

Il tornado di Pianiga, Dolo e Mira dell'8 luglio 2015



**Analisi meteorologica, tecniche di monitoraggio, studio
fotogrammetrico, analisi dei danni e percorso del vortice,
testimonianze degli storm chasers e della popolazione, aspetti emotivi
e cognitivi del trauma psicologico, climatologia dei tornado in Veneto,
limiti alla predicibilità del tornado, consigli di autoprotezione**

*Valentina Abinanti, Daniele Bianchino, Alberto Gobbi,
Zuara Mistrorigo, Marta Valeria Perini, Marco Rabito,
Pierluigi Randi, Davide Rosa, Tobia Scortegagna, Diego Valeri*

Indice

Prefazione	3
Introduzione	7
1. ANALISI SINOTTICA E A MESOSCALA.....	8
1.1 Situazione in alta troposfera.....	8
1.2 Situazione in media troposfera.....	13
1.3 Situazione in bassa troposfera.....	17
1.4 Situazione al suolo	23
1.5 Analogie con l'evento tornadico dell'11 settembre 1970	38
2. ANALISI TERMODINAMICA E DI STABILITÀ ATMOSFERICA.....	47
2.1 Analisi degli indici termodinamici.....	47
2.2 Analisi dei radiosondaggi reali	56
2.3 Analisi del radiosondaggio simulato.....	59
2.4 Analisi dell'odografo simulato.....	64
3. ANALISI SATELLITARE E RADARMETEOROLOGICA	69
3.1 Dry line e fronte della brezza al satellite visibile.....	69
3.2 Posizione della supercella rispetto al boundary	73
3.3 Inclinazione della corrente ascendente nella supercella	77
3.4 Fase I e II: multicella e transizione a supercella	80
3.5 Fase III: temporale a supercella e tornadogenesi	84
4. ANALISI NEFOLOGICA E TESTIMONIANZE DI CACCIA	98
4.1 Analisi nefologica della supercella da varie prospettive.....	98
4.2 Testimonianza di caccia di Alberto Gobbi.....	123
4.3 Testimonianza di caccia di Valentina Abinanti e del suo team	126
5. ANALISI FOTOGRAMMETRICA DEL TORNADO	129
5.1 Introduzione	129
5.2 Applicazione delle tecniche fotogrammetriche ai tornado italiani	129
5.3 Rapporti cinematici tra mesociclone e tornado.....	131
5.4 Tipologia ed analisi dei tornado.....	133
5.5 Analisi fotogrammetrica del tornado: risultati provvisori.....	135

6. ANALISI DEI DANNI CON APPLICAZIONE DELLA SCALA EF E RICOSTRUZIONE DEL PERCORSO DEL TORNADO	137
6.1 Introduzione	137
6.2 La scala EF e correlazione con la scala F	137
6.3 Fasi operative raccomandate per la valutazione di un evento tornadico.....	140
6.4 Ulteriori osservazioni relative alle fasi operative	143
6.5 Applicazione della scala EF in Italia: proposta di classificazione del tornado di Pianiga-Dolo-Mira.....	143
6.6 Stima dei danni nei comuni di Pianiga, Dolo e Mira.....	150
6.7 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo lasciata dal tornado.....	151
6.8 I percorsi del tornado dell'11 settembre 1970 e dell'8 luglio 2015	161
7. PRECAUZIONI DA ADOTTARE IN CASO DI TORNADO	162
7.1 Riconoscere i segnali premonitori di un tornado	162
7.2 Precauzioni da adottare durante il tornado.....	163
7.3 Precauzioni da adottare dopo il tornado.....	164
7.4 Altre situazioni di pericolo.....	164
7.5 Il caso	165
7.6 Come funziona negli Stati Uniti.....	167
8. ASPETTI EMOTIVI E COGNITIVI DEL TRAUMA CAUSATO DA UN EVENTO NATURALE	170
8.1 I racconti delle persone colpite dal tornado	170
8.2 Il punto di vista del Gruppo Comunale Volontari Protezione Civile di Dolo	178
8.3 Che cos'è il trauma	180
8.4 Il trauma espresso attraverso le interviste della popolazione colpita.....	180
8.5 Come aiutare le persone colpite	182
9. CLIMATOLOGIA DEI TORNADO IN VENETO.....	184
9.1 Supercelle e tornado: il Veneto una delle regioni a maggior rischio	184
9.2 I fattori meteorologici responsabili del tornado dell'8 luglio 2015	189
9.3 Analisi dei tornado storici e recenti in Veneto.....	189
10. SI POTEVA PREVEDERE IL TORNADO?	193
Bibliografia	204
Sitografia.....	206
Note sugli Autori	207
Ringraziamenti	209

Prefazione

“We are moving into uncharted territory at a frightening speed”

Michel Jarraud (WMO Secretary General), November 2015

Quando, a cavallo fra la fine degli anni ottanta ed i successivi dieci anni, una storica sequenza di appuntamenti ed attività in seno alle Nazioni Unite (dall'inizio del percorso del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico alla stipula del protocollo di Kyoto, passando per il Summit della Terra di Rio de Janeiro) portarono alla ribalta dell'opinione pubblica mondiale la problematica del Global Warming, per molti anni a seguire abbiamo pensato ai cambiamenti climatici come ad una questione da affrontare nell'oggi pensando all'indomani, per senso di responsabilità nei confronti delle future generazioni: un problema di portata planetaria a cui porre seriamente un freno - se non una inversione di tendenza - nella nostra epoca, ci si diceva, pensando agli effetti che altrimenti avrebbero riguardato i nostri nipoti e pronipoti nelle epoche a venire.

Non ci passava per la mente, all'epoca, che lo sperimentare le conseguenze di quel surplus di effetto serra, di provata origine antropica, sarebbe capitato già alla nostra generazione. Non che ciò ci esimesse dal raccogliere le preoccupazioni espresse dagli scienziati, che avevano iniziato da tempo a studiare approfonditamente la questione, ed erano ormai arrivati a conclusioni tali da farla entrare, con il massimo grado di rilevanza, nell'agenda delle scelte da compiere ai massimi livelli nella dimensione globale, ma il tutto sembrava demandato alla nostra coscienza di custodi presenti del pianeta, da consegnare integro ai figli dei nostri figli che lo avrebbero abitato dopo di noi, più che a salvaguardare l'esperienza terrena della generazione attuale.

Le simulazioni del clima globale a venire, contenute nei primi rapporti dell'IPCC, delineavano scenari effettivamente molto preoccupanti, proiettati su date che - nella loro lontananza dal presente - evocavano titoli un po' da film di fantascienza, tant'è uno degli sforzi più difficili che la comunità scientifica si adoperò a compiere, nei confronti dell'opinione pubblica mondiale e dei leader del pianeta, fu quello di spiegare l'importanza di agire fin dall'oggi e dal domani, nel dare avvio alla trasformazione del modello di sviluppo - a partire dalle scelte nel campo delle politiche energetiche - se non si voleva rischiare di valicare il punto di non ritorno rispetto all'irreversibilità degli scenari di mutamento sul clima del dopodomani.

Questione affatto banale da capire, giacché chiamava in causa la complessità di un sistema altamente non lineare, capace quindi di rispondere in modo totalmente diverso (nei nessi di causa-effetto, nella non proporzionalità fra le forzanti e le loro conseguenze, nella non gradualità dei mutamenti) rispetto a come la limitatezza dell'intuizione umana - tipicamente ancorata alla semplicità delle correlazioni lineari - sarebbe portata a pensare.

Verrebbe spontaneo pensare, ad esempio, che una causa importante ma graduale (quale la continua e costante crescita delle concentrazioni di gas serra in atmosfera) abbia conseguenze altrettanto graduali, e a cui si possa quindi porre riparo con provvedimenti in qualche modo progressivi e sequenziali, sia come entità che come tempistica degli stessi. Nulla di più errato, ma spiegare che non c'è tempo da perdere, per evitare un disastro tanto epocale quanto lontano del futuro, non è argomento semplice da far passare, in un tessuto socio-politico che, tanto a livello globale quanto a maggior ragione nelle scelte delle singole nazioni, è tipicamente ancorato alla concretezza dei risultati tangibili.

Quel che ne è seguito è storia nota, e vede nella più recente delle ventuno Conferenze delle Parti della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, quella parigina del novembre-dicembre 2015, il primo reale momento di svolta dopo due decenni di sostanziale stallo, evento politico la cui tardività rende ormai cruciale l'adozione di un calendario a dir poco serrato, rispetto all'abbandono dei combustibili fossili nei decenni immediatamente a venire. E questa è storia del presente.

Nel frattempo, però, è accaduto qualcosa che non ci aspettavamo. Ci siamo ritrovati, come se uno di quei film di fantascienza ambientati in un remoto futuro ci avesse improvvisamente assoldato come protagonisti senza preavviso, a scontare gli effetti dei cambiamenti climatici nella nostra epoca, in prima persona, in casa nostra. Sono ormai numerosi i lavori scientifici che, alla luce degli eventi registrati negli anni più recenti, autorizzano ad ipotizzare che gli scenari del Global Warming stiano prendendo forma in modo assai più rapido e precoce rispetto a quanto si potesse prevedere, ennesima conferma della complessità e della non-linearità del sistema.

E se questo è quanto sta emergendo a livello globale, quanto avvenuto nel Mediterraneo (del quale sono note le caratteristiche di bacino chiuso, che lo rendono una zona del pianeta particolarmente sensibile agli effetti dei cambiamenti climatici, e del surplus che ne deriva sia in termini di carburante che di energia disponibile per l'innesco dei fenomeni estremi) ne è una testimonianza locale (si fa per dire) di assoluta rilevanza. E nell'ambito dei Paesi che si affacciano sul Mare Nostrum, un ruolo particolare da questo punto di vista è giocato da quell'immenso catino circondato da contrafforti orografici, capace pertanto di far ristagnare ed accumulare imponenti masse di aria calda ed umida, che è la Pianura Padana, il cui settore di nord-est presenta a sua volta caratteristiche peculiari non indifferenti, nel mettere a disposizione della colonna atmosferica il cocktail di ingredienti, necessari all'innesco di forte instabilità, che le deriva dalla vicinanza sia all'Adriatico che alla barriera alpina.

Da un punto di vista pratico, nel nostro Paese come in altri, questo vuol dire trovarci a fare i conti non solo con un regime di temperature e deficit pluviometrici diversi dal clima che conoscevamo, ma anche con una aumentata frequenza di eventi estremi: fenomeni che storicamente conoscevamo verificarsi, sul nostro territorio, con una ricorrenza statisticamente rara, iniziano a presentarsi più volte nel volgere di pochi anni, rendendo clamorosamente ed improvvisamente obsoleto il concetto di "tempo di ritorno" calcolato sulla base delle serie storiche relative ai decenni passati, estese per interpolazione ai secoli precedenti ma incapaci di rendere conto del mutamento in atto.

Quando un evento (per esempio precipitazioni capaci di innescare uno scenario alluvionale a larga scala) viene classificato per una certa zona con un tempo di ritorno di alcuni secoli, e si verifica per due o tre volte nell'arco di un decennio se non meno, e questo non avviene in maniera episodica su un singolo caso, ma è un fenomeno che si manifesta - più e più volte - a macchia di leopardo su aree del Paese anche distanti fra di loro, è difficile pensare che non ci si trovi di fronte ad un mutamento in atto. Non è certamente il singolo evento perturbato, per quanto violento o persistente, o la singola stagione più calda o siccitosa del normale, a costituire il segnale della tangibilità dei cambiamenti climatici, trattandosi di fenomeni che presi singolarmente hanno sempre fatto parte del nostro clima, bensì la frequenza anomala di eventi di questo tipo, unitamente alla prevalenza a dir poco a senso unico delle anomalie positive di temperatura rispetto agli sporadici scostamenti negativi, ad autorizzare a parlare di scenari di clima mutato.

Pensando, ad esempio, ai grandi eventi alluvionali, siamo cresciuti avendo nella memoria storica del nostro Paese una serie di date difficili da non tenere a mente, alcune delle quali (si pensi al Polesine o a Firenze) entrate di diritto nell'immaginario collettivo, complessivamente enumerabili (se partiamo dal secondo dopoguerra fino all'inizio di questo secolo) sulle dita non dico di due sole mani, ma di tre o massimo quattro sì.

Poi improvvisamente, a cavallo della metà del primo decennio del nuovo millennio, abbiamo iniziato a fare i conti con una tale sequenza di eventi di devastante portata, da rischiare di perderne il conto, finendo per collezionare in una dozzina di anni un numero di eventi estremi pari a quelli verificatisi nel precedente mezzo secolo, alcuni dei quali (Genova e Sardegna i più eclatanti) ripetutisi a distanza di meno di cinque anni sulla stessa identica zona.

E questo, si badi, anche considerando solo eventi di gravità riconducibile a termini esclusivamente meteorologici (in soldoni, dei millimetri di pioggia caduti nell'arco di un certo numero di ore), scremando cioè dall'elenco tutti quei casi in cui la gravità dei bilanci è derivata, più che dall'entità delle precipitazioni, dal vertiginoso aumento sia della vulnerabilità del territorio (in conseguenza della malagestione dello stesso) che del valore esposto in termini soprattutto di vite umane (a causa della galoppante urbanizzazione che finisce per concentrare milioni di persone in contesti altamente cementificati e quindi fortemente a rischio).

In termini pratici, fare i conti con questa aumentata frequenza di eventi meteorologicamente molto intensi, ha effetti devastanti. Innanzitutto, banalmente, da un punto di vista delle conseguenze: per una comunità, se già il subire una catastrofe di origine meteorologica ogni cinquanta o cento anni scava ferite profonde, ritrovarsi a fare i conti con un evento analogo ogni dieci o venti anni, se non più volte durante lo stesso decennio, diventa qualcosa di difficilmente sostenibile; anche riferendoci ad eventi meno estremi (e quindi meno rari) ma comunque molto intensi e quindi fonte di danni e potenziali perdite di vite umane, un conto è affrontarli una volta ogni cinque o dieci anni, un altro paio di maniche è ritrovarseli in casa tutti gli anni o addirittura più volte durante la stessa stagione.

Ma anche da un punto di vista delle attività di prevenzione non strutturale, volte a minimizzare i rischi per la popolazione, un conto è dover mettere in campo, in una determinata città, le ingenti misure necessarie (fonte di inevitabili disagi, sacrifici, perdite economiche, ecc.) - che si tratti di chiusure di ponti e strade, di evacuazione di edifici o quartieri, di chiusura preventiva di scuole, uffici o attività produttive, ecc. - una volta l'anno, un conto doverle replicare più volte nell'arco di pochi mesi. Il nostro tessuto socio-economico non è fisiologicamente preparato ad affrontare l'adattamento ai cambiamenti climatici, specie con una insorgenza così brusca e prematura di questi ultimi, e questo espone a rischi, problematiche e danni enormi, a trecentosessanta gradi.

E se la mutata frequenza di questo tipo di eventi non fosse già abbastanza deflagrante, un effetto non secondario del cambiamento climatico in corso è il ritrovarci, talvolta, a dover utilizzare, nel descrivere gli eventi su una determinata zona, una nomenclatura meteorologica che tipicamente si riferisce a fenomeni riguardanti latitudini o longitudini ben distanti, con effetti a dir poco fuori scala rispetto a quelli anche lontanamente ipotizzabili dalla comunità che ne viene interessata.

Da meteorologo, non avrei voluto trovarmi nei panni dei colleghi del Servizio Meteorologico dello Yemen, quando – nel novembre scorso – hanno dovuto spiegare ai propri referenti istituzionali, ed alla stessa cittadinanza, che il loro Paese – la cui piovosità media annua è pari a un decimo di quella del Salento – stava per essere interessato da un ciclone tropicale, sviluppatosi sull'Oceano Indiano (com'è ancora tipico che accada) ma in procinto di approcciare eccezionalmente la terraferma della penisola arabica, col risultato di scaricare nell'arco di 24 o 48 ore la pioggia che normalmente cade da quelle parti nell'arco di quattro o cinque anni (!). E quando avviene qualcosa che, nella casistica meteorologica del proprio territorio, sfugge anche alle code probabilistiche, figurarsi se ci si può trovare preparati, da tutti i punti di vista.

“Stiamo entrando nell'ignoto a una velocità spaventosa”, ha spiegato recentemente Michel Jarraud, segretario generale dal 2004 al 2015 dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale, che in una occasione precedente aveva efficacemente sintetizzato il contenuto dei rapporti sui cambiamenti climatici con l'affermazione – tanto scientificamente ovvia quanto in clamoroso contrasto con le perenni trattative politiche, a partire da quelle sulle quote di emissioni dei gas serra – secondo cui “le leggi della Fisica non sono negoziabili”.

L'evento tornadico di Pianiga-Dolo-Mira, descritto in questo lavoro con un livello di approfondimento e competenza semplicemente mirabile, si inserisce a pieno titolo sia nel quadro dell'aumentata frequenza degli eventi estremi, sia nella comparsa a latitudini o longitudini inconsuete di fenomeni che possono essere considerati facenti parte del clima di altre zone del pianeta, ma decisamente lontani dal ventaglio di fenomenologia tipico delle nostre parti.

L'averlo affrontato con grande dettaglio non solo (sforzo già notevolissimo) dal punto di vista dell'analisi meteorologica e dei danni, ma anche da quello degli aspetti cognitivi ed emotivi della popolazione, degli strumenti utilizzabili per monitorare in tempo reale analoghi eventi futuri, dei segnali da cogliere nel cielo per ipotizzarne l'imminenza, dei comportamenti da tenere per minimizzare i rischi, conferisce a questo imponente documento, oltre alla qualifica di lavoro scientifico di alto livello, anche quello di contributo con una fortissima valenza di utilità sociale e di servizio alla collettività, in termini di crescita di una cultura di adattamento ai cambiamenti climatici (e di prevenzione dei fenomeni avversi in generale), sperando che chi di dovere, nei prossimi anni, pensi davvero – senza più possibilità di indugio o di ritardo alcuno – ad attuare le politiche volte alla mitigazione, a partire dal traghettare il pianeta in un'epoca in cui l'utilizzo dei combustibili fossili rappresenti finalmente il passato.

Filippo Thiery, laureato in Fisica, si occupa dal 2002 di previsioni meteorologiche a supporto di attività operative in ambito istituzionale. In precedenza ha svolto attività di ricerca in climatologia ed insegnato matematica e fisica nelle scuole superiori. Dal 2012 è il volto della rubrica meteorologica di Geo, il programma di divulgazione scientifica e ambientale di Rai3, nell'ambito del quale cura una quotidiana rubrica dedicata alle previsioni meteorologiche sull'Italia ed alle ricadute degli eventi atmosferici sul territorio, l'ambiente e le attività umane. Si è inoltre specializzato nel campo della meteorologia d'alta quota sugli ottomila del globo, fornendo il supporto delle previsioni meteo alle spedizioni invernali dell'alpinista Daniele Nardi sul Nanga Parbat.

Introduzione

La solitudine dello studioso: si imbatte in qualcosa di strano, di inconsueto, di “impossibile” a verificarsi che invece si è verificato...e deve capire perché. Le macro-cause non aiutano molto, la “storia” (leggi climatologia) nemmeno...c’è qualche piccola causa, qualche piccolo particolare, anzi molti di questi...tante piccole formiche che non solo governano un elefante, ma che lo hanno creato.

E vanno scoperte, identificate, ad una ad una...e lo studioso è solo. Ma sono soli anche se sono molti, soltanto nei film si trova un’unica causa, un unico motivo che ha creato, fuor di metafora, un evento meteorologico estremo fra gli estremi. La realtà è più complessa, le piccole formiche appunto, sono tante...

Per questo è importante capire: certe cose, molte, sfuggono alla nostra capacità di controllo, non possiamo far nulla per cambiarle. Per evitare che si formino trombe d’aria di quella intensità bisognerebbe intervenire a livello globale, sull’intera atmosfera...ma capire come e perché si sia formata in quella zona precisa aiuta almeno a prevedere entro certi limiti eventi simili in futuro, e ad adottare tutte le misure precauzionali, almeno passive, del caso.

Il lavoro di indagine, direi quasi di investigazione, di analisi fatto su questo evento di Pianiga-Dolo-Mira per quel che ho potuto vedere è esemplare per accuratezza, meticolosità e profondità, potrebbe stabilire quasi un protocollo da seguire in occasione di eventi futuri che, ahimè, ci saranno, e saranno sempre più numerosi. Ma questa, come si dice nelle favole, è un’altra storia...

Paolo Sottocorona nel 1972 entra come ufficiale nel Servizio Meteorologico dell’Aeronautica. Fino al 1986 svolge attività presso l’Aeroporto di Guidonia, rivestendo anche l’incarico di Capo dell’Ufficio Meteorologico; dal 1986 fino al 1993, anno in cui lascia l’Aeronautica, è in forza presso il Centro Nazionale di Meteorologia come Capo Turno responsabile della Sala Previsioni. Autore e presentatore di varie rubriche di previsioni e divulgazione meteorologica per “UNO MATTINA”, TeleMonteCarlo, “Geo & Geo” di RAI3, Radio Capital, La7.

1. ANALISI SINOTTICA E A MESOSCALA

di Pierluigi Randi e Alberto Gobbi

Durante il pomeriggio dell'8 luglio 2015, indicativamente tra le ore 17 e 18 locali, un evento di "severe weather" di primissimo livello ha interessato il veneziano con particolare riferimento alla Riviera del Brenta, laddove si è manifestato il transito di un violento temporale a supercella associato ad uno dei tornado più intensi mai osservati, non solo nella zona, ma sull'intera penisola. Di seguito sono sommariamente analizzati alcuni fattori che possono aver rivestito un ruolo di primaria importanza nella genesi di tanta violenza atmosferica. Per la comprensione dei vari concetti esposti in questo lavoro si consiglia il libro "Temporali e Tornado" ed. Alpha Test (2009) e la lettura di specifici articoli scientifici (in inglese) citati nel testo e in bibliografia.

Nel presente lavoro sono stati utilizzati sia i dati relativi alle reti osservative disponibili, sia quelli inerenti i modelli numerici, in forecast e reforecast, considerandoli in funzione dei modelli concettuali (da letteratura) allo scopo di descrivere ed analizzare le cause che possono avere contribuito all'innesco dei violenti fenomeni. L'analisi delle condizioni termodinamiche in medio-alta troposfera è stata condotta principalmente sulla base degli output del modello WRF-ARW 5 km (WRF MeteoNetwork) con dati al contorno GFS 0.5° e inizializzazione 12Z dell'8/7/2015 (reforecast per le mappe delle ore 15Z), mentre il modello WRF-ARW 3 km (WRF Consorzio LaMMA Toscana) con dati al contorno ECMWF 0.25° e inizializzazione 12Z dell'8/7/2015 (previsione di archivio per le mappe delle ore 15Z) ha meglio individuato le dinamiche negli strati prossimi al suolo e le relative aree di convergenza dei venti.

Con particolare riferimento al modello WRF MeteoNetwork, i dati di inizializzazione e al contorno, oltre che da GFS 0.5°, provengono anche dalla SST 0.083° (temperatura superficiale del mare), dai dati di radianza da satellite e dai valori di temperatura, pressione e umidità registrati dalla rete delle stazioni meteorologiche MeteoNetwork. Il modello WRF MeteoNetwork lavora su 38 livelli verticali in assenza di parametrizzazione convettiva in quanto si basa sulla trattazione esplicita dei processi convettivi. Poiché le varie immagini riportate in questo lavoro possono riferirsi a tre tipi di orario (locale, solare, UTC), queste per ovvie esigenze di uniformità saranno tutte corredate con l'ora italiana nella relativa didascalia, salvo diversamente specificato. Anche nel testo si farà riferimento al solo orario italiano (ora locale).

1.1 Situazione in alta troposfera

Nella giornata in esame si assiste, alle quote troposferiche superiori, all'approssimarsi da ovest di una saccatura atlantica nel campo del geopotenziale compreso tra i piani isobarici di 300 e 250 hPa (circa 10 km di quota). Nonostante il settore più attivo della suddetta saccatura si sia mantenuto a nord dell'arco alpino ove si sono manifestati i massimi di intensità del vento, sul Veneto centro-settentrionale si è ugualmente manifestata, nel primo pomeriggio, una moderata accelerazione di un flusso orientato da WSW indotta dal passaggio della corrente a getto (Fig. 1.1), con valori di velocità del vento intorno ai 25 m/s (circa 50 nodi o 90 km/h). Di per sé non si tratta di valori estremamente elevati in rapporto alla superficie isobarica considerata, tuttavia l'accelerazione dei venti risulta alquanto repentina grazie al rapido movimento verso levante dell'asse di saccatura, inoltre la medesima corrente a getto ha determinato anche il transito sulla verticale di una moderata area di divergenza in quota, la quale ha contribuito all'instaurarsi di forti moti verticali in grado di sostenere convezione profonda (Fig. 1.2).

La medesima dinamica comporta effetti sui valori di PV (Potential Vorticity), espressi come altezza in hPa, ove la vorticità potenziale è pari a 1.5 PVU (PV Units), come da analisi delle ore 14 e delle ore 20 locali riportata in Fig. 1.3. La vorticità potenziale (PV) rappresenta la circolazione di una particella teorica racchiusa tra due superfici a temperatura potenziale equivalente costante (isoentropiche) ed è il prodotto tra la vorticità assoluta su una superficie isoentropica e la stabilità statica.

La vorticità potenziale, assumendosi costante, comporta, nel caso in cui si abbia una crescente estensione verticale della colonna d'aria, quindi con un distanziamento delle due superfici isoentropiche, un aumento della vorticità relativa con contemporaneo calo della stabilità statica e il conseguente innesco di vorticità ciclonica. Nel caso in cui la colonna si comprima, o comunque diminuisca di estensione verticale, accade il contrario, ovvero si innesca vorticità anticiclonica.

L'abbassamento della tropopausa, tipico di avvezioni di aria fredda e secca, è detta "upper level PV-anomaly." Se PV è positivo, le linee isoentropiche sono caratterizzate da valori più elevati rispetto alle zone circostanti e indicano l'arrivo di aria più fredda e l'altezza della tropopausa mostra un minimo locale. Nel caso di PV negativo, le linee isoentropiche sono contraddistinte da valori più bassi rispetto alle aree circostanti e indicano avvezione di aria calda.

Nella troposfera, valori di PV da 0.5 a 1 sono piuttosto comuni, mentre nella stratosfera PV supera generalmente il valore di 3 PVU. Il valore PV 1.5 PVU è stato scelto empiricamente per separare la stratosfera, più stabile ($PVU > 1.5$), dalla troposfera, meno stabile ($PVU < 1.5$). Ciò rappresenta la cosiddetta "tropopausa dinamica", da non confondere con la definizione termodinamica della tropopausa, che si basa sul suo gradiente verticale di temperatura.

Nel caso in esame, si notano altezze in hPa di PV 1.5 PVU inferiori a nord delle Alpi, che corrispondono ad una tropopausa più bassa e ad un'avvezione di aria fredda e secca alle quote superiori; tuttavia, nel volgere di 6 ore, la linea dei 300 hPa si estende verso sud abbordando il Triveneto attraverso le Alpi (mappa a destra in Fig. 1.3).

Generalmente, in concomitanza ad avvezione di vorticità, si associa un'intrusione di aria stratosferica più secca: ciò accade perché, all'approssimarsi della saccatura in quota, si verifica un raffreddamento, quindi l'aria tende ad aumentare la sua densità e ad occupare uno spessore inferiore generando così un abbassamento della tropopausa. Tale abbassamento favorisce infiltrazioni dall'alto di aria stratosferica molto più secca e dotata di maggior vorticità che si propaga verso il basso innescando così temporali molto violenti (Fig. 1.4).

Venti 300hPa (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 12:00z Wed 08 Jul 2015

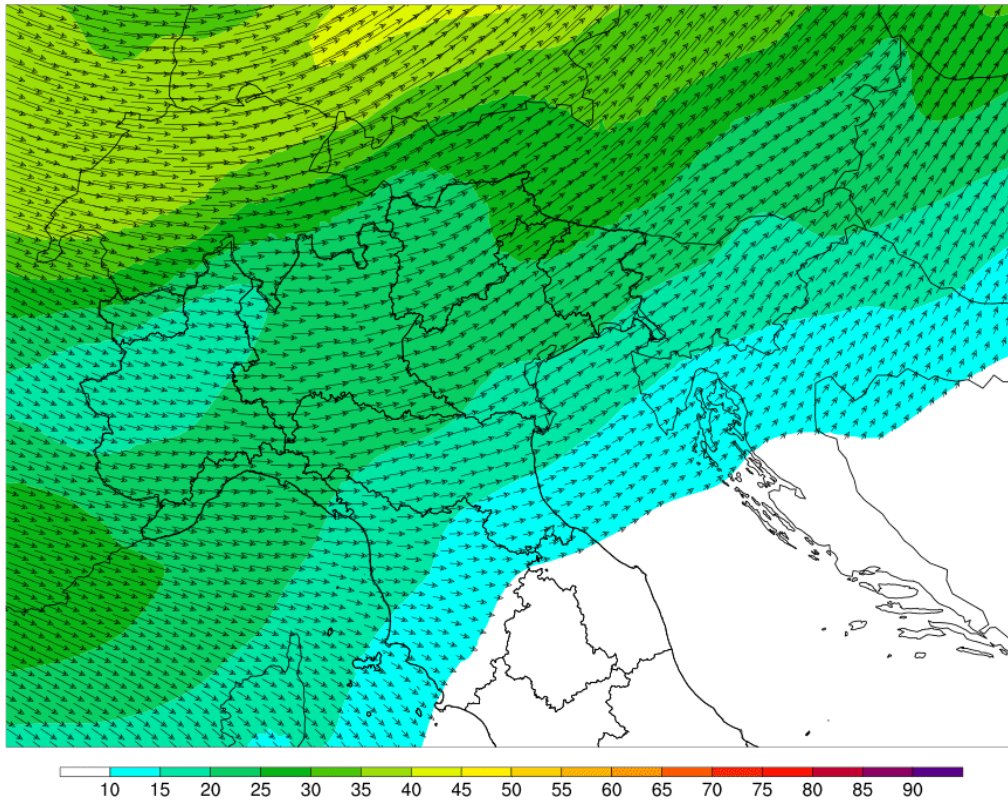


Fig. 1.1 - Vento in m/s e direzione sul piano isobarico di 300 hPa ore 14 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

Horizontal Divergence ($s^{-1}10^{-5}$) Winds (kts) at 300hPa

init: 12z 08 Jul 2015
valid: 12z 08 Jul 2015

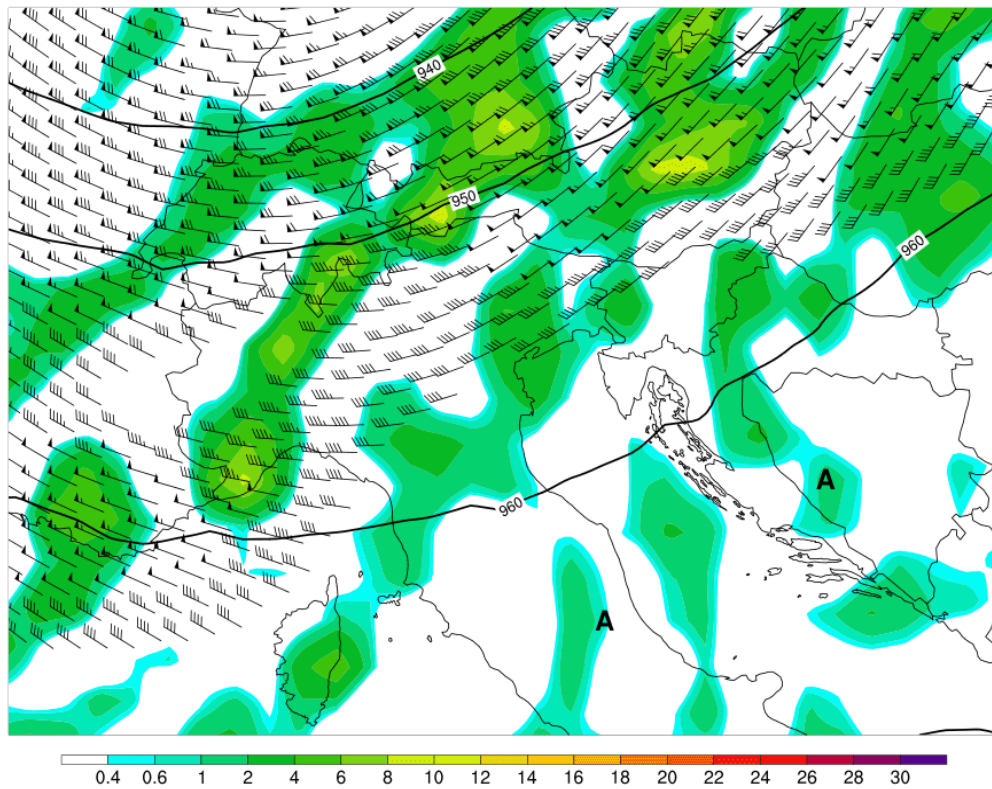


Fig. 1.2 - Divergenza orizzontale sul piano isobarico di 300 hPa ore 14 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

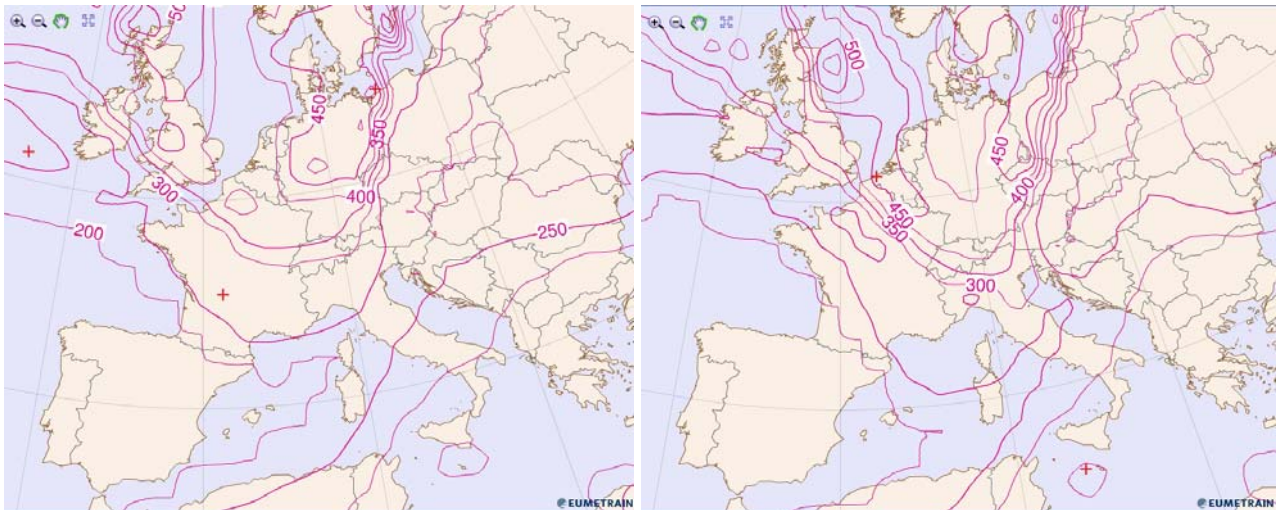


Fig. 1.3 - Analisi dell'altezza, in hPa, di PV 1.5 PVU ore 14 locali (sinistra) e ore 20 locali (destra). Fonte: Eumetrain e-Port su analisi ECMWF.

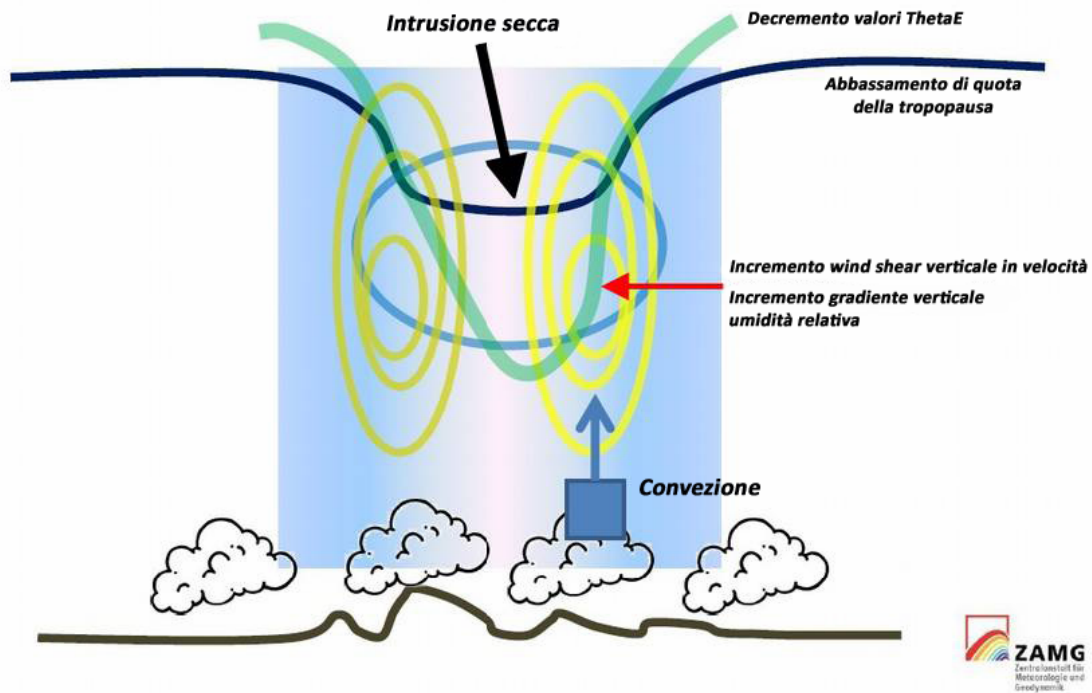


Fig. 1.4 - Schema semplificato degli effetti dell'intrusione secca. Fonte: Thomas Krennert ZAMG ECSS 2013 Finland (modificato)

Nello schema di Fig. 1.4 i punti principali riguardano l'abbassamento della tropopausa (linea nera) ed un ancora più significativo decremento dei valori di temperatura ThetaE (linea verde) che in pratica identificano l'intrusione secca stratosferica (freccia nera). Il massimo incremento dei valori di wind shear verticale positivo in velocità e del gradiente verticale di umidità relativa si manifesta sul settore destro (o davanti) dell'intrusione secca stratosferica, area in cui sono quindi incentivati i moti verticali verso l'alto (convezione). Tuttavia, come si vedrà in seguito, le dinamiche primarie che hanno favorito l'innescò del severo sistema convettivo si sono manifestate ai livelli isobarici inferiori, ma quanto finora esposto evidenzia come l'intera colonna troposferica fosse incline a sostenere convezione profonda già a partire dai livelli superiori.

L'arrivo alle quote superiori di aria più secca si nota anche dalle immagini satellitari nel canale del vapor acqueo riportate in Fig. 1.5 e Fig. 1.6.

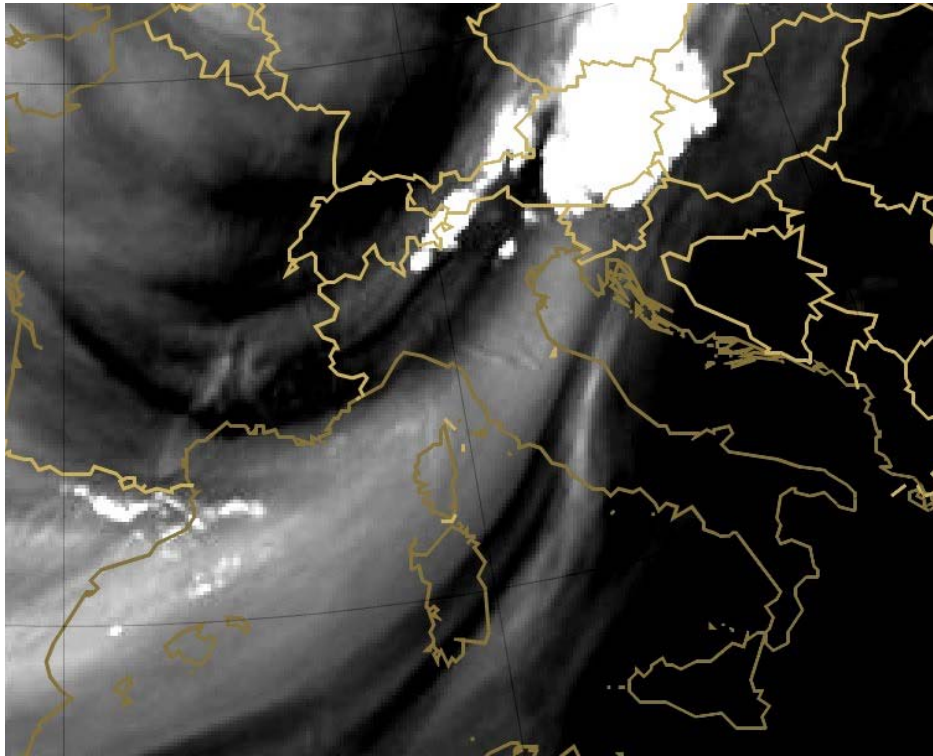


Fig. 1.5 - Immagine satellitare delle ore 14 locali nel campo del vapore acqueo. Fonte: Eumetsat

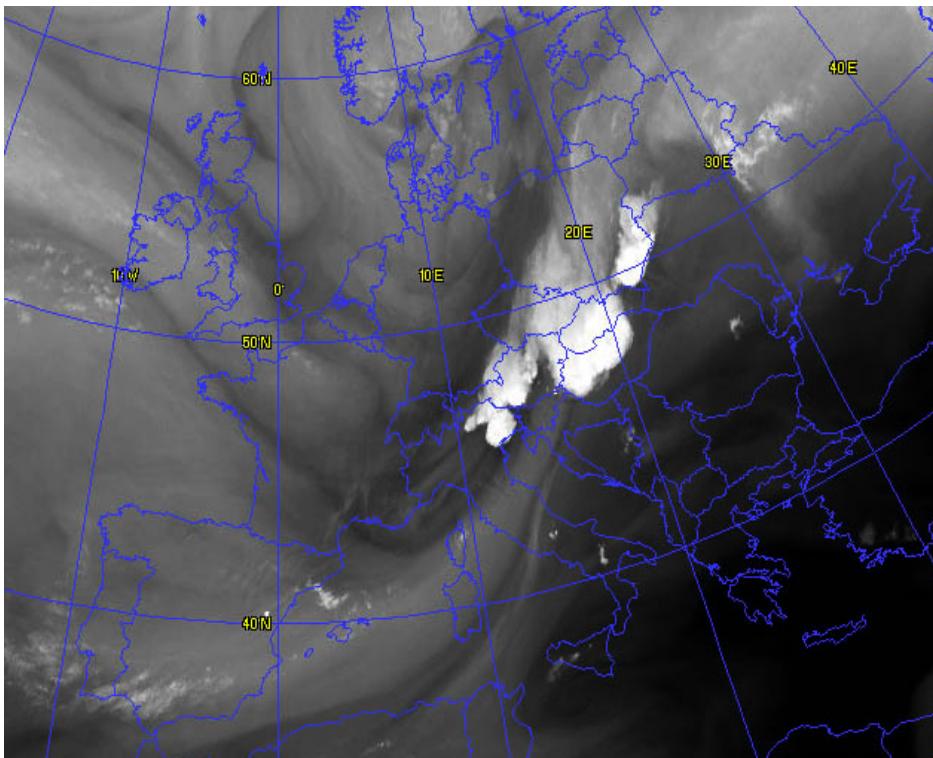


Fig. 1.6 - Immagine satellitare delle ore 17 locali nel campo del vapore acqueo. Fonte: Eumetsat

La Fig. 1.5, relativa al campo del vapore acqueo delle ore 14 locali, mostra una fascia caratterizzata da aria umida (colore grigio chiaro) che dalla Spagna ed isole Baleari si porta fino sull'alto Adriatico, ed essa identifica un afflusso di aria particolarmente calda di origine subtropicale con limite della tropopausa assai elevato. Più ad ovest (aree più scure) si può notare l'avanzata di aria più secca, con limite della tropopausa più basso, proveniente dalla Francia e che nel volgere di qualche ora andrà ad interessare l'intero nord Italia. Nella zona di transizione tra i due tipi di massa d'aria, corrispondente al rapido abbassamento del limite della tropopausa, si nota l'innescio di sistemi temporaleschi, ovviamente con un ulteriore contributo dovuto alle dinamiche presenti nei bassi strati. In particolare, in Fig. 1.5 compare già una piccola macchia bianco brillante sul vicentino la quale rappresenta l'embrione del temporale che poi evolverà in supercella, mentre la Fig. 1.6 mostra la supercella ormai matura sulla pianura veneta circa 15 minuti prima della tornadogenesi.

1.2 Situazione in media troposfera

La situazione relativa al piano isobarico di 500 hPa (circa 5 km di quota), sempre nelle prime ore del pomeriggio, mostra il transito di una veloce saccatura nel campo del geopotenziale (Fig. 1.7), essa non è particolarmente profonda, tuttavia porta il proprio asse in corrispondenza del nord Italia inducendo un calo del geopotenziale, unitamente al disporsi da WSW di flussi a curvatura ciclonica (Fig. 1.8) e con avvezione da ovest di un nucleo di vorticità positiva che si porta rapidamente sul Triveneto (Fig. 1.9). Il campo termico non subisce particolari variazioni eccetto una modesta flessione coincidente col transito dell'asse, tuttavia l'aspetto più caratterizzante è legato, anche nel suddetto piano isobarico, all'arrivo di aria più secca (Fig. 1.10) che contribuisce a rendere particolarmente instabile il profilo verticale, stante la presenza di aria molto calda ed umida nei bassi strati come si vedrà in seguito.

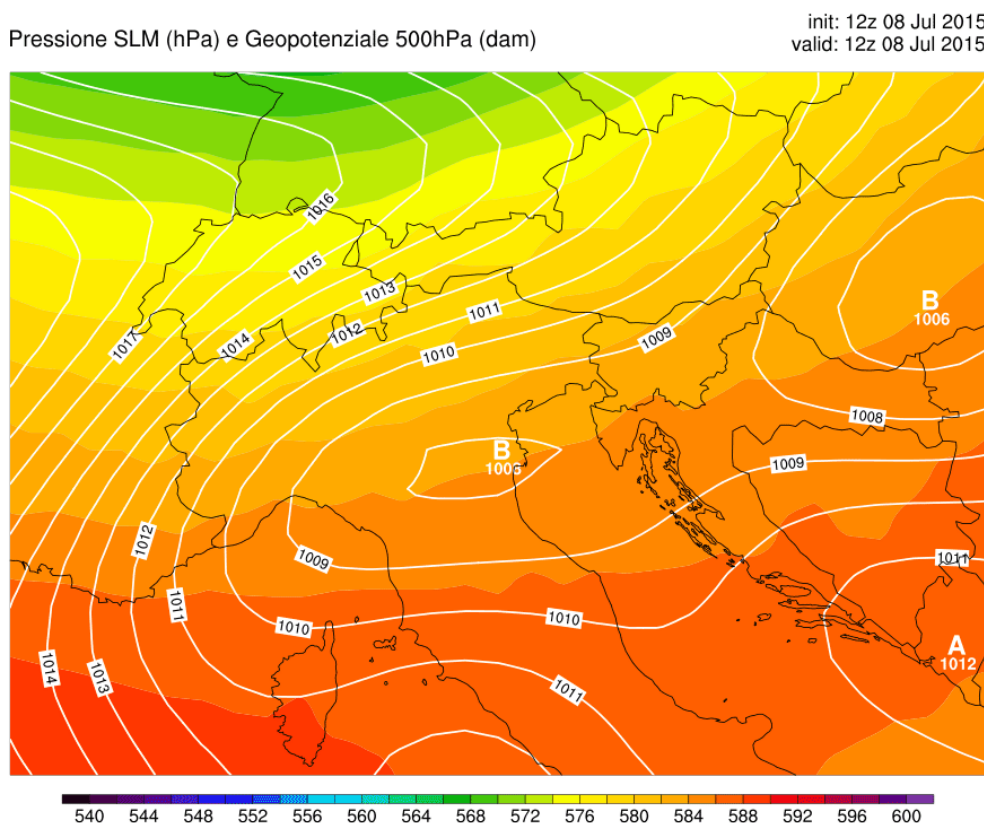


Fig. 1.7 - Topografia di geopotenziale a 500 hPa e pressione al suolo ore 14 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

Venti 500hPa (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

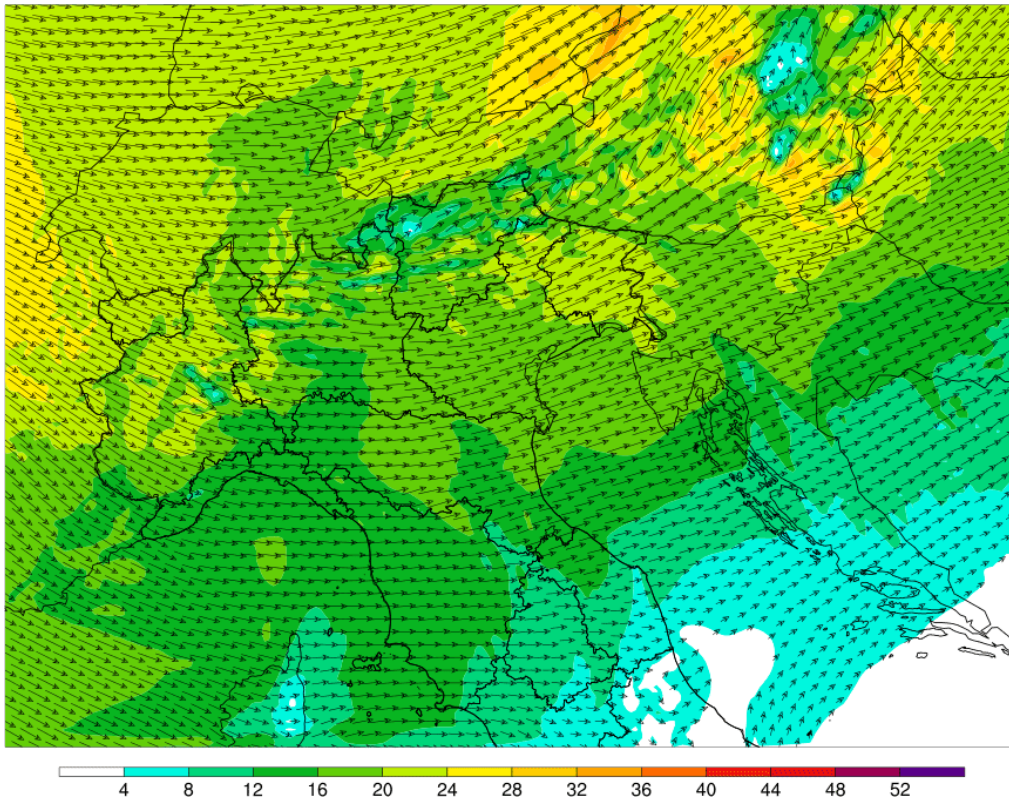


Fig. 1.8 - Vento in m/s e direzione sul piano isobarico di 500 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

Relative Vorticity ($s^{-1}10^{-5}$) Wind (kts) 500hPa

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

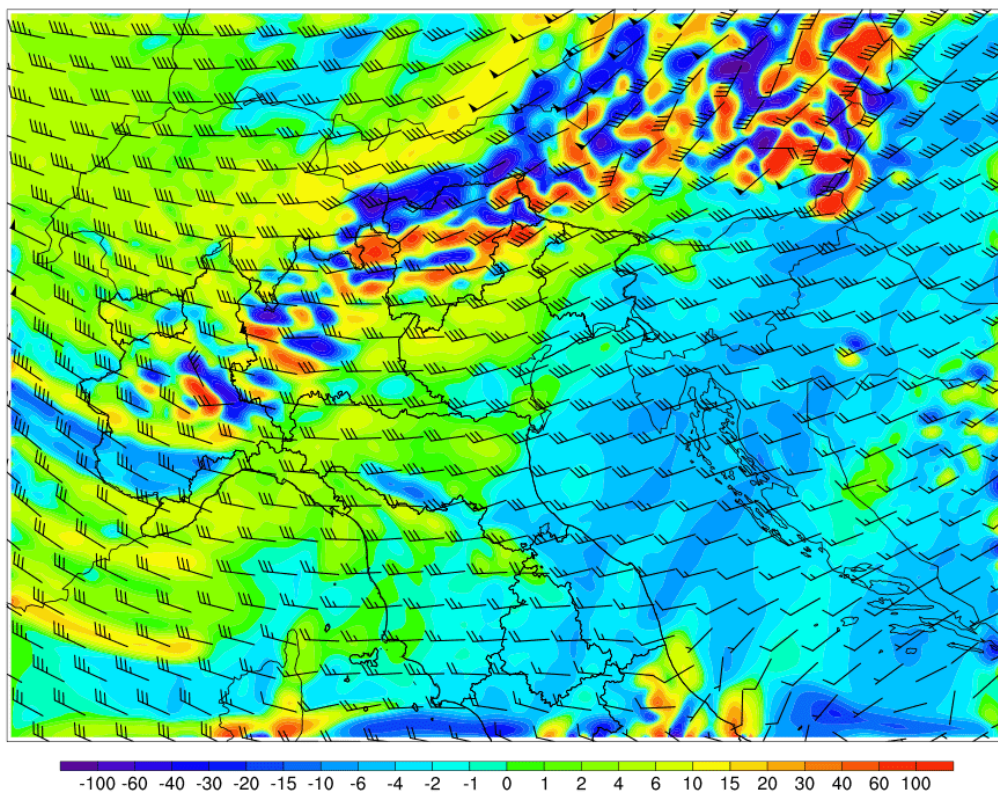


Fig. 1.9 - Campi di vorticità relativa a 500 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

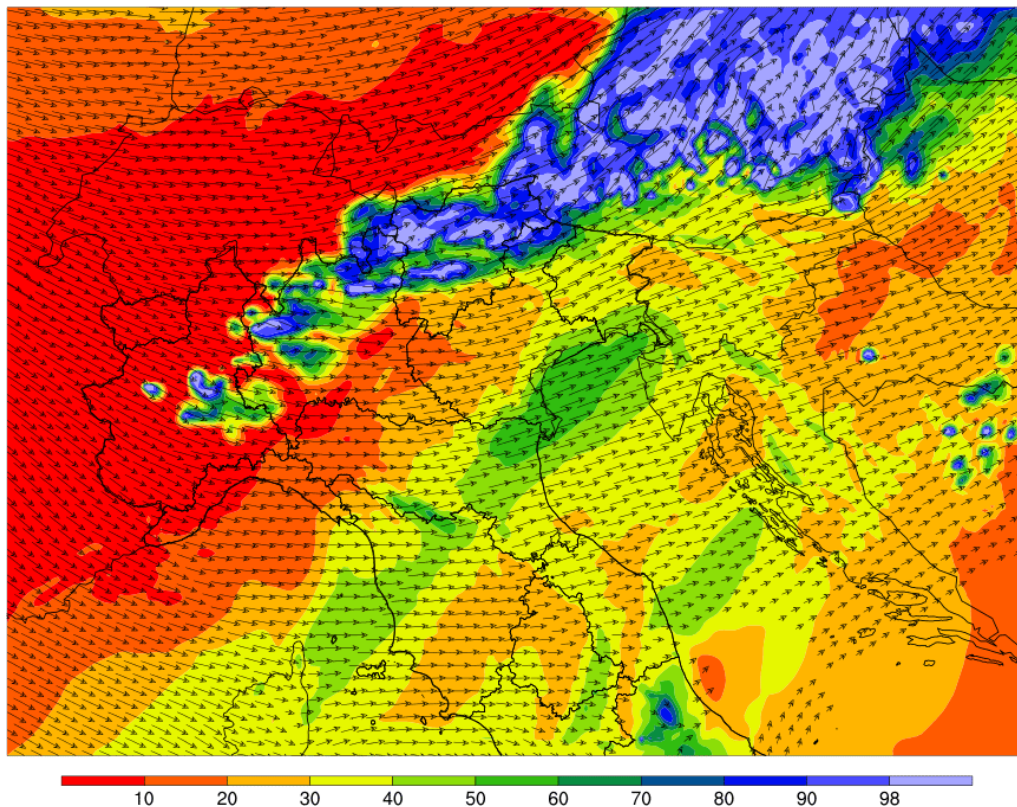


Fig. 1.10 - Umidità relativa a 500 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

La mappa di Fig. 1.11 rappresenta l'avvezione orizzontale di aria più fredda o più calda in regioni prima interessate da masse d'aria a temperatura più elevata (nel caso di avvezione fredda) o più bassa (nel caso di avvezione calda). Le isoterme blu denotano una moderata avvezione di aria fresca nel campo del geopotenziale a 700 hPa (circa 3000 m di quota) in atto alle ore 14 locali sull'Europa centrale ed arco alpino centro-occidentale.

Tale avvezione conquisterà tutto l'arco alpino estendendosi nel contempo al Triveneto, simultaneamente all'evoluzione verso levante del fronte freddo legato alla saccatura atlantica. Le celle temporalesche più numerose si generano a costituire un sistema multicellulare lineare (QLCS, Quasi Linear Convective System) lungo il ramo frontale freddo. Tuttavia, la supercella responsabile del tornado sul veneziano andrà innescandosi davanti al fronte precedendo di qualche ora il suo passaggio, anche se la linea temporalesca frontale avrà una qualche influenza sulla sua genesi.

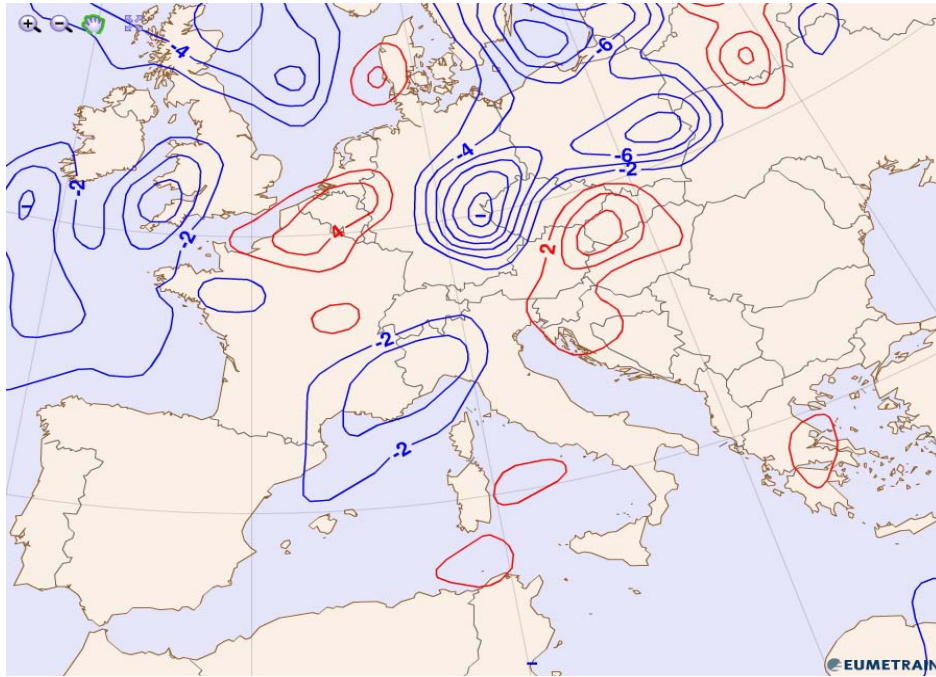


Fig. 1.11 - Avvezione di temperatura in °C sul piano isobarico di 700 hPa ore 14 locali. Fonte: ECMWF

In Fig. 1.12 è riportata la carta di previsione del differenziale di temperatura potenziale equivalente tra i piani isobarici di 500 hPa e 850 hPa. La temperatura potenziale equivalente (Theta-E) indica la temperatura che assumerebbe una particella d'aria se venisse portata da una determinata quota di riferimento al livello convenzionale dei 1000 hPa, adiabaticamente (cioè senza scambiare calore con l'ambiente) e supponendo di far condensare il vapore acqueo presente in essa e sfruttando il calore latente così ottenuto per scaldare la particella stessa. Infatti, quando una molecola d'acqua passa dallo stato gassoso a quello liquido libera calore che viene ceduto all'aria circostante (calore latente di condensazione).

La temperatura equivalente potenziale è indice della stabilità di una massa d'aria: in generale, a parità di temperatura, tanto più una massa d'aria possiede Theta-E elevata, tanto più il suo contenuto di umidità è elevato. Sebbene sia più utile nelle sezioni verticali per valutare la stabilità atmosferica, Theta-E risulta comunque di buon ausilio anche per individuare le aree favorevoli all'innescio di attività temporalesca più o meno severa. Zone con elevati valori di Theta-E ("Theta-E ridge") sono caratterizzate da aria calda ed umida, quindi leggera e potenzialmente instabile. E' un parametro che dipende direttamente dalla temperatura e dall'umidità dell'aria alla partenza. Pertanto il valore di Theta-E fornisce due informazioni per una determinata quota di riferimento.

La stima dei valori di Theta-E a due quote differenti sulla medesima colonna (nel caso specifico sui piani isobarici di 500 hPa e 850 hPa) consente di calcolare la differenza tra i due valori, il cosiddetto parametro "Delta Theta-E", che costituisce un valido indice per valutare l'instabilità locale dell'aria, con valori positivi per aria stabile, negativi per aria condizionatamente instabile o instabile. Nel caso in esame si notano, sia pure in termini di previsione, massimi areali tra Veneto e Friuli di oltre -20°K di Delta Theta-E con picchi locali di oltre -25°K , e quindi potenzialmente assai instabile.

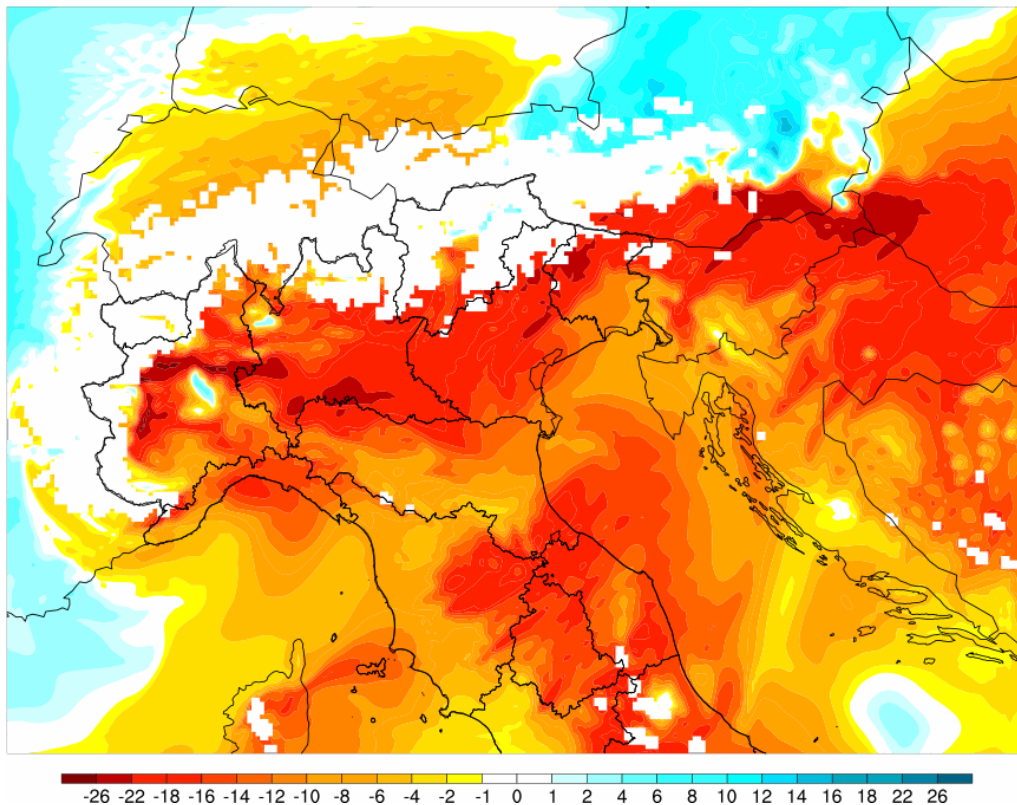


Fig. 1.12 – Delta ThetaE in °K tra 500 hPa e 850 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

1.3 Situazione in bassa troposfera

Nei bassi strati troposferici si va ad instaurare un profilo termo-igrometrico e del vento altamente favorevole all'incremento dei valori di elicità e del wind shear positivo. In primo luogo, sul Veneto è attivo un flusso di correnti assai calde da SW sul piano isobarico di 850 hPa (circa 1500 m di quota) con temperature sull'ordine dei 20°C (Fig. 1.13 e Fig. 1.14). In particolare, nella mappa di Fig. 1.13 si nota un'intensificazione del flusso da SW sul veneziano, anche se il jet stream di basso livello (LLJ) si colloca più a sud: tali flussi, specie se associati ad aria molto calda, sovente rivestono un importante ruolo nella genesi e nello sviluppo di sistemi temporaleschi severi. L'afflusso di aria calda di origine subtropicale proveniente dal nord Africa si mostra infatti ancora ben attivo su gran parte della penisola, mentre aria più fresca tende a premere contro l'arco alpino, cominciando a sfociare in gran parte attraverso la valle del Rodano (vettori che si orientano da NW in Fig. 1.13), tuttavia i primi avamposti del flusso più fresco tentano di aprirsi una via di sbocco anche sul comparto alpino orientale.

Scendendo al piano isobarico di 925 hPa (circa 750 m di quota, Fig 1.15), si può notare sulla pianura veneta un boundary (linea di demarcazione), orientato da NW a SE ed evidenziato dalla linea nera, che separa aria relativamente secca sul basso Veneto (colore verde) da aria più umida che interessa padovano e veneziano (colore celeste). Ciò significa che nella fascia di territorio interessata dal boundary in questione si ha un forte gradiente orizzontale di umidità, ovvero una marcata variazione dell'umidità su brevi distanze, verosimilmente associato ad un gradiente termico orizzontale (thermal boundary) considerati i campi termici a 850 hPa (Fig. 1.14) e al suolo (illustrati più avanti).

Venti 850hPa (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

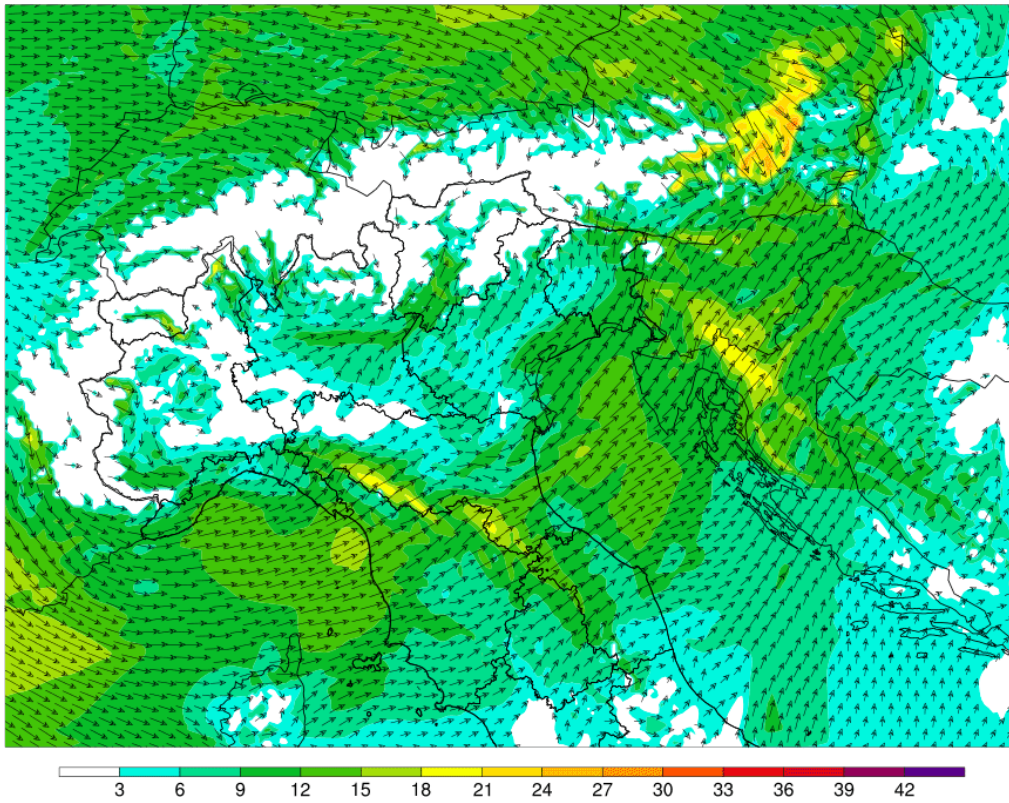


Fig. 1.13 - Vento in m/s e direzione sul piano isobarico di 850 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

Temperatura (C) e Geopotenziale (dam) 850hPa

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

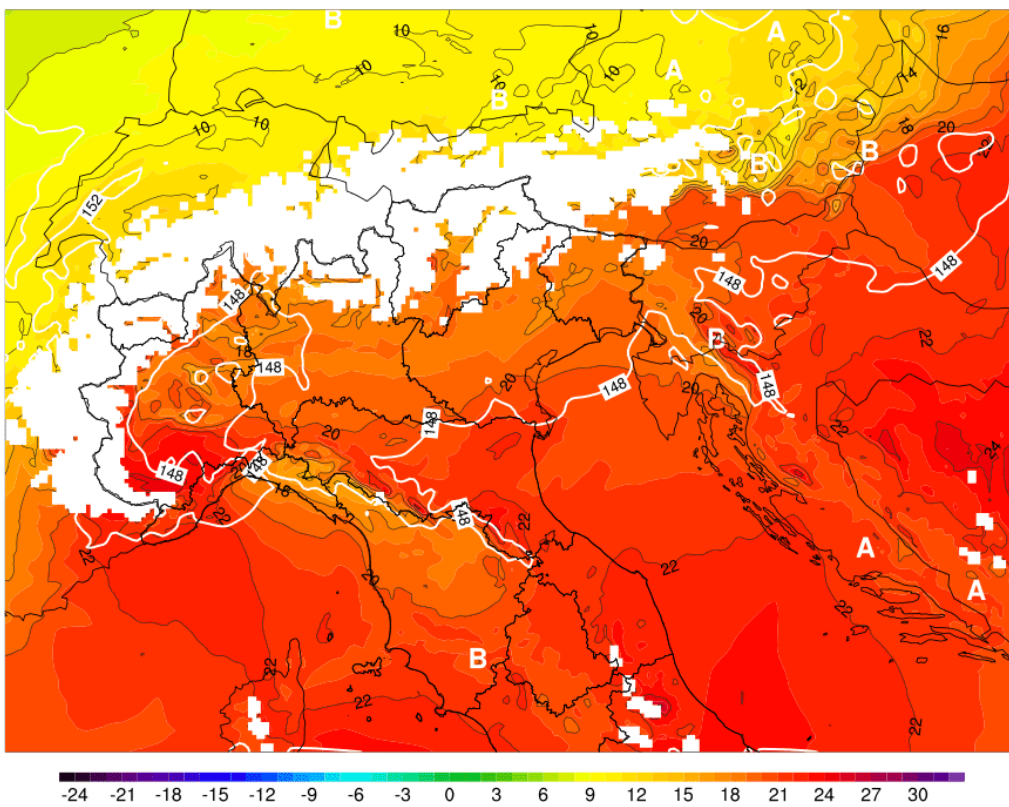


Fig. 1.14 - Temperatura in °C sul piano isobarico di 850 hPa ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

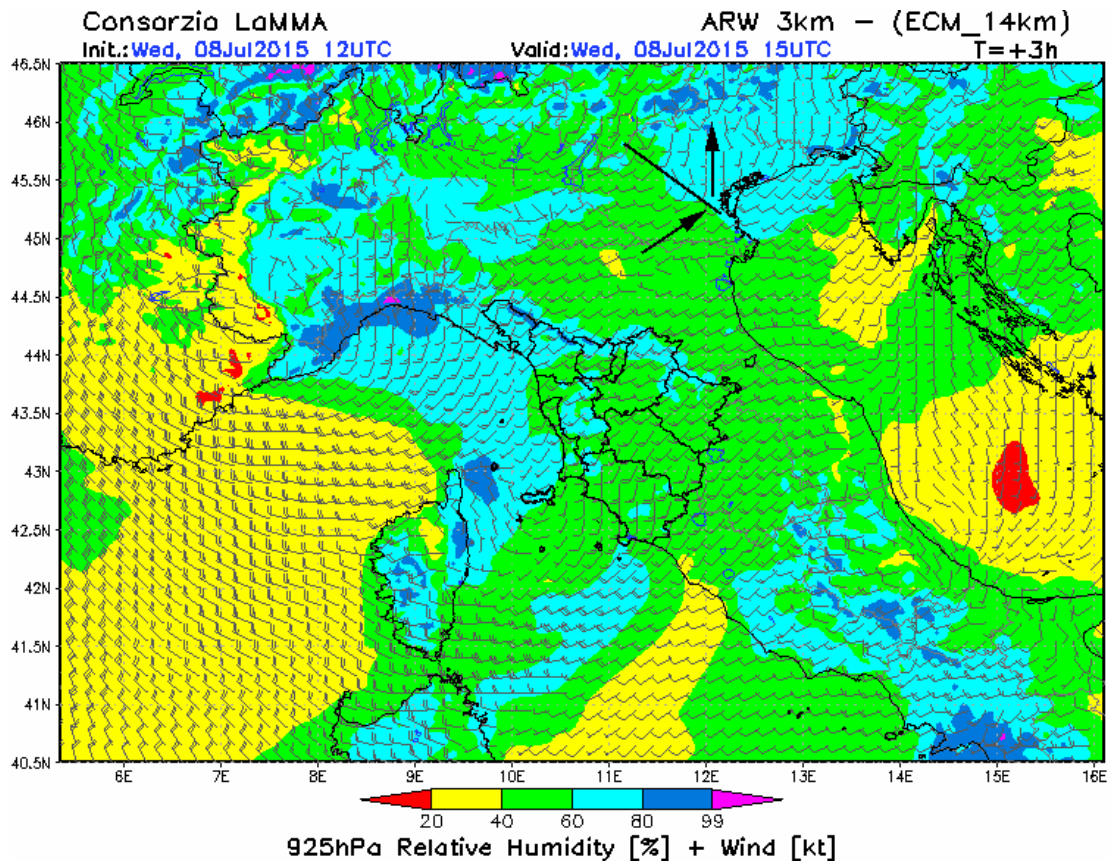


Fig. 1.15 - Vento e umidità relativa a circa 750 m di quota alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

A sud del boundary il modello ha simulato un vento proveniente da W-SW per poi virare da S una volta superato il boundary stesso (freccie nere in Fig. 1.15). Questo cambio di direzione del vento nello spazio orizzontale può essere interpretato attraverso un modello fisico elaborato da *Maddox et al.* (1980) relativo al PBL (Planetary Boundary Layer). Il PBL consiste nello strato limite planetario che è direttamente interessato dal riscaldamento diurno del suolo e la cui altezza nei pomeriggi estivi può variare tra i 1500 m e i 2000 m.

Il modello in Fig. 1.16 è relativo ai primi 1000 metri di troposfera a partire dal suolo, all'interno del PBL e in corrispondenza di un thermal boundary. L'ipotesi alla base del modello è che i forti gradienti termici orizzontali nei bassi strati, causati da un'avvezione di aria calda, sono in grado di generare una variazione orizzontale del profilo verticale del vento mediante modifiche dei gradienti di pressione alle varie quote.

Questa serie di eventi implica un cambio nel wind shear verticale che si traduce in una rotazione del vento in senso orario (veering) e in un aumento della velocità salendo di quota che porta ad un incremento della convergenza di masse d'aria e della vorticità verticale ciclonica in una fascia relativamente ristretta tra i punti B e C. Tale dinamica giustifica l'intensificazione dei temporali quando questi attraversano o avanzano lungo un boundary.

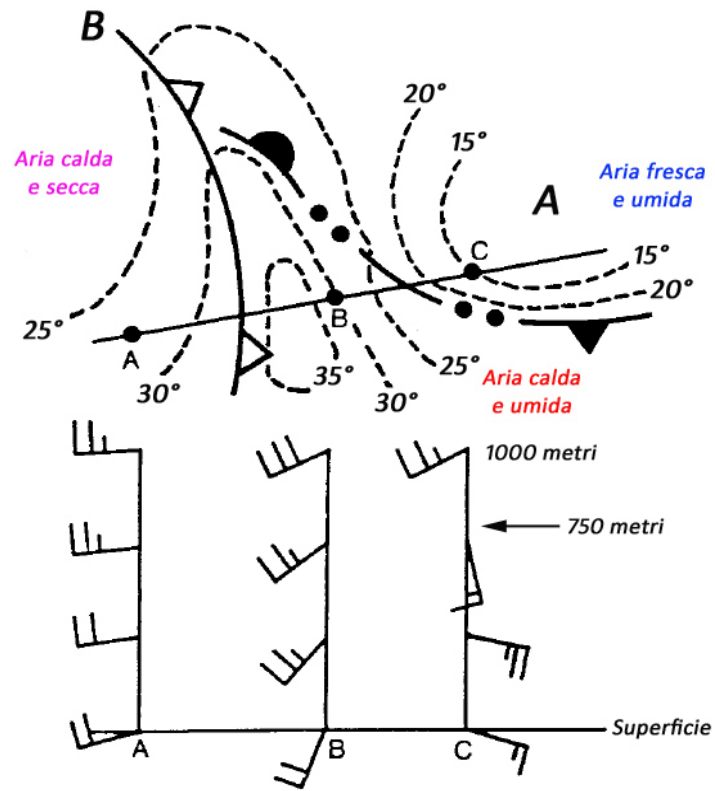


Fig. 1.16 - Modello del profilo dei venti nei primi 1000 metri di spessore del PBL con rappresentazione della temperatura al suolo in °C (Maddox et al., 1980, modificato)

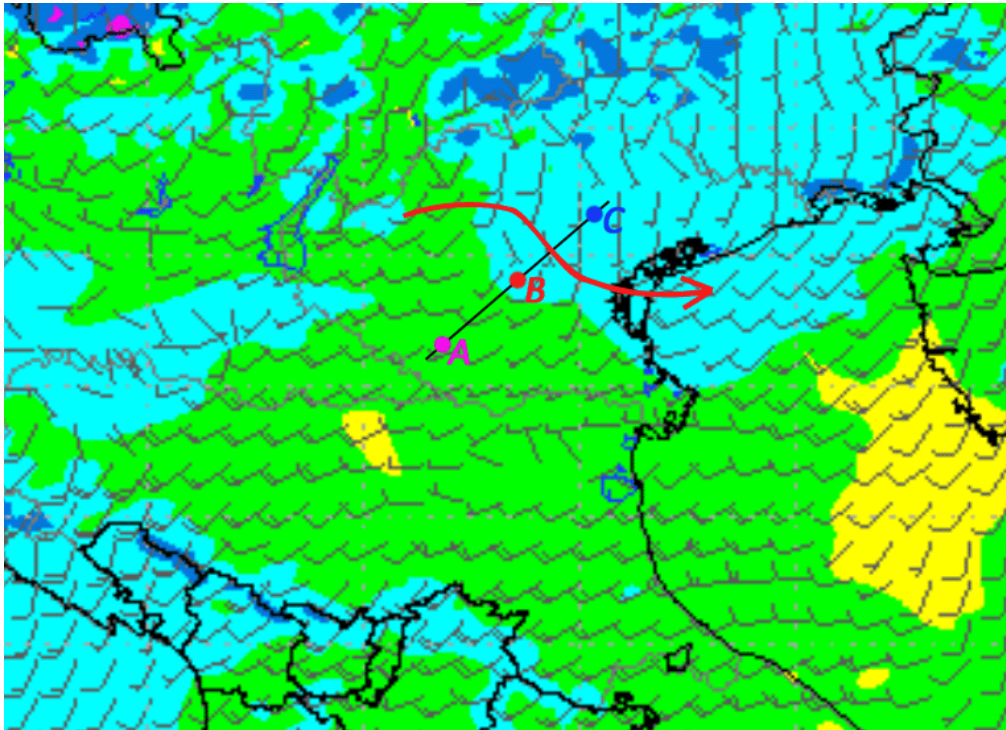


Fig. 1.17 - Zoom sulla mappa di Fig. 1.15 a circa 750 m di quota con i tre punti descritti nel modello di Fig. 1.16; la freccia curva rossa individua il percorso della supercella dal vicentino al veneziano passando per il padovano.

Scendendo nel dettaglio del modello rappresentato in Fig. 1.16, nel punto A staziona aria calda e secca, il vento vira leggermente e aumenta gradualmente in velocità salendo di quota. Il punto B è interessato da un'avvezione di aria caldo-umida caratterizzata da instabilità condizionale (latente), l'attrito con la superficie induce un certo veering e un incremento della velocità con l'altezza. Nel punto C si ha l'ingresso di aria più fresca, umida e stabile (regione degli outflow anche di precedenti temporali), il vento vira lentamente fino alla quota oltre la quale è in corso l'avvezione di aria caldo-umida dove avviene un brusco veering: tale quota, nella mappa dei venti di Fig. 1.17, si attesta a circa 750 metri (livello isobarico di 925 hPa).

In Fig. 1.17 sono raffigurati i 3 punti (A, B, C) che compaiono nello schema di Fig. 1.16 e disposti lungo una linea nera perpendicolare al boundary stesso. Ogni lettera è colorata a rappresentare il tipo di massa d'aria descritto nel modello di *Maddox et al.* (1980), ovvero A aria caldo-secca (vento da W), B aria caldo-umida (vento da SW), C aria fresca e umida (vento da S), il tutto a 750 m di quota. Sempre da Fig. 1.17, si noti altresì che il cambio di direzione da SW a S non avviene sul mar Adriatico, dove verosimilmente non vi era boundary per cui il vento prosegue verso NE, ma esclusivamente sulla pianura veneta, in particolare tra padovano e veneziano. Si ritiene quindi che il modello WRF del Consorzio LaMMA Toscana abbia correttamente inquadrato un boundary sulla pianura veneta che con ogni probabilità ha avuto un ruolo determinante nell'evoluzione della violenta supercella tornadica.

Maddox et al. (1980) nel loro modello hanno considerato essenzialmente la vorticità verticale, tuttavia i successivi studi condotti nel progetto VORTEX suggeriscono che, oltre alla vorticità orizzontale "ambientale" e a quella generata dalle correnti discendenti del temporale, spesso la vorticità orizzontale legata ad un boundary è determinante nella tornadogenesi (Fig. 1.18). Questo è particolarmente vero se l'inflow del temporale proviene dal lato freddo del boundary dove si verifica l'aumento di vorticità orizzontale baroclina, poiché per definizione il boundary si colloca sul lato caldo del gradiente orizzontale di temperatura.

La supercella e l'eventuale tornado può svilupparsi ad una certa distanza dal boundary, la quale dipende dalla stabilità e dallo spessore dell'aria fredda, dal gradiente verticale di pressione generato dall'updraft nei bassi strati e, infine, dai gradienti orizzontali di galleggiamento della massa d'aria a loro volta correlati al gradiente termico orizzontale. Inoltre, l'updraft può essere rafforzato da convergenze locali di masse d'aria o da variazioni nello spessore dello strato umido legate alla dinamica del boundary. Sulla base dei risultati del progetto VORTEX, la massima probabilità di tornado ricade in una fascia larga circa 40 km rispetto alla posizione del boundary, da 10 km dal boundary sul lato caldo fino a circa 30 km dal boundary sul lato freddo (*Markowski et al.*, 1998a).

In accordo con i risultati di *Markowski et al.* (1998a), anche la supercella tornadica dell'8 luglio 2015 ha attraversato la pianura veneta transitando nel lato freddo del boundary (freccia curva rossa in Fig. 1.17) e parallelo ad esso assumendo così moto deviante verso destra in quanto il boundary stesso era orientato mediamente verso sud-est. Un tale cambiamento di direzione è stato riscontrato in situazioni analoghe, per es. nella supercella tornadica di Villalta di Fagagna in provincia di Udine (*Bertato et al.*, 2003). Infine, considerando la fascia al suolo nel basso padovano interessata dal massimo gradiente orizzontale di temperatura (Fig. 1.31), è possibile affermare che la supercella si è mantenuta ad una distanza tra i 20 e i 25 km a nord-est del boundary.

Nella Fig. 1.18-A è riportato lo schema ripreso da *Markowski et al.* (1998a) in cui le frecce colorate rappresentano le masse di aria calda (colore rosso) e fredda (colore blu) che si muovono in senso opposto in corrispondenza del thermal boundary. Questo tipo di sovrapposizione tende ad incrementare la vorticità orizzontale la quale potrà essere prelevata dall'updraft, inclinata sulla verticale e quindi "stirata" verso l'alto fino a generare un mesociclone di basso livello. La vorticità orizzontale può aumentare anche prima che questa raggiunga l'updraft grazie allo "stiramento" orizzontale indotto dall'accelerazione dell'inflow alla base della cella convettiva (Fig. 1.18-B). Tale processo appare favorito quando il temporale si muove nel lato freddo parallelamente al boundary, piuttosto che attraversarlo, in quanto la corrente ascendente ha più tempo per prelevare aria instabile e, nel contempo, vorticità orizzontale.

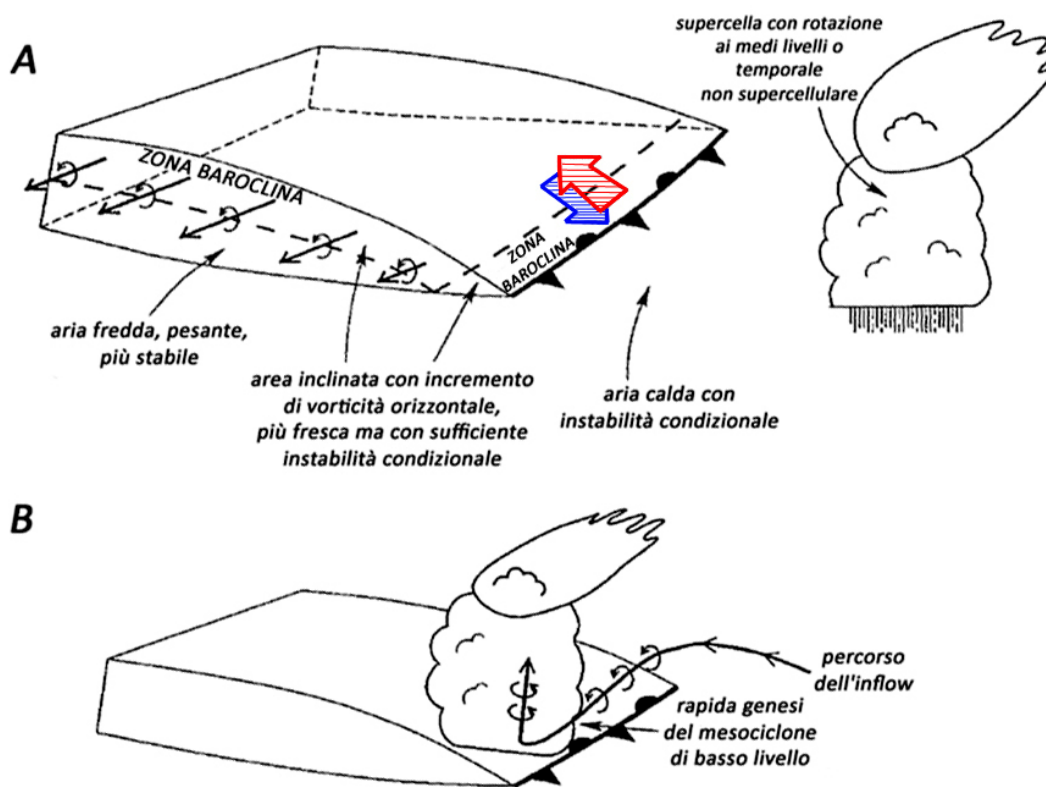


Fig. 1.18 - Interazione updraft-boundary e genesi del mesociclone di basso livello (*Markowski et al.*, 1998, modificato)

In generale, la vorticità verticale si limita ad incentivare la graduale ascesa dell'aria verso l'alto favorendo la genesi del mesociclone, ma la rotazione negli strati prossimi al suolo e l'eventuale tornado dipendono dalla capacità della corrente discendente della supercella (RFD, Rear Flank Downdraft) di penetrare nel lato freddo del boundary e quindi di trasportare o generare vorticità verticale nei livelli inferiori.

1.4 Situazione al suolo

Nelle prime ore del pomeriggio il profilo dei venti in prossimità del suolo vede un flusso sud-occidentale che interessa gran parte della Pianura Padana che va a convergere con correnti da sud-est più umide di provenienza marittima stante la presenza di un relativo minimo barico sulle regioni settentrionali. A questo punto si viene ad instaurare, sul Veneto orientale, un profilo verticale dei venti tra i più classici per l'innesco di mesocicloni e temporali a supercella. Tuttavia, nelle ore successive, interverranno nuove forzanti alla mesoscala in grado di modificare ulteriormente la distribuzione dei venti negli strati più bassi. Per esse si fa riferimento a mappe di analisi, dal momento che la maggioranza dei LAM (Limited Area Model, modelli ad area limitata) ha evidenziato una certa sottostima delle forzanti stesse, simulando in maniera non esemplare le condizioni venutesi a creare nella bassa troposfera. In primo luogo si considera la situazione alle ore 16 locali, riportata in Fig. 1.19.

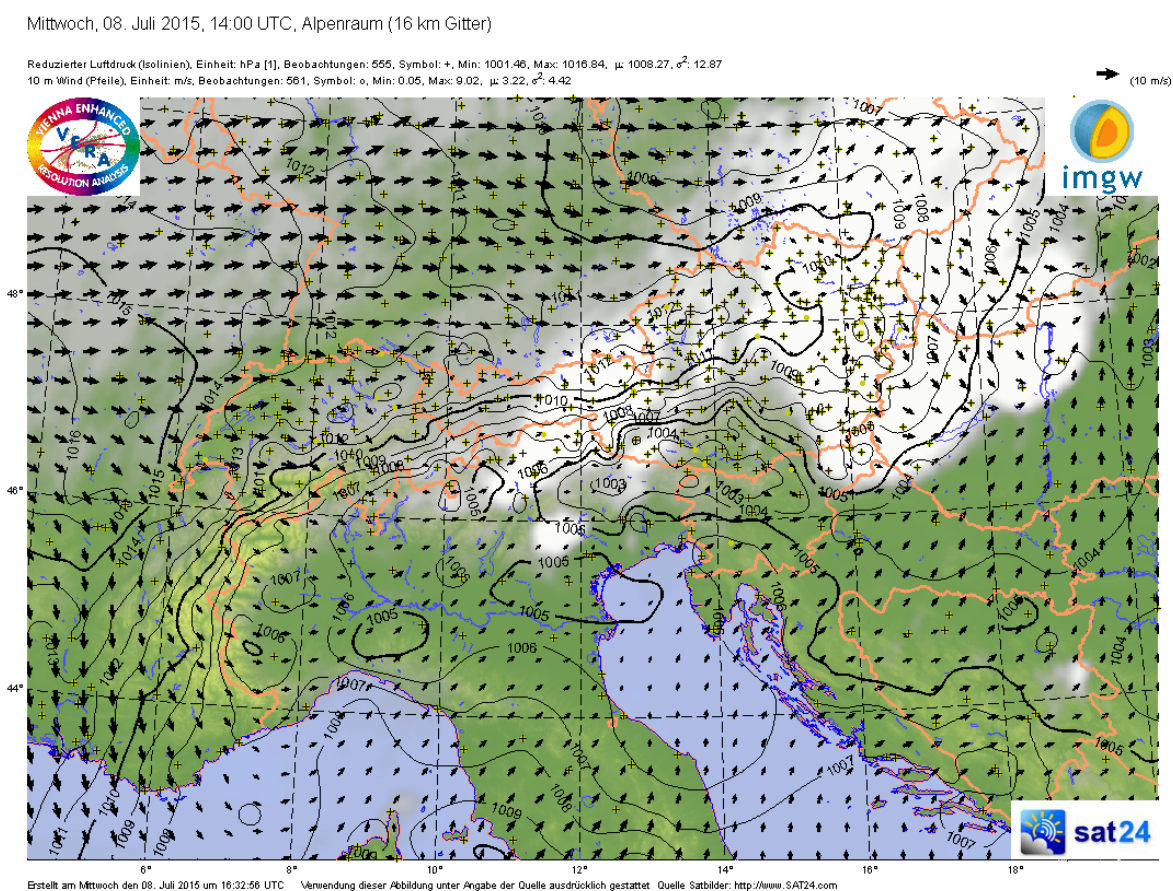


Fig. 1.19 - Immagine da satellite all'infrarosso sovrapposta ad analisi barica al suolo ore 16 locali. Fonte: IMGW Vera Analysis

Alle ore 16 locali sul nord Italia sono presenti tre relativi minimi di bassa pressione (Fig. 1.19): un primo di origine orografica su Emilia occidentale chiusosi in seno al flusso sudoccidentale prefrontale appenninico, un secondo chiuso sul basso Veneto e fino al delta del Po (1005 hPa) ed un terzo attivo sul Friuli settentrionale (1003 hPa). Il minimo depressionario presente sul basso Veneto richiama nel contempo calde correnti sud-occidentali in risalita dall'Emilia e flussi orientali anch'essi caldi ma più umidi in rientro dall'Adriatico, facendoli convergere in prossimità del padovano e veneziano.

Si nota, inoltre, dall'immagine satellitare in Fig. 1.19, una linea temporalesca di origine frontale presente sull'Alto Adige costituita da celle convettive ravvicinate, i cui outflow boundary, unitamente all'accumulo di aria più fresca di origine sinottica che preme oltralpe, tendono a far aumentare la pressione sulle medesime aree a partire da nord-ovest, con aria fredda che inizia a farsi strada tra le vallate alpine dilagando verso sud-est. In tale contesto si ha l'innesco dell'intensa cella temporalesca, che in Fig 1.19 è già attiva sull'alto vicentino. Essa è chiaramente di natura prefrontale poiché del tutto isolata dalla linea convettiva principale che agisce più a nord, ma trova le condizioni ideali per il proprio innesco e sviluppo lungo il boundary che si viene a determinare tra gli outflow di aria fredda dei temporali alpini, il flusso estremamente caldo ed umido in rientro da est sul bordo settentrionale del minimo barico sul Veneto meridionale e la dry line appenninica più a sud (Fig. 1.21).



Fig. 1.20 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 15.20 locali

In Fig. 1.20 la linea rossa rappresenta la dry line appenninica al suolo e B_1 indica l'area di convergenza sull'alto vicentino ove è avvenuto il primo innesco della cella temporalesca. La successiva Fig. 1.21 individua le tre correnti che si sono scontrate in B_1 : la freccia blu indica le correnti più fredde e umide degli outflow dei temporali alpini, quella rossa le correnti caldo-umide provenienti dal mar Adriatico e la freccia gialla il flusso caldo-secco associato alla dry line in risalita dal basso Veneto. L'area B_2 con calma di vento corrisponde alla posizione di un blando minimo barico sul Veneto meridionale che ha favorito l'entrata delle correnti sciroccali ad elevata umidità specifica verso l'interno della pianura veneta.

