UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI **SCIENZE DELLA VITA E DELL'AMBIENTE**

Corso di Laurea triennale in

SCIENZE AMBIENTALI E PROTEZIONE CIVILE

Analisi del sistema temporalesco estremo del 9 Luglio 2019

Analysis of the extreme storm system of July 9, 2019

Relatore: Chiar.mo

Prof. **Francesco Boccanera**

Tesi di Laurea di:

Benedetta Boriani

Sessione 2022 – 2023

Anno Accademico 2022 - 2023

INDICE

ABSTRACT 3
1. I SISTEMI TEMPORALESCHI e I TEMPORALI SQUALL-LINE 4
2. DATI UTILIZZATI 8
3. DESCRIZIONE DELL'EVENTO 11
3.1 Immagini satellitari 11
3.1.1 Convective – HRV 11
3.1.2 Air – mass 13
3.2 Immagini da radar 15
3.3 Precipitazioni 17
3.4 Fulminazioni 21
4. EFFETTI AL SUOLO 22
5. GESTIONE DELL'EMERGENZA 24
5.1 NWS & IT - ALERT 28
6. CONFRONTO TRA LE DIVERSE CATENE MODELLISTICHE 31
6.1 CAPE 31
6.2 Sweat Index 33
6.3 Total Index 35
6.5 Showalter Index 41
6.6 Whiting Index 45
6.7 ThetaE 850 49
6.8 Precipitazione cumulata in 3 ore 52
6.9 Vento Massimo 55
7. CONFRONTO VALORI MASSIMI DEL VENTO CON I TEMPI DI RITORNO 58
8. CONCLUSIONI 62
9. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 63

ABSTRACT

Nel lavoro di tesi, di seguito presentato, si passa innanzitutto in rassegna le varie tipologie di temporali, con particolare approfondimento al temporale cosiddetto "squall line".

In riferimento al sistema temporalesco sviluppatosi sulla costa marchigiana il 9 Luglio 2019, l'obiettivo che si propone di perseguire questo documento è quello di analizzare l'evento che ha colpito parte del territorio marchigiano, sia commentando le immagini rilevate dal complesso strumentale (satelliti, radar, fulminazioni, pluviometri e anemometri) che confrontando le mappe previsionali derivanti da due modelli di previsione numerica del tempo (Cosmo-LAMI 2I e IFS di ECMWF).

Infine, si è cercato di valutare l'intensità dell'evento attraverso il confronto con i tempi di ritorno.

1. I SISTEMI TEMPORALESCHI e I TEMPORALI SQUALL-LINE

Un temporale è un fenomeno atmosferico causato dal movimento verticale delle masse di aria. Le tipiche nuvole di temporali si chiamano cumulonembi e sono caratterizzate da un forte sviluppo verticale. Quando un cumulonembo è sufficientemente vicino e il tuono è percettibile acusticamente, si parla di temporale.

I temporali possono formarsi a livello locale o regionale, rivelandosi anche violenti. Essi sono accompagnati da precipitazioni sotto forma di rovesci di pioggia, che per un breve periodo possono essere anche molto intensi e portare alla formazione di grandine e raffiche di vento.

La precipitazione si forma principalmente per salita di una massa d'aria calda ed umida, la quale provoca un aumento dell'umidità relativa della massa d'aria stessa; una volta raggiunto il livello di saturazione (lifting condensation level), l'ulteriore salita determina la condensazione del vapore, con la formazione e la successiva crescita di gocce e cristalli di ghiaccio. Il rilascio del calore latente di condensazione va a sostenere ulteriormente la salita della massa d'aria.

Nello stadio maturo, la nube temporalesca si compone di una corrente ascensionale chiamata "updraft", che tende a salire fino ad incontrare il coperchio fisico dato dalla tropopausa: non riuscendo a sfondarlo, il flusso d'aria si espande orizzontalmente in direzione dei venti dominanti in quota, formando l'incudine.

Contemporaneamente, all'interno del temporale (figura 0) si ha un flusso d'aria in discesa ("downdraft"), determinato sia dal trascinamento dell'aria verso il basso da parte delle precipitazioni che dal raffreddamento dovuto alla parziale evaporazione delle stesse.

Una volta che il downdraft tocca terra tende ad espandersi orizzontalmente formando le correnti di outflow, che a loro volta possono determinare la risalita di aria calda nelle circostanze della nube già formata, con una rigenerazione continua di celle.

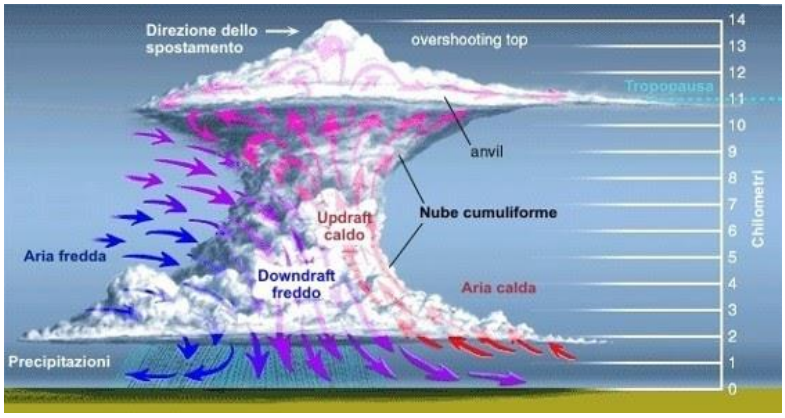


Figura 0 : struttura di una nube temporalesca

Il bow echo (figura 1) è una particolare tipologia temporalesca dalla caratteristica struttura a forma di arco.

Esso si sviluppa quando una squall line, ovvero una stretta e lunga fascia di temporali con un continuo e ben sviluppato fronte di raffica sul bordo principale della linea, inizia ad acquistare velocità all'interno di una massa caldo – umida.

Ancor prima che riesca ad assumere una forma ad arco, il bow echo presenta una morfologia piuttosto lineare, ma successivamente, in un preciso settore della squall line, si produce un incurvamento per effetto della spinta del Rear Inflow Jet (RIJ, figura 1.1).

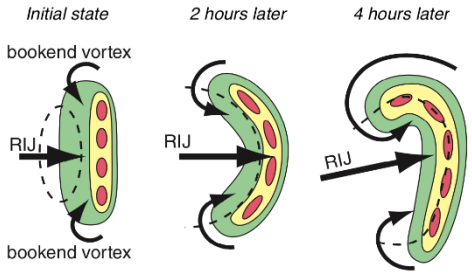


Figura 1 : evoluzione bow echo

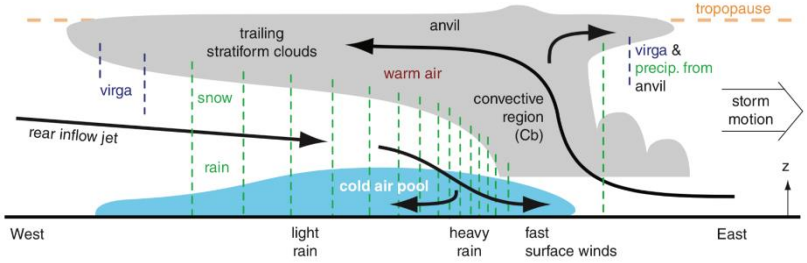


Figura 1.1 : focus sul RIJ

Questa struttura, molto spesso, genera intensi venti di downburst con raffiche fino a 200 Km/h, ed i danni maggiori sono riscontrabili nella regione frontale e sottostante la curvatura.

Il bow echo ha dimensioni che vanno dalle decine ai 150 Km e la sua durata varia da decine di minuti fino a diverse ore.

Prima della sviluppo dell'arco vero e proprio il contesto convettivo è molto vario : nella maggioranza dei casi la convezione appare solo debolmente organizzata.

In genere la formazione del bow echo inizia da un gruppo di celle più o meno indipendenti, le quali, fondendosi danno origine a un sistema inizialmente piatto (Echo – figura 1, fase "Initial state"). La concavità si amplifica rapidamente a forma di arco, in alcuni casi fino ad arrivare a dare origine ad un andamento a forma di punta di lancia.

Questa evoluzione è legata ad una forte accelerazione del flusso di medio livello nella parte posteriore del sistema convettivo : detto Rear Inflow Jet (RIJ). Il RIJ si concentra attorno il centro della linea, favorendone la deformazione e la successiva evoluzione dell'arco. Quando l'RIJ scende verso il suolo, provoca un'accelerazione del vento di superficie con danni importanti dovuti alle raffiche di vento lineari. Nei temporali a multicella, il fenomeno della rigenerazione porta alla continua ricreazione di nuove cellule, in modo che il temporale possa mantenere le sue caratteristiche.

Si tratta di sistemi localizzati, che si sviluppano in un paio d'ore, non sempre prevedibili.

2. DATI UTILIZZATI

I dati analizzati in seguito sono tratti dalla rete radar, dalla rete idropluviometrica, dalle rete fulminazioni, dalla rete dei satelliti e dai modelli.

Vengono perciò spiegati qua di seguito gli strumenti sopra citati.

- Rete radar : Il radar meteorologico è uno strumento in grado di individuare le idrometeore (pioggia, neve, grandine) a distanza e la loro posizione tramite l'emissione e la ricezione di onde radio. Radar è infatti l'acronimo di Radio Detection And Ranging (Individuazione tramite onde radio e misura della distanza).

  Il radar meteorologico è progettato per rilevare la presenza della precipitazione in tempo reale e permette di osservare i fenomeni in atto in un volume tridimensionale di atmosfera, con un'elevata copertura spaziale e temporale. Per fare questo, il radar è composto da un trasmettitore che genera l'impulso elettromagnetico, un ricevitore che elabora il segnale di ritorno e da un'antenna parabolica che costituisce l'interfaccia tra gli apparati e l'atmosfera, con il compito di focalizzare il fascio trasmesso e di intercettare quello ricevuto.

  Le onde inviate dal radar vengono retro diffuse dai bersagli meteorologici come pioggia, grandine, neve e il debole segnale di ritorno viene processato dal radar per restituire l'intensità della precipitazione osservata. In realtà il radar non è in

grado di individuare il segnale di ritorno di una singola idrometeora, ma riceve quello di tutte le idrometeore che si trovano all'interno del volume la cui dimensione varia con la distanza dal radar.

- Rete meteo - idropluviometrica (rete MIR) : l'obiettivo della rete di monitoraggio è quello di permettere di rilevare e gestire con immediatezza i dati meteo – pluvio – idrometrici monitorati nei bacini, con la finalità di prevedere le calamità naturali, generate spesso da eventi pluviometrici. La rete MIR, nello specifico, è una rete di monitoraggio ambientale in tempo reale. Essa permette di sorvegliare h24 l'intero territorio regionale, acquisendo dati utili allo scopo di monitoraggio. In caso di criticità si attivano automaticamente gli allarmi. La rete MIR permette di rilevare dati attraverso dei sensori distribuiti su tutto il territorio regionale, collegati a registratori di dati (data logger), che tramite un sistema trasmissivo dedicato, inviano i dati osservati alla banca dati del Centro Funzionale. Nel complesso, quindi, gli elementi base della rete sono le stazioni (formate da uno o più sensori, data logger, gruppo trasmissivo, gruppo di alimentazione ed accessori), il sistema trasmissivo e le centrali (sistemi informatici che servono per poter archiviare ed elaborare i dati).
- Satelliti meteorologici : i satelliti vanno ad analizzare la radiazione emessa o riflessa dalla Terra ed utilizzano proprio l'interazione tra la luce e l'atmosfera per determinare alcune caratteristiche dell'atmosfera stessa. I satelliti sono delle macchine con a bordo della strumentazione (radiometri) che orbitano attorno

alla Terra, ovvero alla quota in cui si trovano ruotano ad una velocità particolare per cui la forza centrifuga è esattamente bilanciata dalla forza di gravità.

- Dati di fulminazioni : i fulmini sono i più grandi generatori di onde elettromagnetiche esistenti sul nostro pianeta e possono essere rilevati da ricevitori radio "sintonizzati" sulle frequenze generate dalle scariche atmosferiche.

3. DESCRIZIONE DELL'EVENTO

3.1 Immagini satellitari

Andando a studiare la situazione meteo rilevata dai satelliti, e quindi le informazioni strumentali ricevute, si stilano alcune considerazioni.

Le immagini dei satelliti che si vanno a studiare sono :

1. Convective – hrv
2. Air – mass

3.1.1 Convective – HRV

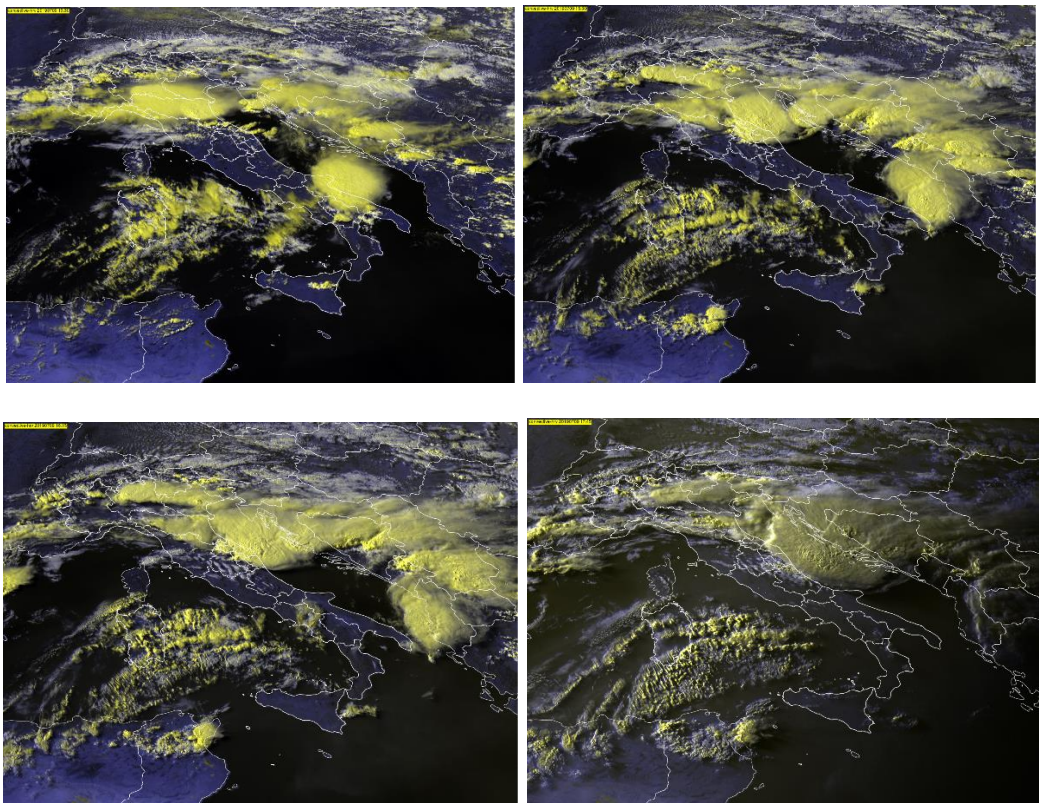


Figura 2 : immagini ai satelliti del 09 / 07 / 2019, rispettivamente alle ore : 15:30 ; 17:30 ; 18:15 ; 19:45 (ora solare)

Alcune immagini sono in falsi colori, e derivano da una combinazione di vari canali attraverso la tecnica RGB.

Le immagini della figura 2 combinano sia il visibile ad alta risoluzione (HRV) che l'infrarosso (per la temperatura delle nubi).

