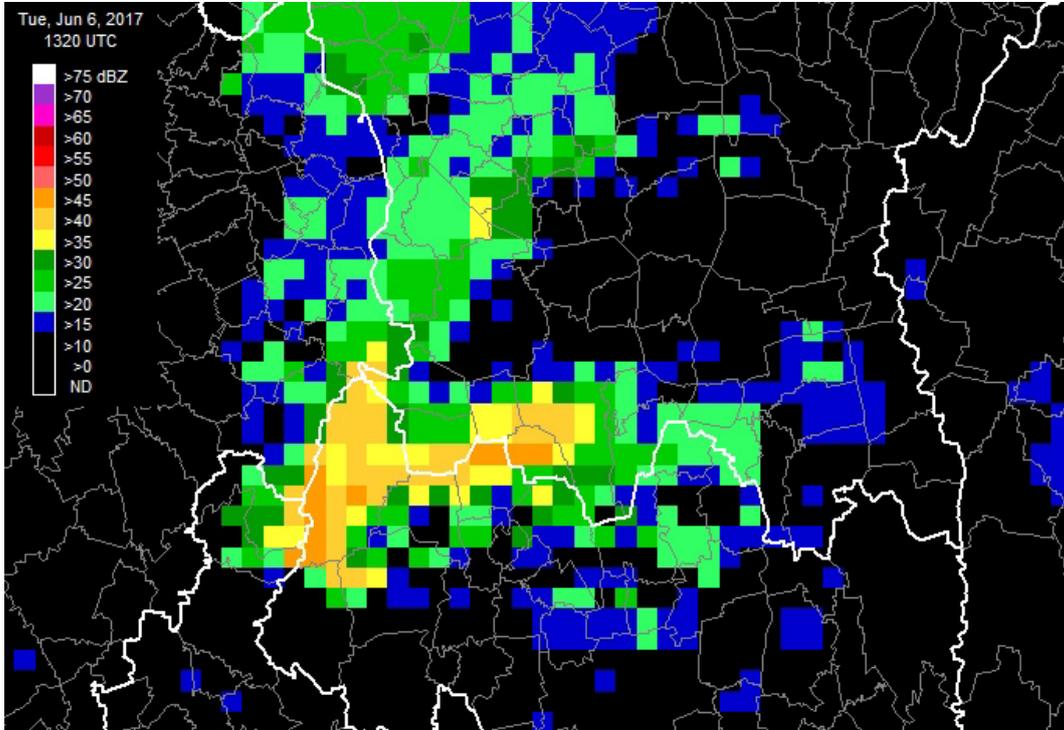


Fig. 2.9 – Riflettività corretta di base ore 15.20 locali da sistema HDSS – radar di Milano Linate. Fonte: ARPAV

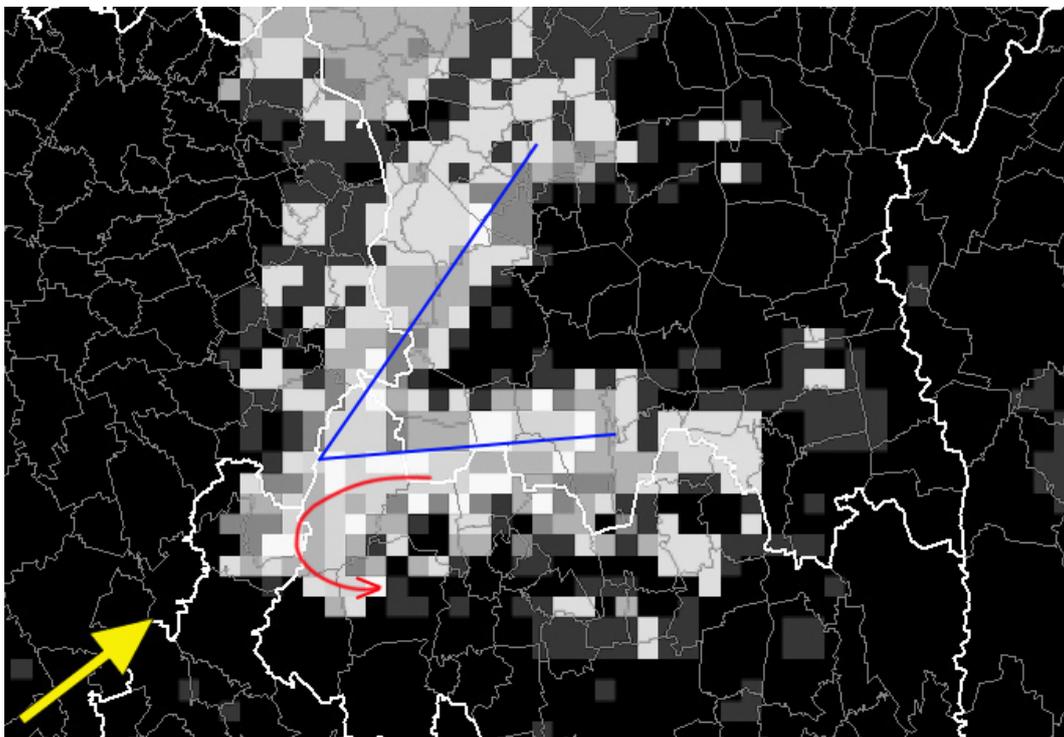


Fig. 2.10 – Riflettività corretta di base ore 15.20 locali da sistema HDSS – radar di Milano Linate. Fonte: ARPAV

Nelle Fig. 2.11 e Fig. 2.12 si riporta un ingrandimento delle mappe di riflettività del radar di Milano Linate dove si può apprezzare la contemporanea presenza dei due echi radar prima citati, ovvero l'eco ad uncino e il V-notch. Non a caso, in quei momenti era in azione il tornado a nord di Crema.

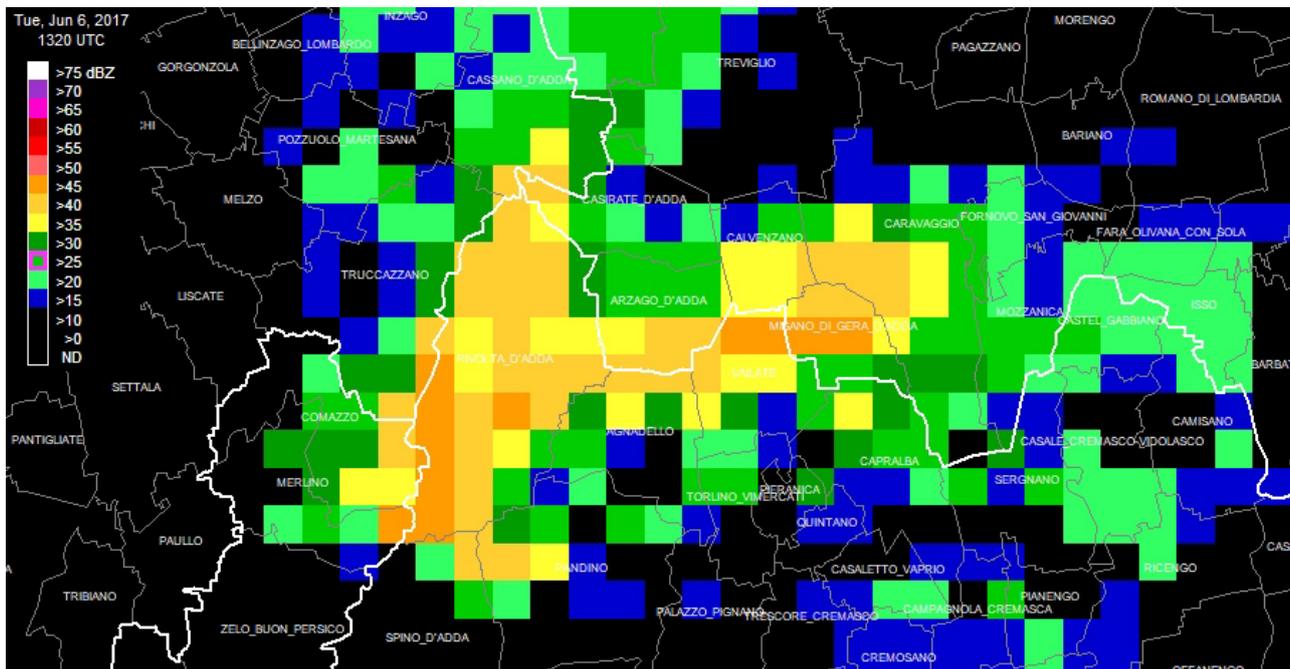


Fig. 2.11 – Riflettività corretta di base ore 15.20 locali da sistema HDSS – radar di Milano Linate. Fonte: ARPAV

