

La violenta grandinata sul vicentino e il tornado sul trevigiano

del 14 settembre 2015



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

*Alberto Gobbi, Mario Pizzolon, Marco Rabito,
Pierluigi Randi, Davide Rosa*

Indice

Introduzione	2
1. ANALISI SINOTTICA E A MESOSCALA	4
1.1 Situazione in alta troposfera.....	4
1.2 Situazione in media troposfera.....	7
1.3 Situazione in bassa troposfera.....	14
1.4 Situazione al suolo	20
2. ANALISI TERMODINAMICA E DI STABILITÀ ATMOSFERICA	38
2.1 Analisi degli indici termodinamici.....	38
2.2 Analisi del radiosondaggio e dell'odografo reale	51
2.3 Analisi del radiosondaggio e dell'odografo simulato	56
2.4 Confronto odografi dell'8 luglio 2015 e del 14 settembre 2015.....	60
2.5 Confronto percorsi delle supercelle dell'8 luglio 2015 e del 14 settembre 2015	64
3. ANALISI SATELLITARE E RADARMETEOROLOGICA	69
3.1 Analisi immagini satellitari nel canale visibile e infrarosso	69
3.2 Confronto tra immagini satellitari, mappe di riflettività e vento al suolo.....	73
3.3 Evoluzione echi radar della riflettività di base.....	78
3.4 Evoluzione echi radar della riflettività massima.....	82
3.5 Sezioni verticali di riflettività	86
3.6 Mappe di velocità radiale.....	92
3.7 Evoluzione campi di riflettività della supercella dell'8 luglio 2015.....	96
4. ANALISI NEFOLOGICA.....	103
5. ANALISI DEI DANNI CON APPLICAZIONE DELLA SCALA EF E RICOSTRUZIONE DEL PERCORSO DEL TORNADO	127
5.1 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo del tornado.....	127
5.2 Mappe delle isolinee di danno del tornado	131
5.3 Schede di danno	134
Sitografia.....	185
Ringraziamenti	186

Introduzione

Nel corso del pomeriggio del 14 settembre 2015 una supercella temporalesca ha generato un tornado mesociclonico in provincia di Treviso e numerose cadute di grandine anche di dimensioni ragguardevoli su un territorio più vasto, comprendente anche aree afferenti alle province di Vicenza e di Padova. L'evento temporalesco analizzato in questo rapporto scientifico si contestualizza all'inizio dell'autunno meteorologico 2015, stagione seguente un'estate che annoverò un altro episodio di fenomenologia estrema molto significativo, il tornado della Riviera del Brenta, occorso il giorno 8 luglio.

Il lavoro di approfondimento che segue propone al suo interno dei confronti molto interessanti proprio con il temporale a supercella di luglio, con l'intento di illustrarne analogie e differenze. La struttura del rapporto scientifico è, in linea di massima, la medesima che gli Autori hanno già proposto in precedenti documenti di approfondimento su specifici fenomeni meteorologici estremi di particolare rilevanza (reperibili nel sito www.fenomenitemporaleschi.it), ovvero ricostruendo la configurazione sinottica e termodinamica per poi giungere ad analisi prettamente osservative, strumentali e non, quindi attraverso la radarmeteorologia e la nefologia.

L'impatto sul nostro territorio dei cosiddetti fenomeni di extreme weather è, sempre più spesso come vedremo in seguito, produttivo di danni localmente anche ingenti e diffusi che in questo documento sono catalogati e descritti con minuzia di particolari al fine di poter dare una misura, il più possibile coerente con la realtà, del fenomeno che li ha prodotti. Negli ultimi anni questo genere di fenomenologia estrema è stato osservato e riportato con una frequenza molto più ravvicinata rispetto al passato.

Talvolta risulta semplicistico e azzardato imputare al Cambiamento Climatico e al Global Warming ogni considerazione inerente intensità e frequenza dei fenomeni estremi collegati all'attività temporalesca, sebbene concetti di fondo di tipo 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 e 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, soprattutto 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 e 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 e 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 “*Temporalis 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 - Meteorologo AMPRO - Presidente Associazione Serenissima Meteo

1. ANALISI SINOTTICA E A MESOSCALA

di Pierluigi Randi

1.1 Situazione in alta troposfera

Nella giornata considerata si nota, alle quote troposferiche più elevate, l'avanzare da ovest di una saccatura atlantica nel campo del geopotenziale collocato tra i livelli isobarici di 300 e 250 hPa (circa 10 km di quota). La suddetta saccatura faceva capo a un profondo minimo principale chiuso tra isole britanniche e Francia settentrionale, ed essa stava interessando col ramo ascendente il nord Italia laddove, nel primo pomeriggio, si assiste ad una decisa accelerazione di un flusso orientato da SW collegato al transito della corrente a getto (Fig. 1.1), con valori di velocità del vento intorno ai 50 m/s in corrispondenza del Veneto (circa 180 km/h).

Si tratta di valori alquanto elevati in rapporto alla superficie isobarica considerata, sebbene comuni in dinamiche di questo tipo che vedono il tracking medio del jet-stream abbassarsi di latitudine nella fase iniziale dell'autunno meteorologico. L'accelerazione dei venti appare in ogni caso piuttosto rapida grazie al veloce avanzamento verso levante dell'asse di saccatura (in quel momento sulla Francia), inoltre la stessa corrente a getto favorisce il passaggio sulla verticale di un'area di divergenza effettiva in quota, la quale ha contribuito all'instaurarsi di forti moti verticali, grazie anche ad avvezione di vorticità positiva (Fig. 1.2), con associati intensi moti ascensionali inclini a convezione profonda.

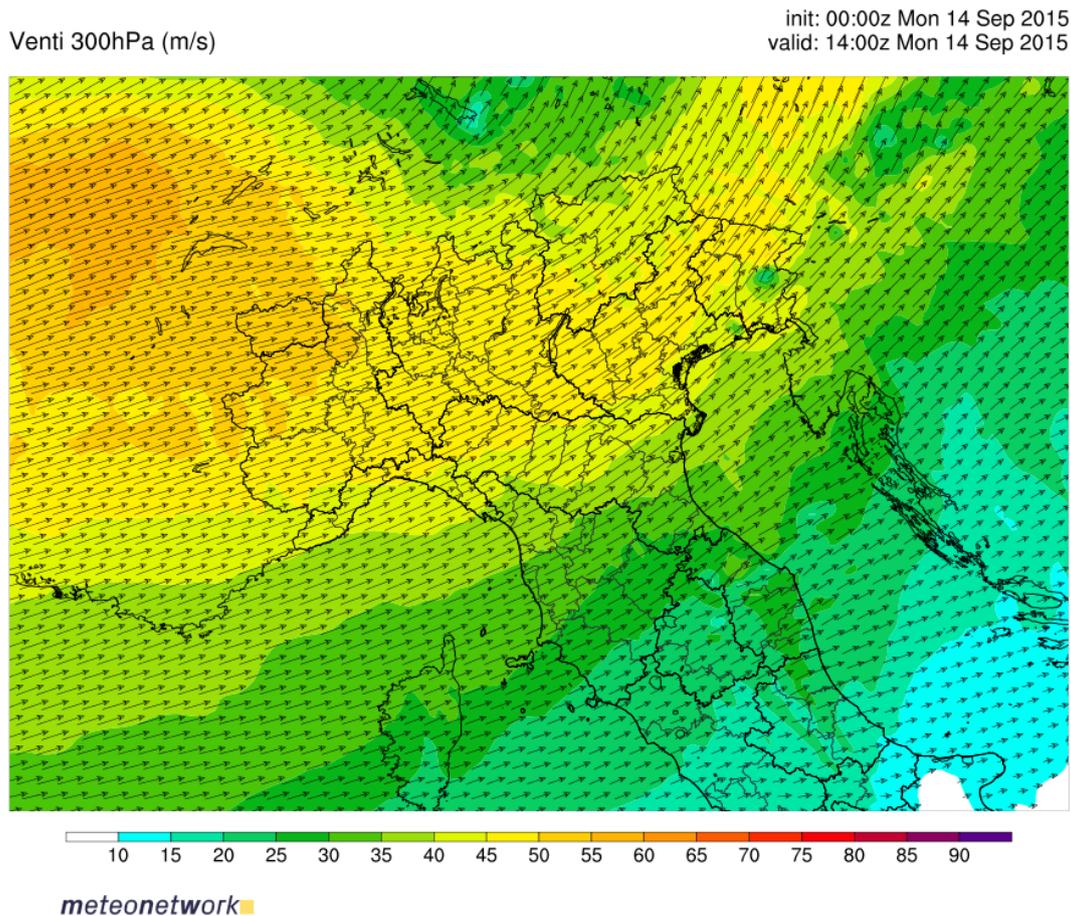


Fig. 1.1 - Vento in m/s e direzione sul piano isobarico di 300 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF MeteoNetwork

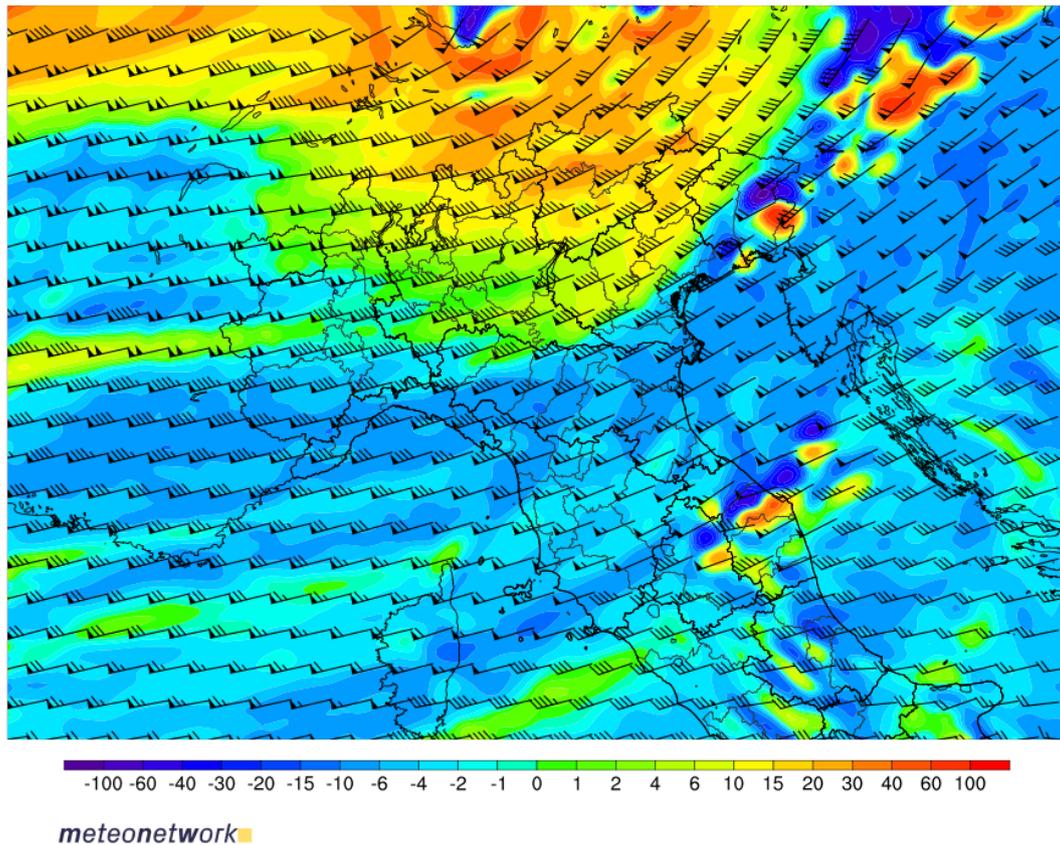


Fig. 1.2 - Campi di vorticità relativa a 300 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF MeteoNetwork

La divergenza effettiva, rilevabile sul livello isobarico di 300 hPa e in corrispondenza del ramo ascendente della saccatura (SW-NE), è ben evidente nella mappa di analisi del modello globale GFS relativa alle ore 12 UTC, con valori progressivamente in aumento sul nord Italia in concomitanza all'evolvere verso levante della saccatura con asse sulla Francia (Fig. 1.3).

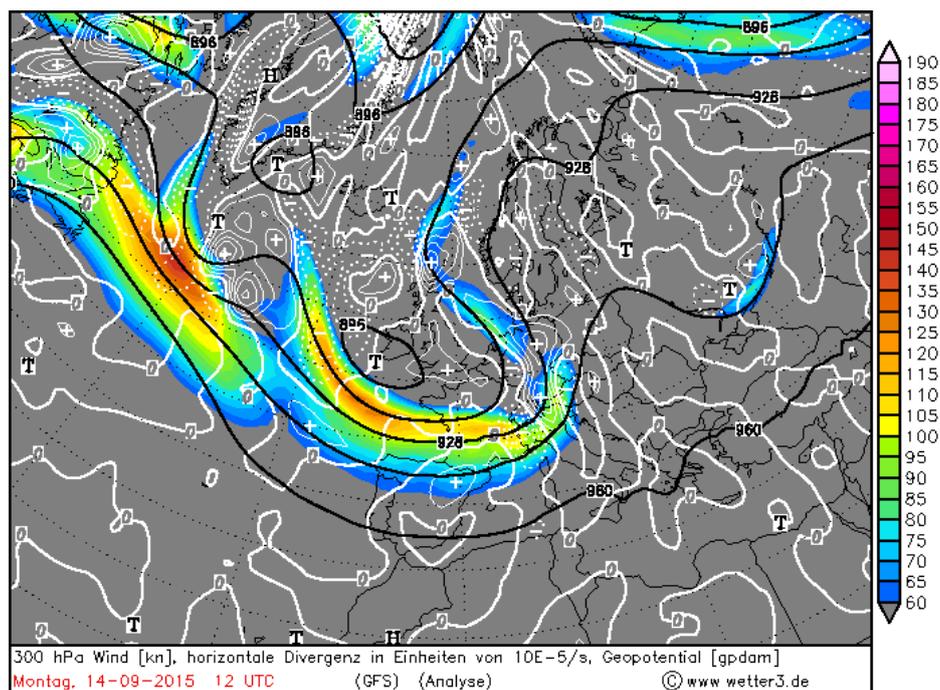


Fig. 1.3 – Jet-stream e divergenza sul piano isobarico di 300 hPa ore 12 UTC. Fonte: archivio analisi GFS

Nell'immagine satellitare di Fig. 1.4, nel canale del vapore acqueo e relativa alle ore 12 UTC, è evidente l'intrusione di aria secca stratosferica che accompagna l'evolvere verso levante della saccatura prima indicata. Come è noto in letteratura, il massimo incremento dei valori di speed wind shear verticale positivo e del gradiente verticale di umidità relativa si origina sul settore destro (o davanti) dell'intrusione secca stessa, zona in cui sono pertanto supportati i moti verticali verso l'alto (convezione).

Come spesso accade in contesti di questo tipo, e sulle zone dell'Italia settentrionale, le forzanti principali che favoriscono l'innesco di intensi sistemi convettivi hanno origine ai livelli isobarici inferiori, ma quanto finora descritto indica come l'intera colonna troposferica fosse favorevole a sostenere convezione profonda già a partire dai livelli superiori.

Dall'immagine di Fig. 1.4 si evince chiaramente una fascia caratterizzata da aria umida (colore grigio chiaro) che dalla Spagna e isole Baleari si porta fin sull'alto Adriatico, ed essa corrisponde ad un afflusso di aria alquanto calda di origine subtropicale con limite della tropopausa piuttosto elevato. Più a ovest (aree più scure) si può notare l'avanzata di aria più secca, con limite della tropopausa più basso, proveniente dalla Francia e che in breve andrà a occupare l'intero nord Italia.

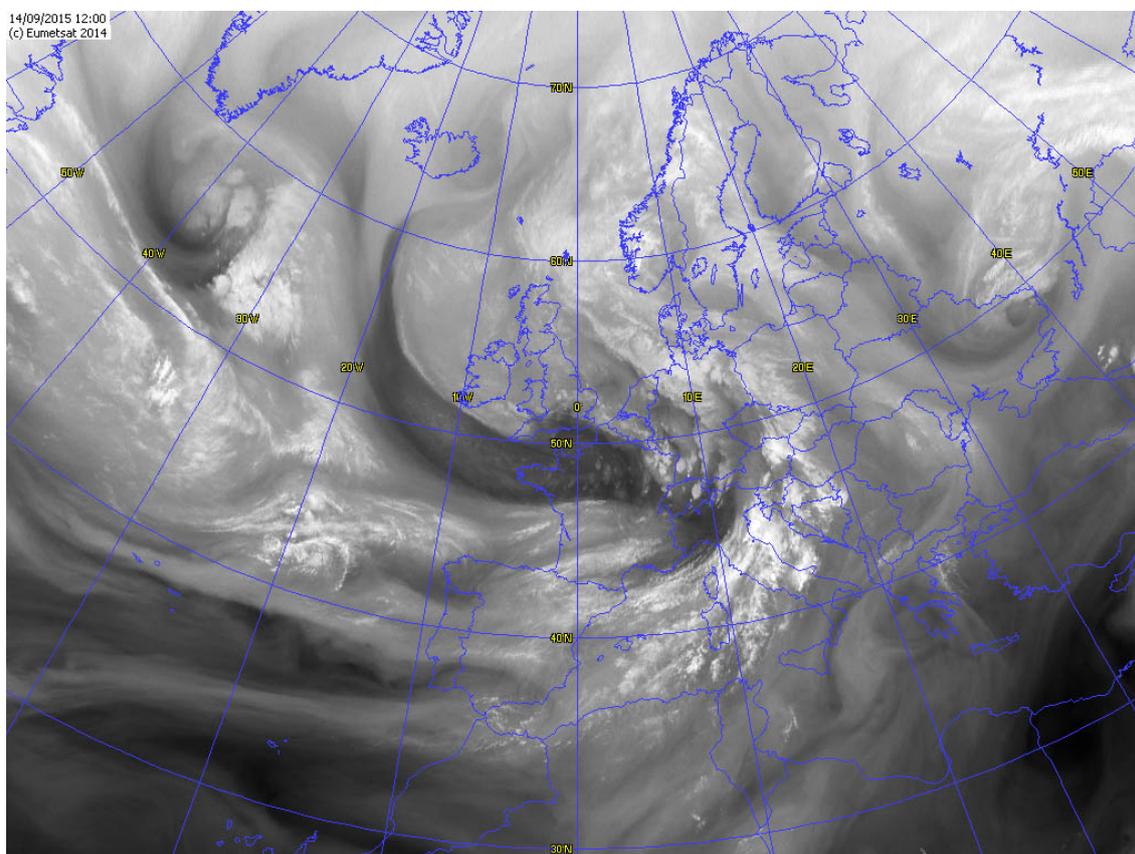


Fig. 1.4 – Immagine satellitare nel canale del vapor acqueo ore 12 UTC. Fonte: Eumetsat

Nella Fig. 1.5, sempre inerente un'immagine satellitare nel canale del vapore acqueo, ma in questo caso delle ore 17 locali, nella zona di transizione tra intrusione secca e avvezione caldo-umida che la precede, corrispondente a un repentino abbassamento del limite della tropopausa, si nota la presenza di nuclei temporaleschi, rilevabili dalla macchia di colore bianco brillante attiva tra alto Veneto e Friuli, la quale rappresenta il sistema convettivo all'origine dei fenomeni di severe weather poi effettivamente occorsi nella zona.

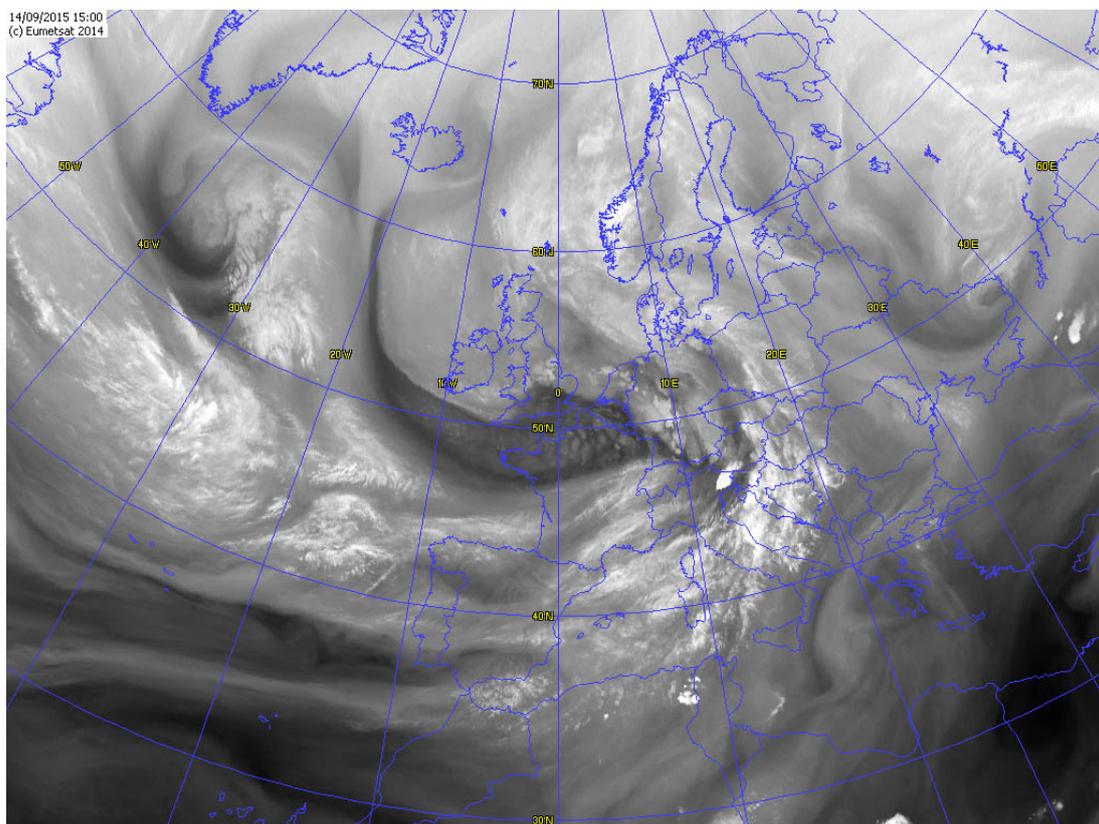


Fig. 1.5 – Immagine satellitare nel canale del vapor acqueo ore 15 UTC. Fonte: Eumetsat

1.2 Situazione in media troposfera

In media troposfera, considerando la situazione relativa al piano isobarico di 500 hPa (circa 5.500 m di quota), alle ore 00 UTC e indicata da una prima mappa di analisi in Fig. 1.6 (ECMWF model), si evidenzia l'approssimarsi da ovest di una profonda e stretta saccatura nel campo del geopotenziale. Essa conduce il proprio asse in corrispondenza della Francia causando tuttavia un calo del geopotenziale sul nord Italia, attivando nel contempo da WSW flussi a spiccata curvatura ciclonica e divergenti e con rapida avvezione di vorticità positiva che si porta velocemente sul nord Italia.

Il campo termico inizialmente non subisce particolari variazioni, tuttavia in seno alla parte più attiva della saccatura si notano valori di temperatura fino a $-21/-22^{\circ}\text{C}$ (su Francia) evidenziando una sensibile avvezione fredda che nel corso della giornata si propagherà al nord Italia, contribuendo a rendere assai instabile il profilo verticale (gradiente termico in intensificazione), causa la presenza di aria assai calda, in relazione al periodo stagionale, e umida nei bassi strati come si vedrà in seguito.

Occorre tuttavia precisare che i valori più bassi di temperatura rimasero confinati a nord dell'arco alpino, ma l'ingresso di aria comunque più fredda da occidente contribuì a determinare un graduale incremento del gradiente termico orizzontale, rilevabile anche da un infittimento delle isoipse proprio sull'Italia settentrionale, come si nota dalla mappa di previsione di temperatura e geopotenziale sul piano isobarico di 500 hPa (dominio su centro-nord Italia) di Fig. 1.7.

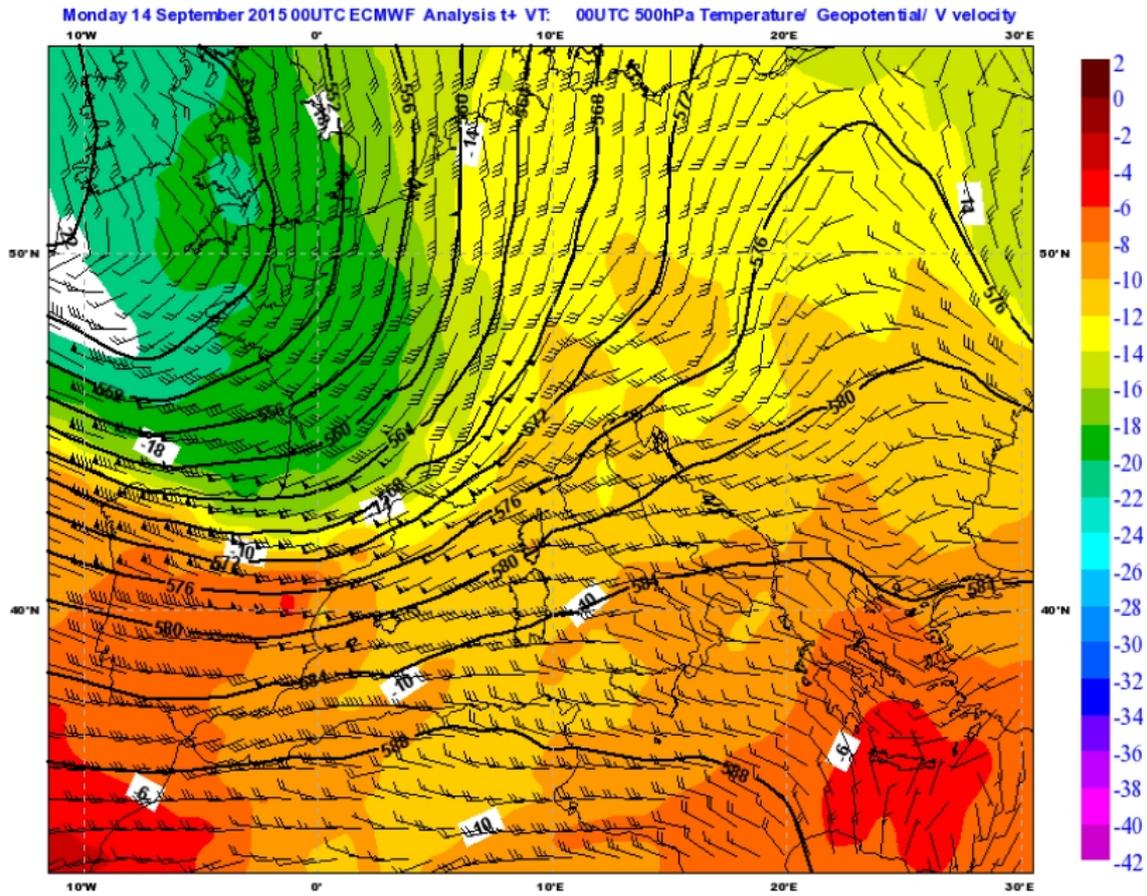
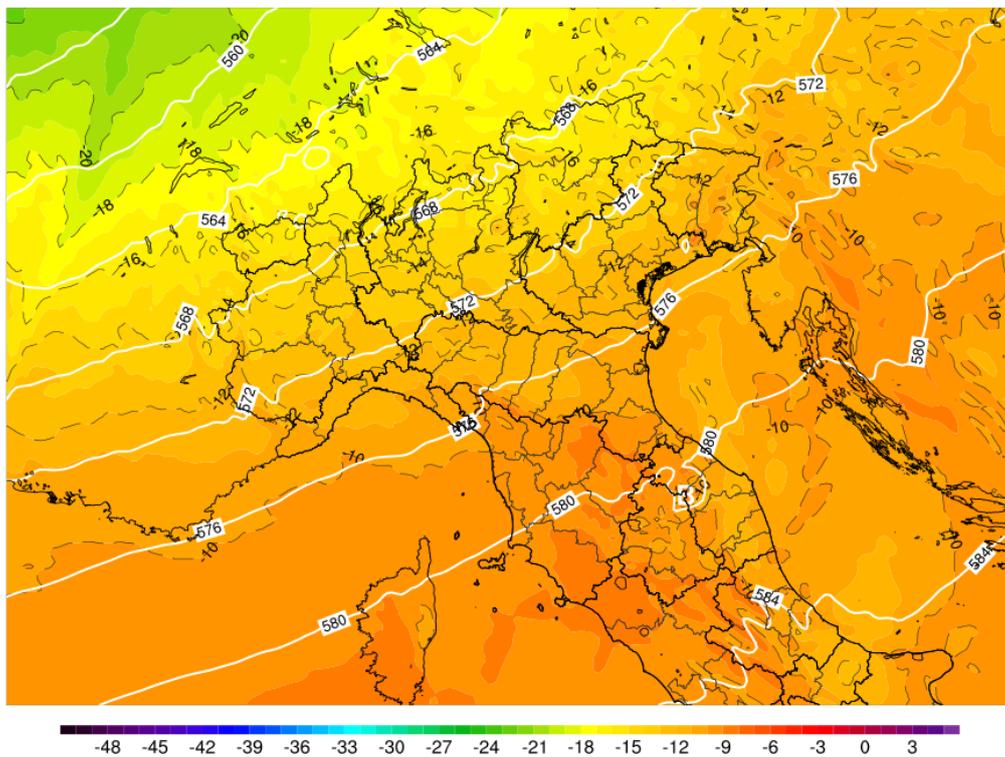


Fig. 1.6 – Analisi nel campo del geopotenziale, temperatura e vento a 500 hPa ore 00 UTC. Fonte: ECMWF

Temperatura (C) e Geopotenziale (dam) 500hPa
 init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
 valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015



meteonetwork

Fig. 1.7 – Previsione di geopotenziale e temperatura sul livello isobarico di 500 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

L'analisi dei campi del vento, sempre sul piano isobarico di 500 hPa, riportata in Fig. 1.8, mostra un netto rinforzo delle correnti da SW con picchi fino a 35 m/s circa (125 km/h) in corrispondenza del Veneto centro-settentrionale; tale flusso è inserito in un ramo di flussi divergenti con apporto di vorticità positiva e con spiccata curvatura ciclonica ben attivo davanti all'asse di saccatura. La disposizione delle correnti a quella quota da SW è tipica di condizioni fortemente instabili nell'area, e accomuna molti eventi di tempo severo.

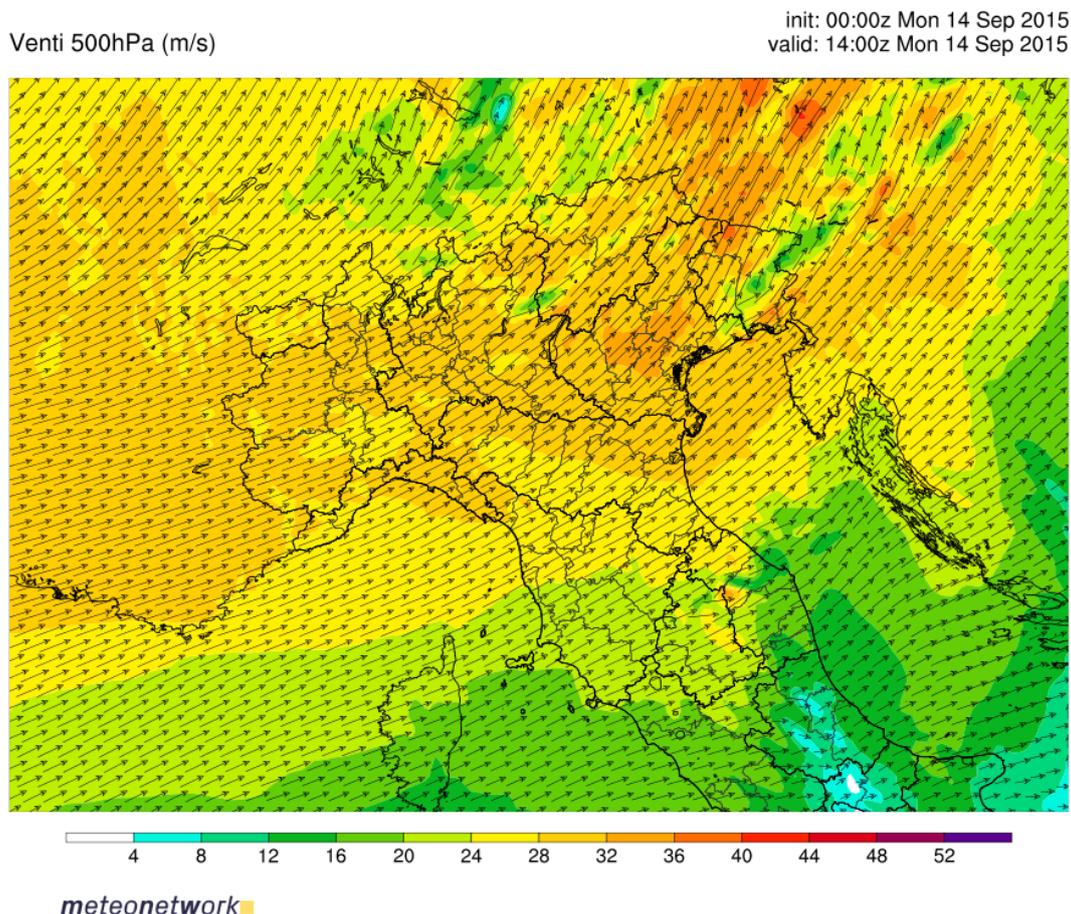


Fig. 1.8 – Previsione del campo del vento sul livello isobarico di 500 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

La mappa successiva (Fig. 1.9), relativa alla previsione del medesimo modello, si riferisce al parametro di “storm relative wind” sul piano isobarico di 500 hPa. Lo potremmo definire, in italiano, il vento “relativo” al sistema temporalesco o il vento “esterno all’ambiente della cella”, ovvero che può frenare o accelerare il suo moto, sia esso nei bassi strati che in quota.

Un sistema convettivo o una cella temporalesca che si muovono nel campo del vento “sinottico” provocherà un incremento del moto risultante del sistema. Inoltre la tempesta può muoversi in una direzione diversa rispetto al vento di basso livello quando il vertical wind shear in direzione fa sì che essa sia influenzata dalla direzione generale del vento alle quote medio-alte. Nel classico caso in cui venti da 700 hPa a 300 hPa siano sostenuti da ovest, mentre il vento in superficie sia forte da sud-est (LLJ), il moto risultante del sistema sarà comunque condizionato dai venti occidentali ai livelli troposferici superiori.

Uno storm relative wind elevato, in questo caso considerato sul piano isobarico di 500 hPa, è importante poiché può consentire a una tempesta di accumulare e attingere energia potenziale e umidità più rapidamente di quanto farebbe altrimenti. Forti venti legati all’evoluzione a scala più ampia sui livelli medio-alti della troposfera e che “intercettano” un sistema convettivo possono produrre inoltre una maggiore elicità, convergenza di flusso e di umidità (moisture convergence).

Un incremento di aria calda e umida, nonché quantità di moto, può essere fornito all'updraft quando lo storm relative wind è su valori medio-elevati (in genere uguali o superiori a 20 m/s). Recenti ricerche indicano altresì che la categoria dei sistemi a supercella dipende fortemente dalla magnitudine dello storm relative wind ai livelli troposferici medio-alti. Quando tali valori sono relativamente bassi (meno di 20 m/s), la frazione di precipitazioni che fuoriesce dalla parte superiore della corrente ascendente tende a ricadere vicino all'updraft, con un'elevata quantità di precipitazione che si avvolge attorno al mesociclone eventualmente formato. Questo scenario in genere è collegato a supercelle di tipo HP (High Precipitation).

Quando invece lo storm relative wind è su scala elevata (oltre 40 m/s), le precipitazioni che escono dalla parte superiore della corrente ascensionale vengono portate assai più a valle e quindi a maggiore distanza (anche se un ulteriore eccesso favorisce i sistemi a multicella). In tal caso precipitazioni scarse cadono vicino all'updraft (mesociclone), pertanto lo scenario è tipico di supercelle LP (Low Precipitation). In genere le supercelle classiche (intermedie tra HP e LP) si collocano nell'intervallo intermedio, con storm relative wind che tipicamente è di un ordine di intensità tra 20 e 40 m/s.

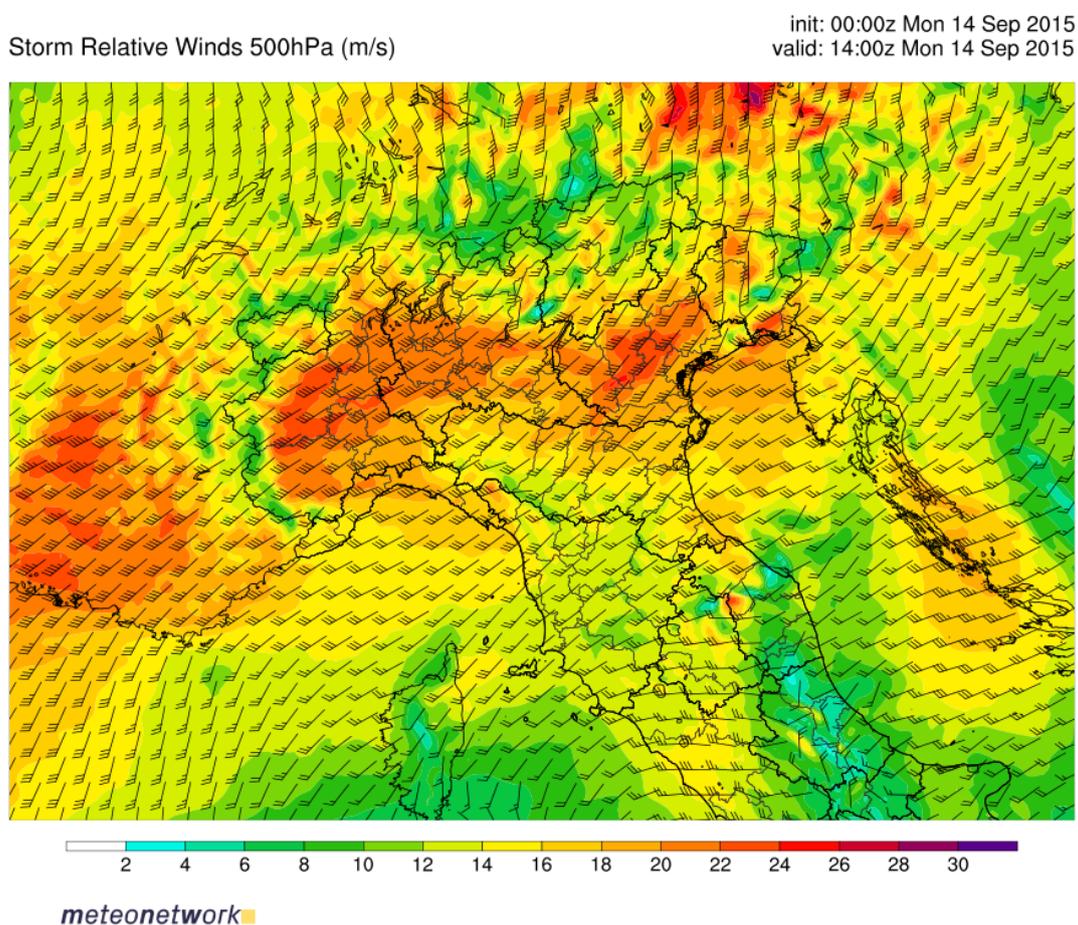


Fig. 1.9 – Previsione nel campo dello SRW sul livello isobarico di 500 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nel caso del 14 settembre 2015 il valore previsto di SRW sul livello isobarico di 500 hPa mostra picchi su Veneto centro-settentrionale (ad esclusione dei rilievi alpini) prossimi ai 25 m/s (90 km/h), pertanto alquanto elevati, con direzione SW (la più frequente in dinamiche atmosferiche simili). Ciò implica che il sistema convettivo in eventuale innesco possa essere caratterizzato da elevata elicITÀ sul piano verticale, significativa convergenza di flusso (wind shear) e da sensibile contributo di moisture convergence e, non ultima, quantità di moto a carico dell'updraft. La situazione è, fatte salve le altre condizioni inclini all'innesco di temporali a supercella, tipica di sistemi classici (Classic Supercell).

Nella mappa seguente (Fig. 1.10) è riportata la previsione nel campo della vorticità relativa sempre sul piano isobarico di 500 hPa.

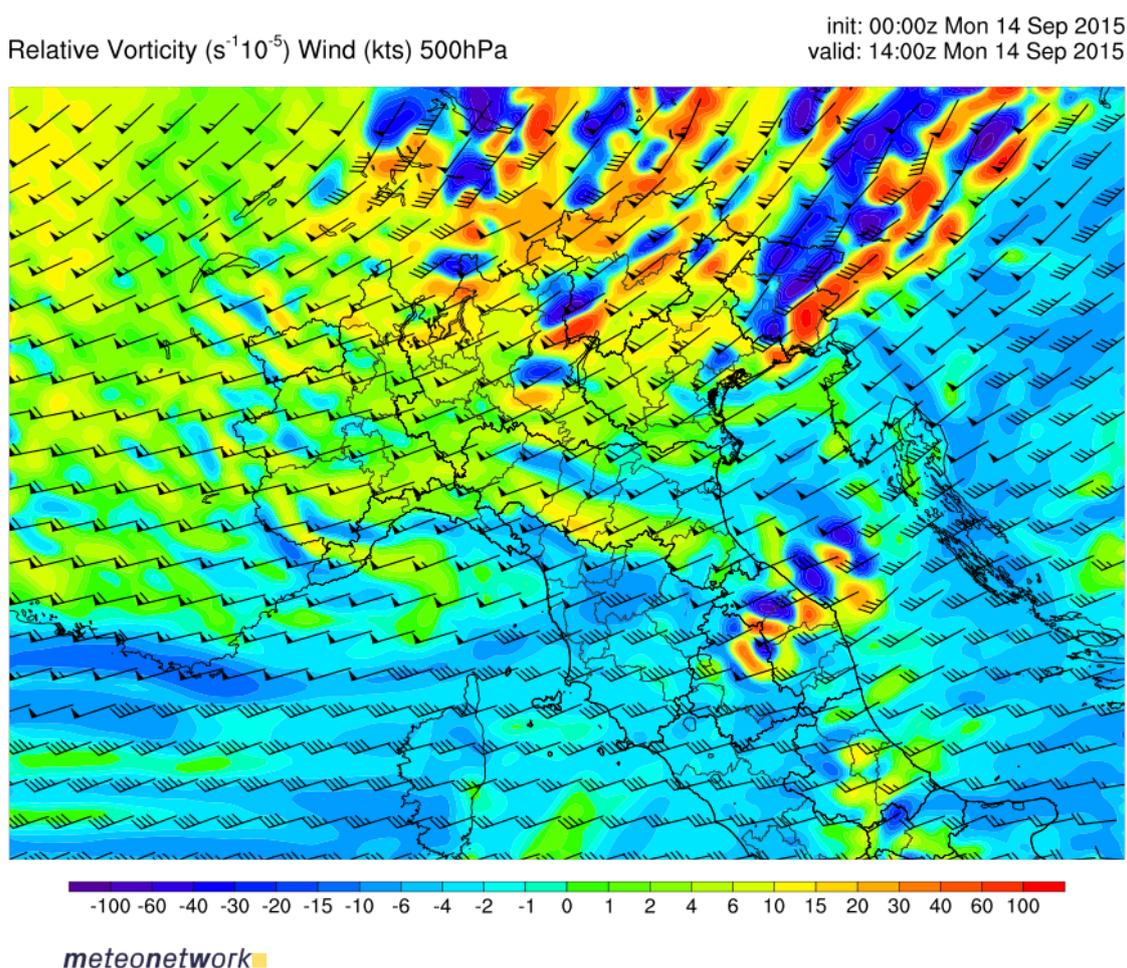


Fig. 1.10 – Previsione nel campo della vorticità relativa sul livello isobarico di 500 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nello specifico appare evidente l'avvezione da WSW di un nucleo di vorticità positiva che si porta rapidamente sul Triveneto, associato all'avanzare della saccatura sul medesimo piano isobarico; tale fattore è preponderante nel creare condizioni dinamiche favorevoli all'instaurarsi di forti moti ascensionali.

In Fig. 1.11 è invece riportata la mappa di previsione nel campo di umidità relativa sul livello isobarico di 500 hPa. In essa si nota come l'aspetto maggiormente caratterizzante sia legato all'arrivo di aria più secca da WSW che contribuisce a rendere assai instabile il profilo verticale, stante la presenza di aria molto calda e umida, in relazione al periodo stagionale, nei bassi strati.

Occorre precisare che l'afflusso di aria più secca in quota (in genere sopra i 3000 metri) contemporanea o immediatamente precedente al transito di un fronte o un asse di saccatura, innalza il potenziale "severo" dei downburst intensificando, per raffreddamento evaporativo, la corrente discendente del temporale (downdraft) in cui sono presenti le precipitazioni.

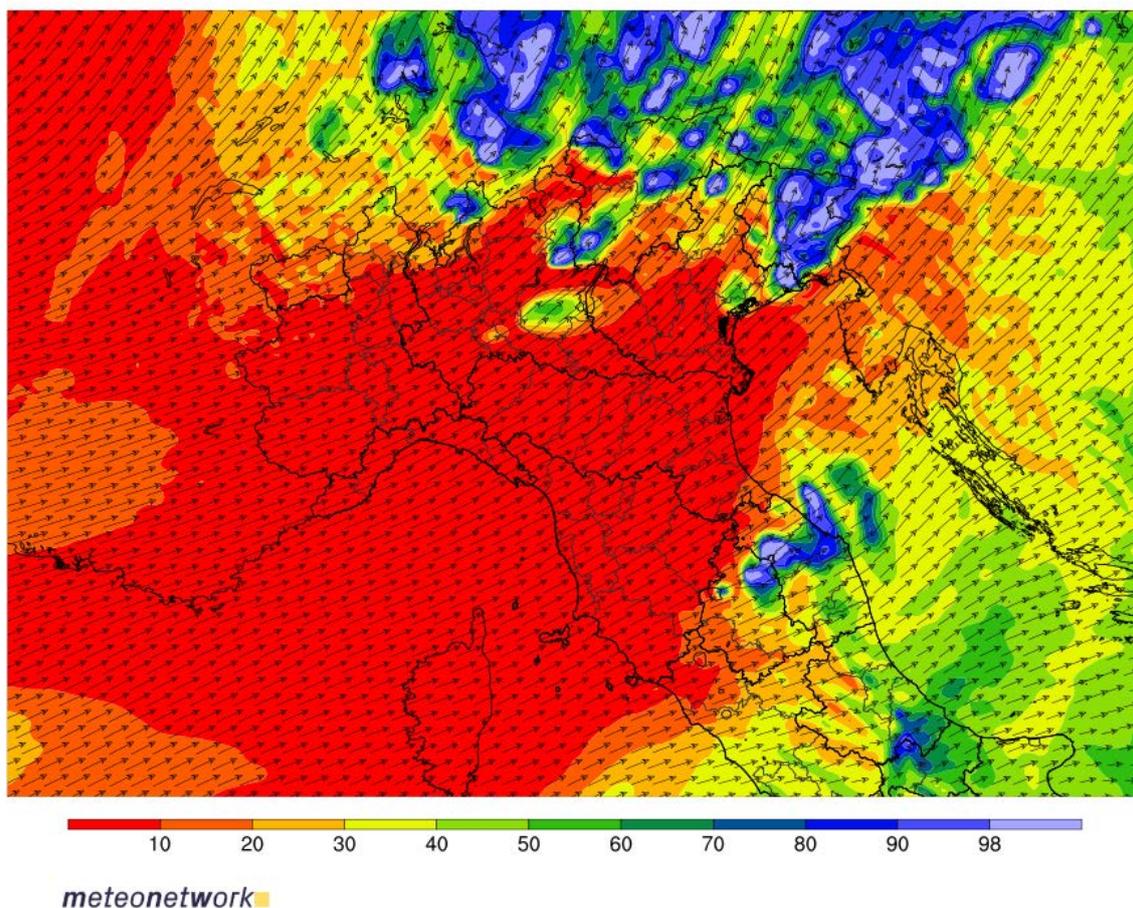


Fig. 1.11 – Previsione nel campo dell'umidità relativa sul livello isobarico di 500 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nelle mappe di previsione dei campi di vento e umidità relativa sul livello isobarico di 700 hPa, riportate rispettivamente nelle Fig. 1.12 e Fig. 1.13, si può notare come anche a quella quota era atteso un sostenuto flusso sud-occidentale davanti a una saccatura avanzante, similmente a quanto osservato per la quota di 500 hPa, con evidente componente ciclonica e avvezione di vorticità positiva. In questo caso gli ostacoli orografici, vale a dire la catena appenninica e il contrafforte alpino e prealpino, contribuiscono a modulare il flusso delle correnti, con picchi di intensità in corrispondenza dei crinali esposti a SW, ove si notano massimi fino a 25 m/s. Tale discontinuità a carico del flusso dominante può contribuire a incrementare i parametri di divergenza con accelerazione degli eventuali moti verticali.

Per quanto concerne l'umidità relativa alla medesima quota (Fig. 1.13), un fronte freddo attivo tra Alpi e Prealpi, peraltro rintracciabile anche nell'analisi al suolo, è evidenziato dai campi in colore blu (umidità relativa elevata), laddove sono presenti le nubi più consistenti tracciate dal 100% di umidità relativa. In realtà, anche se si tratta di una simulazione (quindi previsione), il modello ipotizza la presenza di convezione anche prefrontale in aria instabile con bassi strati caldi e umidi, disegnando una banda di nuvolosità convettiva (sul Veneto orientale e Friuli Venezia Giulia) ben più estesa rispetto alla sola linea frontale. I campi in colore blu sull'Adriatico centro-meridionale sono relativi a formazioni nuvolose determinate dal richiamo di aria calda e umida negli strati medi e bassi che precede il fronte.

Venti 700hPa (m/s)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

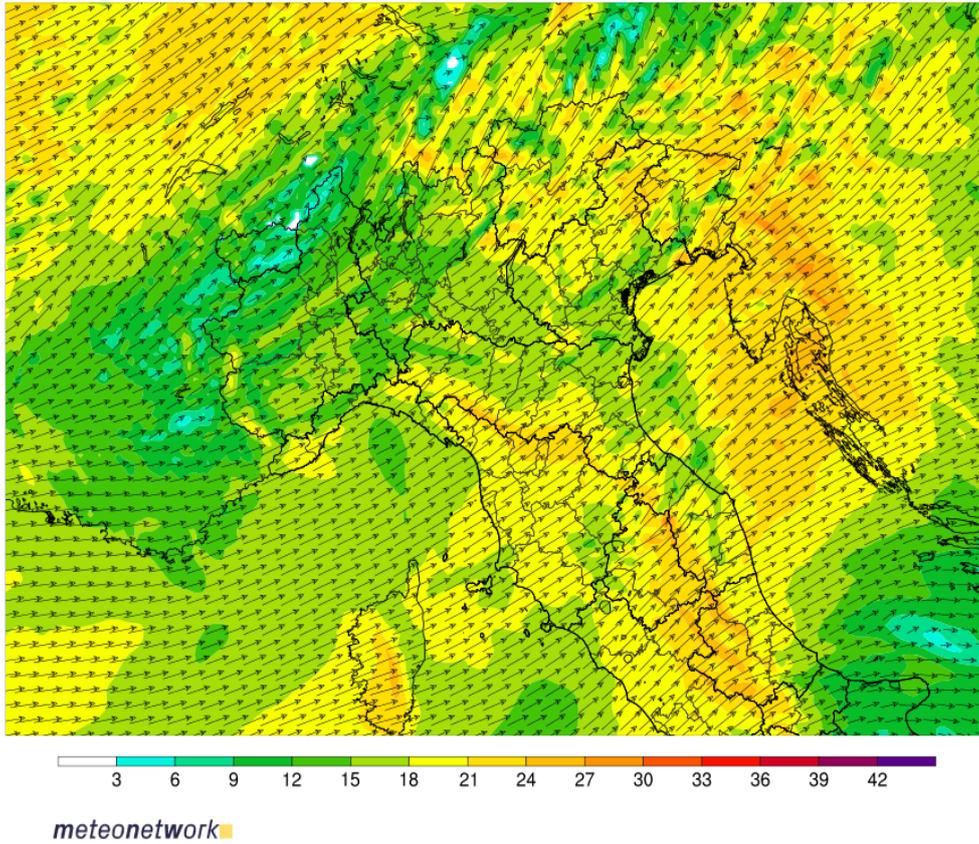


Fig. 1.12 – Previsione nel campo del vento sul livello isobarico di 700 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Umidita' relativa (%) Vento a 700hPa

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

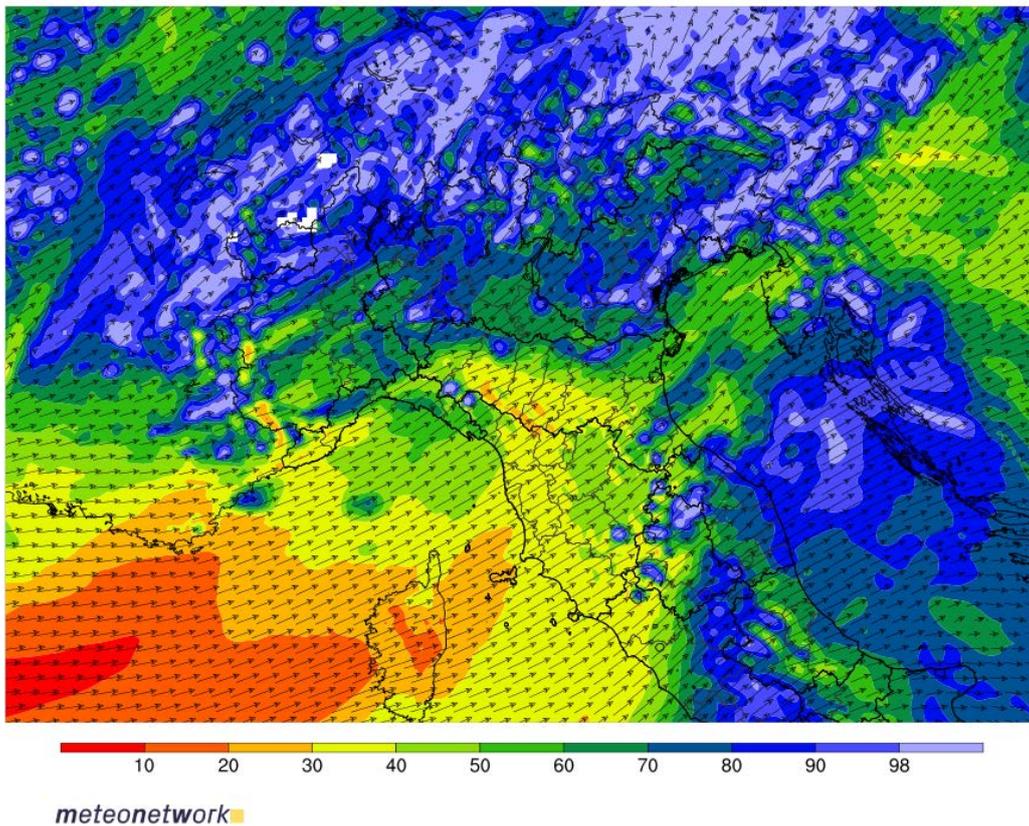


Fig. 1.13 – Previsione nel campo di umidità relativa sul livello isobarico di 700 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

1.3 Situazione in bassa troposfera

Nei bassi strati troposferici, in base all'analisi ECMWF delle ore 00 UTC, riportata in Fig. 1.14, si nota un profilo termo-igrometrico e del vento ben favorevole alla costituzione di valori di elicità e di wind shear positivo già nel corso della mattinata. Infatti sul Veneto è presente un flusso di correnti assai calde da SW sul piano isobarico di 850 hPa (circa 1500 m di quota) con temperature all'incirca di 16°C, tuttavia poco più a sud si notano valori fino a 16-18°C che sono tipicamente estivi e che corrispondono a un'avvezione calda di estrazione sub-tropicale nord-africana (oltre 20°C a sud della Sardegna) che precede l'avanzare della saccatura alle quote superiori prima descritta.

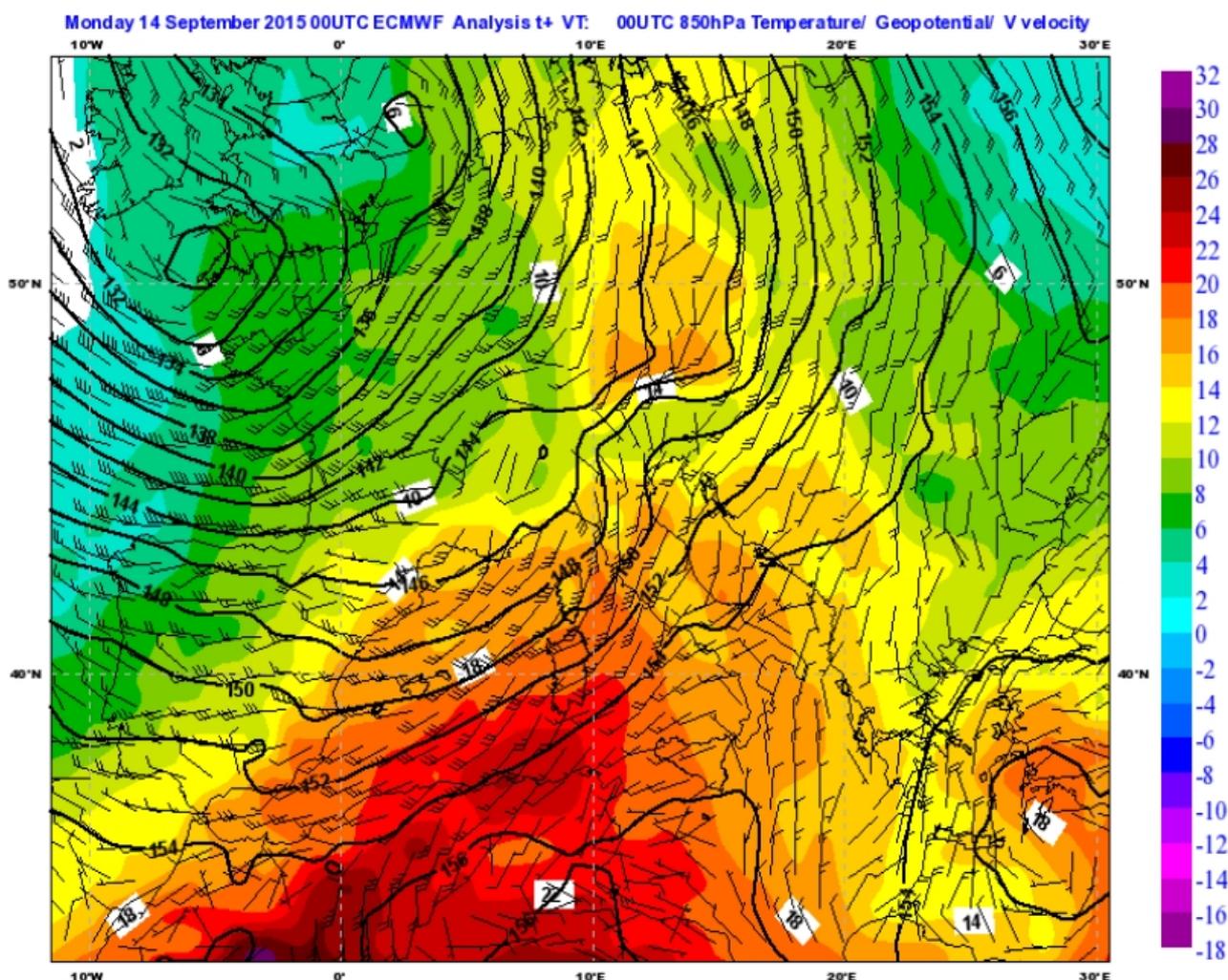


Fig. 1.14 – Analisi nel campo del geopotenziale, temperatura e vento a 850 hPa ore 00 UTC. Fonte: ECMWF

In particolare è evidente un'intensificazione del flusso da SW sul basso veneto che si dispone più direttamente da S o fino a SSE verso il settore prealpino laddove si notano isoterme leggermente più basse a causa di omega negative dovute al sollevamento forzato di tipo orografico. Tale corrente, specie se associata ad aria molto calda come in questo caso, assumerà un importante ruolo nell'innesco e nello sviluppo di sistemi temporaleschi severi.

L'afflusso di aria calda nord-africana è di assoluto rilievo, anche in funzione del periodo stagionale, su gran parte della penisola, mentre si nota molto bene l'aria più fresca di origine atlantica che si approssima da ovest attraverso la Francia e il golfo di Biscaglia, con il fronte freddo (rintracciabile dal profilo delle isoterme) ancora, a quell'ora, relativamente lontano dalla zona di interesse. Da notare anche i valori di vento meridionale alquanto sostenuti a sud dello sbarramento alpino, a identificare un LLJ in fase di intensificazione.

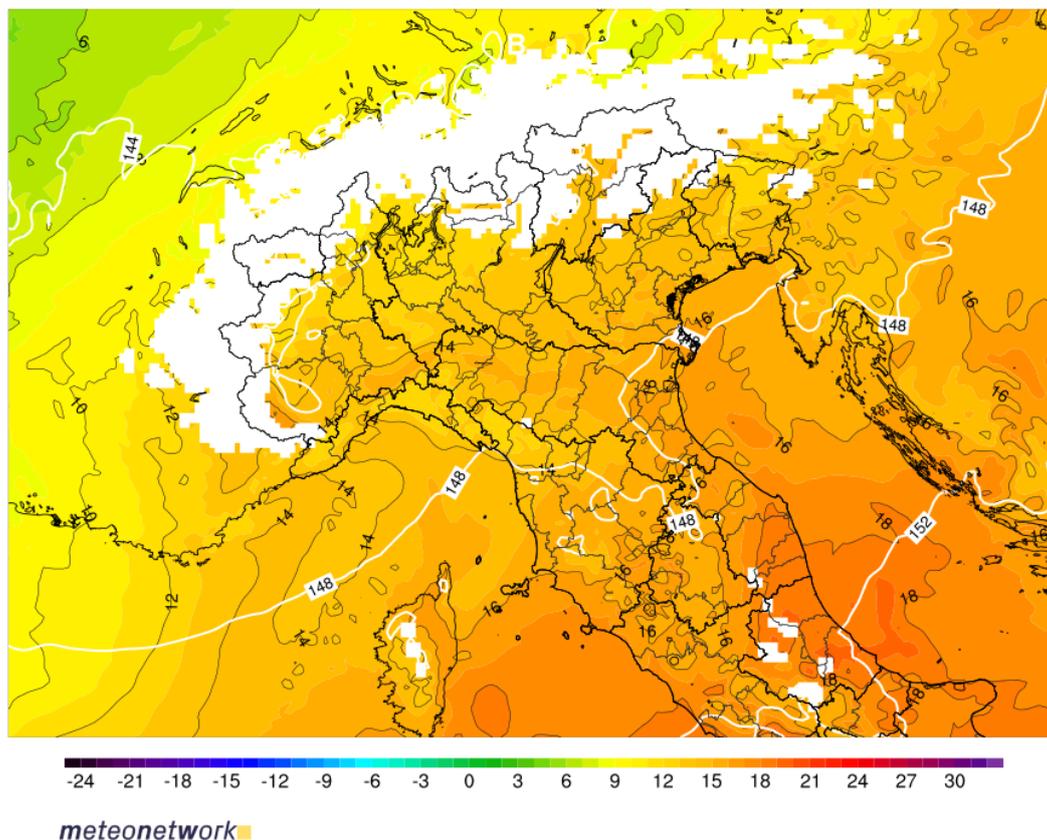


Fig. 1.15 – Previsione temperatura sul livello isobarico di 850 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nella mappa di Fig. 1.15 si nota ancora meglio, anche se si tratta di una simulazione da modello, la risalita dai quadranti meridionali di aria molto calda per il periodo nei bassi strati, con l'isoterma 16°C che tocca il Veneto meridionale sospinta da venti da sud-ovest a quella quota. Si tratta di una sensibile avvezione sub-tropicale che precede l'avanzata della saccatura in quota con sistema frontale annesso, rilevabile dalla presenza di aria più fredda (isoterme inferiori a 10°C) che abborda l'arco alpino occidentale; tuttavia i gradienti termici orizzontali non appaiono severi.

Un particolare del flusso sud-occidentale è riscontrabile nella mappa di Fig. 1.16 che mostra la distribuzione dei campi di vento, sempre in previsione e per la medesima ora, sul nord Italia. Il flusso è in questo caso piuttosto teso e non si nota la costituzione di particolari boundary, salvo quelli forzati sottovento alla catena appenninica ma i cui effetti sono troppo distanti dall'area nella quale si sono osservati i fenomeni. I venti si mantengono con direzione da SW praticamente su tutto il Veneto con intensità maggiore sul settore orientale (picchi appena inferiori ai 20 m/s).

La mappa in Fig. 1.17 riguarda la previsione dei campi di umidità relativa sempre sul livello di 850 hPa e valida per le ore 14 UTC. Le correnti da SW affluiscono dal golfo ligure e Tirreno settentrionale 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 sequestro di umidità relativa (foehn).

Già sul piano isobarico di 850 hPa si nota la strutturazione di una linea secca (dry line) che attraverso l'Emilia sconfina su Lombardia meridionale e rodigino evolvendo gradualmente verso nord-est, tuttavia a nord del corso del Po prevalgono correnti ugualmente sud-occidentali ma caratterizzate da tassi igrometrici superiori per la mancanza dell'effetto foehn.

Venti 850hPa (m/s)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

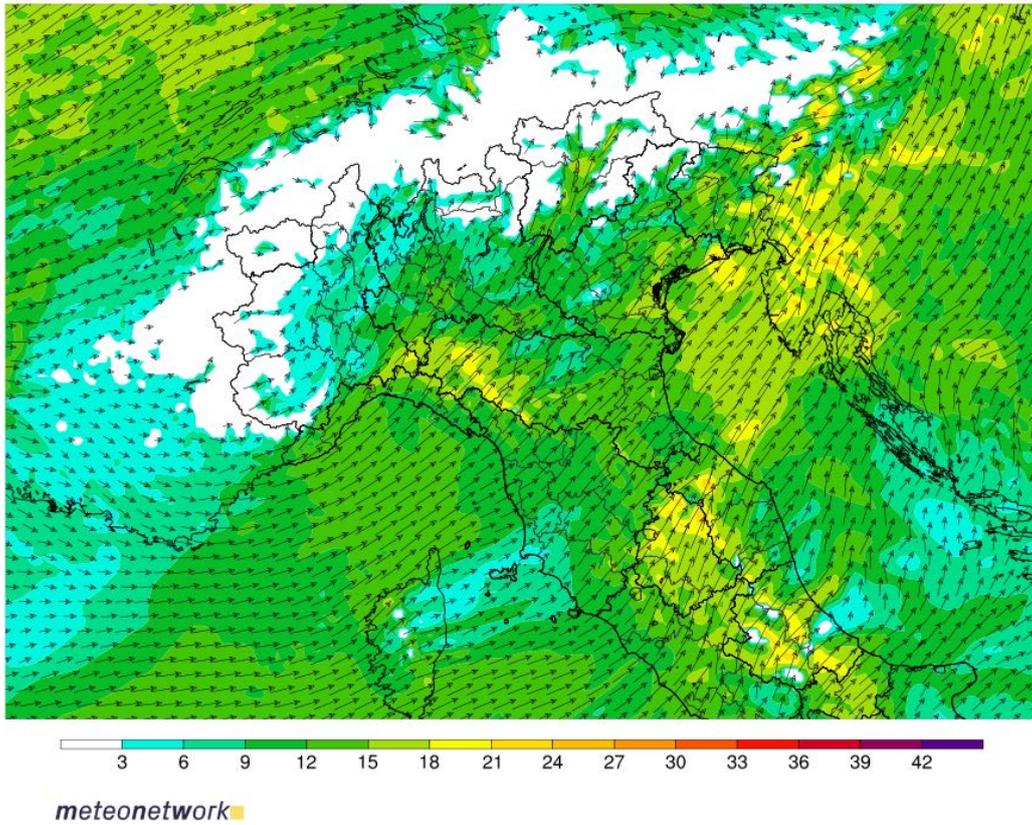


Fig. 1.16 – Previsione direzione e velocità del vento sul piano isobarico di 850 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Umidita' relativa (%) Vento a 850hPa

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

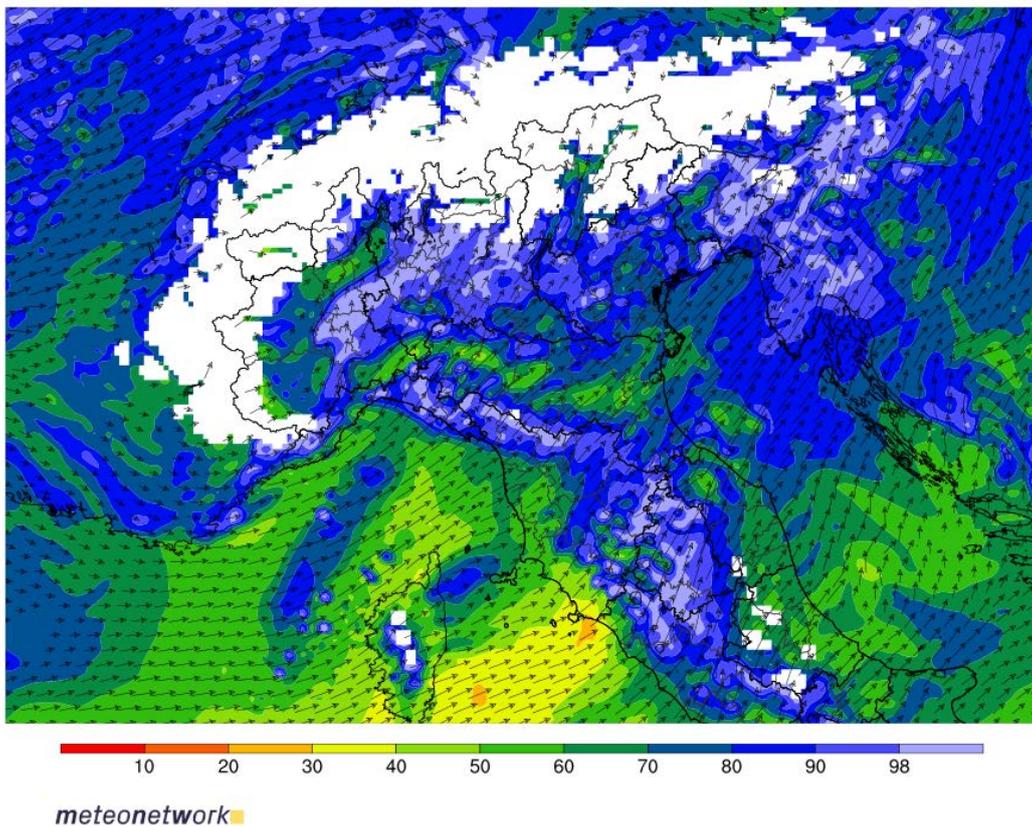


Fig. 1.17 – Previsione umidità relativa sul livello isobarico di 850 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

La stessa dry line attiva in Emilia-Romagna appare caratterizzata, al seguito, da valori di umidità relativa non particolarmente bassi in confronto a situazioni talora con dinamiche similari (valori solo localmente inferiori al 50% di umidità relativa, Fig. 1.17), a testimonianza del fatto che l'effetto di caduta dai rilievi è stato di magnitudine moderata, anche a causa di gradienti orizzontali di temperatura non particolarmente accentuati e per una componente di moto leggermente più occidentale rispetto agli eventi più classici di foehn appenninico. Già da questo particolare si ritiene che, nell'evoluzione che ha portato all'innescò dei fenomeni occorsi, gli aspetti legati all'azione della dry line appenninica, spesso protagonista in eventi passati, siano stati in questo caso marginali se non trascurabili. Tale tema verrà comunque affrontato anche nell'analisi al suolo.

In Fig. 1.18 è riportata la mappa di previsione del gradiente di temperatura potenziale equivalente tra i livelli isobarici di 500 hPa e 850 hPa. Come premessa occorre chiarire che la temperatura potenziale equivalente (Theta-E) rappresenta la temperatura che assumerebbe una particella d'aria se venisse condotta adiabaticamente, ovvero senza scambio di calore con l'ambiente, da una determinata quota di riferimento al livello convenzionale dei 1000 hPa, supponendo di far condensare il vapore acqueo in essa presente e sfruttando il calore latente così ottenuto per scaldare la particella stessa.

Questa grandezza risulta utile per valutare la stabilità di una massa d'aria; infatti, a parità di temperatura, una massa d'aria con Theta-E elevata, presenta in genere un elevato contenuto di umidità. Nonostante sia più utilizzata nelle cross-section verticali per valutare appieno la stabilità o l'instabilità atmosferica, il valore di Theta-E appare ugualmente di buon ausilio per l'individuazione delle aree potenzialmente soggette all'innescò di attività temporalesca più o meno intensa. Aree con alti valori di Theta-E (promontori di Theta-E) sono in genere caratterizzate dalla presenza di aria calda e umida, presente o in fase di afflusso, pertanto leggera e potenzialmente assai instabile.

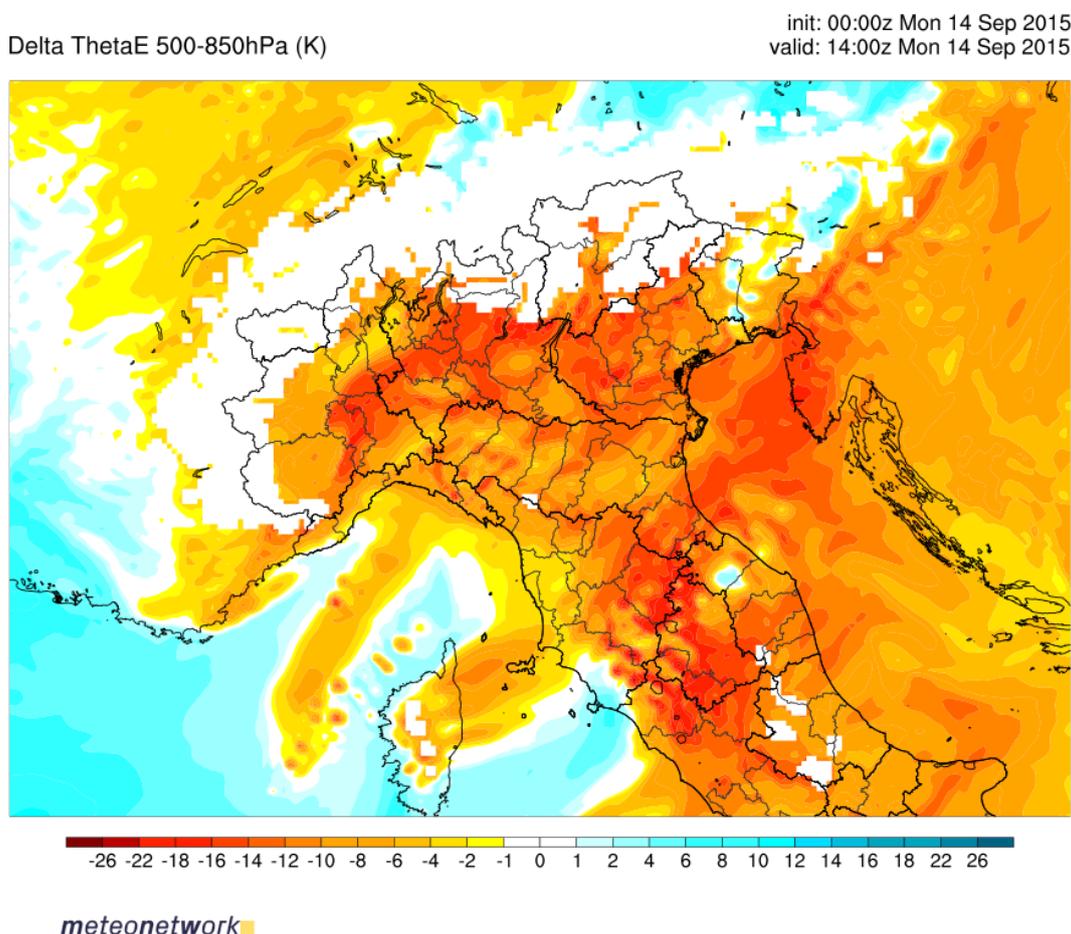


Fig. 1.18 – Previsione valori delta theta-E 500-850 hPa in °K ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

La previsione dei valori di Theta-E inerenti due diversi livelli isobarici (generalmente tra i piani isobarici di 500 hPa e 850 hPa) consente di ottenere 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 in esame si nota una previsione dei valori di Delta Theta-E assai negativi, rivelatori di aria potenzialmente assai instabile, su gran parte del nord Italia. In particolare, sull'area veneta centro-settentrionale si raggiunge un delta di -16/-17°K, anche se in previsione (Fig. 1.18). Anche in questo caso ci troviamo di fronte a valori più consoni al periodo estivo che non all'inizio dell'autunno meteorologico.

In Fig. 1.19 è riportata la previsione, sempre per le ore 14 UTC, relativa alla temperatura sul livello isobarico di 925 hPa (circa 750 m di altezza). In essa troviamo la conferma di una sensibile avvezione di aria assai calda da SW sulla Pianura Padana centrale, con rotazione a sud in prossimità della fascia alpina e prealpina del Veneto. I valori termici sono compresi tra 20 e 22°C sul basso Veneto e tra 18 e 20°C più nord, laddove il sollevamento orografico favorisce un calo termico per moti verticali forzati. In ogni caso anche in questa circostanza siamo di fronte a un'avvezione di massa d'aria dalle caratteristiche pienamente estive.

