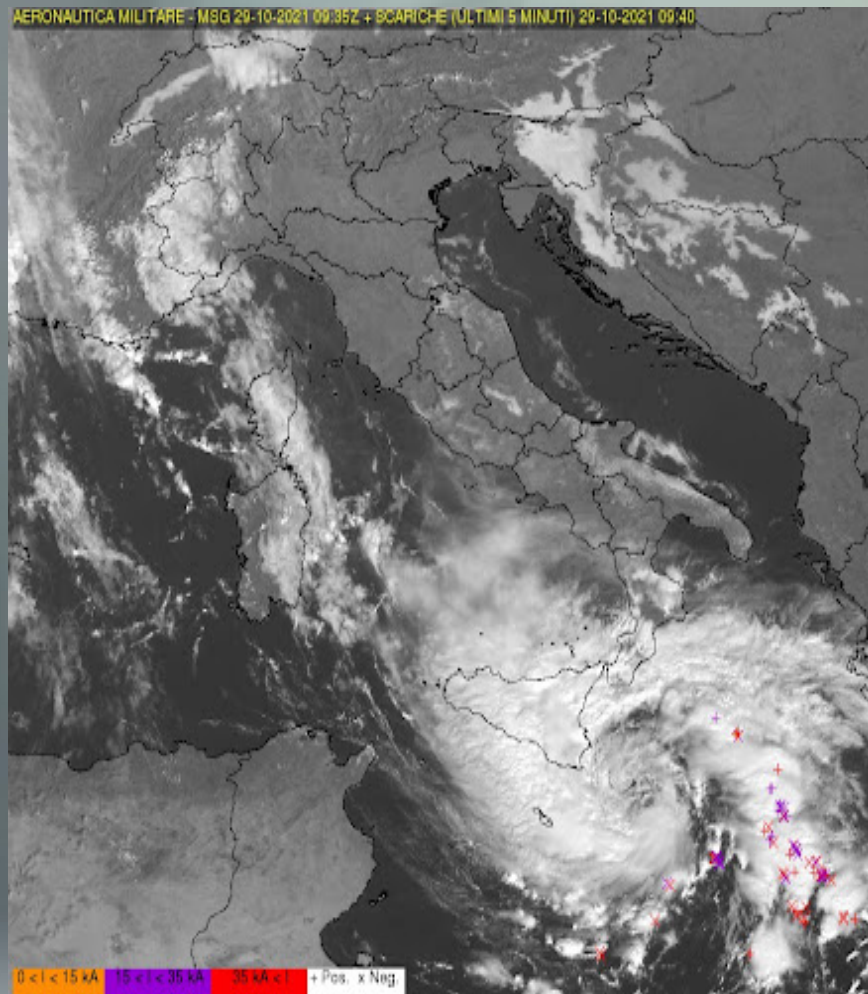


IL CICLONE APOLLO

Analisi di una tempesta

di Giancarlo Modugno

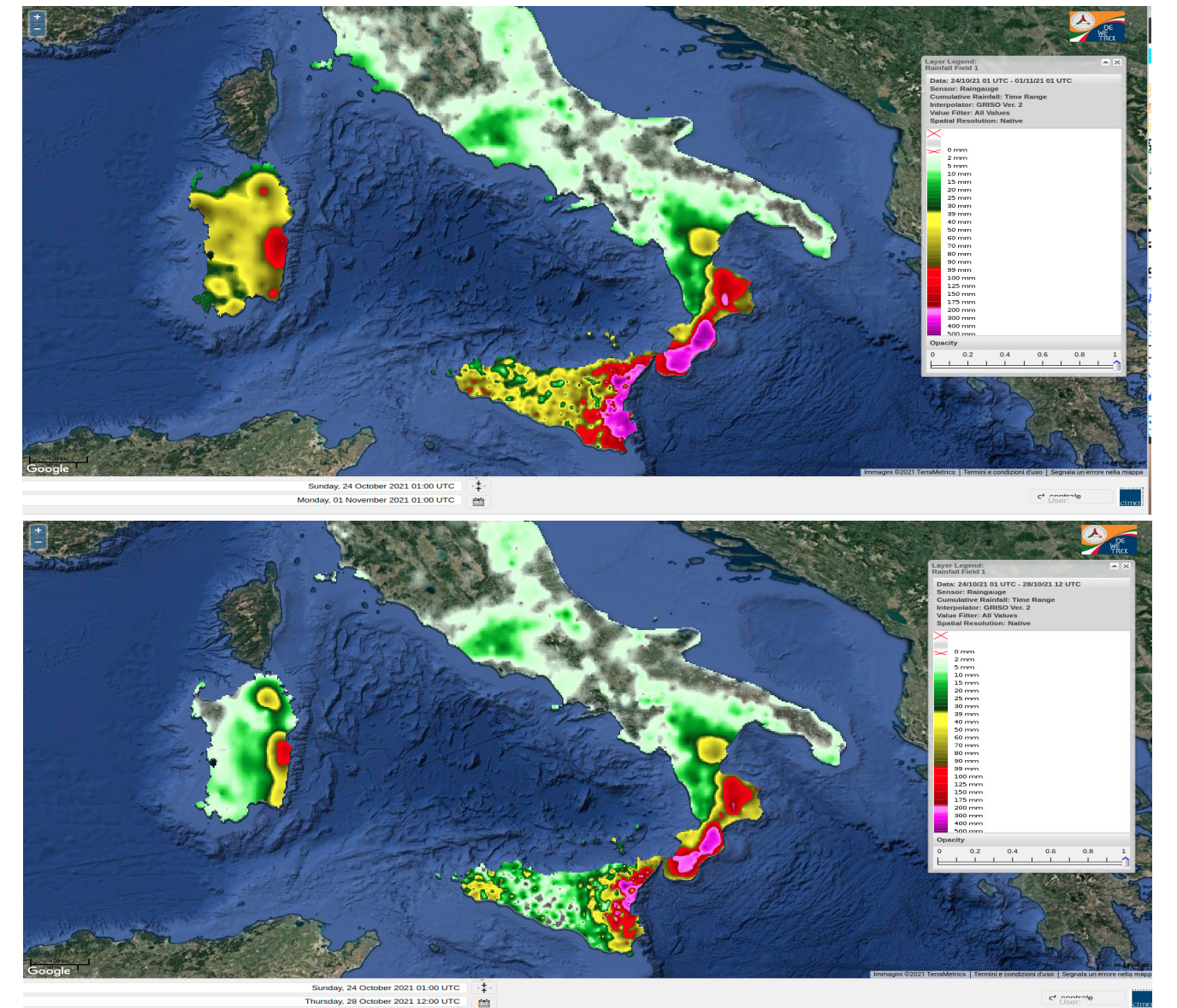
Il 28 ottobre 2021 il ciclone nel Mediterraneo Centrale denominato Apollo ha assunto le caratteristiche di Tropical Like Cyclone; le condizioni meteorologiche prima e dopo la genesi dell'evento hanno determinato eventi meteorologici intensi sulle coste meridionali italiane e sulle coste di Algeria e Tunisia, provocando numerosi disagi e perdita di vite umane. Nell'articolo vengono analizzati la situazione sinottica, alcuni processi fisici e gli elementi strutturali che hanno determinato la nascita del ciclone e lo hanno caratterizzato. Infine, si propongono alcune considerazioni sulla predicibilità dell'evento e sulla problematica legata alla definizione in letteratura di Tropical Like Cyclone e Mediane.