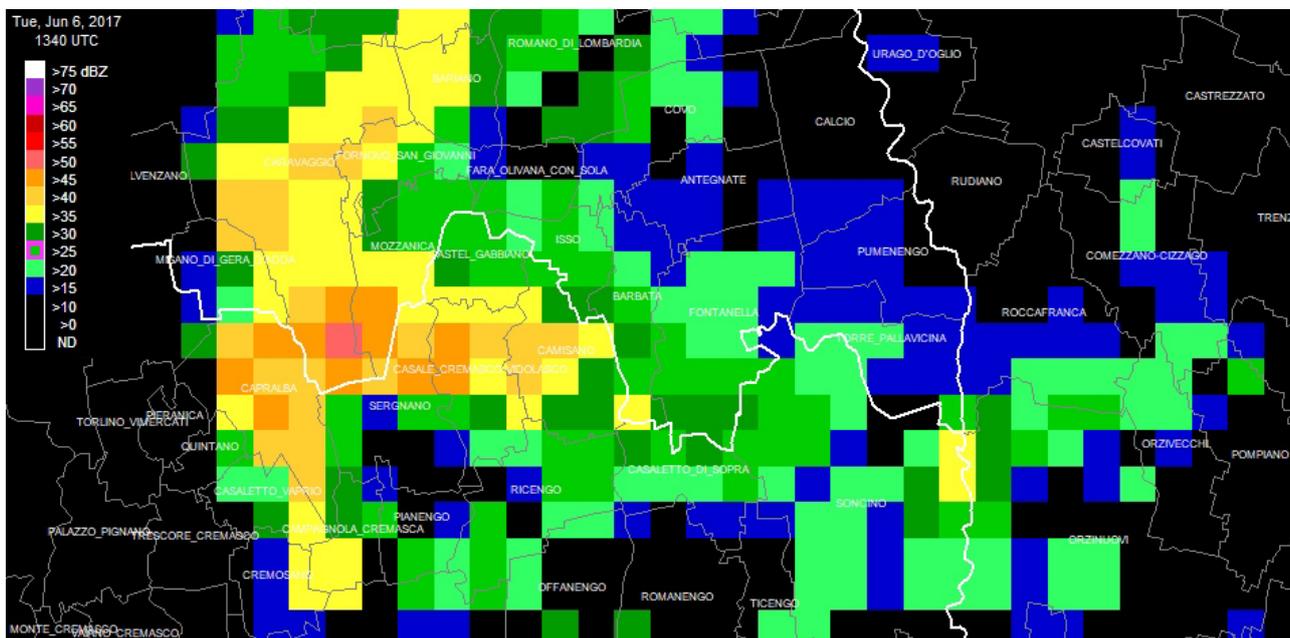


Fig. 2.12 – Riflettività corretta di base ore 15.40 locali da sistema HDSS – radar di Milano Linate. Fonte: ARPAV

La supercella, nella sua evoluzione verso est, originerà altri due tornado tra Brescia e Cremona tra le ore 16.45 e le ore 17 locali, di cui si riportano le relative immagini satellitari e radar. L'ellisse rossa in Fig. 2.13 e Fig. 2.15 evidenzia la supercella tornadica, la freccia blu indica la distensione della relativa incudine ad opera dei forti venti a 300 hPa ormai ruotati da NW (cfr. Fig. 1.2).