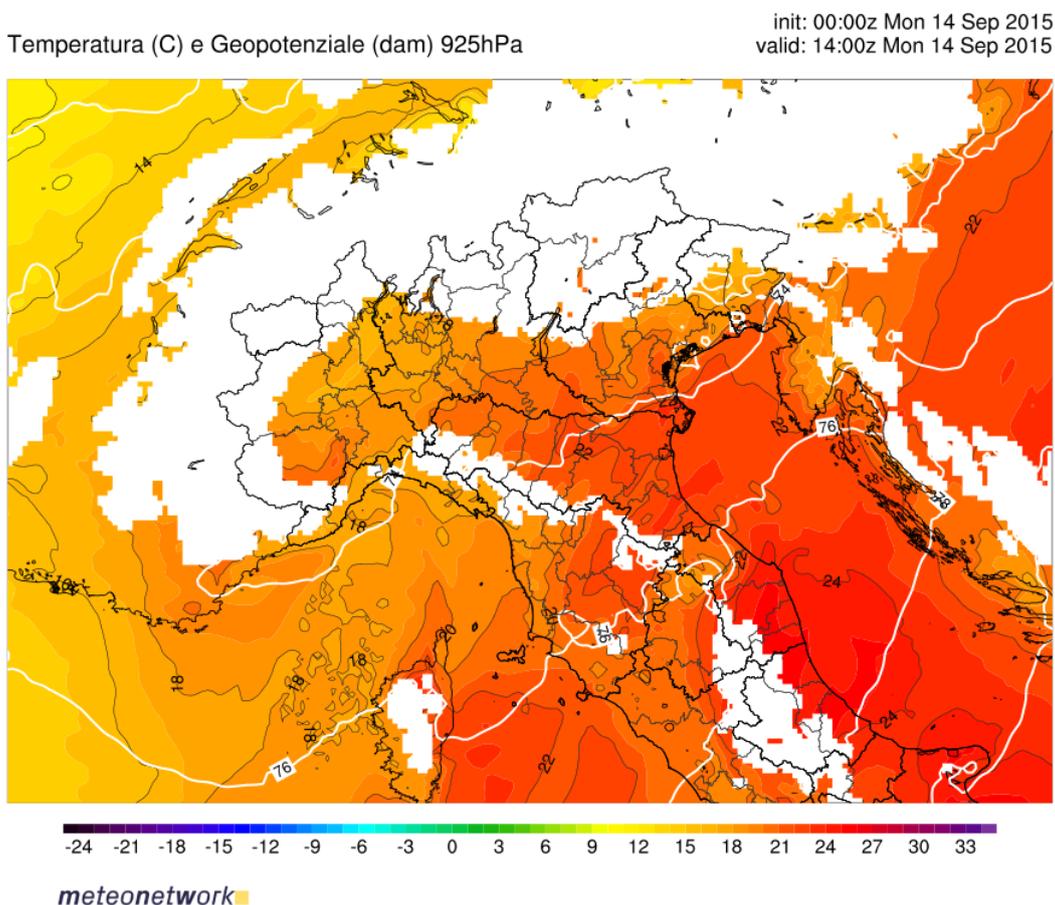


Fig. 1.19 – Previsione campi di geopotenziale e temperatura a 925 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nello stesso livello isobarico si considera ora la distribuzione dei campi di vento (Fig. 1.20). L'afflusso caldo di provenienza sud-occidentale è anche qui evidente, con correnti che dal golfo ligure e medio-alto Tirreno affrontano la catena appenninica (da notare l'effetto di sbarramento dei rilievi della Corsica che si riflette in velocità più ridotte sottovento fino alla Toscana settentrionale) e si riversano, con caratteristiche di foehn appenninico, sull'Emilia-Romagna ove si simulano valori di circa 15 m/s. Tuttavia anche a questa quota si evince come la linea secca (dry line) limiti la propria azione fino al corso del Po con qualche propaggine fino alla provincia di Rovigo e delta del Po.

Venti 925hPa (m/s)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

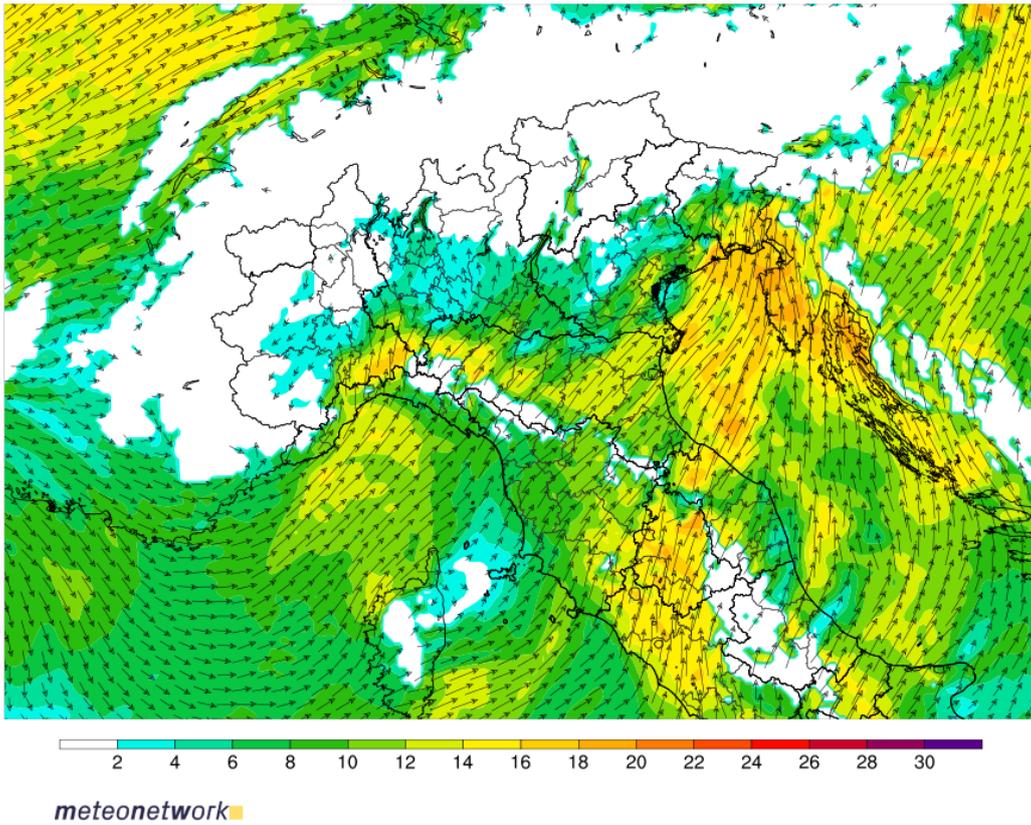


Fig. 1.20 – Previsione campi di vento in m/s sul piano isobarico di 925 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Umidita' relativa (%) Vento a 925hPa

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015

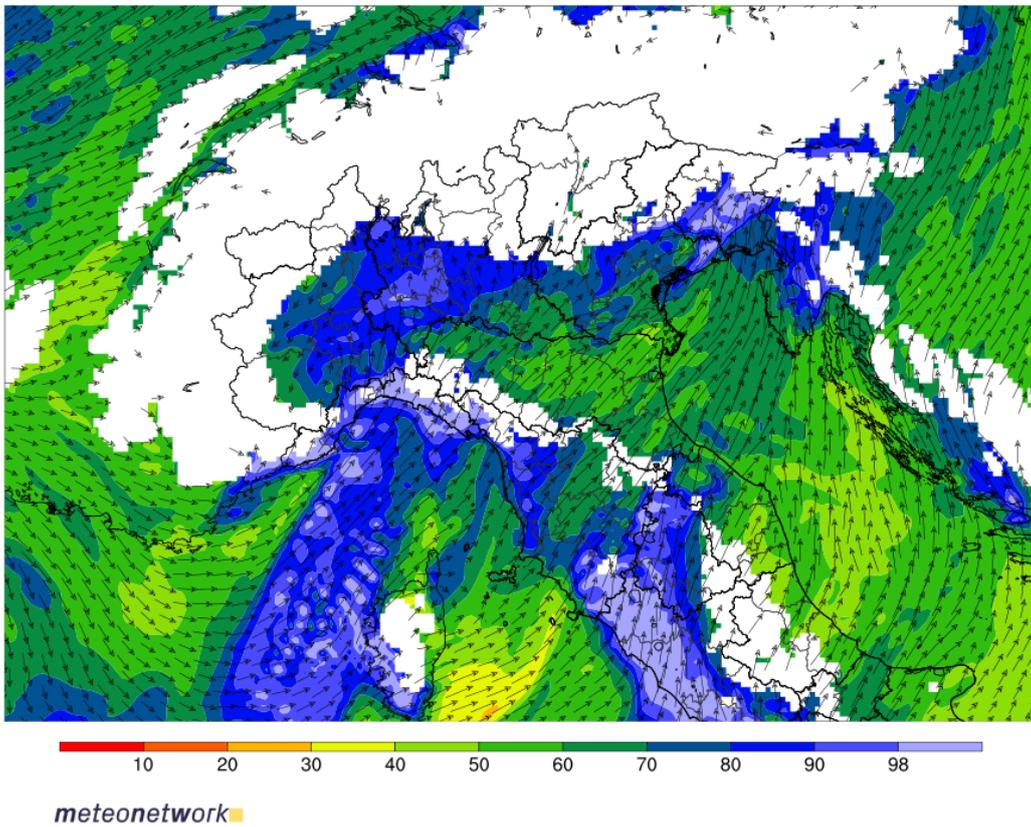


Fig. 1.21 – Previsione campi di vento e umidità relativa sul piano isobarico di 925 hPa ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Sul Veneto centro-settentrionale le correnti rimangono sud-occidentali, ma con intensità tra il debole e il moderato, salvo qualche rinforzo sul litorale veneziano. In sostanza anche da questi elementi si può considerare trascurabile, o comunque poco incidente, il ruolo esercitato dalla dry line appenninica sull'area interessata dai fenomeni severi.

In Fig. 1.21, riferita sempre al livello isobarico di 925 hPa, si considerano i campi di umidità relativa e vento previsti alle ore 14 UTC. Così come appurato per la situazione a 850 hPa, anche in questo caso si notano valori di umidità relativa più bassi, anche se non in modo assoluto, su Emilia-Romagna e fino al delta del Po i quali sono associati alle correnti catabatiche (foehn appenninico) per flussi da SW in bassa troposfera. Tuttavia la massa d'aria relativamente più secca non riesce a propagarsi più a nord. In particolare, sul Veneto settentrionale, inclusa l'area del trevigiano, i valori, sebbene previsti, sono dell'ordine del 75-85%, i quali caratterizzano la massa d'aria in azione come caldo-umida sebbene venga a mancare una decisa componente marittima, quantomeno a quel livello.

Si tratta di ulteriori indizi sul ruolo non preponderante della dry line sulle dinamiche all'origine degli eventi temporaleschi in provincia di Treviso. La condizione è comunque tipica di situazioni prefrontali in avvezione calda, con correnti più fredde di origine atlantica che in quel frangente appaiono ancora lontane e in procinto di irrompere da WNW sul golfo del Leone.

Per tale motivo la supercella in esame può essere considerata prefrontale essendosi innescata nel settore caldo della saccatura.

1.4 Situazione al suolo

In Fig. 1.22 si nota la presenza di una vasta depressione centrata con minimo al suolo chiuso di 990 hPa sulle isole britanniche, in lenta evoluzione verso levante per il parziale blocco esercitato da una cellula di alta pressione presente sull'Europa nord-orientale. Tale depressione estende una vasta saccatura in traslazione verso levante con asse diretto fino al golfo ligure, attraverso l'Europa centrale.

Tale saccatura ospita una coppia di rami frontali: un primo a carattere caldo che si associa all'invasione di aria sub-tropicale dai quadranti meridionali mentre un secondo, a carattere freddo e corrispondente all'asse della saccatura stessa, tende a ondularsi seguendo il corrugamento alpino (orientamento dei venti forzato orograficamente e tendenti a "piegare" da SE) spostandosi da ovest a est entro la Valpadana. Un terzo sistema frontale, ma in via di occlusione, si approssima all'arco alpino occidentale chiudendo da ovest la saccatura e introducendo un afflusso di aria polare marittima da WNW.

La maggiore azione instabilizzante è comunque a carico dei primi due fronti, i quali sono più attivi trovando condizioni più favorevoli alle quote superiori, col ramo caldo che è seguito da flussi sub-tropicali e il vicino ramo freddo che anticipa un primo ingresso di aria relativamente fredda.

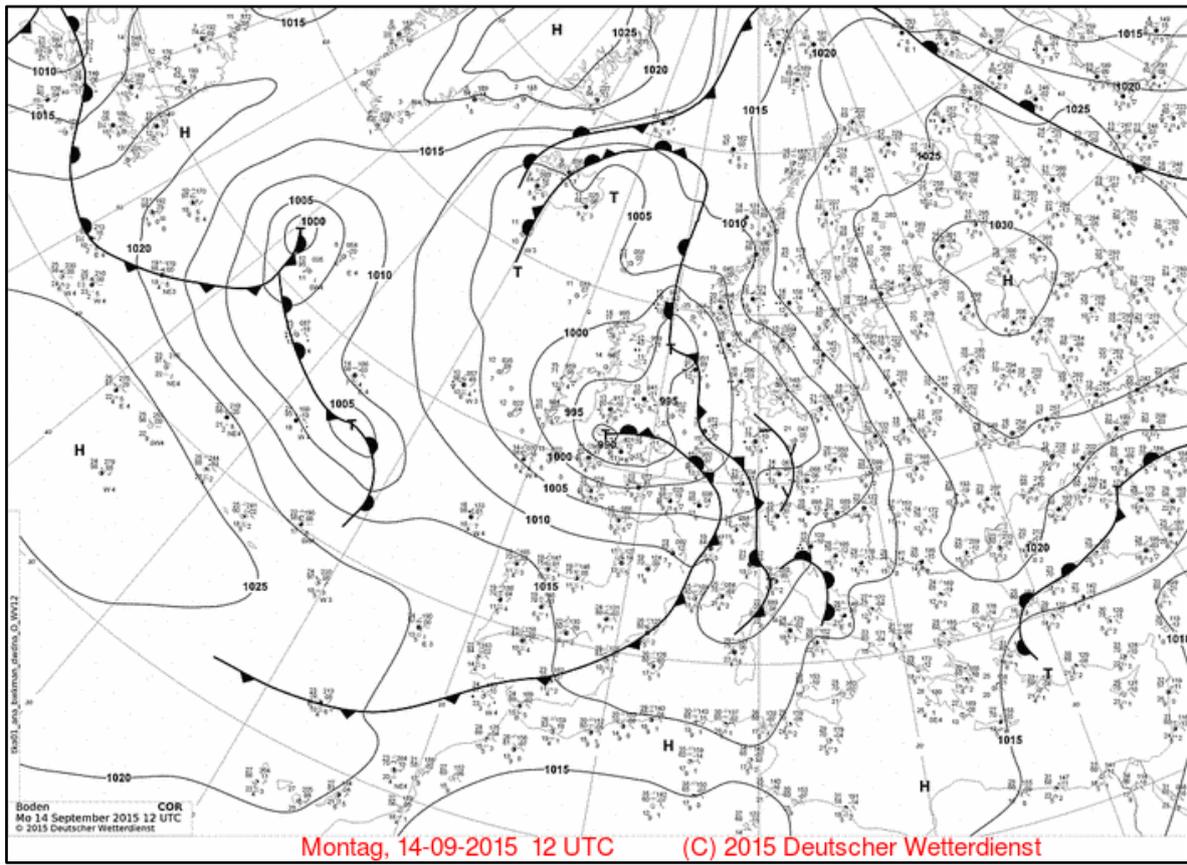


Fig. 1.22 – Analisi sinottica al suolo delle ore 12 UTC. Fonte: Deutscher Wetterdienst

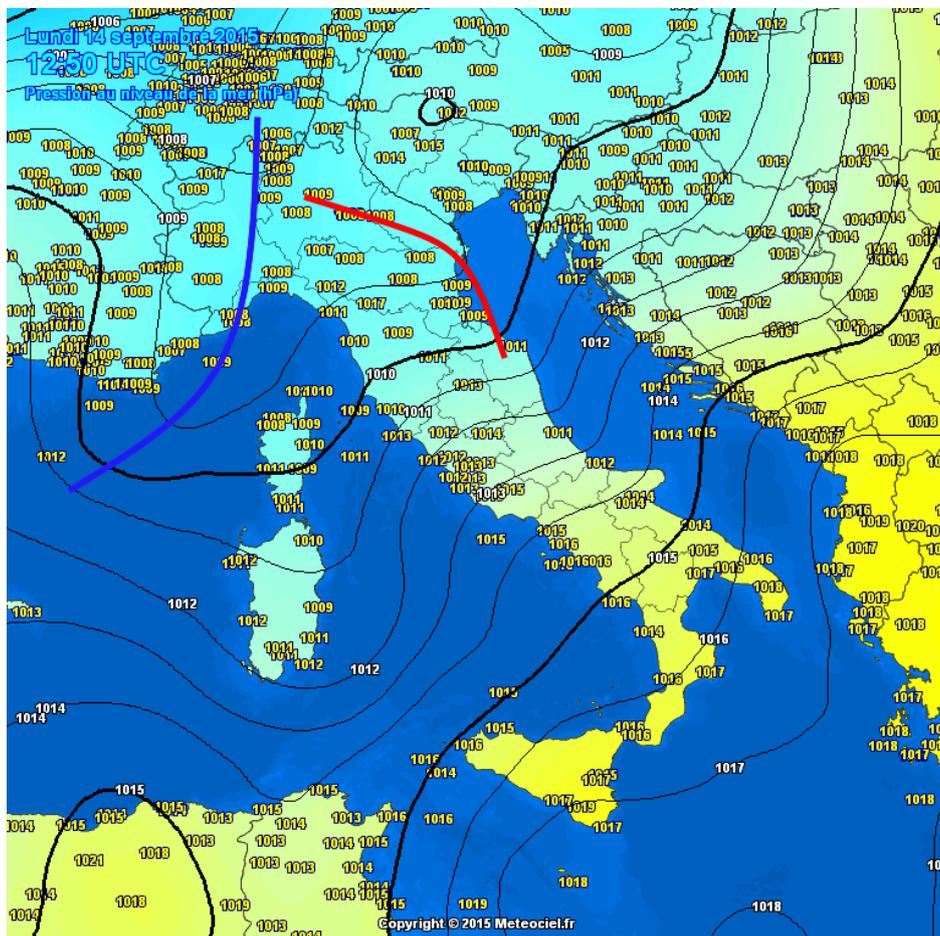


Fig. 1.23 – Analisi della pressione al suolo in hPa ore 12.50 UTC. Fonte: archivio Meteociel

In Fig. 1.23 è mostrata un'analisi al suolo, ma con focus sulla nostra penisola, relativa alle ore 12.50 UTC. In essa sono rintracciabili, all'interno della medesima struttura depressionaria attiva sul nord Italia, due assi di saccatura: un primo sul basso Veneto e fino alle coste dell'Adriatico settentrionale, che corrisponde all'incirca con la posizione del fronte caldo visto nell'analisi sinottica sul quadro europeo (linea rossa), e un secondo collocato tra le regioni nord-occidentali e il golfo ligure il quale ospita il ramo frontale freddo in fase di avanzamento verso levante (linea blu). Nelle ore successive le due saccature secondarie tenderanno a fondersi in un'unica struttura barica con all'interno i due fronti ravvicinati, e con quello freddo tendente ad assumere il ruolo primario nella genesi dei fenomeni severi poi osservati.

Nella mappa di Fig. 1.24, inerente la previsione del vento al suolo per le ore 15 UTC, si nota come il profilo dei campi di vento sia compatibile con l'evoluzione in atto, con flussi umidi di origine marittima orientati da SE tra alto Adriatico, Veneto nord-orientale e Friuli (davanti al fronte caldo), correnti più sostenute da SW calde e meno umide davanti al fronte freddo avanzante a interessare Emilia-Romagna e resto del Veneto, e infine flussi da WNW che tendono ad abbordare il comparto nord-occidentale sfociando nel contempo dal golfo del Leone. In ogni caso un profilo orizzontale del vento al suolo meglio definito sarà analizzato di seguito in base ai dati effettivamente osservati e non in previsione.

In Fig. 1.25 è mostrata la previsione nel campo dell'umidità relativa a 2 m riferita sempre alle ore 15 UTC, la quale non fa altro che confermare quanto evidenziato in precedenza, ovvero un primo afflusso di aria umida marittima che da SE scorre sul mar Adriatico fino a interessare il Friuli e il Veneto nord-orientale davanti al fronte caldo avanzante, la corrente più secca da SW (foehn appenninico) che interessa l'Emilia-Romagna fino a sconfinare leggermente sul basso Veneto dietro al fronte caldo, e infine flussi occidentali relativamente freddi e asciutti al seguito del fronte freddo, ma ancora non attivi sul settore padano.

La posizione del fronte caldo, vista nell'analisi sinottica a scala europea, coincide sostanzialmente con la dry line appenninica visibile a scala più ridotta, tuttavia essa non riuscirà ad avanzare ulteriormente verso nord-est.

Infatti in Fig. 1.26, nella quale è riportata l'analisi della pressione al suolo delle ore 16.50 UTC, si nota la presenza di due relativi massimi di alta pressione, rispettivamente sulla Francia meridionale, corrispondente all'arrivo di aria più fredda e densa, e sull'Austria. Essi sono in fase di espansione per il progressivo avanzare di aria più fredda oltralpe fino a organizzare una fascia anticiclonica, anche se relativa, seguendo il profilo alpino, la quale costringe le due relative saccature individuate in precedenza a fondersi in un'unica struttura, e con minimi relativi troppo a sud per consentire alla dry line appenninica di spingersi fino al Veneto centrale o settentrionale.

Normalmente in situazioni nella quali il ruolo delle dry line in ingresso da SW fu determinante, la chiusura dei minimi o mesominimi barici al suolo si ebbe più a nord (anche per dinamiche alla mesoscala diverse). In questo caso, come già affermato in precedenza, il ruolo esercitato dalla dry line, pur presente anche se con valori igrometrici non bassissimi, non sembra primario.

Venti 10m (m/s)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 15:00z Mon 14 Sep 2015

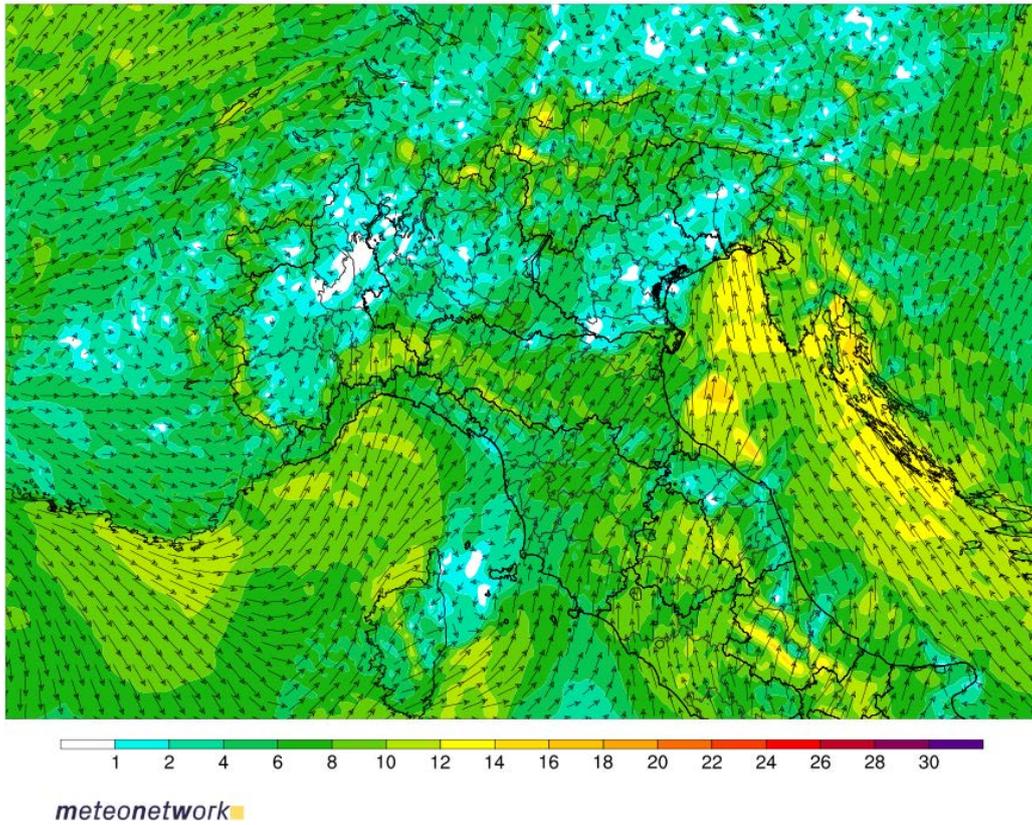


Fig. 1.24 – Previsione dei campi di vento a 10 m ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Umidita' relativa 2m (%) Vento a 10m

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 15:00z Mon 14 Sep 2015

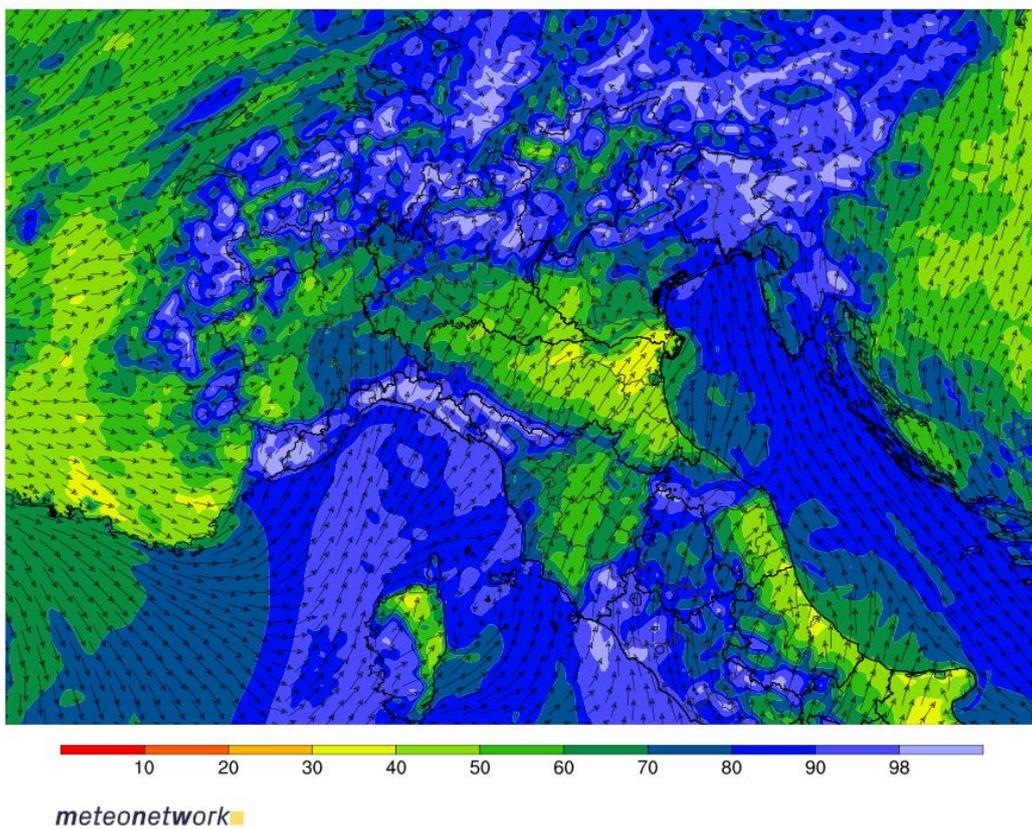


Fig. 1.25 – Previsione dei campi di vento e umidità relativa a 2 m ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

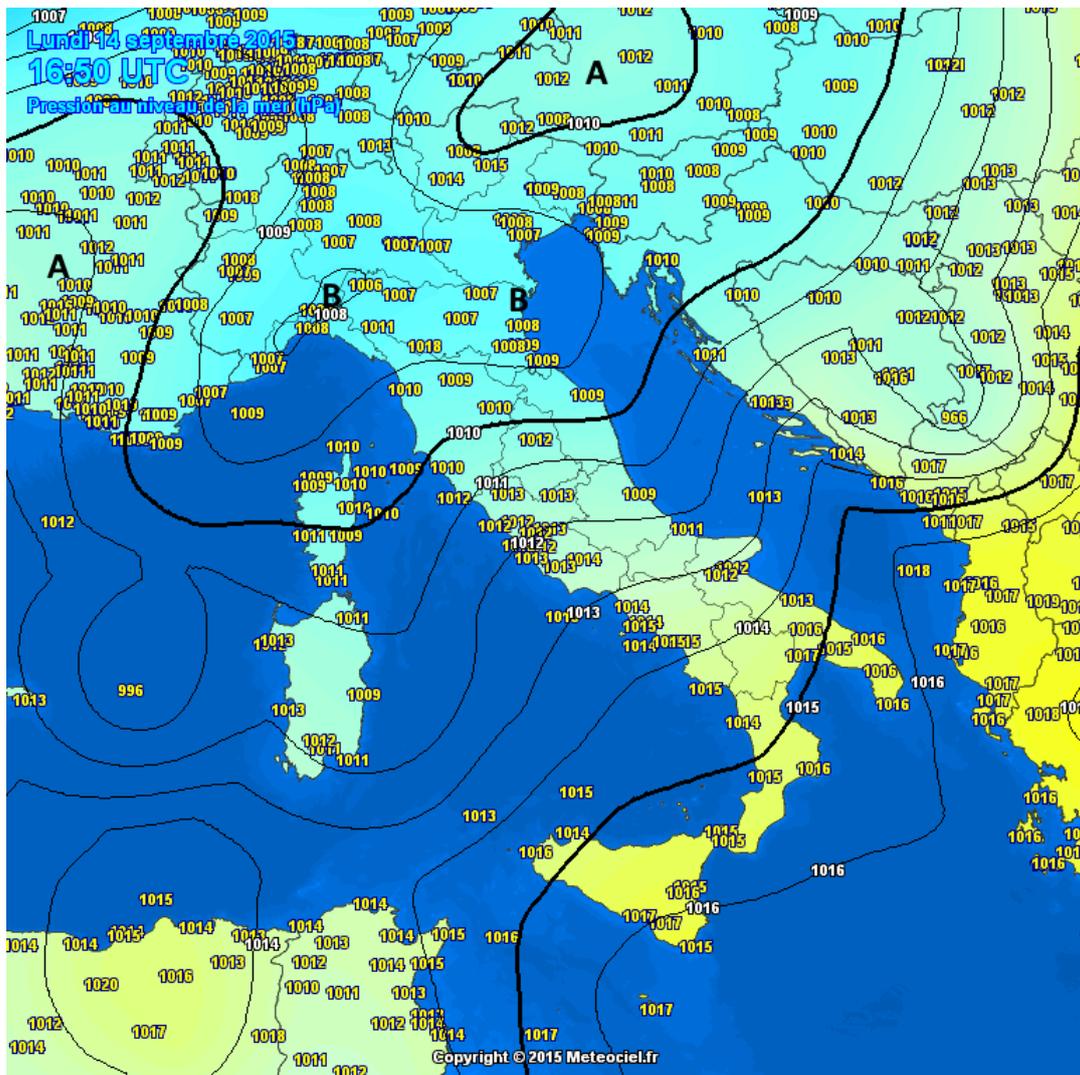
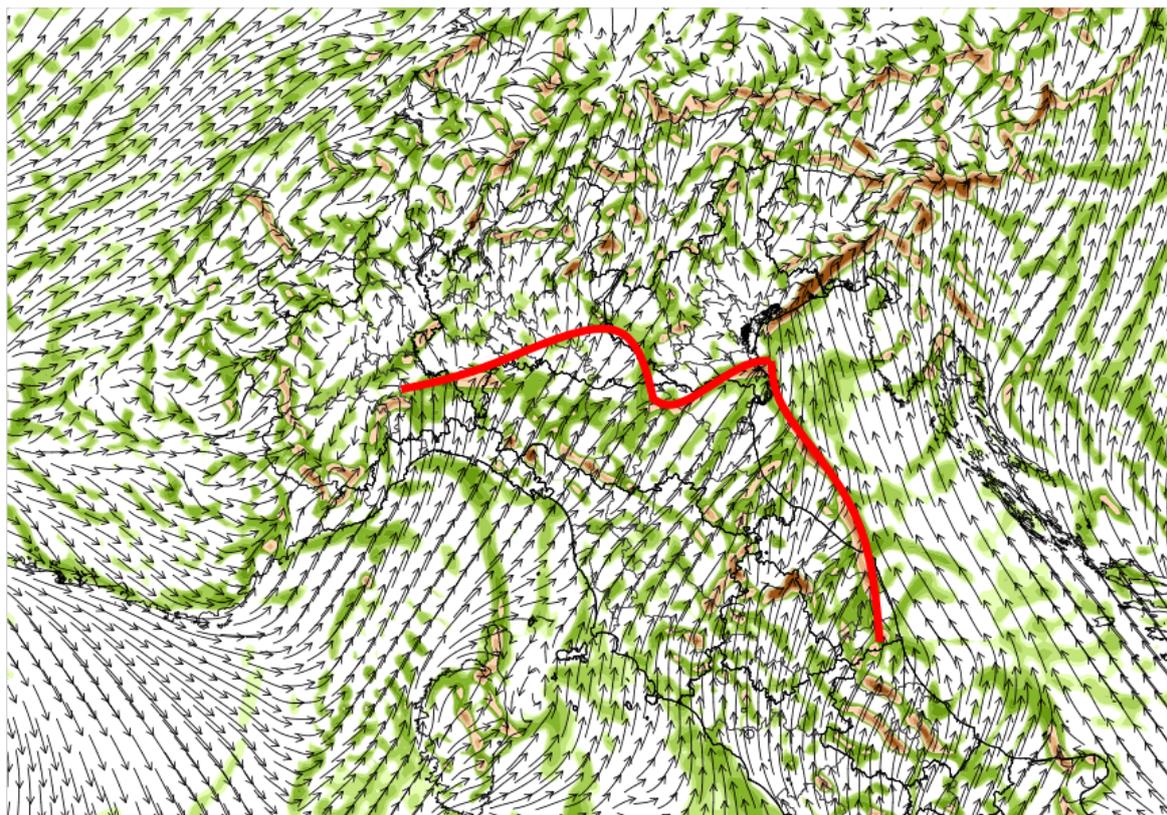


Fig. 1.26 – Analisi della pressione al suolo in hPa ore 16.50 UTC. Fonte: archivio Meteociel

Nella Fig. 1.27, inerente la previsione del parametro di convergenza di umidità entro il PBL, molto utile nell'individuare i boundary igrometrici di basso livello, spesso importanti nell'innesco dei fenomeni convettivi alla mesoscala, è stata tracciata in rosso la linea corrispondente alla posizione prevista della dry line appenninica (anche in base ai valori di umidità relativa). Essa si snoda attraverso i confini dell'Emilia-Romagna presentando solo un leggero "sfondamento" sul mantovano e in corrispondenza del delta del Po, mentre più a est si porta sul mare Adriatico tra Romagna e Marche. Una seconda zona di convergenza di umidità sarebbe prevista sul Veneto occidentale tra flussi da SW e sud-orientali o da ESE in parziale rientro dall'Adriatico, tuttavia la componente sud-occidentale non appare legata in questo caso alla linea secca vera e propria.

PBL Moisture Convergence ($\text{g kg}^{-1} \text{ s}^{-1} 10^{-4}$)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 14:00z Mon 14 Sep 2015



meteonetwork ■

Fig. 1.27 – Previsione di convergenza di umidità entro il PBL ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In questa fase dell'analisi verranno considerati i dati di vento al suolo (2 m) dalle reti osservative MNW/ARPAV/MeteoTriveneto effettivamente rilevati e interpolati per una migliore densità dei vettori.

Alle ore 15.20 locali il profilo dei venti effettivi al suolo (Fig. 1.28) indica la presenza di un flusso orientato da SE di provenienza marittima, caldo e umido (freccette gialle), che dall'alto Adriatico si insinua fino alle coste del veneziano e del Friuli, invadendo poi le province di TV, PD e VI come corrente orientale, sia per l'effetto forzato dalla barriera alpina, sia per quello legato alla presenza della saccatura nei bassi strati prima descritta. Un secondo flusso più caldo e secco avanza da SW fino al veronese sud-occidentale, mantovano e rodigino (freccette rosse): esso può essere considerato come la propaggine più settentrionale della dry line appenninica.

La linea rossa delimita la presenza del boundary di basso livello tra i due flussi, o se vogliamo il confine della dry line. Sui settori alpini si notano aree con correnti divergenti al suolo (cerchi blu) che corrispondono ai fenomeni convettivi (celle temporalesche) già in atto con innesco orografico, i quali spingono masse d'aria più fredda (downdraft, gust front e cold pool) in direzione del comparto prealpino, andando poi a interagire con le due correnti principali (Fig. 1.28).

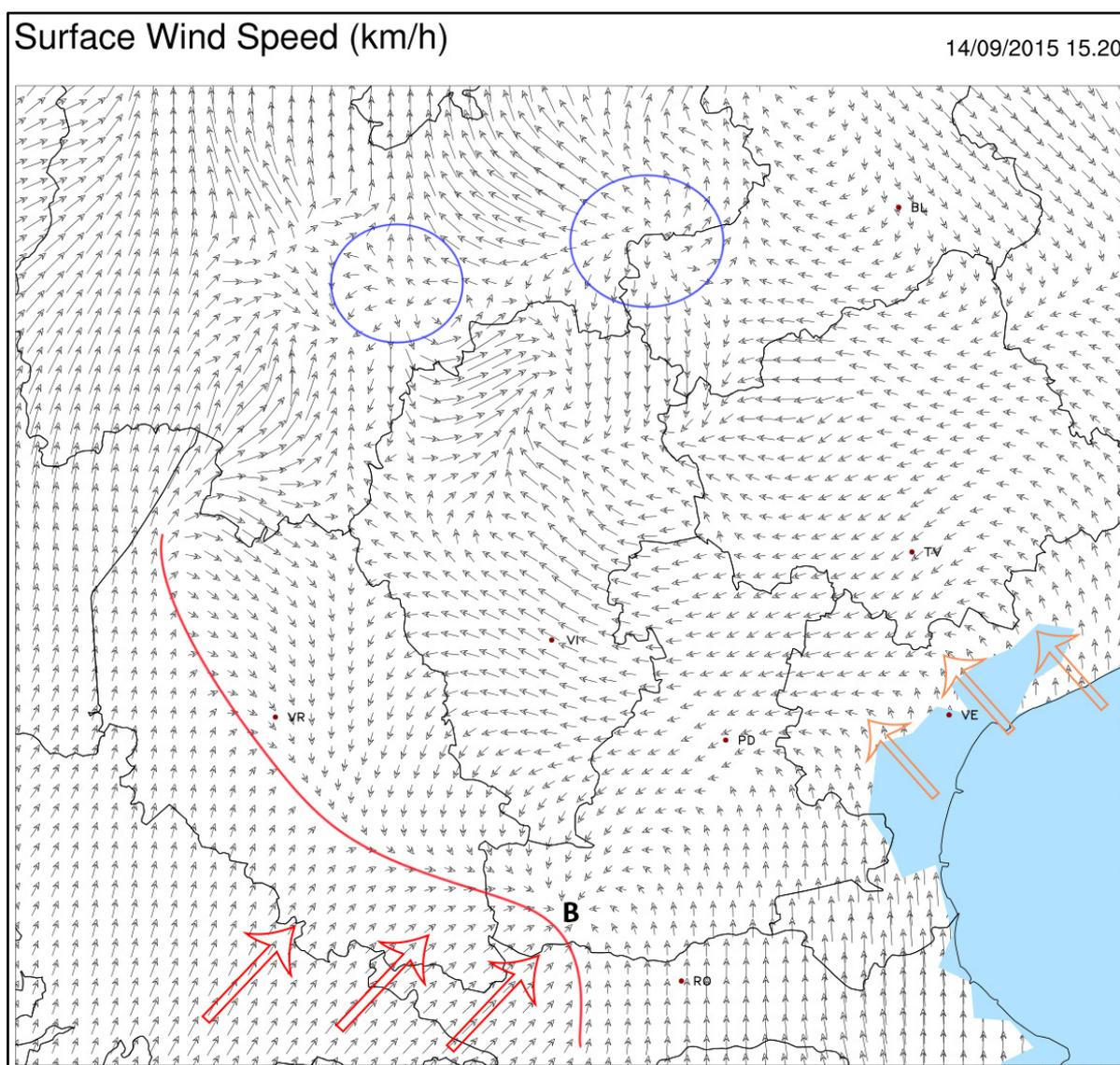


Fig. 1.28 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 15.20 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

Alle ore 16.10 locali (Fig. 1.29) la situazione vede un'intensificazione del flusso sud-orientale marittimo (freccia gialla), caldo e umido, il quale conquista tutte le province di PD, VE e TV, orientandosi poi da ESE sul vicentino sempre descrivendo il cavo della saccatura al suolo. Nel contempo la dry line appenninica, ovvero il flusso più secco arretra verso ovest sul rodigino, mentre avanza leggermente verso NE sul veronese, modulando quindi il boundary di basso livello come indicato dalla linea rossa. Il cerchio in colore nero individua la posizione del sistema temporalesco all'origine della supercella che darà tempo molto severo fino al trevigiano.

Essa si sviluppa in un ambiente effettivamente favorevole, sia alle quote superiori, per quanto appurato nell'analisi sinottica, sia perché in quel settore si ha una confluenza nei bassi strati tra le correnti sud-orientali (inflow), quelle da SW più secche, legate alla dry line appenninica (freccia rossa), e quelle più fredde da WNW derivanti da un outflow boundary innescato da convezione già presente sui primi contrafforti alpini del Trentino (area con venti divergenti sulla punta sud-orientale del Trentino, cerchio blu). In tal senso, all'interno della saccatura a più ampia scala si struttura una circolazione secondaria alla mesoscala con confluenza/convergenza tra aria calda e umida da ESE, calda e secca da SW e fredda da outflow boundary.

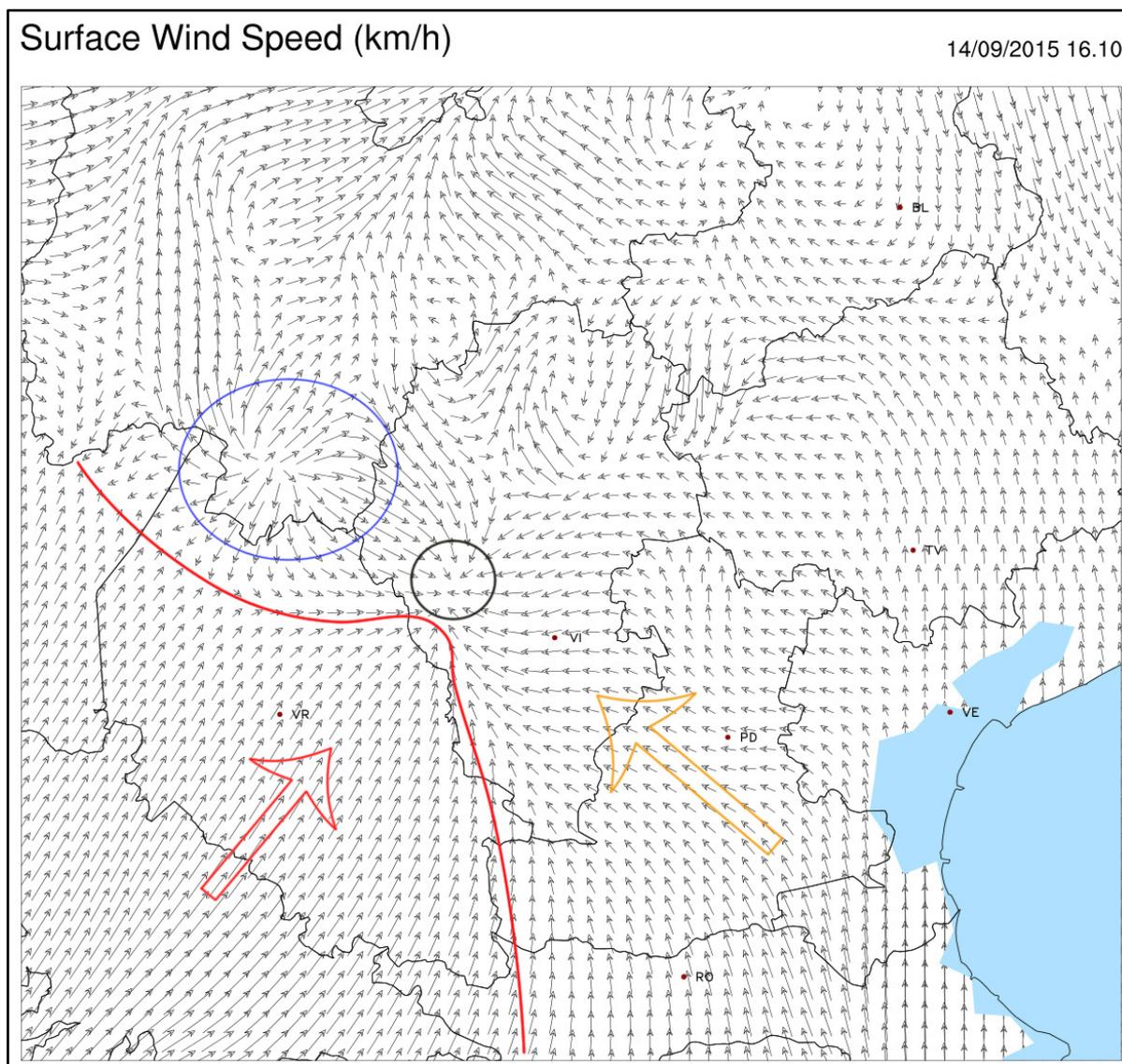


Fig. 1.29 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 16.10 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

In Fig. 1.30, relativa alle ore 16.30 locali, la situazione nei bassi strati appare leggermente variata, con la corrente marittima sud-orientale (freccia gialla) che alimenta il sistema (cerchio nero) sotto forma di inflow ancora ben attiva fino alle province di VE, PD e TV. Arretra però il flusso secco da SW (dry line, freccia rossa) il quale abbandona il veronese settentrionale, soppresso gradualmente da un outflow boundary freddo e con componente nord-occidentale legato alla convezione sempre presente sul Trentino meridionale (cerchio e freccia celeste). Infine una seconda corrente fredda di provenienza settentrionale (cerchio e freccia blu), e derivata da un secondo outflow boundary (convezione su Trentino orientale ove si nota un'area di flussi divergenti al suolo), si approssima e interagisce con il flusso da SE, definendo una direzione orientale su est vicentino.

Nella zona di presenza del temporale a supercella è ancora ben attiva una convergenza di basso livello che mantiene la struttura mesociclonica, ma in questa fase il contributo della dry line sembra perdere di importanza, mantenendosi essa a maggiore distanza dall'area critica. Tuttavia la medesima dry line può aver avuto un ruolo nella fase iniziale di innesco del sistema, ma non fondamentale nel mantenimento e nella successiva evoluzione della struttura.

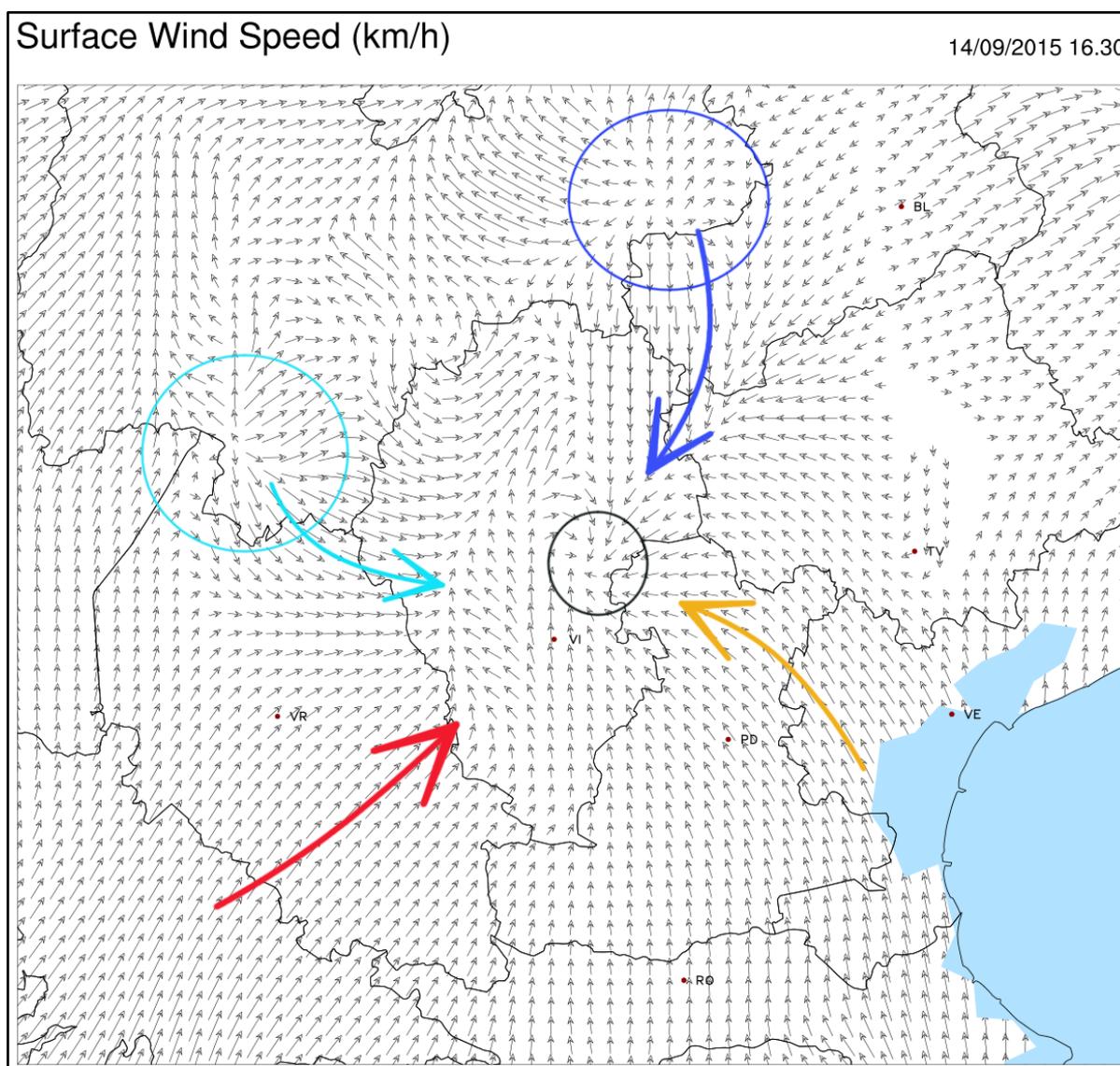


Fig. 1.30 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 16.30 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

Nella Fig. 1.31 sono riportati i campi di temperatura di rugiada al suolo (dew point) rilevati alle ore 16.30 locali. I valori più elevati, fino a 21°C e con notevoli picchi locali fino a 22°C, corrispondono all'avvezione da sud-est di aria caldo-umida, e quindi potenzialmente assai instabile, che interessa il Veneto orientale ma che si spinge fino a lambire il vicentino e il trevigiano, nonché la fascia costiera friulana. Si tratta di valori tipici della piena estate nonostante sia già iniziato l'autunno meteorologico; inoltre occorre considerare, sempre in merito al periodo stagionale, che le acque superficiali del mare Adriatico dispongono ancora del calore accumulato durante l'estate (particolarmente calda quella del 2015) presentando temperature superficiali assai elevate.

I valori decrescono procedendo verso ovest, sia per la maggiore lontananza dal mare, sia perché si entra nel raggio d'azione del flusso più secco (dew point più bassi) in risalita da SW (dry line appenninica). Infatti sul comparto occidentale della provincia di RO e sul veronese sud-occidentale si notano temperature di rugiada inferiori ai 20°C, e fino ai 16-17°C sul mantovano. Valori più bassi si notano, per ovvie ragioni legate all'orografia, sui rilievi alpini e prealpini, tuttavia la convezione attiva su quelle aree spinge correnti di outflow da WNW più fredde e meno umide verso la pianura (viste in precedenza) caratterizzate da dew point inferiori ai 15°C.

Dalla distribuzione dei campi di temperatura di rugiada si evince come l'azione della dry line appenninica sia a questo punto marginale essendo ormai lontana dallo scenario ove si manifesta il tempo più severo. Infatti è più probabile che, una volta generatosi il sistema, esso abbia sfruttato l'interazione o la confluenza/convergenza tra le correnti molto umide e instabili da SE e quelle settentrionali o nord-occidentali più fredde e secche. Non a caso l'area del mesociclone corrisponde, a quell'ora, alla zona in cui interagiscono la propaggine del flusso da SE sul vicentino e le correnti occidentali o settentrionali di derivazione orografica o legate a outflow boundary di precedenti sistemi convettivi.

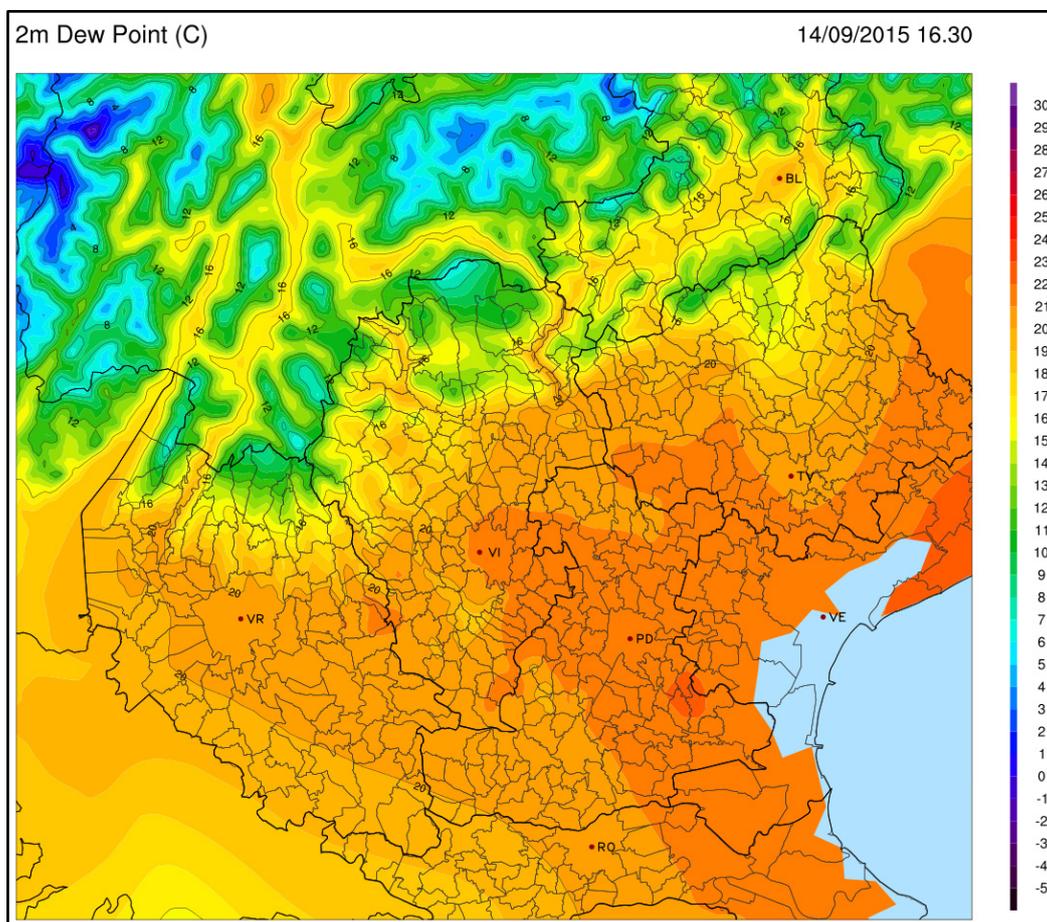


Fig. 1.31 - Analisi dei valori di dew point in °C ore 16.30 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

Tornando alla disposizione dei venti al suolo, in Fig. 1.32 è riportata l'analisi delle ore 16.50 locali. In essa si evince come la struttura mesociclonica si sia spostata verso levante sul padovano settentrionale abbordando nel contempo da ovest la provincia di TV e rimanendo ben attiva, al punto che la caduta di pressione legata alla sua evoluzione già richiama aria verso il minimo nella classica rotazione antioraria indicata dalle frecce.

È ancora ben attivo il richiamo caldo-umido sud-orientale (freccia gialla) che evolve più a nord in corrente più spiccatamente da E (freccia azzurra), mentre la freccia in colore rosso con flusso da SW non è legata alla dry line, ancora confinata sul veronese, ma al richiamo esercitato dalla circolazione ciclonica alla mesoscala. Attive invece le correnti fredde di provenienza nord-occidentale che entrano nella circolazione (freccia blu).

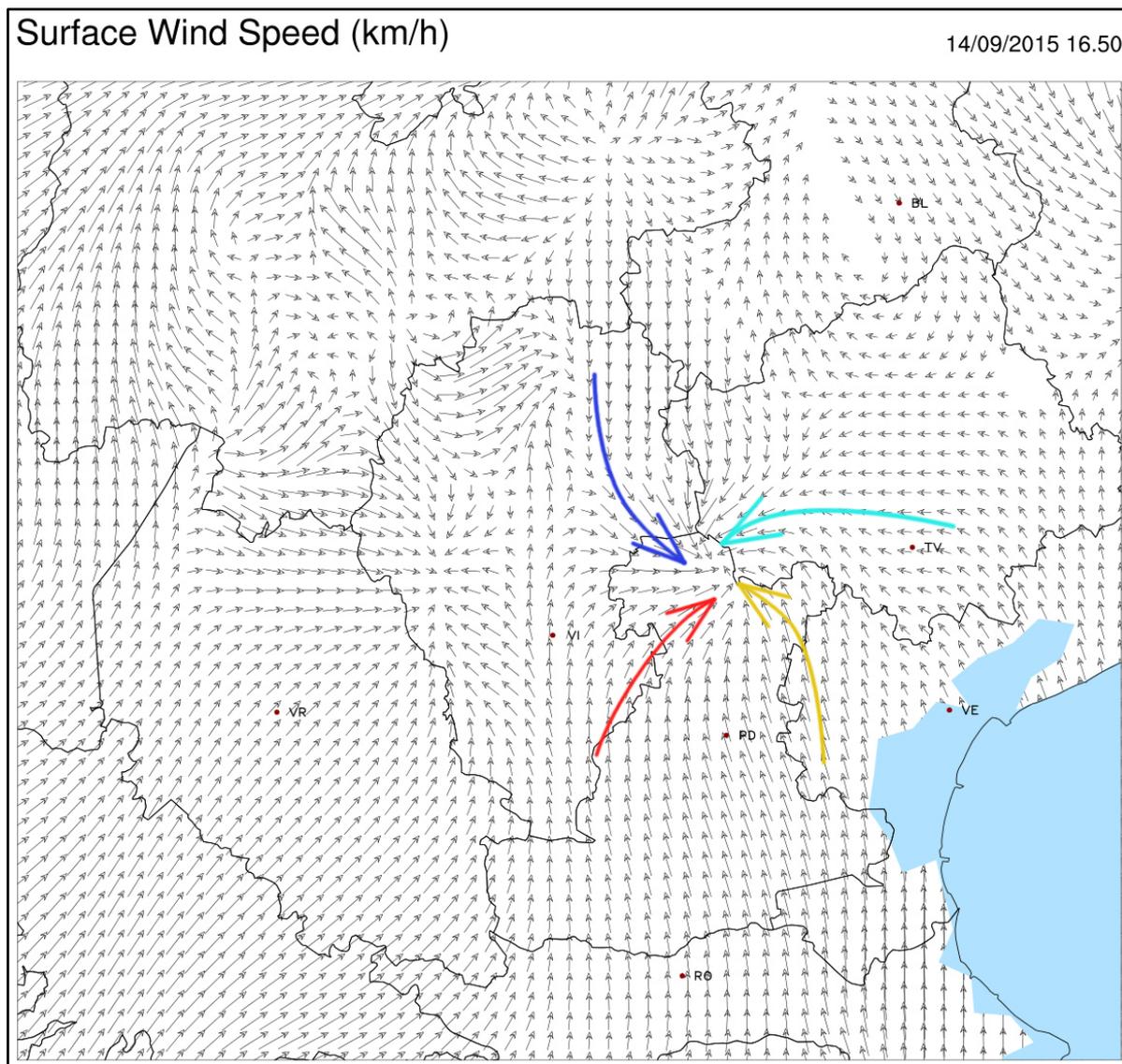


Fig. 1.32 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 16.50 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

In Fig. 1.33 è mostrata l'analisi del vento al suolo alle ore 17 locali, nella quale si nota come la circolazione ciclonica alla mesoscala sia ulteriormente evoluta verso levante, entrando in provincia di Treviso, e la disposizione dei venti in direzione fa intuire come sia attiva l'alimentazione caldo-umida di inflow da S-SE (frecche gialle). Per contro i venti occidentali (frecche blu) che incalzano verso quelli da SE rappresentano assai probabilmente il flusso di RFD (Rear Flank Downdraft) in uscita dalla supercella in azione e che contribuisce a mantenere in essere il mesociclone.

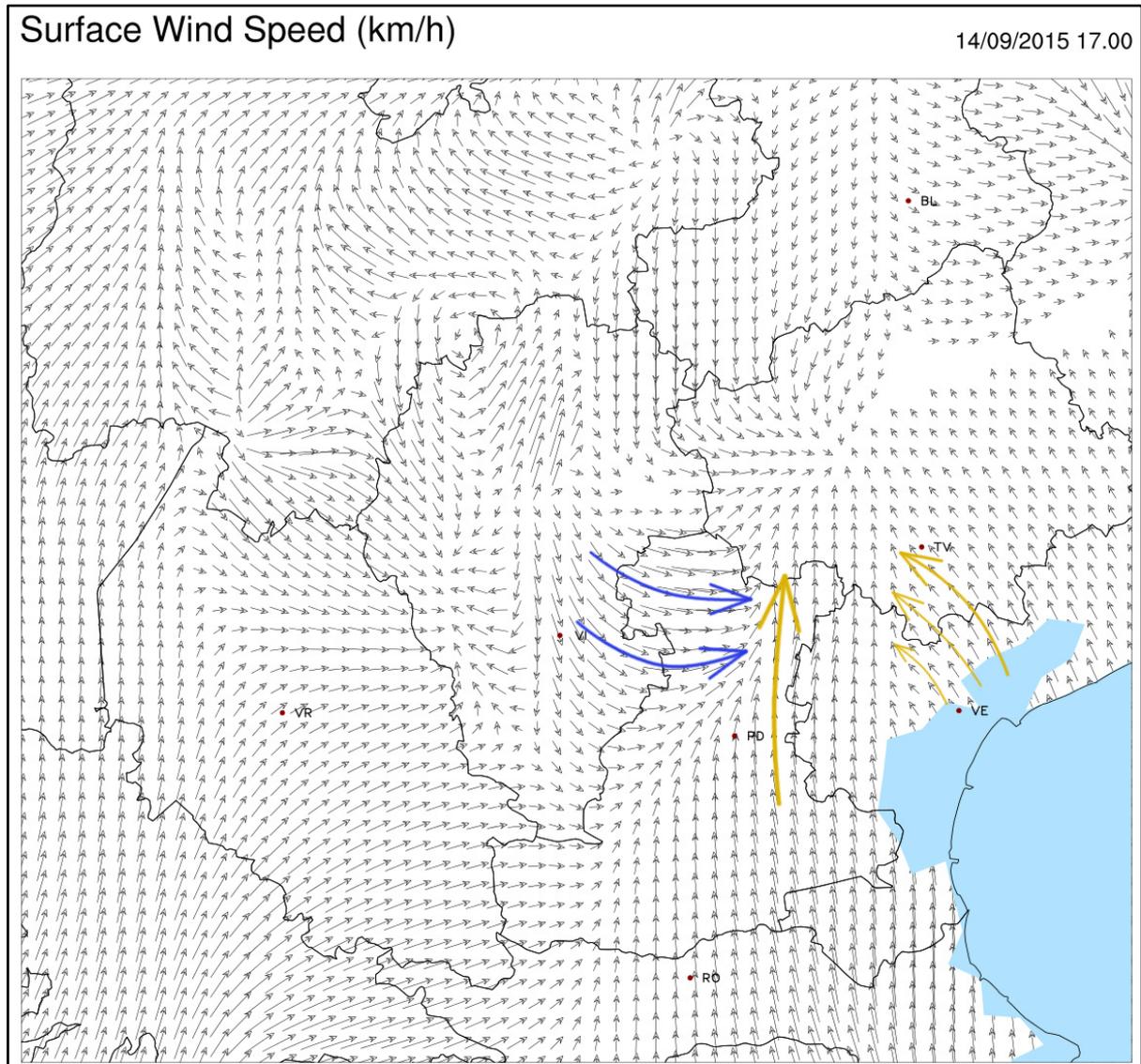


Fig. 1.33 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 17 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

Anche attraverso l'analisi dei valori di dew point al suolo delle ore 17 locali (Fig. 1.34) si può notare come temperature di rugiada elevate (ancora oltre i 20°C) corrispondano ai flussi sud-orientali caldi e umidi che entrano nel mesociclone, mentre da ovest avanza aria più secca (dew point più bassi) legata all'RFD (freccia blu). L'FFD (Forward Flank Downdraft) è presumibilmente localizzato entro il cerchio blu ove si nota una seconda area con dew point leggermente inferiori secondo il classico schema rappresentato in Fig. 1.35.

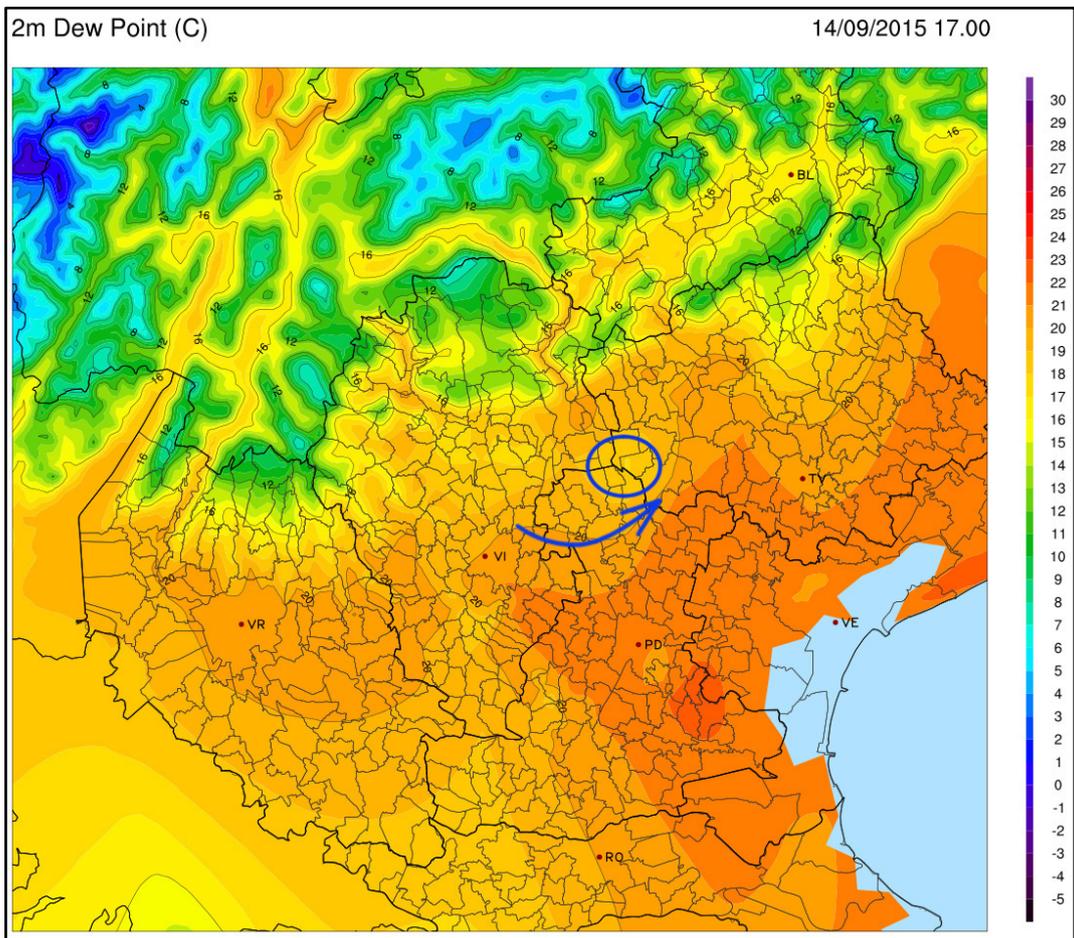


Fig. 1.34 - Analisi dei valori di dew point in °C ore 17 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

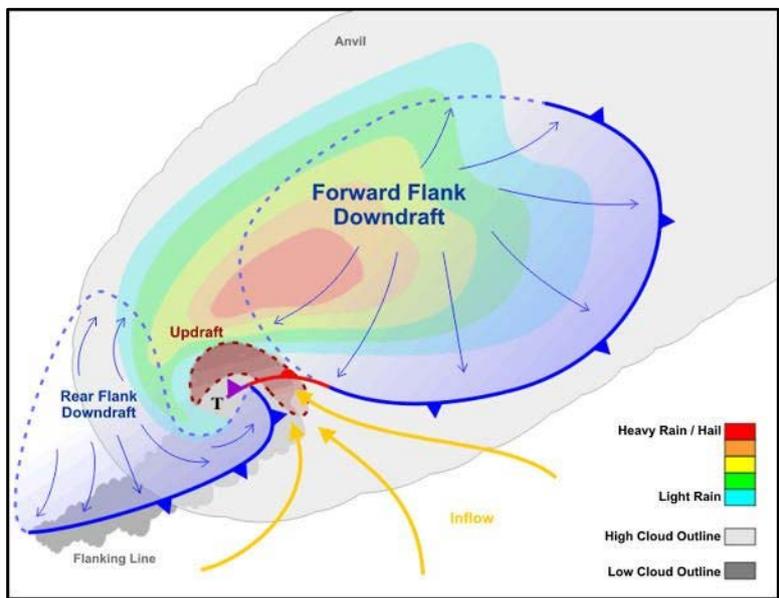


Fig. 1.35 - Schema semplificato di circolazione al suolo di una supercella. Fonte: NOAA

In Fig. 1.36 è rappresentata la situazione delle ore 17 locali tramite immagine satellitare (focus su Triveneto) nel campo del visibile. È evidente l'imponente sistema temporalesco di tipo multicellulare lineare (QLCS, Quasi Linear Convective System) con presenza di una supercella sul bordo meridionale, evenienza alquanto frequente in sistemi di questo tipo. Si nota anche una overshooting top di colore bianco brillante che proietta la propria ombra sulle celle convettive più a nord-est (cerchio rosso).

Da notare anche la presenza di una ben definita flanking line (cerchio verde) che "entra" nel sistema principale di tipo mesociclonico. Da rilevare anche la presenza di convezione, sebbene non severa, su tutti i rilievi alpini e prealpini e, in forma più isolata, tra le province di Rovigo e Venezia.

In questo lasso temporale il sistema a supercella collocato sull'estremità meridionale del QLCS ha generato un tornado mesociclonico sul trevigiano, tuttavia durante la precedente fase evolutiva esso ha causato intensi rovesci di grandine, anche di ragguardevoli dimensioni, e violente raffiche di vento (downburst).

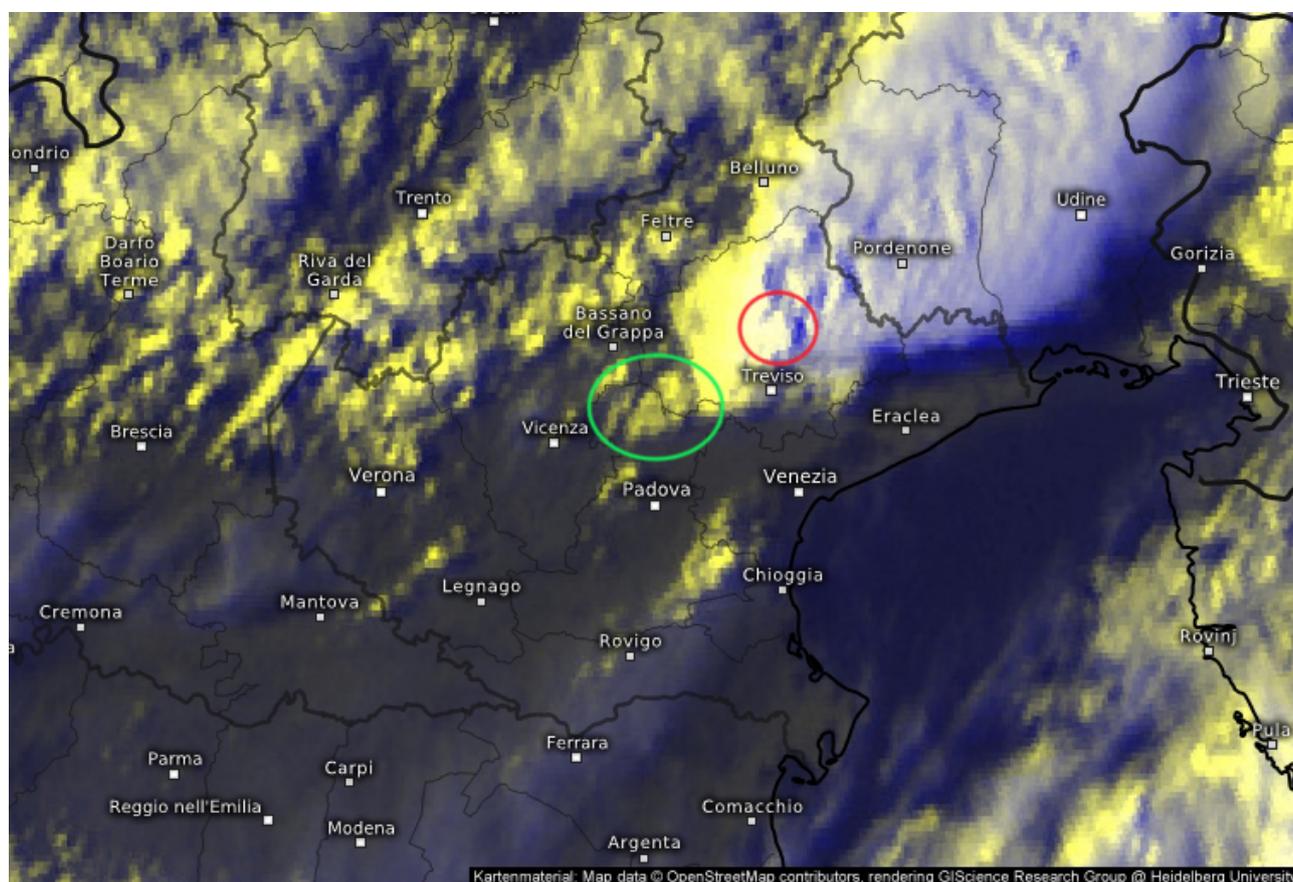


Fig. 1.36 - Immagine satellitare delle ore 17 locali nel campo del visibile. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

In Fig. 1.37 è rappresentata l'analisi del vento al suolo alle ore 17.10 locali. La circolazione mesociclonica è ancora ben evidente e strutturata ed è posizionata all'intersezione delle province di VE, PD e TV (cerchio in colore rosso) con l'orientamento dei venti che convergono verso il centro del mesociclone in rotazione (freccette rosse). Il temporale a supercella determina gli effetti più vistosi in provincia di Treviso con un tornado, mentre il sistema evolve verso levante attingendo ancora davanti a sé masse d'aria calda e umida dai quadranti meridionali o sud-orientali mantenendosi ben attivo.

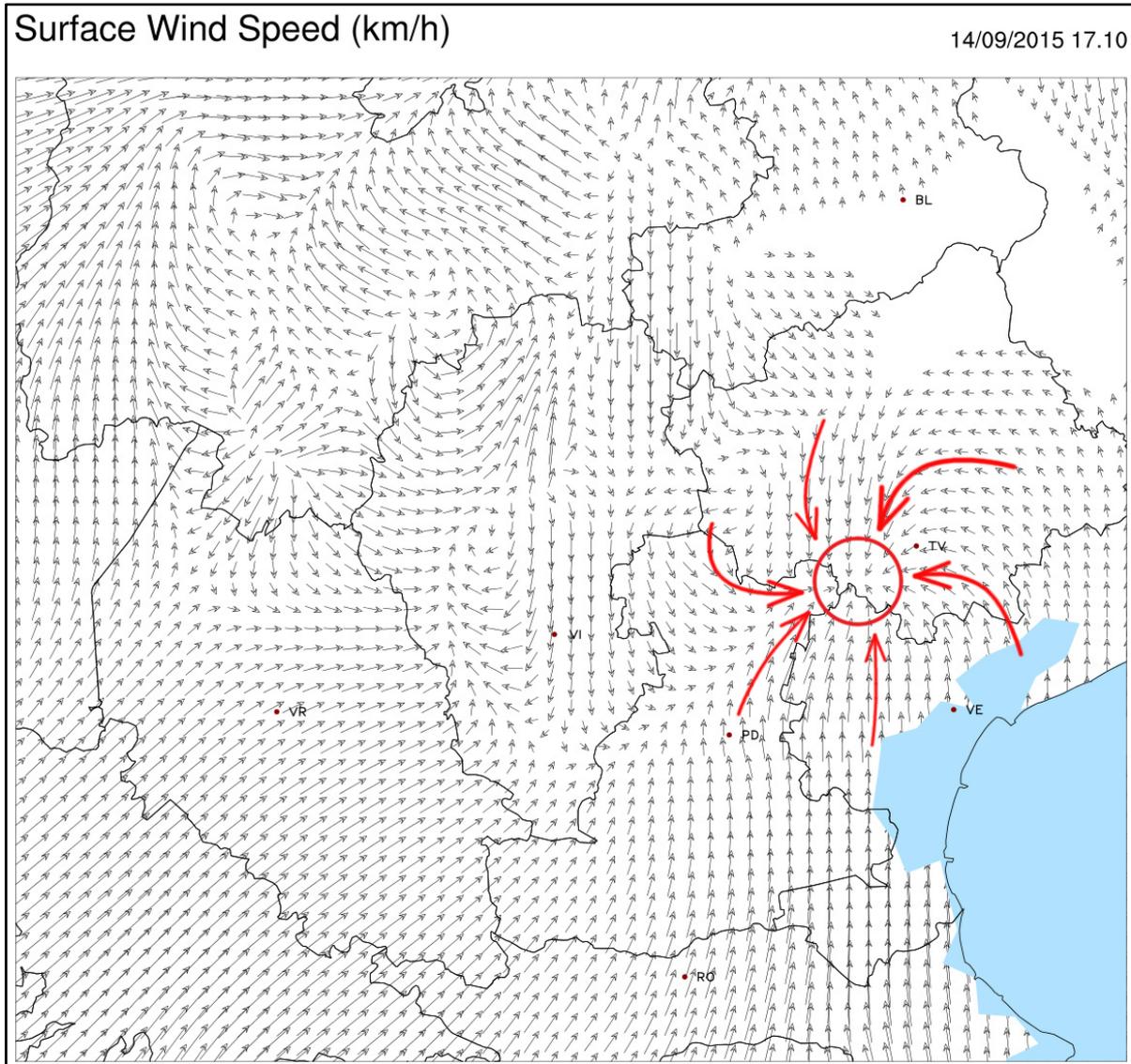


Fig. 1.37 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 17.10 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

In Fig. 1.38 si passa all'analisi del vento al suolo alle ore 17.20 locali, quando il sistema convettivo continua a muoversi oramai entro la provincia di Treviso. La struttura del mesociclone tende in questa fase a divenire meno definita, il che potrebbe rappresentare un primo segnale di indebolimento, tuttavia è ancora netta la delimitazione tra il flusso sud-orientale (freccia gialla) in ingresso dal mar Adriatico e una corrente da SW (freccia rossa) che non è in nessun modo legata alla blanda dry line descritta in precedenza, ma è ascrivibile alla circolazione alla mesoscala innescatasi nelle fasi precedenti.