Tale minimo è stato in grado di creare un gradiente barico sufficiente per rinforzare i venti sud-orientali e, in pratica, a potenziare il ciclo giornaliero della brezza di mare (PBL costiero). In generale, le brezze possono modulare lo shear direzionale di basso livello e, di conseguenza, l'innescò e il mantenimento di un mesociclone, specialmente se appena all'interno queste vanno ad interferire con flussi sinottici provenienti da direzione diverse e con proprietà termo-igrometriche differenti.

Surface Wind Speed (km/h)

8/7/15 15.20

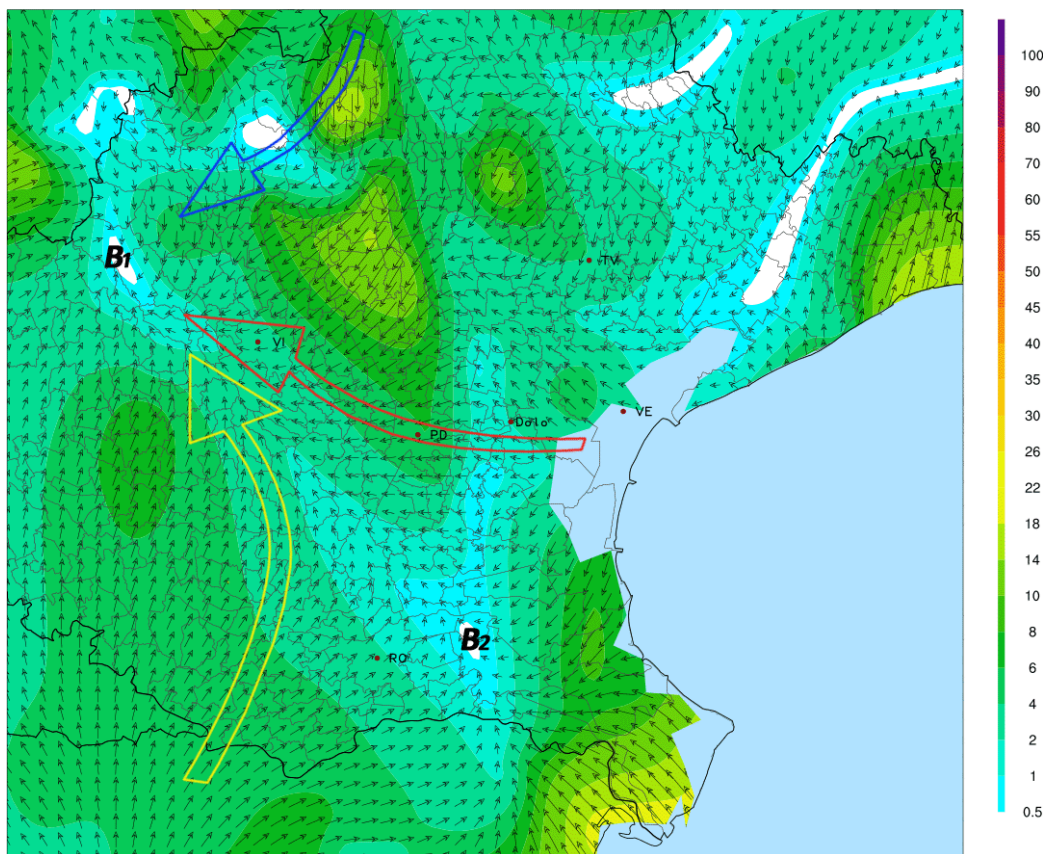


Fig. 1.21 - Direzione e velocità del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 15.20 locali

Alle ore 16.20 locali (un'ora prima del tornado) permane un'area di convergenza sull'alto vicentino, ma lo scontro di masse d'aria provenienti da varie direzioni genera una marcata area di convergenza a nord-ovest di Padova (B_1 in Fig. 1.22 e Fig. 1.23) la quale assume un inequivocabile moto ciclonico poiché i flussi d'aria convergenti ruotano in senso antiorario, in pratica un mesominimo depressionario al suolo. E' plausibile che questo mesominimo abbia agevolato il processo di genesi del mesociclone di basso livello, tenuto conto del fatto che alle ore 16.20 locali è stato registrato il massimo gradiente termico orizzontale tra le stazioni di Breganze, Campodarsego e Mira (Fig. 1.32).

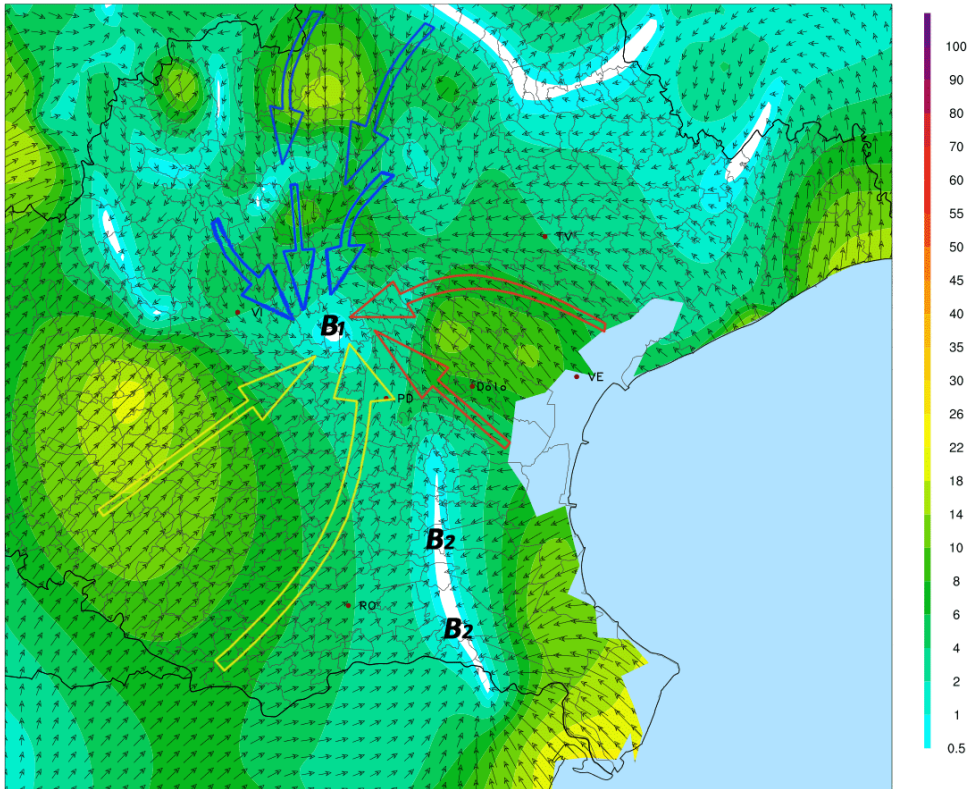


Fig. 1.22 - Direzione e velocità del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 16.20 locali

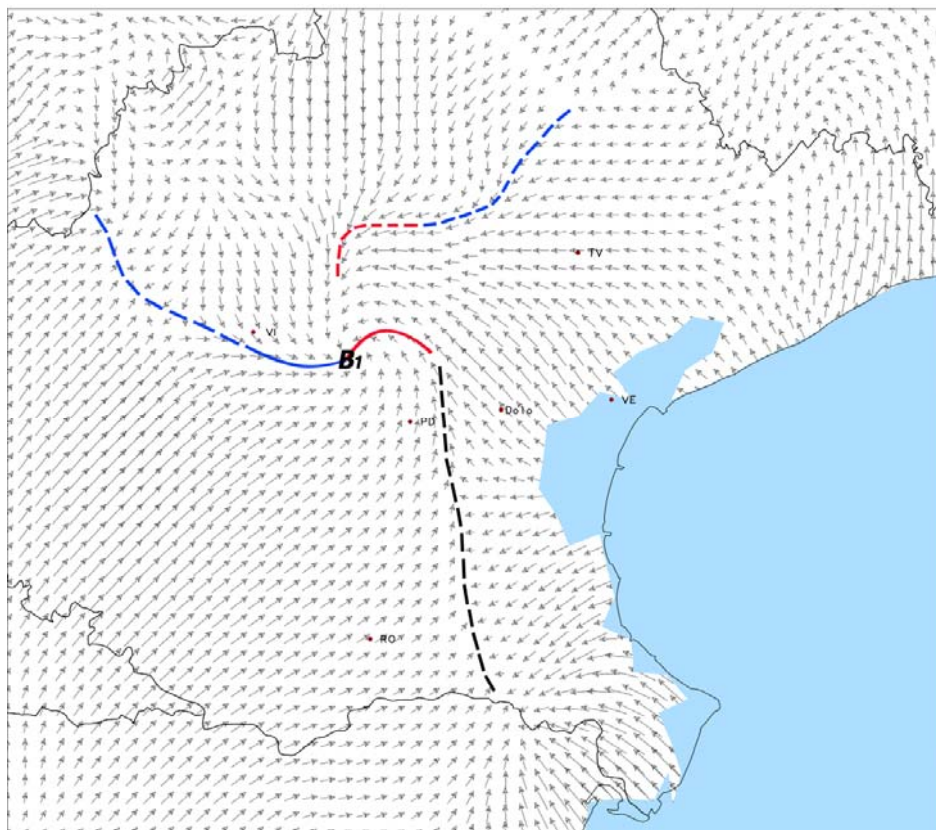


Fig. 1.23 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 16.20 locali

In Fig. 1.23 sono rappresentati con dei segmenti interi i “fronti” del mesominimo (blu fronte freddo, rosso fronte caldo) in rotazione antioraria con perno su B₁, mentre le linee tratteggiate blu e rosse tracciano i fronti sinottici. La linea nera tratteggiata individua una parte del boundary (dry line) tra vento secco da SW e vento umido da E-SE. Il punto di intersezione tra i due boundary (dry line e outflow boundary) indicato con B₁ in Fig. 1.23 individua la posizione del punto triplo (“Triple Point”).

Un'ora dopo, alle ore 17 locali, la situazione si complica ulteriormente (Fig. 1.24). La circolazione depressionaria è ancora chiusa sul Veneto centro-meridionale, tuttavia si nota, nella sovrapposizione dell'immagine satellitare con l'analisi del campo barico al suolo ed il profilo del vento, nonostante una certa approssimazione dei vettori del vento, un aspetto significativo: il piccolo minimo barico è ora chiuso al suolo tra veronese e padovano (1004 hPa) e la struttura descrive un'ansa depressionaria che si spinge in Veneto tra padovano e veneziano. In Emilia Romagna prevalgono venti da SW che caratterizzano la tipica dry line appenninica, mentre sul Veneto settentrionale l'ansa depressionaria si contrae verso sud sotto la spinta dell'aria fredda (a pressione più elevata) derivata dall'outflow da nord dei sistemi temporaleschi frontali in quel momento attivi.

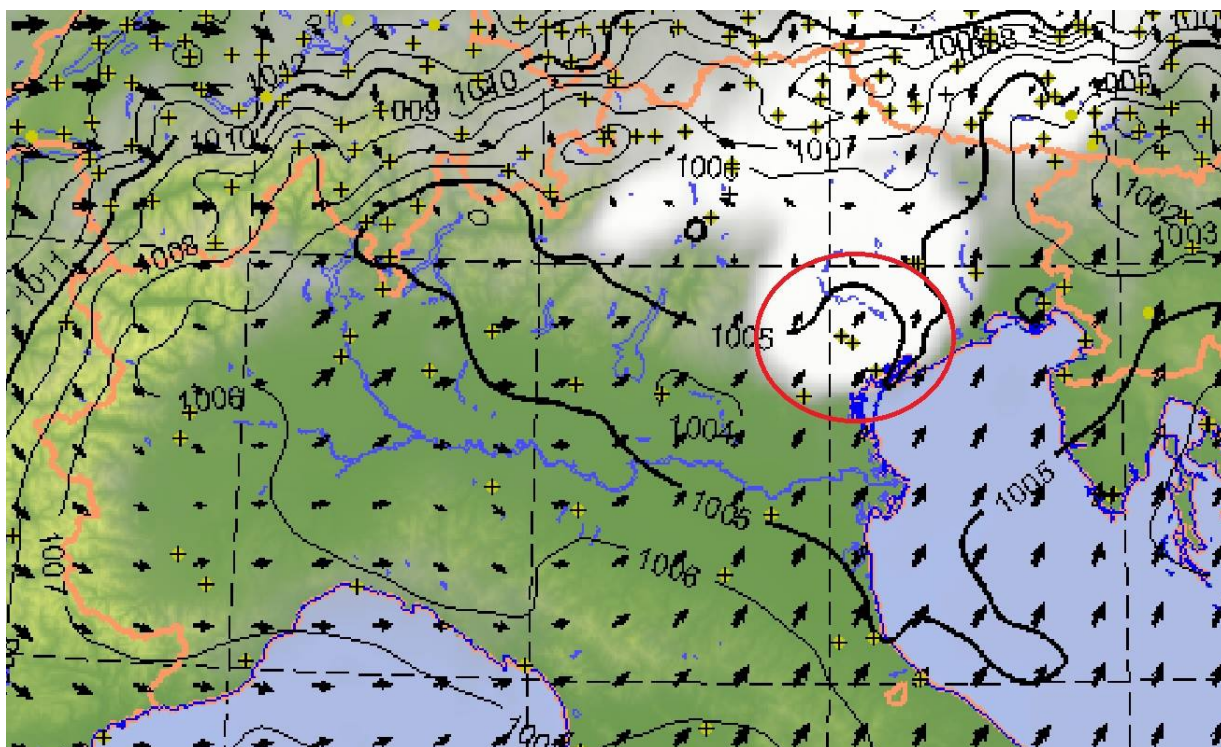


Fig. 1.24 - Immagine da satellite all'infrarosso sovrapposta ad analisi barica al suolo ore 17 locali. Fonte: IMGW Vera Analysis

La struttura depressionaria descrive infatti una specie di rigonfiamento proprio sotto la cella temporalesca attiva in quel momento sul veneziano ed ormai evoluta in supercella. Nella parte ovest della “bolla” la corrente discendente più fredda fa aumentare la pressione, deformando l'isobara 1005 hPa verso sud, mentre nella parte centrale ed orientale la pressione scende poiché si ha l'ascesa di aria calda e meno densa che costituisce l'inflow della supercella in rotazione che deforma quindi l'isobara 1005 hPa verso nord (Fig. 1.24).

In pratica, questa “bolla” barica, evidenziata con un cerchio rosso in Fig. 1.24, rappresenta la traccia al suolo del mesociclone, mentre l’immagine satellitare sovrapposta mostra la classica struttura circolare tipica dei temporali a supercella, la quale con la parte sommitale si è ormai fusa con le incudini delle celle più a nord legate al fronte freddo.

I dati rilevati dalle stazioni meteo al suolo della rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto confermano tale tipo di dinamica: la temperatura di rugiada (dew point) in Fig. 1.25 tradisce le correnti di aria fredda e secca in discesa da nord, distinguendo per quanto possibile gli outflow dei temporali alpini (freccia blu) dalla corrente di RFD propria della supercella (freccia celeste). In Fig. 1.26 è evidente l’aumento di pressione generato dalle correnti fredde (freccie blu) sul vicentino e padovano occidentale, come già osservato in Fig. 1.24.

In tal modo si ha la convergenza di basso livello, sul Veneto orientale, fra tre tipi di flussi (Fig. 1.27): freschi di provenienza settentrionale (freccie blu e celesti), molto caldi e secchi da SW (freccie gialle) e caldi e umidi da E (freccia rossa). Sempre in Fig. 1.27, B₁ indica una marcata area di convergenza all’altezza di Padova tra i tre flussi sopraindicati circa mezz’ora prima della tornadogenesi, mentre B₂ denota un’area con venti molto deboli corrispondente a un relativo minimo di bassa pressione ancora presente sul Veneto sud-orientale. Una tale disposizione dei venti, già presente prima dell’arrivo della cella nata sul vicentino, tende ad incrementare sensibilmente i parametri di vorticità ed elicità nei bassi strati, rivestendo probabilmente un ruolo di primo piano nell’innesco del mesociclone con annesso tornado da parte della cella nel suo movimento verso est/sud-est.

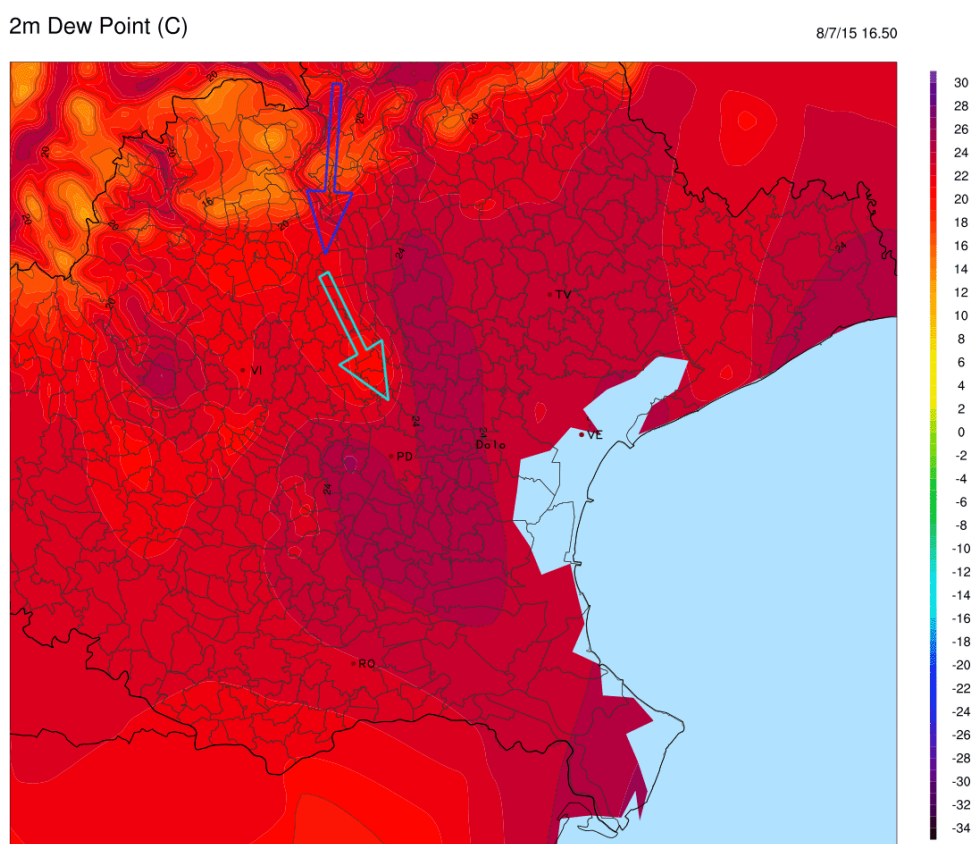


Fig. 1.25 - Dew point al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 16.50 locali

Sea Level Pressure (hPa)

8/7/15 16.50

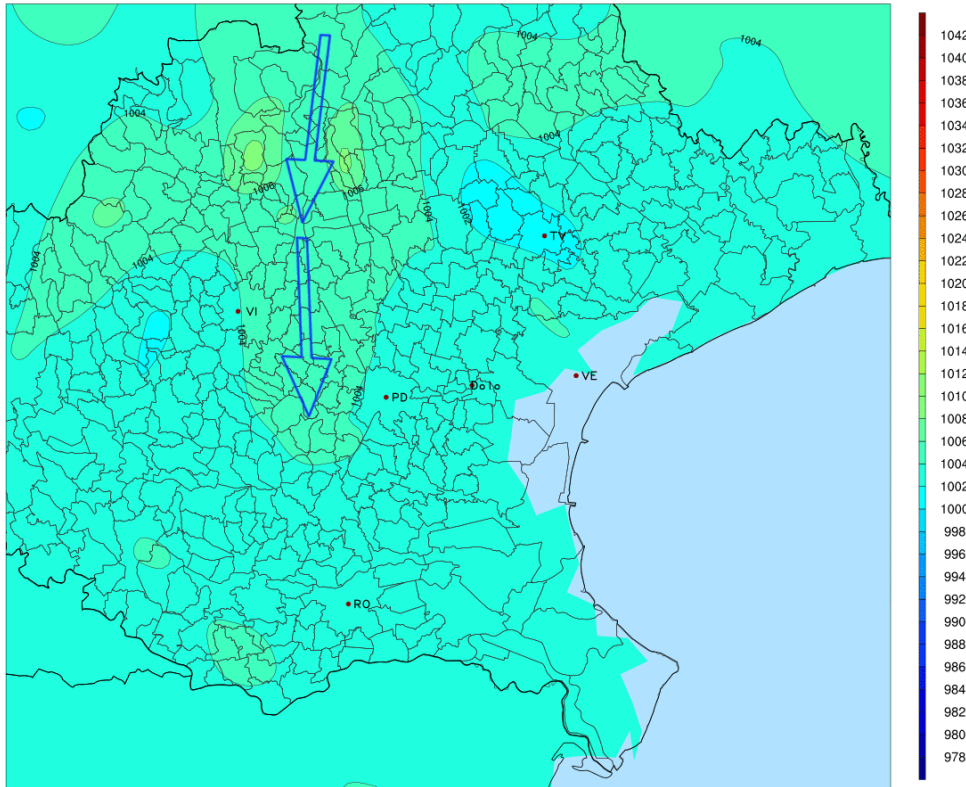


Fig. 1.26 - Pressione al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 16.50 locali

Surface Wind Speed (km/h)

8/7/15 16.50

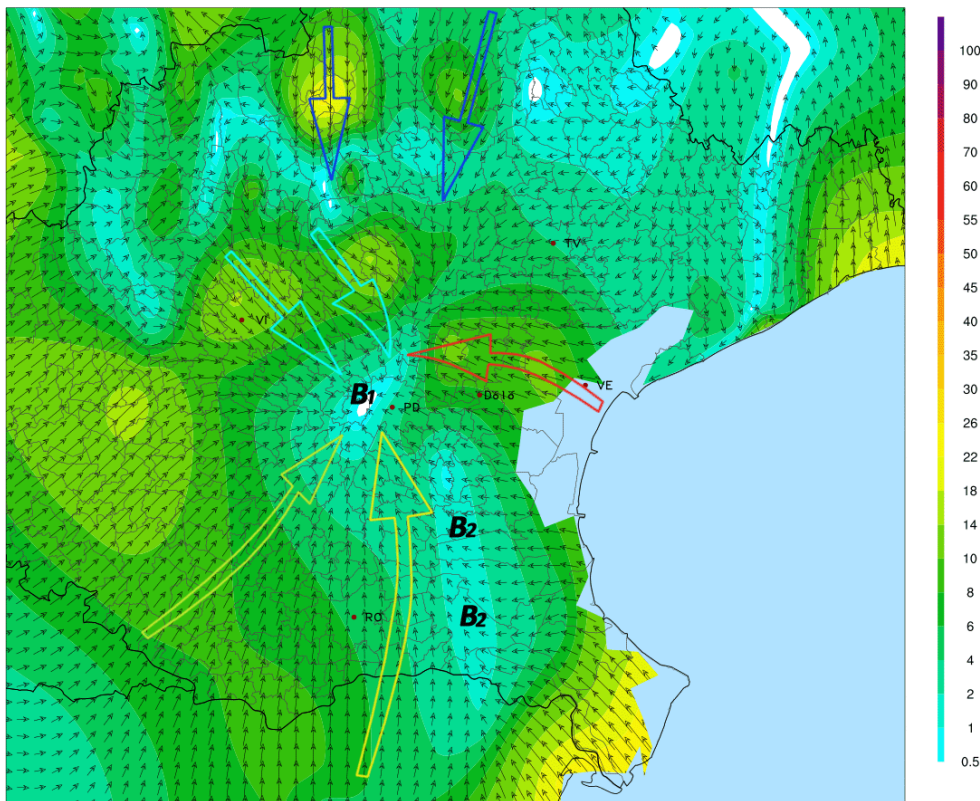


Fig. 1.27 - Direzione e velocità del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (interpolazione dei dati di 190 stazioni) ore 16.50 locali

Anche il modello WRF del Consorzio LaMMA Toscana ha correttamente previsto la linea di convergenza al suolo tra venti secchi da SW e venti più umidi da SE (Fig. 1.28 e 1.29) disponendola secondo un asse da NW a SE. Da notare che questo boundary al suolo è pressoché sovrapponibile a quello previsto a 925 hPa dallo stesso modello e alla medesima ora nella mappa in Fig. 1.15 e Fig. 1.17. Il tutto in accordo con il modello di *Maddox et al.* (1980) riportato in Fig. 1.16 che prevede, sul lato freddo del boundary ove è transitata la supercella, venti da SE al suolo e da S all'interno del PBL (750 m di quota nella fattispecie) con un aumento della vorticità verticale e conseguente incremento della convergenza di masse d'aria nei livelli prossimi al suolo.

Le mappe delle Fig. 1.30 e Fig. 1.31 mostrano i valori di umidità relativa e temperatura a 2 metri rilevati dalle stazioni dell'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto): tra le ore 17 e le ore 18 locali si può osservare una chiara linea di demarcazione sulla pianura veneta disposta grosso modo secondo un asse NW-SE che separa aria caldo-secca stazionante sul Veneto meridionale da aria meno calda e più umida legata al flusso sciroccale nei bassi strati che interessa padovano e veneziano. E' quindi piuttosto evidente la presenza di un thermal boundary al suolo tra basso e alto Veneto con relativo plausibile incremento della vorticità orizzontale (Fig. 1.18, *Markowski et al.*, 1998a).

Tuttavia, dalle mappe di Fig. 1.30, già alle ore 16 locali, si può apprezzare una fascia sul veneziano e padovano centrale caratterizzata da valori di umidità relativa più elevati, tra il 60% e il 65%, rispetto al resto della pianura veneta, a causa del flusso sciroccale in risalita dal mar Adriatico verso il vicentino. Verso il basso padovano e rodigino, invece, si può intuire la posizione della dry line al suolo, a sud della quale i valori di umidità relativa si attestano tra il 40% e il 45%. Alla stessa ora, sul basso Veneto si notano valori termici già superiori di alcuni gradi rispetto alla pianura centrale (Fig. 1.31), dovuti proprio al flusso caldo-secco da sud-ovest legato alla dry line al suolo.

Il gradiente termico orizzontale tra basso padovano e veneziano ha visto una costante accentuazione nel corso del pomeriggio (Fig. 1.31). Considerate le condizioni di partenza con cielo sereno e temperature molto elevate, si può ipotizzare che l'ombra dell'incudine della stessa supercella, a partire dalle ore 16.30, abbia ulteriormente incrementato tale gradiente, raffreddando la pianura a nord dell'asse Padova-Venezia (*Markowski et al.*, 1998b). Chiaramente, i successivi rovesci di pioggia e grandine avrebbero poi causato un raffreddamento più marcato nelle stesse aree, come si può osservare in Fig. 1.31, ore 18 locali, dove compare l'isoterma di 24°C sul veneziano.

Il grafico in Fig. 1.32, un'ora prima del tornado, denota un ambiente favorevole alla turbolenza per la forte discontinuità termica spaziale legata al thermal boundary (ore 16.20 locali), proprio poco dopo che sulla pianura centrale si raggiunge la temperatura massima, pari a circa 34°C (Fig. 1.33). Questo valore, come si vedrà nelle analisi dei radiosondaggi, corrisponde alla temperatura di innesco (temperatura convettiva) degli strati atmosferici prossimi al suolo, raggiunta la quale inizia il sollevamento convettivo delle masse d'aria grazie alla semplice spinta di galleggiamento.

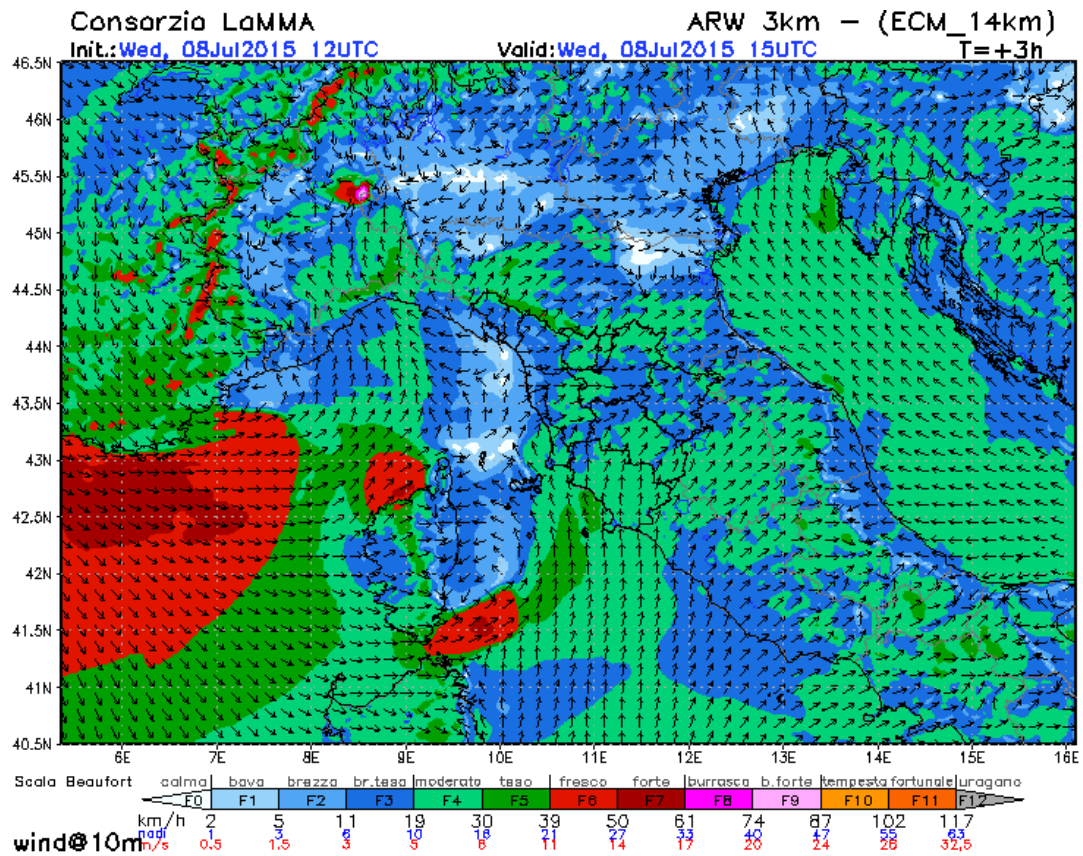


Fig. 1.28 - Vento in m/s previsto a 10 m alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

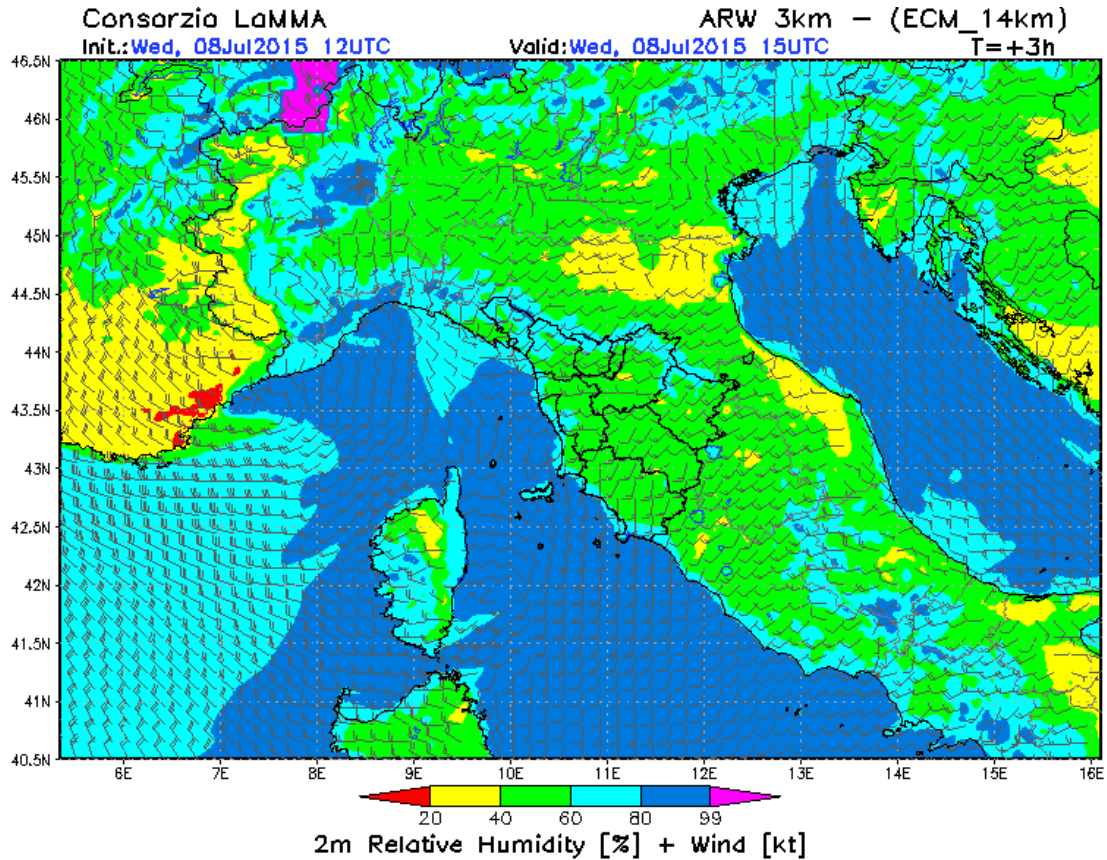


Fig. 1.29 - Umidità relativa prevista a 2 m alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

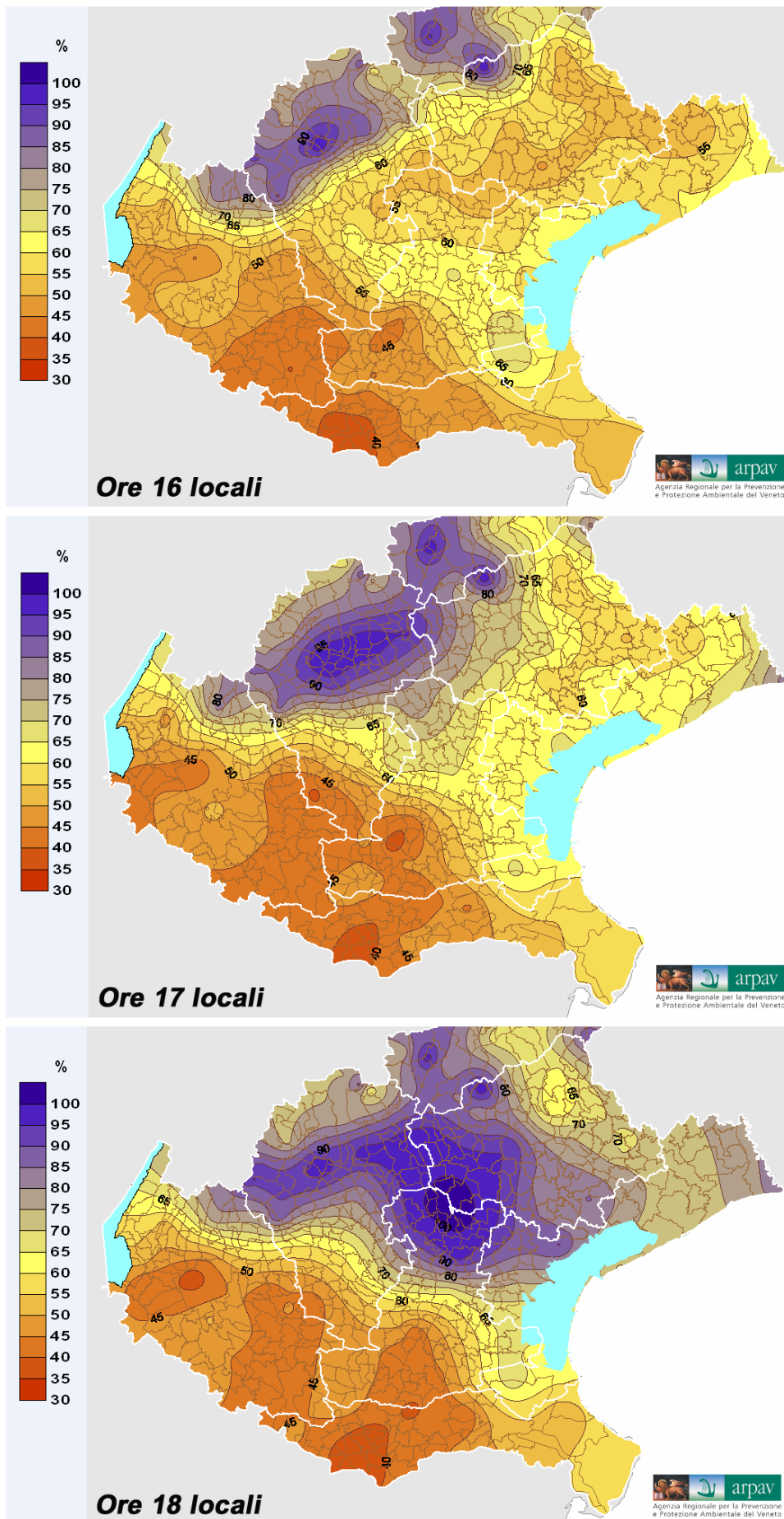


Fig. 1.30 - Umidità relativa rilevata a 2 m. Fonte: dati stazioni meteorologiche ARPAV

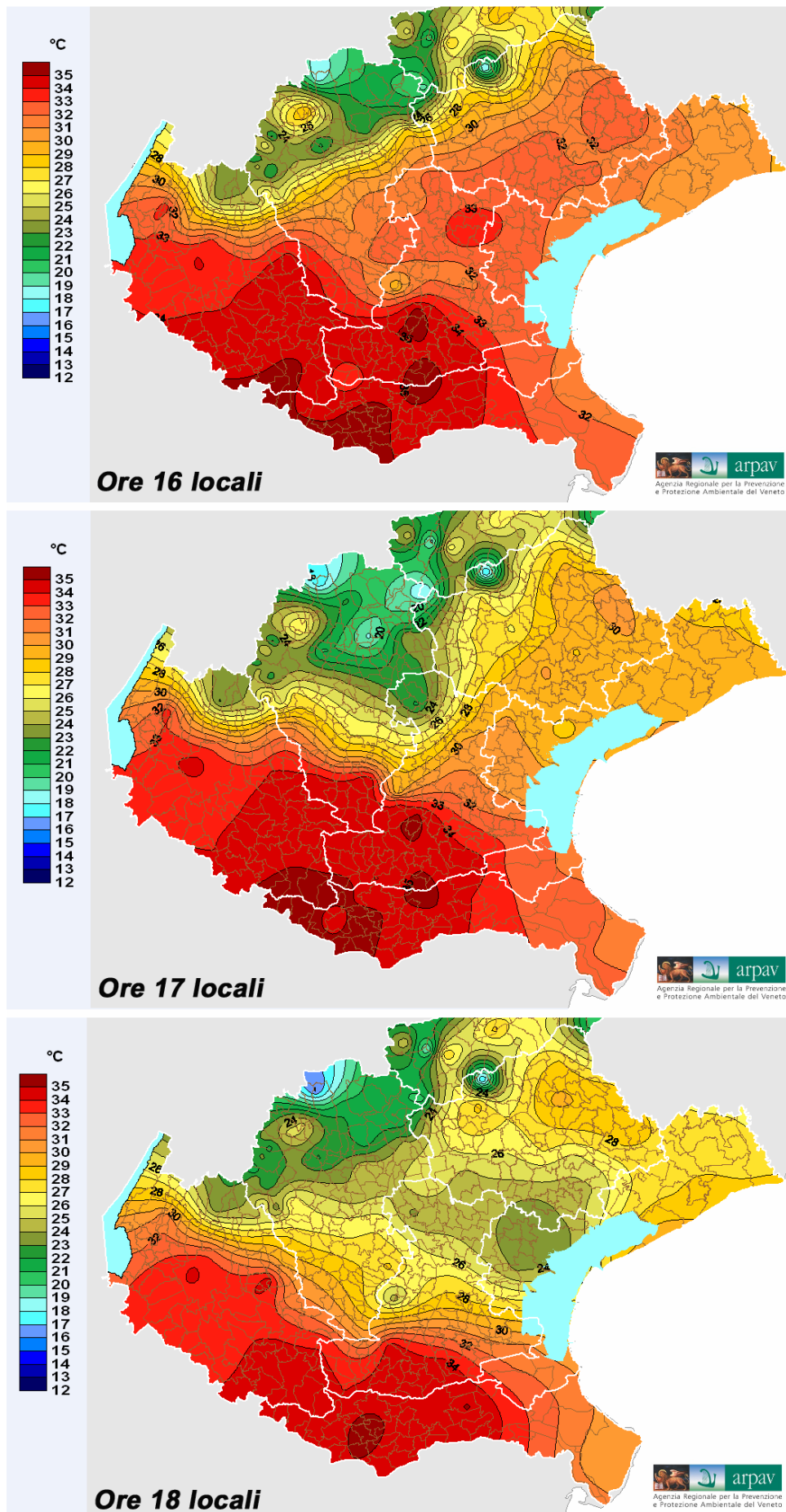


Fig. 1.31 - Temperatura rilevata a 2 m. Fonte: dati stazioni meteorologiche ARPAV

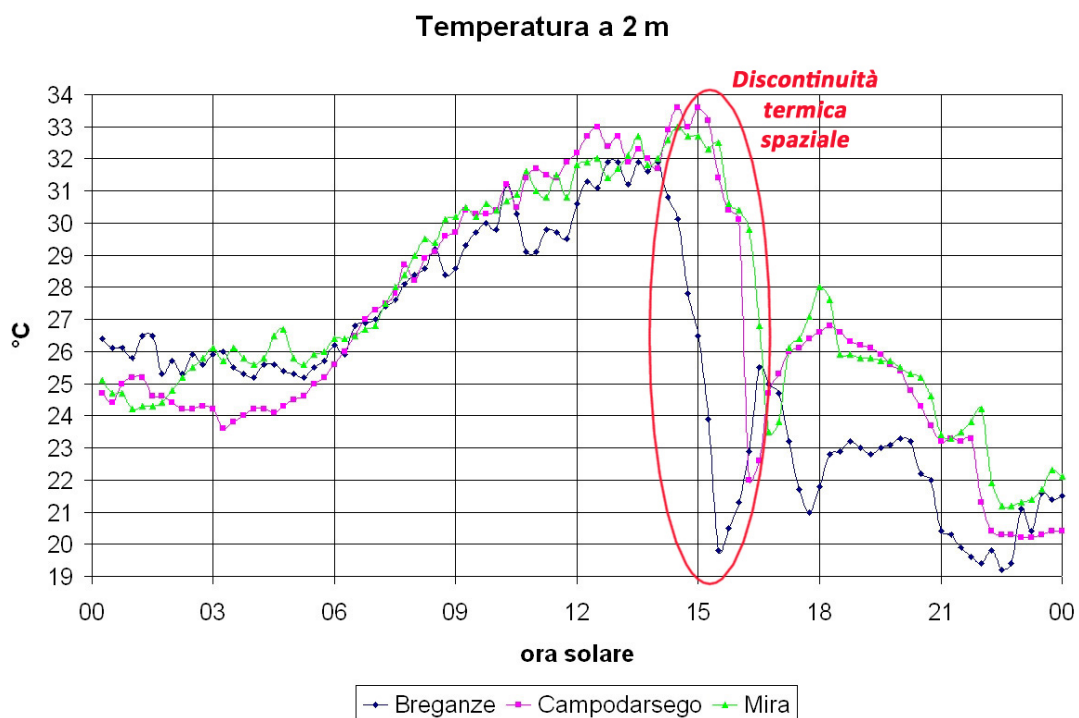


Fig. 1.32 - Temperatura a 2 metri delle stazioni ARPAV di Breganze (VI), Campodarsego (PD) e Mira (VE)

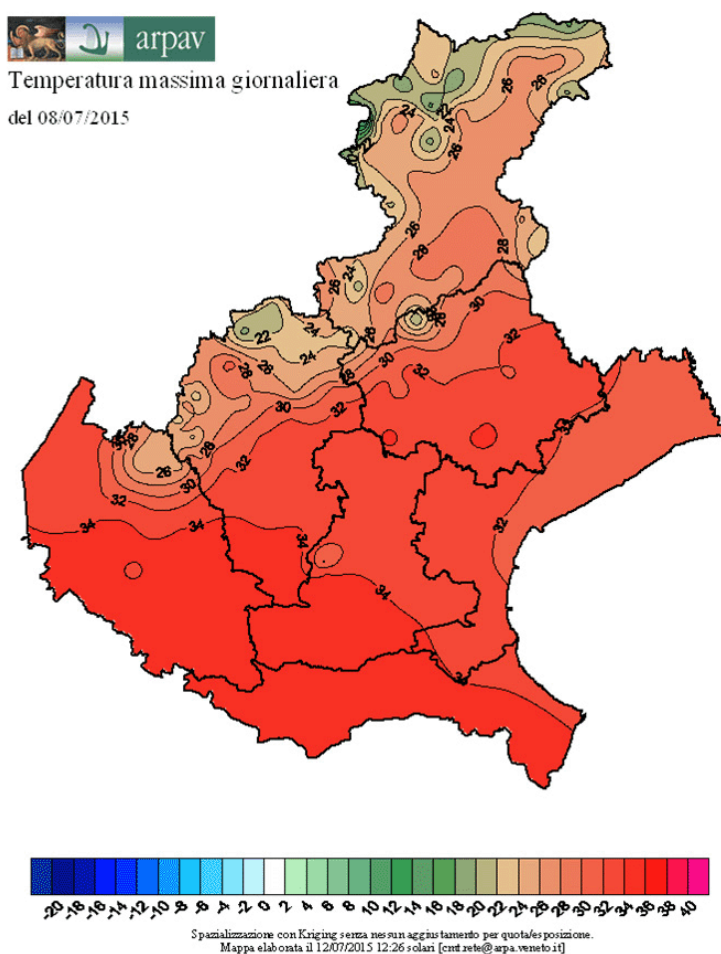


Fig. 1.33 - Temperatura massima rilevata dalle stazioni ARPAV

Sull'alta pianura, invece, i temporali si sono sviluppati nel primo pomeriggio poiché la temperatura d'innesco è stata raggiunta in quelle ore, mentre la pianura veneta centrale ha avuto a disposizione qualche ora di soleggiamento in più portandosi così a temperature più elevate di circa 3°C rispetto al vicentino dove è nata la multicella poi evoluta in supercella verso Padova. La Fig. 1.34 mostra l'andamento della temperatura e dell'umidità relativa a Mira: è stata raggiunta una temperatura massima di 33°C con il 62% di umidità relativa, mentre la temperatura minima si è attestata a 24.2°C. Si tratta di valori notevoli, coerenti con l'invasione di aria calda subtropicale.

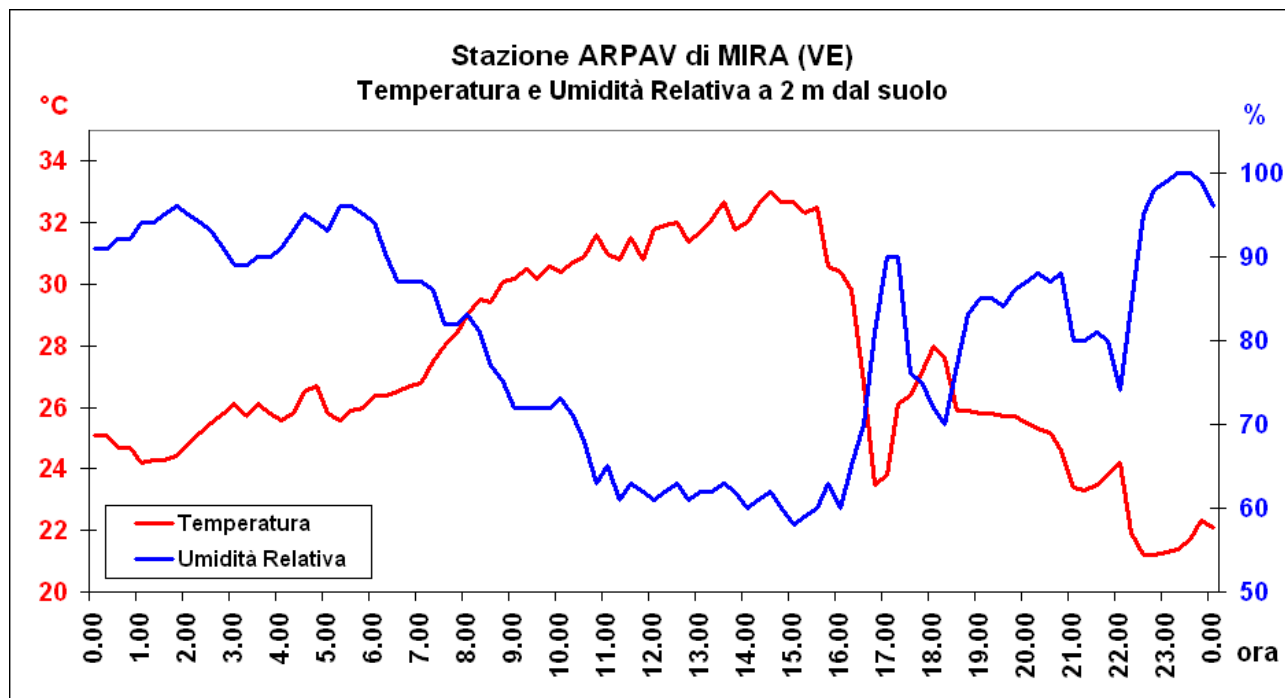


Fig. 1.34 - Temperatura e umidità relativa in ora solare – stazione ARPAV di Mira (VE)

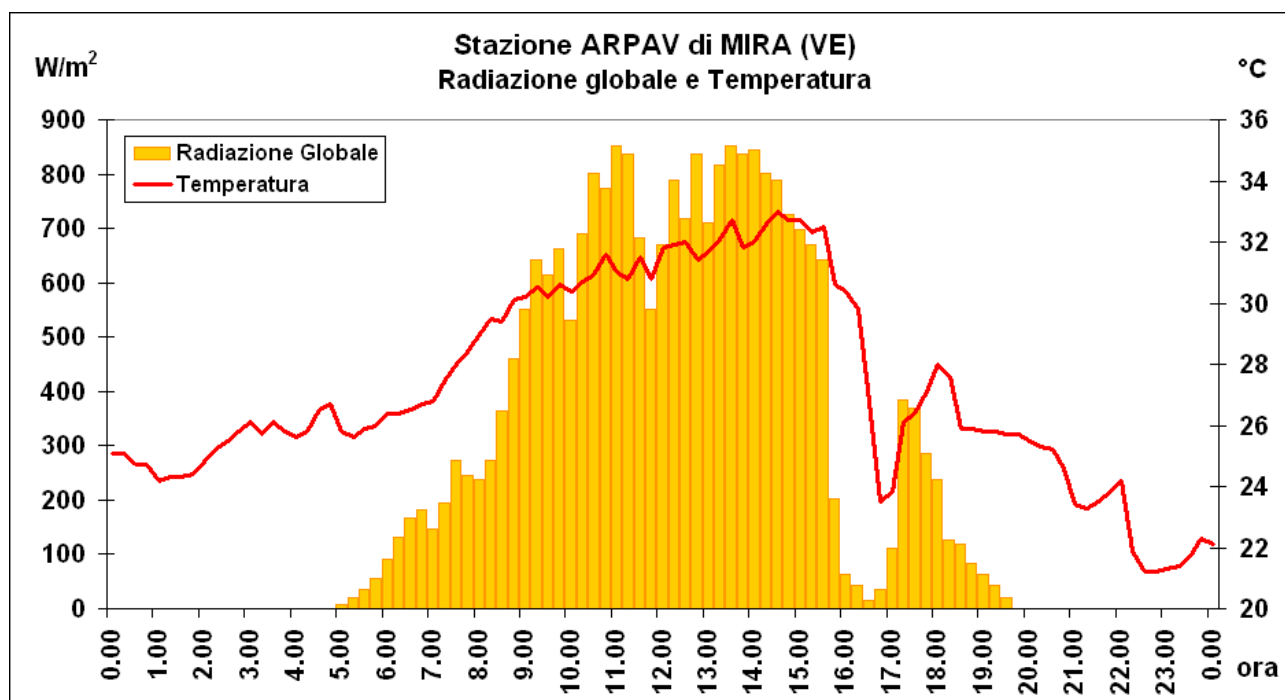


Fig. 1.35 - Temperatura e radiazione globale in ora solare – stazione ARPAV di Mira (VE)

Nel grafico a barre della Fig. 1.35 si nota chiaramente il crollo dei valori di radiazione globale durante il transito della supercella su Mira, a testimonianza dello sviluppo in altezza della cella temporalesca ma anche della quota molto ridotta alla quale si trovava la base delle nubi che hanno sensibilmente ridotto la luce diffusa. Una volta transitato il temporale, la radiazione ha ripreso immediatamente il suo profilo originario fino ad azzerarsi poco dopo il tramonto. Infatti Mira è stata interessata dall'estremità meridionale della supercella dove si collocava il mesociclone con il tornado ed è stata appena sfiorata dal downdraft principale della supercella (FFD, Forward Flank Downdraft) ove normalmente si colloca il grosso delle precipitazioni. Il pluviometro dell'ARPAV a Mira ha registrato 9.8 mm di precipitazione, un quantitativo assai ridotto pur considerando la sicura sottostima della misura per via del forte vento e della grandine.

La stazione meteorologica di Santa Maria di Sala (VE) ha registrato i dati ogni 3 minuti, permettendo di osservare un brusco aumento di pressione (quasi 3 hPa) tra le 17 e le 17.30 locali in contemporanea al crollo del dew point dopo un costante calo barico (Fig. 1.36). Ciò è dovuto ad un forte downdraft e questo indica che stava iniziando lo stadio di maturità del temporale (*Byers et al.*, 1949) in cui in genere vi si associa la massima intensità dei fenomeni. Successivamente alla discesa e al transito del downdraft, il profilo della pressione riprende il suo andamento originario (dalle ore 18.30 nella fattispecie) con un costante aumento dovuto in questo caso all'entrata del retrostante fronte freddo dal comparto alpino.

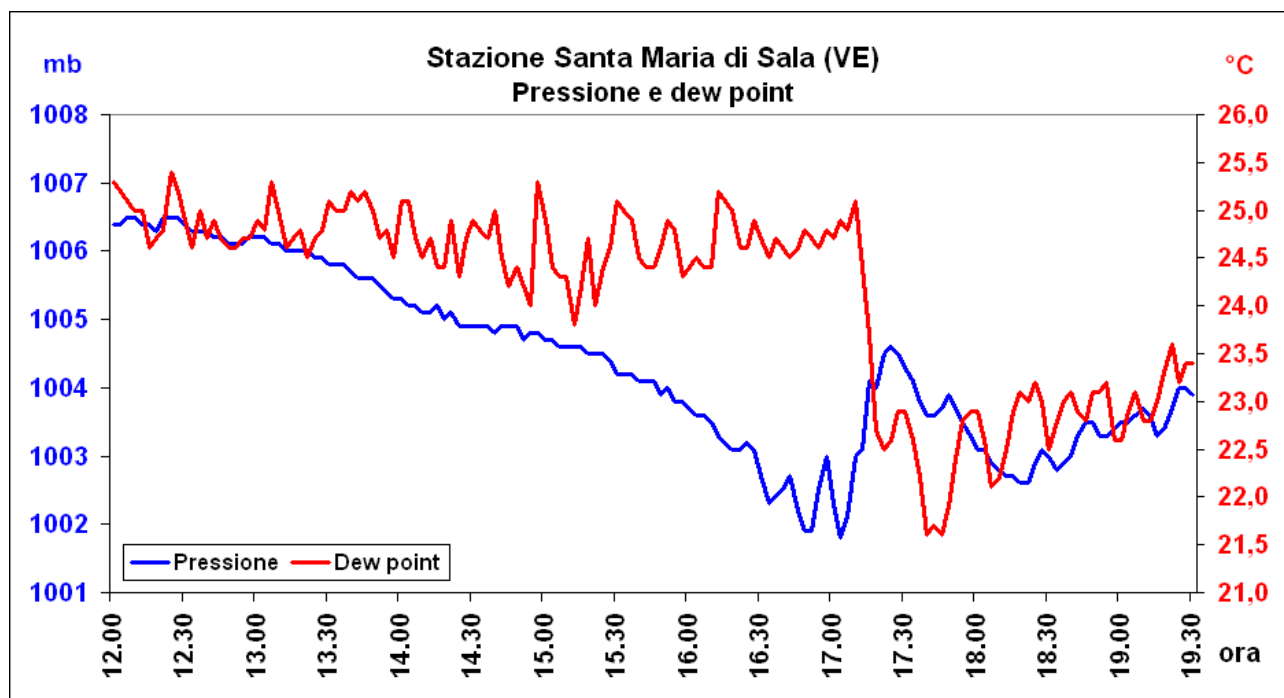


Fig. 1.36 - Pressione e dew point in ora locale – stazione di Santa Maria di Sala (VE). Fonte dati: www.meteosantangelo.it

I dati del vento della stazione di Santa Maria di Sala (Fig. 1.37), registrati anch'essi ogni 3 minuti, denotano la presenza della brezza di mare fino alle ore 15.15 locali (vento da E), sostituita quindi da una corrente di scirocco (vento da SE) che è stata interrotta un paio d'ore dopo dalla discesa del downdraft della supercella (FFD) che ha causato una rotazione da nord e un'impennata nella velocità del vento alle ore 17.15 locali per pochi minuti prima di ritornare a soffiare dal quadrante orientale.

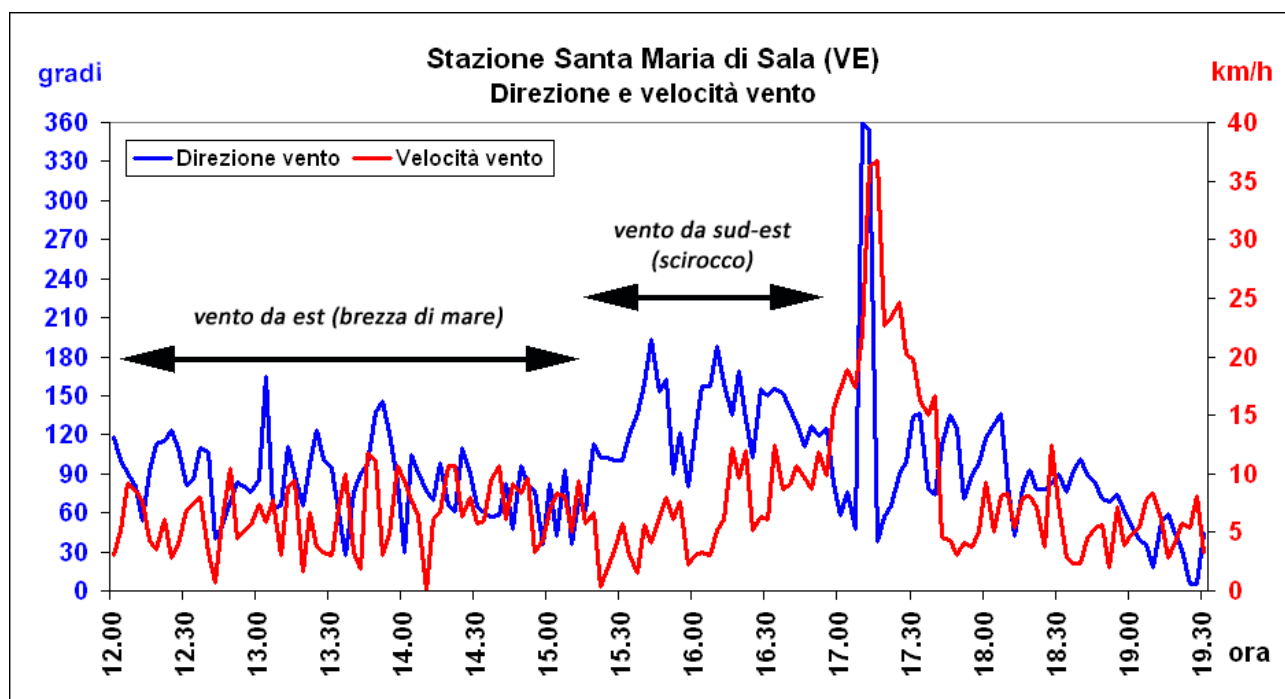


Fig. 1.37 - Direzione vento e velocità vento in ora locale – stazione di Santa Maria di Sala (VE). Fonte dati: www.meteosantangelo.it

In sostanza, l'innesco primario della supercella è occorso sull'alto vicentino lungo il boundary tra outflow delle celle temporalesche frontali e flussi molto caldi da SW e da E-SE attivi in bassa troposfera, ma evolvendo verso levante essa ha trovato lungo il proprio percorso condizioni sempre più favorevoli alla propria intensificazione, specie nei bassi strati grazie alla convergenza tra flussi di diversa provenienza, origine e caratteristiche fisiche, ed al mantenimento in essere di un mesociclone, prova ne sia che la tornadogenesi ha avuto luogo quando il sistema si è portato nella pianura centrale e fino in prossimità della costa.

Occorre peraltro precisare che la stragrande maggioranza dei modelli ad area limitata, nonostante avessero ben simulato le condizioni relative ad una atmosfera estremamente instabile, non hanno previsto correttamente i fenomeni osservati, tant'è che si riteneva che le aree a massimo rischio fossero quelle friulane ed al limite il Veneto settentrionale dov'era inizialmente previsto lo scontro tra il flusso da sud-ovest e quello di scirocco. La causa principale risiede nel fatto che sovente, anche in presenza di condizioni di notevole instabilità, manca una forzante nei bassi strati (fronte, dry line, outflow boundary ecc.) che dia l'avvio alla convezione, per cui non si hanno fenomeni di rilievo.

La probabile sottostima degli effetti relativi agli outflow delle celle temporalesche sul comparto alpino ha sortito due tipi di problema: in primo luogo il relativo minimo depressionario, che ha avuto un ruolo primario nella successione degli eventi, si è chiuso più a sud rispetto alle attese forzato da un flusso settentrionale più consistente in discesa dalle vallate alpine, ma anche per una possibile sovrastima dell'intensità del flusso sudoccidentale appenninico in risalita verso nord-est. Conseguentemente, e qui risiede il secondo limite, nella simulazione dei LAM è venuta a mancare nei bassi strati la componente principale, o se vogliamo la "scintilla" per l'innesco della convezione, ovvero gli outflow boundary. Nonostante il rischio di "severe weather" su buona parte del nord-est fosse elevato, indubbiamente il target concernente i fenomeni più violenti si è andato a concretizzare più a sud rispetto alle previsioni che potevano essere formulate il giorno precedente.

1.5 Analogie con l'evento tornadico dell'11 settembre 1970

I due eventi tornadici dell'11 settembre 1970 e dell'8 luglio 2015, benché occorsi in diversi periodi stagionali, il primo in autunno meteorologico, il secondo in piena estate, sono stati caratterizzati da una sequenza di fenomeni che mostrano alcune analogie, specialmente in merito all'intensità del tornado e all'area interessata, anche se i percorsi non sono esattamente coincidenti pur interessando la fascia territoriale pianeggiante del Veneto centro-orientale fino ad approdare alla costa veneziana. Allo scopo di verificare le eventuali analogie tra i due eventi sotto il profilo sinottico, o comunque rispetto alle dinamiche di circolazione atmosferica all'origine dei fenomeni, occorre fare una serie di premesse.

Facendo riferimento a due periodi differenti ed alquanto distanti tra loro sotto il profilo temporale (tra di essi intercorrono 45 anni), diversi sono gli strumenti a disposizione atti ad analizzare l'evoluzione ed i forcing che hanno determinato l'innesco dei due tornado, soprattutto per la circolazione in bassa troposfera. Infatti, se oggi abbiamo la possibilità di affidarci, in sede di analisi e di previsione, a modelli fisico-matematici ad area limitata assai complessi e con risoluzioni spaziali dell'ordine di 2-5 km, indispensabili per valutare i forcing alla mesoscala che sono di primaria importanza nella genesi di fenomeni di questo tipo, ciò non è possibile in relazione all'evento del 1970, allorquando al più si poteva contare su analisi sinottiche e previsioni derivate da modelli globali a risoluzione alquanto bassa rispetto alle potenzialità odierne.

Per tale motivo si può tentare di eseguire un parallelo tra i due eventi considerando gli elementi di analisi in alta e media troposfera, laddove l'influenza della complessa orografia della zona incide sull'evoluzione alla mesoscala in misura inferiore (specie in alta troposfera), mentre il compito appare più arduo scendendo nei bassi strati, laddove in relazione all'evento del 1970 mancano vari elementi di valutazione, segnatamente in merito al profilo orizzontale e verticale del vento ed alla distribuzione dei centri barici alla mesoscala.

Anche il ricorso a modelli di reanalisi, disponibili per l'episodio dell'11 settembre 1970, non conduce a particolari miglioramenti in sede di analisi nei bassi strati, poiché si tratta di modelli con risoluzione alquanto bassa (dell'ordine di 40 km o più) e con rappresentazione di orografia, natura del suolo e profili costieri alquanto grossolana, quindi poco adatta a valutare ed analizzare eventi le cui dinamiche più importanti vanno ad esplicarsi su domini assai più contenuti. Pertanto si cercheranno di cogliere gli aspetti essenziali che accomunano i due eventi, tenendo ben presente i fattori di cui sopra.

Analogie in medio-alta troposfera

La Fig. 1.38 e la Fig. 1.39 riguardano l'analisi del campo del vento sulla superficie isobarica di 300 hPa, rispettivamente alle ore 20 locali dell'11 settembre 1970 ed alle ore 14 locali dell'8 luglio 2015. Nel primo caso si tratta di una reanalisi NCEP/NCAR, mentre in relazione all'8 luglio 2015 si fa riferimento al modello WRF MeteoNetwork 5 km. Gli elementi che accomunano le due analisi, sebbene frutto di modelli completamente diversi, sono da ricercare in un sostenuto flusso sud-occidentale che si attiva davanti ad un asse di saccatura in avanzamento da ovest, accompagnato dall'approssimarsi di un jet stream i cui massimi di intensità in entrambi i casi si mantengono oltralpe (fino a 40 m/s ed oltre) e con valori che sul comparto veneto oscillano tra i 20 ed i 25 m/s (40-50 nodi circa).

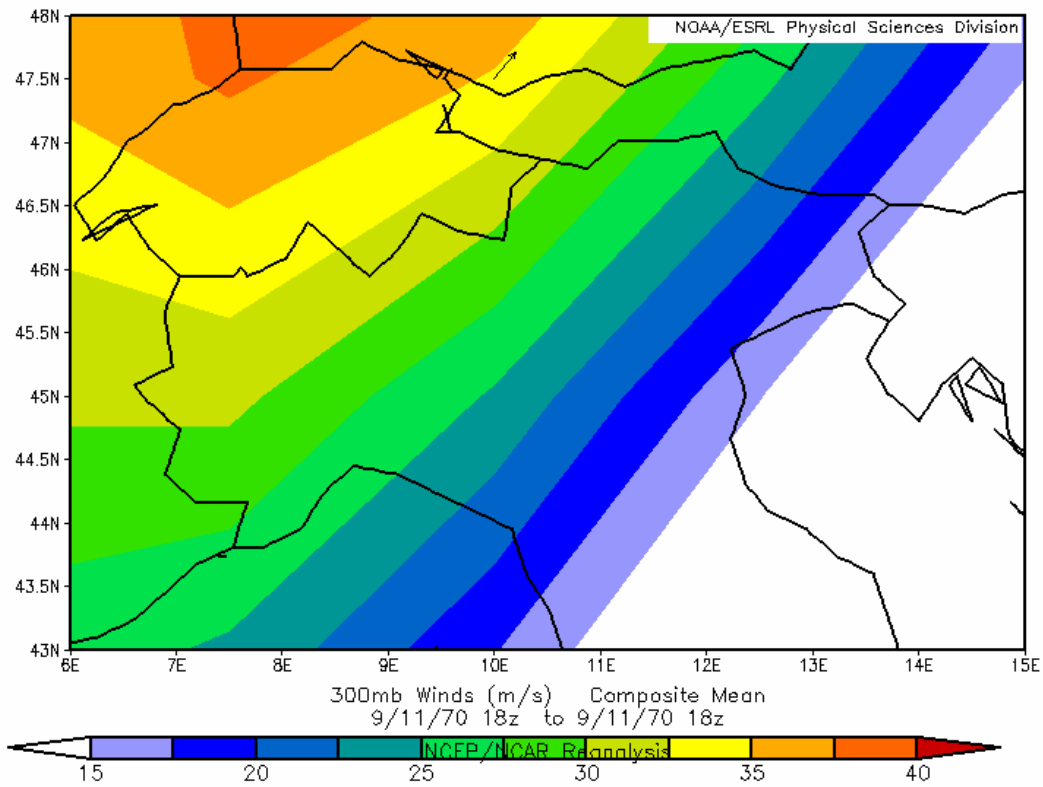


Fig. 1.38 - Analisi nel campo del vento sul piano isobarico di 300 hPa dell'11 settembre 1970 ore 20 locali

Venti 300hPa (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 12:00z Wed 08 Jul 2015

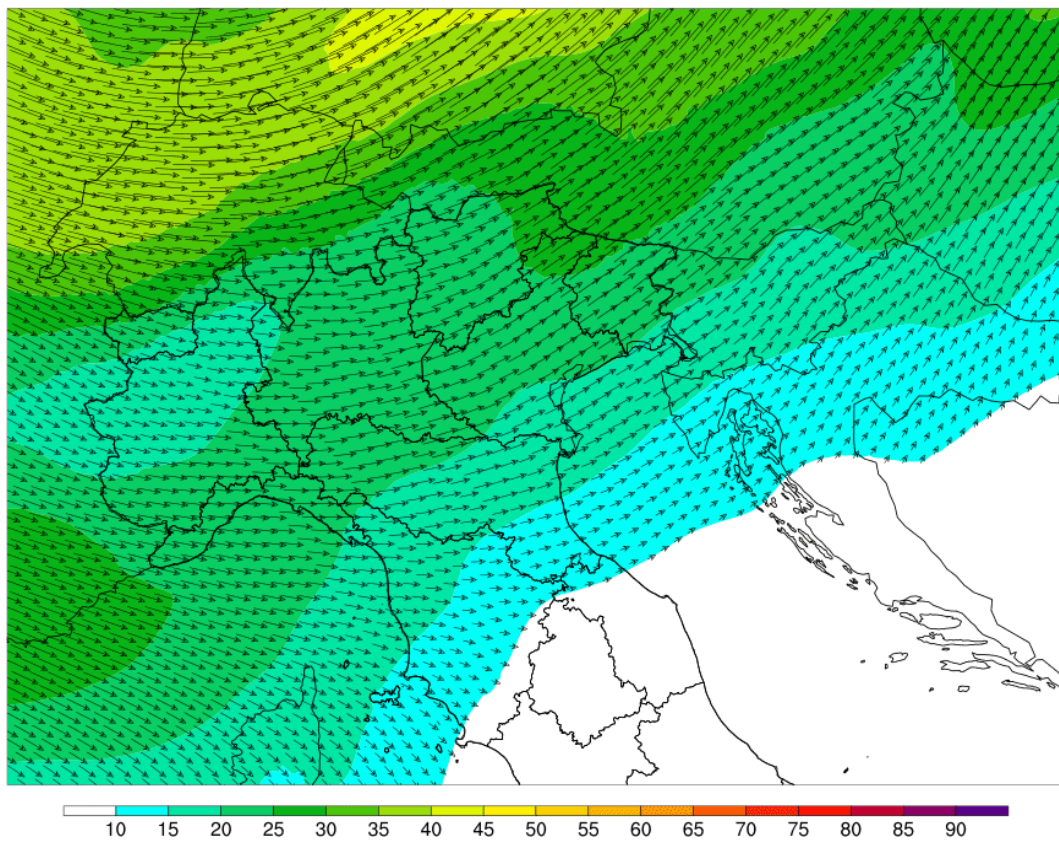


Fig. 1.39 - Analisi nel campo del vento sul piano isobarico di 300 hPa dell'8 luglio 2015 ore 14 locali

Nel caso del 1970 si nota una componente del flusso in alta troposfera leggermente più meridionale, ma in ogni caso le due dinamiche possono essere considerate assai simili. Peraltro non è infrequente l'occorrenza di tempo severo sul comparto veneto con i massimi del getto d'alta quota in corrispondenza dell'arco alpino o immediatamente più a nord. Occorre inoltre tener conto dello sfasamento stagionale tra i due eventi, dal momento che nella fase di inizio autunno meteorologico normalmente le saccature in quota di provenienza atlantica o nord europea tendono statisticamente ad affondare a latitudini più meridionali rispetto al periodo di piena estate, allorquando lo storm track atlantico scorre mediamente più a nord.

La Fig. 1.40 e la Fig. 1.41 sono invece riferite rispettivamente alla situazione alle ore 14 locali dell'11 settembre 1970 sul piano isobarico di 500 hPa, derivata dall'analisi NOAA/NCEP, e a quella delle ore 14 locali dell'8 luglio 2015, sempre relativa al piano isobarico di 500 hPa, in base all'analisi WRF MeteoNetwork 5 km, nella quale è presente anche la situazione al suolo. Limitatamente alle condizioni presenti sul livello isobarico di 500 hPa, si notano analogie tra i due eventi, con la presenza in entrambi i casi di un flusso sud-occidentale a spiccata curvatura ciclonica davanti ad un asse di saccatura di origine nord-atlantica che evolve verso levante.

Nel caso del 1970 si nota una direzione sud-occidentale più franca delle correnti a causa di un maggiore sbilanciamento verso ovest della saccatura in quota, la quale affonda con più convinzione in direzione di Francia e penisola iberica laddove si riscontra l'asse della saccatura stessa. Nel 2015 la traiettoria delle correnti è più da W-SW a causa di un asse di saccatura che è dislocato più ad est rispetto al 1970 e che affonda essenzialmente sull'Europa centrale abbordando la fascia alpina.

Nonostante si sia in presenza di correnti cicloniche sud-occidentali in entrambe le circostanze, nel caso del settembre 1970 l'avvezione di vorticità positiva appare di magnitudine superiore configurandosi in una struttura più tipicamente di inizio autunno, tuttavia in occasione del luglio 2015 i gradienti di geopotenziale appaiono più accentuati stante una maggiore tenuta ed incisività in latitudine di un promontorio anticiclonico subtropicale in posizione classica estiva.

Nel settembre 1970 si può considerare la situazione più incline a determinare episodi di instabilità più diffusa e persistente con attività temporalesca in grado di coinvolgere la quasi totalità dell'Italia settentrionale. Nel luglio 2015 la sinottica appare più propensa ad apportare una fase instabile di breve durata e ad interessare essenzialmente il nord-est, con episodi temporaleschi più localizzati ma talora più intensi.

Il fatto che in entrambe le circostanze si siano verificati eventi temporaleschi severi con innesco di temporali a supercella e tornado prescinde sostanzialmente dalle pur lievi differenze riscontrabili in media ed alta troposfera, trovando maggiore giustificazione nelle dinamiche verificatesi alla mesoscala e figlie delle condizioni presenti nei bassi strati.

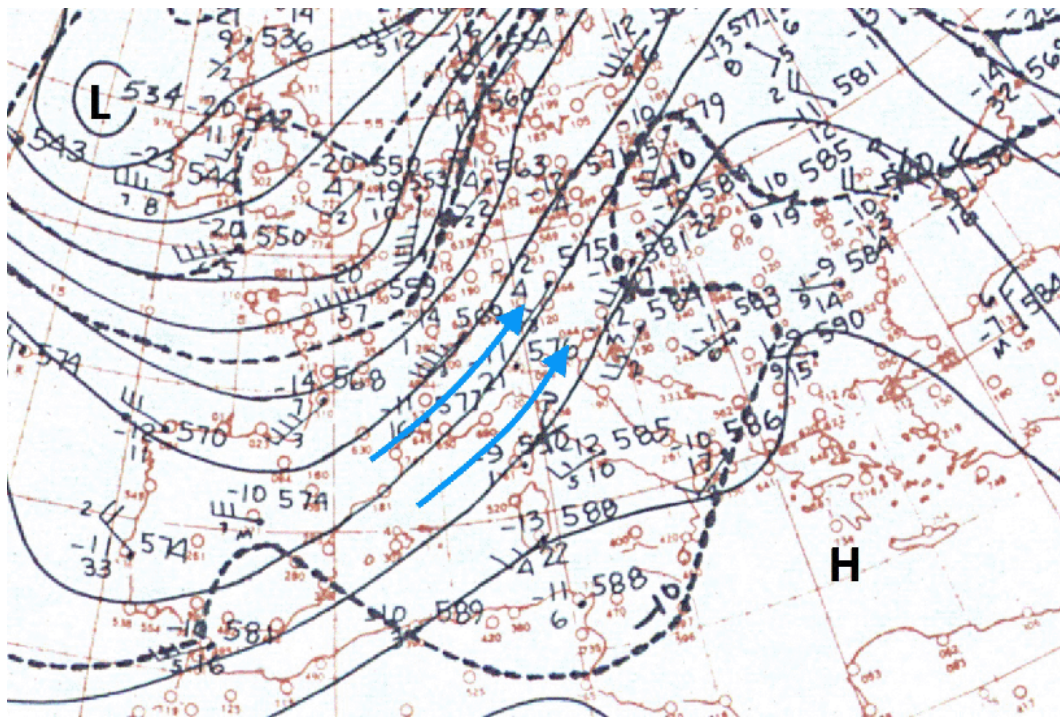


Fig. 1.40 - Analisi nel campo del geopotenziale a 500 hPa dell'11 settembre 1970 ore 14 locali

Pressione SLM (hPa) e Geopotenziale 500hPa (dam)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 12:00z Wed 08 Jul 2015

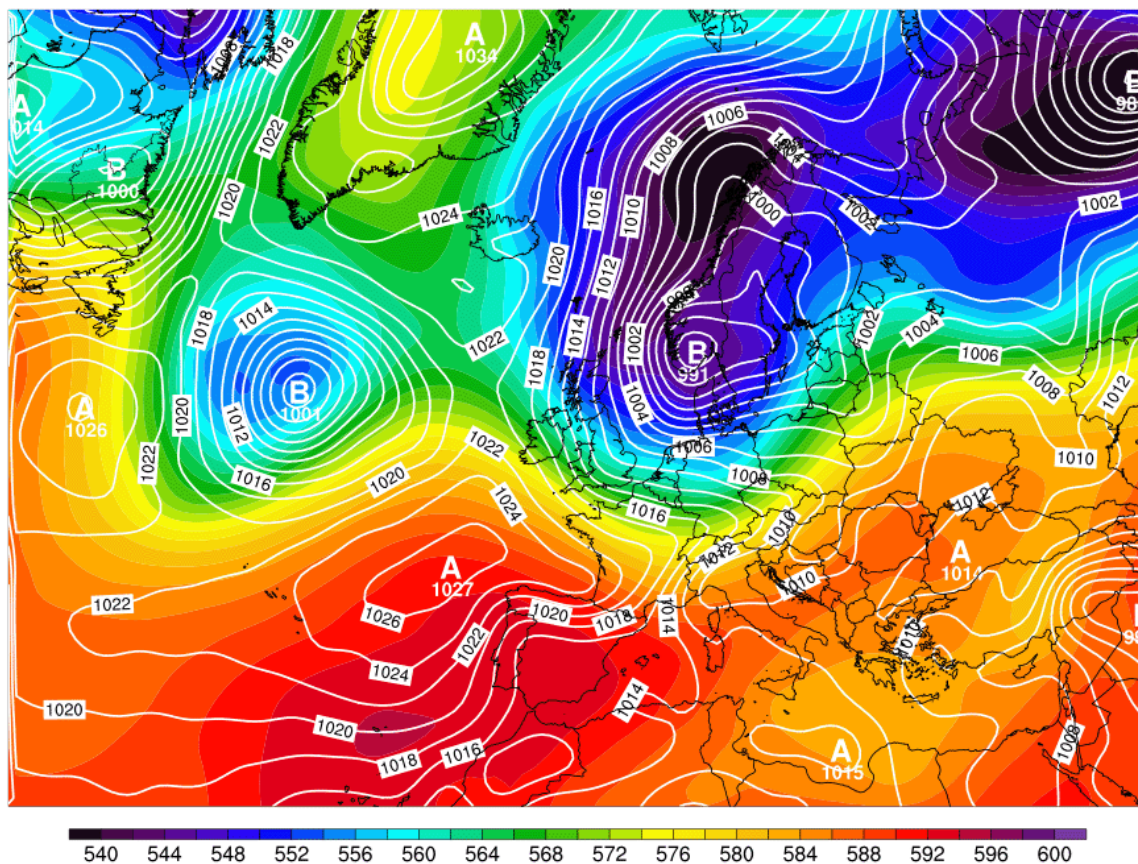


Fig. 1.41 - Analisi nel campo del geopotenziale a 500 hPa e pressione al suolo dell'8 luglio 2015 ore 14 locali

La Fig. 1.42 e la Fig. 1.43 riguardano l'analisi del campo del vento sulla superficie isobarica di 500 hPa rispettivamente alle ore 20 locali dell'11 settembre 1970 ed alle ore 17 locali dell'8 luglio 2015. Nel primo caso si ripropone una reanalisi NCEP/NCAR, mentre in merito all'8 luglio 2015 il riferimento è sempre al WRF MeteoNetwork 5 km.

Gli aspetti che rendono affini le due analisi, così come occorso per la situazione a 300 hPa vista inizialmente, sono ancora una volta relative ad un vivace flusso sud-occidentale che si innesca su una saccatura nord atlantica in avanzamento da ovest ed i cui massimi di intensità si riscontrano ancora una volta oltralpe (oltre 30 m/s), specie nel caso del luglio 2015, e con valori che sul Veneto risultano compresi tra i 20 ed i 24 m/s (40-45 nodi circa).

Ancora una volta nel caso del 1970 la componente del flusso è più spiccatamente meridionale, mentre nel 2015 prevale una direzione essenzialmente da W-SW, legata a quanto affermato in merito all'analisi della topografia di geopotenziale sul medesimo piano isobarico. In ogni caso alcune analogie con le due situazioni indicate sono evidenti.

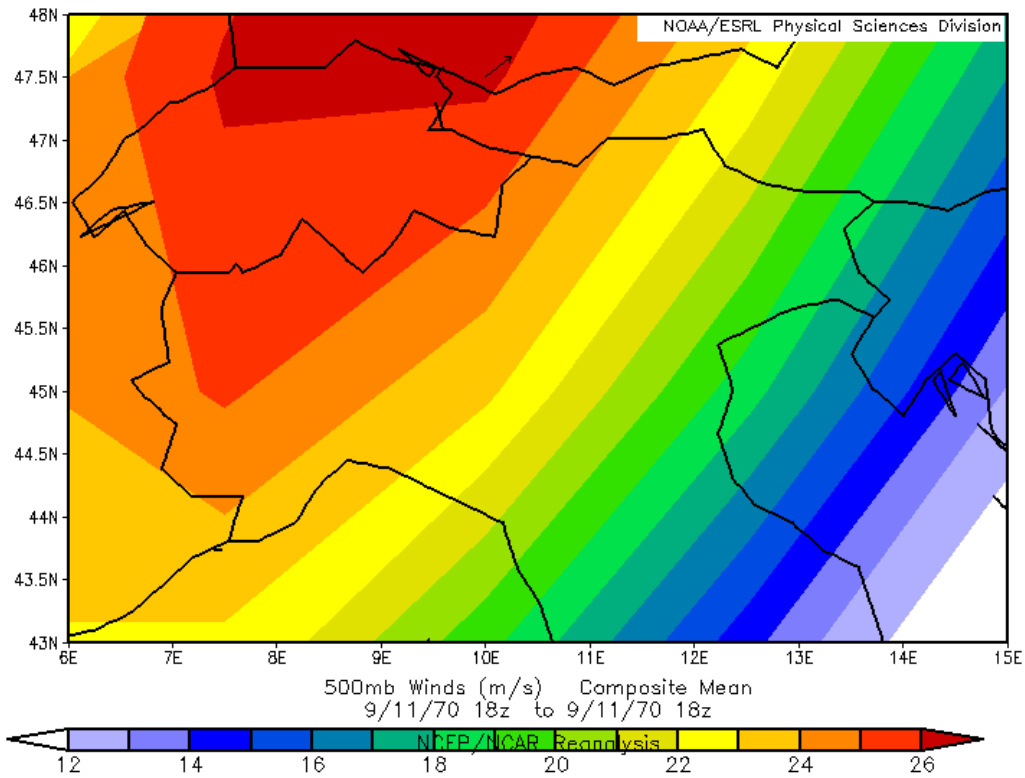


Fig. 1.42 - Analisi nel campo del vento sul piano isobarico di 500 hPa dell'11 settembre 1970 ore 20 locali

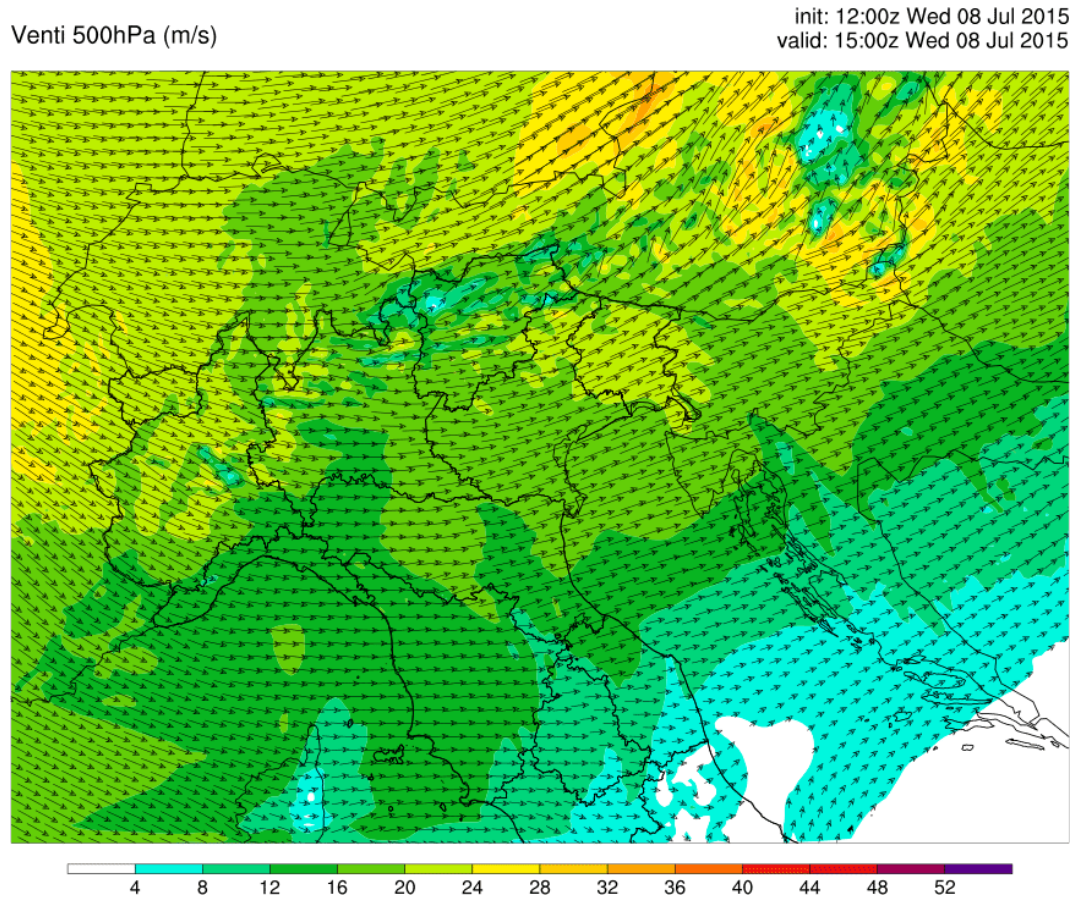


Fig. 1.43 - Analisi nel campo del vento sul piano isobarico di 500 hPa dell'8 luglio 2015 ore 17 locali

Analogie al suolo

In base alle analisi dell'epoca, in merito alla giornata dell'11 settembre 1970, è possibile eseguire un parallelo con la corrispondente situazione al suolo venutasi a creare l'8 luglio 2015, poco prima dell'evento tornadico. La Fig. 1.44 concerne l'analisi al suolo delle ore 17 locali dell'11 settembre 1970 (fonte: *Il tornado di Venezia dell'11 settembre 1970*, G. Formentini), mentre la Fig. 1.45 è riferita all'analisi al suolo delle ore 16 locali dell'8 luglio 2015 (fonte: IMGW Vera Analysis). Sebbene con qualche distinzione, le due analisi mostrano alcuni elementi in comune, i quali possono essere così sintetizzati:

1) Presenza di un'articolata area depressionaria sull'Italia settentrionale; in entrambi i casi si nota la chiusura di due minimi ben distinti, di cui uno sulla Pianura Padana occidentale ed un secondo su quella orientale al confine con la costa dell'alto Adriatico. Entrambi sono legati alla complessa orografia della zona che interagisce con l'avanzare verso levante della saccatura in quota, presente in entrambe le circostanze.

2) In merito al minimo presente sul nord-est, si nota una chiusura più a nord nel 2015 (tra padovano, veneziano e delta del Po) e leggermente più a sud nel 1970 (tra ferrarese e ravennate), ma ciò è del tutto compatibile con un affondo leggermente più meridionale della saccatura in quota attiva l'11 settembre 1970. Tuttavia, nel caso del 1970 assunse una maggiore rilevanza la presenza di un'ansa ciclonica derivata dal minimo chiuso tra Piemonte e Lombardia che avanzò fin verso il veronese ed il padovano, attivando una convergenza di basso livello tra flussi meridionali o sud-occidentali più caldi provenienti dall'Emilia Romagna e correnti fresche in rientro da nord-est attraverso Friuli ed alto Veneto, un fattore sicuramente importante nella determinazione degli eventi successivi. In base a ciò, nel 1970 l'innesco del sistema convettivo responsabile del tornado avvenne effettivamente più a sud in prossimità dei Colli Euganei, mentre nel 2015 il sistema avanzò dal comparto vicentino essendosi formato più a nord. In entrambi i casi la severa fenomenologia, inclusa la tornadogenesi, andò ad attivarsi sul confine settentrionale dei minimi alla mesoscala presenti, laddove maggiore fu l'interazione tra le correnti sud-occidentali calde e secche (dry line), flussi orientali o sud-orientali marittimi ed assai umidi in ingresso dal mare Adriatico e correnti fresche in discesa da nord-est.

3) In entrambe le analisi si nota un aumento della pressione sulle Alpi orientali ed in direzione del Friuli, dovuto all'ammassamento di aria più fredda sui comparti montuosi nord-orientali, evenienza tipica di evoluzioni sinottiche di questo tipo, ovvero aria fredda che tende a dilagare verso SW in direzione dei rispettivi minimi barici chiusi al suolo. Tale aspetto si coglie meglio nell'analisi dell'11 settembre 1970, quando i maggiori centri barici appaiono leggermente sfasati verso sud rispetto all'8 luglio 2015, e quindi con l'azione dell'aria fresca proveniente da nord-est leggermente più incisiva. Tuttavia pure nel 2015, tra le ore 16 e le ore 17 locali, si ebbe un aumento della pressione nelle medesime aree, in parte dovuto agli outflow di celle temporalesche innescatesi sull'area alpina e prealpina, ed in parte all'azione sinottica dell'aria fredda in sconfinamento da nord-est dopo aver aggirato la chiostra alpina. Anche sotto questo aspetto le analogie tra i due eventi sono tutto sommato apprezzabili.