Con il visibile ad alta risoluzione le immagini sono elaborate partendo dalla radiazione solare (a onde corte) riflessa dalla Terra e dalle nuvole, mentre l'IR è in funzione della temperatura delle nubi.

In figura 2 si distingue il colore giallo, per il fatto che l'HRV e l'IR vengono combinate con la tecnica RGB : il colore giallo indica le nubi fredde o la presenza di ghiaccio o neve al suolo.

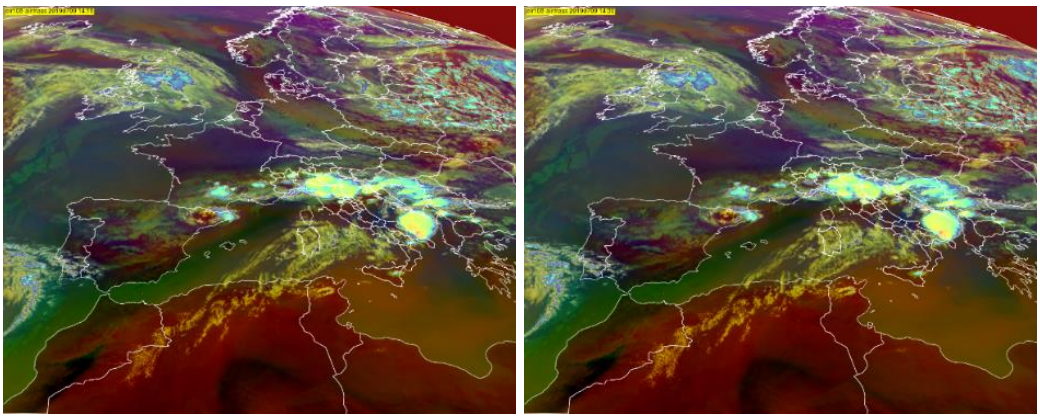
Le immagini riportate mostrano una imponente struttura temporalesca alla mesoscala che nelle ore pomeridiane del 9 luglio è andata ad interessare da nord il territorio marchigiano, specie la fascia costiera centrale, con una traiettoria che l'ha poi portata a dirigersi verso il mare Adriatico.

3.1.2 Air – mass

Una delle pratiche fondamentali durante un'analisi meteorologica è comprendere quali masse d'aria siano presenti sul territorio, come si stiano muovendo e come interagiscano con i sistemi frontali. Questo è possibile grazie all' RGB air – mass.

L'RGB utilizza la composizione di tre colori : rosso, verde e blu. Combinando i colori, i risultati indicano nubi alte quando appare il bianco, nubi medie se appare l'ocra e cielo sereno se vi è il verde (massa d'aria calda con alta tropopausa) o blu (aria fredda con bassa tropopausa).

Un pattern caratteristico da osservare è l'aria secca discendente direttamente dalla stratosfera, indicata con le tonalità di rosso : in questi casi si individuano anche le zone dove la vorticità potenziale alle alte quote assume valori elevati, indicando zone potenzialmente instabili.



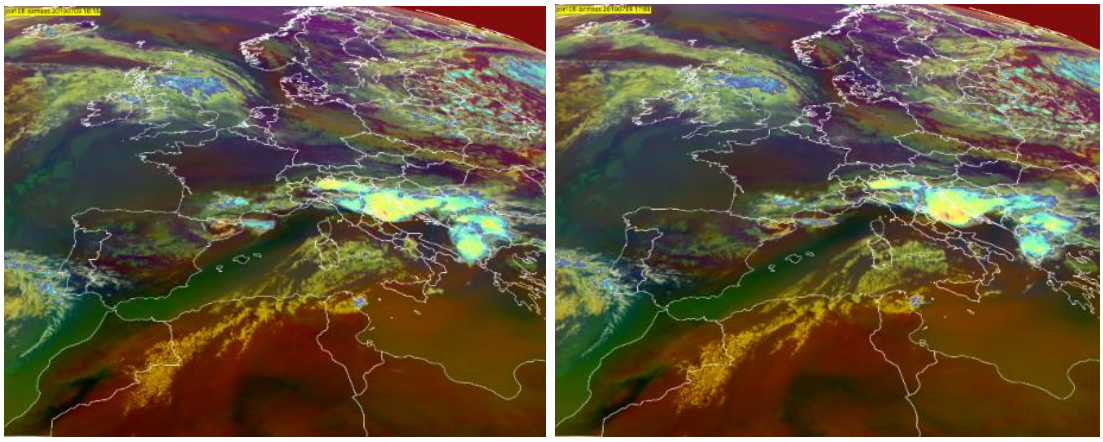


Figura 3 : immagini al satellite del 09 / 07 / 2019, rispettivamente alle ore 16:15 ; 16:30 ; 18:15 ; 19:00 (ora solare)

Dalle immagini satellitare riportate si evidenzia la presenza (nelle tonalità di rosso) di una struttura di anomalia di tropopausa che è andata ad interessare le Marche da ovest, determinando una intensificazione dei moti convettivi e contribuendo allo sviluppo di una struttura temporalesca molto intensa. Quest'ultimo aspetto risulta evidente dalla presenza delle piccole strutture di colore rosso all'interno della struttura della nube, che stanno ad indicare la presenza di un pronunciato overshooting top e la probabile presenza di precipitazione anche in forma grandinigena.

3.2 Immagini da radar

Si analizza ciò che è stato rilevato dai radar facenti parte della mosaicatura radar del Dipartimento nazionale di protezione civile. Andando a visualizzare le immagini radar si nota il formarsi, l'evolversi del temporale e la sua progressione verso sud – est.

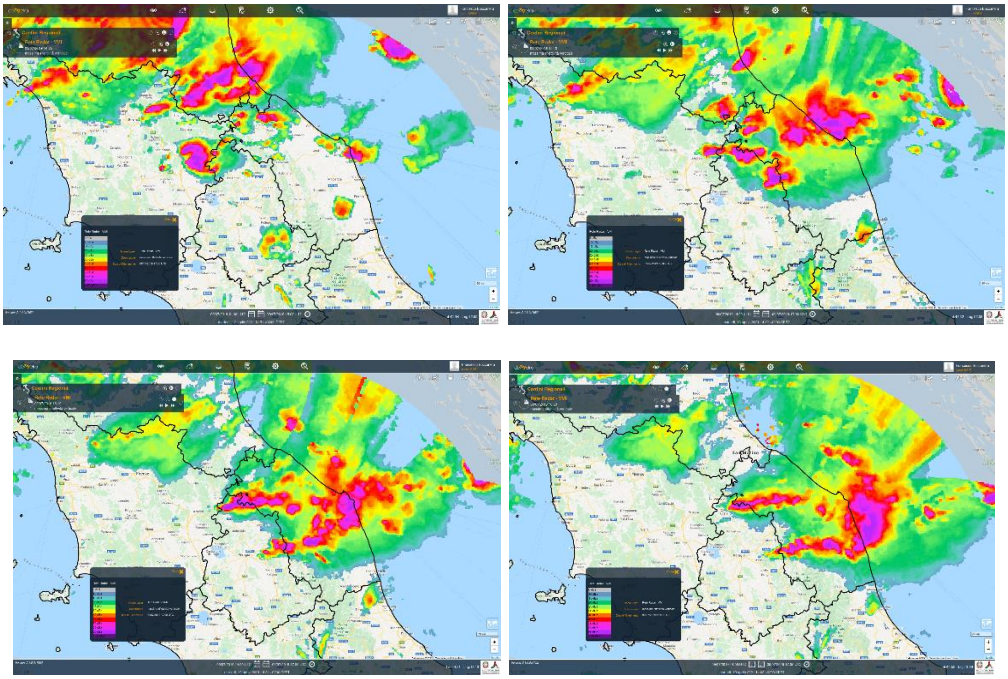


Figura 4 a : riporta la massima riflettività verticale, registrata dalla rete radar nazionale il 9 Luglio, rispettivamente alle ore : 16:35 ; 17:40 ; 18:10 ; 18:30



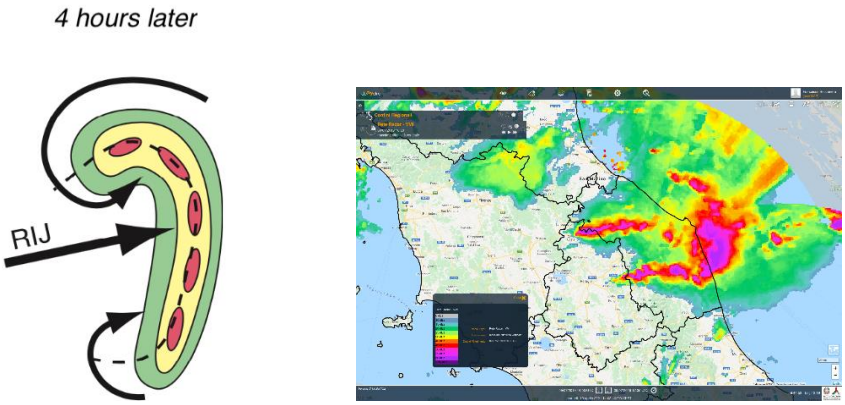
Figura 4b

I colori mostrati nelle immagini precedenti indicano la presenza di precipitazioni intense e, specie nell'immagine delle 18:10 (terza immagine, figura 4a), la strutturazione ad arco della struttura temporalesca. Valori oltre i 50 dbZ, come è possibile visualizzare nella legenda in figura 4b, sono

indicativi della presenza di grandine nella precipitazione, quindi per colori che abbracciano il violetto/viola.

In figura 4a si nota come, attorno alle 18 il grosso del temporale, ovvero quello con valori di dBz superiori ai 45, si trovava già sopra la parte centro – settentrionale delle Marche.

Si può effettuare un parallelismo tra la figura 1 e la quarta immagine in figura 4a (ore 18:30), andando a visualizzare quello che dovremmo aspettarci in linea teorica e ciò che avviene nella realtà, al momento della formazione della struttura del bow echo.



3.3 Precipitazioni

Si passano a rassegna i dati registrati dalle stazioni meteorologiche di Ancona Torrette, Passatempo, Svarchi e Loreto per quanto riguarda la precipitazione, andando ad effettuare un confronto dei mm caduti nelle diverse ore e la fascia oraria più colpita.

Le ore rappresentate nelle seguenti tabelle sono espresse in ora solare : per trovare l'ora legale esatta, al dato validato in tabella bisogna aggiungere 1 ora.

data	ora:minuti	pioggia Torrette (mm)	pioggia Passatempo (mm)	pioggia Svarchi (mm)	pioggia Loreto (mm)
09/07/2019	16:30	0.00	0.00	0.00	0.00
09/07/2019	16:45	0.00	0.00	0.00	0.00
09/07/2019	17:00	5.20	0.00	0.00	0.00
09/07/2019	**17:15**	**15.20**	**14.80**	8.60	1.00
09/07/2019	**17:30**	3.00	3.40	**34.80**	**23.00**
09/07/2019	17:45	0.00	0.80	1.20	0.60
09/07/2019	18:00	0.20	0.20	1.40	0.80
09/07/2019	18:15	0.00	0.20	0.40	0.00
09/07/2019	18:30	0.00	0.00	0.20	0.00
09/07/2019	18:45	0.00	0.00	0.00	0.00
09/07/2019	19:00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 5 : precipitazione in mm, registrata rispettivamente dalla stazione metereologica di Torrette, Passatempo, Svarchi e Loreto precipitata tra le ore 16 : 30 ora solare (17 : 30) del 09 / 07 /2019 e le ore 19 : 00 ora solare (20 : 00) del 09 / 07 / 2019

La maggior parte della precipitazione a Torrette lo si ha avuta nella fascia oraria che va dalle 18:00 alle 18:30. In quei trenta minuti sono stati registrati dalla stazione di Torrette più di 20 mm di pioggia caduta, con un massimo di circa 15 mm in un quarto d'ora. Una intensità simile, come la quantità di pioggia totale, è stata registrata dalla stazione di Passatempo.

Andando ad analizzare le stazioni a sud del Conero, si può notare come il sistema temporalesco abbia acquisito maggiore intensità nel suo graduale spostamento verso sud-est: la stazione meteorologica di Numana (Svarchi) è quella che ha misurato la quantità maggiore di precipitazione caduta, arrivando nel quarto d'ora che va dalle 18:15 alle 18:30 a misurare 34.8 mm di precipitazione.

Per quanto riguarda la stazione di Loreto, infine, la quantità di pioggia caduta nell'arco temporale compreso tra le 18:15 e le 18:30 è di 24 mm.

Analizzando la seguente figura si può iniziare a trarre le prime conclusioni per quanto riguarda la fascia oraria interessata da maggiori precipitazioni. Il range di orario con più precipitazione è stato il quarto d'ora che va dalle 18:15 alle 18:30. La zona maggiormente colpita è stata quella del comune di Numana, con il picco di precipitazioni, nella fascia oraria sopra citata di 34.80 mm di pioggia.

3.4 Velocità e direzione del vento

Un altro parametro importante che le stazioni meteorologiche mettono a disposizione è la velocità e la direzione del vento.

In figura 6 si trovano 2 parametri riguardanti il vento per quanto riguarda la stazione di Ancona Regione. L'intensità del vento è espressa in m/s e lo strumento di misura è l'anemometro. La direzione del vento, invece, è indicata come la direzione di provenienza, è espressa in gradi (0 – 360) misurati in senso orario a partire da nord e lo strumento di misura è l'anemoscopio. Le misure del vento devono essere fatte ad un'altezza di almeno 10 metri dal suolo ed in campo aperto, per minimizzare gli effetti del suolo sul flusso.

data	oraminuti	dir.prevalente	2° dir.prevalente	velocità max. (m/s)	velocità media (m/s)
09/07/2019	16:30	E	SE	5.2	3.2
09/07/2019	16:40	SE	ESE	6.7	3.9
09/07/2019	16:50	E	ESE	6	3.7
09/07/2019	17:00	N	ESE	17.7	4.4
09/07/2019	**17:10**	**N**	**NNW**	**24.2**	**15.3**
09/07/2019	17:20	NW	WNW	17.1	7.2
09/07/2019	17:30	N	NE	6.4	1.6
09/07/2019	17:40	NW	N	5	1.5
09/07/2019	17:50	N	WNW	5	1.9
09/07/2019	18:00	N	SE	3.3	1.2
09/07/2019	18:10	SW	NNW	4.3	2.1
09/07/2019	18:20	WNW	NNW	5.4	3
09/07/2019	18:30	WNW	NW	5	3
09/07/2019	18:40	ENE	N	3.4	1.3
09/07/2019	18:50	S	N	2.5	1.3
09/07/2019	19:00	ESE	SE	5.5	2.9

Figura 6 : direzione/velocità del vento (m/s), registrata dalla stazione meteorologica di Ancona (RT – 2851) tra le ore 16 : 30 ora solare (17:30) del 09 / 07 /2019 e le ore 19 : 00 ora solare (20:00) del 09 / 07 / 2019

La velocità maggiore del vento è stata misurata nella fascia oraria che va dalle 18:00 alle 18:30, con una velocità media del vento che raggiunge il culmine alle ore 18.10 con valori di 15,3 m/s.

data	oraminuti	dir.prevalente	2° dir.prevalente	velocità max. (m/s)	velocità media (m/s)
09/07/2019	16:30	SSE	S	7.20	4.50
09/07/2019	17:00	SSE	S	7.30	4.40
09/07/2019	17:30	SSE	S	18.20	5.70
09/07/2019	**18:00**	**NNE**	**N**	**25.10**	**11.40**
09/07/2019	18:30	NNW	WNW	8.20	2.30
09/07/2019	19:00	WNW	NW	2.00	0.50

Figura 6.1 : direzione/velocità del vento (m/s), registrata dalla stazione meteorologica di Porto Sant'Elpidio (RT – 2871) tra le ore 16 : 30 ora solare (17:30) del 09 / 07 /2019 e le ore 19 : 00 ora solare (20:00) del 09 / 07 / 2019

In figura 6.1 si osserva la velocità massima e media del vento registrata dalla stazione meteorologica di Porto Sant'Elpidio. La fascia oraria maggiormente interessata da venti di elevata intensità è compresa tra le 17:30 e le 18:30, con una velocità massima registrata nella zona di 25.10 m/s (evidenziata in figura 6.1).