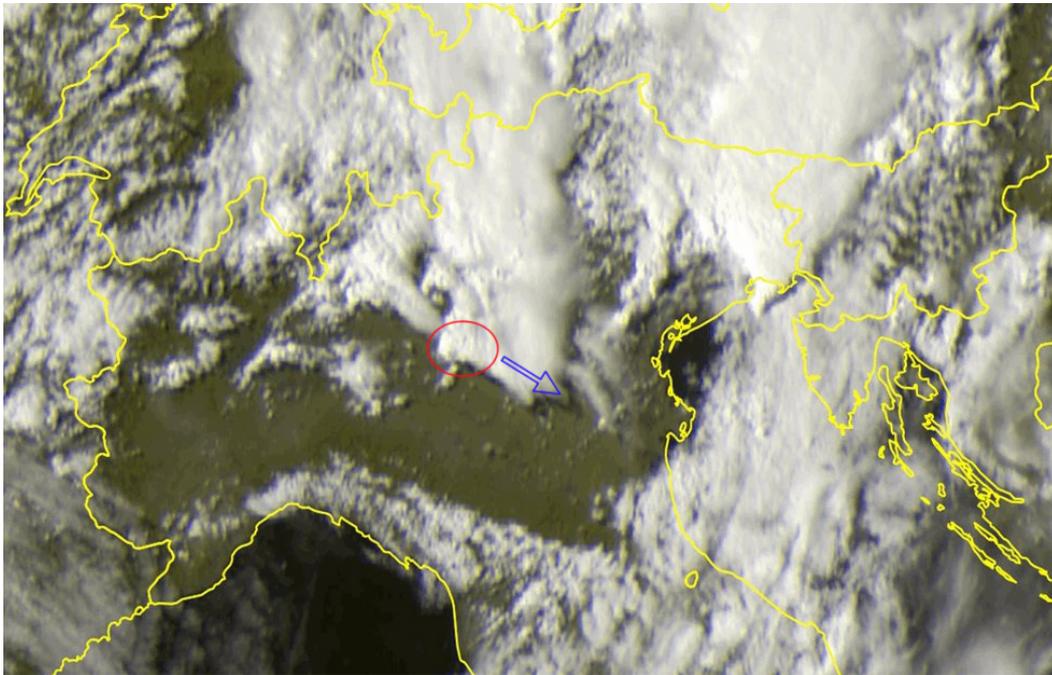


Fig. 2.13 – Immagine da satellite visibile ore 16.45 locali. Fonte: sat24.com

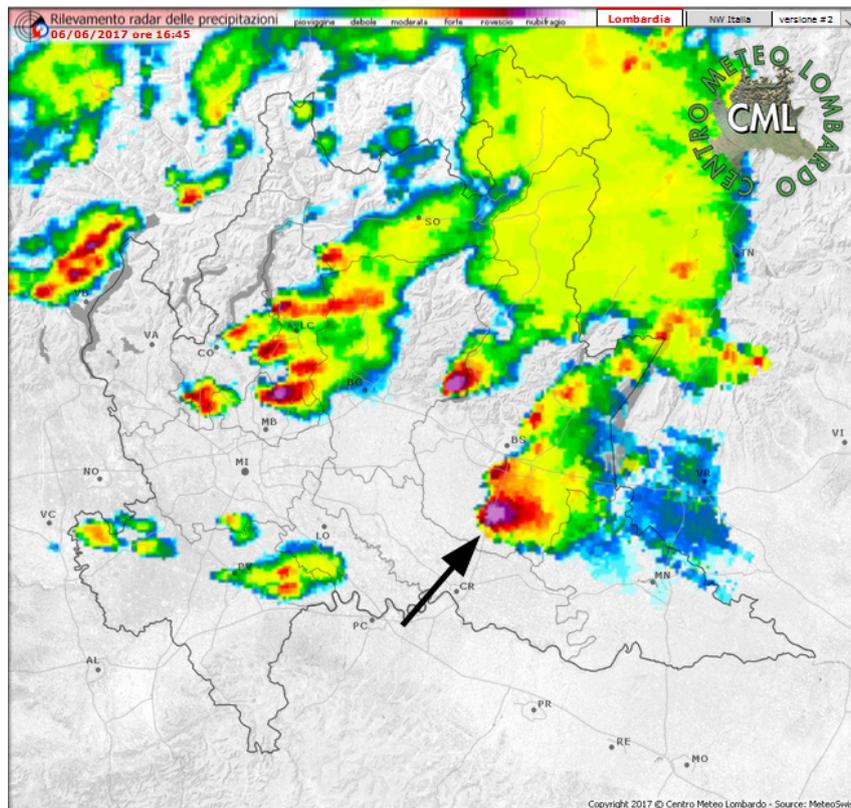


Fig. 2.14 – Immagine radar MeteoSwiss ore 16.45 locali. Fonte: www.centrometeolombardo.com/radar/

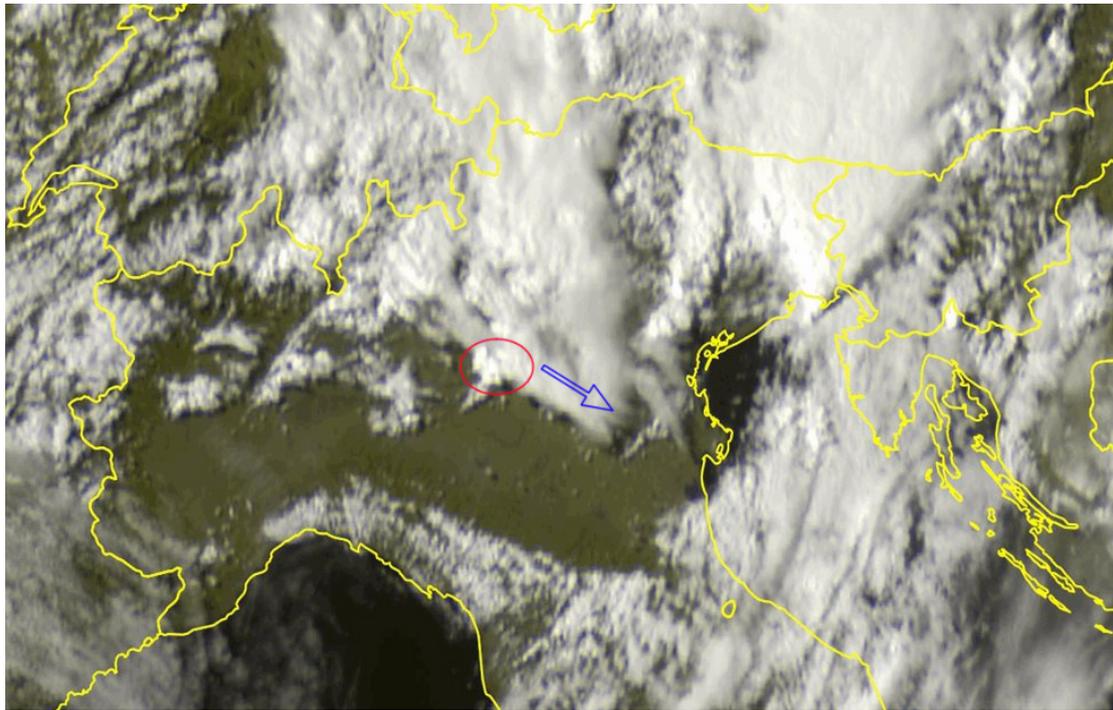


Fig. 2.15 – Immagine da satellite visibile ore 17 locali. Fonte: sat24.com

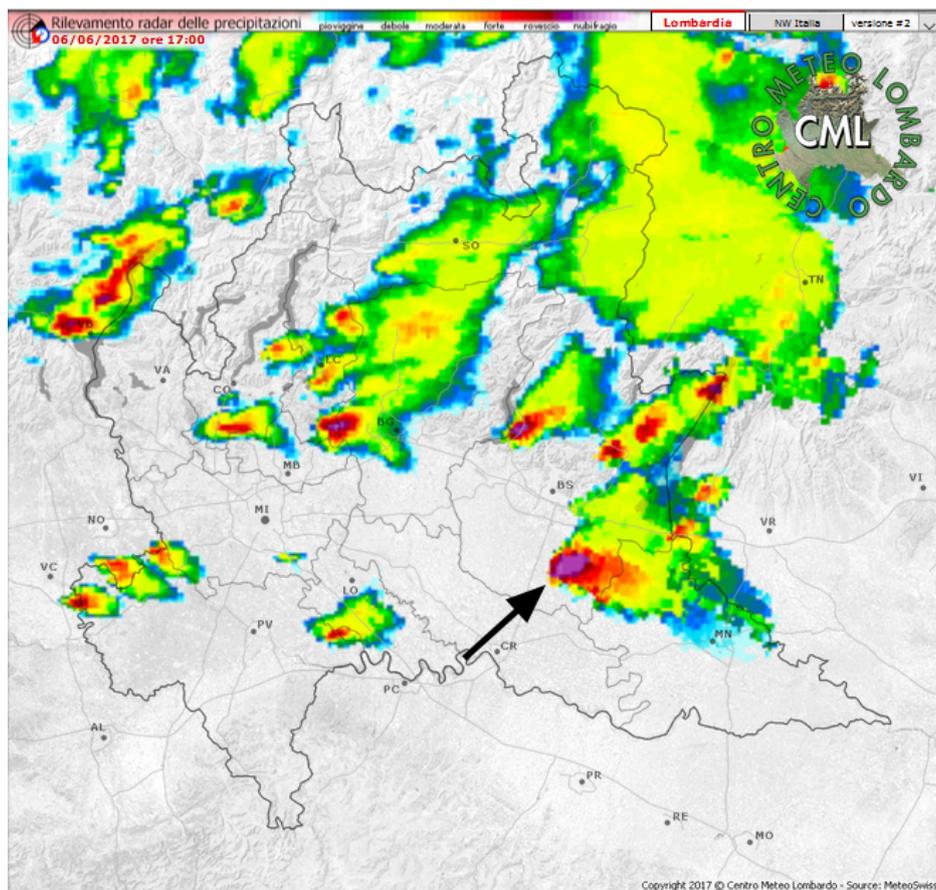


Fig. 2.16 – Immagine radar MeteoSwiss ore 17 locali. Fonte: www.centrometeolombardo.com/radar/

Infine, si riportano un paio di immagini del radar meteorologico di Teolo (Fig. 2.17 e Fig. 2.18) corrispondenti ai momenti della tornadogenesi del secondo e terzo vortice della supercella ciclica in esame. In particolare, la freccia nera denota un “inflow notch” associato a un elevato gradiente di riflettività, meglio apprezzabile in Fig. 2.18, che nella fattispecie testimonia la presenza di un intenso mesociclone.