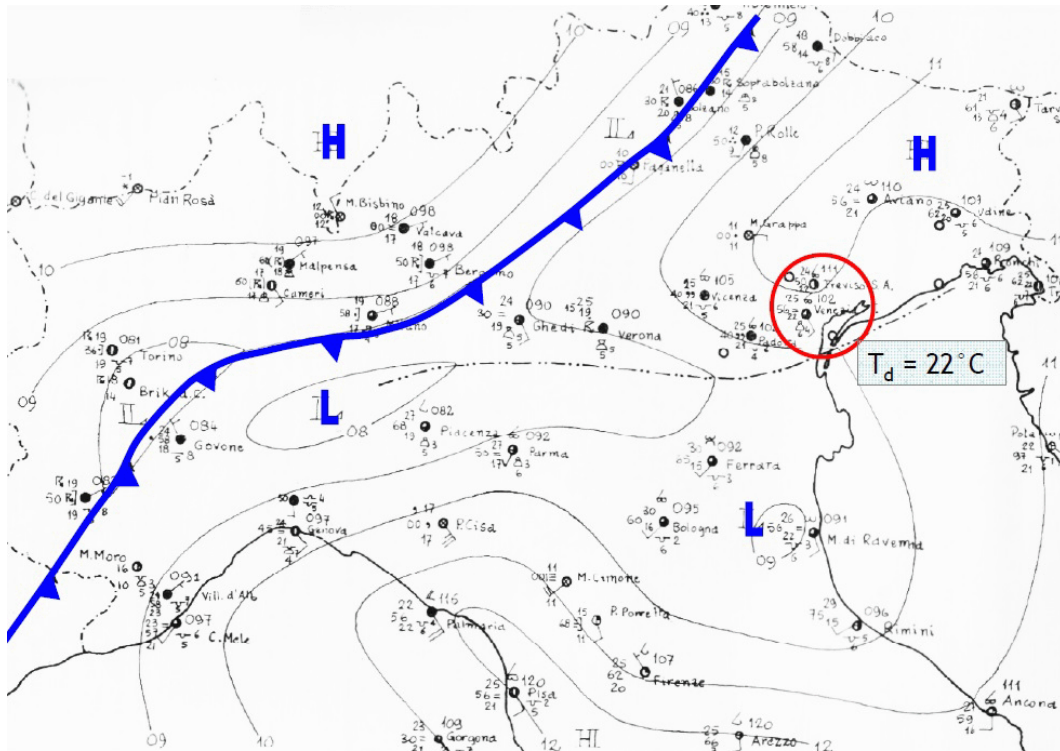


Fig. 1.44 – Analisi al suolo dell'11 settembre 1970 ore 17 locali

Mittwoch, 08. Juli 2015, 14:00 UTC, Alpenraum (16 km Gitter)

Reduzierter Luftdruck (Isolinien), Einheit: hPa [1], Beobachtungen: 555, Symbol: +, Min: 1001.46, Max: 1016.84, μ : 1008.27, σ^2 : 12.87
 10 m Wind (Pfeile), Einheit: m/s, Beobachtungen: 561, Symbol: o, Min: 0.05, Max: 9.02, μ : 3.22, σ^2 : 4.42

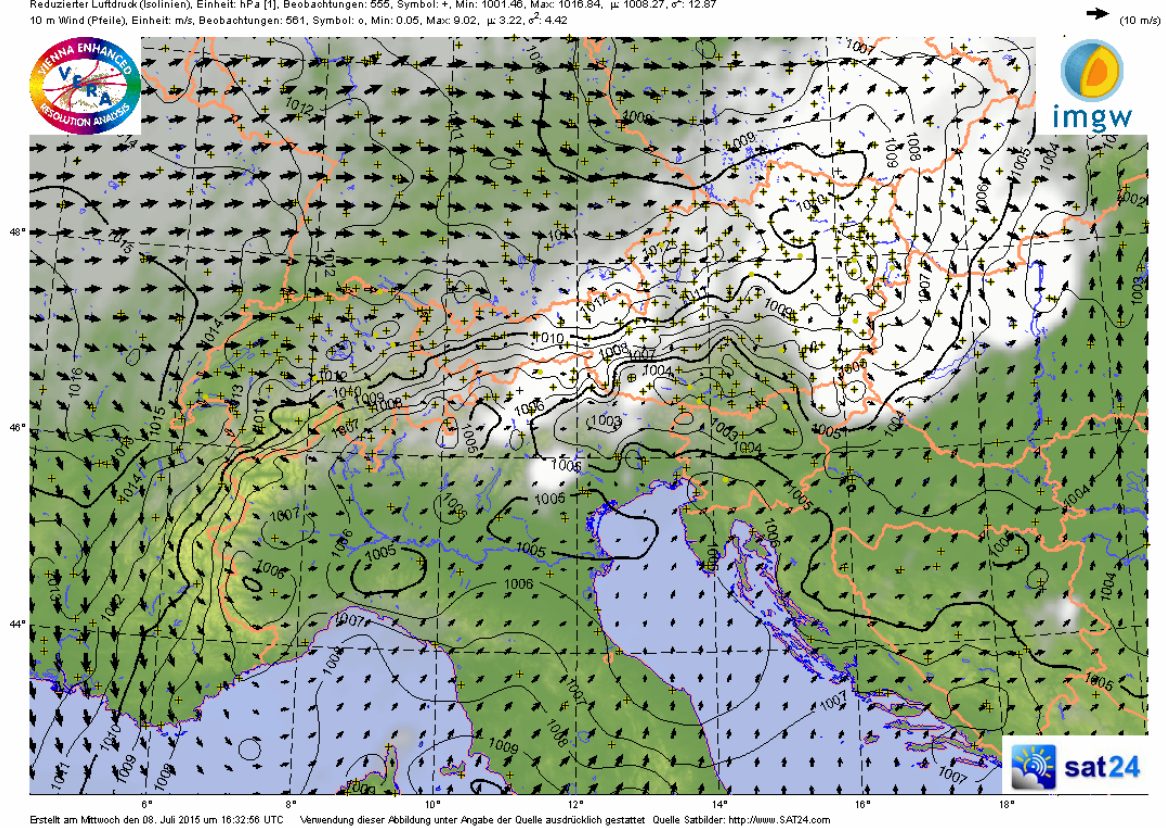


Fig. 1.45 – Analisi al suolo dell'8 luglio 2015 ore 16 locali

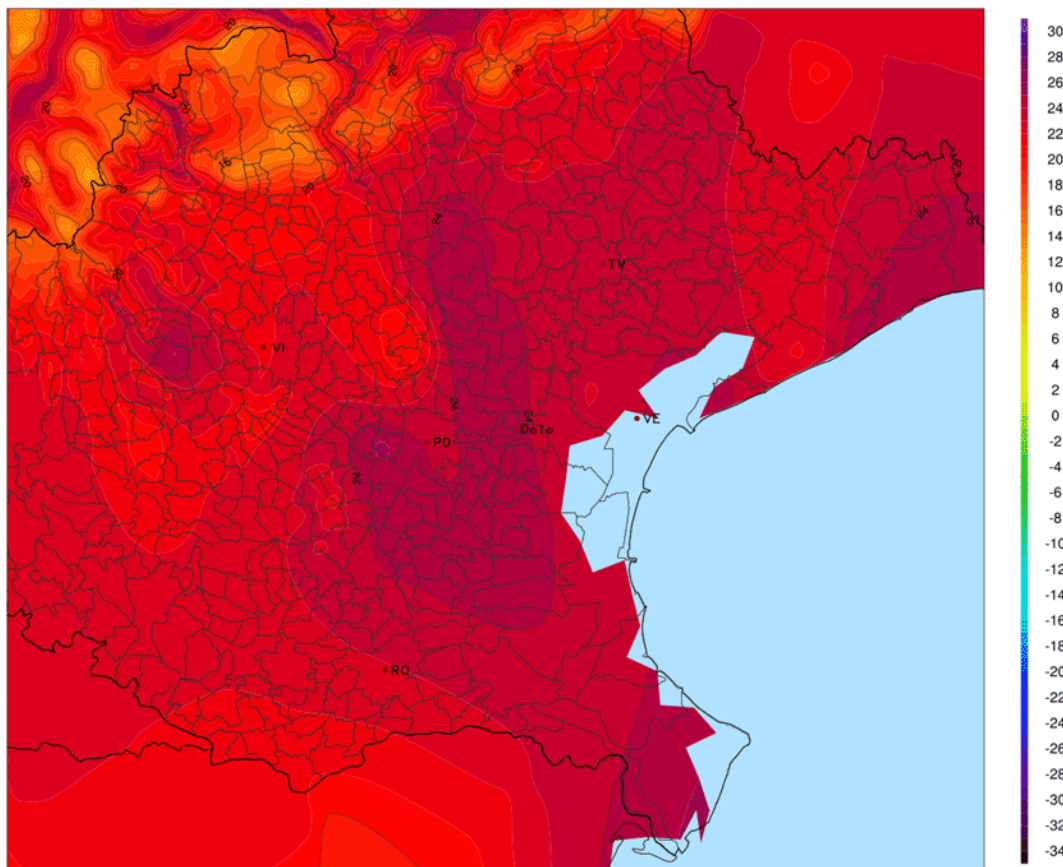


Fig. 1.46 – Analisi al suolo nel campo del dew point dell'8 luglio 2015 ore 16.50 locali

Interessante appare anche il confronto relativo ai valori di temperatura di rugiada (Fig. 1.44 per il 1970, Fig. 1.46 per il 2015): in prossimità di entrambi gli eventi tali valori sono molto elevati, soprattutto in direzione della pianura veneta orientale e della fascia costiera veneziana a causa dell'afflusso di aria assai umida di origine marittima proveniente dall'Adriatico e richiamata dalla presenza dei rispettivi minimi barici al suolo.

L'11 settembre 1970 si nota un valore di dew point pari a 22°C (Fig. 1.44), assai elevato per il periodo autunnale ma non infrequente, dal momento che proprio nella stagione autunnale la superficie del mare presenta i valori termici più elevati di tutto l'anno. L'8 luglio 2015 si rilevano valori compresi tra 22 e 24°C, anche in questo caso correlati ad un flusso orientale marittimo molto umido ed anche caldo, essendo in atto un'importante avvezione di aria sub-tropicale di estrazione nord-africana.

Considerato lo sfasamento stagionale tra i due episodi, si possono considerare entrambe le situazioni ugualmente rappresentative della presenza di aria molto instabile nei bassi strati, certamente in grado di supportare convezione profonda e prolungata, verificabile per l'8 luglio 2015 anche dagli alti valori di CAPE ed altri indici termodinamici e di stabilità.

2. ANALISI TERMODINAMICA E DI STABILITÀ ATMOSFERICA

di Pierluigi Randi e Alberto Gobbi

Il radiosondaggio consente di rilevare lungo un profilo verticale, fino a circa 30 km di altezza, i vari parametri meteorologici (pressione, temperatura, umidità, vento) mediante una radiosonda agganciata ad un pallone che viene rilasciato in atmosfera. Si ha così la possibilità di quantificare l'instabilità e la variazione dei venti in intensità e direzione (wind shear) nei vari livelli troposferici e di monitorare il comportamento di un'ipotetica particella d'aria nel suo moto verso l'alto, grazie anche alla definizione di opportuni indici termodinamici, buona parte dei quali sono stati concepiti negli Stati Uniti. Tutte le elaborazioni sono state eseguite con l'ausilio del software RAOB (RAwinsonde OBServation program).

Le analisi relative alla predisposizione della troposfera a fenomeni temporaleschi sono state condotte mediante radiosondaggi reali delle stazioni aerologiche di Milano (16080 LIML) e di Udine (16044 LIPD). Purtroppo, quest'ultimo è incompleto ma, ad ogni modo, sulla base del modello WRF MeteoNetwork, inizializzato alle ore 12Z, è stato simulato un radiosondaggio riferito alla località di Santa Maria di Sala (VE) delle ore 16 locali, ritenuta rappresentativa delle condizioni instauratesi nel pomeriggio dell'8 luglio 2015. Si deve infatti tener conto della notevole distanza delle due stazioni succitate rispetto all'area colpita dalla supercella tornadica, ma anche dell'orario del radiosondaggio considerata la rapida evoluzione degli eventi.

2.1 Analisi degli indici termodinamici

Nei giorni immediatamente precedenti l'8 luglio 2015 l'Italia è stata interessata da un'invasione di aria calda nord africana la cui peculiarità è quella di aumentare l'instabilità termodinamica, in quanto l'aria che affluisce da un'area desertica verso le medie latitudini è, in genere, calda, secca e sostanzialmente ben rimescolata sulla verticale grazie agli alti valori di temperatura che si registrano nei luoghi di origine. Ciò significa che la differenza di temperatura tra le diverse quote della troposfera è più marcata e ciò comporta un raffreddamento piuttosto veloce salendo di quota (circa 10°C/km, profilo termico adiabatico), cosa che di per sé predispone all'instabilità. Tuttavia, in mancanza di un sufficiente contenuto di umidità, la situazione rimane tranquilla.

Così non accade dopo che la massa d'aria, spostandosi verso nord, ha subito una forte umidificazione nei bassi strati, scorrendo su un lungo tratto del mar Mediterraneo che, oltretutto, specie in piena estate, è più freddo rispetto all'aria che stazionava sopra le terre del Nord Africa. Inoltre, il tipico PBL padano nella stagione estiva è molto dilatato e caratterizzato da aria calda ed umida, sulla quale però scorre aria ancora più calda e secca. In definitiva, si avrà al suolo uno strato d'aria caldo e molto umido, sovrastato da uno strato potenzialmente più caldo, cioè da un'inversione termica, ma la cui temperatura cala rapidamente con la quota. Inoltre, nella giornata in esame, si è verificata anche una discontinuità termica orizzontale in corrispondenza del boundary, come osservato nel precedente capitolo. L'atmosfera acquisisce, quindi, un livello elevato di energia potenziale grazie all'accumulo di vapore acqueo nei bassi strati, dov'è costretto a rimanere per via dell'inversione che impedisce il rimescolamento verticale. L'intenso riscaldamento solare poi, tipico dell'estate, fornisce quella parte aggiuntiva di energia necessaria alla rottura dell'inversione termica presente in quota.

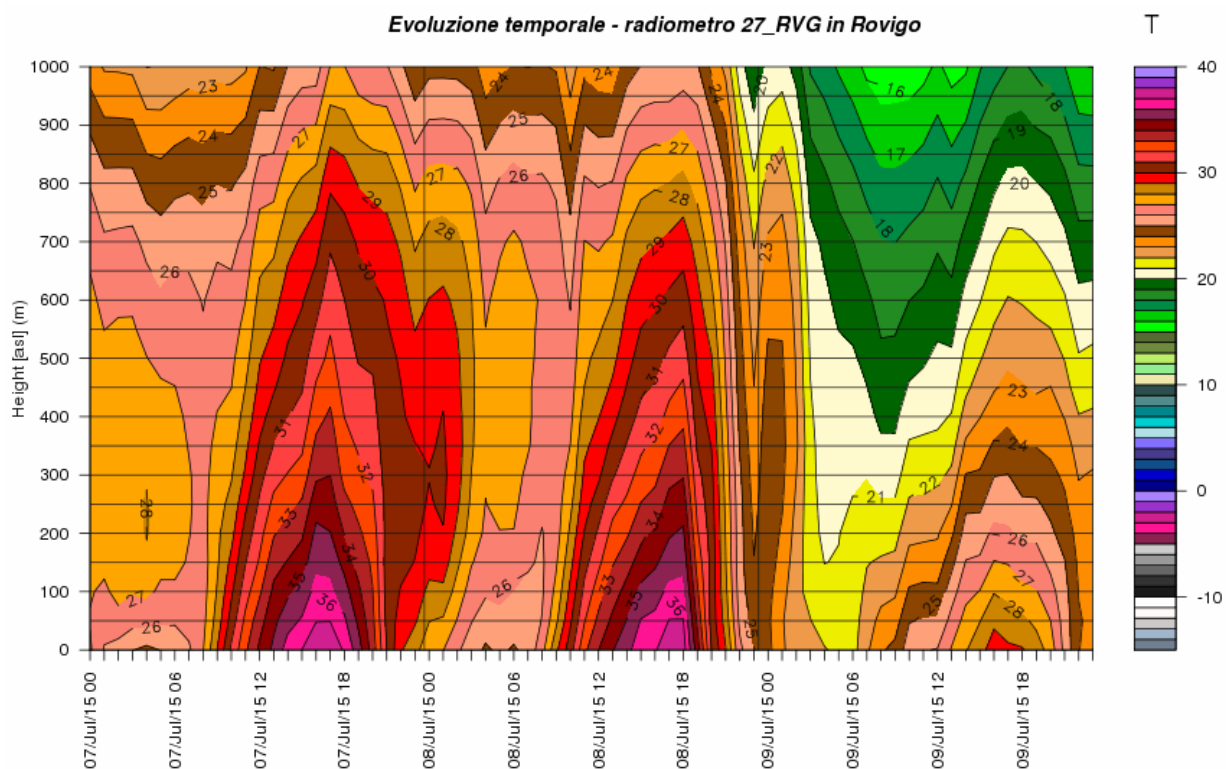


Fig. 2.1 - Variazione nel tempo (ora solare) del profilo verticale di temperatura a Rovigo rilevato dal radiometro dell'ARPAV

La dilatazione pomeridiana del PBL verso l'alto, dovuta al riscaldamento diurno, è evidente in Fig. 2.1 fino al transito del fronte freddo avvenuto la sera dell'8 luglio. Nei pomeriggi estivi, i moti turbolenti rendono instabile il PBL sulla pianura riducendone i valori di CIN (Convective Inhibition, energia che inibisce i moti convettivi), invece sul mare le temperature rimangono più basse, per cui si viene a strutturare un PBL meno dilatato unitamente ad uno strato stabile che contribuisce ad elevare i valori di CIN. Nel pomeriggio dell'8 luglio i venti nei bassi strati provenivano dal mare sottoforma prima di brezze e poi di scirocco, per cui i valori di CIN più elevati sul mare sono stati spinti nell'entroterra veneziano (Fig. 2.2). Questo può aver in parte contribuito a ritardare la convezione e quindi a favorire l'accumulo di energia nei bassi strati, anche se in tal senso l'inversione termica in quota ha sicuramente avuto un ruolo di primo piano.

L'inversione termica in quota quasi certamente è stata rotta a partire dai livelli inferiori soprattutto dal forte riscaldamento diurno, e in parte dalle linee di convergenza generatesi a livello del suolo, le quali, in obbedienza alla legge di conservazione della massa, favoriscono i moti ascendenti forzati. Inoltre, l'aumento dell'umidità e l'arrivo di aria più fresca nella media troposfera ha eroso l'inversione anche dai livelli superiori. Ne è scaturita una convezione esplosiva poiché di norma in queste condizioni la gran parte dell'energia potenziale disponibile alla convezione (Convective Available Potential Energy, CAPE) tende a concentrarsi negli strati troposferici più bassi (CAPE 0-3 km), in quanto è dai livelli inferiori, normalmente più umidi, che con maggior facilità partono le termiche, innescate dal riscaldamento del suolo. Questo particolare aspetto riguardò anche l'outbreak tornadico del 3 maggio 2013 in Emilia, poiché pure in quella circostanza era in atto un'importante invasione di aria nord africana. L'entità della rilevante invasione di aria calda subtropicale dell'8 luglio 2015 è confermata dagli elevati valori di alcuni parametri termo-igrometrici concernenti i bassi strati e relativi alla zona interessata dai violenti fenomeni.

CIN (J/kg)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

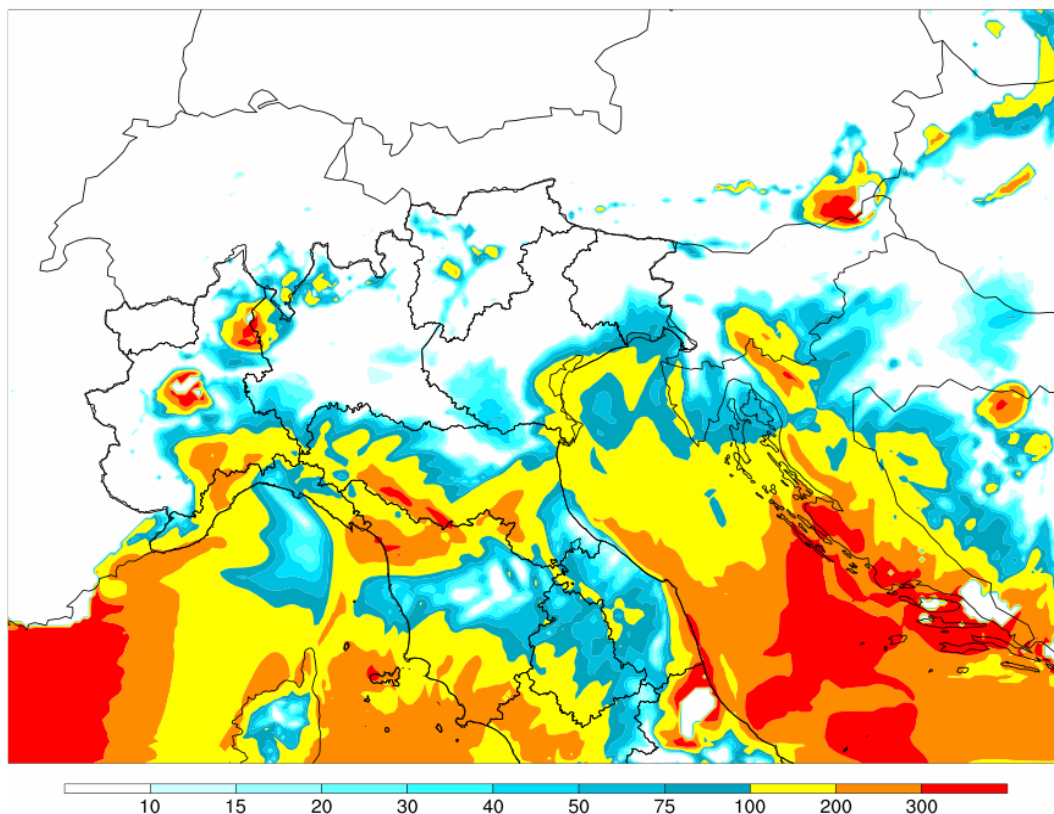


Fig. 2.2 - CIN surface based ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

In mancanza di radiosondaggi effettivi si fa riferimento alla previsione derivata dagli output di modelli fisico-matematici ad area limitata, ma considerati i fenomeni osservati i valori mostrati possono essere ampiamente rappresentativi del quadro reale ed anzi non è da escludere una leggera sottostima.

Una prima idea circa l'entità dell'avvezione calda e umida è fornita dalla temperatura potenziale equivalente, come già osservato nel sottocapitolo 1.2. Valori elevati indicano che l'eventuale quantità di calore latente di condensazione è molto alta, in quanto il vapor acqueo da condensare è presente in grande quantità.

La massa d'aria fatta affluire verso la pianura veneta presentava nelle ore pomeridiane temperature potenziali equivalenti intorno ai 70-72°C con alcuni picchi areali superiori ai 75°C tra padovano e veneziano (Fig. 2.3), indice che l'atmosfera era predisposta ad innescare diffusa attività temporalesca.

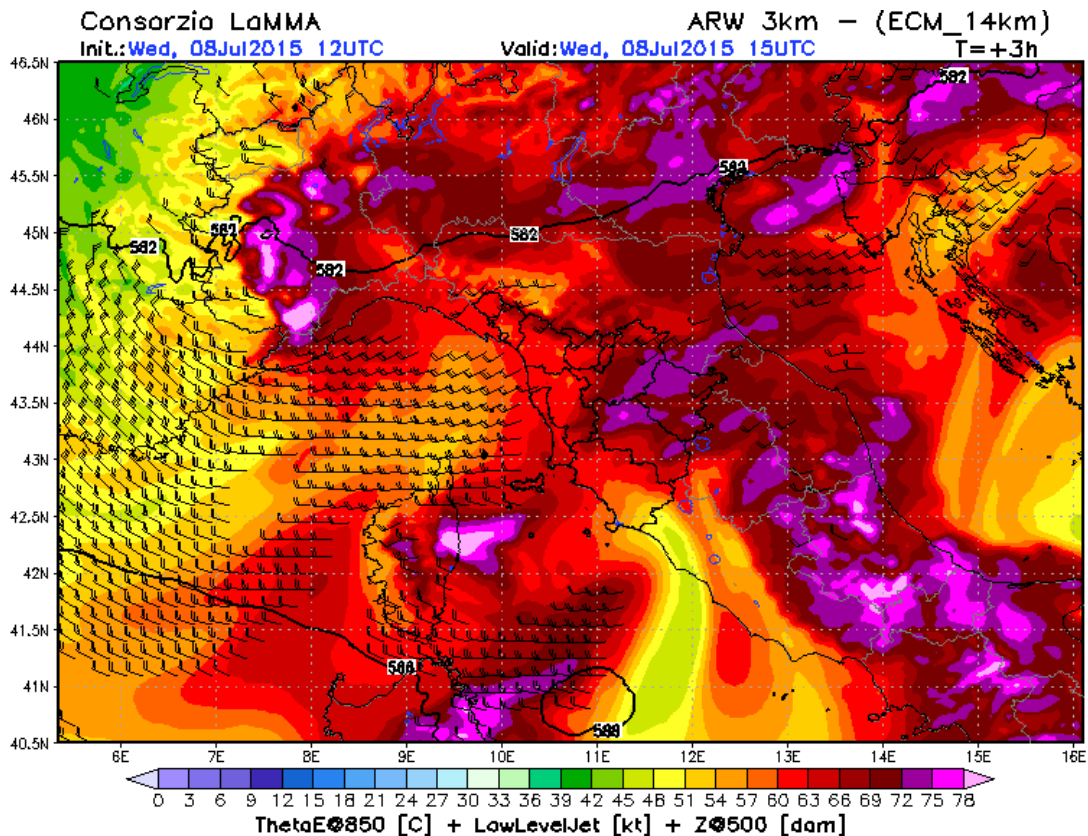


Fig. 2.3 - ThetaE a 850 hPa alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

La stessa invasione di aria molto calda condiziona anche i parametri di energia potenziale convettiva disponibile (CAPE, Fig. 2.4) e di Lifted Index (LI, Fig. 2.5), che sempre nelle ore pomeridiane dell'8 luglio si portano su valori molto elevati e non del tutto consueti anche in situazioni caratterizzate da intense invasioni di aria africana.

L'accumulo nei bassi strati, ed in particolare entro il PBL, di aria calda e molto umida si nota a partire dal rodigino, con valori crescenti di CAPE fino a raggiungere i massimi tra padovano e veneziano dove sono previsti picchi areali superiori a 3000 J/Kg, mentre più a sud venti secchi di foehn appenninico da SW svolgono una funzione parzialmente stabilizzante (Fig. 2.4). Nel frattempo, l'attività convettiva presente sui rilievi determina, tramite la discesa verso i bassi strati di aria fredda (outflow), una diminuzione dei valori di CAPE su buona parte del vicentino.

In pratica, i flussi più freschi da nord e quelli più secchi da sud tendono a delimitare una fascia tra padovano e veneziano, orientata secondo un asse NW-SE, caratterizzata da valori molto elevati di energia disponibile alla convezione. Questa fascia, tuttavia, dipende anche dall'accumulo in loco di masse d'aria umide lungo la linea di convergenza tra venti da SW e da SE che incrementa i moti verticali e, di conseguenza, i valori di CAPE e LI.

Anche nella letteratura scientifica sono riportati incrementi del valore di CAPE in corrispondenza degli outflow boundary (Rasmussen et al., 2000). Si costituisce in tal modo un profilo verticale estremamente instabile in prossimità del boundary di basso livello sulla confluenza tra le correnti secche da SW, quelle umide da SE e gli outflow più freschi in discesa dal quadrante settentrionale, con la dry line che attiva intensi moti verticali alla stessa stregua di un'azione frontale.

Il CAPE è direttamente correlato alla velocità massima potenziale ascendente dell'updraft (W_{max}), espressa in m/s, come mostrato nella seguente relazione, che però è semplificata e non tiene conto di variabili importanti:

$$W_{max} = \sqrt{2CAPE}$$

Per tale motivo, W_{max} spesso sovrastima la reale velocità ascendente di un fattore circa pari a 2. Considerato ciò, con un CAPE di 3000 J/kg, la velocità massima della corrente ascensionale può essere stimata con buona approssimazione a circa 40 m/s, ovvero 145 km/h. Tenendo conto del dato di cui sopra, sebbene approssimativo, e della particolare natura dell'avvezione nord africana, può essere facilmente compresa la convezione praticamente esplosiva ed estremamente repentina che ha caratterizzato l'evento.

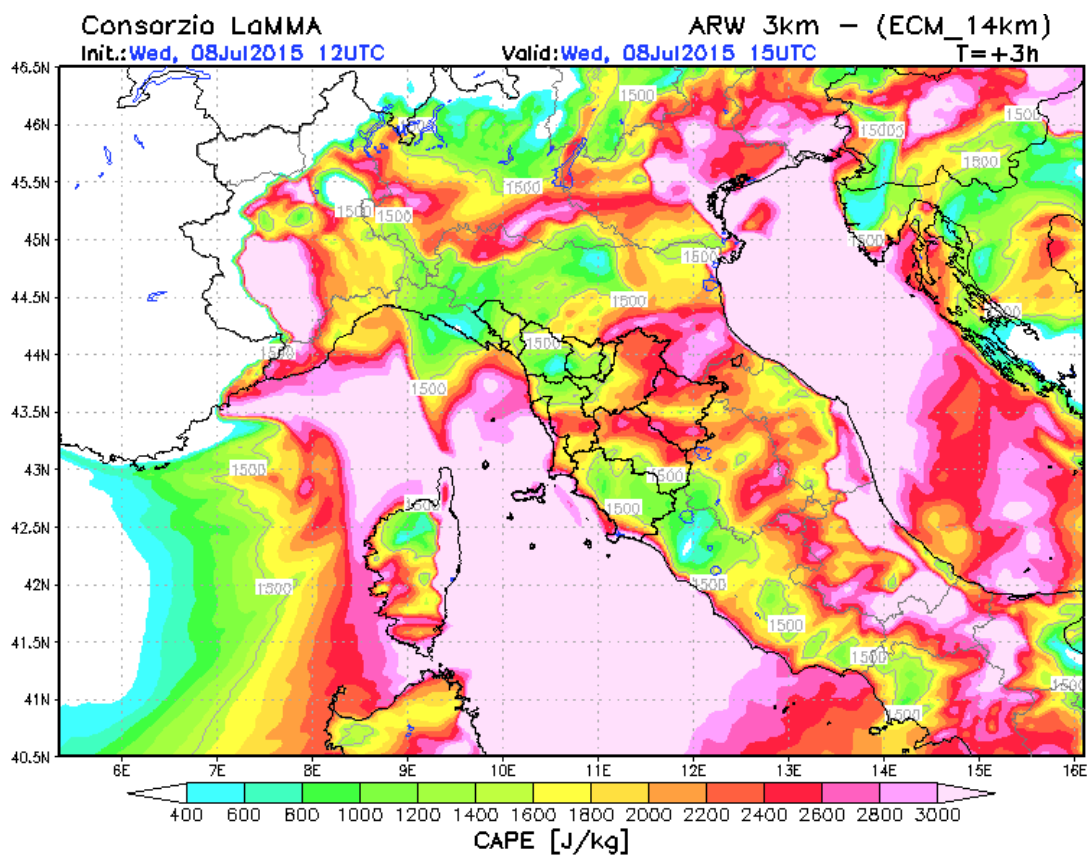


Fig. 2.4 - Valori di CAPE surface based alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

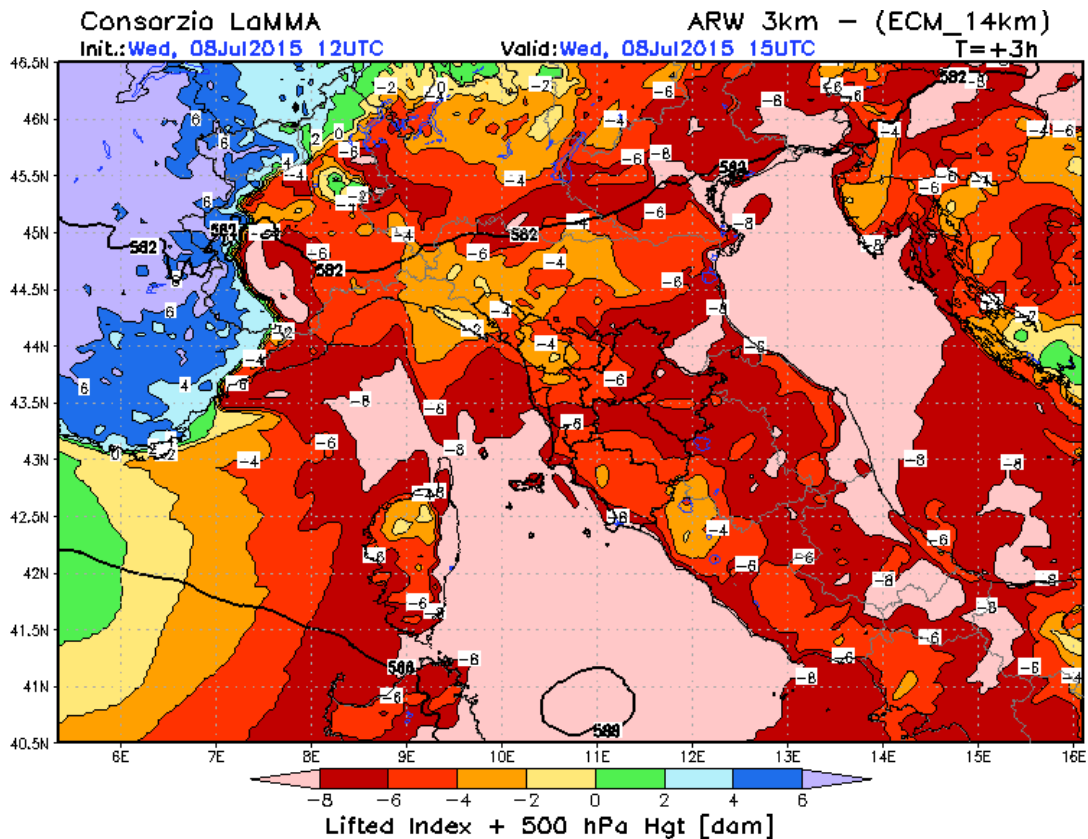


Fig. 2.5 - Valori di Lifted Index alle ore 17 locali. Fonte: WRF Consorzio LaMMA Toscana

I valori previsti di Lifted Index (Fig. 2.5) indicano un profilo termodinamico potenzialmente molto instabile. Non ci sono soglie specifiche che correlino LI all'intensità dei temporali, comunque più l'indice è negativo più l'atmosfera è instabile. La previsione di tale indice mostra, nell'area veneta, valori diffusamente inferiori a -6°C con picchi fino a -8°C tra Padova e Venezia e su tutto l'alto Adriatico e proprio dal mare è stata richiamata verso l'entroterra questo tipo di massa d'aria estremamente instabile. Si ricorda che valori di LI inferiori a -6°C indicano alta probabilità di temporali severi.

Un'ulteriore conferma circa le condizioni di alto potenziale instabile, presenti nel pomeriggio in esame, provengono dai valori rilevati di umidità specifica che consiste nel rapporto tra la massa del vapore acqueo e la massa dell'aria umida presente in un determinato volume di aria, in pratica la miscela tra aria secca e vapore. Normalmente valori superiori a 15 g/Kg indicano presenza di aria assai umida ed instabile. Alle ore 17 locali valori di umidità specifica molto elevati e prossimi a 20 g/Kg , tipici di forti invasioni sub-tropicali, si riscontrano sul bacino dell'alto Adriatico, dalla costa romagnola fino a quella veneta, con venti in prossimità del suolo orientati da sud-est che provvedono a spingere tali massimi verso la pianura veneta passando per la laguna di Venezia (Fig 2.6).

Mittwoch, 08. Juli 2015, 15:00 UTC, Alpenraum (16 km Gitter)

Spezifische Feuchte (Farbfächer), Einheit: g/kg [1], Beobachtungen: 610, Symbol: +, Min: 5.65, Max: 19.09, μ : 11.54, σ^2 : 10.81

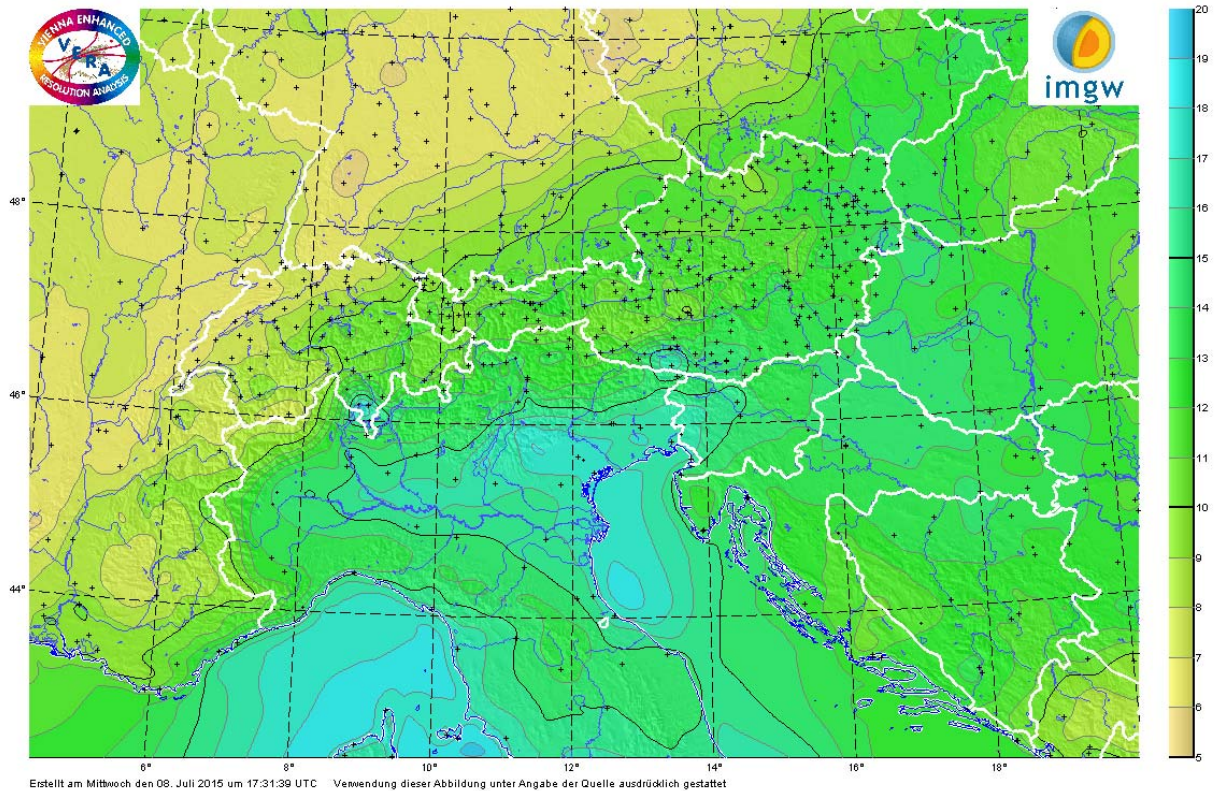


Fig. 2.6 - Valori di umidità specifica alle ore 17 locali. Fonte: IMGW Vera Analysis

La mappa in Fig. 2.7 rappresenta la direzione e l'intensità prevista della corrente caldo-umida di inflow (valore medio dello strato 0-500 metri) che va ad alimentare il temporale: alle ore 17 locali il modello prevedeva sul veneziano un inflow da SE di 14 m/s (circa 50 km/h), un valore certamente significativo anche perché si tratta di un inflow molto umido, come si può intuire dalla mappa di Fig. 2.6.

In Fig. 2.8 è riportata la differenza vettoriale nella velocità del vento tra 500 m e 6 km di quota (0-6 km shear vector), prevista sul veneziano poco oltre i 45 nodi. Si ricorda che valori superiori a 35-40 nodi favoriscono lo sviluppo di updraft inclinati e rotanti.

L'indice BRN shear in Fig. 2.9 è previsto su valori attorno ai $60 \text{ m}^2/\text{s}^2$ che sono teoricamente favorevoli alla genesi di temporali a supercella, in quanto la soglia minima per l'innesco di mesocicloni riportata nella letteratura scientifica è pari a $35\text{-}40 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Nella mappa di Fig. 2.10 l'indice SWEAT (Severe Weather Threat Index) è previsto sfiorare i 400, valore ragguardevole che presuppone un concreto rischio di tornado, in quanto da ricerche statistiche USA è stato calcolato che il valore di 300 è la soglia per intensi temporali e 400 è la soglia per aversi tornado.

Considerando nel loro insieme tutti gli indici appena esaminati, di cui è stata eseguita una selezione ritenuta rappresentativa, è possibile presupporre che l'atmosfera fosse incline alla genesi di mesocicloni, grazie al contemporaneo contributo dello shear del vento (sia in velocità che in direzione) e dell'energia disponibile alla convezione sottoforma di aria caldo-umida nei bassi strati.

Storm Relative Inflow (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

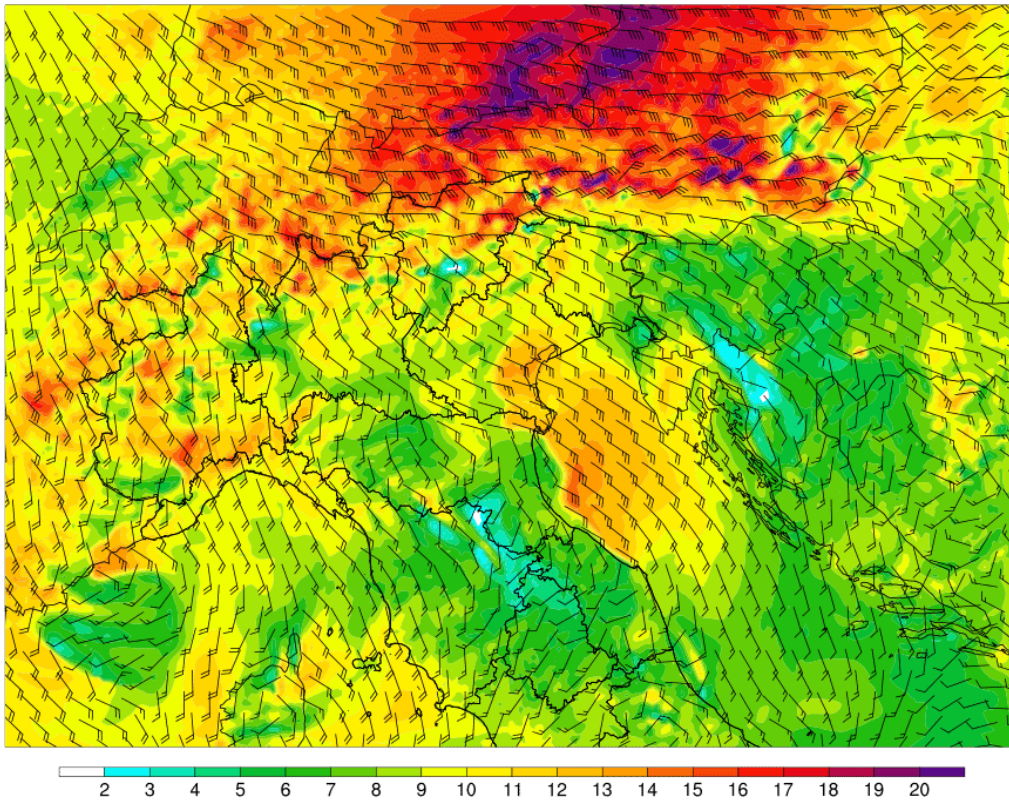


Fig. 2.7 - Storm relative inflow nello strato 0-500 metri ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

Bulk Shear 0-6km (m/s)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

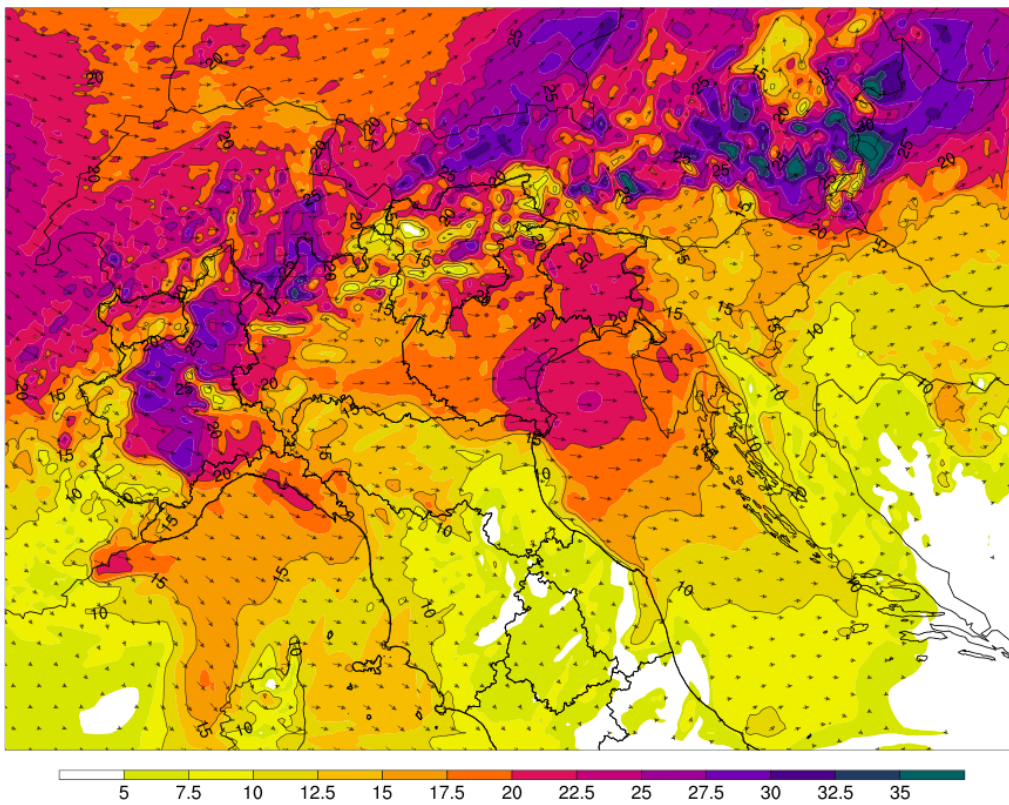


Fig. 2.8 - Shear in velocità 0-6 km ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

BRN SHEAR (m^2/s^2)

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

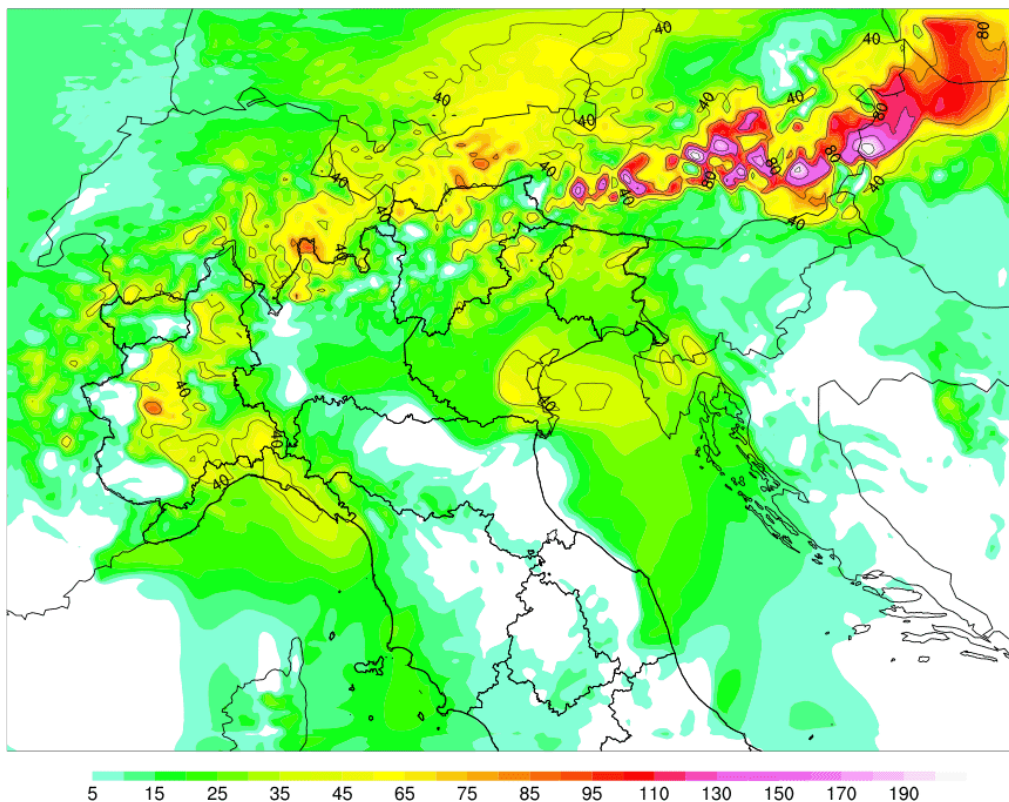


Fig. 2.9 - BRN shear ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

SWEAT INDEX

init: 12:00z Wed 08 Jul 2015
valid: 15:00z Wed 08 Jul 2015

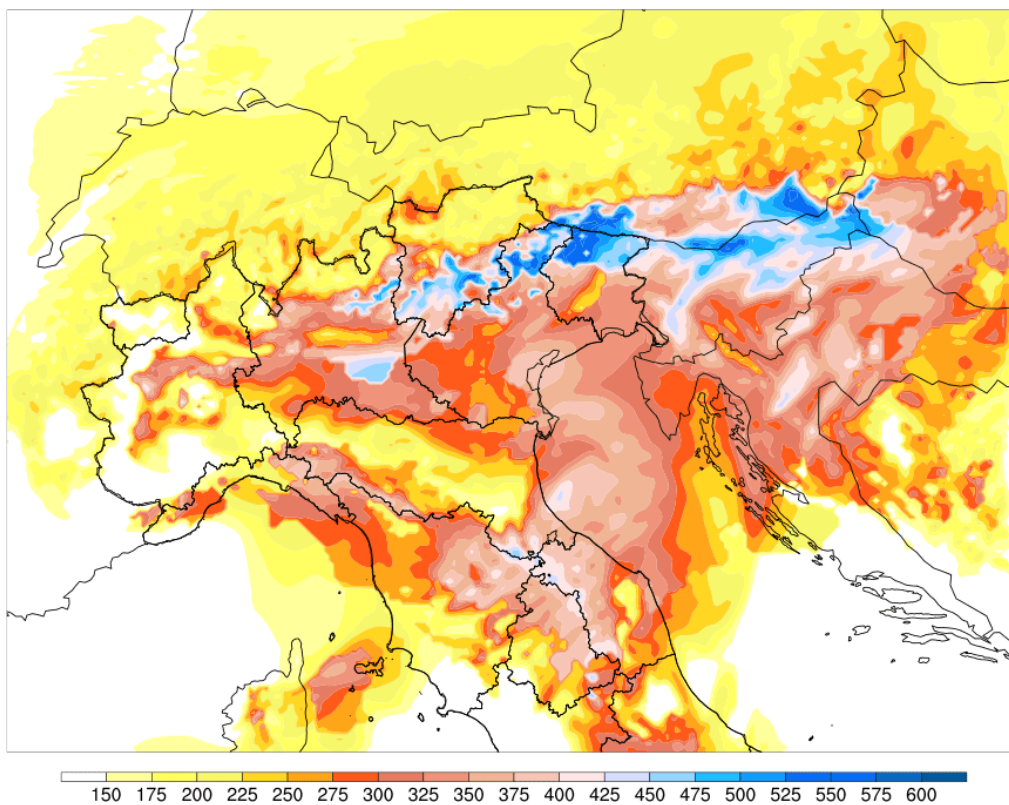


Fig. 2.10 - SWEAT index ore 17 locali. Fonte: WRF MeteoNetwork

2.2 Analisi dei radiosondaggi reali

I dati ottenuti dalle radiosonde sono elaborati per produrre un grafico caratteristico denominato diagramma aerologico. Quello più diffuso è lo Skew T-ln p, così chiamato perchè ha come coordinata verticale la pressione in scala logaritmica, tra il suolo ed il livello di 100 hPa, mentre sulle ascisse si leggono i valori della temperatura. Le isoterme però sono inclinate di 45° verso destra rispetto alle linee orizzontali della pressione. L'andamento della temperatura con la quota è visualizzato dalla linea continua che è la curva di stato. Invece, la linea tratteggiata più a sinistra rappresenta il dew point, ovvero la temperatura Td fino alla quale occorre raffreddare, a pressione costante, una massa d'aria a temperatura T per portarla alla saturazione e quindi alla condensazione. Quanto più forte è il raffreddamento necessario (ovvero quanto più elevata è la differenza T-Td), tanto più la massa d'aria sarà secca: perciò, un dew point vicino alla temperatura reale sottintende aria molto umida (curva di stato e di dew point molto vicine tra loro).

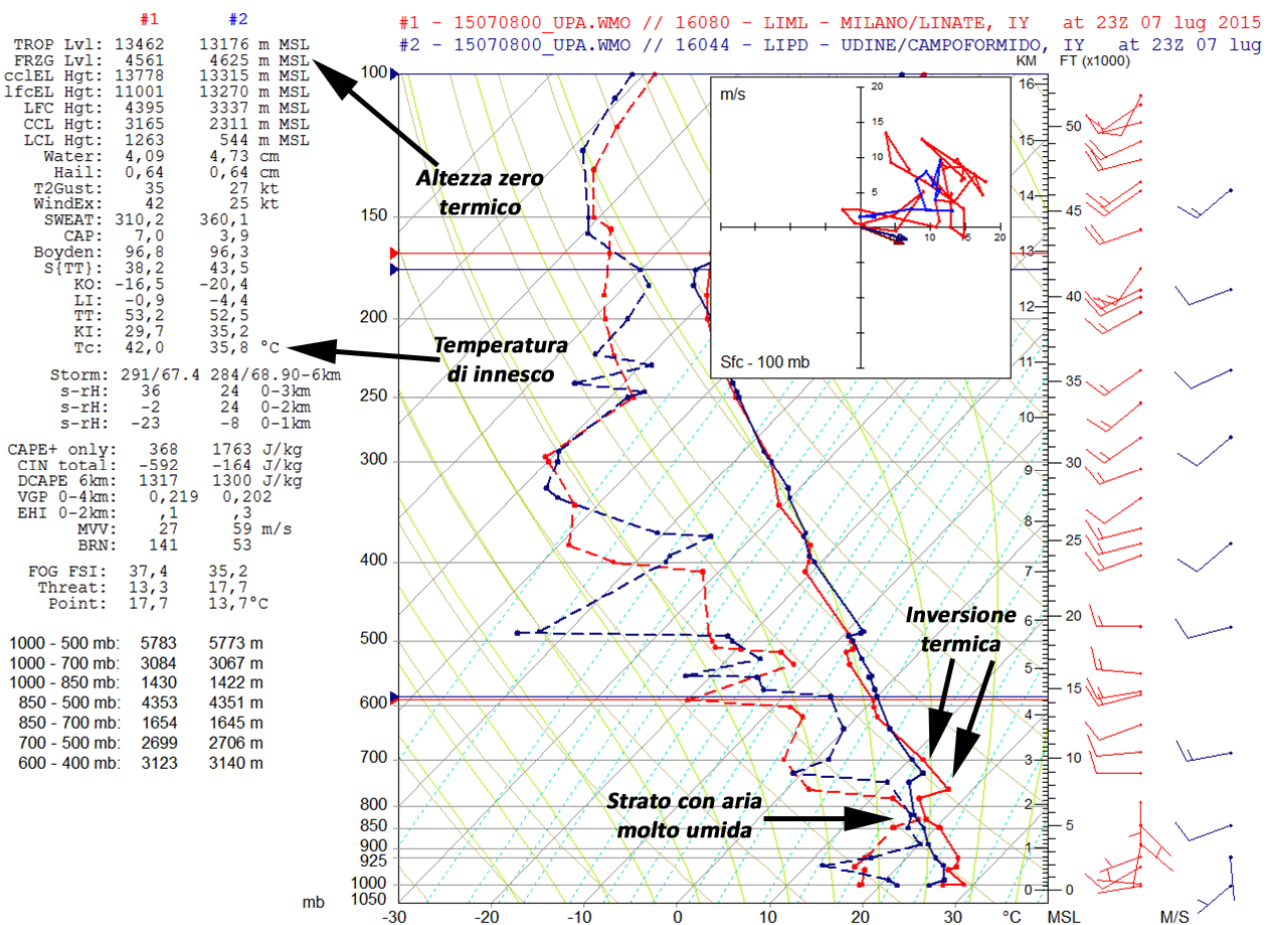


Fig. 2.11 - Confronto tra radiosondaggio di Milano e di Udine delle ore 01.00 locali dell'8 luglio 2015

In Fig. 2.11 è riportato il confronto tra i radiosondaggi reali di Milano e Udine effettuati nella notte tra il 7 e l'8 luglio 2015. Si noti l'umidità concentrata sugli 800 hPa (circa 2000 m di quota) sopra cui si colloca una moderata inversione termica, più accentuata su Milano, oltre la quale comunque l'aria è molto calda.

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 ascensione 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 di Fig. 2.11 appare ancora molto elevata su Milano (42°C), meno su Udine (35.8°C), tenendo anche presente che assume particolare importanza il fatto che essa venga raggiunta con l'effettivo riscaldamento diurno, particolarmente sensibile in considerazione del periodo stagionale e dell'avvezione di aria sub-tropicale in atto.

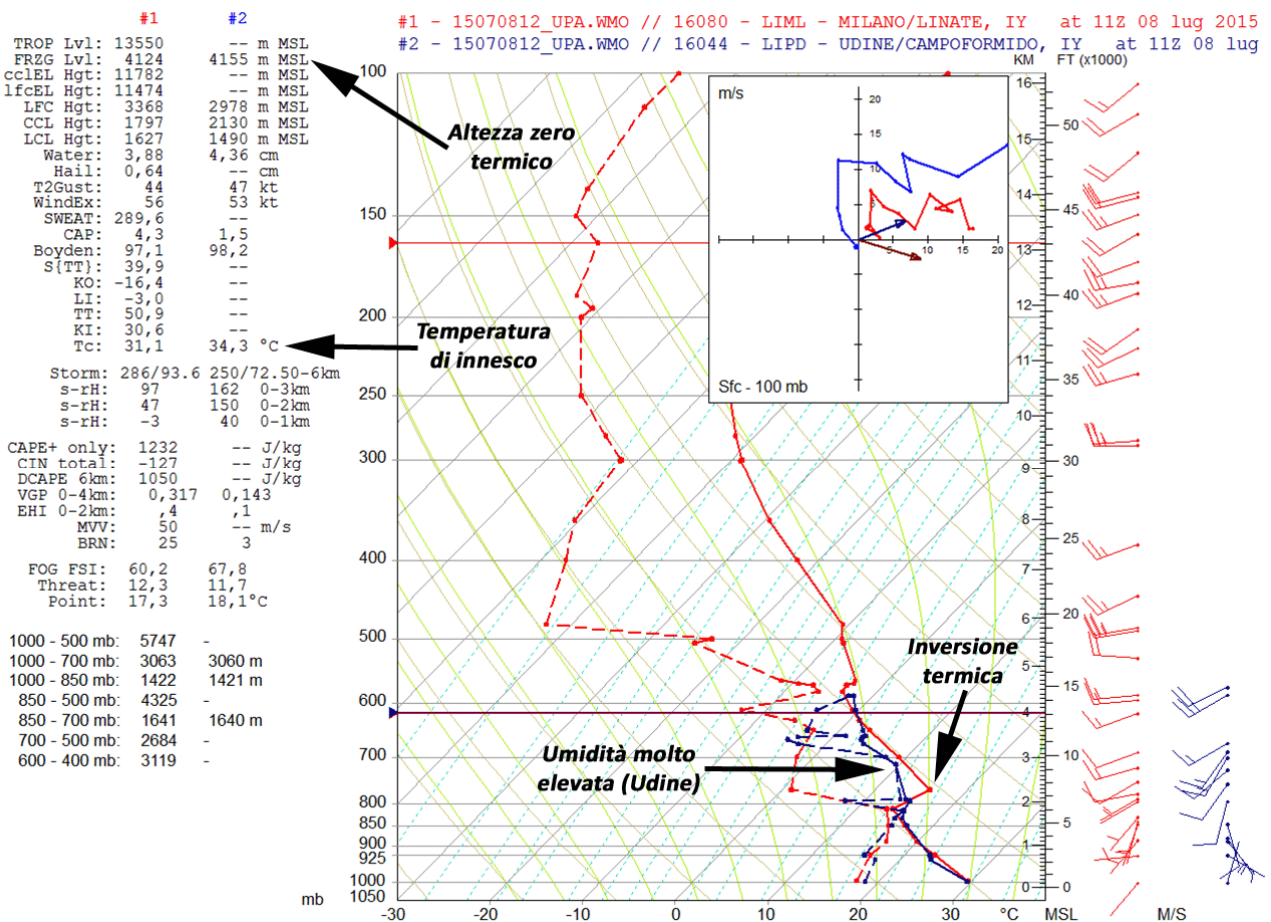


Fig. 2.12 - Confronto tra radiosondaggio di Milano e di Udine delle ore 13.00 locali dell'8 luglio 2015

In Fig. 2.12 è riportato il confronto tra i radiosondaggi reali di Milano e Udine effettuati alle ore 13 locali dell'8 luglio 2015. Su Udine l'umidità aumenta anche sopra lo strato precedente (oltre i 2000 metri di quota), erodendo l'inversione. Nel frattempo, la temperatura ha subito un moderato calo in media troposfera in entrambe le stazioni, riscontrabile dall'abbassamento dello zero termico. Anche la temperatura d'innescò si riduce, soprattutto per Milano, su valori che per la pianura veneta saranno raggiunti con la temperatura massima, pari a 33-34°C (vedasi Fig. 1.33).

Il radiosondaggio reale di Udine delle ore 13 locali dell'8 luglio 2015, riportato in Fig. 2.13, purtroppo è incompleto, poiché la sonda ha smesso di trasmettere i dati a terra una volta superata la quota di 4500 metri. Comunque, i dati disponibili mostrano un livello di condensazione per sollevamento convettivo (CCL) ad una quota di 2130 metri. Perciò, le nubi generate dall'ascesa dell'aria grazie alla semplice spinta di galleggiamento (senza meccanismi di sollevamento), a seguito del raggiungimento al suolo della temperatura convettiva T_c , formeranno la loro base a tale quota.

Invece, le nubi generate da meccanismi di sollevamento (rilievi, linee di convergenza, outflow boundary, dry line ecc.) formeranno la loro base alla quota di 1490 metri, corrispondente al livello di condensazione forzata (LCL). Nel pomeriggio in esame sulla pianura è stata raggiunta la T_c , pari a 34.3°C nel radiosondaggio reale di Udine delle ore 13 locali: ne deriva che il sollevamento delle masse d'aria è avvenuto ad opera di entrambi i meccanismi (spinta di galleggiamento e forzanti al suolo) che quindi si sono sovrapposti, motivo per cui si ritiene che la quota effettiva alla quale si è formata la base del temporale si sia collocata tra LCL e CCL.

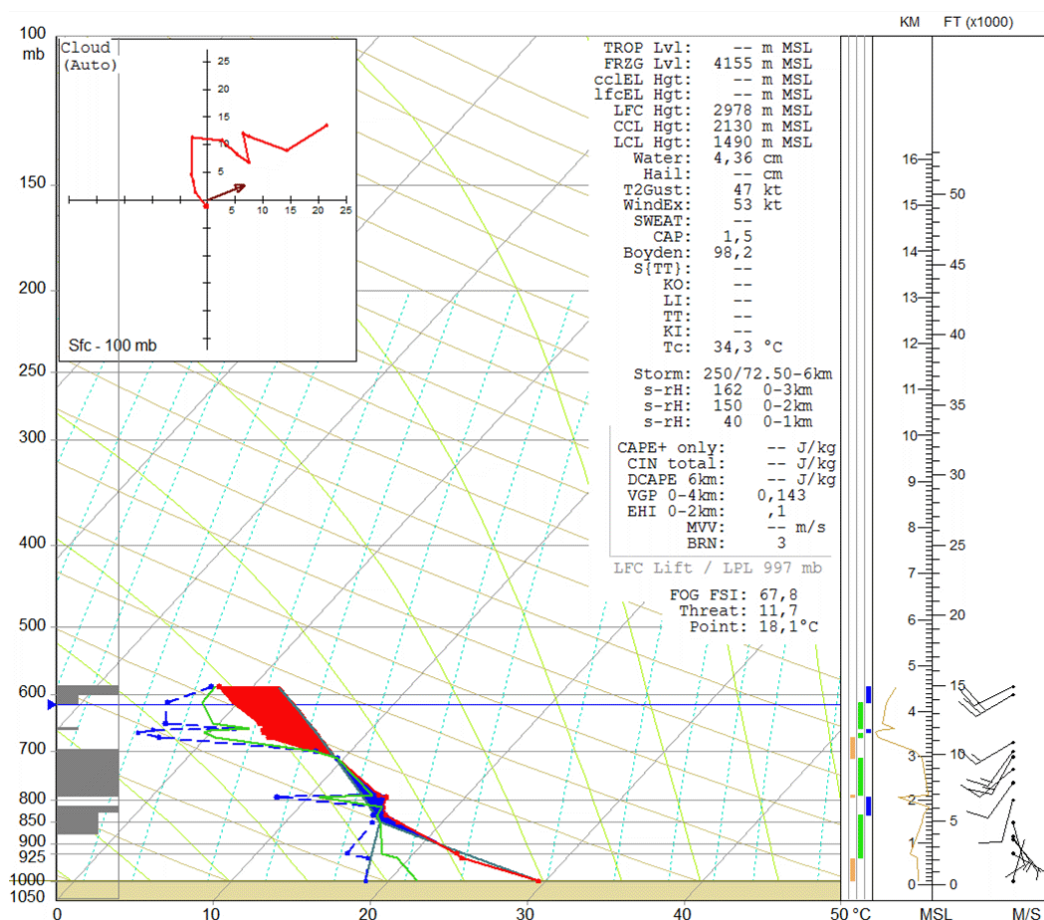


Fig. 2.13 - Radiosondaggio di Udine delle ore 13.00 locali dell'8 luglio 2015

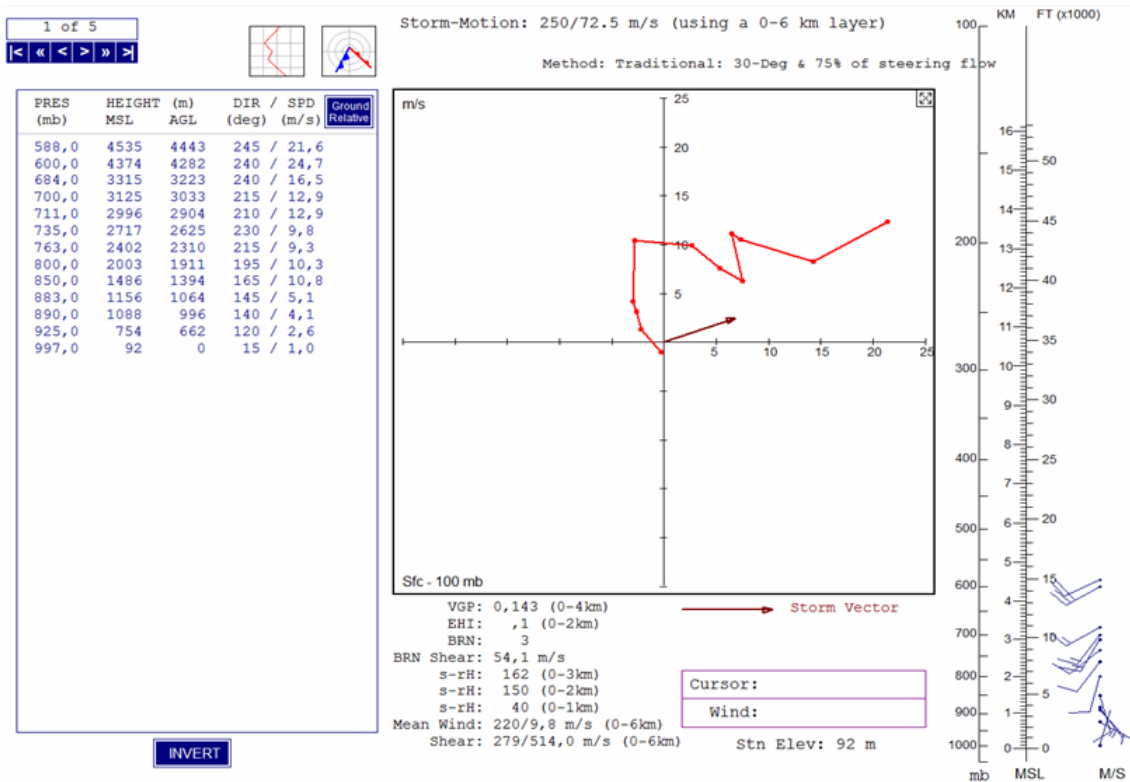


Fig. 2.14 - Odografo di Udine delle ore 13.00 locali dell'8 luglio 2015

L'odografo reale del radiosondaggio di Udine delle ore 13 locali appare piuttosto disteso e curvo (Fig. 2.14) nello strato 0-4500 metri: ciò denota elevate potenzialità per temporali a supercella a causa di un forte wind shear verticale positivo sia in direzione che in velocità. Infatti, il profilo verticale del vento rappresentato all'estrema destra della figura mostra venti da SE nei bassi strati che si intensificano con la quota ruotando gradualmente in senso orario fino a provenire da W-SW intorno ai 3 km di altezza. Questo andamento dei venti favorisce la rotazione delle correnti ascendenti nel temporale e quindi la genesi di mesocicloni (updraft rotanti in senso antiorario).

Una precisazione sui valori numerici degli indici termodinamici: quelli riportati nei radiosondaggi di Udine e Milano in alcuni casi possono apparire incoerenti rispetto alle mappe dei due modelli WRF illustrate nel sottocapitolo 2.1, ma ciò non deve stupire ed è essenzialmente dovuto alla scarsità dei dati nel profilo verticale osservato, alla disomogeneità spaziale e alle differenze di orario.

2.3 Analisi del radiosondaggio simulato

Sulla base del modello WRF MeteoNetwork, è stato simulato un radiosondaggio riferito alle ore 16 locali (Fig. 2.15) e centrato sulla località di Santa Maria di Sala (VE), distante 5-10 chilometri dal tracciato del tornado e ritenuta sufficientemente rappresentativa del profilo termodinamico reale. Tuttavia, trattandosi di un radiosondaggio previsto, è opportuno considerare con cautela i valori dei vari indici di stabilità, tenuto anche conto del fatto che le caratteristiche del PBL variano molto rapidamente nel corso dei pomeriggi estivi e che i parametri termodinamici (in particolare lo shear) possono subire marcati incrementi in aree molto ridotte in corrispondenza del boundary.

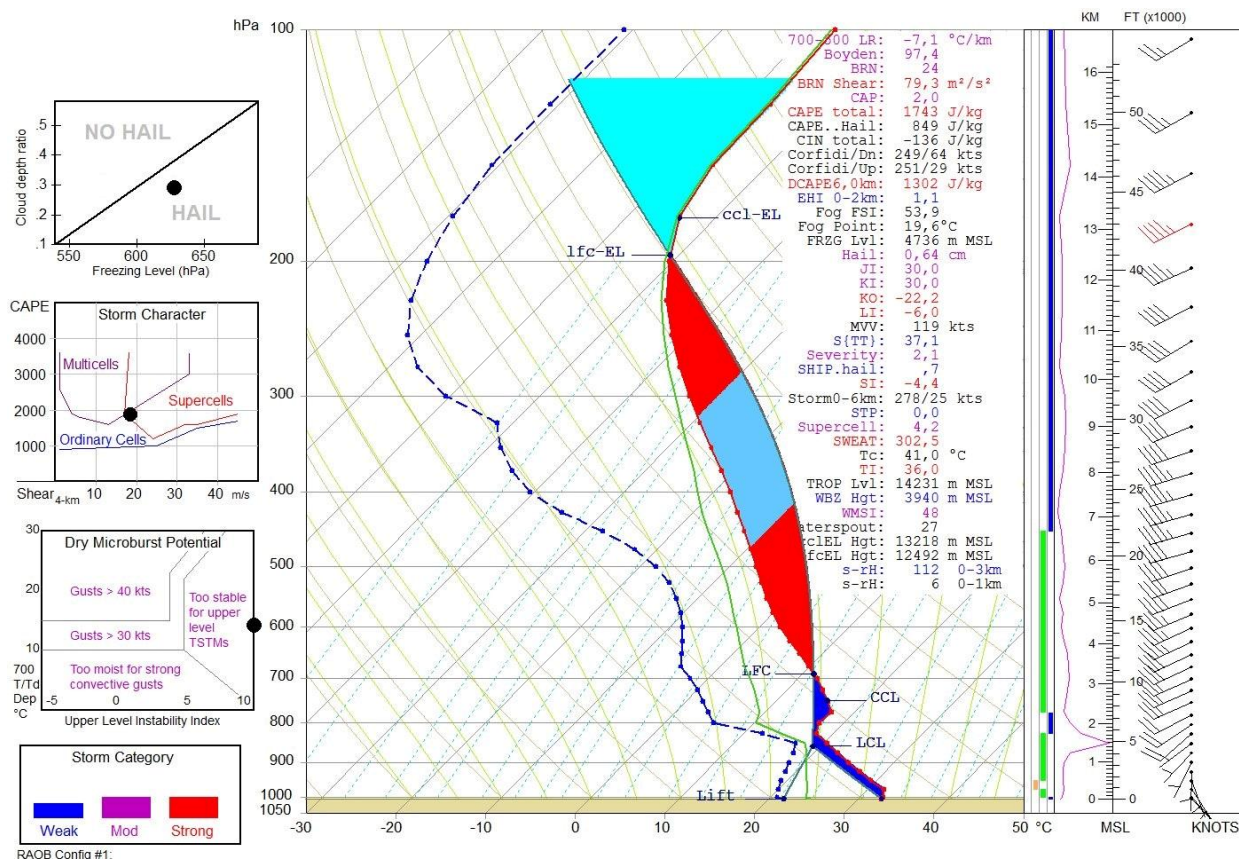


Fig. 2.15 - Radiosondaggio simulato ore 16 locali su Santa Maria di Sala (VE) basato su LFC - WRF MeteoNetwork

Il radiosondaggio in Fig. 2.15 è stato elaborato con il metodo classico, ovvero riferendosi al livello LFC su cui è stato calcolato anche il CAPE che ammonta a 1743 J/kg, un valore piuttosto elevato sintomo di aria caldo-umida disponibile alla convezione una volta rotta l'inversione termica, riscontrabile nella fattispecie ad una quota compresa tra i 1500 m e i 2200 m (curva di stato che piega verso destra). L'indice LI (Lifted Index) è pari a -6°C.

Come accennato all'inizio del presente capitolo, l'inversione termica in quota consiste in uno strato d'aria più calda e secca sopra il PBL che inibisce la convezione, ma favorisce l'accumulo di energia in prossimità del suolo, in quanto l'aria sotto può continuare a scaldarsi e umidificarsi mentre quella sopra può sempre più raffreddarsi e seccarsi: ciascuno di questi due fenomeni incrementa il potenziale di instabilità come un coperchio sulla pentola.

Quando la massa d'aria è costretta a salire (per il riscaldamento del suolo o per moti forzati) e riesce ad indebolire sufficientemente l'inversione, allora la convezione sarà molto probabilmente esplosiva perchè l'aria umida sottostante raggiunge la saturazione prima di quella intermedia, divenendo più calda per la cessione di calore latente e determinando una forte spinta ascensionale su tutta la colonna (il coperchio viene fatto saltare dal basso).

Si crea così, in breve tempo, un profilo caratterizzato da instabilità assoluta, cioè con gradiente termico verticale superadiabatico (raffreddamento superiore a 10°C/km) negli strati surriscaldati prossimi al suolo. In tale condizione, il moto verticale iniziale viene agevolato con aria più calda e meno densa che salirà per la spinta di galleggiamento.

Questa pericolosa successione di eventi in genere si verifica con un'inversione non troppo forte per cui si passa direttamente da uno stato quasi stabile ad uno estremamente instabile, ed è quanto avvenuto con ogni probabilità nel pomeriggio dell'8 luglio 2015 sulla Riviera del Brenta. Infatti, il radiosondaggio simulato in Fig. 2.15 riporta un valore dell'indice CAP pari a 2: si ricorda che valori di tale indice intorno a 2 o superiori denotano la presenza di una moderata inversione termica. In situazioni di questo tipo i temporali si formano di preferenza nel tardo pomeriggio o poco prima del tramonto e possono essere di estrema violenza oltre che difficili da prevedere. In termini più intuitivi, l'antagonismo tra CIN e CAPE si risolve con la vittoria di quest'ultimo al raggiungimento della temperatura convettiva.

Il CAPE totale nel radiosondaggio in Fig. 2.15 è rappresentato dall'area (rossa+celeste) compresa tra i livelli LFC e lfc-EL, mentre l'area celeste in mezzo distingue il CAPE nella "hail region" (849 J/kg). Quest'ultimo considera l'energia convettiva potenziale disponibile nello strato troposferico compreso tra le isoterme -10°C e -30°C , vale a dire l'area nella quale in genere è particolarmente abbondante l'acqua sopraffusa ovvero goccioline liquide in ambiente a temperature negative. Inoltre, in tale spessore troposferico, si ha la massima differenza tra le tensioni di vapore rispetto al ghiaccio e all'acqua liquida. Pertanto, lungo questa porzione della troposfera, le gocce sopraffuse più facilmente tendono a solidificare sulle impurità ivi presenti. La miglior efficienza di solidificazione favorisce maggiori aggregazioni in grado di accrescere gli embrioni di grandine. Perciò, se è presente elevata predisposizione alla convezione in quella particolare regione, come avvenuto nella giornata in esame, le precipitazioni potranno essere facilmente caratterizzate da grandine.

L'indice DCAPE (Downdraft Convective Available Potential Energy) nello strato 0-6 km si porta oltre la soglia di allerta di 1200 J/kg (1302 J/kg), ed implica la presenza di aria secca nella media troposfera nonché un forte gradiente termico verticale nei bassi strati. DCAPE quantifica l'incremento di energia cinetica che risulta dal raffreddamento evaporativo nella corrente discendente del temporale, perciò valori elevati di tale indice denotano un alto rischio di intensi downdrafts e di violente raffiche di vento al suolo, come effettivamente avvenuto sull'alto padovano e come risulta dall'andamento barometrico ed anemometrico della stazione di Santa Maria di Sala (vedasi Fig. 1.36 e Fig. 1.37). In presenza di aria secca nella media troposfera, le intense correnti di outflow del temporale tendono a generare più rapidamente mesocicloni di basso livello grazie all'incremento della vorticità verticale lungo il gust front avanzante. Lo stesso gust front poi, allontanandosi dall'updraft, indebolirà il mesociclone nei bassi strati per l'interruzione del flusso di inflow. Tuttavia, *Gilmore et al.* (1998) avanzano l'ipotesi che un ritardo nella discesa del downdraft, causato dalle quote stratosferiche dalle quali scende l'aria secca e dal wind shear verticale, favorisca il mantenimento e l'intensificazione del mesociclone nonostante le forti correnti di outflow al suolo: chiaramente trattasi di un'ipotesi da verificare mediante un apposito modello di nube che sia in grado di simulare l'evoluzione della supercella.

Il livello di equilibrio (Equilibrium Level, lfc-EL) è stimato in 12492 metri, quota oltre la quale i processi convettivi tendono ad arrestarsi per l'esaurimento della spinta di galleggiamento. EL in genere corrisponde all'altezza alla quale si forma l'incudine e a volte può coincidere con la tropopausa la quale, in questo caso, è stimata ad una quota di 14231 metri. L'area in celeste chiaro sopra il livello lfc-EL rappresenta la quota raggiungibile dalla sommità del cumulonembo grazie alla spinta inerziale dell'updraft (Maximum Parcel Level, MPL): in genere corrisponde all'altezza alla quale si ferma la sommità dell'overshooting top, in questo caso fino a sfiorare i 16 km di altezza entrando così nella bassa stratosfera (Fig. 2.15).

Il radiosondaggio in Fig. 2.16 è stato elaborato con una modalità differente rispetto a quella standard: è stato preso come riferimento il livello CCL che permette di stimare in maniera più realistica il potenziale energetico quantificando il riscaldamento diurno necessario a rompere l'inversione termica in quota, una volta raggiunta la temperatura convettiva al suolo. La quantità di lavoro richiesta per rompere il suddetto strato stabile corrisponde al CIN (inibizione alla convezione indicata con l'area blu) ed è valutata in -444 J/kg, decisamente superiore al CIN calcolato con il metodo tradizionale (-136 J/kg, Fig. 2.15).

Infatti, il radiosondaggio simulato su base LFC (Fig. 2.15) si riferisce alle ore precedenti l'inizio della convezione, quando ancora era presente l'inversione in quota: solo alla rottura di quest'ultima si è avuta la modifica del profilo verticale termodinamico, rappresentato dall'adiabatica saturo di color verde scuro corrispondente alla "linea di una particella d'aria teorica" (Theoretical Air Parcel line, TAP), la quale rappresenta l'andamento della temperatura con la quota per una particella d'aria ideale. Con la rottura dell'inversione si ha così la riduzione dei valori di CIN e il contestuale aumento dei valori di CAPE, quest'ultimo stimato con il radiosondaggio simulato su base CCL, per l'appunto.

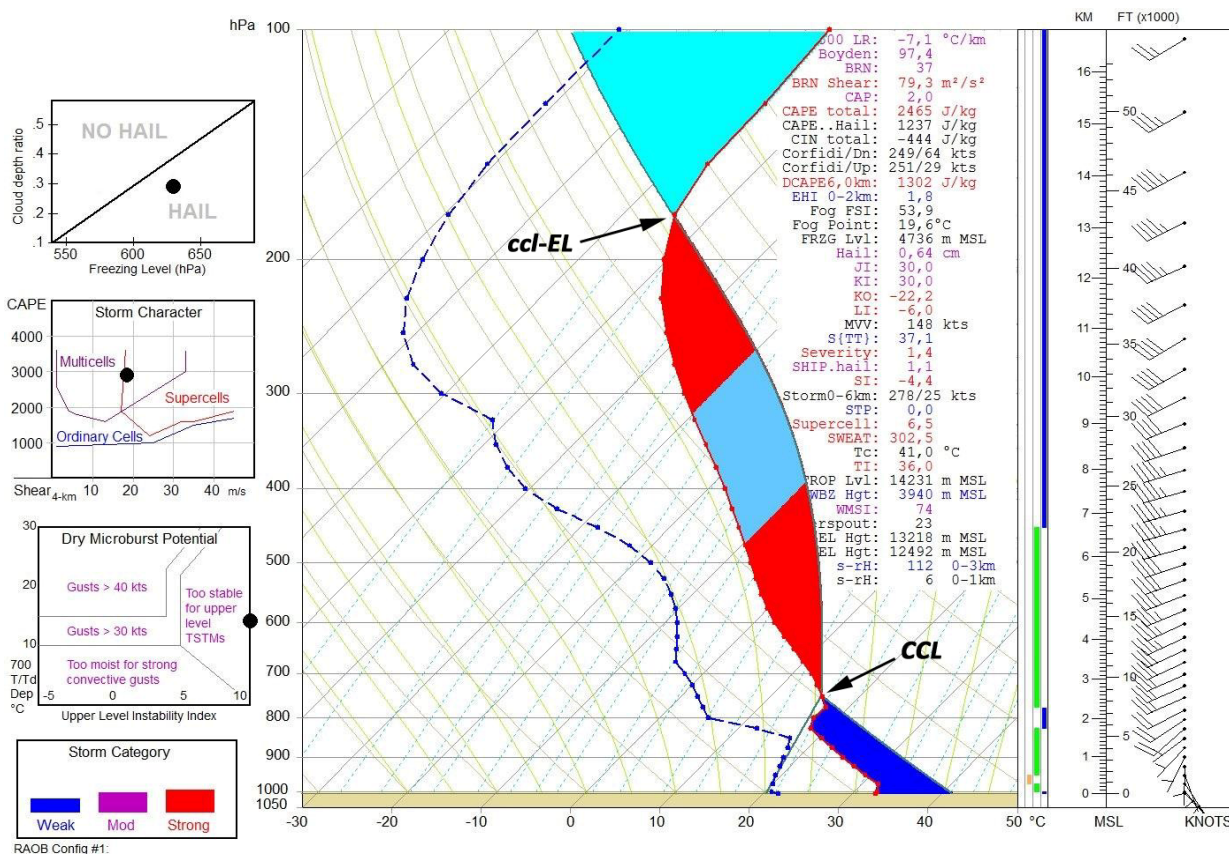


Fig. 2.16 - Radiosondaggio simulato ore 16 locali su Santa Maria di Sala (VE) basato su CCL - WRF MeteoNetwork

Il livello CCL si trova a quote superiori rispetto a LCL (rispettivamente, 2600 m e 1400 m in Fig. 2.15) in quanto lo strato d'aria adiacente al suolo, per poter raggiungere la Tc e salire grazie alla spinta di galleggiamento, deve prima scaldarsi a dovere: il riscaldamento causa una diminuzione dell'umidità e quindi la massa d'aria deve salire a quote maggiori (CCL) per poter condensare.

Se il riscaldamento solare fosse la sola causa del sollevamento delle masse d'aria, una volta raggiunta la Tc al suolo, LFC e LCL corrisponderebbero al CCL. Tuttavia si tratta di una situazione teorica, valida per esempio durante la formazione in pianura di un temporale pomeridiano termoconvettivo a cella singola (cosiddetto “di calore”) con la base al livello CCL, quando ancora non sono presenti correnti di aria fredda discendente che poi sollevano forzatamente l'aria più calda al suolo fino all'eventuale condensazione al livello LCL.

Il calcolo degli indici termodinamici su base CCL rappresenta la miglior stima del potenziale energetico per i radiosondaggi “cappati”, tipici del tardo pomeriggio estivo sotto un anticiclone subtropicale, cioè con aria molto calda e umida nel PBL sovrastata da uno strato stabile e secco in quota. Questo metodo comporta un ricalcolo degli indici rispetto alla valutazione su base LFC con un considerevole aumento del CAPE (da 1743 a 2465 J/kg), del CAPE nella “hail region” (da 849 a 1237 J/kg), di EL (da 12492 a 13218 metri), di MPL (da 15900 a circa 17000 metri) e, infine, dell'indice Supercell Composite Parameter (SCP) che passa da 4.2 ad un allarmante valore di 6.5. L'indice CAPE per entrambi i radiosondaggi simulati è stato calcolato mediante la temperatura di bulbo secco (dry bulb), cioè la temperatura “reale”.

Infatti, nel radiosondaggio basato sul CCL si ha anche un incremento degli indici compositi che contemplano nella loro formula il CAPE, tuttavia in tal senso le differenze tra i due approcci appaiono trascurabili. Di seguito sono elencati tutti gli indici relativi allo shear del vento calcolati su base CCL.

- SREH 0-1 km: $6 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (soglia di allerta $100 \text{ m}^2/\text{s}^2$)
- SREH 0-3 km: $112 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (soglia di allerta $150\text{-}200 \text{ m}^2/\text{s}^2$)
- EHI 0-2 km: 1.8 (soglia di allerta 1.5-2)
- SWEAT: 302.5 (soglia di allerta 300-350)
- BRN shear: $79.3 \text{ m}^2/\text{s}^2$ (soglia di allerta $40 \text{ m}^2/\text{s}^2$, oltre $80 \text{ m}^2/\text{s}^2$ supercelle di lunga durata)
- VGP 0-4 km: 0.289 (soglia di allerta 0.2)

I valori di elicità (Storm Relative Environmental Helicity, SREH) appaiono decisamente inferiori alle soglie minime di allerta, tuttavia la letteratura scientifica americana evidenzia come le supercelle possano svilupparsi anche con SREH 0-3 km inferiore a $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ma con shear in velocità 0-6 km superiore a 40 nodi. Nell'odografo previsto su Santa Maria di Sala (Fig. 2.18) si ricava un valore di quest'ultimo indice pari a 42 nodi. D'altro canto, la supercella può nascere anche con shear in velocità 0-6 km appena sufficiente (tra 30 e 40 nodi) ma con atmosfera molto instabile (CAPE superiore a 2500 J/kg), soprattutto lungo un boundary di basso livello.

Gli indici EHI (Energy Helicity Index) e SWEAT (Severe Weather Threat Index) si pongono all'interno del range di allerta, mentre BRN shear (Bulk Richardson Number shear) e VGP (Vorticity Generation Parameter) assumono valori preoccupanti in relazione al rischio di tornado mesociclonici. In particolare, si ricorda che VGP rappresenta il tasso al quale la vorticità orizzontale dell'aria è convertita in vorticità verticale nell'updraft (situazione tipica di un boundary, vedasi Fig. 1.18). Ad ogni modo, questi indici sono stati conati negli Stati Uniti dove le energie in gioco sono nettamente superiori a quelle della Pianura Padana, perciò anche valori poco al di sotto della soglia di riferimento andrebbero considerati con la dovuta attenzione.

2.4 Analisi dell'odografo simulato

Considerando le condizioni meteorologiche alla mesoscala venutesi a creare durante il pomeriggio dell'8 luglio 2015, in corrispondenza all'evento tornadico sul veneziano, appare di sicuro interesse analizzare il profilo verticale del vento, sia per valutare le condizioni di wind shear in direzione e velocità tra bassa ed alta troposfera, sia per calcolare, con un accettabile margine di errore, il percorso seguito dalla supercella. A tale scopo è stato considerato il radiosondaggio, simulato dal modello WRF MeteoNetwork inizializzato alle 12Z dell'8/7/2015, delle ore 16 locali sulla verticale della località di Santa Maria di Sala (VE), che ad una attenta valutazione sembra essere ben rappresentativo delle reali condizioni effettivamente riscontrate quel pomeriggio. In base ai valori di direzione e velocità del vento, effettivi o previsti, sui vari livelli isobarici, è possibile rappresentare il profilo verticale del vento tramite un odografo, il quale fornisce, anche in sede di previsione, valide indicazioni sia sulla tipologia di temporale che andrà eventualmente ad innescarsi, sia sul percorso che esso potrà seguire.

La maggior parte dei temporali a supercella tende a deviare verso la destra del vento medio tra i vari livelli troposferici ("level guide wind" o "steering flow") a causa delle differenze di pressione che si generano quando il wind shear verticale, sia in velocità che in direzione, interagisce con la corrente ascensionale (updraft) del temporale. Il metodo Bunkers (*Bunkers et al.*, 2000) fornisce una stima dello "storm motion" delle supercelle in base alle dinamiche interne che si vengono a creare nel sistema supercellulare stesso, ed è simile alla regola "30R75", ovvero un metodo che valuta empiricamente una deviazione media di 30 gradi verso destra ed una velocità di movimento di circa il 75% rispetto al vento medio dello spessore 0-6 km. Tuttavia, il metodo Bunkers esegue un'analisi più approfondita sia del profilo verticale del vento, sia dell'interazione dello stesso profilo con la corrente ascendente.

La stima dello storm motion tramite il metodo empirico di Bunkers comporta le seguenti procedure (Fig. 2.17):

- 1) Rappresentazione del profilo verticale del vento 0-10 km su un tracciato odografico in base ai radiosondaggi effettivi o previsti ed individuazione del punto di vento medio 0-6 km (velocità e direzione)
- 2) Tracciamento del vettore di wind shear tra il boundary layer ed il livello di 6 km
- 3) Tracciamento di una linea che passi attraverso il vento medio e sia anche ortogonale al vettore di shear rappresentato nel punto 2
- 4) Localizzazione del movimento delle supercelle left moving (LM) e right moving (RM) che corrispondono rispettivamente ai vertici superiori (LM) ed inferiori (RM) della linea stabilita in base al procedimento del punto 3

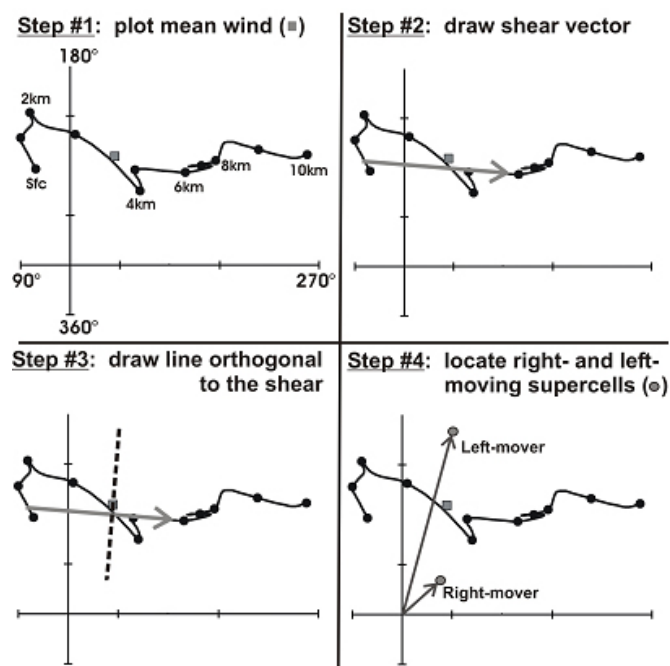


Fig. 2.17 - Metodo empirico di Bunkers per la determinazione del movimento delle supercelle in base all'odografo di un radiosondaggio. Fonte: Matthew J. Bunkers, Dan Bykos: "Predicting Supercell Motion in Operations" Teletraining Presentation NOAA, 2005

Il parametro del vento medio 0-6 km è risultato essere quello più soddisfacente da un punto di vista statistico. Il suddetto metodo assume come principali i termini di avvezione e di propagazione indotta dal wind shear, mentre trascura altri aspetti che in determinati casi possono assumere una certa rilevanza (orografia, gust front, outflow boundary, merging), ma allo stesso tempo è basato sugli aspetti cinematici trascurando la componente termodinamica (si basa infatti sul profilo verticale del vento).

La rappresentazione delle varie componenti per la determinazione del vettore di storm motion a carico della supercella è stata condotta tramite l'ausilio del software RAOB nel quale sono stati inseriti i dati del radiosondaggio simulato sulla verticale di Santa Maria di Sala (VE) delle ore 16 locali, ovvero poco prima dell'arrivo della supercella. Occorre ribadire che si tratta di un radiosondaggio previsto, pertanto non è detto che, specie negli strati prossimi al suolo dove era presente tra l'altro un thermal boundary con relativa area di convergenza, le condizioni ipotizzate siano state del tutto coincidenti con quanto effettivamente occorso.

L'odografo in Fig. 2.18 mostra una struttura alquanto "stirata", sintomo di elevato wind shear verticale in velocità, la quale aumenta a partire da circa 1500 metri di altezza, ma con una rilevabile componente arcuata negli strati più bassi, dovuta al flusso orientale umido in ingresso dal mare Adriatico, il quale si nota dalla direzione di provenienza S-SE nello spessore 0-500 metri. Ne deriva quindi un elevato shear direzionale nel campo verticale del vento 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), elemento cui viene attribuita dalla letteratura scientifica una rilevante importanza nella genesi di tornado mesociclonici.

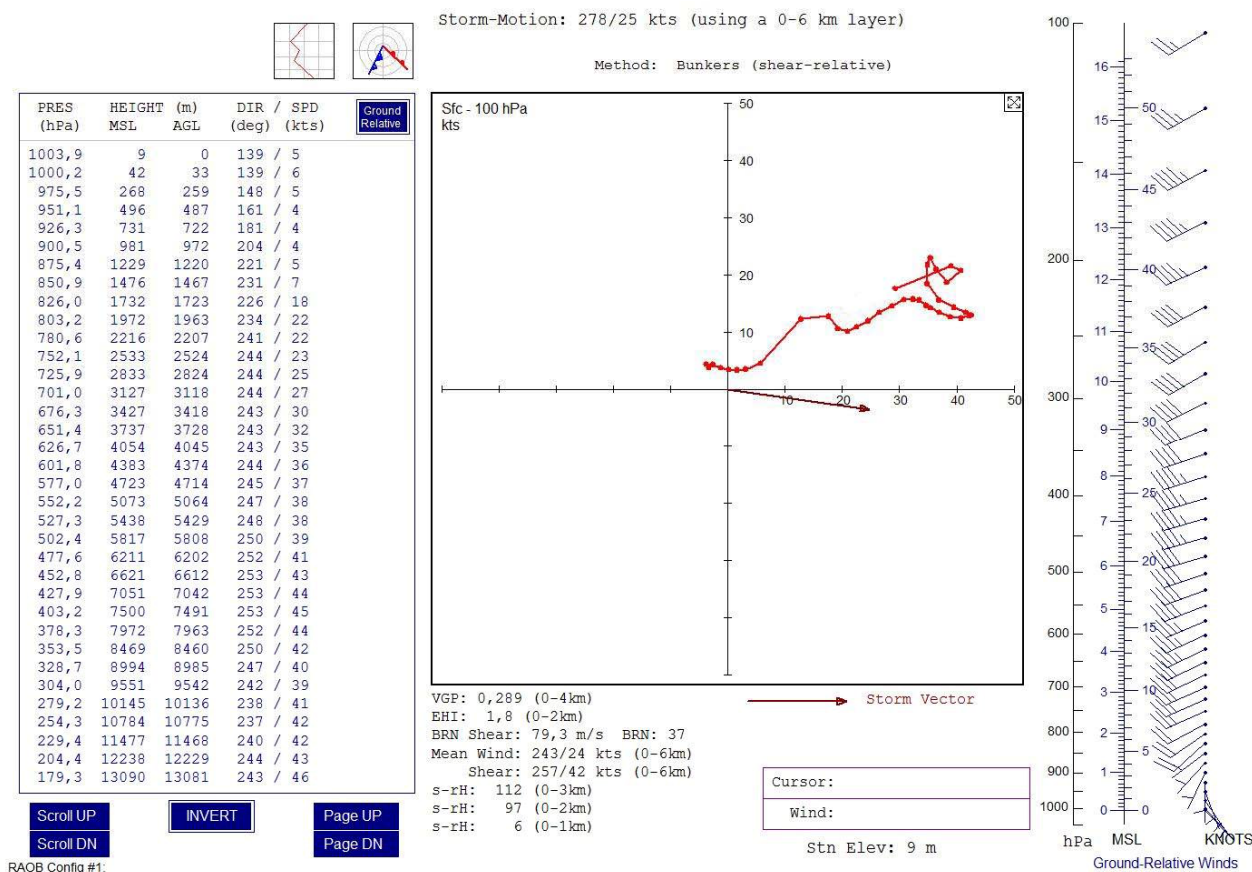


Fig. 2.18 - Rappresentazione analitica simulata del profilo verticale del vento con determinazione del valore di storm motion e storm vector (Bunkers) ore 16 locali su Santa Maria di Sala (VE) - WRF MeteoNetwork

Applicando il metodo Bunkers per lo spessore troposferico 0-6 km, si ottiene una stima dello storm motion, per una supercella “right mover” (deviante verso destra), di 278 gradi e 25 nodi, vale a dire direzione di avanzamento verso E-SE con velocità di movimento di 25 nodi (freccia marrone in Fig. 2.18). Pertanto, è evidente la deviazione verso destra rispetto alla direzione del vento medio calcolato nel medesimo spessore, che risulta essere di 243 gradi (verso E-NE) con un angolo di deriva di 35 gradi. La velocità di traslazione del temporale (25 nodi, circa 45 km/h) rimane invece quasi invariata rispetto a quella calcolata sul vento medio 0-6 km (24 nodi).