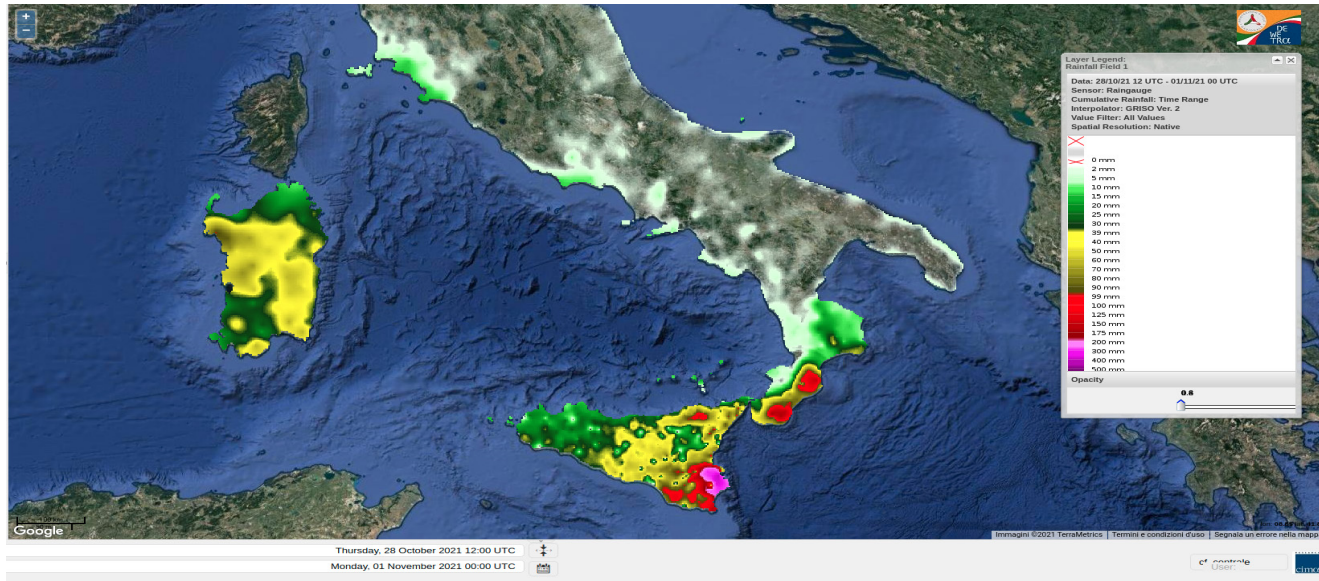


Il 28 ottobre 2021 il Mediterraneo centrale è stato interessato dalla formazione di un ciclone di tipo tropicale o comunemente detto TLC (*Tropical Like Cyclone*), suscitando particolare interesse tra gli addetti ai lavori e soprattutto tra i media. L'evoluzione meteorologica di questo fenomeno, in particolare la dinamica dei giorni

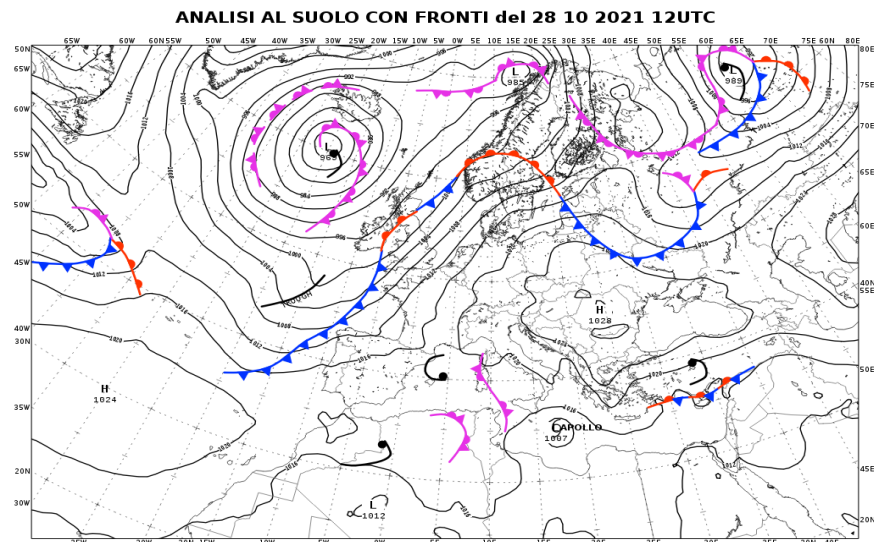
precedenti, ha determinato molti disagi tra Sicilia e Calabria: ci sono stati molti episodi di allagamento, con la conseguente estensione dello stato di emergenza dapprima a 51, poi a ben 86 comuni; anche in Tunisia e Algeria, sono stati registrati danni ingenti e perdita di vite umane. Dal punto di vista tecnico possiamo stabilire che l'evento meteo-

rologico nella sua interezza sia durato una settimana, ovvero dal 24 ottobre al 1 novembre 2021. In particolare, dal 24 ottobre si sono determinate le concause che hanno portato alla genesi del TLC a seguito della ciclogenesi sul mare e dell'arrivo di una massa d'aria più fresca e instabile, a partire dalle 12.00 UTC del 28 ottobre il nome "Apollo" è stato