Il sistema temporalesco nelle fasi successive tenderà comunque gradualmente a indebolirsi, anche se proseguiranno i fenomeni osservati al suolo pur senza sconfinare in eventi vorticosi o comunque di particolare severità.

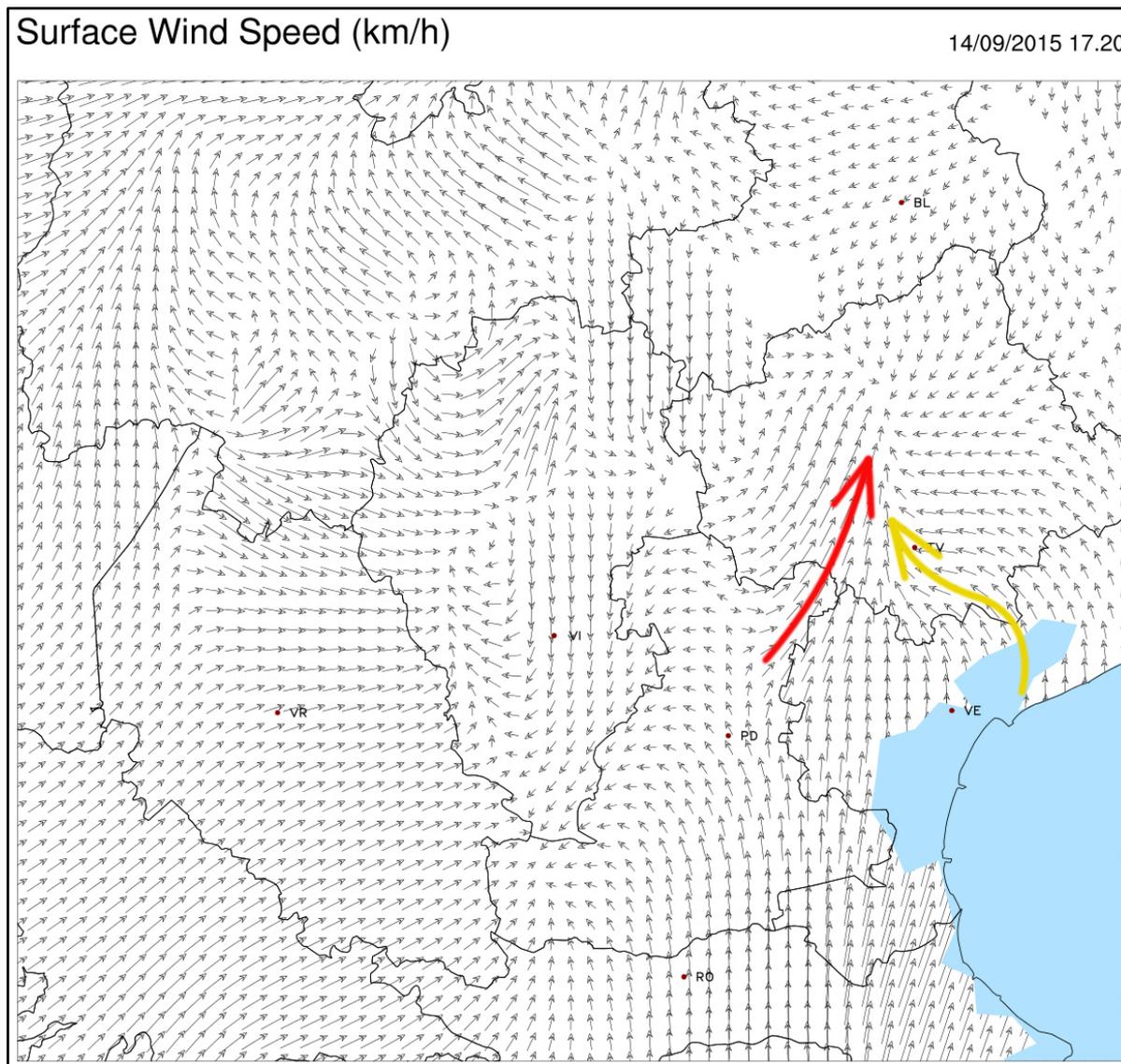


Fig. 1.38 - Analisi direzione del vento a 2 m delle ore 17.20 locali. Fonte: dataset MNW su varie reti osservative

In merito all'effettivo ruolo della dry line appenninica, già affrontato in precedenza, in Fig. 1.39 è proposta l'immagine satellitare nel campo del visibile delle ore 14 UTC (ore 16 locali), nella quale si nota, oltre al QLCS sul Veneto settentrionale con temporale a supercella sull'estremità sud-occidentale, quella che potrebbe essere l'area di effettiva influenza del flusso secco da SW.

Le zone con presenza di aria più secca (dew point sui 13-14°C) sono quelle comprendenti l'Emilia con parziale sconfinamento della massa d'aria sul veronese sud-occidentale e sulla provincia di Rovigo. Su questi comparti il boundary della dry line appenninica innesca una linea convettiva di modesta entità orientata da WNW ad ESE con cumuli congesti e qualche isolato cumulonembo lungo l'asse Legnago (VR) - Rovigo (masse bianche quasi puntiformi nell'immagine), tuttavia tale linea appare del tutto scollegata dalle dinamiche in atto ben più a nord e che sono all'origine del tempo severo verificatosi.

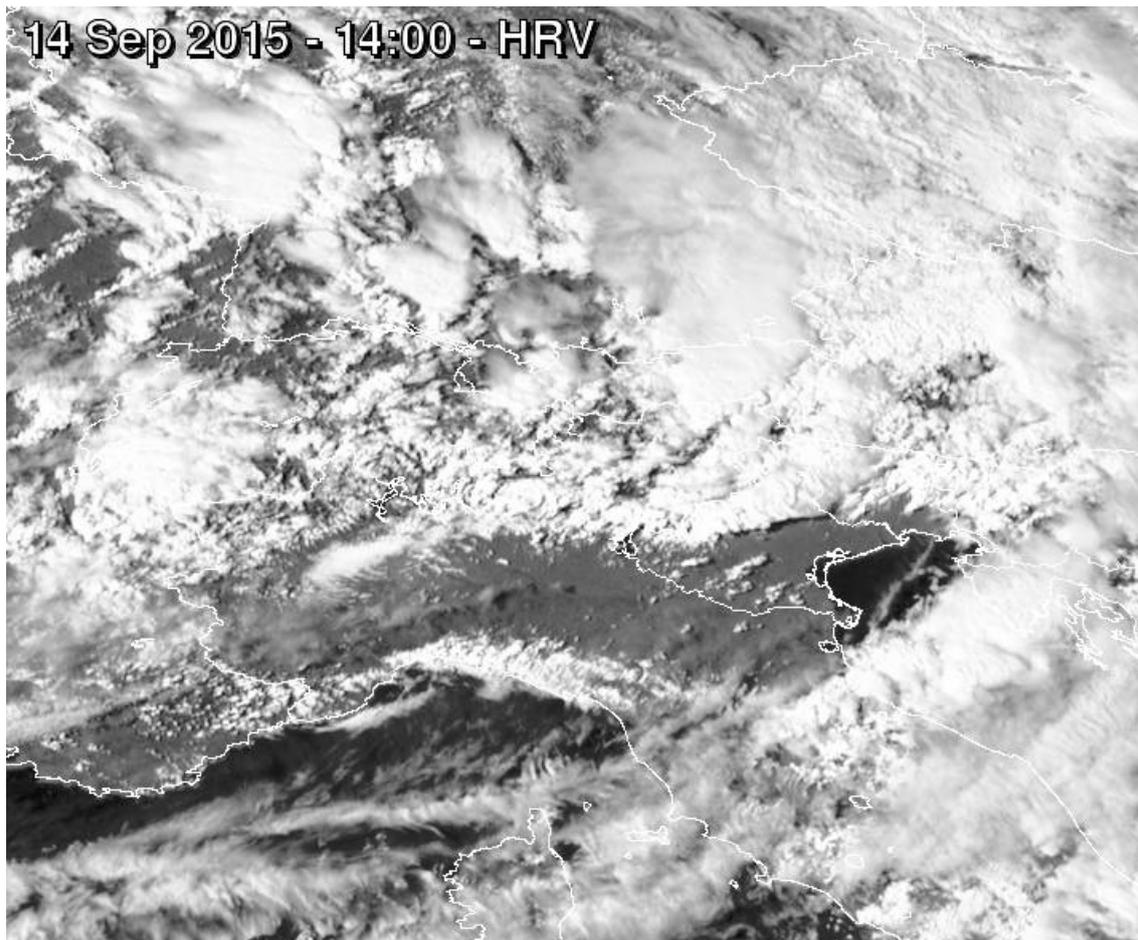


Fig. 1.39 - Immagine satellitare delle ore 16 locali nel campo del visibile. Fonte: Eumetsat archivio ARPAV

Come già ipotizzato in precedenza, un ruolo marginale a carico della dry line nell'innesco del sistema potrebbe essersi manifestato solo nelle primissime fasi della convezione (Fig. 1.29) allorquando la linea del fronte secco attraverso il veronese è temporaneamente sconfinata sul vicentino prima di essere respinta verso S-SE dagli outflow boundary dei sistemi temporaleschi alpini e prealpini, ma in seguito il suo ruolo appare ininfluenza.

Inoltre occorre ribadire che anche nella fase iniziale si è trattato della propaggine più settentrionale della linea e con dew point prossimi a 20°C, quindi una massa d'aria non propriamente dalle caratteristiche tipiche dei flussi di caduta dai rilievi; certamente più secca rispetto al flusso marittimo da sud-est, ma non secca in senso assoluto.

2. ANALISI TERMODINAMICA E DI STABILITÀ ATMOSFERICA

di Pierluigi Randi e Alberto Gobbi

2.1 Analisi degli indici termodinamici

Come premessa occorre precisare che l'Italia è stata interessata, nelle ore precedenti la sequenza di eventi severi, da un'invasione di aria calda nord africana, che spesso ricorre in circostanze simili, una delle cui caratteristiche è quella di aumentare l'instabilità termodinamica, poiché l'aria che affluisce da un'area desertica verso le medie latitudini è, in prevalenza, calda, secca e nel complesso ben rimescolata sulla verticale per effetto delle elevate temperature che caratterizzano i luoghi da cui essa proviene.

Pertanto il gradiente termico tra le varie quote troposferiche è maggiore e ciò determina un raffreddamento alquanto rapido salendo di quota (circa 10°C/km, profilo termico adiabatico). Se però non si ha un sufficiente contenuto di umidità, la situazione rimane tranquilla. Normalmente masse d'aria nord-africana che risalgono da sud-est il mar Adriatico subiscono una notevole umidificazione nei bassi strati essendo il mare più freddo rispetto all'aria che stazionava nei luoghi di origine (masse continentali). Inoltre, il classico PBL della Pianura Padana nel semestre caldo (aprile-settembre) è molto dilatato e caratterizzato da aria calda e umida, specie in caso di decorsi stagionali fortemente anomali come quelli del 2015, sul quale però scorre aria più secca.

In definitiva, si giunge al suolo a uno strato d'aria calda e assai umida, sovrastato da uno strato potenzialmente più caldo, ovvero da un'inversione termica, ma con temperatura che diminuisce rapidamente con la quota. L'atmosfera assume quindi un notevole livello di energia potenziale grazie all'accumulo di vapore acqueo nei bassi strati, affluito in parte anche dal mare, ove rimane bloccato causa l'inversione che impedisce il rimescolamento verticale. Pertanto in caso di precedenti o concomitanti invasioni nord-africane la tendenza a elevata instabilizzazione del profilo verticale è sempre presente, salvo incisivi moti subsidenti nel caso di alte pressioni a tutte le quote.

Fatta la debita premessa in merito alle caratteristiche delle avvezioni nord africane nei bassi strati durante il periodo "caldo", si passano ad analizzare sommariamente gli indici termodinamici e di instabilità inerenti la giornata in oggetto.

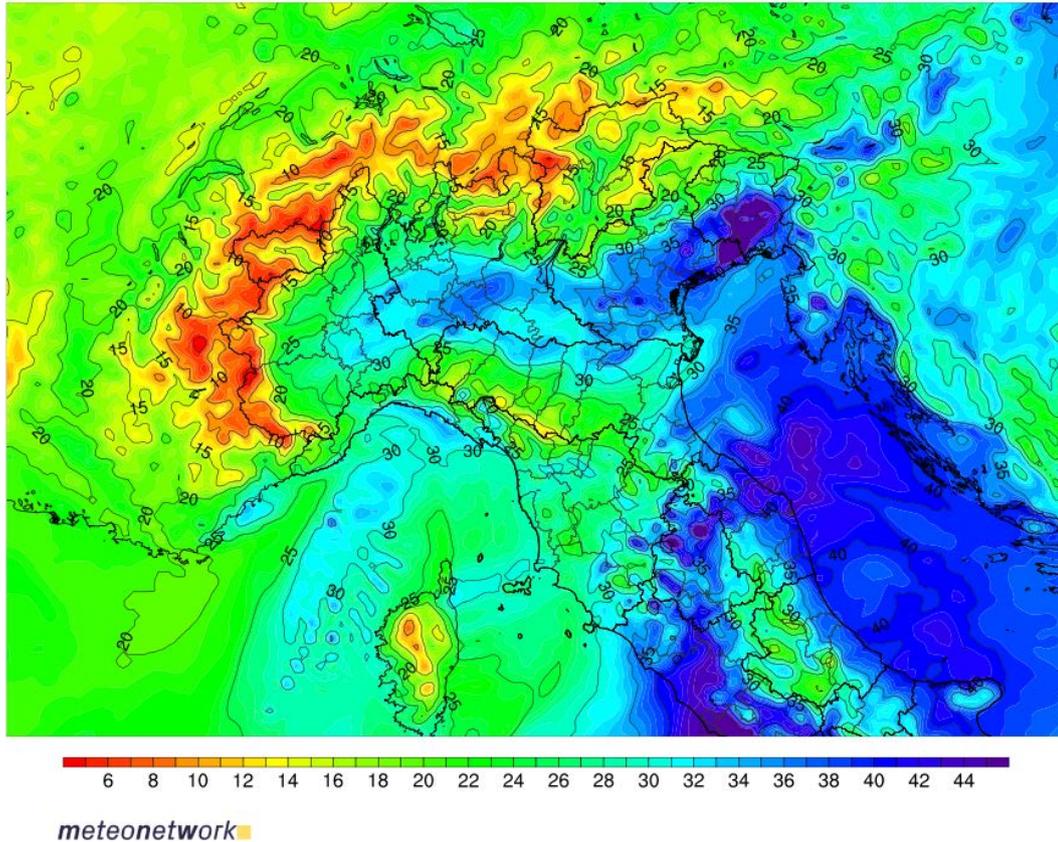


Fig. 2.1 - Previsione dei valori di PWAT in mm ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.1 è riportata la previsione da LAM, valida per le ore 14 UTC, del valore di acqua precipitabile (PWAT). Si tratta dello spessore, espresso in questo caso in millimetri, che avrebbe lo strato d'acqua (allo stato liquido) derivante dalla condensazione di tutto il vapore contenuto in una determinata colonna d'aria.

Per la sua determinazione, un primo approccio si basa sulla misura della radiazione solare in corrispondenza della frequenza con massimo assorbimento imputabile al vapore acqueo (nella parte infrarossa dello spettro) e l'intensità che si avrebbe in assenza del gas assorbente. Altri approcci contemplano, invece, l'integrazione dei dati dei radiosondaggi o dei dati forniti dal Sistema di Posizionamento Globale (GPS).

In pratica si ha una prima ipotesi del potenziale di precipitazione al suolo che può fornire la colonna troposferica, anche se occorre sempre tener conto che quasi mai il valore indicato sarà corrispondente all'effettivo accumulo al suolo per via dell'evaporazione più o meno consistente di parte delle precipitazioni durante il percorso dalla base nuvolosa verso il suolo.

La previsione mostra valori di PWAT assai elevati, maggiori di 40 mm, sul Veneto centro-orientale e Friuli, in corrispondenza dell'afflusso caldo e umido di estrazione marittima che da SE invade le suddette zone. Nel contempo valori di PWAT inferiori si notano sull'Emilia per la presenza di masse d'aria più secche nei bassi strati (dry line appenninica). In ogni caso, a esclusione dei rilievi alpini e prealpini per ovvie ragioni legate all'orografia, tutto il Veneto è caratterizzato da valori alquanto elevati, sintomo di aria calda, umida e anche assai instabile.

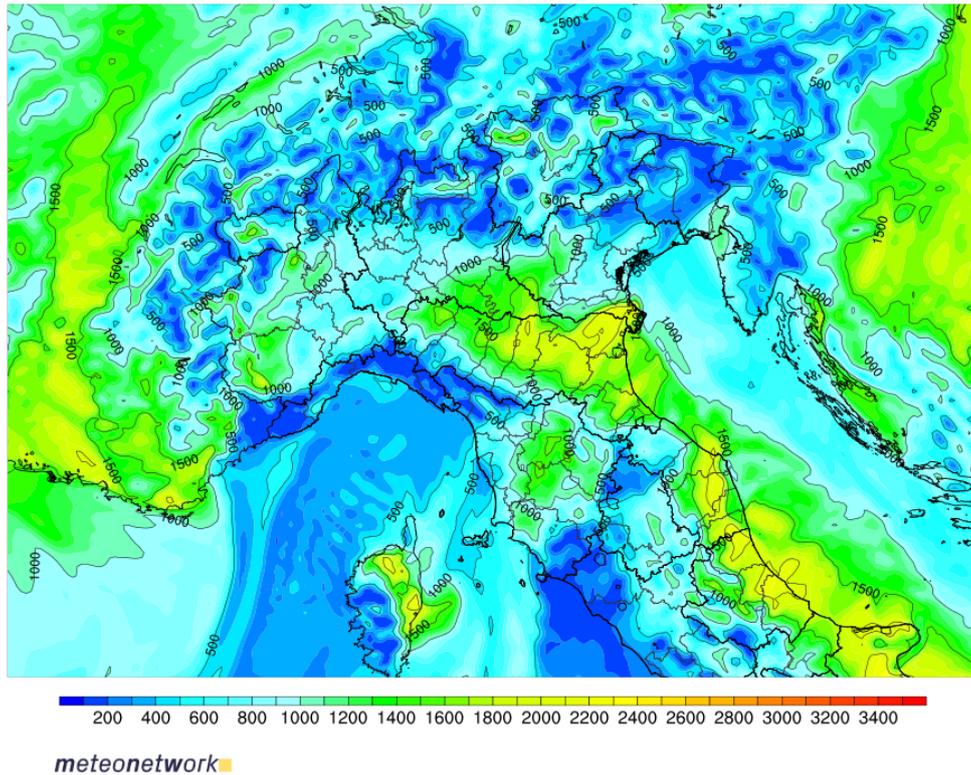


Fig. 2.2 - Previsione dei valori di LCL in m ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.2 è indicata la previsione del livello di LCL per le ore 14 UTC, sempre in base al medesimo modello ad area limitata. LCL rappresenta il livello di condensazione forzata, o Lifting Condensation Level, ovvero la quota in cui una massa d'aria raggiunge la saturazione in seguito al sollevamento forzato dal suolo. Qualora una massa d'aria sia costretta a sollevarsi dal suolo, essa si raffredda con un tasso pari al gradiente adiabatico secco (circa 1°C ogni 100 m), pertanto l'umidità relativa aumenterà, dal momento che il vapore presente sarà rimasto invariato. Il punto in cui l'aria raggiunge la saturazione (umidità relativa pari al 100%) corrisponde al LCL.

Da tale quota l'ulteriore sollevamento causerà una minore diminuzione della temperatura dell'aria (secondo il tasso del gradiente adiabatico saturo, ossia circa 0.6°C ogni 100 m) per via della condensazione stessa poiché, durante il passaggio dell'acqua dallo stato gassoso allo stato liquido, viene liberato calore latente di condensazione. L'aria può essere sollevata in modo forzato dal passaggio di un fronte, di una dry line, dall'interazione con ostacoli orografici, da convergenza di flussi nei bassi strati atmosferici (low level boundary) o da altri fenomeni ancora.

La quota del LCL corrisponde in linea di massima alla base delle nubi cumuliformi, generate da movimenti verticali forzati dell'aria. Più il livello di condensazione forzata sarà basso, tanto più sarà umida l'aria e, quindi, maggiore sarà la probabilità di fenomeni severi. È stato appurato che nei sistemi convettivi a supercella o dai quali si innescano tornado l'altezza del LCL è generalmente più bassa rispetto ad altre strutture temporalesche. Inoltre con LCL molto basso eventuali tornado vanno in "touch-down" più facilmente poiché è alquanto ridotta la distanza tra la base della nube generatrice e il suolo. Nel caso del 14 settembre 2015 la previsione indica una quota di circa 500-600 m (pertanto piuttosto bassa) sul Veneto nord-orientale e in generale in tutte le aree soggette all'afflusso di aria caldo-umida marittima da sud-est (zone in colore azzurro o blu in Fig. 2.2), mentre laddove prevalgono masse più secche da sud-ovest (Emilia e veronese sud-occidentale) la quota si innalza ben oltre i 1000 m.

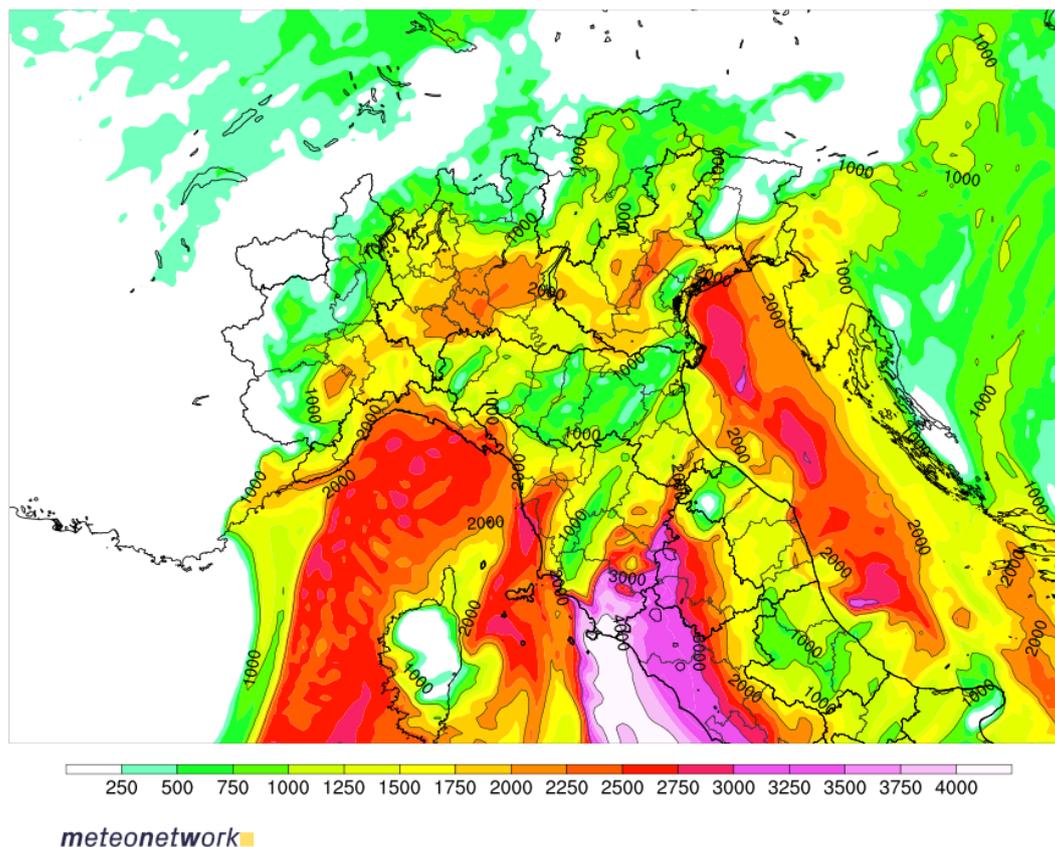


Fig. 2.3 - Previsione dei valori di surface based CAPE in J/kg ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.3 è invece riportata la previsione dei valori di CAPE (surface based) valida sempre per le ore 14 UTC ovvero le ore 16 locali. L'avvezione di aria molto calda si nota anche attraverso questo calore (energia potenziale convettiva disponibile fin dalla superficie del suolo) che nelle ore pomeridiane del 14 settembre 2015 si porta su valori elevati anche in considerazione del periodo stagionale.

L'accumulo nei bassi strati, e in particolare entro il PBL, di masse d'aria calda e molto umida si nota sul bacino dell'alto Adriatico, mentre nel momento in cui entrano nell'immediato entroterra (costa veneziana) i valori si abbassano temporaneamente (aria più calda ma meno umida rispetto a quella sul mare) per poi aumentare nuovamente verso trevigiano e vicentino per l'accumulo (convergenza) di masse d'aria umide lungo il boundary tra venti da WNW e da SE (inizialmente anche con una componente da SW che penetra dal veronese, vedasi Fig. 1.29) che incrementa i moti verticali e, di conseguenza, i valori di SB CAPE (CAPE convergence).

Più a sud, in Emilia, venti meno umidi di foehn appenninico da SW svolgono una funzione parzialmente stabilizzante con riduzione del CAPE su valori inferiori ai 1000 J/kg. In concomitanza a ciò, l'attività convettiva presente sui rilievi alpini favorisce, tramite la discesa verso i bassi strati di aria fredda (outflow/gust front), una flessione dei valori di SB CAPE su buona parte dell'area pedemontana (anche qui sotto i 1000 J/kg).

In sostanza, l'orientamento e la disposizione delle correnti nei bassi strati, specie alla mesoscala (boundary low level convergence e/o outflow boundary), aventi diverse caratteristiche termigrometriche, tendono a delimitare una stretta fascia fra trevigiano e vicentino orientata secondo un asse NE-SW, caratterizzata da una maggiore concentrazione di elevati valori di energia disponibile per la convezione (fino a 2500 J/kg), la quale sarà ampiamente sfruttata nel suo percorso dal sistema convettivo che poi darà origine alla supercella tornadica.

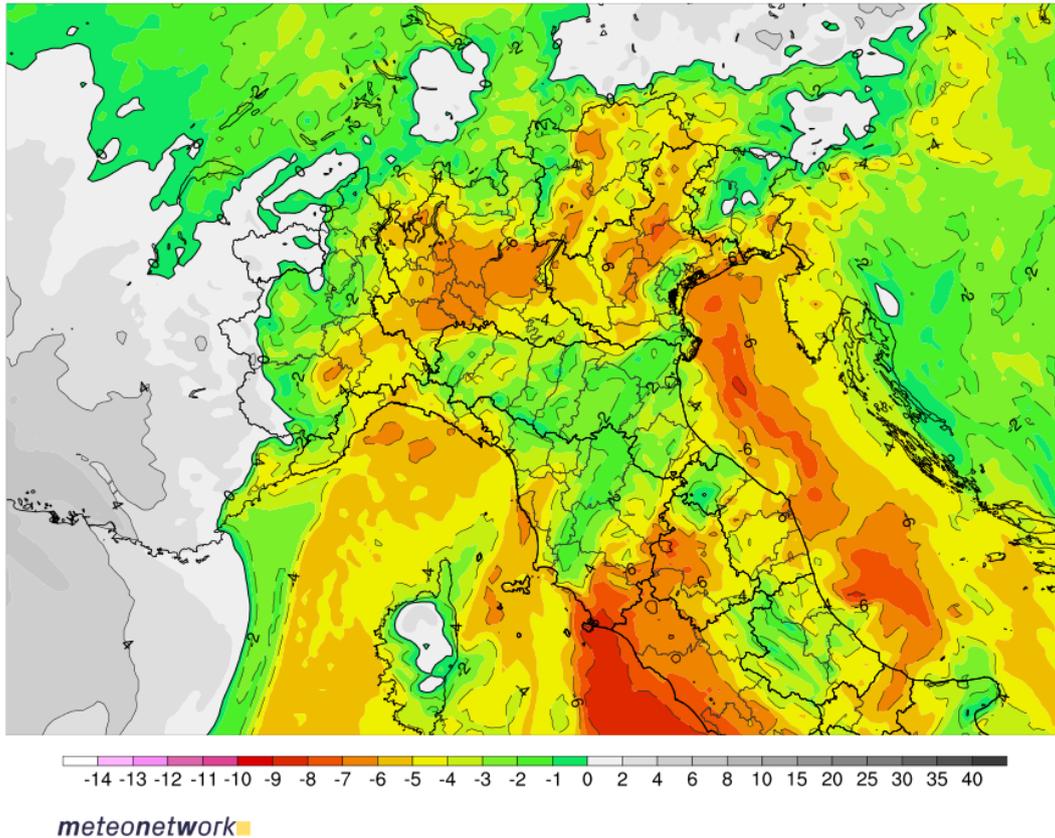


Fig. 2.4 - Previsione dei valori di Lifted Index in °C ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.4 è invece proposta la previsione dell'indice LI (Lifted Index) in °C valida sempre per le ore 14 UTC, ovvero le ore 16 locali. LI è definito come la differenza tra la temperatura sul piano isobarico di 500 hPa in libera atmosfera cui viene sottratta la temperatura che assumerebbe una teorica particella sul medesimo piano isobarico qualora venisse sollevata dal suolo con il metodo particellare.

Valori negativi dell'indice indicano che l'atmosfera è instabile, pertanto più l'indice è negativo più l'atmosfera è instabile. In linea di massima, valori ampiamente negativi di LI, favorevoli quindi a elevata possibilità di fenomeni convettivi, si trovano in situazioni prefrontali o frontali, caratterizzate da brusche variazioni termo-igrometriche in spazi alquanto brevi. In genere valori di LI inferiori a -6°C indicano alta probabilità di temporali severi.

Infatti, pur trattandosi di una previsione, sono mostrati valori di LI prossimi a -6°C , o localmente anche inferiori, tra vicentino e trevigiano, peraltro perfettamente coincidente con l'area caratterizzata da alti valori di SB CAPE visti in precedenza. Ciò conferma un ambiente altamente favorevole all'innescò di convezione profonda e con fenomeni severi.

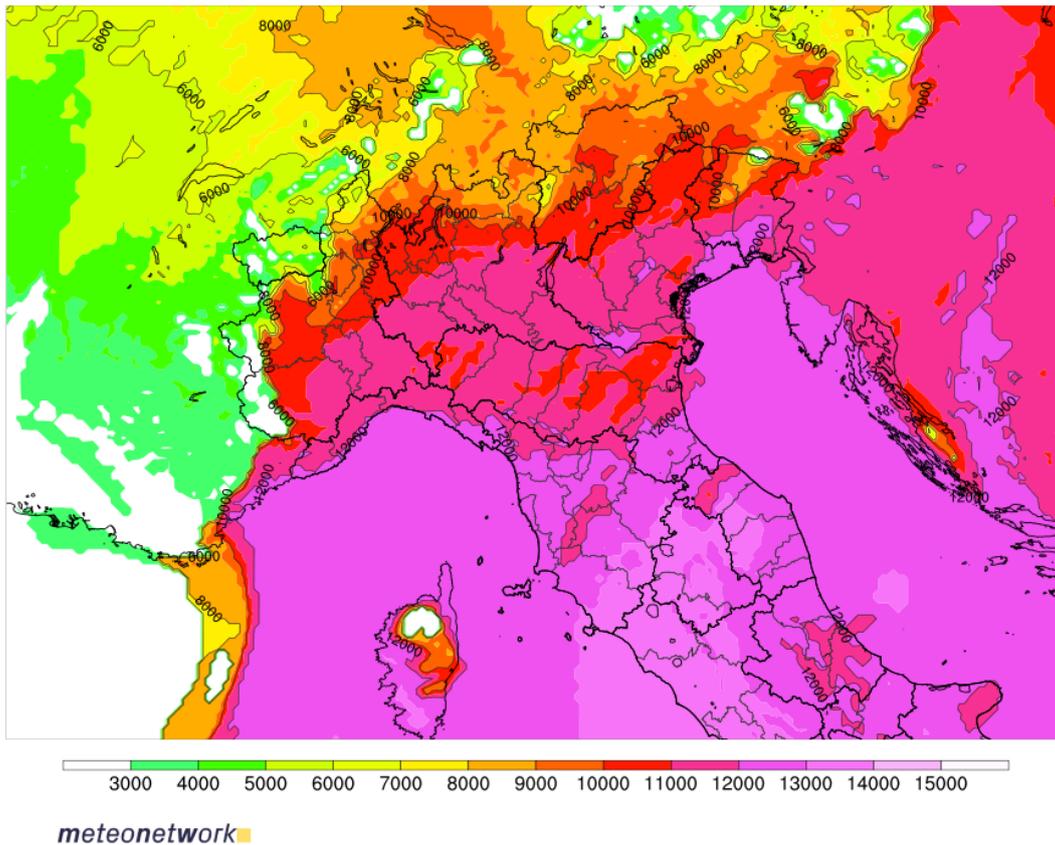


Fig. 2.5 - Previsione dei valori di EL in m ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.5 è raffigurata la previsione dell'altezza di Equilibrium Level (EL) in m riferita alle 14 UTC.

In condizioni di elevata instabilità atmosferica, l'aria può essere sollevata forzatamente o iniziare l'ascesa a causa del forte riscaldamento radiativo diurno. Salendo di quota essa si raffredderà, diventando più calda dell'ambiente circostante appena avrà raggiunto il livello di libera convezione (LFC). In seguito non sarà necessaria un'ulteriore spinta per proseguire il moto verso l'alto, dato che sarà anche meno densa dell'aria in cui si trova (spinta di galleggiamento).

Quando la particella diverrà fredda (e densa) quanto l'aria circostante, venendo meno la spinta di galleggiamento l'ascesa si arresterà, e con essa i processi convettivi generati. A tale quota corrisponde pertanto il livello di equilibrio. L'EL corrisponde grosso modo alla quota in cui si forma la caratteristica "incudine" dei cumulonemi e spesso coincide con il limite della tropopausa. L'aria, non potendo salire ulteriormente, sarà costretta a espandersi orizzontalmente.

Tuttavia, in alcuni casi le correnti ascensionali sono così intense che per inerzia riescono a superare nettamente l'EL sfruttando il livello di "Maximum Parcel Level" (MPL), elevandosi ulteriormente e salendo sopra il livello dell'incudine generando l'overshooting top, evenienza classica dei temporali a supercella.

Nel caso del 14 settembre 2015 si ha una previsione di EL intorno ai 12-13 km sul Veneto e nello specifico nelle zone interessate dai fenomeni temporaleschi più severi, quota alquanto elevata in considerazione del periodo stagionale e tipica delle avvezioni nord africane. L'aria molto calda, infatti, occupa un volume maggiore ed è caratterizzata da un limite della tropopausa sempre assai elevato, a differenza degli afflussi di aria fredda e densa, come si nota in Fig. 2.5 tra Francia e arco alpino occidentale.

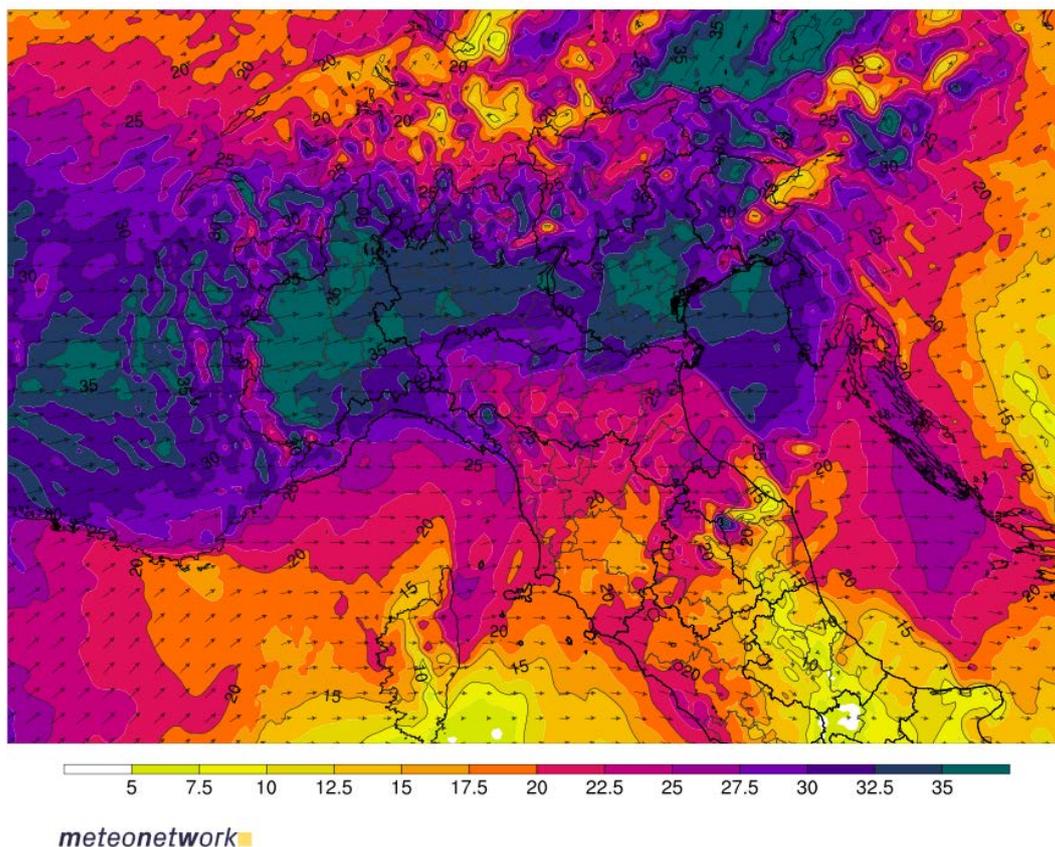


Fig. 2.6 - Previsione dei valori di Bulk shear 0-6 km in m/s ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

In Fig. 2.6 è allegata la previsione, sempre per la stessa ora, del parametro BRN shear 0-6 km in m/s, il quale rappresenta la differenza vettoriale nella velocità del vento tra il livello di 500 m e i 6 km di quota (0-6 km shear vector o Deep Layer Shear - DLS), con dominio sul centro-nord Italia. Si evidenzia che generalmente valori pari o superiori ai 35-40 nodi sono facilmente favorevoli all'innescio di updraft inclinati e rotanti precursori di supercelle e, talora, tornado.

Da rilevare come picchi massimi areali di Bulk shear, intorno ai 35 m/s (pari a quasi 70 nodi), siano attesi sulle pianure del Veneto fino ai primi contrafforti prealpini, a confermare l'elevata predisposizione alla genesi di intensi moti verticali dotati di rotazione e inclinazione. In questo caso appare assai palese la concentrazione di alti valori a nord del Po come conseguenza della dry line appenninica anche se limitata al comparto emiliano, ma soprattutto della convergenza tra i flussi sud-orientali marittimi e nord-occidentali più freddi al suolo sovrastati da intense correnti sud-occidentali alle quote superiori come appurato in precedenza.

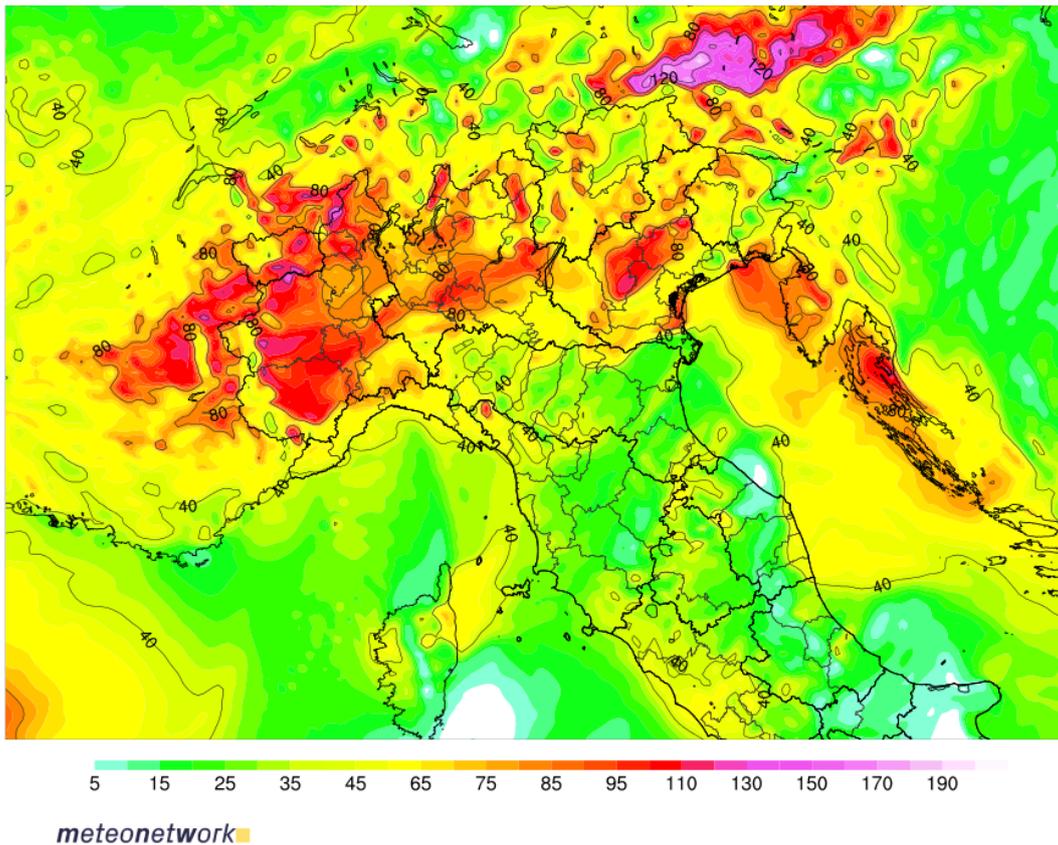


Fig. 2.7 - Previsione dei valori di BRN shear ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Un ulteriore elemento che prende in considerazione il wind shear verticale è rappresentato dal parametro di BRN shear (Fig. 2.7). La soglia minima determinata in letteratura per l'innesco di temporali a supercella e mesocicloni corrisponde a circa $35\text{-}40 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Nel pomeriggio del 14 settembre 2015 si evince una previsione di valori oltre gli $80 \text{ m}^2/\text{s}^2$ sulla fascia pianeggiante compresa tra il vicentino e il trevigiano, sovrapponibile ai massimi di SB CAPE e LI considerati in precedenza.

Tali valori si collocano notevolmente oltre la soglia dapprima definita, pertanto rappresentano un ulteriore indizio sulla elevata predisposizione dei moti verticali (updraft) ad assumere rotazione e inclinazione.

SREH 0-1km (m²/s²)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 15:00z Mon 14 Sep 2015

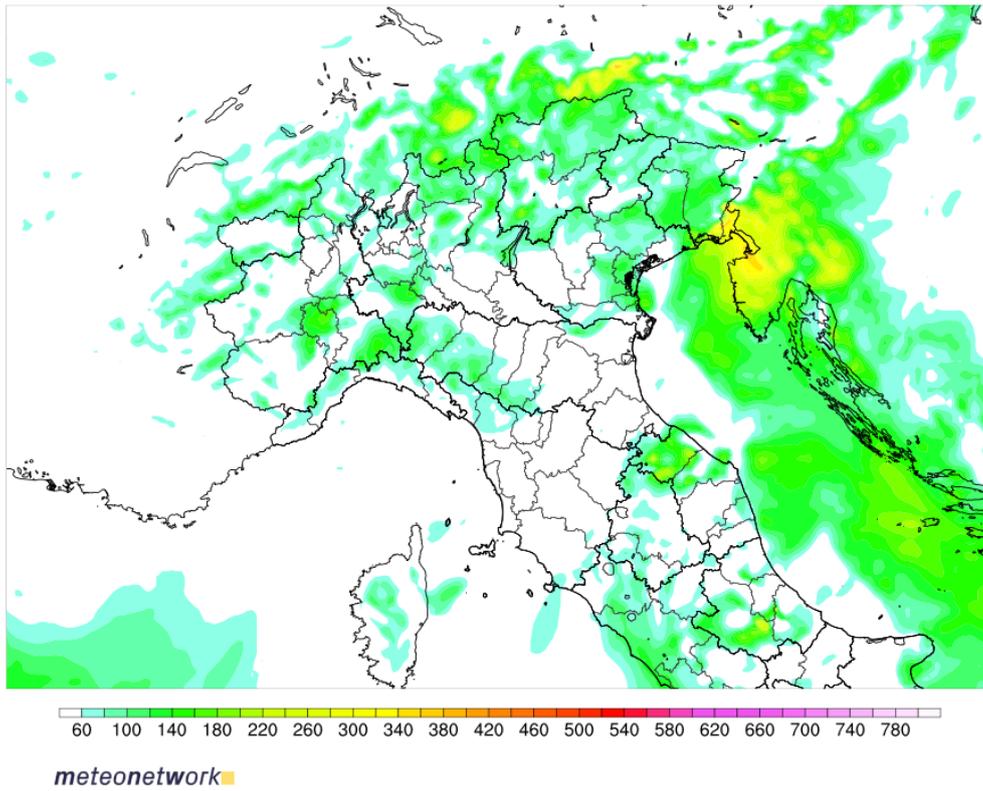


Fig. 2.8 - Previsione dei valori di SREH 0-1 km ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

SREH 0-3km (m²/s²)

init: 00:00z Mon 14 Sep 2015
valid: 15:00z Mon 14 Sep 2015

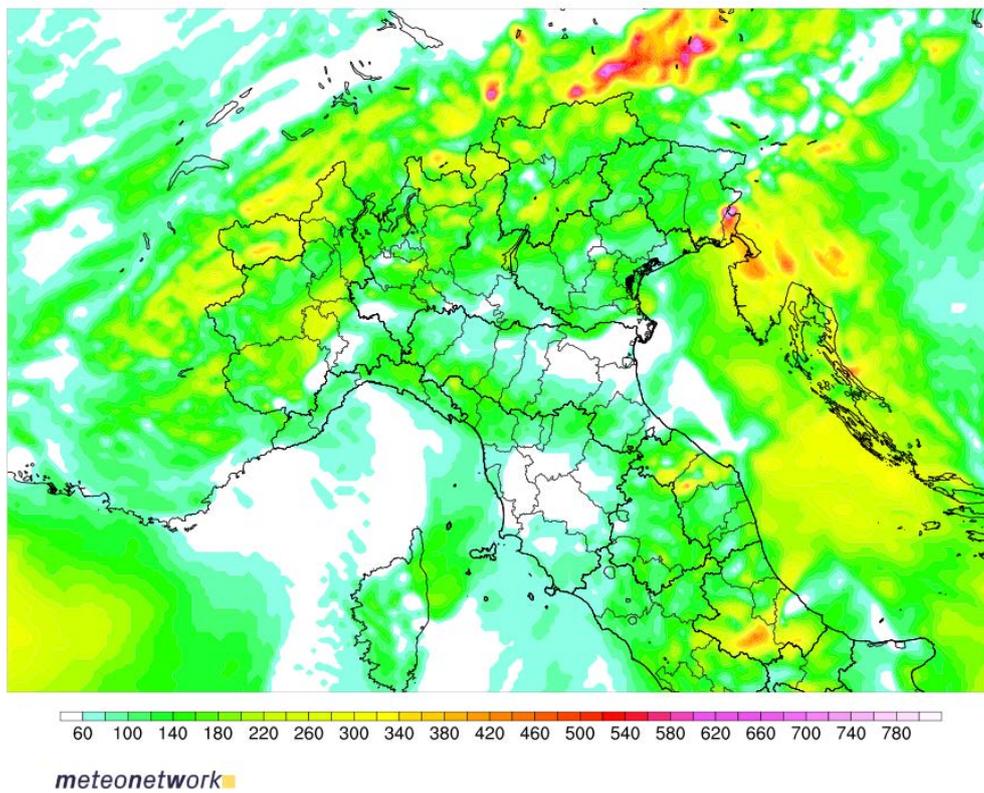


Fig. 2.9 - Previsione dei valori di SREH 0-3 km ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

La correlazione tra updraft e forte wind shear verticale rappresenta un buon elemento prognostico sulla eventualità di intensa e profonda convezione; per tale motivo, supercelle e tornado si associano in genere con elevato shear verticale/elicità e medio-elevato CAPE. Nelle classiche situazioni riguardanti il territorio italiano, in base a numerose analisi di eventi passati, spesso è proprio il primo elemento (wind shear/elicità) ad assumere maggiore rilevanza rispetto al secondo, ovvero stanti condizioni di elevato wind shear verticale, sia speed che directional, possono bastare valori di CAPE non particolarmente elevati per innescare supercelle ed eventualmente tornado.

L'indice SREH (Storm Relative Environmental Helicity) considera l'elicità verticale del vento, cioè la tendenza del flusso aereo in salita, in atmosfera molto instabile, ad assumere componente di moto rotatoria: essa è indotta quasi sempre dal wind shear verticale, dalla divergenza in quota e dalla convergenza al suolo (eventuale mesociclone). L'elicità è uno strumento alquanto indicativo nello stimare il rischio di tornado.

SREH individua quindi la componente di moto elicoidale (vorticoso) all'interno degli eventuali updraft tra due livelli definiti (in genere tra 0-1 e 0-3 km di quota): valori elevati di SREH (da $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$) denotano la possibilità di innesco di mesocicloni e supercelle, mentre oltre $300 \text{ m}^2/\text{s}^2$ è molto probabile lo sviluppo di tornado mesociclonici anche severi.

Nelle mappe delle Fig. 2.8 e Fig. 2.9 è proposta la previsione, per le ore 15 UTC, dei parametri di SREH 0-1 km e 0-3 km, con valori che in entrambi i casi, sul Veneto, superano i $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ corrispondenti a medio-alta probabilità di tornado mesociclonici. Tuttavia in una limitata area sull'alto Veneto è previsto un picco di oltre $300 \text{ m}^2/\text{s}^2$, vale a dire elevata probabilità di tornado severi (oltre EF3).

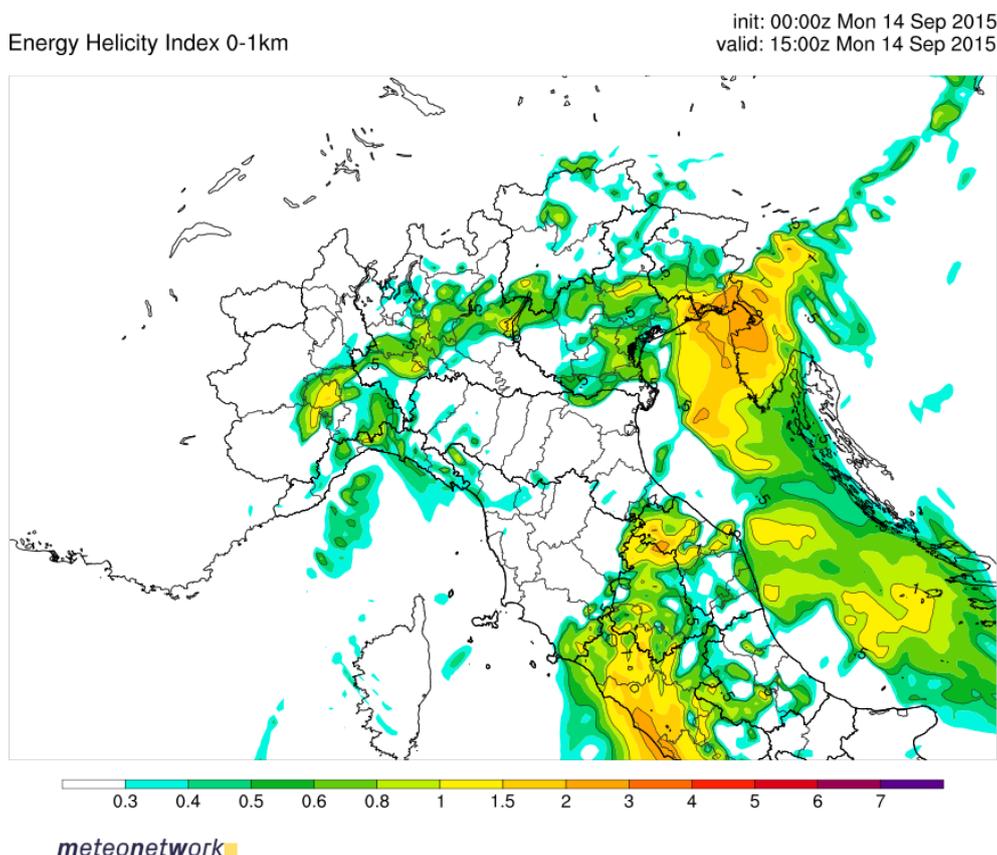


Fig. 2.10 - Previsione dei valori di EHI 0-1 km ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Per quanto concerne l'indice composito Energy Helicity Index (EHI), esso è rappresentato in Fig. 2.10 in base alla previsione per le ore 15 UTC.

Tale indice viene calcolato attraverso la formula: $EHI = CAPE * SRH/160000$

Con valori dell'indice EHI 0-1 km superiori a 1 si considera la possibilità di supercelle; tra 1 e 5 possibili tornado; superiori a 5 possibili tornado severi (oltre EF3).

Per il pomeriggio si notano valori massimi sul Veneto di circa 1-1.5 corrispondenti a rischio di tornado anche se non severi, con massimi areali sul trevigiano.

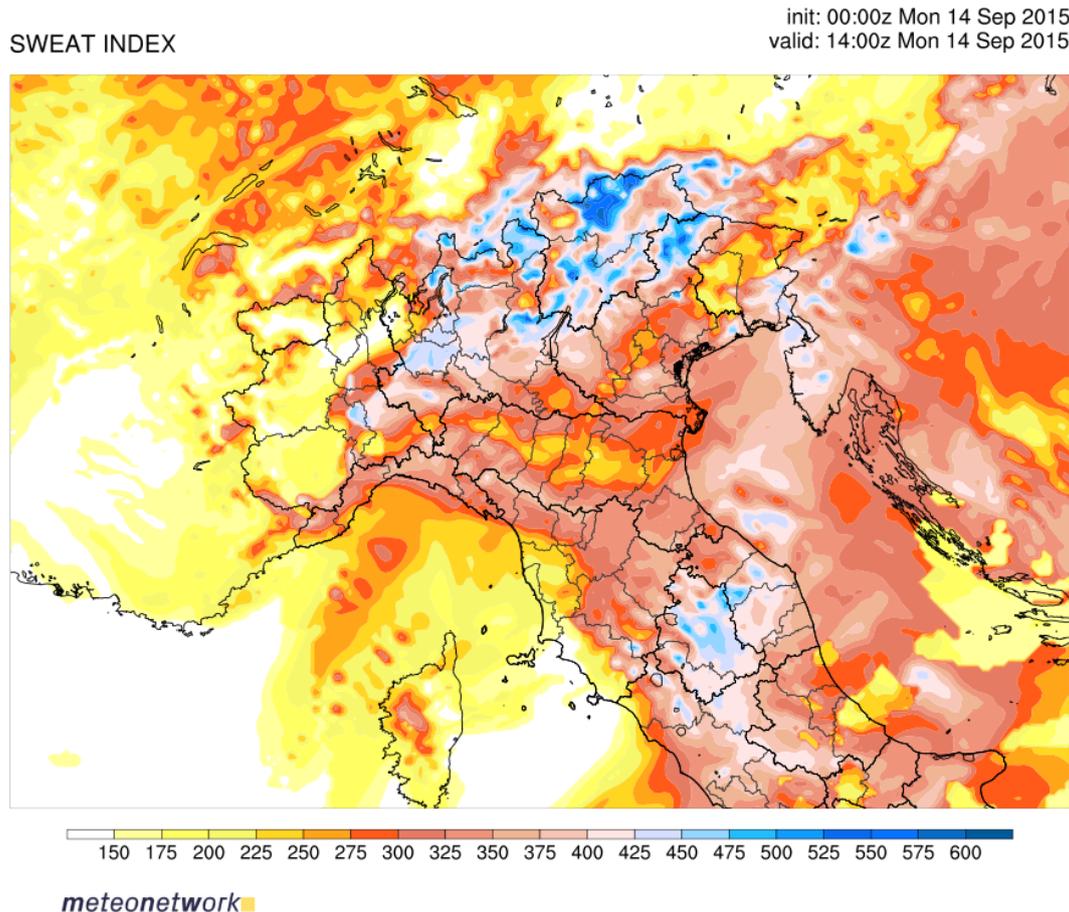


Fig. 2.11 - Previsione dell'indice SWEAT ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Nella mappa di Fig. 2.11 è mostrata la previsione dell'indice SWEAT (Severe Weather Threat Index), per le ore 14 UTC, il quale annovera una commistione tra valori termici e soprattutto parametri di wind shear. In tale contesto la previsione mostra picchi di oltre 300, valore piuttosto elevato che presuppone un medio-alto rischio di tornado, in quanto da letteratura è stato individuato che il valore soglia di 300 è favorevole per severi temporali, mentre la soglia di 400 è indicata come rischio di tornado.

In Italia tale valore è molto meno attendibile essendo la maggior parte dei vortici non associati a supercelle oppure a supercelle che presentano dinamiche d'innescio leggermente diverse rispetto a quelle americane (in generale maggiore wind shear, sia directional che speed, e minore CAPE in confronto agli USA). In genere, le trombe d'aria italiane si osservano nel range SWEAT 250÷350 e solo in qualche caso intorno ai 400. Nella fattispecie il valore previsto è comunque ampiamente compreso nella soglia di rischio.

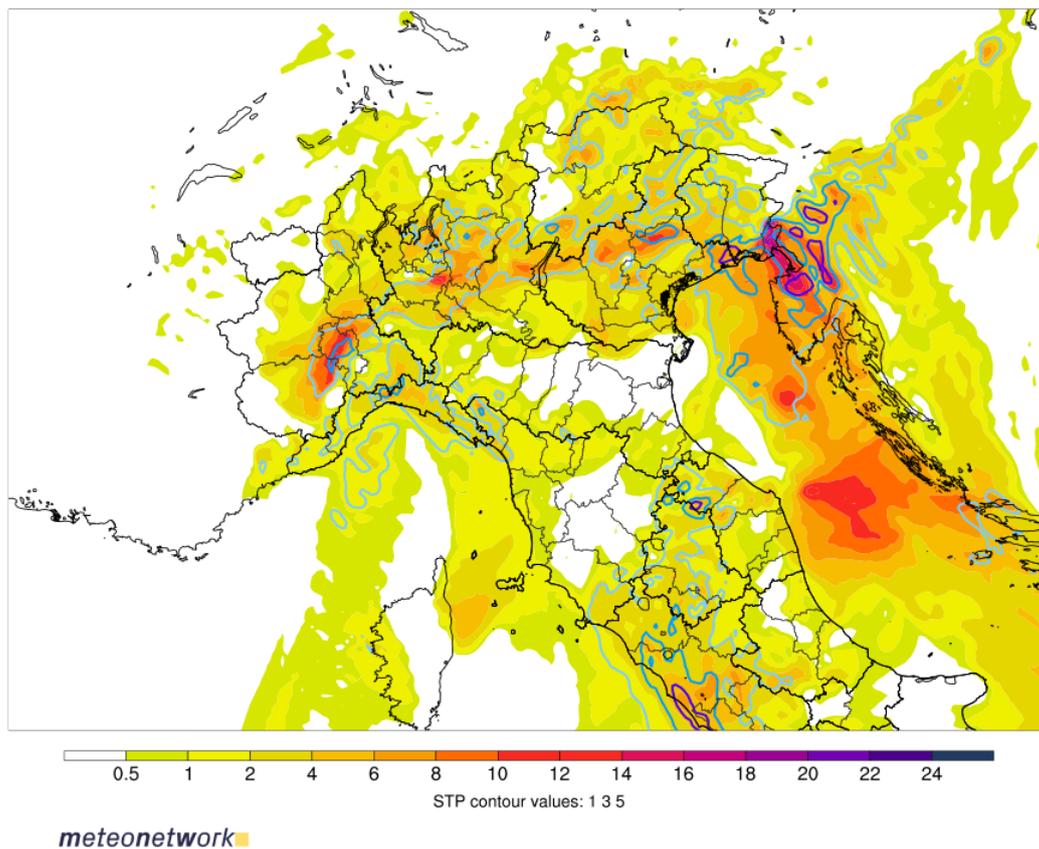


Fig. 2.12 - Previsione degli indici composti SCP e STP ore 15 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Si riportano in Fig. 2.12 gli indici composti Supercell Composite Parameter (SCP) e Significant Tornado Parameter (STP) e validi come previsione per le ore 15 UTC. In generale, alti valori di SCP e STP indicano un'elevata probabilità di supercelle (SCP) con possibilità di tornado mesociclonici (STP).

Nella mappa in oggetto si notano picchi di SCP fino a 12 sulla pianura immediatamente a sud dei rilievi alpini e prealpini delle province di VI e TV: considerato che già un valore di SCP uguale o superiore a 1 rivela la possibilità di temporali a supercella, picchi di tale grandezza sono caratteristici di rischio alquanto elevato.

Anche il parametro STP (nei contorni in colore azzurro) evidenzia un ambiente favorevole all'innescio di tornado mesociclonici sulla medio-alta pianura veneta, con particolare riferimento all'area compresa tra vicentino e trevigiano.

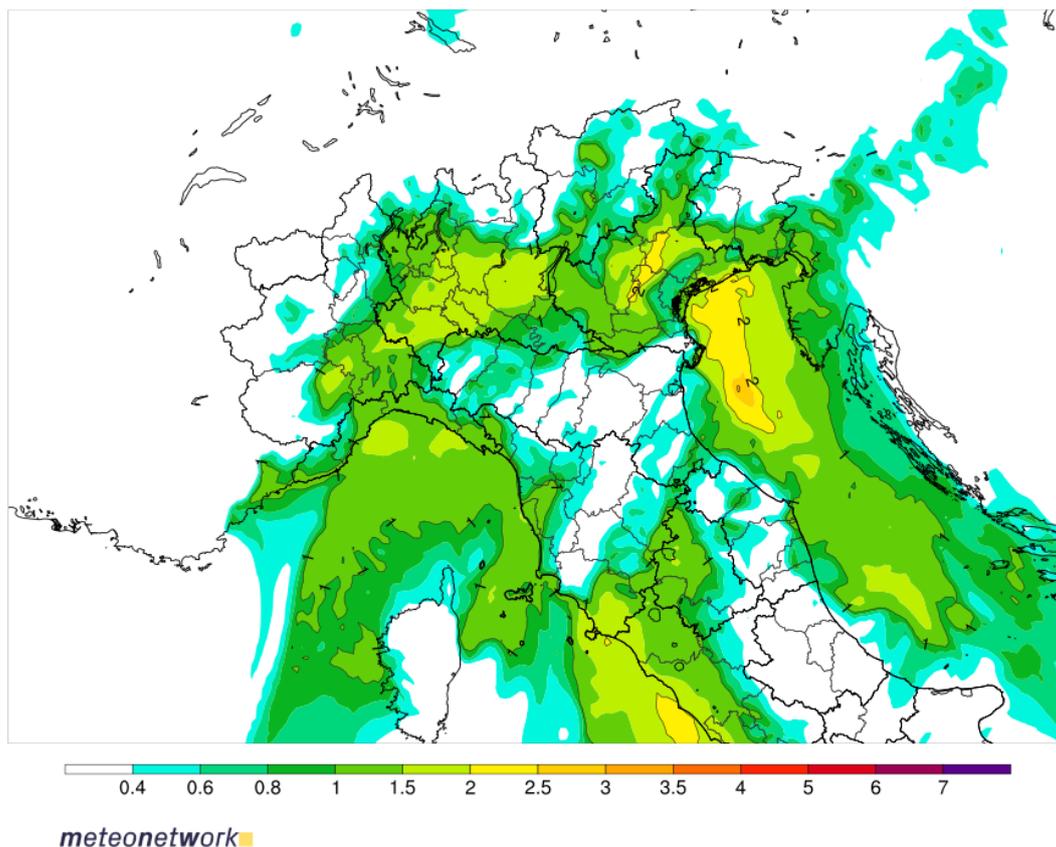


Fig. 2.13 - Previsione dell'indice SHIP ore 14 UTC. Fonte: WRF Meteonetwork

Il parametro composito SHIP (Significant Hail Parameter) è stato sviluppato in origine utilizzando un ampio database di radiosondaggi in concomitanza a eventi di grandine osservati. Si basa su 5 parametri e ha lo scopo di delineare le condizioni favorevoli a significativi episodi di grandine (significativa ≥ 3 cm diametro e non significativa < 3 cm diametro).

È importante osservare che lo SHIP index non rappresenta una previsione della dimensione dei chicchi di grandine.

Sviluppato in modo simile ai parametri SCP e STP, i valori di SHIP superiori a 1 indicano un ambiente favorevole per eventi di grandine. Valori superiori a 4 sono considerati molto alti e con elevato rischio di grandine, anche di grosse dimensioni. In sostanza i valori di SHIP maggiori di 1.5-2 sono in genere presenti quando vi è caduta di grandine significativa al suolo.

Nel pomeriggio del 14 settembre (Fig. 2.13) i valori previsti di SHIP si inquadrano in un range compreso tra 1 e 2 tra vicentino e trevigiano, in una zona nella quale altri parametri di instabilità mostravano i picchi areali, e quindi a elevato rischio di fenomeni severi; prova ne sia che, oltre al tornado osservato, furono segnalati eventi di grandine anche intensi con gravi danni alle colture, fattore perfettamente compatibile con le condizioni di wind shear verticale molto favorevoli all'innescio di convezione profonda con updraft inclinati e dotati di rotazione.

2.2 Analisi del radiosondaggio e dell'odografo reale

Si considera, per l'evento in esame, il lancio delle ore 12 UTC di Udine (16044 LIPD) del 14 settembre 2015. I dati ottenuti dalla radiosonda sono stati elaborati tramite il software RAOB (vers. 6.8) mediante un diagramma aerologico denominato Skew T-ln p, avente come coordinata verticale la pressione in scala logaritmica, tra il suolo e il livello di 100 hPa, mentre sulle ascisse sono riportati i valori della temperatura. Le isoterme sono inclinate di 45° verso destra rispetto alle linee orizzontali della pressione. L'andamento della temperatura con la quota è indicato dalla linea rossa continua (curva di stato). La linea tratteggiata blu più a sinistra rappresenta il dew point (temperatura di rugiada), ovvero la temperatura Td fino alla quale occorre raffreddare, a pressione costante, una massa d'aria a temperatura T per condurla a saturazione e in seguito a condensazione (Fig. 2.14).

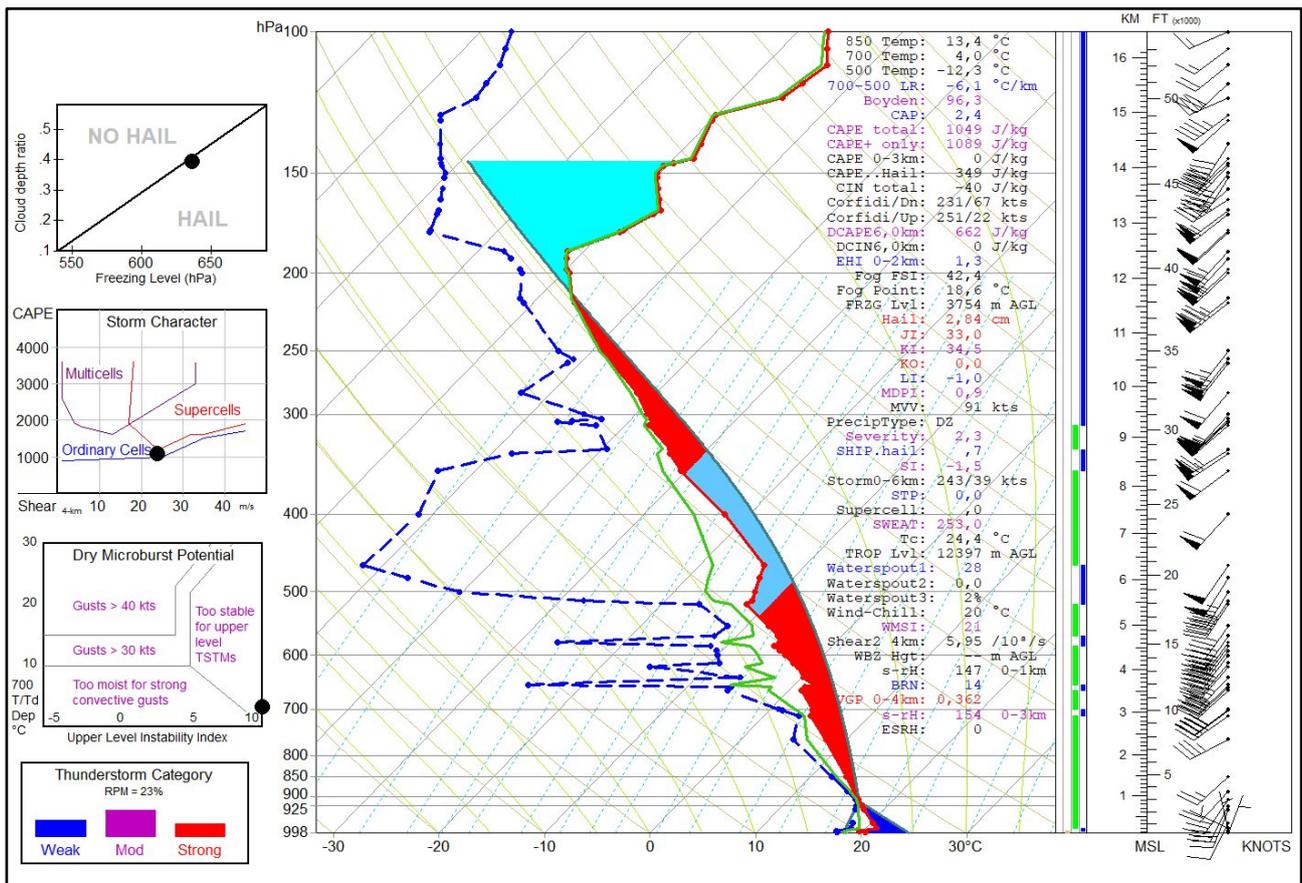


Fig. 2.14 - Radiosondaggio di Udine del 14 settembre 2015 delle 12 UTC, elaborato con il software RAOB.

In primo luogo si evidenzia un'instabilità solo moderata (almeno in relazione al potenziale per updraft ben organizzati) con il surface CAPE a 1049 J/kg e il Lifted Index pari a -1°C. Tuttavia l'estensione del suddetto CAPE occupa uno spessore assai profondo spingendosi fino al piano isobarico di 220 hPa circa. In pratica, l'area del CAPE appare molto estesa in altezza ma poco "spessa" o, gergalmente parlando, "CAPE magro".

Il cosiddetto CAPE "magro" non supporta in genere convezione di tipo esplosivo, come nel caso di maggiore quantità di energia disponibile concentrata negli strati troposferici medio-bassi (CAPE "grasso"), tuttavia, nel caso di sollevamento forzato come accade a esempio per l'approssimarsi di fronti, la convezione stessa può divenire profonda e prolungata fino a quando non è transitato il fronte stesso. Occorre tuttavia precisare che il basso valore di CIN, -40 J/kg, testimonia una scarsa inibizione all'innesco della convezione, legata peraltro all'approssimarsi del fronte freddo da ovest.

L'indice DCAPE (Downdraft Convective Available Potential Energy) nello strato 0-6 km riporta un valore di 662 J/kg (livello moderato) implicando la presenza di aria secca nella media troposfera, anche se in questo caso più evidente dai 5500 m circa (piano isobarico di 500 hPa). DCAPE identifica l'incremento di energia cinetica che risulta dal raffreddamento evaporativo nella corrente discendente del temporale, perciò valori medi del suddetto indice stimano un medio rischio di intensi downdrafts e di forti raffiche di vento al suolo.

In presenza di aria secca nella media troposfera, le correnti di outflow in uscita dal temporale tendono a innescare più rapidamente mesocicloni di basso livello grazie all'incremento della vorticità verticale lungo il gust front avanzante. Lo stesso gust front poi, separandosi dall'updraft, indebolirà il mesociclone nei bassi strati per l'interruzione del flusso di inflow. In questo caso occorre tuttavia ribadire che l'indice si è collocato su valori solo moderati (> 600 J/kg) per la maggior presenza di aria secca verso l'alta troposfera, quantomeno sulla verticale di Udine.

Il valore di K index, pari a 34.5, non è considerato foriero di attività temporalesca severa ma solo moderata, mentre LI appare limitato a un modesto -1°C. Tali parametri non indurrebbero in linea di massima a formulare una previsione di attività convettiva severa, tuttavia, analizzando i parametri di wind shear negli strati troposferici medio-alti si possono cogliere aspetti maggiormente caratterizzanti.

Si nota infatti un sensibile rinforzo dei venti da SW dal piano isobarico di 700 hPa verso l'alta troposfera, con valori massimi fino a 76 nodi (140 km/h) tra i livelli isobarici di 300 e 200 hPa (corrente a getto sud-occidentale), strutturando quindi un deciso speed wind shear tra bassa e alta troposfera. In genere un simile profilo verticale del vento è maggiormente incline all'innescio di sistemi a multicella (odografo molto "stirato" e poco "curvo"). In base al radiosondaggio analizzato, infatti, appaiono modesti i parametri di directional wind shear nei bassi strati, con venti deboli a orientamento variabile nel thickness 0-1 km.

In linea di principio, per l'innescio di sistemi a supercella è necessaria una più significativa rotazione oraria del vento con la quota, principalmente nei bassi strati, che nel radiosondaggio in oggetto manca. Tuttavia è assai probabile che proprio nei bassi strati, o quantomeno entro il PBL, il radiosondaggio delle 12 UTC, peraltro riferito alla località di Udine, non sia esattamente rappresentativo delle condizioni effettivamente venutesi a creare in loco, specie in considerazione di forzanti locali o alla mesoscala in caso di situazioni prefrontali, laddove l'organizzazione dei flussi in prossimità del suolo può essere assai diversificata su distanze particolarmente brevi.

Infatti, l'analisi dei dati di vento effettivamente rilevati al suolo mostra un più deciso flusso orientale o sud-orientale che interessava, nelle prime ore del pomeriggio, la pianura veneta. In questo caso sarebbero maggiormente soddisfatte le condizioni riguardanti una più netta rotazione oraria con la quota del vento in bassa troposfera, il che farebbe presupporre condizioni localmente più idonee all'innescio di temporali a supercella.

Tra gli indici che prendono in considerazione il wind shear, sebbene in forma meno analitica, troviamo lo SWEAT index pari a 253 (range SWEAT 250÷350 con qualche caso intorno ai 400 per i fenomeni vorticosi sulla nostra penisola come da ampia letteratura).

Normalmente, nella climatologia dei fenomeni vorticosi italiani, qualora non si sia in presenza di PBL estremamente caldi nel periodo pienamente estivo e in Pianura Padana dopo avvezioni nord-africane o comunque sub-tropicali, il ruolo principale viene spesso assunto dal wind shear a svantaggio del CAPE, che raramente si porta, verso la fase di decadenza del periodo estivo, su valori particolarmente significativi.

Nel nostro paese, con molta probabilità, l'instabilità termodinamica non è così importante come in altre zone, es. Europa continentale o in qualche caso Pianura Padana, mentre un ruolo importante è certamente ascrivibile all'orografia e alla geografia (inclusi i profili costieri), che sono ancora poco analizzate e che potrebbero riservare interessanti sorprese.

Tornando al radiosondaggio del 14 settembre 2015, il riquadro dello “storm character” (al centro a sinistra nella Fig. 2.14) nell'elaborazione RAOB, restituisce una maggiore probabilità di celle ordinarie ma collocata vicino al campo di possibili supercelle, probabilmente per lo scarso directional wind shear in bassa troposfera, e in parte per il non particolarmente elevato ammontare del CAPE.

La temperatura di innesco o convettiva (T_c) è la temperatura che si ottiene comprimendo adiabaticamente l'aria presente al livello di CCL fino a raggiungere quello del suolo. T_c è la temperatura cui deve arrivare lo strato d'aria prossimo al suolo affinché possa raggiungere per ascendenza adiabatica il livello di condensazione convettiva (CCL), senza forzanti dinamiche (es. convergenza di venti nei livelli inferiori). Più è alto il livello di CCL e maggiore risulterà la temperatura convettiva.

Nei radiosondaggi la temperatura convettiva viene individuata partendo dal valore di temperatura di rugiada in superficie; da esso si segue la curva del rapporto di mescolanza fino al punto di intersezione con la curva di stato. Tale punto rappresenta il livello isobarico di CCL. Una volta individuato il CCL, si prosegue verso il basso lungo la curva adiabatica secca fin quando essa intersecherà la pressione di superficie. Il valore termico del punto di intersezione indica la temperatura convettiva. La temperatura convettiva nel radiosondaggio del 14 settembre 2015 risulta, su Udine, di 24.4°C, un valore del tutto raggiungibile tenendo anche presente che in questi contesti assume particolare importanza il fatto che essa venga raggiunta con l'effettivo riscaldamento diurno, particolarmente sensibile in considerazione dell'avvezione di aria subtropicale in atto davanti alla saccatura avanzante da ovest in medio-alta troposfera.

La presenza di una massa d'aria vicina alla saturazione tra il suolo e 900 hPa determina livelli LCL, LFC e CCL posti a quota alquanto bassa. I dati rilevati mostrano un livello di condensazione per sollevamento convettivo (CCL) a una quota di circa 900 metri, tuttavia le nubi formate da azioni di sollevamento forzato (rilievi, linee di convergenza, outflow boundary, dry line ecc.) avranno base alla quota di 400-500 metri circa, prossima al livello di condensazione forzata (LCL). Conseguentemente, il sollevamento delle masse d'aria si stima possa verificarsi più a opera delle forzanti al suolo rispetto alla spinta di galleggiamento, pertanto si ritiene che la quota effettiva alla quale si è formata la base delle celle convettive si sia posizionata più vicino a quella di LCL, per cui alquanto bassa, e anche in questo caso incline all'innesco di fenomeni di forte intensità.

Da rilevare, inoltre, uno strato di aria secca dal piano isobarico di 500 hPa a quello di 300 hPa, evidenziando quindi un set-up tipico di forte attività convettiva con elevata probabilità di grandine (hail parameter fino a 2.84 cm) e downburst (WMSI = 21). Peraltro, con l'approssimarsi della saccatura in quota, si nota un inizio di trasmissione verso i livelli inferiori, sebbene in forma non omogenea, di aria parimenti più secca: di norma ciò precede di poco il transito di un fronte freddo.