3.4 Fulminazioni

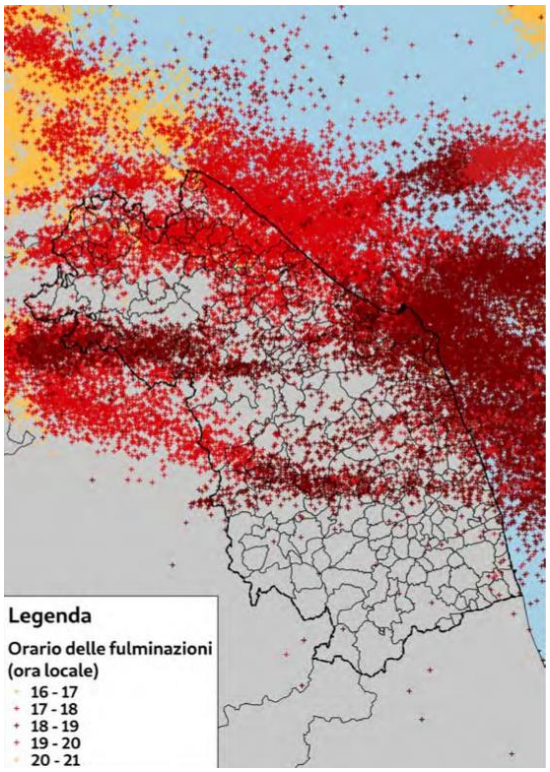


Figura 7 : numero delle fulminazioni cadute il pomeriggio del 09 Luglio 2019 dalle ore 16 alle ore 21 (ora locale).

Nella figura 7 sono indicate con colori diversi, le fulminazioni occorse nei diversi intervalli orari. Un fulmine è una scarica elettrica che si verifica nell'atmosfera, ad alta intensità di corrente. La causa della scarica è una differenza di potenziale elettrico. La stragrande maggioranza dei fulmini si genera nelle nuvole, e in particolare in quelle temporalesche (cumulonembi). Osservando la legenda è possibile notare la discesa del sistema temporalesco da nord verso sud lungo la costa marchigiana, per poi allontanarsi sopra all'Adriatico. La densità delle fulminazioni conferma ancora una volta la forte intensità dell'evento temporalesco.

4. EFFETTI AL SUOLO

Il 9 Luglio del 2019, dalle 18 circa, le Marche sono state interessate da fenomeni temporaleschi particolarmente intensi, che hanno causato raffiche di vento intense, precipitazioni abbondanti fino a violente grandinate.

Le zone maggiormente colpite sono state le province site nella parte centro – settentrionale della regione, in particolare le zone costiere.

Il temporale ha scatenato un violento “downburst” su Ancona e le zone di Numana, Castelfidardo, Osimo, Montefano, Loreto e altri centri abitati limitrofi : il downburst è la parte più intensa di un temporale, quella caratterizzata da venti tempestosi e pioggia battente.

Numerosi sottopassi sono stati allegati, come mostrato nella figura 8 : Ponte di Via Caduti del Lavoro.

Si sono verificati danni diffusi sul territorio, compresi agli stabilimenti balneari (figura 8.1), causati principalmente dalle raffiche di vento e delle cumulate abbondanti raggiunte in poco tempo.

Tra le criticità più evidenti si ricordano :

- Danni a stabilimenti balneari (figura 8.1).
- Allagamenti di strade e sottopassi, come mostrato in figura 8.
- Interruzione della linea ferroviaria tra Civitanova Marche e Porto San Giorgio per più di 2 ore.

- Caduta di alberi.
- Disalimentazione di più di 6000 utenze Enel principalmente nell'anconetano.

Le raffiche di vento hanno superato i 100 km/h ma fortunatamente non sono stati registrati feriti o vittime.



Figura 8 : sottopasso allagato



Figura 8.1 : danni a stabilimenti balneari

Il fenomeno si è indebolito la sera del 9 Luglio, quando si è spostato ad Est, lasciandosi la costa Marchigiana alle spalle.

5. GESTIONE DELL'EMERGENZA

I bow echo sono sistemi sempre più puntuali e localizzati che si sviluppano in un paio d'ore, per cui non si può prevedere con certezza dove colpiranno, ma si può indicare al massimo una macroarea di interesse.

La previsione di condizioni meteorologiche su una determinata area particolarmente intense e concentrate, potrebbero provocare disagio alla popolazione e all'ambiente, con un possibile innesco di fenomeni di carattere idraulico, come l'innalzamento dei livelli idrometrici, fino ad onde di piena o fenomeni di carattere geologico, come innesco di frane e dissesti in genere.

Nei casi di potenziale rischio meteorologico, attraverso messaggi di allertamento, i centri funzionali stimano i valori in fase previsionale, dei quantitativi e della severità dell'evento :

- Quantità di pioggia in una determinata area ed in uno specifico arco temporale.
- Direzione, velocità e durata di fenomeni correlati al vento.

In caso di eventi di tale portata è importante l'omogenizzazione dei messaggi del sistema di allertamento nazionale e della risposta del sistema di protezione civile.

La catena di responsabilità è molto complessa : i primi ad agire sono coloro che si occupano delle previsioni meteo, da cui conseguono la valutazione degli impatti e quindi le previsioni degli scenari di rischio (criticità).

Sulla base delle criticità, i Presidenti delle Regioni e delle Province autonome stabiliscono i diversi livelli di allerta per il territorio e la conseguente messa in atto di azioni di prevenzione e gestione dell'emergenza, a partire dal livello che è più vicino al territorio : il Comune.

Al sindaco, infatti, compete l'attivazione del Piano di protezione civile comunale e l'informazione della popolazione.

Il sistema di allertamento contribuisce a minimizzare l'esposizione dei cittadini e a ridurre la vulnerabilità e quindi provvede a ridurre il rischio rendendolo "accettabile".

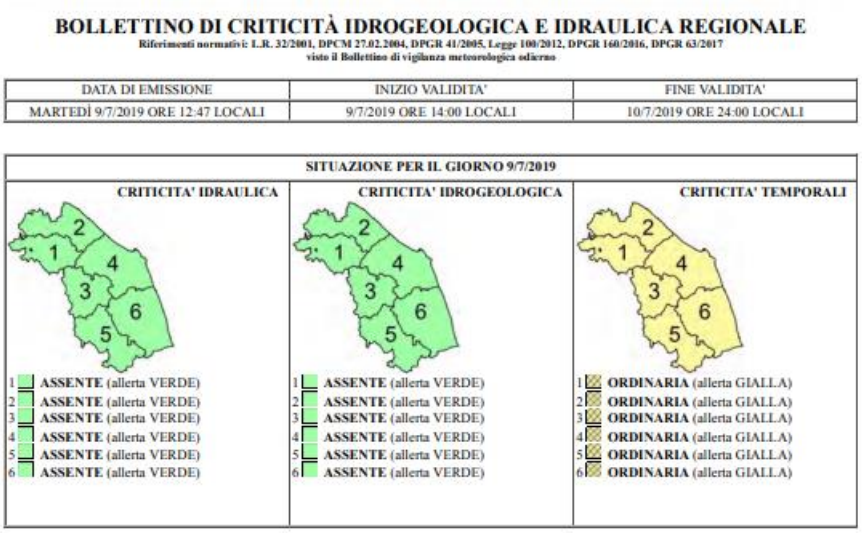
A seguito della definizione del livello di criticità, da parte del Centro Funzionale e del conseguente livello di allerta, deve essere attivata una fase operativa da parte dei soggetti responsabili delle pianificazioni e delle procedure ai diversi livelli territoriali, anche sulla base della situazione contingente, secondo una corrispondenza codificata tra livelli di allerta e fasi operative. Per quanto riguarda le strutture regionali, la Fase operativa viene dichiarata dal Dirigente della Struttura Regionale di Protezione civile.

La Protezione Civile regionale, per mezzo della SOUP, ha il compito di allertare il sistema di Protezione Civile regionale. A seguito della definizione di un livello di allerta, il dirigente della Protezione Civile regionale emette un messaggio di allertamento in cui comunica al territorio il livello di allerta e la fase operativa dichiarata per le strutture Regionali.

Questa metodologia di allertamento può presentare delle criticità: per quanto possano le notizie essere comunicate tempestivamente sul sito della Protezione Civile, su

Facebook e tramite passaparola, non tutti i cittadini ricevono la notizia per tempo e la maggior parte di loro non conoscono neanche i comportamenti da adottare nel caso di un evento calamitoso, sia esso meteorologico o abbracci altre cause.

Questo sopra descritto rappresenta ciò che avviene a livello teorico, ma a livello pratico, il 9 Luglio 2019 qual è il bollettino di criticità idrogeologica ed idraulica che ha emesso la protezione civile?



BOLLETTINO DI CRITICITÀ IDROGEOLOGICA E IDRAULICA REGIONALE

Riferimenti normativi: L.R. 32/2001, DPCM 27.02.2004, DPGR 41/2005, Legge 100/2012, DPGR 160/2016, DPGR 63/2017
visto il Bollettino di vigilanza meteorologica odierno

DATA DI EMISSIONE	INIZIO VALIDITA'	FINE VALIDITA'
MARTEDÌ 9/7/2019 ORE 12:47 LOCALI	9/7/2019 ORE 14:00 LOCALI	10/7/2019 ORE 24:00 LOCALI

SITUAZIONE PER IL GIORNO 9/7/2019

CRITICITA' IDRAULICA	CRITICITA' IDROGEOLOGICA	CRITICITA' TEMPORALI
1 ASSENTE (allerta VERDE)	1 ASSENTE (allerta VERDE)	1 ORDINARIA (allerta GIALLA)
2 ASSENTE (allerta VERDE)	2 ASSENTE (allerta VERDE)	2 ORDINARIA (allerta GIALLA)
3 ASSENTE (allerta VERDE)	3 ASSENTE (allerta VERDE)	3 ORDINARIA (allerta GIALLA)
4 ASSENTE (allerta VERDE)	4 ASSENTE (allerta VERDE)	4 ORDINARIA (allerta GIALLA)
5 ASSENTE (allerta VERDE)	5 ASSENTE (allerta VERDE)	5 ORDINARIA (allerta GIALLA)
6 ASSENTE (allerta VERDE)	6 ASSENTE (allerta VERDE)	6 ORDINARIA (allerta GIALLA)

Figura 9 : bollettino di criticità idrogeologica e idraulica regionale del 09 Luglio 2019

Come è visualizzabile in figura 9, la protezione civile il 09 Luglio 2019 aveva emesso un allerta gialla per criticità idrogeologica per temporali su tutto il territorio regionale. L'allerta viene emessa sulla base della probabilità di accadimento di un dato fenomeno, nonostante i fenomeni temporaleschi siano eventi con un elevata incertezza previsionale in termini di localizzazione, tempistica ed intensità.

<table>
<tr><th colspan="4">TABELLA DELLE ALLERTE E DELLE CRITICITA' METEO-IDROGEOLOGICHE E IDRAULICHE</th></tr>
<tr><th>Allerta</th><th colspan="2">Criticità</th><th>Scenario di evento</th><th>Effetti e danni</th></tr>
<tr><td rowspan="3">gialla</td><td rowspan="3">ordinaria</td><td>idrogeologica</td><td>Si possono verificare fenomeni localizzati di:
- erosione, frane superficiali e colate rapide di detriti o di fango in bacini di dimensioni limitate;
- ruscellamenti superficiali con possibili fenomeni di trasporto di materiale;
- innalzamento dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua minori, con inondazioni delle aree limitrofe, anche per effetto di criticità locali (tombature, restringimenti, occlusioni delle luci dei ponti, ecc);
- scorrimento superficiale delle acque nelle strade e possibili fenomeni di rigurgito dei sistemi di smaltimento delle acque piovane con tracimazione e coinvolgimento delle aree urbane depresse.
Caduta massi.
Anche in assenza di precipitazioni, si possono verificare occasionali fenomeni franosi anche rapidi legati a condizioni idrogeologiche particolarmente fragili, per effetto della saturazione dei suoli.</td><td rowspan="3">Occasionale pericolo per la sicurezza delle persone con possibile perdita di vite umane per cause incidentali.
Effetti localizzati:
- allagamenti di locali interrati e di quelli posti a pian terreno lungo vie potenzialmente interessate da deflussi idrici;
- danni a infrastrutture, edifici e attività agricole, cantieri, insediamenti civili e industriali interessati da frane, colate rapide o dallo scorrimento superficiale delle acque;
- temporanee interruzioni della rete stradale e/o ferroviaria in prossimità di impluvi, canali, zone depresse (sottopassi, tunnel, avvallamenti stradali, ecc.) e a valle di porzioni di versante interessate da fenomeni franosi;
- limitati danni alle opere idrauliche e di difesa delle sponde, alle attività agricole, ai cantieri, agli insediamenti civili e industriali in alveo.
Ulteriori effetti in caso di fenomeni temporaleschi:
- danni alle coperture e alle strutture provvisorie con trasporto di materiali a causa di forti raffiche di vento;
- rottura di rami, caduta di alberi e abbattimento di pali, segnaletica e impalcature con conseguenti effetti sulla viabilità e sulle reti aeree di comunicazione e di distribuzione di servizi (in particolare telefonia, elettricità);
- danni alle colture agricole, alle coperture di edifici e agli automezzi a causa di grandinate;
- innesco di incendi e lesioni da fulminazione</td></tr>
<tr><td>idrogeologico per temporali</td><td>Lo scenario è caratterizzato da elevata incertezza previsionale.
Si può verificare quanto previsto per lo scenario idrogeologico, ma con fenomeni caratterizzati da una maggiore intensità puntuale e rapidità di evoluzione, in conseguenza di temporali forti. Si possono verificare ulteriori effetti dovuti a possibili fulminazioni, grandinate, forti raffiche di vento.</td></tr>
<tr><td>idraulica</td><td>Si possono verificare fenomeni localizzati di:
- incremento dei livelli dei corsi d'acqua maggiori, generalmente contenuti all'interno dell'alveo.
Anche in assenza di precipitazioni, il transito dei deflussi nei corsi d'acqua maggiori può determinare criticità.</td></tr>
</table>

Figura 9.1 : tabella criticità idrogeologica per temporali

Il livello di allerta gialla, come mostrato in figura 9.1, prevede possibili fenomeni localizzati di ruscellamenti superficiali con possibilità di trasporto di materiale, innalzamento dei livelli dei corsi d'acqua, ma anche effetti dovuti a fulminazioni, grandinate e forti raffiche di vento. L'allerta gialla tra i danni possibili prevede anche

rottura di rami, caduta di alberi ed interruzioni di distribuzione di servizi, in particolare telefonia ed elettricità. Gli elementi elencati si sono effettivamente verificati.

Il livello di allerta superiore al giallo è l'arancione. Tra gli effetti e i danni di questo livello di allerta si trovano danni alle infrastrutture, edifici ed attività agricole, oltre che gli effetti sopra illustrati per l'allerta gialla.

Seguendo tali considerazioni, l'allerta gialla era probabilmente corretta, in quanto non sono stati registrati danni significativi alle infrastrutture tali da far pensare che fosse necessario emanare un'allerta arancione.