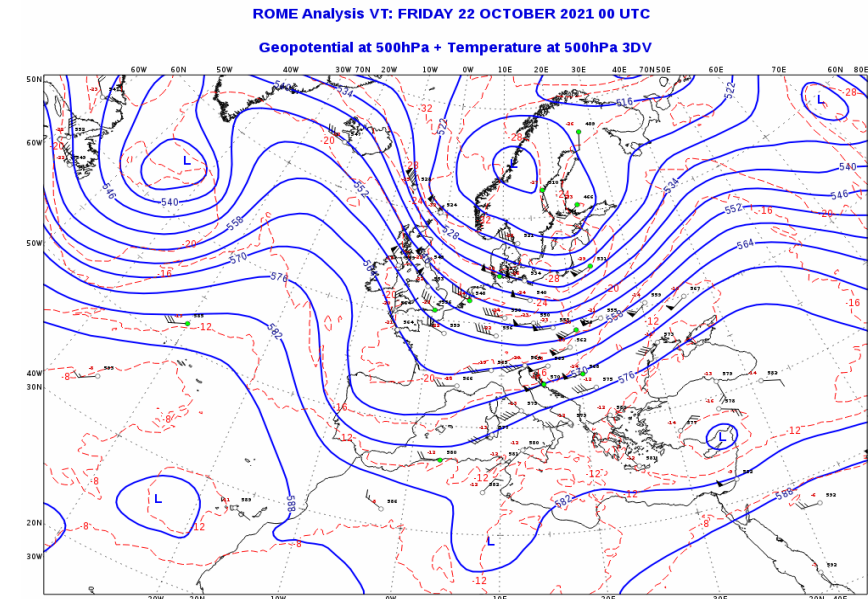


Nelle pagg. precedenti, in apertura, immagine da satellite con le scariche elettriche rilevate il 29 ottobre 2021 ore 09.40 UTC. A seguire, le immagini degli accumuli di precipitazione registrati rispettivamente dalle 00.00 UTC del 24 ottobre 2021 (inizio evento) alle 00.00 UTC del 1 novembre 2021 e dalle 00.00 UTC del 24 ottobre 2021 (inizio evento) alle 12.00 UTC del 28 ottobre 2021. In questa pagina, gli accumuli di precipitazione dalle 12.00 UTC del 28 ottobre 2021 (genesì Apollo) alle 00.00 UTC del 1 novembre 2021 (fine evento) - Fonte CIMAFOUNDATION; a fianco l'analisi al suolo con fronti del 28 ottobre 2021 ore 12.00 UTC.



inserito nella produzione grafica e testuale del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica; una volta diventato maturo, il TLC si è evoluto portandosi a nord e si è allontanato definitivamente verso sud-est per la successiva dissipazione sulle coste del Mediterraneo meridionale tra il giorno 1 e 2 novembre. Nelle immagini sopra riportate, notia-

mo la distribuzione delle precipitazioni al Sud Italia dal 24 ottobre al 1 novembre e anche nelle due fasi individuate: è importante notare che ben prima che il TLC si formasse, le condizioni meteorologiche erano già critiche sulla Calabria meridionale e sulla Sicilia orientale con accumuli di precipitazione molto elevati (ben superiori a 500 mm, in media

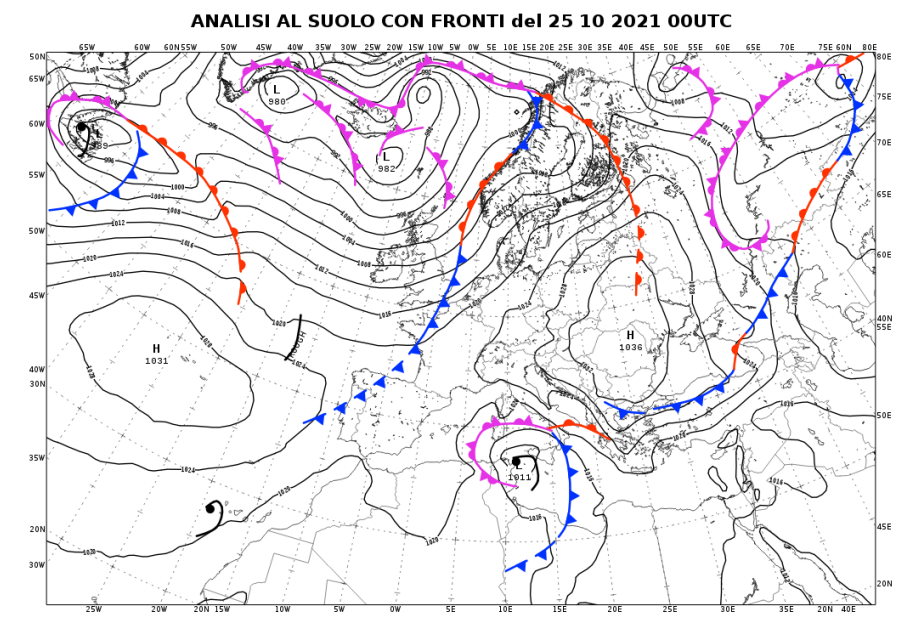


circa 100 mm al giorno), con buona analogia a quanto accadde a inizio novembre del 2011 con il TLC *Rolf* quando non fu il ciclone, bensì il precedente richiamo di correnti meridionali umide e intense a determinare i profondi disagi nella zona della Liguria e in particolare su Genova. Tuttavia in questa occasione il TLC si è avvicinato pericolosamente alle coste e ha determinato forti piogge e nubifragi.

Descrizione dell'evento meteorologico

Il 22 ottobre una vasta saccatura in quota (fig. in alto) era in transito sull'Europa con un asse esteso dalla Scandinavia fino alla Penisola Iberica; questa saccatura era associata a un profondo minimo barico di 970 hPa nei pressi della Finlandia e si è insinuata fra l'anticiclone sull'Atlantico e un'area di alta pressione sull'Europa orientale.