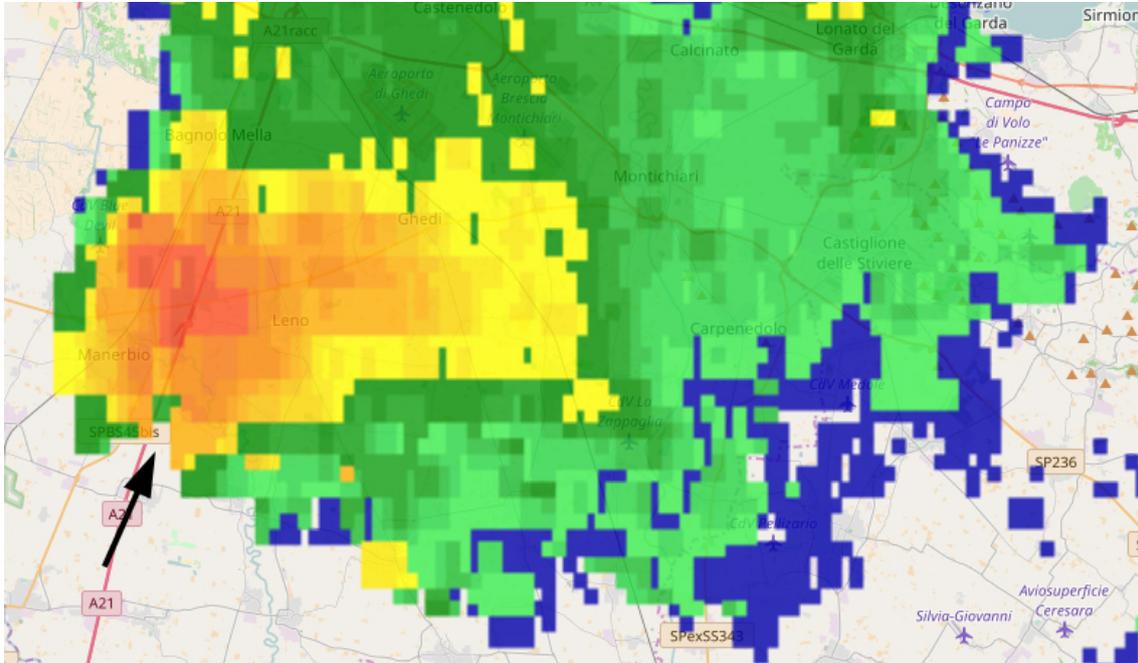


Fig. 2.17 – Riflettività corretta di base ore 16.40 locali – radar di Teolo (PD). Fonte: ARPAV

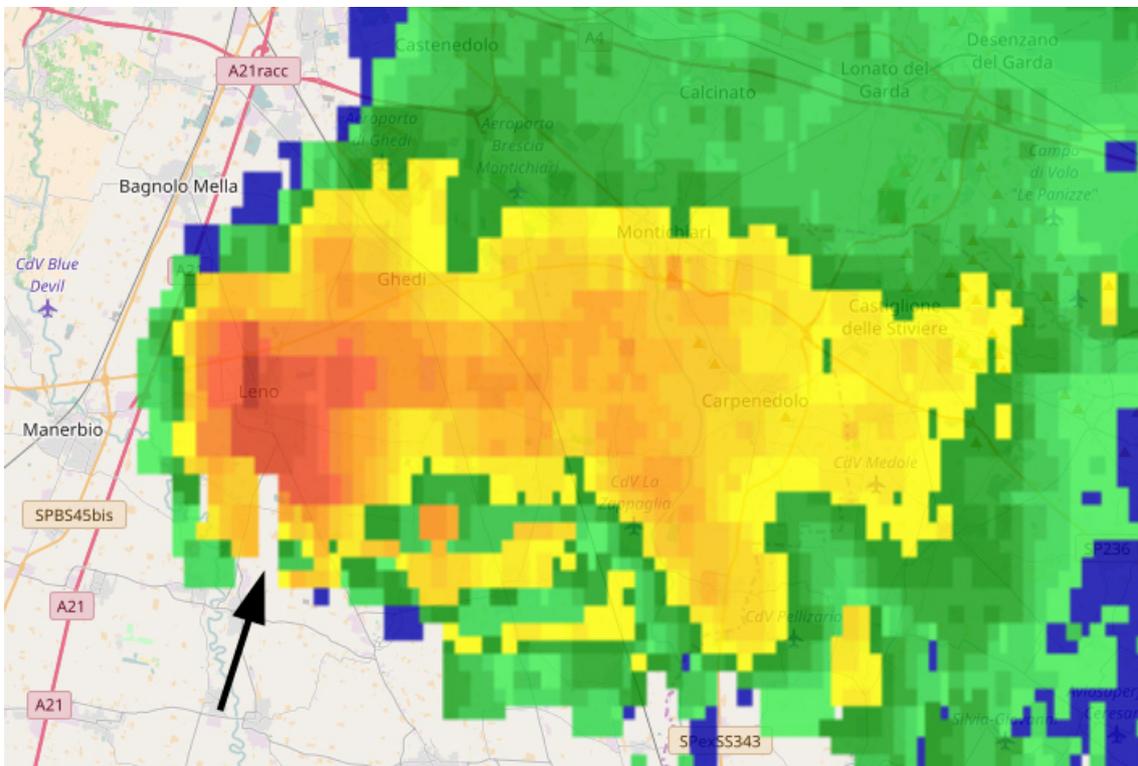


Fig. 2.18 – Riflettività corretta di base ore 16.50 locali – radar di Teolo (PD). Fonte: ARPAV

3. ANALISI NEFOLOGICA

di Alberto Gobbi, Valentina Abinanti e Alessandro Piazza

La supercella del 6 giugno 2017 ha originato tre tornado, il primo a nord di Crema (CR) intorno alle ore 15.30 locali e gli altri due intorno alle ore 16.55 locali a sud di Leno (BS), quest'ultimi a pochi minuti di distanza l'uno dall'altro, di minore intensità e della durata di qualche minuto ciascuno. Il primo tornado è stato documentato da Alessandro Piazza da Castel Gabbiano (CR), il secondo e il terzo tornado da Valentina Abinanti e dal team di ZenaStormChaser da Pavone del Mella (BS).



Fig. 3.1 – Base del mesociclone e FFD (Forward Flank Downdraft) sulla destra. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.2 – Tail cloud sulla destra e RFD (Rear Flank Downdraft) sulla sinistra. Foto di Alessandro Piazza.