In sostanza, pur con le dovute diversificazioni inerenti essenzialmente l'energia convettiva potenziale disponibile, l'evento è stato caratterizzato da condizioni di speed wind shear di rilievo tra bassa e alta troposfera, forzate sia a scala sinottica che alla mesoscala (saccatura nel campo di geopotenziale in media e alta troposfera con fronte freddo annesso in ingresso da ovest; moderato low level jet meridionale in ambiente prefrontale; aria molto umida e prossima alla saturazione nei bassi strati ed entro il PBL).

Occorre tuttavia sottolineare come, a differenza di quanto desumibile dal radiosondaggio effettivo, sia estremamente probabile che le condizioni di directional wind shear positivo nei bassi strati (0-1 km) siano state ben presenti nelle aree di innesco dei fenomeni. Ciò conferma quanto evidenziato in precedenza, ovvero la presenza di un forte segnale predittivo per tornado di origine mesociclonica, anche in contesti termodinamici non particolarmente esasperati, qualora siano spiccatamente elevati i parametri di wind shear direzionale e in velocità.

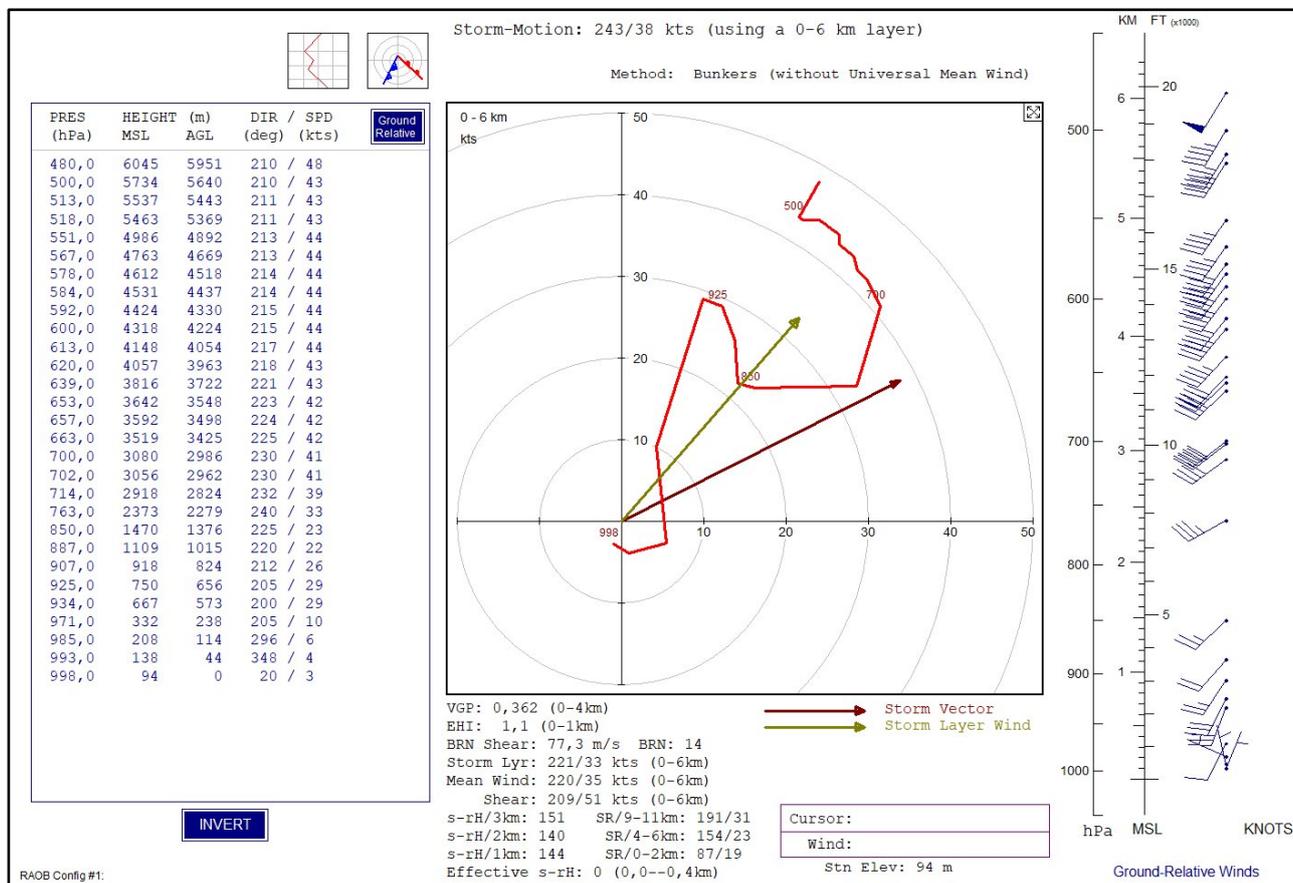


Fig. 2.15 - Odografo relativo al radiosondaggio di Udine del 14 settembre 2015 delle 12 UTC, elaborato con RAOB.

Passando all’odografo effettivo suolo-500 hPa delle ore 12 UTC sempre inerente la località di Udine (Fig. 2.15) si nota un profilo verticale del vento “stirato” con un flusso sud-occidentale sopra il PBL per l’avanzamento della saccatura in media troposfera, il quale si colloca stabilmente intorno ai 40 nodi. Nei bassi strati si osserva una rotazione delle correnti tra NNE e NW ma con debole intensità (prossima ai 5 nodi) e probabilmente legata a effetti locali (orografia). Tale circolazione settentrionale occupa i primi 250-300 m ed è caratterizzata da una piccola inversione termica tra i livelli isobarici di 990 e 985 hPa (vedasi anche Fig. 2.14).

In questa fase il profilo dell’odografo sarebbe più tipico dei sistemi multicellulari, tuttavia l’innesco di temporali a supercella non obbedisce in modo schematico al classico andamento “stirato” e “curvo”, in particolare sulla nostra penisola laddove, a causa di forzanti di varia natura (orografia, profili costieri, variazioni entro il PBL), l’orientamento dei venti in bassa troposfera può subire repentine modifiche, sia alla mesoscala sia in tempi assai brevi e in forma temporanea. Perciò la distribuzione verticale del vento nei bassi strati sull’areale di Udine potrebbe non essere coincidente e compatibile con quanto occorso nelle zone interessate dal sistema convettivo.

In pratica nell'odografo in esame l'elemento di maggior spicco è rappresentato da un elevato speed wind shear verticale positivo a scapito del directional wind shear che appare limitato agli strati più bassi e con magnitudine modesta.

A tal proposito, nel caso di wind shear "speed" tra media e bassa troposfera, si ha la formazione di un rotore orizzontale, come illustrato in Fig. 2.16 (a). Quando si sviluppa una corrente convettiva (updraft), (b), il rotore orizzontale viene raddrizzato dalla corrente ascensionale e in questo modo viene impressa una rotazione all'updraft. Tale rotazione lungo l'asse verticale tuttavia non coinvolge direttamente le aree in vicinanza del suolo, ma essenzialmente la struttura della nube cumuliforme che quindi potrà divenire di tipo supercellulare (c). Quando il sistema convettivo innesca la corrente discendente (downdraft, ovvero (d) in figura) la rotazione potrà a quel punto trasmettersi fino al suolo, "strizzando" il tubo di vorticità verticale e generando quindi fenomeni tornadici di tipo mesociclonico (e).

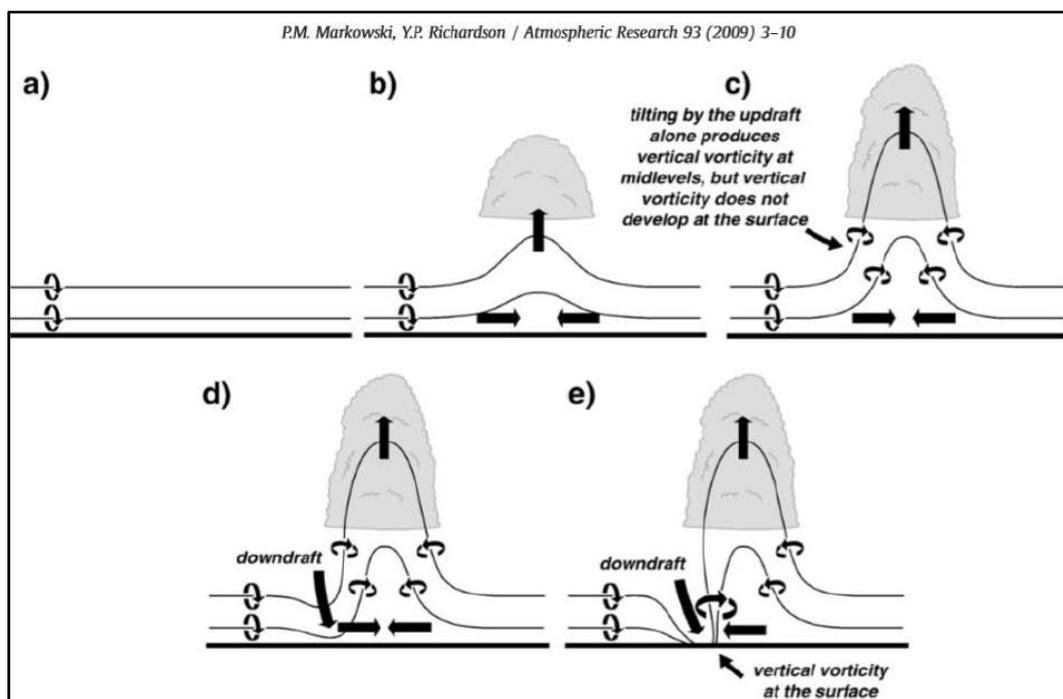


Fig. 2.16 - Ruolo del wind shear "speed" nella tornadogenesi. Fonte: Markowski P. M., Richardson Y. P., 2009: Tornadogenesis: Our current understanding, forecasting considerations, and questions to guide future research. *Atmospheric Research*, **93**, 3-10.

Applicando il metodo Bunkers per il thickness troposferico 0-6 km, si ottiene una stima dello storm motion, per una supercella "right mover" (deviante verso destra), di 243 gradi e 38 nodi, vale a dire direzione di avanzamento verso ENE con velocità di traslazione di 38 nodi (freccia marrone in Fig. 2.15, storm vector). Pertanto, è contemplata la deviazione verso destra rispetto alla direzione del vento medio (mean wind) calcolato nel medesimo spessore, che risulta essere di 220 gradi (NE) con un angolo di deriva di 23 gradi. La velocità di movimento del sistema (38 nodi, circa 70 km/h) appare piuttosto rapida, in una condizione tipica dei valori di storm motion frontali o prefrontali.

Si ricorda che il termine "storm motion" rappresenta la velocità e la direzione di evoluzione del sistema temporalesco risultante sia dal movimento delle celle, regolato in massima parte dal vento medio troposferico tra 0-6 km, sia dalla propagazione/rigenerazione delle celle stesse, le quali possono assumere direzione diversa rispetto a quella regolata dal solo vento medio troposferico.

La freccia verde nel grafico di Fig. 2.15 rappresenta lo storm layer wind, inteso come il vento medio nello spessore occupato dall'ipotetica cella convettiva. In pratica il mean wind viene calcolato sempre su uno spessore standard (in genere 0-6 km), mentre lo storm layer wind può essere calcolato su uno spessore variabile in base all'estensione verticale dell'ipotetica cella. Di conseguenza quest'ultimo raramente coincide con il mean wind, a meno che lo spessore della cella non sia identico a quello dello spessore predeterminato del mean wind. Nel caso in esame lo storm layer wind (221 gradi, 33 nodi) è quasi sovrapponibile al mean wind (220 gradi, 35 nodi).

2.3 Analisi del radiosondaggio e dell'odografo simulato

Per quanto concerne il radiosondaggio simulato per la località di Padova delle ore 12 UTC dal WRF Meteonetwork (Fig. 2.17), si nota un'ottima corrispondenza con quello reale di Udine alla stessa ora, con avvezione di aria secca poco sopra il livello isobarico di 500 hPa, flussi progressivamente più intensi da SW salendo di quota (fino a raggiungere velocità alquanto elevate in media e alta troposfera, incluso il livello del jet-stream) e una corrente nord-orientale nei bassi strati legata alle dinamiche inerenti il PBL.

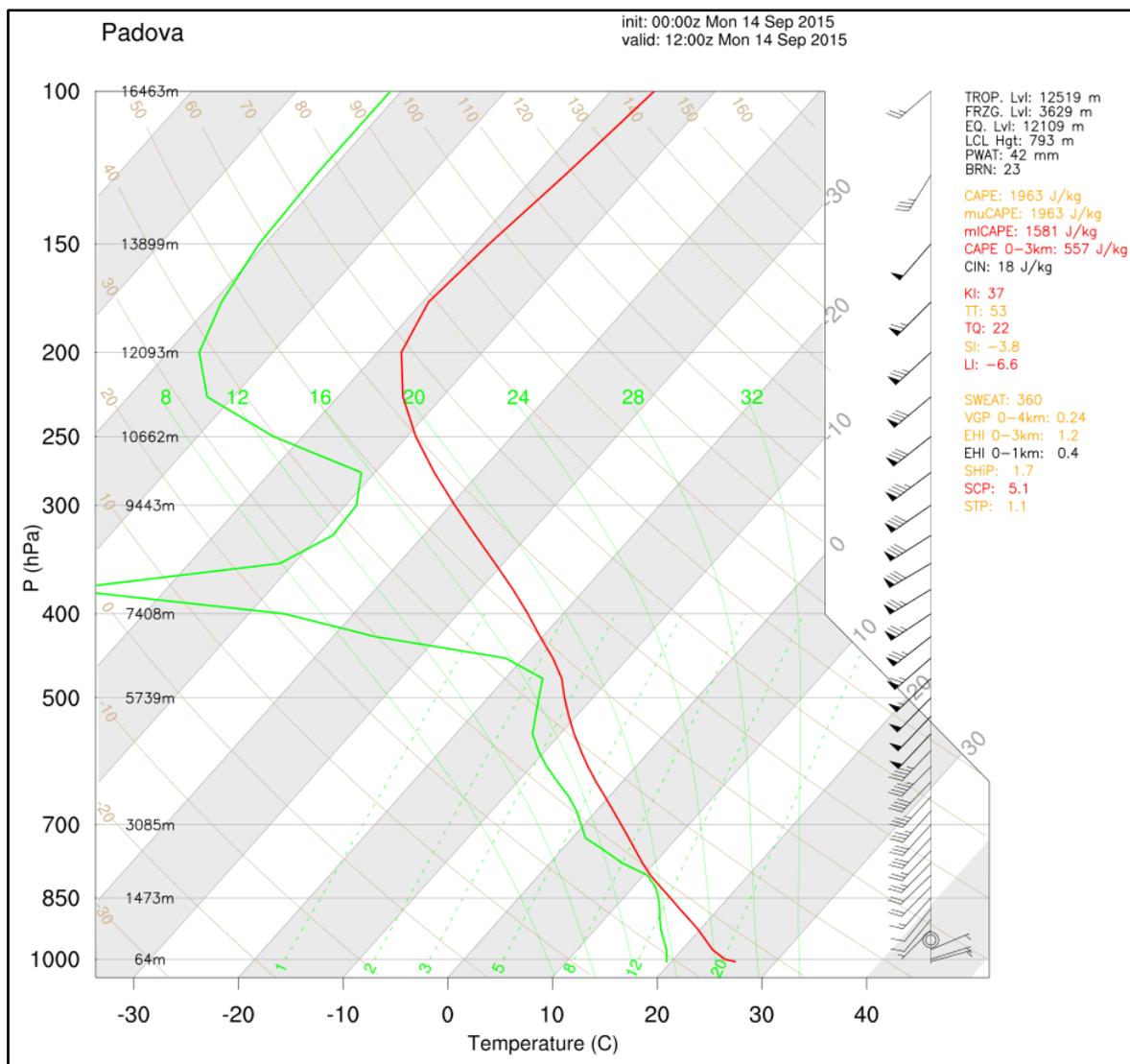


Fig. 2.17 - Simulazione WRF radiosondaggio di Padova ore 12 UTC (fonte Meteonetwork)

Nella simulazione tutti i parametri di CAPE (MU, ML, SB) risultano di magnitudine superiore rispetto a quelli rilevati a Udine alla stessa ora, ma occorre considerare la distanza tra le due località, sottoposte molto probabilmente a dinamiche in bassa troposfera leggermente diverse.

Essendo i fenomeni più vistosi occorsi in una zona grossolanamente equidistante tra le due località, è plausibile che molti aspetti inerenti i parametri termodinamici e di wind shear si siano collocati su un ordine di grandezza “intermedio” tra i due radiosondaggi, quanto meno sopra il livello del PBL.

L’odografo previsto su Padova per le ore 12 UTC, riportato in Fig. 2.18, appare più stirato rispetto a quello di Udine alla medesima ora, con venti sud-occidentali predominanti e con profilo classico dei sistemi a multicella. Solo entro il PBL si nota anche sull’odografo un debole flusso nord-orientale che sostanzialmente corrisponde all’analisi effettuata su Udine (sebbene su quest’ultima località le correnti fossero più settentrionali).

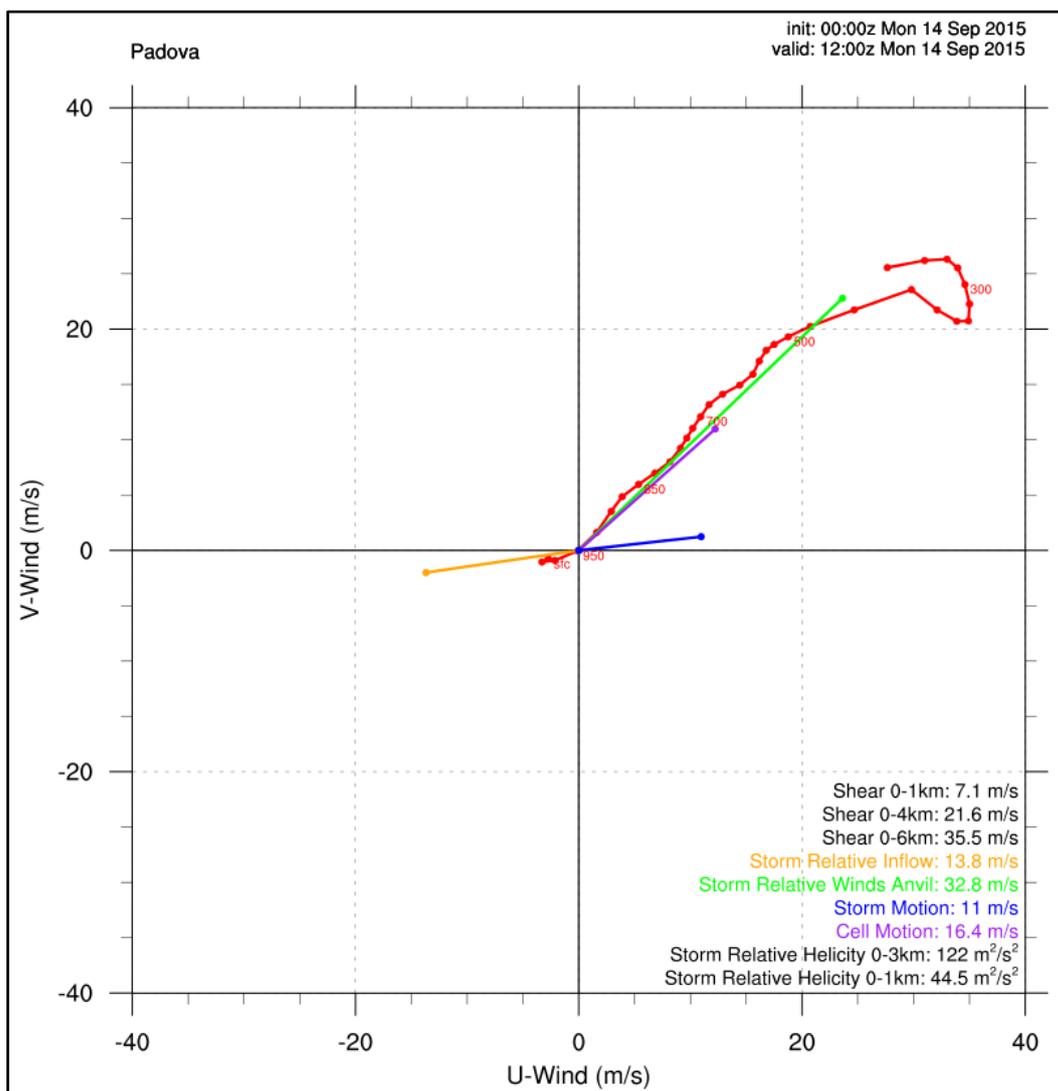


Fig. 2.18 - Simulazione WRF odografo di Padova ore 12 UTC (fonte Meteonetwerk)

Cell motion e storm motion appaiono con velocità maggiore su Udine, sulla quale si nota una componente generale, sulle due grandezze considerate, anche più “meridionale” rispetto alla simulazione per Padova, ma occorre tener presente la posizione delle due località nei confronti della saccatura avanzante, con Udine sottoposta a un flusso medio troposferico leggermente più meridiano.

Il radiosondaggio simulato di Udine delle ore 12 UTC (WRF Meteonetwerk), riportato in Fig. 2.19, evidenzia un buon allineamento rispetto a quello reale già analizzato in precedenza, sebbene non manchi qualche aspetto di interesse. In primo luogo la previsione mostra, per l’ora indicata, un profilo più umido nel layer 700-500 hPa, indicando probabilmente un timing leggermente posticipato rispetto alla realtà nell’avvezione secca in media e alta troposfera.

In altri termini, l'evoluzione della saccatura proveniente da ovest potrebbe aver mostrato una maggior velocità rispetto a una ipotetica previsione, contribuendo quindi, attraverso un forcing più dinamico, a intensificare i fenomeni osservati rispetto a quanto preventivabile, mettendo maggiormente in contrapposizione la massa d'aria calda e umida nei bassi strati con quella più rapidamente fredda e secca in quota.

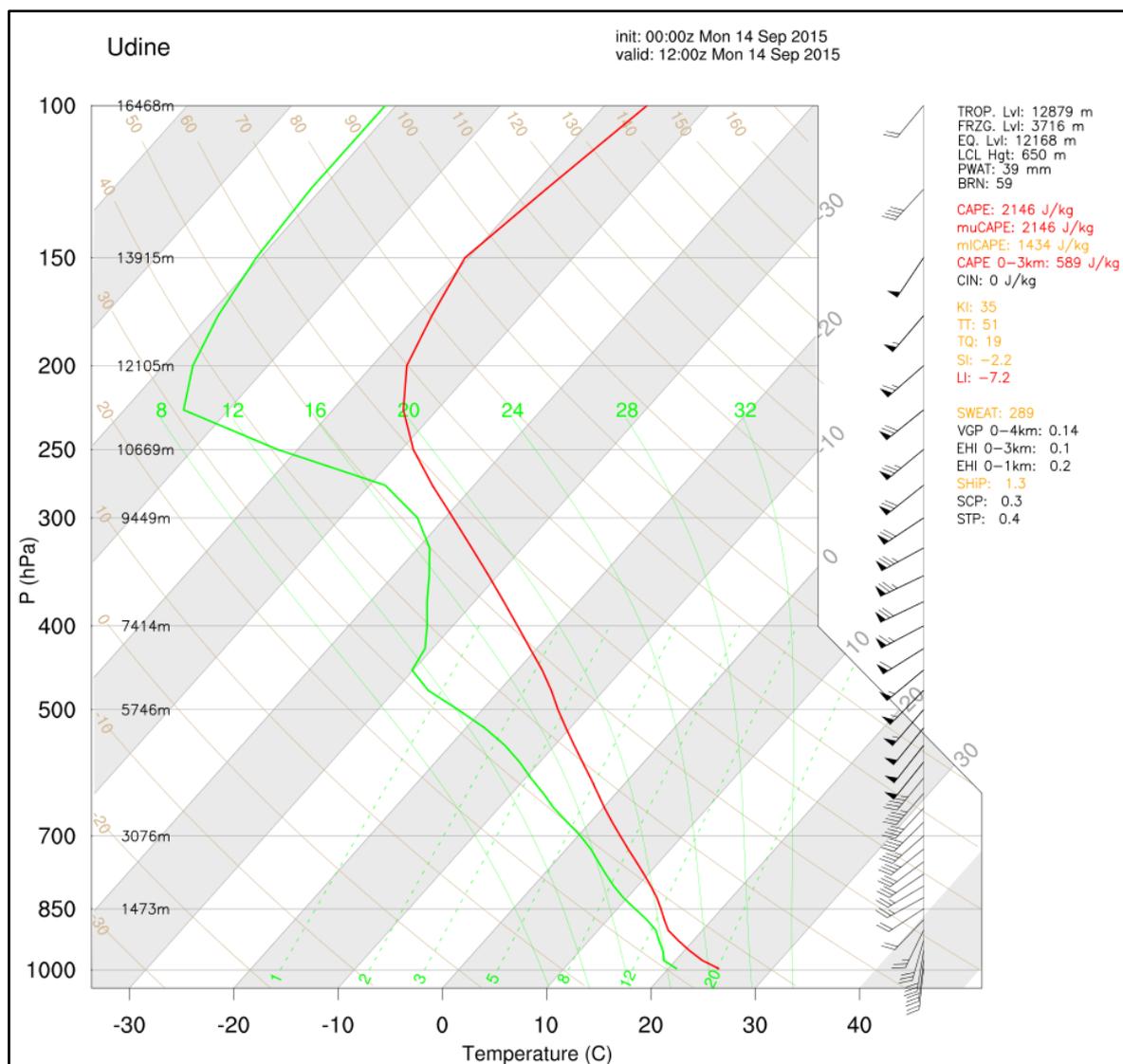


Fig. 2.19 - Simulazione WRF radiosondaggio di Udine ore 12 UTC (fonte Meteonetwork)

In merito all'avvezione secca in quota, il radiosondaggio effettivo di Udine mostra valori di dew point tra i piani isobarici di 500 e 300 hPa fino a -53°C , mentre nella simulazione del modello non si va oltre i -43°C al livello di 300 hPa. In particolare, nel radiosondaggio previsto su Udine vi è stata una marcata sottostima del gradiente igrometrico verticale, in quanto nel radiosondaggio effettivo il dew point è sceso di circa 30°C nello spessore di appena 500 m intorno ai 500 mb (da -15°C a -45°C circa), mentre per il medesimo spessore si prevedeva una diminuzione del dew point di circa 7°C (da -20°C a -27°C circa).

Pertanto su Udine il gradiente igrometrico verticale tra bassa e medio-alta troposfera è risultato molto più sensibile rispetto alla previsione (eventuali wet downburst e grandinate potenzialmente più severi). Invece su Padova la previsione di questo gradiente si è rivelata molto più vicina alla realtà, si veda in tal senso la linea verde del dew point che piega bruscamente verso sinistra intorno alla quota isobarica di 400 hPa (Fig. 2.17).

In secondo luogo il profilo verticale del vento evidenzia in previsione un orientamento tra S (nei bassi strati) e fino a SW dai 950 hPa in su, mentre in realtà negli strati prossimi al suolo (indicativamente entro il PBL) le correnti risultano disposte dai quadranti settentrionali, ma ciò è del tutto compatibile con le caratteristiche del modello preso a riferimento, per il quale le dinamiche inerenti il PBL appaiono di più difficile e corretta simulazione. Tale aspetto può aver contribuito a determinare un maggiore directional wind shear verticale entro il primo chilometro di quota, il quale sovente è incline a predisporre fenomeni vorticosi (anche se non è l'unico elemento) in seno alle formazioni temporalesche.

In merito alla comparazione tra odografo reale e simulato (Fig. 2.20), si nota una buona corrispondenza nei layer troposferici sopra il PBL, laddove i forti flussi da SW sono stati correttamente previsti a delineare un odografo alquanto "stirato" con intensità crescente salendo di quota (vertical speed wind shear ampiamente positivo), anche se nel radiosondaggio effettivo i flussi sud-occidentali appaiono leggermente più intensi, ripercuotendosi poi nella risultante di evoluzione delle celle e dei sistemi che nella realtà sono stati più veloci (storm motion previsto 48 km/h, storm motion da radiosondaggio effettivo 70 km/h). La diversificazione più apprezzabile riguarda in ogni caso il profilo dei venti negli strati più bassi con il già segnalato flusso settentrionale presente entro il PBL, il che favorisce un incremento del directional wind shear positivo di basso livello.

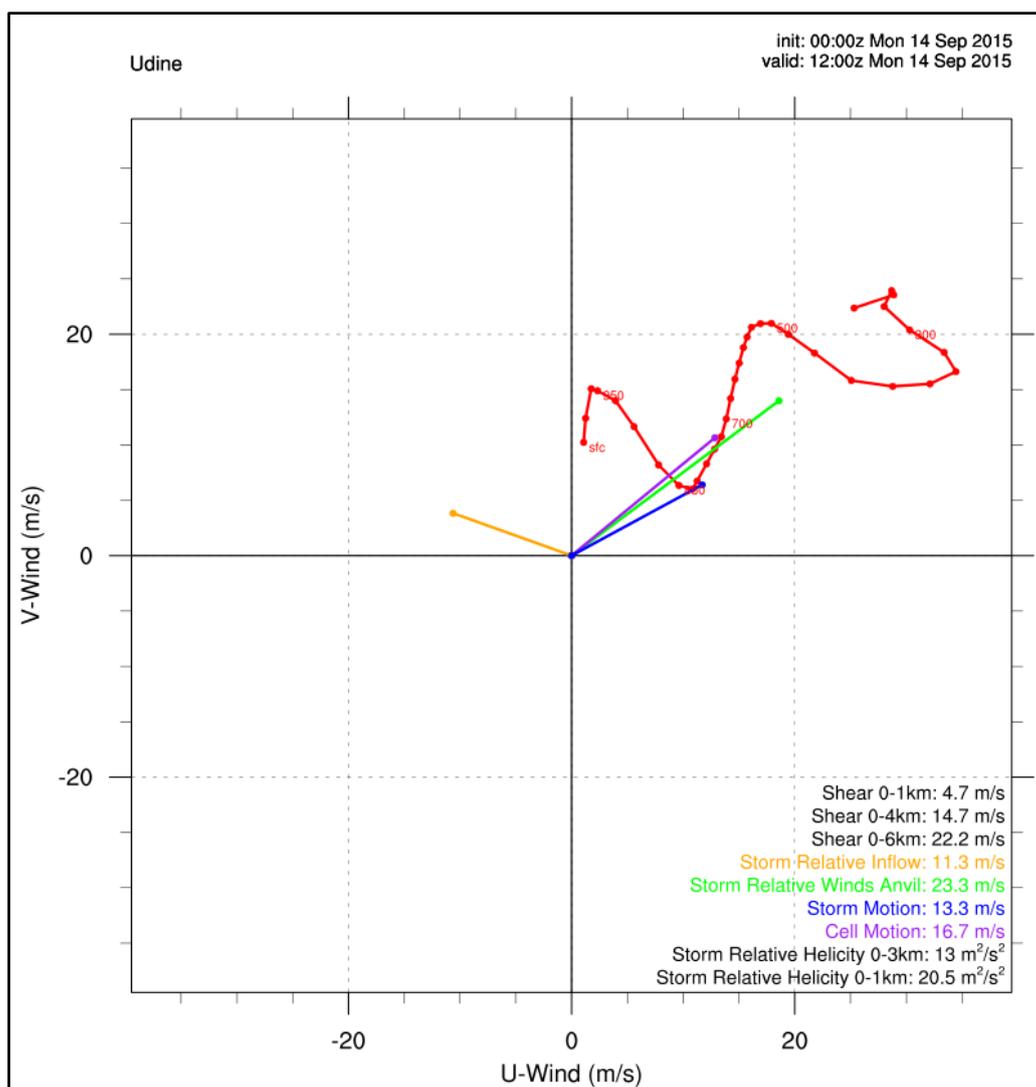


Fig. 2.20 - Simulazione WRF odografo di Udine ore 12 UTC (fonte Meteonetwork)

Per quanto concerne gli indici di instabilità e di wind shear il raffronto tra reale e previsto su Udine è esposto in Tab. 2.1.

INDICE	RS EFFETTIVO Udine 12 UTC	RS SIMULATO Udine 12 UTC
CAPE	1049 J/kg	2146 J/kg
LI	-1.0°C	-7.2°C
KI	34.5	35
SWEAT	253	289
VGP 0-4 km	0.362	0.140
EHI 0-1 km	1.1	0.2

Tab. 2.1 – Confronto tra radiosondaggio effettivo e simulato su Udine del 14/9/2015 ore 12 UTC

Si notano in primo luogo valori di CAPE che nella realtà sono stati inferiori rispetto alla previsione, con un dato reale di 1049 J/kg contro una previsione di 2146 J/kg, riconducibile essenzialmente a un profilo verticale tra media e alta troposfera più secco rispetto alle attese. Ciò è probabile abbia avuto ripercussioni anche su una significativa differenza tra un LI previsto di -7.2°C e reale di -1°C.

Tutto sommato ben simulati i parametri di KI e SWEAT, mentre i valori di VGP e EHI (relativi al directional wind shear) differiscono anche sensibilmente rispetto alla previsione per effetto della diversa disposizione dei venti negli strati più bassi già sottolineata in precedenza (specie tra 0 km e 1 km). Nella realtà il parametro EHI 0-1 km indica un valore di 1.1 rispetto a una simulazione di 0.2: nel caso reale i suddetti valori sono favorevoli alla possibilità di supercelle tornadiche essendo, in base ai criteri riscontrabili in letteratura, la soglia critica pari a 1.

2.4 Confronto odografi dell'8 luglio 2015 e del 14 settembre 2015

Mettendo a confronto gli eventi del 14 settembre 2015 e dell'8 luglio 2015 (supercella e tornado severo sul veneziano), si nota come nel caso del 14 settembre il percorso della supercella si sia dimostrato meno deviato verso destra rispetto al vento medio, mentre nel caso dell'8 luglio la deviazione angolare fu assai più ampia (vedasi Fig. 2.24 e Fig. 2.25). Si è ribadito in molteplici circostanze che molti temporali (multicelle, specie lineari, e supercelle) in condizioni di elevato speed o directional wind shear positivo, specialmente nei bassi livelli, deviano dalla direzione del vento medio (in genere calcolato sugli spessori 0-6 km o 0-8 km).

In particolare si osservano solitamente temporali che evolvono più o meno velocemente alla destra del vento medio. In questi casi l'odografo, partendo dal livello del suolo, ha notoriamente un senso di rotazione orario. Tenendo presente che una rotazione del vento non sempre implica la rotazione del vettore shear, il moto di evoluzione di una supercella dipende in massima parte dall'assetto dell'odografo in genere nei primi 2 chilometri. L'orientamento dell'odografo, ovvero la variazione con la quota del vettore di wind shear verticale, influisce sulla distribuzione delle perturbazioni dinamiche di pressione nel sistema che poi generano le accelerazioni verticali più importanti.

Nell'ipotesi di un flusso orizzontale stazionario in funzione solamente dalla quota, si può osservare la direzione del wind shear verticale medio orizzontale rispetto al gradiente orizzontale della velocità verticale. Nella direzione di avanzamento del flusso il gradiente è superiore a zero nel lato sopra shear del nucleo di massima velocità verticale dell'updraft, e inferiore a zero nel lato sotto shear. In un ambiente con wind shear unidirezionale le perturbazioni di pressione nei livelli medi troposferici determinano, quindi, una forza di gradiente di pressione verticale diretta verso l'alto nel lato sotto shear del temporale e una diretta verso il basso nel lato sopra shear.

Le forze di gradiente di pressione inducono una circolazione che rinforza il flusso entrante e favorisce l'intensificazione della corrente ascendente nella parte anteriore del temporale (sotto shear). In un ambiente in cui il vettore wind shear ruota in senso orario con l'altezza, le perturbazioni di pressione causano una forza di gradiente di pressione verticale diretta verso l'alto che tende a favorire la crescita della corrente ascendente sul fianco destro e a inibirla sul fianco sinistro. Al contrario, se il vettore wind shear ruota in senso antiorario con l'altezza lo sviluppo della corrente ascendente è favorito sul lato sinistro del temporale e attenuato sul fianco destro.

Gli odografi con il vettore wind shear in rotazione in senso orario con la quota sono quelli più spesso osservati per la presenza dell'attrito entro il PBL e per l'avvezione calda di basso livello. Pertanto, i temporali che si muovono a destra del vento medio sono quelli più spesso osservati in ambienti con elevato wind shear, specie directional nei bassi livelli. Si è appurato che, per quanto concerne l'innesco della rotazione, una caratteristica delle supercelle è la loro tendenza a sviluppare una circolazione rotante da un ambiente inizialmente non rotante (mesovortici), in cui il meccanismo che giustifica la suddetta produzione di vorticità verticale è principalmente causato dalla conversione di vorticità orizzontale (tilting), associata all'intenso wind shear verticale, in vorticità verticale. I passaggi fin qui descritti sono sintetizzati nella Fig. 2.21.

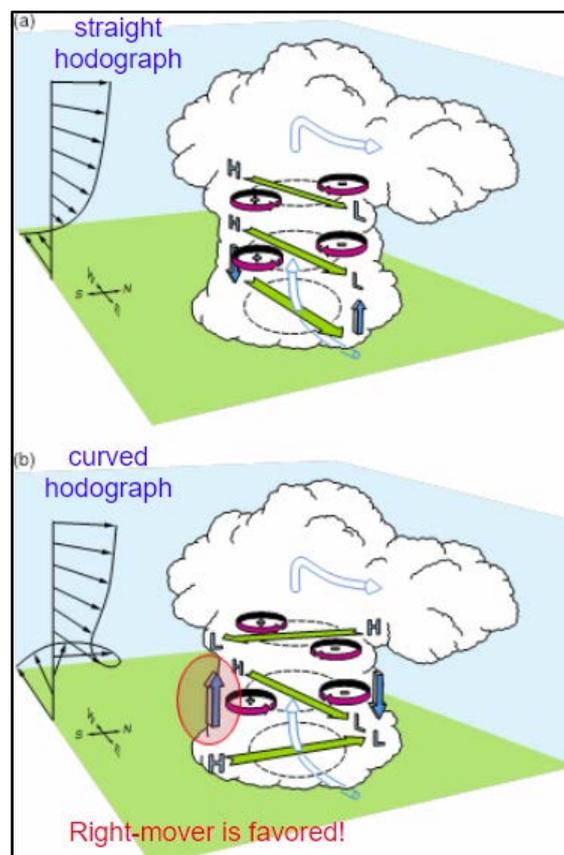


Fig. 2.21 - Schema semplificato sugli effetti di propagazione supercellulare in base al tipo di odografo.

Nel caso di un odografo stirato (straight, ovvero caso “a” di Fig. 2.21), con profilo verticale del vento unidirezionale, si nota come una forza di gradiente di pressione verticale diretta verso l’alto si attui nel lato sotto shear (o sotto vento) del temporale, e una diretta verso il basso nel lato sopra shear (o sopra vento), ciò a causa dell’interazione dell’updraft con i vettori di wind shear. Quindi le forze di gradiente di pressione determinano una circolazione che rinforza la corrente entrante e favorisce l’intensificazione dell’updraft nella parte anteriore o sotto vento (sotto shear) del temporale. In tal modo la “deviazione” della traiettoria del sistema rispetto al “level guide wind” sarà modesta o quasi del tutto assente in caso di wind shear perfettamente unidirezionale.

Se invece il vettore wind shear ruota in senso orario con l’altezza (curved, caso “b” di Fig. 2.21), le perturbazioni di pressione determinano una forza di gradiente di pressione verticale diretta verso l’alto che andrà a favorire l’intensificazione dell’updraft sul lato destro del sistema (rispetto alla direzione di avanzamento) e a sopprimerlo sul lato sinistro. In questo caso è favorita l’evoluzione del sistema a destra rispetto al level guide wind, con supercella right-mover, e deviazione tanto più ampia quanto più “curvo” sarà l’odografo nei bassi livelli della troposfera.

Considerando ora l’odografo relativo all’evento dell’8 luglio 2015 sul veneziano, si notano alcuni aspetti di rilievo, tuttavia occorre premettere che è stato utilizzato il radiosondaggio simulato dal modello WRF Meteonetwork con output delle 12 UTC, riferito alle ore 16 locali sulla verticale della località di Santa Maria di Sala (VE), meglio rappresentativo delle condizioni effettivamente riscontrate quel pomeriggio (Fig. 2.22).

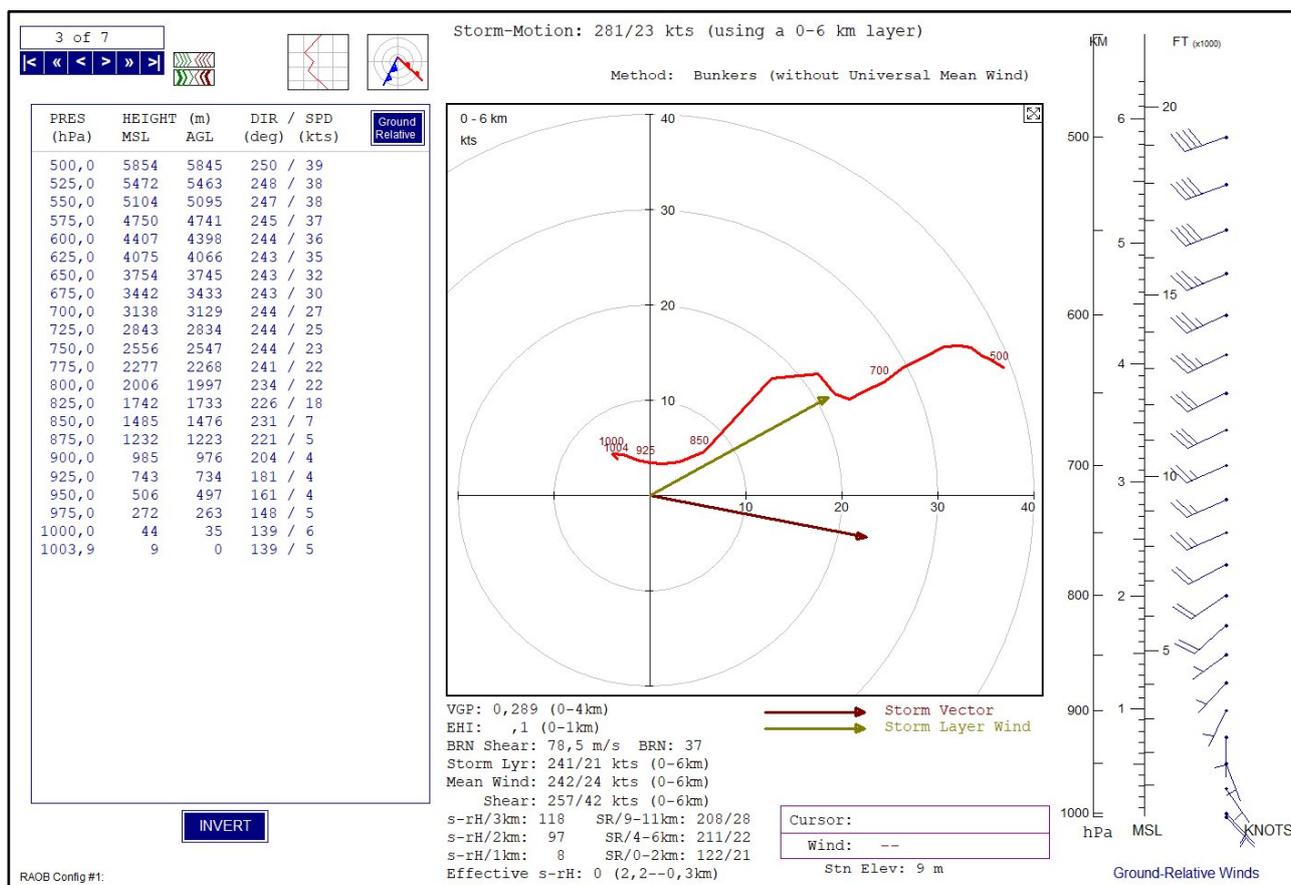


Fig. 2.22 - Odografo simulato ore 16 locali dell’8/7/2015 S. Maria di Sala (VE). Fonte: WRF MNW - elaborazione RAOB

Esso mostra una struttura “stirata”, causata da elevato wind shear verticale in velocità, il quale aumenta a partire da circa il piano isobarico di 850 hPa, ma con una discreta componente curva negli strati più bassi, dovuta a un flusso orientale umido in ingresso dal mar Adriatico (provenienza del vento da S-SE nello spessore 0-500 metri). Ciò determina un elevato wind shear direzionale con rotazione oraria salendo di quota (da SE al suolo, da S a circa 700 m di quota, da SW a 1500 m e da W-SW alle quote superiori), aspetto ritenuto importante nella genesi di tornado mesociclonici. Occorre però ribadire che si tratta di un radiosondaggio previsto, pertanto è possibile che, specie negli strati prossimi al suolo dove era presente tra l’altro un thermal boundary con relativa area di convergenza, le condizioni simulate non siano state del tutto coincidenti con quanto effettivamente verificatosi.

Il metodo Bunkers stima un vettore di storm motion di 23 nodi con direzione WNW (281°), a fronte di un vento medio 0-6 km di 24 nodi con direzione WSW (242°), pertanto la deviazione teorica della supercella dal vento medio sarebbe di 39°. In realtà il sistema deviò con un angolo più ampio rispetto alla simulazione (vedasi Fig. 2.24), probabilmente a causa del thermal boundary al suolo e per l’effetto dei “cold pool” sull’alto padovano, generati dalle correnti di outflow dei temporali in discesa dai rilievi prealpini che si erano innescati nelle ore precedenti. Del resto, in relazione alle dinamiche alla mesoscala tipiche della Pianura Padana e della nostra penisola in generale, la forzante orografica è sempre da tenere nella dovuta considerazione, specie nel modulare il profilo dei venti in bassa troposfera.

Nell’odografo del 14 settembre 2015 si nota come, rispetto all’evento del mese di luglio, il flusso da SW in media troposfera fosse più intenso (oltre 40 nodi dal piano isobarico di 700 hPa), pertanto con speed wind shear più elevato a partire dai livelli immediatamente superiori al PBL. Nello stesso tempo il flusso entro il PBL era orientato tra NNE e NW determinando un wind shear quasi unidirezionale con modeste variazioni direzionali tra i piani isobarici di 850 e 700 hPa (vedasi Fig. 2.15). In questo caso il profilo verticale del vento è più vicino alla condizione unidirezionale, con odografo “stirato” ma meno curvo rispetto al caso dell’8 luglio 2015, e quindi con rinforzo dell’updraft più probabile sotto shear (sotto vento) rispetto alla direzione di avanzamento del sistema, conferendogli maggiore velocità di movimento e uno scarto angolare dal vento medio più ridotto.

Il metodo Bunkers indica infatti per il 14 settembre 2015 un vettore di storm motion di 38 nodi con direzione WSW (243°), a confronto di un vento medio 0-6 km di 35 nodi con direzione SW (220°), pertanto la deviazione teorica della supercella dal vento medio sarebbe di soli 23°, probabilmente indotta in parte anche dalla rotazione del flusso a WSW nel layer 850-700 hPa (Fig. 2.15). Anche in questo caso nella realtà il sistema deviò con un angolo più ampio rispetto alla simulazione (vedasi Fig. 2.25), probabilmente a causa dei “cold pool” sull’alto vicentino e alto trevigiano, generati dalle correnti di outflow dei temporali in discesa dai rilievi prealpini.

In sintesi i due eventi differirono sia per le condizioni di vento in bassa troposfera ed entro il PBL, sia per il profilo verticale del vento stesso tra bassa e media troposfera, con directional wind shear positivo di basso livello più evidente nel caso dell’8 luglio 2015, speed wind shear verticale più accentuato nel caso del 14 settembre 2015 (Fig. 2.23). Entrambi i fattori contribuirono a un’evoluzione di supercelle right mover, ma con deviazione dal vento medio assai sensibile nel caso dell’8 luglio, più contenuta nel caso del 14 settembre.

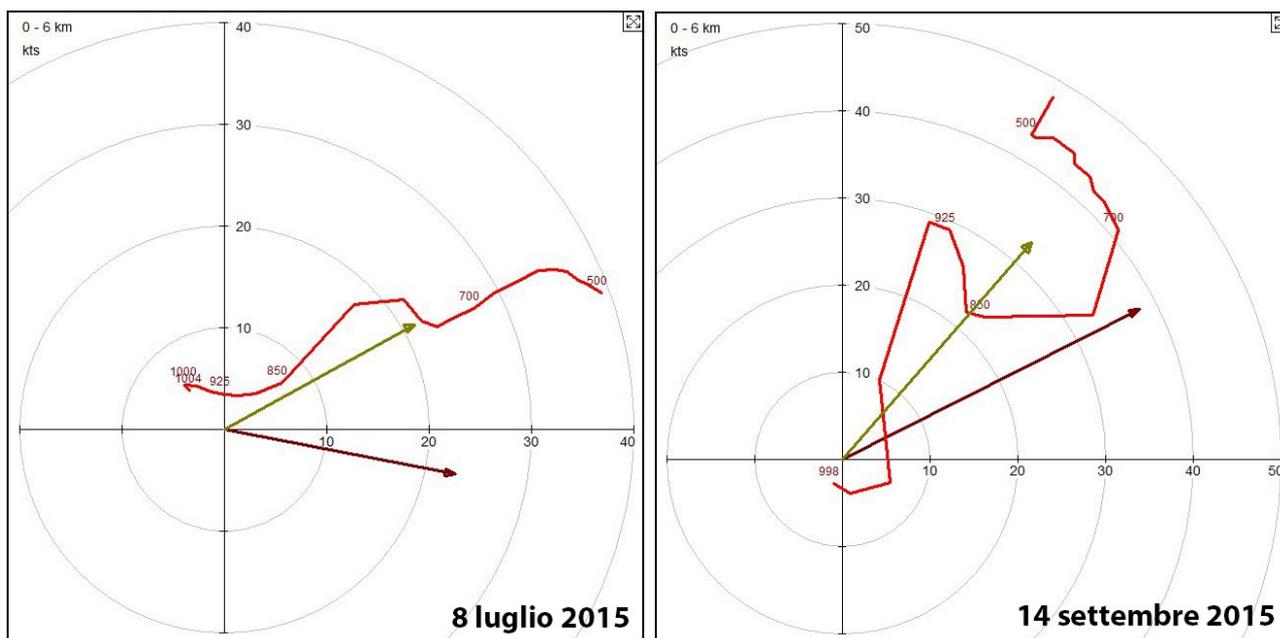


Fig. 2.23 – Confronto odografi dell’8/7/2015 (S. Maria di Sala, VE) e del 14/9/2015 (Udine)

In Tab. 2.2 si riporta un confronto dei principali parametri termodinamici tra il 14 settembre 2015 (radiosondaggio reale di Udine) e l’8 luglio 2015 (radiosondaggio simulato su S. Maria di Sala – VE).

	Radiosondaggio reale Udine 14/9/2015	Radiosondaggio simulato S. Maria di Sala 8/7/2015
CAPE	1049 J/kg	2465 J/kg
DCAPE	662 J/kg	1302 J/kg
LI	-1°C	-6°C
CAP	2.4	2.0
EL	11636 m	13218 m
MPL	14071 m	17000 m
DLS	51 nodi	42 nodi
Storm motion	38 nodi	23 nodi
SREH 0-1 km	144 m ² /s ²	8 m ² /s ²
SREH 0-3 km	151 m ² /s ²	118 m ² /s ²
EHI 0-2 km	1.3	1.8
VGP 0-4 km	0.362	0.289
SWEAT	253	302.5
BRN shear	77.3 m ² /s ²	78.5 m ² /s ²

Tab. 2.2 – Confronto dei principali parametri termodinamici tra il 14/9/2015 e l’8/7/2015

2.5 Confronto percorsi delle supercelle dell’8 luglio 2015 e del 14 settembre 2015

Grazie all’ausilio dei software QGIS e GIMP è stato possibile georeferenziare le immagini radar del centro meteorologico ARPAV di Teolo (PD) allo scopo di calcolare lo storm motion reale delle due supercelle, sia in direzione che in velocità.

Come si può osservare in Fig. 2.24, la supercella tornadica dell'8 luglio 2015 entrando nel padovano ha deviato in maniera molto accentuata rispetto alla direzione del vento medio (freccia verde) e anche rispetto allo storm motion teorico (freccia marrone), assumendo una direttrice NW-SE con una deviazione massima di circa 60° dal vento medio tra padovano e veneziano, ovvero durante la tornadogenesi. La supercella del 14 settembre 2015 invece ha mantenuto una direttrice più costante e quasi rettilinea (W-E) deviando di circa 50° rispetto al vento medio (Fig. 2.25).

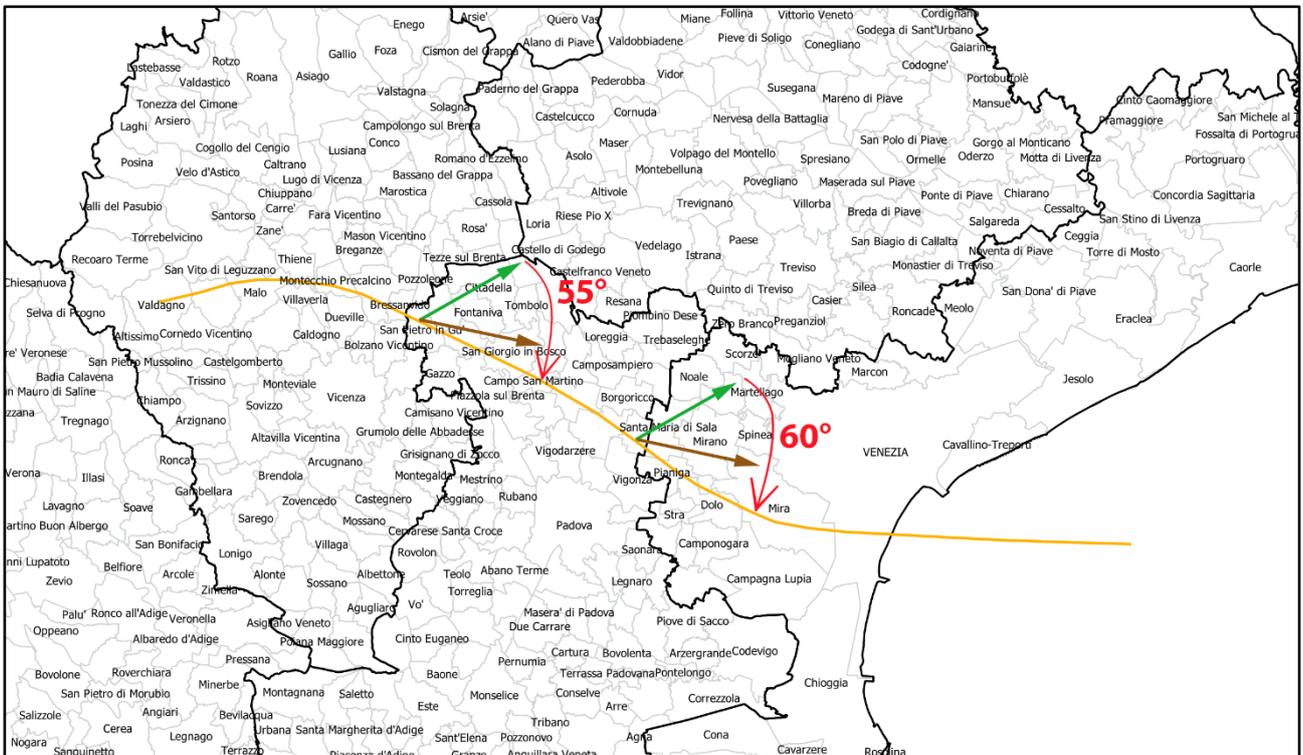


Fig. 2.24 – Percorso della supercella dell'8/7/2015 e deviazione dal vento medio

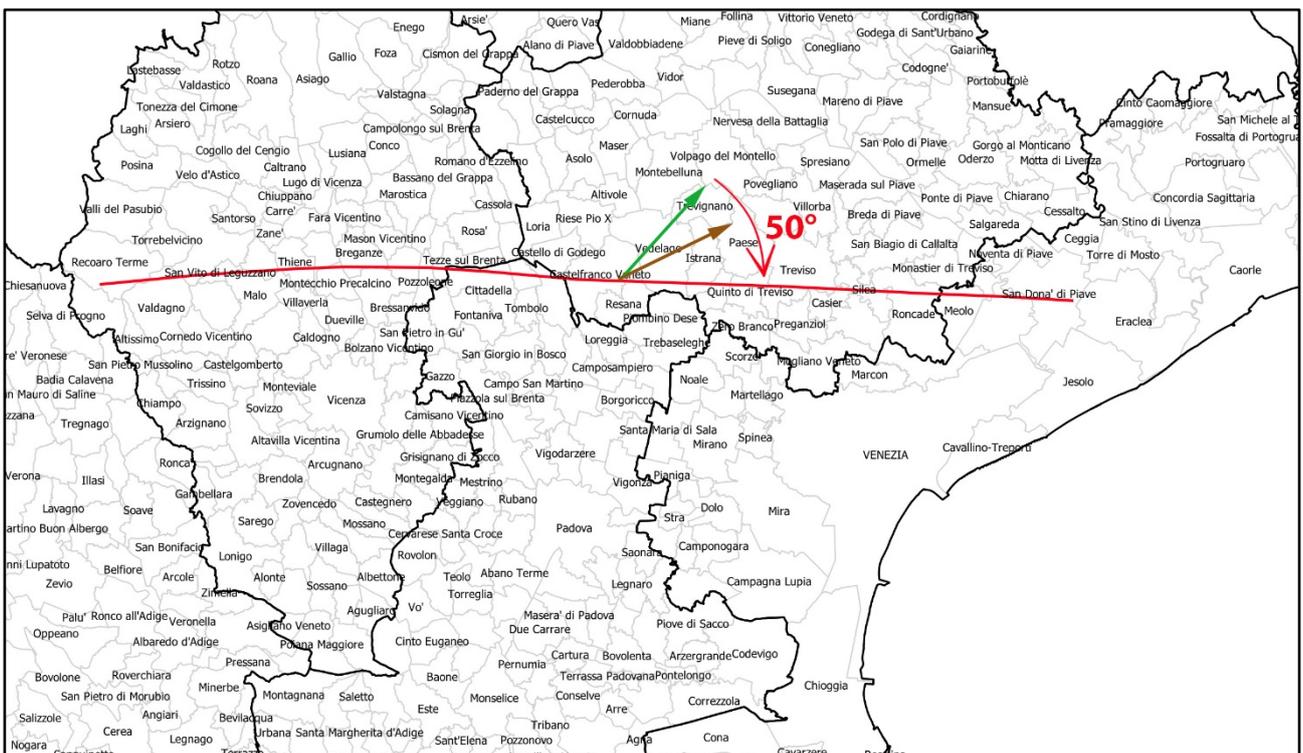


Fig. 2.25 – Percorso della supercella del 14/9/2015 e deviazione dal vento medio

In Fig. 2.26 è riportato un confronto tra i percorsi delle due supercelle con l'indicazione in Fig. 2.27 dei tratti colpiti dal tornado. In entrambi i casi si nota come la tornadogenesi sia avvenuta durante la fase terminale della deviazione del temporale rispetto al vento medio, in particolare per l'evento dell'8 luglio 2015, a testimonianza dello stadio di piena maturità del mesociclone.

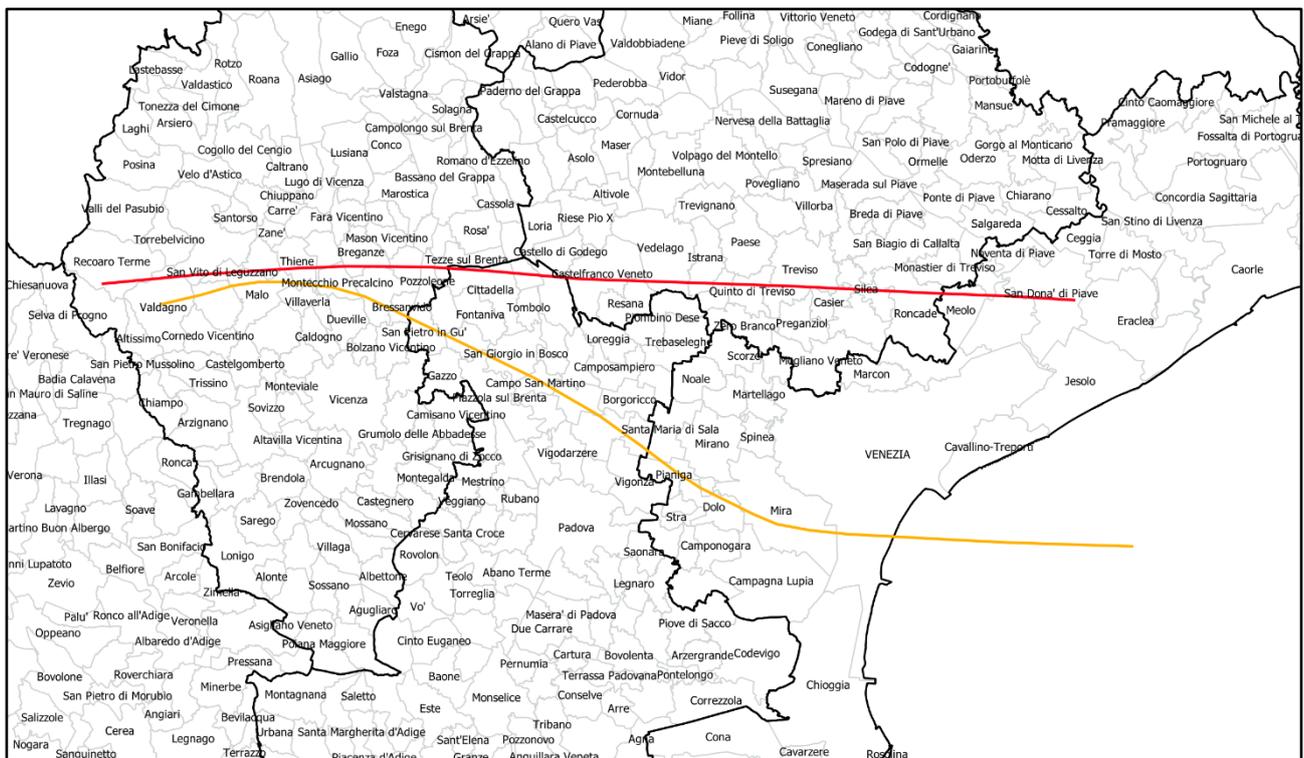


Fig. 2.26 – Confronto tra i percorsi della supercella del 14/9/2015 (rosso) e dell'8/7/2015 (giallo)

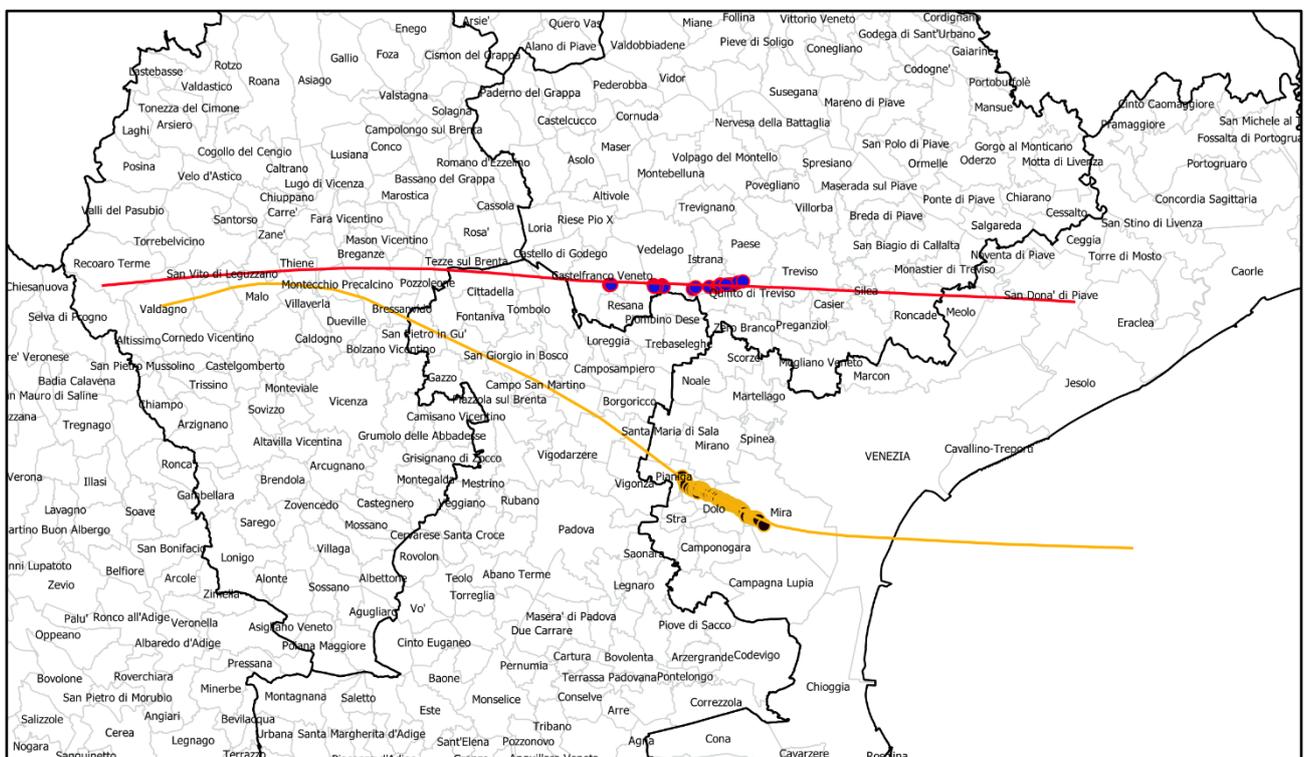


Fig. 2.27 – Confronto tra i percorsi della supercella del 14/9/2015 (rosso) e dell'8/7/2015 (giallo). I pallini indicano i tratti coinvolti dai rispettivi tornado.

Si riportano di seguito le mappe delle fulminazioni generate dalle supercelle dell'8 luglio 2015 (Fig. 2.28) e del 14 settembre 2015 (Fig. 2.29) che permettono una visione d'insieme del percorso seguito dai mesocicloni e di apprezzare la diversa direzione seguita dai medesimi. Anche in Fig. 2.30, tramite la traccia al suolo impressa dal vortice, è possibile osservare la direttrice NW-SE assunta dal tornado dell'8 luglio 2015 con il relativo mesociclone.

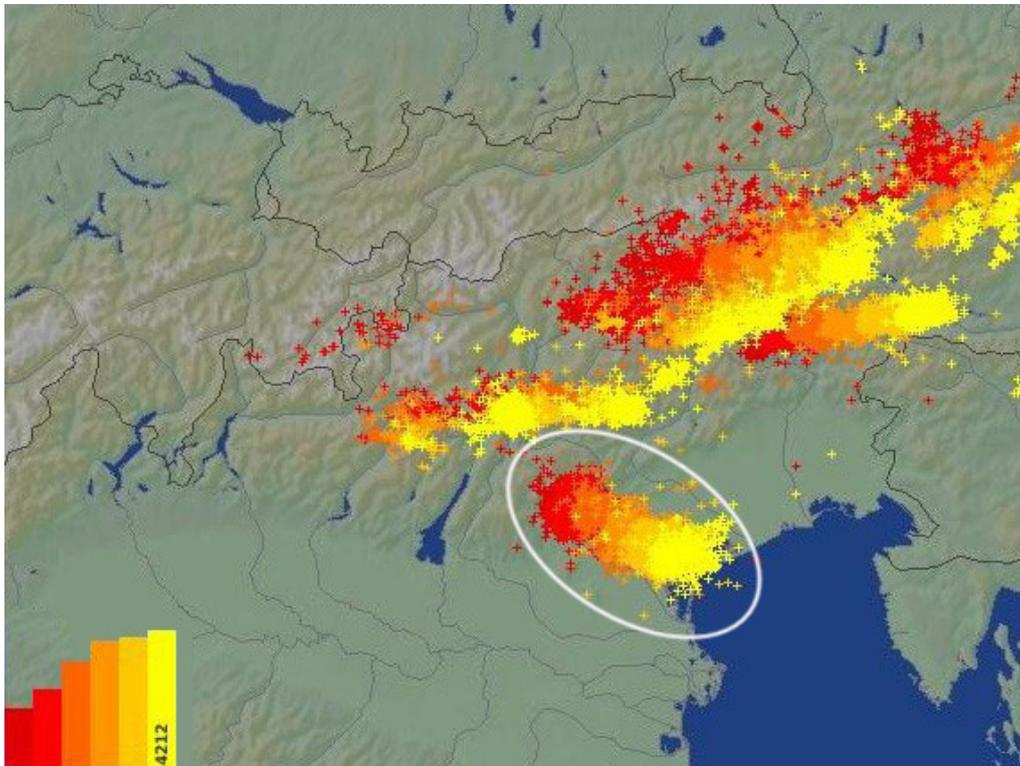


Fig. 2.28 - Fulminazioni rilevate nel percorso della supercella dell'8/7/2015 (ellisse bianca).

Fonte: www.blitzortung.org

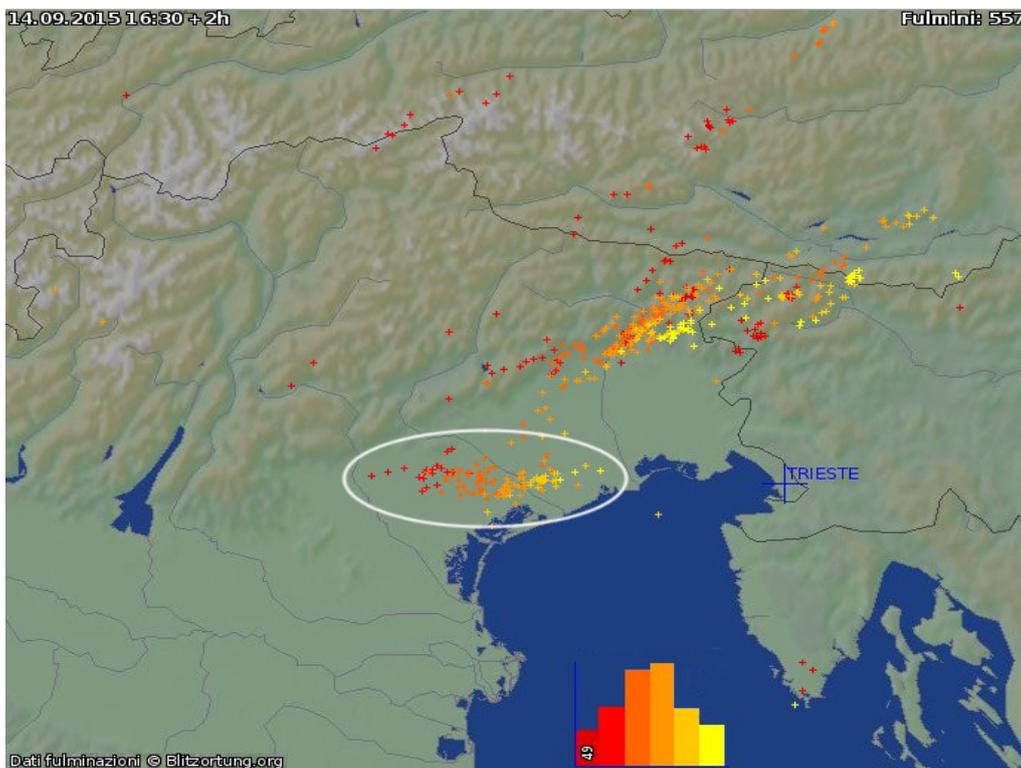


Fig. 2.29 - Fulminazioni rilevate nel percorso della supercella del 14/9/2015 (ellisse bianca).

Fonte: www.blitzortung.org



Fig. 2.30 – Ortofoto digitale di Aerodata Italia Srl con la traccia al suolo del tornado dell'8/7/2015 tra Dolo e Mira (rilievo aerofotogrammetrico eseguito 36 ore dopo il passaggio del vortice)

L'analisi delle immagini georeferenziate del radar meteorologico di Teolo ha permesso di calcolare anche la velocità reale di spostamento della supercella dell'**8 luglio 2015**:

- alle ore 15.30 locali il mesociclone si trovava su Valdagno - VI (0 km)
 - alle ore 18.30 locali il mesociclone si trovava sull'Adriatico all'altezza di Jesolo - VE (120 km)
- Velocità media effettiva 120 km/3h ovvero 40 km/h
 Storm motion da radiosondaggio 42.5 km/h

Velocità reale di spostamento della supercella del **14 settembre 2015**:

- alle ore 16.00 locali il mesociclone si trovava su Recoaro Terme - VI (0 km)
 - alle ore 18.00 locali il mesociclone si trovava su San Donà di Piave - VE (110 km)
- Velocità media effettiva 110 km/2h ovvero 55 km/h
 Storm motion da radiosondaggio 70 km/h

La velocità di traslazione reale della supercella dell'8/7/2015 (40 km/h) è molto simile a quella calcolata dal radiosondaggio (42.5 km/h), mentre la sovrastima di 15 km/h dello storm motion per il 14/9/2015 (70 km/h rispetto a 55 km/h) è con ogni probabilità imputabile al fatto che l'odografo è corrispondente alla località di Udine e non all'area precisa in cui si è avuto l'evento.

Inoltre è necessario considerare un certo sfasamento orario del radiosondaggio rispetto all'evento durante il quale possono essere variati alcuni parametri di shear. Infatti la supercella del 14 settembre 2015 ha sfruttato molto lo speed wind shear rispetto al directional wind shear, per cui è possibile che nel corso del pomeriggio si siano parzialmente attenuati i venti tra media e alta troposfera riducendo la velocità effettiva di traslazione del sistema temporalesco.

3. ANALISI SATELLITARE E RADARMETEOROLOGICA

di Alberto Gobbi

3.1 Analisi immagini satellitari nel canale visibile e infrarosso

Nell'ellisse rossa di Fig. 3.1 e Fig. 3.2 si individua, tramite le immagini satellitari nel canale infrarosso e visibile, la supercella tornadica che in quei minuti stava colpendo il basso trevigiano.

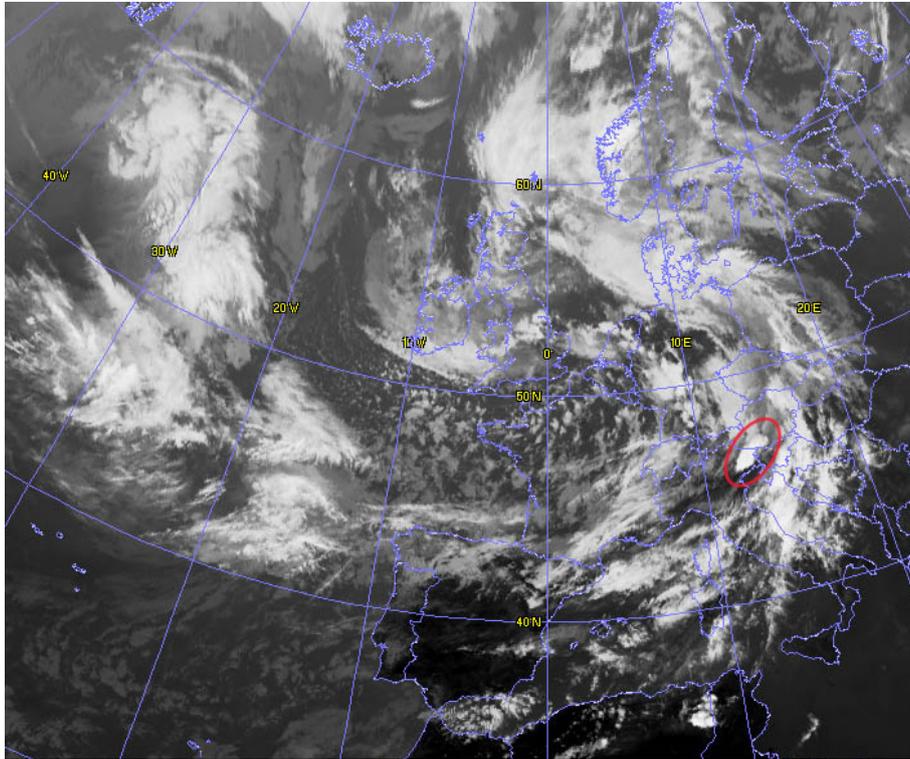


Fig. 3.1 – Satellite nel canale IR delle ore 17 locali. Fonte: Eumetsat

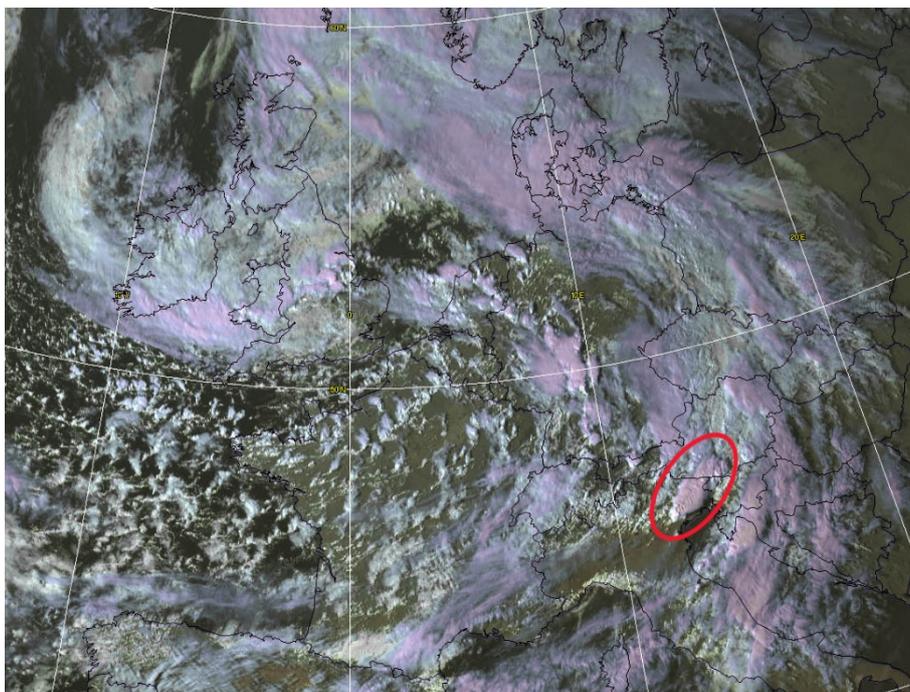


Fig. 3.2 – Satellite nel canale VIS delle ore 17 locali. Fonte: Eumetsat

La Fig. 3.3 permette di apprezzare l'estesa incudine del temporale "soffiata" verso l'Austria dal flusso sud-occidentale in quota (vedasi anche Fig. 3.4) nonché la presenza di una persistente overshooting top (anvil dome) nel cerchio rosso associata con ogni probabilità al mesociclone.