Nel giro di due giorni la saccatura in quota è traslata verso est lasciando spazio a un'area di alta pressione (1030 hPa) sull'Europa centrale; tuttavia, sul Mediterraneo più occidentale era presente in quota aria più fresca con un forte gradiente termico orizzontale verso est a 850 hPa, che ha

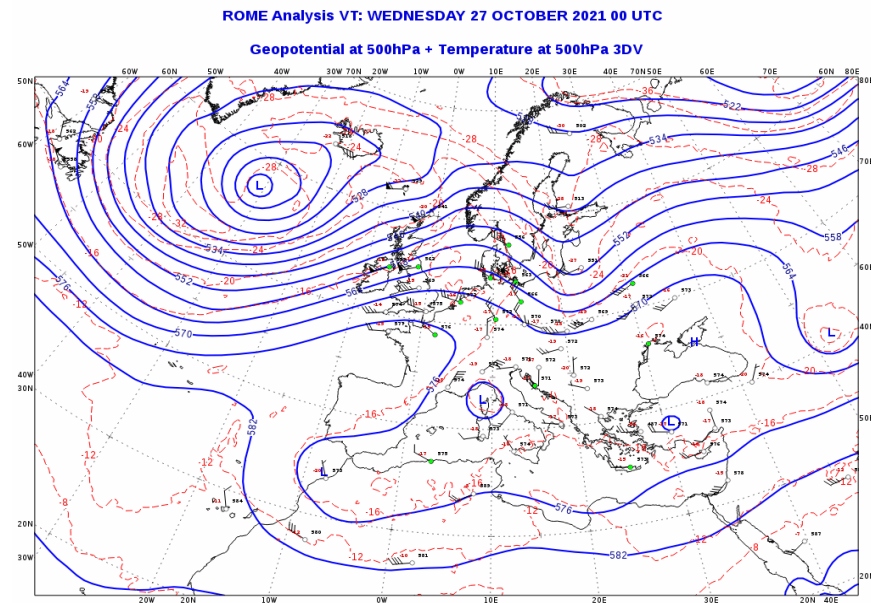


determinato un'area fortemente baroclina.

Sebbene l'evoluzione sinottica abbia avuto inizio effettivamente il 22 ottobre, si ritiene che sia dal 24 ottobre che si debba cominciare a descrivere l'evento legato al TLC in quanto è in tale data che viene a generarsi il minimo barico al livello del mare che ne ha accolto la genesi nei giorni a seguire.

Il minimo barico, in particolare, si è generato sottovento alla catena dell'Atlante tra la Tunisia e la Libia, come è tipico degli eventi in cui altri TLC si sono generati (come per esempio per il *Medicane Maria* del 2006 che interessò il Salento).

Il 25 ottobre (fig. in basso) le due aree di alta pressione su Atlantico ed Europa orientale erano rimaste pressoché stazionarie, ma il geopotenziale sulla verticale del minimo barico mediterraneo era in diminuzione,



facendo scorrere il relativo asse di saccatura in quota sul mare a nord della Libia il 26 ottobre. Contemporaneamente, l'anticiclone sull'Europa orientale trasportava aria da est lungo la Turchia, aria poi deviata verso nord-ovest dall'orografia della Penisola Balcanica. Questo processo ha determinato l'intensificazione delle correnti d'aria sul mare a ovest dell'isola di Creta, le quali, il 27 ottobre, si sono ulteriormente intensificate a causa dell'avvicinamento del minimo depressionario a metà strada tra la Sicilia e la Libia. Il 27 ottobre (fig. in alto) si assiste, inoltre, all'avanzata di aria fredda in quota (-16°C a 500 hPa) fino alle porte del Canale di Sicilia, la quale il 28 ottobre è confluita sulla zona del minimo depressionario innescando l'approfondimento necessario per portare alla maturazione del TLC.

Nelle figure che seguono è possibile analizzare le elaborazioni satellitari relative all'RGB Airmass nelle ultime fasi della genesi di Apollo. Infatti, si intravede una massa d'aria calda associata ad attività convettiva fino alla media troposfera sul mare a nord della Libia con un principio di invorticamento e attività convettiva fino all'alta troposfera sul Canale di Sicilia associata ad aria fredda in quota alle 12.00 UTC del 27 ottobre; tra le 18.00 UTC e le 00.00 UTC del 28 ottobre l'attività convettiva associata all'aria fredda si avvicina al minimo barico e alle 06.00 UTC è chiaro l'invorticamento attorno al primo accenno di occhio. Un dettaglio rilevante è la presenza a sud del ciclone di un'area ad alta vorticità potenziale associata alla corrente a getto, particolare meglio descritto nel paragrafo dedicato alla corrente