5.1 NWS & IT - ALERT

Per ovviare all'informazione alla popolazione in un contesto di eventi meteorologici intensi e con scarso preavviso, un metodo più accurato potrebbe essere quello utilizzato oggi giorno in America da parte del National Weather Service (National Oceanic and Atmospheric Administration).

La piattaforma utilizza infografiche, post sui social media, video e messaggi per comunicare queste importanti informazioni sul web e sui social media.

Gli account nazionali e locali del NWS sui social media pubblicano questi messaggi ogni giorno, in base ai rischi meteorologici attuali che colpiscono la nazione e le aree locali. Inoltre, le versioni testuali di questi messaggi si trovano nei prodotti ufficiali del NWS, come Orologi, Avvisi e Previsioni, per garantire che il pubblico sappia quali azioni intraprendere in caso di condizioni pericolose.

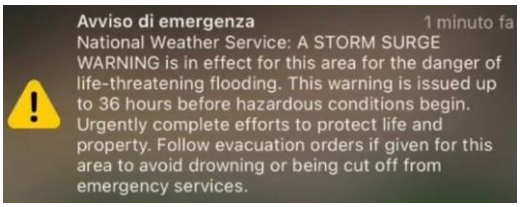


Figura 10 : messaggio allertamento uragano IAN

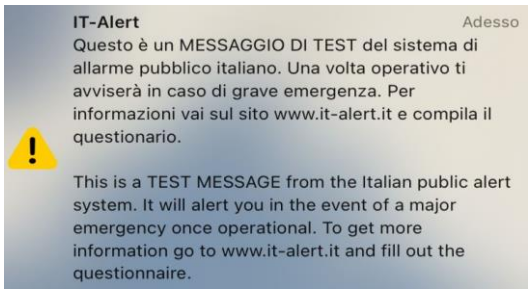


Figura 10.1 : prima simulazione di un messaggio di allertamento in Italia

In caso di avvisi di emergenza, e quindi di pericoli pressoché immediati, viene recapitato un messaggio nel telefono di ciascun cittadino (rappresentato in figura 10), che possiede una suoneria diversa da tutti gli altri messaggi e soprattutto viene recapitato nell'immediato (anche a telefono spento). Il messaggio reca le ore mancanti all'inizio dell'evento e i comportamenti che ciascuno deve adottare.

È nel momento della stesura di tale tesi che in Italia stanno iniziando i test sul territorio per quanto riguarda IT – alert (figura 10.1), il sistema nazionale di allarme pubblico.

Questo sistema permette di comunicare direttamente con la popolazione, diramando ai cellulari presenti in una determinata area geografica messaggi utili in caso di gravi emergenze o catastrofi imminenti, come poteva essere questo caso preso in analisi.

Quando tale sistema sarà operativo, il Servizio Nazionale della Protezione Civile con IT – alert integrerà le modalità di informazione e comunicazione già prevista per

informare la popolazione, allo scopo di favorire l'adozione di misure di autoprotezione in rapporto alla specifica tipologia di rischio e al contesto di riferimento.

6. CONFRONTO TRA LE DIVERSE CATENE MODELLISTICHE

Il seguente capitolo è utile per valutare le performance di alcuni modelli di previsione numerica del tempo.

Si analizzano quindi diversi parametri utilizzando 2 catene modellistiche (di seguito citate), allo scopo di trovare analogie e differenze :

- Integrated Forecasting System (IFS) di ECMWF, modello a scala globale con un passo di griglia di circa 9 km
- Lami – 2I, sviluppato dal consorzio COSMO, modello ad area limitata con un passo di 2.2 km

6.1 CAPE

Il CAPE (convective available potential energy) è uno degli indicatori più importanti dell'instabilità convettiva e fornisce una stima dell'energia disponibile per lo sviluppo di fenomeni temporaleschi. Valori elevati di CAPE sono tipicamente associati ad un'elevata probabilità di precipitazione di tipo convettivo, inclusi anche i tornado.

Questo parametro esprime l'energia potenziale per i temporali, corrisponde quindi all'energia di galleggiamento di una particella d'aria una volta raggiunta la quota dove non si ha più la spinta ascensionale per forzante (di solito orografica).

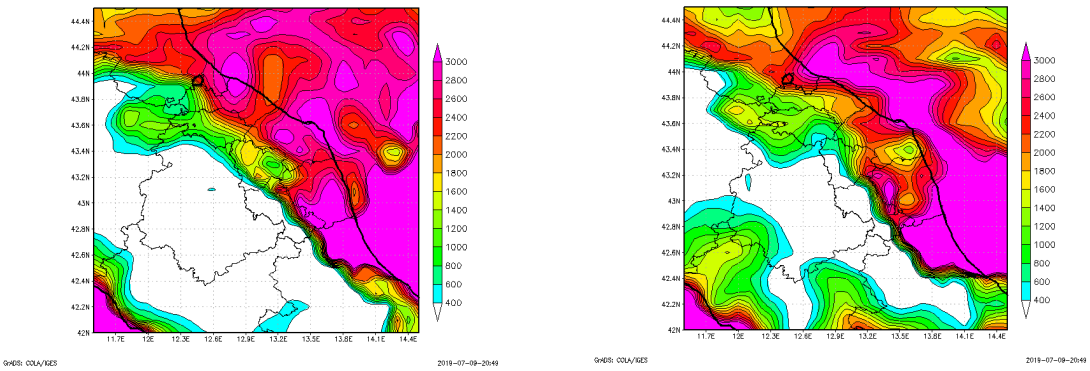


Figura 11 : CAPE rispettivamente alle ore 15 UTC e 18 UTC del 09 / 07 /2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

L'elemento chiave dell'instabilità convettiva è la differenza di temperatura, e quindi di densità, tra la porzione di atmosfera (bolla) in ascesa e l'aria circostante : l'instabilità si viene a creare quando una particella supera l'LFC (level of free convection).

Per sostenere una cella temporalesca sono sufficienti valori di 800 – 1000 j / Kg.

In figura 11, vi è rappresentato il parametro del CAPE e si osservano valori elevati (2600 – 3000 j/Kg) sulla costa Marchigiana, sia alle ore 17 che alle ore 20.

6.2 Sweat Index

Lo Sweat Index è un indice che tiene in considerazione lo shear del vento ed alcuni parametri termodinamici. È usato per la previsione di possibili tornado, non necessariamente supercelle. I valori di riferimento per lo SI sono :

- SWEAT < 270 = sfavorevole
- SWEAT 270/300 = bassa possibilità di tornado
- SWEAT 300/400 = moderata possibilità di tornado
- SWEAT 400/600 = elevata possibilità di tornado
- SWEAT 601/800 = altissimo rischio di tornado

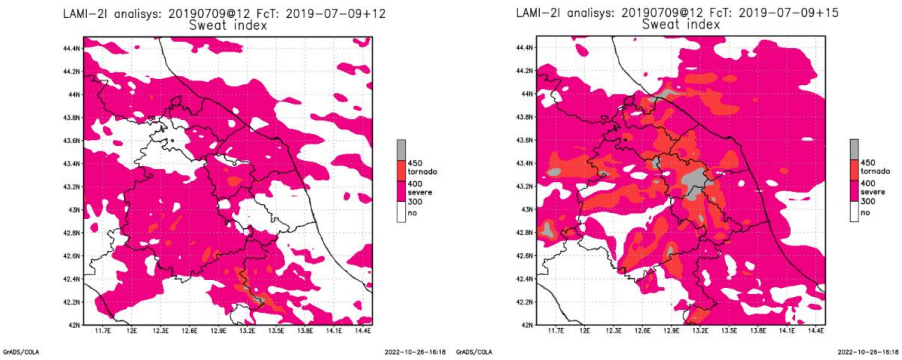


Figura 12 : SI rispettivamente alle ore 12 ed alle ore 15 UTC del giorno 09 / 07 /2019 visualizzato dal LAMI 2I

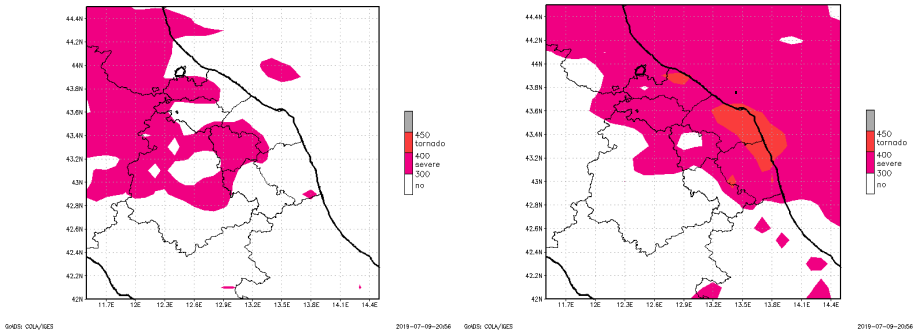


Figura 13 : SI rispettivamente alle ore 12 ed alle ore 15 UTC del giorno 09 / 07 /2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

Analizzando il parametro dello Sweat Index e andando quindi a confrontare le immagini elaborate dal LAMI 2I (figura 12) e quelle dell'IFS di ECMWF, si nota che con il LAMI vengono registrati valori dello SI più elevati, questo perché appare anche il colore grigio.

Ma questi valori elevati del parametro SI vengono posizionati all'interno delle Marche. Mentre il Centro Europeo, quindi il modello IFS di ECMWF, ha valori leggermente più bassi di SI, in quanto arriva fino al colore arancione (figura 13, immagine 2), ma questi vengono posizionati lungo la costa.

Quindi, il LAMI 2I, a fronte di valori dell'indice più elevati, indicava il grosso del temporale all'interno, mentre il Centro Europeo indicava valori di Sweat Index minori, giustamente in quanto non è un modello ad area limitata, ma li posizionava lungo la costa, ovvero nella posizione che si è rilevata essere più corretta.

In conclusione, le informazioni per lo Sweat Index sono confrontabili. Il fatto che in figura 12, il LAMI riporti dei valori alti di Sweat Index è utile al previsore per capire l'intensità dell'evento atteso, seppur non centrato localmente bene.

6.3 Total Index

Il Total Index è un indice che serve per definire quanto è instabile l'atmosfera : corrisponde alla somma aritmetica di altri due indici, che sono : VTI (Vertical Totals Index, ovvero la temperatura a 850 mb meno la temperatura a 500 mb) ed CTI (Cross Totals Index, ovvero la temperatura di rugiada a 850 mb meno la temperatura a 500 mb).

I valori critici di questo indice sono quelli in cui TT > 50, soglia oltre la quale si ha una moderata probabilità che si inneschino fenomeni temporaleschi intensi.

In generale, la scala del TT è la seguente :

- TT < 44 = assenza di temporali
- TT 44 ÷ 45 = possibilità di temporali isolati e moderati
- TT 46 ÷ 47 = temporali moderati sparsi/possibili temporali forti
- TT 48 ÷ 49 = temporali moderati sparsi/isolati temporali forti
- TT 50 ÷ 51 = temporali forti sparsi/possibili tornado
- TT 52 ÷ 55 = numerosi temporali forti/tornado abbastanza probabili
- TT > 55 = numerosi temporali forti/tornado molto probabili

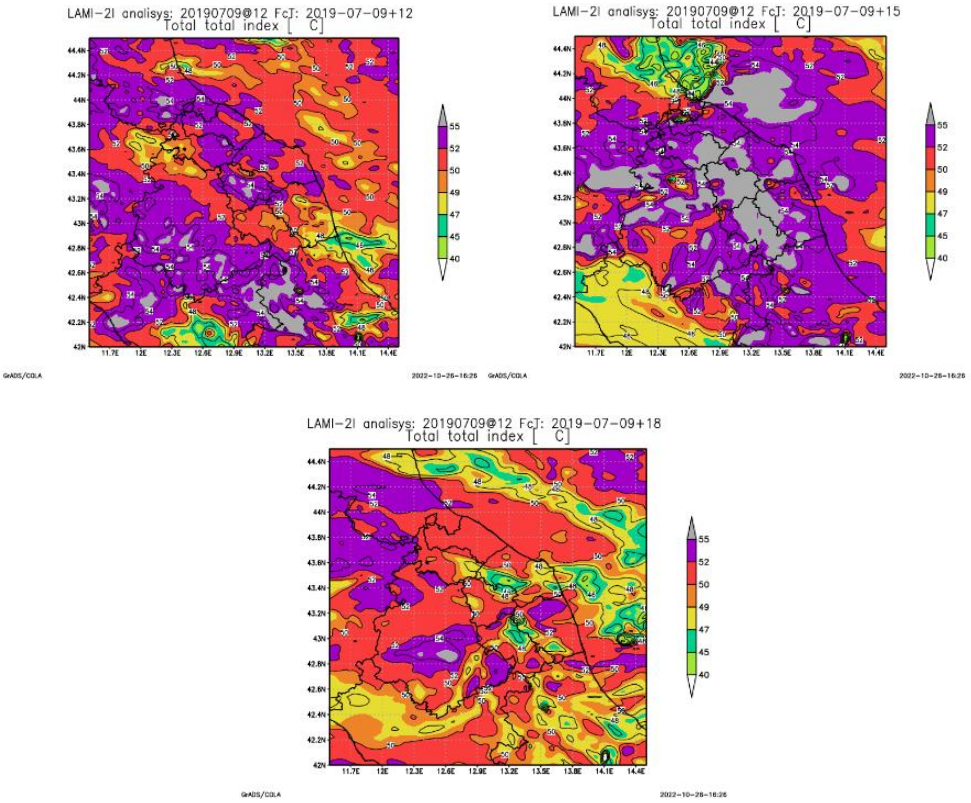


Figura 14 : TT rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal Modello LAMI 2I

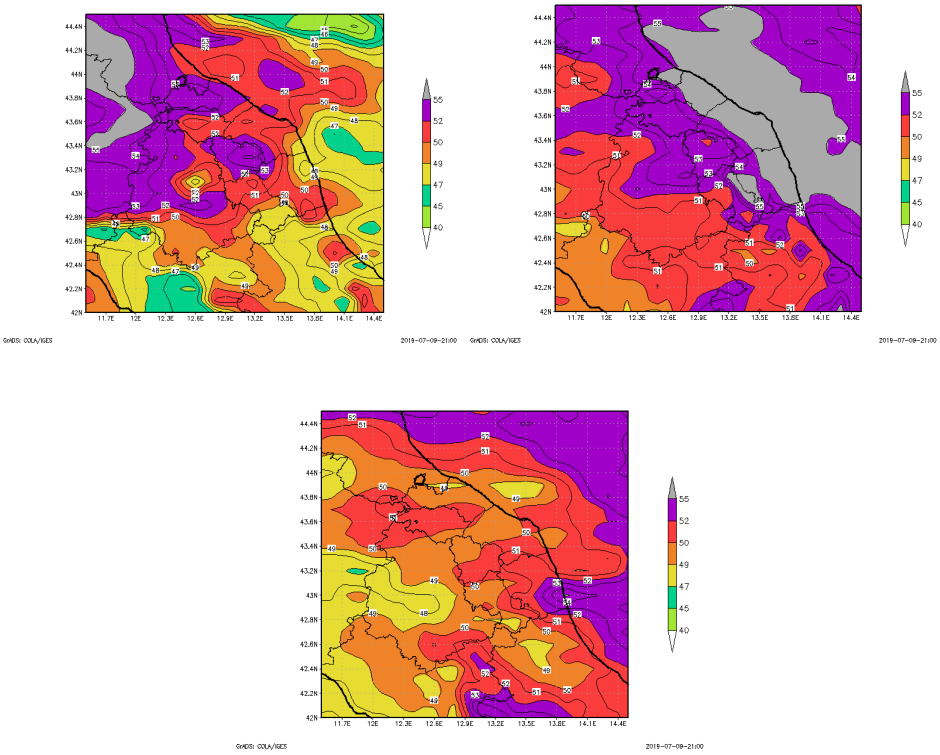


Figura 15 : TT rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

Come per il precedente caso con il parametro Sweat Index, anche con il Total Index si ha una situazione molto simile alla precedente.