Tali valori, sebbene simulati, rientrano pienamente nella classica tipologia delle supercelle right mover, come del resto evidenziato dalla traiettoria effettivamente seguita dal sistema. Tuttavia, la supercella, appena entrata nel padovano, ha deviato con un angolo ben superiore rispetto ai 35 gradi calcolati con il metodo Bunkers.

Lo storm motion effettivo del temporale, infatti, dipende da una complessa interazione tra i seguenti fattori nonché dall'intensità relativa degli stessi (Weaver, 1979):

- 1) vento nella media troposfera
- 2) intensità, orientamento e movimento delle convergenze legate al boundary
- 3) convergenze indotte dal temporale (per es. scontro tra inflow caldo e outflow freddo)

Nel caso in esame, è probabile che il thermal boundary al suolo ed i “cold pool” sull’alto padovano, generati dalle correnti di outflow dei temporali in discesa dai rilievi, abbiano indirizzato la supercella più a sud rispetto alla deviazione prevista dal metodo Bunkers. Questa deviazione verso S-SE appare evidente anche dalla traccia delle fulminazioni lasciate dalla supercella nella sua discesa verso la pianura veneta (Fig. 2.19 e Fig. 2.20). In particolare, in Fig. 2.19 si può apprezzare la deviazione a destra della supercella nella sua fase di maturità rispetto alle celle sulle Alpi, ma una volta giunta vicina alla laguna veneta la supercella riduce la sua deviazione durante la fase di decadimento del mesociclone (Fig. 2.20).

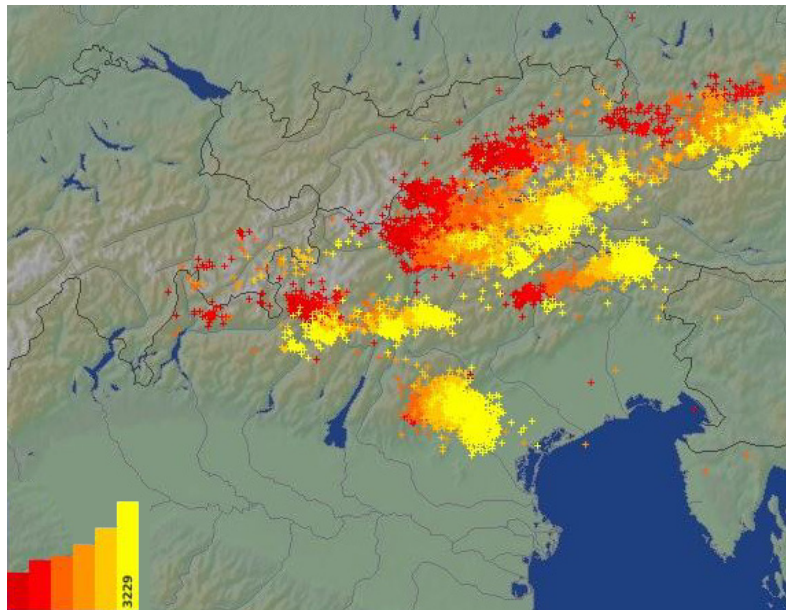


Fig. 2.19 - Fulminazioni rilevate dalle ore 14.50 alle 16.50 locali. Fonte: www.blitzortung.org - www.meteocattolica.eu

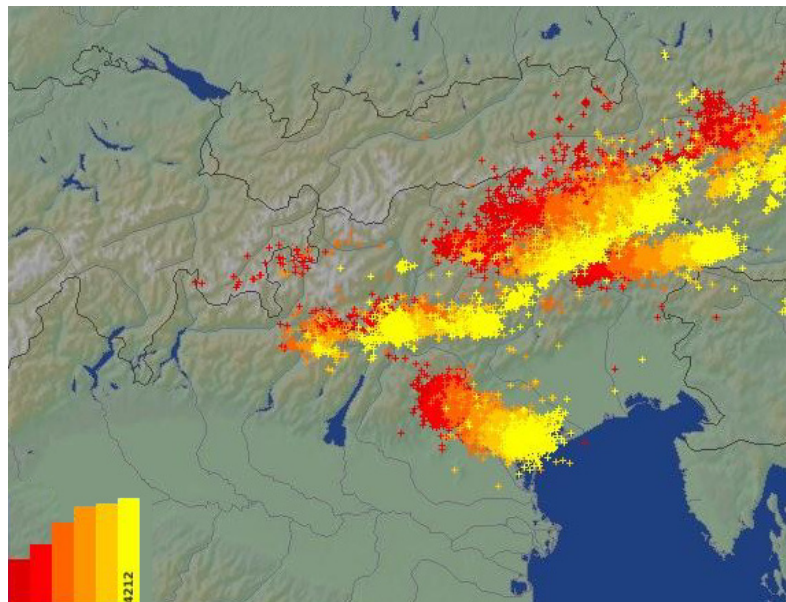


Fig. 2.20 - Fulminazioni rilevate dalle ore 15.50 alle 17.50 locali. Fonte: www.blitzortung.org - www.meteocattolica.eu

In Fig. 2.21 è visualizzato in modalità tridimensionale l'odografo di Fig. 2.18, la linea rossa raffigura il profilo verticale del vento e si intuisce che il temporale in quota si sarebbe disposto su un asse obliquo disteso verso est a causa dei forti venti occidentali nella medio-alta troposfera.

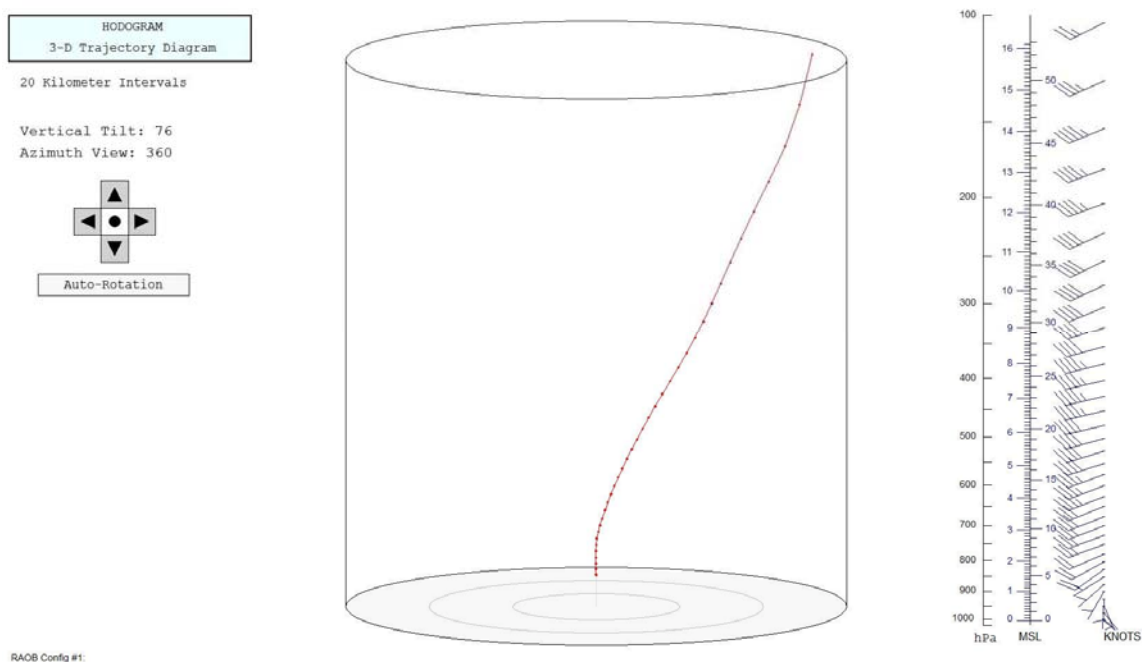


Fig. 2.21 - Odografo 3D simulato ore 16 locali su Santa Maria di Sala (VE) - WRF MeteoNetwork

La tipologia dell'odografo esaminato è incline sia all'innescio di multicelle che di supercelle, come correttamente indicato anche dall'incrocio tra i valori di CAPE e di wind shear in velocità 0-4 km sintetizzato in Fig. 2.22:

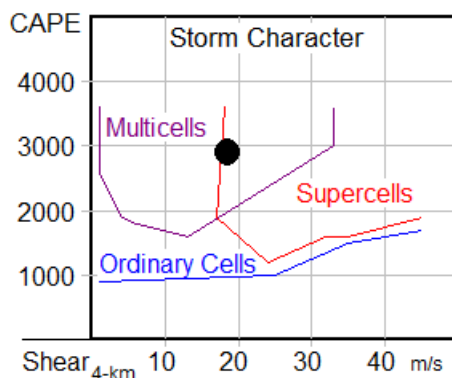


Fig. 2.22 - Sintesi di RAOB "storm character" in base al radiosondaggio simulato ore 16 locali di Santa Maria di Sala

Si ricorda a tal proposito che un eccesso di wind shear verticale in velocità tende a separare oltremodo la corrente ascendente da quella discendente favorendo così l'innescio di sistemi a multicella, mentre per la genesi di supercelle le due correnti devono interagire per un tempo sufficientemente prolungato e ciò può essere favorito da elevati valori di wind shear in direzione tra bassi e medi livelli della troposfera. Nella fattispecie, la stima in Fig. 2.22 colloca la tipologia di temporale più probabile nel campo compreso tra multicelle e supercelle (pallino nero) ma con un leggero sbilanciamento verso la tipologia a supercella, come poi puntualmente verificatosi.

3. ANALISI SATELLITARE E RADAR METEOROLOGICA

di Alberto Gobbi

3.1 Dry line e fronte della brezza al satellite visibile

Il thermal boundary sulla pianura veneta, precedentemente individuato attraverso le mappe della temperatura al suolo (Fig. 1.31), è chiaramente visibile nelle immagini satellitari elaborate dall'ARPAV e dal Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS). In Fig. 3.1 è evidente la persistenza di una striscia di cumuli, disposta secondo un asse NW-SE, che interessa la pianura veneta centro-meridionale nell'ora compresa tra le 15.30 e le 16.30 locali, periodo nel quale era in corso lo sviluppo del sistema temporalesco sul vicentino che, come si vedrà, era caratterizzato da connotati tipicamente multicellulari. Solo in un secondo tempo la struttura è evoluta in un potente temporale a supercella.

La banda di cumuli prima citata è meglio dettagliata in Fig. 3.2 e Fig. 3.3: le frecce rosse rappresentano la spinta della dry line appenninica la quale, allo stesso modo di un'azione frontale, solleva l'aria caldo-umida davanti ad essa portandola alla condensazione con la genesi di innocui cumuli. Tuttavia, queste modeste formazioni cumuliformi tradiscono la presenza e la disposizione del boundary al suolo che, in questo caso, piega verso S-SE tra basso padovano e basso veneziano: è assai probabile che questa curvatura abbia in gran parte determinato la marcata deviazione verso sud della supercella come già osservato nei precedenti capitoli.

Nella Fig. 3.2 delle ore 15.30 locali, le frecce arancioni rappresentano la brezza di mare che stava per essere sostituita da un flusso sciroccale sud-orientale (vedasi Fig. 1.37) e il cui fronte ha generato una linea di cumuli distesa secondo un asse NE-SW per via dello scontro con flussi da NE ancor più caldi nella pianura interna (frecce celesti) appartenenti alla circolazione locale imposta anche dal relativo minimo depressionario presente sul basso Veneto. Le frecce blu indicano il flusso delle correnti di outflow (outflow boundary), generato dai temporali in atto sul comparto prealpino, e le infiltrazioni di aria più fresca dovute alla spinta del retrostante fronte freddo. In particolare, nella Fig. 3.4 delle ore 15 locali, l'ellisse rossa indica un cumulonembo con un accenno di incudine, verosimilmente generato dallo scontro della brezza di mare (Fig. 3.5, freccia rossa) con la circolazione interna proveniente da NE (Fig. 3.5, freccia blu).

L'immagine di riflettività massima di Fig. 3.6 del radar ARPAV installato a Teolo (PD) è stata ricavata dalla piattaforma HDSS (Hydromet Decision Support System) ed ha una risoluzione pari ad 1 km corrispondente al lato del singolo pixel. Essa mostra, per il cumulonembo prima citato, una piccola area di circa 3 km² con valori intorno a 40 dBZ a nord di Dolo, tra Pianiga e Mira in provincia di Venezia. Si tratta quindi di rovesci effimeri di moderata intensità che però testimoniano la notevole instabilità dell'atmosfera ma soprattutto un inequivocabile indizio di cedimento dell'inversione termica in quota. Si ricorda che l'immagine di riflettività massima mostra per ogni punto il valore massimo, tra tutte le elevazioni dell'antenna radar, che la riflettività raggiunge sulla verticale del punto stesso. Questo prodotto non indica la quota del massimo di riflettività ma si rivela di particolare utilità per monitorare l'evoluzione dell'intensità della cella temporalesca. Il radar di Teolo è in banda C ed è installato sul Monte Grande nel comune di Teolo (PD) a circa 500 metri di altezza, la sua risoluzione in distanza è di 500 metri, sia per le scansioni di riflettività che di velocità radiale, tranne per quelle generate dal sistema HDSS che, come accennato sopra, hanno una risoluzione più bassa, pari ad 1 chilometro.

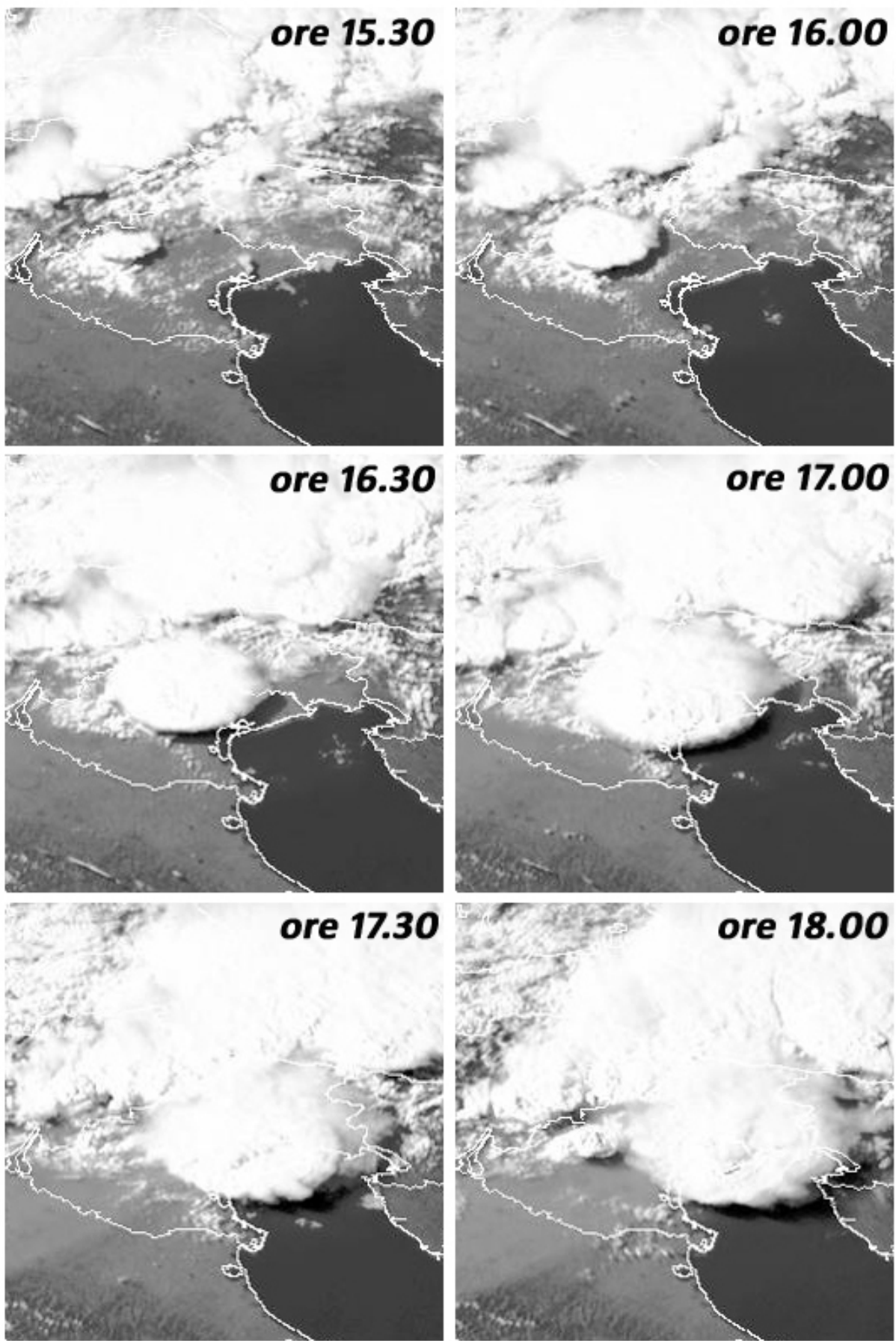


Fig. 3.1 - Immagini satellitari dalle ore 15.30 alle ore 18.00 locali nel visibile. Fonte: Eumetsat. Elaborazione: ARPAV

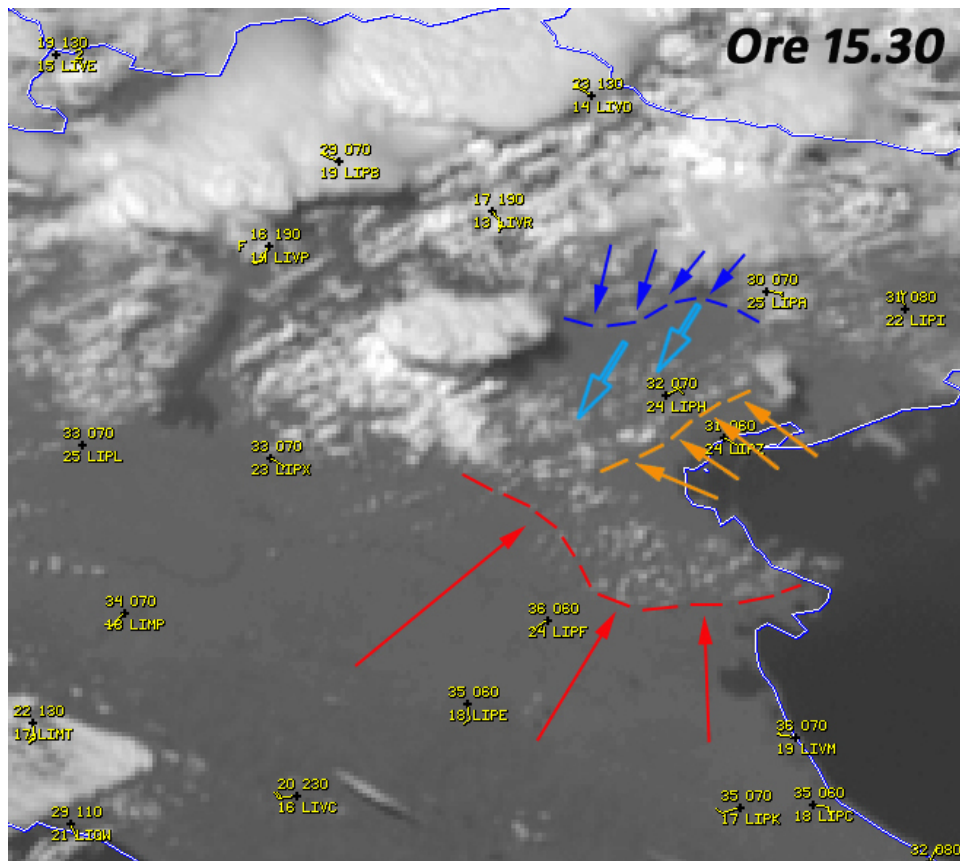


Fig. 3.2 - Immagine satellitare delle ore 15.30 locali nel visibile. Fonte: Eumetsat. Elaborazione: CIMSS

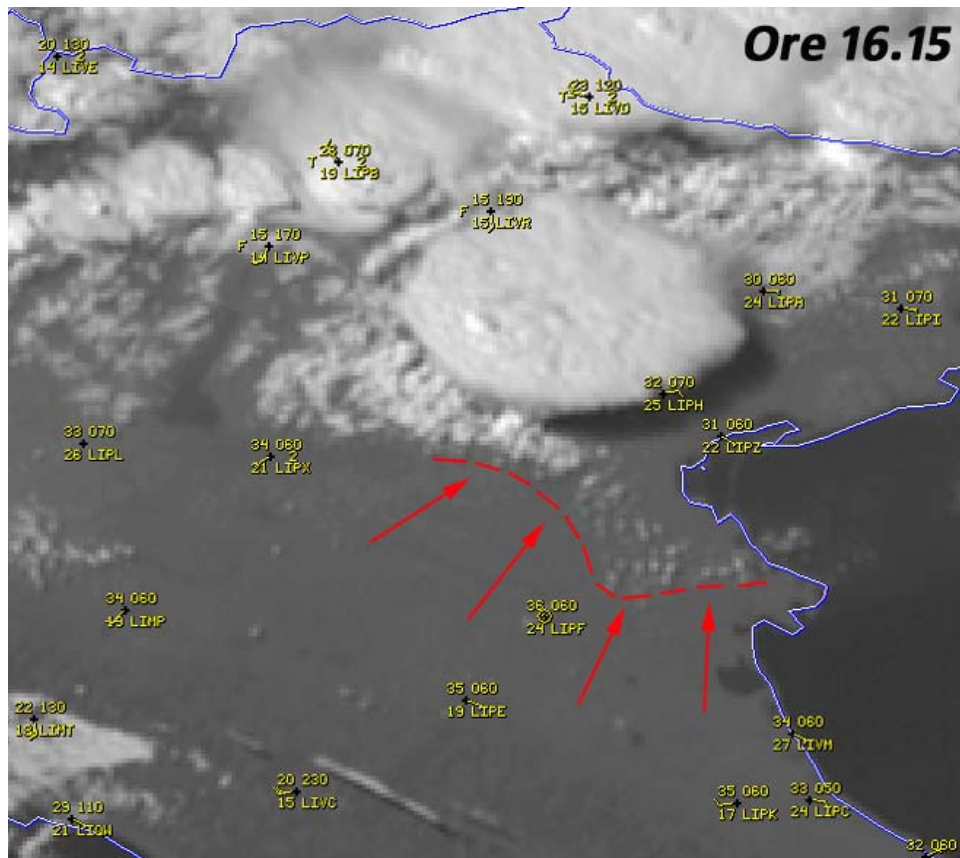


Fig. 3.3 - Immagine satellitare delle ore 16.15 locali nel visibile. Fonte: Eumetsat. Elaborazione: CIMSS

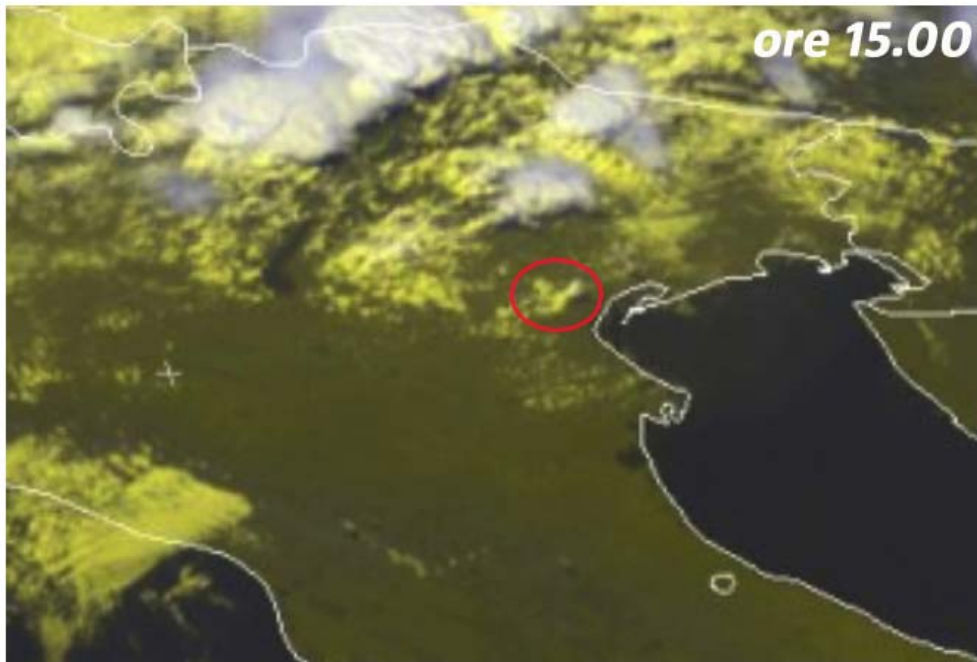


Fig. 3.4 - Immagine satellitare delle ore 15 locali nel visibile. Fonte: Eumetsat

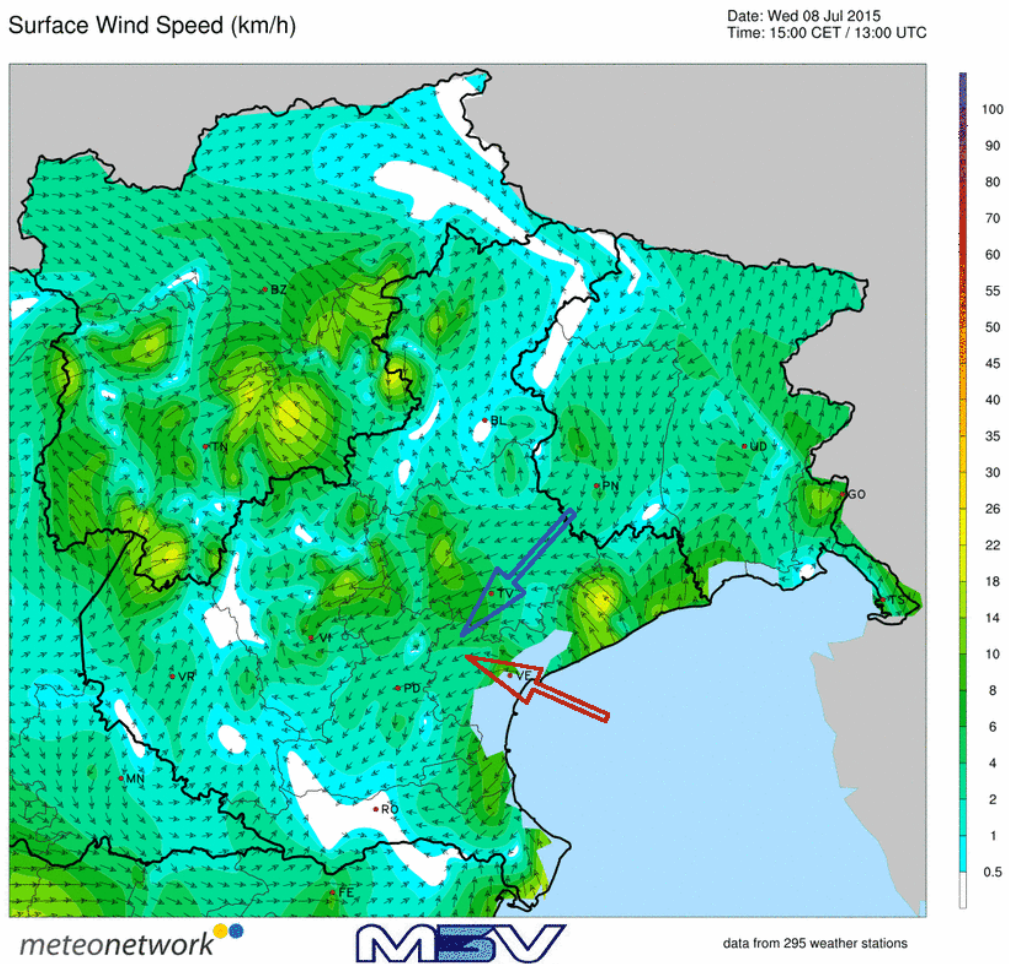


Fig. 3.5 - Direzione e velocità del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (295 stazioni) ore 15 locali

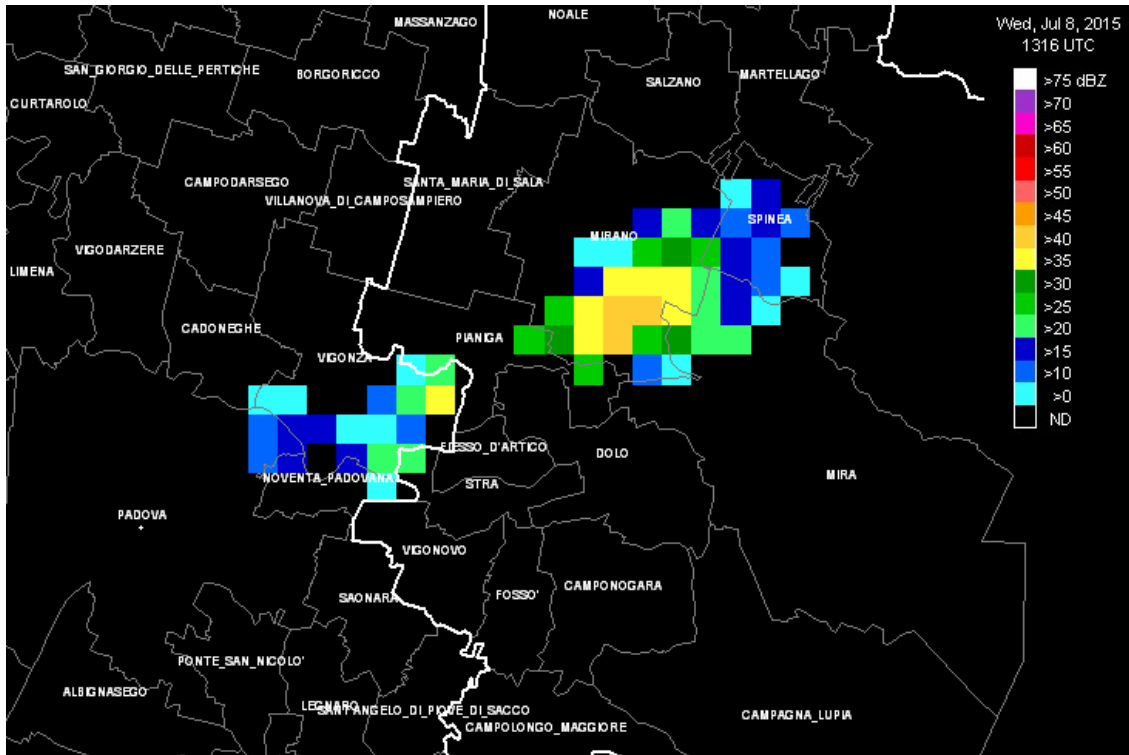


Fig. 3.6 – Immagine di riflettività massima ore 15.16 locali da sistema HDSS. Fonte: ARPAV

3.2 Posizione della supercella rispetto al boundary

La sovrapposizione dei campi di riflettività, relativi all'elevazione più bassa dell'antenna del radar di Teolo (Plan Position Indicator - PPI 0.9°, circa 1000 metri di quota), sui vettori del vento al suolo ricavati dalla rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto, permette di tracciare il percorso della supercella rispetto al boundary e di valutare l'interazione delle correnti convettive con i flussi al suolo. Nelle Fig. 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10 si nota la presenza costante della dry line appenninica (linea grigia) a sud della supercella che stava transitando verso il veneziano nel lato "freddo" del thermal boundary. La dry line costituisce la linea di demarcazione tra i flussi secchi da SW e quelli umidi da SE ed essa, dalle ore 16.50 alle ore 17.20 locali, tende gradualmente a retrocedere verso SW a causa delle correnti al suolo di outflow in uscita dal settore posteriore della supercella. Con l'allontanamento verso est del temporale, il flusso sud-occidentale riguadagna terreno verso il padovano orientale (Fig. 3.11) dove si nota meglio l'outflow boundary supercellulare (linea blu) che si apre "a ventaglio" (Fig. 3.12).

Alle ore 16.50 locali i vettori del vento disegnano uno "scontro frontale" tra il flusso più fresco da W-NW (freccia blu) e quello caldo da E-SE (freccia rossa) in corrispondenza della supercella (Fig. 3.7, vedasi anche Fig. 1.27). I medesimi flussi successivamente tendono a convergere in corrispondenza dell'eco ad uncino (Fig. 3.8 e Fig 3.9), probabilmente a causa del calo di pressione indotto dal mesociclone di basso livello in formazione. Alle ore 17.20 (Fig. 3.10) sembrano prevalere correnti discendenti da NE in corrispondenza del FFD (Forward Flank Downdraft), prima orientate grosso modo da nord: questo cambio di direzione è verosimilmente dovuto all'intensificazione del mesociclone di basso livello che ha indirizzato le correnti di outflow in senso ciclonico, mentre all'estremità meridionale della supercella persisteva il flusso più caldo da est. E' in questi minuti che inizia la tornadogenesi sopra l'area del comune di Pianiga.

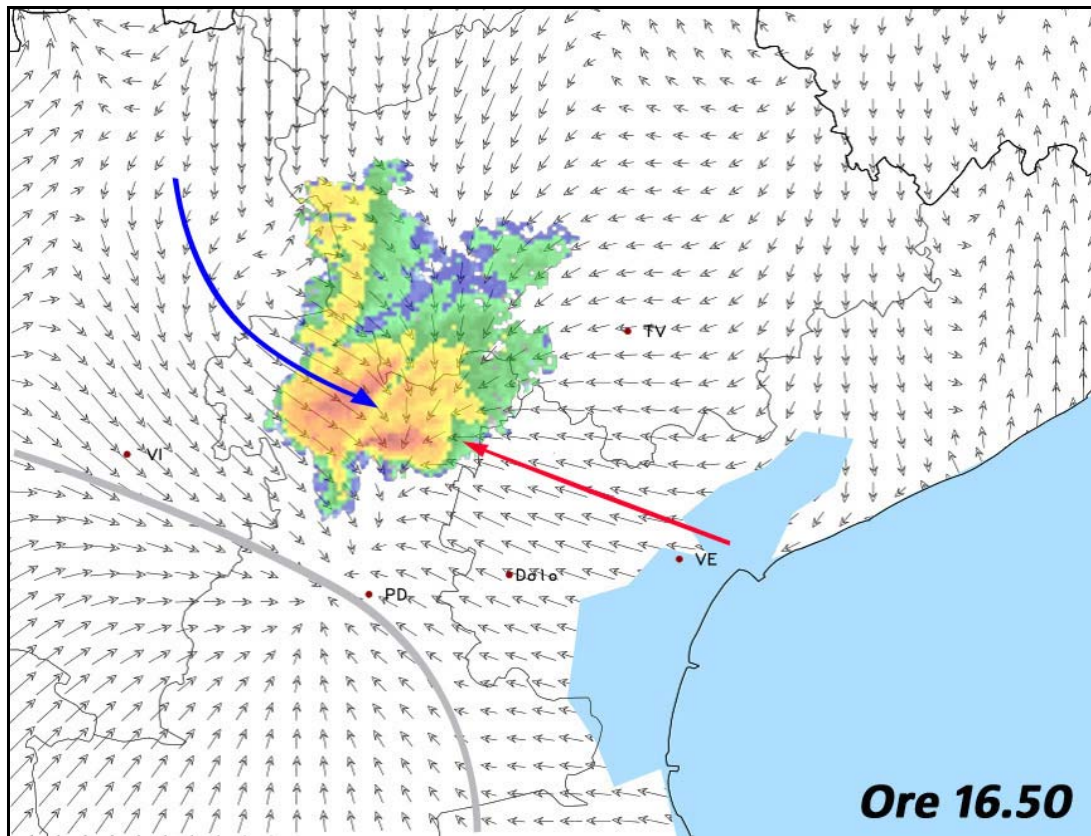


Fig. 3.7 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 16.50 locali

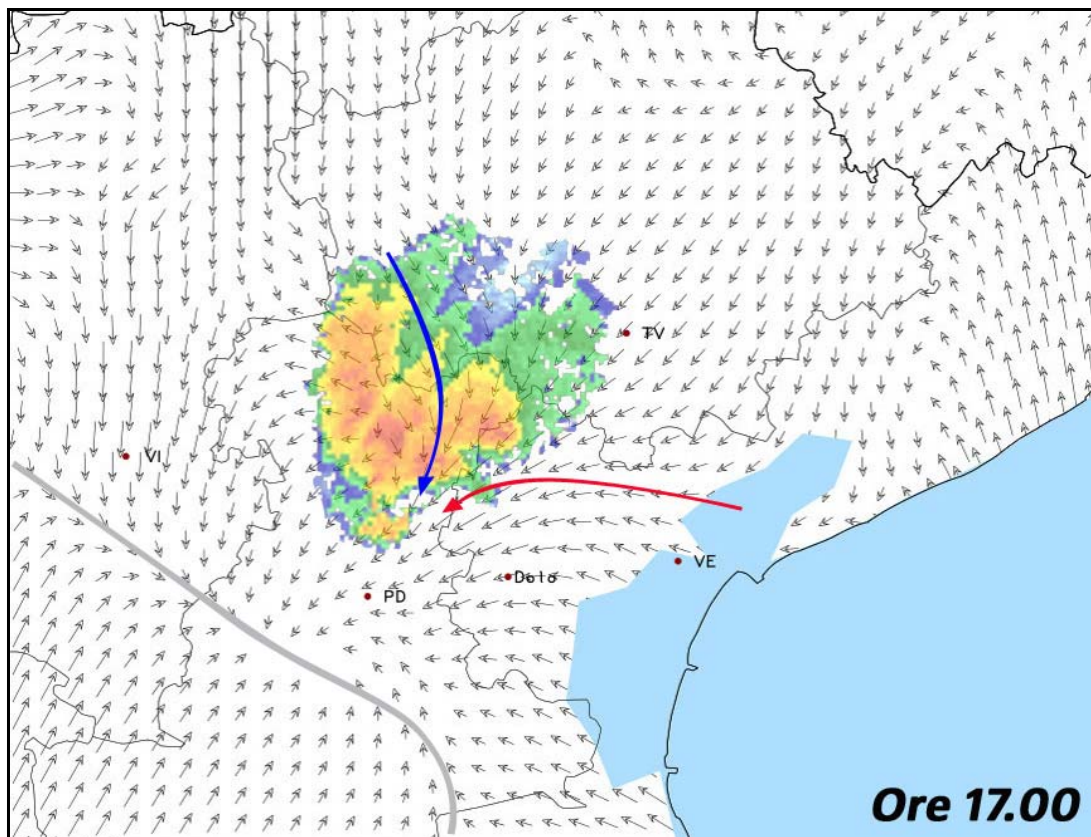


Fig. 3.8 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 17 locali

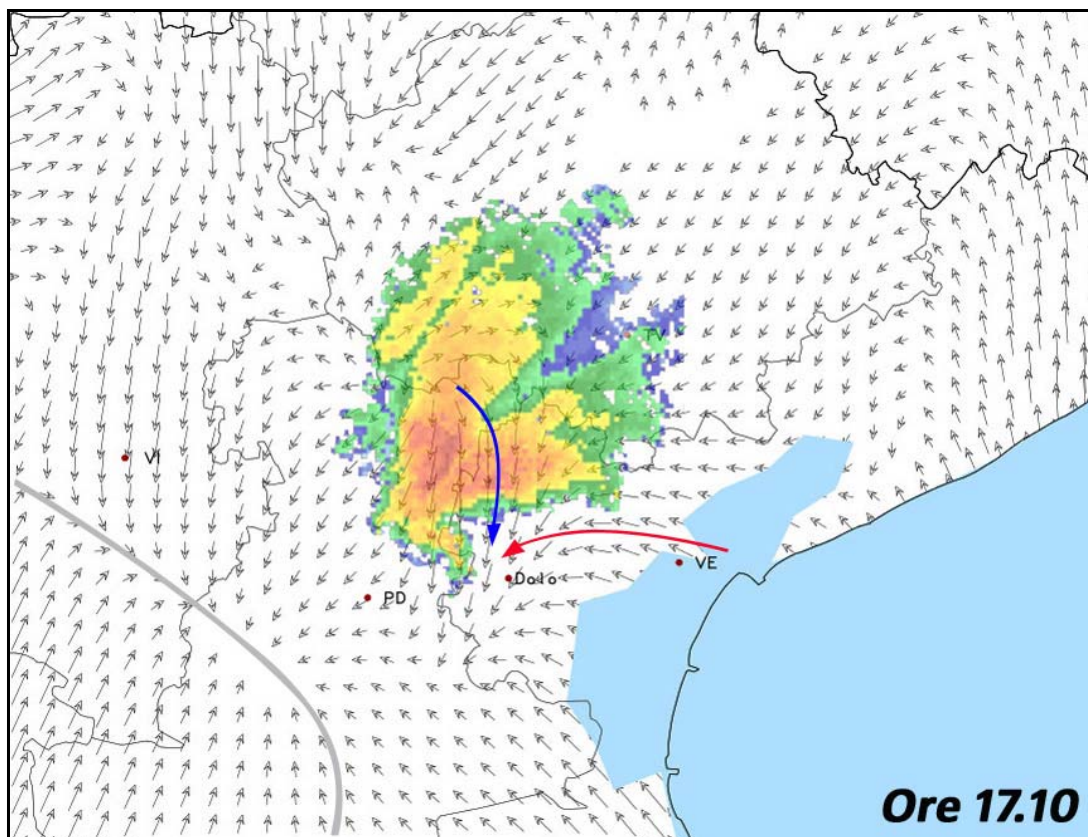


Fig. 3.9 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 17.10 locali

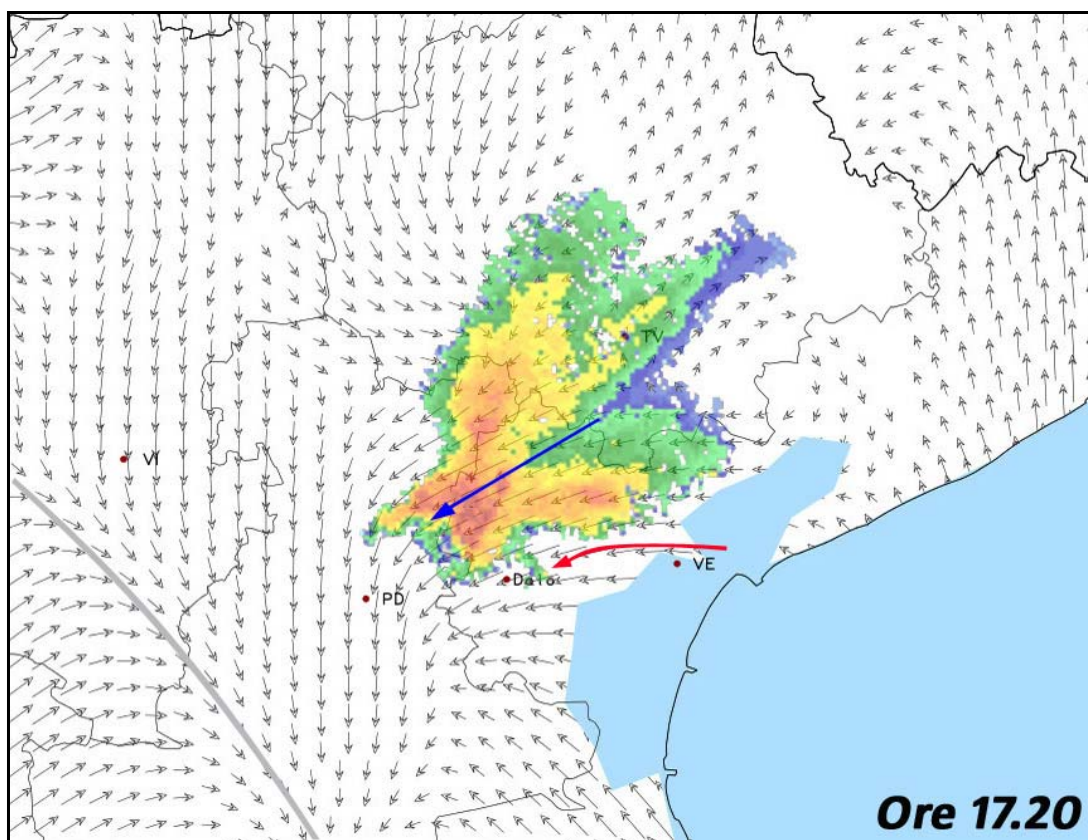


Fig. 3.10 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 17.20 locali

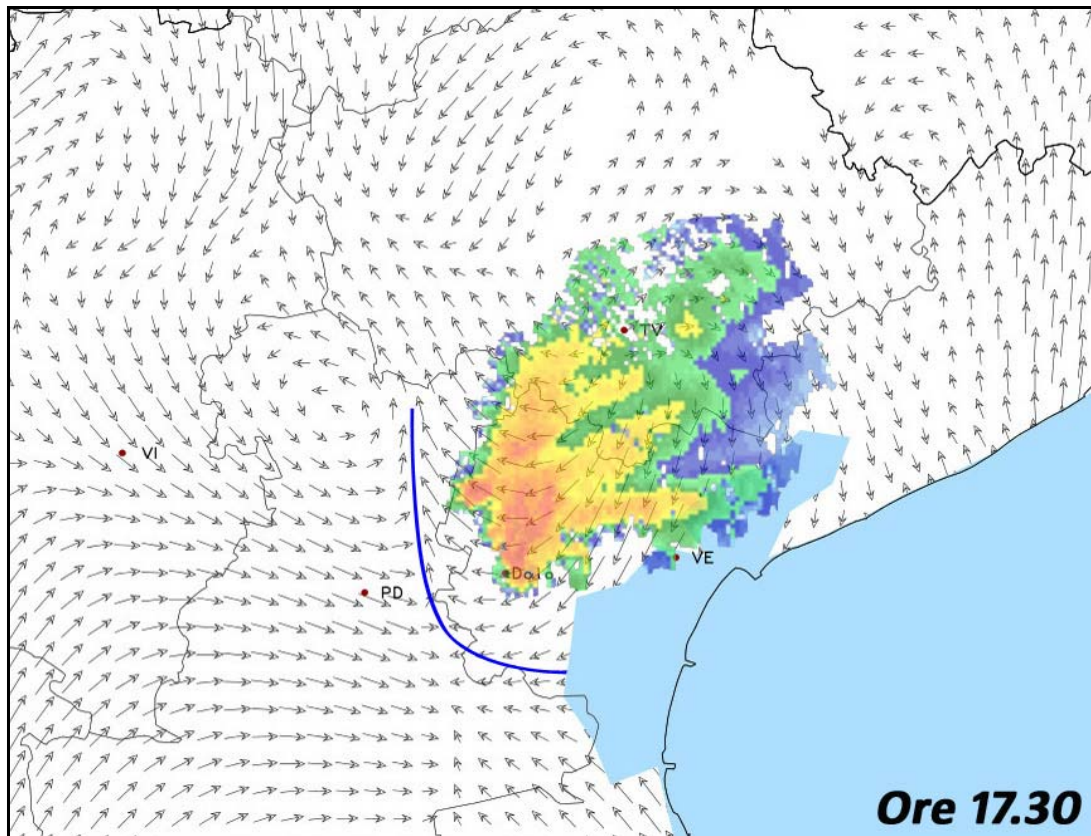


Fig. 3.11 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 17.30 locali

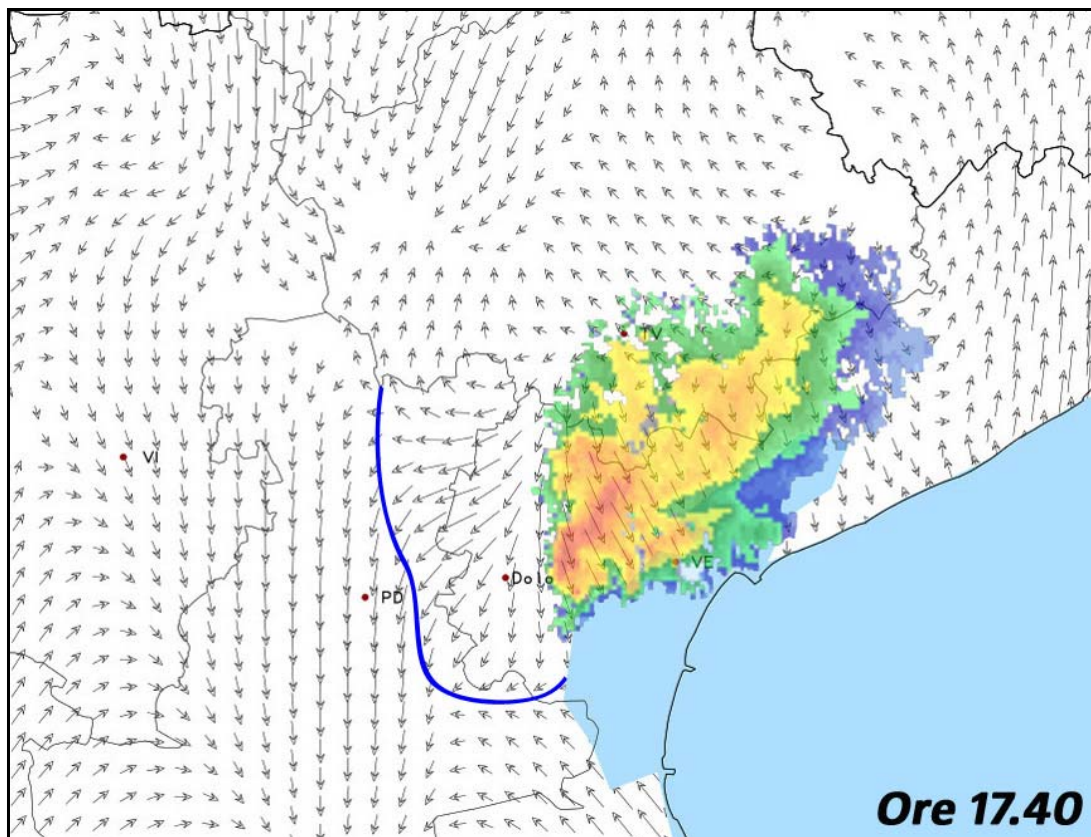


Fig. 3.12 - Direzione del vento al suolo da rete MeteoNetwork-MeteoTriveneto (190 stazioni) ore 17.40 locali

3.3 Inclinazione della corrente ascendente nella supercella

La sequenza di immagini satellitari nel canale infrarosso a “falsi colori” di Fig. 3.13 mostra la temperatura alla sommità delle nubi. La macchia più scura che compare tra le ore 16.30 e le ore 17 locali individua l’overshooting top (cupola), cioè la sommità dell’updraft principale, corrispondente al mesociclone della supercella, che ha sfondato l’incudine dal basso superandola in altezza e acquisendo in tal modo temperature inferiori, intorno ai -70°C . La cupola, come in genere accade, si è formata sul bordo meridionale del temporale ove nei bassi strati si colloca l’area di inflow principale. Alle ore 17.15 locali l’area più scura non è più visibile in quanto la cupola ha subito un rapido collasso per l’indebolimento dell’updraft che la sosteneva.

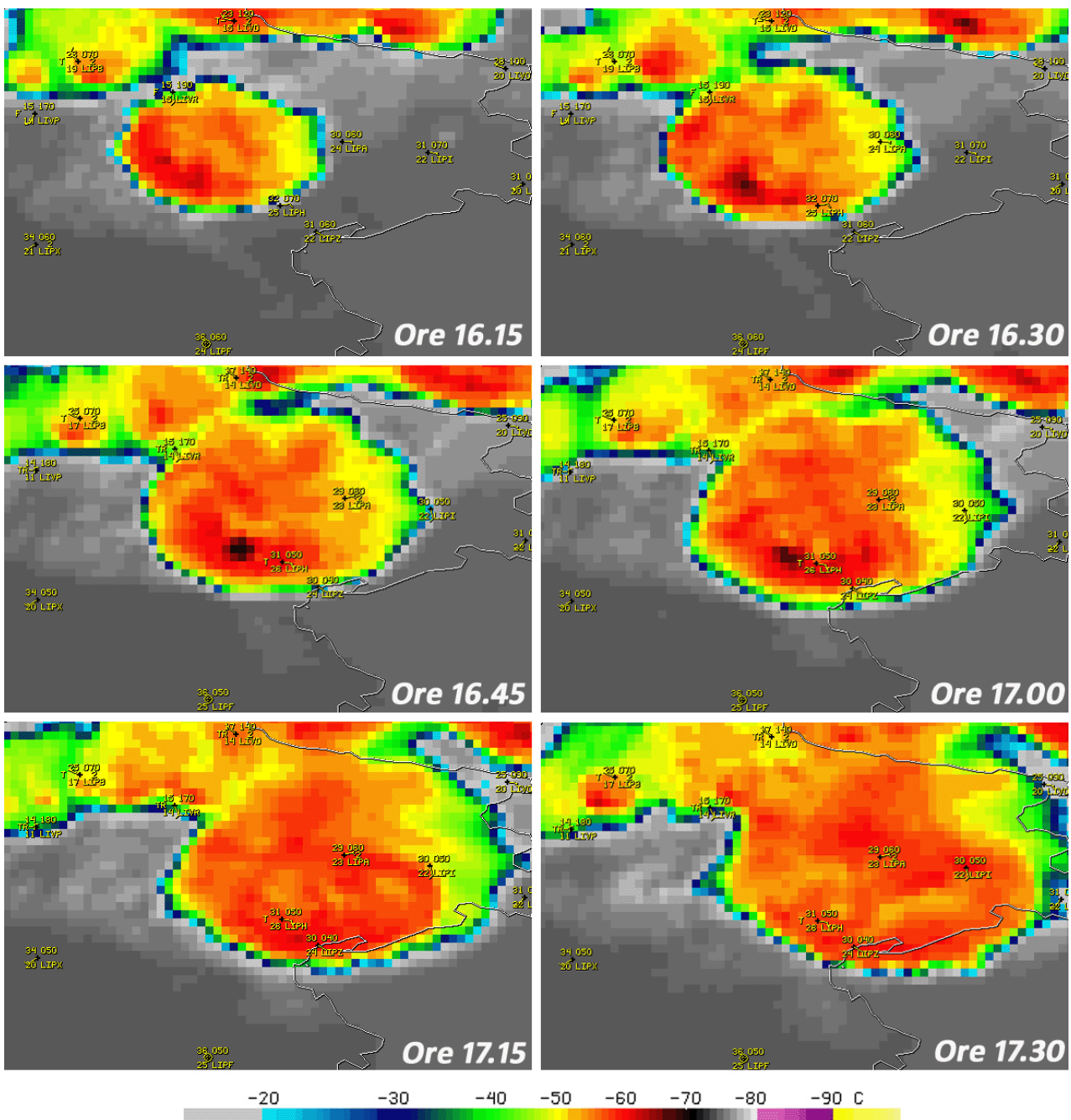


Fig. 3.13 - Immagini satellitari dalle ore 16.15 alle 17.30 locali nell’infrarosso. Fonte: Eumetsat. Elaborazione: CIMSS

In sostanza, nel lasso di tempo che va dalle 17 alle 17.15 locali, nel settore sud-occidentale della supercella si è presumibilmente generato un intenso flusso discendente di aria fredda e secca che ha avuto origine dalle quote ove era giunta la cupola, circa 16500 metri se si considera il valore medio di MPL derivato dalle due “versioni” del radiosondaggio simulato (Fig. 2.15 e Fig. 2.16). Come riportato dalla letteratura scientifica americana, per esempio *Lemon et al.* (1978), il collasso dell’overshooting top a volte precede di pochi minuti l’occlusione mesociclonica e la tornadogenesi in quanto si ipotizza che il downdraft, identificabile in questo contesto nel Rear Flank Downdraft (RFD), vada ad incrementare la rotazione di basso livello attraverso dei meccanismi fisici non ancora del tutto chiariti (*Markowski*, 2002).

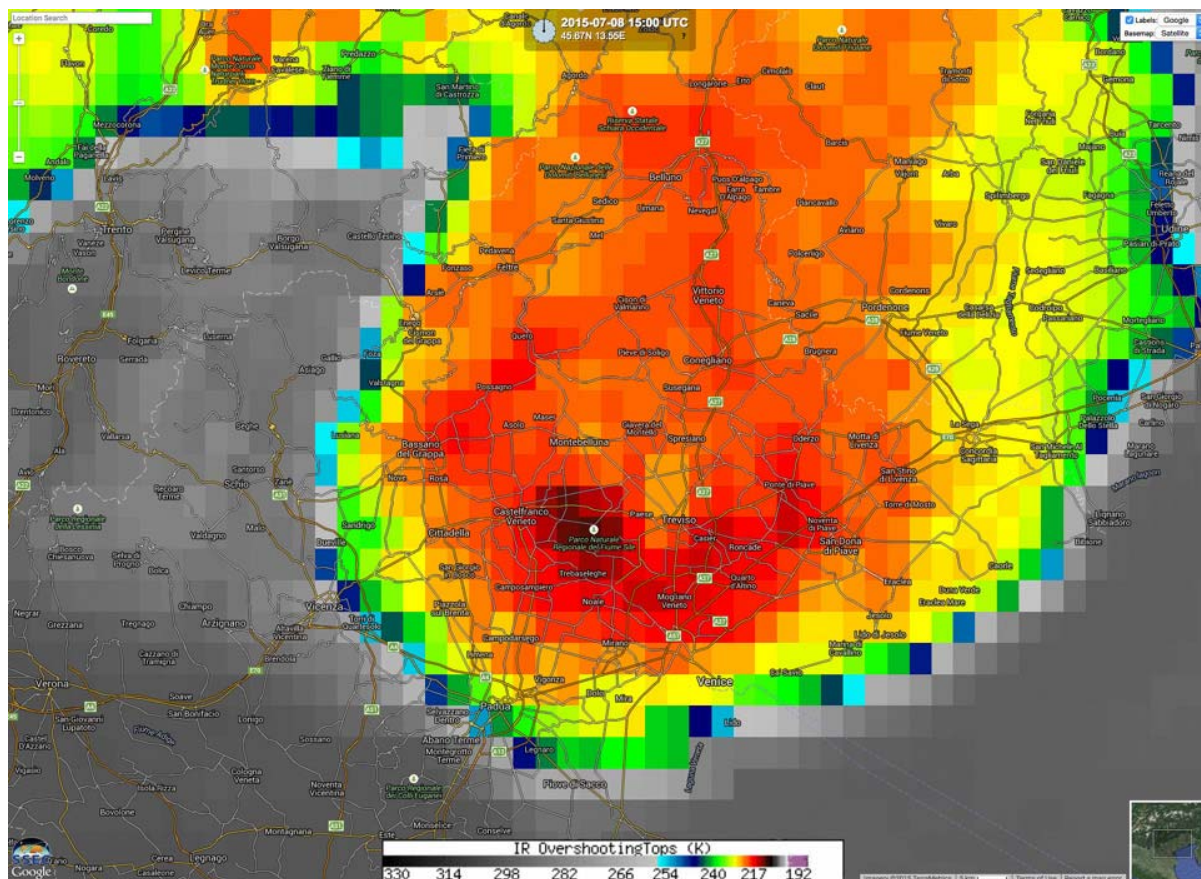


Fig. 3.14 - Immagine satellitare delle ore 17 locali nell’infrarosso. Fonte: Eumetsat. Elaborazione: CIMSS

L’immagine della temperatura sommitale delle nubi delle ore 17 locali è riportata con maggior dettaglio nella Fig. 3.14, in cui si possono osservare anche le principali località venete interessate dalla supercella. Confrontando questa immagine con le scansioni di riflettività massima del radar di Teolo della stessa ora è possibile stimare approssimativamente l’inclinazione della corrente ascendente che ha generato la cupola. In Fig. 3.15 e Fig. 3.16 il cerchio nero sul settore meridionale della supercella identifica l’updraft, riconoscibile dall’area pari a circa 1 km² sopra il comune di Campodarsego (PD) avente valori di riflettività nulli o quasi (Weak Echo Region, WER). Ciò è indice di forti venti di inflow che si dirigono verso il mesociclone il quale, aspirando rapidamente l’aria caldo-umida verso l’alto, non lascia il tempo alle goccioline di unirsi per coalescenza in elementi più grossi nella medio-bassa troposfera, da cui i bassissimi valori di riflettività nei PPI inferiori. Il cerchio nero posto a NE rispetto all’updraft identifica invece l’overshooting top (desunta dalla Fig. 3.14) che si era posizionata sulla verticale tra i comuni di Morgano e di Istrana (TV).

La distanza in linea d'aria, proiettata al suolo, tra la base dell'updraft e la sommità della cupola è stata ricavata dal confronto tra la Fig. 3.14 e la Fig. 3.16, ed è stimata in circa 20 km, mentre la quota dell'overshooting top è stata valutata dal livello simulato di MPL e dalle sezioni verticali di riflettività del radar di Teolo, ricavandone in tal modo un'altezza di circa 16500 metri, come già anticipato. Applicando le funzioni trigonometriche sulla base di questi dati, risulta un angolo di inclinazione medio dell'updraft di circa 40 gradi a partire dal suolo. Si tratterebbe quindi di una supercella ad asse obliquo molto inclinata verso nord-est, intuibile anche dalla sezione verticale di riflettività riportata in Fig. 3.17. E' opportuno tenere presente che nelle sezioni radar verticali la dimensione verticale è molto esagerata rispetto a quella orizzontale, per cui questo tipo di immagini tende a sottostimare l'inclinazione degli updrafts e della cella temporalesca nel suo complesso.

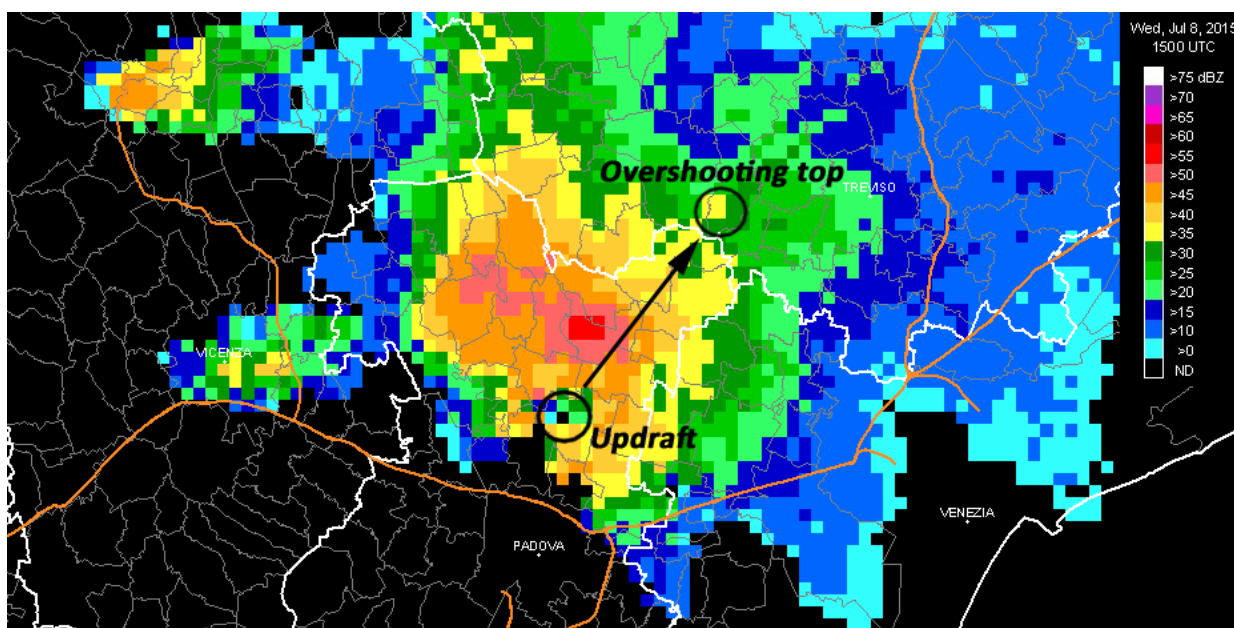


Fig. 3.15 - Immagine di riflettività massima ore 17 locali da sistema HDSS. Fonte: ARPAV

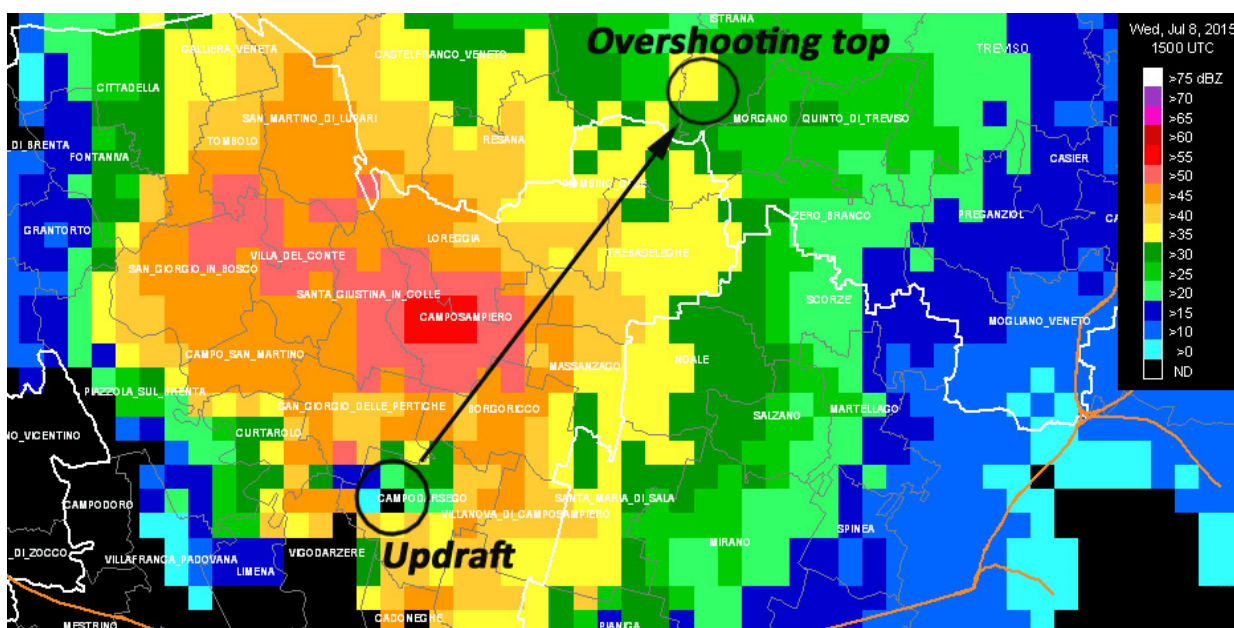


Fig. 3.16 - Immagine di riflettività massima ore 17 locali da sistema HDSS. Fonte: ARPAV

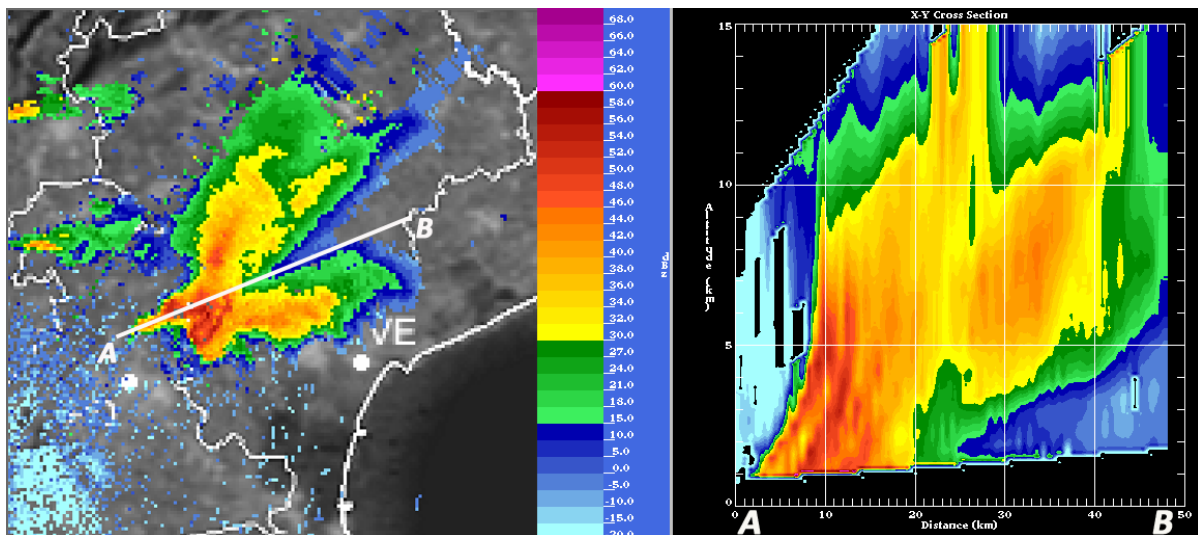


Fig. 3.17 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17.20 locali. Fonte: ARPAV

3.4 Fase I e II: multicella e transizione a supercella

Le immagini del radar meteorologico di Teolo dell'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto) hanno permesso di monitorare l'evoluzione del sistema temporalesco sin dalla sua genesi, consentendo di individuare tre fasi di sviluppo che hanno visto una transizione dallo stadio di multicella fino a quello di supercella, analogamente a quanto riportato in un caso studio pubblicato da *Vasiloff et al.* (1986) di cui si riportano di seguito i concetti più importanti.

I temporali a supercella, ma anche quelli a multicella, tendono a propagarsi sul lato destro rispetto al vento nella media troposfera perchè in genere il settore più favorevole allo sviluppo degli updrafts si colloca sul lato meridionale del temporale, grazie al wind shear verticale favorevole (venti da S-SE nei bassi strati) e al fronte delle raffiche (gust front) associato ai downdrafts che tende a sollevare l'aria caldo-umida stazionante al suolo. Nel corso dell'evoluzione verso una struttura a supercella, le correnti ascendenti delle varie celle che compongono la multicella vedono aumentare il loro diametro e la loro intensità, ma lo spazio tra esse rimane costante per cui si verifica una sovrapposizione degli updrafts e delle singole celle. Questa zona di sovrapposizione tende a deviare a destra di 65° rispetto ai singoli updrafts determinando il movimento complessivo del temporale, mentre l'aumento della vorticità favorisce la genesi del mesociclone.

L'incremento degli updrafts in quota è accompagnato da una graduale intensificazione dei corrispondenti downdrafts che a loro volta generano delle correnti di outflow al suolo sempre più intense, incrementando così la convergenza davanti al gust front. Questo meccanismo di feedback dipende dal wind shear verticale e dall'instabilità dell'aria e causa, per l'appunto, l'unione dei singoli updrafts in un'unica corrente ascendente, più grande ed intensa delle precedenti. Le nuove celle convettive si formano quindi sopra il gust front avanzante, in particolare nella sua estremità meridionale dove maggiore è il contrasto con la corrente calda di inflow. Nel dettaglio, le celle sulla sinistra (a NE) rispetto al vento medio sono nella fase di dissoluzione, quelle al centro sono mature, mentre le celle sulla destra (a SW) sono nella fase di formazione. Gli updrafts in quota subiranno un indebolimento quando inizieranno a prelevare l'outflow delle celle più vecchie poste verso nord-est.

Come sopra accennato, il lavoro di *Vasiloff et al.* (1986) distingue tre fasi di sviluppo, di seguito elencate, e cita un tempo medio di 90 minuti impiegato da un temporale per evolvere in supercella.

1. multicella (in quota le celle iniziano ad unirsi, compare la traccia del BWER al radar)
2. fase di transizione (la cella aumenta di dimensioni, l'eco radar appare più unito)
3. supercella (compare la rotazione nelle scansioni di velocità radiale)

Ritornando alla giornata dell'8 luglio 2015, la Fig. 3.18 mostra una sequenza di scansioni di riflettività massima del radar ARPAV di Teolo in cui, dalle ore 15.50 alle ore 16.30 locali, si possono notare due cicli rigenerativi tipici di un temporale multicellulare. Sono evidenziate con le frecce nere due celle che si sono formate a sud rispetto alla cella madre a causa delle intense correnti di outflow (gust front) che hanno sollevato l'aria caldo-umida preesistente. Entrambe le celle si sono quindi fuse con il corpo principale del temporale sul lato sud, dove si colloca il flusso di inflow, invece di allontanarsi dalla cella generatrice o di rigenerarsi a loro volta come in genere avviene, probabilmente a causa della marcata convergenza legata al mesociclone in formazione.

E' importante sottolineare che la fusione delle celle temporalesche sul lato dell'inflow del sistema temporalesco principale costituisce un grave indizio di possibile tornadogenesi, come in effetti avvenuto. Nello scatto radar delle ore 16.30, sempre in Fig. 3.18, non si verificano ulteriori processi rigenerativi e si sta organizzando un unico updraft, indicato con il cerchio nero e caratterizzato da bassi valori di riflettività (pixel verdi), quasi certamente più esteso e violento di quelli precedenti a seguito dell'evoluzione illustrata da *Vasiloff et al.* (1986). Alle ore 16.40 l'eco radar appare più uniforme ed esteso e caratterizzato da valori di riflettività mediamente più elevati, decretando così l'inizio della fase di transizione verso lo stadio di supercella.

Le sezioni verticali di riflettività delle Fig. 3.19 e 3.20 mostrano una classica struttura multicellulare con alcune celle temporalesche nel pieno della fase rigenerativa. Tuttavia, nella sezione di Fig. 3.21 delle ore 16.30 locali si scorge un principio di BWER (Bounded Weak Echo Region) intorno agli 8 km di quota tra le due celle più a sud, indice probabilmente della sovrapposizione degli updrafts. Dieci minuti dopo, alle ore 16.40 locali (Fig. 3.22), le due celle prima citate sono indistinguibili nella sezione verticale di riflettività, dove compare un evidente BWER che si spinge fino a 5 km di quota, anche se il PPI a 1.5° (circa 1500 m di altezza) potrebbe trarre in inganno poiché in questo tipo di prodotto radar sembra che le due celle siano divise. Si tratta invece di un WER di considerevoli dimensioni.

La corrispondente scansione di velocità radiale di Fig. 3.23 mostra un accenno di rotazione in corrispondenza del WER ad indicare che il temporale inizialmente multicellulare (fase I) è nel pieno della sua fase di transizione (fase II) e che a breve evolverà in una supercella in piena regola (fase III). Si notino, inoltre, gli elevati valori negativi di velocità radiale (in avvicinamento al radar) con gli altrettanto elevati valori di riflettività indice di forti correnti discendenti che si sono manifestate sottoforma di violenti downbursts (raffiche di vento lineari) e grandinate sull'alto padovano, in particolare tra Cittadella, Camposampiero e Campodarsego. Si ricorda che la velocità radiale negativa (colore verde) indica che le idrometeore sono in avvicinamento al radar, mentre la velocità radiale positiva (colore rosso) indica che le idrometeore si allontanano dal radar. Infine, è utile considerare che la velocità radiale è sempre minore o al più uguale alla velocità reale: la velocità radiale è massima quando la direzione di spostamento del target coincide con la direzione che unisce il target e il radar (direzione radiale), mentre è nulla (colore bianco) se la direzione di spostamento è perpendicolare alla direzione radiale.

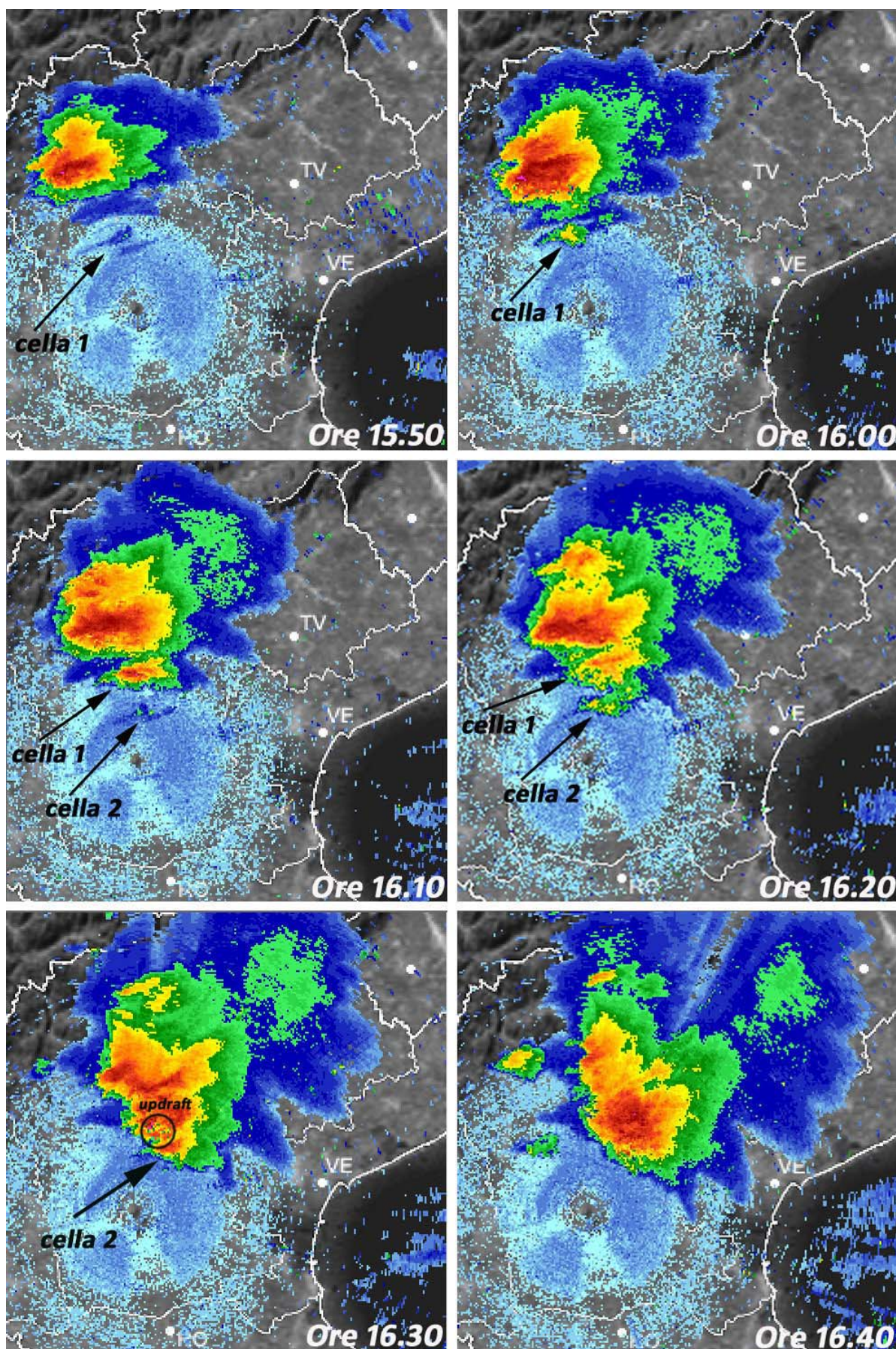


Fig. 3.18 - Riflettività massima dalle ore 15.50 alle ore 16.40 locali. Fonte: ARPAV

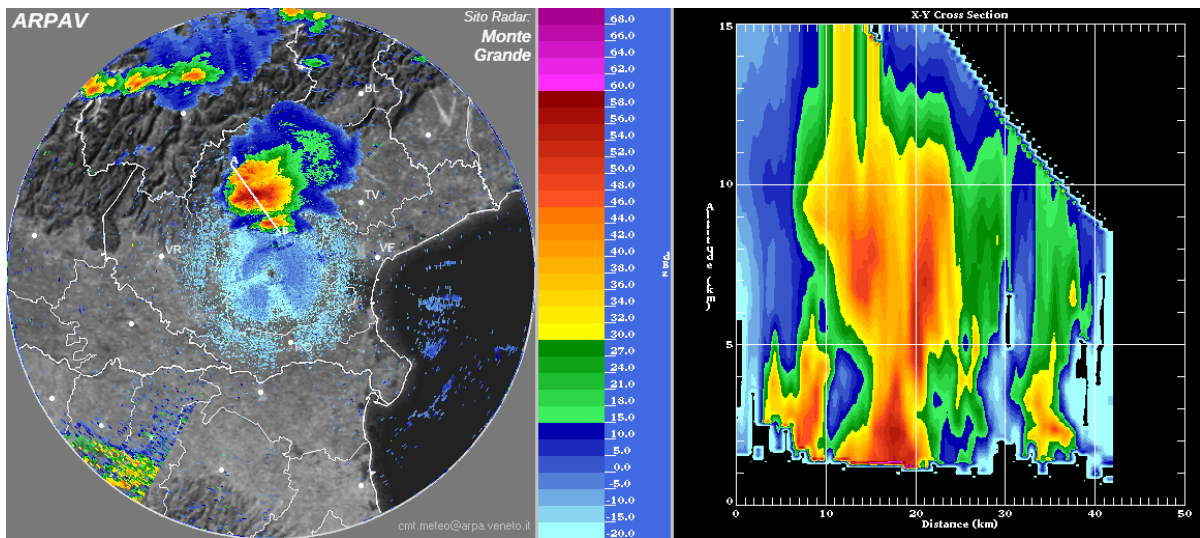


Fig. 3.19 - Riflettività massima (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.10 locali. Fonte: ARPAV

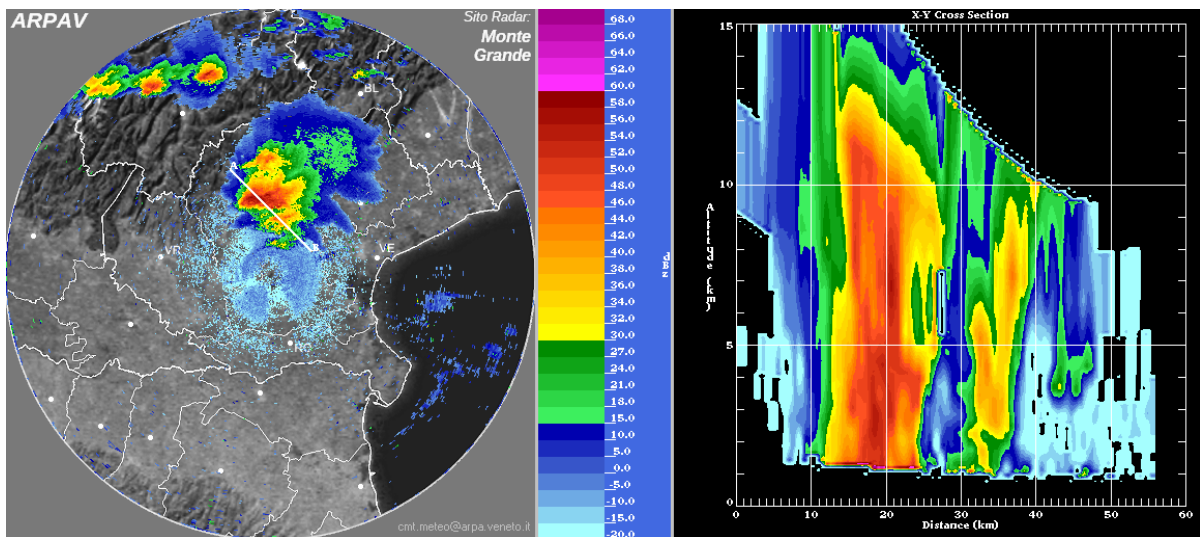


Fig. 3.20 - Riflettività massima (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.20 locali. Fonte: ARPAV

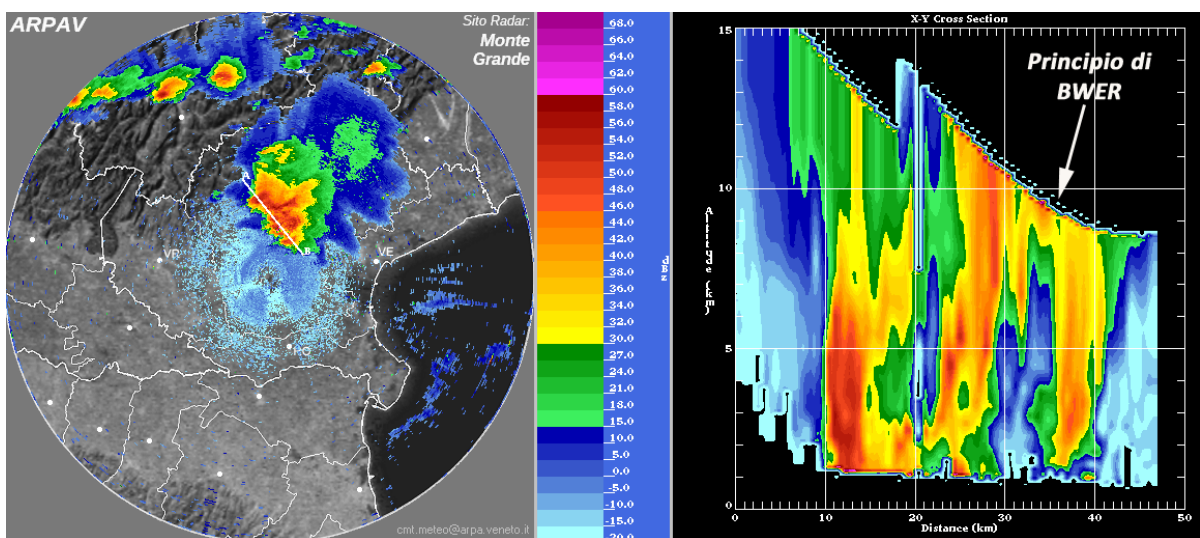


Fig. 3.21 - Riflettività massima (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.30 locali. Fonte: ARPAV

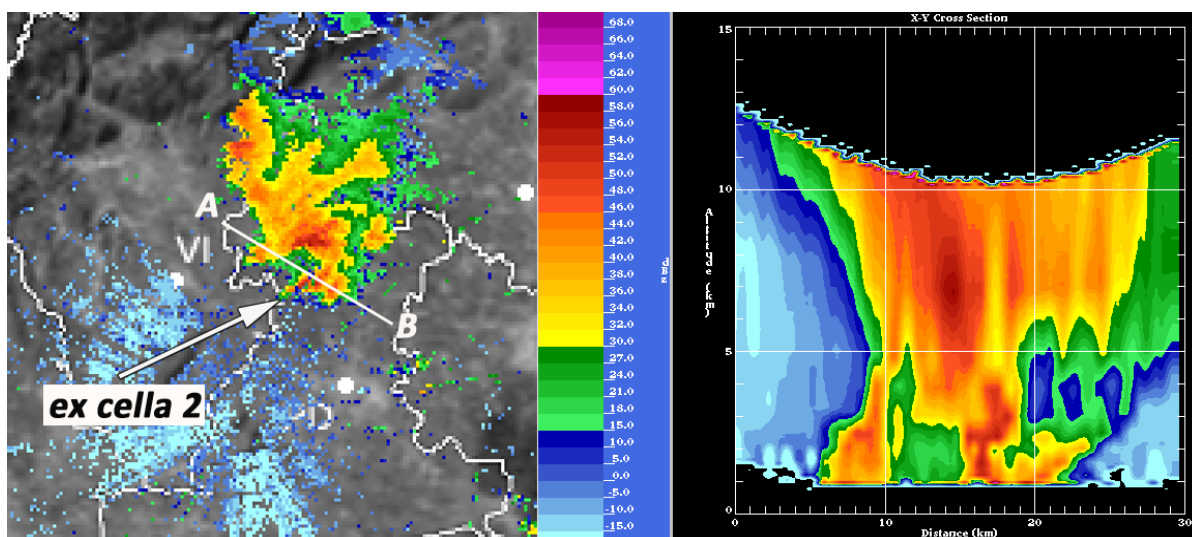


Fig. 3.22 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.40 locali. Fonte: ARPAV

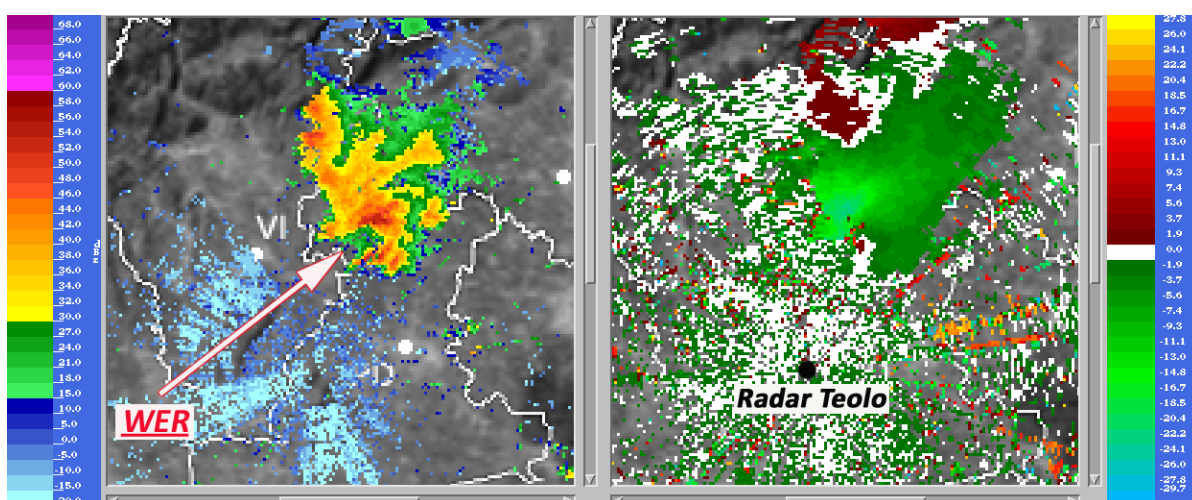


Fig. 3.23 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 1.5° (destra) ore 16.40 locali. Fonte: ARPAV

3.5 Fase III: temporale a supercella e tornadogenesi

A partire dalle ore 16.50 locali la struttura temporalesca, attiva sull'alto padovano, evidenzia nel campo della riflettività gli echi radar tipici della supercella. Un attento esame della sequenza radar di riflettività massima in Fig. 3.24 mostra la notevole estensione del temporale con un marcato gradiente di riflettività sul suo bordo meridionale dove, alle ore 17 locali, si intravede la traccia del mesociclone, indicato dal cerchio nero e comunque individuabile da una piccola area avente valori di riflettività molto bassi (colore verde). Alle ore 17.20 compaiono due piccole aree verdi di riflettività sulla porzione più meridionale della supercella, indicate dai cerchi neri, ognuna delle quali corrisponde ad un updraft rotante come si comprenderà nelle successive immagini radar, ma sarà il mesociclone più a ovest a generare il violento tornado sul veneziano. Infine, alle ore 17.40 locali si intravede un inflow notch (WER), segnalato dalla freccia nera, che molto probabilmente ha contrassegnato l'inizio di una nuova occlusione mesociclonica, praticamente coincidente con l'estinzione del tornado che nel frattempo aveva raggiunto la laguna veneta.

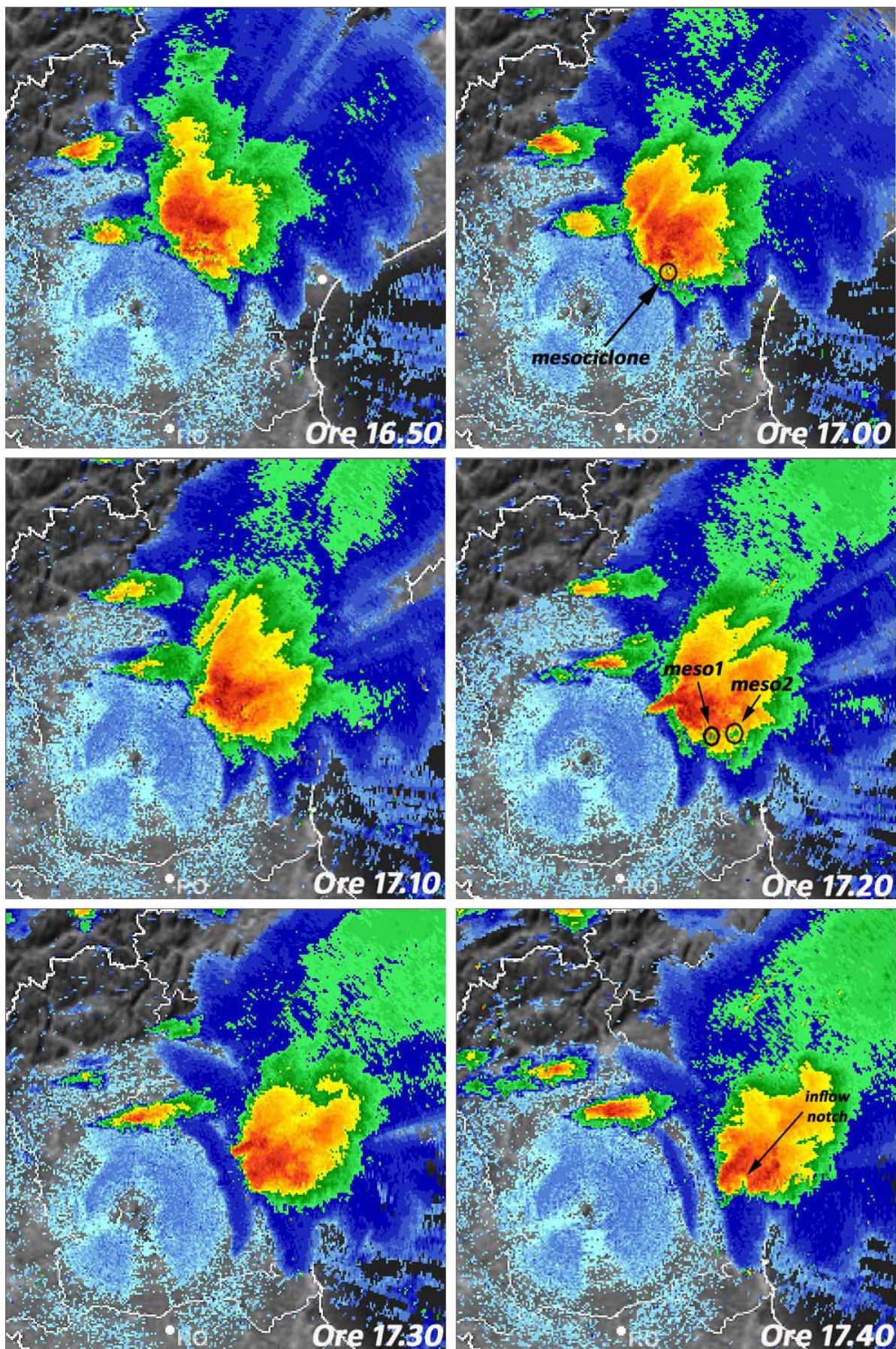


Fig. 3.24 - Riflettività massima dalle ore 16.50 alle ore 17.40 locali. Fonte: ARPAV

Le immagini radar di riflettività delle ore 16.50 e 17 locali mostrano degli elementi in comune con quanto riportato nel lavoro di *Browning* (1965) in cui sono state analizzate le correnti ascendenti di un intenso temporale caratterizzato da due BWER. Nella parte sinistra della Fig. 3.25 si vede la supercella in fase di strutturazione nel PPI 1.5° (circa 1500 m di altezza) della quale sono indicati nel dettaglio due echi radar: “hook streamer” corrisponde all’eco che andrà a costituire l’eco ad uncino e che si collocherebbe nell’updraft, mentre “giant curved streamer” consiste in un altro eco radar generalmente più esteso sempre sul fianco meridionale della supercella ma posizionato verso est ed esterno all’updraft principale. Quest’ultimo segnale radar si muove da ovest ad est relativamente al temporale, mentre l’eco ad uncino vero e proprio tende a spostarsi da est ad ovest: il contrasto tra questi due moti presuppone un marcato wind shear orizzontale nel settore compreso tra i due suddetti echi radar (*Browning*, 1965).