Nella pag. precedente, le mappe di analisi di geopotenziale e temperature a 500 hPa del 22 e del 24 ottobre 2021 alle ore 00.00 UTC. In questa pagina, la mappa di analisi di geopotenziale e temperature a 500 hPa del 27 ottobre 2021 alle ore 00.00 UTC. Alla pag. a fianco, le elaborazioni satellitari relative all'RGB Airmass del 27 ottobre 2021 dalle ore 00.00 UTC alle ore 18.00 UTC. Nelle pagg. successive, il ratio di piogge convettive associato a nuvolosità nel canale dell'infrarosso e livello di pressione sulla cima delle nubi rispettivamente del 27 ottobre ore 12.00 UTC, del 28 ottobre alle ore 06.00 e 09.00 UTC e l'immagine da satellite sull'Italia nel canale del visibile del giorno 28 ottobre 2021 alle ore 11.00 UTC.

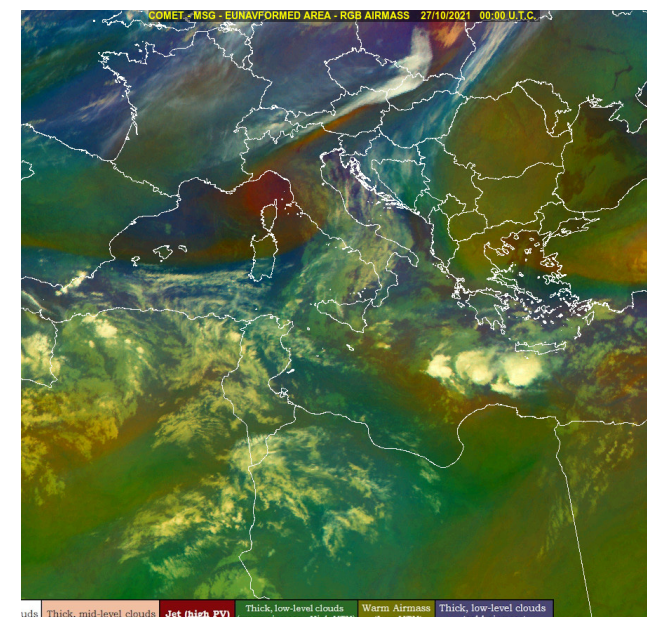
a getto.

Analisi tecnica dei requisiti del Tropical Like Cyclone

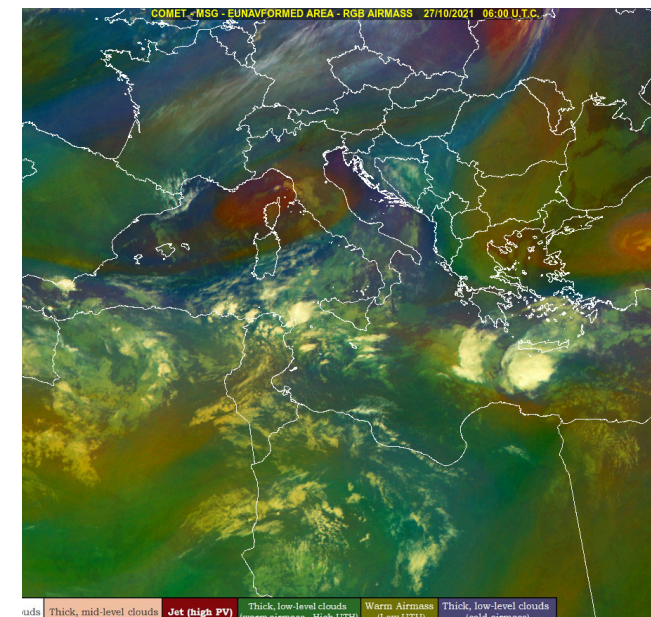
La formazione dei TLC, al contrario dei cicloni tropicali, richiede la concomitanza di una serie di eventi meteorologici affinché il sistema raggiunga la maturazione e, spesso, i fattori predominanti, a parità di genesi in una medesima area, possono essere diversi.

Innanzitutto è possibile affermare che le caratteristiche intrinseche del fenomeno si siano verificate, ovvero:

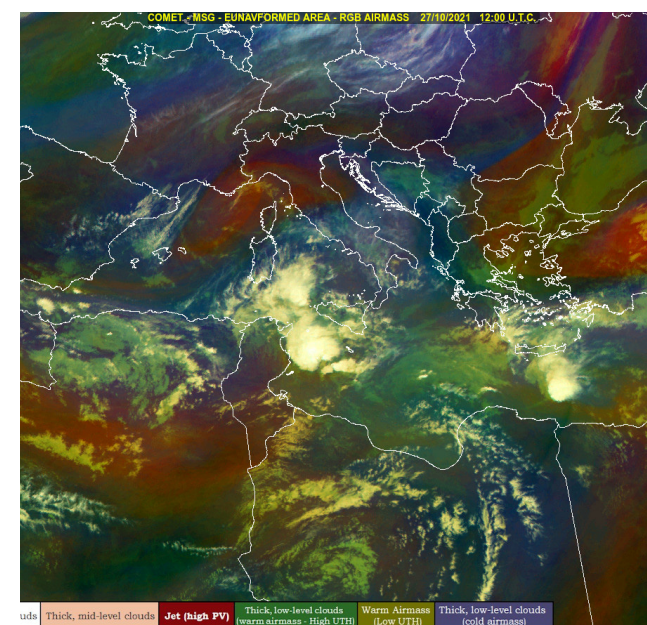
- forma a spirale del sistema nuvoloso;
- un raggio tra 70 e 200 km (circa 100 km per Apollo);
- un ciclo di vita tra 6 - 12 ore e 5 giorni (maturo dalle 09.00 UTC del 28 ottobre fino ad almeno le 00.00 UTC del 30 ottobre);
- traiettoria tra 700 e 3000 km circa (circa 700 - 1000 per Apollo);



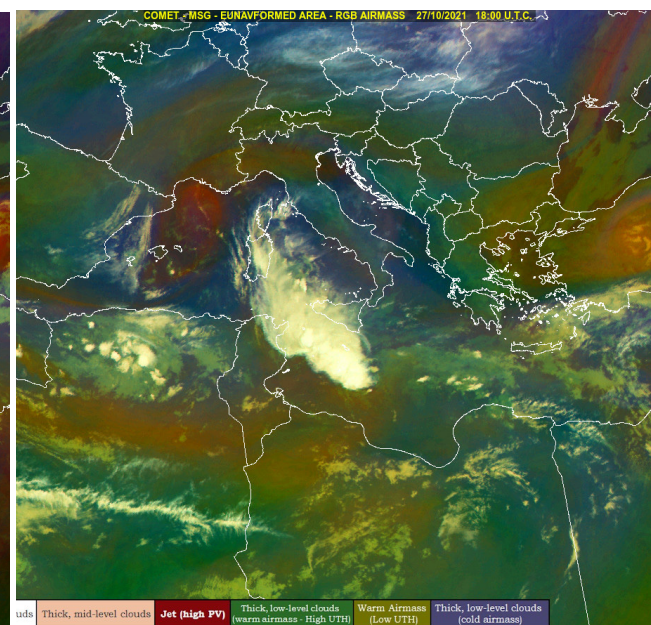
Thick, mid-level clouds Jet (high PV) Thick, low-level clouds (warm airmass - High UTH) Warm Airmass (Low UTH) Thick, low-level clouds (cold airmass)



Thick, mid-level clouds Jet (high PV) Thick, low-level clouds (warm airmass - High UTH) Warm Airmass (Low UTH) Thick, low-level clouds (cold airmass)



Thick, mid-level clouds Jet (high PV) Thick, low-level clouds (warm airmass - High UTH) Warm Airmass (Low UTH) Thick, low-level clouds (cold airmass)



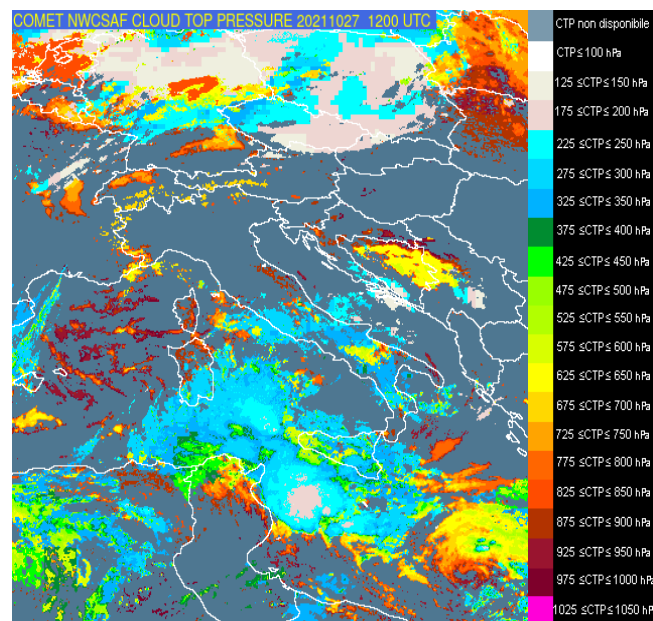
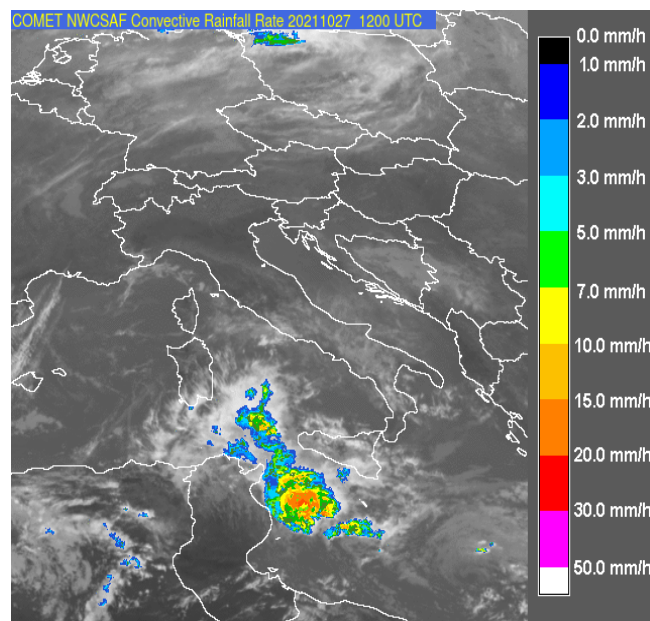
Thick, mid-level clouds Jet (high PV) Thick, low-level clouds (warm airmass - High UTH) Warm Airmass (Low UTH) Thick, low-level clouds (cold airmass)