Nella figura 14 sono mostrate le immagini derivanti dal Modello LAMI 2I. Nella seconda immagine della seguente figura (ore 15 UTC) rappresentante la situazione alle ore 17, appare il colore grigio, ma verosimilmente a quanto appreso con l'analisi del parametro Sweat Index, i valori più elevati (grigio) sono spostati più verso l'interno, non rappresentando la situazione che successivamente si è venuta a creare nel migliore dei modi.

Nella figura 15 si hanno le immagini elaborate dall'IFS di ECMWF che evidenziano valori alti dell'TI (scala del grigio : ovvero che preannunciano forti temporali), lungo la costa marchigiana, ovvero nella zona in cui poi si è verificata la maggior parte della precipitazione.

Nella terza immagine in figura 15 (ore 18 UTC) i colori prevalenti sono l'arancione e il rosso, mentre il grigio ed il viola si sono spostati sopra l'Adriatico, lasciandosi la costa marchigiana alle spalle. Mentre per quanto riguarda la terza immagine del modello LAMI 2I vi è ancora il colore viola presente ma al confine settentrionale delle Marche, mentre sull'Adriatico sono preponderanti i colori verde, giallo e rosso.

Entrambi i modelli però registrano valori elevati del Total Index alle ore 15 UTC.

Anche in questo caso le informazioni sono confrontabili, ma le immagini visualizzate dall'IFS sono migliori, in quanto viene posizionato un valore alto anche a nord del Conero.

6.4 Lifted Index

Il Lifted Index misura la stabilità dell'aria e quindi possiamo utilizzarlo al fine di ipotizzare l'intensità di un temporale.

Tanto più il valore di questo indice sarà basso, tanto più l'atmosfera risulterà instabile e quindi maggiore sarà la probabilità che si verifichino temporali intensi.

La scala utilizzata per la valutazione del Lifted Index è la seguente :

- LI > 2 = assenza di temporali
- LI 0 ÷ 2 = possibilità di isolati temporali
- LI -2 ÷ 0 = temporali abbastanza probabili
- LI -4 ÷ -2 = possibilità di temporali forti
- LI < -6 = temporali forti abbastanza probabili e possibili tornado

Il LI quindi, può essere utilizzato per prevenire i temporali. Tuttavia, il CAPE è considerato migliore per quanto concerne la quantificazione dell'instabilità.

Ma il Lifted Index è più veloce da calcolare e più facile da usare.

Si passa ora a confrontare i valori del LI visualizzati dal modello Europeo e successivamente dal LAMI 2I.

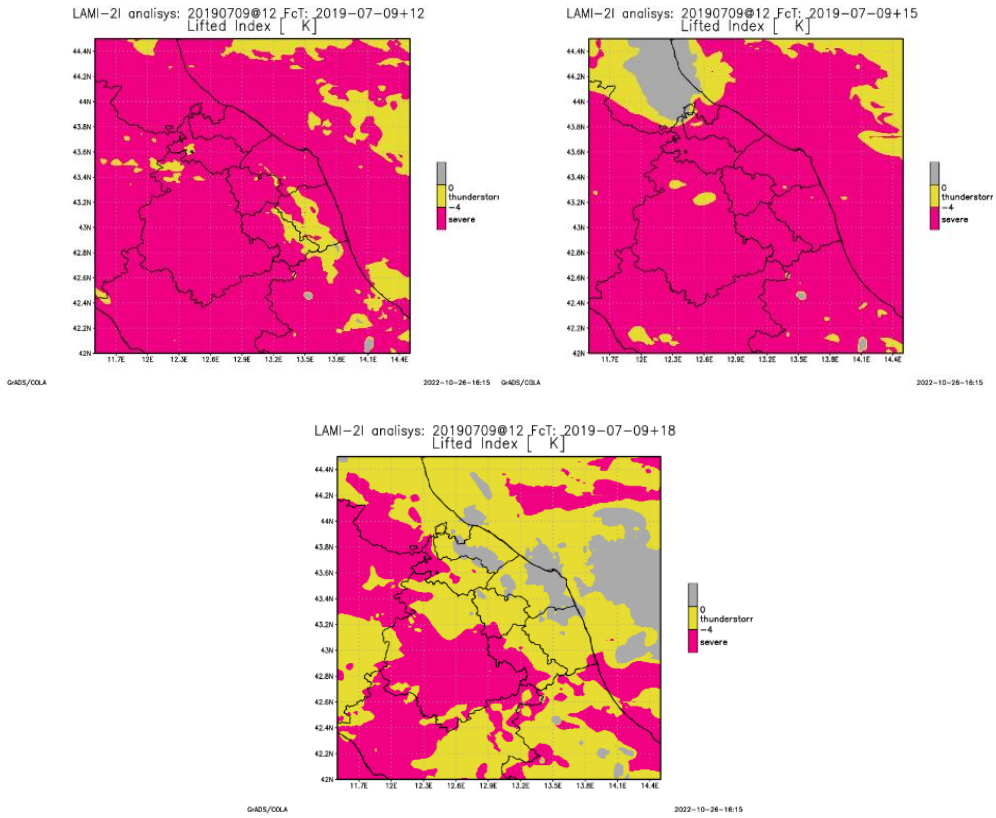


Figura 16 : LI rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal LAMI 2I

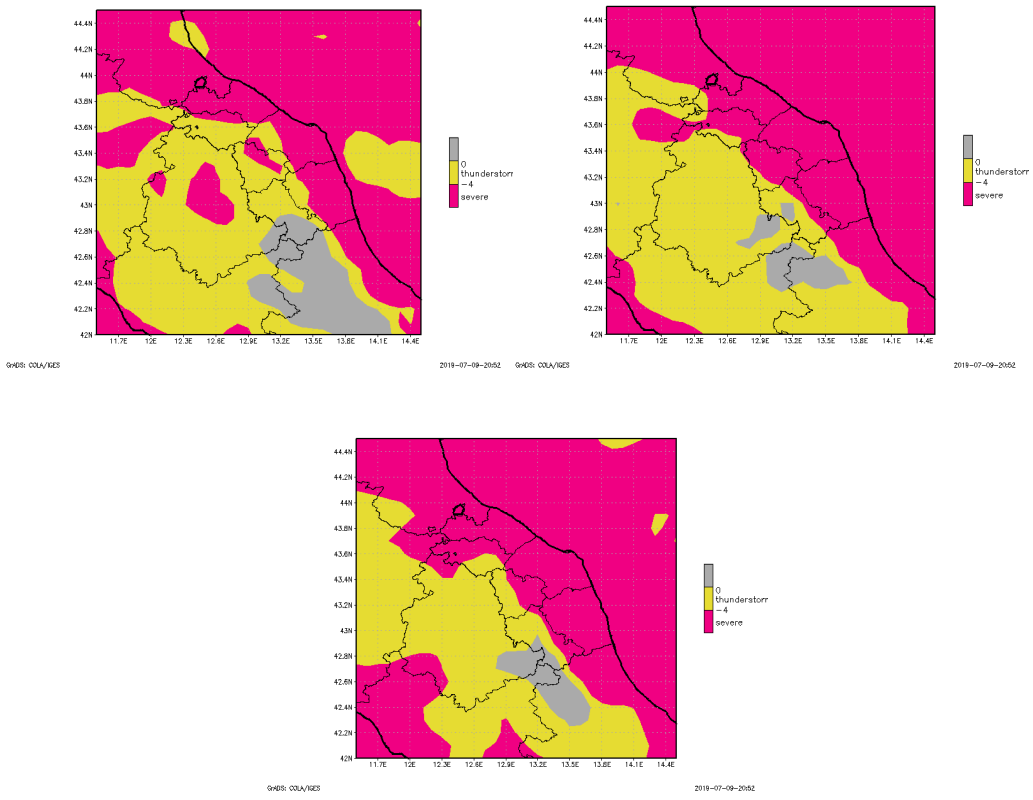


Figura 17 : LI rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS dei ECMWF

Tenendo a mente la scala del parametro Lifted Index, avremo che tanto più il colore prevalente è il fuxia tanto più è alta la possibilità che si verifichino temporali forti.

Per il parametro Lifted Index abbiamo in figura 17 le immagini elaborate dall'IFS di ECMWF. In queste immagini il colore maggiormente presente è il fuxia, posizionato sopra la costa marchigiana, ovvero sopra la zona che risulta essere la più colpita.

In figura 16, invece, sono rappresentate le immagini registrate dal modello LAMI 2I : in questo caso vengono dati valori simili a quelli registrati dal centro europeo con l'IFS di ECMWF fino alle ore 15 UTC.

Mentre se si analizza la situazione alle ore 18 UTC, andando a confrontare le due catene modellistiche, si nota che il modello del Centro Europeo continua ad evidenziare valori di Lifted Index elevati sulla medesima zona evidenziata precedentemente.

Il LAMI 2I, invece, alle ore 18 UTC, evidenzia valori molto bassi dell'indice (colore giallo e grigio in figura 16, immagine 3), non veritiero se si analizza il temporale che è avvenuto.

Anche in questo caso le informazioni sono confrontabili. Il LAMI 2I, però, allore ore 18 UTC abbassa il valore dell'indice, mentre l'IFS lo mantiene elevato.

6.5 Showalter Index

L'indice termodinamico SI viene utilizzato per valutare l'instabilità di un pacchetto d'aria alla quota di 850hPa.

L'indice può essere uguale o minore di +3 e quindi indicativo di rovesci e di possibile attività temporalesche. Mentre qualora fosse uguale o minore a -3 è associato a forte attività connettiva.

Il SI è molto simile al LI : questi vengono analizzati insieme per stabilire le potenzialità convettive dell'atmosfera.

- LI < e SI > = Cappa presente, quindi la convenzione potrà innescarsi solo dopo la rottura del CAP.
- LI > e SI < = La convenzione si innescherà se ci saranno significativi sollevamenti forzati.
- LI < e SI < = Convenzione molto probabile
- LI > e SI > = Convenzione molto difficoltosa

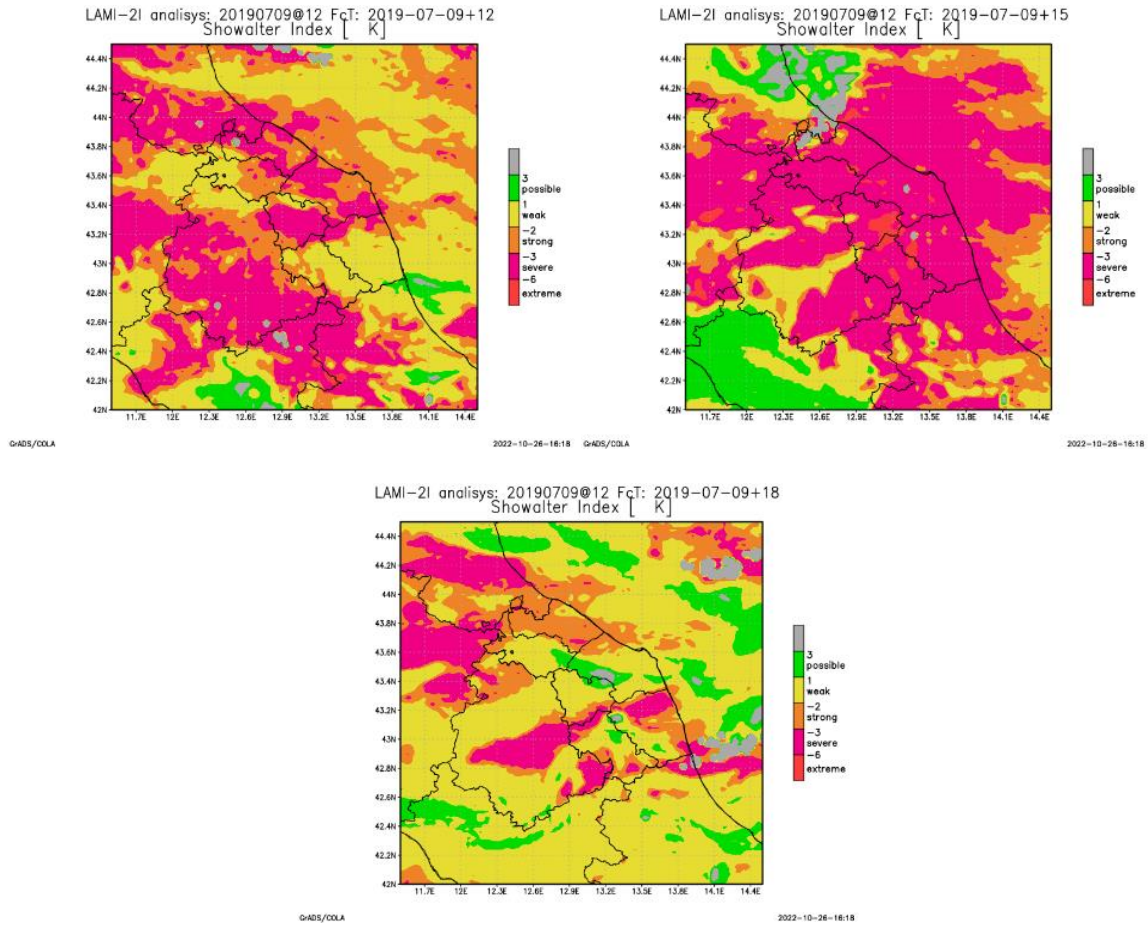
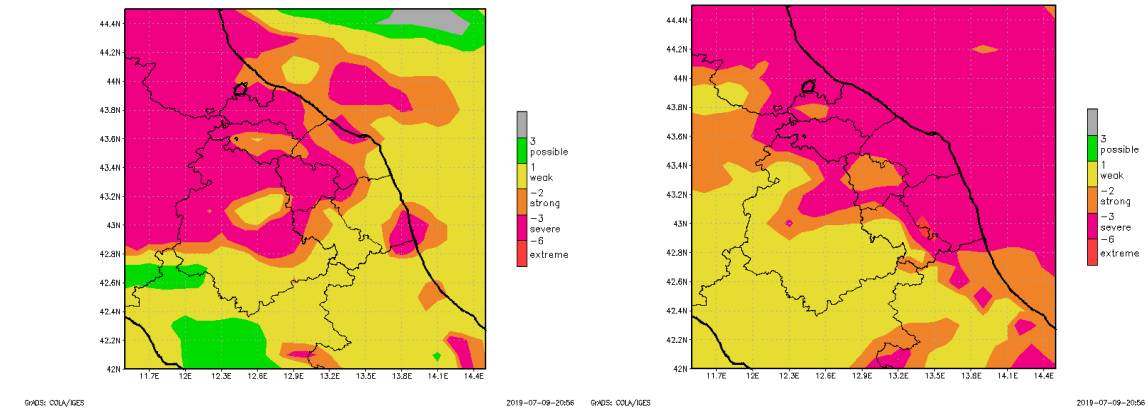


Figura 18 : SI rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal Modello LAMI2I



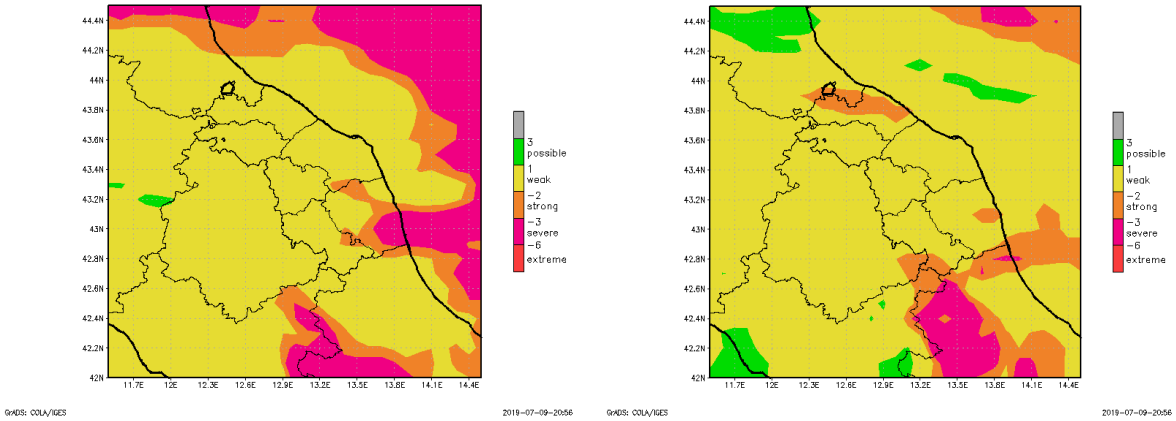


Figura 19 : SI rispettivamente alle ore 12, 15, 18, 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS

In figura 18 sono rappresentate le immagini ricavate dal modello ad area limitata, mentre in figura 19 quelle derivanti dall'IFS di ECMWF.