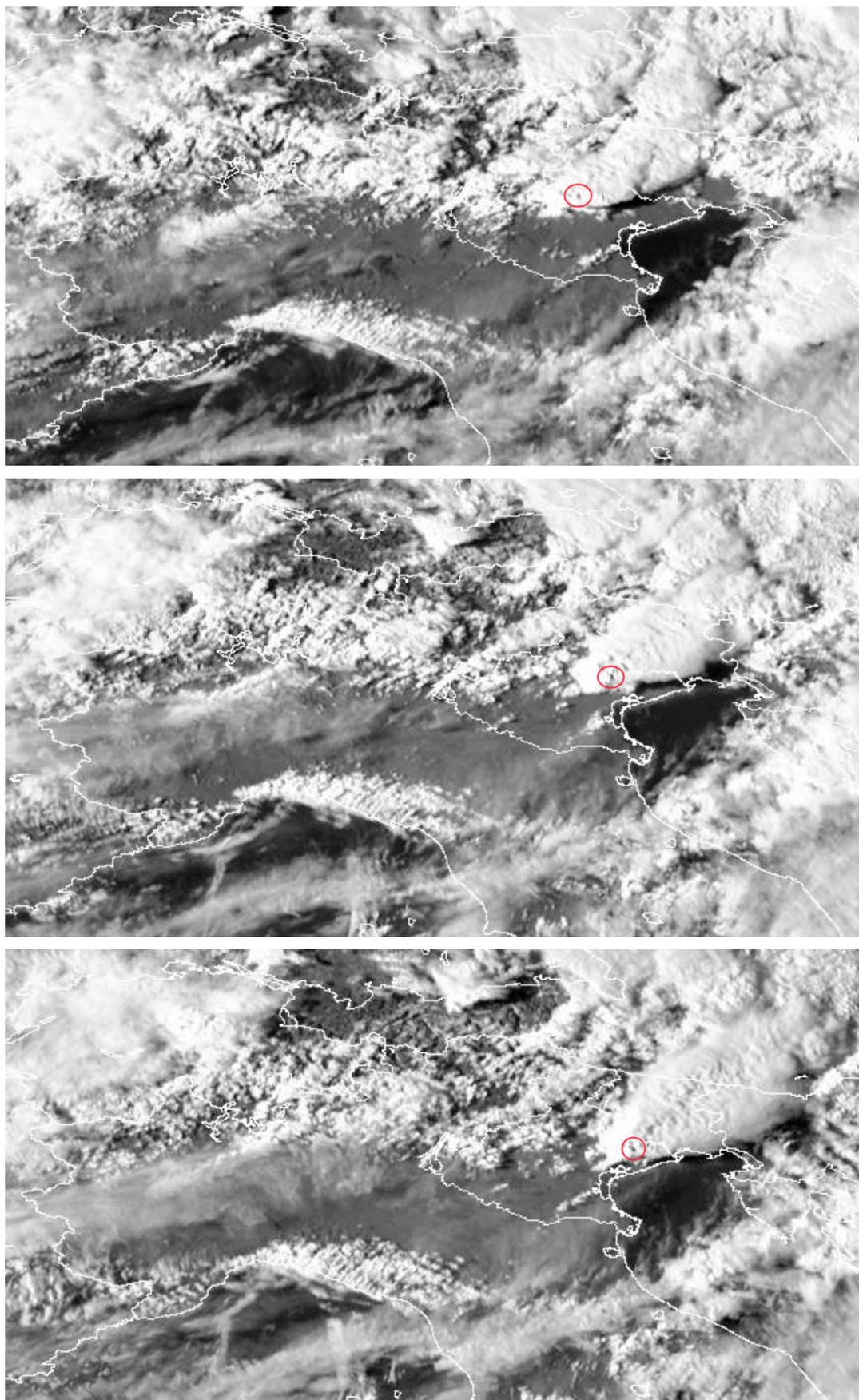


Fig. 3.3 – Satellite nel canale VIS delle ore 16.30-17.00-17.30 locali. Fonte: Eumetsat archivio ARPAV

In Fig. 3.4 si riportano le immagini della temperatura sommitale delle nubi i cui orari sono corrispondenti a quelli della Fig. 3.3: il colore arancione indica una quota elevata dei cumulonembi.

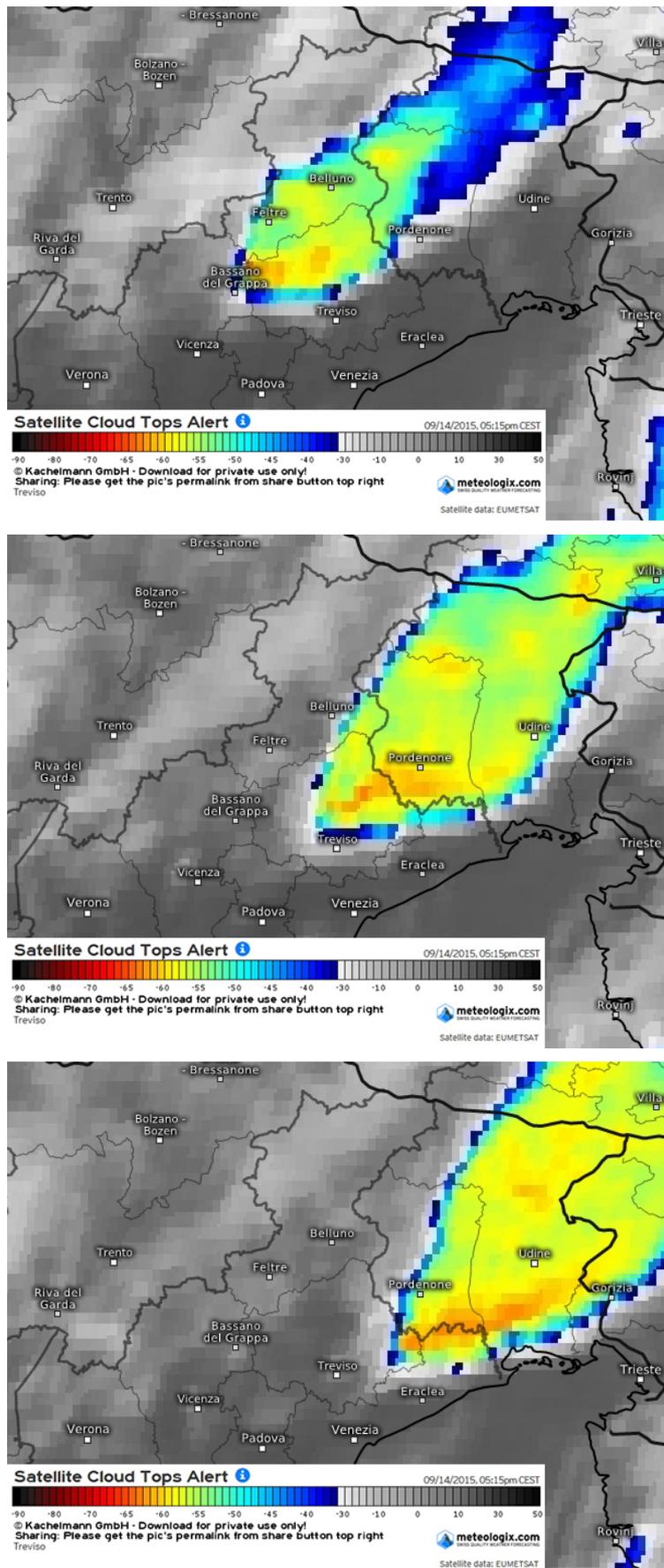


Fig. 3.4 – Satellite nel canale IR a falsi colori delle ore 16.30-17.00-17.30 locali. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

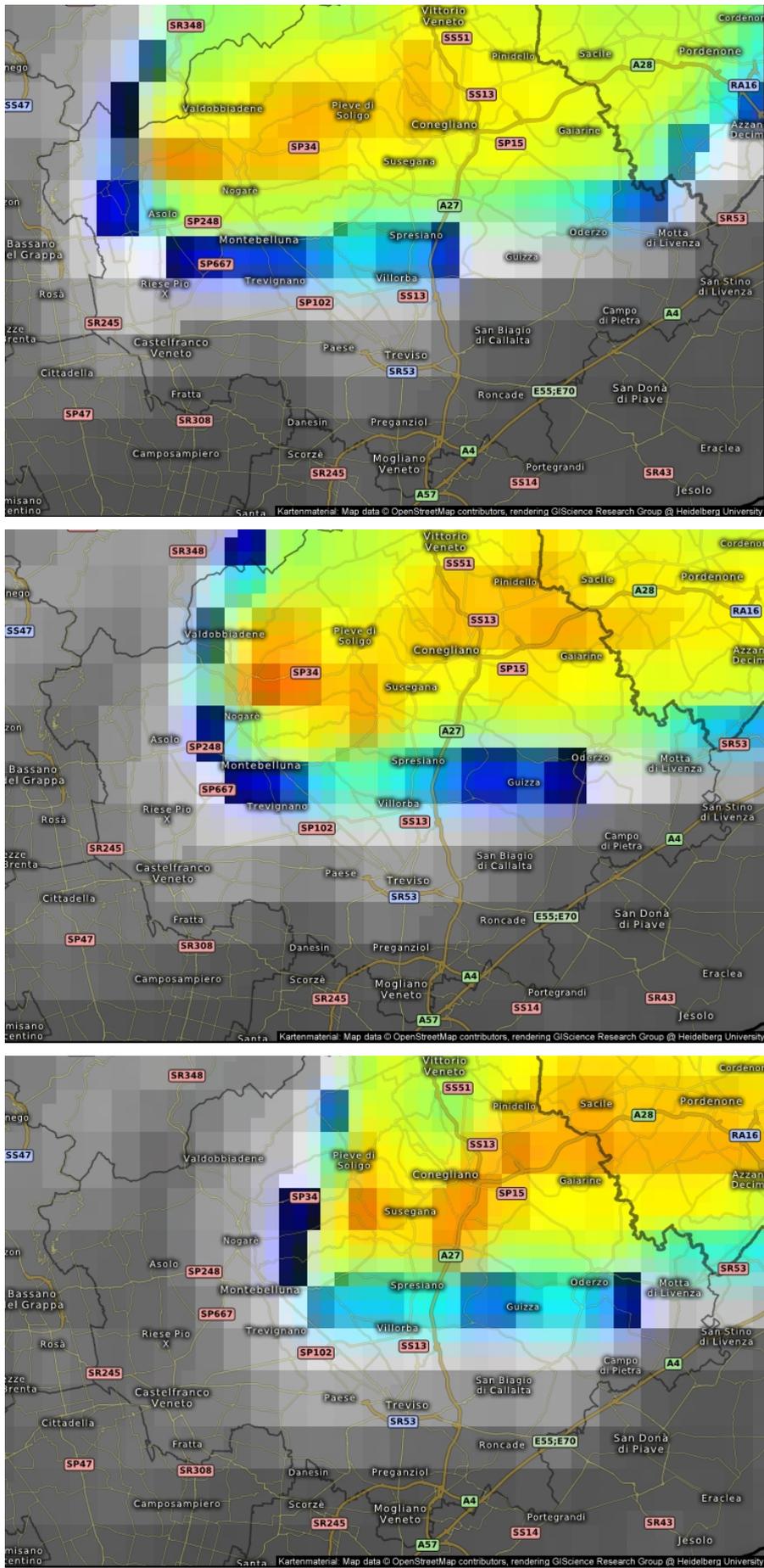


Fig. 3.5 – Satellite nel canale IR a falsi colori delle ore 16.50-17.00-17.10 locali con zoom sulla provincia di Treviso. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

Nella Fig. 3.5 si propone un ingrandimento sul trevigiano della temperatura sommitale delle nubi: le quote maggiori delle torri temporalesche si collocano più a nord rispetto alla fascia colpita dal tornado a causa dell'asse obliquo assunto dalla supercella per via dell'intenso flusso da SW in medio-alta troposfera che piega le correnti ascendenti (updrafts) verso l'alto trevigiano.

3.2 Confronto tra immagini satellitari, mappe di riflettività e vento al suolo

Le successive immagini riportano una sovrapposizione tra i campi di riflettività a 0.9 gradi di elevazione del radar di Teolo (PD) e i venti rilevati al suolo; si propone quindi un confronto con le immagini satellitari ad alta risoluzione per meglio comprendere i flussi relativi al mesociclone. Si riprendono di conseguenza i concetti espressi nell'analisi al suolo del paragrafo 1.4.

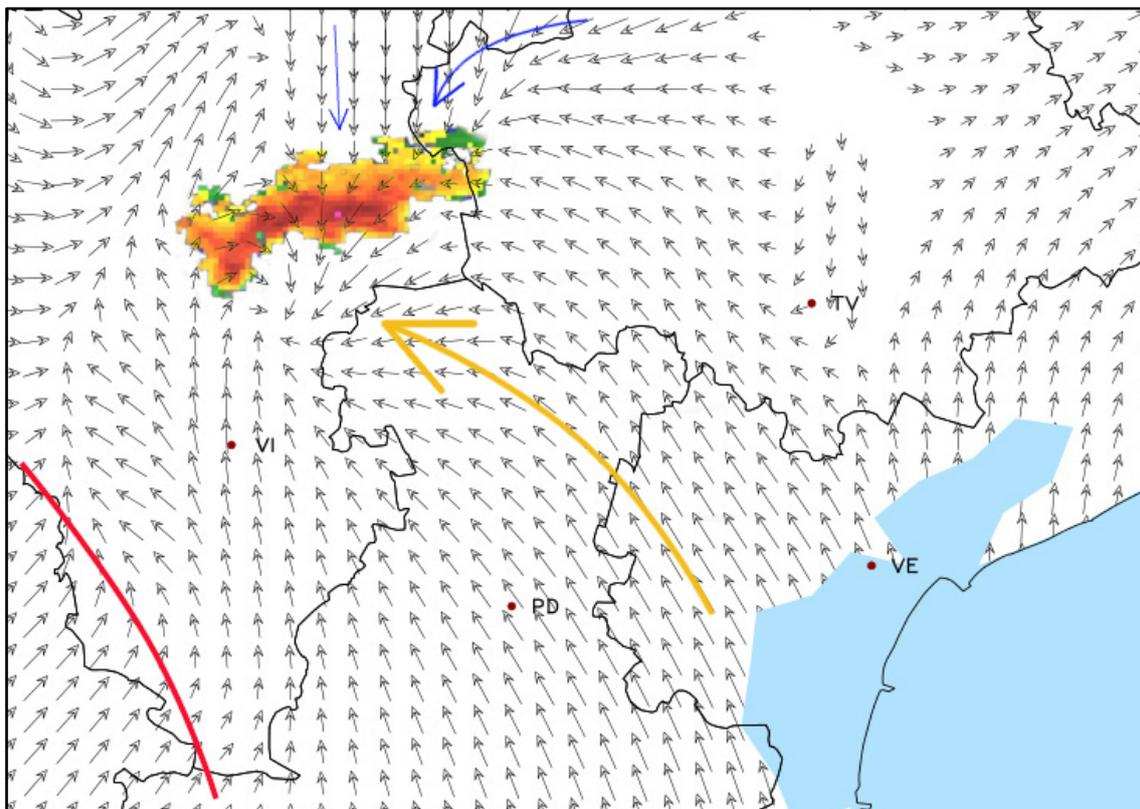


Fig. 3.6 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo e vento al suolo rete MNW ore 16.30 locali

Nella Fig. 3.6 il temporale sul vicentino non mostra ancora un eco a uncino ben definito, tuttavia la curvatura ciclonica dell'eco radar e gli elevati gradienti di riflettività sul lato meridionale del temporale suggeriscono una condizione favorevole alla genesi del mesociclone o a una sua intensificazione nel caso fosse già stato presente. Inizia a definirsi una convergenza di venti al suolo tra flussi freschi da nord (frecche blu) e flussi caldo-umidi dal mar Adriatico (freccia gialla). La dry line da SW è individuabile dalla linea rossa in basso a sinistra, tuttavia essa non eserciterà una sostanziale influenza nella successiva evoluzione grandinigena e tornadica della supercella.

Alle ore 16.50 locali la convergenza dei flussi al suolo assume una componente nettamente ciclonica (Fig. 3.8) con i vettori del vento disposti in senso antiorario, nel contempo l'eco radar definisce un'inequivocabile formazione a uncino: trattasi di segnali che tradiscono una marcata intensificazione del mesociclone di basso livello.

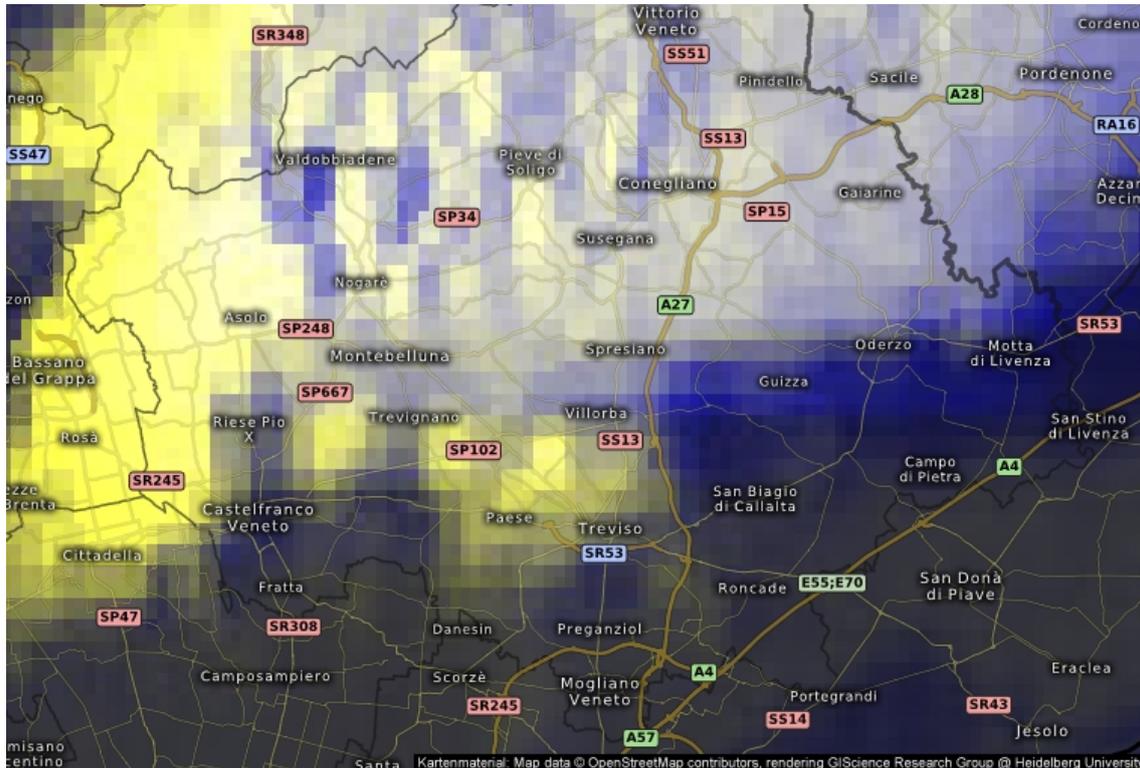


Fig. 3.7 – Satellite nel canale trispettrale delle ore 16.50 locali. Fonte: Eumetsat archivio Meteorologix

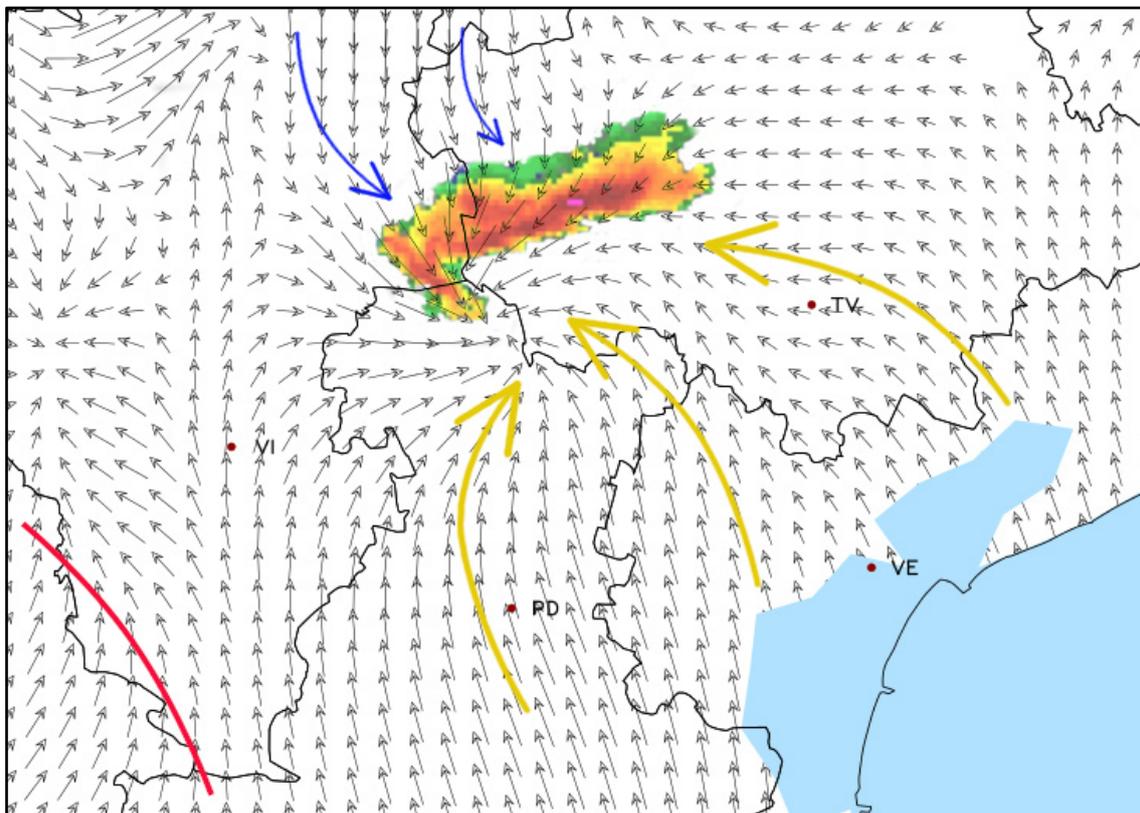


Fig. 3.8 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo e vento al suolo rete MNW ore 16.50 locali

Alle ore 17 locali si verifica l'occlusione mesociclonica e relativa tornadogenesi con il vortice che tocca il suolo nel comune di Castelfranco Veneto (TV) causando danni già significativi. Appare assai evidente la spinta della corrente di RFD (Rear Flank Downdraft) da W-NW, rappresentata dalle frecce blu nelle Fig. 3.9 e 3.10, che causa l'inarcamento verso SE della flanking line (linea blu in Fig. 3.9) e la "chiusura" dell'eco a uncino verso E-NE (Fig. 3.10). La freccia rossa in Fig. 3.9 indica il flusso caldo-umido di inflow che alimenta il mesociclone nel settore caldo delimitato dal pseudo fronte caldo (linea rossa) coincidente a sua volta con una inflow band (beaver's tail, coda di castoreo) anch'essa visibile dalle immagini satellitari al pari della flanking line.

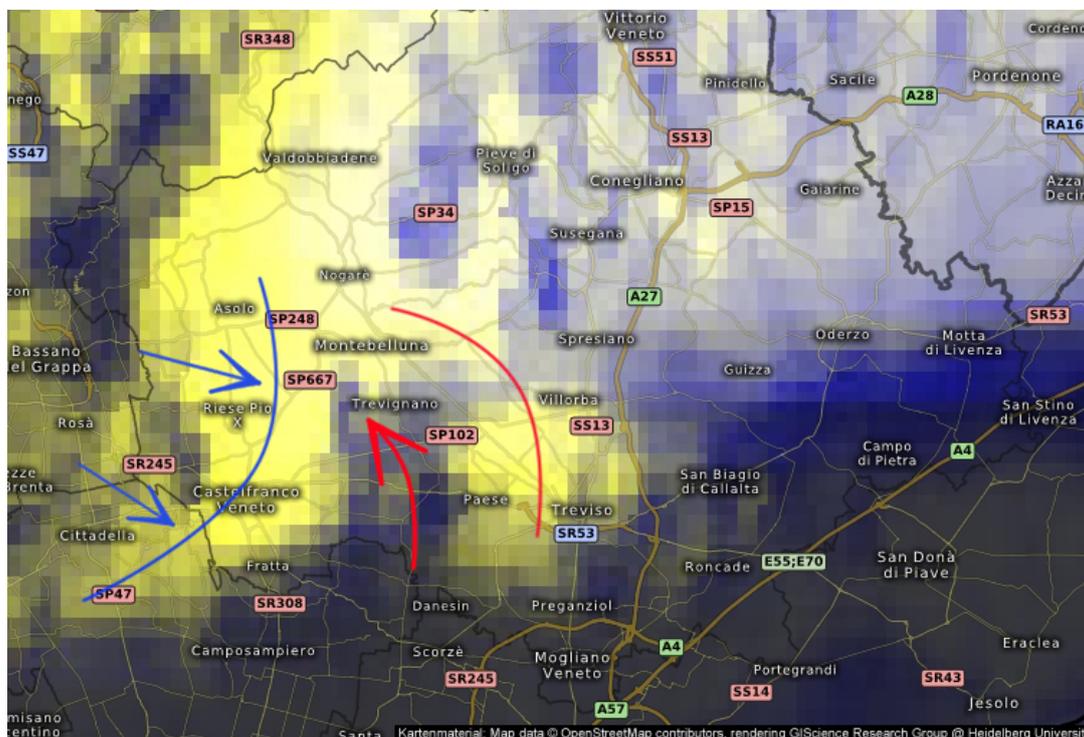


Fig. 3.9 – Satellite nel canale trispettrale delle ore 17.00 locali. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

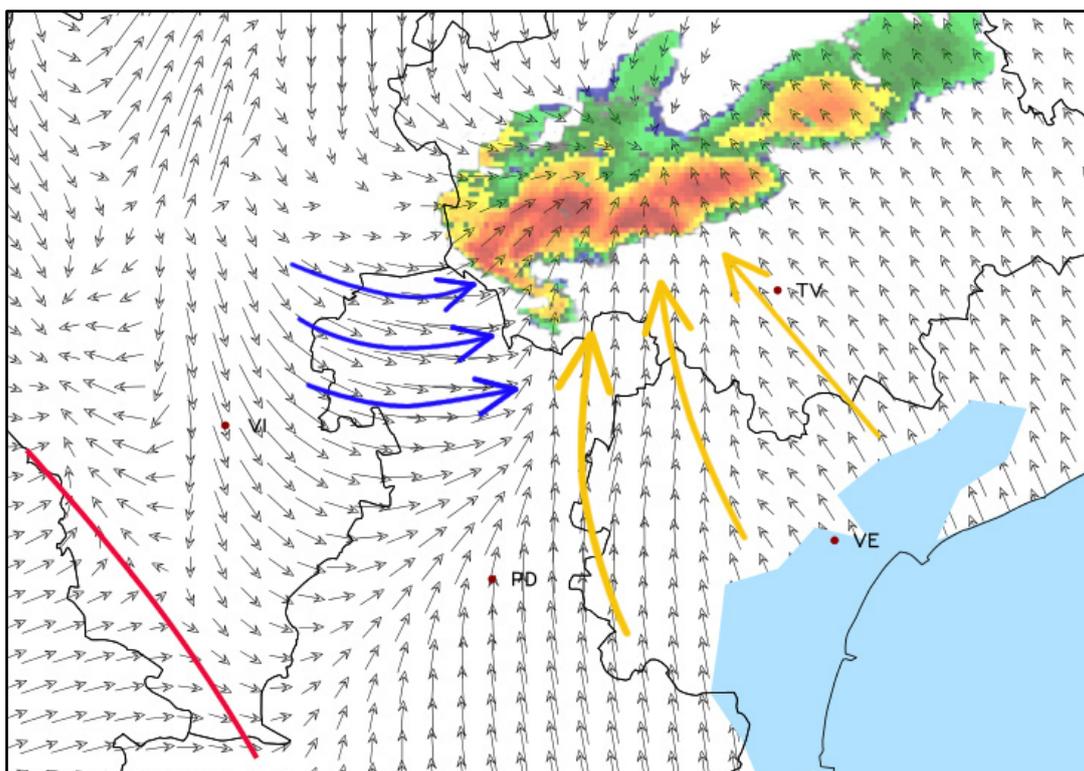


Fig. 3.10 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo e vento al suolo rete MNW ore 17.00 locali

Alle ore 17.10 locali si nota una discontinuità nella flanking line rappresentata dalla linea rossa in Fig. 3.11 dovuta probabilmente all'irruenza della corrente discendente di RFD che va a incrementare la rotazione di basso livello intensificando il tornado che in quei momenti stava colpendo il comune di Morgano (TV).

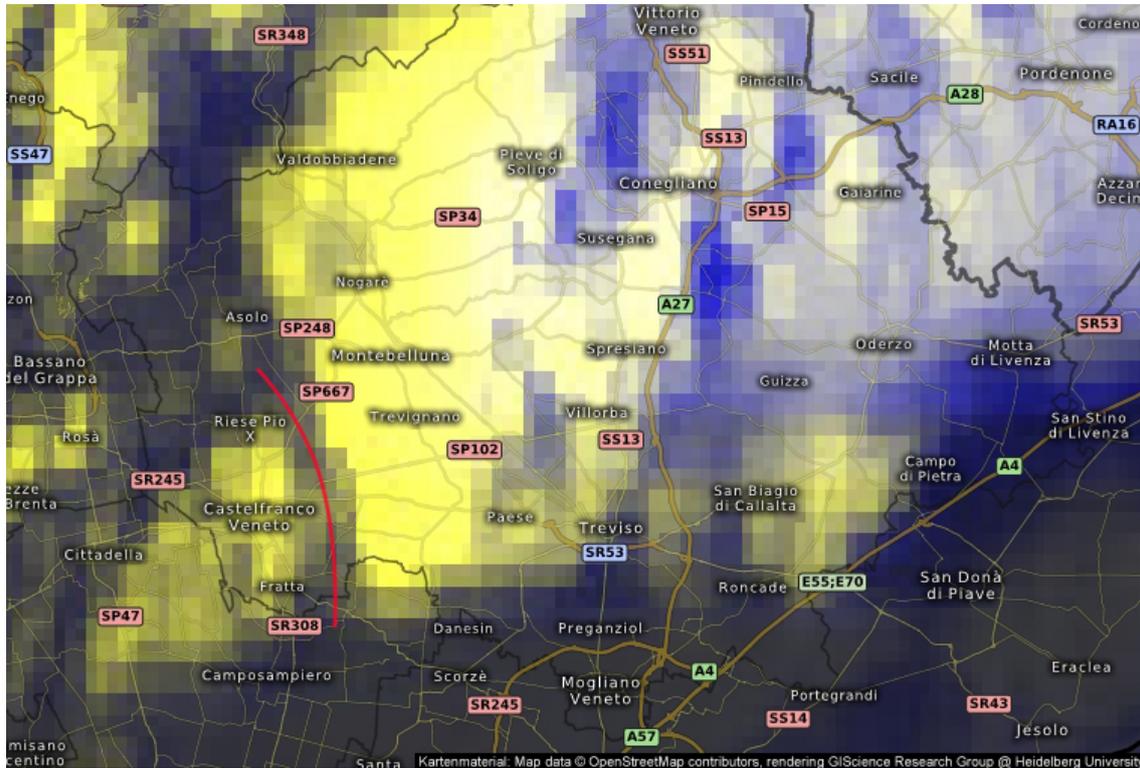


Fig. 3.11 – Satellite nel canale trispettrale delle ore 17.10 locali. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

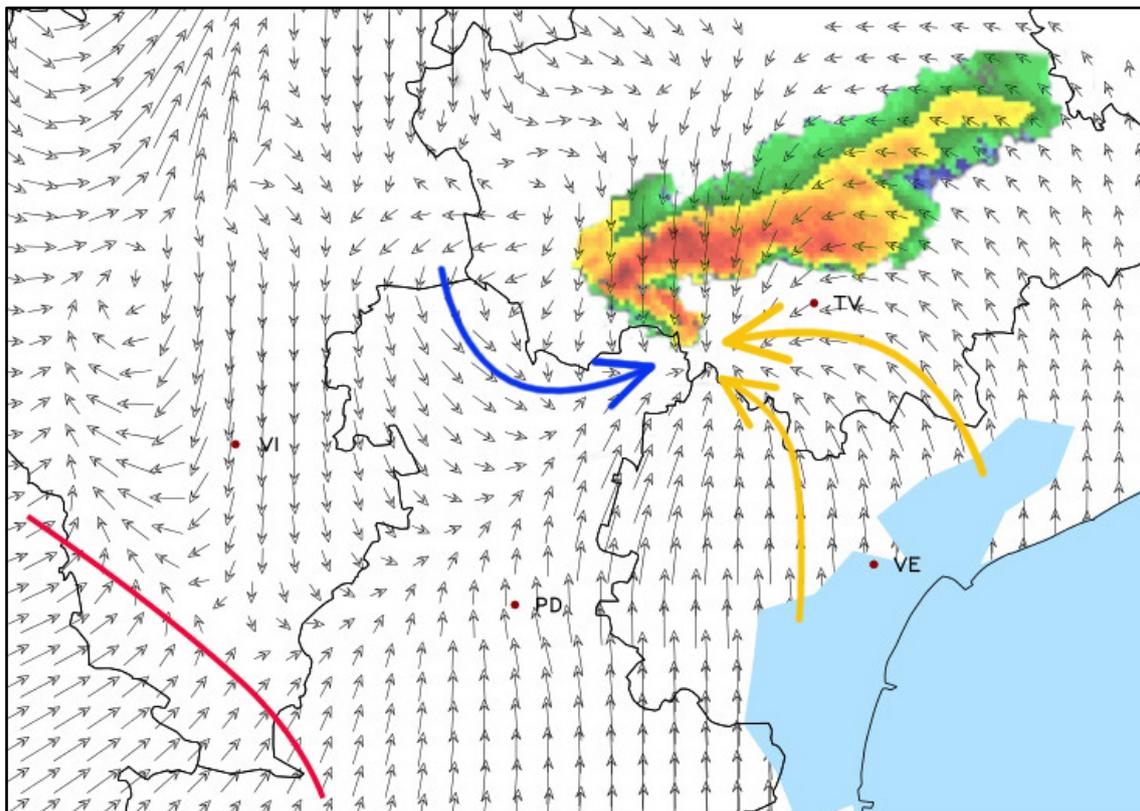


Fig. 3.12 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo e vento al suolo rete MNW ore 17.10 locali

Alle ore 17.20 locali inizia a ricostituirsi la flanking line (Fig. 3.13) con la strutturazione di un nuovo updraft sopravvento alla supercella a ovest dell'eco a uncino ormai prossimo a Treviso città (Fig. 3.14). Il tornado ha appena abbandonato il comune di Quinto di Treviso con la supercella ciclica che ha proseguito il suo moto verso est, eventuali successive occlusioni mesocicloniche non hanno determinato nuove tornadogenesi.

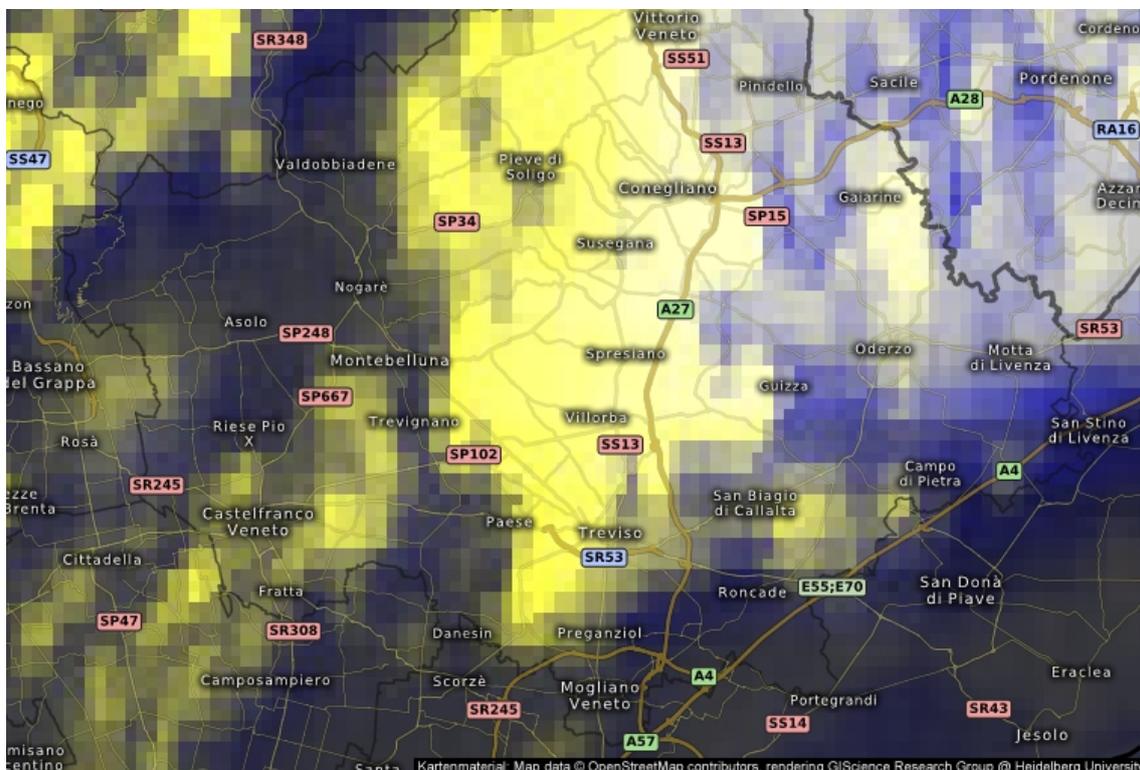


Fig. 3.13 – Satellite nel canale trispettrale delle ore 17.20 locali. Fonte: Eumetsat archivio Meteologix

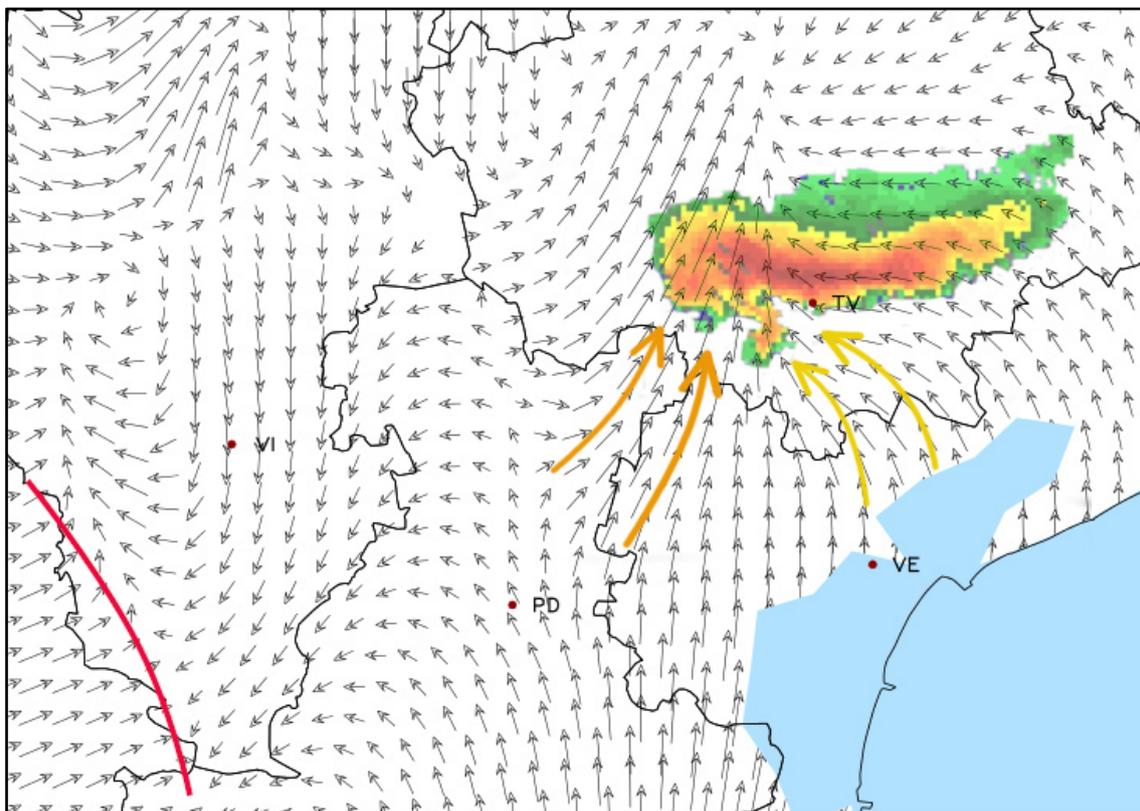


Fig. 3.14 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo e vento al suolo rete MNW ore 17.20 locali

3.3 Evoluzione echi radar della riflettività di base

Nella Fig. 3.15 di seguito proposta è possibile osservare l'intera evoluzione della supercella mediante la riflettività di base del radar ARPAV di Teolo (PD).

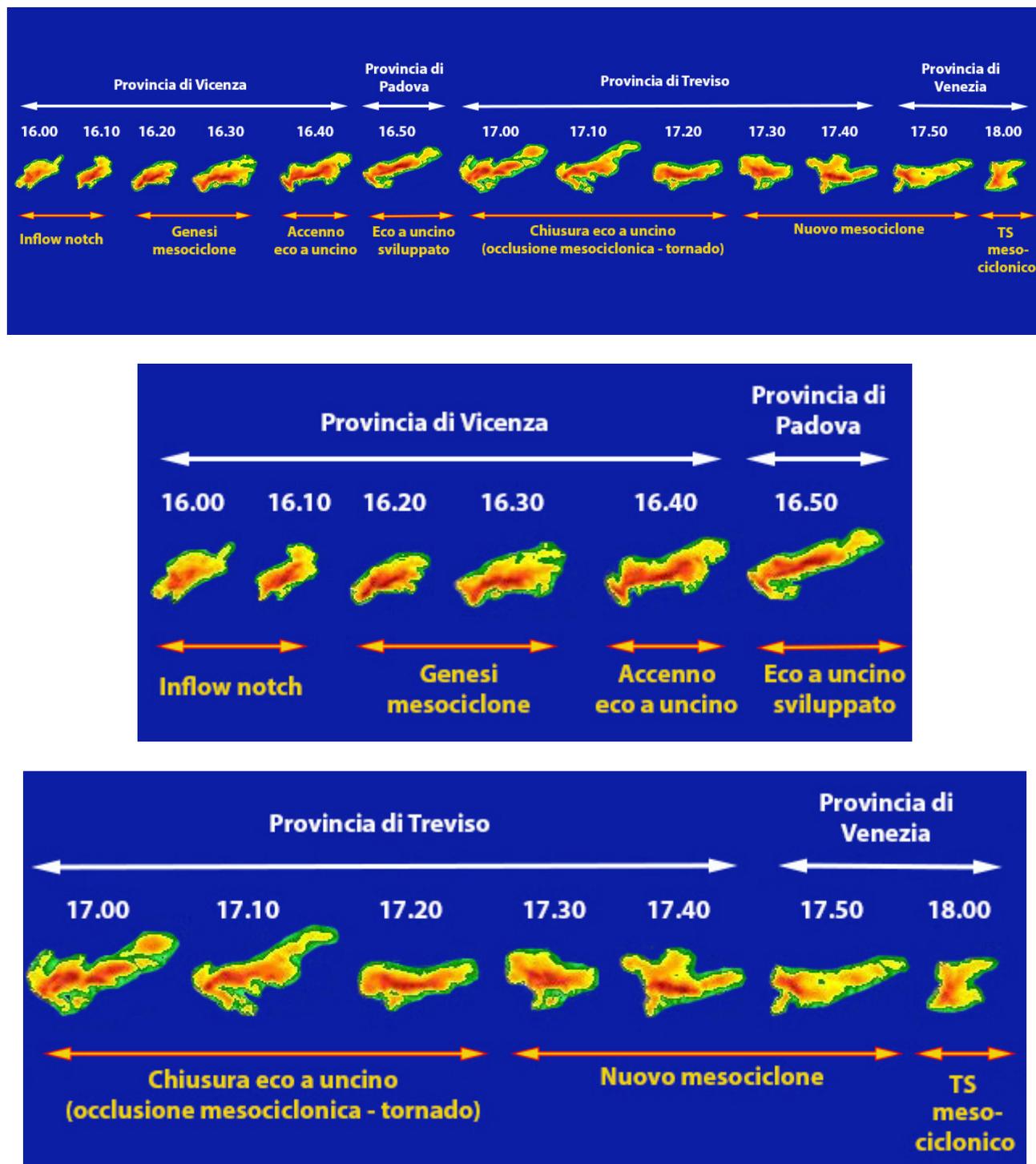


Fig. 3.15 – Evoluzione echi radar della supercella del 14/9/2015 (riflettività di base radar ARPAV di Teolo). L'immagine sulla parte superiore è ingrandita in quelle al centro e sulla parte inferiore.

Le successive immagini da Fig. 3.16 a Fig. 3.20 (elaborate con i software QGIS e GIMP) mostrano l'avanzata della supercella dal vicentino verso il trevigiano passando per il padovano. I pallini blu indicano il percorso seguito dal tornado che si è manifestato dalle ore 17.00 alle ore 17.15 locali circa.

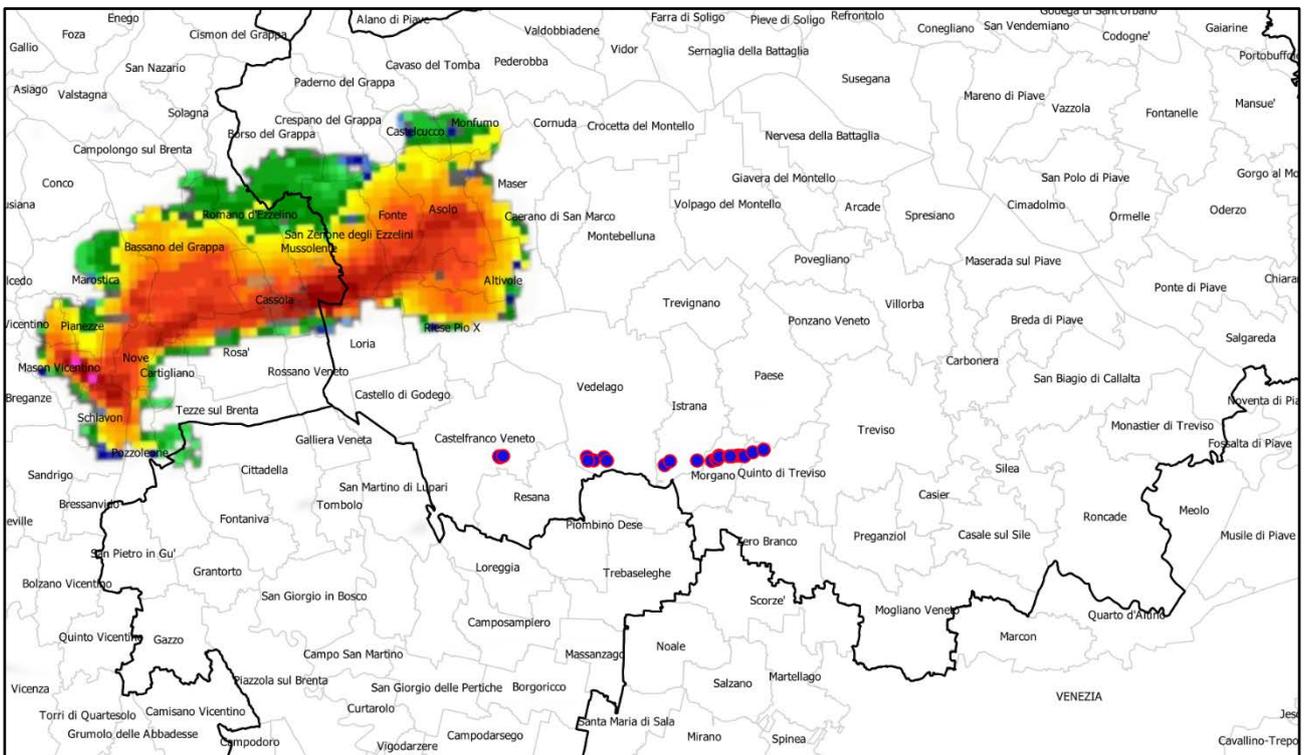


Fig. 3.16 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo ore 16.40 locali

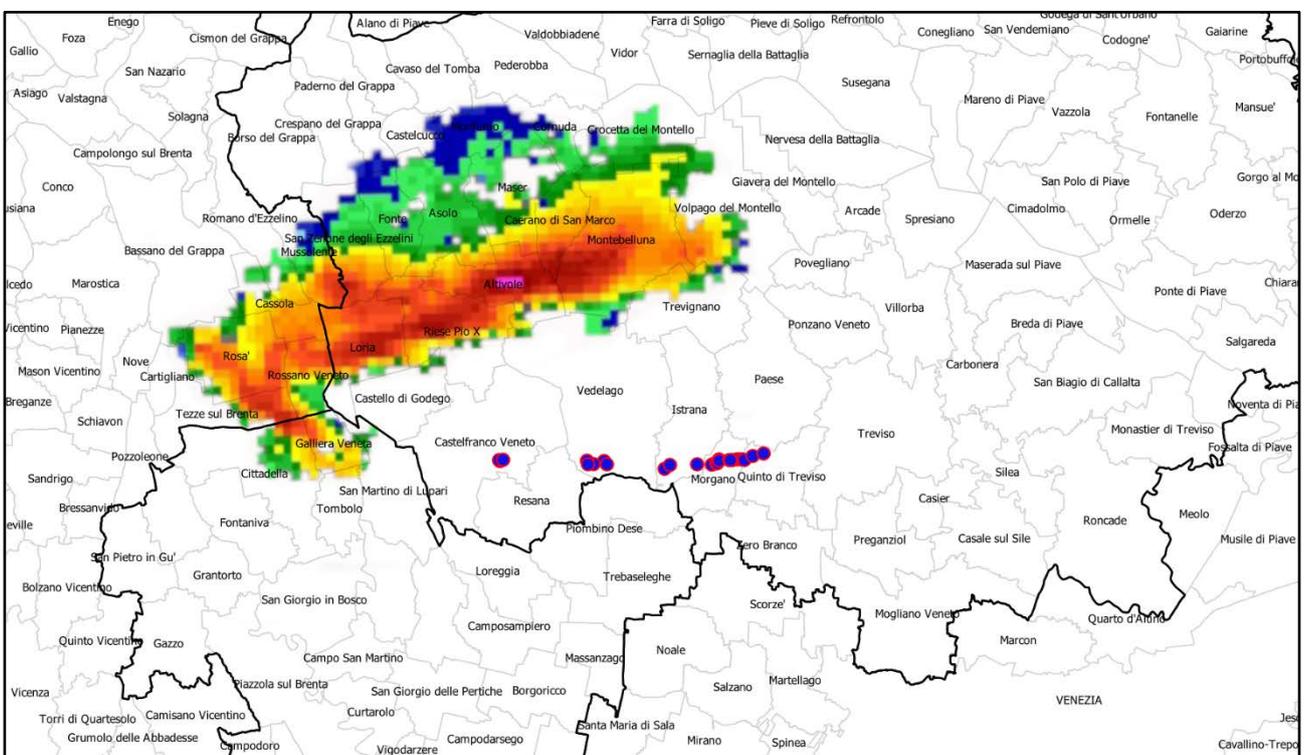


Fig. 3.17 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo ore 16.50 locali

Si ponga l'attenzione sul fatto che il tornado si è manifestato sulla punta dell'eco a uncino e non al suo interno, aspetto ben visibile nella supercella "classica" in esame: trattasi di un particolare che ricorre di norma nel caso dei tornado mesociclonici e che va tenuto nella dovuta considerazione in fase di monitoraggio (Fig. 3.18 e Fig. 3.19). Tuttavia, nel caso di supercelle HP (High Precipitation) o comunque tendenti a tale tipologia è assai più difficile individuare la forma completa a uncino, lo stesso dicasi nel caso di raggi di rotazione molto ridotti come avvenuto per la supercella tornadica sul veneziano dell'8 luglio 2015 (vedasi il paragrafo 3.7, Fig. 3.56 e Fig. 3.57).

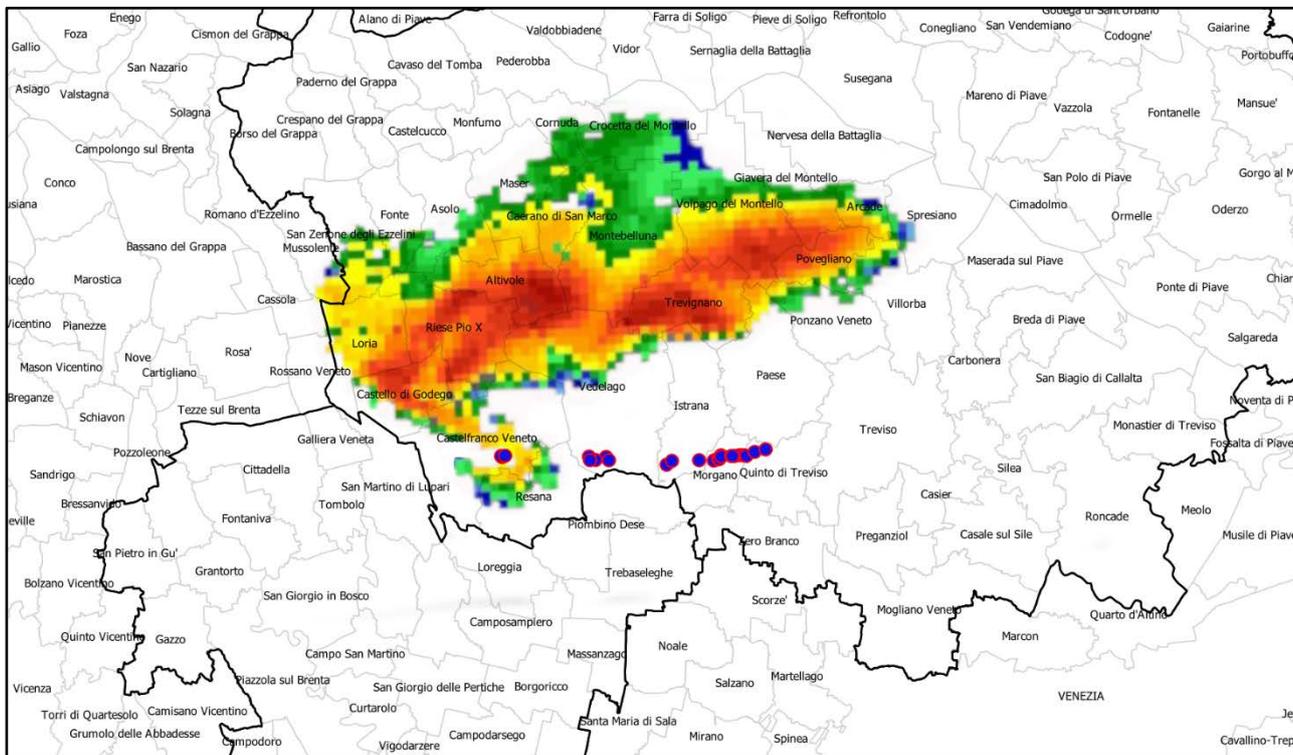


Fig. 3.18 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

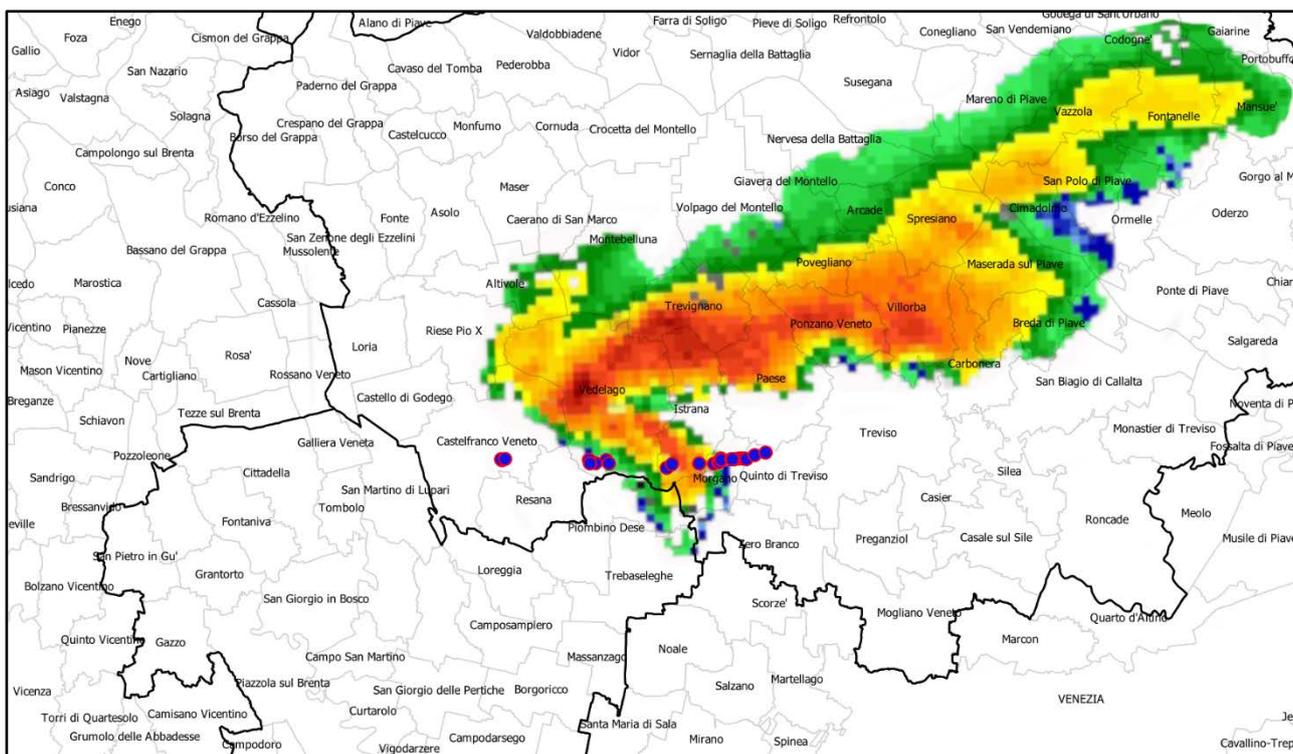


Fig. 3.19 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

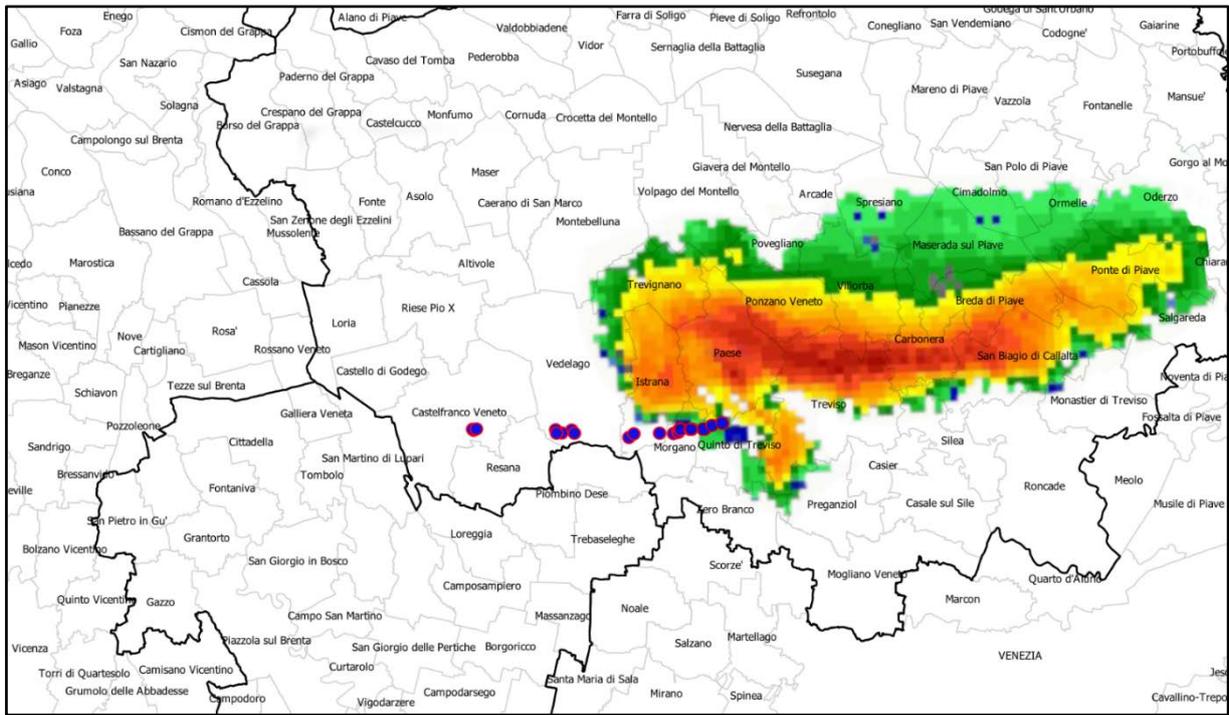


Fig. 3.20 – Riflettività a 0.9 gradi di elevazione radar ARPAV di Teolo ore 17.20 locali

Nelle Fig. 3.21 e Fig. 3.22 si riportano i campi di riflettività di base elaborati dal sistema HDSS di ARPAV: in particolare, eliminando i valori più bassi di riflettività si può apprezzare la forma dell'eco a uncino con il WER (Weak Echo Region) associato al mesociclone (Fig. 3.22).

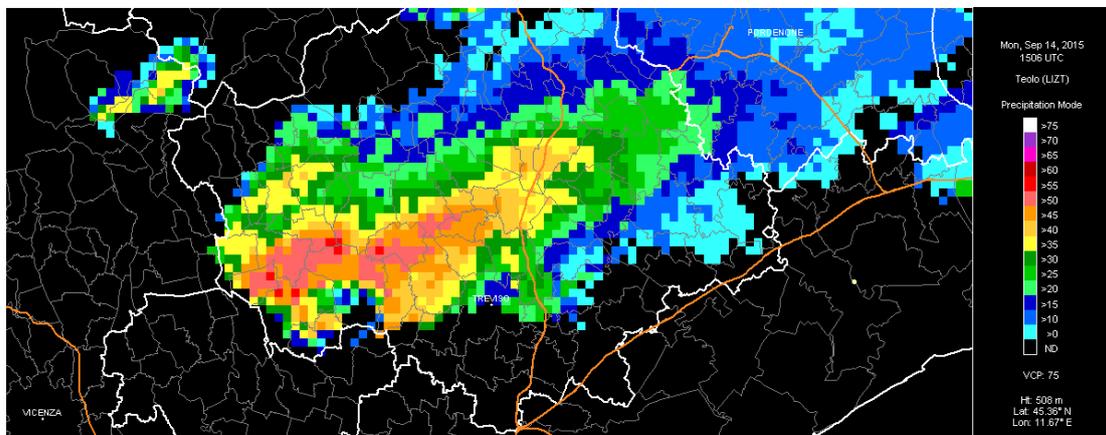


Fig. 3.21 – Riflettività di base radar ARPAV di Teolo ore 17.06 locali (sistema HDSS)

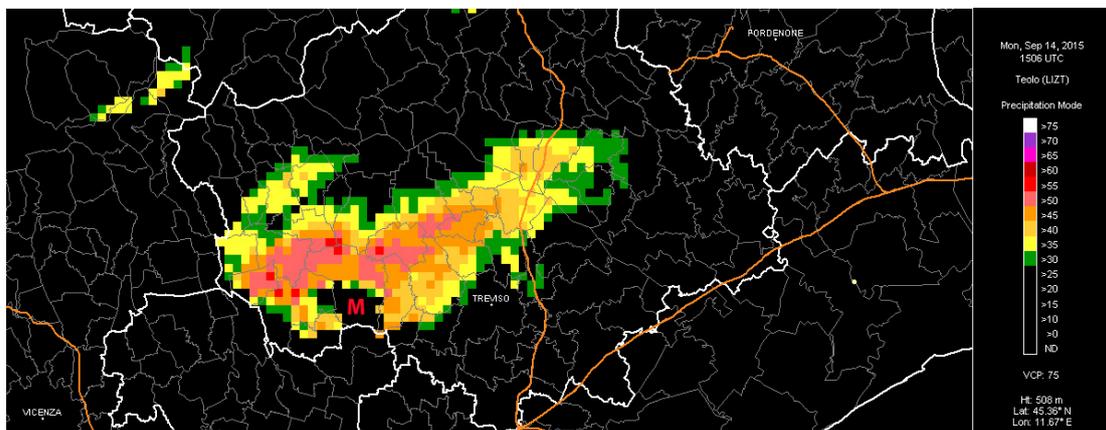


Fig. 3.22 – Riflettività di base > 30 dBZ radar ARPAV di Teolo ore 17.06 locali (sistema HDSS). M = mesociclone

3.4 Evoluzione echi radar della riflettività massima

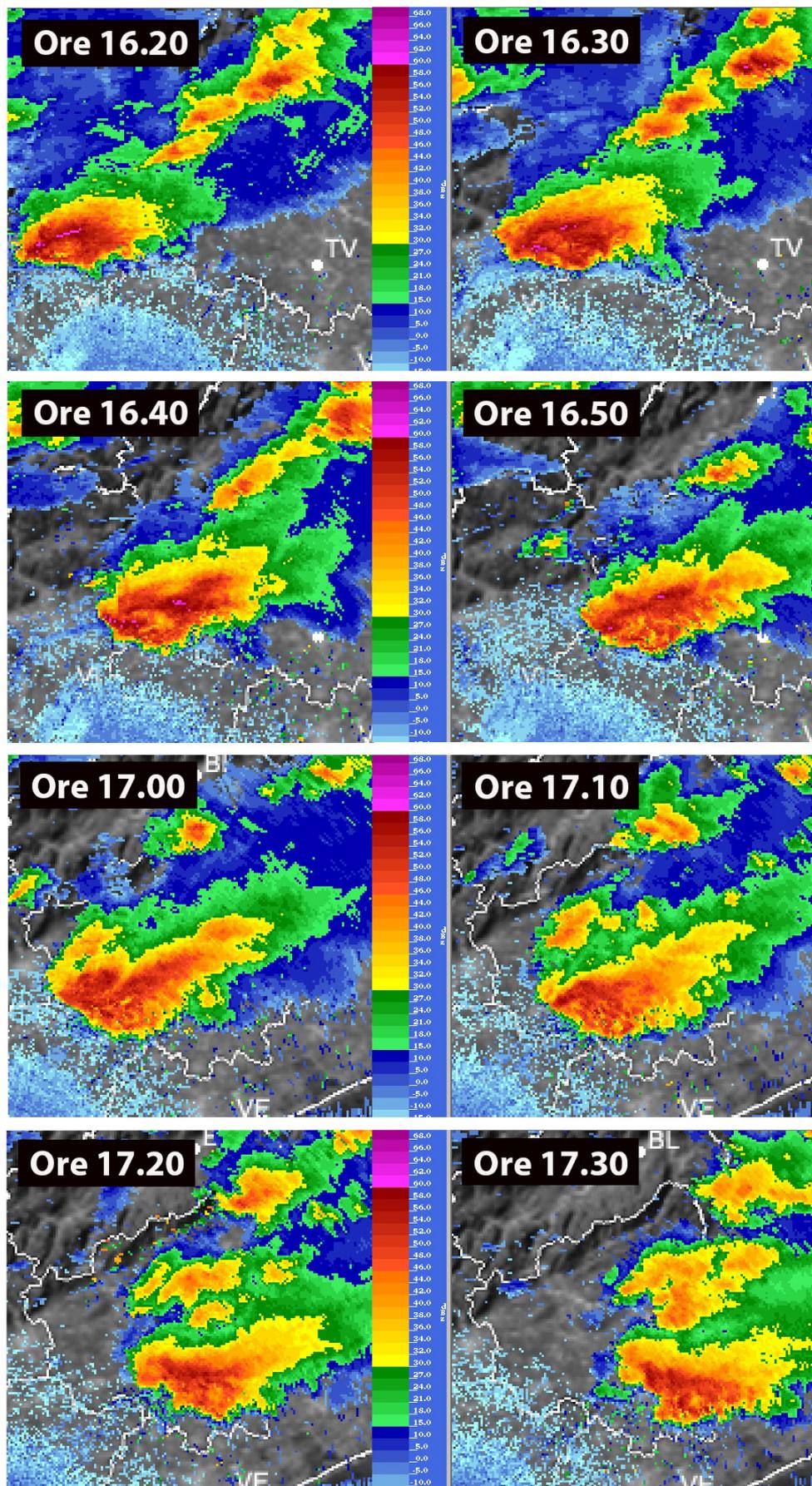


Fig. 3.23 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo dalle ore 16.20 alle ore 17.30 locali

In questo paragrafo si riportano i campi di riflettività massima dal radar ARPAV di Teolo (PD) della supercella in esame. Grazie agli insolitamente elevati valori di riflettività associati a grandine grossa (color ciclamino > 60 dBZ) è possibile distinguere i due downdraft della supercella: RFD sul lato occidentale (sopravvento) e FFD sul lato orientale (sottovento).

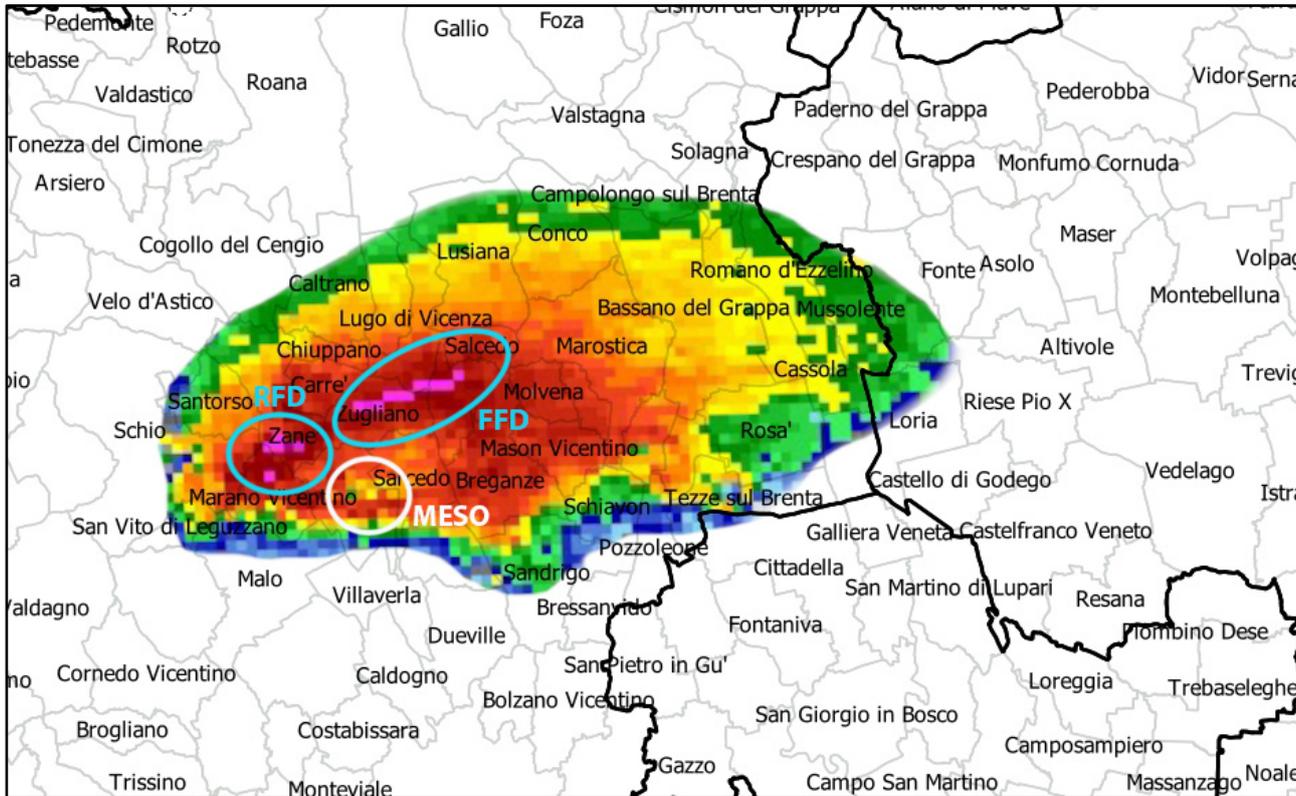


Fig. 3.24 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo ore 16.20 locali

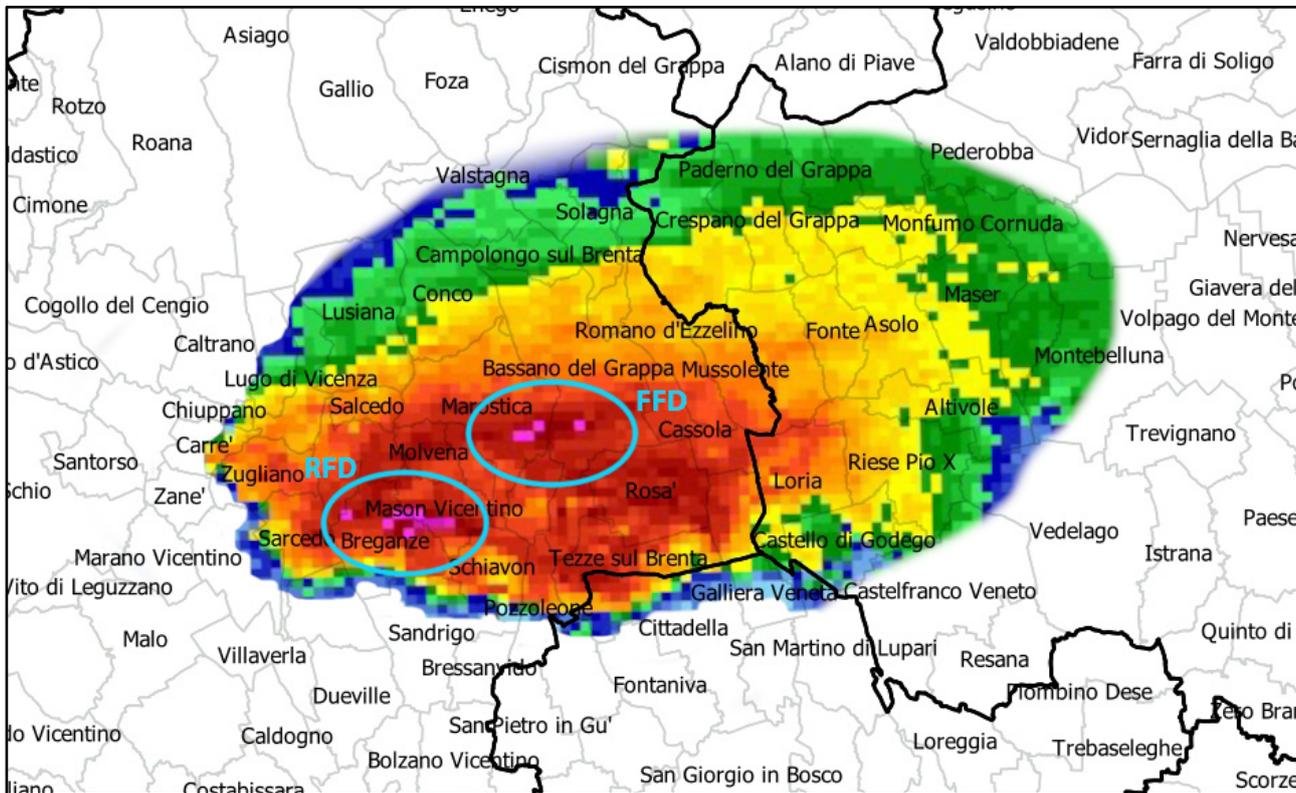


Fig. 3.25 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo ore 16.30 locali

Nella Fig. 3.24 e ancor più in Fig. 3.26 si nota un'area a minor riflettività corrispondente al mesociclone (cerchio bianco), oltretutto in quest'ultima figura si intuisce la spinta verso sud della corrente di RFD che appare più distanziato dal FFD lasciando supporre una maggior organizzazione dell'intera struttura supercellulare grazie alla separazione dei flussi principali al suo interno.