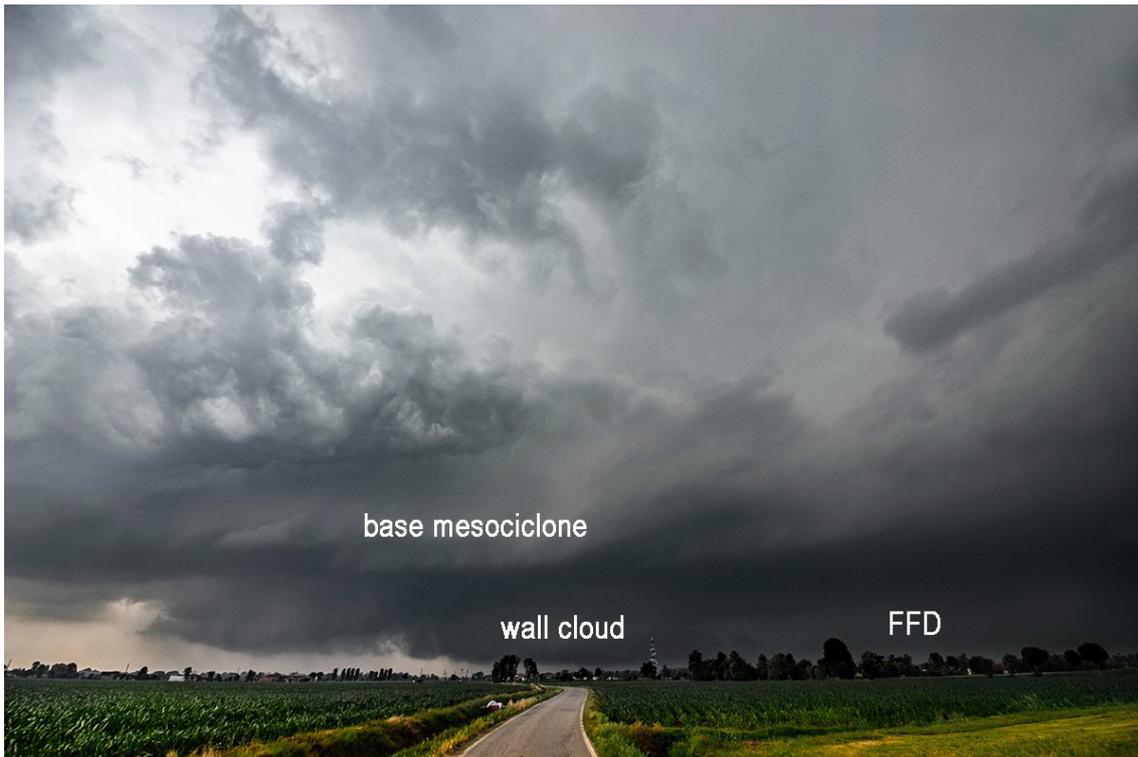


Fig. 3.3 – Mesociclone con wall cloud alla base. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.4 – Inizio occlusione mesociclonica e tornadogenesi con l'aria secca del RFD che inizia ad avvolgere da sud il mesociclone (freccia bianca). Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.5 – Wall cloud con due tail cloud nella regione del FFD. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.6 – Primo tornado con bande di precipitazione in secondo piano del RFD. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.7 – Primo tornado con inflow band. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.8 – Primo tornado con inflow band. Foto di Alessandro Piazza.

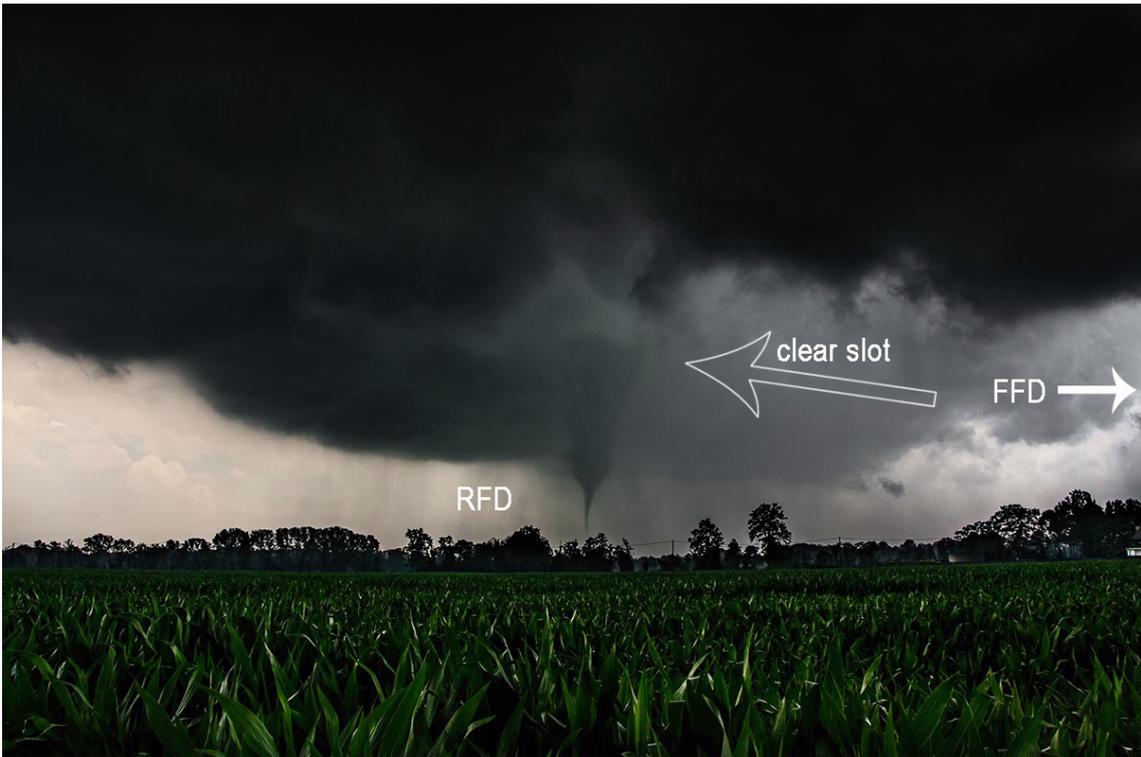


Fig. 3.9 – Primo tornado con clear slot che identifica l'aria secca del RFD che avvolge il mesociclone e relativo vortice.
Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.10 – Primo tornado. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.11 – Primo tornado. Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.12 – Supercella sul bresciano in allontanamento vista da Offanengo (CR). Foto di Alessandro Piazza.



Fig. 3.13 – Mesociclone della supercella di Fig. 3.12. Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.14 – Mesociclone della supercella a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.15 – Secondo tornado a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.16 – Secondo tornado a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.17 – Secondo tornado a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.18 – Terzo tornado a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.19 – Terzo tornado a sud di Leno (BS). Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 3.20 – Supercella verso l'alto mantovano in fase di attenuazione con la colonna del downdraft sulla sinistra. Foto di Valentina Abinanti.

4. ANALISI DEI DANNI CON APPLICAZIONE DELLA SCALA EF E RICOSTRUZIONE DEL PERCORSO DEI TORNADO

di Davide Rosa, Marco Rabito, Alberto Gobbi e Giacomo Venturin

4.1 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo dei tornado

A seguito dei rilievi eseguiti sul campo tramite GPS qualche giorno dopo il passaggio dei tornado è stato possibile definire lunghezza e forma del percorso di ciascun vortice:

Lunghezza path **tornado 1** (ore 15.30 circa): circa 8000 metri, a nord di Crema (CR)

Comuni colpiti: Torlino Vimercati (CR), Casaletto Vaprio (CR), Campagnola Cremasca (CR)

Catalogati 84 indicatori di danno (DI)

Lunghezza path **tornado 2** (ore 16.55 circa): circa 2000 metri, a sud di Leno (BS)

Comune colpito: Leno (BS) a sud della frazione di Milzanello

Catalogati 20 indicatori di danno (DI)

Lunghezza path **tornado 3** (ore 16.55 circa): circa 2300 metri, a sud di Leno (BS)

Comune colpito: Leno (BS) tra le frazioni di Squadretto e Castelletto

Catalogati 31 indicatori di danno (DI) e 3 non-indicatori di danno (NDI)

La larghezza media della traccia al suolo dei tornado è mediamente pari a 150 metri ma con massimi fino a 300-350 metri in corrispondenza del tornado 2, in particolare nel suo primo tratto (si veda a tal proposito la Fig. 4.9).