Entrambi i modelli si comportano similmente, in quanto entrambi mostrano valori di Showalter Index molto simili, posizionati in zone coincidenti.

Nella prima immagine di figura 18 viene evidenziata forte attività convettiva in avvicinamento alla costa marchigiana.

Successivamente, alle ore 15 UTC, lungo tutta la costa marchigiana raggiungiamo valori massimi di questo indice.

Per quanto concerne il modello a scala globale (l'IFS) in figura 19, invece, si può effettuare un discorso analogo. Alle ore 15 UTC si osservano valori elevati nelle stesse zone identificate con il modello LAMI 2I.

Alle ore 18 UTC, invece, i valori dell'indice calano in entrambi i casi ma è più evidente dalle immagini dell'IFS di ECMWF.

Considerando che la maggior parte del temporale lo si ha avuto lungo la costa marchigiana, entrambi i modelli per il parametro Showalter Index si sono comportati bene.

6.6 Whiting Index

Il Whiting Index, definito come K Index, permette di valutare l'instabilità atmosferica tra gli 850 e i 500 hPa di quota, prendendo in considerazione temperatura e umidità a tali altezze.

Questo parametro viene calcolato dalla seguente relazione :

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_{d700}) + V$$

I parametri che compaiono corrispondono rispettivamente a :

- T850 : rappresenta la temperatura in °C al livello di 850 hPa.
- T500 : rappresenta la temperatura in °C a 500 hPa.
- Td850 : rappresenta la temperatura di dewpoint (punto di rugiada) a 850 hPa.
- T – Td70 : rappresenta la differenza tra la temperatura ambientale e la temperatura di rugiada a 700 hPa.
- V : rappresenta l'avvezione di vorticità stimata a vista sulla mappa a 500 hPa. Si considera +5 per un'avvezione positiva di vorticità e -5 per un'avvezione negativa.

I valori raggiungibili da tale indice sono riportati in seguito :

- K < 15 : probabilità di temporali 0 %
- 20 < K < 15 : probabilità di temporali < 20 %
- 25 < K < 21 : probabilità di temporali 20 / 40 %
- 26 < K < 30 : probabilità di temporali 40 / 60 %

- 31 < K < 35 : probabilità di temporali 60 / 80 %
- 36 < K < 40 : probabilità di temporali 80 / 90 %
- K > 40 : probabilità di temporali > 90 %

Analizzando le prossime immagini, riferite al modello Europeo ed al LAMI 2I si effettuano delle osservazioni.

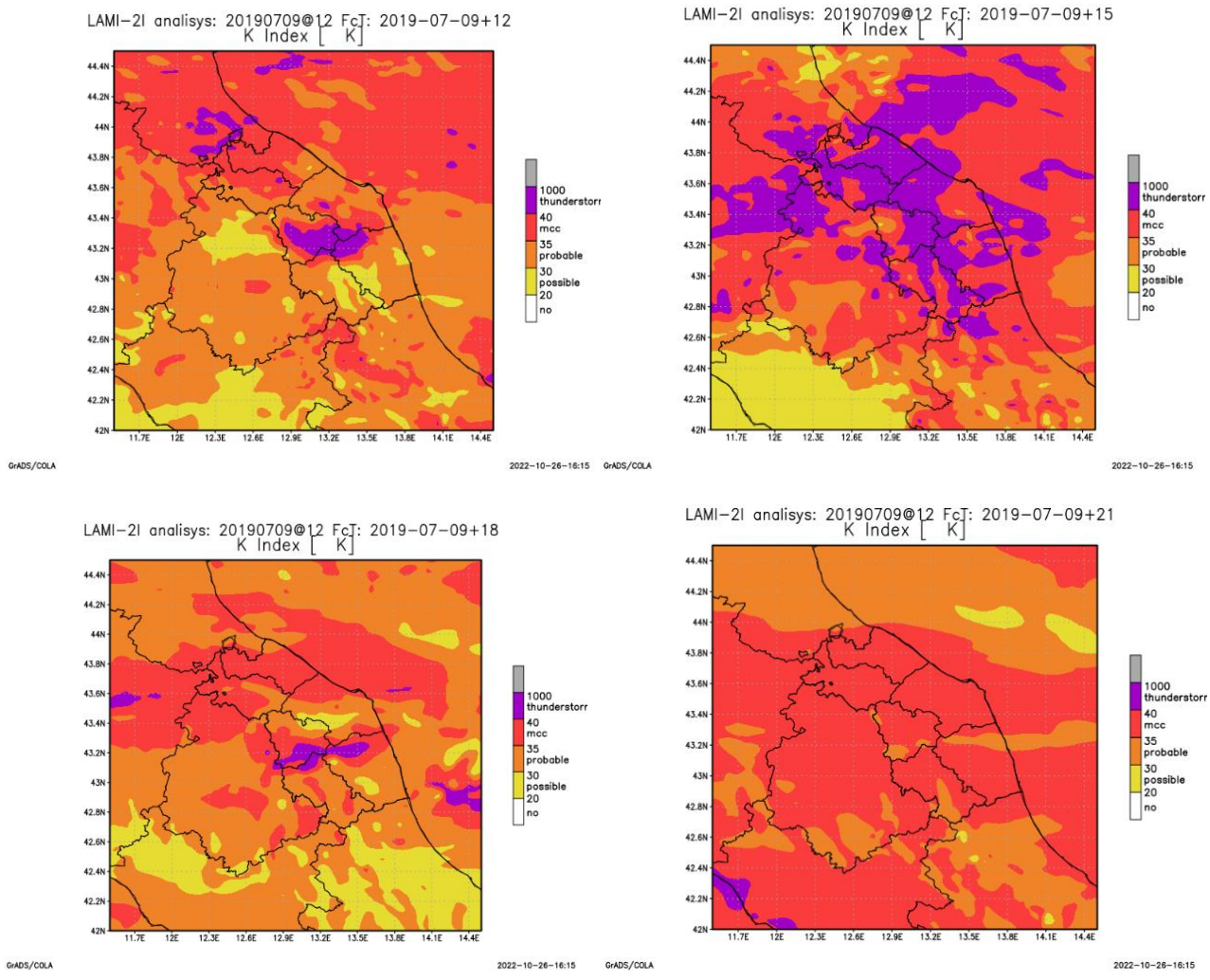


Figura 20 : K Index rispettivamente alle ore 12, 15, 18, 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal LAMI 2I

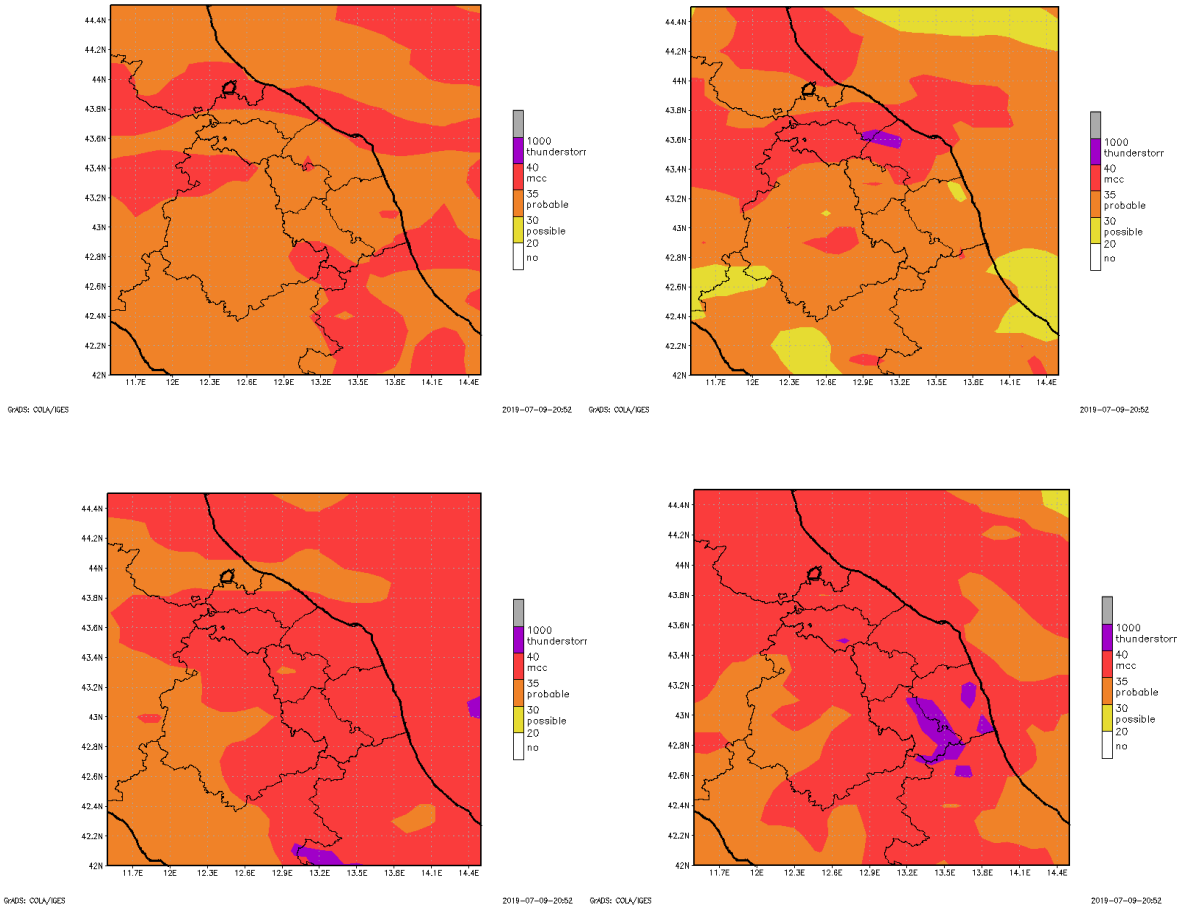


Figura 21 : K Index rispettivamente alle ore 12, 15, 18, 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

Sapendo che, più la scala del K Index è elevata e quindi più il colore tende progressivamente dal giallo al rosso al viola, tanto più è elevata la probabilità che si verifichi un temporale, si può dedurre che durante l'intero pomeriggio del 09 Luglio 2019 i valori sono risultati elevati.

L'IFS di ECMWF (Centro Europeo), in figura 21, dalle ore 18 alle ore 21 UTC evidenzia valori elevati di K Index (colore rosso), sopra la costa marchigiana. Nell'immagine 4, figura 21, viene evidenziato sopra l'ascolano un valore di K Index > 40 (colore viola).

Analizzando, invece, le immagini del modello LAMI 2I (figura 20), si notano valori di K Index elevati, concentrati soprattutto a nord di Ancona.

In realtà ciò non è molto veritiero, in quanto il temporale ha colpito principalmente zona a sud di Ancona, in particolare Numana, Loreto e Passatempo.

È bene quindi affiancare sempre i due modelli, in quanto il modello a scala limitata (LAMI 2I) ha evidenziato valori più veritieri di K Index con quanto accaduto (colore viole diffusa), ma la zona più colpita risulterebbe essere più a nord di dove si è poi verificato il temporale.

Anche in questo caso le immagini dei due modelli sono confrontabili. Il LAMI 2I tende ad associare il colore viola ad una zona più estesa, ma non centrata benissimo.

6.7 ThetaE 850

Questo parametro indica la temperatura potenziale equivalente ad 850 hPa. La temperatura potenziale equivalente è la temperatura di una massa d'aria in cui il vapore acqueo è fatto condensare liberando quindi il calore latente.

Questa temperatura è un importante parametro per determinare la stabilità di una massa d'aria. La temperatura potenziale più è alta, più l'aria è calda e umida e quindi più è probabile che si verifichi un temporale. Più invece questa è bassa, tanto più l'aria è fredda e secca.

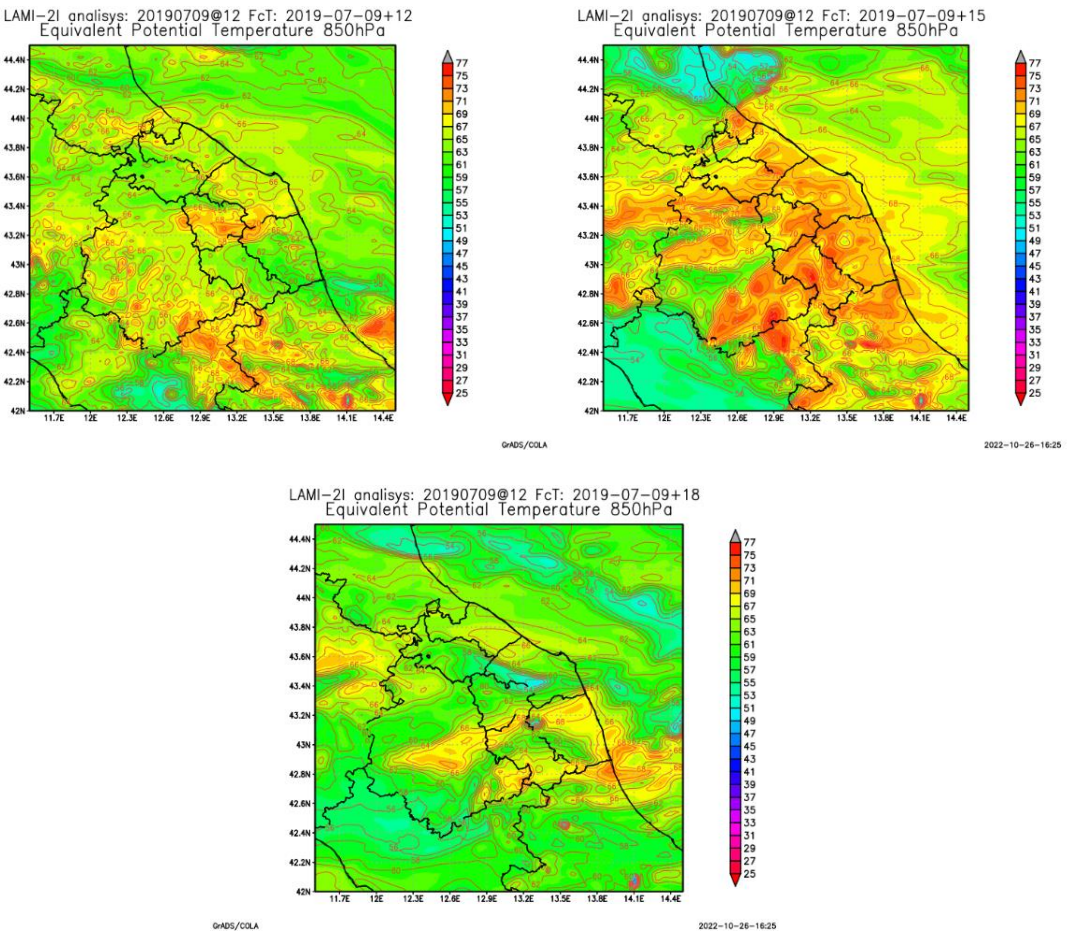


Figura 22 : TheataE registrato rispettivamente alle ore 12, 15 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal LAMI 2I