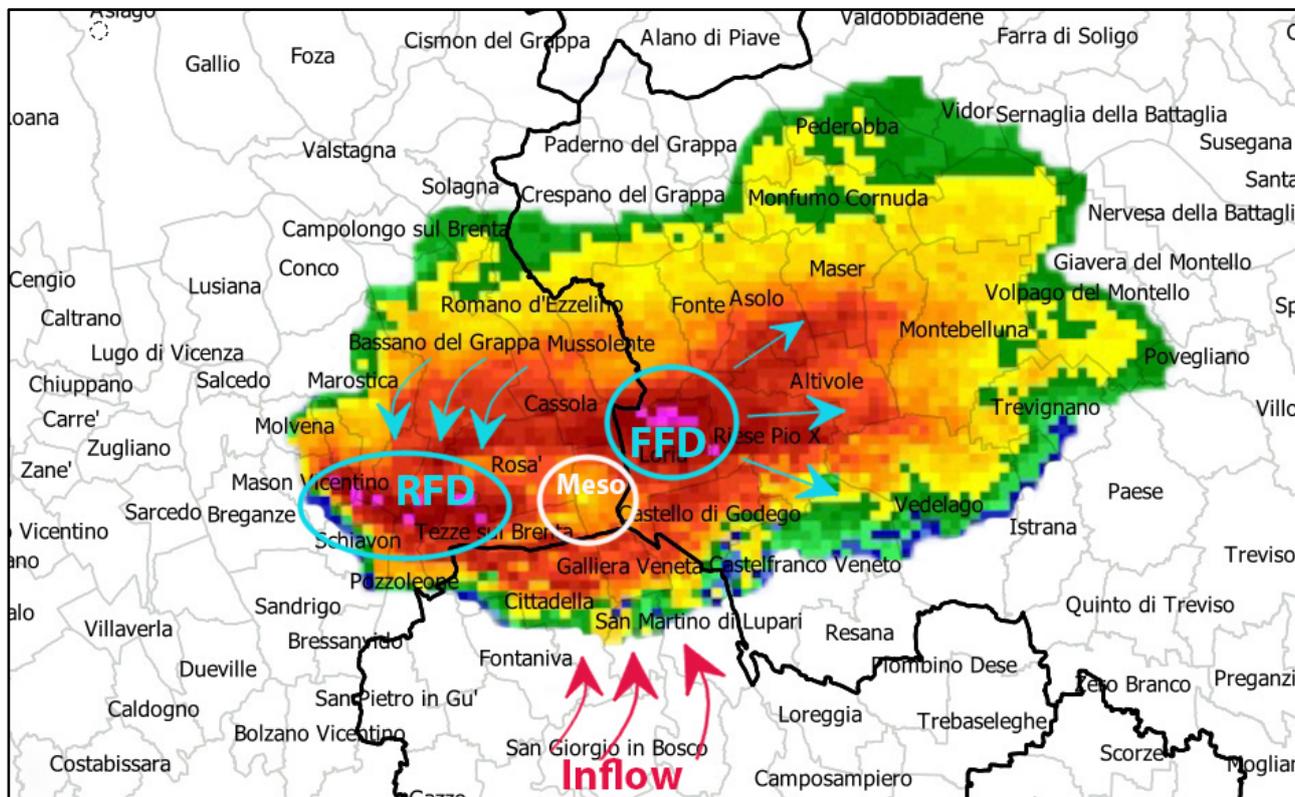


Fig. 3.26 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo ore 16.40 locali

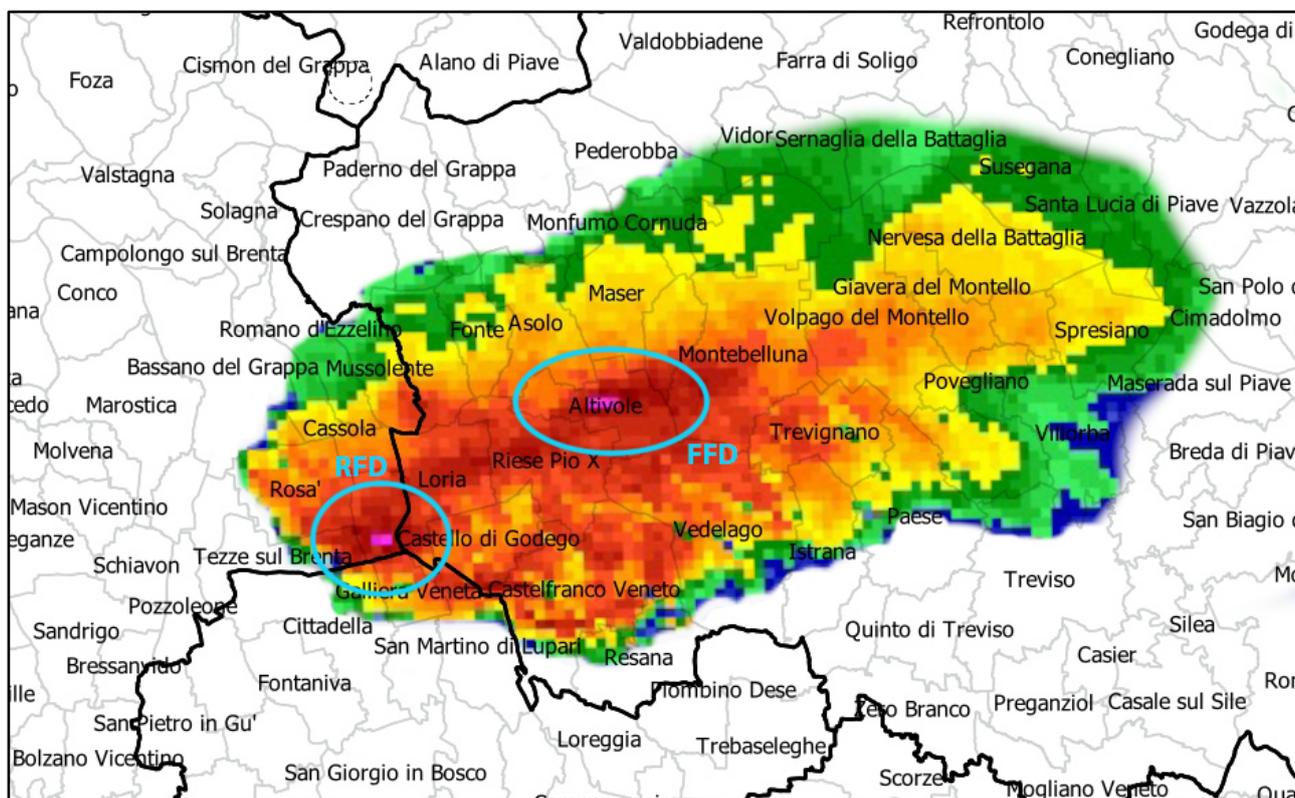


Fig. 3.27 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo ore 16.50 locali

Dalle ore 17 locali non compaiono più le aree di riflettività in ciclaminio superiori ai 60 dBZ (Fig. 3.28 e Fig. 3.23) a testimonianza del graduale indebolimento della struttura mesociclonica, tuttavia questa dinamica porterà a un incremento della rotazione nel mesociclone di basso livello e alla tornadogenesi a causa delle correnti discendenti di RFD come illustrato nello schema di Fig. 2.16.

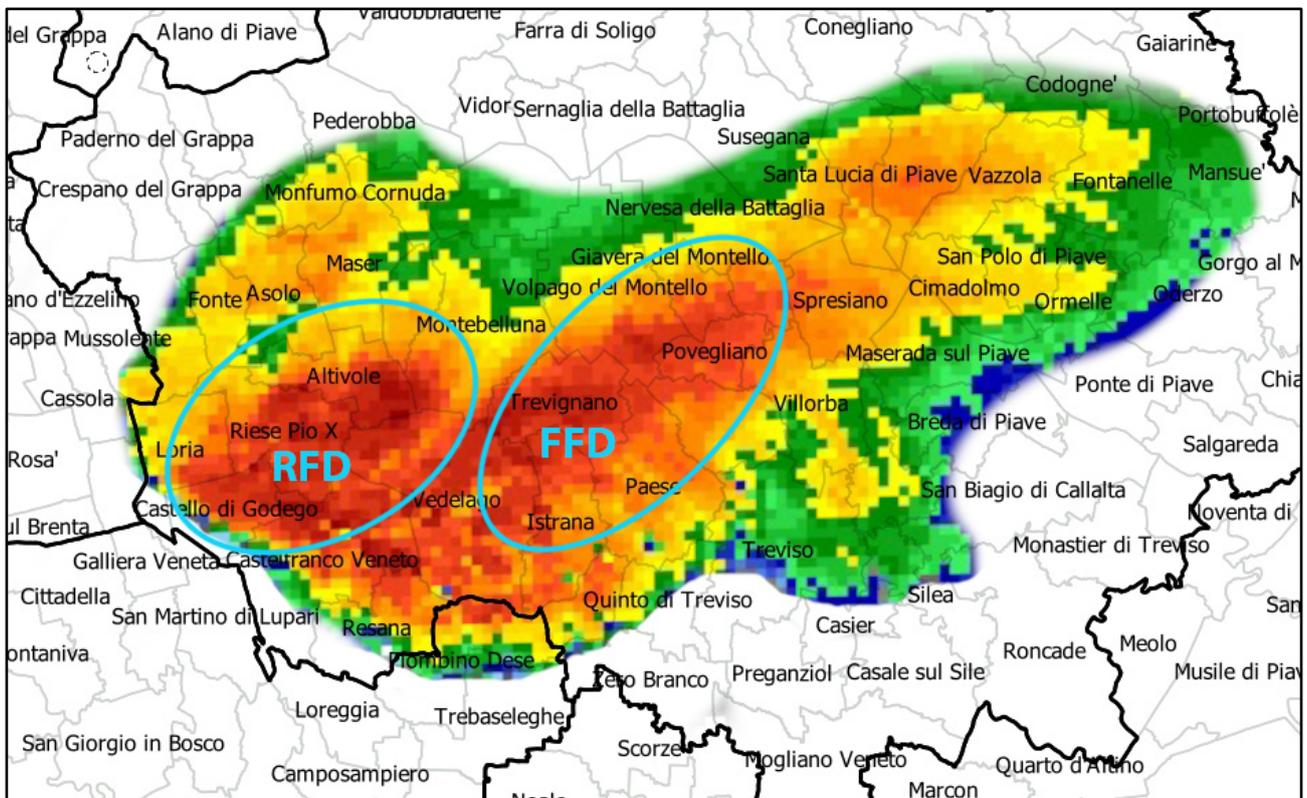


Fig. 3.28 – Riflettività massima radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

3.5 Sezioni verticali di riflettività

In questo paragrafo si riportano varie sezioni verticali di riflettività del radar ARPAV di Teolo (PD) dalle quali si può stimare una quota massima della supercella del 14/9/2015 di circa 15-16 km e un'altezza massima del BWER (Bounded Weak Echo Region) di circa 7 km. Non è stato possibile valutare l'altezza raggiunta dal mesociclone per la scarsa qualità delle sezioni verticali di velocità radiale.

Tra le ore 17 e le ore 17.10 locali la quota del BWER tende ad abbassarsi sensibilmente a conferma del graduale decadimento del mesociclone, tuttavia come già accennato ciò non deve tranquillizzare essendo questa fase coincidente con la tornadogenesi, chiaramente se le altre condizioni termodinamiche sono favorevoli in tal senso. La medesima dinamica è stata riscontrata anche nella supercella tornadica dell'8 luglio 2015 sul veneziano.

Risulta interessante un confronto delle sezioni verticali delle ore 17 locali: in Fig. 3.34 si nota come la corrente discendente di RFD si stia dirigendo verso il suolo, mentre la sezione di Fig. 3.35, eseguita lievemente più a nord verso il mesociclone (BWER), mostra che il flusso di RFD ha già raggiunto il suolo. Ciò in accordo con le classiche dinamiche relative al flusso discendente dei downdrafts.

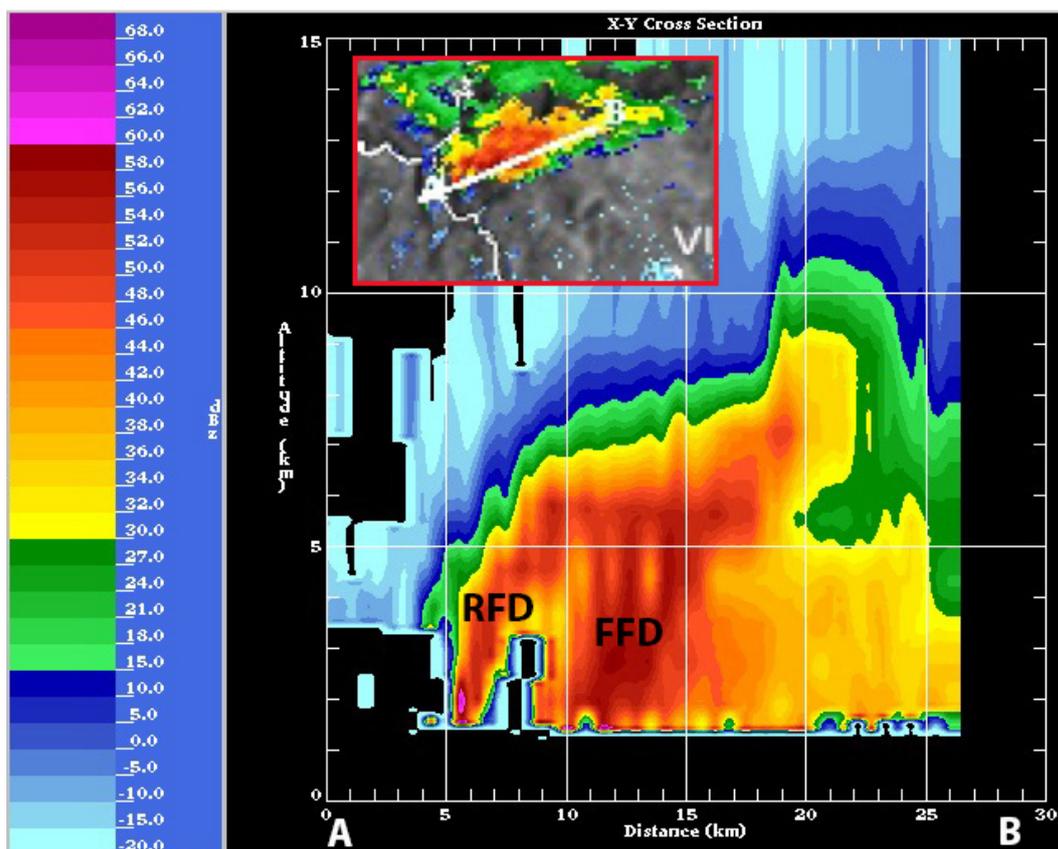


Fig. 3.29 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 16.00 locali

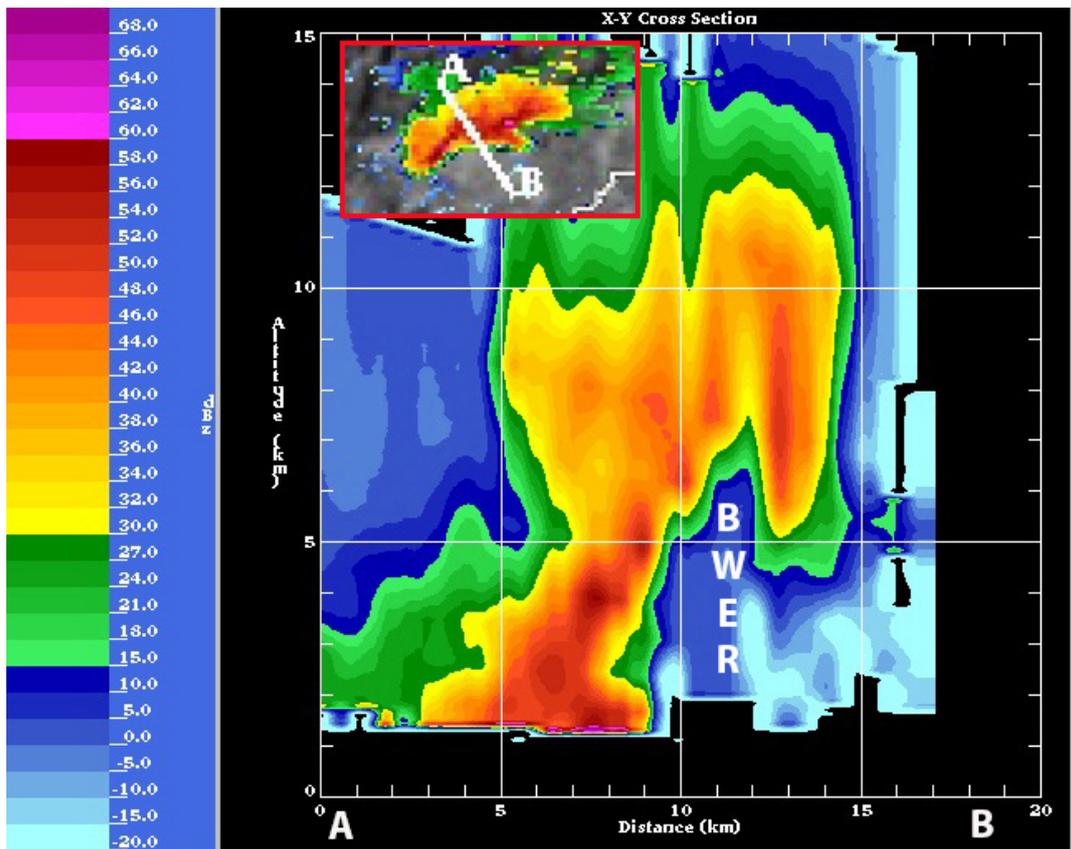


Fig. 3.30 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 16.20 locali

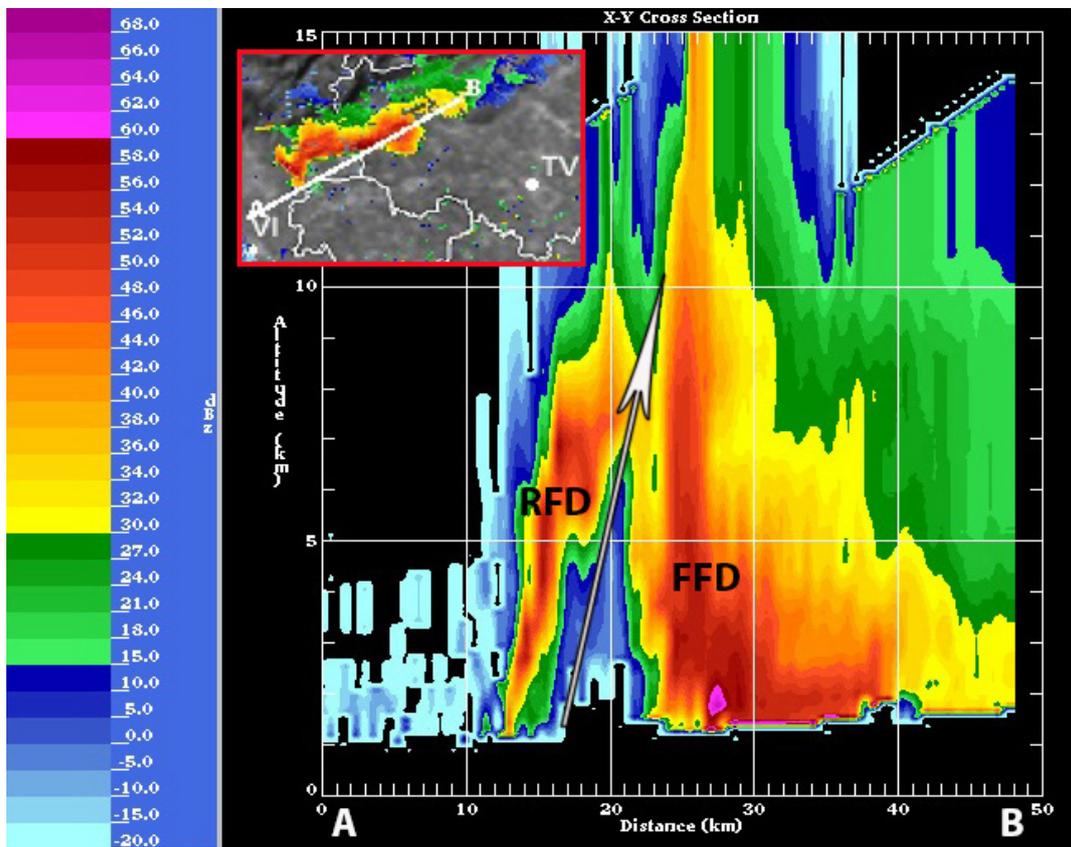


Fig. 3.31 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 16.40 locali. La freccia bianca indica l'updraft.

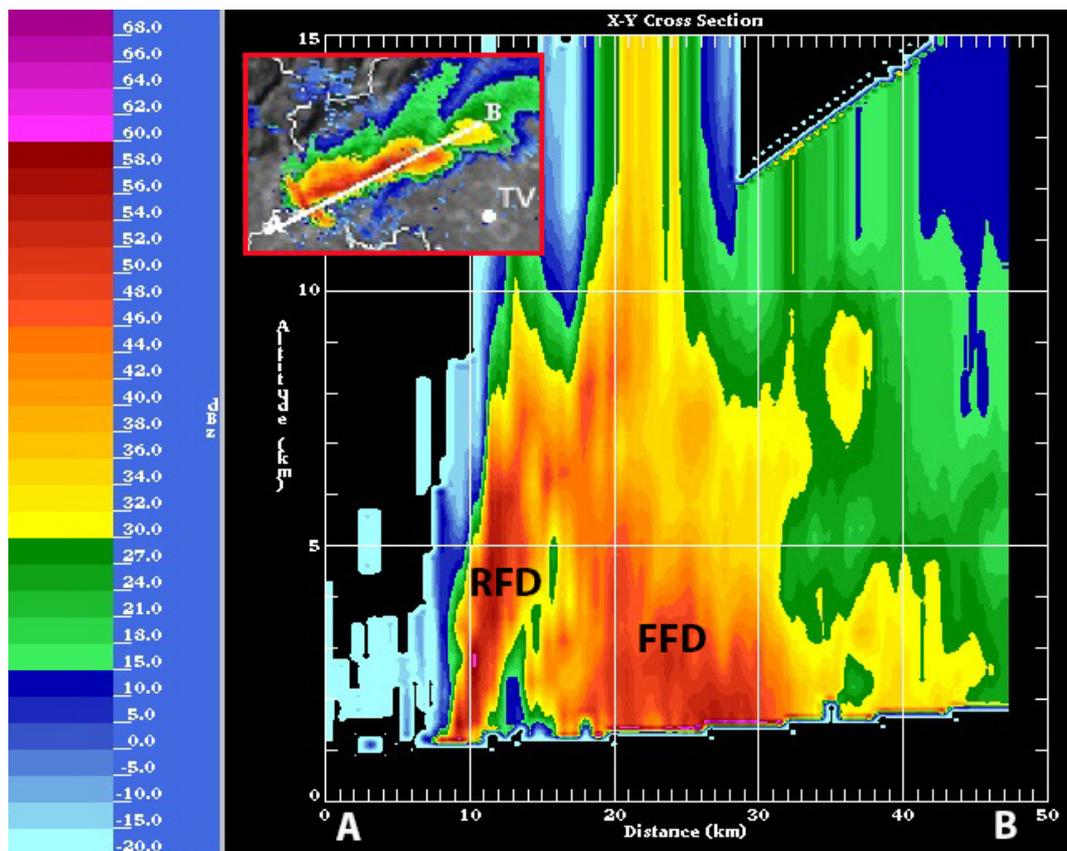


Fig. 3.32 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 16.50 locali

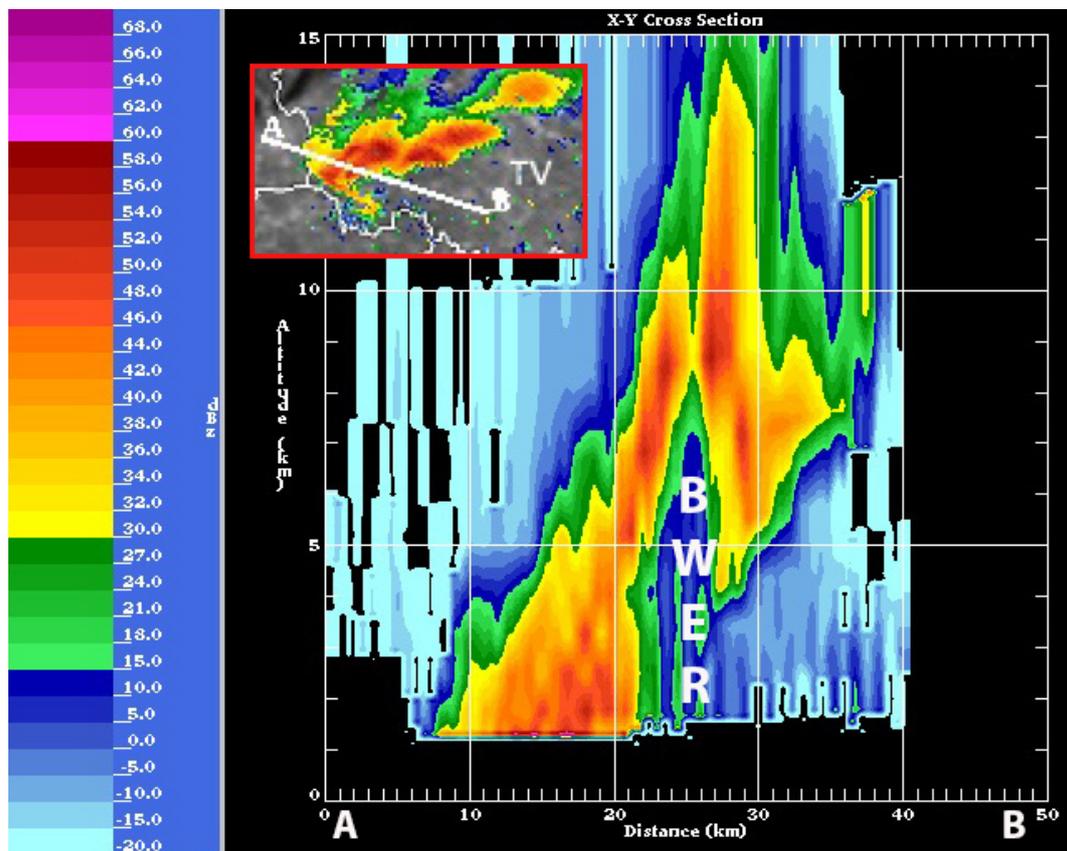


Fig. 3.33 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

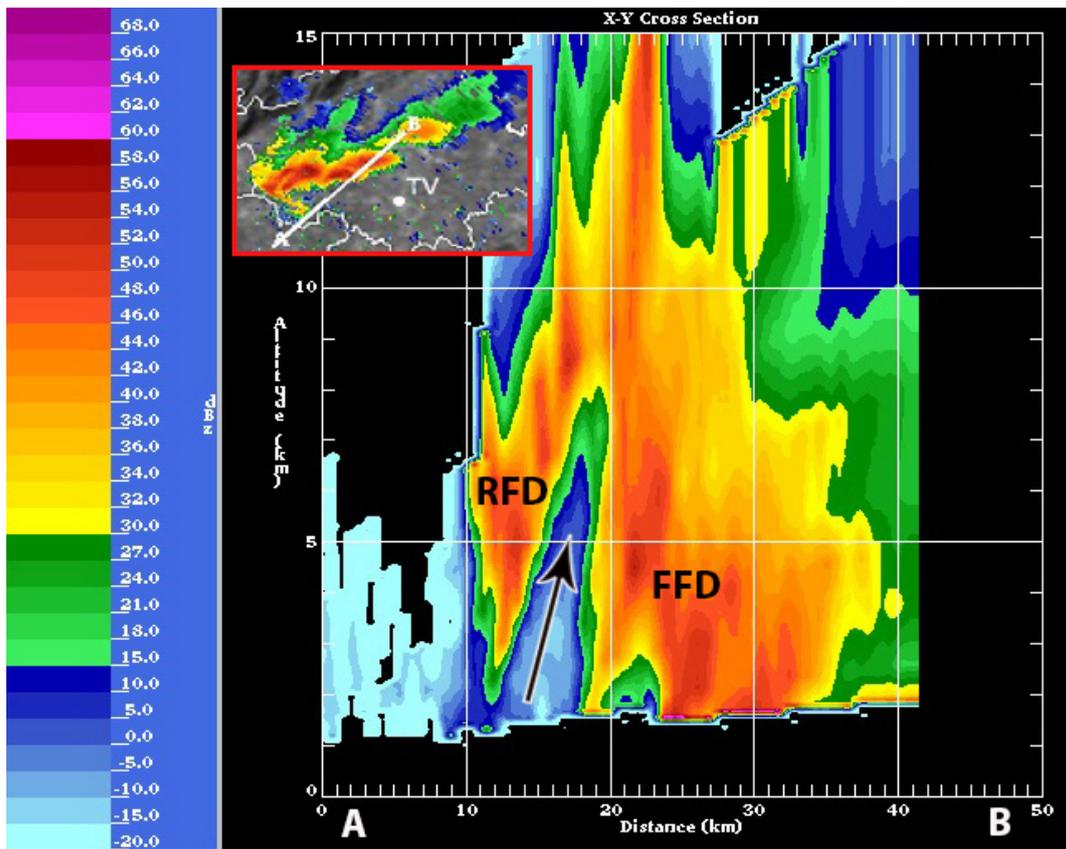


Fig. 3.34 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali. La freccia nera indica l'updraft.

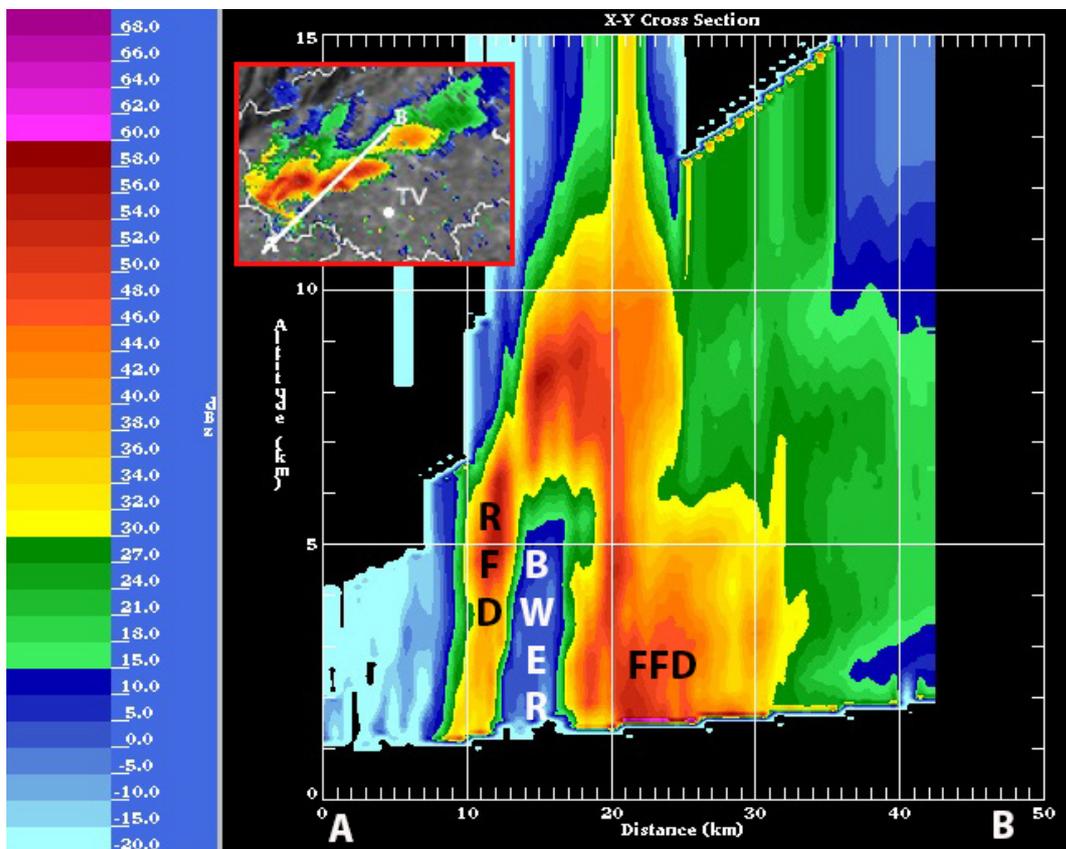


Fig. 3.35 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

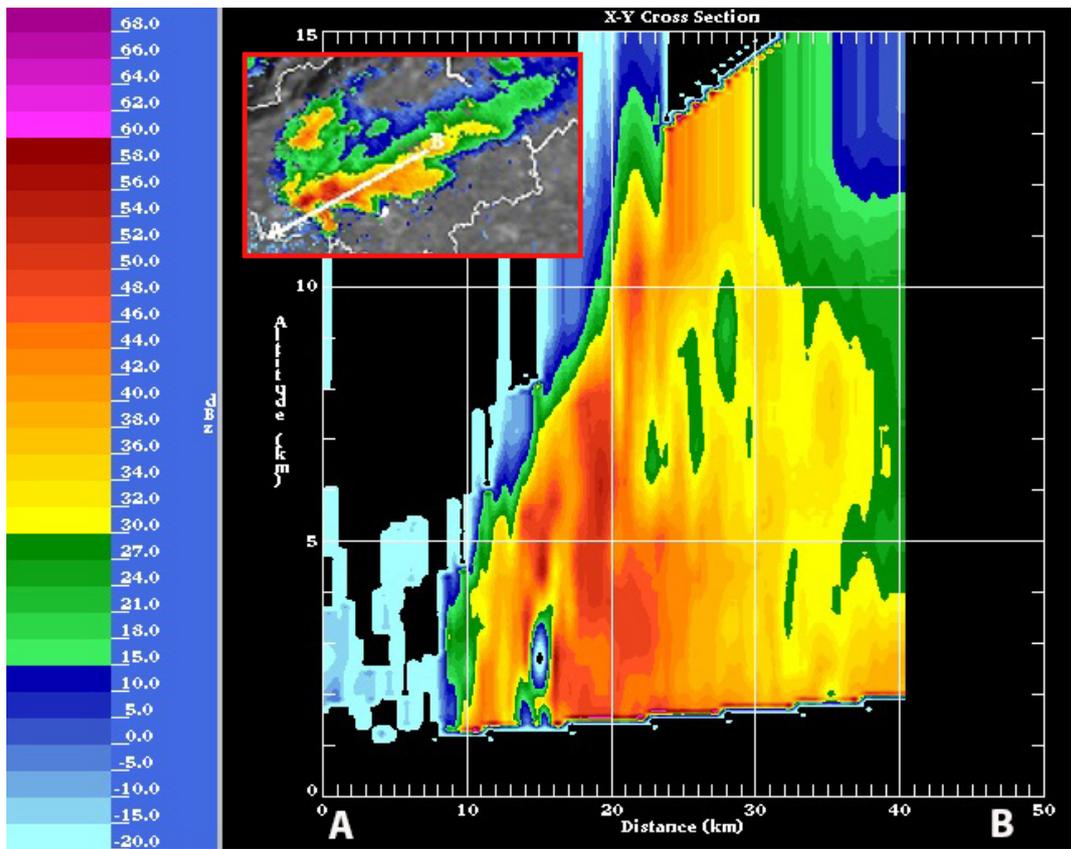


Fig. 3.36 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

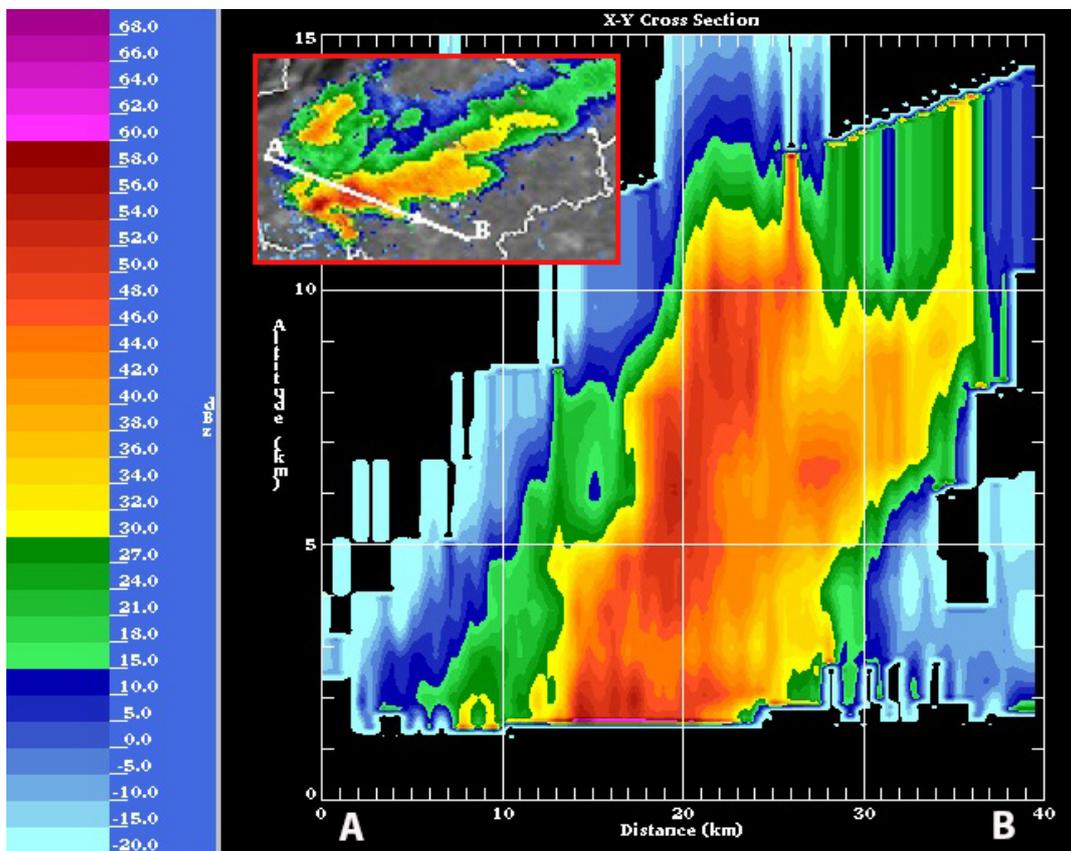


Fig. 3.37 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

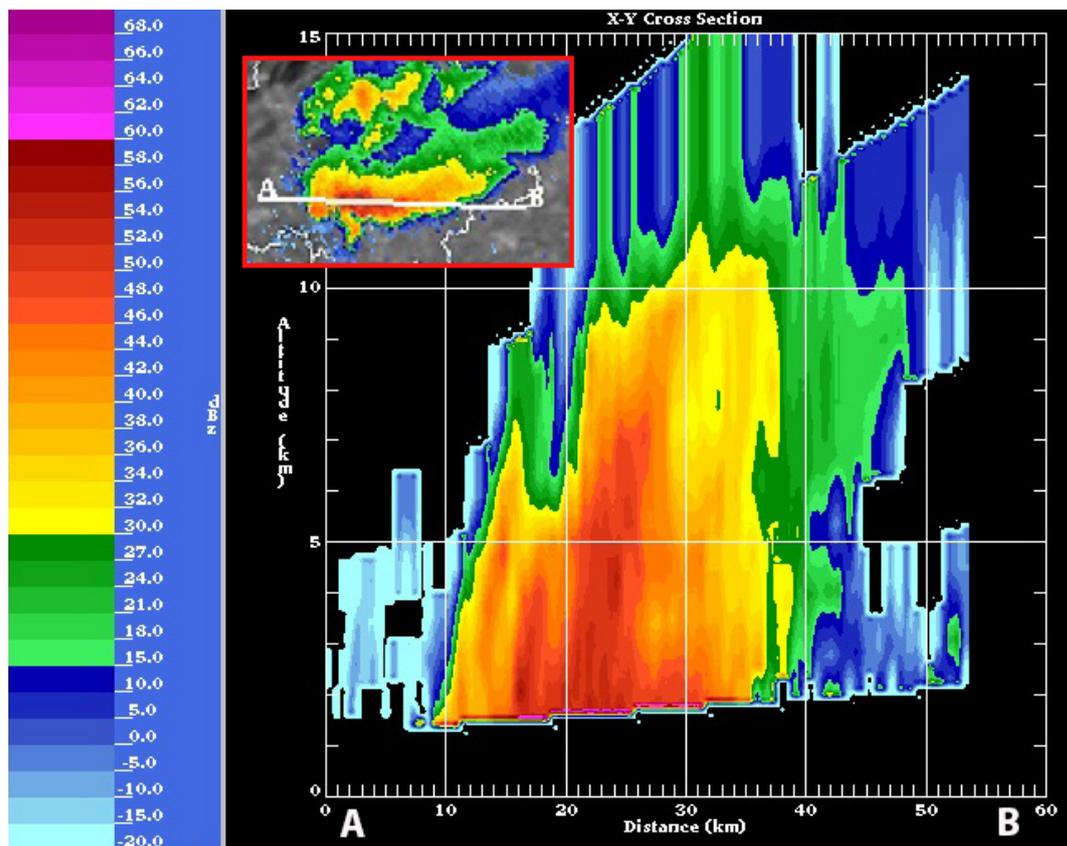


Fig. 3.38 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.20 locali

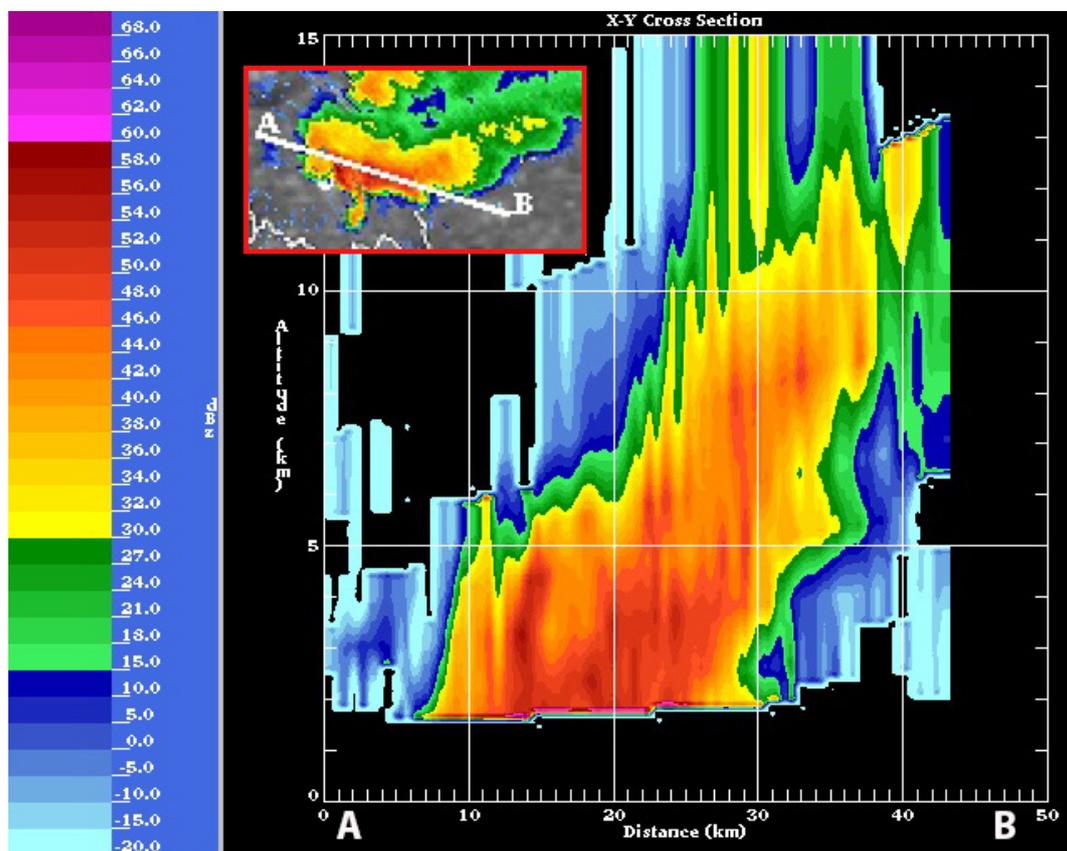


Fig. 3.39 – Sezione verticale di riflettività radar ARPAV di Teolo ore 17.30 locali

3.6 Mappe di velocità radiale

Nelle Fig. 3.40 e Fig. 3.41 si riporta un confronto tra i campi di riflettività e di velocità radiale del radar di Teolo (PD) allo scopo di evidenziare la rotazione ciclonica della supercella (frecche bianche e nere). Il verde denota velocità radiali in avvicinamento al radar, il rosso velocità in allontanamento. I cerchi color ciclamino identificano la posizione del mesociclone in procinto di evolvere in “tornado cyclone”, tradito dalla presenza di pixel rossi accostati a pixel verdi (Fig. 3.40, parte destra).

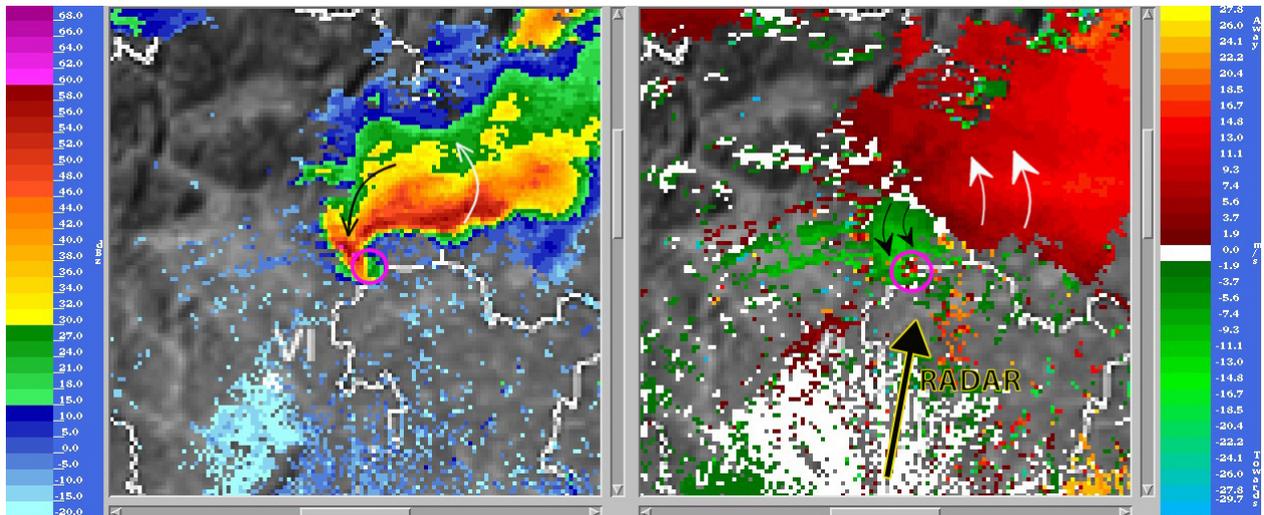


Fig. 3.40 – Riflettività (sinistra) e velocità radiale (destra) elevazione 2.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 16.40 locali

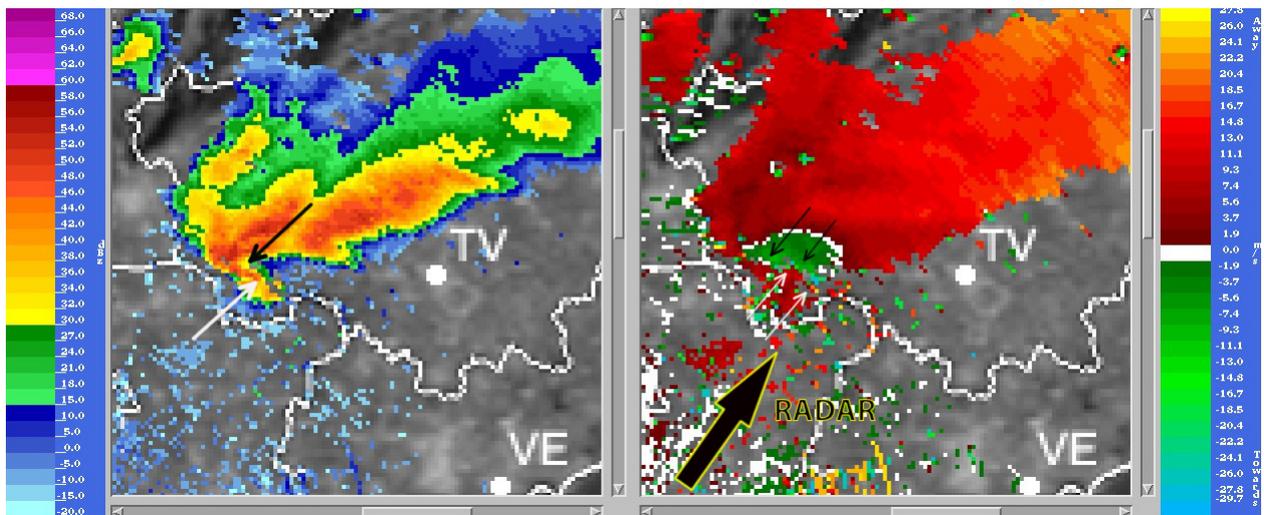


Fig. 3.41 – Riflettività (sinistra) e velocità radiale (destra) elevazione 2.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

Nelle successive immagini delle ore 17 locali (da Fig. 3.42 a Fig. 3.47) si propone un confronto tra riflettività e velocità radiale per individuare un'area specifica associata molto probabilmente a un intenso flusso discendente di RFD. Tale area è cerchiata in blu nelle mappe di velocità per racchiudere i pixel di colore giallo che denotano elevati valori in allontanamento dal radar di Teolo (collocato fuori campo in basso a sinistra), indice di forti venti orientati da SW a NE coerentemente con quanto osservato nelle Fig. 3.9 e Fig. 3.10. La forma arcuata nella parte terminale dell'eco a uncino in Fig. 3.42 (vedasi anche Fig. 3.18) probabilmente è dovuta proprio all'irruzione della corrente di RFD avanzante verso est. Il cerchio rosso sulla punta dell'eco a uncino in Fig. 3.42 e Fig. 3.45 racchiude un'area a riflettività nulla coincidente o molto vicina al tornado cyclone: tale area è molto prossima se non sovrapponibile a una sorta di Tornado Vortex Signature (TVS, cerchio blu in Fig. 3.46). L'asterisco blu localizza il tornado mentre i pallini blu contornati in rosso il suo percorso verso est.

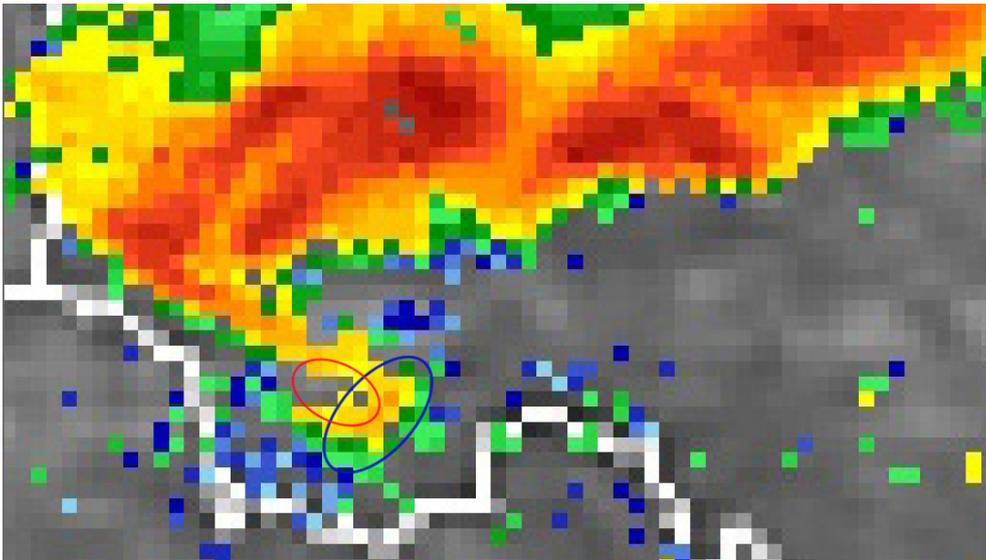


Fig. 3.42 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

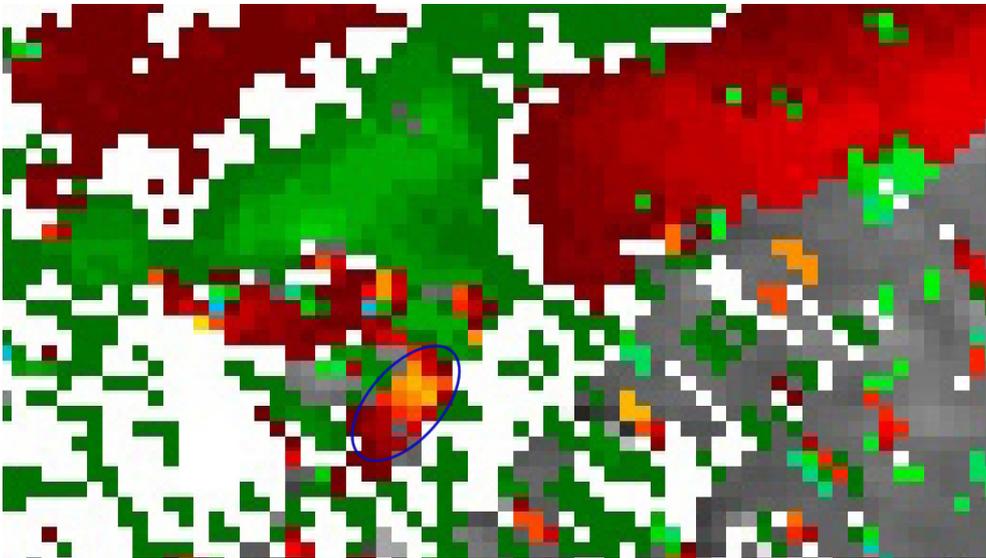


Fig. 3.43 – Velocità radiale elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

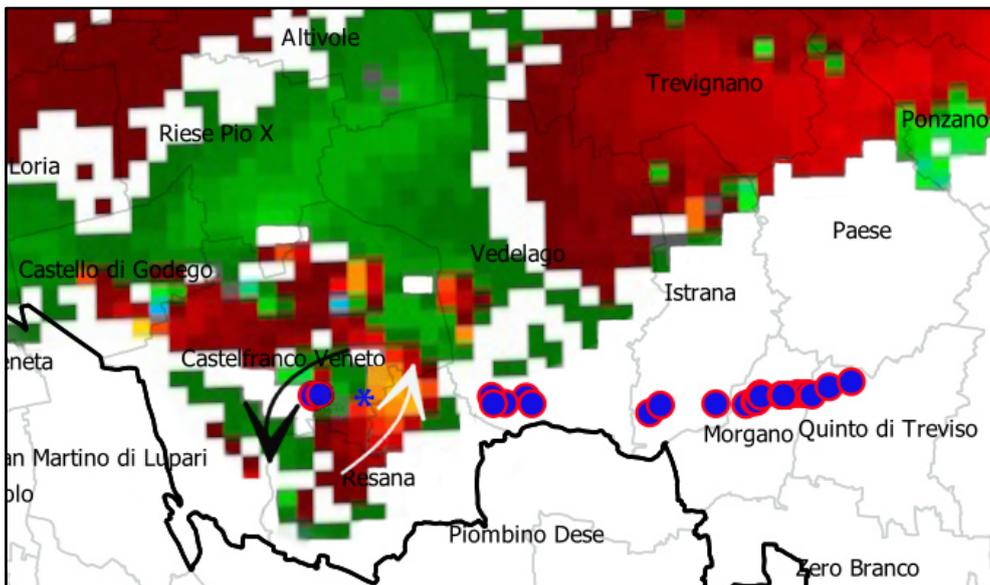


Fig. 3.44 – Velocità radiale elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

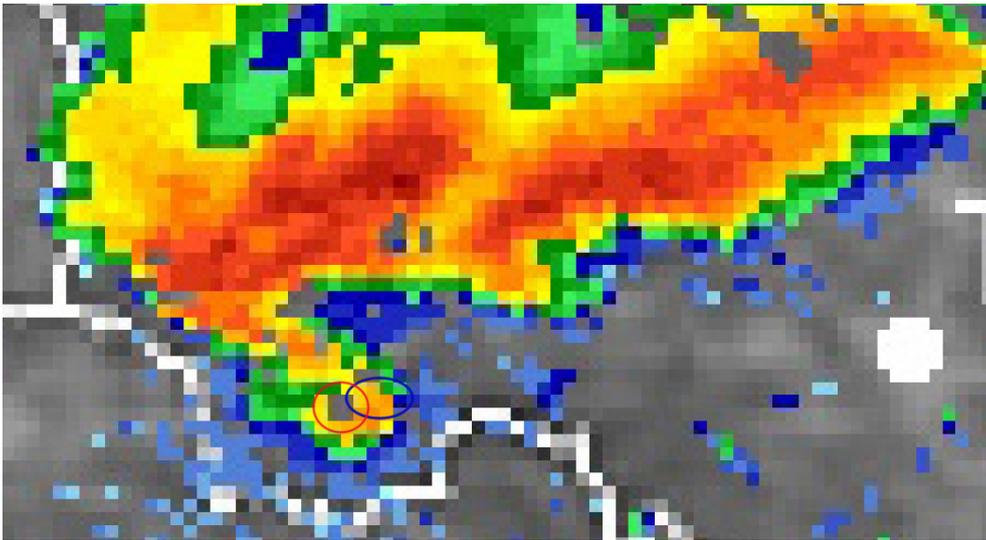


Fig. 3.45 – Riflettività elevazione 1.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

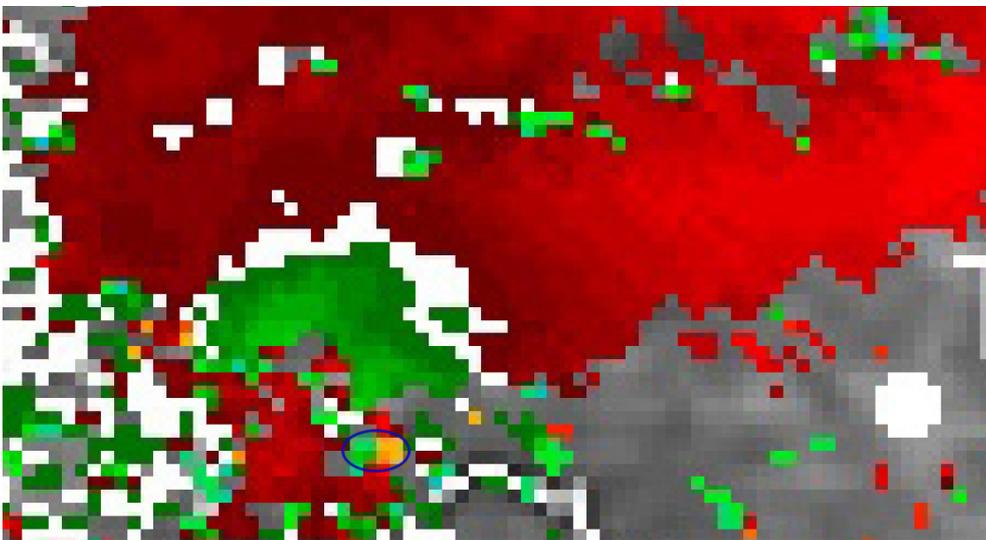


Fig. 3.46 – Velocità radiale elevazione 1.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

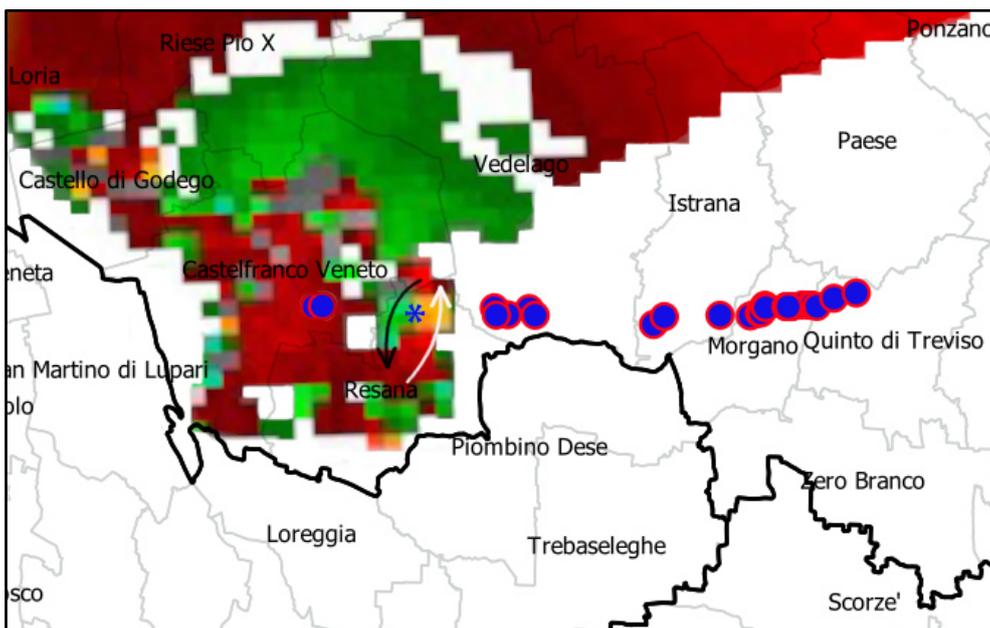


Fig. 3.47 – Velocità radiale elevazione 1.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali

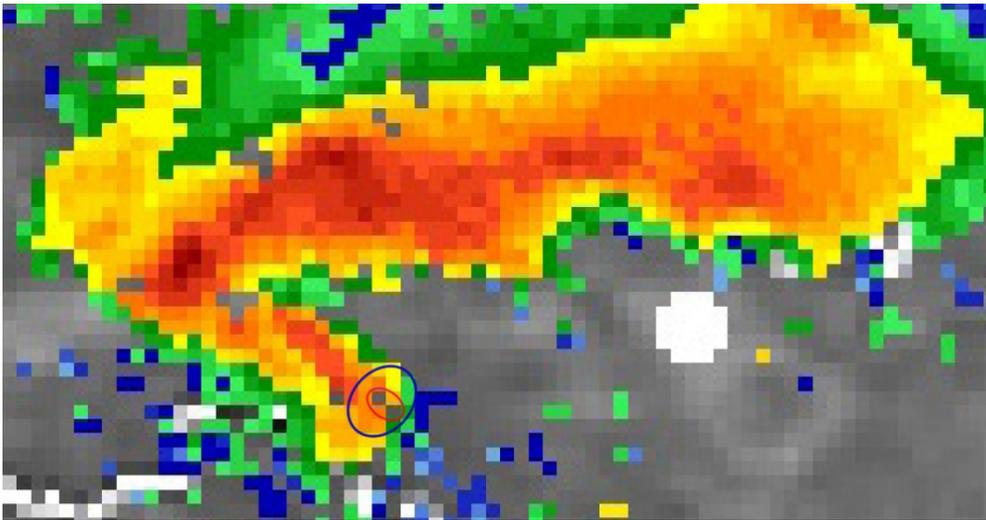


Fig. 3.48 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

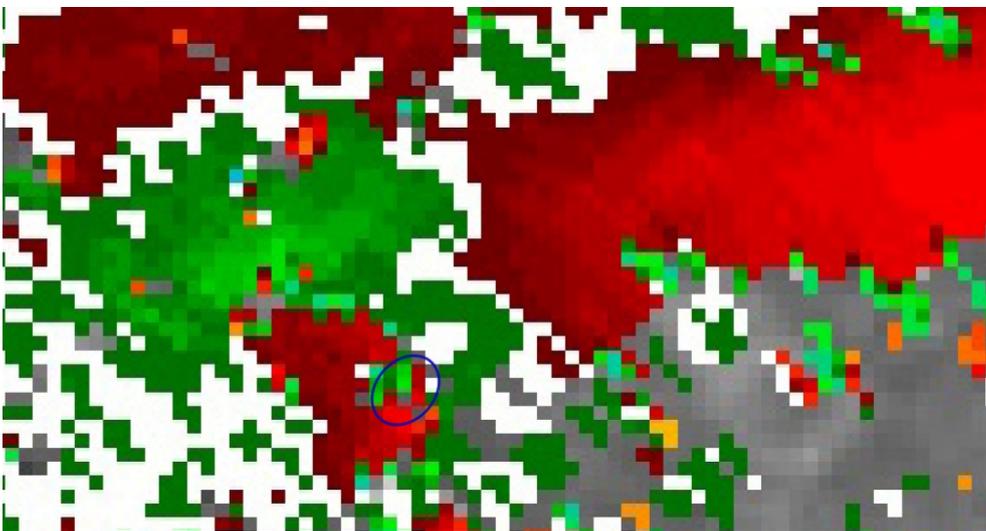


Fig. 3.49 – Velocità radiale elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

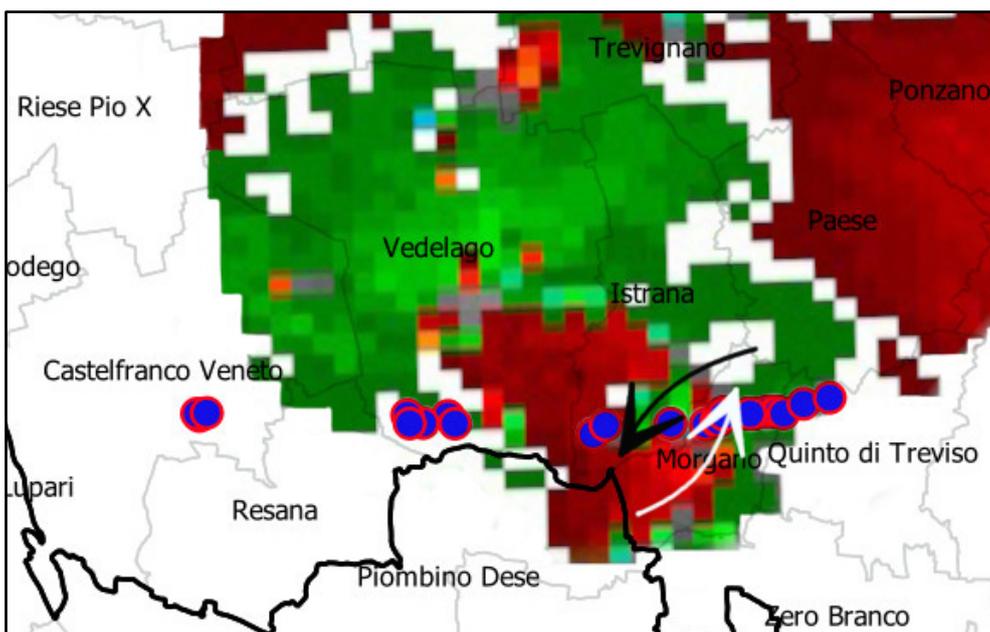


Fig. 3.50 – Velocità radiale elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali

Alle ore 17.10 locali non si notano elevati valori di velocità in allontanamento, piuttosto si evidenzia un'area con pixel verdi (cerchio blu in Fig. 3.49, freccia nera in Fig. 3.50) corrispondente a un flusso di inflow che entra nel tornado cyclone. In Fig. 3.48 l'ellisse rossa individua ancora piccole aree a riflettività nulla, mentre l'ellisse blu più grande individua la posizione del tornado cyclone con i pixel rossi e verdi adiacenti (Fig. 3.49). Il tornado in questi minuti si trova su Morgano (TV) nella sua fase di massima intensità.

Si riporta infine l'immagine radar di riflettività a 0.9 gradi delle ore 16.50 locali (Fig. 3.51) in cui l'ellisse nera individua aree a bassa o nulla riflettività all'estremità dell'eco a uncino, in questo caso circa 10 minuti prima della tornadogenesi (vedasi anche Fig. 3.17).

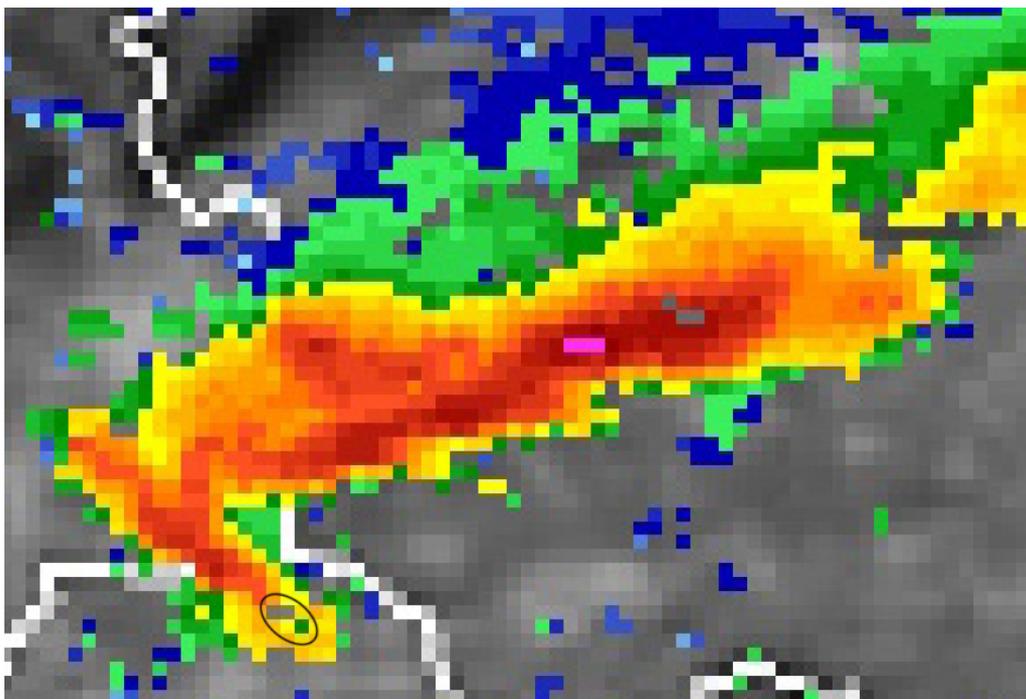


Fig. 3.51 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 16.50 locali

Purtroppo l'analisi delle immagini di velocità radiale si è rivelata poco agevole a causa di vari disturbi al segnale radar, tuttavia sono stati colti interessanti elementi da considerare, studiare e validare con la dovuta attenzione in futuro.

3.7 Evoluzione campi di riflettività della supercella dell'8 luglio 2015

In questo paragrafo si riportano le mappe di riflettività a 0.9 gradi relative alla supercella tornadica dell'8 luglio 2015 allo scopo di evidenziare l'assenza di un eco a uncino durante la tornadogenesi sul veneziano (Fig. 3.56 e Fig. 3.57) a differenza di quanto avvenuto il 14 settembre 2015; i pallini neri contornati in giallo tracciano il percorso seguito dal tornado.

Inoltre nella Fig. 3.55 si nota anche per l'evento dell'8 luglio la presenza di una piccola area a riflettività nulla posta sulla punta dell'eco a uncino che è stata evidenziata con un piccolo quadrato rosso e che assai probabilmente coincide con la posizione del tornado cyclone.

Nelle Fig. 3.59, 3.60 e 3.61 si notano con maggior evidenza queste aree a scarsa riflettività (cerchi neri) se non a riflettività nulla (cerchi rossi), in ogni caso collocate sull'estremità dell'eco a uncino. Le aree a bassa riflettività tendono a ridursi passando all'elevazione superiore ovvero da 1.5° della Fig. 3.59 a 2.5° della Fig. 3.60. Lo stesso vale per l'evento del 14 settembre in cui tali aree si riducono passando dall'elevazione 0.9° (Fig. 3.42) all'elevazione 1.5° (Fig. 3.45).

Un esempio in tal senso proviene dalla Tornado Alley degli Stati Uniti in cui compare una piccola area a scarsa riflettività coincidente con la TVS (cerchio nero in Fig. 3.62). Probabilmente i “tornado cyclone” di una certa consistenza inducono nella bassa troposfera un’azione centrifuga nei confronti delle idrometeore (pioggia, grandine) riducendo se non annullando i valori di riflettività nel loro raggio d’azione.

Sulla scorta delle elaborazioni delle immagini radar elaborate per la supercella dell’8 luglio 2015 (veneziano) e del 14 settembre 2015 (trevigiano), è possibile ritenere che tali aree a scarsa o nulla riflettività poste all’estremità di un eco a uncino e osservabili alle elevazioni più basse sottintendano la presenza di un tornado cyclone.

In tal senso, in assenza di immagini di velocità radiale, si tratterebbe di un segnale radar più affidabile di imminente tornadogenesi rispetto alla presenza di un eco a uncino in sé, tuttavia i tempi di preavviso si riducono ulteriormente essendo già attivo un tornado cyclone.