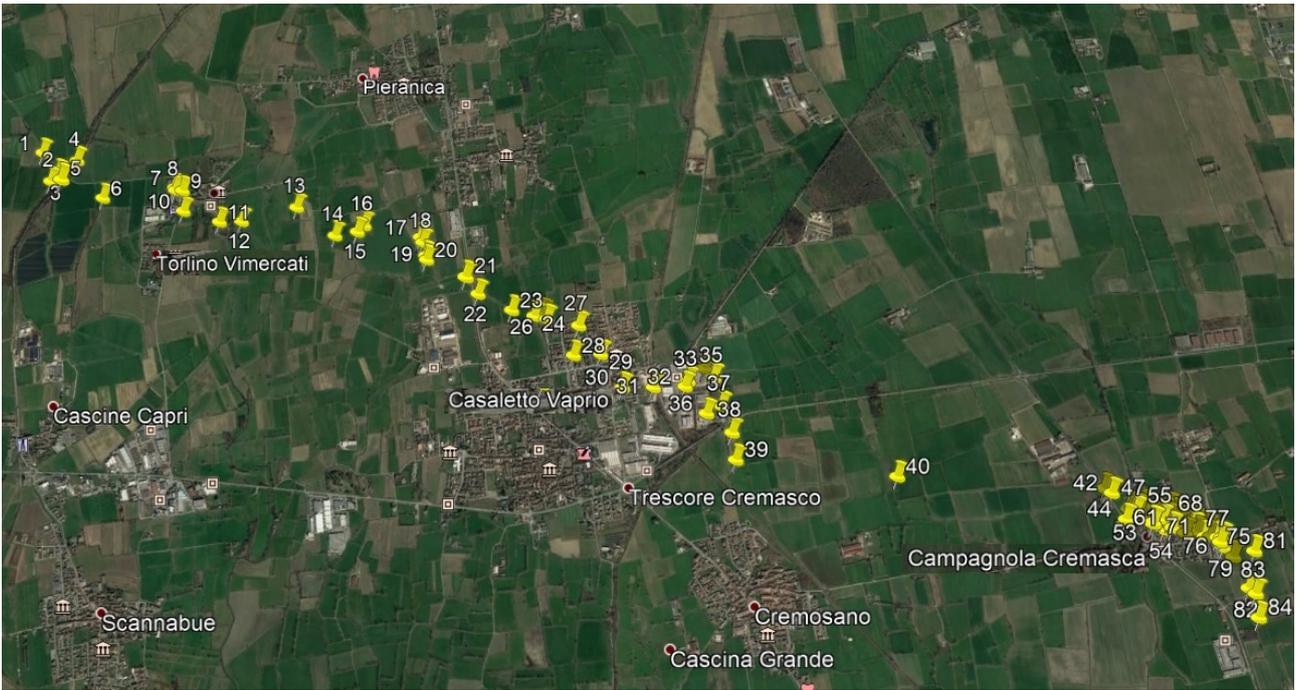


Fig. 4.1 – Posizione degli indicatori di danno (segnaposto gialli) del tornado 1 a nord di Crema (CR)

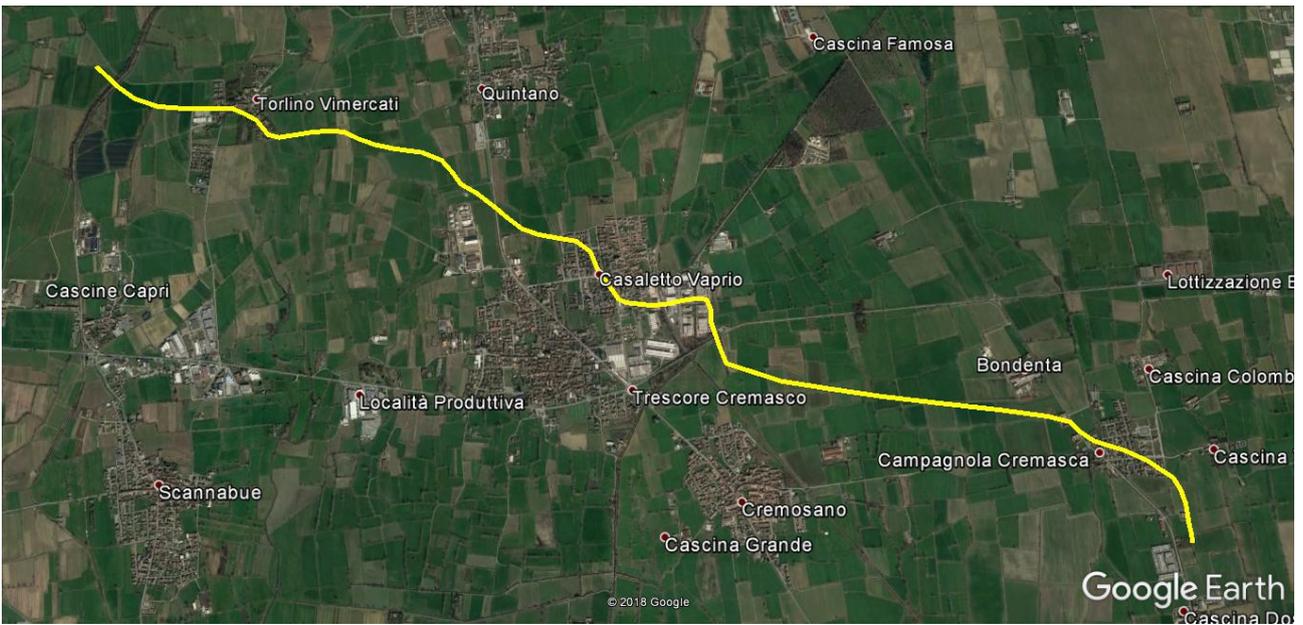


Fig. 4.2 – Percorso del tornado 1 a nord di Crema (CR)



Fig. 4.3 – Posizione degli indicatori di danno (segnaposto gialli) del tornado 2 (sinistra) e del tornado 3 (destra) a sud di Leno (BS)

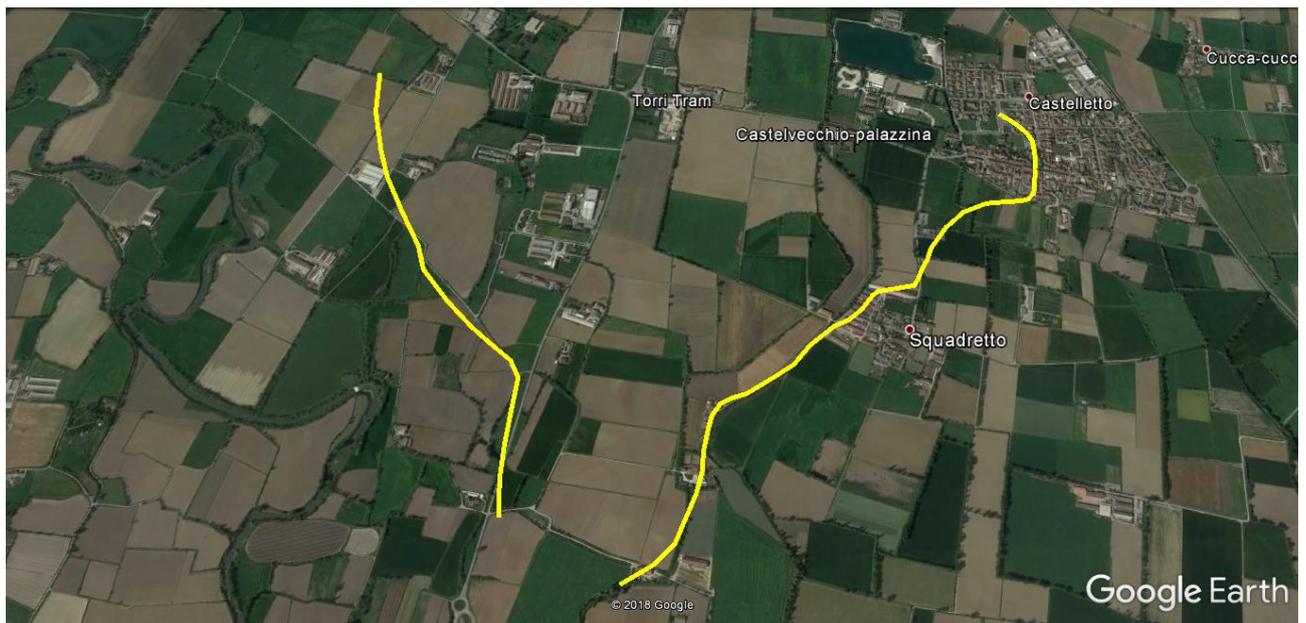


Fig. 4.4 – Percorso del tornado 2 (sinistra) e del tornado 3 (destra) a sud di Leno (BS)