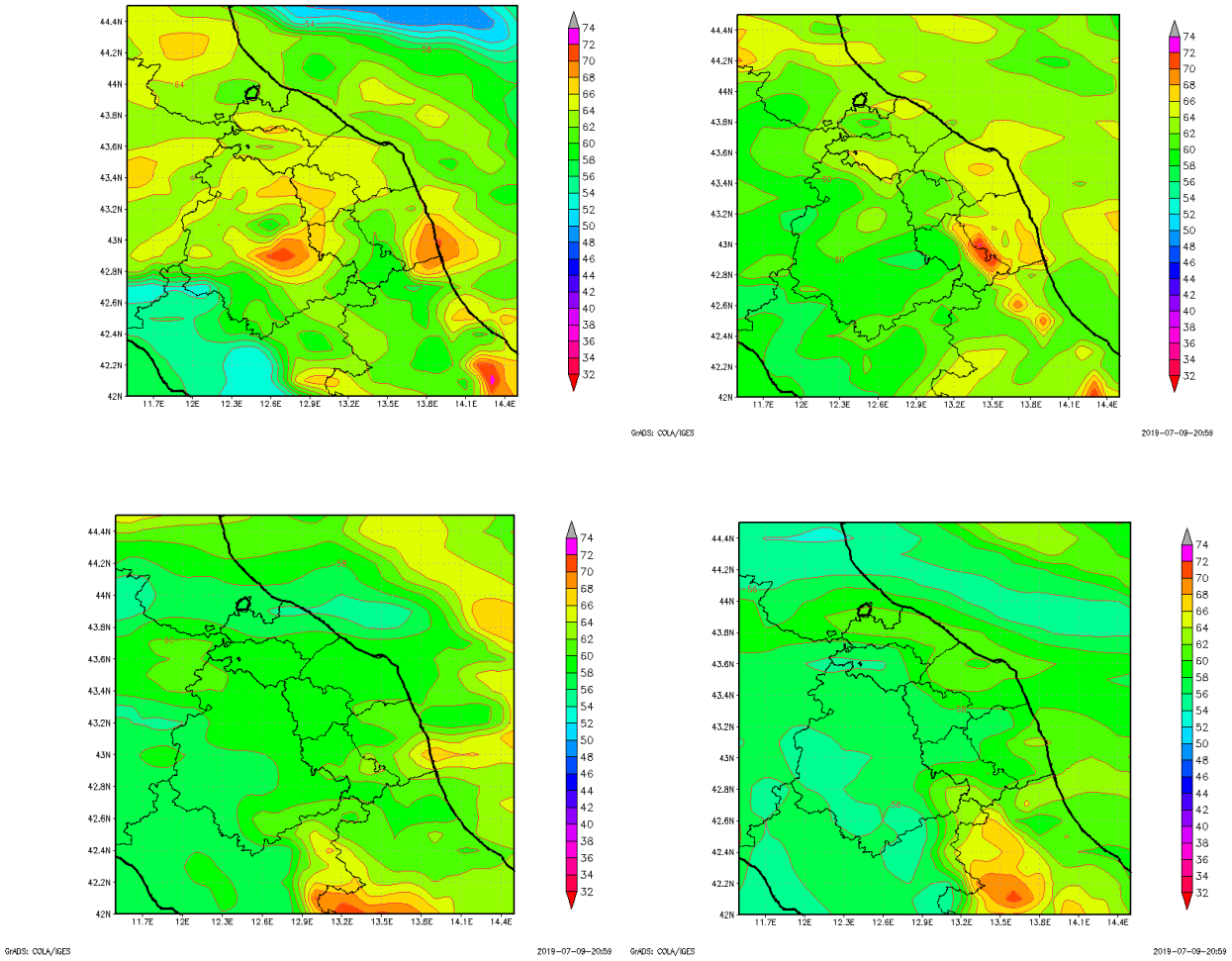


Figura 23 : TheataE registrato rispettivamente alle ore 12, 15, 18 e 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

Analizzando il parametro del TheataE e andando a confrontare le immagini elaborate dal LAMI 2I (figura 22) e quelle dell'IFS di ECMWF (figura 23),si osserva che con il LAMI vengono registrati valori di TheataE più elevati rispetto a quelli registrati dall'IFS di ECMWF, concentrati nella zona costiera delle Marche.

Anche il Centro Europeo evidenzia valori elevati di TheataE, ma posizionati all'interno delle Marche.

Si passa ad analizzare altri 2 parametri : la precipitazione cumulata ed il vento massimo, per verificare se anche in questo caso le informazioni ricavabili dai 2 modelli siano confrontabili o meno.

Il modello IFS, a causa del suo passo di griglia, presenta una parametrizzazione dei fenomeni convettivi; questo non accade invece con LAMI-2I il quale, grazie al passo di griglia di 2.2 km, risolve la convezione attraverso le equazioni rigorose. Questa differenza dovrebbe portare ad una migliore descrizione dei fenomeni convettivi da parte del modello ad area limitata, rappresentando così un valore aggiunto per il previsore rispetto al solo utilizzo di un modello di circolazione generale.

6.8 Precipitazione cumulata in 3 ore

La precipitazione cumulata rappresenta il quantitativo di precipitazione previsto in un punto in un determinato intervallo di tempo; nel nostro caso, la precipitazione cumulata sulle 3 ore risulta abbondante se è superiore ai 40 mm.

A seguire le mappe di precipitazione tri oraria dei due modelli presi in considerazione.

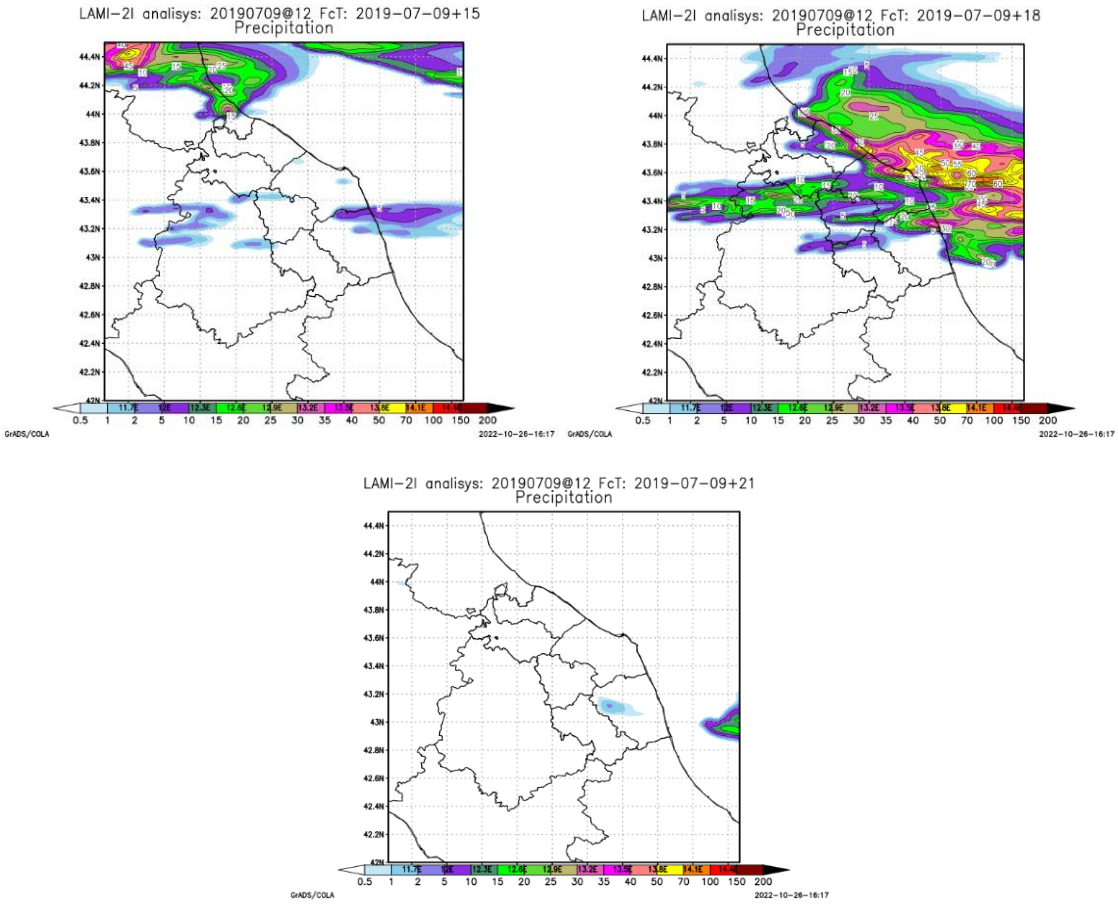


Figura 24 : precipitazione cumulata in 3 ore rispettivamente alle ore 15, 18, 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal LAMI 2I

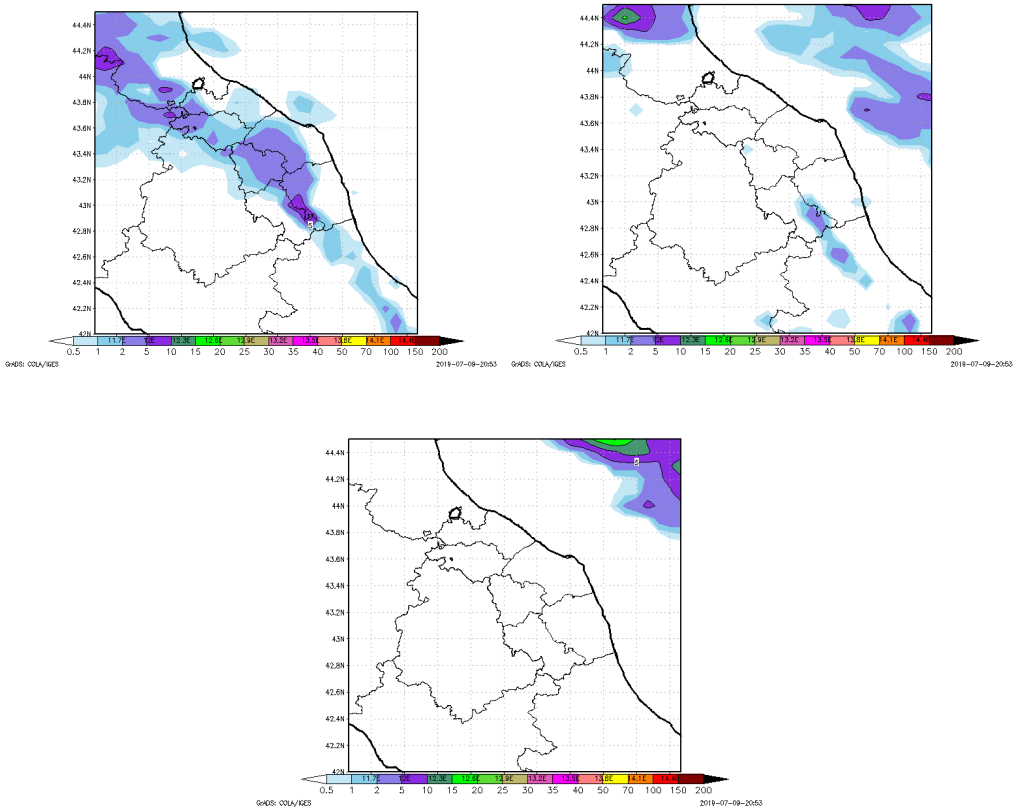


Figura 25 : precipitazione cumulata in 3 ore rispettivamente alle ore 15, 18, 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

Visualizzando le immagini di figura 24 (LAMI 2I) e di figura 25 (IFS di ECMWF) è possibile notare differenze evidenti.

Il modello del Centro Europeo evidenzia un picco di pioggia caduta nell'arco temporale che va dalle 14 alle 17, con un picco di 10 mm nell'interno delle Marche.

Il LAMI 2I, invece, in questo caso, ci offre una visione dettagliata della situazione. L'immagine 2 in figura 24, ci evidenzia una quantità notevole di precipitazione riversatosi ed accumulatosi nella costa marchigiana.

La zona dell'anconetano è colorata in fuxia e giallo, indicandoci una precipitazione cumulata tra i 40 ed i 70 mm tra le 14 e le 17.

Analizzando questo parametro possiamo affermare che nel caso della precipitazione cumulata la performance migliore è stata quella del modello LAMI 2I, perché grazie ai dati registrati dai pluviometri (figura 5) sappiamo per certo la quantità di pioggia caduta e dove essa si è concentrata.

Invece, grazie ad entrambe le immagini riferite alle ore 21 UTC, sia per il Centro Europeo che per il LAMI 2I, possiamo verificare che il temporale si è andato spostando verso est lasciandosi la costa marchigiana alle spalle. Nella terza immagine della figura 25, infatti, quasi l'intero territorio marchigiano aveva una cumulata di precipitazione dalle ore 20 alle ore 23 inferiore agli 0.5 mm.

I campi degli indici sopra descritti sono più o meno uguali, mentre per quanto riguarda la previsione della pioggia si notano sostanziali differenze e si osservano i pro del modello ad area limitata (LAMI 2I) che riesce ad interpretare rigorosamente il fenomeno.

6.9 Vento Massimo

Nei grafici riportati in seguito vengono evidenziate le raffiche di vento, utilizzando come unità di misura i m/s. A seconda della velocità del vento avremo diverse intensità:

- Velocità 0 m/s : calma.
- Velocità 0 – 5 m/s : debole.
- Velocità 5 – 10 m/s : moderata.
- Velocità 10 – 15 m/s : forte.
- Velocità > 15 m/s : molto forte.