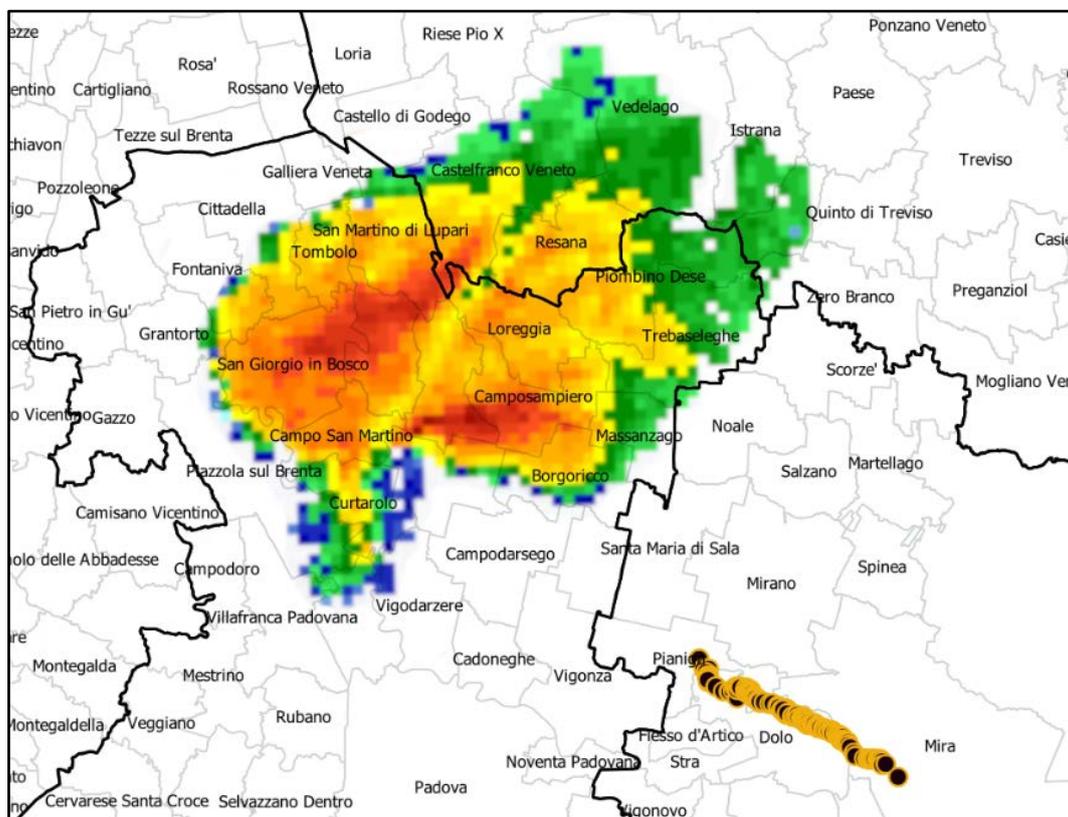


Fig. 3.52 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 16.50 locali – supercella 8/7/2015

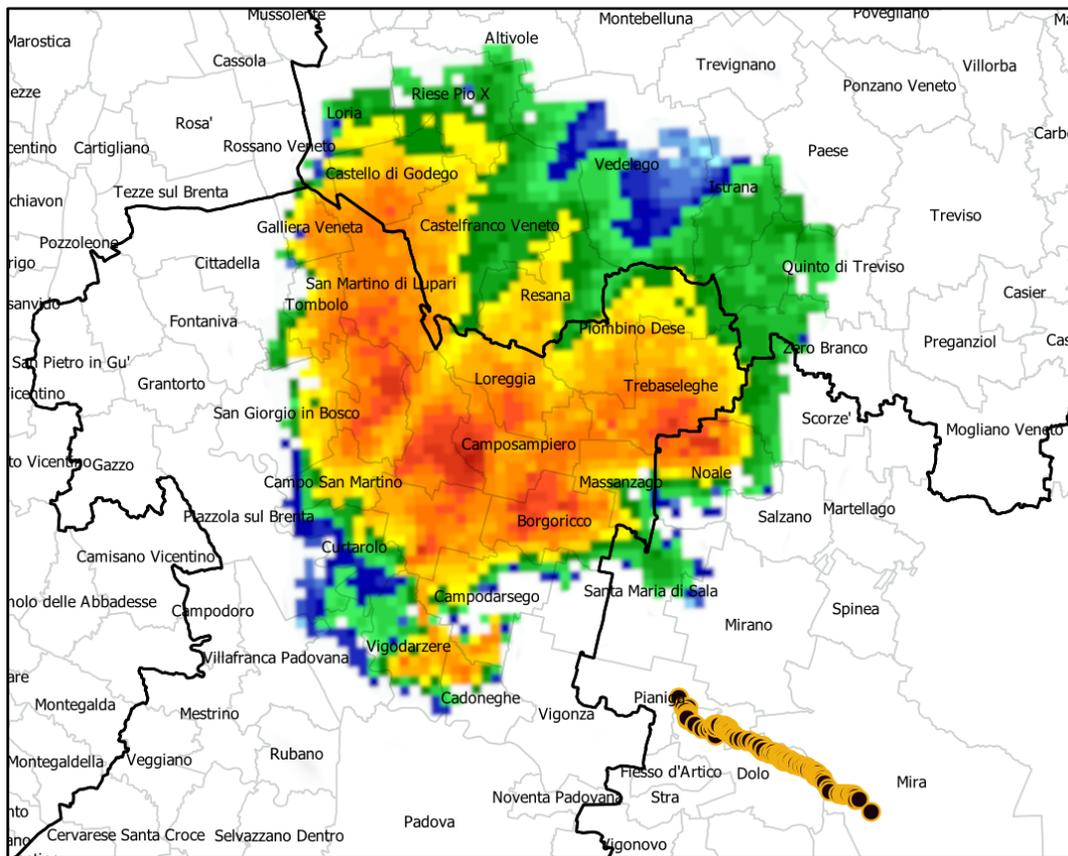


Fig. 3.53 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali – supercella 8/7/2015

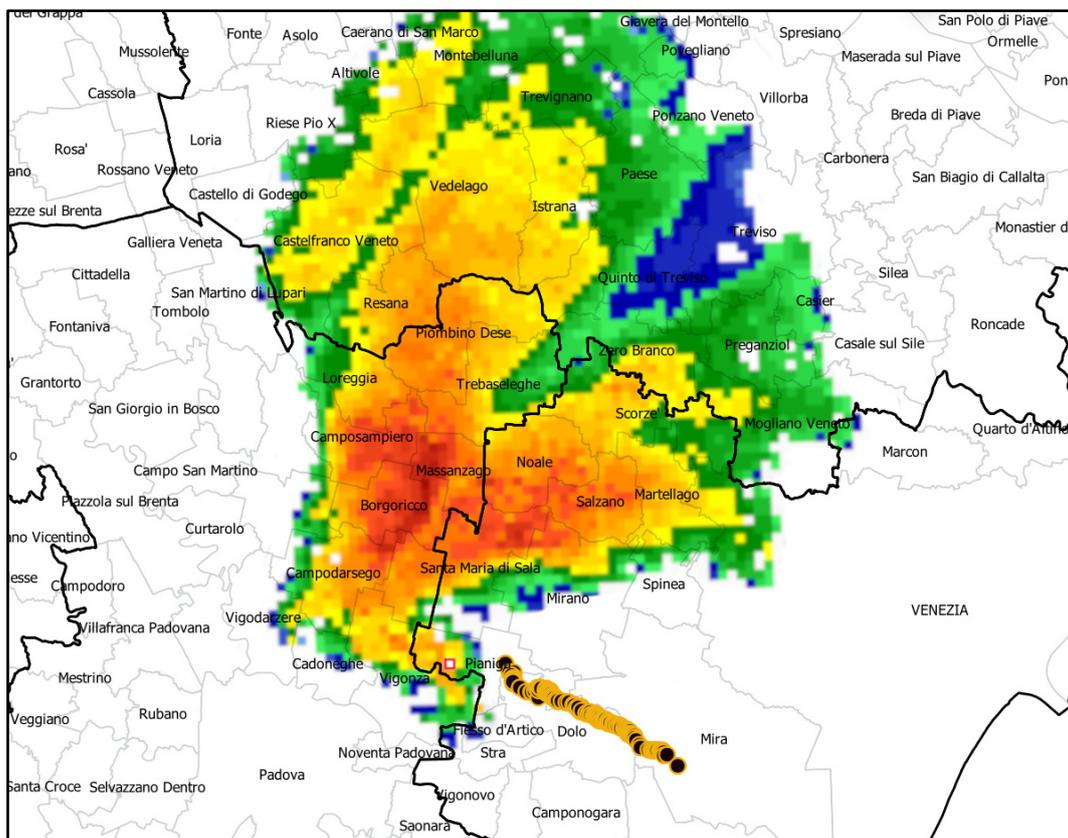


Fig. 3.54 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali – supercella 8/7/2015

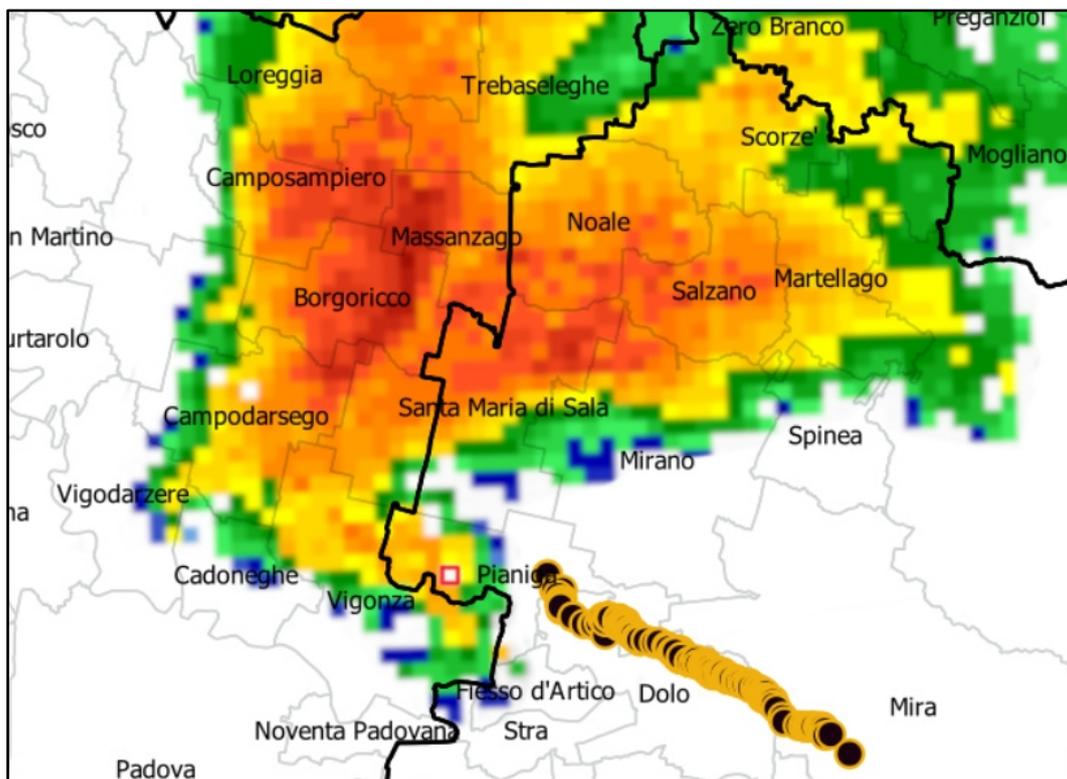


Fig. 3.55 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali – supercella 8/7/2015 (ingrandimento della Fig. 3.54)

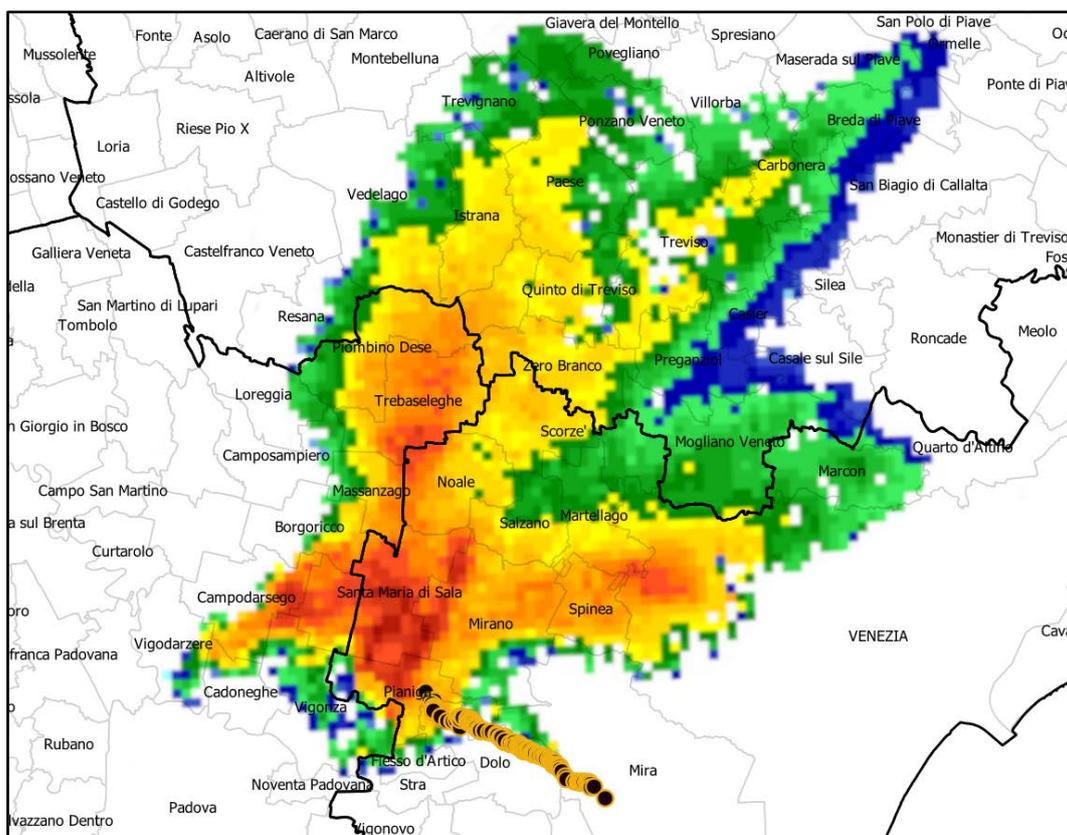


Fig. 3.56 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.20 locali – supercella 8/7/2015

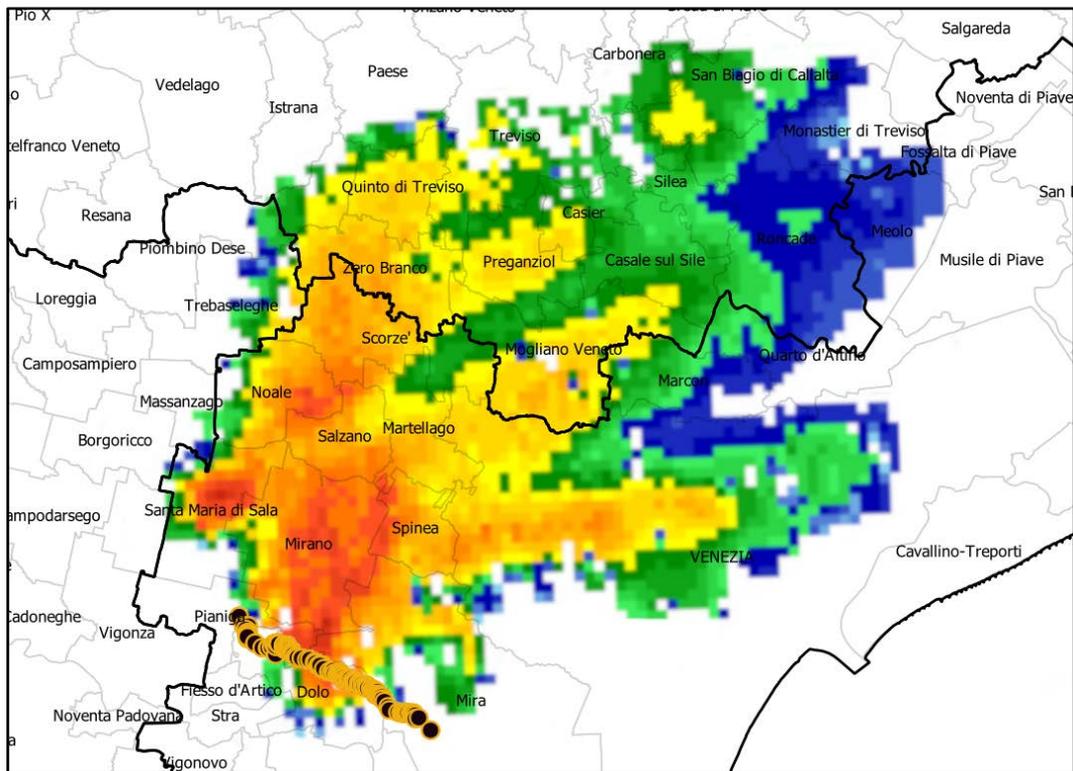


Fig. 3.57 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.30 locali – supercella 8/7/2015

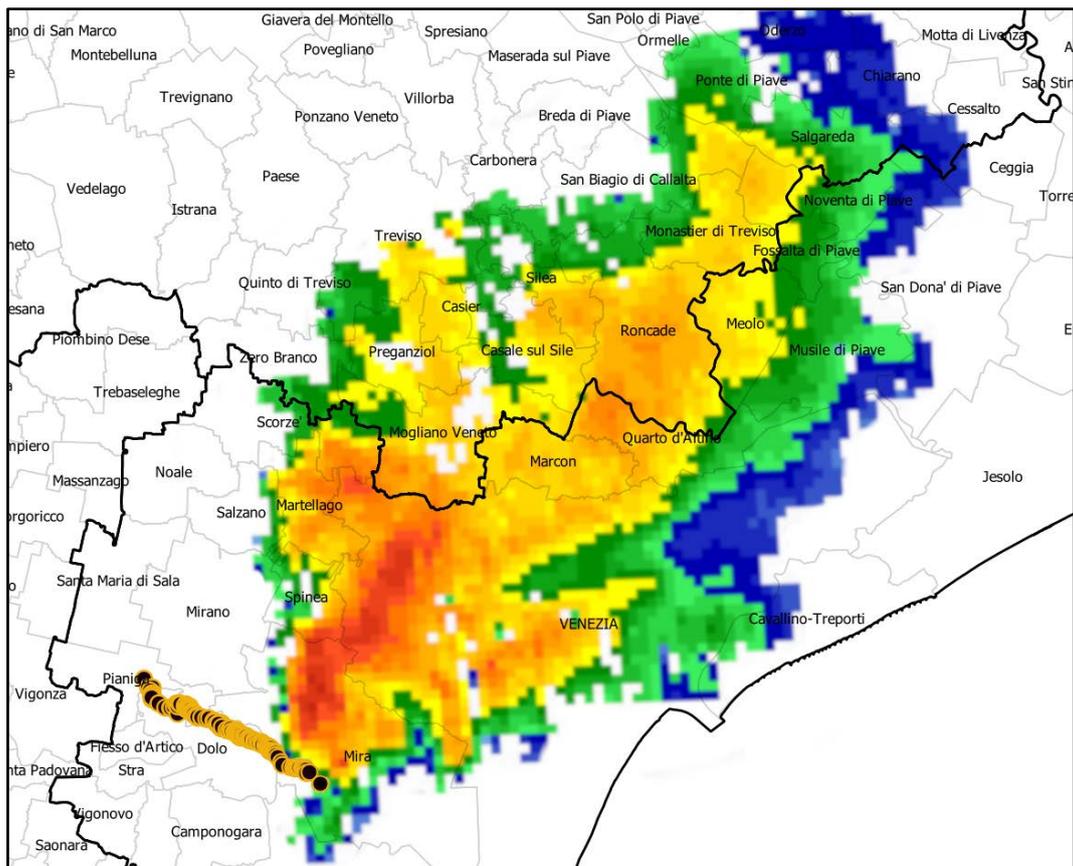


Fig. 3.58 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.40 locali – supercella 8/7/2015

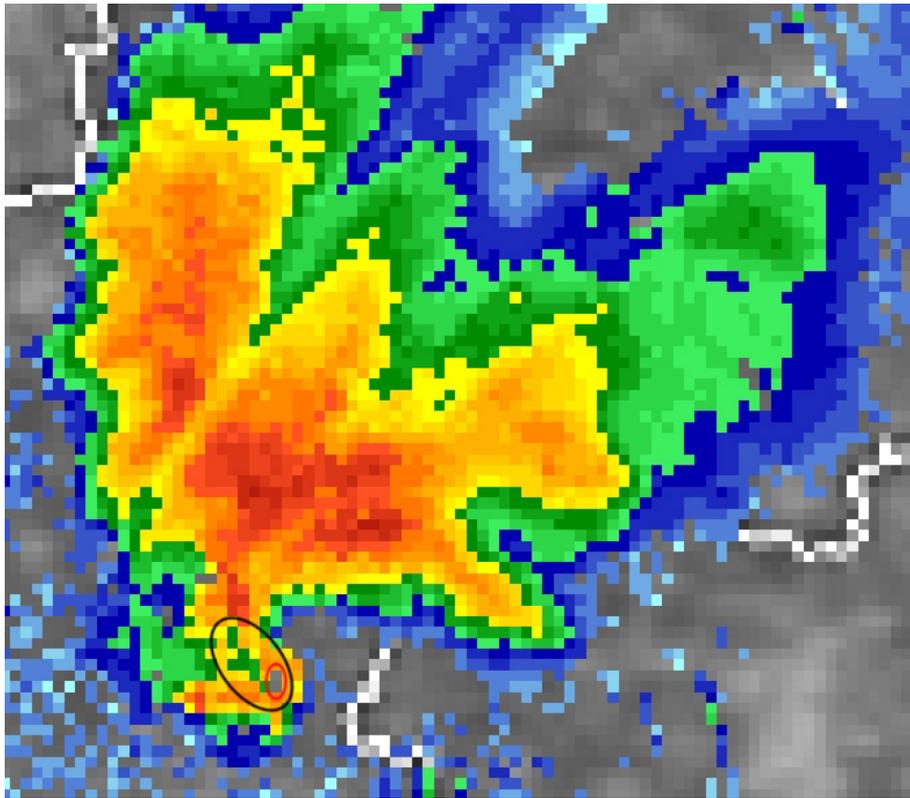


Fig. 3.59 – Riflettività elevazione 1.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali – supercella 8/7/2015

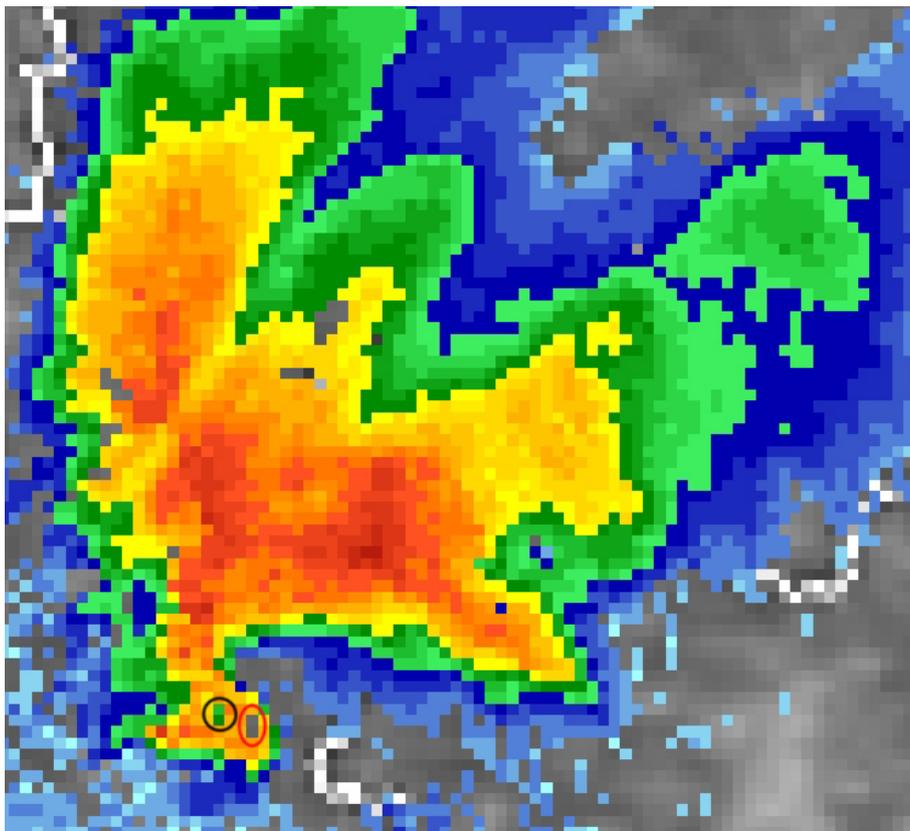


Fig. 3.60 – Riflettività elevazione 2.5 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.00 locali – supercella 8/7/2015

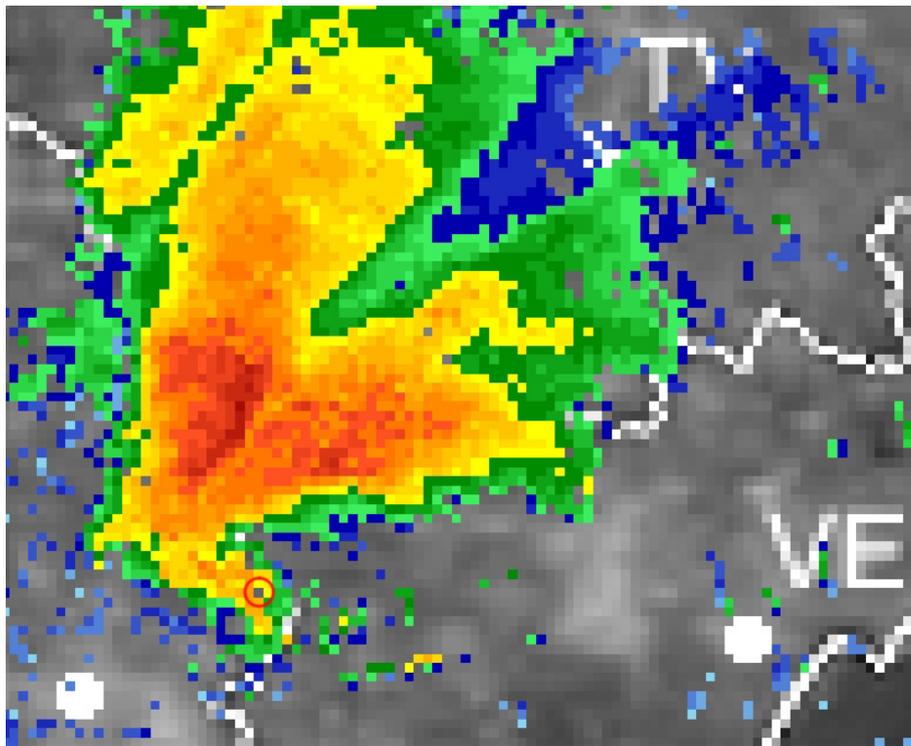


Fig. 3.61 – Riflettività elevazione 0.9 gradi radar ARPAV di Teolo ore 17.10 locali – supercella 8/7/2015

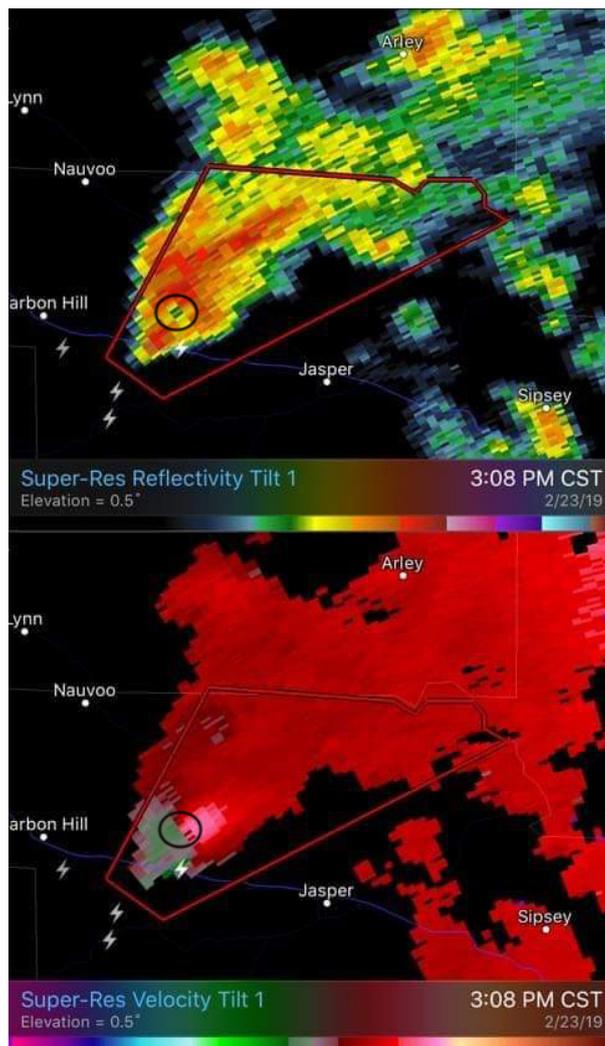


Fig. 3.62 – Riflettività (sopra) e velocità radiale (sotto) elevazione 0.5 gradi di una supercella statunitense

4. ANALISI NEFOLOGICA

di Alberto Gobbi

In questo capitolo si riportano le più significative immagini della supercella osservata da varie angolazioni e distanze. Tutte le foto sono ordinate secondo il momento dello scatto (in orario locale) per poter comprendere l'evoluzione del sistema temporalesco da un punto di vista termodinamico.



Fig. 4.1 – Pileus e knuckles sul lato sopravvento della supercella ore 16.19 da Campodoro (PD). Foto di Roberto Gaianigo



Fig. 4.2 – Striature del mesociclone con asse inclinato verso destra della corrente ascendente ore 16.29 da Marcon (VE). Foto di Federico Pavan

Nelle foto di Fig. 4.3 e Fig. 4.4 è possibile apprezzare l'imponenza e l'estensione della supercella osservata da sud con il mesociclone sulla sinistra ovvero sul lato sud-occidentale del sistema, identificabile dal cumulonembo con il classico aspetto a "cavolfiore" ma in fase di imminente ghiacciamento.



Fig. 4.3 – Supercella con mesociclone sulla sinistra ore 16.31 da Vicenza nord. Foto di Francesco Ivan Dalla Stella



Fig. 4.4 – Supercella con mesociclone sulla sinistra ore 16.35 da Campodoro (PD). Foto di Roberto Gaianigo

Nella Fig. 4.5 sono schematizzate le varie correnti interne alla supercella tipiche di un assetto inclinato della corrente ascendente (asse obliquo): il flusso caldo-umido di inflow sul lato sud-orientale del sistema sale verso l'alto ad alimentare l'updraft ma i venti in quota lo piegheranno verso est conferendo così la classica forma a volta (vault) alla nube rilevabile al radar come BWER nelle sezioni verticali di riflettività (Fig. 3.30 e seguenti). Il corrispettivo downdraft (FFD nella fattispecie, freccia blu) originerà l'outflow al suolo (freccia celeste) di cui una parte verrà ripresa dall'updraft rotante generando la wall cloud e, nel caso in esame, anche il tornado.

Le foto in Fig. 4.6 e Fig. 4.7 mostrano due tipologie di nubi accessorie tipicamente associate a un'estesa area di inflow che alimenta il mesociclone (beaver's tail) e a correnti ascendenti di rara intensità (wall cloud).

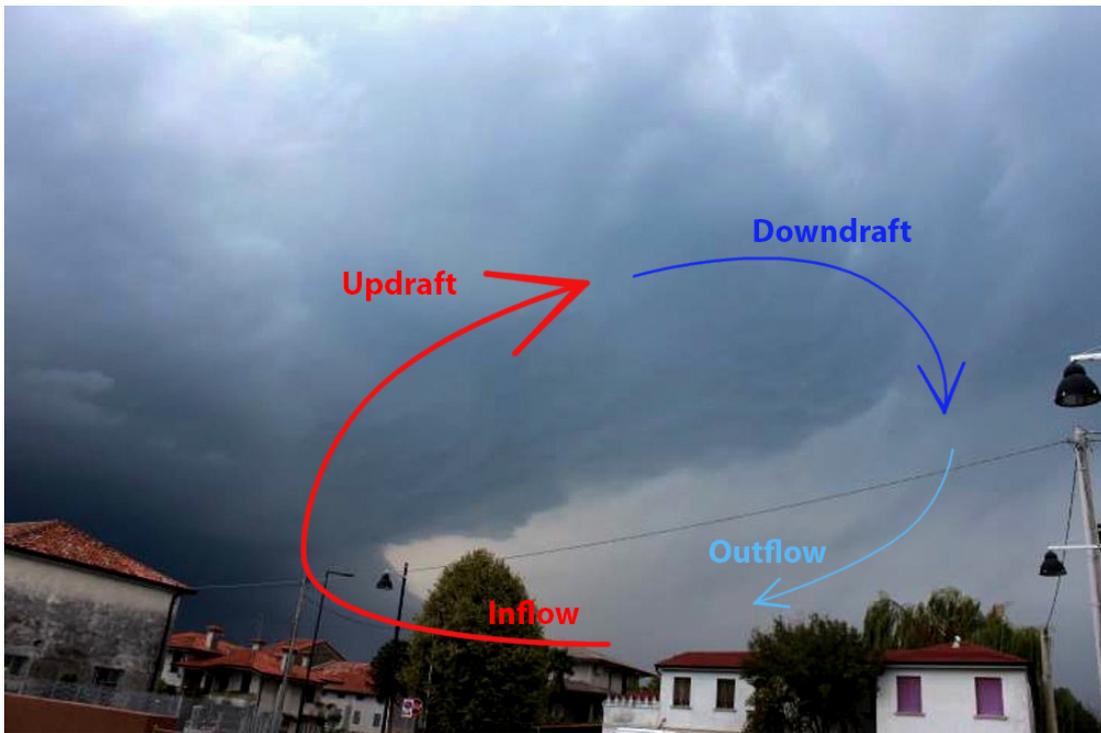


Fig. 4.5 – Schema dell’assetto ad asse obliquo della supercella ore 16.35 circa sull’alto padovano. Fonte: padovaoggi.it



Fig. 4.6 – Mesociclone con estesa beaver’s tail (coda di castoro) in basso a destra ore 16.35 circa da Cittadella (PD). Fonte: padovaoggi.it



Fig. 4.7 – Wall cloud con scalino sulla sinistra ore 16.35 circa da San Martino di Lupari (PD). Fonte: padovaoggi.it

Risultano estremamente didattiche le seguenti immagini (da Fig. 4.8 a Fig. 4.10) che illustrano il processo di occlusione mesociclonica con la comparsa della “clear slot” indice dell’intrusione di aria più secca del RFD attorno al mesociclone che in genere anticipa la tornadogenesi come in effetti avvenuto.



Fig. 4.8 – Principio di occlusione mesociclonica ore 16.38 da Marcon (VE). Foto di Federico Pavan



Fig. 4.9 – Occlusione mesociclonica per la spinta della corrente di RFD verso destra con la comparsa della clear slot e la genesi di una shelf cloud - ore 16.52 da Marcon (VE). Foto di Federico Pavan

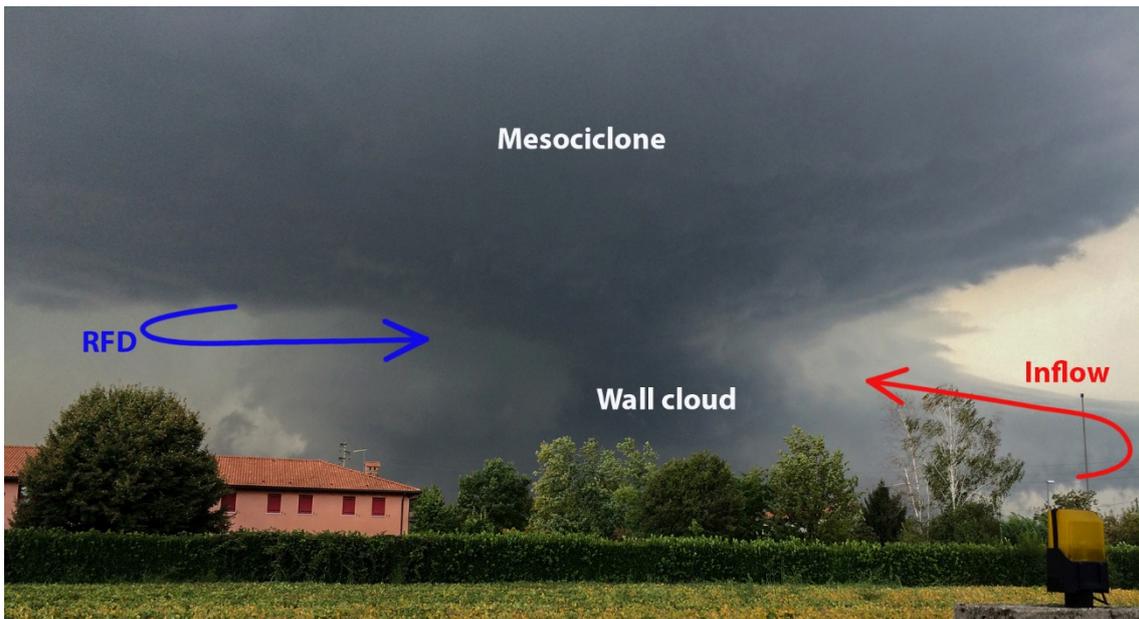


Fig. 4.10 – Occlusione mesociclonica ore 16.55 da Campigo di Castelfranco Veneto (TV). Foto di Alberto Didonè

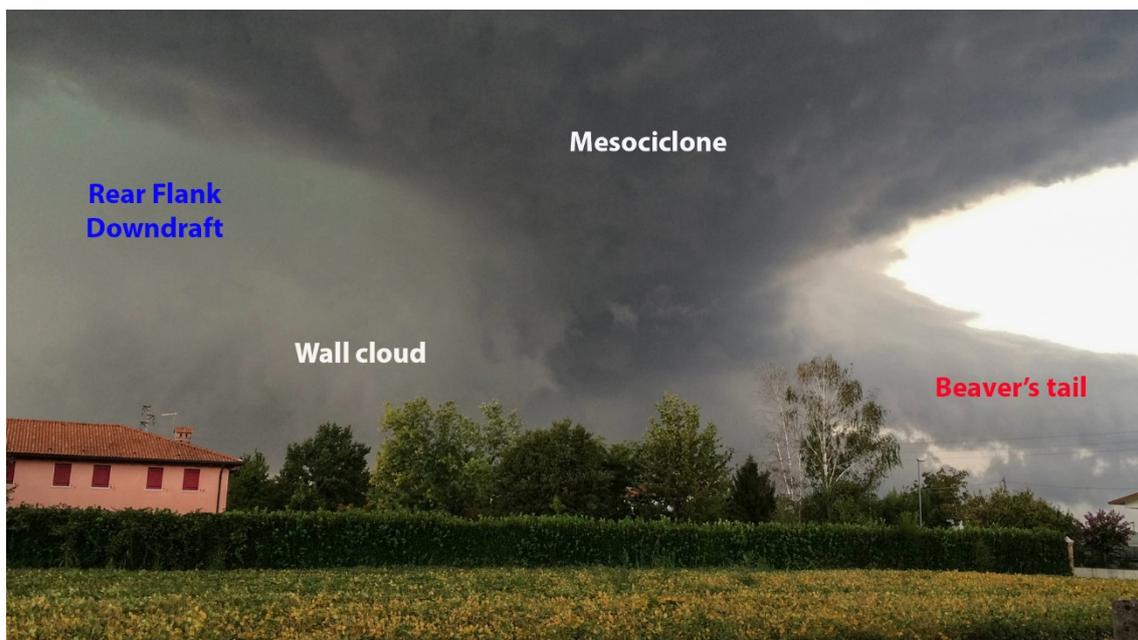


Fig. 4.11 – Occlusione mesociclonica ore 16.56 da Campigo di Castelfranco Veneto (TV). Foto di Alberto Didonè

Nelle Fig. 4.11 e Fig. 4.12 il processo di occlusione mesociclonica ha raggiunto uno stadio avanzato e iniziano a comparire i primi segnali di rotazione ciclonica alla base del mesociclone, tuttavia il tornado vero e proprio scenderà dalla wall cloud parzialmente occultata dai rovesci in Fig. 4.11.

Le foto dalla Fig. 4.10 alla Fig. 4.13 si riferiscono alla zona dei DI 1, DI 2 e DI 3 (vedasi le relative schede di danno).



Fig. 4.12 – Inizio della tornadogenesi ore 16.57 da Campigo di Castelfranco Veneto (TV). Foto di Alberto Didonè



Fig. 4.13 – Inizio della tornadogenesi ore 16.58 da Campigo di Castelfranco Veneto (TV). Foto di Alberto Didonè

L'ellisse bianca nelle Fig. 4.14, 4.15 e 4.16 individua un funnel cloud che si sta definendo alla base della wall cloud, probabilmente la stessa di Fig. 4.10 e Fig. 4.11. In particolare, l'ellisse più piccola in Fig. 4.16 individua un funnel cloud più stretto alla base del funnel principale, probabile indice di un incremento della rotazione di basso livello: infatti in questi momenti si verifica un repentino rinforzo del vento da S-SW, attivato dalla convergenza indotta dalla bassa pressione dell'imminente tornado.



Fig. 4.14 – Inizio della tornadogenesi ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin



Fig. 4.15 – Inizio della tornadogenesi ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin



Fig. 4.16 – Tornadogenesi in corso ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin

La Fig. 4.17 mostra il tornado con la classica forma conica, di color bianco perché visto dal lato sopravvento della supercella parzialmente illuminato dal Sole. Il perimetro del vortice appare lobato (freccette bianche) probabilmente per la presenza di pulsazioni, indotte da fenomeni di risonanza dei flussi turbolenti.



Fig. 4.17 – Tornado ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin
Il tornado, al momento delle immagini di Fig. 4.17 e Fig. 4.18, sta provocando i primi danni, già significativi, proprio nell'abitazione da cui sono state scattate le foto da Fig. 4.10 a Fig. 4.13.



Fig. 4.18 – Tornado ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin

Nella foto di Fig. 4.19, opportunamente contrastata, si possono individuare i differenti livelli di condensazione: la nube del tornado (fuori campo, sulla destra) si trova alla quota più bassa, la base del mesociclone alla quota più elevata, tra questi due livelli si colloca la wall cloud.



Fig. 4.19 – Livelli di condensazione delle nubi ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin

In Fig. 4.21 il tornado si solleva temporaneamente dal livello del terreno dopo aver causato i primi danni nella frazione di Campigo, ma poco dopo toccherà nuovamente il suolo nell'area industriale di Resana.



Fig. 4.20 – Tornado ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin



Fig. 4.21 – Sollevamento del tornado dal suolo ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin

L'intera evoluzione documentata nelle immagini da Fig. 4.14 a Fig. 4.21 copre un arco temporale di circa 2 minuti, seguito dall'immediata entrata della corrente di RFD associata nella fattispecie alla caduta di grossi chicchi di grandine (Fig. 4.22 e Fig. 4.23).



Fig. 4.22 – Grandine associata alla corrente di RFD ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin



Fig. 4.23 – Grandine associata alla corrente di RFD ore 17 circa da Castelfranco Veneto (TV). Immagine estratta da un video di Stefano Bergamin



Fig. 4.24 – Supercella con mesociclone sulla sinistra ore 17.05 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi

All'altezza del comune di Istrana (TV) compare un'imponente nube a muro alla base del mesociclone (Fig. 4.25) con un probabile funnel cloud da cui quasi certamente si è generato il tornado vero e proprio.

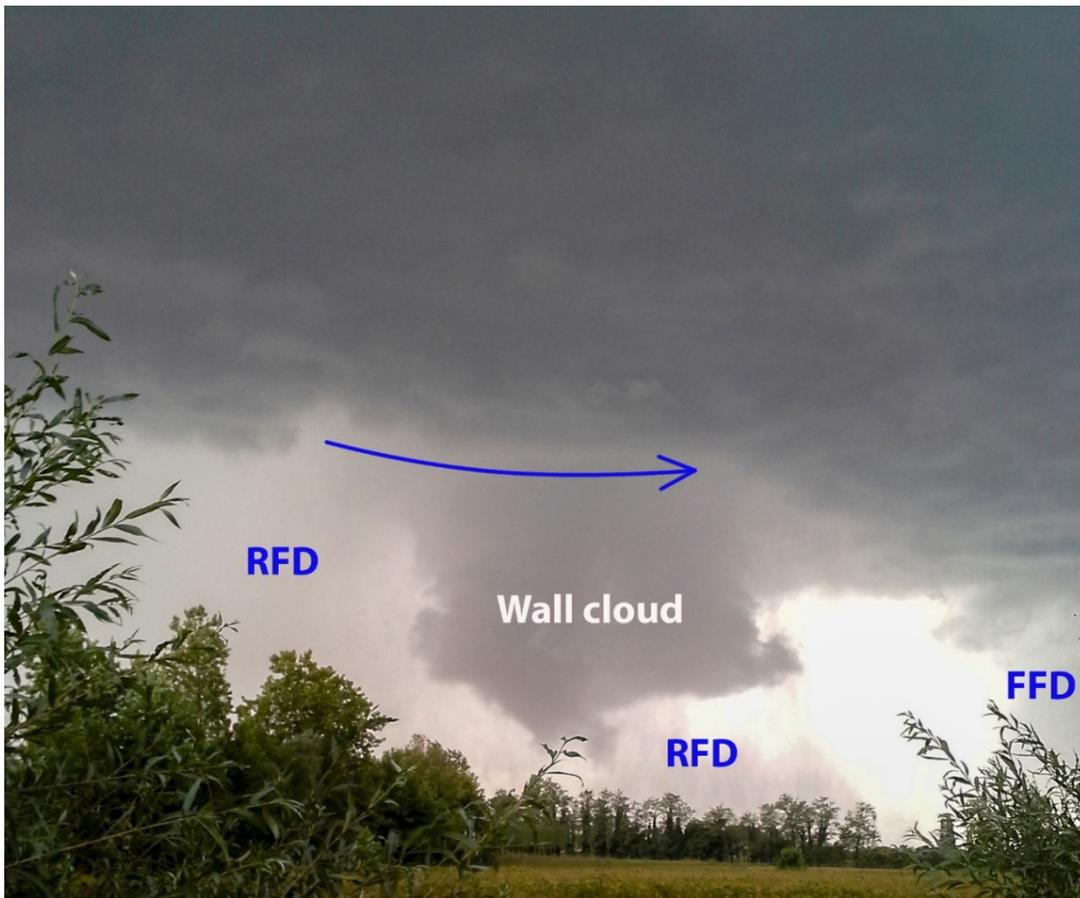


Fig. 4.25 – Wall cloud con probabile funnel cloud alla base ore 17.05 da Ospedaletto di Istrana (TV). Foto di Emanuele Pizzolon

Nella Fig. 4.26 l'osservatore si trova esattamente nel centro di rotazione del mesociclone con la corrente di RFD (freccia blu) che sta definendo la clear slot attorno alla wall cloud, mentre la freccia rossa traccia il flusso in entrata dell'inflow caldo-umido che si concretizza anche in una massiccia beaver's tail (Fig. 4.27).



Fig. 4.26 – Base del mesociclone ore 17.10 circa da Ospedaletto di Istrana (TV). Immagine estratta da un video di un cittadino



Fig. 4.27 – Imponente beaver's tail (coda di castoro) ore 17.10 circa da Ospedaletto di Istrana (TV). Immagine estratta da un video di un cittadino

Alle ore 17.20 il vortice si è ormai sollevato dal suolo dopo aver provocato gli ultimi danni a Quinto di Treviso, il mesociclone entra quindi nel territorio del comune di Treviso (Fig. 3.20) mantenendo sostanzialmente la stessa intensità (Fig. 4.28 e Fig. 4.30).



Fig. 4.28 – Mesociclone visto da sud ore 17.20 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.29 – Inflow band ore 17.20 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge



Fig. 4.30 – Mesociclone ore 17.20 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge



Fig. 4.31 – Centro di rotazione del mesociclone ore 17.25 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge

Alcuni cittadini dei luoghi colpiti hanno segnalato una sorta di rombo ininterrotto provenire dal mesociclone con scarsa o nulla attività elettrica, caratteristica riportata di frequente anche nelle supercelle della Tornado Alley. Tale particolarità indica intensi updrafts e una regione molto attiva di separazione delle cariche elettriche nella parte medio-alta della supercella (porzione più elevata del BWER verso l'incudine, sottovento al mesociclone, quindi a E-NE dello stesso) che genera frequenti fulmini nube-nube le cui scariche si manifestano in punti diversi e perciò a distanze diverse dal punto di osservazione. Ne risulta così un unico rombo di tuono apparentemente infinito, in realtà trattasi delle onde sonore di varie scariche intra-nube che si confondono tra loro. Inoltre, la stessa tipologia di tali scariche, la ridotta dimensione e la notevole distanza dal suolo rendono difficoltosa la loro individuazione ovviamente ancor più durante il giorno.

Intorno alle ore 17.30 è ben evidente l'inclinazione della corrente ascendente del mesociclone con il Cumulonembo spinto verso nord-est dai forti venti sud-occidentali in quota (verso destra in Fig. 4.32).



Fig. 4.32 – Supercella vista da sud con asse della corrente ascendente inclinato verso destra - ore 17.33 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.33 – Supercella vista da sud ore 17.34 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.34 – Pileus visto da sud ore 17.38 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.35 – Pileus visto da ovest sul lato sopravvento del mesociclone - ore 17.40 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge

Si ritiene assai didattica la foto in Fig. 4.36 con la corrente ascendente piegata verso destra dal flusso in quota e che culmina in un'evidente overshooting top alla sommità della supercella. Negli stessi istanti la colonna discendente di RFD è ancora ben visibile a fianco della rain free base della flanking line, tuttavia non si verificheranno ulteriori tornadogenesi (Fig. 4.37).



Fig. 4.36 – Overshooting top ore 17.40 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.37 – Vista lato sopravvento della supercella ore 17.40 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge



Fig. 4.38 – Flanking line vista da ovest ore 17.40 circa da Frescada (TV). Immagine estratta da un video youtube dell'utente 190759ge



Fig. 4.39 – Supercella vista da sud con evidente flanking line sulla sinistra e inclinazione della corrente ascendente verso est - ore 17.44 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.40 – Flanking line della Fig. 4.39 - ore 17.44 da Campagna Lupia (VE). Foto di Alberto Gobbi

Nelle Fig. 4.39 e Fig. 4.40 si palesa la flanking line sul settore sud-occidentale della supercella (vista verso nord-est) a testimonianza dell'intensità pressoché inalterata della struttura nel suo complesso come si può osservare anche in Fig. 4.41.



Fig. 4.41 – Mesociclone visto verso ovest ore 17.50 circa da Musile di Piave (VE) con la corrente discendente di FFD sulla destra dell'immagine. Foto di Filippo Fazzini

Si riporta in Fig. 4.42 una mappa, elaborata da Roberto Gaianigo, dei paesi colpiti dalla grandinata nell'alto Veneto (cerchi rossi) sviluppata sulla base degli articoli di cronaca dei giornali locali, delle foto pervenute nei canali di condivisione e sulla base del decreto emesso dalla regione Veneto in risposta alle richieste dello stato di calamità naturale. I cerchi ciclamino in basso a destra indicano le aree in cui sono stati registrati in prevalenza danni da vento (downburst, tornado).

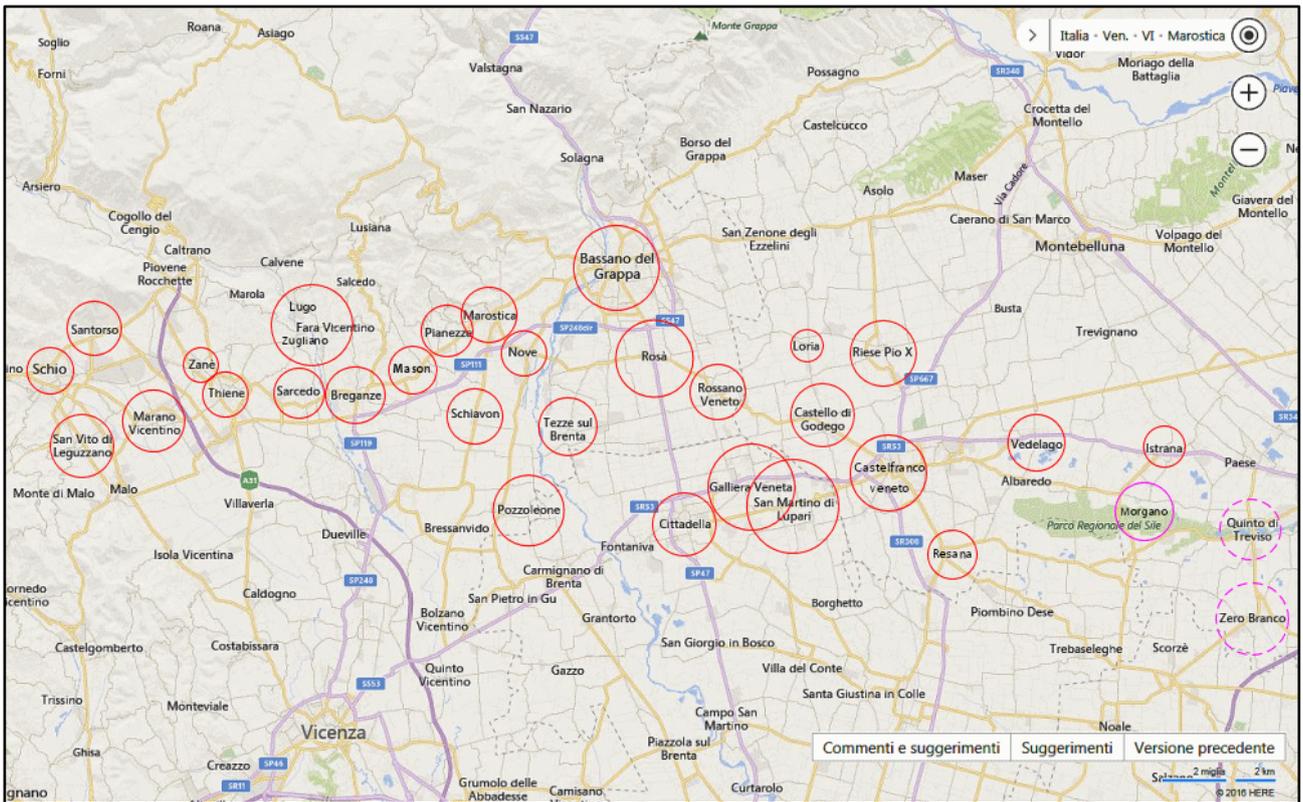


Fig. 4.42 – Mappa dei comuni colpiti dalla supercella grandinigena/tornadica. Elaborazione dati di Roberto Gaianigo

Nei paesi ove si è verificato un consistente accumulo di grandine si sono formati banchi di nebbia più o meno estesi e spessi (Fig. 4.43): i processi di fusione e sublimazione del chicco di grandine sottraggono calore all'ambiente circostante, ne consegue una diminuzione della temperatura negli strati prossimi al suolo e un aumento dell'umidità relativa. Si giunge quindi alla saturazione della massa d'aria e alla conseguente condensazione del vapor acqueo che genera uno strato di nebbia adiacente al suolo con uno spessore di alcuni metri.



Fig. 4.43 – Nebbia da grandine. Fonte: TG Bassano

Sono stati registrati chicchi con un diametro fino a 10-11 cm, a seconda delle zone l'evento grandinigeno si è protratto fino a 7-8 minuti. L'analisi delle immagini radar nel campo della riflettività massima (paragrafo 3.4) indica che entrambi i downdrafts della supercella (FFD e RFD) hanno generato grandine di grosse dimensioni. Nelle foto di Fig. 4.44 e Fig. 4.45 i chicchi di grandine mostrano una struttura a lobi e punte, a testimonianza di forti updrafts contenenti molte goccioline sopraffuse: esse, a causa dell'elevata velocità di ascesa, non fanno in tempo a unirsi per formare gocce più grosse e quindi si depositeranno sui lobi, ingrandendoli.



Fig. 4.44 – Chicchi di grandine caduti nel vicentino. Fonte: pagina facebook Serenissima Meteo



Eddy Girardi - Marostica



Fig. 4.45 – Chicchi di grandine caduti nel vicentino. Fonte: pagina facebook Serenissima Meteo

Sono state stimate circa 8000 auto danneggiate e costi medi preventivati di 3000 euro con danni alla carrozzeria, ai parabrezza anteriori, al lunotto posteriore e ai fari (Fig. 4.46). Si sono verificati pure danni alle infrastrutture pubbliche e private (lucernari, coppi, pareti finestrate, sedie e tavoli ecc.) nonché all'agricoltura con perdite nelle aree a sud di Bassano fino all'80% della produzione di soia, mais, broccoli e asparagi (Fonte: Il giornale di Vicenza).



Fig. 4.46 – Danni da grandine nel vicentino. Fonte: TG Bassano

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

di Davide Rosa, Mario Pizzolon, Marco Rabito e Alberto Gobbi

5.1 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo del tornado

A seguito delle testimonianze, del materiale raccolto dai privati e con i rilievi sul campo effettuati tramite GPS il 20/10/2018 (quindi tre anni dopo il passaggio del tornado) è stato possibile definire lunghezza e forma del percorso del vortice. In particolare, materiale fotografico essenziale per l'analisi dei danni è stato fornito dagli uffici tecnici del comune di Morgano (TV) che è stato indubbiamente il più colpito. Si elencano di seguito i sei comuni coinvolti da ovest a est, tutti in provincia di Treviso:

- 1) Castelfranco Veneto (frazione di Campigo)
- 2) Resana (frazioni Castelminio/San Marco)
- 3) Vedelago (frazione di Casacorba)
- 4) Istrana (frazione di Ospedaletto)
- 5) Morgano
- 6) Quinto di Treviso (frazione di Santa Cristina)

La traccia al suolo del tornado è stata discontinua nella prima metà del percorso per poi divenire più costante nel comune di Morgano. La lunghezza totale della fascia di territorio interessata ammonta a circa 16 km, ma con ampi tratti non colpiti dal vortice. Il primo touch down è avvenuto nella frazione di Campigo (lunghezza circa 300 m), il secondo nella zona industriale di Resana dove sono stati scoperti dei capannoni non censiti nelle schede di danno (ellisse bianca in Fig. 5.1), il terzo nella frazione di Casacorba (lunghezza circa 1300 m), successivamente tra i comuni di Istrana, Morgano e Quinto di Treviso la traccia al suolo appare più continuativa per una lunghezza di circa 6 km (Fig. 5.1). Fortunatamente il tornado non ha causato vittime, si sono registrati solo alcuni feriti lievi ma danni ingenti (circa 3 milioni di euro per tutti i comuni sopra elencati) per i quali si rimanda alle relative schede di danno.

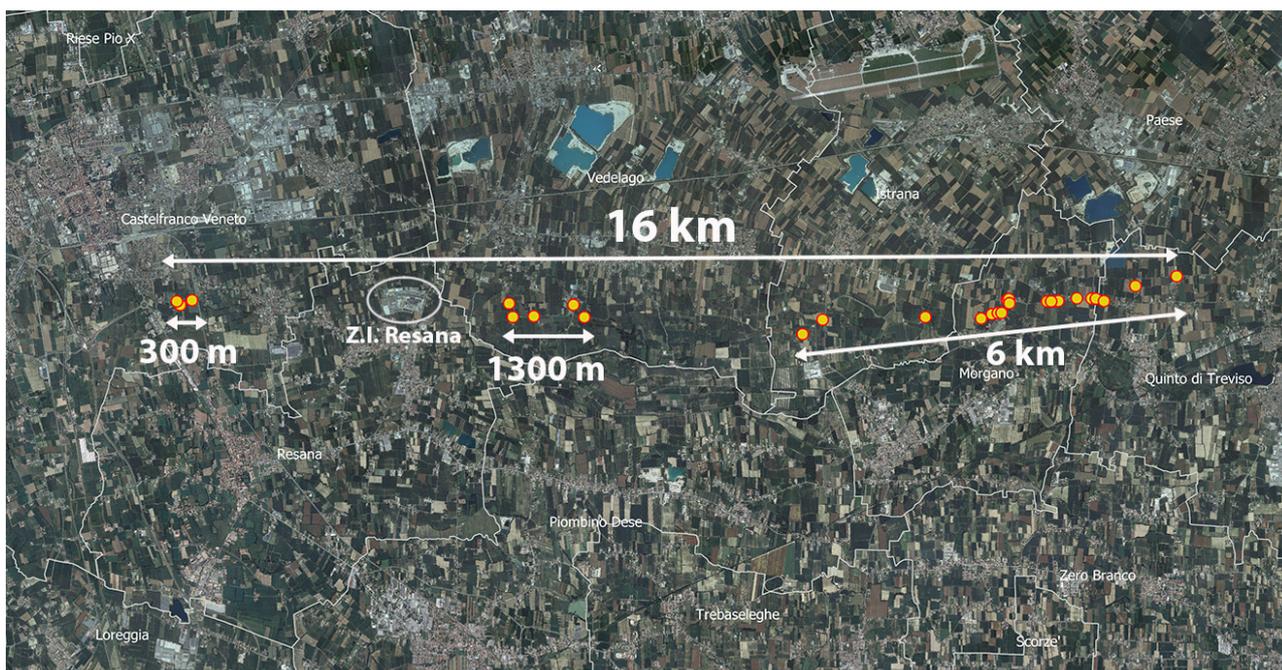


Fig. 5.1 - Percorso del tornado del 14/9/2015 con lunghezza totale e dei singoli spezzoni

Sono stati catalogati 42 indicatori di danno (DI) e 4 non-indicatori di danno (NDI), tuttavia è possibile che uno o più indicatori non siano stati considerati nel presente studio tenuto conto del notevole arco temporale trascorso tra il tornado e i rilievi. La larghezza media della traccia al suolo del vortice è mediamente pari a 30 metri con massimi fino a 50-60 metri, si osservi a tal proposito anche la foto di Andrea Rebeschini (Fig. 5.2) che mostra la classica scia di danno del tornado in un pioppeto corrispondente al DI numero 9. La Fig. 5.3 di Mario Pizzolon mostra invece la classica disposizione “incrociata” dei tronchi abbattuti dalla circolazione ciclonica del tornado.



Fig. 5.2 – Pioppeto gravemente danneggiato dal tornado (DI n. 9). Foto di Andrea Rebeschini



Fig. 5.3 – Classica disposizione “incrociata” dei tronchi in un pioppeto danneggiato dal tornado (DI n. 9). Foto di Mario Pizzolon

Si riportano di seguito le mappe tratte da Google Earth dove è stato ricostruito il percorso del tornado tra i comuni di Istrana, Morgano e Quinto di Treviso ovvero nel tratto in cui il vortice è stato più costantemente a contatto con il suolo (Fig. 5.4 e Fig. 5.5): si nota un andamento leggermente sinusoidale con direzione di avanzamento est. Il path al suolo è stato definito anche con l'ausilio di informazioni derivate dai ricordi della cittadinanza, non censite né come DI né come NDI nelle relative schede.

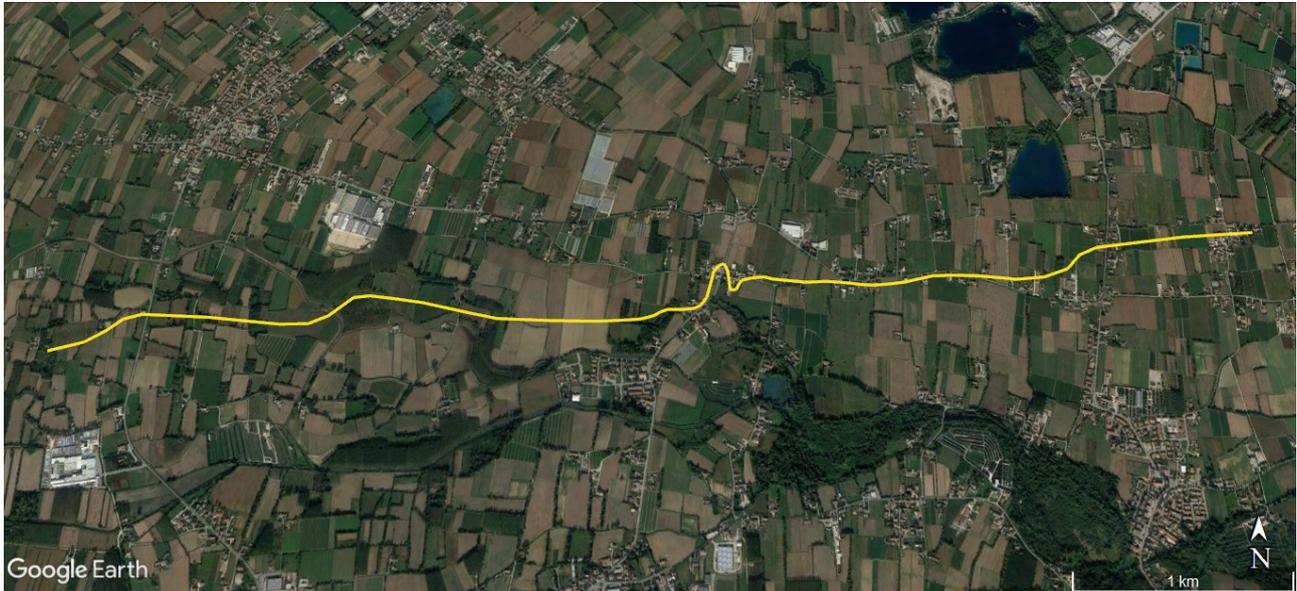


Fig. 5.4 – Ricostruzione del percorso del tornado tra Istrana, Morgano e Quinto di Treviso

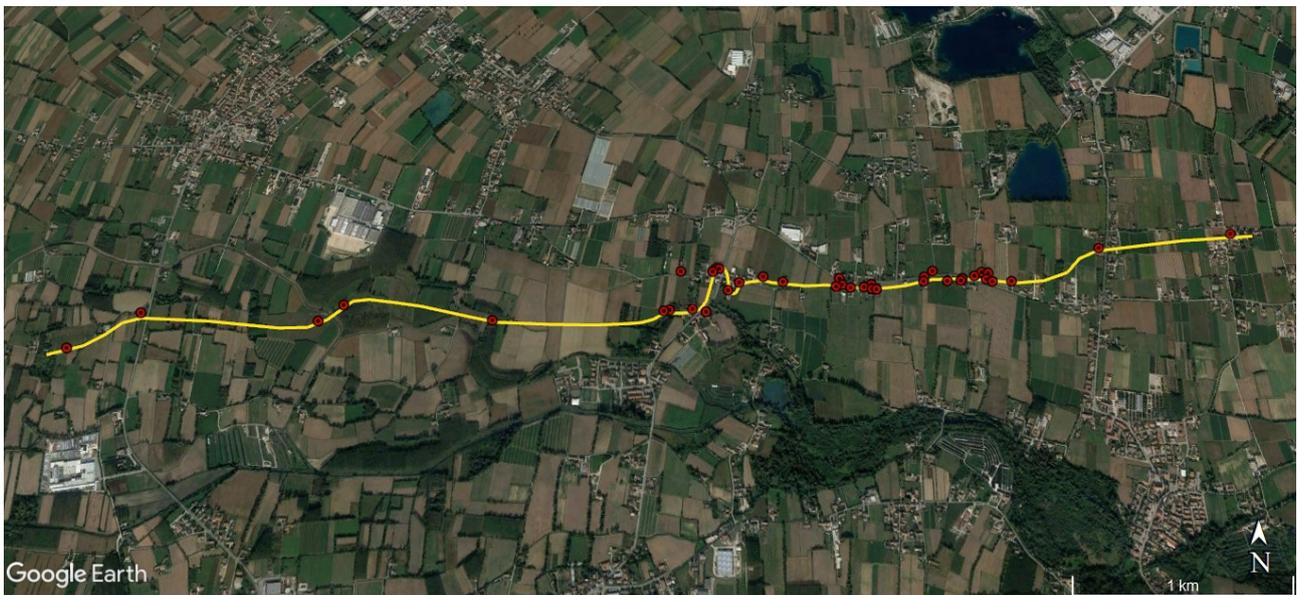


Fig. 5.5 – Ricostruzione del percorso del tornado tra Istrana, Morgano e Quinto di Treviso con la posizione degli indicatori di danno

Nelle Fig. 5.6 e Fig. 5.7 di seguito proposte è stato effettuato uno zoom nel comune di Morgano per evidenziare la presenza di una probabile “cuspidè” rintracciabile dalla linea gialla che piega improvvisamente verso nord (al centro delle immagini).



Fig. 5.6 – Ricostruzione del percorso del tornado in un tratto del comune di Morgano (probabile cuspidè)

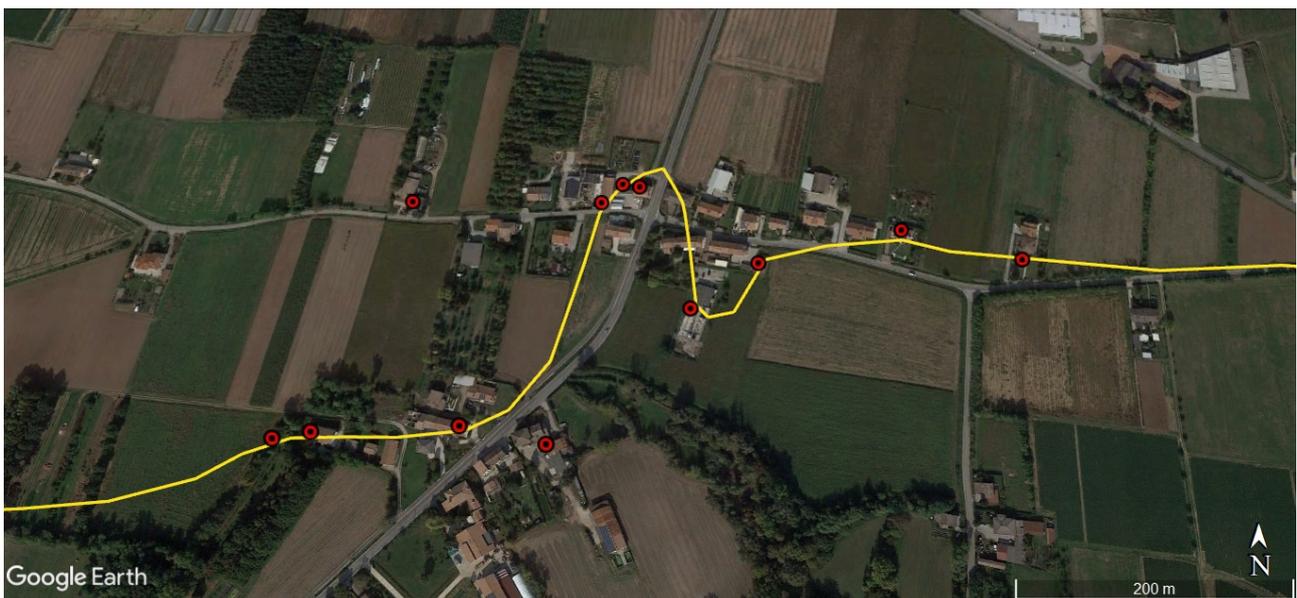


Fig. 5.7 – Ricostruzione del percorso del tornado in un tratto del comune di Morgano (probabile cuspidè) con la posizione degli indicatori di danno

5.2 Mappe delle isolinee di danno del tornado

Si riportano di seguito le mappe delle isolinee di danno del tornado con una panoramica dell'intera area coinvolta dall'evento (Fig. 5.8) e con successivi ingrandimenti (Fig. da 5.9 a 5.12).



Fig. 5.8 – Isolinee di danno del tornado del 14/9/2015 nell'intera area coinvolta



Fig. 5.9 – Isolinee di danno del tornado (zoom sulla frazione di Campigo)

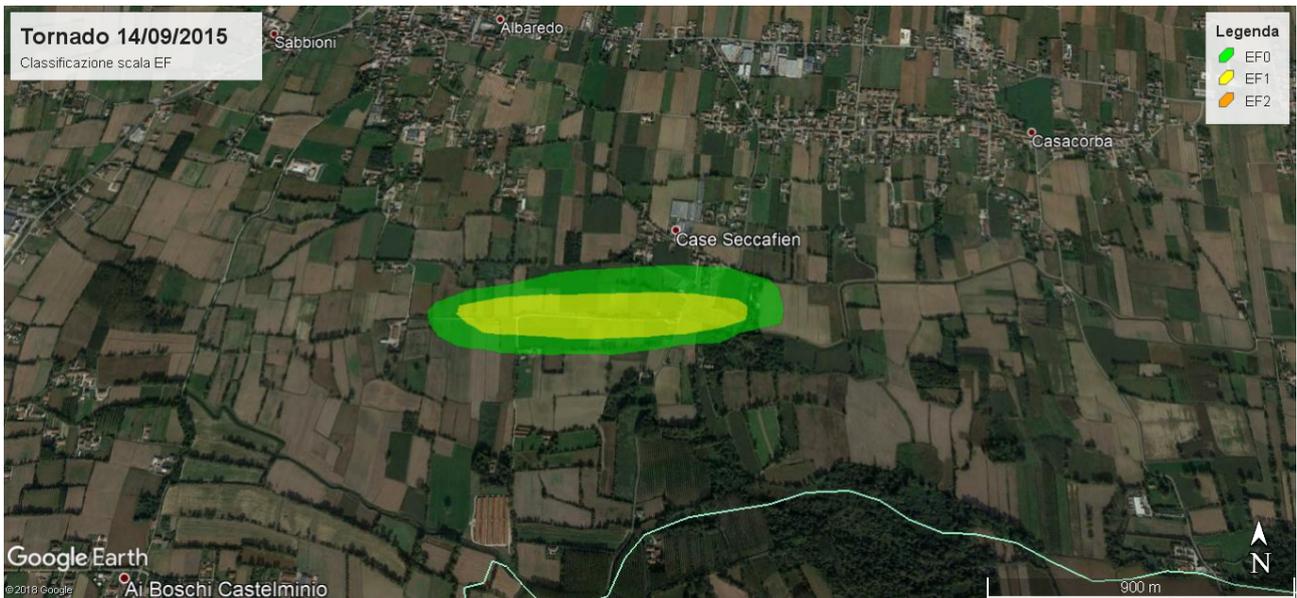


Fig. 5.10 – Isolinee di danno del tornado (zoom sulla frazione di Casacorba)

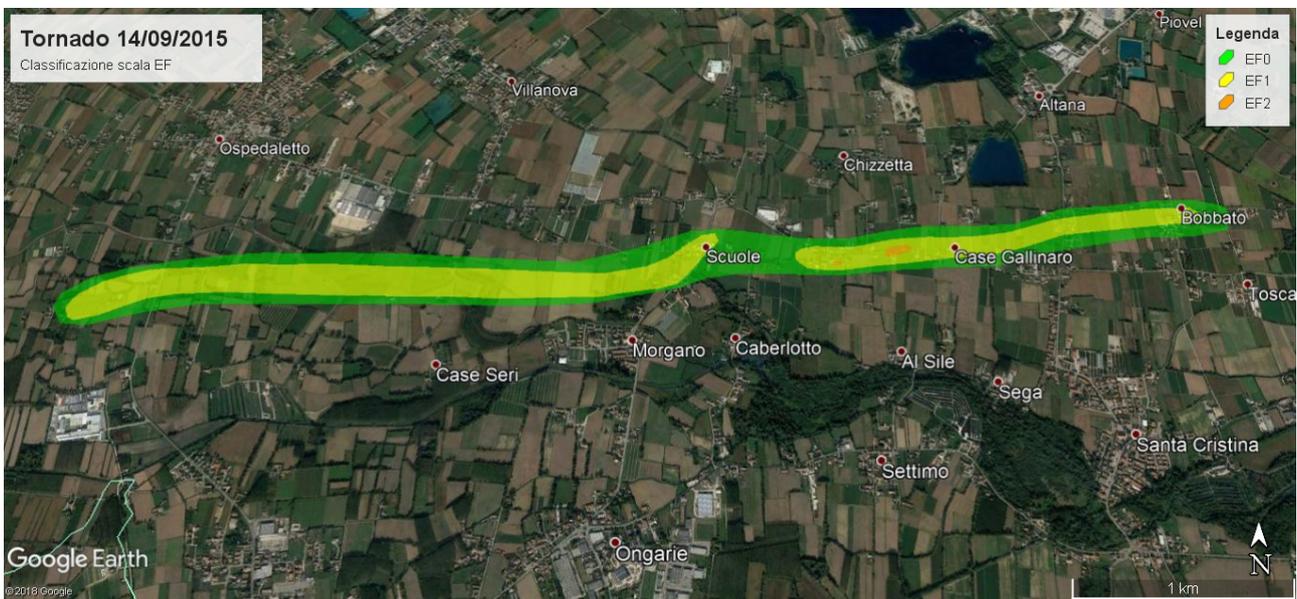


Fig. 5.11 – Isolinee di danno del tornado (tratto tra i comuni di Istrana, Morgano e Quinto di Treviso)

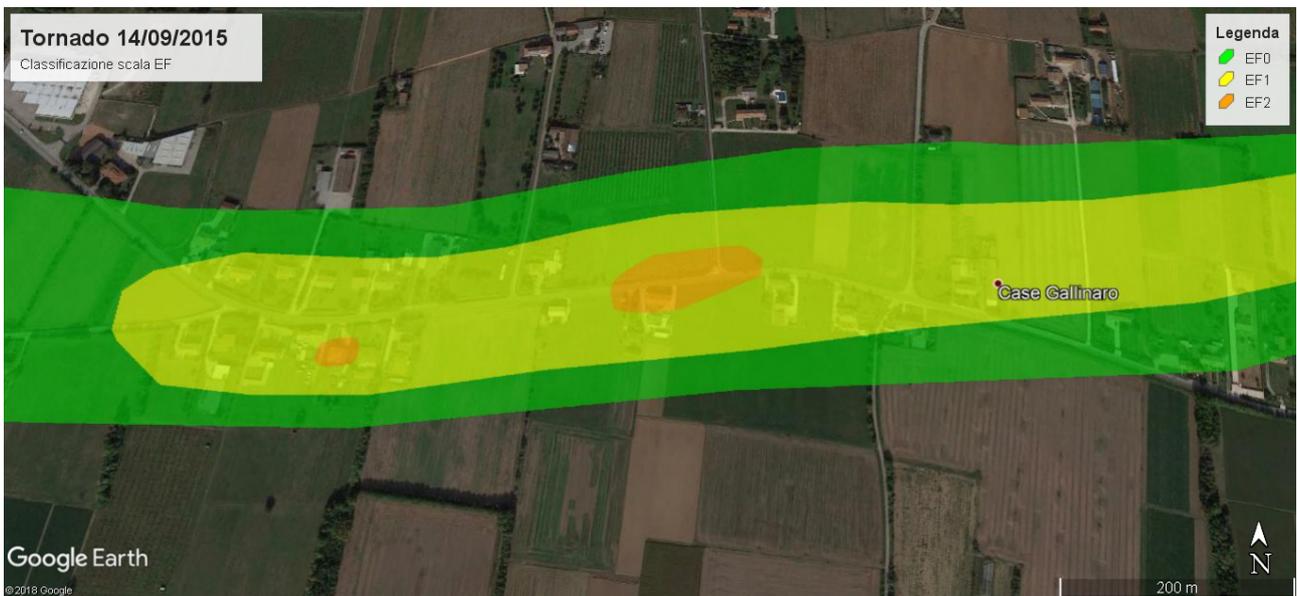


Fig. 5.12 – Isolinee di danno del tornado nella fase di massima intensità (zoom di un tratto nel comune di Morgano)

Sovrapponendo i campi delle isolinee di danno (colori verde, giallo e arancione) con il percorso ricostruito del tornado (linea rossa) si nota come in corrispondenza della cuspide illustrata nelle Fig. 5.6 e 5.7 vi sia anche un certo gradiente di danno in quanto la fascia di danno EF1 (giallo) termina con una curva che piega verso nord-est (Fig. 5.14, lettera A); successivamente si presenta una zona di danno EF0 (verde) ampia circa 500 metri (lettera B) che precede una recrudescenza dei danni verso est fino ad arrivare al grado massimo EF2 (giallo/arancione, lettera C).

Questa disposizione dei gradienti di danno probabilmente dipende dal fatto che in corrispondenza della cuspide si è verificata una parziale occlusione mesociclonica che ha introdotto un nuovo rinforzo del mesociclone di basso livello il quale a sua volta ha rinvigorito il tornado portandolo dal grado EF0 al grado EF2 nello spazio di circa 200 metri (si veda la scheda del DI n. 27).



Fig. 5.13 – Sovrapposizione tra isolinee di danno e percorso del tornado tra i comuni di Istrana, Morgano e Quinto di Treviso

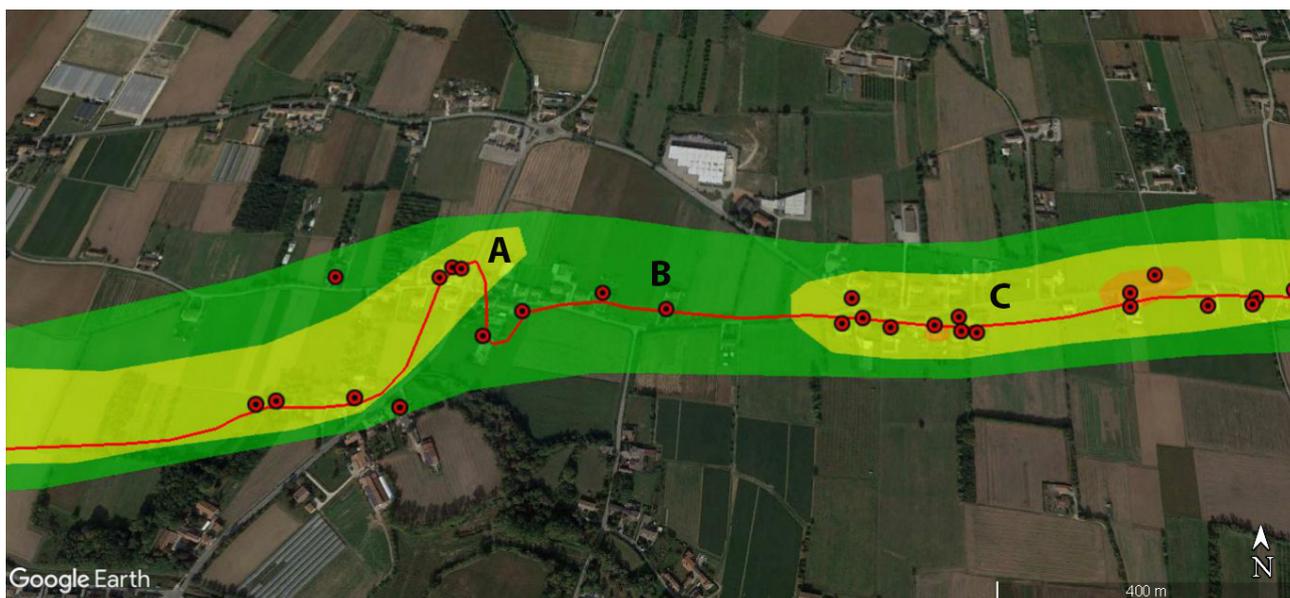


Fig. 5.14 – Ingrandimento della Fig. 5.13 sul comune di Morgano integrata con la posizione degli indicatori di danno

5.3 Schede di danno

In allegato al presente lavoro si riportano le schede relative ai 42 DI e ai 4 NDI registrati a seguito del sopralluogo sul campo effettuato in data 20/10/2018. 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 il presente evento tornadico viene classificato, secondo il protocollo della EF Scale, con il **grado EF2** poiché è stata accertata la presenza di due danni tra loro adiacenti di magnitudo comparabile (DI n. 31 e DI n. 33, vedasi Fig. 5.15).

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. 5.1 – Scala EF dei tornado



Fig. 5.15 – Posizione DI n. 31 e DI n. 33

SCHEDE INDICATORI DI DANNO

Si riportano di seguito le schede riassuntive inerenti a ogni singolo indicatore di danno (DI) analizzato, unitamente ai relativi gradi di danno (DOD) ricavati per ognuno indicatore.

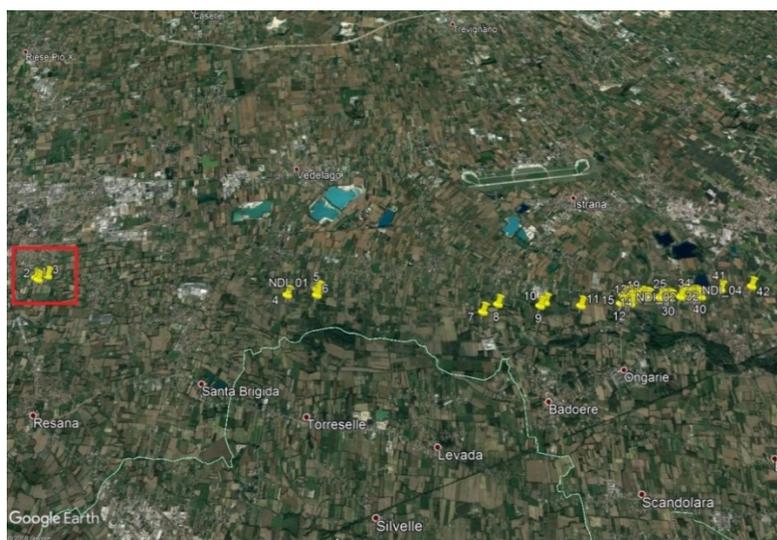
Gli indicatori di danno analizzati sono i seguenti:

- Capannone monopiano con struttura portante e di copertura in acciaio, a schema iperstatico (CMACC)
- Capannone monopiano in cemento armato precompresso, a schema isostatico, con copertura in tegoli “a doppio T” o su travi banchina perimetrali o su travi trasversali “a boomerang” (CMCAP-2T)
- Capannone monopiano in cemento armato precompresso, a schema isostatico, con copertura in travi trasversali “a boomerang” e orditura secondaria a lastre in calcestruzzo debolmente armato (CMCAP-B)
- Capannone monopiano in cemento armato precompresso, a schema isostatico, con copertura in tegoli “a Y” e coppelle in fibrocemento (CMCAP-Y)
- Capannone monopiano in cemento armato gettato in opera, con impalcato di copertura a schema isostatico (CMCAO)
- Linea di trasmissione elettrica: palo in legno-acciaio-cemento armato o torre in acciaio a traliccio (ETL)
- Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento “in andamento” su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)
- Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)
- Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a nido d’ape in muretti e tavelle di laterizio su solaio sotto tetto (VMB-CNA)
- Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in travetti-travi prefabbricati in cemento armato autoportanti o con trave di colmo centrale in cemento armato gettata in opera, con o senza solaio sotto tetto (VMB-CP)
- Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in travetti prefabbricati in cemento armato su setti murari con o senza solaio sotto tetto (VMB-CTRP)
- Generica Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti causa il verificarsi di danni non rilevanti (VMB-G)
- Alberi a legno duro (HW)
- Alberi a legno tenero (SW)

CODICE D.I.: 01

LATITUDINE: 45.657274 N

LONGITUDINE: 11.944999 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Betula sp. (Betulla).