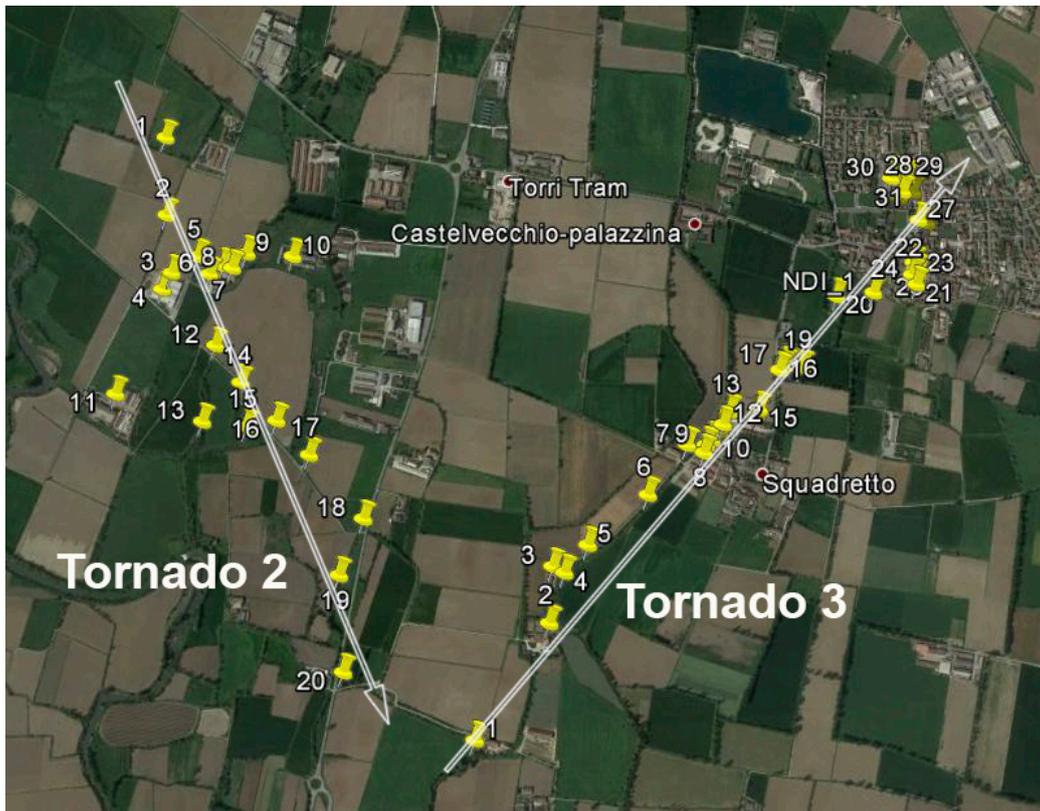


Fig. 4.5 – Direzione di avanzamento del tornado 2 e del tornado 3 a sud di Leno (BS)

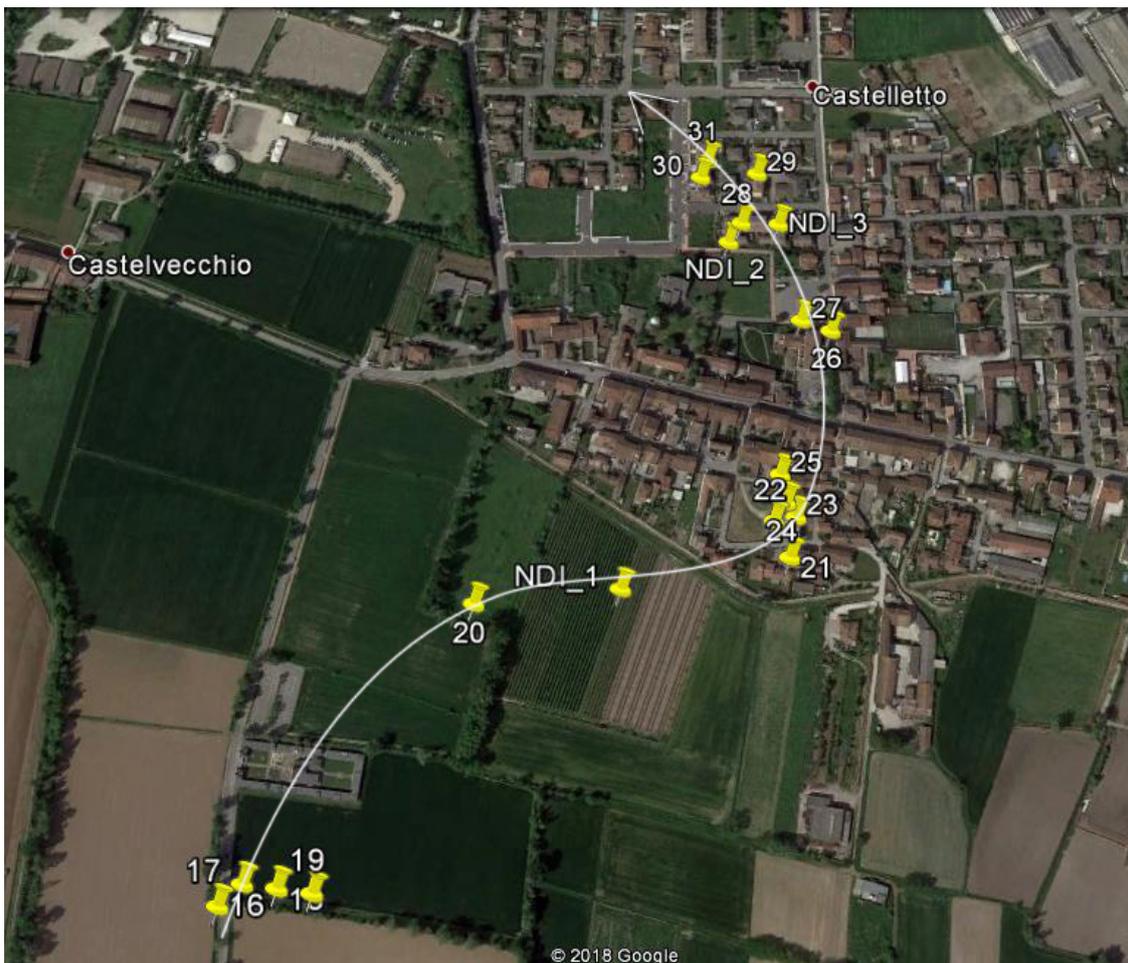


Fig. 4.6 – Direzione di avanzamento e forma del tratto finale del tornado 3 a sud di Leno (BS)

Il tornado 2 (così come il tornado 1) si è diretto verso sud-est, in accordo col moto deviante verso destra della supercella (impresso dalla rotazione del mesociclone) rispetto al vento da W-SW della media troposfera. Il tornado 3 invece si è diretto verso nord-est (Fig. 4.5), poco dopo la supercella che l'aveva generato si è dissolta.

Secondo il parere dello storm chaser **Maurizio Signani**, la differente traiettoria dei tornado 2 e 3 è dovuta a un ultimo tentativo di occlusione mesociclonica in seno alle fasi finali della supercella tornadica. La corrente di RFD avrebbe preso il sopravvento sull'intera struttura (forse a seguito del collasso dell'updraft principale) incrementando la rotazione nel mesociclone di basso livello e spingendolo verso nord-est, favorendo nel contempo la genesi del tornado 3.