La sezione verticale di riflettività riportata sulla parte destra della Fig. 3.25 mostra due BWER di cui quello ad ovest risulta di estrema intensità essendosi portato ad una quota maggiore di 10 km ed avendo al suo interno valori di riflettività molto bassi (BWER 1), mentre quello più ad est ha superato di poco i 5 km di quota e presenta valori di riflettività leggermente superiori (BWER 2) essendosi probabilmente generato in un secondo momento. In riferimento ai cerchi rossi sulla parte sinistra della Fig. 3.25, il BWER 1 si colloca sul futuro eco ad uncino (“hook streamer”) e, in pratica, individua la colonna di aria ascendente (updraft principale) che a breve evolverà in mesociclone ed originerà il tornado al suolo, invece il BWER 2 si colloca più ad est sul “giant curved streamer” secondo un asse leggermente più obliquo disposto verso nord-est.

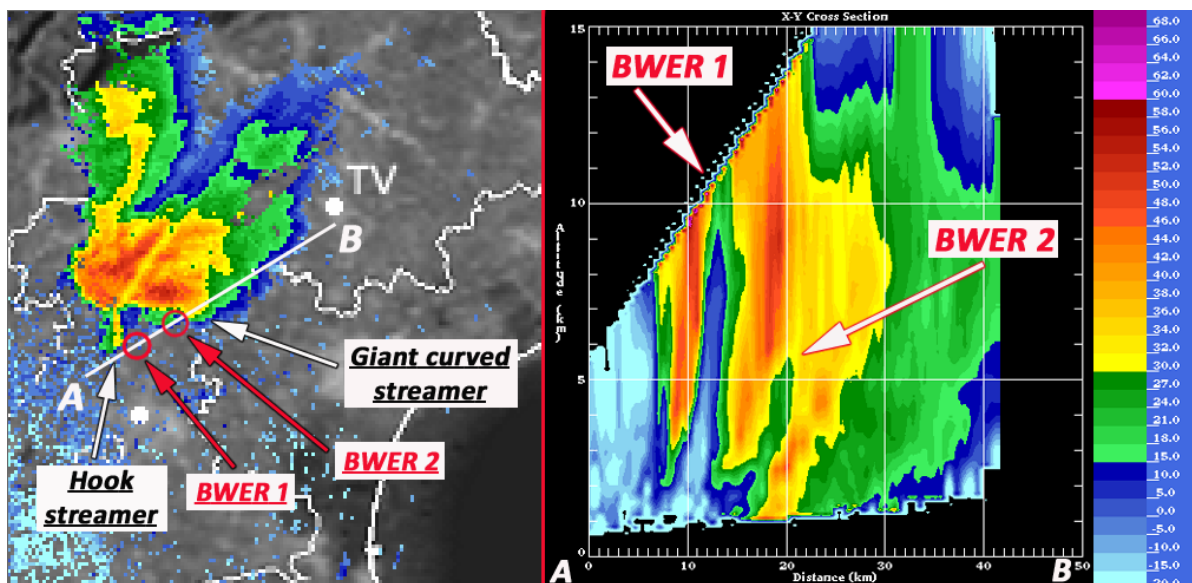


Fig. 3.25 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.50 locali. Fonte: ARPAV

Nella sezione verticale di riflettività della Fig. 3.26, tracciata con un orientamento simile a quella della Fig. 3.25, si può osservare meglio lo sviluppo verticale del BWER 1 che è giunto fino ad una quota di circa 10 km. Si noti, per entrambe le figure, che il corrispondente PPI a 1.5° non mostra alcun segnale di riflettività immediatamente a sud dell’estremità del “hook streamer” dove si trova la linea bianca della sezione verticale A-B, in quanto il fascio radar, per l’elevazione dell’antenna a 1.5°, passava sotto la colonna di pioggia e grandine (Descending Reflectivity Core, DRC) in discesa immediatamente a sud-ovest del BWER 1, ovvero a sinistra del BWER 1 nella sezione verticale di riflettività (vedasi Fig. 3.26).

Infatti, è opinione condivisa da vari autori che l'eco ad uncino tenda a formarsi per l'avvezione delle precipitazioni (pioggia, grandine) dall'eco radar principale della supercella verso il settore sud-occidentale della medesima a causa del moto rotatorio impresso dall'updraft (mesociclone). Tuttavia, alcuni studi documentano che l'uncino si genera quando un nucleo a maggior riflettività (DRC) scende dalle quote superiori verso il suolo, inizialmente separato dall'eco radar principale della supercella alle quote più basse ma destinato ad unirsi ad esso fino a costituire l'eco ad uncino vero e proprio. Con particolare riferimento alla Fig. 3.26, la colonna DRC scende a partire dal settore sud-occidentale dell'eco radar sovrastante il BWER 1 (10-11 km di quota) fino alla parte sud-occidentale del WER presente nei livelli inferiori (circa 2 km di quota).

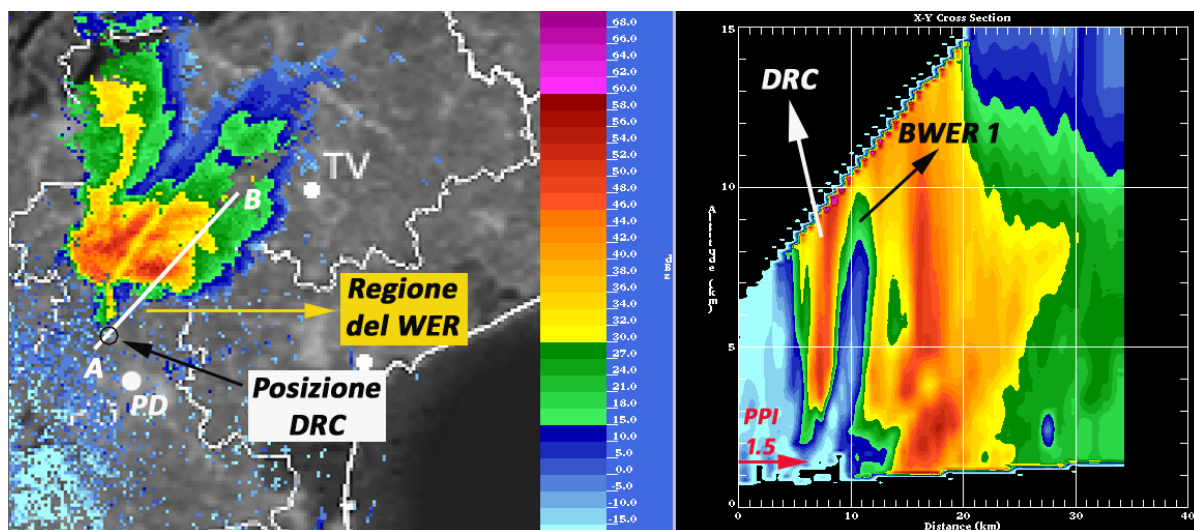


Fig. 3.26 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 16.50 locali. Fonte: ARPAV

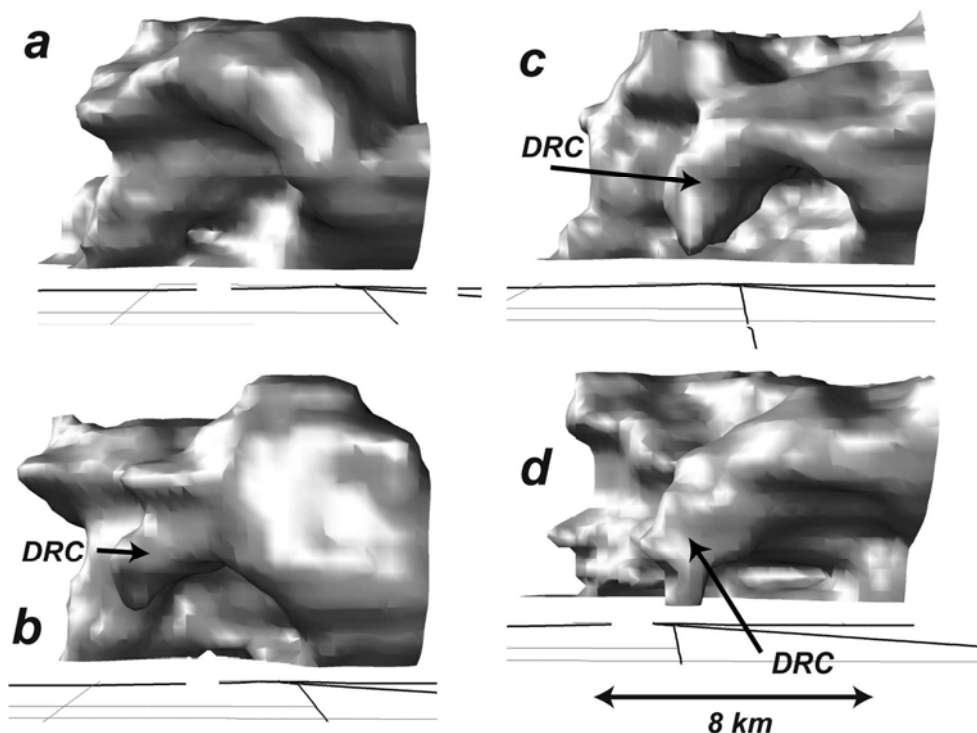


Fig. 3.27 – Modello tridimensionale di una supercella tornadica con DRC vista da sud (Rasmussen et al., 2006). Le immagini hanno una cadenza temporale di 5 minuti.

In Fig. 3.27 è riportato un modello in 3D di una supercella tornadica provvista di DRC nella sua porzione sud-occidentale. L'eco radar DRC tipicamente ha una dimensione di 2-3 km e si forma prima dell'eco ad uncino in corrispondenza della regione occupata dal RFD, quindi può fornire un maggior anticipo nella previsione di un potenziale tornado. Purtroppo solo una parte delle supercelle tornadiche sono precedute da DRC, inoltre l'eco DRC può comparire senza la successiva genesi di un tornado (*Rasmussen et al.*, 2006). L'eco DRC in sostanza rappresenta un downdraft localizzato alla periferia del mesociclone che potrebbe innescare un "tornado cyclone" ossia un mesociclone estremamente intenso che a sua volta potrebbe generare il tornado (*Agee et al.*, 1976; *Rasmussen et al.*, 2007). A volte il DRC nei PPI radar di riflettività più bassi può essere visualizzato come un eco tendenzialmente puntiforme a S-SW della supercella (vedasi Fig. 3.28 e Fig. 3.29).

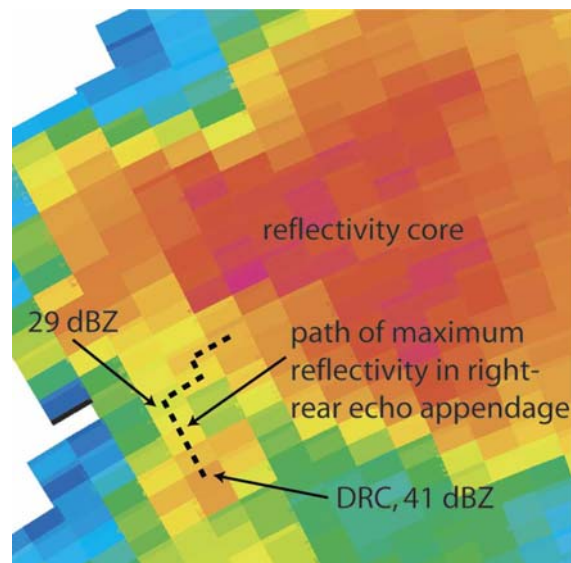


Fig. 3.28 – Esempio di PPI di riflettività a bassa quota con i criteri per definire un eco DRC (*Rasmussen et al.*, 2006)

Rasmussen et al. (2006) prevedono 3 requisiti per classificare correttamente l'eco DRC (Fig. 3.28):

1. l'eco di riflettività deve scendere dalla regione sovrastante il WER/BWER per assicurarsi che non si tratti di un eco radar di una cella separata dalla supercella
2. la riflettività del DRC deve superare di almeno 4 dBZ il valore minimo di riflettività che ricade nel percorso di maggior riflettività che unisce il DRC all'eco principale della supercella per assicurarsi che non si tratti di un "hook streamer" o di un eco ad uncino già formato (vedasi Fig. 3.29 delle ore 17 locali)
3. l'eco DRC deve trovarsi sul settore sud-occidentale della supercella (settore definito in base alla posizione del WER)

In riferimento alla condizione n. 2, l'eco "hook streamer" riportato nella parte sinistra della Fig. 3.25 e della Fig. 3.30 in realtà va intenso solamente come la regione che secondo *Browning* (1965) sarebbe occupata da tale eco. Questo perché le sezioni verticali di riflettività della Fig. 3.25 e della Fig. 3.26 mostrano inequivocabilmente l'esistenza di un BWER, tra l'altro di notevoli dimensioni, che esclude l'effettiva presenza dell'eco "hook streamer" essendo questo non ancora del tutto formato. In sostanza, le 3 suddette condizioni sono pienamente soddisfatte ed un'ulteriore conferma in tal senso si ritrova nella scansione radar di riflettività corretta riportata in Fig. 3.29 delle ore 17 locali. La riflettività corretta (ibrida) considera la percentuale del fascio radar eventualmente occlusa, quindi restituisce un'intensità del segnale radar al livello più basso possibile compatibilmente con l'orografia della zona.

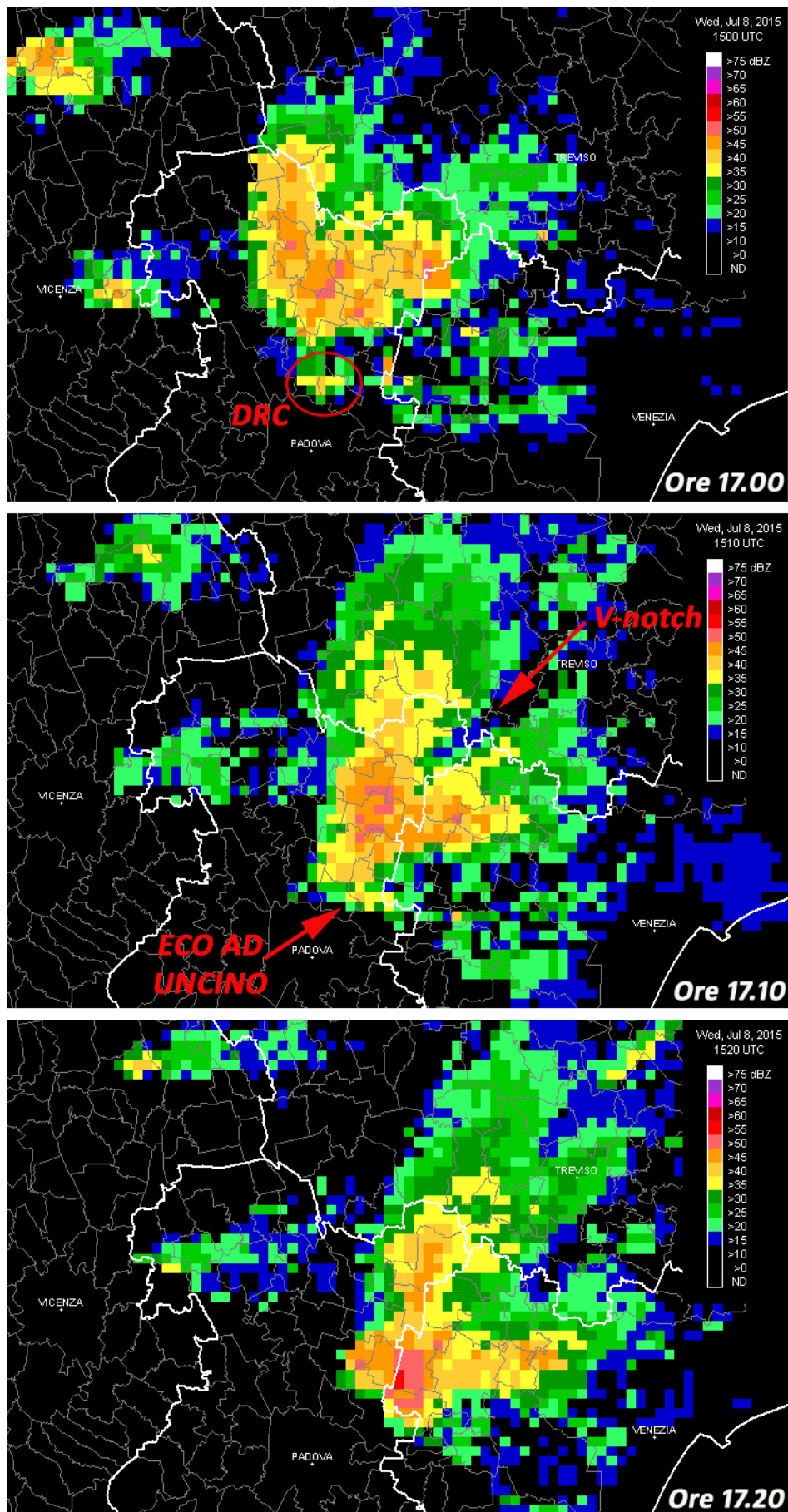


Fig. 3.29 - Immagini di riflettività corretta dalle ore 17 alle ore 17.20 locali da sistema HDSS. Fonte: ARPAV

In Fig. 3.29 è visualizzata l'evoluzione dell'eco ad uncino nei minuti immediatamente precedenti la tornadogenesi: alle ore 17 locali si evidenzia chiaramente la traccia del DRC a sud della supercella con un primo accenno di uncinata, alle ore 17.10 locali l'eco ad uncino è completamente formato con il V-notch ("flying eagle") ad indicare le intense correnti ascendenti che deviano ai lati dell'updraft principale le particelle di acqua e ghiaccio trasportate dal flusso occidentale in quota. Alle ore 17.20 locali, per via della bassa risoluzione spaziale del radar, non si distingue più l'uncino (ormai identificabile, nei bassi strati, nella circolazione tornadica vera e propria) in quanto l'occlusione mesociclonica era già in corso e con essa la discesa al suolo del vortice su Pianiga. Inoltre, sempre alle 17.20 locali, si noti l'incremento dei valori di riflettività a causa della corrente di RFD e del DRC ad essa associata che ha trasportato dalla media troposfera verso il suolo una consistente quantità di grossi elementi di acqua e ghiaccio.

La sezione verticale di riflettività in Fig. 3.30 suggerisce che gli updrafts dei due BWER delle ore 16.50 locali (Fig. 3.25) si sono fusi tra loro nello spessore 0-5 km, probabilmente per l'inizio del processo di occlusione mesociclonica che ha avvicinato la regione del "hook streamer" a quella del "giant curved streamer", mentre oltre i 5000 metri di quota è ancora possibile distinguere i due BWER con il BWER 1 più a SW che ha raggiunto una quota di circa 10 km, superiore a quella del BWER 2. Inoltre, BWER 1 è caratterizzato da valori di riflettività nulli nella media troposfera (tra 6000 m e 9000 m circa di altezza) a suggerire velocità ascendenti molto elevate che presumibilmente hanno generato l'overshooting top. Quest'ultima dalle ore 17 locali subirà un rapido collasso (vedasi Fig. 3.13).

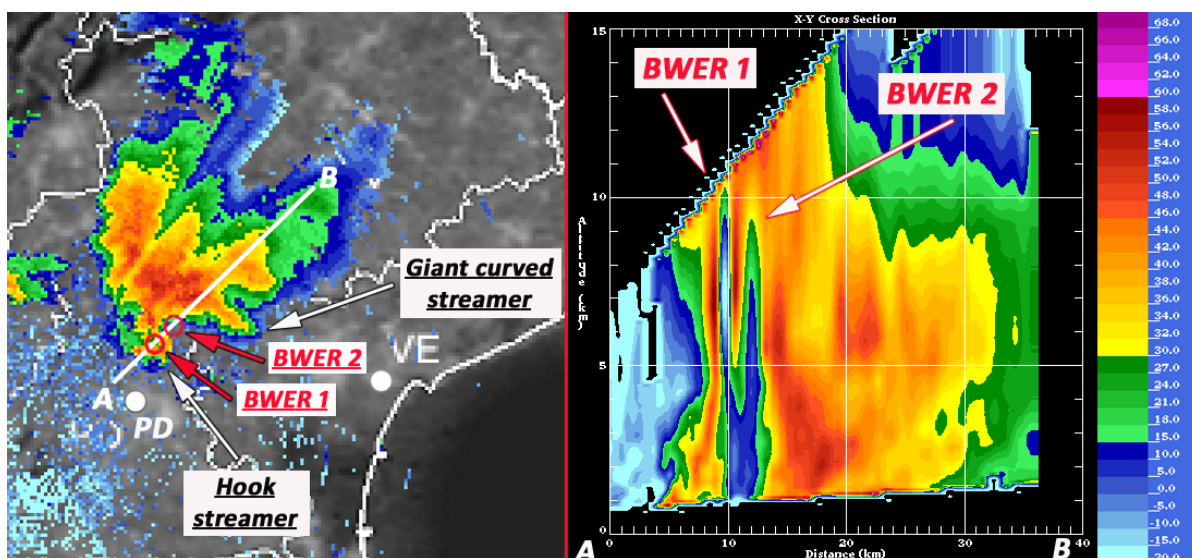


Fig. 3.30 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17 locali. Fonte: ARPAV

In Fig. 3.31 è riportato il campo di riflettività delle ore 17 locali a varie elevazioni corrispondenti alle seguenti altezze: PPI 0.9 circa 1000 m di quota, PPI 1.5 circa 1500 m di quota, PPI 2.5 circa 2100 m di quota, PPI 3.5 circa 2700 m di quota. Gli ingrandimenti dei PPI 1.5 e 2.5 identificano, mediante un'ellisse rossa e un cerchio rosso, una piccola area a bassa riflettività (colore verde) che corrisponde all'updraft del BWER 1 della Fig. 3.30. L'updraft del BWER 2, invece, si colloca immediatamente a nord-est del BWER 1, come indicato dai cerchi rossi nella parte sinistra della Fig. 3.30. Si osservi, inoltre, in Fig. 3.31, che salendo di quota (in particolare nel PPI 3.5) l'area dell'updraft tende a ridursi a favore di più elevati valori di riflettività associati alla discesa del RFD e del DRC che andranno ad occludere la circolazione mesociclonica.

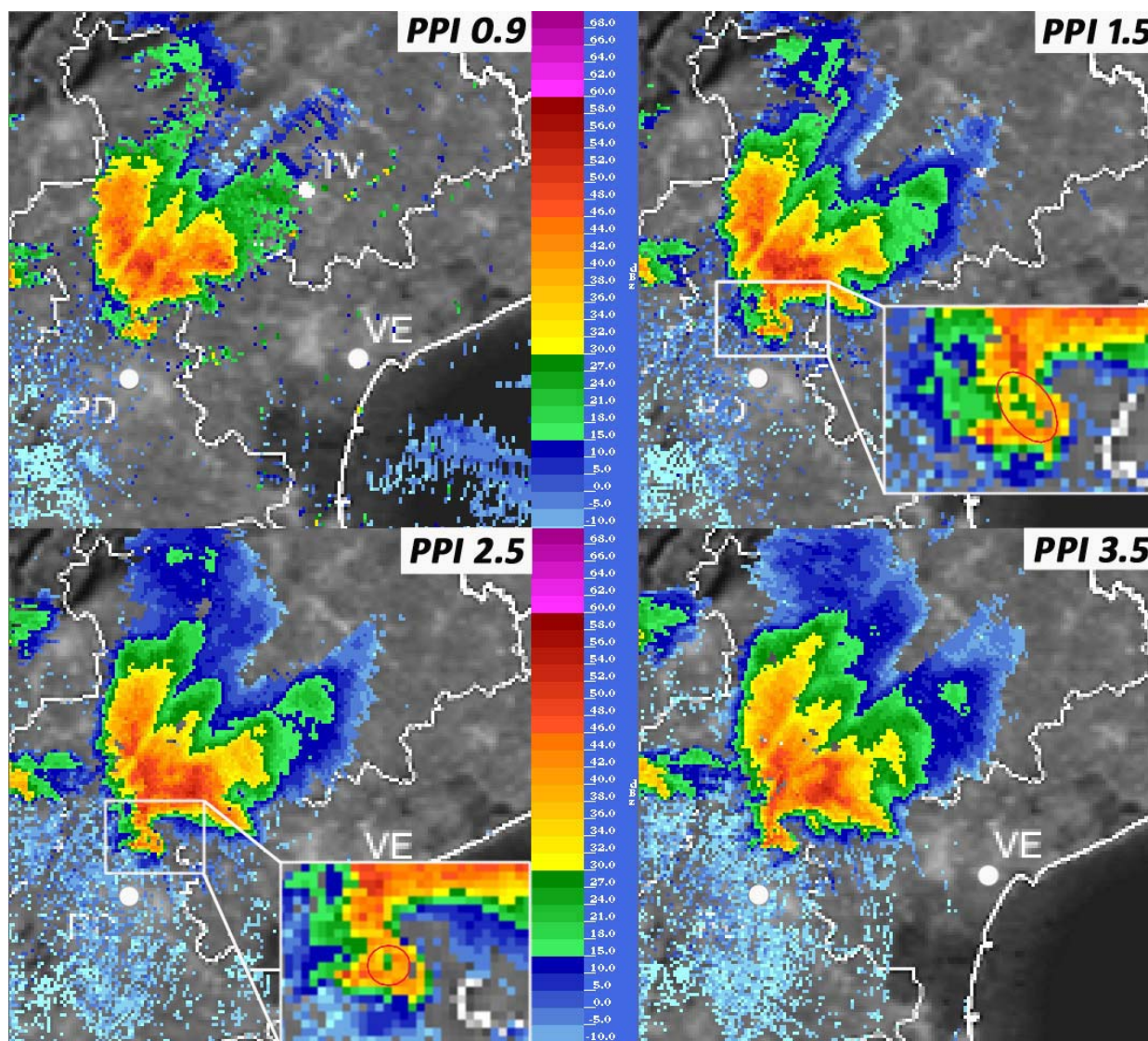


Fig. 3.31 - Riflettività PPI a 0.9°, 1.5°, 2.5° e 3.5° delle ore 17 locali. Fonte: ARPAV

Le sezioni di riflettività delle Fig. 3.30 e 3.32 mostrano che la corrente di RFD è ormai giunta al suolo, mentre la sezione verticale di velocità radiale di Fig. 3.33 evidenzia lo sviluppo verticale del mesociclone che si è spinto fino ad una quota di circa 8000 metri, definita in base alla contrapposizione delle velocità radiali delle correnti discendenti di RFD (colore rosso, allontanamento dal radar) e di FFD (colore verde, avvicinamento al radar). Nella Fig. 3.32 e nella Fig. 3.33 è altresì indicata l'area a massimo rischio di tornado che si colloca nell'interfaccia tra il flusso discendente di RFD e il mesociclone che ha originato il BWER 1.

Nella scansione di riflettività della Fig. 3.34 è possibile apprezzare il diametro dell'updraft principale (mesociclone nella fattispecie) alla quota di circa 5700 metri (PPI 8.0°), individuabile dall'area a forma di ellisse priva di riflettività presente nella porzione meridionale della supercella. L'estensione orizzontale dell'updraft, per lo meno della parte più intensa che impediva la coalescenza delle goccioline, è pari a circa 5 km per l'asse maggiore W-E e di circa 3 km per l'asse minore N-S. Il segnale di velocità radiale (parte destra di Fig. 3.34) evidenzia anch'esso la rotazione in quota del mesociclone, anche se per la componente in allontanamento si rileva il fenomeno dell'unfolding (colore celeste sopra il colore giallo).

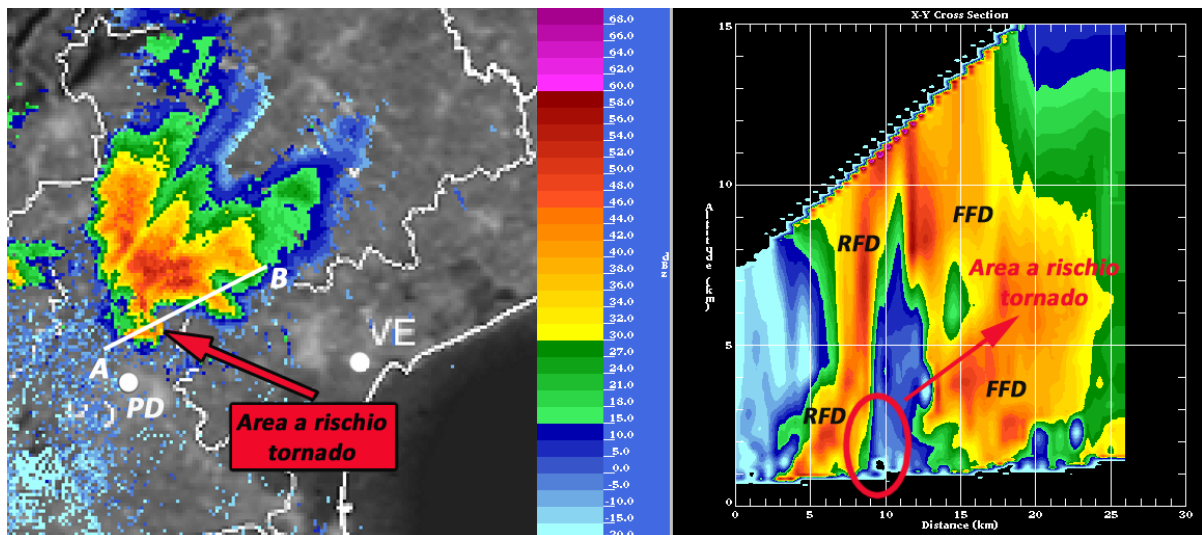


Fig. 3.32 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17 locali. Fonte: ARPAV

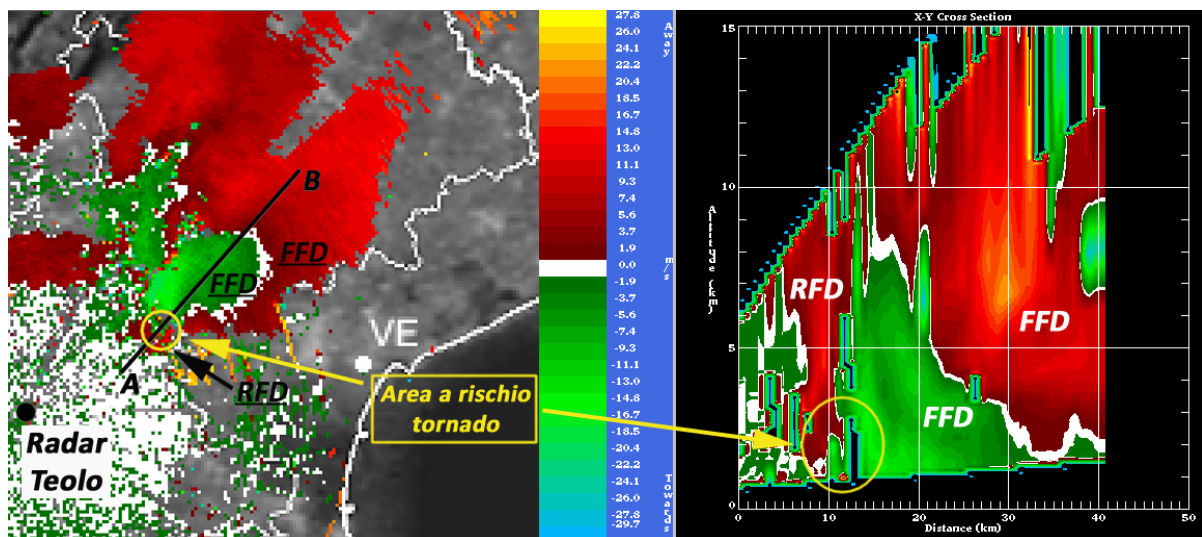


Fig. 3.33 – Velocità radiale PPI a 3.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17 locali. Fonte: ARPAV

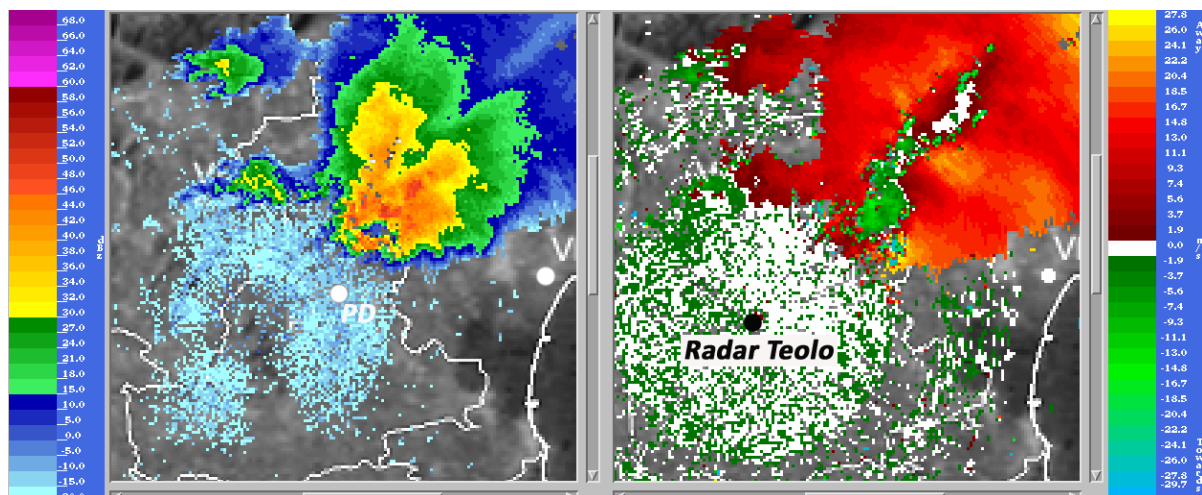


Fig. 3.34 - Riflettività PPI a 8° (sinistra) e velocità radiale PPI a 8° (destra) ore 17 locali. Fonte: ARPAV

Dalle ore 17.10 locali le sezioni verticali di riflettività mostrano un unico BWER che vede ridursi la sua altezza superando di poco i 5 km di quota (Fig. 3.35), presumibilmente a causa dell'indebolimento dell'updraft e del conseguente collasso dell'overshooting top, ma nel contempo si verifica un incremento delle velocità radiali le quali mostrano una prima evidente traccia di rotazione a circa 4400 m di quota (PPI 6°) in corrispondenza dell'uncino come segnalato dal cerchio nero nella parte destra della Fig. 3.36 (pixel gialli e verdi affiancati). Si tratta di una Tornado Vortex Signature (TVS) che in questo caso identifica un mesociclone di medio livello estremamente intenso, in pratica il “tornado cyclone”, quindi non l'effettiva circolazione tornadica. In realtà, per essere definita tale, la TVS deve manifestarsi negli strati prossimi al suolo, ad ogni modo questo specifico segnale di velocità radiale precede la formazione del tornado mediamente di 10-30 minuti (nel caso in esame di 10-15 minuti).

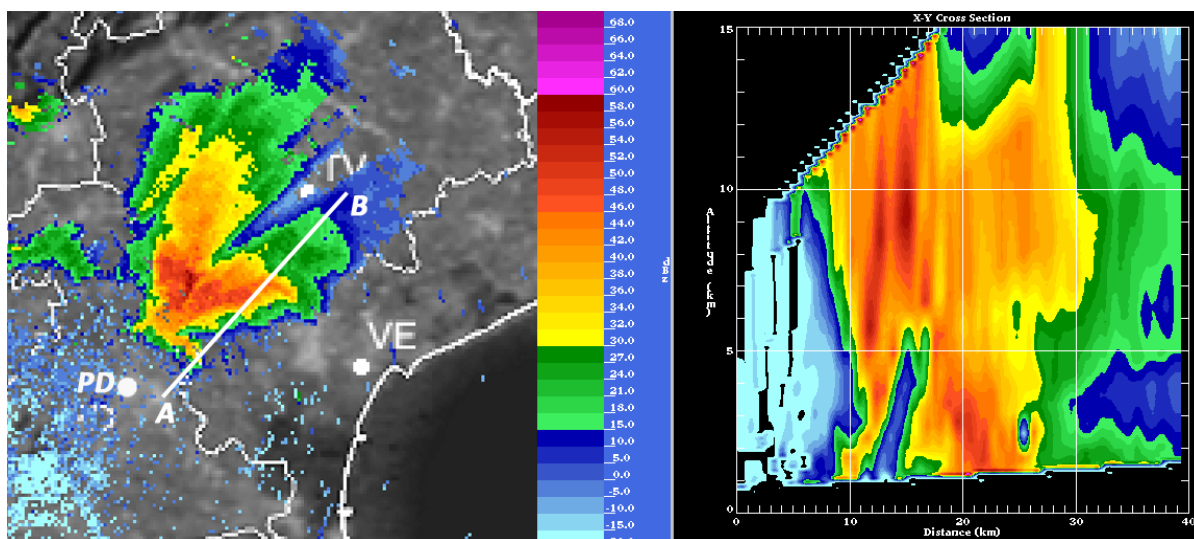


Fig. 3.35 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17.10 locali. Fonte: ARPAV

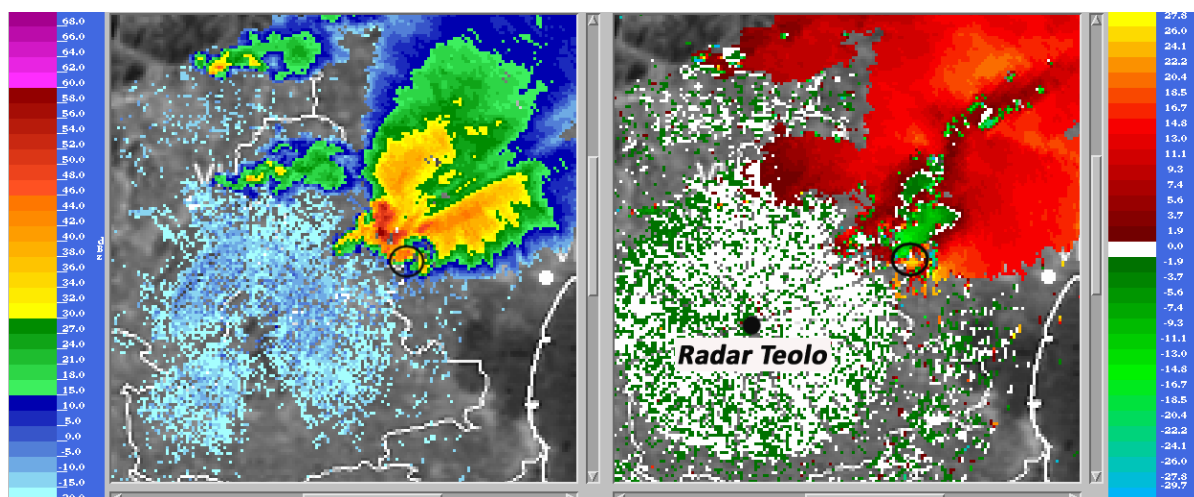


Fig. 3.36 - Riflettività PPI a 6° (sinistra) e velocità radiale PPI a 6° (destra) ore 17.10 locali. Fonte: ARPAV

Vale la pena di confrontare i campi di riflettività e velocità radiale alla quota di circa 2700 m (PPI 3.5°) tra le ore 17 e 17.10 locali: in questi 10 minuti l'eco ad uncino “si chiude” ed aumenta la velocità di rotazione (Fig. 3.37), segnali che indicano la genesi del “tornado cyclone” a causa della più stretta interazione tra la corrente di RFD e l'updraft rotante.

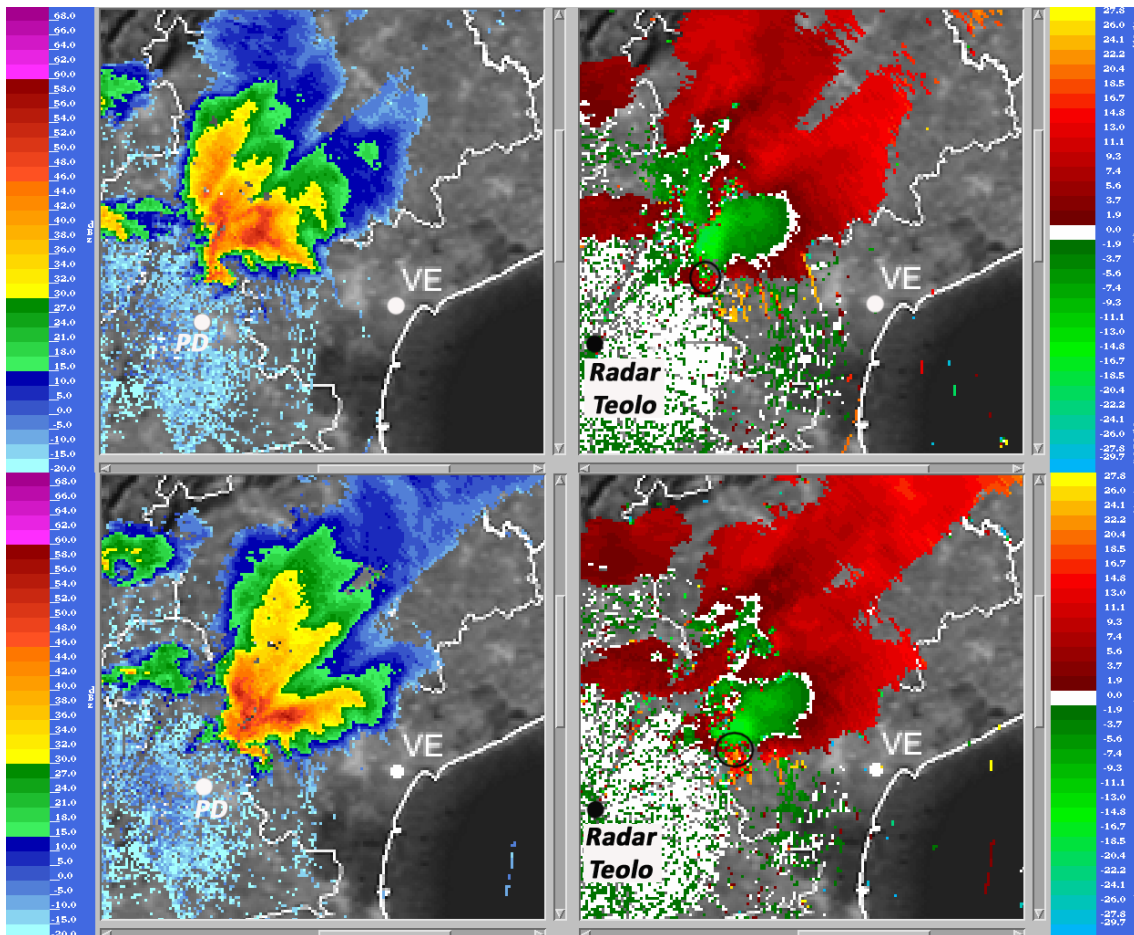


Fig. 3.37 - Riflettività PPI a 3.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 3.5° (destra) ore 17 locali (sopra) e ore 17.10 locali (sotto). Fonte: ARPAV

Alle ore 17.20 locali il BWER non mostra particolari variazioni, mantenendosi ad una quota massima di 5-6 km (Fig. 3.38), ma l'eco ad uncino non è più visibile nella scansione di riflettività in quanto il radar di Teolo non era in grado di definirlo a causa della rotazione divenuta ormai molto "stretta". La mancanza dell'uncino quindi non va necessariamente interpretata come assenza di rotazione, anzi può costituire un segnale di allarme come nel caso in esame. In questi minuti il tornado inizia a provocare i primi danni sull'area ad est di Pianiga, seppur in maniera discontinua.

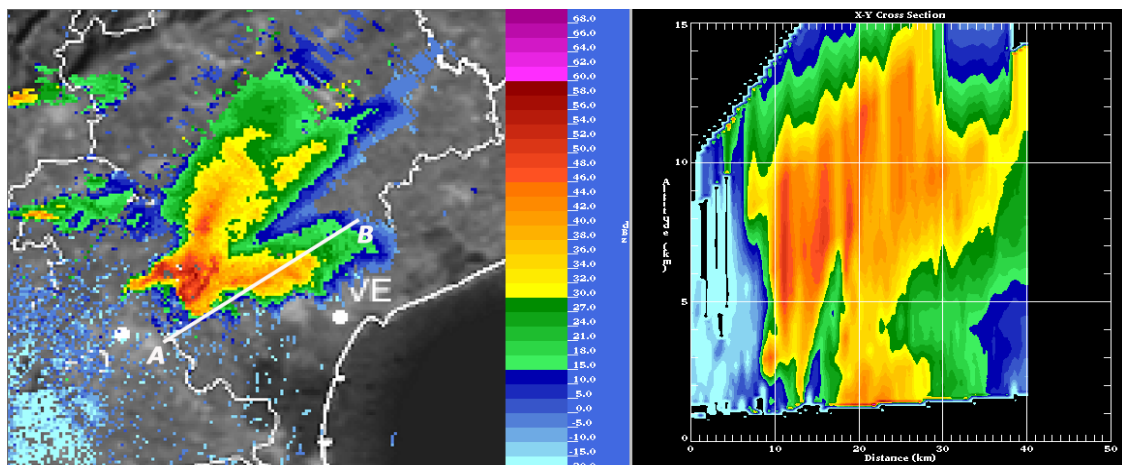


Fig. 3.38 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17.20 locali. Fonte: ARPAV

Nelle mappe radar del PPI 3.5° (circa 2700 m) e del PPI 4.5° (circa 3200 m) delle ore 17.20 locali, si notano due aree di rotazione (Fig. 3.39 e Fig. 3.40) con i relativi WER nel campo della riflettività, meglio visibili nel PPI 4.5°. La rotazione più ad ovest, indicata con l'ellisse nera in Fig. 3.39, appare più intensa tanto da poter essere definita TVS e, non a caso, è la responsabile del tornado, mentre quella più ad est, indicata con l'ellisse blu, corrisponde ad un nuovo mesociclone con una rotazione meno "stretta" in quanto i pixel verde e giallo non sono contigui tra loro tanto da non potersi definire "tornado cyclone" o TVS. Quest'ultimo mesociclone è probabile sia stato innescato baroclinicamente dallo scontro tra le forti e fredde correnti del FFD supercellulare in discesa da nord e quelle più calde di scirocco in entrata dal mar Adriatico (vedasi anche Fig. 3.9 delle ore 17.10 locali).

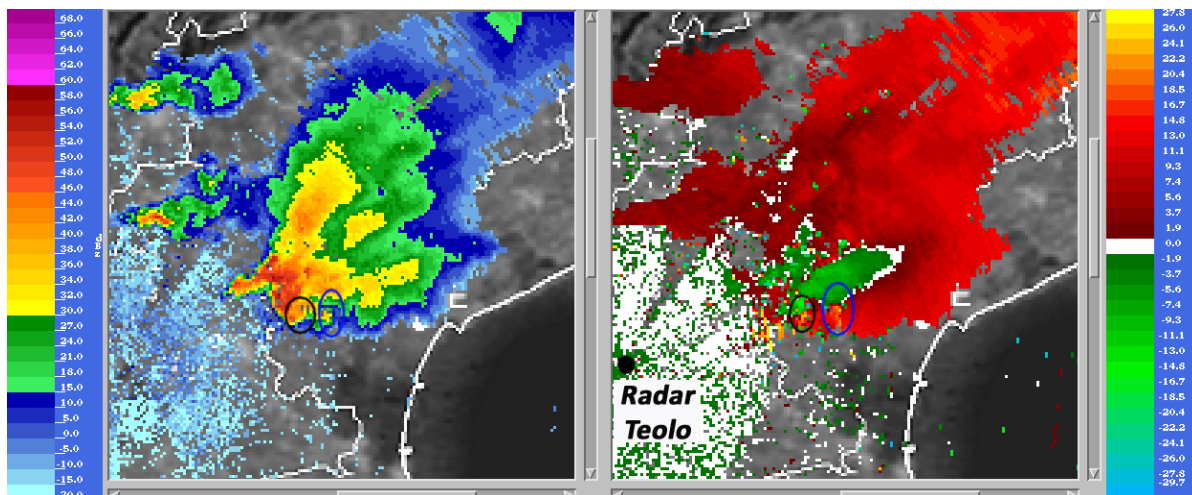


Fig. 3.39 - Riflettività PPI a 3.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 3.5° (destra) ore 17.20 locali. Fonte: ARPAV

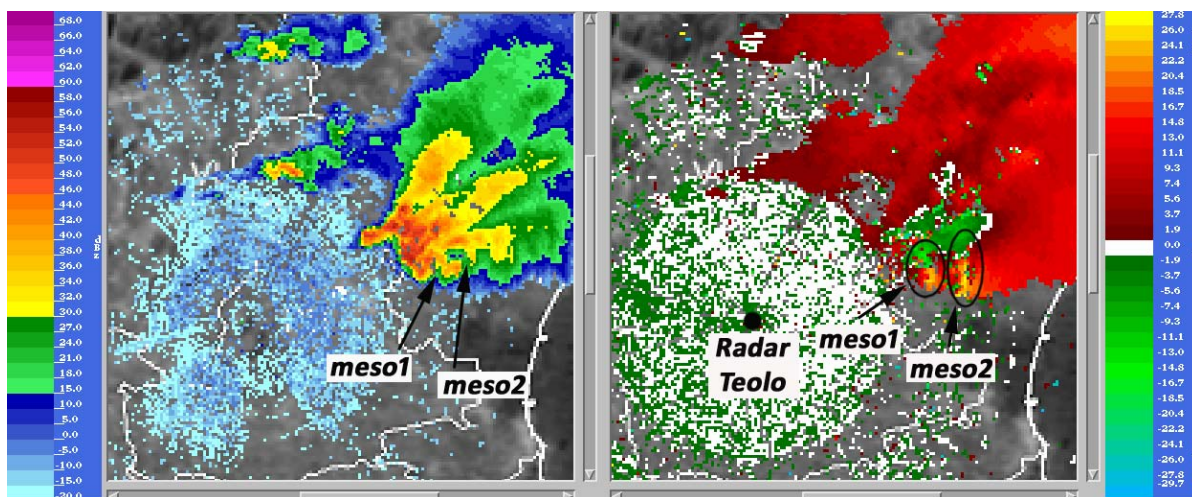


Fig. 3.40 - Riflettività PPI a 4.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 4.5° (destra) ore 17.20 locali. Fonte: ARPAV

In alcuni casi, come appena dimostrato, è possibile che due o più mesocicloni coesistano simultaneamente all'interno di quella che appare essere la medesima supercella, tanto che si potrebbe persino parlare di una multicella contenente due o più supercelle (*LaDue et al.*, 2008; *Boustead et al.*, 2008). Considerati tutti gli echi TVS rilevati dal radar alle ore 17.10 e 17.20 locali, tra le quote indicative di 2500 m e 4500 m, si stima un diametro del "tornado cyclone" compreso tra 4.5 km e 6 km con un valore medio di 5.5 km.

Alle ore 17.30 circa il tornado si trovava nella sua fase di massima intensità e stava colpendo duramente l'area della Riviera del Brenta tra i comuni di Dolo e Mira. La Fig. 3.41 mostra il BWER che si è ulteriormente abbassato portandosi ad un'altezza massima pari a circa 4 km, mentre nel PPI a 1.5° l'uncino continua a non essere visibile. Il segnale di velocità più significativo tra tutte le elevazioni disponibili si trova nel PPI a 2.5° (circa 2 km di altezza), indicato dall'ellisse nera nella parte destra della Fig. 3.42; l'ellisse blu, invece, mostra la traccia residua del WER e del segnale di rotazione del mesociclone che si era formato più ad est.

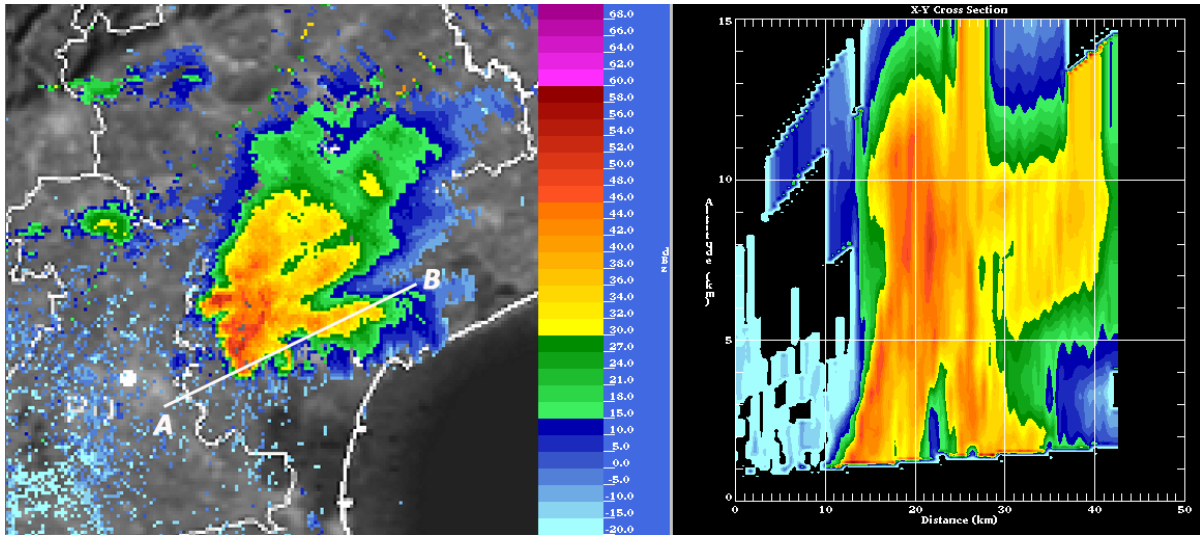


Fig. 3.41 - Riflettività PPI a 1.5° (sinistra) con sezione verticale A-B (destra) ore 17.30 locali. Fonte: ARPAV

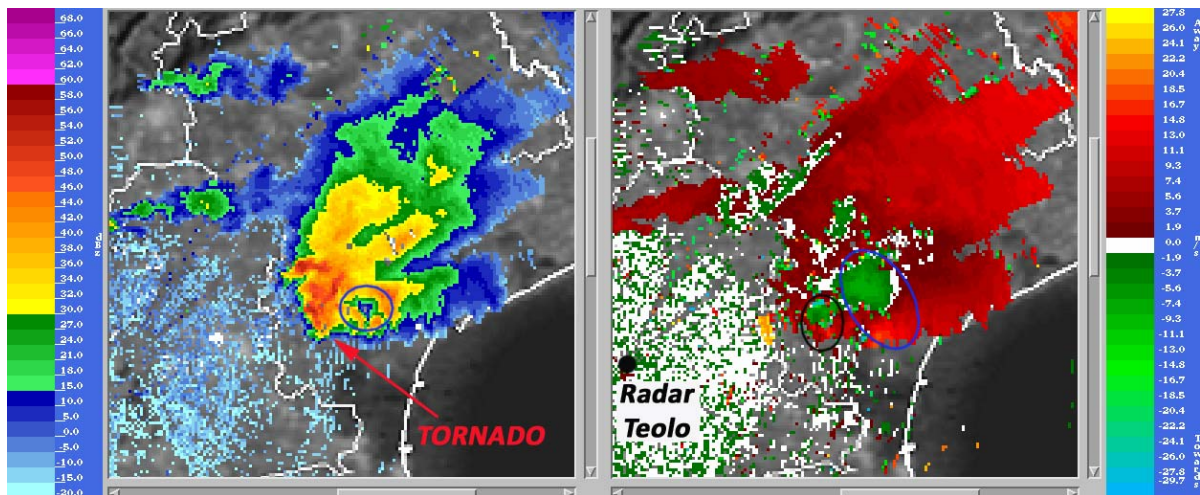


Fig. 3.42 - Riflettività PPI a 2.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 2.5° (destra) ore 17.30 locali. Fonte: ARPAV

Infine, l'immagine delle ore 17.40 locali (Fig. 3.43) nel PPI 2.5° mostra con il cerchio nero l'area da cui è disceso il tornado, ormai indebolito e in fase "rope" avendo raggiunto la laguna veneta.

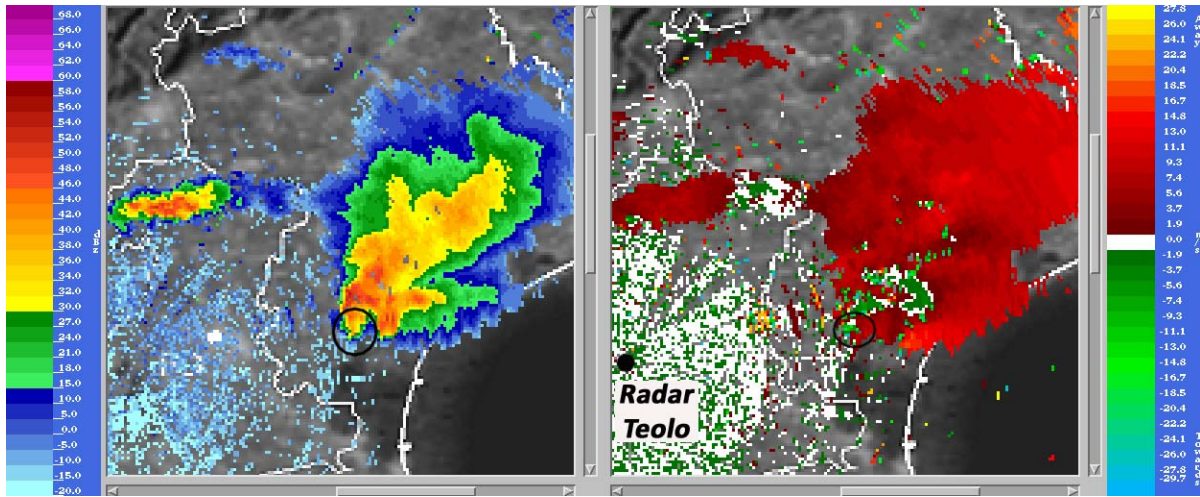


Fig. 3.43 - Riflettività PPI a 2.5° (sinistra) e velocità radiale PPI a 2.5° (destra) ore 17.40 locali. Fonte: ARPAV

4. ANALISI NEFOLOGICA E TESTIMONIANZE DI CACCIA

di Alberto Gobbi e Valentina Abinanti

Questo capitolo si occuperà dell'analisi nefologica del sistema temporalesco che ha interessato la pianura veneta durante la sua evoluzione caratterizzata inizialmente da una struttura multicellulare, poi da una supercella "classica" in piena regola una volta raggiunta l'area del padovano settentrionale e, infine, dalla fase tornadica vera e propria che è coincisa con l'ultimo stadio di vita della supercella stessa. Grazie alle testimonianze ed alle fotografie scattate da alcuni storm chasers (cacciatori di temporali) nei momenti precedenti e corrispondenti alla fase di massima intensità della supercella, è stato possibile ricostruire con sufficiente dettaglio la dinamica complessiva, già esaminata nel precedente capitolo grazie alle immagini del radar meteorologico dell'ARPAV alle quali si farà spesso riferimento per una miglior comprensione di quanto accaduto in quelle ore.

4.1 Analisi nefologica della supercella da varie prospettive

La nefologia è una branca della meteorologia che si basa sull'osservazione e sullo studio scientifico delle nubi. Grazie alle numerose fotografie e ai video prodotti dagli storm chasers, ma anche dagli abitanti dei luoghi colpiti dalla supercella tornadica, si procederà in questa sezione all'analisi nefologica delle formazioni nuvolose più rappresentative con particolare riferimento ai segnali visivi premonitori del tornado.

Le foto di Fig. 4.1 e Fig. 4.2, puntate verso NW, mostrano dei cumuli sull'area tra Pianiga, Mirano e Vigonza che tentano di svilupparsi in verticale, ma l'inversione termica in quota, associata ad uno strato di aria calda e secca, causa l'indebolimento della corrente ascendente e l'evaporazione delle goccioline d'acqua. Tuttavia, già si vede un primo indizio delle correnti in quota sud-occidentali che spostano i brandelli di nube verso est. Nelle foto di Fig. 4.3 e Fig. 4.4, rivolte sempre verso NW, la convezione tenta di ripartire nelle medesime aree, questa volta con maggior convinzione generando dei cumuli imponenti con la comparsa di pileus sul lato sopravvento: si nota anche l'inclinazione della corrente ascendente verso nord-est, ovvero verso la parte destra delle immagini. In particolare, in Fig. 4.3 la nube continua a "sfilacciarsi" sul lato sottovento, ma circa 15 minuti dopo ciò non avviene, anzi si manifestano i primi sintomi di ghiacciamento indicati dalla struttura fibrosa del cumulonembo (Fig. 4.4, vedasi anche Fig. 3.4). Questa nube, traslando linearmente verso NE, poco dopo si innalzerà ulteriormente portandosi certamente oltre la quota dello zero termico e manifestando così un maggior ghiacciamento come si può apprezzare dalla Fig. 4.5 in cui però non si nota l'incudine essendo l'osservatore posto sul lato sopravvento del cumulonembo. Si veda per confronto la Fig. 3.6 che mostra i non trascurabili valori di riflettività all'interno della nube considerata la presenza dell'inversione termica in quota.

Questi primi "inneschi" sono testimonianza di almeno 4 dinamiche: forti venti sud-occidentali in quota, tendenza a cedimento dell'inversione termica in quota, convergenza al suolo di masse d'aria ed elevata disponibilità di energia convettiva nei bassi strati. In effetti, le immagini satellitari e i campi del vento al suolo riportati in Fig. 3.2, Fig. 3.4 e Fig. 3.5 mostrano proprio la convergenza responsabile dell'attività convettiva appena esaminata tra padovano e veneziano. Questi indizi suggeriscono che la situazione termodinamica è al limite tra l'assenza di temporali e l'esplosione di violenta convezione nelle ore successive, in quanto l'inversione termica in quota sembra inizi a cedere sotto i colpi del riscaldamento solare e della convergenza al suolo tra venti molto umidi dal mare e flussi leggermente più secchi ma ancor più caldi presenti in quelle ore sulla pianura veneta.



Fig. 4.1 – Dissoluzione dei cumuli per inversione termica in quota – ore 14.30 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.2 – Dissoluzione dei cumuli per inversione termica in quota – ore 14.30 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.3 – Cumuli imponenti ad asse obliquo con pileus – ore 14.45 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.4 – Cumulonembo calvus ad asse obliquo con pileus – ore 15 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.5 – Cumulonembo calvus visto dal lato sopravvento – ore 15.15 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.6 – Temporale sull'alto padovano nella fase I (multicella) – ore 16.20 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.7 – Grandine scesa nel comune di Zugliano (VI) alle ore 16.10 locali circa. Foto di Martina Cunico



Fig. 4.8 – Grandine scesa nel comune di Sarcedo (VI) alle ore 16.10 locali circa. Foto di Genny Rossi

In Fig. 4.6 si vede il temporale allo stadio di multicella (vedasi Fig. 3.20) ormai sull'alto padovano con un'incudine ben definita e compatta. Tuttavia, non si notano le forme tipiche della multicella, che prevedono delle torri convettive separate, in quanto le singole celle erano sin dall'inizio molto vicine tra loro (vedasi sottocapitolo 3.4) tanto che non si può escludere che il temporale abbia sperimentato una breve fase supercellulare già sulla pedemontana vicentina, in particolare intorno alle ore 16 locali, come testimoniato dalle violente grandinate occorse in quelle aree (Fig. 4.7 e Fig. 4.8). Infatti, perché i chicchi possano raggiungere dimensioni superiori ai 5 cm è necessario un intenso e persistente updraft per tutto il tempo necessario allo sviluppo del chicco: questo è un ambiente tipico della supercella (*Bechini et al.*, 2001).



Fig. 4.9 – Base dell’updraft del temporale ormai prossimo alla fase II (transizione a supercella) visto da Villafranca Padovana (PD) – ore 16.30 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

In Fig. 4.9 l’updraft dell’imminente supercella denota una struttura molto compatta con una base scura ed in procinto di abbassarsi ulteriormente di quota: è in questa fase che inizia a costituirsi il BWER a partire dalle quote superiori grazie ad un ulteriore avvicinamento tra le singole celle con le relative correnti ascensionali che a breve si fonderanno tra loro (vedasi Fig. 3.21).

Sempre in Fig. 4.9 si notano anche dei cumuli all’estrema sinistra della foto che tendono ad entrare nel corpo principale del temporale. Uno di questi cumuli si vede anche nella Fig. 4.10 dove tra l’altro si nota che l’updraft ha ancora una conformazione multicellulare con due distinte torri convettive (ciascuna delle quali associata ad un BWER, vedasi Fig. 3.25), le cui rispettive basi si possono intravedere nella foto di Fig. 4.11, scattata ad una distanza più ravvicinata.

La Fig. 4.12 e la Fig. 4.13 meglio evidenziano l’entrata dei cumuli sul lato meridionale della supercella occupato dalle correnti di inflow. In particolare, in Fig. 4.13 appare di estremo interesse la disposizione di questi cumuli che, in sequenza temporale, dal cumulo 1 al cumulo 3, verranno “risucchiati” da SW verso NE dal mesociclone in fase di intensificazione.

Inoltre, in Fig. 4.13 si noti come l’incudine più vecchia, riconoscibile dal color bianco dovuto allo spessore più ridotto, si trovi ancora per pochi minuti sopra quella appena generata dall’updraft, più spessa e quindi più scura: un ulteriore indizio che la fase più intensa del temporale deve ancora manifestarsi.

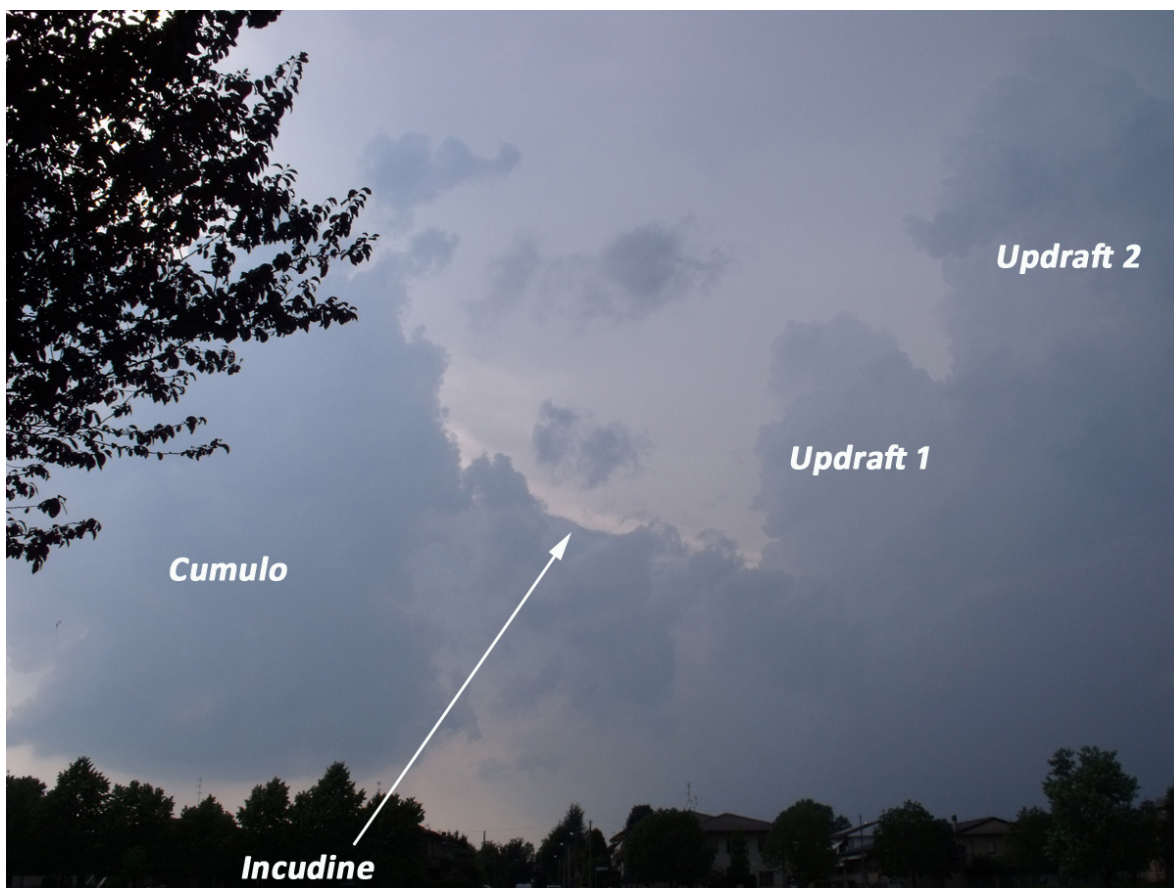


Fig. 4.10 – Temporale nella fase II (transizione a supercella) visto da Padova Est alle ore 16.45 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.11 – Temporale nella fase II (transizione a supercella) visto dall'autostrada A4 all'altezza di Arino di Dolo (VE) alle ore 16.45 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

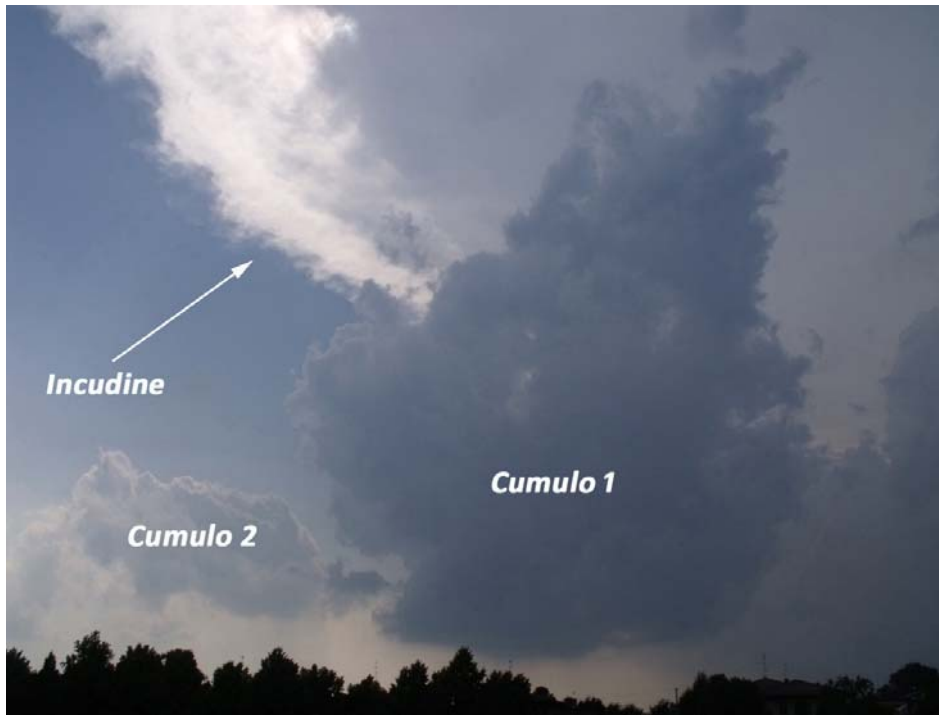


Fig. 4.12 – Temporale nella fase II visto da Padova Est alle ore 16.45 locali. Foto di Alberto Gobbi

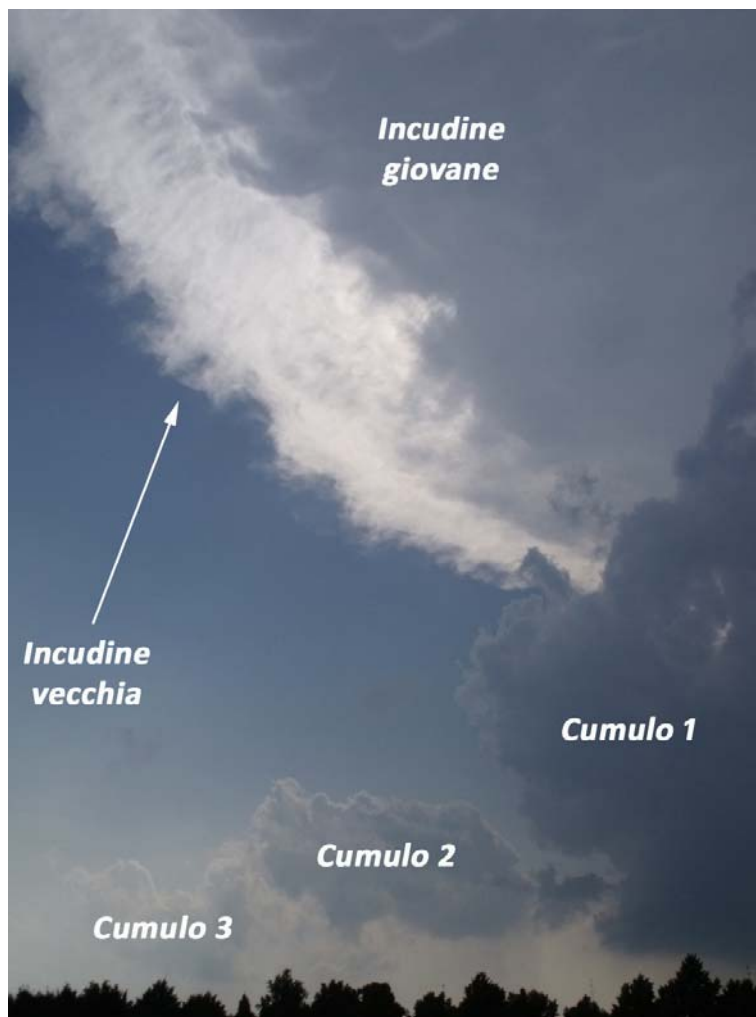


Fig. 4.13 – Temporale nella fase II visto da Padova Est alle ore 16.45 locali. Foto di Alberto Gobbi

L'ingresso dell'aria più calda associata alle correnti ascendenti delle celle che si dirigono nella regione del WER della supercella può contribuire ad aumentare la spinta di galleggiamento, l'accelerazione verticale e, in definitiva, la rotazione del mesociclone. Questo avviene per via dell'aria calda più leggera che causa un calo della pressione e un incremento della convergenza nel mesociclone che, a sua volta, induce una concentrazione della vorticità verticale e l'aumento della velocità ascendente nell'updraft. E' possibile che il mesociclone si rafforzi anche con le variazioni nella microfisica delle nubi grazie al rapido congelamento di grosse quantità di acqua sopraffusa contenuta nei cumuli che si fondono alla supercella (*Lemon, 1976*).

Tali cumuli, nello schema classico, sono identificabili nella flanking line, ma il suddetto modello concettuale può essere ragionevolmente esteso anche alle nubi cumuliformi in genere (come quelle osservate sul campo dagli storm chasers di cui la Fig. 4.13 appare la più rappresentativa) o, più propriamente, alle celle rilevate dal radar riportate nella sequenza di immagini in Fig. 3.18. In generale, le nubi che tendono ad entrare nella "cella madre" dal lato dell'inflow sono conosciute anche con l'intuitiva denominazione di "feeder clouds" (*Dennis et al., 1970*), in altre parole sono nubi che "alimentano" la corrente ascendente principale e che, con il prolungarsi di tale processo, determinano un aumento dell'intensità della supercella nonché della sua durata.

Alle ore 17 locali il temporale può senz'altro essere classificato come supercella e ciò, oltre alle immagini radar viste nel precedente capitolo, può essere rilevato anche dalla Fig. 4.15 e dalla Fig. 4.16 in cui si nota che la parete dell'updraft rivolta verso sud ha ormai assunto un profilo verticale sin dalla sua base procedendo verso la sovrastante incudine, perdendo così ogni peculiarità propria delle multicelle poiché le torri convettive viste nelle precedenti foto sono a questo punto indistinguibili. Inoltre, nella Fig. 4.14, sempre delle ore 17 locali, si evidenziano anche delle particolari formazioni sul lato sopravvento dell'incudine ("knuckles"), da non confondere con le "mammatus", a testimonianza di un updraft di estrema intensità.



Fig. 4.14 – Temporale nella fase III (supercella) visto da Stra (VE) alle ore 17 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.15 – Temporale nella fase III (supercella) visto da Stra (VE) alle ore 17 locali. Foto di Alberto Gobbi

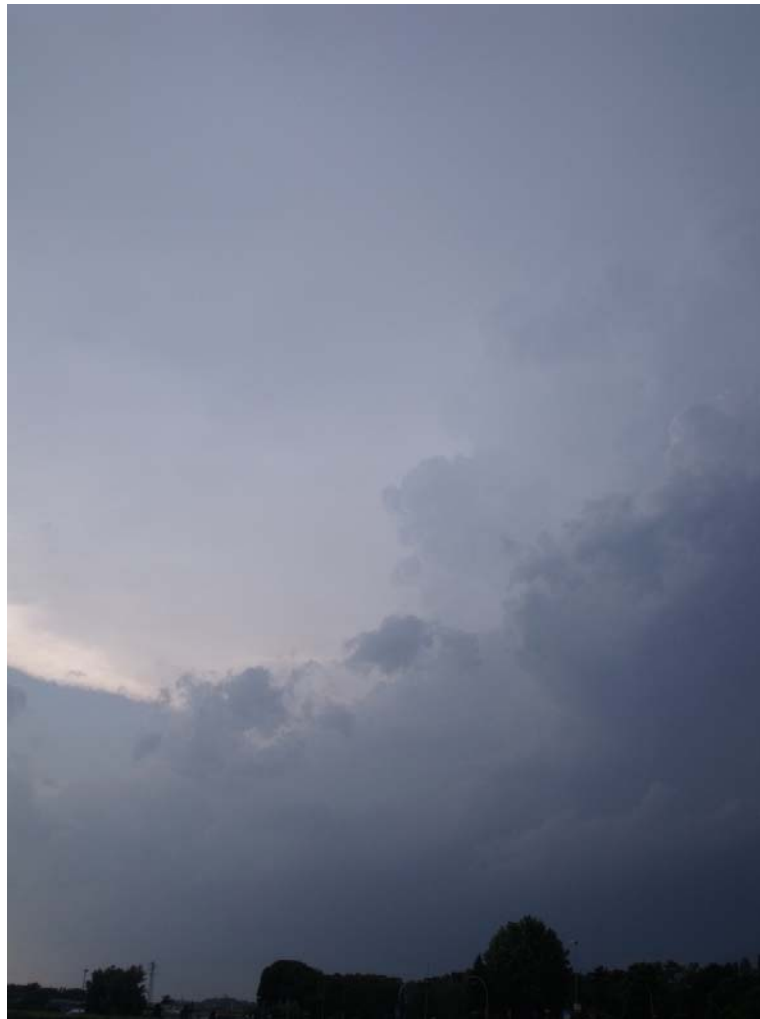


Fig. 4.16 – Temporale nella fase III (supercella) visto da Stra (VE) alle ore 17 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.17 – Temporale nella fase III (supercella) visto dall'autostrada A4 all'altezza di Arino di Dolo (VE) alle ore 17 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.18 – Temporale nella fase III (supercella) visto dall'autostrada A4 all'altezza di Arino di Dolo (VE) alle ore 17.19 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

La foto in Fig. 4.17, puntata verso NW, è molto didattica in quanto mostra allo stesso tempo sia la shelf cloud avanzante associata alla regione del FFD sia un primo abbozzo di wall cloud che si colloca più a SW, verso la regione del RFD. Una ventina di minuti dopo la circolazione ciclonica si evidenzia in maniera netta alla base della supercella con la comparsa di una “clear slot”, identificabile dall’area più chiara al centro della Fig. 4.18 a testimonianza delle correnti secche di RFD che iniziano a scendere verso il suolo e che causano così un innalzamento della base delle nubi. Nella stessa foto si vede molto bene la tail cloud che si protende dalla regione del FFD verso la wall cloud individuata nel primo stadio di vita in Fig. 4.17.

La medesima tail cloud, fotografata negli stessi minuti da una distanza più ravvicinata (Fig. 4.19), rende ancora meglio l’idea del risucchio di parte dell’aria più fresca ed umida dalla regione del FFD ad opera del mesociclone che si sta rapidamente propagando verso il suolo. La regione del FFD con i rovesci di pioggia e grandine si trova sulla destra dell’immagine, mentre la wall cloud si trova sulla sinistra (fuori campo visivo).



Fig. 4.19 – Tail cloud a distanza ravvicinata vista da Scaltenigo (Mirano, VE) - ore 17.21 locali. Foto di Alberto Gobbi

La Fig. 4.20 riporta una sequenza di fotogrammi estratti da un video che coprono un arco temporale di circa un minuto: si nota la presenza di un “lowering” con base lineare a forma di tronco di cono rovesciato che tende con il trascorrere dei secondi ad assumere un aspetto più cilindrico tanto da evolvere in un funnel cloud con la classica forma ad imbuto nella seconda parte della sequenza. In questi minuti il vortice tocca terra in maniera discontinua nel suo moto verso sud-est provocando i primi danni anche alle abitazioni nell’area del comune di Pianiga.

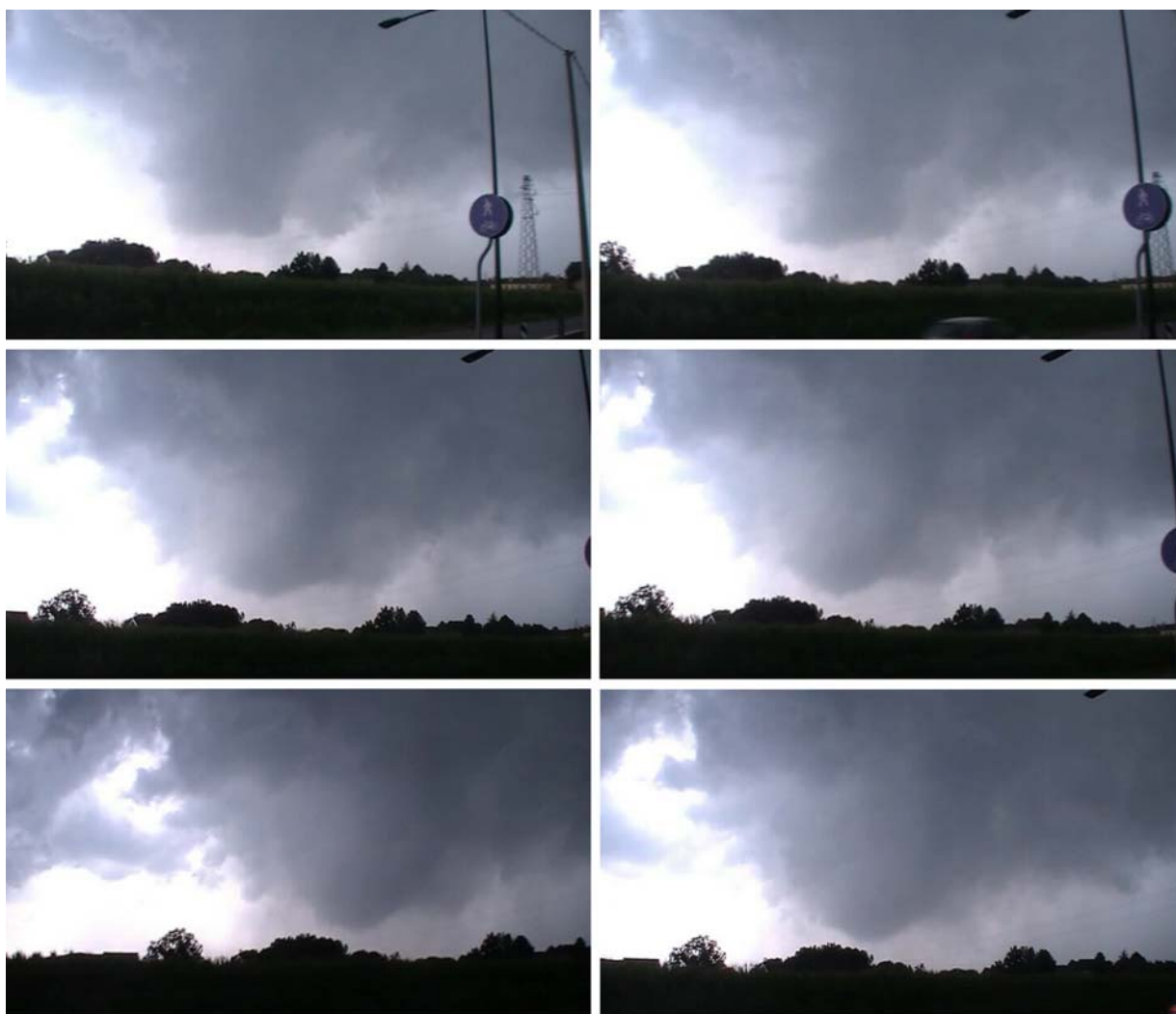


Fig. 4.20 – Funnel cloud a distanza ravvicinata visto da Scaltenigo alle ore 17.21-17.22 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.21 – Funnel cloud a distanza ravvicinata visto da Scaltenigo alle ore 17.23 locali. Foto di Alberto Gobbi

La foto in Fig. 4.21, puntata verso SW, mostra la nube ad imbuto più definita che inizia ad essere avvolta sul lato posteriore (occidentale) dalle bande di precipitazione associate al RFD. In questi minuti non è più rintracciabile l'eco ad uncino nelle relative scansioni radar di riflettività, un segnale indiretto per cui la rotazione si stava “stringendo” con un corrispondente aumento della velocità di rotazione (Fig. 3.39, Fig. 3.40).

Il team TornadoSeeker/ZenaStormChaser riporta la caduta di fulmini positivi dalla parete del mesociclone verso il suolo nel periodo compreso all'incirca tra le ore 16.55 e le ore 17.10 locali: in questo intervallo nelle sezioni radar di riflettività si stava definendo un pronunciato BWER, sintomo di un updraft molto intenso ed esteso. Secondo alcuni autori, vigorosi e vasti updrafts favoriscono la crescita di grosse particelle come graupel e grandine aumentando nel contempo la concentrazione di cristalli di ghiaccio nella nube: ciò pone le basi per numerose collisioni e separazioni di carica tra le particelle ghiacciate più grosse e i singoli cristalli di ghiaccio con la genesi di scariche elettriche (Deierling *et al.*, 2008).

In vari casi, come avvenuto anche per il tornado in esame, la comparsa di fulmini positivi può precedere di 15-20 minuti la tornadogenesi (Snow *et al.*, 2007; Gatlin *et al.*, 2010): infatti, tale intervallo di tempo coincide grosso modo con la fase di collasso del violento updraft (mesociclone) che ha generato questi fulmini. Il downdraft che ne deriva, rappresentato dal RFD, sarà altrettanto energico e sarà quello che favorirà la genesi del tornado attraverso particolari meccanismi fisici tuttora oggetto di studio.

La Fig. 4.22, puntata verso ovest, mostra la base del “tornado cyclone” da cui sta scendendo il vortice, anche se quest'ultimo in quei momenti appariva alquanto instabile: la nube ad imbuto era caratterizzata da una condensazione intermittente e il “touchdown” avveniva in maniera discontinua. Probabilmente, ciò è dovuto al fatto che la vorticità era scesa sotto il valore critico con ripercussioni sia sulla condensazione centrale del vortice sia sul mesociclone sovrastante che divengono, per l'appunto, entrambi instabili. Tuttavia, nei minuti immediatamente successivi il tornado si stabilizzerà con una marcata intensificazione nel suo moto verso i comuni di Dolo-Mira.

Tutte le foto convertite in scala di grigi si riferiscono a quelle con la scala di colori originaria riportate nella parte superiore della medesima pagina e sono corredate con le spiegazioni utili ad identificare i principali elementi sia della supercella sia del tornado. In particolare, nella Fig. 4.23 si evidenzia la classica struttura a ferro di cavallo (“horseshoe”) che individua la posizione della clear slot, da non confondere con la forma più o meno arcuata che può assumere il bordo di una shelf cloud avanzante nel caso di un intenso downdraft. La clear slot era presente da almeno 10-15 minuti rispetto alla comparsa della nube ad imbuto rappresentando così un altro solido indizio di un'incombente tornadogenesi, come normalmente avviene in presenza di supercelle classiche.

Sempre in Fig. 4.22 e Fig. 4.23, non è più possibile individuare la wall cloud originaria vista in Fig. 4.17 (se ne riconosce solo la tail cloud all'estrema destra della foto), in quanto sembra essersi fusa con il tornado cyclone presente più a SW. Tuttavia, ciò è dipeso quasi certamente dal punto di osservazione in quanto il funnel cloud e la wall cloud si collocavano lungo un asse W-E e gli storm chasers viaggiavano nella medesima direzione con una prospettiva quindi sfavorevole per poter distinguere le due nubi.



Fig. 4.22 – Supercella tornadica vista dall'autostrada A4 – ore 17.21 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

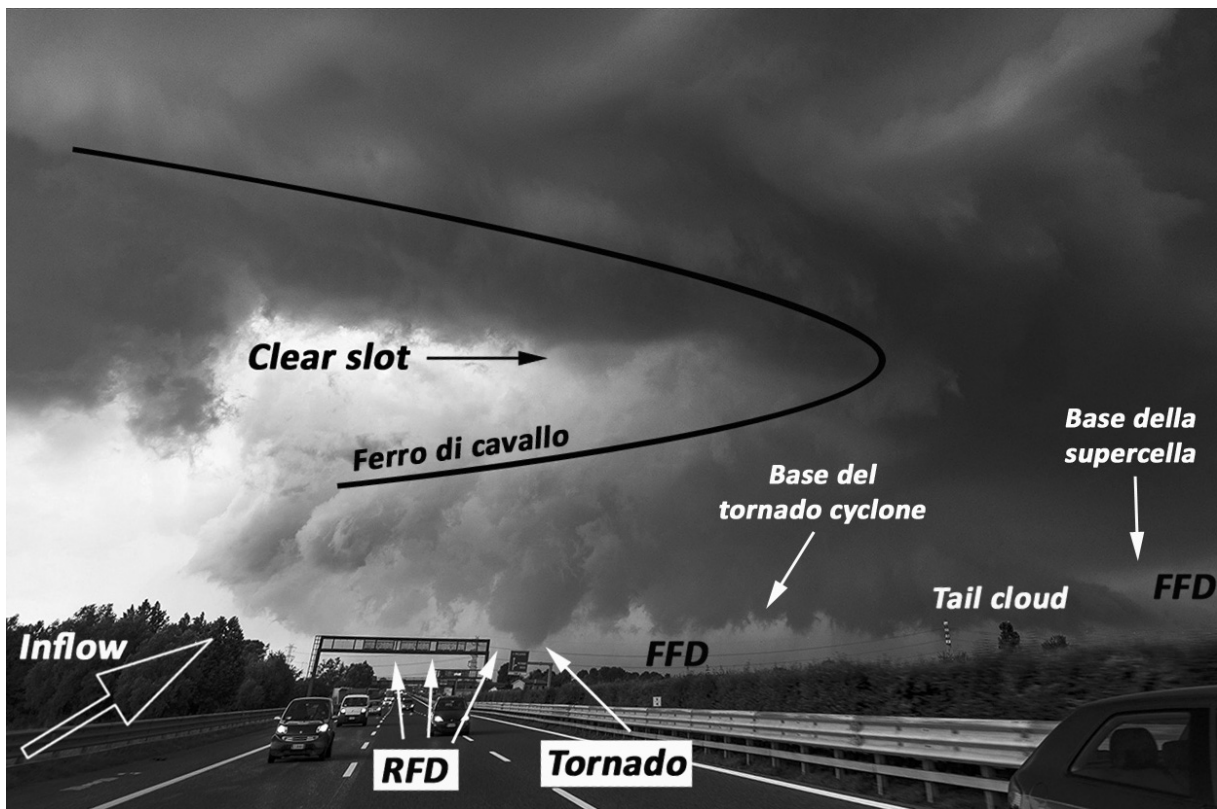


Fig. 4.23 – Supercella tornadica vista dall'autostrada A4 – ore 17.21 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

Tuttavia, qualche minuto dopo il tornado cyclone si distingue dalla wall cloud (Fig. 4.24 e Fig. 4.25): le analisi delle immagini radar di riflettività e velocità radiale indicano che tra le 17.20 e le 17.30 locali l'intera porzione meridionale della supercella ha ruotato in senso ciclonico spostando il tornado cyclone (più a ovest) verso sud e la wall cloud (più a est) più verso N-NE, disponendo quindi le due formazioni nuvolose secondo un asse SW-NE e probabilmente allontanandole leggermente tra loro, permettendo così di identificarle più agevolmente da parte del team di cacciatori che nel frattempo ha continuato a seguire la direzione ovest-est lungo l'autostrada.

La wall cloud in questione della Fig. 4.24 e Fig. 4.25, già vista nel suo primo stadio di vita in Fig. 4.17, si è formata una decina di minuti prima del tornado cyclone. In altri termini, in riferimento alla Fig. 4.25, il "mesociclone 1" si è formato dopo il "mesociclone 2". È plausibile che il nuovo mesociclone nato più a sud-ovest del precedente si sia sviluppato durante un indebolimento dell'outflow al suolo, per cui il flusso sud-orientale di inflow ha avuto la possibilità di penetrare nel settore posteriore della supercella contribuendo così alla genesi di un nuovo mesociclone sul lato sopravvento del temporale (Dowell *et al.*, 2002). Purtroppo, le mappe dei campi del vento al suolo riportate nel sottocapitolo 3.2 non sono sufficientemente dettagliate per confermare o smentire questa ipotesi.

La contemporanea presenza di due mesocicloni è confermata dalle immagini di riflettività e velocità radiale riportate in Fig. 3.39 e Fig. 3.40, ma solo uno di questi possiede alla base una wall cloud ed è quello posto più vicino alla regione del FFD dove l'aria più umida e fresca collegata al downdraft ha permesso la condensazione a quote più basse, al livello della base della nube a muro per l'appunto. Il tornado, invece, ha avuto origine all'estremità meridionale della supercella dove i valori igrometrici negli strati prossimi al suolo erano ancora relativamente distanti dalla saturazione, per cui l'unica base visibile era proprio quella del tornado cyclone (Fig. 4.25), più elevata di quella della nube a muro.