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)**
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

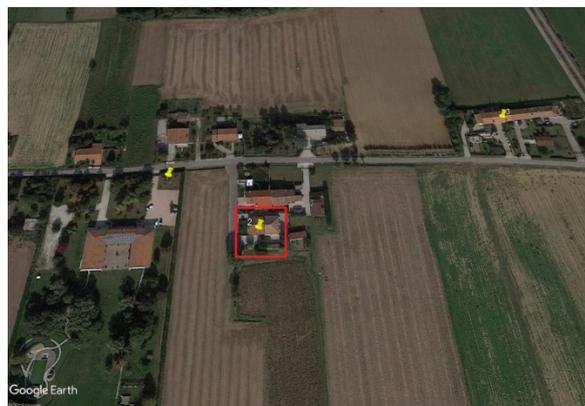
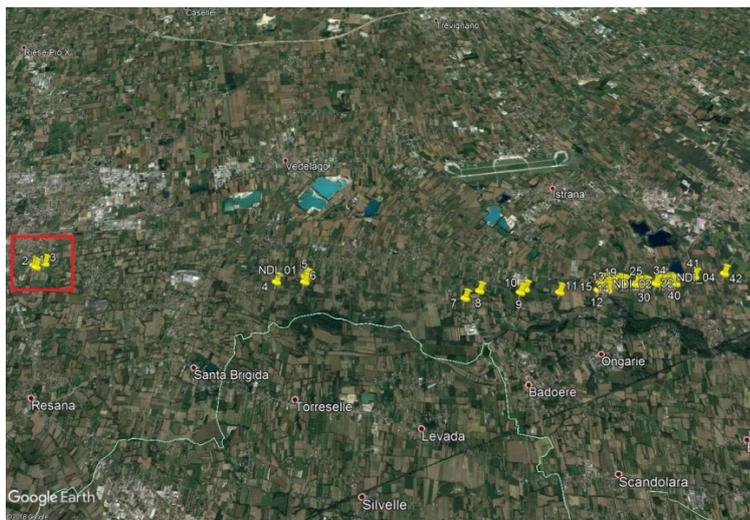
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 02

LATITUDINE: 45.656906 N

LONGITUDINE: 11.945808 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM

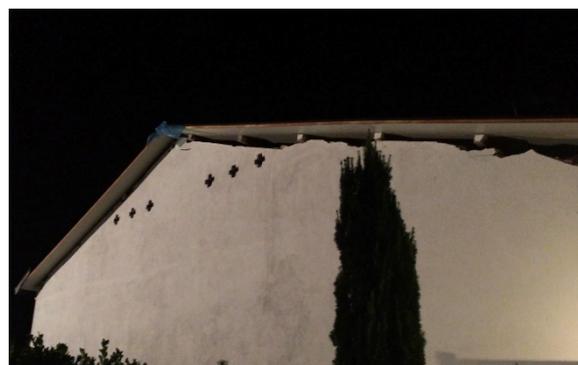


IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

**GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})**

Annesso di Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)
- 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150)
- 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_(se condominio)
- 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Essendo la porzione superiore del pacchetto di copertura in pannello metallico autoportante (molto più leggera del peso a metro quadrato dei coppi) si deduce una velocità delle raffiche posizionata nella fascia EF1.

CLASSIFICAZIONE D.I.

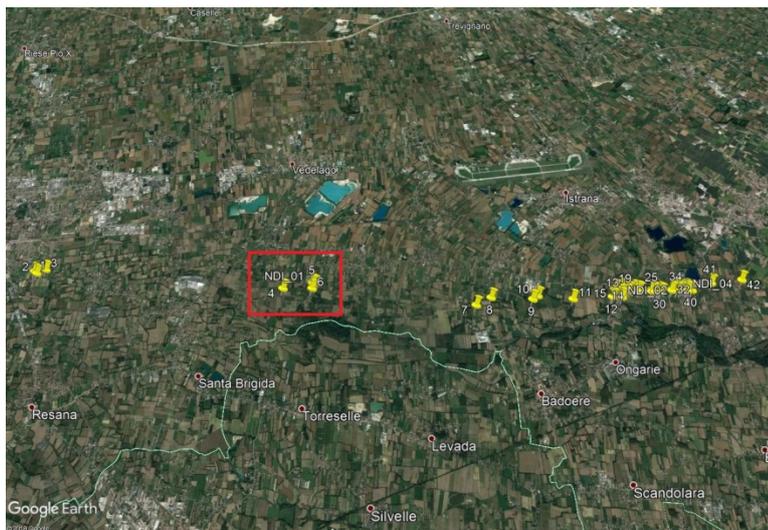
EF1

CODICE D.I.: 03	LATITUDINE: 45.657751 N	LONGITUDINE: 11.948052 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
		
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO	IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO	
TIPOLOGIA D.I.	GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})	
Serie di Villette Mono-Bi Familiari (o condominio) in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)	1) Soglia di danno visibile (66 54 83) 2) Perdita limitata di materiale di copertura (<20-40%) (80 67 99) 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO	4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)	
Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.	5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150) 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_ (se condominio) 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)	
	CLASSIFICAZIONE D.I.	
	EF1	

CODICE D.I.: 04

LATITUDINE: 45.653324 N

LONGITUDINE: 12.015397 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).

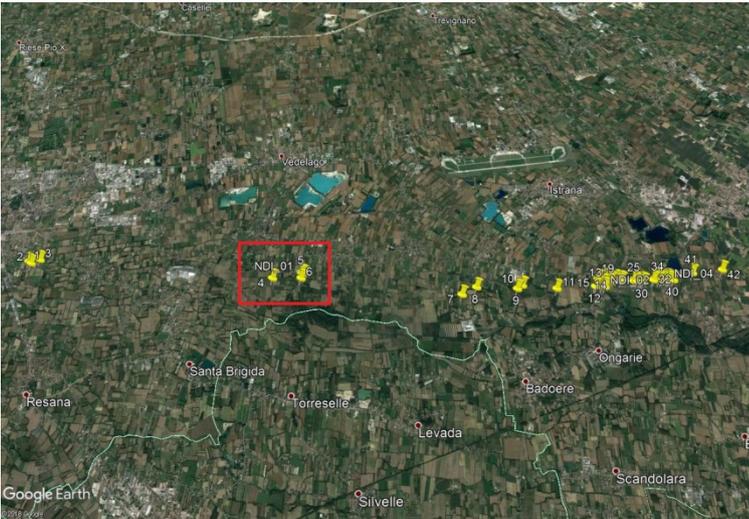
GRADO DI DANNO

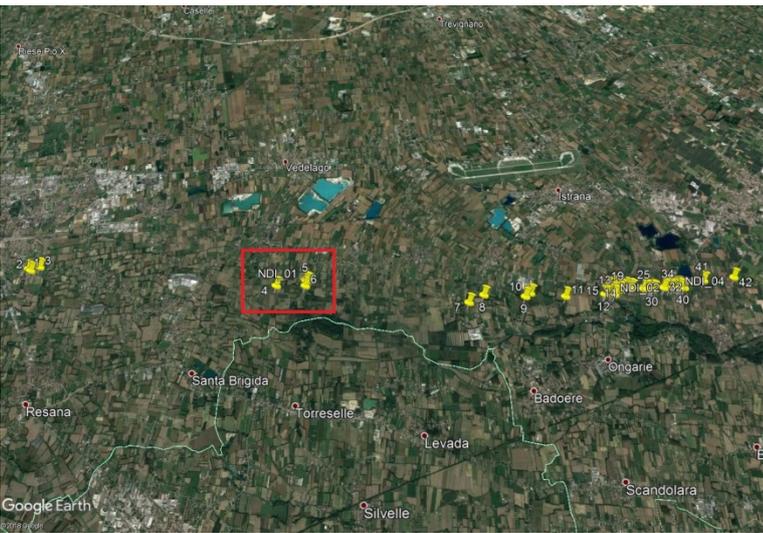
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata di materiale di copertura (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)
- 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150)
- 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_(se condominio)
- 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

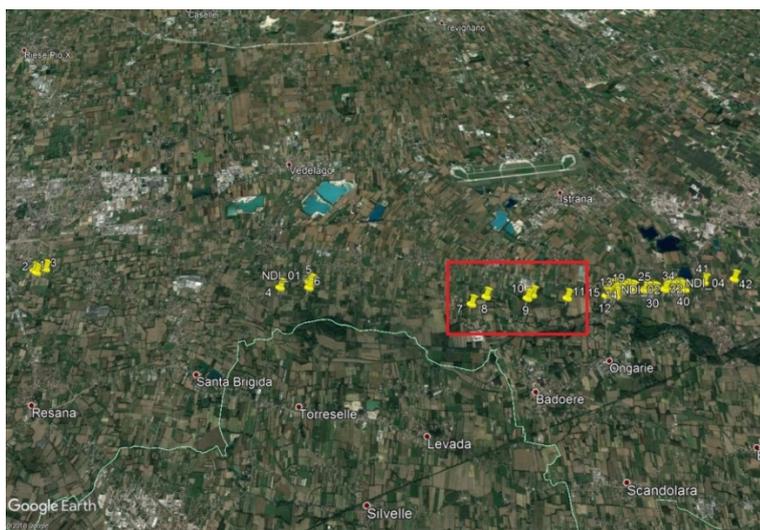
CODICE D.I.: 05	LATITUDINE: 45.654351 N	LONGITUDINE: 12.023716 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
	<p data-bbox="954 1285 1493 1352" style="text-align: center;">IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO</p> <p data-bbox="1082 1397 1366 1464" style="text-align: center;">GRADO DI DANNO (V_{media}, V_{min}, V_{max})</p> <p data-bbox="927 1509 1481 1800"> 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72) 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88) 3) Alberi sradicati (94 76 118) 4) Tronchi spezzati (107 93 134) 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167) </p>	
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO		
TIPOLOGIA D.I.		
Alberi a legno duro (HW)		
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO		
<p>Non è stato possibile stabilire la specie dell'individuo arboreo.</p> <p>In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF0 (trattasi di EF0 strong).</p>		
	CLASSIFICAZIONE D.I.	
	EF0	

CODICE D.I.: 06	LATITUDINE: 45.653314 N	LONGITUDINE: 12.023455 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO		POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM
	<p data-bbox="963 1285 1503 1352">IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO</p> <p data-bbox="1091 1397 1375 1464">GRADO DI DANNO (V_{media}, V_{min}, V_{max})</p> <p data-bbox="948 1509 1503 1800"> 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72) 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88) 3) Alberi sradicati (94 76 118) 4) Tronchi spezzati (107 93 134) 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167) </p>	
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO		
TIPOLOGIA D.I.		
Alberi a legno duro (HW)		
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO		
<p data-bbox="153 1720 663 1756">Genere ipotizzato Populus sp. (Pioppo).</p> <p data-bbox="153 1756 916 1868">In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).</p>		
CLASSIFICAZIONE D.I.		
EF1		

CODICE D.I.: 07

LATITUDINE: 45.649502 N

LONGITUDINE: 12.068464 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Linea di trasmissione elettrica: palo in legno-acciaio-cemento armato o torre in acciaio a traliccio (ETL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).

- 1) Soglia di danno visibile (83 70 98)
- 2) Rottura delle braccia in legno (99 80 114)
- 3) Piegamento del palo in legno (108 85 130)
- 4) Rottura del palo in legno (118 98 142)**
- 5) Rottura o curvatura dei pali in acciaio o calcestruzzo (138 115 149)
- 6) Collasso delle torri metalliche a traliccio (141 116 165)

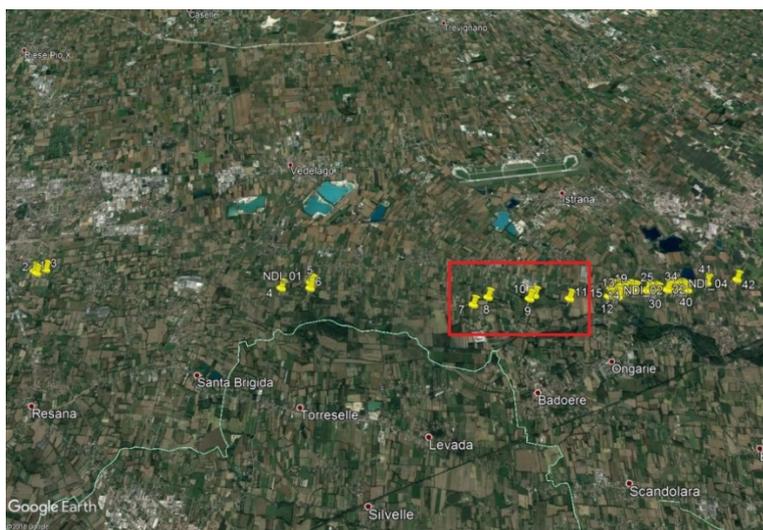
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 08

LATITUDINE: 45.651182 N

LONGITUDINE: 12.072720 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Generica Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti (VMB-G)

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In base all'entità del danno non risulta possibile stabilire la tipologia costruttiva delle strutture verticali portanti e degli impalcati di copertura. Si deduce comunque una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite inferiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 weak).

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 09	LATITUDINE: 45.650790 N	LONGITUDINE: 12.084067 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
		
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO	IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO	
TIPOLOGIA D.I.	GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})	
Alberi a legno duro (HW)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72) 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88) 3) Alberi sradicati (94 76 118) 4) Tronchi spezzati (107 93 134) 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167) 	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO Genere ipotizzato Populus sp. (Pioppo). In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).	CLASSIFICAZIONE D.I.	
	EF1	

CODICE D.I.: 10

LATITUDINE: 45.651564 N

LONGITUDINE: 12.085577 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Populus sp. (Pioppo).

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)**
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

CLASSIFICAZIONE D.I.

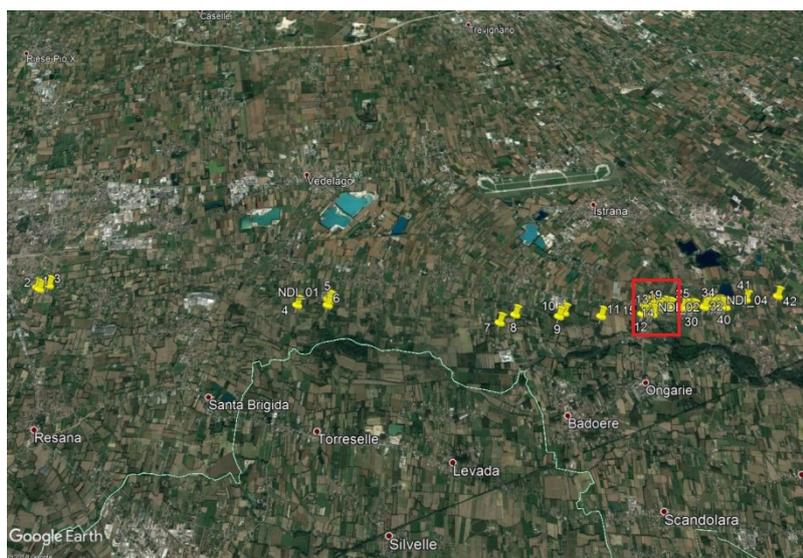
EF1

CODICE D.I.: 11	LATITUDINE: 45.650834 N	LONGITUDINE: 12.095111 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
	 <p data-bbox="901 1288 1444 1355">IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO</p>	
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO	GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})	
TIPOLOGIA D.I.	<p data-bbox="901 1512 1444 1836"> 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72) 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88) 3) Alberi sradicati (94 76 118) 4) Tronchi spezzati (107 93 134) 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167) </p>	
Alberi a legno duro (HW)	CLASSIFICAZIONE D.I.	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO Genere ipotizzato Populus sp. (Pioppo). In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).	EF1	

CODICE D.I.: 12

LATITUDINE: 45.651299 N

LONGITUDINE: 12.105995 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL
PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I.
DANNEGGIATO O PRIMA DEL
DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

TIPOLOGIA D.I.

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Robinia sp. (Robinia).

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)**
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

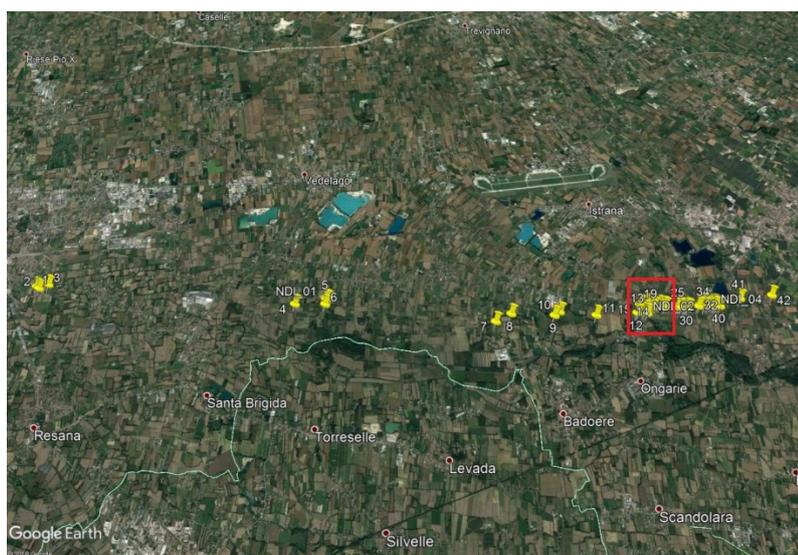
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 13

LATITUDINE: 45.651347 N

LONGITUDINE: 12.106364 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)**
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)

TIPOLOGIA D.I.

Generica Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti (VMB-G)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In base all'entità del danno non risulta possibile stabilire la tipologia costruttiva delle strutture verticali portanti e degli impalcati di copertura.

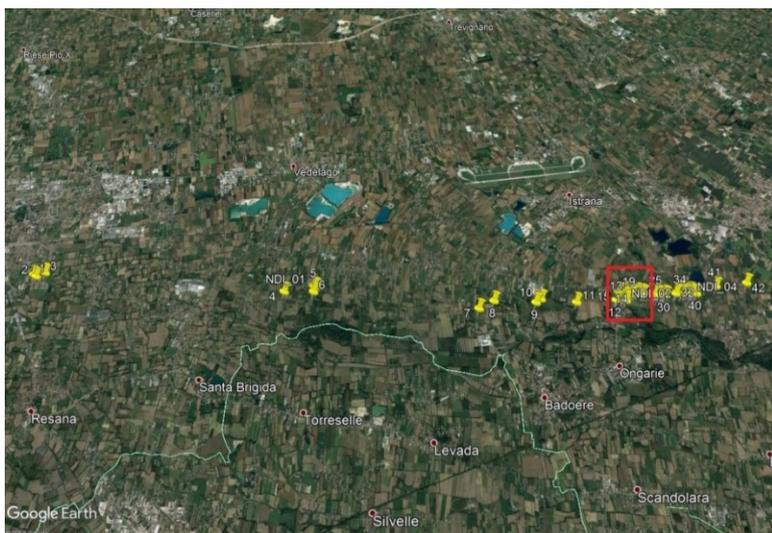
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 14

LATITUDINE: 45.651392 N

LONGITUDINE: 12.107821 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Cascina in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Appurati l'esiguo spessore e la scarsa consistenza delle murature laterali portanti, si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)**
- 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150)
- 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_(se condominio)
- 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)

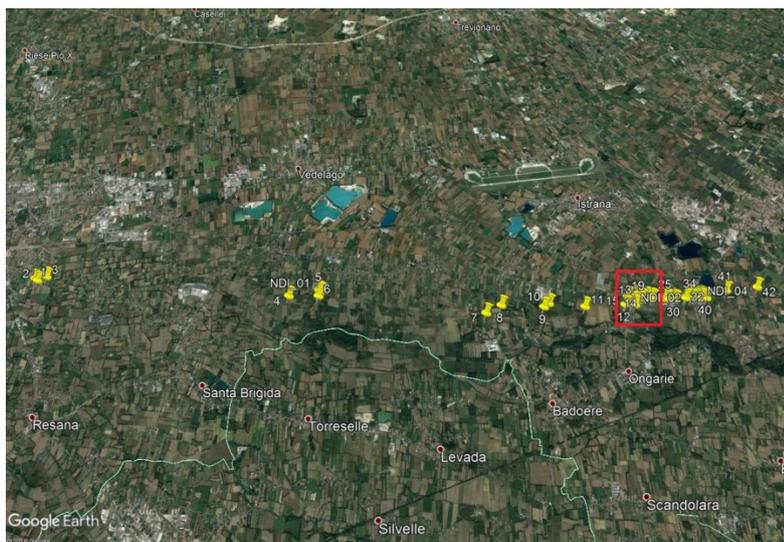
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 15

LATITUDINE: 45.653225 N

LONGITUDINE: 12.107108 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)

TIPOLOGIA D.I.

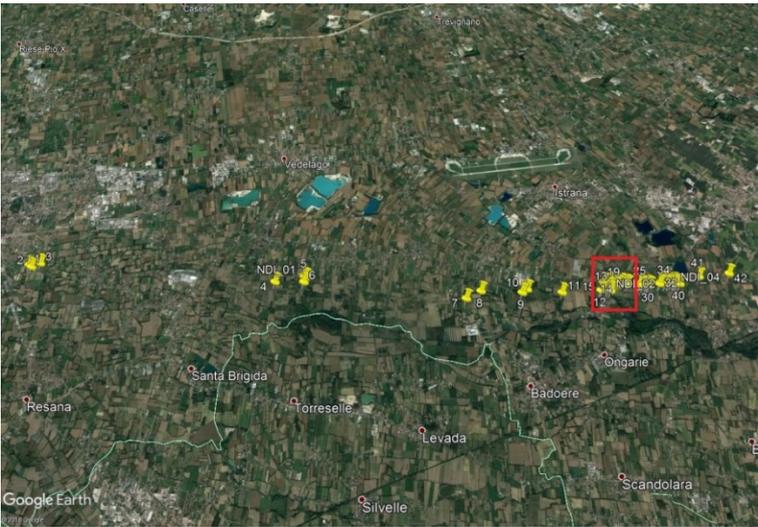
Generica Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti (VMB-G)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In base all'entità del danno non risulta possibile stabilire la tipologia costruttiva delle strutture verticali portanti e degli impalcati di copertura.

CLASSIFICAZIONE D.I.

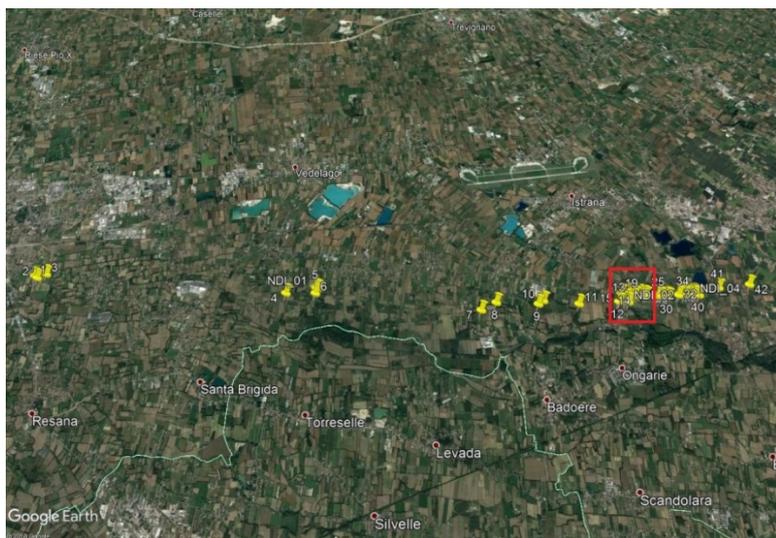
EFO

CODICE D.I.: 16	LATITUDINE: 45.653218 N	LONGITUDINE: 12.109171 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
		
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO	IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO	
TIPOLOGIA D.I.	GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})	
<p>Generica Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti (VMB-G)</p>	<p>1) Soglia di danno visibile (66 54 83) 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99) 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)</p>	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO	CLASSIFICAZIONE D.I.	
<p>In base all'entità del danno non risulta possibile stabilire la tipologia costruttiva delle strutture verticali portanti e degli impalcati di copertura.</p>	EFO	

CODICE D.I.: 17

LATITUDINE: 45.653384 N

LONGITUDINE: 12.109402 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL
PATH_ZOOM



IMMAGINE 2: D.I.
DANNEGGIATO O PRIMA DEL
DANNO

IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Casa colonica in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) **Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)
- 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150)
- 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_(se condominio)
- 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)

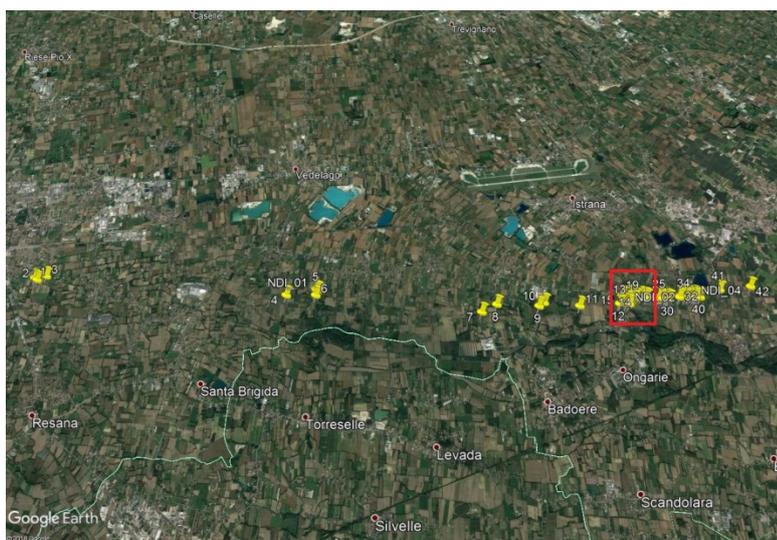
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 18

LATITUDINE: 45.653362 N

LONGITUDINE: 12.109588 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte danneggiamento-asportazione dei travetti prefabbricati del tetto (123 103 143)
- 5) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (153 133 163)
- 6) Crollo delle pareti del piano più alto (163 145 180)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (186 162 210)_(se condominio)
- 8) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (210 190 235)

TIPOLOGIA D.I.

Fabbricato residenziale in muratura con copertura in travetti prefabbricati in cemento armato su setti murari con o senza solaio sotto tetto (VMB-CTRP)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{max} quindi al limite inferiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 weak).

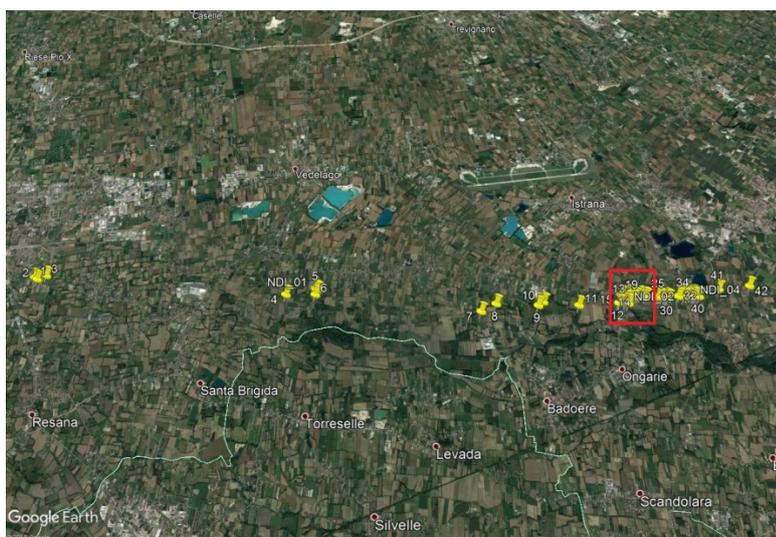
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 19

LATITUDINE: 45.652306 N

LONGITUDINE: 12.110123 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Capannone monopiano in cemento armato gettato in opera, con impalcato di copertura a schema isostatico (CMCAO)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Trattasi di struttura assai vetusta, a vani interni direttamente comunicanti con l'esterno; la perdita significativa di materiale dal tetto (copertura leggera in elementi grecati) è comunque da ascrivere a raffiche di velocità posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF0 (trattasi di EF0 strong).

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

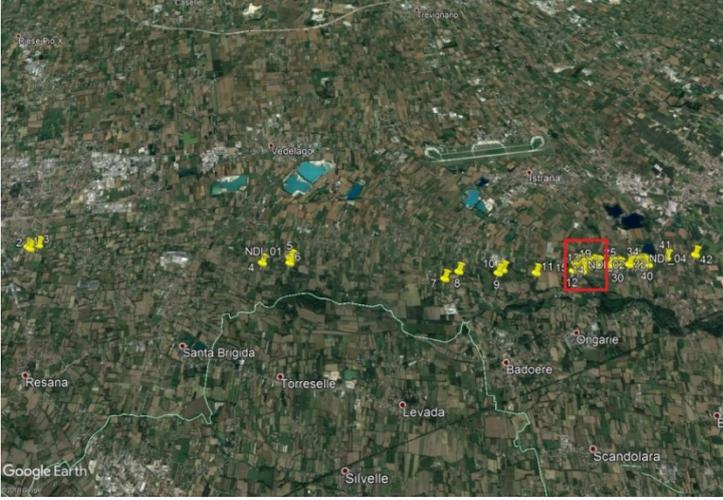
GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (68 55 83)
- 2) Perdita limitata di materiale del tetto (<20%) (83 69 105)
- 3) Collasso verso l'interno o verso l'esterno di portoni ad apertura verticale (a tapparella) o di resistenza equivalente; perdita significativa di materiale dal tetto (>20%) (88 75 107)**
- 4) Collasso di altre pareti esterne non portanti (114 93 126)
- 5) Collasso dei pannelli perimetrali in calcestruzzo (124 102 144)
- 6) Distruzione totale di larga parte o dell'intero edificio con asportazione dei tegoli "a Y" e collasso del sistema a telaio travi-pilastrati (158 131 186)

CLASSIFICAZIONE D.I.

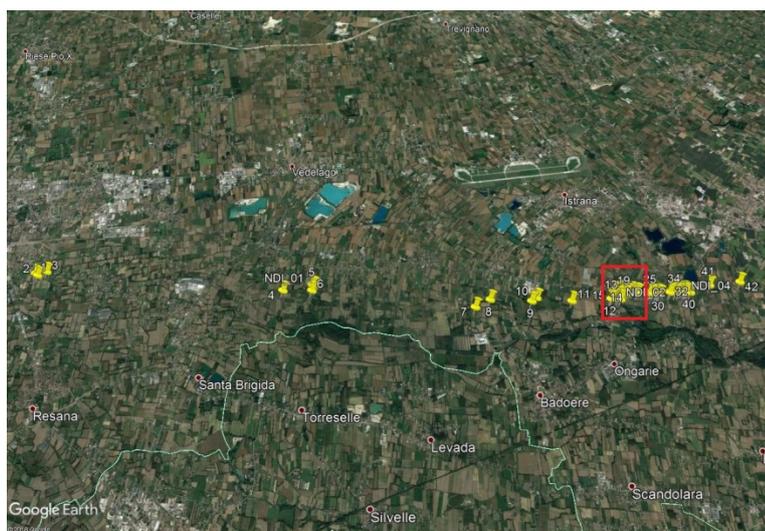
EF0

CODICE D.I.: 20	LATITUDINE: 45.652687 N	LONGITUDINE: 12.110851 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO		POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM
		
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO		IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO
TIPOLOGIA D.I.		GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})
Capannone monopiano con struttura portante in muratura e struttura di copertura in acciaio, a schema iperstatico (CMACC)	1) Soglia di danno visibile (67 54 83) 2) Collasso verso l'interno o verso l'esterno di portoni ad apertura verticale (a tapparella) o di resistenza equivalente (89 75 108) 3) La lamiera grecata del tetto ed i pannelli di tamponamento vengono asportati dall'edificio (95 78 120) 4) Cedimento dell'ancoraggio delle colonne (117 96 135) 5) Torsione degli arcarecci di copertura (118 95 138) 6) Cedimento dei controventi (croci di S. Andrea) del sistema di resistenza ai carichi laterali (138 118 158) 7) Progressivo collasso dei telai rigidi (143 120 168) 8) Totale distruz. dell'edificio (155 132 178)	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO		CLASSIFICAZIONE D.I.
Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.		EFO

CODICE D.I.: 21

LATITUDINE: 45.652975 N

LONGITUDINE: 12.112411 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

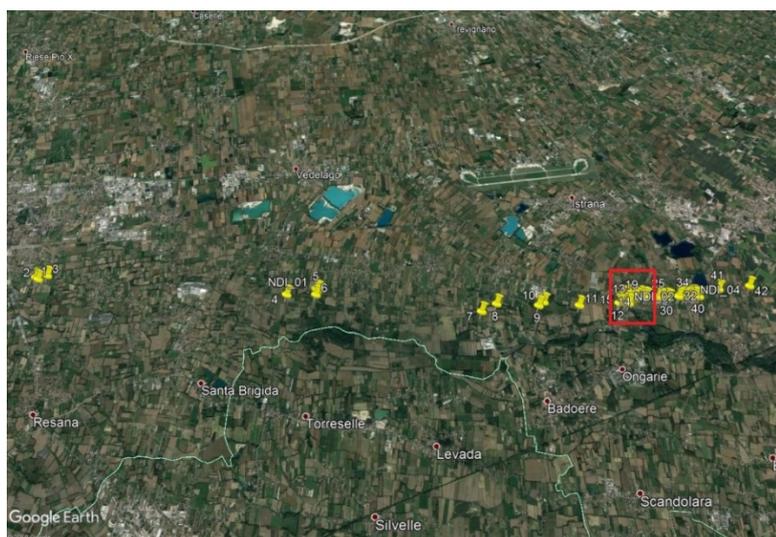
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 22

LATITUDINE: 45.652720 N

LONGITUDINE: 12.113659 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL
PATH_ZOOM



IMMAGINE 2: D.I.
DANNEGGIATO O PRIMA DEL
DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato *Fraxinus* sp. (Frassino). Si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF0 (trattasi di EF0 strong).

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)**
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

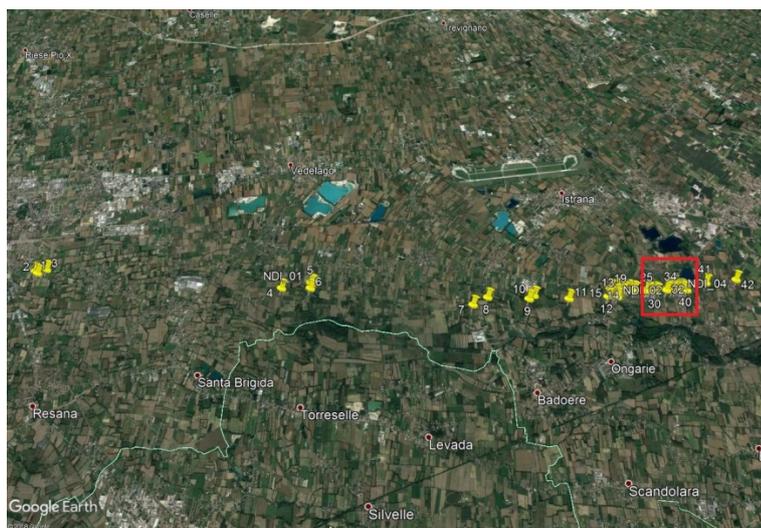
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF0

CODICE D.I.: 23

LATITUDINE: 45.652496 N

LONGITUDINE: 12.117063 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento “in andamento” su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) **Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta “in andamento” (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta “in andamento” (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

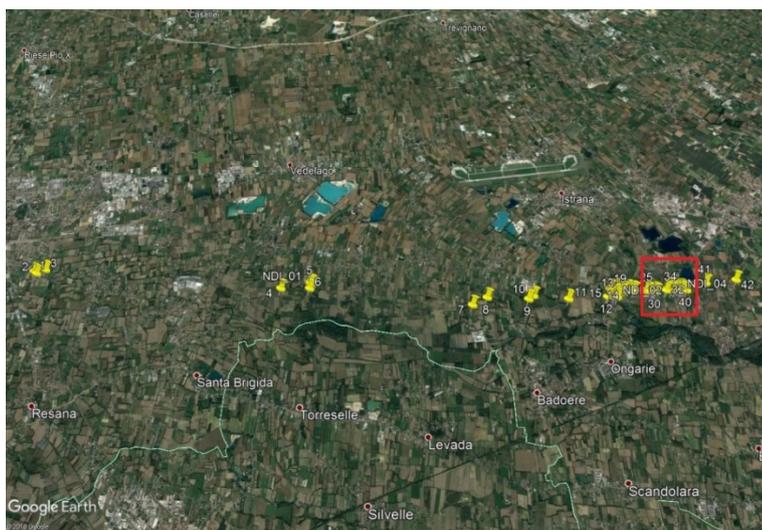
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 24

LATITUDINE: 45.652890 N

LONGITUDINE: 12.117301 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Linea di trasmissione elettrica: palo in legno-acciaio-cemento armato o torre in acciaio a traliccio (ETL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (83 70 98)**
2) Rottura delle braccia in legno (99 80 114)
3) Piegamento del palo in legno (108 85 130)
4) Rottura del palo in legno (118 98 142)
5) Rottura o curvatura dei pali in acciaio o calcestruzzo (138 115 149)
6) Collasso delle torri metalliche a traliccio (141 116 165)

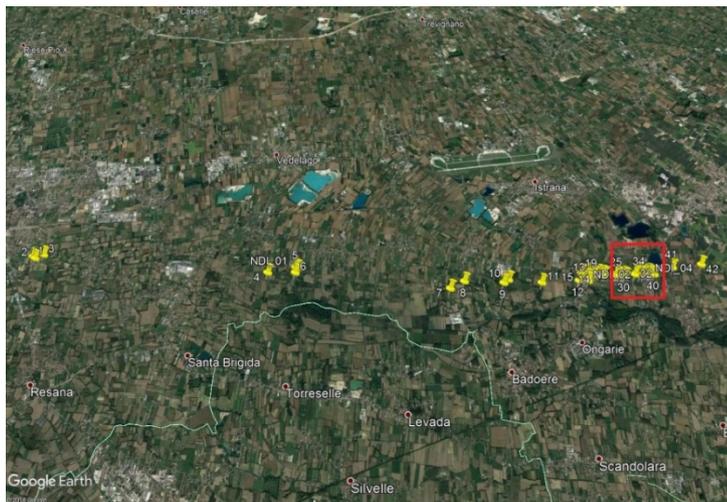
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 25

LATITUDINE: 45.652580 N

LONGITUDINE: 12.117474 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

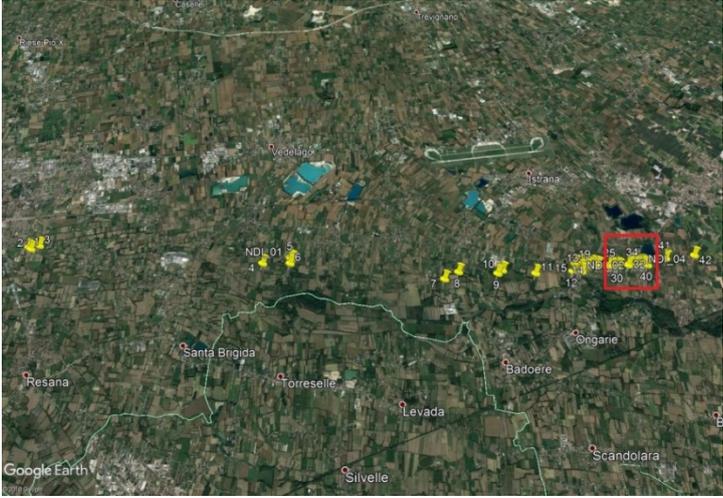
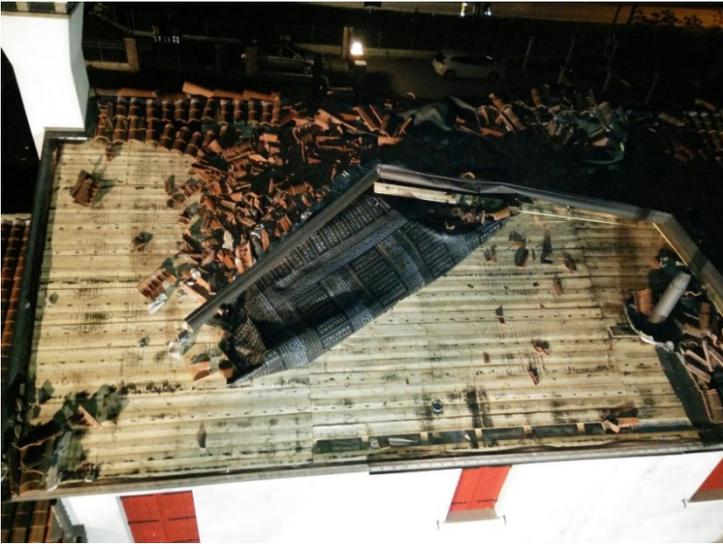
GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

CLASSIFICAZIONE D.I.

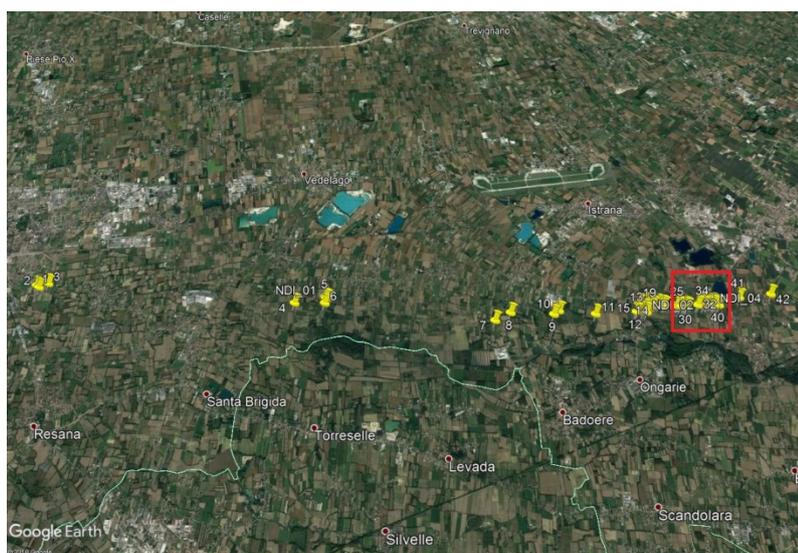
EF1

CODICE D.I.: 26	LATITUDINE: 45.652437 N	LONGITUDINE: 12.117996 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
	 <p data-bbox="901 1288 1444 1355">IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO</p> <p data-bbox="1029 1400 1316 1467">GRADO DI DANNO (V_{media}, V_{min}, V_{max})</p> <p data-bbox="901 1467 1444 1937"> 1) Soglia di danno visibile (66 54 83) 2) Perdita limitata di materiale di copertura (<20-40%) (80 67 99) 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116) 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143) 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150) 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_se condominio) 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205) </p>	
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO		
TIPOLOGIA D.I.		
Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura in legno con capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)		
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO		
Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.		
CLASSIFICAZIONE D.I.		
	EF1	

CODICE D.I.: 27

LATITUDINE: 45.652469 N

LONGITUDINE: 12.118851 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a nido d'ape in muretti e tavelle di laterizio su solaio sotto tetto (VMB-CNA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In merito alla tipologia di danno si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite inferiore della fascia EF2 (trattasi di EF2 weak).



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte danneggiamento-asportazione della struttura a nido d'ape del tetto (123 103 143)**
- 5) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (153 133 163)
- 6) Crollo delle pareti del piano più alto (163 145 180)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (186 162 210)_(se condominio)
- 8) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (210 190 235)

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF2

CODICE D.I.: 27

LATITUDINE: 45.652469 N

LONGITUDINE: 12.118851 E



IMMAGINE 3: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 4: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 5: D.I. DANNEGGIATO

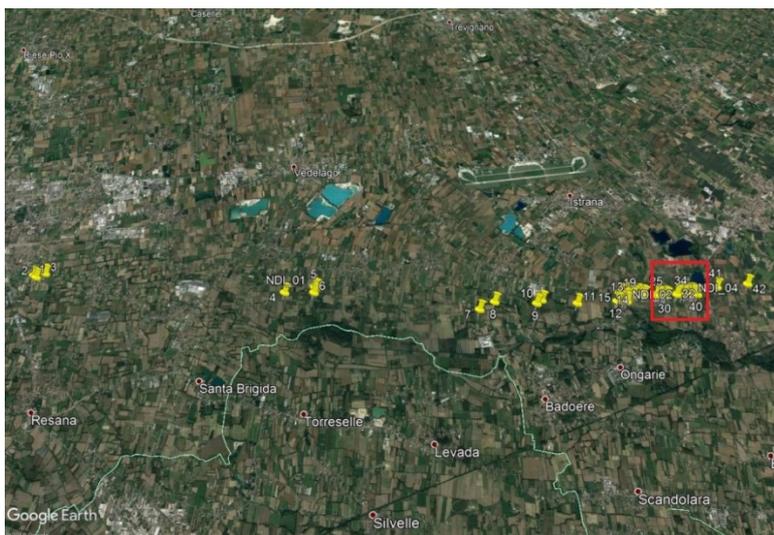


IMMAGINE 6: D.I. DANNEGGIATO

CODICE D.I.: 28

LATITUDINE: 45.652598 N

LONGITUDINE: 12.119345 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Acer sp. (Acero).

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)**
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

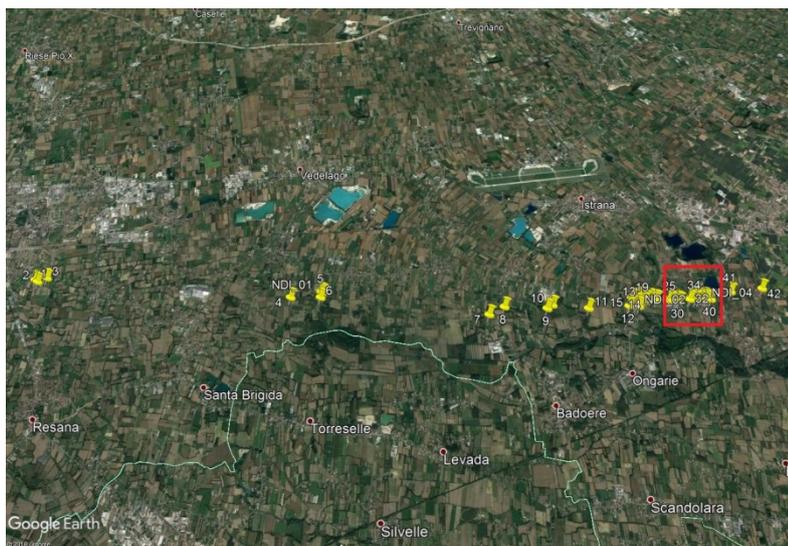
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF0

CODICE D.I.: 29

LATITUDINE: 45.652378 N

LONGITUDINE: 12.119353 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a nido d'ape in muretti e tavelle di laterizio su solaio sotto tetto (VMB-CNA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte danneggiamento-asportazione della struttura a nido d'ape del tetto (123 103 143)
- 5) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (153 133 163)
- 6) Crollo delle pareti del piano più alto (163 145 180)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (186 162 210)_(se condominio)
- 8) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (210 190 235)

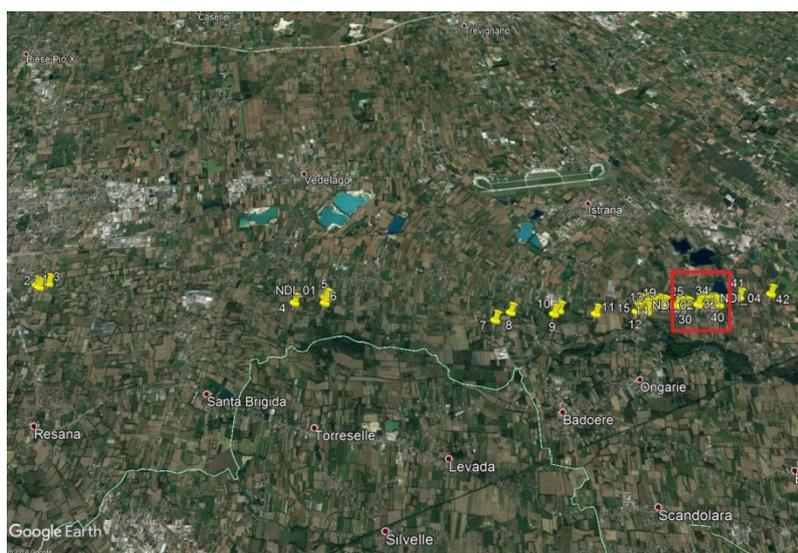
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 30

LATITUDINE: 45.652357 N

LONGITUDINE: 12.119647 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM

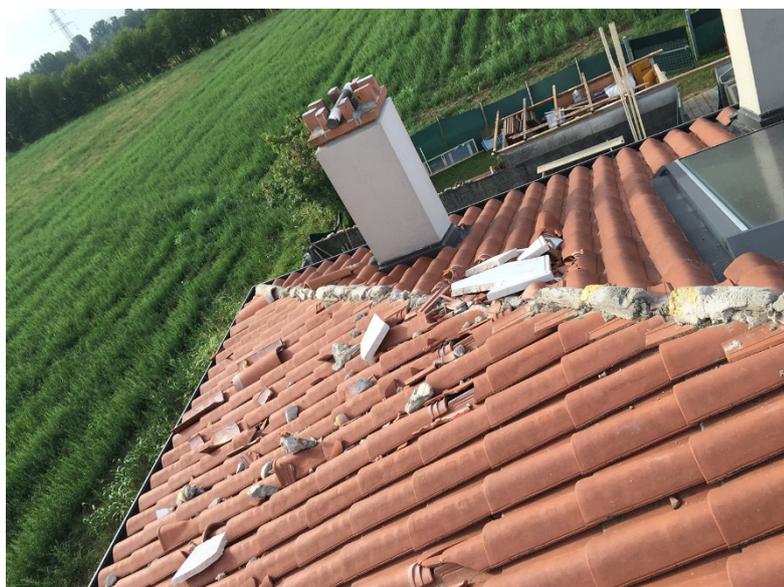


IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte danneggiamento-asportazione della struttura a nido d'ape del tetto (123 103 143)
- 5) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (153 133 163)
- 6) Crollo delle pareti del piano più alto (163 145 180)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (186 162 210)_(se condominio)
- 8) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (210 190 235)

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a nido d'ape in muretti e tavelle di laterizio su solaio sotto tetto (VMB-CNA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

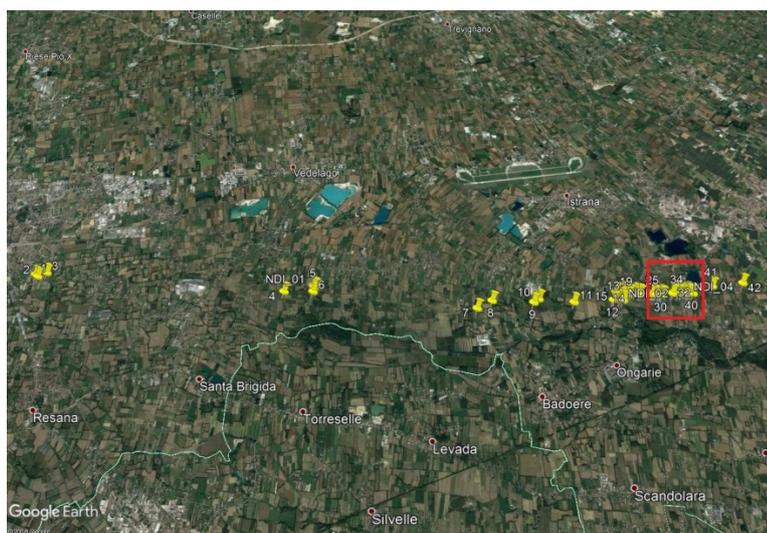
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

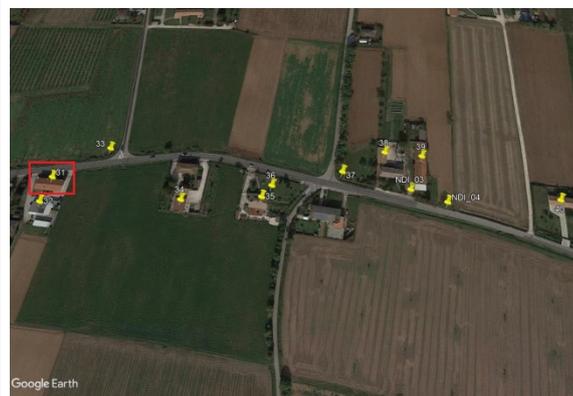
CODICE D.I.: 31

LATITUDINE: 45.652975 N

LONGITUDINE: 12.122786 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In merito alla tipologia di danno, e riscontrata inoltre una parziale lesione della soletta "in andamento" in prossimità dei lucernai, si deduce una velocità delle raffiche prossima a V_{max} quindi al limite inferiore della fascia EF2 (trattasi di EF2 weak).

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF2

CODICE D.I.: 31

LATITUDINE: 45.652975 N

LONGITUDINE: 12.122786 E



IMMAGINE 3: D.I. DANNEGGIATO



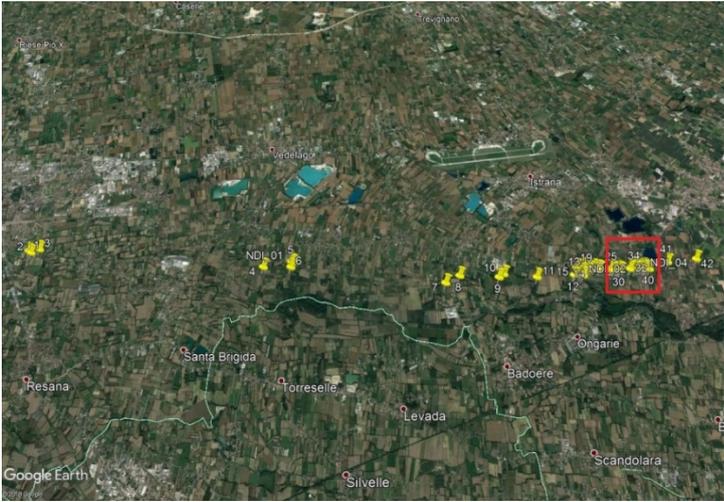
IMMAGINE 4: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 5: D.I. DANNEGGIATO



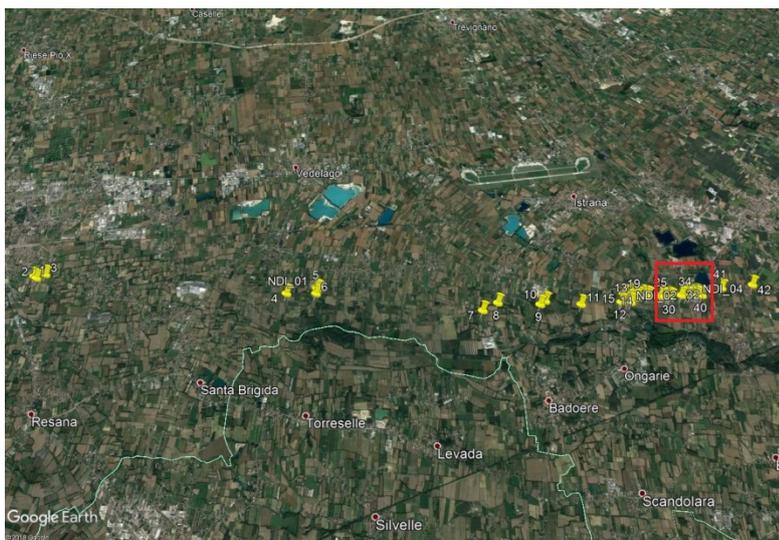
IMMAGINE 6: D.I. DANNEGGIATO

CODICE D.I.: 32	LATITUDINE: 45.652754 N	LONGITUDINE: 12.122724 E
		
POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO	POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM	
	IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO	
IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO	GRADO DI DANNO (V_{media} , V_{min} , V_{max})	
TIPOLOGIA D.I.	1) Soglia di danno visibile (66 54 83) 2) Perdita limitata di materiale di copertura (<20-40%) (80 67 99) 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116) 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143) 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150) 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_ (se condominio) 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)	
DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO	CLASSIFICAZIONE D.I.	
Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.	EF1	

CODICE D.I.: 33

LATITUDINE: 45.653258 N

LONGITUDINE: 12.123357 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Linea di trasmissione elettrica: palo in legno-acciaio-cemento armato o torre in acciaio a traliccio (ETL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (83 70 98)
- 2) Rottura delle braccia in legno (99 80 114)
- 3) Piegamento del palo in legno (108 85 130)
- 4) Rottura del palo in legno (118 98 142)**
- 5) Rottura o curvatura dei pali in acciaio o calcestruzzo (138 115 149)
- 6) Collasso delle torri metalliche a traliccio (141 116 165)

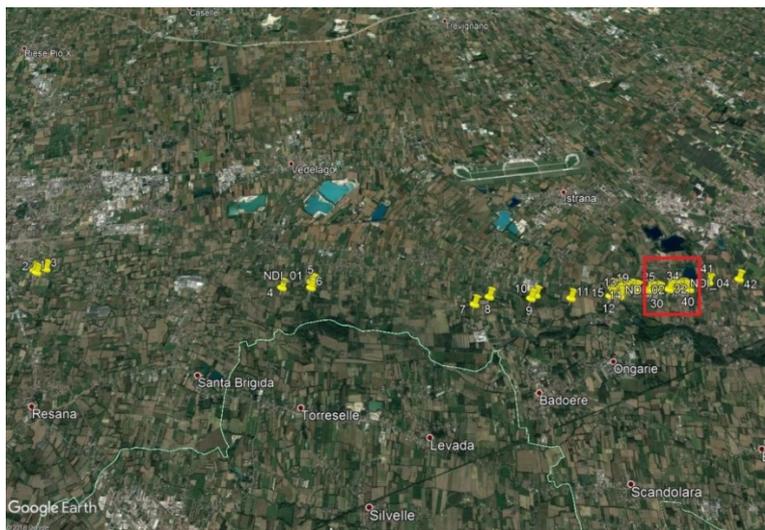
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF2

CODICE D.I.: 34

LATITUDINE: 45.652770 N

LONGITUDINE: 12.124246 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**

TIPOLOGIA D.I.

Edificio/annesso rustico in muratura della quale non è stato possibile ottenere informazioni sulle caratteristiche costruttive della copertura e delle strutture verticali portanti (VMB-G)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

In base all'entità del danno non risulta possibile stabilire la tipologia costruttiva delle strutture verticali portanti e degli impalcati di copertura.

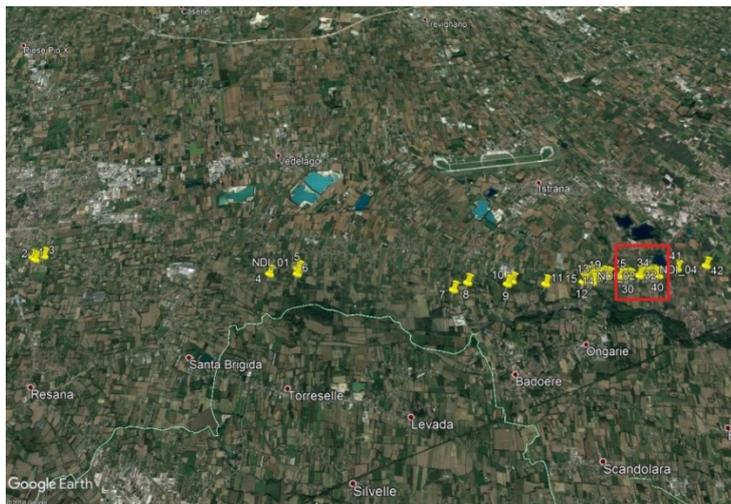
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 35

LATITUDINE: 45.652792 N

LONGITUDINE: 12.125126 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)**
2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

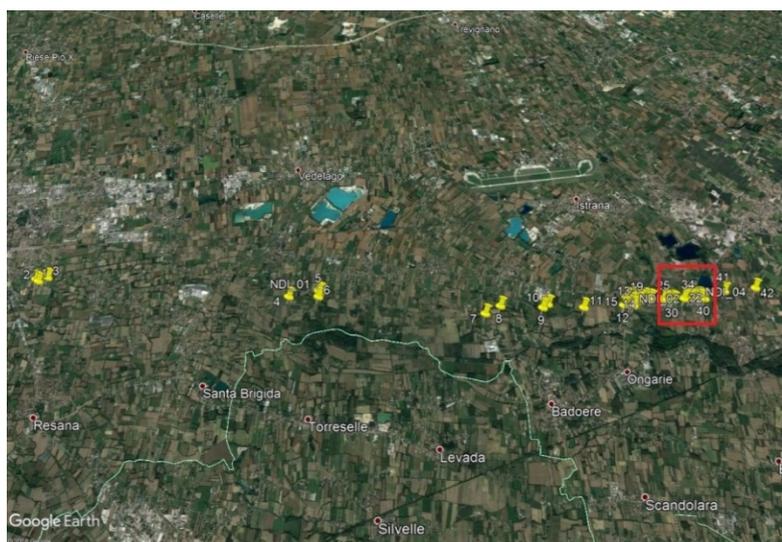
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 36

LATITUDINE: 45.652894 N

LONGITUDINE: 12.125234 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL
PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I.
DANNEGGIATO O PRIMA DEL
DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Quercus sp. (Quercia).

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti _da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)**
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

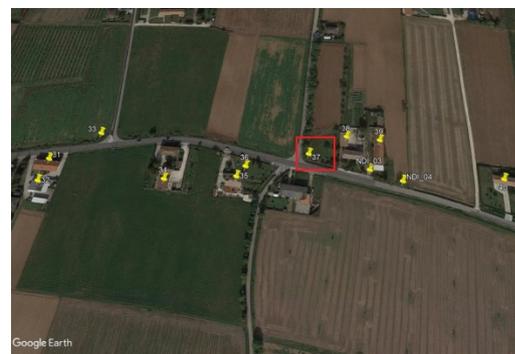
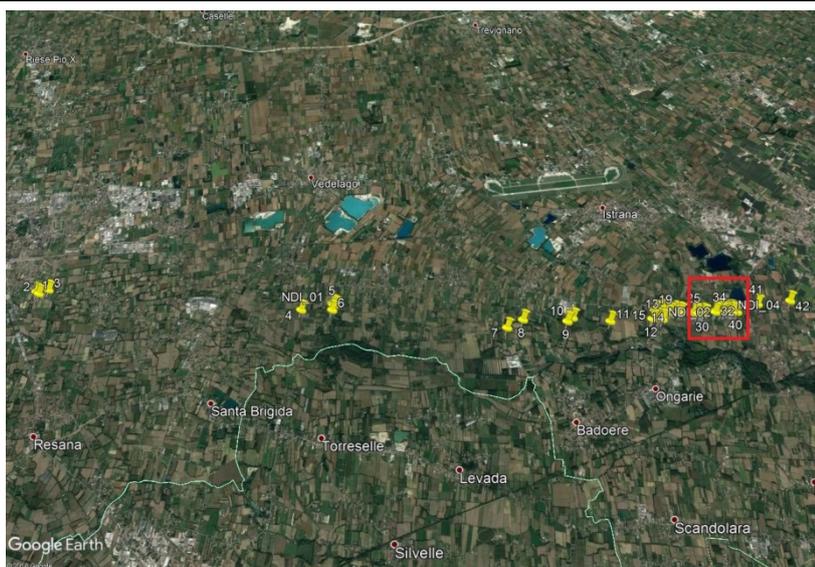
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 37

LATITUDINE: 45.653022 N

LONGITUDINE: 12.126023 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Alberi a legno duro (HW)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Genere ipotizzato Robinia sp. (Robinia).

- 1) Piccoli rami rotti _fino a 2,54 cm di diametro (60 48 72)
- 2) Grandi rami rotti_ da 2,54 a 7,62 cm di diametro (74 61 88)
- 3) Alberi sradicati (94 76 118)**
- 4) Tronchi spezzati (107 93 134)
- 5) Alberi scortecciati, resistono solamente monconi dei rami più grossi (143 123 167)

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 38

LATITUDINE: 45.653205 N

LONGITUDINE: 12.126521 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

TIPOLOGIA D.I.

Edificio in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

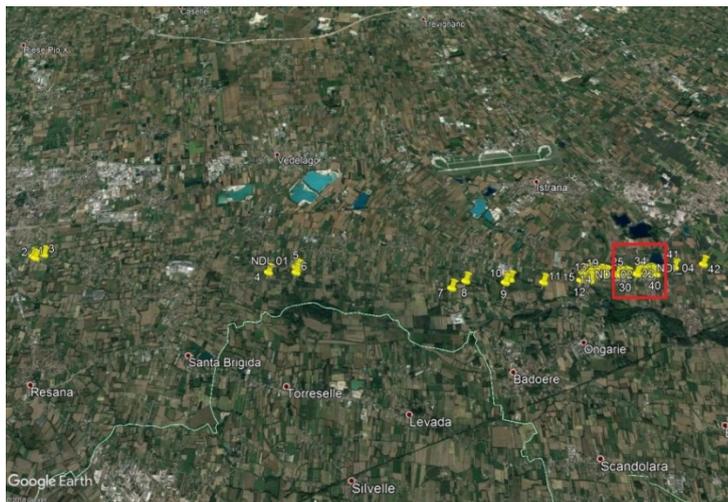
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 39

LATITUDINE: 45.653166 N

LONGITUDINE: 12.126939 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Annesso rustico in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

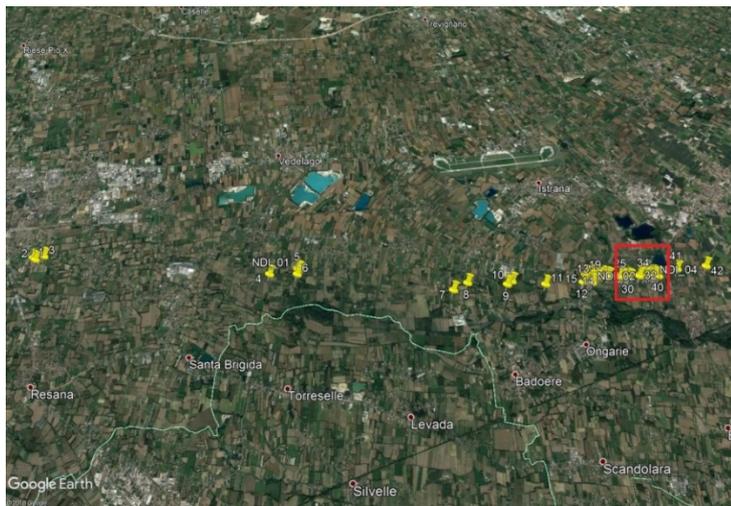
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 40

LATITUDINE: 45.652759 N

LONGITUDINE: 12.128378 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

TIPOLOGIA D.I.

GRADO DI DANNO

(V_{media} , V_{min} , V_{max})

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento “in andamento” su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) **Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)**
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta “in andamento” (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta “in andamento” (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un’ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA’ DANNO

Null’altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

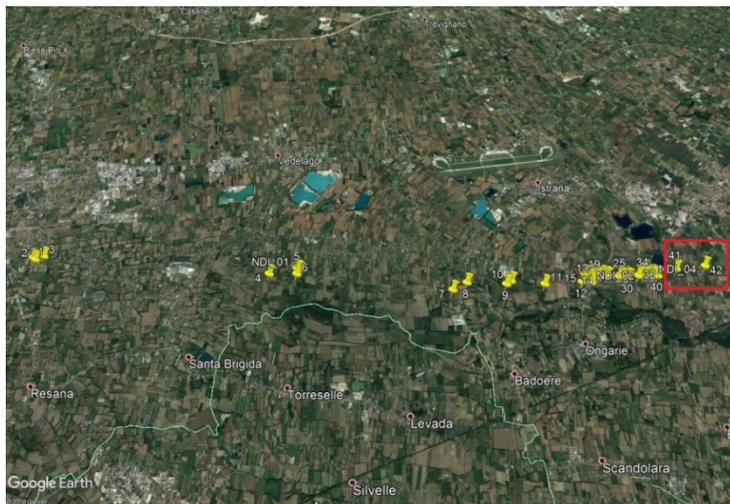
CLASSIFICAZIONE D.I.

EFO

CODICE D.I.: 41

LATITUDINE: 45.654419 N

LONGITUDINE: 12.134342 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO



POSIZIONE D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO



IMMAGINE 2: D.I. DANNEGGIATO O PRIMA DEL DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)**
- 4) Forte lesione o parziale asportazione della soletta "in andamento" (133 103 153)
- 5) Asportazione totale della soletta "in andamento" (163 143 173)
- 6) Sollevamento o collasso del solaio sotto tetto lasciando maggior parte delle pareti del piano più alto in piedi (186 168 203)
- 7) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani o distruzione totale di un'ampia parte di edificio con difetti costruttivi (205 187 222)_(se condominio)

TIPOLOGIA D.I.

Villetta Mono-Bi Familiare (o condominio) in muratura con copertura a soletta in laterocemento "in andamento" su setti murari perimetrali e centrale (o su trave di colmo), con o senza solaio sotto tetto (VMB-CA)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Null'altro da segnalare oltre a ciò che è già stato scritto.

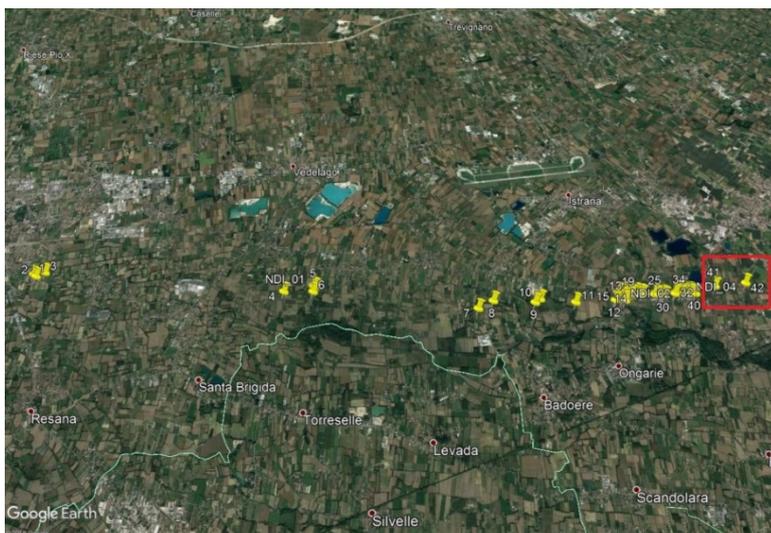
CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

CODICE D.I.: 42

LATITUDINE: 45.655138 N

LONGITUDINE: 12.143110 E



POSIZIONE D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE D.I. NEL
PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: D.I. DANNEGGIATO

TIPOLOGIA D.I.

Annesso rustico in muratura con lamiera di copertura poggiate su struttura in legno a capriate o singoli travetti o travetti su trave di colmo (VMB-CL)

DESCRIZIONE D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Appurati l'esiguo spessore e la scarsa consistenza delle murature laterali portanti, si deduce una velocità delle raffiche posizionata tra V_{media} e V_{min} quindi al limite superiore della fascia EF1 (trattasi di EF1 strong).

IMMAGINE 2: D.I.
DANNEGGIATO O PRIMA DEL
DANNO

GRADO DI DANNO
(V_{media} , V_{min} , V_{max})

- 1) Soglia di danno visibile (66 54 83)
- 2) Perdita limitata dei coppi di copertura del tetto (<20-40%) (80 67 99)
- 3) Sollevamento del ponte del tetto; significativa perdita dei coppi di copertura del tetto (>20-40%) (95 80 116)
- 4) Sollevamento o collasso della struttura del tetto lasciando maggior parte delle pareti in piedi (123 103 143)
- 5) Crollo delle pareti del piano più alto (133 115 150)
- 6) Crollo dei due piani più alti di edifici a 3 o più piani (156 132 180)_(se condominio)
- 7) Distruzione totale di un'ampia parte di edificio (180 160 205)

CLASSIFICAZIONE D.I.

EF1

SCHEDE NON-INDICATORI DI DANNO

Si riportano di seguito le schede riassuntive inerenti a ogni singolo non-indicatore di danno (NDI) analizzato.

CODICE N.D.I.: 01

LATITUDINE: 45.654615 N

LONGITUDINE: 12.023391 E



POSIZIONE N.D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE N.D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: N.D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: N.D.I. DANNEGGIATO

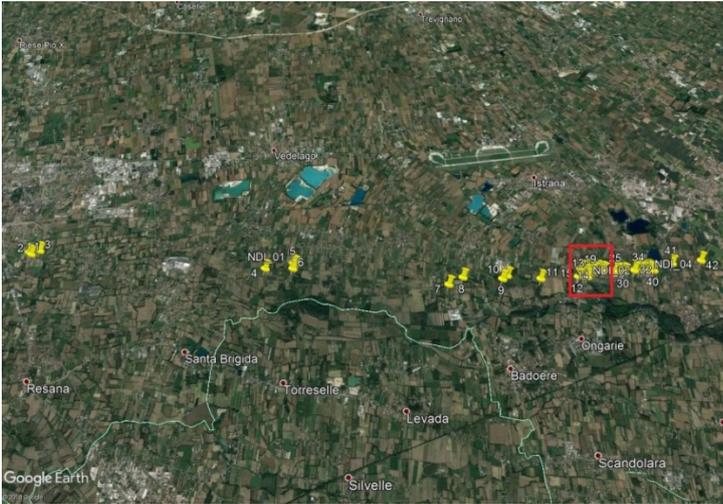
DESCRIZIONE N.D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Serre fortemente danneggiate dal passaggio del vortice.

CODICE N.D.I.: 02

LATITUDINE: 45.651257 N

LONGITUDINE: 12.108685 E



POSIZIONE N.D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE N.D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: N.D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: N.D.I. DANNEGGIATO

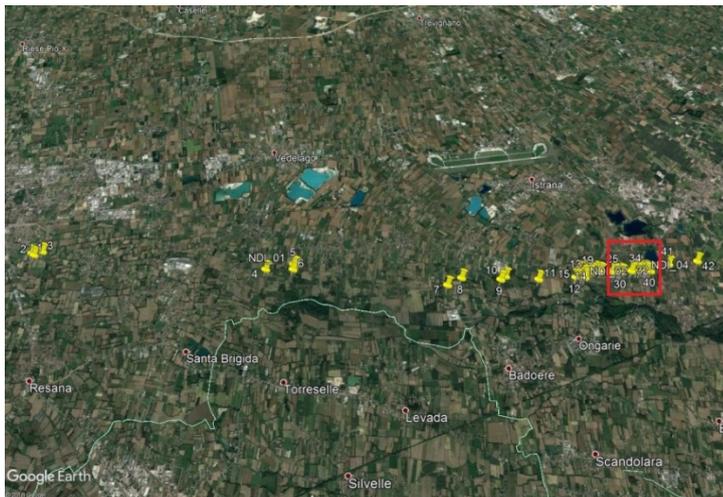
DESCRIZIONE N.D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Copertura di annesso rustico lievemente danneggiato dal vortice.

CODICE N.D.I.: 03

LATITUDINE: 45.652860 N

LONGITUDINE: 12.126764 E



POSIZIONE N.D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE N.D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: N.D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: N.D.I. DANNEGGIATO

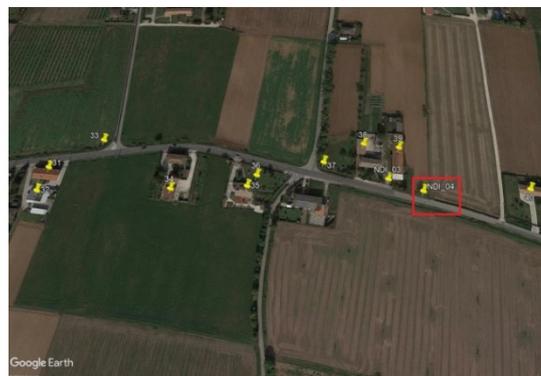
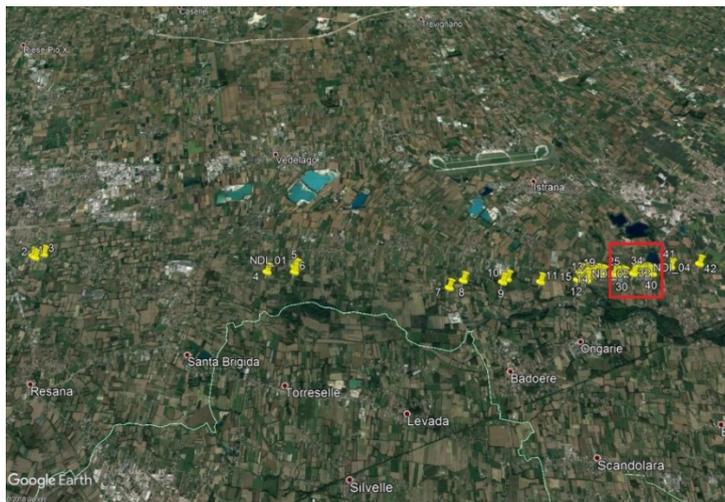
DESCRIZIONE N.D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Cancello divelto dalla circolazione tornadica.

CODICE N.D.I.: 04

LATITUDINE: 45.652749 N

LONGITUDINE: 12.127150 E



POSIZIONE N.D.I. NEL PATH COMPLESSIVO

POSIZIONE N.D.I. NEL PATH_ZOOM



IMMAGINE 1: N.D.I. DANNEGGIATO

IMMAGINE 2: N.D.I. DANNEGGIATO

DESCRIZIONE N.D.I./PARTICOLARITA' DANNO

Cartello stradale divelto dalla circolazione tornadica.

Sitografia

Associazione Serenissima Meteo

<http://www.serenissimameteo.eu>

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Modelli meteorologici

<http://www.meteonetwork.it/models>

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Rete stazioni meteorologiche

<http://www.meteonetwork.it/rete/mappe.php>

Sito di Alberto Gobbi dedicato all'analisi dei fenomeni temporaleschi italiani

<http://www.fenomenitemporaleschi.it>

CIMSS - Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies

<http://cimss.ssec.wisc.edu>

Meteologix

<https://meteologix.com/it>

ARPAV - Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto

<http://www.arpa.veneto.it>

Ringraziamenti

Per il contributo alla realizzazione di questo lavoro gli Autori desiderano ringraziare:

Roberto Gaianigo per la foto di copertina

Gianluca Ferrari (Radarmeteo Srl) per la reanalisi della situazione meteorologica del 14/9/2015 mediante il modello WRF MeteoNetwork e per l'elaborazione delle mappe al suolo dalla rete delle stazioni MeteoNetwork/MeteoTriveneto

Luciano Lago (ARPAV) per le immagini satellitari ad alta risoluzione e per le mappe di riflettività e velocità radiale del radar meteorologico di Teolo

Gli utenti della pagina Facebook di Serenissima Meteo per le foto dei chicchi di grandine

I cittadini del comune di Morgano che con le loro testimonianze hanno contribuito a ricostruire il percorso seguito dal tornado e a classificarlo secondo il protocollo della EF scale

Il Comune di Morgano per la concessione del materiale fotografico dei danni relativi agli edifici

Il Centro per la Cartografia della Regione Veneto e Aerodata Italia Srl per l'ortofoto relativa al percorso del tornado sul veneziano dell'8/7/2015