Nello schema riportato in Fig. 4.7 la freccia nera rappresenta l'impulso della corrente di RFD che tende a spingere il mesociclone con il relativo tornado verso N-NE.

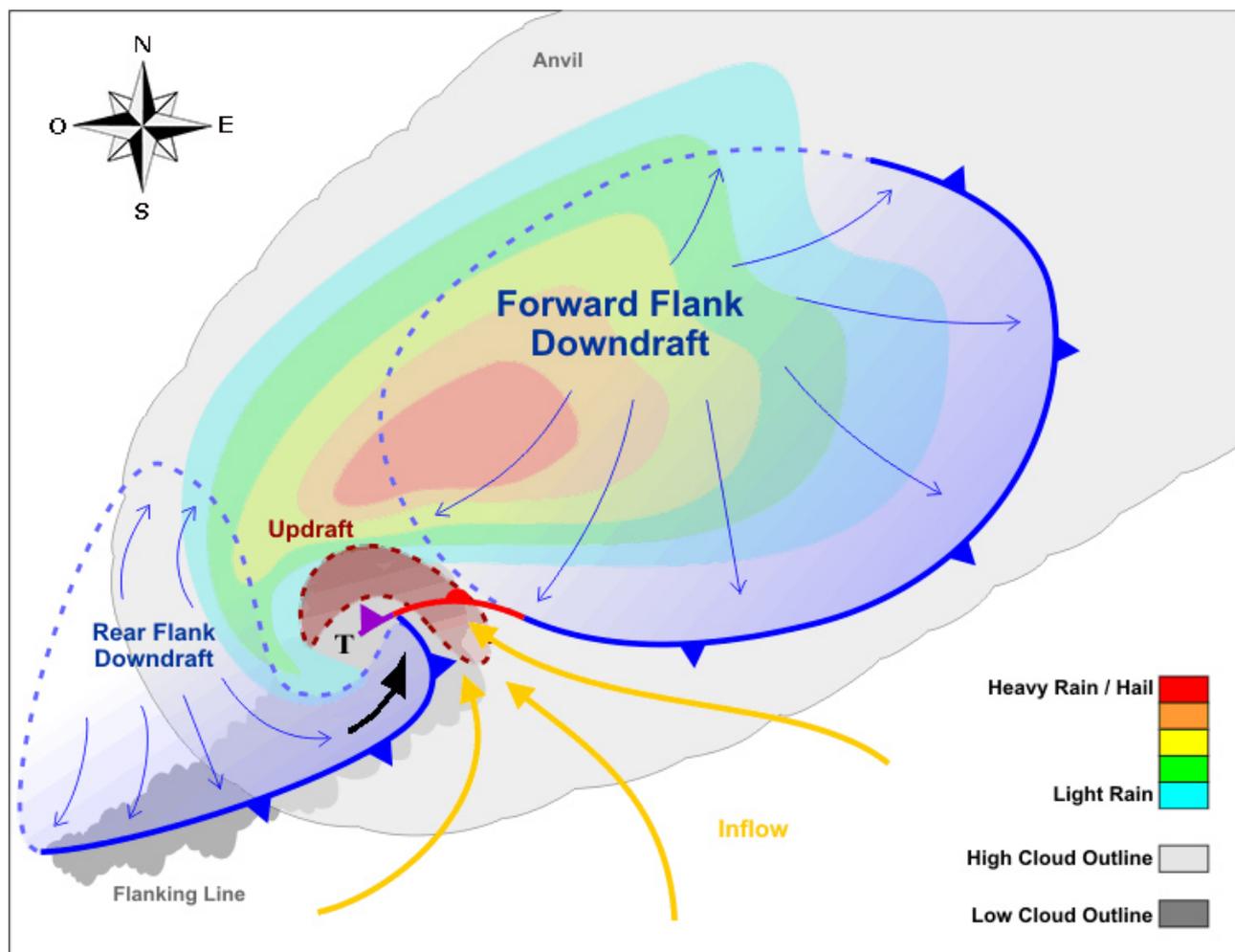


Fig. 4.7 – Schema di una supercella classica vista dall'alto e in movimento verso destra. Fonte: www.weather.gov

Interessante notare come nel tratto terminale del tornado 3 il path assumesse una forma ad uncino con movimento ciclonico (antiorario), indice verosimilmente del moto di rotazione del tornado attorno al mesociclone di basso livello (Fig. 4.4 e Fig. 4.6).

Tutti i tornado mostrano una forma del path mediamente sinusoidale con una probabile “cuspidè” nel tornado 1 nella periferia est di Casaleto Vaprio (Fig. 4.2).

4.2 Mappe delle isolinee di danno dei tornado



Fig. 4.8 – Isolinee di danno del tornado 1



Fig. 4.9 – Isolinee di danno del tornado 2



Fig. 4.10 – Isolinee di danno del tornado 3



Fig. 4.11 – Isolinee di danno del tornado 2 e del tornado 3

In allegato al presente lavoro si riportano le schede relative ai 135 DI e ai 3 NDI dei 3 tornado registrati a seguito del sopralluogo sul campo. In ogni scheda si riporta:

- il codice identificativo del DI;
- coordinate latitudine (Nord) e longitudine (Est);
- la posizione del DI su mappa dell'intero path e la posizione del DI su mappa ingrandita (zoom);
- alcune foto significative del DI analizzato;
- la tipologia del DI analizzato;
- una sommaria descrizione del DI e alcune particolarità supplementari del danno che ha caratterizzato lo stesso DI;
- tabella dei DOD (velocità in mph – miglia orarie) relativi al DI con identificazione della magnitudo di danno caratterizzante il DI.

In base alle elaborazioni svolte i presenti eventi tornadici vengono classificati, secondo il protocollo della EF Scale, come segue:

Tornado 1: grado EF2 (EF2 strong)

Tornado 2: grado EF1 (EF1 strong)

Tornado 3: grado EF1

SCALA EF	
Numero EF	Raffica di 3 secondi (km/h)
0	104-137
1	138-177
2	178-217
3	218-266
4	267-322
5	> 322

Tab. 4.1 – Scala EF dei tornado.

Nella Fig. 4.9 le isolinee di danno del tornado 2 riportano un'area arancione di livello EF2 corrispondente al DI n. 3, tuttavia il tornado è stato classificato EF1 poiché non è stato riscontrato un danno nelle immediate vicinanze di magnitudo comparabile tale da poter confermare la classificazione a EF2.

Sitografia

Associazione Serenissima Meteo
<http://www.serenissimameteo.eu>

Associazione Centro Meteorologico Lombardo
<http://www.centrometeolombardo.com>

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Modelli meteorologici
<http://www.meteonetwork.it/models>

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Rete stazioni meteorologiche
<http://www.meteonetwork.it/rete/mappe.php>

Sito del progetto ZenaStormChaser
<http://zenastormchaser.it>

Sito di Alberto Gobbi dedicato all'analisi dei fenomeni temporaleschi italiani
<http://www.fenomenitemporaleschi.it>

Sito sullo storm chasing di Valentina Abinanti
<http://www.tornadoseeker.com>

Sito sullo storm chasing di Alessandro Piazza
<https://stormyweatheritaly.blogspot.com>

Sito sullo storm chasing di Maurizio Signani
<http://www.stormnetwork.it>

Consorzio LaMMA Toscana – Modelli meteorologici
<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/modelli>

CIMSS - Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies
<http://cimss.ssec.wisc.edu>

ARPAV - Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto
<http://www.arpa.veneto.it>