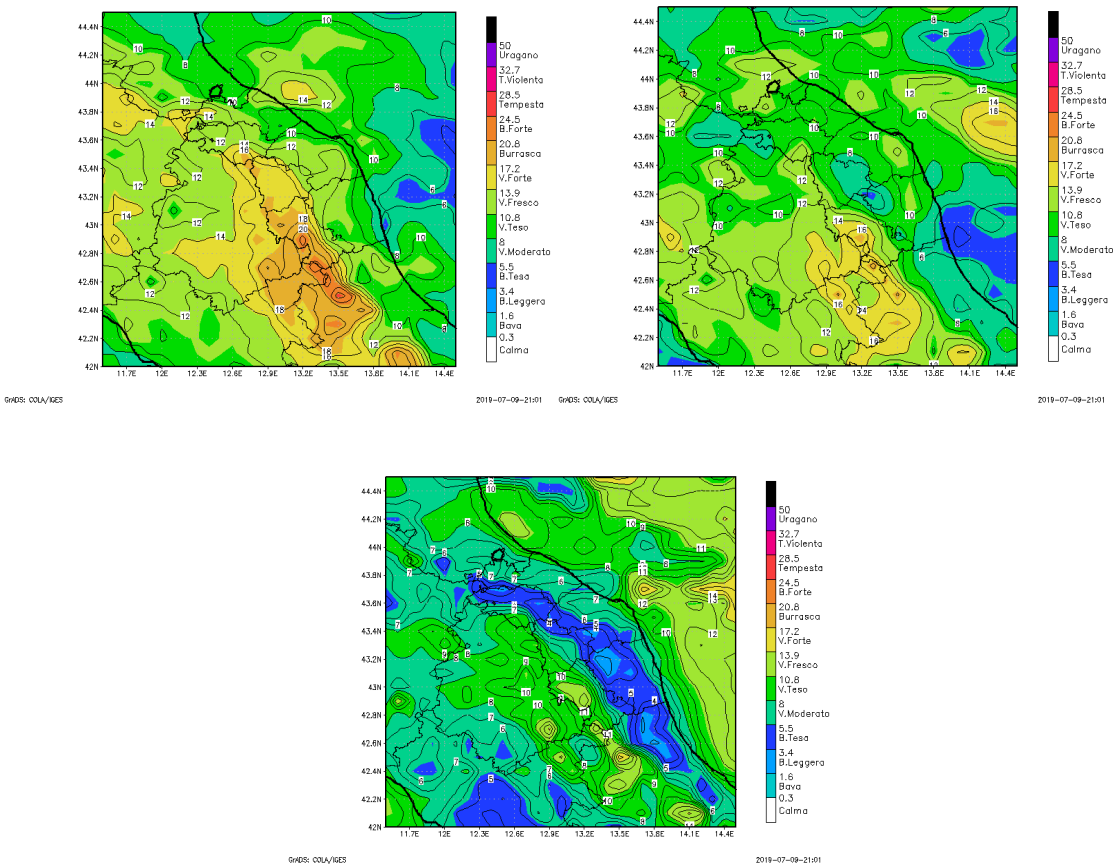


Figura 26 : vento massimo registrato rispettivamente alle ore 15, 18 e 21 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dall'IFS di ECMWF

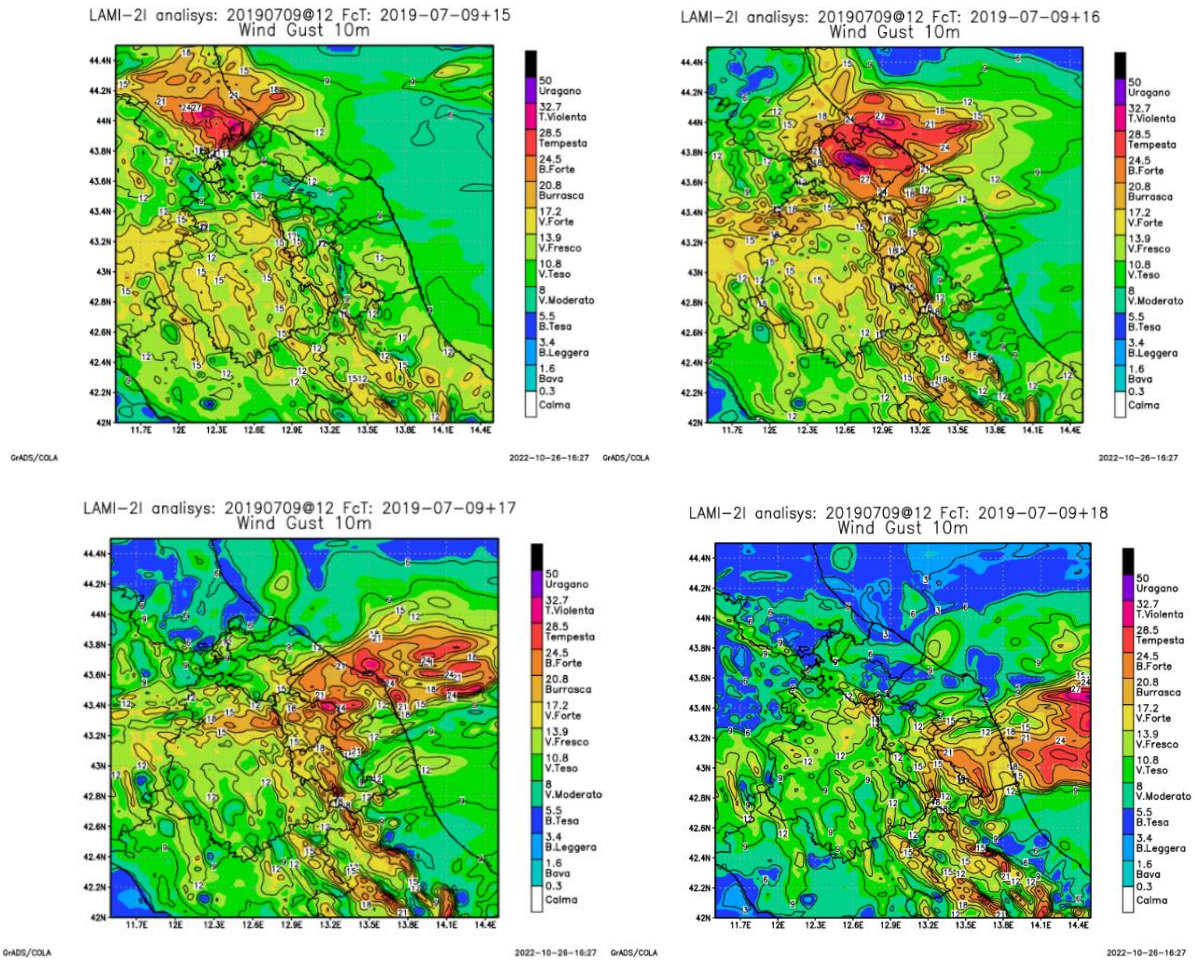


Figura 27 : vento massimo registrato rispettivamente alle ore 15, 16, 17 e 18 UTC del giorno 09 / 07 / 2019 visualizzato dal LAMI 2I

Nelle tre immagini presenti in figura 26 possiamo andare a visualizzare in quali aree erano state previste le raffiche di vento più intense.

Alle ore 17 (15 UTC) il vento raggiungeva valori di velocità superiori ai 20 m/s nella zona interna tra fermano ed ascolano, mentre nella zona più interessata dalle precipitazioni, il modello Europeo permette di visualizzare una velocità del vento inferiore ai 14 m/s (vento forte).

Nelle ore nelle quali il temporale ha raggiunto la sua massima intensità, le mappe di vento di LAMI 2I (figura 27) mostrano dei valori molto elevati del vento proprio nel settore costiero centrale, con raffiche fino a “tempesta”; non si hanno invece le mappe per il modello IFS, data la sua cadenza tri oraria.

Analizzando però il vento massimo previsto per la serata del 09 Luglio (18 UTC), permangono differenze notevoli tra i due modelli, con il LAMI 2I che continua a simulare raffiche importanti nel settore costiero meridionale, mentre quelle previste da IFS non risultano oltre i 14 m/s.

Per il parametro vento massimo, il modello a scala limitata si è comportato meglio: infatti, andando a riprendere la figura 6 e 6.1, la zone più interessata dalle raffiche di downburst associate all’evento temporalesco è proprio quello che il LAMI 2I associa alle raffiche di vento più forti.

Anche in questo caso, il LAMI 2I è riuscito a simulare meglio il parametro della velocità del vento rispetto a IFS.

7. CONFRONTO VALORI MASSIMI DEL VENTO CON I TEMPI DI RITORNO

Avendo a disposizione le tabelle contenenti tutti i valori delle velocità massime e medie del vento delle stazioni delle Marche dall'anno 2004 all'anno 2022, utilizzati per il tirocinio, si estrapolano i valori nostro oggetto di studio.

Si riporta in seguito, in figura 28, la tabella con i dati riguardanti il vento registrati dalla stazione di Ancona, per la fascia orario che va dalle ore 16 : 30 alle ore 22 : 00.

Ora	Vento Massimo	Vento Medio
16 : 30	5.20	3.20
16 : 40	6.70	3.90
16 : 50	6.00	3.70
17 : 00	17.70	4.40
17 : 10	24.20	15.30
17 : 20	17.10	7.20
17 : 30	6.40	1.50
17 : 40	5.00	1.60
17 : 50	5.00	1.90
18 : 00	3.30	1.20
18 : 10	4.30	2.10
18 : 20	5.40	3.00
18 : 30	5.00	3.00
18 : 40	3.40	1.30
18 : 50	2.50	1.30
19 : 00	5.50	2.90
19 : 10	4.40	2.40
19 : 20	3.50	1.70
19 : 30	3.70	1.80
19 : 40	4.10	2.80
19 : 50	4.30	2.30
20 : 00	4.70	2.40
20 : 10	4.00	2.50
20 : 20	5.40	2.90
20 : 30	4.10	2.40
20 : 40	4.10	2.60
20 : 50	3.50	2.50
21 : 00	3.60	2.70
21 : 10	2.90	2.20
21 : 20	3.10	2.20
21 : 30	4.50	3.10
21 : 40	4.20	3.00
21 : 50	4.90	3.30
22 : 00	4.10	3.10

Figura 28 : parametri vento registrati dalle ore 16 : 30 alle ore 22 : 00 del giorno 09 / 07 / 2019 dalla stazione di Ancona

In figura 28 si osservano fasce orarie di 10 minuti, ad ognuna della quali è associato un valore in termini di vento massimo e vento medio.
Si può rilevare che la velocità massima del vento per la giornata del 09 Luglio 2019, ad Ancona, è stata osservata nei 10 minuti compresi tra le 17 e le 17 : 10, con un valore che ha raggiunto i 24.20 m/s, che risulta essere anche la massima osservata per l'intera giornata.

Durante il tirocinio svolto presso il Centro Funzionale della Direzione Protezione Civile e Sicurezza del Territorio – Regione Marche, ho avuto modo di analizzare una serie di dati storici in termini di vento di diverse stazioni meteo presenti nella Regione Marche per poter ricavare, tramite la programmazione di un algoritmo dedicato con il software R, i tempi di ritorno del vento stesso.

Possiamo ora effettuare un confronto tra le velocità massime estrapolate dalla Rete Meteo – Idro – Pluviometrica con i valori dei tempi di ritorno.
Il tempo di ritorno è un modo statistico di esprimere la probabilità di qualcosa che accade in un dato anno : un evento con tempo di ritorno pari a 100 anni ha l'1 % di probabilità di accadere in un dato anno.

Eseguendo il programma da me creato sul software R (presente in allegato), si ricava una tabella contenente i tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni, riportata di seguito :

	Tr20	Tr50	Tr100
Ancona	31.6	35.7	39.4
Camerino	38.0	40.6	42.2
Colle	30.7	30.9	31.0
Mozzano	38.9	44.5	48.3
Pesaro	47.0	59.0	64.0
Pintura	53.1	58.0	61.1
PSElpidio	35.6	46.2	57.4
Sassotetto	47.9	48.3	48.5
Sbenedetto	43.8	48.8	52.0
Urbino	36.0	36.5	36.8

Figura 29 : tabella contenente i tempi di ritorno in 20, 50 e 100 anni

Confrontando, a questo punto, la velocità massima registrata il 09 Luglio 2019, ovvero di 24,20 m/s (ore 17 :10), con il tempo di ritorno nella riga “Ancona” in figura 29, si osserva essere minore del 31,6 m/s (Tr20).

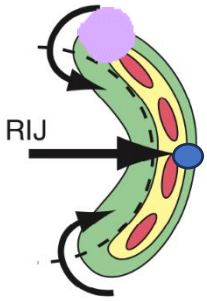


Figura 30

Perciò, il vento massimo registrato quel giorno è stato inferiore al valore del Tr20. Questo, però, non garantisce che il vento non possa essere stato molto più intenso in altre zone. infatti, la velocità massima del vento si verifica nella zona evidenziata con un pallino blu in figura 30, ovvero nella parte centrale esterna dell’arco. Ancona, invece, si trovava nella zona evidenziata con il colore lilla in figura 30, quindi in un punto diverso rispetto a quello interessato dal maggior vento.

Si ripete lo stesso ragionamento fatto per la stazione di Ancona, per la stazione di Porto Sant'Elpidio :

Ora	Vento Massimo	Vento Medio
16 : 30	7.20	4.50
17 : 00	7.30	4.40
17 : 30	18.20	5.70
18 : 00	25.10	11.40
18 : 30	8.20	2.30
19 : 00	2.00	0.50
19 : 30	2.20	0.40
20 : 00	2.30	0.60
20 : 30	2.60	0.70
21 : 00	2.90	0.50
21 : 30	2.30	0.80
22 : 00	2.70	0.80
22 : 30	2.50	0.60
23 : 00	2.90	0.50

Figura 31 : parametri vento registrati dalle ore 16 : 30 alle ore 23 : 00 del giorno 09 / 07 / 2019 dalla stazione di Porto Sant'Elpidio

Dalla tabella riportata in Figura 31, riguardante i valori di vento massimo e medio registrati dalla stazione di Porto Sant'Elpidio, si nota una velocità massima di 25.10 m/s registrata nella mezz'ora compresa tra le 17 : 30 e le 18 : 00.

Gli orari del vento massimo registrato nella stazione di Ancona e in quella di Porto Sant'Elpidio non coincidono, ma ciò può essere spiegato seguendo l'andamento discendente del temporale, visualizzabile anche alla figura 7.

Andando a visualizzare, infine, la tabella di figura 31, si effettua un confronto tra la velocità massima registrata il 09 Luglio 2019, ovvero di 25.10 m/s, con il tempo di ritorno alla riga "Porto Sant'Elpidio" in figura 29. Il valore 25.10 m/s risulta essere inferiore al 47.0 m/s, che rappresenta il valore di vento massimo associato ad un tempo di ritorno di 20 anni.

8. CONCLUSIONI

Con il lavoro di tesi sopra presentato si è analizzato l'evento temporalesco estremo accaduto il 09 Luglio 2019 nei pressi di Ancona, passando in rassegna diversi parametri, quali immagini satellitari e immagini radar.

Si è passati, poi, al confronto tra 2 tipi di modelli : LAMI 2I e l'IFS di ECMWF con l'obiettivo di identificare il modello più attendibile ai fini previsionali.

Per quanto riguarda gli indici, sono stati utili entrambi i modelli, in quanto le osservazioni effettuate erano confrontabili.

Per quanto riguarda, invece, i parametri della precipitazione e del vento massimo, il modello ad area limitata, ovvero il LAMI 21, si è comportato rigorosamente, riuscendo a descrivere bene il fenomeno. L'IFS, invece, non è risultato molto preciso nella simulazione della precipitazione cumulata e del vento massimo.

Si passa poi all'analisi del vento massimo, paragonandolo ai tempi di ritorno.

Come affermato sopra, la velocità del vento, registrata sia dalla stazione di Ancona che dalla stazione di Pesaro, risulta essere inferiore al tempo di ritorno di 20 anni (Tr20).

9. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Sito protezione civile : https://www.protezionecivile.gov.it/it/

Sito Regione Marche : https://www.regione.marche.it/

Sito Meteo Svizzera : https://www.meteosvizzera.admin.ch/tempo/tempo-e-clima-dalla-a-alla-z/temporali.html

Sito Meteo Cloud : https://www.meteocloud.it/2019/05/09/gli-indici-temporaleschi/

IT – Alert : https://www.it-alert.it/it/cose/

Istituto Superiore di Sanità : https://www.epicentro.iss.it/fulmini/

Meteo Esa : https://www.meteoesa.com/

Laurent Goulet, “Bow Echoes : Conceptual Schemes and European Relevance”, Meteo France

“Rapporto preliminare di evento, maltempo 09-10 Luglio 2019, Centro Funzionale Regionale