La foto di Fig. 4.26, scattata dalla zona di Oriago di Mira (VE), a circa 7 km di distanza dal tornado, illustra efficacemente l'intera struttura della supercella: tra i vari elementi, il più interessante appare essere la presenza di due clear slot in rotazione ciclonica, una attorno al tornado cyclone e l'altra, più ampia, in rotazione attorno al mesociclone. Sulla destra della foto, a nord del tornado, si situano le "inflow bands" ovvero delle bande nuvolose basse e in rapida evoluzione che tracciano il percorso dell'inflow in prossimità della regione del FFD. Queste bande di nubi si originano in maniera analoga alla nube a muro, nel senso che l'inflow caldo-umido, transitando immediatamente a sud del downdraft principale della supercella, subisce una condensazione a quote più basse rispetto a quella attesa considerando il livello LCL.

Lo stesso vale per la foto in Fig. 4.28 in cui si può osservare con un maggior dettaglio la clear slot legata al tornado cyclone e la nube di detriti (debris cloud) sollevata dal vortice: in questi momenti il tornado si trovava sulla Riviera del Brenta nella sua fase di massima intensità. Nella foto sono stati rimossi pali, tralicci e altri ostacoli visivi per meglio evidenziare la nube ad imbuto ed i detriti sollevati dal suolo. Le foto in Fig. 4.30 e Fig. 4.31 ritraggono il tornado negli stessi istanti da un'altra prospettiva, mentre in Fig. 4.32 il tornado inizia ad essere avvolto dalle bande di precipitazione associate al RFD (rain-wrapped tornado). La foto di Fig. 4.34 offre una panoramica completa della struttura della supercella vista da est. In Fig. 4.35 il tornado si trova nella fase di dissoluzione ("rope tornado") sullo sfondo più chiaro dei rovesci di pioggia e grandine in discesa dal FFD posto immediatamente a nord del vortice stesso.



Fig. 4.24 – Supercella tornadica vista dall'autostrada A4 – ore 17.25 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

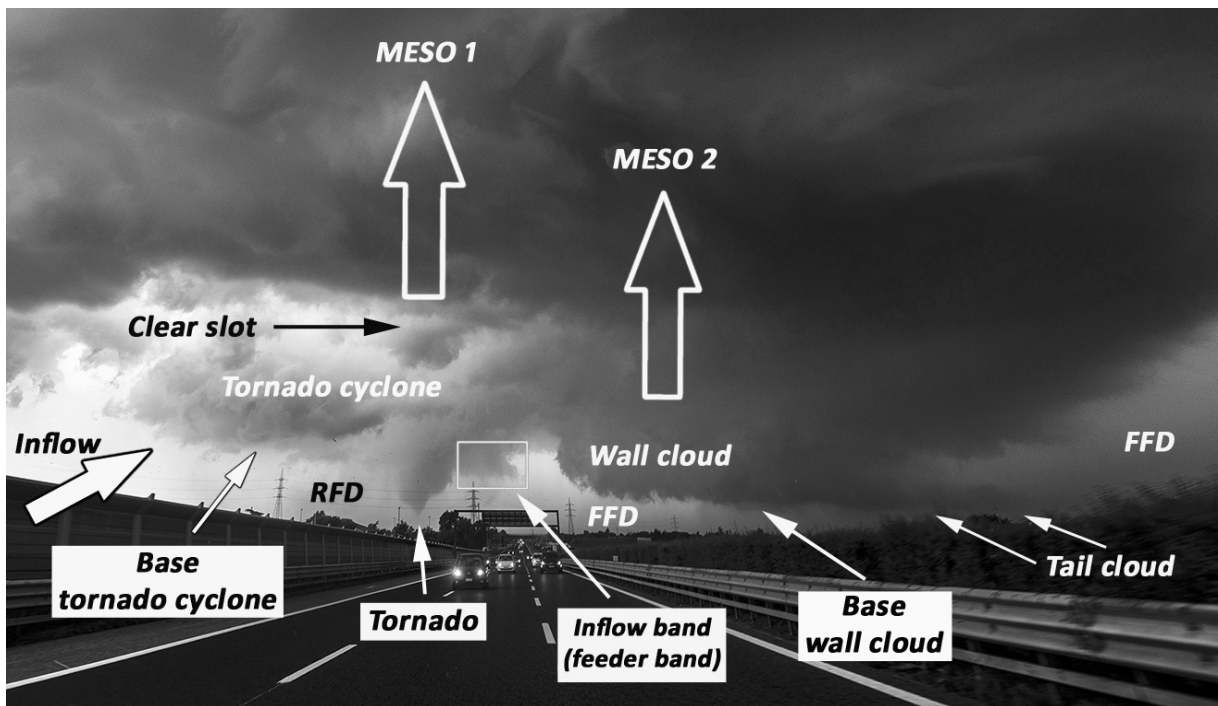


Fig. 4.25 – Supercella tornadica vista dall'autostrada A4 – ore 17.25 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.26 – Supercella tornadica vista dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.31 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

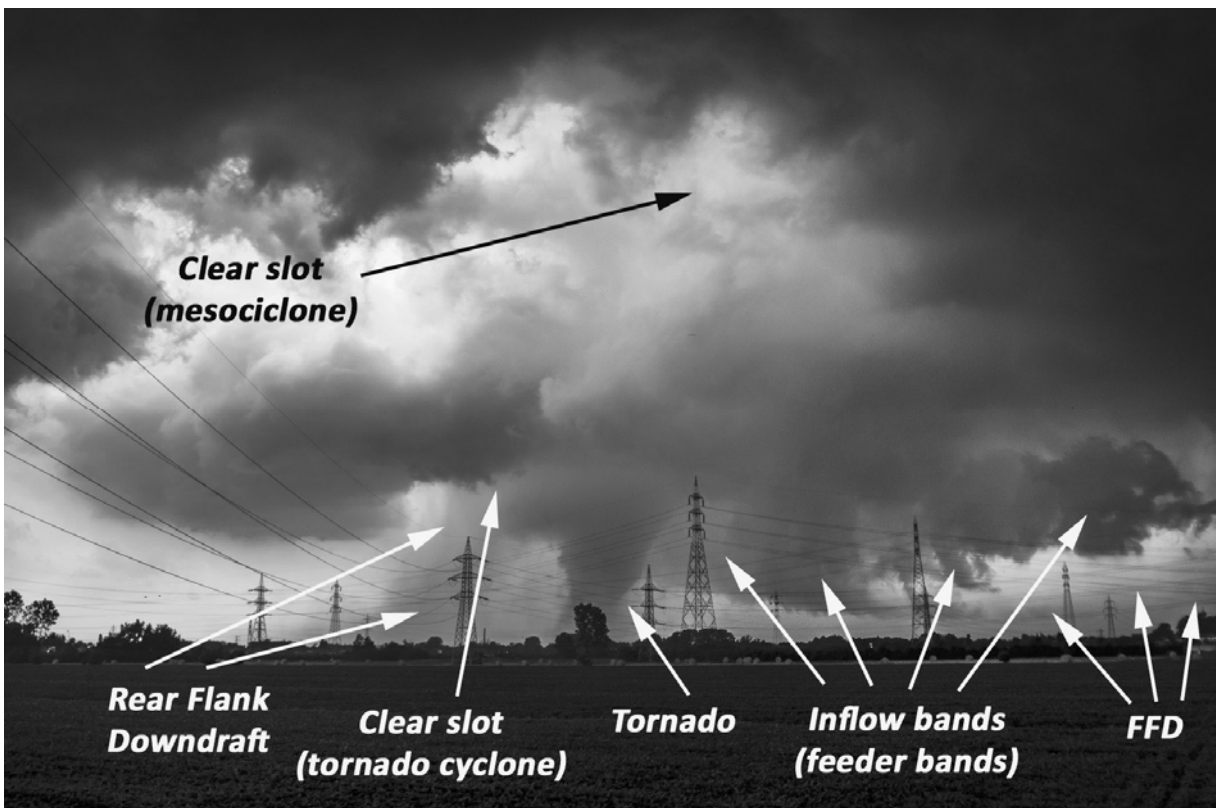


Fig. 4.27 – Supercella tornadica vista dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.31 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.28 – Tornado visto dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.31 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

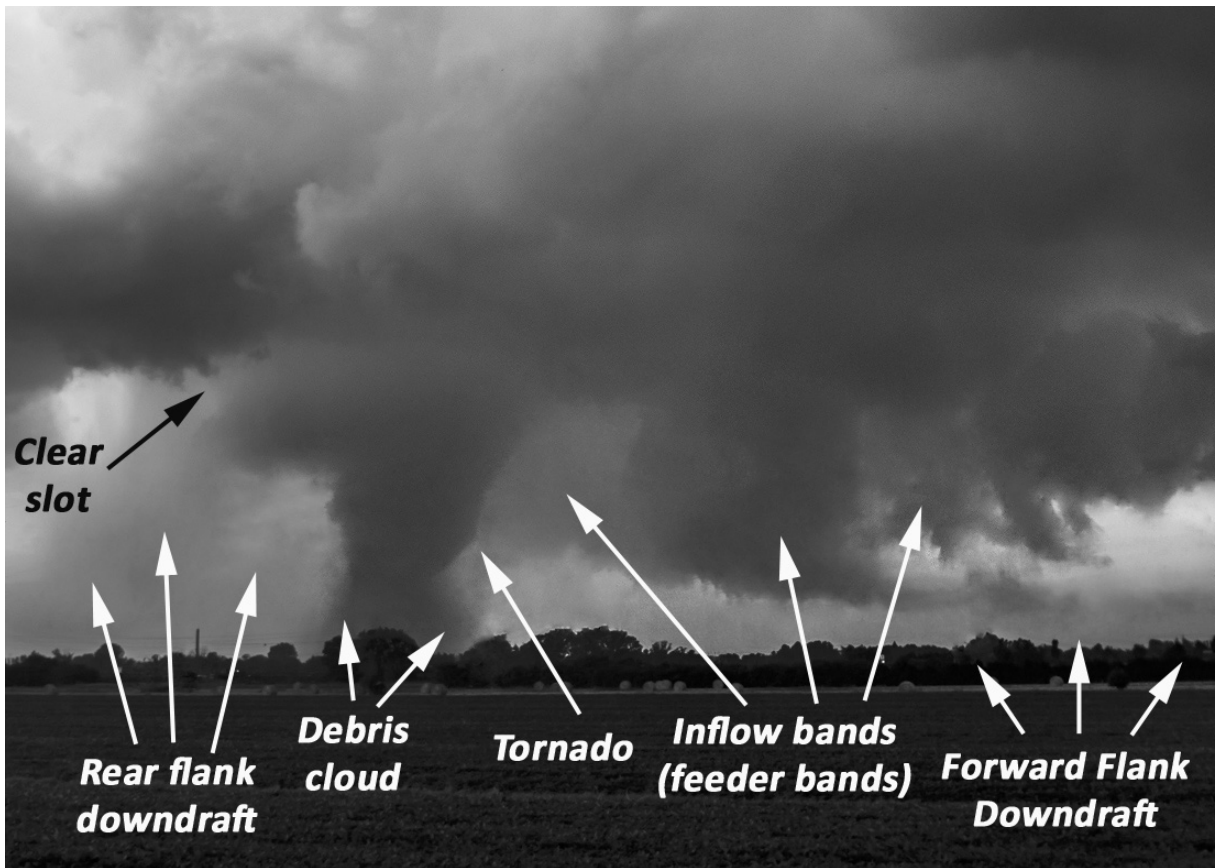


Fig. 4.29 – Tornado visto dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.31 locali. Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.30 – Tornado visto da Marano di Mira (VE) - ore 17.29 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.31 – Tornado nella fase di massima intensità visto da Marano di Mira (VE) - ore 17.31 locali. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.32 – Supercella tornadica vista dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.32 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser

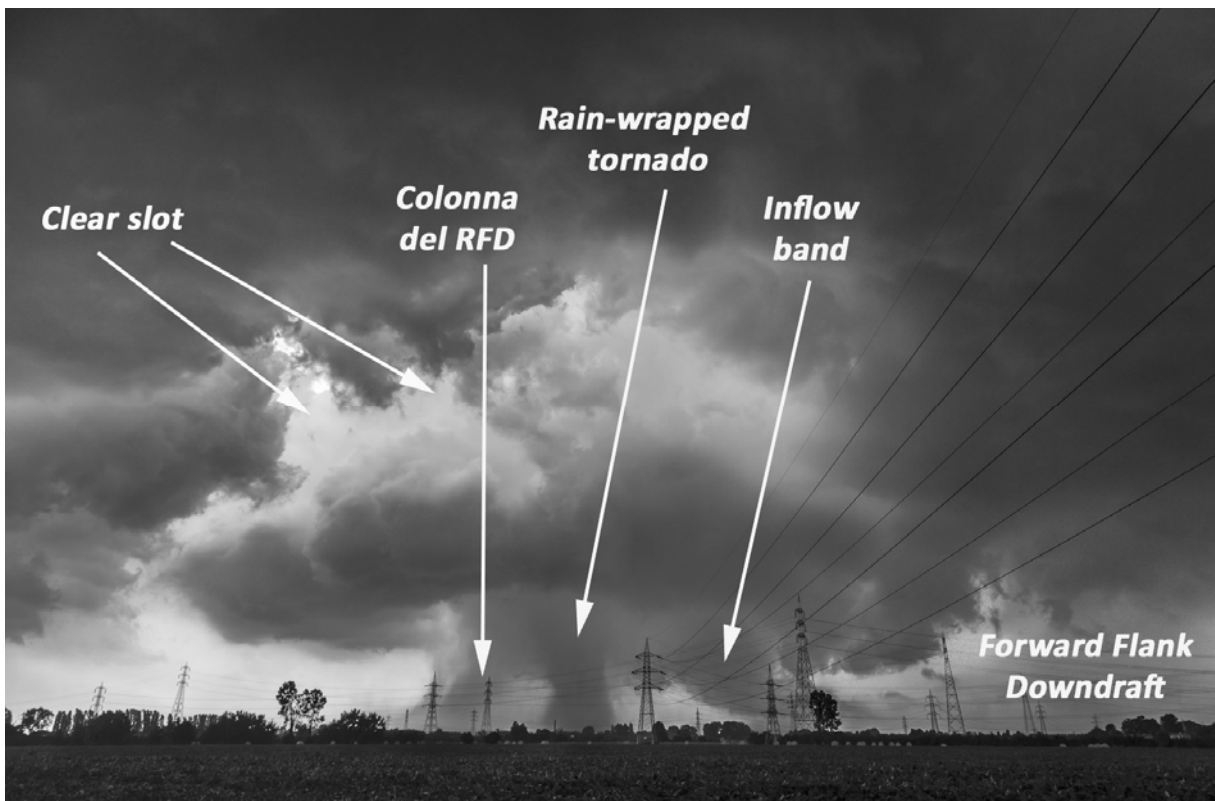


Fig. 4.33 – Supercella tornadica vista dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.32 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.34 – Supercella tornadica vista dalla zona di Oriago di Mira (VE) – ore 17.32 locali.
Foto: TornadoSeeker/ZenaStormChaser



Fig. 4.35 – Tornado nella fase di dissoluzione (“rope tornado”) visto da Giare di Mira (VE) alle ore 17.40 locali circa.
Foto dell’utente nikola_girardi da Youreporter.it



Fig. 4.36 – Supercella in avvicinamento a Venezia alle ore 17.37 locali. Fonte: webcam CNR-ISMAR Venezia

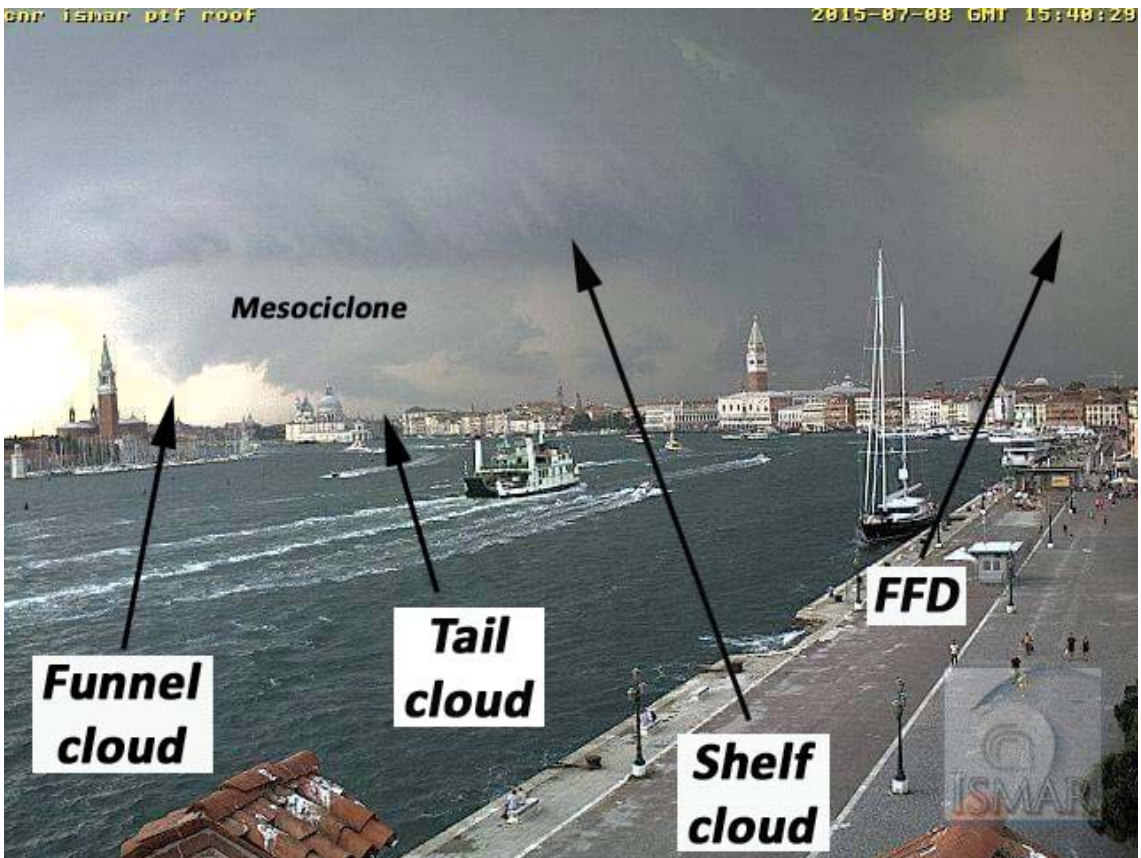


Fig. 4.37 – Supercella in avvicinamento a Venezia alle ore 17.40 locali. Fonte: webcam CNR-ISMAR Venezia



Fig. 4.38 – Grandine scesa a Marano a nord del tornado alle ore 17.40 locali circa. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.39 – Grandine scesa a Marano a nord del tornado alle ore 17.40 locali circa. Foto di Alberto Gobbi



Fig. 4.40 – Flanking line vista da Eraclea (VE) alle ore 18 locali. Foto di Giorgio Pavan - www.meteostretti.blogspot.it



Fig. 4.41 – Incudine sopravvento della supercella - ore 18 locali. Foto di Alberto Gobbi

La Fig. 4.36 e la Fig. 4.37 mostrano la supercella da Venezia: il funnel cloud che compare nella seconda immagine è probabilmente legato al tentativo di una nuova occlusione mesociclonica (supercella “ciclica”), tradita dalla presenza di un inflow notch nelle mappe di riflettività delle ore 17.40 locali (vedasi Fig. 3.24 e Fig. 3.43).

Nelle foto di Fig. 4.38 e Fig. 4.39 i chicchi di grandine, scesi un paio di chilometri a nord del tornado, mostrano una struttura a lobi e punte, in particolare nella prima immagine, a testimonianza di forti updrafts contenenti molte goccioline sopraffuse: esse, a causa dell’elevata velocità di ascesa, non fanno in tempo ad unirsi per formare gocce più grosse e quindi si depositeranno sui lobi, ingrandendoli.

La Fig. 4.40 mostra la flanking line sul settore meridionale della supercella fotografata da Giorgio Pavan dalle campagne di Eraclea (VE) verso est: il mesociclone si trova sulla parte destra dell’immagine. Infine, all’incirca alla stessa ora, la Fig. 4.41 mostra il bordo meridionale dell’incudine sopravvento della supercella, ancora compatto e con accenni di knuckles.

4.2 Testimonianza di caccia di Alberto Gobbi

I modelli meteorologici prevedevano per il pomeriggio dell’8 luglio il transito da ovest di una moderata saccatura in quota la quale poteva essere sufficiente ad innescare alcuni temporali potenzialmente molto intensi considerati gli elevati valori di dew point sia notturni che pomeridiani a causa di un anticiclone sub-tropicale presente da più giorni sulla pianura veneta. Tuttavia non davo molto credito a questo passaggio temporalesco, per lo meno in pianura, conoscendo la caparbiazza dell’inversione termica in quota associata ad una configurazione del genere.

Nel primo pomeriggio in effetti vedo dei cumuli in rapido sviluppo proprio sopra l’area del miranese ma questi “perdono la testa” (Fig. 4.1, Fig. 4.2) e penso che non ci sia “trippa per gatti”, detta in parole povere. Per cui decido di farmi una breve pennichella in attesa di qualche novità. Intorno alle ore 16 mi sveglio in quanto il mio orologio biologico era comunque tarato su uno “stato di attenzione” per via dell’aria umida al suolo e di un costante venticello da sud-est proveniente dalla vicina laguna veneta. Vado fuori sul balcone al primo piano rivolto a nord e vedo un temporale in lontananza verso il vicentino che mi pone automaticamente in uno stato di “massima allerta”. Il cumulonembo appare tutto bianco vista la distanza, ma l’incudine e la parete del temporale mostrano chiari segnali di intense correnti ascensionali essendo queste ben definite. Finchè prendo di corsa la macchina in garage penso già che succederà qualcosa di notevole: il temporale appare isolato e di certo non gli mancherà l’energia.

Mi porto quindi sulla sommità dell’argine sinistro del fiume Brenta a Campolongo Maggiore (VE), paese in cui abito, ed una rapidissima occhiata dal mio cellulare alle immagini radar confermano in pieno una situazione potenzialmente interessante ma pericolosa allo stesso tempo: l’area molto estesa con un colore rosso scuro sul vicentino indica che il temporale è già a pieno regime e, soprattutto, sulla pianura veneta non ci sono altri temporali o nubi di un qualunque tipo che possano indebolire il cumulonembo sotto esame. Scatto quindi dall’argine alcune foto all’incudine (Fig. 4.6) che poi vedrò di unire con calma con un apposito programma una volta tornato a casa. In quei frangenti sembra che il temporale si muova verso est, in direzione del trevigiano, per cui devo assolutamente andare verso nord altrimenti non riuscirò a portarmi per tempo a sud-est della struttura per documentare eventuali nubi accessorie o tornado.

Per cui salto in macchina e mi dirigo verso Padova da dove poi, una volta sulla tangenziale, imboccherò la strada che mi porterà verso Castelfranco Veneto (TV), al massimo da lì potrò spostarmi verso est uscendo per esempio a Camposampiero (PD). E' in questi momenti che mi torna in mente il tornado che ha colpito l'area di Riese Pio X il 6 giugno 2009 e ho un brutto presentimento. In realtà, pochi secondi prima di imboccare la tangenziale di Padova, noto con grande stupore che il temporale è, per l'appunto, già verso la periferia nord di Padova. Guardo di nuovo il radar e sembra che si tratti di una multicella con nuove celle in rigenerazione verso sud, ma l'aggiornamento è vecchio di almeno 20 minuti e davanti a me non mi sembra certo di avere una multicella! Per cui giro a destra per entrare nella frazione di Camin (Padova est) dove avrò una maggior libertà per fermarmi a fare qualche foto (Fig. 4.10, Fig. 4.12, Fig. 4.13).

I cumuli entrano dal lato sud nel temporale che ancora non sapevo essere supercella nonostante avessi fondati indizi per sospettarlo. Il vento è debole da sud-est, l'incudine sopravvento si ispessisce, la base dei cumuli risucchiati dal mesociclone si abbassa col passar dei minuti. Devo quindi allontanarmi verso est o verrò certamente sovrastato dalla base del temporale e quindi non potrò vedere la struttura a causa dei rovesci di pioggia e grandine. Arrivo quindi a Stra (VE), sempre nei pressi del fiume Brenta, dove vedo meglio la colonna dell'updraft che continua a risucchiare i cumuli, mentre più a sud di quest'ultimi il cielo rimane sereno (Fig. 4.14, Fig. 4.15, Fig. 4.16). Sinceramente, in quegli istanti non davo molto peso a quei cumuli. Il vento è sempre debole da sud-est.

Attendo qualche minuto per verificare eventuali formazioni sospette alla base della corrente ascendente e consulto il radar che conferma la deviazione del temporale verso sud e la permanenza di un nucleo di precipitazioni piuttosto esteso e compatto con un marcato gradiente di riflettività sul margine meridionale dello stesso. Nel successivo scatto radar compare anche un primo accenno di eco ad uncino. Mettendo assieme tutti questi elementi, oggettivamente allarmanti, l'adrenalina prende il sopravvento. Valutato di aver fotografato a sufficienza la struttura del temporale dal lato dell'inflow, mi dirigo quindi verso nord, con il solo ed unico scopo di puntare al mesociclone e di avvicinarmi il più possibile all'ipotetico tornado. Riparto da Stra e passando per Pianiga mi ritrovo a Caltana di Santa Maria di Sala (VE): durante questo tragitto il movimento degli alberi denota un vento piuttosto teso e leggermente "rafficoso" che istintivamente valuto essere la corrente di outflow. Penso che sono "fregato" perché la regione da evitare è proprio quella sotto il downdraft!

Dedico una manciata di secondi all'osservazione delle piante a bordo strada finché corro verso nord e devo smentirmi senza troppi rimpianti: quello è un vento da sud-est che si sta intensificando. Le foglie dei pioppi iniziano a volare ovunque, si sollevano dei polveroni e cade qualche piccolo ramo quando ormai sono a Caltana. La base delle nubi si abbassa ulteriormente e il bordo assume un andamento circolare. Devo per forza di cose rivedere la mia precedente valutazione: sono nella regione dell'inflow! Da Caltana mi sposto di un paio di chilometri verso ovest e mi ritrovo in una situazione poco simpatica: sono sotto estese bande di pioggia e grandine evidenziate dal cielo chiaro verso sud che sembrano ondeggiare, mentre sopra di me le nubi iniziano a turbinare. Il vento cambia continuamente direzione e cade qualche piccolo chicco di grandine. In pratica, sono dentro l'eco ad uncino, all'interfaccia con la regione del Rear Flank Downdraft tradita da quelle bande di precipitazione in fase di incipiente rotazione. Più che pensare di essere "preso" dall'ipotetico tornado, temevo la grandine e in genere la pioggia che mi avrebbe precluso ogni visuale, senza contare il maggior rischio per la guida in conseguenza dell'asfalto bagnato.

Punto quindi verso est osservando attentamente sopra di me tra le gocce sul parabrezza un eventuale funnel cloud ma ancora non si vede nulla che assomigli ad un imbuto. Uscito dai rovesci di pioggia, sono ormai a Scaltenigo (VE) quando alla mia destra, a circa 3 km di distanza, vedo una formazione molto sospetta verso sud: si tratta di una nube a tronco di cono rovesciato (Fig. 4.20)! Mi fermo sul parcheggio davanti al cimitero di Scaltenigo e inizio a riprendere l'evoluzione di questa nube, quando noto verso ovest, a circa 500 metri di distanza, un'altra nube molto scura allungata verso nord (Fig. 4.19). Solo osservandola nel suo insieme, essendo molto vicina, ho compreso che si trattava di una "tail cloud" (nube a coda) distesa dal Forward Flank Downdraft (FFD) di cui avvertivo ogni tanto qualche raffica più fresca da nord.

E' ormai inevitabile la tornadogenesi! Inizia a grandinare con chicchi delle dimensioni intorno ai 5 cm, temo per i fulmini nube-terra e io mi ritrovavo vestito "da casa" con canottiera, pantaloncini corti e sandali visto che fino a un'ora prima stavo dormendo. Per fortuna non c'erano scariche di quel tipo, in compenso la grandine inizia a martellare la mia macchina e non solo: qualche chicco mi finisce in testa finché avevo la videocamera in una mano e la fotocamera nell'altra. La forma ad imbuto ora è ben distinguibile e degenera in tornado che inizia a traslare verso sud-est.

Rimonto in macchina verso est, in direzione Marano e Borbiago: sono tesissimo, non riesco a proferire alcuna parola, ogni tanto giro la testa verso destra e vedo il tornado che si è ingigantito, con un colore scurissimo in controluce sullo sfondo chiaro del cielo. Faccio due tappe in cui scatto un paio di foto, sempre in compagnia della grandine: nella prima ho le case davanti per cui non vedo la parte inferiore del vortice (Fig. 4.30), invece nella seconda fermata poco più avanti trovo un'altra strada rivolta verso sud, quindi il campo libero mi permette di fotografare anche la "debris cloud", ovvero la nube di detriti alla base del tornado (Fig. 4.31).

Decido di non seguire la via verso sud ma di continuare verso est, perché il tornado era già troppo avanti rispetto alla mia posizione. Tuttavia mi ritrovo in tal modo sul bordo meridionale del downdraft principale della supercella (FFD) e, giunto alla periferia nord di Mira, devo fermarmi per una grandinata ancor più intensa associata a rovesci di pioggia e raffiche di vento da nord. Sosto così sotto un paio di alberi in una zona residenziale, ma la macchina viene comunque un po' ammaccata dai chicchi, per fortuna i vetri restano integri. Conclusa la fase più intensa della grandinata, scendo e scatto qualche foto ai chicchi prima che fondano (Fig. 4.38, Fig. 4.39), ma continua a piovare, l'ombrello fa quel che può quindi mi lavo per bene come se fossi appena uscito da una lavatrice.

Entro quindi in un piccolo parcheggio a Mira dove sosto qualche minuto per riprendermi, nel frattempo esce il sole. Chiamo così Giorgio Pavan, un altro storm chaser che ha fotografato da Eraclea la flanking line della supercella (Fig. 4.40), per informarlo che un grosso tornado ha colpito il veneziano. Quando dicevo "grosso" mi riferivo alle dimensioni del vortice e null'altro, non certo alla gravità dei danni che ho potuto appurare una volta entrato nella Riviera del Brenta, tra Mira e Dolo.

Dal parcheggio mi porto verso ovest, direzione Dolo, in base ad una sommaria ricostruzione del percorso del vortice come lo avevo visto da Marano e dintorni. Il traffico è completamente bloccato, ma in distanza vedo che sui fili dell'alta tensione c'erano pezzi di lamiera e altro, per cui decido che posso nuovamente parcheggiare e farmela a piedi.

Senza saperlo avevo parcheggiato sul margine orientale del path del tornado, per cui una camminata di un paio di minuti mi è stata sufficiente per assistere ad uno spettacolo sconcertante: guardando verso via Tito e via Seriola ho visto una scena drammatica, simile a quella che avevo osservato a Greensburg (Kansas) che nel maggio del 2007 è stata colpita da un devastante tornado. Non sapevo cosa dire, mi sembrava per l'appunto di essere tornato in USA, il tornado aveva scaraventato nel Naviglio Brenta alcune macchine, decine gli alberi rotti o scortecciati, tetti volati via, detriti ovunque, piante sulla strada, persone ferite e spaesate... il tutto con un sole e una calma di vento surreali. I soccorsi stavano iniziando ad affluire proprio in quei momenti con elicotteri, ambulanze, vigili del fuoco ed i sommozzatori alla ricerca di eventuali persone imprigionate nelle macchine lanciate nel fiume dalla furia del tornado.

Il senso di impotenza mi ha attanagliato, pur avendo monitorato nei primissimi stadi di vita il tornado che cosa potevo fare di fatto, io come gli altri storm chasers che stavano documentando l'evento? Non vedendo nelle mie immediate vicinanze persone bisognose di aiuto, chiamo subito mia moglie e i miei familiari per informarli dell'accaduto, ma loro non si erano accorti di nulla visto che Campolongo Maggiore si trova a una decina di chilometri più a sud. Mia sorella abita a Dolo con la sua famiglia ad un solo chilometro dal path del tornado, per fortuna tutti stavano bene.

Tranquillizzatomi anche da questo punto di vista, procedo a documentare i vari danni attraverso video e foto, sempre vestito "da spiaggia" e ben inzuppato già col pensiero di studiare da cima a fondo questo tornado. Scambio due parole con qualcuno del posto, nel frattempo giungono i primi giornalisti con tutta l'attrezzatura del caso, quindi continuo a fare foto e video fino al tramonto conscio che già domani si perderanno alcuni indizi utili allo studio dell'evento per l'ovvia fase di ricostruzione. Una volta concluso il sopralluogo su via Riviera Martiri della Libertà e via Tito mi sposto verso via Seriola e via Carrezioi scattando numerose foto al traliccio abbattuto e alle case, poi mi addentro nei campi di mais per riprendere la traccia al suolo lasciata dal vortice. Ormai al tramonto, devo rientrare con l'idea di proseguire i sopralluoghi nei giorni successivi e, giunto a casa, inizio a raccogliere materiale sull'evento e a scambiare pareri, foto e video con gli altri storm chasers attivi quel pomeriggio.

4.3 Testimonianza di caccia di Valentina Abinanti e del suo team

Nei giorni che precedono l'8 luglio, come da abitudine, io e il gruppo di ragazzi di ZenaStormChaser, con cui sono solita condividere uscite a "caccia di temporali", analizziamo i modelli fisico-matematici in vista di un imminente peggioramento del tempo. Sino al giorno 7 rimaniamo indecisi sulla zona da scegliere come "target", ovvero l'area in cui si svilupperanno i fenomeni più intensi: dagli elementi analizzabili sembra che vi siano due macro-aree che potranno essere interessate da violenti temporali. Una è il Piemonte, specie il vercellese, e l'altra è la zona a cavallo tra Friuli e Veneto.

Nel pomeriggio del 7, i modelli propongono però una soluzione differente dai giorni scorsi e il Piemonte sembra nettamente sfavorito. La sera decidiamo dunque che l'indomani punteremo la zona tra Treviso e Pordenone, poiché i modelli mostrano lì una spiccata convergenza al suolo dei venti. A questo si aggiungono tutti gli altri parametri che favoriranno la genesi di intensi temporali, a carattere supercellulare, e forse di isolati tornado. Mi ritrovo dunque con Jacopo Zannoni, William Demasi, Tiziano Puppo che arrivano da Genova, e Matteo Pratesi che ci raggiunge dal torinese. Alle ore 10 partiamo da Novara Est verso il target prescelto.

Alle 12 circa ci troviamo all'altezza di Brescia e l'auto su cui viaggiamo ci riserva un amaro imprevisto: una ruota posteriore esplose letteralmente. Siamo quindi costretti a fermarci, tentiamo di sostituirla, ma il cerchione arrugginito rende l'impresa impossibile. Dunque dobbiamo chiamare il carro-attrezzi che ci porta da un gommista, il quale chiude al nostro arrivo poiché in pausa pranzo. A seguito del susseguirsi di questi avvenimenti rocamboleschi, alle ore 14.45 ripartiamo, sempre con l'idea di giungere sino a Treviso. Non abbiamo avuto modo sinora di consultare i modelli aggiornati, restiamo dunque fiduciosi sulla situazione osservata e analizzata ieri. Situazione che, in realtà, non sarà più così.

Ci ritroviamo a passare da Venezia quando è già presente una cella temporalesca nel vicentino, piuttosto intensa. All'altezza di Spinea notiamo come gli alberi siano piegati da un vento da sud-est abbastanza sostenuto. Questo elemento, unito alla presenza di un forte temporale nella zona, è per noi un campanello di allarme: i venti previsti al suolo sui modelli di ieri, in questa area, avrebbero dovuto avere una componente sud-occidentale. Avere sud-est al suolo significa che qualcosa è sostanzialmente cambiato e generalmente questo è un ingrediente importante per la genesi di supercelle e tornado.

Decidiamo dunque di fermarci a Spinea e attendere l'immagine radar successiva prima di continuare a puntare verso est. Quando arriva l'aggiornamento, questo mostra una supercella in piena regola. Decidiamo dunque di fare retromarcia e di muoverci verso di lei, mentre sta scendendo dal vicentino. Ci rendiamo conto che le immagini radar a disposizione sono in realtà vecchie di 30 minuti, quindi pressoché inutilizzabili. Dobbiamo perciò muoverci a vista, in una zona che non conosciamo e in una atmosfera molto fosca che non consente di avere buona visibilità sull'orizzonte. Il temporale è ben più vicino dunque di quanto avevamo preventivato prima con le scansioni radar e finiamo per ritrovarci di fronte alla base delle correnti ascensionali (Fig. 4.9, Fig. 4.11). Essendo in autostrada, siamo costretti a portarci al di sotto di essa e solo successivamente a fare retromarcia.

Una volta che invertiamo la marcia, a fianco a noi viene a formarsi una imponente clear slot (Fig. 4.18), segno che le correnti di RFD stanno prendendo piede verso i bassi strati. Sotto di questa, si è formata una grossa wall cloud e in questi istanti improvvisamente iniziano a scaricarsi al suolo fulmini nube-terra positivi. Si tratta di pochi minuti in cui però questo tipo di scariche si fa nettamente predominante sulle altre, sino a scomparire poi improvvisamente. Negli USA siamo già stati testimoni di questo comportamento più volte ed è classicamente un segnale che indica come probabilmente, entro 15-20 minuti, un tornado potrebbe toccare il suolo.

In autostrada non riusciamo a muoverci come vorremmo, dunque tentiamo di proseguire tramite strade extra urbane, ma la scelta si rivela un incubo. Rimaniamo imbottigliati in strade a lento scorrimento, piene di semafori e altamente trafficate. Finiamo con il ritrovarci dunque molto vicini alle precipitazioni, tanto che ad un certo punto vediamo distintamente, in fondo alla strada che percorriamo, la pioggia riversarsi al suolo associata a forti raffiche di vento. Scampiamo per un pelo ai rovesci e rientriamo in autostrada. Per via di questa mossa ci ritroviamo ora sotto al bordo meridionale del mesociclone, con la wall cloud alla nostra sinistra e i rovesci di RFD di fronte a noi. Siamo costretti a passarvi in mezzo per superarli e portarci di fronte. Si distinguono nettamente le singole bande di pioggia che ondeggiano e sembrano iniziare ad assumere un moto rotatorio: diviene chiaro che la circolazione di un possibile tornado si sta propagando ormai verso il suolo e che siamo in una bruttissima posizione.

Sorpassiamo a gran velocità i rovesci di RFD, che nel frattempo ondeggiavano vistosamente lungo il manto autostradale. Non appena ci allontaniamo, William avvista dietro di noi un tornado discendere accanto alla nube a muro. Ci fermiamo poco dopo in una piazzola di sosta per qualche scatto, ma il tornado perde presto la condensazione. Di fronte a noi abbiamo l'imponente struttura di tutto il mesociclone (Fig. 4.22, Fig. 4.24). Ripartiamo, serve ora uscire dall'autostrada, poiché la cella si muove a sud-est e l'autostrada va verso est. Il problema è che non abbiamo immagini radar aggiornate, dunque non riusciamo a capire esattamente su quali paesi si trova ora l'uncino e non abbiamo nessun punto di riferimento conosciuto. La prima uscita è a diversi km, dobbiamo quindi per forza prendere quella, dopo di che ci dovremo muovere esclusivamente a occhio. Nel frattempo consulto Google Maps per guidare Jacopo che è al volante, ma in questi istanti concitati la cartina non è più orientata secondo i reali punti cardinali, quindi si aggiunge confusione a quella già esistente.

Una volta imboccata la prima uscita ci troviamo in un groviglio di strade, ponti e infrastrutture. Vediamo bene il tornado all'orizzonte, ma è praticamente impossibile fotografarlo senza che ostacoli di ogni genere si frappongano tra noi e lui. Quando finalmente troviamo un campo, l'unico nella zona, ci fermiamo per scattare foto (Fig. 4.26). L'orizzonte è occupato da decine di fili di alta tensione e tralicci, ma è quanto di meglio siamo riusciti a trovare. Il tornado è ora molto grosso e distinguiamo chiaramente una nube di detriti molto alta (Fig. 4.28). Gli oggetti in sospensione sembrano molto ingombranti: probabilmente lamiere, pezzi di case o alberi. Osserviamo le correnti di RFD avvolgere il tornado, sino a portarlo a dissoluzione (Fig. 4.32, Fig. 4.34).

Seguiamo dunque la cella sino in laguna, dove poi finirà per esaurirsi. A questo punto decidiamo di puntare dei temporali più a nord, ma ci fermiamo a Spinea per osservare meglio la situazione. Qui troviamo diversi campi ricoperti da grandine di grosse dimensioni. Abbiamo modo di parlare con un abitante del posto che ci parla di chicchi grossi come mele nel momento di massima intensità. Mi sento al telefono con Marco Rabito, che abita non lontano da queste zone, per capire se abbia notizie di dove sia passato effettivamente il tornado. Marco mi parla di gravi danni a Dolo, dunque decidiamo di recarci lì per una prima stima dei danni e dare aiuto nel caso ve ne fosse bisogno.

Giunti a Dolo, troviamo subito un imbottigliamento che non ci consente di proseguire in auto; dunque lasciamo la vettura in un parcheggio e seguiamo a piedi, dopo aver chiesto a persone del luogo in quale direzione fossero i danni maggiori. Arriviamo in via Riviera Martiri della Libertà. Immediatamente il mio occhio cade su un prato accanto alla strada. Il tornado ha estirpato completamente l'erba, lasciando una striscia di terra viva. Faccio subito qualche scatto a questa scena, perché una cosa del genere è indice di tornado intensi. Camminando oltre, la situazione è agghiacciante: case distrutte, auto sollevate e ribaltate, vetture disseminate nel corso d'acqua accanto, tralicci di alta tensione piegati alla base e distesi sul campo. Intorno a noi, molte persone camminano sconcertate.

Alcuni pompieri cercano di rimuovere delle auto accartocciate le une sopra le altre, quando una ragazza sopraggiunge riconoscendo la sua. La giovane parla al telefono con qualcuno e si confida in lacrime dicendo che la macchina è completamente distrutta. Jacopo e gli altri aiutano i pompieri a spostare l'automobile, la cui carrozzeria sembra saldata con quella delle altre. In questi istanti mi sembra di rivivere situazioni vissute negli Stati Uniti, dove ci siamo ritrovati a perlustrare zone colpite da violenti tornado poco dopo l'accaduto. L'amarezza è che lì le persone sono istruite su cosa siano questi eventi e informate su come comportarsi, mentre qui purtroppo la realtà è ben diversa.

5. ANALISI FOTOGRAMMETRICA DEL TORNADO

di Diego Valeri

5.1 Introduzione

La fotogrammetria consiste in tecniche numeriche o analitiche, finalizzate alla ricostruzione delle dimensioni e delle relative posizioni nello spazio di un qualsiasi oggetto, partendo dalla ripresa prospettica dello stesso da differenti punti di vista, mediante foto e/o video, tramite l'applicazione della geometria analitica e della trigonometria. Più in dettaglio, conoscendo le coordinate geografiche dei punti di ripresa e le proprietà intrinseche delle macchine fotografiche e/o delle videocamere (per es. il FOV, cioè il "Field of View"), è possibile ricostruire una griglia di coordinate, ad es. azimuth e altezza angolare, e quindi calcolare l'estensione dei dettagli degli oggetti fotografati e, in un secondo tempo, avendo l'unità temporale, la cinematica (e dinamica) degli stessi, mediante la risoluzione di sistemi d'equazioni, note come collineari.

I campi di ricerca e di applicazione sono vasti, passando dall'Astronomia, all'Ingegneria Civile, allo studio forestale, dalla Geologia all'Aeronautica, ecc. Le metodiche applicate sono, in alcuni casi, complesse ed esulano dall'approccio puramente didattico di questo capitolo. In ambito meteorologico, soprattutto per la determinazione della velocità dei venti tangenziali dei tornado, le tecniche fotogrammetriche e di triangolazione sono state già utilizzate a partire dagli anni '50 e '60 del secolo scorso, ad opera di alcuni pionieri, come il meteorologo T. Fujita in merito alla sequenza di eventi ("tornado outbreak") avvenuti tra il 2 e il 5 Aprile 1957 tra lo stato del Texas e della Virginia (USA). Recenti applicazioni sono relative ai tornado di LaGrange, stato del Wyoming, USA, nel 2009 ed in concomitanza con il progetto VORTEX 2 del "El Reno" del 2013.

5.2 Applicazione delle tecniche fotogrammetriche ai tornado italiani

Le conoscenze attuali

A livello internazionale, già a partire dagli anni '80 del secolo scorso, appariva chiaro che le stime sulle caratteristiche dei tornado (ad esempio il percorso al suolo, i danneggiamenti, ecc.) e la relativa classificazione secondo la scala Fujita risultavano sovrastimate, in quanto non si teneva conto di una serie di fenomenologie legate alle proprietà del moto dei fluidi, come la formazione di vortici in prossimità di strutture snelle (torri, campanili, tralicci, ponti, ecc.), studiate dall'aeroelastica, il comportamento aerodinamico delle opere infrastrutturali e civili e l'interazione dei flussi turbolenti.

Nelle ultime decadi, le suddette criticità sono state oggetto di intensa ricerca, grazie ad una collaborazione squisitamente interdisciplinare, che in primo luogo ha portato all'introduzione della nuova scala EF, a partire dal 2005, calibrata sulla precedente per evitare di riclassificare migliaia di eventi. E in Italia? Pur essendo un "laboratorio ambientale" unico nel suo genere, per la sua conformazione e la relativa posizione nel Mediterraneo, che permette lo sviluppo di fenomeni vorticosi, con decine di eventi segnalati ogni anno e milioni di euro di danni, le conoscenze sui tornado sono ancora alquanto deficitarie e demandate a pochi professionisti e/o ricercatori accademici. Sul web è presente tutta una serie di studi, più o meno attendibili, che mostrano un'evidente lacuna culturale in merito alla ricerca in queste fenomenologie vorticose e la relativa interazione con i manufatti antropici.

Di conseguenza, ci sono informazioni contrastanti, stime e giudizi basati su un approccio “scientifico” soggettivo, aggravato da evidenti errori interpretativi, legati spesso ad un retaggio culturale obsoleto e alla carenza di una preparazione accademica trasversale. Negli ultimi anni però la situazione è andata migliorando grazie a dibattiti e allo scambio di idee per la ricerca scientifica, nelle quali si integrano diverse discipline, avvalendosi anche di un approccio computerizzato per la risoluzione delle equazioni differenziali numeriche, in concomitanza degli eventi. Il “know-how” necessario per le analisi deriva da pubblicazioni internazionali degli ultimi 25 anni, soprattutto americane, tedesche e giapponesi, che hanno in parte rivoluzionato le conoscenze sui fenomeni indagati. Tali informazioni sono state successivamente adattate al contesto italiano.

L’uso di tecniche multiple

Pur essendo istruttivo partire dall’equazione di Navier-Stokes, per comprendere la fluidodinamica dei tornado, in questo paragrafo ci limiteremo a fornire alcuni dettagli utili per lo studio fotogrammetrico dei fenomeni vorticosi, compresi eventi minori, come dust devils, gustnado, ecc. Oltre oceano, l’utilizzo di tecniche di ripresa di tipo fotogrammetrico risulta complementare all’impiego sul campo dei radar Doppler portatili, in banda “X” (lunghezza d’onda 0.03 m, apertura del fascio 1°) o “W” (0.003 m, 0.18°), con una risoluzione spaziale tra i 50 m e i 10 m a 3 km di distanza dall’antenna, confrontabile con le risoluzioni ottenibili in campo ottico. Inoltre, i radar a doppia polarizzazione, già sperimentati in USA a partire dal 2011, permettono di differenziare il segnale prodotto dalle gocce di pioggia da quello indotto dai detriti.

In Italia, al momento, a parte stime empiriche effettuate con l’utilizzo dei radar meteo fissi per lo studio delle velocità radiali delle celle temporalesche, già introdotto nel capitolo 3, l’unico modo disponibile per uno studio quantitativo dei tornado è proprio la fotogrammetria. Tramite quest’ultima, dai primi anni 2000, in concomitanza con lo sviluppo del web che ha permesso di condividere quasi in tempo reale un sempre maggior numero di informazioni sugli eventi estremi, è stato possibile approfondire molteplici casi storici documentati. Si tratta, è bene precisare, di studi provvisori incompleti in quanto la ricerca dei dati necessari è spesso complessa e frammentaria, proprio a causa dei molteplici canali per veicolare le informazioni su Internet.

Tornado italiani analizzati per via fotogrammetrica

Dal 1999 fino al 2015, gli eventi analizzati nell’ambito di un progetto sperimentale numerico sono una cinquantina, coprendo tutto il territorio nazionale. Esso è finalizzato all’analisi dei tornado italiani, dei fenomeni vorticosi in genere e la relativa interazione con i manufatti antropici, coinvolgendo diverse professionalità, grazie a tecniche digitali di tipo fotogrammetrico e all’utilizzo di modelli agli elementi finiti. Alcuni casi di indagine sono riportati a titolo esemplificativo su alcuni siti internet e forum di discussione, inerenti la meteorologia ed altri sono in attesa di pubblicazione su riviste di settore. Fra essi: il gustnado di Sava (1976), il tornado di Arcore (2001), il tornado di Cattolica-Riccione (2001), la tromba marina davanti al golfo di Genova (2013), ecc. A tali fenomenologie si devono aggiungere le analisi fotogrammetriche dei “dust devils”, alcuni dei quali molto interessanti come organizzazione delle termiche d’origine e l’altezza raggiunta dalle polveri, rispetto al piano locale. Nel presente capitolo, essendo un’introduzione alla meccanica dei tornado, non vengono riportati equazioni e/o metodi di studio complessi, ma solo cenni utili per chi volesse approfondire queste metodiche di studio degli eventi naturali.

5.3 Rapporti cinematici tra mesociclone e tornado

Durante la traslazione di un tornado è possibile evidenziare il percorso (path) effettuato dallo stesso al suolo, lungo la superficie topografica, secondo un tratto in genere pseudo rettilineo, che sovente può presentare degli elementi curvilinei ascendenti e discendenti rispetto alla direzione di roto-traslazione del cono e all'asse medio della traiettoria. Tali elementi geometrici, noti come punti angolari, identificano i cosiddetti “punti di cuspidi”, aree nelle quali il vortice può stazionare oppure attuare un moto apparente retrogrado. Diversi sono i modelli che spiegano siffatto comportamento “atipico” e la generazione di cuspidi, anche se la relativa traccia al suolo lungo la traiettoria è funzione dell'intensità del tornado e della larghezza del fronte del vortice, che incide sullo spessore del path al suolo (Fig. 5.1).

Semplificando il problema, le cuspidi sono generate dalla combinazione dei moti di roto-traslazione tra la tromba d'aria ed il relativo mesociclone sovrastante, conoscendo a priori le dimensioni degli stessi e le relative velocità differenziali. In genere, un mesociclone ha un diametro compreso tra 1 e 20 km, mentre una tromba d'aria può variare tra una decina di metri e 1.5 km. Ciò significa che esistono numerose combinazioni vettoriali tra i relativi moti mesociclone-tornado e quindi anche la morfologia delle cuspidi risulta varia. Ovviamente, la genesi delle stesse dipende anche dal tempo di contatto al suolo del vortice, in quanto potrebbe essere troppo breve e/o irregolare per manifestarle, anche se il loro numero può essere computato. Nel caso del tornado dell'8 luglio 2015, non sono state individuate delle cuspidi ma un tracciato mediamente sinusoidale o pseudolineare (vedasi sottocapitolo 6.7).

Ulteriori dettagli fotografici e le immagini successive (Fig. 5.2) hanno permesso di avere indicazioni sulle dimensioni della nube a parete (wall cloud) e di quella accessoria, detta a “coda” (tail cloud), che tipicamente si manifestano nei temporali a supercella. Dall'applicazione della triangolazione e della trilaterazione, correggendo con opportuni algoritmi le distorsioni indotte dai mezzi ottici di ripresa, si ricava per la nube a parete un diametro di 5770.5 ± 692.4 m e una lunghezza della tail cloud di 1580.9 ± 205.4 m, almeno da quanto risulta dalle uniche immagini disponibili, ottenute da Venezia. E' bene sottolineare che tali risultati si riferiscono solo ai fotogrammi e/o video disponibili e quindi rimane al momento ignota l'evoluzione morfologica di tali formazioni nuvolose.



Fig. 5.1 – Percorso al suolo del tornado tra Dolo e Mira, ripreso dall’elicottero “Drago 81” del corpo dei Vigili del Fuoco, che ha permesso di avere un quadro d’insieme dell’area interessata.



Fig. 5.2 – Riprese effettuate a 16.8 ± 0.2 km di distanza, lungo il molo di Venezia, in direzione W-SW. Ben visibile la nube a parete (wall cloud) e la nube accessoria (tail cloud). Foto di sinistra webcam CNR-ISMAR Venezia. Foto a destra di Ivan Gavagnin.

5.4 Tipologia ed analisi dei tornado

Nel corso degli anni, lo studio dei sistemi temporaleschi ha consentito di proporre diversi modelli di sviluppo dei tornado e della relativa organizzazione dei flussi che li costituiscono. Semplificando la questione e tralasciando la relativa classificazione morfologica (rope, wedge, ecc.), interessa conoscere come si dispongono le correnti all'interno del vortice, i venti tangenziali e il rapporto con il mesociclone, una volta raggiunta la fase matura. Un indice di interesse pratico, ricavato da simulazioni in laboratorio, è lo "swirl ratio" (S), dato dal rapporto tra la velocità dei venti tangenziali in opportune regioni alla base del vortice e la corrente ascensionale assiale simmetrica del medesimo (Fig. 5.3). Dai valori assunti da " S " ne consegue che esistono prevalentemente due tipologie di tornado:

- A corrente singola (ascendente, "one cell vortex"): si caratterizza per una circolazione della risalita dell'aria di tipo laminare. E' tipica dei tornado meno violenti, di bassa fascia della scala EF, come ad esempio le trombe marine. Tale tipologia si contraddistingue per un raggio dell'imbuto regolare tra la base della nube cumuliforme e il suolo/mare. In linea di massima, si manifestano in associazione a celle convettive poco organizzate o comunque di debole intensità. La nube di detriti (debris cloud) è a geometria tronco-conica, perché relazionata ad una sola tipologia di flusso d'aria che converge verso l'asse verticale;
- A doppia corrente (discendente, "two cell vortex"): la corrente al centro della colonna d'aria satura è discendente, fredda, attorno alla quale si involuppano con traiettoria a spirale i flussi in risalita. E' la circolazione turbolenta tipica delle trombe d'aria di media ed alta fascia della scala EF. In genere, il diametro dell'imbuto cambia passando attraverso una zona di stagnazione del vortice (Fig. 5.4) dove si ha l'interazione tra i flussi in ascesa e in discesa, per regolarizzarsi successivamente nella classica forma a cono rovesciato (Fig. 5.5). La nube di detriti è a geometria toroidale in quanto deriva proprio dall'incontro tra la corrente discendente uscente, che ormai raggiunge il terreno, e la complementare ascendente, in ingresso al vortice. Ciò comporta il sollevamento di diverse tipologie di detriti, un aumento delle quantità trasportate, anche di dimensioni ragguardevoli a causa dei fenomeni aeroelastici e aerodinamici.

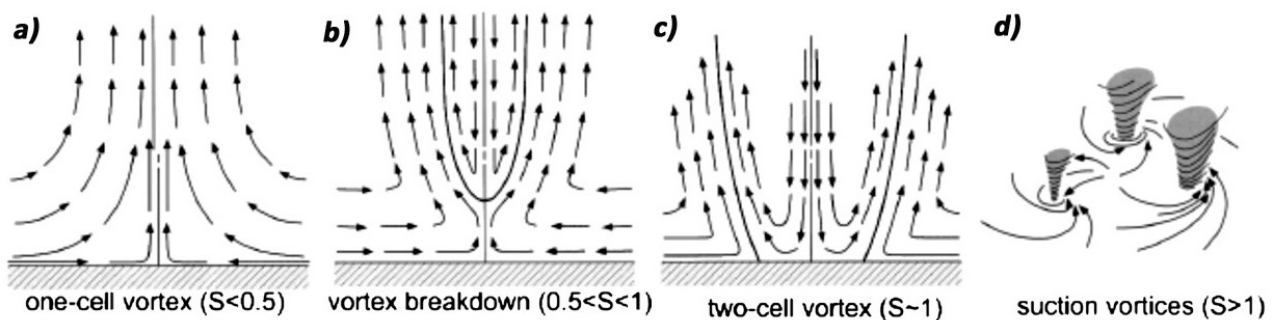


Fig. 5.3 – Tipologia di circolazione vorticoso in base allo "swirl ratio" (S). Si passa da flussi laminari, per tornado deboli (casi **a** e **b**), a correnti organizzate a doppia circolazione nei tornado di alta scala EF (casi **c** e **d**). Schema riadattato da *Davies-Jones* (1986).



Fig. 5.4 – Variazione della geometria conica del profilo della tromba d'aria, tipica di una situazione critica di intensificazione del fenomeno. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 5.5 – Profili del cono del tornado, una volta regolarizzata la sezione del vortice. Interessante notare nell'immagine di sinistra la presenza di pulsazioni (il perimetro lobato del vortice), indotte da fenomeni di risonanza dei flussi turbolenti. Foto di sinistra di Francesco Moressa. Foto di destra di Valentina Abinanti, scattata con Canon 5d MkII, con obiettivo 24-105 mm.

In realtà, l'evoluzione delle trombe d'aria è caratterizzata da entrambe le tipologie di vortice quando tendono a rafforzarsi (aumento della velocità dei venti di taglio) oppure possono manifestare solo la prima configurazione, nel caso di eventi di debole intensità, evidenziando una serie di dettagli morfologici che però esulano dal contesto didattico del presente paragrafo.

5.5 Analisi fotogrammetrica del tornado: risultati provvisori

Lo studio dell'evento è stato eseguito raccogliendo il maggior numero di informazioni possibili, tenendo conto sia della situazione a mesoscala, sia dell'ambito ingegneristico, attraverso la ricognizione delle tipologie edilizie coinvolte (involucri, materiali, geometrie, ecc.) e la ricostruzione vettoriale-digitale dell'area di indagine, mediante tecniche fotogrammetriche.

Il tornado era caratterizzato da una certa turbolenza dovuta alle correnti discendenti. La parte alta, di raggio più grande, sempre a geometria conica, era perturbata dall'incontro delle masse d'aria ascendenti e discendenti, mentre la parte bassa, di raggio più piccolo (52 ± 4 m), manteneva ancora un moto laminare (Fig. 5.4). La zona di contatto tra le suddette masse individuava un nucleo di stagnazione verticale che successivamente permetteva alla corrente discendente di arrivare al suolo, regolarizzando il profilo del classico tronco di cono rovesciato, fino a un diametro di un centinaio di metri in prossimità del terreno (Fig. 5.5) e generando una spettacolare nube di detriti, evidenziata da polveri ed inerti di varia natura, che si alzava per oltre 150 m dal piano di campagna.



Fig. 5.6 – Sequenza fotogrammetrica. I frames estratti dal video permettono di definire la posizione della camera di ripresa e del tornado nello spazio tridimensionale, utilizzando i punti omologhi e non presenti nei fotogrammi. Video di Carlotta Menegazzo.

Per quanto concerne il calcolo dei venti tangenziali e dell'updraft, essi sono stati ricavati dal video (30 frs/s) ottenuto da un'autovettura in transito (Fig. 5.6), in direzione SW ($233\pm 1^\circ$) in via Riviera Martiri della Libertà, tra Mira e Dolo, mentre il FOV (campo angolare) aveva un azimut approssimativo compreso tra i $253\pm 2^\circ$ (WSW) e i $267\pm 2^\circ$ (W). Sono state calcolate e stimate tutte le caratteristiche della fotocamera digitale. Nella Tab. 5.1 e nella Tab. 5.2 si elencano i risultati di sintesi ottenuti.

Tab. 1 – Classificazione e tipologia dell'evento														
Classificazione del tornado: classe I (mesociclonico)														
Tipologia del tornado: doppia circolazione a corrente discendente														
Swirl Ratio (S): 1.6±0.3														
Grado massimo: EF 3 . Il seguente grafico mostra una comparazione delle analisi condotte nei vari ambiti interdisciplinari, utilizzando un algoritmo sperimentale di calcolo, che associa la probabilità di grado EF, raggiunto dall'evento in base ai dati disponibili. In genere si associa all'evento il grado di probabilità di elevata. Le code, avendo una bassa (< 10%) soglia d'avvenimento, sono da escludere.														
<p>scala EF- Probabilità d'Intensità Massima ©ITATOR</p> <table border="1"> <caption>Data for Tab. 5.1: Event Probability vs EF scale</caption> <thead> <tr> <th>EF scale</th> <th>Event Probability (P, %)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	EF scale	Event Probability (P, %)	0	0	1	10	2	20	3	70	4	0	5	0
EF scale	Event Probability (P, %)													
0	0													
1	10													
2	20													
3	70													
4	0													
5	0													

Tab. 5.1 – Risultati delle analisi fotogrammetriche ottenute da diversi video, compreso quello di Fig. 5.6, ripreso a ridosso della massima intensità del tornado.

Tab. 2 - Valori calcolati per via fotogrammetrica (95% intervallo di confidenza)	
diametro (Ds) al suolo	103.4±9.2 m
diametro (Dm) settore mediale	340.5±46.1 m
diametro (Dw) in prossimità della wall cloud	578.8±85.8 m
diametro (Dd) al suolo della debris cloud	273.5±25.2 m (max intensità)
altezza (Hd) dal suolo della debris cloud	175.2±13.1 m (max intensità)
azimuth del path del tornado	119.2±3.4°
velocità di traslazione al suolo (v)	19.5±3.3 km/h
velocità (U) della corrente ascensionale	151.5±15.1 km/h
velocità (V) dei venti tangenziali	246.7±16.4 km/h < 260 km/h (*)
probabilità (P) di osservazione (Δt =40 anni) di un altro evento	78.7±0.1 % (**)

Tab. 5.2 – Risultati dell'indagine fotogrammetrica e delle triangolazioni effettuate.

(*) da simulazioni teoriche

(**) Probabilità annuale (P) che un punto nella regione considerata sia colpito da una nuova tromba d'aria

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

di Davide Rosa, Marco Rabito e Tobia Scortegagna

6.1 Introduzione

L'esperienza storica che giunge dagli Stati Uniti costituisce la pietra miliare su cui fondare, in sede di analisi e valutazione, ogni lavoro di indagine, osservazione e catalogazione della tipologia e gravità dei danni ascrivibili ad un evento tornadico. Già a partire dagli anni Cinquanta e Sessanta il ricercatore giapponese Tetsuya Theodore Fujita, una volta trasferitosi negli USA, analizzò la formazione di numerosi tornado, a seguito del violento scambio di calore scaturito dall'esplosione atomica di Hiroshima, e lavorò ad una prima proposta di classificazione, basata sull'osservazione dei danni provocati dai vortici. Si trattava di una valutazione empirica, fondata sull'osservazione e sull'assegnazione di un grado di intensità in base ai danni subiti dalle strutture costruite dall'uomo.

Il frutto di questi decenni di studi si poté apprezzare ed utilizzare dal 1971 quando Fujita, insieme ad Allan Pearson, responsabile del Centro di Previsione Meteorologica di Kansas City, in Missouri, pubblicò il documento che, di fatto, istituiva la Fujita Tornado Damage Scale. Negli USA, dal 1971 al 2007, sono stati classificati vari tornado seguendo le indicazioni della Fujita Scale e, in presenza di riscontri documentali, si è potuto procedere, in maniera molto più approssimativa, anche alla classificazione dei vortici avvenuti precedentemente, attraverso una sorta di analisi retrospettiva.

Il progresso e l'evoluzione nell'ambito strutturale ed edilizio, nonché l'introduzione di nuovi materiali e strategie costruttive hanno reso, con il passare degli anni, in parte obsoleta la Fujita Scale, rendendone necessario un accurato aggiornamento che tenesse conto di tutte queste mutate condizioni. Inoltre, la scala Fujita non prevede indicatori di danno, non considera la qualità e le varie tipologie di costruzione e non ha una correlazione definitiva tra danni e velocità del vento.

Il Fujita Scale Enhancement Project del Wind Science and Engineering Research Center, presso la Texas Tech University (USA), ha raggruppato in un team di lavoro decine di meteorologi ed ingegneri civili, a partire dal 2004. Le variegate competenze di questi professionisti sono diventate le fondamenta su cui si è edificato il nuovo e più attuale progetto di classificazione. Un nuovo sistema che, tuttavia, deve categoricamente preservare il prezioso database preesistente, relativo ai tornado storici. Partendo proprio da questo presupposto, vi è stata quindi la necessità di ricavare una relazione tra la obsoleta scala Fujita (scala F) e la nuova scala Enhanced Fujita (scala EF).

6.2 La scala EF e correlazione con la scala F

Il primo passo per stabilire una relazione tra la scala F e la scala EF è stato quello di ottenere una correlazione relativamente alla velocità del vento. A tal proposito, si sono utilizzati i criteri della scala Fujita originale per assegnare le categorie della scala F (cioè F0, F1, ecc.) ai DOD (Degrees Of Damage, gradi di danno) della nuova scala EF. E' stata quindi effettuata un'analisi di regressione per ottenere quella indispensabile relazione tra la velocità del vento della scala Fujita e la velocità del vento della nuova scala EF, grazie ad un gruppo di esperti selezionato in base all'esperienza maturata in svariati anni di sopralluoghi in zone interessate da danni valutati attraverso l'applicazione della scala Fujita.

Tali esperti sono:

Bill Bunting – NWSFO – Fort Worth, Texas

Brian Peters – NWSFO – Calera, Alabama

John Ogren – NWSFO – Indianapolis, Indiana

Dennis Hull – NWSFO – Pendleton, Oregon

Tom Matheson – NWSFO – Wilmington, North Carolina

Brian Smith – NWSFO – Valley, Nebraska

L'esercizio è stato condotto per posta, senza una riunione formale del gruppo. Dal momento che si era interessati a sapere come questi esperti avrebbero assegnato i DOD ad ogni DI (Damage Indicators, indicatori di danno), in base all'originale scala Fujita, a questo team è stato semplicemente chiesto di applicare la scala di classificazione Fujita alla descrizione di danno di ciascun DOD per tutti i 28 DI. Le valutazioni sulla base della scala Fujita sono state poi ricondotte, in termini di valore medio, ad ogni range di velocità del vento della scala Fujita medesima. La velocità media del vento, stimata dai sei esperti, sulla base della scala Fujita, è stata poi confrontata con il valore atteso della velocità del vento per ogni DOD.

Si è quindi eseguita un'analisi di regressione per ottenere una correlazione tra la velocità media del vento per la scala F e la velocità attesa del vento per la scala EF, per ogni DOD (Fig 6.1). La funzione di regressione lineare in grado di adattare tali dati in maniera soddisfacente è la seguente (equazione 1):

$$y = 0.6246x + 36.393$$

dove y è la velocità del vento con la scala EF e x è la velocità del vento con la scala F. Per entrambe le scale i dati sono espressi come raffica massima di 3 secondi in miglia orarie (1 mph = 1.609 km/h). Il coefficiente di correlazione R^2 è pari a 0.91, indice di un buon adattamento dei dati analizzati.

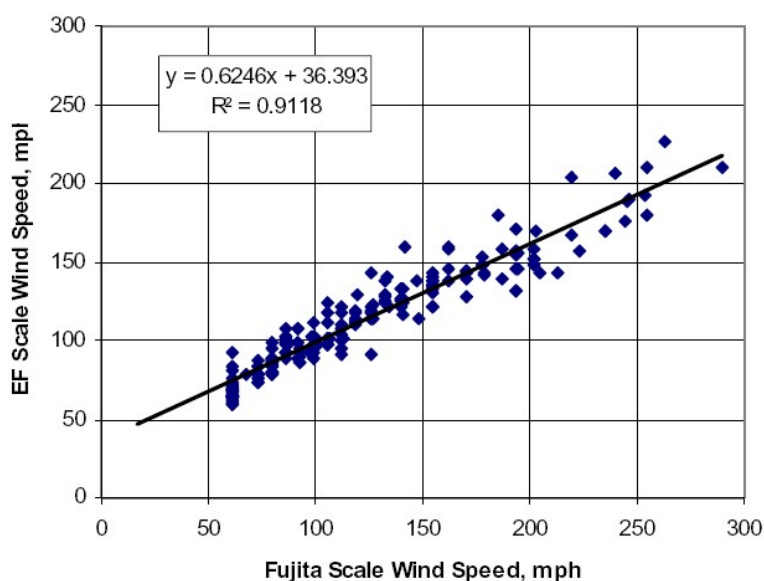


Fig. 6.1 – Correlazione della velocità del vento della scala F (asse X) e della scala EF (asse Y).

Gli intervalli di velocità del vento proposti nella scala EF derivano dagli intervalli originali della scala Fujita. La velocità originale del vento della scala Fujita è stata convertita dalla più elevata velocità del vento, espressa in un quarto di miglio, alla massima velocità della raffica di 3 secondi, utilizzando la curva di Durst. I valori ottenuti sono stati quindi sostituiti nell'equazione 1 per ottenere i range di velocità del vento nella scala EF. La Tab. 6.1 e la Tab. 6.2 mostrano i risultati di questi calcoli, espressi rispettivamente in km/h e in mph (miglia orarie).

SCALA F		SCALA EF DERIVATA		SCALA EF OPERATIVA	
Numero F	Raffica di 3 secondi (km/h)	Numero EF	Raffica di 3 secondi (km/h)	Numero EF	Raffica di 3 secondi (km/h)
0	72-125	0	104-137	0	104-137
1	126-188	1	138-175	1	138-177
2	189-259	2	176-221	2	178-217
3	260-336	3	222-269	3	218-266
4	337-419	4	270-320	4	267-322
5	420-510	5	321-376	5	> 322

Tab. 6.1 – Confronto tra la scala F e la nuova scala EF dei tornado (velocità raffiche in km/h)

SCALA F		SCALA EF DERIVATA		SCALA EF OPERATIVA	
Numero F	Raffica di 3 secondi (mph)	Numero EF	Raffica di 3 secondi (mph)	Numero EF	Raffica di 3 secondi (mph)
0	45-78	0	65-85	0	65-85
1	79-117	1	86-109	1	86-110
2	118-161	2	110-137	2	111-135
3	162-209	3	138-167	3	136-165
4	210-261	4	168-199	4	166-200
5	262-317	5	200-234	5	>200

Tab. 6.2 – Confronto tra la scala F e la nuova scala EF dei tornado (velocità raffiche in mph)

Correlando la velocità del vento della scala F con la velocità del vento della scala EF, un tornado valutato in passato, secondo la scala Fujita, avrà lo stesso numero F nella scala EF; ad esempio, F3 si traduce in EF3, anche se gli intervalli di velocità del vento sono diversi (vedasi Tab. 6.1 e Tab. 6.2). La categoria EF5 nella scala EF operativa (raccomandata) non definisce un limite superiore, questo essenzialmente per tre motivi:

1. persiste l'incertezza nel definire la velocità massima del vento nel vortice
2. permette una certa flessibilità nelle assegnazioni della velocità del vento nei futuri tornado
3. si prevengono le notizie esagerate dei media che notoriamente tendono ad attribuire al tornado la velocità massima possibile

La scala di classificazione dei tornado ora utilizzata negli USA è la Enhanced Fujita, ovvero Fujita avanzato, e si applica, come illustrato, in maniera differente rispetto alla scala Fujita e considera anche le tipologie edilizie più moderne.

In sostanza, l'avanzare degli studi ha portato ad un aggiustamento della scala F, poiché la velocità del vento necessaria a causare un certo grado di danno non è così alta come si pensava: di conseguenza, questo può aver portato alla sovrastima delle velocità del vento in alcuni tornado, specialmente nel caso di vortici con basse velocità di traslazione. Infatti, il range di velocità del vento di un tornado EF5 è circa il 30% più basso rispetto all'originale tornado F5.

6.3 Fasi operative raccomandate per la valutazione di un evento tornadico

La valutazione di un evento tornadico dovrebbe rappresentare una stima della massima velocità del vento che si è verificata durante il ciclo di vita del tornado stesso, tenuto conto che la velocità del vento varia sia in lunghezza che in larghezza all'interno del percorso dei danni. Inoltre, potrebbe non essere possibile stimare l'effettiva velocità del vento se questa fosse superiore alla velocità massima prevista per l'indicatore di danno considerato (massimo grado di danno, equivalente alla distruzione totale).

L'approccio raccomandato per l'assegnazione del grado EF ad un evento tornadico prevede le seguenti fasi:

1. Condurre una ricognizione aerea sull'area colpita tesa ad individuare i possibili indicatori di danno e definire l'estensione del percorso dei danni;
2. Selezionare gli indicatori di danno tendenti ad indicare la massima velocità del vento all'interno del percorso dei danni;
3. Localizzare tali indicatori di danno all'interno del percorso dei danni;
4. Condurre una ricognizione sul campo ed esaminare attentamente gli indicatori di danno di interesse;
5. Assegnare il grado EF ai singoli indicatori di danno, considerando le velocità stimate del vento sulla base della tipologia e gravità dei danni osservati (DOD);
6. Valutare l'intensità del tornado considerando i DI associati ai gradi massimi della scala EF, purché vi siano evidenti prove a supporto dell'esistenza di intensità di danni simili nelle immediate vicinanze dell'indicatore di danno indagato;
7. Registrare i criteri di base per l'assegnazione del grado EF all'evento tornadico;
8. Registrare altri dati relativi all'evento tornadico (es. NDI ovvero non-indicatori di danno, come autoveicoli, barche, recinzioni e muretti, detriti conficcati su altre strutture, tombini, cartelli stradali, ecc.).

Il protocollo della scala EF prevede 28 DI, ognuno dei quali contempla vari DOD sulla struttura in esame. Più alto sarà il valore di DOD, maggiore sarà la velocità presunta del vento: al DOD iniziale corrispondono i primi danni visibili, all'ultimo DOD la distruzione totale della struttura. E' possibile apprezzare, all'interno della vasta gamma degli indicatori di danno, anche elementi relativi alla vegetazione, tipologia di danno riscontrata ampiamente all'interno del percorso del tornado analizzato in questo corposo lavoro di studio.

Si espone ora l'elenco degli indicatori di danno (DI) attualmente utilizzati nella classificazione dei fenomeni tornadici negli USA:

- 1) Piccoli fienili e depositi di attrezzi di fattorie
- 2) Villette mono o bi-familiari
- 3) Case prefabbricate ad 1 modulo (mono-familiari)
- 4) Case prefabbricate a 2 moduli (bi-familiari)
- 5) Appartamenti, condomini o case a schiera (fino a 3 piani, non in muratura)
- 6) Motels (non in muratura)
- 7) Appartamenti o Motels in muratura
- 8) Edifici per piccola distribuzione (Ristoranti, Fast Food)
- 9) Piccoli edifici professionali
- 10) Piccoli centri commerciali
- 11) Grandi centri commerciali
- 12) Edifici per grande distribuzione
- 13) Concessionarie d'automobili
- 14) Officine
- 15) Scuole elementari
- 16) Scuole medie o scuole superiori
- 17) Edifici bassi (fino a 4 piani)
- 18) Edifici di media altezza (5-20 piani)
- 19) Edifici alti (oltre 20 piani)
- 20) Edifici istituzionali (università, ospedali, ecc.)
- 21) Edifici in acciaio
- 22) Stazioni di servizio a tettoia (Gas Station)
- 23) Magazzini, depositi (non in acciaio)
- 24) Linee di trasmissione elettrica
- 25) Torri ripetitori
- 26) Linee di illuminazione
- 27) Alberi a legno duro: acero, faggio, rovere, ecc.
- 28) Alberi a legno tenero: pino, abete, cedro, cipresso, ginepro, tasso, ecc.

Come sottolineato in precedenza, ad ogni DI (indicatore di danno) corrisponde uno specifico numero di DOD (grado di danno) elencati dalla magnitudo minore a quella maggiore.

A titolo puramente esemplificativo, si elencano di seguito le tipologie costruttive e i 10 gradi di danno (DOD) relativi al DI n° 2 VILLETTE MONO O BI-FAMILIARI (FR12) (1000-5000 piedi quadrati, ovvero 90-460 metri quadrati).

COSTRUZIONE TIPICA

- Copertura tetto in coppi a lastre asfaltate, coppi in laterizio, in ardesia o in metallo;
- Tetto piano, bifalda, monofalda, quadrifalda, a falda spezzata (alla francese) o combinazione di questi;
- Ponte del tetto in compensato o pannelli OSB (pannelli di trucioli pressati) oppure tavolato in legno;
- Capriate del tetto prefabbricate in legno oppure travetti in legno e travi longitudinali portanti;
- Pareti rivestite con setto sottile di mattoni o pannelli in legno o stucco o EIFS (EIFS: Exterior Insulation and Finishing System: rivestimento leggero sintetico del muro che comprende schiuma isolante di plastica e sottili rivestimenti sintetici) o in pannelli a binario in metallo o materie plastiche;
- Pareti ad elementi verticali portanti in legno o metallo, o in blocchi di calcestruzzo, o a pannelli in calcestruzzo isolante;
- Garage singoli o doppi, adiacenti alla costruzione.

GRADI DI DANNO (DOD)

- 1) Soglia di danno visibile, 65 53 80
- 2) Perdita limitata della copertura del tetto (<20%), grondaie e/o tende, perdita pannelli a binario in plastica e metallo, 79 63 97
- 3) Vetri rotti in porte e finestre, 96 79 114
- 4) Sollevamento ponte del tetto e perdita significativa di materiale del tetto (>20%); crollo del camino, portoni dei garage crollati verso l'interno o esterno, crollo di veranda e posto auto esterno, 97 81 116
- 5) Intera casa smossa sulle fondamenta (la casa è appoggiata sulle fondamenta, non incastrata), 121 103 141
- 6) Ampie sezioni di tetto rimosse, molte pareti rimangono in piedi, 122 104 142
- 7) Pareti esterne crollate, 132 113 153
- 8) La maggior parte delle pareti crollate, ad eccezione di piccoli ambienti interni, 152 127 178
- 9) Tutte le pareti crollate, 170 142 198
- 10) Distruzione di residence ben costruiti anche dal punto di vista strutturale; platea della casa spazzata e ripulita, 200 165 220

I tre numeri che seguono ciascun grado di danno esprimono, in miglia orarie, le velocità tangenziali del vento stimate per provocare il danno descritto (raffica minima-media-massima). Infatti, ad ogni DOD è stato assegnato un range di intensità del vento che prevede un limite minimo ed un limite massimo di velocità a seconda delle condizioni strutturali dell'edificio. Tra questi due limiti esiste un valore medio che fa riferimento a condizioni "standard", ovvero a costruzioni di qualità normale con materiali adatti e manutenzione costante.

6.4 Ulteriori osservazioni relative alle fasi operative

Fermo restando una limitata possibilità da parte degli osservatori di provvedere ad una ricognizione aerea del percorso dei danni (salvo disponibilità di documentazione fotografica fornita da Enti istituzionali come la Protezione Civile o i Vigili del Fuoco), si precisa come tale operazione possa essere, in parte, compensata da un'accurata ispezione "a terra". Si sottolinea, ad integrazione delle fasi operative sopra citate, come i sopralluoghi dei danni causati da un evento tornadico debbano essere necessariamente eseguiti almeno entro le 24 ore successive al verificarsi del fenomeno, al fine di poter documentare in modo dettagliato le caratteristiche dei danni stessi prima delle operazioni di ripristino e messa in sicurezza dell'area interessata.

La classificazione vera e propria del tornado si può redigere solamente alla fine di questo percorso di raccolta di informazioni e documentazione. Si sottolinea ulteriormente come la procedura di classificazione non si basi solamente sui danni, bensì anche sul posizionamento degli stessi all'interno del path, ovvero il percorso del vortice al suolo.

6.5 Applicazione della scala EF in Italia: proposta di classificazione del tornado di Pianiga-Dolo-Mira

Appare piuttosto chiaro come una parte dei 28 DI elencati in precedenza non sia presente nel territorio italiano; entrando maggiormente nel dettaglio si può configurare, tra i 28 DI:

- un insieme di indicatori inerenti al sottoinsieme degli edifici in genere (siano essi civili, industriali o adibiti a servizi) che, in base alle tipologie costruttive/materiali utilizzati, non possono essere presi in considerazione, neppure parzialmente, in seno ai DOD, per la classificazione dei tornado in Italia, in quanto non presenti sul nostro territorio; ci si riferisce in tal caso agli indicatori n° 3 e n° 4 (Case prefabbricate ad 1 modulo e Case prefabbricate a 2 moduli), all'indicatore n° 15 (Scuole elementari) e all'indicatore n°22 (Stazioni di servizio a tettoia - Gas Station);
- un indicatore inerente al sottoinsieme delle strutture per impianti in genere (Linee di trasmissione elettrica, Torri ripetitori, Linee di illuminazione) che, data l'assenza di specifiche su tipologie costruttive/materiali utilizzati (all'interno delle linee guida per l'applicazione della EF Scale), non può essere preso in considerazione, neppure parzialmente, in seno ai DOD, per la classificazione dei tornado in Italia; ci si riferisce in tal caso all'indicatore n° 25 (Torri ripetitori);
- un insieme di indicatori inerenti al sottoinsieme degli edifici in genere (siano essi civili, industriali o adibiti a servizi) che, in base alle tipologie costruttive/materiali utilizzati, possono essere presi in considerazione solo parzialmente, in seno ai DOD, per la classificazione dei tornado in Italia; ci si riferisce in tal caso all'indicatore n° 1 (Piccoli fienili e depositi di attrezzi di fattorie), all'indicatore n° 2 (Villette mono o bi-familiari), all'indicatore n° 5 (Appartamenti, condomini o case a schiera fino a 3 piani, non in muratura), agli indicatori n° 6 e n° 7 (Motels non in muratura e Appartamenti o Motels in muratura) e all'indicatore n° 8 (Edifici per piccola distribuzione, Ristoranti, Fast Food); si parla in tal caso di utilizzo "parziale" del DI perché principalmente limitato agli elementi di copertura degli edifici considerati, laddove si parla dei DI n° 2-5-6-8, mentre per il DI n° 1 vi sono alcune affinità in merito agli elementi verticali portanti in acciaio; per il DI n° 7 vi sono alcune affinità, pur se "deboli", in merito agli elementi verticali portanti in muratura;

- un insieme di indicatori inerenti sia al sottoinsieme degli edifici in genere (siano essi civili, industriali o adibiti a servizi) che al sottoinsieme delle strutture per impianti in genere (Linee di trasmissione elettrica, Torri ripetitori, Linee di illuminazione), insieme di indicatori che, in base alle tipologie costruttive/materiali utilizzati, possono essere presi totalmente in considerazione, in seno ai DOD, per la classificazione dei tornado in Italia; ci si riferisce in tal caso all'indicatore n° 9 (Piccoli edifici professionali), agli indicatori n° 10 e n° 11 (Piccoli centri commerciali e Grandi centri commerciali), all'indicatore n° 12 (Edifici per grande distribuzione), all'indicatore n° 13 (Concessionarie d'Automobili), all'indicatore n° 14 (Officine), all'indicatore n° 16 (Scuole medie o scuole superiori), agli indicatori n° 17, n° 18 e n° 19 (Edifici bassi, Edifici di media altezza ed Edifici alti rispettivamente), all'indicatore n° 20 (Edifici istituzionali), all'indicatore n° 21 (Edifici in acciaio), all'indicatore n° 23 (Magazzini e depositi non in acciaio) e infine agli indicatori n° 24 e n° 26 (Linee di trasmissione elettrica e Linee di illuminazione, rispettivamente, precisando che nelle Linee di illuminazione si possono tenere in considerazione sia gli elementi tubolari in acciaio che gli elementi a sezione circolare in calcestruzzo debolmente armato). Si parla in tal caso di possibilità di utilizzo "totale" del DI, svincolando l'analisi alla specifica funzione per la quale lo specifico edificio o la specifica struttura per impianti in genere è stata concepita: a titolo di semplice esempio, il DI n° 9, concepito negli USA come "piccolo edificio professionale", è caratterizzato da una struttura che in Italia viene invece utilizzata nei settori produttivi (soprattutto nel primario, vedasi piccoli capannoni agricoli con struttura in acciaio);
- un insieme di indicatori inerenti al sottoinsieme delle specie arboree che, in base alle specie e ai generi considerati, possono essere presi totalmente in considerazione, in seno ai DOD, per la classificazione dei tornado in Italia; ci si riferisce in tal caso all'indicatore n° 27 (Alberi a legno duro: acero, faggio, rovere, ecc.) e all'indicatore n° 28 (Alberi a legno tenero: pino, abete, cedro, cipresso, ginepro, tasso, ecc.).

Analizzando al contrario il suddetto ragionamento, è necessario sottolineare come, nel territorio italiano e nel sottoinsieme degli edifici in genere (siano essi civili, industriali o adibiti a servizi), esistono alcuni specifici DI non presenti nel territorio statunitense e quindi non considerati nell'elenco dei 28 DI sopra esposto.

Per rimanere nell'ambito delle strutture colpite dal tornado dell'8 luglio 2015 di Pianiga-Dolo-Mira, si espone di seguito un breve elenco dei DI "integrativi" considerati e quindi proposti in tale sede:

DI n° 2a: Villette mono o bi-familiari a 1-2 piani, copertura in legno, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con coppi in laterizio;
- Tetto piano, monofalda, bifalda, quadrifalda, o combinazione di questi;
- Ponte del tetto in tavolato di legno;
- Capriate del tetto prefabbricate in legno oppure travetti in legno e travi longitudinali portanti;
- Assenza di solaio sottotetto (copertura in legno a vista);
- Pareti ad elementi verticali portanti in blocchi di laterizio o mattone pieno a 2 teste;
- Solaio 1° impalcato (se l'edificio è a 2 piani) in laterocemento o (più raro) in legno.

DI n° 2b): Villette mono o bi-familiari a 1-2 piani, copertura ad elementi prefabbricati in cemento armato portati da elementi murari, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con coppi in laterizio;
- Tetto piano, monofalda, bifalda, o combinazione di questi;
- Ponte del tetto in tavelle di laterizio;
- Orditura principale del tetto in travetti prefabbricati in cemento armato poggianti su murature perimetrali portanti ed eventuale muro di spina portante;
- Solaio sottotetto in legno (molto raro) o laterocemento (sottotetto praticabile);
- Pareti ad elementi verticali portanti in blocchi di laterizio o mattone pieno a 2 teste;
- Solaio 1° impalcato (se l'edificio è a 2 piani) in laterocemento o (più raro) in legno.

DI n° 2c): Villette mono o bi-familiari a 1-2 piani, copertura ad elementi prefabbricati in cemento armato autoportanti o portati da trave di colmo centrale in cemento armato gettata in opera, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con coppi in laterizio;
- Tetto bifalda o quadrifalda, o combinazione di questi;
- Ponte del tetto in tavelle di laterizio;
- Orditura principale del tetto in travetti prefabbricati in cemento armato autoportanti nel caso di tetto quadri falda, o portati da una trave di colmo centrale in cemento armato gettata in opera nel caso di tetto bifalda;
- Solaio sottotetto in legno (molto raro) o laterocemento (sottotetto praticabile);
- Pareti ad elementi verticali portanti in blocchi di laterizio o mattone pieno a 2 teste;
- Solaio 1° impalcato (se l'edificio è a 2 piani) in laterocemento o (più raro) in legno.

DI n° 2d): Villette mono o bi-familiari a 1-2 piani, copertura “in andamento” con soletta in laterocemento portata, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con coppi in laterizio;
- Tetto piano, monofalda, bifalda, o combinazione di questi;
- La soletta in laterocemento ha anche la funzione di ponte del tetto;
- Orditura principale del tetto con soletta in laterocemento portata da un muro di spina portante o da una trave di colmo centrale in cemento armato gettata in opera nel caso di copertura bifalda, poggiate su murature perimetrali portanti nel caso di tetto piano o monofalda;
- Solaio sottotetto in legno (molto raro) o laterocemento (sottotetto praticabile);
- Pareti ad elementi verticali portanti in blocchi di laterizio o mattone pieno a 2 teste;
- Solaio 1° impalcato (se l'edificio è a 2 piani) in laterocemento o (più raro) in legno.

DI n° 2e): Villette mono o bi-familiari a 1-2 piani, copertura “a nido d’ape” a muretti e tavelle su solaio sottotetto, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con coppi in laterizio;
- Tetto piano, monofalda, bifalda, quadri falda, o combinazione di questi;
- Ponte del tetto in tavelle di laterizio;
- Tessuto di muretti in laterizio (posti in modo da conferire pendenza alle falde) a sostegno delle tavelle di laterizio e portati dal solaio sottotetto;
- Solaio sottotetto in laterocemento (sottotetto non praticabile);
- Pareti ad elementi verticali portanti in blocchi di laterizio o mattone pieno a 2 teste;
- Solaio 1° impalcato (se l’edificio è a 2 piani) in laterocemento o (più raro) in legno.

Qualora i suddetti 5 DI si presentino in un contesto di case a schiera o condominiale (fino a massimo 4 piani fuori terra) si è scelto di non apportare variazioni all’analisi.

DI n° 23a): Capannoni monopiano a struttura portante in cemento armato prefabbricato, copertura a grandi luci in tegoli prefabbricati “a doppio T” su 2 o più appoggi, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con membrana impermeabilizzante o con membrana impermeabilizzante e finitura in ghiaia (nel caso di tetto piano), eventuale (più raro) cappa collaborante in calcestruzzo all’estradosso dei tegoli “a doppio T”;
- Tetto piano o bifalda o combinazione di questi;
- Il tegolo “a doppio T” ha anche la funzione di ponte del tetto;
- Tegoli “a doppio T” poggianti o sulle travi banchina (perimetrali o eventuali telai centrali), nel caso di tetto piano, o su travi trasversali “a boomerang” (a doppia pendenza), nel caso di tetto bifalda;
- Struttura portante orizzontale e verticale rispettivamente a travi e pilastri in cemento armato prefabbricato, a schema isostatico;
- Pareti perimetrali non portanti in pannelli prefabbricati in calcestruzzo o in muratura;
- Lucernai in copertura ricavati su sagomatura delle ali dei tegoli “a doppio T”.

DI n° 23b): Capannoni monopiano a struttura portante in cemento armato prefabbricato, copertura a grandi luci in travi trasversali “a boomerang” su 2 o più appoggi, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con membrana impermeabilizzante
- Tetto bifalda;
- Ponte del tetto in lastre prefabbricate di calcestruzzo portanti, in appoggio sulle travi trasversali “a boomerang” (a doppia pendenza);
- Travi trasversali “a boomerang” (a doppia pendenza) poggianti sulle travi banchina (perimetrali o eventuali telai centrali);
- Struttura portante orizzontale e verticale, rispettivamente a travi e pilastri in cemento armato prefabbricato, a schema isostatico;
- Pareti perimetrali non portanti in pannelli prefabbricati in calcestruzzo o in muratura;
- Lucernai in copertura ricavati su sagomatura delle lastre prefabbricate di calcestruzzo portanti.

DI n° 23c): Capannoni monopiano a struttura portante in cemento armato prefabbricato, copertura a grandi luci in tegoli prefabbricati “a Y” su 2 o più appoggi, con la seguente costruzione tipica:

- Copertura tetto con membrana impermeabilizzante;
- Tetto piano;
- Ponte del tetto in coppelle di fibrocemento poggianti sulle ali dei tegoli prefabbricati “a Y”;
- Tegoli “a Y” poggianti sulle travi banchina (perimetrali o eventuali telai centrali);
- Struttura portante orizzontale e verticale, rispettivamente a travi e pilastri in cemento armato prefabbricato, a schema isostatico;
- Pareti perimetrali non portanti in pannelli prefabbricati in calcestruzzo o in muratura;
- Lucernai in copertura posizionati laddove risultano mancanti le coppelle in fibrocemento.

Considerata l’abbondanza di DI inerenti a strutture in acciaio, non si è ravvisata la necessità di sviluppare un nuovo DI inerente ad edifici industriali realizzati in acciaio, per l’appunto.

Nel novero degli 8 DI integrativi sopra esposti, risulta abbastanza intuitivo comprendere le difficoltà di assegnazione dei rispettivi DOD (gradi di danno) nei casi di gravi lesioni/rilevanti asportazioni registrate in sede di sopralluogo, a maggior ragione se si pensa che, ad esclusione della classificazione del tornado di Fossò (VE) del 19 giugno 2010 (tornado che, val la pena ricordare, è stato classificato di intensità EF1, tornado quindi caratterizzato da una magnitudo di danno relativamente bassa e quindi piuttosto semplice da analizzare), risulta questa la prima volta in Italia in cui si utilizza la EF Scale a fronte di edifici così gravemente danneggiati.

Per quanto concerne le porzioni più “basse” delle rispettive scale dei DOD, si è dunque fatto palese riferimento ai DOD riportati nei 28 DI della EF Scale, mentre per quanto riguarda i DOD di magnitudo maggiore (esclusivamente nell’insieme dei DI inerenti alle civili abitazioni) si è dovuto provvedere ad assemblare più considerazioni/ragionamenti in merito, a volte avvalendosi di alcuni schemi semplificati di calcolo estrapolati dalla Scienza e Tecnica delle Costruzioni.

Giova perciò approfondire maggiormente tale aspetto del lavoro, auspicando quanto prima l’intervento di strutture più “attrezzate” al riguardo (leggasi Università), proprio per dare all’analisi stessa un valido e decisivo contributo in sede di modellazione numerica su alcuni casi studio (ad es. sulle civili abitazioni maggiormente danneggiate), ed in tal modo avvicinarsi con maggior dettaglio a quel legame tra tipologia di danno ed intensità delle raffiche utile ad una assegnazione del grado EF il più possibile certa e reale. Appare, dunque, non trascurabile focalizzare tutto il lavoro relativo al presente capitolo non certo come un punto di arrivo ma come un efficace punto di partenza, in guisa di trampolino di lancio per future revisioni (soprattutto, lo si ribadisce, in sede di analisi numerica) di ciò che è stato svolto in questa sede, al fine di confermare i risultati ottenuti o di apportare le dovute correzioni laddove se ne presenti la necessità.

Mancando oggi i suddetti “contributi”, e a completamento della presente analisi, si riportano di seguito alcuni criteri (ritenuti “essenziali” dall’Autore) di omogeneizzazione della distribuzione della magnitudo di danno, criteri il cui utilizzo ha come fine l’ottenimento del più probabile grado EF relativo al DOD considerato.

- certezza della magnitudo di danno ottenuta sui DI analizzati e presenti nell'elenco della EF Scale laddove si utilizza l'intera gamma dei DOD (es. Alberi a legno duro/tenero, Linee di trasmissione elettrica e di illuminazione, Magazzini e Depositi -non in acciaio- ecc.) o laddove si utilizza solo parte della gamma dei DOD elencati (es: elementi di copertura delle villette mono o bi-familiari, i grandi portoni delle officine, ecc.), e taratura della magnitudo di danno sui DI adiacenti;
- regolarità della distribuzione della magnitudo di danno su ogni sezione trasversale del path tornadico (ovvero del percorso del tornado): si dovranno mediamente ottenere magnitudo di danno più basse agli estremi laterali della sezione (ai bordi del path tornadico) e magnitudo più elevate nella mezzeria della sezione, ovvero in prossimità dell'asse baricentrico del path;
- regolarità delle variazioni della magnitudo di danno su ogni sezione longitudinale e trasversale del path tornadico: ogni eventuale differenza del grado di danno assegnato a 2 DI adiacenti non dovrà superare al più l'unità (es. a fronte di un DI classificato EF2 non si ritiene accettabile un DI adiacente classificato come EF0 o EF4);
- utilizzo di schemi di calcolo/verifica semplificati (es. analisi della sottospinta delle raffiche in corrispondenza delle cornici di copertura e verifica a ribaltamento rispetto alla sezione di rottura o ai nodi di vincolo) nell'analisi dei DI/edifici maggiormente soggetti a grosse lesioni/rilevanti asportazioni, considerando questo come criterio integrativo a quelli sopra elencati;
- ricorso all'analisi dei NDI (non-indicatori di danno) a completamento del path tornadico e in eventuale ausilio all'analisi del DOD di indicatori adiacenti.

Si riportano, a titolo di esempio, alcune foto inerenti a potenziali NDI passibili di analisi nel processo di classificazione di un tornado; nella fattispecie tali immagini, relative al tornado di Pianiga, Dolo e Mira, non sono state registrate come NDI in quanto la loro posizione rispetto al path tornadico non è risultata essere di particolare utilità sia nell'elaborazione dei dati relativi ai DOD che ai fini di un perfezionamento del path stesso.



Fig. 6.2 – A sinistra imbarcazione asportata dal Naviglio Brenta e rinvenuta a circa 300 m di distanza in prossimità di Via Seriola (foto di Sarah Zanferrari). A destra macchina scaraventata nel Naviglio Brenta (foto di Alberto Gobbi).



Fig. 6.3 – A sinistra cancello abbattuto dal tornado, a destra muretto demolito. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 6.4 – Detriti conficcati nei cappotti delle case. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 6.5 – Cartello stradale abbattuto dal tornado. Foto di Alberto Gobbi.

In allegato al presente lavoro si riportano le schede relative ai 320 DI e ai 48 NDI registrati a seguito dei ripetuti sopralluoghi sul campo (eseguiti il giorno in cui il tornado si è verificato e nei successivi giorni) di varie squadre di tecnici. 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 considerazioni fin qui espresse ed alle elaborazioni svolte (si faccia riferimento alla mappa con le isolinee di danno riportata nell'allegato al lavoro), il presente evento tornadico viene classificato, secondo la EF Scale, con il grado EF3 in una scala che va da 0 a 5.

6.6 Stima dei danni nei comuni di Pianiga, Dolo e Mira

Il tornado ha causato il decesso pressoché immediato di una persona che stava transitando con la sua automobile lungo la strada che collega Sambruson di Dolo a Piazza Vecchia di Mira. I dati sul numero degli sfollati, dei feriti e le stime di danno sono stati forniti dalle Amministrazioni Comunali di Pianiga, Dolo e Mira. I danni materiali si riferiscono alle strutture residenziali, produttive e pubbliche e comprendono i danni ai beni immobili, ai beni mobili registrati e non registrati, ai prodotti agricoli e alimentari, nonché le spese per i primi interventi di messa in sicurezza. La Tab. 6.3 elenca la stima di tali danni per ciascuno dei tre comuni colpiti dal tornado.

Comune	Conseguenze sulle persone		Danni stimati (euro)
	Sfollati	Feriti	
Pianiga	0	2	11.254.455
Dolo	92	circa 70	39.049.183
Mira	3	0	6.911.467
TOTALE	95	72	57.215.105

Tab. 6.3 – Dati degli sfollati, feriti e stime dei danni materiali forniti dai comuni di Pianiga, Dolo e Mira.

L'ammontare complessivo dei danni sfiora dunque la significativa cifra di 60 milioni di euro nei tre comuni con danni di varia gravità ad oltre 400 edifici, chiaramente a ciò si deve sommare l'enorme trauma psicologico subito dalla popolazione e gli innumerevoli disagi causati dalla perdita della casa e, in alcuni casi, anche della propria attività lavorativa (vedasi capitolo 8).

6.7 Ricostruzione del percorso e traccia al suolo lasciata dal tornado

Il passaggio di un tornado di forte intensità può lasciare al suolo delle tracce più o meno curvilinee o anche a cuspide (a forma di punta o vertice), come già introdotto nel sottocapitolo 5.3. Nel modello di Fig. 6.6 la linea rossa continua raffigura una traccia al suolo del tornado intesa come una sinusoide o una curva ondulata, mentre i tratteggi rossi rappresentano le cuspidi (schema modificato da Agee *et al.*, 1976).

La cicloide è la curva tracciata da un punto fisso su una circonferenza che rotola lungo una retta, in pratica il disegno composto da un punto su una ruota di bicicletta in movimento ed è data dal rapporto: V_{tan}/V_{trasl} dove V_{tan} è la velocità tangenziale di un punto attorno al centro di rotazione e V_{trasl} è la velocità traslazionale del centro.

Nella fattispecie, il punto è il tornado, mentre il centro di rotazione coincide con il centro del mesociclone di basso livello e la retta rappresenta il percorso del mesociclone stesso. R è il raggio, inteso come la distanza dal centro del mesociclone al tornado. Il tempo che intercorre tra la genesi di due onde/cuspidi ($\Delta T=t_2-t_1$) dipende dalla velocità angolare (V_{ang}) con cui il tornado ruota attorno al mesociclone: $\Delta T=2\pi/V_{ang}$ ed influisce sulla distanza tra le onde/cuspidi stesse (Fig. 6.6).

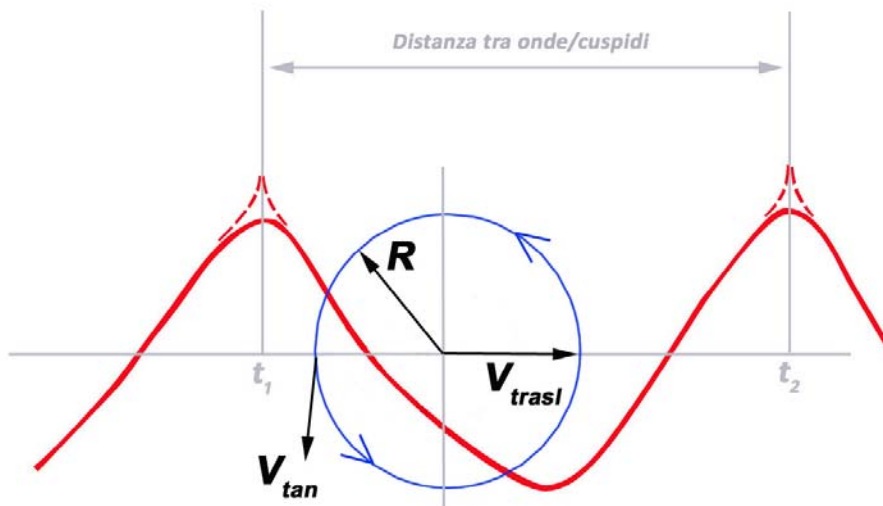


Fig. 6.6 – Schema di cicloide (modificato da Agee *et al.*, 1976).

Infatti, l'ipotesi più accreditata tra i vari autori per spiegare le curve e le cuspidi nella traccia al suolo lasciata dal tornado è che la circolazione tornadica ruota all'interno di una più ampia circolazione associata al mesociclone di basso livello fino a generare una trocoide (Wakimoto *et al.*, 2003). Lo schema in Fig. 6.7 mostra degli esempi di tracce trocoidali che dipendono dalla velocità di rotazione del tornado attorno al mesociclone che si propaga a sua volta a differenti velocità.

Le tracce non trocoidali, ovvero quelle lineari o quasi-lineari, si generano quando il tornado si trova al centro del mesociclone o molto vicino ad esso, mentre gli spostamenti radiali del vortice rispetto al centro del mesociclone causano andamenti trocoidali nel path dei danni al suolo. La traccia dei danni con cuspidi ricade nel modello della trocoide e si sviluppa quando il tornado ruota attorno al mesociclone di basso livello con la medesima velocità di traslazione del mesociclone stesso (caso 2 dello schema in Fig. 6.7).

In particolare, la curva ondulata si forma quando il tornado si trova relativamente vicino al centro del mesociclone (caso 1), le cuspidi nascono quando il tornado si trova all'estremità del mesociclone (caso 2), mentre le forme ad asola compaiono quando il tornado fuoriesce dalla proiezione al suolo del sovrastante mesociclone (caso 3 e caso 4).

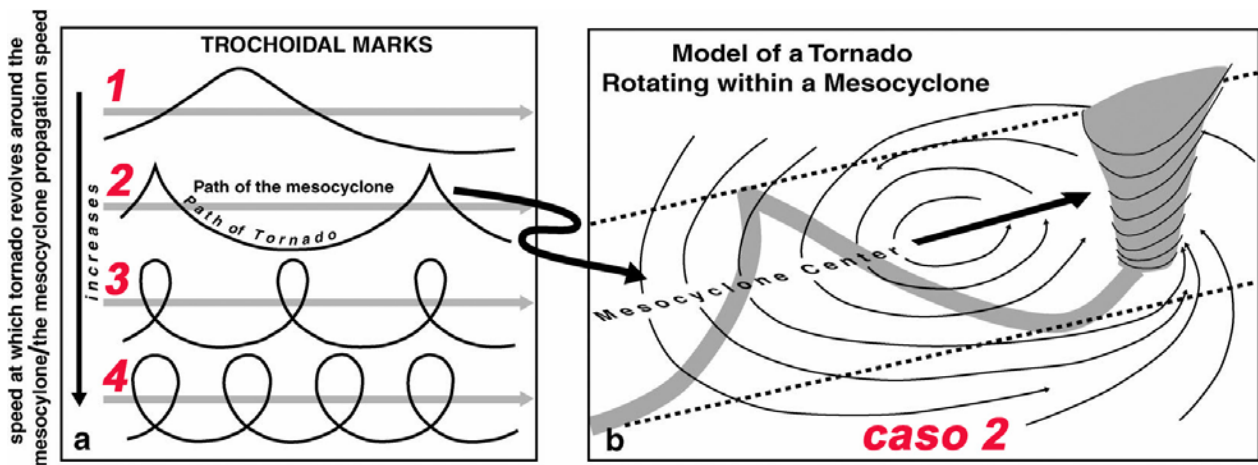


Fig. 6.7 – Schema di tracce trocoidali generate dall'interazione tra la velocità rotazionale del tornado attorno al mesociclone e il movimento del mesociclone stesso (a) e schema di traccia a cuspidi quando il tornado ruota attorno al mesociclone alla medesima velocità di traslazione del mesociclone (b) (da Wakimoto *et al.*, 2003).

Le ipotesi relative alla trocoide, comunque, non spiegano in maniera esaustiva la traccia sinusoidale dei danni lasciata da alcuni tornado tra cui quello oggetto di questo lavoro. Una trocoide non può generare una traccia simmetrica composta da “sali-scendi” (picchi e avvallamenti), infatti nel caso 1 della Fig. 6.7 la “cresta” ha una maggior curvatura rispetto all'avvallamento generando una curva ondulata. Allo stato attuale delle conoscenze, non è stata ancora chiarita la dinamica responsabile della traccia sinusoidale dei danni (Wakimoto *et al.*, 2003).

Una seconda ipotesi per spiegare la genesi di cuspidi si rifà al processo dell'occlusione mesociclonica che non va a buon fine (Kurdzo *et al.*, 2015), in cui un primo RFGFS (RFD - rear-flank gust front surges), nel tentativo di compiere l'occlusione mesociclonica, porta il tornado verso nord, ma un secondo RFGFS impone al tornado un percorso circolare (ad asola) prima della successiva deviazione del vortice verso sud (Fig. 6.8).

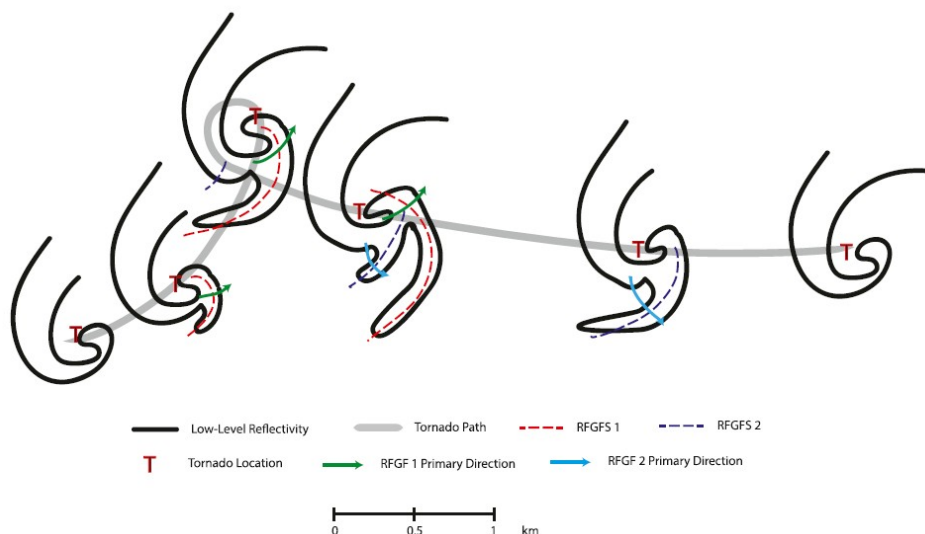


Fig. 6.8 – Modello concettuale di una mancata occlusione mesociclonica (da Kurdzo *et al.*, 2015).

Una terza teoria per spiegare la genesi delle cuspidi chiama in causa i vortici “satellite” (Fig. 6.9): uno di questi vortici, inizialmente presente al vertice della cuspidi, nel suo moto di rivoluzione attorno al tornado, dal lato ovest al lato sud di quest’ultimo, potrebbe modificare la traiettoria del tornado principale verso sud generando così una cuspidi completa (Wakimoto *et al.*, 2016).

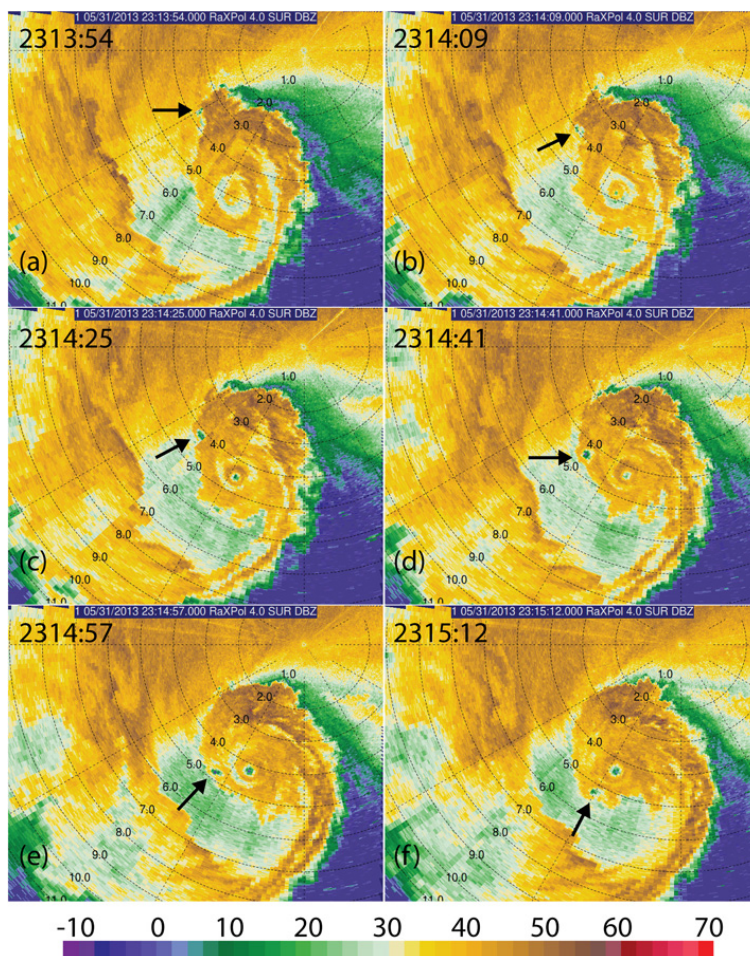


Fig. 6.9 – Vortice satellite (indicato dalla freccia nera) in rotazione ciclonica attorno al tornado di El Reno, Oklahoma, del 31 maggio 2013 (da Bluestein *et al.*, 2015).

Le immagini aeree relative al percorso del tornado dell’8 luglio 2015, di cui si riportano dei tratti significativi nelle seguenti pagine, mostrano un tracciato prevalentemente sinusoidale o a forma di curva più o meno ondulata. Non sono state riscontrate forme a cuspidi. Si ipotizza quindi, in accordo con quanto esposto in Fig. 6.7, che il tornado si sia mantenuto vicino al centro del mesociclone per tutta o buona parte del suo ciclo vitale. Tale ipotesi sembra essere confermata dalle foto scattate dal team TornadoSeeker/ZenaStormChaser che mostrano il tornado collocarsi grosso modo al centro del sovrastante mesociclone (vedasi capitolo 4).

Un sostanziale scostamento della traccia al suolo dal modello della sinusoidi si è verificato nel tratto terminale del path (tra Sambruson di Dolo e Piazza Vecchia di Mira, vedasi Fig. 6.21 e Fig. 6.23), in cui appare una sorta di ampia deviazione/curva del tracciato verso sud, causata probabilmente dalle forti correnti di outflow (vedasi Fig. 3.11 e Fig. 3.12), in uscita dal settore posteriore del temporale, che hanno così “spinto” verso sud la parte inferiore del vortice, prevalendo di fatto sulla corrente ascendente rotante durante la fase “rope” del vortice stesso (vedasi Fig. 4.35) in cui, in genere, la “connessione” tra mesociclone e tornado inizia ad indebolirsi.

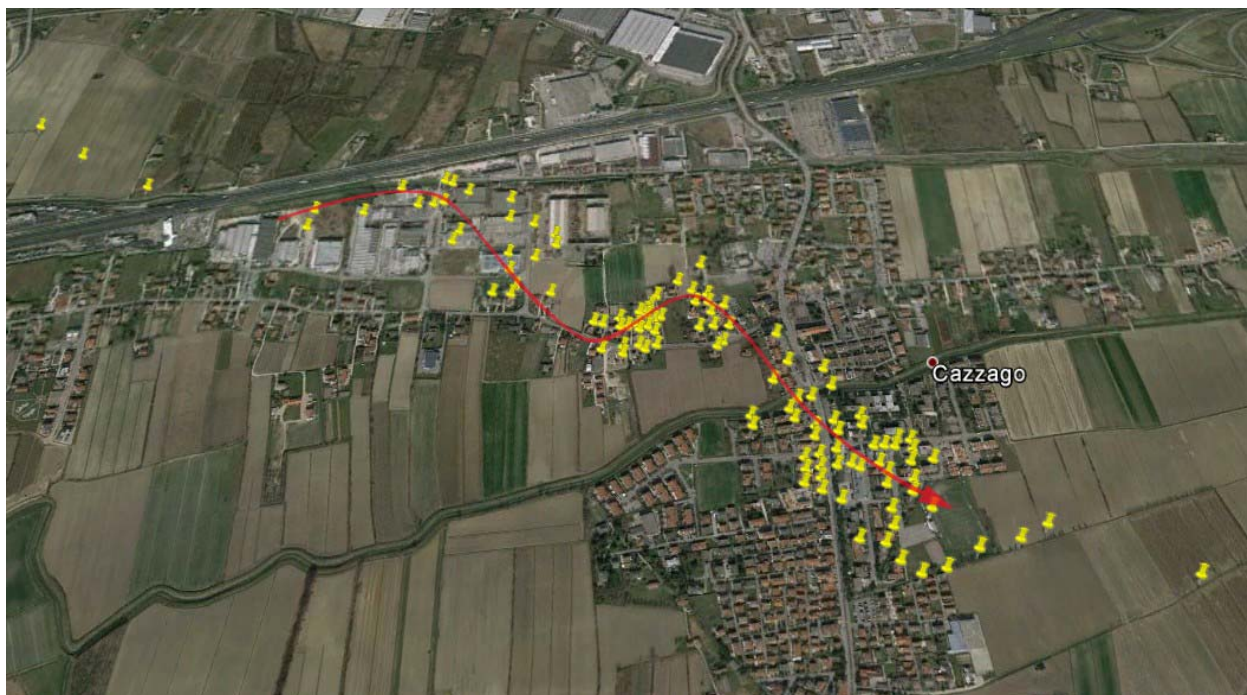


Fig. 6.10 – Mappa degli indicatori di danno (in giallo) con tracciato sinusoidale (in rosso) del vortice su Cazzago di Pianiga.

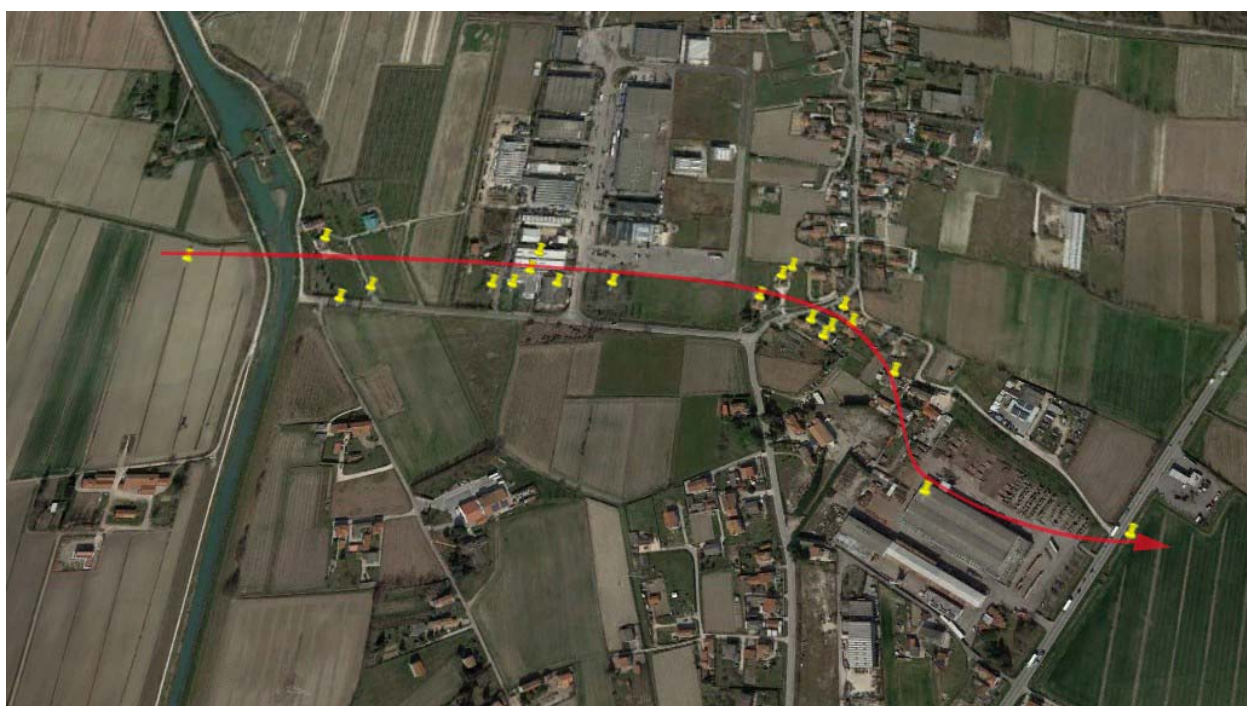


Fig. 6.11 – Mappa degli indicatori di danno (in giallo) con tracciato a curva ondulata (in rosso) del vortice tra Piazza Vecchia e Giare di Mira.



Fig. 6.12 – Tracciato sinusoidale del tornado sulla Riviera del Brenta (via Riviera Martiri della Libertà, via Tito, via Seriola, via Carrezzi). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.13 – Tracciato sinusoidale del tornado sulla Riviera del Brenta (via Riviera Martiri della Libertà, via Tito, via Seriola, via Carrezzi). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.14 – Traccia al suolo lasciata dal tornado su un campo di soia dietro Villa Fini. Foto di Valentina Abinanti.



Fig. 6.15 – Traccia al suolo lasciata dal tornado su un campo a Dolo tra via Tito e via Seriola. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 6.16 – Tracciato sinusoidale del tornado sulla Riviera del Brenta (via Riviera Martiri della Libertà, via Tito, via Seriola). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.17 – Tracciato sinusoidale del tornado sulla Riviera del Brenta (via Riviera Martiri della Libertà, via Tito, via Seriola). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.18 – Campo di granoturco con traccia ciclonica del vortice a Dolo tra via Seriola e via Carrezzioli. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 6.19 – Piante di granoturco incrociate, a testimonianza della natura tornadica dell'evento, a Dolo tra via Seriola e via Carrezzioli. Foto di Alberto Gobbi.



Fig. 6.20 – Tracciato del tornado verso Sambruson di Dolo e Piazza Vecchia di Mira/Porto Menai (via Stradona). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.21 – Tracciato del tornado verso Sambruson di Dolo e Piazza Vecchia di Mira/Porto Menai (via Stradona). Fonte: Vigili del Fuoco.



Fig. 6.22 – Tracciato del tornado tra Dolo e Mira visto dall'aereo. Foto di Daniele Casarotto.



Fig. 6.23 – Tracciato del tornado tra Dolo e Mira visto dall'aereo (zoom di Fig. 6.22). Foto di Daniele Casarotto.

6.8 I percorsi del tornado dell'11 settembre 1970 e dell'8 luglio 2015

Il territorio che ricade tra i comuni di Dolo e Mira l'11 settembre 1970 fu colpito da un violento tornado, stimato di intensità F4, di cui una targa commemorativa, posta sul muro di un vecchio bar a Sambruson di Dolo, ricorda il tragico evento (Fig. 6.24). I racconti dei testimoni del tornado del 1970 hanno consentito di ricostruirne in maniera sommaria il percorso permettendo così di sovrapporlo al path tracciato dal vortice dell'8 luglio 2015 (Fig. 6.25). In base alle informazioni disponibili, è possibile affermare che i due tornado si sono intersecati nella frazione Giare di Mira, tra le vie Ca' Sabbadin e Uve Bianche, in corrispondenza del tratto terminale del tornado dell'8 luglio 2015, mentre, com'è noto, il tornado del 1970 ha proseguito verso Venezia percorrendo una distanza complessiva di circa 60 km. Si certifica quindi il primo caso documentato in Italia di intersezione del percorso di due trombe d'aria, occorse a distanza di 45 anni l'una dall'altra; pur tuttavia non si può escludere che ciò sia già avvenuto per i tornado veneti storici, elencati nel sottocapitolo 9.3.



Fig. 6.24 – Targa commemorativa a Sambruson di Dolo in ricordo del tornado dell'11 settembre 1970.

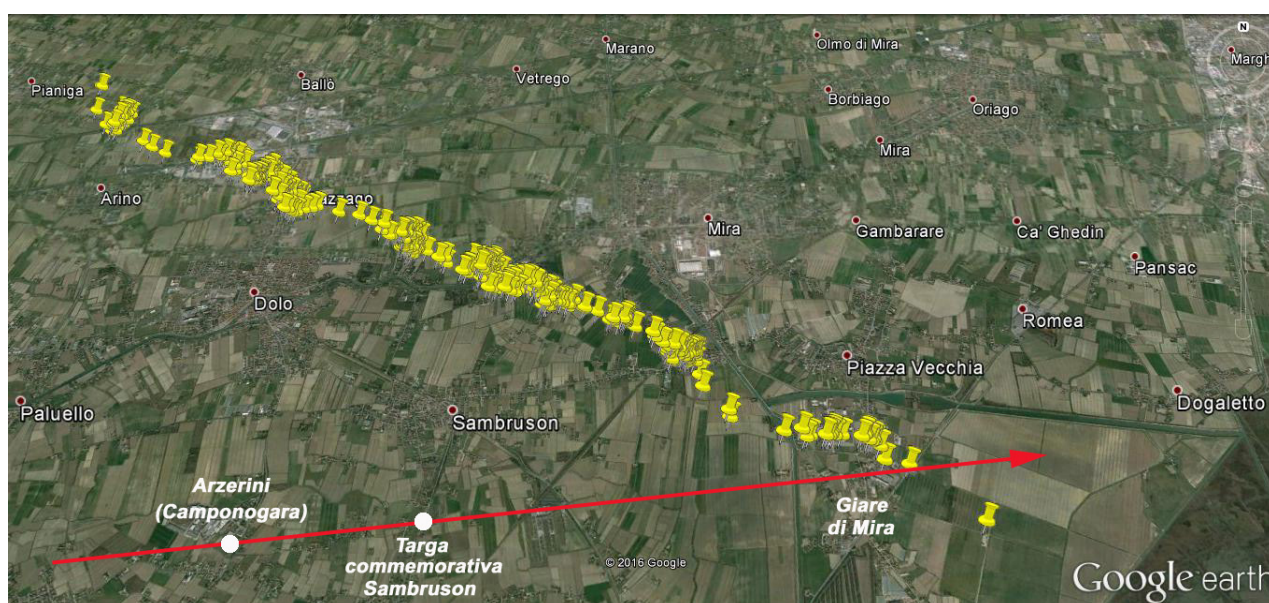


Fig. 6.25 – Sovrapposizione dei percorsi del tornado dell'11 settembre 1970 (freccia rossa) e dell'8 luglio 2015 (segnaposto gialli).

7. PRECAUZIONI DA ADOTTARE IN CASO DI TORNADO

di Valentina Abinanti

Questa parte del lavoro elenca le più importanti norme di sicurezza da seguire in caso di tornado, riadattate dalla pagina dello Storm Prediction Center e redatte da Roger Edwards (sottocapitoli 7.1, 7.2 e 7.3). Il link originale è il seguente: <http://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/safety.html>

Seguono quindi ulteriori avvertenze per identificare alcune situazioni di rischio legate al tornado le quali in un primo momento potrebbero non essere percepite come pericolose anche dagli stessi cacciatori di temporali. Si riporta al riguardo come esempio emblematico il tragico episodio dei tre storm chasers americani che hanno perso la vita a El Reno (Oklahoma, USA) durante il violento tornado del 31 maggio 2013.

7.1 Riconoscere i segnali premonitori di un tornado

Le previsioni non sono certezze e nel caso di temporali e tornado le cose si complicano ancora di più. È quindi impossibile conoscere la localizzazione esatta di un tornado prima che questo avvenga, perciò è importante sempre e comunque saper osservare il cielo e interpretare possibili segnali che sono utili a capire se è presente una tromba d'aria o se questa si sta per formare.

Al di là delle situazioni in cui un tornado è chiaramente visibile, ci sono alcuni importanti indizi da ricercare:

1. Forte e persistente rotazione alla base della nuvola.
2. Polvere, terra o detriti in rotazione al suolo sotto la nuvola: i tornado a volte non presentano nemmeno una nube a imbuto! Questo perché l'aria nei bassi strati può essere secca e quindi l'imbuto stesso non condensa, ma se la colonna d'aria è in rotazione e a contatto con il suolo siamo comunque in presenza di un vero e proprio tornado. La mancanza totale o parziale di condensazione non dice nulla sulla sua intensità!
3. Pioggia o grandine seguiti da calma totale di vento o da un repentino cambio di direzione del vento. Ricordarsi che alcuni tornado possono essere avvolti nelle precipitazioni e quindi non essere perfettamente visibili.
4. Di notte e/o di giorno: un forte e persistente rombo che non scompare in pochi secondi come nel caso dei tuoni.
5. Di notte: piccoli e luminosi flash di luce blu/verdi al suolo sotto a un temporale possono indicare linee elettriche colpite dal tornado.
6. Di notte: un persistente abbassamento alla base della nuvola, illuminato o ben visibile tra i fulmini, specialmente se al di sotto di esso si vedono flash di luce blu/verde; può indicare che lì vi è un tornado e che sta facendo saltare le linee elettriche.

7.2 Precauzioni da adottare durante il tornado

In una casa con un seminterrato/cantina: evitare le finestre. Recarsi nel seminterrato/cantina e ripararsi sotto un qualcosa di robusto (es. tavolo in legno) o coprirsi con un materasso, delle coperte, cuscini o qualunque cosa possa isolare e riparare il proprio corpo dai detriti. Ricordarsi dove si trovano gli oggetti più pesanti al piano di sopra (pianoforte, frigorifero, lavatrice...) ed evitare di posizionarsi al di sotto. Potrebbero cadere attraverso una falla che si apre nel pavimento e schiacciarvi. Se si possiede un elmetto, indossarlo. Potrebbe offrire utile protezione dai detriti. Non perdere tempo a chiudere/aprire le finestre: il tornado le distruggerà comunque.

In una casa senza seminterrato, un dormitorio o un appartamento: evitare le finestre. Andare al piano più basso e nella stanza più centrale (esempio un bagno o un ripostiglio), oppure nel sottoscala (interno e centrale) o in un corridoio centrale senza finestre verso l'esterno. Accovacciarsi stando il più possibile a livello del pavimento e tenere la faccia a terra; coprire la testa con le mani. Una vasca da bagno potrebbe offrire una parziale protezione. Anche in una stanza centrale sarebbe utile coprirsi con un qualcosa di molto imbottito (piumoni, materassi, cuscini...) per proteggersi da detriti che cadono nel caso il tetto o le pareti cedessero. Se si possiede un elmetto, indossarlo. Non perdere tempo a chiudere/aprire le finestre: il tornado le distruggerà comunque.

In uffici, ospedali, case di riposo o grattacieli: dirigersi immediatamente in una stanza chiusa, senza finestre al centro della struttura, lontano da ogni vetro o finestra e al piano più basso possibile. Accovacciarsi a terra e coprire la testa. La tromba delle scale all'interno è generalmente un buon luogo dove rifugiarsi e, se non è affollata, permette di raggiungere velocemente il piano più basso. Non usare gli ascensori: si potrebbe rimanere bloccati se la corrente viene a mancare.

A scuola: dirigersi verso una sala interna, una stanza o un corridoio senza finestre comunicanti con l'esterno. Accovacciarsi, tenere la testa in basso e proteggerla con le mani. Non rifugiarsi in stanze con ampie finestre come palestre, teatri o aule magne.

In automobile/camion: i veicoli sono estremamente pericolosi in caso di tornado. Non ci sono soluzioni veramente sicure da adottare quando si viene colti da un tornado in auto, ma solo alcune meno dannose. Se il tornado è visibile da lontano e c'è poco traffico, si può uscire dalla sua traiettoria muovendosi ad angolo retto rispetto a esso. Altrimenti, se possibile, cercare rifugio in una costruzione robusta o un seminterrato. Se ci si trova coinvolti in fortissimi venti o detriti in volo, parcheggiare l'auto il più rapidamente possibile e fuori dalla carreggiata. Dopo di che, stare nella vettura con le cinture allacciate, abbassare la testa tenendola lontana dai finestrini e coprirla con le mani e, se disponibili, coprirsi con giubbotti, coperte, cuscini. Se si riesce a trovare in sicurezza un fosso o una zona di avvallamento del terreno, dopo aver parcheggiato l'auto, dirigersi lì, accovacciarsi e tenere la testa tra le mani.

Evitare nella maniera più assoluta di cercare riparo sotto i ponti e i cavalcavia: si potrebbero creare pericolosi ingorghi, inoltre il vento incuneandosi al di sotto diverrebbe ancora più intenso e si potrebbe venire risucchiati dal tornado.

All'aria aperta: se possibile, cercare riparo in una costruzione solida. Se ciò non è possibile, sdraiarsi a faccia in giù, proteggendosi la testa con le proprie mani e braccia. Cercare di stare il più lontano possibile da alberi, automobili o altri oggetti che potrebbero essere facilmente rimossi dal tornado: potrebbero essere lanciati contro di voi.

In un centro commerciale o grosso negozio: non farsi prendere dal panico. Cercare di raggiungere velocemente una stanza interna come i bagni, un magazzino o qualsiasi locale che non comunichi con l'esterno. Stare lontani dalle finestre.

In chiesa o teatro: non farsi prendere dal panico. Se possibile, spostarsi in un bagno o corridoio interno, lontani dalle finestre. Accovacciarsi con la faccia verso terra e proteggerla con le mani e braccia. Se non c'è tempo per farlo, andare sotto le sedie o i banchi e proteggersi la testa con le mani.

7.3 Precauzioni da adottare dopo il tornado

Stare vicini ai propri cari e attendere il personale di emergenza. Se possibile, con cautela dare aiuto a coloro che sono feriti. Stare lontani da linee e fili elettrici, soprattutto dove vi sono pozzanghere: potrebbe esserci ancora elettricità! Stare attenti a dove si mettono i piedi, potrebbero esserci vetri e altri oggetti appuntiti. Stare fuori da qualsiasi casa o struttura fortemente danneggiata: potrebbero collassare in qualsiasi momento. Non camminare vicino ai tetti per il rischio di caduta tegole, antenne, comignoli ecc. Non usare fiammiferi o accendini in caso di perdite di gas o benzina. Cercare di rimanere calmi e vigili, ascoltare le informazioni e istruzioni del personale di emergenza e agenti di polizia.

7.4 Altre situazioni di pericolo

Si deve assolutamente tener presente che la dimensione e la forma di un tornado non dicono nulla di certo circa la sua forza e che i venti si estendono oltre il cono visibile del tornado stesso il quale, come anticipato, può anche non essere visibile nel caso manchi la condensazione. La circolazione tornadica potenzialmente dannosa, quindi, è più ampia di quanto si possa pensare se questa viene valutata solo sulla base del diametro apparente del vortice. Quindi ci si può trovare in un'area con venti violentissimi, anche se il tornado ci sembra ancora relativamente lontano.

Ciò che inoltre è maggiormente pericoloso sono i detriti che ruotano attorno al tornado stesso, i quali possono essere lanciati a grandi velocità e distanze dal centro del vortice. Per tale motivo è bene proteggersi con qualcosa di spesso e imbottito. Un tornado EF3 è in grado di sollevare automobili e lanciarle a qualche decina di metri, un EF5 anche a oltre un chilometro. Un pezzo di legno lanciato a 200 km/h passa da parte a parte in un muro, ecco perché è bene stare lontani dalle pareti esterne e dai finestrini.

Nei pressi di un tornado associato a una supercella, vi sono altre situazioni a rischio non percepibili dall'occhio umano, ma potenzialmente disastrose. Sul lato sud-occidentale di un tornado possono manifestarsi violente raffiche lineari di RFD, tanto più violente quanto più intenso è il vortice. In casi estremi possono raggiungere intensità di oltre 150 km/h, pari quindi ai venti di un tornado EF0-EF1, capaci di distruggere i finestrini delle auto o persino di ribaltarle.

Possono manifestarsi raffiche lineari di pari intensità anche nell'area posta sul lato meridionale o all'immediata destra del tornado rispetto alla sua direzione di avanzamento: tali raffiche puntano verso il vortice stesso e consistono in una corrente di inflow al suolo estremamente concentrata. A volte, per tale motivo, è possibile osservare in prossimità del terreno una banda più o meno estesa di polvere o altro materiale ivi presente che si dirige verso il vortice. Quindi, anche se non si sta esattamente sul percorso del vortice, ma nelle immediate vicinanze o subito dietro, ci si può trovare senza saperlo in una zona molto pericolosa per via di queste raffiche delle quali non vi sarà nessuna manifestazione visiva, solo eventuali detriti o polvere in sospensione.

Si tenga presente che, specialmente se si è all'aperto e nelle vicinanze di un tornado, è estremamente difficile avere corretta percezione del suo spostamento. Ricordarsi che un tornado può improvvisamente cambiare direzione, velocità di spostamento e dimensioni senza fornire alcun preavviso e che se ci si trova nelle sue vicinanze non si ha modo di rendersene conto fino a quando potrebbe essere troppo tardi. Provare a scappare quando un tornado, specie se violento, si trova a poca distanza potrebbe essere del tutto inutile e mettere addirittura a repentaglio la propria vita a causa dei forti venti che già si manifestano attorno al vortice visibile. Tenete quindi ben presente che nessun video o foto valgono quanto la vostra vita.

7.5 Il caso

Il 31 maggio 2013 un violento tornado ha colpito l'area rurale di El Reno in Oklahoma. Il tornado inizialmente si muoveva verso sud-est con un diametro medio stimato a vista inferiore a un chilometro. Improvvisamente, in meno di 30 secondi, senza nessun segnale visivo che potesse destare alcun sospetto, ha deviato verso nord-est cambiando direzione di 90 gradi. Nello stesso lasso di tempo, mentre compiva questa manovra, il tornado ha quasi raddoppiato la sua velocità di spostamento e si è ingigantito arrivando a una ampiezza massima di 4,2 chilometri, passando alla storia come il tornado più largo mai documentato.

Il tornado era costituito in realtà da più sotto-vortici, alcuni grossi quanto tre campi da calcio, facenti parte della circolazione più ampia. Uno di questi sotto-vortici ha raggiunto venti, rilevati al radar Doppler, di 414 km/h e un altro per qualche istante si spostava sul terreno a una velocità di 280 km/h. Alcuni ricercatori e scienziati, nonché altri storm chasers, si trovavano a nord-est del tornado e, quando esso ha deviato dalla traiettoria originale, spesse bande di precipitazione lo oscuravano alla vista a chiunque vi si trovasse davanti.

Un cacciatore, Dan Robinson, è sfuggito al tornado per un soffio, scappando verso est quando questo stava deviando a nord-est. Nonostante schiacciasse a fondo il pedale dell'acceleratore, la vettura faceva fatica a muoversi a causa dei forti venti che circondavano il tornado. Quando finalmente si trovava sufficientemente lontano da lasciarsi il vortice alle spalle, è sceso dalla vettura e si è rifugiato in un fosso. E' sopravvissuto, riportando ferite dovute alla grandine e ai detriti, mentre i vetri posteriori della sua auto sono esplosi. Poco dietro di lui, c'era l'automobile di tre ricercatori: Tim Samaras, Paul Samaras e Carl Young. Dan Robinson riprendeva le scene dietro di lui grazie a una videocamera posta nel retro della sua vettura.

A un certo punto, l'auto di Samaras scompare nel tornado. Verrà colpita da uno dei sotto-vortici, trascinata per quasi un chilometro e il motore sarà strappato dall'auto stessa e ritrovato a 800 metri di distanza. Tutti e tre sono morti nel tornado. Paul e Carl sono stati ritrovati nei campi. Tim era in auto con la cintura ancora allacciata.

Tim non era certamente l'ultimo arrivato ed era ben lontano dal cacciare tornado per una scarica di adrenalina. Era il suo lavoro: depositare sensori sul futuro percorso del tornado per studiare le dinamiche interne al vortice, con la speranza di raccogliere dati che un giorno sarebbero stati utili anche per allungare i tempi di allerta. Il suo era un rischio calcolato, basato su principi di sicurezza e prudenza che seguiva alla lettera. Era famoso proprio per questo e in più occasioni aveva rinunciato a depositare sensori, poiché questo avrebbe significato mettere a rischio lui e il suo stesso gruppo.

Se una cosa del genere è potuta accadere a lui, una persona competente, esperta e pienamente consapevole dei rischi e di come minimizzarli, figuriamoci cosa può succedere a sprovveduti. I tornado possono compiere manovre improvvise, possono essere instabili e caotici nella forma e nelle dimensioni. Mai sfidarli senza avere alcuna cognizione, pensando di avere il controllo della situazione e che “tanto non capiterà a me”.

Nella seguente foto si può osservare come è stata ridotta l'automobile di Samaras.

Fonte: National Weather Service Office in Norman, Oklahoma

<http://www.srh.noaa.gov/oun/?n=events-20130531-damagephotos>



7.6 Come funziona negli Stati Uniti

Il sistema statunitense di previsioni e allerte meteo sui fenomeni temporaleschi è uno dei più all'avanguardia nel mondo. Il sito di riferimento per i fenomeni convettivi è quello dello Storm Prediction Center (SPC), dove quotidianamente vengono emessi più bollettini di previsione, segnalate le situazioni di allerta e allarme e sul quale sono reperibili una miriade di informazioni, dai report dei temporali passati ai documenti di analisi su casi studio, compresa la mosaicatura radar nazionale che è disponibile in tempo reale e gratuitamente, non solo per quanto concerne la riflettività, ma anche per la velocità radiale che consente di individuare facilmente eventuali aree di rotazione in un temporale.

I prodotti radarmeteorologici sono aggiornati mediamente ogni 5 minuti e disponibili gratuitamente al pubblico con un ritardo sull'ordine di alcuni minuti, il tempo strettamente necessario per l'elaborazione grafica dei dati rilevati e la pubblicazione delle immagini in Internet. Sono inoltre disponibili numerosi modelli meteorologici consultabili gratuitamente che aggiornano più volte al giorno. Il modello HRRR aggiorna addirittura ogni ora e il modello RAP ogni 3 ore. Inoltre, sempre nel sito di SPC, sono consultabili numerose mappe che illustrano vari parametri in tempo reale.

Nell'homepage del sito di SPC sono subito disponibili cartine nazionali interattive con le aree di rischio in atto e una griglia cliccabile con le previsioni dei giorni a venire. I bollettini possono essere consultati sino al "Day 8", quindi sino a 8 giorni di distanza, se vi sono temporali previsti. Le analisi riferite ai primi 3 giorni sono chiaramente quelle più approfondite, mentre per i giorni 4-5-6-7-8 vengono definite linee di tendenza e indicazioni generali, in quanto previsioni a così tanti giorni di distanza possono subire cambiamenti sostanziali. Per i giorni 1-2-3 vengono individuate delle aree sulla cartina con i livelli di rischio di sviluppo di fenomeni violenti:

- General-non severe thunderstorm (TSTM): non si prevede lo sviluppo di alcun temporale intenso, ma solo generici. Da attendersi fino a: raffiche di 65 km/h, grandine piccola.
- Marginal (MRGL): sono possibili isolati temporali intensi, ma limitati nella durata o nella diffusione sul territorio. Da attendersi fino a: raffiche tra 65 e 95 km/h, grandine sino a 2,5 cm, basso rischio di tornado.
- Slight (SLGT): sono possibili temporali intensi sparsi, ma di durata limitata o non molto diffusi. Da attendersi fino a: uno o due tornado, danni da forti venti lineari, grandine intorno a 2,5 cm, isolata fino a 5 cm.
- Enhanced (ENH): sono possibili numerosi temporali intensi, piuttosto persistenti e diffusi, alcuni dei quali potranno essere violenti. Da attendersi fino a: alcuni tornado, diversi episodi di raffiche violente lineari, grandine in grado di fare danni tra 2,5 e 5 cm.
- Moderate (MDT): sono probabili temporali intensi e diffusi, di lunga durata e violenti. Da attendersi fino a: forti tornado, diffuse raffiche violente di vento, grandine distruttiva di oltre 5 cm.
- High (HIGH): sono attesi temporali intensi, di lunga durata, molto diffusi e particolarmente violenti. Da attendersi fino a: tornado molto numerosi ("tornado outbreak"), derecho.

Discussioni a mesoscala

SPC emette delle discussioni a mesoscala, cioè bollettini molto approfonditi che si focalizzano sul potenziale per temporali violenti atteso nelle successive 6 ore, con particolare riferimento alle 3 ore precedenti l'inizio previsto dell'evento. Tutte queste discussioni definiscono le aree e la fascia temporale di rischio, un sommario e una discussione tecnica con un'immagine che evidenzia le zone in questione.

Allerte per fenomeni intensi (severe weather watches)

Quando le condizioni divengono favorevoli per temporali intensi e organizzati o tornado, SPC emette una Severe Thunderstorm Watch o una Tornado Watch. Un tornado può verificarsi in entrambi i tipi di watch, ma quando viene emessa una tornado watch significa che vi sono le condizioni per più tornado o per un tornado molto intenso. Una Severe Thunderstorm Watch è emessa quando sono previsti temporali organizzati.

Una watch classica interessa un'area con un range tra 20.000 e 40.000 miglia quadrate, anche se alcune possono essere più piccole e altre più estese, in relazione alla situazione meteorologica. La durata media di una watch è di 6-8 ore, ma può venire cancellata, estesa nel tempo e nello spazio o sostituita quando necessario.

Una watch non è un warning (allarme) e non deve essere considerata come una garanzia di temporali violenti. Quando si è abbastanza certi riguardo alla previsione di più tornado intensi (EF2-EF5), SPC metterà in evidenza una watch con l'emissione di una cosiddetta PDS (Particularly Dangerous Situation – situazione particolarmente pericolosa).

Allarmi per fenomeni intensi (severe weather warnings)

Si tratta di allarmi emessi quando gli eventi sono in atto (temporali violenti, tornado, alluvioni lampo) sulla base delle rilevazioni radar o grazie agli osservatori sul campo (forze dell'ordine, cacciatori di tornado, segnalazioni di spotter certificati).

La sostanziale differenza tra watches e warnings è che nel primo caso si tratta di allerte che invitano a essere preparati, nel secondo caso invece sono allarmi che invitano all'azione e all'autoprotezione. Con l'emissione di una Tornado Warning, ad esempio, vengono trasmessi messaggi alle TV e alle radio per l'annuncio dell'allarme e, laddove presenti, vengono accese le “tornado sirens”.

Ruolo degli stormchasers negli Stati Uniti

La maggioranza dei cacciatori sono semplici appassionati che si muovono sul campo per osservare e riprendere i temporali e i fenomeni annessi, percorrendo anche enormi distanze, grazie a un paziente lavoro di previsione e analisi dei modelli meteorologici. Una parte di essi però porta avanti una vera e propria ricerca scientifica, spesso finanziata dallo stesso governo americano. Esistono poi anche gli storm spotters che segnalano eventuali situazioni di pericolo associate ai temporali per lo più nella propria zona di residenza. Negli Stati Uniti si può diventare uno spotter certificato partecipando a degli appositi corsi tramite un programma di osservatori volontari, denominato Skywarn. Al momento questo programma conta tra i 350 e i 400 mila osservatori volontari.

La presenza di spotter o chasers sul campo si può rivelare molto utile per l'immediata individuazione di situazioni di pericolo e per la successiva segnalazione al centro meteorologico. Soprattutto nel caso dei tornado, una tornado warning può essere emessa in due diverse situazioni: quando viene individuata una forte rotazione al radar (che non implica necessariamente un tornado al suolo) oppure quando il tornado è stato avvistato realmente da qualcuno. Per cui può accadere che siano gli stessi cacciatori ad avvisare della presenza di un tornado e di far suonare di conseguenza le sirene nelle cittadine che ricadranno nel percorso del vortice.

Essendo già sul posto durante il tornado, può anche capitare che i cacciatori siano tra i primi a giungere sui luoghi colpiti e prestare eventualmente i soccorsi del caso. Senza andare così lontano oltreoceano, io e il mio gruppo il giorno 8 luglio 2015, dopo aver appreso che Dolo era stata la cittadina maggiormente colpita, siamo giunti sul posto e abbiamo dato una mano a rimuovere alcuni detriti. Recarsi sul posto subito dopo l'evento permette di dare un aiuto immediato a chi è stato colpito, ma anche di avere una testimonianza a caldo dell'intensità dei danni e del fenomeno, che costituirà un documento molto utile ai fini di una classificazione dell'intensità dei venti del tornado.

Anche le forze dell'ordine generalmente si relazionano con i cacciatori come a chi può dare un valido aiuto nella prevenzione e individuazione di situazioni rischiose. Talvolta negli USA può però accadere che i cacciatori siano così numerosi tanto da congestionare il traffico stradale che può risultare pericoloso in concomitanza di temporali violenti. In questi casi vi sono giustamente degli inviti a mantenersi assolutamente fuori dalla carreggiata e a non intralciare in alcun modo il regolare flusso delle vetture. Per questa ragione i cacciatori cercano sempre di sostare in strade secondarie o in punti in cui non siano di intralcio alla viabilità ordinaria.

8. ASPETTI EMOTIVI E COGNITIVI DEL TRAUMA CAUSATO DA UN EVENTO NATURALE

di Zuara Mistrorigo e Marta Valeria Perini

Spesso, quando si sente parlare di un evento traumatico naturale, si pone l'attenzione su quello che è accaduto e ci si dimentica di quali ferite e problematiche psicologiche, in questo caso un tornado, possa lasciare alla popolazione colpita. Prima di entrare nello specifico degli aspetti cognitivi ed emotivi di un trauma vorremmo rendervi partecipi delle interviste che sono state fatte alle persone coinvolte. Le interviste sono state raccolte presso la popolazione colpita, nei giorni successivi all'evento. Il nostro intento non era indagare nulla di particolare ma lasciare che emergessero spontaneamente ricordi ed emozioni; a tale scopo è stato chiesto di raccontare liberamente quello che era successo. Tutti hanno voluto dare il proprio contributo, questo ci fa capire quanto sia importante per l'essere umano narrare le proprie paure per affrontare quel bagaglio emotivo che accompagna l'individuo durante l'evento traumatico e nei giorni successivi.

8.1 I racconti delle persone colpite dal tornado

SIMONE: “Ho provato un grande spavento, c'era un forte vento a raffiche, le cose volavano in giro, ho aspettato rinchiuso dentro un bagno dieci minuti e tenevo la porta perché non volasse via, poi sono uscito e ho visto la situazione, tristezza, disperazione, case scoperchiate, praticamente distrutte. Se non si prova è difficile da descrivere, è veramente una brutta cosa. Le pentole dei cani e i rami sembravano missili, neanche da uscire proprio. Quando sono uscito ho visto un disastro totale. Adesso il problema è ripartire, i danni sono ingenti un po' dappertutto”.

DANIELA: “Quando ho aperto la finestra e ho visto questo forte vento, il cane stava girando su se stesso ed è stato scaraventato sul cancello. Ha ancora una cicatrice sull'occhio. I cani sono ancora spaventati anche da piccoli rumori come la pioggia, per una settimana dopo il tornado non andavano neanche dentro la cuccia”.

ENNIO: “Quando sono arrivato a casa e ho visto la grondaia di traverso, i pannelli in strada e nel giardino di un'altra famiglia, ho temuto che non fosse andato via solo il tetto ma anche i muri come nel film “Twister”. Per vedere i travi a terra, cosa doveva essere successo sopra? Non ci sarà più niente, sarà andato via tutto. Poi sono salito e i muri c'erano, ma il tetto sul lato nord non c'era più: il tornado lo aveva girato di 90°, mia madre Luigina diceva che la casa tremava tutta finché il tetto veniva portato via. Il giorno dopo, quando siamo venuti a tirar su il tetto della baracca, abbiamo trovato il travetto incastrato nella siepe con il portalampane che aveva la lampadina ancora funzionante (l'ho verificato io stesso): una cosa pazzesca considerato che ha fatto un volo di venti metri e il travetto era a pezzi. Adesso abbiamo più paura quando arrivano i temporali, abbiamo messo delle grosse viti nelle travi, per toglierli dovrebbero partire anche i muri”.

CATERINA: “Avevo chiuso dappertutto come faccio sempre e mi sono seduta sul divano, perché avevo visto che c'era qualcosa di brutto. Poi ho sentito un “crack” e ho detto “addio casa”, il cuore ha cominciato a battere all'impazzata, ero a casa da sola. Non avevo neanche il coraggio di alzarmi, poi ho aperto la porta e ho visto tutta la roba per strada. Ho dovuto prendere le gocce per tre giorni e ancora non mi è passata”.

MARIA: “Io sono stata miracolata perché non mi son presa neanche un pezzetto di vetro dove mi ero riparata, ero andata sopra anche per chiudere la persiana per proteggere i vetri delle finestre perché mi aspettavo grandine grossa come noci. Ma quando ho aperto un po’ la porta della mia camera ho sentito il vento del demonio. Chiudendo la porta, è venuto via il telaio con il vetro: se ero proprio là davanti sarei andata giù per la scala e mi uccidevo senz’altro con un salto così. Mi sono riparata in fondo su un cartone dicendo “Gesù Gesù cosa succede!”. Il rumore sembrava quello del tempo di guerra, dei bombardamenti: io ero piccolina ma mi ricordo qualcosa. In qualunque stanza mi fossi trovata mi sarei “rovinata”, mi son detta se mi salta addosso qualche vetro, mi sveno.

Quelli della protezione civile avevano paura di vedermi morta, mi chiamavano “Signora signora, venga fuori!”. Ma come faccio a venire fuori? La porta non si apriva. Poi sono uscita da un’altra parte. Ma sopra l’asfalto temevo di finire in un forno crematorio, senza neanche potermi sedere. Allora sono andata dietro la casa, pensavo ci fosse qualche alberello per stare all’ombra, ma non c’erano più. Quindi sono rientrata e mi son messa a pulire. Avevo paura per i miei figli perché lei lavora vicino a una finestra e il figlio era per strada. Ho chiamato mia figlia che mi ha risposto “Mamma, ma sei diventata matta?”. E io: “Vieni a vedere, non ho più la casa”. Il gatto è stato via per una settimana dopo il tornado. Pensare che otto giorni prima avevo in casa i miei nipoti. Non sono stata in grado di piangere, sono viva. Ma mi sono venute le lacrime nel vedere ragazzi e ragazze che invece di andare al mare hanno portato via i detriti portandosi le loro scope”.

DANIELE: “Sono partito dal lavoro in macchina, ho incontrato due grandinate in due momenti diversi, arrivando a casa il tempo era già bello. In statale ho dovuto fermarmi, ho visto il filo della corrente giù, immagini qualsiasi cosa ma non così... andavo avanti solo perché quelli davanti tornavano indietro. Non sapevo il perché. Su una strada c’era l’albero di traverso. Facendo il giro di tre diverse strade, mi chiedevo: perché l’unico posto dove non riesco ad arrivare è casa mia? E qui inizio a preoccuparmi. Poi riesco a passare dalla strada dove nel frattempo avevano tagliato l’albero crollato.

Arrivato a casa penso: veramente, non ha senso quello che vedi, è qualcosa di irreale, è come se fosse arrivato un film e ti chiedi ma è vero? Ma sto vedendo qualcosa di vero? Perché era pieno di roba sulla strada, disastri, elicotteri che giravano e c’era il sole, era bel tempo. L’effetto è quello di un’allucinazione, di un qualcosa che non è reale. Entro in casa, cerco Maria, mia mamma, che stava pulendo e ci abbracciamo. Forse non si è in uno stato del tutto cosciente, dice mia sorella Anna. Ma cerchi di renderti utile facendo qualcosa e pensando al futuro. Vedi che tua mamma sta bene, non si è fatta niente e pensi che “anche questo è irreale”. Così pensi ai danni materiali e inizi a fare fotografie. Se si fosse fatta male non so dove sarei andato con la testa”.

ANNA: “Sono al lavoro. Alle 18.29 il cellulare squilla insistentemente. E’ mamma. Non posso rispondere. Lei ha paura dei temporali, forse voleva sapere se da me, in ospedale, era tutto ok. Alle 18.35 decido di richiamarla. Era tremendamente scocciata perché non poteva rientrare in casa e doveva rimanere in mezzo alla strada sotto il sole. Lei è allergica ai raggi UVB. Mi dice, con toni nemmeno troppo agitati: “Sono viva per miracolo, la casa è mezza distrutta”. Non sapevo che dire, non potevo pensare che fosse uno scherzo di cattivo gusto o che la mamma avesse perso la testa per un istante. Poco dopo, sentendo un via vai di sirene ed elicotteri, capisco che qualcosa di grave era successo e che mia mamma era sotto shock. Prendo le mie cose e ...corro. Non riesco a passare e la strada è bloccata. Lascio l’auto e...corro.

Arrivata in via F.lli Bandiera mi si presenta un panorama apocalittico. Ambulanze, polizia, elisoccorso, polvere. I rumori erano di cose, non di persone. Cocci e vetri frantumati, mezzi che si muovevano. La gente che non era portata via in ambulanza vagava sbigottita ed incredula per strada. I colori, di tutto, erano sbiaditi ed indefiniti a parte il sangue che risaltava sugli abiti e sulla pelle di chi era stato investito da schegge o altro. Tutto era indefinito e sbiadito dalla polvere, tutto era maceria. Era come entrare nel set di un film di guerra... post bombardamento. Corro per vedere cosa era rimasto della casa dove sono nata e cresciuta, dove i miei bambini vanno a giocare e a far compagnia alla nonna. ...Della casa dei sacrifici di una vita di mamma e papà, in parte miei che ci ho abitato fino a quattro anni fa, e ora di Daniele, mio fratello.

Anche la mia casa era stata investita da quel tornado. Forza 4. Come nei film americani. Quando arrivo vedo mio fratello che sta facendo una “panoramica” del disastro. Era chiaramente sotto shock. Doveva ancora rendersi conto del mare di danni. Niente assicurazione, niente risparmi... solo debiti. E ora? Un mare di danni. Mia mamma illesa, ma con un bel trauma emotivo da curare, da superare. C’era lei in casa, sola, anziana, durante quei secondi di violenta distruzione. Lei protetta da uno schieramento di angeli custodi che l’hanno portata a spostarsi da quella porta interna che senza tanto preavviso è “scoppiata” e volata giù per le scale. Miracolosamente illesa, senza un graffio che per lei avrebbe potuto essere letale.

Da quel giorno continuiamo a ringraziare. Ringraziamo perché stiamo tutti bene. Ringraziamo tutti gli “angeli silenziosi” che ci hanno protetto, aiutato, sorriso, abbracciato, consolato, nutrito, commosso, meravigliosamente sorpreso per l’umanità e la gratuità dei loro gesti. Ringraziamo amici e parenti per la straordinaria vicinanza e collaborazione. E non ultimi, ringraziamo tutti coloro che vorranno rinunciare ad un caffè o ad una pizza per contribuire a ricostruire il tetto volato via e a risistemare un pochino la casa per renderla nuovamente agibile”.

“Oggi 21 luglio, quando nel tardo pomeriggio ho superato le transenne all'inizio di via Fratelli Bandiera... mi sono uscite le prime lacrime di tristezza. Mi sono trovata davanti un panorama deserto e silenzioso. Entrare in quella via (come penso anche negli altri luoghi battuti dal tornado) è come calarsi all'improvviso in una realtà parallela. Dalla normalità di tutti i giorni, di qualche metro più in là, alla desolazione. Ho provato quel sentimento che prevedevo, ma che speravo tardasse il più possibile ad arrivare. Prima ho sentito una sorta di nausea, di rigetto nell'affrontare ancora per una volta la visione di quelle case rotte e vuote, senza vita.

Non riesco ad accettare che tutto sia ancora così impolverato e sbiadito, che le piante e i fiori non ci siano. Al posto loro ci sono ancora mucchi di macerie ed eternit. E tutto il resto è secco ed arso dal calore di questi giorni. Faccio fatica ad accettare che tutto questo lo vedrò e vivrò ancora per molto. Non ho incontrato nessuno. Ho visto solo Luna, la mia gatta che mi è corsa incontro chiedendomi coccole e crocchette. Ho visto da lontano qualcuno sopra dei tetti...e gli unici rumori che sentivo erano le loro fiamme ossidriche e le scope che spazzavano polvere...polvere...polvere.

Ho sentito qualche cane lontano abbaiare. Basta. Niente altro. Dopo il movimento esplosivo dei primi lavori di sgombero e pulizia, dopo l'irrompere dei fiumi di ragazzi volontari, dopo l'entusiasmo e la voglia di sistemare tutto in un battibaleno oggi ho sentito il bisogno di non essere sola. Però...mi sono sentita sola, con un vuoto dentro. Avevo bisogno di un abbraccio consolatore. E pensare che quella casa non è nemmeno mia e da qualche anno non ci vivo più....la mia vita è già piena di casini e problemi e dovrei risolvere quelli... ma non riesco a starmene a guardare.

Lì ci ho vissuto comunque 40 anni della mia vita.... Ho continuato a sgomberare la soffitta, portandomi a casa scatoloni di roba mia che ancora avevo lasciato lì come se l'intento fosse non spezzare mai del tutto il legame con quella casa... ..Mentre caricavo in auto, la solita ronda di carabinieri passava... Partita, mi sono lasciata alle spalle quel paesaggio desolato con il desiderio che sparisse tutto in fretta... Basta uscire dalla via e tutto è "normale", la vita al di fuori scorre come se nulla fosse accaduto. Sì...oggi è andata così, ho sentito stanchezza fisica e morale. Domani è un altro giorno”.

LUIGINA: “Il vortice che veniva avanti si allargava, non sembrava più un cono. Ho sperato che scansasse, quando sentivo i forti botti sul balcone e sui coppi di certo non pensavo portasse via il tetto. I rumori erano assordanti, il buco in cucina è inspiegabile, uno non potrà mai entrare nella tua testa per capire. Sono stata colpita da una pietra sul braccio, i detriti e l’acqua continuavano a cadere anche dopo che il vortice era passato. Ho tre figli, e due di questi erano in casa. Ricordo il temporale, ricordo quel rumore, ricordo quell’odore macabro, non dimenticherò mai una mamma che si gira e che vede il proprio figlio sotto un muro. Non andrà mai via dalla testa.

Sono differente da un’altra mamma, ma penso che questo valga per tutte “mi sembra di aver partorito mio figlio un’altra volta”, perché c’erano solo le scarpe fuori ma quando mio figlio mi ha toccato una caviglia e ha chiesto “mamma ci sei?” ho aperto gli occhi e ho visto il cielo. Ero appoggiata sul muro che “ondeggiava”, non pensavo di essere coi piedi sul pavimento, mi sembrava di volare, la casa dondolava, peggio del terremoto. L’acqua e la sabbia del canale sono arrivate sulla casa, i vetri e la sabbia erano penetrati nelle braccia e nelle gambe, al pronto soccorso all’Angelo hanno lavato mio figlio sette volte perché la sabbia era penetrata nei pori della pelle.

Era il numero 40, rimane il numero 40 e ritornerà il numero 40. Ora viviamo in un modulo come si dice in italiano, in dialetto container. Per me è un container, sono tanto contenta di essere qui, anche se è una lamiera sono contenta, per me è meglio di Villa Fini con tutto il rispetto per le ville della Riviera. Questa è la baracchetta più bella di tutta la Riviera del Brenta, perché siamo qua tutti e cinque quando mangiamo a tavola. Ho i miei giorni alti e i miei giorni bassi, sono un po’ cattiva con tutti, veramente cattiva in certi posti, perché ho visto tanta indifferenza, una parola che non dimenticherò mai, ma anche tanta solidarietà da persone che non mi sarei mai aspettata. Una mamma di tre bambini ha venduto un ricordo di sua madre per portarmi qualcosa, sono cose che ti fanno aprire il cuore, a differenza delle persone che dovevano fare ma che non hanno fatto.

Quanto paura ho adesso dei temporali? Da 1 a 100 è 1000, anche perché già li temevo. Spero che non arrivi un altro temporale simile, un’altra bestia del genere. Sarà dura con i temporali, spero ci sia qualcuno a casa, chiederò aiuto a chi passerà per la strada. Non c’è altro da fare. Devo combattere il temporale, insisto e lotterò cercando di farmi sempre più forza. Il tornado non ha portato via mio marito e non mi porterà via nessun altro. Insisto ad andare su per la scala della mia casa, quello che è successo mi ha fatto molto ma molto male, non ci sono parole, non ci sono numeri, ma la forza che ho di andare avanti è che ho i miei figli vivi”.

MARIO: “Vedevamo dalla strada il cono blu scuro, quasi nero, ma non pensavamo certo a un tornado del genere. Abbiamo sentito che il furgone ha avuto un colpo, non forte, sui 70-80 km/h, speravo che il tornado non passasse davanti casa. Ho visto dei pezzi di non so cosa che volavano in alto e il cielo scuro.

Testimoni dal distributore hanno visto in distanza l'acqua del Naviglio Brenta risucchiata dal vortice alta fino a tre metri sulle rive del canale, tanto che questo si era prosciugato in quel tratto per qualche decina di secondi. Venendo da Mira, ho visto "tutto lampro", senza alberi, ho corso lungo la sponda del canale e a 200 metri di distanza ho visto mia moglie e i due figli che erano scesi dalla casa: è stato un grosso sollievo visto l'immagine spaventosa, il deserto. Il canale era pieno di roba, la mia gondola girata e l'altra barca in alluminio lunga 5.60 metri sparita assieme al motore finita dai Donà dopo un volo di 300 metri.

Ho visto cinque macchine nel canale, erano appena fuori i finestrini, in apnea si dura 5 minuti e ho pensato che non si sarà salvato nessuno. C'era un forte odore di gas, avevano da poco portato le nuove bombole nella casa verde del nostro vicino: mio figlio ha sfondato la porta al piano terra per cercare di bloccare la fuga di gas, poi gli ho ordinato di uscire per il rischio di esplosioni. Abbiamo quindi guardato verso la parete nord al primo piano dove c'era la camera del mio vicino, ci siamo arrampicati per i tubi, a quel punto l'ho dato per morto.

Il signore era ricoperto da uno strato di 40 cm di detriti, pietre e solai e tentava di parlare, così ci siamo messi a scavare con le mani; c'era un architrave in cemento lungo 3 metri sopra questa persona ma due radiatori gli hanno probabilmente salvato la vita, altrimenti l'architrave l'avrebbe certamente schiacciato. Scavando ho trovato i capelli, testa e sangue, mentre mio figlio scavando un metro più in là ha trovato le gambe. Abbiamo cercato di fargli bere un po' d'acqua, tolto le ultime pietre e chiesto di fargli muovere le gambe, per fortuna ci riusciva. Poi mi son dovuto allontanare per portare in ospedale l'altro mio figlio quasi privo di sensi, sempre lungo la riva del canale essendo l'unica via accessibile. Verso Mira abbiamo trovato un'ambulanza dove hanno caricato mio figlio per portarlo all'ospedale all'Angelo di Mestre".

PATRIZIA: "Ho chiuso gli occhi due volte, ma sto sognando, non è vero! E' un bombardamento, era tutto vero! Dove vado stanotte? Dove vado a dormire? C'era uno scolapasta incastrato nel cappotto al piano terra, vicino all'ingresso. Il condizionatore "Pinguino" al primo piano (che era stato distrutto) è rimasto intatto eppure non aveva la presa attaccata al muro!"

PAOLO: "Si vedeva scuro a nordovest, ma nulla lasciava presagire il disastro. Ho iniziato a chiudere tutto al piano superiore e poi le persiane elettriche al piano terra, ma quando era scattato il contatore della corrente ho cominciato a pensare a qualcosa di strano. Subito dopo è arrivato del materiale che inizialmente pensavo fosse grandine, non riuscivo a chiudere le altre tapparelle per il forte vento. Intanto mio figlio era sceso dal piano superiore, ma arrivato all'ingresso è stato ferito da un grosso albero entrato in casa dopo aver sfondato la porta. Sembrava mancasse la terra sotto i piedi, non avevo capito subito che il solaio se n'era andato. Il rumore del vento copriva tutti gli altri rumori, però mio figlio sentiva anche il rumore dei vetri che si rompevano. Poi il rumore è diminuito e fuori dal vortice ho realizzato che il tetto se n'era andato. Comunque il primo "impatto" è che ci siamo salvati la vita. Poi abbiamo sentito i Gallo urlare e ci siamo diretti verso di loro: mi pareva di essere uno zombie in quel paesaggio surreale".

LISA: "Il tornado ti cambia la vita c'è poco da dire, tornavo da Cazzago e già lì vedevo tegole per terra, ma cos'era successo? La prima cosa è stata chiamare a casa mio papà Paolo per sentire come stava. Lui non mi ha detto "non hai più la casa", ma da vero papà ha detto "qualche tegola è partita dal magazzino", non aveva neanche menzionato la casa. Andando avanti per la Riviera ho visto varie ambulanze e il traliccio a terra in via Melloni, ho capito che qualcosa non andava.

Ti manca la terra sotto i piedi con uno scenario del genere, non sai da dove partire quando vedi la tua camera distrutta, da dove inizio? Non c'erano più gli alberi e neanche i due magazzini: chi pensava che poi avremmo dovuto abitare proprio in un magazzino? L'aiuto dei volontari è stato fondamentale, sono loro che ci hanno dato la carica emotiva e la forza per sistemare i resti della casa e recuperare quel che si poteva".

SILVIA: "Dico a mio cugino che il cielo è nero, ma lui mi risponde che "c'è il sole" e che "sarà solo tempesta". Comunque vado a prendere mia figlia mezz'ora prima del solito al centro estivo, anche lì la maestra mi fa notare che "c'è il sole" ma poi si rende conto che qualcosa sta cambiando.... Non si vede ancora il cono, si vede solo un cielo nero. Pensavo solo a un temporale brutto. In casa, finché sistemavo il letto, ho sentito dei colpi, era tempesta grossa come arance (4-5 chicchi in tutto, non molti), quindi tiro giù le persiane, poi sento altri colpi e quindi il vento che sembrava fosse un aereo che stesse parcheggiando sopra la mia casa. Un rumore assordante che avrò sempre nelle orecchie.

Vado giù in cucina e lì iniziano a scoppiare i vetri, per istinto (o per non so cosa) torno su di due gradini e vedo così passarmi davanti i frammenti di vetro senza per fortuna essere colpita, però anche dov'ero io non era abbastanza sicuro per il finestrone della scala e le porte in vetro. Allora spingo mia figlia dentro in lavanderia che non ha finestre, subito scoppiano gli altri vetri della taverna. Sembrava che fuori ci fosse uno con la mitragliatrice. Chiusi nell'antibagno, sembrava ci fossero tre uomini che spingevano la porta. Dico a mia figlia di mettersi le scarpe nel caso dovessimo scappare per via dei vetri a terra.

Verso la fine del tornado, sembrava di sentire uno sbuffo in diminuire e poi il silenzio, quindi le porte hanno "mollato". Ho detto a mia figlia: "siamo vive!" La taverna era distrutta. Incredibilmente, nel frigo pieno di fango che avevo trovato chiuso c'era una pietra! Non ho aperto subito il portone penso per la paura, sono andata prima a vedere verso la fioreria dal finestrone della scala che alla fine si era salvato: ho fatto un sospiro per la macchina demolita e per il magazzino e il gazebo spazzati via. La piscina in plastica era rimasta al suolo perché c'era caduta roba sopra, ma era malridotta e prosciugata e non c'era acqua attorno!

Quelli della fioreria ci stavano chiamando, il traliccio era caduto e c'erano cavi elettrici che saltavano. Abbraccio Simone, il ragazzo della fioreria, e gli chiedo di controllare la macchina capovolta perché ero con mia figlia di 7 anni; lui è andato a vederla e mi ha fatto il segno della croce, ha chiamato ambulanze e carabinieri, oltretutto i cellulari non prendevano. Dalle case attorno non veniva fuori nessuno, pensavamo di tirar fuori la gente che poteva essere ferita o morta. Mio cugino non riusciva ad uscire perché le porte si erano piegate, Simone a forza di spallate è riuscito ad aprirle.

La nostra anziana vicina in cucina teneva con una mano la porta del bagno che si era staccata e con l'altra tirava su la roba per metterla sul tavolo. Mi ha risposto: "Ciao bea, ma che rassa de vento ghe se sta?". Non si era resa conto, anche le sue porte non si aprivano, poi sono riuscita a portarla fuori ed ha fatto un sospiro: "Ma sono stati i tedeschi?" "No è stata una tromba d'aria!". Allora ha realizzato e ha provato a cercare sua figlia. Poi io, tornando indietro verso la mia casa, da distante ho visto che il tetto non c'era più: mi sono messa in ginocchio a urlare e a piangere".

KATIA: “Ero in fioreria con mia mamma Paola, invece mio marito Simone durante il tornado era da un'altra parte. All'inizio, quando l'avevo vista, mi sembrava una cosa talmente strana e rara che l'istinto è stato quello di prendere il telefono e registrarla, ma non comprendevo il pericolo che correvo, cosa stava arrivando. Non avrei mai pensato a una roba del genere, in distanza non vedevo il cono del tornado, non vedevo niente, solo una polvere bianca subito prima che succedesse tutto, sembrava nebbia, arrivava avanti forte e fitta, poi ho sentito un sibilo e comincio a vedere tutte le robe che volavano.

I carrelli con le piante sotto il portico stavano iniziando a muoversi e il cancello a mano scorrevole lungo 12 metri si stava spostando fino a chiudersi da solo. Non avevo avuto il tempo di realizzare cosa stava succedendo e neanche il tempo di avere tanta paura se non dopo che si era rotta la vetrata e quando dentro “si muoveva tutto da solo”, solo allora siamo corse urlando di paura in corridoio dirette in magazzino dove non c'erano vetrate, ma un armadio si era spostato con il vento e ci aveva bloccato la porta d'entrata. Allora abbiamo avuto l'istinto di rifugiarsi nei bagni lì a fianco, più precisamente nell'antibagno visto che nel bagno c'erano le finestre. Lì dentro non vedevamo più niente, sentivamo solo un rumore terrificante. Forse è stato l'inconscio o l'istinto, non so, a portarci su un posto il più riparato possibile dove c'erano meno vetri per essere protette. Tenevamo le porte del bagno chiuse con tutta la forza che avevamo.

C'era un rumore fortissimo, tipo quello di un aereo che parte in accelerazione, tutto lo stabile si muoveva, tipo terremoto (molto peggio del vero sisma del 2012), oscillava e ondulava. In quei momenti, quando è arrivato il vento e si sono alzate le cose, si è alzato anche il tetto assieme al cordolo in cemento, e poi si è riposizionato, ma la parte sottovento del tetto è stata completamente asportata e anche la controparete interna, le vetrate sono state scardinate dal muro e buttate all'interno. Due grossi gelsi sul fronte strada sono stati sollevati, non era rimasta neanche una foglia e il tronco dell'albero era liscio, si era levata persino la corteccia. Una fila di olivi distante almeno un centinaio di metri dalla fioreria aveva schegge di mattone conficcate per 5 cm nel tronco, abbiamo dovuto faticare non poco per toglierle usando una pinza, sembravano lance. La pompa ad immersione del pozzo, profondo 140 metri, che era attaccata a dei vasi di espansione, è stata risucchiata dal tornado. La pompa è stata rinvenuta nel campo del vicino e i due vasi di espansione non sono più stati ritrovati.

Il tornado sarà durato qualche minuto e ad un certo punto è iniziato un silenzio assoluto, tutto all'improvviso, si è come spento in un attimo, non si sentiva più niente. Così mi sono fatta coraggio e sono uscita pian piano, pensavo di non trovare neanche le pareti su, aperta la porta mi è caduta addosso la roba che si era incastrata nel corridoio, poi ho chiesto a mia madre che era nell'altro bagno come stava. Quando siamo uscite e ci siamo guardate intorno, urlavamo: “Non c'è più la bottega che disastro! Mamma mia oh Signore!”.

In quel momento arrivò mio marito, scese dal camion di corsa e si mise le mani in testa, ricorderò per sempre quella scena e la sua espressione, e davanti a quell'apocalisse scoppiò a piangere e cominciò a chiamarmi disperato, non mi vedeva in mezzo a tutto quello che c'era dentro lo stabile e fuori. Facendosi spazio tra le macerie è venuto a tirarci fuori e ci abbracciammo forte tutti. Una volta usciti da lì, fu ancora più terrificante, non c'era più niente, era una distesa di detriti, c'era di tutto e le nostre piante, il nostro lavoro di una vita non c'era più, non esisteva più nulla, quel vento maledetto aveva raso al suolo tutto, sradicato alberi secolari, spezzato gli altri e portato chissà dove quelli più piccoli.

Mi guardavo attorno disperata e incredula che potesse essere successo un disastro simile e vidi mia mamma inginocchiarsi a terra e urlare dalla rabbia e dalla disperazione per aver perso tutto, già difficile era la nostra situazione in quel momento. Il sole splendeva già ed era di nuovo un caldo soffocante come prima che succedesse tutto questo, mentre attorno a noi, dentro di noi, nei nostri cuori e nei nostri occhi c'era la disperazione più assoluta”.

SIMONE: “Subito dopo il tornado sono corso in fioreria e mi sono assicurato che Katia e Paola stessero bene, poi ho fatto il giro delle case in zona. Ci conosciamo tra vicini, per fortuna tutti stavano bene ma c’era un contatore rotto del gas che perdeva, ho buttato l’occhio da quella parte e così ho visto le ruote di una macchina capovolta in mezzo alle piante, sono andato a vedere se c’erano feriti, ho aperto la porta e c’era un signore morto con la sua Peugeot 206 tutta piena di fango. Aveva l’osso del collo rotto, non c’erano i suoi documenti né quelli della macchina. Ho richiuso la portiera, nel frattempo erano arrivati carabinieri, ambulanze...”

TANIA: “Era una giornata infernale, prima del tornado cadeva qualche goccia di pioggia seguita dalla grandine, così molti automobilisti si erano riparati sotto i pioppi nel parcheggio vicino alla riva del canale Naviglio Brenta, ma quando è arrivato il tornado molte di queste macchine sono state scaraventate in acqua essendo già molto vicine al fiume. Io non ho visto direttamente la scena, ero in casa al piano terra e non sapevo se aprire la finestra per chiudere il balcone perché avevo capito che c’era qualcosa di molto forte, di molto grosso in arrivo, non era un semplice temporale. Tra l’altro, qualche minuto prima del tornado l’acqua del fiume aveva un colore stranissimo.

Finchè stavo pensando se aprire o no la finestra, è iniziato un sibilo, pareva mi scoppiassero le orecchie, per almeno mezzo minuto dentro la mia testa sembrava ci fosse qualcosa che stesse spingendo fino a farla scoppiare. C’era in sottofondo un rumore simile ad una mandria di cavalli o a un esercito di carri armati in avvicinamento, il mio cagnolino dalla sua cuccia è andato sotto il tavolo e io d’istinto l’ho seguito. In quell’istante è scoppiata la finestra e ha iniziato a volare di tutto, i cassetti si aprivano e si chiudevano da soli, le pentole cadevano a terra, i quadri volavano ma almeno da quel momento mi è passato il mal di testa, cioè da quando “lui” [il tornado] è entrato. Invece il sibilo nell’orecchio destro e la testa ovattata sono continuati per 4-5 giorni, avevo sempre le orecchie tappate.

Io stavo sotto il tavolo, ero schiacciata e non potevo muovere nessuna parte del corpo forse anche per via della paura. Stavo solo pensando e probabilmente lo stavo anche dicendo “Passa, deve passare deve passare...”, ma avevo anche paura che la porta blindata davanti a me scoppiasse, in quel caso non mi sarei salvata. Un po’ alla volta ho sentito che il tornado si stava allontanando e ho detto “siamo salvi”. Se non c’era il mio cagnolino non so che fine avrei fatto se stavo davanti alla finestra, bastava un vetro rotto... il mio cagnolino ha tremato per due giorni dopo il tornado.

Passato il vortice c’era silenzio, non si muoveva niente, poi ho sentito chiedere “Tania dove sei?”. Sono uscita e ho visto la disperazione, dall’interno non mi ero resa conto di cosa stesse succedendo, al momento pensavo fosse stata una “normale” tromba d’aria e che fosse scoppiato un vetro, poi avevo capito di “aver perso la vita” considerato che ci ho rimesso casa e lavoro. Non c’era più niente, io non avevo più niente: è da questo momento che ho cominciato ad aver paura perchè prima, durante il tornado, avevo la speranza che tutto passasse e che non mi succedesse nulla. Persi tutte le forze, ma reagì subito perché dovevamo aiutare le persone finite nel canale con le macchine, abbiamo creato una catena umana per tirarle fuori grazie a dei ragazzi che erano là.

Anche l'autista di un'ambulanza di passaggio andata distrutta è rimasto ferito e ci ha fatto tirare fuori le bende e altro per le medicazioni dei feriti. Il ragazzo del pub Kalispera che stava passando in quel momento "ha fatto quattro giri in aria con il suo furgoncino finché il pilone del cancello di Villa Fini non è caduto sopra il cofano schiacciandolo in basso", è stata una fortuna senno chissà dove sarebbe finito.

E' stata una bomba che ha travolto tutto, la fase più forte del vortice è proseguita per 2-3 minuti, dopo 5 minuti c'era già il sole. L'acqua del canale è stata tirata su dal tornado e "ha fatto il disastro nei muri", le case avevano tutte "un colore unico" che era quello del fango del canale. Per pulire un balcone da fango e frammenti di detriti ci son voluti quattro giorni. Il primo piano del bar è "andato tutto", mentre il tetto di casa è stato spazzato via. Il bar l'avevo in affitto, la casa invece è di mia proprietà e sto cercando di risistemarla con varie problematiche... perizie, assicurazioni, una crepa che sembrava cosa da poco mi ha costretto a demolire l'intera scala. Poi i temporali della sera hanno dato il colpo di grazia allagando e sporcando tutto, ho dovuto buttare via letti e materassi.

Credo che dopo aver superato il tornado non ci sia più nulla che possa farmi paura nella mia vita, anzi sono convinta che non mi farà paura neanche il giorno in cui arriverà la morte. Il 9 luglio 2015 ho ricominciato un'altra vita, da quel giorno vedo la vita in una maniera completamente diversa. Il bar rappresentava i miei 30 anni di lavoro, la mia pensione, prima lavoravo da dipendente poi ho voluto crearmi qualcosa di mio, ma ho visto quanto presto si fa a perdere tutto, quindi prima di sobbarcarmi un altro debito ci penserò su".

8.2 Il punto di vista del Gruppo Comunale Volontari Protezione Civile di Dolo

Il tornado che ha colpito la Riviera del Brenta e in particolare il territorio dei comuni di Dolo, Mira e Pianiga (frazione di Cazzago) è stato uno di quegli eventi che cambia la vita delle persone. Prima di tutto a chi sono state distrutte le case, sono state ferite e addirittura, per fortuna in un solo caso, perso la vita di un familiare. I volontari del Gruppo Comunale di Protezione Civile di Dolo sono intervenuti quella sera tra i primi, allertati dal Sindaco e dagli uffici dei comuni interessati. Stessa cosa hanno fatto i Gruppi Comunali di Mira e Pianiga.

All'inizio, erano circa le 17.45, sembrava, per chi non era direttamente presente in quei minuti, un forte temporale o una tromba d'aria che aveva colpito alcuni alberi come molte volte è successo. Siamo intervenuti infatti subito per cercare di liberare la Strada Regionale 11 dagli alberi caduti all'altezza di Villa Fini. Dopo qualche minuto ci si è resi conto invece che la situazione era molto più drammatica.

Alcuni volontari si sono recati a Sambruson in via Carrezzioi, Brentelle, Seriola, Galvani e a Dolo in via Melloni, F.lli Bandiera, Ettore Tito, è stata una visione terribile, ogni casa era stata coinvolta, molte quasi completamente distrutte. Le persone erano tutte in strada, le vie impraticabili date le macerie sparse ovunque, i campi circostanti pieni di detriti, la situazione era davvero incredibile. Nei primi minuti negli abitanti c'era sgomento ma non rassegnazione. Si è cominciato subito a lavorare almeno per liberare le strade per far arrivare i soccorsi.

La dignità e l'orgoglio di quelle persone è uscito subito, forse non ci si rendeva completamente conto di quanto successo ma il panico non è mai stato tale da bloccare il lavoro. A quel punto i volontari sono tornati in sede e dopo che gli enti e le istituzioni hanno raggiunto le 3 sedi locali di protezione civile (Dolo, Cazzago e Mira), si sono stabilite le priorità, le modalità di intervento e le azioni da mettere in campo.

Successivamente, mantenendo 3 Centri Operativi Comunali nei 3 comuni e con l'aiuto di volontari di tutta la provincia e dalle altre province del Veneto, sono stati approntati gli interventi in accordo con Prefettura, Vigili del Fuoco, Croce Rossa, Polizia Locale, Carabinieri, Polizia di Stato, Amministrazioni Comunali, Provinciali, Regionali.

Nei giorni successivi si è poi manifestato quello splendido aiuto che la popolazione locale, associazioni, studenti, giovani e meno giovani hanno dato. Si è trattato quindi di coordinare in qualche modo questo enorme aiuto (stiamo parlando di circa 2000 persone nei 3 comuni). Il Gruppo Comunale dolese vuole approfittare dell'occasione per ringraziare ancora una volta per questo fondamentale aiuto senza il quale l'emergenza sarebbe stata molto più impattante. I volontari del Gruppo di Dolo si sono quindi dedicati, su incarico delle autorità, alla gestione della sala operativa, alla messa in sicurezza di alcune zone, al presidio delle aree colpite, all'approvvigionamento alle popolazioni e ai volontari, alla logistica, allo stoccaggio dei materiali in aiuto, al raccordo con gli amministratori e i funzionari comunali.

Nel frattempo le popolazioni colpite hanno continuato a lavorare ininterrottamente per tornare ad un minimo di normalità, gli aiuti sono sempre arrivati con generosità da territori vicini ma anche lontani. Gli episodi di altruismo sono stati tantissimi, c'è stato per esempio chi, pur avendo avuto distrutta l'attività lavorativa, si è preoccupato di procurare a proprie spese acqua e viveri per le altre persone colpite. Il comune di Dolo ha contattato anche un gruppo di psicologi dell'emergenza che si sono attivati in soccorso delle popolazioni colpite e anche dei volontari che in questi casi possono essere colpiti da stress e stanchezza psicologica rilevante. Un altro aiuto fondamentale arrivato dai volontari di protezione civile del bellunese e vicentino, formati al riguardo, è stato quello della copertura dei tetti scoperti con appositi teli.

L'emergenza è durata fino al 19 luglio (24 ore al giorno) con l'impiego di 26 volontari del gruppo di Dolo e con l'aiuto di circa 250 volontari degli altri Gruppi della Regione. Successivamente i volontari sono stati impegnati per l'informazione alle popolazioni colpite circa gli adempimenti da svolgere per i rimborsi o la distribuzione delle erogazioni liberali che sono arrivate. In definitiva il lavoro dei volontari è stato duro ed impegnativo ma nulla in confronto a quanto affrontato da chi ha perso la casa, i ricordi di una vita e la serenità, che speriamo di aver contribuito in minima parte a ritrovare.

Per un volontario infatti c'è sempre l'impressione di non poter fare abbastanza, qualche volta ci sono stati motivi di polemica con alcune famiglie colpite ma poi, parlandosi, si è sempre tutto appianato anzi si sono instaurate e alimentate vere amicizie. Essere in contatto con la dignità e il coraggio di chi ha dovuto vivere questo dramma, le piccole e grandi difficoltà affrontate, ci hanno sicuramente fatto crescere.

8.3 Che cos'è il trauma

Quando ci è stato chiesto di scrivere questo capitolo ci siamo consultate più volte e alla fine ci siamo dette che avremmo voluto impostare questo lavoro evitando troppi tecnicismi in modo che fosse un linguaggio accessibile a tutti. Il nostro scopo è quello di far comprendere quanto sia difficile per qualsiasi essere umano trovarsi coinvolto in eventi disastrosi e terribili come quello causato dal tornado.

Il trauma può essere definito come una risposta emotiva ad un terribile evento come un incidente, un evento naturale o qualsiasi fatto che può mettere a rischio l'integrità fisica e psicologica di una persona. Gli eventi naturali, come per esempio alluvioni, tornado, incendi, terremoti, eruzioni vulcaniche, ecc. sono caratterizzati dal fatto che coinvolgono più persone contemporaneamente e possono causare traumi su larga scala, altro aspetto particolare è che un disastro naturale non è legato alla volontà dell'uomo, di conseguenza non è possibile individuare un responsabile rispetto al fatto accaduto e questo da un punto di vista psicologico può essere più difficile da accettare per le persone coinvolte.

La mente dell'uomo è sorprendente, molte volte non ci rendiamo conto dei meccanismi che riesce a mettere in atto per far fronte alla vita ed è ancora più sorprendente se pensiamo che davanti ad un trauma il suo modo di reagire segue delle procedure per difendersi dalla "ferita psicologica". Ogni individuo che viene sottoposto ad un evento traumatico può manifestare diversi tipi di reazione che, se non elaborati, possono condurre alla formazione di comportamenti psicopatologici.

Il National Center for Post-Traumatic Stress Disorder ha individuato le componenti comuni nei trattamenti per il DPTS (disturbo post traumatico da stress), sebbene sottolinei che la terapia deve iniziare con un assessment accurato e la conseguente formulazione di un piano di trattamento specifico per i bisogni del singolo paziente. In genere, il trattamento specifico per il DPTS inizia quando la persona non è più esposta alla fonte di sofferenza o in seguito al trattamento di altre condizioni urgenti, quali grave depressione, idee di suicidio, crisi di panico, disorganizzazione del pensiero, abuso di sostanze, ecc.

8.4 Il trauma espresso attraverso le interviste della popolazione colpita

Comprendere cosa avviene nella mente delle persone è sicuramente un primo passo per capire come intervenire e come agire per impedire che un evento catastrofico possa lasciare le sue cicatrici a vita. Durante le interviste che sono state fatte alla popolazione colpita dal tornado si può notare come ci si trovi davanti a qualcosa che ha stravolto la quotidianità delle persone, del loro intimo, della loro vita. Se un essere umano si trova ad affrontare qualcosa di terribile ed estremamente minaccioso la prima reazione è di paura, emozione importante per la sopravvivenza umana. Questo vissuto scaturisce dall'amigdala, struttura cerebrale che elabora le risposte emozionali davanti a determinate situazioni. Quando siamo sottoposti a situazioni minacciose, la prima cosa che facciamo è raccogliere informazioni sensoriali su quello che sta accadendo (immagini, suoni, odori, ecc.). Nei racconti delle persone coinvolte vediamo che tutti riportano memorie sensoriali rispetto alla situazione che stavano vivendo *“forte vento a raffiche, cose che volavano in giro”, “ho sentito il vento del demonio”, “ricordo il temporale, ricordo quel rumore, ricordo quell'odore macabro, non dimenticherò mai una mamma che si gira e che vede il proprio figlio sotto un muro, non andrà mai via dalla testa”*.

I sensi sono i primi addetti a raccogliere informazioni, non è importante capire subito cosa stia succedendo, è importante capire se sta capitando qualcosa di potenzialmente dannoso, come racconta Maria: *“Mi sono riparata in fondo su un cartone dicendo Gesù Gesù cosa succede! Il rumore sembrava quello del tempo di guerra, dei bombardamenti: io ero piccolina ma mi ricordo qualcosa”*. L'amigdala, che può essere definita come un centro di regolazione emotiva, raccoglie queste informazioni e innesca un pattern comportamentale spontaneo, in questa “comunicazione di urgenza” il cervello non sempre ritiene che sia essenziale avere una valutazione dell'elaborazione cognitiva dell'evento, è come se ragionasse dicendo “prima mi difendo e poi cerco di capire cosa sia successo”.

Nelle interviste riportate abbiamo avuto modo di cogliere proprio questo, prima venivano espresse le proprie percezioni e poi, finito il pericolo, vi era una valutazione cognitiva e più cosciente dell'accaduto. Anche il racconto di Silvia ci aiuta a comprendere questo meccanismo *“Pensavo solo a un temporale brutto. In casa, finché sistemavo il letto, ho sentito dei colpi, era tempesta grossa come arance, quindi tiro giù le persiane, poi sento altri colpi e quindi il vento che sembrava fosse un aereo che stesse parcheggiando sopra la mia casa. Un rumore assordante che avrò sempre nelle orecchie. Vado giù in cucina e lì iniziano a scoppiare i vetri, per istinto (o per non so cosa) torno su di due gradini e vedo così passarmi davanti i frammenti di vetro senza per fortuna essere colpita”. [...]* *“La nostra anziana vicina in cucina teneva con una mano la porta del bagno che si era staccata e con l'altra tirava su la roba per metterla sul tavolo. Mi ha risposto: “Ciao bea, ma che rassa de vento ghe se sta?”. Non si era resa conto, anche le sue porte non si aprivano, poi sono riuscita a portarla fuori ed ha fatto un sospiro: “Ma sono stati i tedeschi?” “No è stata una tromba d'aria!”. Allora ha realizzato e ha provato a cercare sua figlia.”*

Dopo il lavoro dell'amigdala si attiva un'altra struttura cerebrale chiamata talamo, un centro nervoso che svolge un ruolo di integrazione delle funzioni nervose, ricevendo le informazioni sensitive provenienti dagli altri centri nervosi e le analizza, per poi trasmetterle alla corteccia cerebrale. Più precisamente, il talamo interviene nello schema corporeo (coscienza globale del corpo), funge da collegamento lungo le vie nervose visive e uditive che raccolgono dai sensi le informazioni e decide la risposta comportamentale e vegetativa da dare al nostro cervello il quale reagisce alla situazione traumatica attivando un'altra parte importante, l'ippocampo. Questa struttura cerebrale ci aiuta ad elaborare il ricordo dell'esperienza vissuta trasformandola in memoria a lungo termine.

Quando ci si trova esposti a un evento traumatico, tale processo può essere alterato da un elevato livello di arousal. Numerosi studi hanno dimostrato che i soggetti traumatizzati rispondono a stimoli che sollecitano la rievocazione del trauma con significativi aumenti del ritmo cardiaco, della conduttività tissutale e della pressione sanguigna. Nelle interviste della popolazione molti riportano questo stato di attivazione continuo: *“Adesso abbiamo più paura quando arrivano i temporali, abbiamo messo delle grosse viti nelle travi, per toglierli dovrebbero partire anche i muri”*. Molti riferiscono, per l'appunto, che dopo quella esperienza la loro mente e il loro cervello si attivano anche per stimoli innocui o non pericolosi. Se non si interviene ad aiutare le persone coinvolte in un disastro, si può aprire la strada alla formazione di problemi più marcati come quello che viene definito il disturbo post traumatico da stress.

8.5 Come aiutare le persone colpite

Come abbiamo già detto, un evento naturale può causare delle ferite molto profonde in quanto coinvolge molti aspetti importanti della propria vita. Ipotizziamo di avere una casa, di cui stiamo pagando il mutuo, e di aver appena finito di montare la nuova cucina, inaugurata il giorno prima con una cena tra amici. L'immaginario legato a quel nuovo ambiente, progettato e sudato, trova al suo interno tante soddisfazioni future legate alla realizzazione di un desiderio. Immaginiamo che in pochi istanti il tutto venga distrutto, spazzato via. La mente umana ricerca continuamente un filo che lega causa-effetto, cercando di razionalizzare la realtà circostante, mantenendo di conseguenza un controllo su di essa. Eventi come un tornado, nel momento in cui si manifestano, portano con sé irrazionalità e imprevedibilità, portando le vittime dello stesso a cercare comunque di dare delle spiegazioni all'accaduto; plausibile che vengano dati significati irrazionali, su un piano più auto-centrato o scaramantico. Difficile arrivare alla piena accettazione di quanto accaduto, valutando le conseguenze su un piano sanitario, economico, di perdita; lo stress conseguente può portare a sentimenti di disperazione e panico.

Ogni persona porta con sé un bagaglio, all'interno del quale si trovano esperienze di vita, livelli più o meno elevati di autostima, educazione ricevuta, modelli di vita, rinforzi, punizioni e una grossa lente attraverso la quale si possa scrutare la realtà circostante, vedendola grigia o colorata, accogliente o pericolosa, semplicemente bella o brutta. È molto difficile ipotizzare una reazione standard ad un evento traumatico, questo doveroso preambolo ci spinge alla comprensione delle peculiarità di ogni singolo individuo che hanno un'importanza fondamentale nella previsione della reazione ad un evento. Previsione che, per quanto possa essere puntigliosa e dettagliata, probabilmente si avvicinerà solamente al comportamento manifesto.

Il trauma è un'esperienza forte che si imprime nella memoria e che può essere richiamato in ogni momento attraverso esperienze sensoriali che normalmente verrebbero vissute come neutre. Un odore, un colore o un'immagine, per quanto di poco significato, possono riportare pensieri ed emozioni ad uno specifico momento o situazione vissuti nel corso dell'evento. Il soggetto traumatizzato spesso riporta una specifica difficoltà nello spiegare cosa abbia visto o sentito mentre si trovava nel "vortice" della situazione traumatica. È usuale avere la sensazione, che spesso si tramuta in certezza, che vi sia una sorta di impossibilità nel trasmettere ad altri quello che si è vissuto; questa sensazione via via si cristallizza e arriva alla certezza che nessuno potrà mai veramente capire, emerge di conseguenza un forte senso di solitudine. Il sentirsi soli porta ad aumentare il senso di impotenza che usualmente si prova in seguito ad un danno naturale, l'esperienza vissuta crea una sorta di frattura tra la quotidianità vissuta fino ad ora e l'immaginario relativo alla vita futura.

Avere una rete sociale e la possibilità di poter esprimere il proprio vissuto facilita l'emersione di quel bagaglio emotivo, che agisce al nostro interno proprio come un vortice e che non trovando spazio distrugge lentamente tutto ciò che trova sulla sua strada. Il modello di solidarietà italiano è una delle cose che ci contraddistinguono, solitamente nei primi istanti successivi al disastro ambientale organizzazioni e singole persone si ritagliano tempo e spazi per andare ad aiutare le persone colpite. Molto spesso i telegiornali riportano la notizia di una macchina organizzativa complessa che si mette in moto fluidamente, senza particolari intralci burocratici e fornendo un aiuto dignitoso, silenzioso ed efficace.

Un esempio abbastanza recente ed esemplare rispetto all'argomento trattato lo si può trovare pensando al terremoto dell'Aquila. In tale occasione, ricordiamo che uno dei gruppi di volontari più numerosi fu quello friulano, che porta con sé da generazioni il ricordo del disastro del Vajont. Crediamo che, oltre all'aiuto materiale decisamente significativo apportato da queste persone, vi sia un ulteriore vantaggio non indifferente a livello psicologico, che passa attraverso un importante canale empatico e che potrebbe essere tradotto così in parole: "Non c'è bisogno che diciate nulla, sappiamo cosa si prova". Questa vicinanza, unita a quella di individui che non hanno vissuto eventi di tale portata, non annulla l'aspetto traumatico ma porta alla consapevolezza che non si è soli e favorisce lo sviluppo della resilienza, definita come la capacità di ogni individuo di far fronte ad eventi traumatici, di riorganizzare la vita in base alle proprie risorse, allontanando così l'attenzione dal lutto derivante da ciò che si è perso per arrivare a reinventarsi con ciò che si possiede.

Come dicevamo in precedenza, ogni individuo reagisce in modi differenti ad uno stesso evento, è possibile notare persone preda di un'inconsolabile disperazione affiancate da persone apparentemente tranquille e impermeabili ad ogni sorta di tristezza. Statisticamente, si è notato come sia proprio l'individuo "tranquillo" maggiormente a rischio di sviluppare sintomi legati alla sintomatologia post traumatica. Un'ipotizzabile difficoltà nell'esternare i propri sentimenti, sensazioni e credenze, può portare a sviluppare condotte "di distrazione", con lo scopo di annullare il pensiero o il ricordo pressante di un momento del trauma, attraverso comportamenti che possano alterare la coscienza disturbata e affollata di ricordi e pensieri spiacevoli. Il tutto può risultare efficace in un primissimo momento, portando tuttavia l'individuo alla consapevolezza che nulla può fare per sfuggire a tutto ciò, rischiando di sviluppare sentimenti di depressione.

Non ci stancheremo mai di ripetere quanto sia importante parlare o esternare i propri ricordi e le proprie emozioni, lo si può fare con amici, con professionisti, attraverso un racconto, un diario, un disegno. Mi piace l'idea di poter esemplificare il funzionamento psicologico dell'essere umano attraverso la metafora della pentola a pressione. È uno strumento da cucina conosciuto ai più, seppur non sempre usato nella quotidianità, per cucinare ottimi piatti riducendo i tempi di cottura, ma con dei rischi. Esiste infatti una valvola di sicurezza che permette al vapore in eccesso di uscire all'esterno, permettendo alla giusta quantità dello stesso di rimanere dentro la pentola e continuare la cottura nel migliore dei modi. Se quel vapore in eccesso non potesse uscire, creerebbe una pressione tale da far esplodere la pentola con conseguenze che tutti noi conosciamo.

La prevenzione di problematiche psicologiche passa attraverso la comunicazione e la verbalizzazione. Queste due pratiche, all'apparenza banali, non elimineranno il disagio e la sofferenza provate dalla persona, ma permetteranno di poter fare qualcosa per migliorare concretamente i propri pensieri e le proprie emozioni (anche attraverso l'esempio di pensieri ed emozioni altrui), facendoci ritrovare un'identità di protagonista della nostra vita. Una persona, magari zoppa e ferita, può ritrovare ancora un po' di energia per muoversi e per decidere di poter fare qualcosa di concreto per risolvere i problemi, togliendosi quindi dall'idea di essere uno spettatore inerme ed impotente, come probabilmente si sarà sentito nel corso dell'evento traumatico. Attraverso la verbalizzazione dell'accaduto è possibile circoscriverlo, relegandolo ad un evento dell'esperienza, ed evitare che lo stesso diventi parte fondamentale della vita stessa di una persona; è possibile, altresì, aprire la strada che porta alla possibilità di riesaminarlo nelle varie fasi in maniera più razionale e con il tempo più distaccata, lasciando spazio ad altri eventi fondanti che possono avere un significato più produttivo e positivo.

9. CLIMATOLOGIA DEI TORNADO IN VENETO

di Pierluigi Randi, Daniele Bianchino e Alberto Gobbi

9.1 Supercelle e tornado: il Veneto una delle regioni a maggior rischio

Se certamente l'evento dell'8 luglio 2015 è da annoverarsi tra i più severi della recente storia meteorologica regionale, ma non solo, occorre precisare che proprio il Veneto non è nuovo ad episodi di questo tipo e, a causa di diversi fattori concomitanti, è considerata tra le zone della penisola a rischio più elevato di temporali a supercella e tornado. Senza scomodare gli storici tornado del 24 luglio 1930 (tromba del Montello) e dell'11 settembre 1970 (padovano e veneziano), la storia meteorologica della regione è ricca di eventi di tempo severo, con particolare riferimento a tornado mesociclonici ma anche a landspout (tornado non mesociclonici) e waterspout (trombe marine) sul litorale ed alto Adriatico.

Tralasciando le dinamiche che possono determinare l'insacco di waterspout, le quali sono leggermente diverse rispetto a quanto accade in genere sulla terraferma, vale la pena soffermarsi sui fattori principali all'origine dei fenomeni vorticosi che con una discreta frequenza interessano il comparto pianeggiante veneto, con particolare riferimento al settore centrale ed orientale fino ad approcciare la linea di costa (trevigiano meridionale, padovano, veneziano). Non è infatti un caso che proprio in quelle zone si abbia una densità di temporali a supercella ma anche di tornado tra le più elevate della penisola.

Per affrontare l'argomento potremmo azzardare un parallelo, sia pure con le dovute e rigorose proporzioni, con quello che accade oltreoceano, ovvero nella patria per eccellenza di questo tipo di fenomeno, le Great Plains americane, vale a dire la celebre "Tornado Alley", scoprendo che, sebbene a scala assai più ridotta, esistono alcune analogie, particolarmente in merito ai modelli di circolazione alla mesoscala che risultano all'origine dei fenomeni. La geografia del nord-America è unica e le forzanti, sia a scala sinottica che alla mesoscala, che conducono alla genesi di tempo severo sono praticamente irriproducibili sul resto del mondo proprio per la particolare disposizione delle superfici marine, dei rilievi e a causa della vastità del comparto pianeggiante.

Il ruolo di protagonisti viene assunto rispettivamente dal Golfo del Messico, dalle Montagne Rocciose, con asse disposto da nord a sud, e dalla vasta area continentale pianeggiante. I modelli di tempo instabile o perturbato che in genere si verificano nel periodo primaverile favoriscono il concomitante arrivo, nella zona delle grandi pianure, di tre masse d'aria assai diverse tra loro:

- 1) Aria calda e umida di origine marittima affluisce da sud-est attraverso il Golfo del Messico, in particolare nei bassi strati, e porta grandi quantità di calore sensibile e umidità specifica che incrementano sensibilmente i valori di CAPE.
- 2) Aria calda e secca di origine continentale, che risale da sud-ovest attraverso il Messico, con particolare riferimento agli strati medio-bassi, e che confluendo con quella calda e umida da sud-est intensifica notevolmente i parametri di wind shear di basso livello.
- 3) Aria fredda e secca di origine continentale, che da ovest o nord-ovest giunge, dapprima in quota, dalle Montagne Rocciose o dal comparto canadese. Essa contribuisce a determinare un elevato gradiente termico verticale incrementando nel contempo i parametri di wind shear di medio ed alto livello.

Infine, il suddetto modello di circolazione coincide quasi sempre con il transito della corrente a getto polare ad alta quota (jet stream), che le stesse Montagne Rocciose, a causa del loro orientamento nord-sud, contribuiscono a far ondulare sensibilmente, con un intenso ramo sud-occidentale che va a sovrapporsi ad alta quota alle condizioni di convergenza di diverse masse d'aria nei bassi strati. Il modello di circolazione, leggermente idealizzato, è indicato in Fig. 9.1.



Fig. 9.1 - Tipico modello di circolazione favorevole a tempo severo nella Tornado Alley. Fonte: SPC-NOAA.

Come si può notare, le condizioni che vengono a determinarsi su tutta la troposfera sono alquanto particolari e la massima frequenza di temporali a supercella e tornado si verifica lungo o subito davanti alla dry line (fronte secco) che delimita la massa d'aria calda e umida che da SE risale dal Golfo del Messico e quella calda e secca che rimonta da SW. Non a caso la dry line è l'obiettivo principale dei cacciatori di tempeste e/o tornado.

In particolare, l'afflusso marittimo dal Golfo del Messico, associato alla presenza in loco di aria assai calda nelle grandi pianure, fa sì che in quelle aree i valori di CAPE siano estremamente elevati. Molto CAPE assicura moti convettivi assai intensi e prolungati, ma in genere non è il fattore essenziale nel determinare rotazione atta ad innescare mesocicloni e tornado. Elevati valori di speed e directional wind shear incidono in misura inferiore sull'intensità e profondità dei moti convettivi, ma facilmente imprimono ad essi la rotazione. L'accoppiata "molto CAPE" e "molto wind shear" rende più probabili temporali a supercella con mesocicloni e tornado.

Si può allora eseguire un parallelo tra le forzanti tipiche di quelle zone e la Pianura Padana, con particolare riferimento a quella veneta? In parte sì, fatte le debite proporzioni. È bene premettere che le condizioni di wind shear e CAPE non sono le stesse sulle varie zone del pianeta. Nella "Tornado Alley" spesso abbondano simultaneamente CAPE e wind shear con fenomeni sovente assai violenti.

In Italia la situazione è sostanzialmente diversa con maggiore frequenza di casi nei quali è molto elevato il wind shear, specie di medio e soprattutto basso livello a causa delle forzanti orografiche, ma non altrettanto il CAPE, il quale raggiunge solitamente valori ragguardevoli solo in piena estate o in caso di importanti e prolungate invasioni di aria calda di origine sub-tropicale. Nel nostro paese, infatti, l'instabilità termodinamica (CAPE) non è generalmente così importante come negli altri paesi (USA e Europa continentale), e si dimostra più affine alle condizioni tipiche della Grecia e dell'Inghilterra. Tuttavia, in Italia la complessa orografia (Alpi, Appennino, profili costieri) tende a modulare e forzare sensibilmente il wind shear, specie directional, di basso livello, con incremento dei parametri di elicità 0-1 km e/o 0-3 km, ritenuti importanti nella tornadogenesi.

Così come vale per le grandi pianure degli Stati Uniti, anche l'Europa ha le sue “supercell alleys” e talora “tornado alleys”, come indicato in Fig. 9.2, le quali riguardano le zone continentali di Francia, Benelux e Germania (zona 1), e l'area dei paesi danubiani fino alla penisola balcanica (zone 2 e 3). Si nota però una zona 4, comprendente l'area della Pianura Padana, anch'essa a rischio discretamente elevato. Nelle prime tre zone le condizioni particolarmente favorevoli alle supercelle tornadiche sono il risultato di una commistione tra elevati valori di CAPE (forte riscaldamento primaverile-estivo delle aree continentali) e di wind shear (transito della corrente a getto polare ad alta quota).

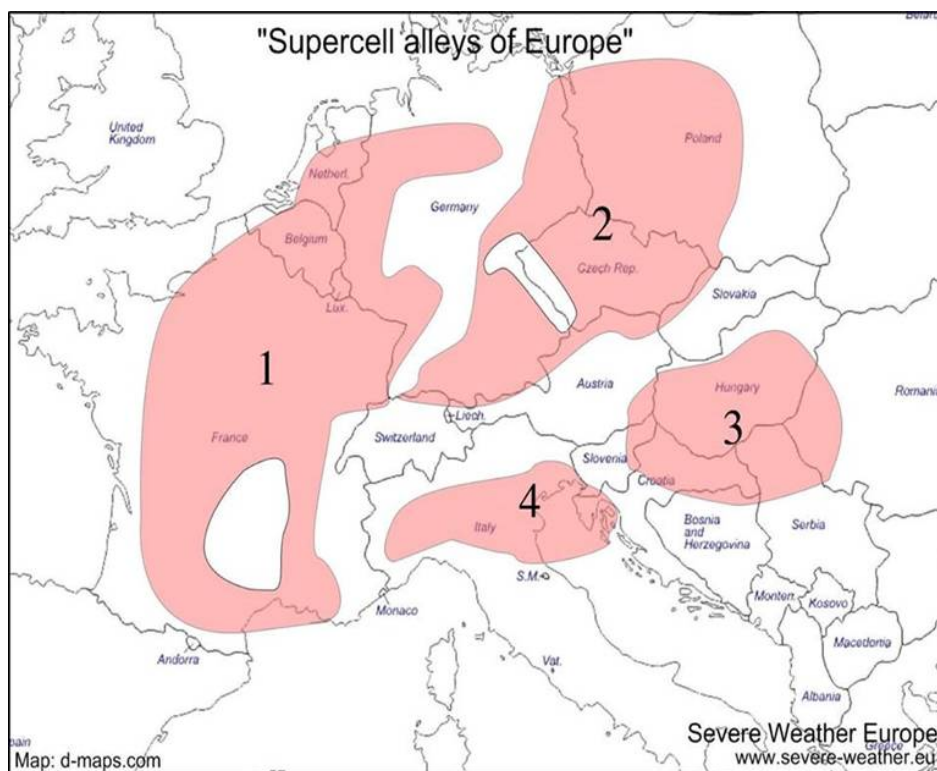


Fig. 9.2 - Mappa di rischio dei temporali a supercella in Europa. Fonte: www.severe-weather.eu

L'area padana mostra invece più spesso valori di CAPE inferiori rispetto alle zone continentali situate oltralpe, ma con valori di wind shear positivo simili se non superiori, dovuti non tanto al transito del jet stream ad alta quota, che specie in estate tende a scorrere a nord delle Alpi, quanto per la presenza simultanea della catena alpina e di quella appenninica i cui flussi orografici, legati sia alle condizioni sinottiche che all'eventuale attività temporalesca in loco, sono in grado di incrementare sensibilmente i parametri di directional wind shear di basso livello una volta giunti nelle adiacenti aree pianeggianti.

Il Veneto, a sua volta, ha una conformazione geografica ancora più particolare (così come l'Emilia, sebbene in misura inferiore) che a piccola scala riproduce sommariamente le condizioni classiche delle Great Plains americane qualora la situazione sinottica sia incline a determinare fasi instabili:

- 1) Al posto del Golfo del Messico abbiamo il mare Adriatico, certamente le dimensioni non sono nemmeno lontanamente paragonabili, senza dimenticare che il Golfo del Messico si trova a latitudini ben più meridionali (fascia tropicale). Tuttavia, anche l'Adriatico contribuisce a far affluire masse d'aria calda ma soprattutto molto umida nei bassi strati che rientrano da est o sud-est sul Veneto orientale. In tal modo si incrementano i valori di CAPE in bassa troposfera.
- 2) Al posto del flusso caldo e secco proveniente dal Messico (Great Plains) abbiamo una corrente calda e secca di origine orografica, la quale avanza da SW dopo essere discesa dall'Appennino ed aver invaso la pianura emiliana. Essa si comporta come una tipica dry line, con la differenza che quest'ultima è legata alla presenza della catena appenninica, ed andando a confluire con il flusso caldo-umido da E o SE favorisce una netta intensificazione del directional wind shear di medio e basso livello, oltre a determinare forti moti verticali.
- 3) Al posto della corrente fredda e secca in arrivo dai quadranti occidentali o nord-occidentali attraverso le Montagne Rocciose abbiamo flussi settentrionali di origine orografica-alpina, sia per l'infiltrazione dell'aria fredda attraverso le vallate, sia per le correnti di outflow di sistemi temporaleschi innescatisi in loco, le quali avanzano rapidamente verso la pianura andando ad interferire con le due masse d'aria prima citate. Altra aria fredda e secca può facilmente sopraggiungere da nord-est o da est-nord-est attraverso il golfo di Trieste, particolarmente quando fronti freddi aggirano le Alpi portandosi in direzione dell'Istria.
- 4) Aria molto calda e umida può ristagnare sulle zone della pianura veneta, soprattutto tra la tarda primavera e l'estate, e tale caratteristica è legata alla circolazione su scala locale tipica del semestre caldo, andando a costituire un classico PBL della Pianura Padana nel quale, anche in assenza di avvezioni di masse d'aria, si determina un notevole accumulo di aria potenzialmente molto instabile.

Gli elementi di cui sopra, sebbene su scala decisamente più ridotta, sono comunque almeno in parte affini a quanto accade oltre oceano, con l'intervento di almeno tre distinti tipi di massa d'aria i quali, in caso di circolazioni depressionarie legate a fasi di instabilità, possono facilmente essere messi in interazione tra di loro. Uno schema di massima nel quale sono riportate le principali masse d'aria che agiscono in queste particolari situazioni è riportato in Fig. 9.3; la posizione del confine delle masse d'aria è chiaramente idealizzato e può variare in base al singolo episodio e alle dinamiche ad esso eventualmente collegate.

L'area padana del Veneto è più incline di altre ad innescare tempeste severe proprio per la maggiore facilità con la quale vanno a confluire masse d'aria di estrazione e caratteristiche assai diverse tra di loro, le quali contribuiscono a determinare la chiusura di minimi barici alla mesoscala. In pratica, una "supercell alley" o "tornado alley" di limitata estensione.

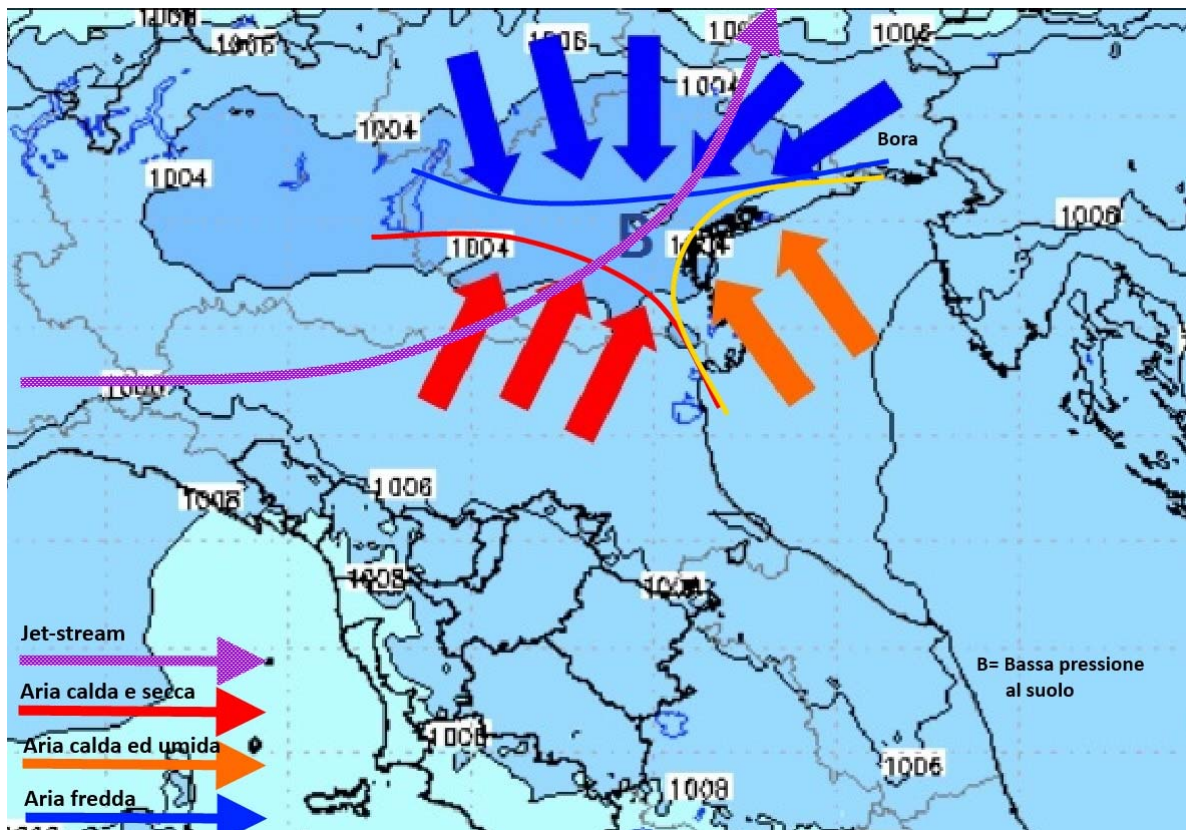


Fig. 9.3 – Schema raffigurante il jet stream in quota e la convergenza al suolo sulla pianura veneta delle masse d’aria.

Inoltre, occorre considerare che la stagione calda (maggio-settembre) si sta dimostrando la più sensibile in tema di incremento delle temperature, sta subendo una sempre maggiore frequenza ed intensità di onde di calore sub-tropicali, con valori medi di CAPE più elevati rispetto al passato. E se da un lato abbiamo appurato che il CAPE non è l’elemento essenziale per determinare rotazione, dall’altro è pur vero che favorisce convezione profonda e prolungata in grado di incrementare il tilting (inclinazione) e lo stretching (allungamento) verso l’alto dei tubi di vorticità eventualmente formati.

Ecco perché estati sempre più calde potranno avere un ruolo non del tutto marginale nell’accrescere sensibilmente l’incidenza di tempeste severe a causa del passaggio da un mix “poco CAPE molto shear” ad un mix “molto CAPE molto shear” che avvicina l’area della pianura veneta alle condizioni tipiche che si riscontrano sulle aree continentali europee. Da non sottovalutare, infine, il ruolo esercitato dalle masse d’aria africane la cui prerogativa è quella di incrementare l’instabilità termodinamica della colonna d’aria attraverso i processi visti nel capitolo 2. Non a caso l’attività temporalesca, concomitante o successiva ad importanti avvezioni di aria sub-tropicale, assume con facilità notevole violenza particolarmente sul comparto padano.

9.2 I fattori meteorologici responsabili del tornado dell'8 luglio 2015

I risultati delle analisi meteorologiche riportate nel capitolo 1 (*Analisi sinottica e a mesoscala*) e nel capitolo 2 (*Analisi termodinamica e di stabilità atmosferica*) rispecchiano fedelmente il modello di circolazione atmosferica, riportato nel sottocapitolo 9.1, incline alla genesi di supercelle tornadiche sulla pianura veneta. Si elencano di seguito i principali fattori meteorologici, illustrati nei suddetti capitoli, ordinati secondo il loro presunto grado di influenza in relazione alla genesi e all'evoluzione della supercella tornadica dell'8 luglio 2015 che ha colpito i comuni di Pianiga, Mira e Dolo.

1. Thermal boundary e convergenza di diverse masse d'aria al suolo (shear in direzione)
2. Forte riscaldamento e generazione di minimi barici al suolo (flusso sciroccale dal mare)
3. Inversione termica in quota e aria caldo-umida nel PBL (aumento del CAPE)
4. Aria fresca nella media troposfera (gradiente termico verticale)
5. Saccatura in medio-alta troposfera con aria secca e moderata divergenza (shear in velocità)

Da questo elenco si intuisce che le principali dinamiche che hanno innescato il mesociclone e il tornado annesso si sono manifestate negli strati più bassi della troposfera, tuttavia si sottolinea il probabile ruolo, non certo trascurabile, svolto dall'intrusione secca nella medio-alta troposfera rispetto alla tornadogenesi, mentre la divergenza del vento sul piano isobarico di 300 hPa non è apparsa così marcata, ma si è comunque rivelata sufficiente a predisporre anche i livelli superiori a convezione profonda.

9.3 Analisi dei tornado storici e recenti in Veneto

La mappa riportata in Fig. 9.4 rappresenta graficamente la probabilità della formazione di tornado, suddivisi per classi di intensità, elaborata sulla base della frequenza e della violenza dei fenomeni storici occorsi, di quelli recenti più rilevanti e degli eventi vorticosi estrapolati dal database ESWD (European Severe Weather Database, <http://www.eswd.eu>).

Nella mappa sono stati considerati gli eventi tornadici documentati con foto, video o corredati da un rilievo dei danni al suolo che confermasse l'origine vorticoso del fenomeno con l'esclusione quindi degli eventuali casi di downburst (raffiche di vento lineari).

In assenza di tali elementi di valutazione, come nel caso degli eventi storici, l'attribuzione della natura tornadica dell'evento si è basata sui racconti degli autori che parlassero esplicitamente di tornado con il ricorso a termini del tipo “*turbini*”, “*vortici*”, “*trombe*”, “*colonne*”, “*imbuto*”, ecc.

Con particolare riferimento alla regione Veneto, si può notare che l'area compresa tra il padovano, il veneziano e il trevigiano è quella soggetta al maggior rischio di tornado forti o violenti a causa dell'interazione tra i fattori illustrati nel sottocapitolo 9.1.

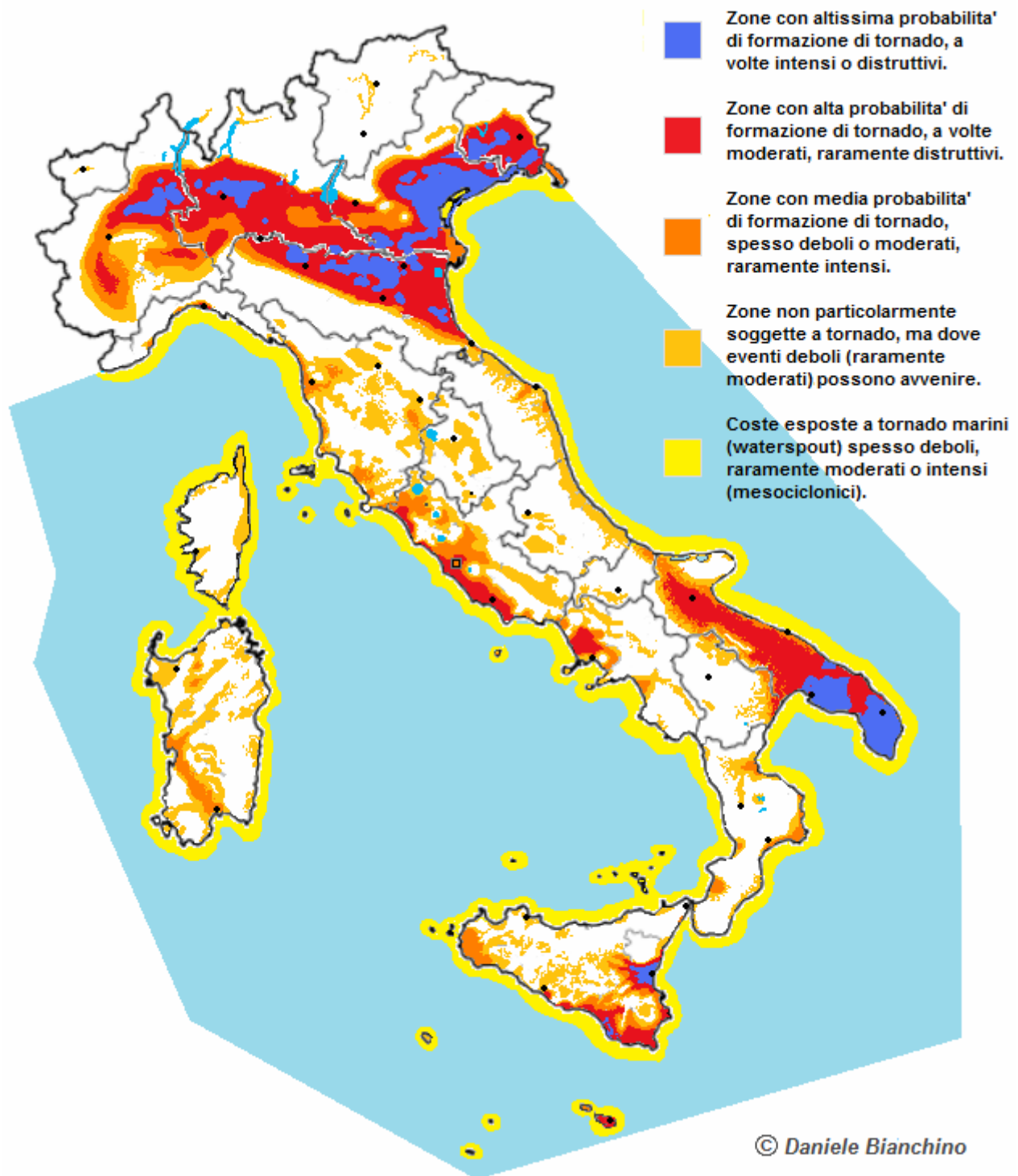


Fig. 9.4 – Mappa della probabilità di formazione di tornado sul territorio nazionale elaborata da Daniele Bianchino.
 Fonte: <http://tornadoitalia.altervista.org/>

Si riporta di seguito un elenco degli eventi tornadici conosciuti che hanno interessato la regione Veneto (fonte: <http://tornadoitalia.altervista.org> e pagina Facebook “Tornado in Italia”), dal quale si evince che il fenomeno “tornado” o “tromba d’aria” (i due termini sono sinonimi) avveniva già in epoca antica, nonostante vari cittadini non siano neppure a conoscenza del violento tornado verificatosi l’11 settembre 1970. Nel caso degli eventi storici, la stima dell’intensità del vortice secondo la scala F è del tutto indicativa e priva di un reale valore scientifico, essendo basata su testimonianze o racconti dell’epoca. Per gli anni 2014-2015 è indicata anche la tipologia di vortice.

03/10/2015, tornado F0 a San Donà di Piave (VE) - **landspout**
14/09/2015, tornado F1 a Morgano (TV) - **mesociclonico**
13/09/2015, tornado F0 a Campodoro (PD) - **mesociclonico**
08/07/2015, tornado EF3 a Pianiga-Dolo-Mira (VE) (percorso 11 km) - **mesociclonico**
13/10/2014, tornado F1 a Melara (RO) - **mesociclonico**
23/08/2014, tornado F0 a Eraclea (VE) - **mesociclonico**
23/05/2014, tornado F0 a Cavarzere (VE) - **mesociclonico**
28/04/2014, tornado F0 a San Martino di Venezze (RO) - **landspout**
27/04/2014, tornado F0 a Canda (RO) - **landspout**
23/03/2014, tornado F1 a Maserada sul Piave (TV) - **landspout**
25/05/2013, tornado F0 a Mirabella-Breganze (VI)
27/04/2013, tornado F0 a Brugine (PD)
31/08/2012, tornado F1 a Brugine (PD)
12/06/2012, tornado F2 a Sant'Elena-Venezia
08/11/2010, tornado F0 a Montecchio Maggiore (VI)
19/06/2010, tornado EF1 a Fossò (VE)
06/06/2009, tornado F3 a Vallà di Riese Pio X (TV)
29/04/2009, tornado F0 a Pontelongo (PD)
19/03/2009, tornado F0 a Zermeghedo (VI)
06/07/2008, tornado F2 a Salboro (PD)
09/07/2007, tornado F1 sull'Alpago-Lago di S. Croce (BL)
26/05/2007, tornado F1 a S. Michele al Tagliamento (VE)
21/08/2004, tornado F1 a Caorle (VE)
20/08/2004, tornado F0 a Vicenza-Bertesina (VI)
13/08/2004, tornado F2 a Montecchio Precalcino (VI)
18/06/2003, tornado F0 a Legnago-Cerea (VR)
07/07/2001, tornado F1 a Trebaseleghe-Massanzago (PD)
21/07/1997, tornado F2 a Bibione (VE)
23/06/1997, tornado multi-vortex su area rurale di Correzzola (PD)
24/06/1993, tornado F2 a Lendinara (RO)
08/06/1990, tornado F2 a Boara Pisani (PD) e Boara Polesine (RO)
04/07/1989, tornado a Cavarzere (VE)
02/08/1983, tornado F2 a San Zenone degli Ezzelini (TV)
24/07/1983, tornado F2 a Enego (VI)

11/09/1970, tornado F4 tra padovano e veneziano (percorso 60 km)
22/06/1958, tornado F2 a Badia Polesine (RO)
24/07/1930, tornado F5 tra trevigiano e udinese (percorso 80 km)
27/06/1897, tornado F3 a Oderzo (TV) (percorso 15 km)
19/07/1892, tornado F3 a Polesella (RO)
24/09/1867, tornado F3 tra Mestre e Venezia (percorso 25 km)
Anno 1824, tornado F2 a Murano (VE)
03/08/1807, tornado F2 a Venezia
26/04/1787, tornado F2 a Noventa di Piave (VE)
24/08/1776, tornado F3 tra basso veronese e trevigiano
14/10/1768, tornado F2 a Verona
17/08/1756, tornado F3 a Padova
29/07/1744, tornado F3 tra Sommacampagna e S. Giovanni di Lupatoto (VR)
12/08/1729, tornado F3 a Trecenta (RO)
14/05/1711, tornado F2 a Possagno e Cavaso del Tomba (TV)
06/08/1687, tornado F2 a Venezia
29/07/1686, tornado F3 tra padovano e veneziano
05/08/1657, tornado F2 a Venezia
04/08/1657, tornado F3 a Venezia
09/08/1440, tornado F3 a Venezia

L'apparente maggior frequenza di tornado a partire dagli anni 2000 è certamente legata alla diffusione di Internet e dei mezzi di comunicazione (cellulari in primis) che permettono lo scambio in tempo quasi reale di informazioni relative agli eventi meteorologici, in particolare quelli estremi come le trombe d'aria, per l'appunto. A tal proposito, mancando una serie di misure continue sui tornado, non è possibile affermare se questi stanno aumentando o meno in frequenza ed intensità, ciò a causa della loro natura più o meno effimera nel tempo e puntuale nello spazio che impedisce un accurato rilievo da parte delle stazioni meteorologiche al suolo, a differenza di quanto avviene, per esempio, con il classico parametro della temperatura.

Inoltre, la stessa tromba d'aria (a parità di dimensioni, intensità e percorrenza) provocherebbe molti più danni rispetto, per esempio, a cinquant'anni fa per via del territorio fortemente urbanizzato e ricco di infrastrutture ed elementi vulnerabili al vento. In altri termini, un tornado su un'area agricola o a bosco potrebbe anche non essere stato registrato a differenza se questo avesse colpito uno o più centri abitati.

Infine, appare alquanto difficoltoso confrontare l'ammontare dei danni tra i diversi periodi storici essendo variate nel tempo le tipologie edilizie, ciò si riflette anche sulla valutazione dell'intensità del tornado poiché nella quasi totalità dei casi sono disponibili solo i dati relativi ai danni ma non le informazioni sul parametro fisico in sé (velocità tangenziale del vento).

10. SI POTEVA PREVEDERE IL TORNADO?

di Marco Rabito e Alberto Gobbi

La domanda che prima o poi tutti si pongono, sia il comune cittadino sia l'addetto ai lavori, quale può essere un meteorologo professionista o uno storm chaser, è la seguente: “*Si poteva prevedere il tornado dell'8 luglio 2015?*”. Si tratta di un'annosa questione alla quale non è certamente facile rispondere e che richiama i molteplici aspetti relativi alle particolari dinamiche legate alla tromba d'aria, all'osservazione critica delle nubi temporalesche, nonché agli strumenti tecnologici a nostra disposizione per il monitoraggio in continuo del temporale, sia nel tempo, sia nello spazio.

Si deve sempre tenere in considerazione che la supercella si regge su un sistema altamente organizzato di correnti convettive ascendenti e discendenti in equilibrio reciproco, per tale motivo questa forma di temporale è relativamente rara rispetto alle classiche multicelle (siano esse lineari o a grappolo), anche se la pianura veneta sembra sia caratterizzata da una maggior frequenza di mesocicloni (supercelle appunto), rispetto alle altre regioni italiane. Inoltre, gran parte delle supercelle non producono vortici e solo alcune di esse generano tornado significativi. A complicare ulteriormente il tutto, nel caso avvenga la tornadogenesi, la tromba d'aria si manifesta solo in una fase dell'intero ciclo di vita della supercella e unicamente in una porzione assai ridotta della stessa.

In genere, i fattori meteorologici responsabili della supercella tornadica possono essere ben analizzati nella fase del post-evento, mentre sono difficilmente individuabili in sede di previsione, poiché è sufficiente una piccola variazione in un determinato parametro per passare da un pomeriggio meteorologicamente parlando “tranquillo”, ad uno con grandinate e trombe d'aria. In pratica, non esistono vie di mezzo quando un'inversione termica in quota, prossima al cedimento, trattiene nei bassi strati un enorme quantitativo di energia convettiva, come avvenuto l'8 luglio 2015.

È quindi indispensabile adottare quello che viene comunemente definito un “approccio interdisciplinare”, che sottintende la necessità di ricorrere ad un'analisi integrata per valutare il potenziale rischio di danni materiali o di pericolo per l'incolumità pubblica legato alle manifestazioni atmosferiche tipiche del temporale, ovvero rovesci di pioggia e grandine, scarsa visibilità, sbalzi termici, alluvioni lampo, fulmini, forti raffiche lineari (downburst) e tornado.

Questa premessa per ribadire che l'evoluzione di una supercella temporalesca dev'essere attentamente monitorata mediante tutta la strumentazione disponibile (radar, satellite, stazioni meteorologiche al suolo) con l'indispensabile supporto degli osservatori di fenomeni intensi dislocati sul territorio (storm chasers) come avviene normalmente nelle grandi pianure degli Stati Uniti. Infatti, ogni sistema di monitoraggio da remoto contempla un limite intrinseco che, nel caso del radar meteorologico, può essere rappresentato dall'elevazione dell'antenna o dall'attenuazione del fascio radar dovuto alla grandine, solo per fare due esempi.

Il satellite è utilissimo per individuare eventuali boundaries, come nel caso dell'8 luglio 2015, ma non fornisce informazioni sulla struttura interna del temporale, a differenza del radar meteorologico. La rete delle stazioni al suolo rileva puntualmente i vari parametri meteorologici, quindi non restituisce una copertura uniforme del dato che può essere ricavata solo da apposite mappe che interpolano graficamente i singoli valori numerici, per es. della temperatura (isoterme) o del vento (isotachie).

Si intuisce, quindi, che la disponibilità di una certa tipologia di dato non è immediata, essendo vincolata ai tempi di misura del parametro stesso e alla sua pubblicazione sul web, in formato numerico o grafico a seconda dei casi. Nel caso del radar meteorologico ARPAV di Teolo, lo strumento sicuramente più importante per il monitoraggio dei temporali, sono necessari dai 5 ai 7 minuti per l'intera scansione volumetrica, a cui si deve sommare il tempo per l'elaborazione grafica dei volumi polari e per la pubblicazione sul sito web, portando il ritardo totale a circa 15-20 minuti, se non oltre, rispetto al momento preciso della scansione relativa alla prima elevazione dell'antenna. Questi tempi di disponibilità del dato sono chiaramente incompatibili con la velocità di evoluzione tipica di una supercella, soprattutto se tornadica.

Tutte le immagini radar di riflettività e velocità radiale alle varie elevazioni, presentate in questo lavoro, sono state ricavate in sede di post-evento dall'archivio dei volumi polari presso il Centro Meteorologico dell'ARPAV a Teolo (PD). In realtà, le uniche immagini radar disponibili on-line, con il suddetto ritardo, sono quelle della riflettività di base corretta, che mostra il valore della riflettività all'elevazione più bassa possibile, a patto che questa non sia affetta dal problema del beam blocking (occlusione del fascio radar), permettendo così di monitorare un eventuale mesociclone di basso livello grazie all'identificazione di un eco ad uncino più o meno pronunciato. Tuttavia, la mancanza delle mappe di velocità radiale, ad evento in corso, impedisce di valutare la reale estensione e l'intensità dell'area di rotazione all'interno del temporale, complicando il già difficile lavoro degli storm chasers e di meteorologi e previsori in sede di nowcasting.

Tra l'altro, con specifico riferimento alla velocità radiale, la ricerca delle aree di rotazione nel temporale è complicata dal fatto che la "base velocity" (l'unica disponibile dal radar di Teolo) considera anche il moto di traslazione del sistema e tende ad occultare l'eventuale circolazione ciclonica, soprattutto se la cella si muove velocemente, mentre la "storm-relative velocity", escludendo tale moto di traslazione, facilita l'individuazione del mesociclone o del tornado cyclone nel temporale, come se quest'ultimo fosse stazionario. Nonostante ciò, nel capitolo 3 dell'analisi radarmeteorologica, è stato possibile identificare i classici echi radar di riflettività e velocità radiale associati ad un'incipiente circolazione tornadica.

Le limitazioni tecniche, relative alla qualità e alla celerità del monitoraggio in tempo reale della supercella, quindi esistono e si sono rivelate assai pesanti, influenzando in maniera considerevole anche nell'attività sul campo degli storm chasers attivi in quei frangenti (vedasi testimonianze riportate nel capitolo 4). In pratica, anche nell'ipotesi di avere a disposizione dati di ottima qualità (per esempio, risoluzioni spaziali del radar pari a 100 metri), questi si rivelerebbero sostanzialmente inservibili in quanto già "vecchi" rispetto alla situazione attuale in continua evoluzione. Comunque, è chiaro che la disponibilità di immagini radar, seppur non recentissime, costituisce sempre uno strumento insostituibile per monitorare l'evoluzione del temporale, per lo meno sommariamente.

Tuttavia, sin dai primi stadi di vita della supercella, l'esperienza pluriennale degli storm chasers, maturata sia in Italia sia nella "Tornado Alley" degli Stati Uniti, ha sopperito in buona parte a queste problematiche, provvedendo a documentare l'intera evoluzione del tornado e del relativo mesociclone da vari punti di vista e mediante ogni mezzo disponibile, nonostante la complicata rete viaria del mirese e dei comuni limitrofi. Prova ne sia il presente documento che illustra tutti i segnali che potevano suggerire un'evoluzione così devastante, in riferimento sia alla gravità dei danni, ma anche alla considerevole percorrenza del tornado, sull'ordine degli 11 km nei quali il vortice è rimasto quasi sempre a contatto con il suolo.

Purtroppo, all'atto pratico, non è stato possibile allertare la popolazione da parte degli organi ufficiali a questo preposti e men che meno da parte dei cacciatori di temporali, proprio a causa dell'imprevedibilità intrinseca legata al tornado, ma anche alla supercella stessa che l'ha generato, senza contare tutti i problemi logistici, operativi e ahinoi, anche burocratici, legati ad una simile decisione, le assunzioni di responsabilità, l'eventuale falso allarme, le crisi di panico, ecc.

La soluzione migliore e più immediata, largamente diffusa e di provata e riconosciuta utilità nella Tornado Alley, sarebbe quella delle "tornado sirens" (vedasi sottocapitolo 7.6) o le comunicazioni di attenzione, allerta o allarme, trasmessi via radio o TV. Tale proposta potrebbe apparire quasi ridicola se consideriamo gli innumerevoli problemi ambientali che assillano la nostra nazione (es. rischio idrogeologico), ma nel solo Veneto (oltre ai landspout) nel 2015 si sono avuti ben 3 tornado mesociclonici e altrettanti nel 2014 (vedasi sottocapitolo 9.3): molte di queste trombe d'aria erano deboli, ma dovrebbe far riflettere il fatto che comunque vi era una supercella che è riuscita a generare un vortice che ha toccato il suolo.

Si ricorda, infatti, che la supercella è l'unica tipologia di temporale in grado di originare tornado forti o violenti, con una percorrenza anche di varie decine di chilometri (es. tornado veneti del 1930 e del 1970), e il vortice da essa generato può intensificarsi o cambiare velocità di spostamento anche senza preavviso, allargarsi all'improvviso, deviare e generare altri sotto-vortici ancora più violenti che possono distanziarsi anche di alcune centinaia di metri dal vortice principale nei casi peggiori, aumentando ulteriormente il grado di imprevedibilità del tornado.

Si sottolinea quindi l'estrema importanza di consultare quotidianamente i bollettini di previsione e gli eventuali "Avvisi Meteorologici o di Allerta Meteo" degli enti preposti, i quali non potranno mai riportare l'esatta località e l'orario preciso in cui si verificherà l'eventuale tornado, ma ci avvertiranno del rischio potenziale di fenomeni intensi in un'area più o meno vasta.

La consapevolezza che quel pomeriggio potrebbe riservare delle amare sorprese ci permetterà di adottare le necessarie misure di autoprotezione, una delle quali può banalmente consistere nella costante osservazione delle nubi temporalesche, e di essere, per quanto possibile, psicologicamente pronti all'eventuale tromba d'aria, alla grandinata, ai fulmini, ecc. La Protezione Civile sottolinea, in svariati ambiti e anche tramite i propri canali informativi, come il concetto di autoprotezione rappresenti una delle forme di salvaguardia e tutela della sicurezza più efficaci, pur necessitando di un sottostante capillare lavoro sulla cultura di conoscenza degli aspetti meteorologici del territorio in cui si vive, da estendere sempre più diffusamente alla cittadinanza.

Tornando alla giornata in esame, si riportano i bollettini meteorologici dell'ARPAV - Dipartimento per la Sicurezza del Territorio del 7/7/2015 e dell'8/7/2015 (previsione di "forecasting") che avevano correttamente inquadrato il rischio di temporali severi ed organizzati sulla regione Veneto, sia nel tempo sia nello spazio, per quanto possibile.

Emissione bollettino: Martedì 7 Luglio 2015 - ore 13

AVVISO METEO: Martedì possibili locali temporali sulle zone montane e pedemontane con probabilità bassa di qualche fenomeno intenso. Mercoledì fenomeni più diffusi e organizzati, dapprima sulle zone montane/pedemontane e nel pomeriggio/sera anche sulla pianura specie centro-settentrionale, con probabili fenomeni localmente intensi (forti rovesci, forti raffiche di vento, grandinate).

Mercoledì 8

Cielo: Fino al mattino tempo soleggiato sulle zone centro-meridionali, cielo da poco a parzialmente nuvoloso altrove con addensamenti a partire dalle zone montane. In seguito crescente instabilità, con spazi di sereno alternati ad addensamenti cumuliformi anche estesi; probabili schiarite da nord verso sera in montagna.

Precipitazioni: Nelle prime ore, assenti. In seguito, dapprima sulle zone centro-settentrionali e infine anche altrove specie alla sera, sono attesi rovesci temporaleschi con probabilità in aumento fino a medio-alta (50-75%) sulla pianura centro-meridionale ed alta (75%-100%) sulle altre zone.

Emissione bollettino: Mercoledì 8 Luglio 2015 - ore 13

AVVISO METEO: Mercoledì instabilità con rovesci e temporali sparsi, anche organizzati, dapprima sulle zone montane/pedemontane e nel pomeriggio/sera anche sulla pianura specie centro-settentrionale; probabili fenomeni localmente intensi (forti rovesci, forti raffiche di vento, grandinate).

Pomeriggio/sera di Mercoledì 8

Tempo instabile a partire dalle zone montane e pedemontane con annuvolamenti irregolari via via più estesi e sviluppati, in successiva parziale estensione alla pianura. Nel corso del pomeriggio/sera rovesci e temporali, sparsi sulle zone centro-settentrionali, più locali sulla pianura meridionale e occidentale, con possibili fenomeni anche di forte intensità. Dalla serata tendenza ad esaurimento delle precipitazioni sulle zone montane e ingresso di Bora moderata in pianura con rinforzi sulla costa. Temperature massime in contenuto calo, più sensibile in montagna.

Recentemente, il servizio meteorologico dell'ARPAV ha potenziato le previsioni passando da un unico bollettino meteo (emesso alle ore 13) a tre aggiornamenti quotidiani (ore 9, ore 13 e ore 16), provvedendo altresì a suddividere il territorio della Regione Veneto in varie macroaree (Dolomiti, pianura, lago di Garda, litorale) con un'ulteriore "zonizzazione" per alcune di queste aree.

Il classico bollettino di "forecasting" si avvicina così al concetto di "nowcasting", che consiste in una previsione a brevissimo termine (da 0 a 6 ore), aggiornata più volte nel corso dell'evoluzione del temporale, ed è basata sulle immagini da satellite ma, soprattutto, sul radar meteorologico, come si può evincere dal seguente esempio di nowcasting, tratto dalla pagina Facebook di Serenissima Meteo, che avvertiva dell'elevata pericolosità della supercella temporalesca sin dalla sua genesi sulle Prealpi vicentine (Fig. 10.1).

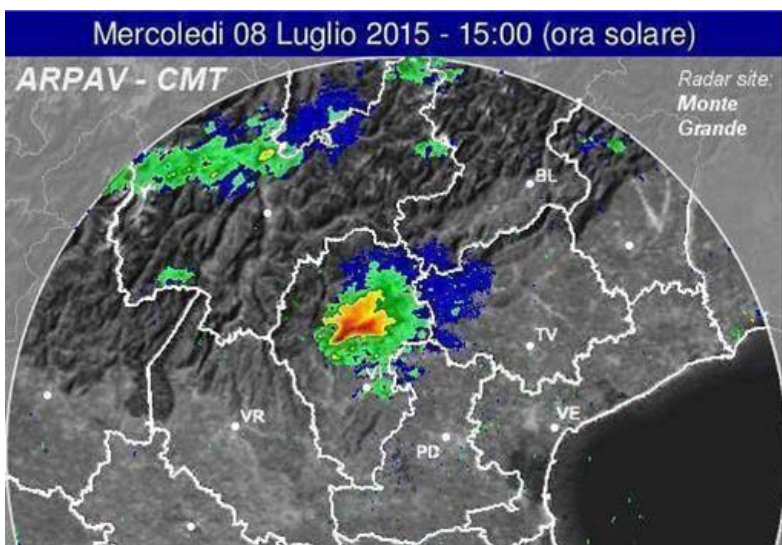


Serenissima Meteo

Publicato da Marco Rabito

"Mi piace" aggiunto alla Pagina · 8 luglio ·

Un temporale di forte intensità si è sviluppato rapidamente tra le Piccole Dolomiti e lo sbocco della Valdadastico. Potrebbe provocare delle grandinate anche di medie dimensioni e intense raffiche di vento. Si raccomanda, a chi vive nell'alto vicentino di mettere al riparo quanto possibile in caso di interessamento diretto da parte del temporale che tenderà a muoversi verso est, lungo la fascia pedemontana. Condividete con i vostri amici.



Serenissima Meteo

Publicato da Marco Rabito

"Mi piace" aggiunto alla Pagina · 8 luglio ·

Modificato ·

TEMPORALE A SUPERCELLA SUL MEDIO-ALTO VICENTINO.

Si tratta, con ben pochi dubbi, di un temporale a supercella, quello che sta interessando la medio-alta pianura vicentina e la fascia pedemontana.

Un simile temporale è produttivo dei fenomeni accessori più violenti possibili, ovvero intense grandinate, forti precipitazioni e, in taluni casi, anche di trombe d'aria.

ATTENZIONE soprattutto a chi vive o transita tra Sandrigo, Marostica, Tezze sul Brenta, sarà l'area compresa tra quelle località quella colpita nei prossimi minuti.

Previsore [Marco Rabito](#)



Serenissima Meteo

Publicato da Marco Rabito

"Mi piace" aggiunto alla Pagina · 8 luglio ·

Modificato ·

SEGNALAZIONE DI TORNADO AL SUOLO

Giunge in questi minuti, tra veneziano e padovano, una segnalazione circa un vortice che parrebbe aver toccato il suolo.

L'immagine radar allegata sarebbe molto compatibile con questa segnalazione evidenziando la classica "uncinata".

Siamo in attesa di ulteriori informazioni in merito, continuate a seguirci.

Fig. 10.1 – Nowcasting della supercella tornadica dell'8 luglio 2015 - Serenissima Meteo.

Si intuisce che è indispensabile effettuare un continuo aggiornamento della previsione sulla base degli ultimi dati disponibili che possono consistere anche nella forma, nel colore, nella dimensione e nel movimento delle nubi temporalesche. Queste informazioni visive devono essere affiancate dai dati radar, dalle stazioni meteorologiche, dalle immagini da satellite, ecc. per confermare le impressioni derivanti dall'analisi nefologica sul campo e, in definitiva, per ottenere una valutazione complessiva più affidabile, relativamente alla futura evoluzione del temporale. Si tratta di applicare il principio dell'analisi integrata, accennato ad inizio capitolo.

Il passo successivo alla consultazione dei bollettini meteorologici (di “forecasting” e “nowcasting”) consiste nel monitorare attentamente, nel corso per es. del pomeriggio, ogni segnale che possa suggerire la tornadogenesi. Tutti gli Autori auspicano che questo studio scientifico possa, in un qualche modo, fornire degli elementi oggettivi di allerta nel corso del monitoraggio delle supercelle tornadiche che certamente si verificheranno negli anni a venire sulla pianura veneta e non solo, probabilmente anche con una maggior frequenza ed intensità per via del costante aumento dei valori di CAPE (vedasi Prefazione e sottocapitolo 9.1).

Prendendo a riferimento l'orario delle 17.20 locali di inizio evento, momento del primo touch down del tornado nel comune di Pianiga, si illustrano temporalmente tali segnali, rilevati tramite il radar, il satellite e sul campo, da parte degli storm chasers. Tutti gli orari sono espressi in ora locale.

- 1) cielo sereno, condizioni afose, inversione termica in quota, vento da sud-est;
- 2) il temporale sulle Prealpi vicentine è isolato con un nucleo di elevati valori di riflettività;
- 3) boundary con asse NW-SE identificabile dalle ore 15.30 al satellite visibile;
- 4) dalle ore 16.00 al radar si notano nuove celle convettive a sud, riprese dalla cella madre;
- 5) si rileva grandine con chicchi di almeno 5 cm, dotati di lobi, alle 16 circa sull'alto vicentino;
- 6) inizio deviazione della supercella verso sud alle ore 16.30 (radar e mappa fulminazioni);
- 7) da Padova Est, alle 16.45, persiste il risucchio dei cumuli nel lato dell'inflow della cella;
- 8) alle 16.50 il BWER al radar raggiunge la quota di circa 10 km;
- 9) dalle 16.50 al radar si nota la rotazione in quota, la quale dalle 17 si estende ai PPI inferiori;
- 10) collasso dell'overshooting top dalle ore 17 al satellite IR;
- 11) alle 17 al radar compare l'eco DRC con un accenno di eco ad uncino;
- 12) dalle 17 la parete dell'updraft principale assume un profilo più verticale;
- 13) alle 17 compare una prima wall cloud, si ha un rinforzo dell'inflow da sud-est;
- 14) intorno alle ore 17 partono alcuni fulmini positivi dalla parete del mesociclone;
- 15) alle 17.10 al radar prima TVS in quota con un evidente eco ad uncino;
- 16) alle 17.10 circa inizia a definirsi la clear slot (“ferro di cavallo”);
- 17) alle 17.15 la tail cloud è ben evidente sopra il comune di Pianiga;
- 18) alle 17.20 al radar l'eco ad uncino si chiude completamente, il tornado è al suolo;
- 19) alle 17.20 la TVS si evidenzia meglio e si propaga verso il basso;
- 20) dalle 17.30 non si vede più la TVS al radar, ma permane la rotazione mesociclonica.

Questo elenco, composto da una ventina di punti, ben evidenzia che a partire dalle ore 16.50 locali si è verificata un'accelerazione della dinamica interna alla supercella, tradita dagli echi radar, che avrebbe portato alla propagazione del mesociclone verso il suolo ed alla conseguente tornadogenesi. Dieci minuti dopo, alle ore 17 locali, tale dinamica si riflette anche nell'aspetto delle nubi, con la comparsa di una wall cloud generata da un primo mesociclone che in realtà poi non ha prodotto alcun vortice, a differenza del secondo mesociclone (comparso più a SW, quasi in contemporanea al precedente), che invece conteneva al suo interno un tornado cyclone privo però, alla sua base, di una wall cloud, la cui assenza ha complicato non poco l'esatta l'individuazione da parte degli storm chasers del centro di rotazione da cui sarebbe disceso, poi, il tornado vero e proprio.

Con particolare riferimento alle immagini radar di riflettività, i due echi radar più importanti da monitorare per la tornadogenesi sono:

1. eco ad uncino (hook echo)
2. DRC (Descending Reflectivity Core)

Entrambi gli echi radar, illustrati nel capitolo 3, non rappresentano una garanzia di tornado, ma sottintendono la presenza di un mesociclone che potrebbe, o meno, propagarsi verso il suolo. Ai fini dell'attendibilità di questi segnali radar rispetto alla tornadogenesi, si consiglia la lettura di *Forbes* (1981) per l'eco ad uncino e di *Kennedy et al.* (2007) per l'eco DRC. In generale, come da letteratura appunto, l'eco DRC precede la formazione del classico eco ad uncino: ciò è avvenuto anche nel caso del tornado dell'8 luglio 2015 (vedasi Fig. 3.29) e può quindi fornire un maggior preavviso rispetto alla formazione del mesociclone di basso livello e dell'eventuale tornado, a patto che le scansioni radar di riflettività siano disponibili in tempi celeri.

Tornando alla domanda iniziale “*Si poteva prevedere il tornado dell'8 luglio 2015?*”, la risposta è sostanzialmente negativa, in riferimento sia alla tempistica sia alla posizione del vortice, poiché l'evoluzione che ha portato alla tornadogenesi è stata molto rapida, come in genere avviene, e tra l'altro è stata accompagnata dalla contemporanea presenza di due centri di rotazione nella medesima supercella, mentre la diffusione dei dati radar si è rivelata eccessivamente lenta. Fortunatamente, esiste una serie di dinamiche, di seguito elencate, che si protraggono nel tempo e che non richiedono aggiornamenti frequenti e in tempo reale in quanto queste si esplicano per durate di almeno un'ora.

1. isolamento del temporale sin dalla sua genesi (in realtà, vi era solo quel temporale attivo);
2. persistente e marcato gradiente di riflettività sul bordo del temporale sin dalla sua genesi;
3. boundary visibile dal satellite almeno un paio d'ore prima rispetto al tornado;
4. risucchio delle nuove celle convettive a sud della cella madre dalle ore 16 circa;
5. marcata deviazione del temporale verso sud dalle ore 16.30 circa.

Questi cinque tratti caratteristici, presenti anche in contemporanea, indicavano solamente che il temporale sotto osservazione sarebbe evoluto con ogni probabilità a supercella, senza fornire ulteriori specifici indizi per avvalorare l'ipotesi tornadogenesi, come per esempio la TVS al radar, ma devono essere sempre e comunque considerati come un serio campanello di allarme in quanto la supercella stessa già contiene al suo interno un ciclone in piccola scala (mesociclone), che in qualunque momento può propagarsi al suolo generando un tornado, di conseguenza, mesociclonico.

Da qui l'importanza degli storm chasers al fine di disporre dell'osservazione prettamente nefologica, ovvero di ogni minima variazione nella forma della wall cloud (quando presente), della tail cloud, della clear slot, della nube ad imbuto, delle bande di RFD, ecc. Anche la grandine fornisce indizi molto utili per comprendere le caratteristiche salienti del temporale. Quando i chicchi superano i 5 cm di diametro e sono caratterizzati da forme irregolari (lobi, punte o protuberanze) si è quasi certamente in presenza di una supercella, generata dalla concomitanza di tre fattori principali:

1. aria calda e molto umida nei bassi strati
2. ampio gradiente termico verticale
3. forti venti in quota

Chicchi di grandine dotati di lobi o punte indicano forti updrafts contenenti molte goccioline sopraffuse, ovvero liquide pur in ambiente con temperature inferiori agli 0°C: queste goccioline, in virtù dell'elevata velocità di ascesa, non fanno in tempo a unirsi per formare gocce più grosse (coalescenza) e, di conseguenza, si depositeranno sui lobi, ingrandendoli. Tale processo è favorito quando il chicco di grandine attraversa una regione del cumulonembo in cui sono presenti molteplici goccioline sopraffuse, le quali tendono ad aderire al chicco stesso, ma non hanno il tempo necessario a distribuirsi uniformemente sulla sua superficie prima che ne giungano delle nuove, formando così delle irregolarità che costituiranno i futuri lobi (Fig. 4.38).

In sostanza, ciò che si può prevedere con un anticipo di qualche giorno è una zona più o meno ampia e una fascia oraria di riferimento in cui esiste un concreto rischio di forti temporali i quali, in una determinata fase del loro ciclo vitale, potrebbero generare dei vortici. In tal senso, è di estrema importanza prevedere con la massima precisione possibile le aree di convergenza dei venti al suolo (boundaries), le quali in genere sono determinanti nella tornadogenesi. Purtroppo, a riprova di quanto precedentemente affermato, la sera del 7 luglio 2015 i modelli meteorologici collocavano la convergenza dei venti da sud-est e da sud-ovest al confine tra Veneto e Friuli, in realtà questa si è verificata tra padovano e veneziano, con tutte le conseguenze del caso.

In questo capitolo abbiamo cercato di condensare e descrivere, con accuratezza, quali sono quei limiti alla prevedibilità degli eventi atmosferici, collegati e connessi ai sistemi temporaleschi, capaci di produrre un impatto pericoloso sul territorio, per persone e cose. Si tratta di confini ben definiti, in taluni casi non valicabili, poiché imposti da leggi fisiche: questi stessi “muri” sono presenti in tutto il pianeta e con essi si confronta, giornalmente, anche l'avanzato sistema di previsione, monitoraggio e allertamento dello Storm Prediction Center degli Stati Uniti. Esistono però anche limiti di tipo culturale-meteorologico, di opportunità e di disponibilità di risorse economiche, frutto di scelte politico-amministrative come, in buona sostanza, avviene in molti altri paesi del mondo, compreso il nostro.

Facendo riferimento alla prefazione di Filippo Thiery, il cambiamento climatico in atto, figlio dell'incipiente riscaldamento globale tende, e tenderà nel prossimo futuro, ad alterare l'incidenza di questo tipo di eventi meteorologici sul nostro territorio. Sarà sempre più necessaria, quindi, una presa di coscienza da parte della nostra società ma, soprattutto, da parte dei nostri amministratori, fatta di atti pratici finalizzati ad una crescita nel verso della prevenzione, sia essa di tipo attivo, attraverso studio, approfondimento, previsione e monitoraggio a brevissimo termine, sia essa di tipo passivo, tramite l'attivazione di sistemi di allertamento, suggerimenti edilizi e strutturali per determinate zone a particolare rischio, unitamente ad un tipo di lavoro divulgativo e culturale rivolto ad Amministratori, Protezione Civile e cittadinanza.

Abbiamo già visto come il nowcasting e la previsione a brevissimo termine, disponibili sulla Pagina Facebook di Serenissima Meteo, abbiano saputo “accompagnare” per lunghi tratti genesi e sviluppo del temporale a supercella, responsabile poi del vortice della Riviera del Brenta. Si è cercato, in quella sede, di cogliere spunti prognostici dalle informazioni satellitari e radar, insieme ai contributi, sotto forma di immagini e descrizioni, forniti dalla popolazione e dai cacciatori di tempeste sul territorio, anticipandone alcuni passi in maniera attendibile e puntuale. Il tutto con ovvi limiti che caratterizzano un contributo amatoriale, quindi privo di sufficienti risorse strumentali puntuali, quali, per citarne una, le immagini radar e il loro ritardo nella fruibilità.

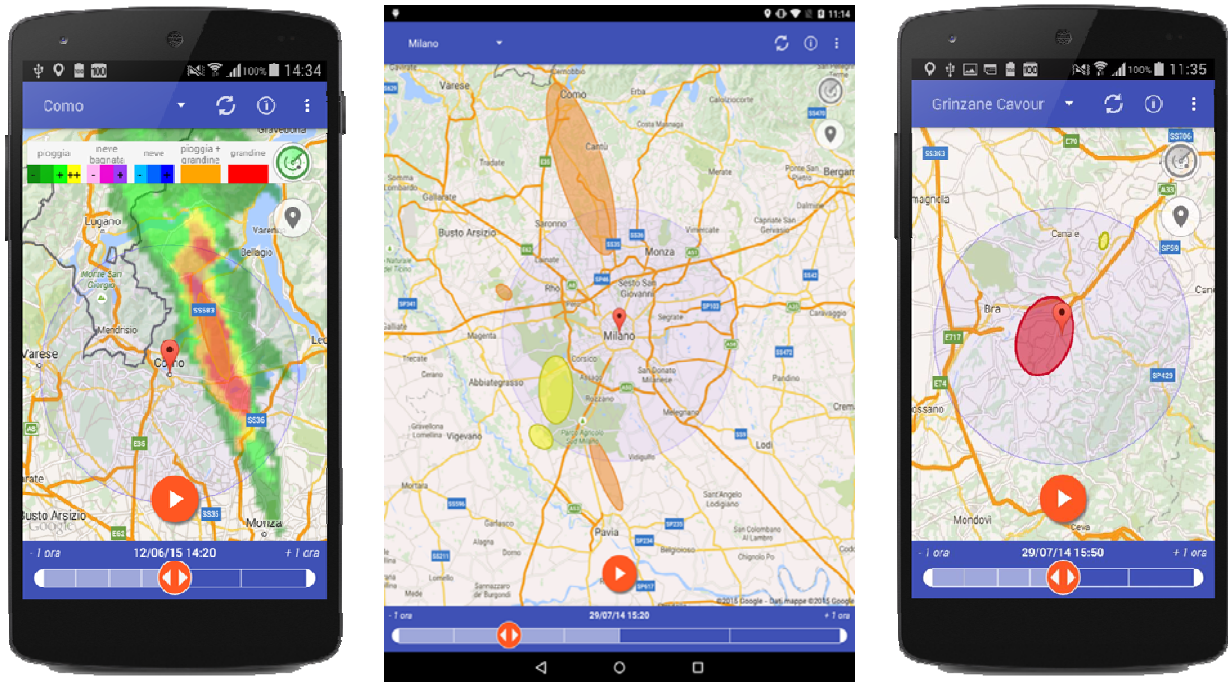
Ma esiste già un sistema istituzionalizzato che dispone di risorse, di strumenti e di competenze e ci sembra interessante proporlo, come esempio virtuoso su cui costruire e sviluppare in futuro dei sistemi analoghi in altre regioni particolarmente sensibili a tale genere di fenomenologia meteorologica, Regione Veneto sicuramente tra queste. Il sistema di cui parliamo si chiama TemporALERT! e, guarda caso, è stato inaugurato e presentato, sul sito della Regione Piemonte, proprio nel giorno del tornado oggetto di questo corposo lavoro di studio, l'8 luglio 2015.

La scelta di Arpa Piemonte è senza dubbio innovativa anche per il canale attraverso il quale propone questo tipo di servizio, ovvero l'applicazione per smartphone, un tipo di accessibilità dunque immediata, itinerante e privilegiata dalle nuove generazioni.

La presentazione del servizio, segue così come viene illustrata nel giorno dell'entrata in funzione: *“Caldo, cielo sereno. Poi... un tuono. I temporali, soprattutto in estate, sono contraddistinti da una notevole rapidità di sviluppo. Non di rado, infatti, può capitare che al mattino il cielo sia sereno o comunque soleggiato, ma dalle ore centrali si sviluppino rapidamente le nubi tipiche dei temporali, i cumulonembi, che in poche ore possono portare intense precipitazioni, anche sotto forma di grandine, fulminazioni e forti raffiche di vento. Come possiamo cercare di conoscere in anticipo il potenziale sviluppo di un sistema temporalesco, e riuscire a mettere in atto tutte le azioni di autoprotezione (evitare attività all'aperto, chiudere porte e finestre di casa, evitare di metterci in viaggio)?*

Dalla collaborazione tra Arpa Piemonte e CSP, è nata TemporALERT! una App dedicata ai temporali, che, grazie ai radar meteorologici distribuiti sul territorio, fornisce indicazioni visuali e georeferenziate sulle condizioni meteorologiche e sugli eventi estremi in corso sul Piemonte. Un sistema di geo-referenziazione permette di inserire la località scelta, visualizzando su una mappa interattiva la situazione meteo, circoscritta con una immagine ellittica che fornisce anche indicazioni sulla direzione del fenomeno. Tre colori indicano i gradi di intensità: giallo se moderato, arancio se intenso, rosso se molto intenso. Un sistema di notifica, invia un messaggio all'utente qualora nell'area indicata siano previsti o in corso fenomeni temporaleschi. Una soluzione che garantisce piena affidabilità funzionale della app senza che sia necessario aprirla o consultarla direttamente.

Seguono alcune illustrazioni che esplicano come il servizio sia fruibile gratuitamente dal pubblico attraverso i telefoni di ultima generazione.



Un sistema di questo genere è una prima risposta a quella necessità di monitoraggio costante e continuo, durante quei frangenti in cui la fenomenologia temporalesca interessa il territorio. Tuttavia, come potete apprezzare dalle immagini e dalla descrizione, la “dipendenza” dall’efficienza e dalla tempestività della risorsa radar è purtroppo ancora totale, e si demandano i gradi di intensità previsti ad un automatismo dell’applicazione stessa, che esula da un apporto umano. Quel contributo concettuale, che solo l’applicazione del professionista di turno può aggiungere valorizzando il servizio e che va sempre ritenuto indispensabile, come avrete sicuramente potuto cogliere in questo e in altri capitoli, o semplicemente sull’esempio di Serenissima Meteo.

Si tratta di esperienze che vanno in una direzione nuova, che superano il bollettino di previsione quotidiano (con eventuale indicazione di allerta o attenzione meteo) e propongono una tipologia di previsione in costante modifica e aggiornamento, di dettagli spaziali e temporali, grazie alle risultanze derivanti proprio da quell’approccio multicanale di cui ampiamente abbiamo fatto menzione. Esempi virtuosi che, pur necessitando di integrazioni e di un ulteriore lavoro di miglioramento, rappresentano un passo nel giusto senso, seppur di strada da fare ce ne sia ancora molta.

Alla luce di queste osservazioni possiamo affermare di essere ben consci di quali siano i limiti alla predicibilità degli eventi, dei sistemi e delle risorse di cui attualmente disponiamo. Dal punto di vista propositivo, si può anche ragionevolmente ritenersi consapevoli di quali possano essere i futuri sviluppi per giungere ad un miglioramento e perfezionamento di questi sistemi innovativi di fondamentale importanza ed utilità per la popolazione. Il monitoraggio costante, sulla base delle risultanze strumentali, ed una riformulazione previsionale continua, figlia di un contributo umano professionale, saranno in futuro la strada giusta. Una direzione in cui convogliare le risorse al fine di restringere il più possibile, dal punto di vista predittivo, l’area geografica e le tempistiche di azione di questo genere di fenomenologia. Fermo restando che rimarrà di vitale importanza il già citato lavoro di tipo divulgativo-culturale, finalizzato a fornire ad ogni individuo una migliore coscienza e conoscenza del territorio in cui vive e dei fenomeni atmosferici, anche violenti, tipici dello stesso.

Un cittadino consapevole significa anche un soggetto più propenso alla ricerca di informazioni e già ben avviato a quello che significa *autoprotezione*. Un'idea/proposta circa una possibile e, si spera, futura destinazione di risorse finalizzata ad una più costante e continua attività di monitoraggio e previsione a brevissimo termine relativamente agli eventi tipicamente convettivi, si potrebbe strutturare come di seguito, schematicamente riportato:

SEDE DI PREVISIONE:

Distanza temporale: 1-2 giorni.

Dominio spaziale: Regionale o per ampie macroaree geografiche, per esempio: “settori montani”, “rilievi ed in estensione alla fascia pedemontana e pianura interna”, ecc.

Tipologia di avviso o allerta: Generica, per esempio: “intense precipitazioni”, “forti raffiche di vento”, “occasional grandinate”.

In questa fascia si collocano i bollettini di previsione ufficiali, come per esempio quelli già riportati in precedenza, dell'Agenzia Regionale per l'Ambiente. Si tratta di bollettini meteorologici che contengono, in rosso ed evidenziato da cornice, eventuali comunicazioni di Attenzione o Allerta Meteo.

SEDE DI NOWCASTING E BREVISSIMO TERMINE:

Distanza temporale: dal mattino del giorno oggetto di previsione e a seguire per l'intera durata degli eventi.

Dominio spaziale: in base all'osservazione dei dati reali e al confronto degli stessi con le ultime risultanze derivanti dalla modellistica, unitamente alla disponibilità di informazioni radar e satellitari, in taluni casi è possibile ridurre il campo ed assegnare entità di rischio differenti, ragionando ancora per macroaree. In tempi piuttosto ristretti, in taluni casi, specialmente ad evento in corso, risulta possibile, altresì, ridurre ancora l'indicazione spaziale, fino ad aree sovracomunali.

Tipologia di avviso o allerta: Generica, per esempio: “intense precipitazioni”, “forti raffiche di vento”, “occasional grandinate”, o più mirata in caso di eventi in corso e in spostamento. In questa fase, in funzione dell'evoluzione monitorata minuto per minuto, diverrà possibile inserire anche l'attenzione o l'allerta per “tornado”, quando riscontrabile, ad esempio, l'attività di un temporale a supercella.

In tale fascia andrebbe a collocarsi la proposta maturata in questa discussione circa la prevedibilità di eventi atmosferici di suddetta tipologia, attraverso l'attivazione di un servizio dedicato che entri in funzione in quelle occasioni in cui la fenomenologia temporalesca risulti prevista come “severa”, seguendo in parte il modello dell'attività di nowcasting e previsione che già viene puntualmente attivata nei casi specifici di rischio idrogeologico ed idraulico. In particolari casi, questa necessità di attivazione sarebbe già ravvisabile all'interno dei bollettini di previsione dei giorni precedenti.

La nostra proposta presuppone che questa risorsa possa essere resa disponibile attraverso una piattaforma web, o magari anche attraverso APP per smartphone e consultabile dalle Pubbliche Amministrazioni, dalle Autorità di Protezione Civile e dalla cittadinanza. L'obiettivo sarebbe quello di fornire quel monitoraggio costante e continuo dell'evoluzione severa in corso, opportunamente arricchito dalla professionalità degli addetti e dalle risorse strumentali che abbiamo imparato a conoscere. Un servizio del genere, pur con tutti i limiti di cui abbiamo lungamente esposto, potrebbe offrire degli spunti previsionali utili, per citare un esempio nemmeno tanto assurdo o banale, a limitare la presenza di persone all'aperto durante il transito di temporali di forte intensità.

Bibliografia

- Agee E. M., Snow J. T., Clare P. R., 1976: Multiple vortex features in the tornado cyclone and the occurrence of tornado families. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 552–563.
- Bechini R., Giaiotti D., Manzato A., Stel F., Micheletti S., 2001: The June 4th 1999 severe weather episode in San Quirino: a tornado event? *Atmos. Res.*, **56**, 213–232.
- Bertato M., Giaiotti D. B., Manzato A., Stel F., 2003: An interesting case of tornado in Friuli-Northeastern Italy, *Atmos. Res.*, **67–68**, 3–21.
- Bluestein H. B., Snyder J. C., Houser J. B., 2015: A multiscale overview of the El Reno, Oklahoma, tornadic supercell of 31 May 2013. *Wea. Forecasting*, **30**, 525–552.
- Boustead J. M., Schumacher P. N., 2008: The development of multiple low-level mesocyclones within a supercell. *Amer. Meteor. Soc.*, 24th Conference on Severe Local Storms, Savannah, GA.
- Browning K. A., 1965: Some inferences about the updraft within a severe local storm. *J. Atmos. Sci.*, **22**, 669–678.
- Bunkers M. J., Klimowski B. A., Zeitler J. W., Thompson R. L., Weisman M. L., 2000: Predicting supercell motion using a new hodograph technique. *Wea. Forecasting*, **15**, 61–79.
- Byers H.R., Braham R.R., 1949: The Thunderstorm—Report of the Thunderstorm Project. *U.S. Gov. Print. Office*, Washington, DC.
- Davies-Jones, 1986: Tornado dynamics. *Thunderstorms: A Social, Scientific and Technological Documentary*, Vol. 2, Thunderstorm Morphology and Dynamics, E. Kessler, Ed., University of Oklahoma Press, 197–236.
- Deierling W., Petersen W. A., 2008: Total lightning activity as an indicator of updraft characteristics. *J. Geophys. Res.*, **113**, 1–11.
- Dennis A. S., Schock C. A., Koscielsky A., 1970: Characteristics of hailstorms of western South Dakota. *J. Appl. Meteor.*, **9**, 127–135.
- Dowell D. C., Bluestein H. B., 2002: The 8 June 1995 McLean, Texas, storm. Part II: Cyclic tornado formation, maintenance, and dissipation. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2649–2670.
- Forbes G. S., 1981: On the reliability of hook echoes as tornado indicators. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1457–1466.
- Formentini G., Gobbi A., Griffa A., Randi P.: “Temporali e Tornado”, ed. Alpha Test, 2009.
- Gatlin P. N., Goodman S. J., 2010: A total lightning trending algorithm to identify severe thunderstorms. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **27**, 3–22.
- Gilmore M. S., Wicker L. J., 1998: The influence of midtropospheric dryness on supercell morphology and evolution. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 943–958.
- Kennedy A. D., Straka J. M., Rasmussen E. N., 2007: A statistical study of the association of DRCs with supercells and tornadoes. *Wea. Forecasting*, **22**, 1192–1199.
- Kurdzo J. M., Bodine D. J., Cheong B. L., Palmer R. D., 2015: High-temporal resolution polarimetric X-band Doppler radar observations of the 20 May 2013 Moore, Oklahoma tornado. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 2711–2735.

- LaDue J. G., LaDue D. S., 2008: Modernizing how we classify thunderstorms? An Operationally Useful Thunderstorm Classification Scheme. *Amer. Meteor. Soc.*, 24th Conference on Severe Local Storms, Savannah, GA.
- Lemon L. R., 1976: The flanking line, a severe thunderstorm intensification source. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 686–694.
- Lemon L. R., Burgess D. W., Brown R. A., 1978: Tornadic storm airflow and morphology derived from single Doppler radar measurements. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 48–61.
- Maddox R. A., Hoxit L. R., Chappell C. F., 1980: A study of tornadic thunderstorm interactions with thermal boundaries. *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 322–336.
- Markowski P. M., Rasmussen E. N., Straka J. M., 1998a: The occurrence of tornadoes in supercells interacting with boundaries during VORTEX-95. *Wea. Forecasting*, **13**, 852–859.
- Markowski P. M., Rasmussen E. N., Straka J. M., Dowell D. C., 1998b: Observations of low-level baroclinity generated by anvil shadows. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2942–2958.
- Markowski P. A., 2002: Hook echoes and rear-flank downdrafts: A review. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 852–876.
- Rasmussen E. N., Richardson S., Straka J. M., Markowski P. M., Blanchard D. O., 2000: The association of significant tornadoes with a baroclinic boundary on 2 June 1995. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 174–191.
- Rasmussen E. N., Straka J. M., Gilmore M. S., Davies-Jones R. P., 2006: A preliminary survey of rear-flank descending reflectivity cores in supercell storms. *Wea. Forecasting*, **21**, 923–938.
- Rasmussen E. N., Straka J. M., 2007: Evolution of low-level angular momentum in the 2 June 1995 Dimmitt, Texas, tornado cyclone. *J. Atmos. Sci.*, **64**, 1365–1378.
- Snow R., Snow M., Kufa N., 2007: Lightning signature assessment to forecast tornado formation, *International Journal of Energy and Environment*, Issue 1, **1**, 7-11.
- Vasiloff S. V., Brandes E. A., Davies-Jones R. P., Ray P. S., 1986: An investigation of the transition from multicell to supercell storms. *J. Climate Appl. Meteor.*, **25**, 1022–1036.
- Wakimoto R. M., Murphey H. V., Dowell D. C., Bluestein H. B., 2003: The Kellerville Tornado during VORTEX: Damage survey and Doppler radar analyses. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2197–2221.
- Wakimoto R. M., Atkins N. T., Butler K. M., Bluestein H. B., Thiem K., Snyder J. C., Houser J., Kosiba K., Wurman J., 2016: Aerial damage survey of the 2013 El Reno tornado combined with mobile radar data. *Mon. Wea. Rev.*, **144**, 1749-1776.
- Weaver J. F., 1979: Storm motion as related to boundary-layer convergence. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 612–619.

Sitografia

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Modelli meteorologici

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

Associazione MeteoNetwork ONLUS – Rete stazioni meteorologiche

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

Consorzio LaMMA Toscana – Modelli meteorologici

<http://www.lamma.rete.toscana.it/meteo/modelli>

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

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

CIMSS - Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies

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

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

<http://www.fenomenitemporaleschi.it/>

Sito di Valentina Abinanti dedicato ai temporali e allo stormchasing in Italia e negli Stati Uniti

<http://www.tornadoseeker.com/>

Sito del progetto ZenaStormChaser

<http://zenastormchaser.it/>

Sito di Daniele Bianchino sulla climatologia dei tornado storici e recenti in Italia

<http://tornadoitalia.altervista.org/>

Serenissima Meteo

<http://www.serenissimameteo.eu/>

Note sugli Autori

Valentina Abinanti, residente a Galliate (NO), autrice della foto di copertina del presente lavoro, da 10 anni documenta temporali e tornado, in Italia e negli Stati Uniti dove ogni anno si reca per circa un mese. Di professione insegnante alla scuola primaria, ha approfondito lo studio dei fenomeni convettivi in privato, affiancando la teoria alle uscite sul campo. Gestisce un sito www.tornadoseeker.com, nel quale si trovano tutti i reportage delle uscite a caccia di temporali e anche materiale didattico. Da diversi anni tiene corsi, conferenze divulgative e lezioni sui temporali ad associazioni private, al pubblico, volontari della protezione civile, scuole.

Daniele Bianchino, da 15 anni ha approfondito i propri studi personali in ambito biologico, meteorologico, geologico ed astronomico. Dal 2001 si è occupato di cicloni con caratteristiche tropicali nel Mediterraneo, analizzando i lunghi archivi satellitari per ricercare più casi possibili, divulgati e analizzati poi in vari studi europei. Nel 2008 ha creato il sito <http://www.medicanes.altervista.org>. Nel 2010 ha analizzato il complesso vulcanico dei Colli Albani nel sito <http://vulcanoalbano.altervista.org>. Dal 2013 si è occupato della ricerca dei tornado storici che hanno colpito la penisola italiana dall'anno mille al presente, consultabili nel suo sito <http://www.tornadoitalia.altervista.org>. Contemporaneamente si è specializzato nello studio dei pianeti extrasolari (<http://www.mondialieni.altervista.org>) e nel 2015 nella ricerca sul latrodectismo e tarantismo in Italia (<http://www.antidotumtarantulae.altervista.org>).

Alberto Gobbi, classe 1981, socio dell'Associazione MeteoNetwork ONLUS, laureato in Scienze Forestali e Ambientali e Dottore di Ricerca in Idronomia Ambientale presso il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università degli Studi di Padova. Coordinatore del team di autori per la stesura del libro "Temporali e Tornado", ed. Alpha Test (2009), autore del sito www.fenomenitemporaleschi.it e relatore a vari corsi di formazione per osservatore di fenomeni meteo intensi e cacciatore di temporali. Attualmente lavora presso l'Agenzia Interregionale per il Fiume Po come collaboratore idraulico.

Zuara Mistrorigo, residente a Vicenza, è una psicologa, audioprotesista e docente della provincia di Vicenza, si interessa allo studio dei processi cognitivi umani e delle modalità con cui le persone affrontano le situazioni di crisi. Collabora con diverse realtà in ambito sociale e sanitario. Da diversi anni viene chiamata a svolgere consulenze e serate divulgative oltre ad aver collaborato con i media locali per la divulgazione della cultura psicologica. Gestisce un canale Youtube e ha in progetto la creazione di diverse piattaforme web in ambito psicologico.

Marta Valeria Perini, laureata in Psicologia all'Università di Padova nel 2005, nel 2009 ha conseguito il Diploma di Master in Psicotraumatologia e Gestione dello Stress. Nel 2015 consegue il titolo di Psicoterapeuta presso l'Istituto di Terapia Cognitiva e Comportamentale di Padova. Dal 2007 al 2015 lavora nell'accoglienza e progettazione educativa con minori, inseriti in comunità residenziali, in seguito a Decreti Civili e Penali. Nel 2013 ricopre il ruolo di psicologa presso un Centro Residenziale per utenti con disabilità fisica e mentale di grado medio/elevato. Dal 1999 al 2008 ha svolto attività di volontariato come Soccorritore e Autista presso la Croce Verde di Verona.

Marco Rabito, previsore del tempo e divulgatore scientifico. E' da molti anni previsore del tempo e referente su meteorologia e clima per televisione, radio e quotidiani. E' consulente per il sindaco di Vicenza, in merito alle situazioni di attenzione e allerta meteorologica. Referente responsabile per il Comune di Vicenza, Assessorato all'Istruzione e alle Politiche Giovanili, per il progetto a propria firma: "Meteorologia e Clima nelle scuole del Vicentino" che lo porta a tenere regolarmente lezioni di meteorologia presso istituti scolastici di ogni ordine e grado. E' apprezzato docente di meteorologia e clima presso la "Fondazione Rezzara" - Università degli Adulti e Terza Età di Vicenza. Tiene regolarmente corsi di meteorologia e serate divulgative per svariati Enti ed Associazioni. Ha esperienza di stormchasing in territorio americano. E' autore del libro "Tornado Alley". Amministratore di SerenissimaMeteo.

Pierluigi Randi, socio SMI (Società Meteorologica Italiana), dal 2000 è responsabile della sezione climatologia, agrometeorologia, didattica e dati di MeteoCenter s.r.l., e dal 2015 fa parte dello staff del portale Emilia-Romagna meteo (www.emiliaromagnameteo.com). Dal 2002 svolge corsi di meteorologia/climatologia/agrometeorologia per indirizzi di ogni ordine e grado. Dal 2011 ricopre il ruolo di consulente per la previsione di scenari meteorologici a medio-lungo termine ad uso energy trading. Nel corso degli anni ha approfondito la propria specializzazione nello studio, analisi e previsione dei fenomeni temporaleschi e in tale veste ha partecipato a numerosi workshop.

Davide Rosa, ingegnere, 43 anni, residente a Quinto Vicentino, sposato con 2 bambine. Diplomato come Geometra, si è poi laureato in Ingegneria Civile. Ha esercitato la libera professione come Ingegnere Civile per 16 anni nel campo dell'analisi/progettazione strutturale, lavorando in particolar modo nel campo della valutazione della sicurezza sismica degli edifici e nel calcolo delle strutture in acciaio, cemento armato e muratura armata in campo civile ed industriale. È al tempo stesso docente di Matematica (di ruolo) in un Istituto di Istruzione Superiore nel vicentino. Da 32-33 anni coltiva una forte passione per la meteorologia che lo ha portato, da circa 10-12 anni, ad affrontare in particolar modo le svariate dinamiche collegate agli eventi tornadici in Italia e nel mondo, approfondendo in particolar modo gli aspetti legati ai danni alle strutture civili ed industriali da eventi tornadici.

Tobia Scortegagna, laureato in Biologia nel 2008 e Laurea Magistrale in Biologia Evoluzionistica nel 2015. Artigiano e appassionato conoscitore del legno e degli alberi, attualmente si dedica alla lavorazione artistica del legno nel piccolo laboratorio di proprietà sulle colline dell'Alto Vicentino in comune di Schio.

Diego Valeri, plurilaureato ed abilitato alle professioni di Ingegnere Civile-Ambientale, Biologo ed Ottico. Tutor didattico, presso il Dipartimento d'Ingegneria Idraulica ed Ambientale (DICEA) dell'Università di Roma "Sapienza", dove svolge attività di Dottorato. Si interessa di meccanica dei fluidi applicata ai sistemi ambientali e all'ambiente costruito, di tecniche fotogrammetriche e modelli statistici. Diverse pubblicazioni su riviste scientifiche e divulgative.

Ringraziamenti

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

Gianluca Ferrari (Radarmeteo Srl) e **Gianandrea Peressutti** (MeteoNetwork) per la reanalisi della situazione meteorologica dell'8/7/2015 mediante il modello WRF MeteoNetwork e per l'elaborazione delle mappe al suolo di temperatura, umidità, vento, pressione e dew point dalla rete delle stazioni MeteoNetwork/MeteoTriveneto.

Antonino C. Bonan (ARPAV) per la profonda revisione dei primi due capitoli.

Marco Monai, Luciano Lago e Francesco Rech (ARPAV) per l'invio delle scansioni del radar meteorologico di Teolo, per l'elaborazione delle mappe al suolo di temperatura e umidità delle stazioni ARPAV e per i dati della stazione ARPAV di Mira.

Alberto Bonini Baraldi e Massimo Enrico Ferrario (ARPAV) per l'invio dei dati da radiometri.

Daniel Montin e Adriano Zagagnin (Meteo Sant'Angelo) per l'invio dei dati della stazione meteorologica di Santa Maria di Sala (VE).

Gli autori e le fonti delle foto e video utilizzati per la stesura del capitolo 6: Massimo Enrico Ferrario (ARPAV), Alois M. Holzer (European Severe Storms Laboratory, ESSL), Rainer Kaltenberger (Central Institute for Meteorology and Geodynamics, ZAMG Austria), Roberto Gaiango, Dario Rigoni, Ennio Pravato, Anna Pettenò, Lisa Donà, Katia Masato, Il Gazzettino, La Nuova Venezia, You Reporter, Comando Interregionale VV.F., Antenna 3 Veneto, Italia 7 Gold, Rete Veneta, Gidiferroblog, Christian Platzer e gli stessi Autori del presente lavoro, Davide Rosa e Alberto Gobbi.

Mario Pizzolon per il contributo alla ricostruzione del percorso del tornado.

I cittadini di Pianiga, Dolo e Mira che hanno concesso le interviste riportate nel capitolo 8.

Fulvio Stel (ARPA Friuli Venezia Giulia) per l'invio di alcune pubblicazioni scientifiche.

Veronica Caciagli (presidente della Italian Climate Network) per l'utile contributo alla revisione della prefazione.