- occhio ben definito nelle immagini satellitari del canale del visibile;
 - forte gradiente di pressione attorno all'occhio;
 - forti venti superficiali;
 - nucleo caldo a 850 hPa sulla verticale del minimo barico.
- Di seguito vengono analizzati

questi requisiti e altri dettagli fondamentali che, nella loro complessità e complementarità, hanno determinato la genesi del TLC. In alcuni casi è possibile utilizzare direttamente le osservazioni, in altri è necessario ricorrere alle simulazioni modellistiche.

Convezione e occhio del ciclone

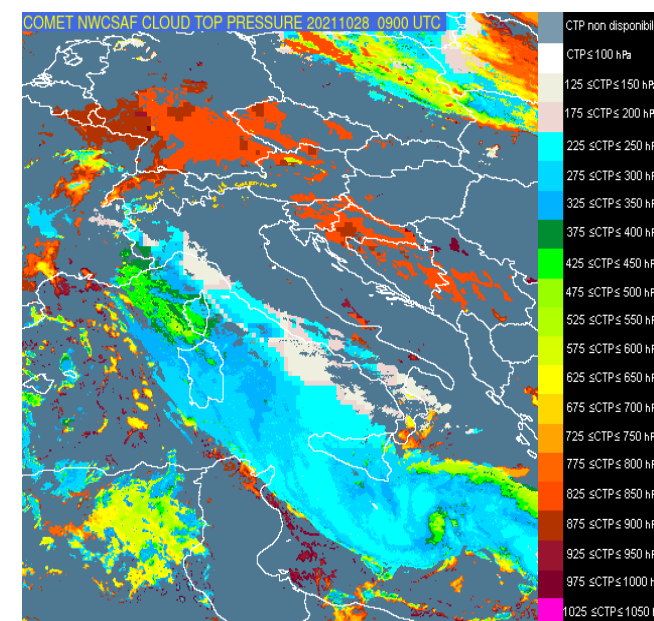
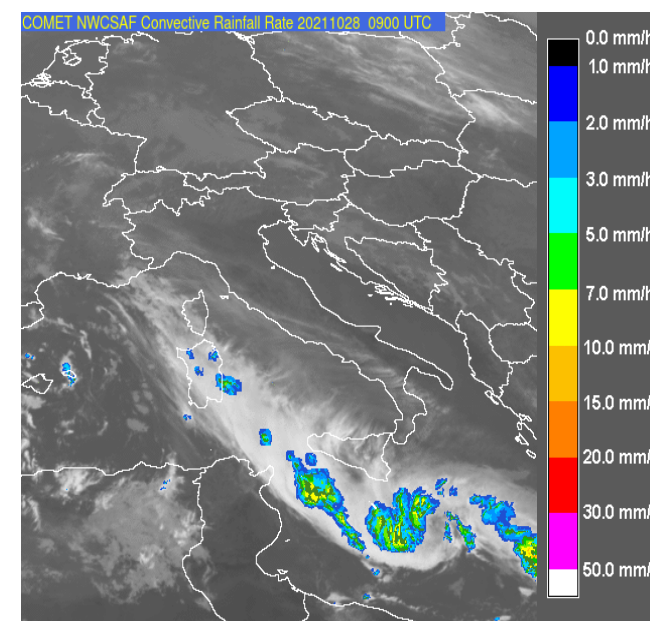
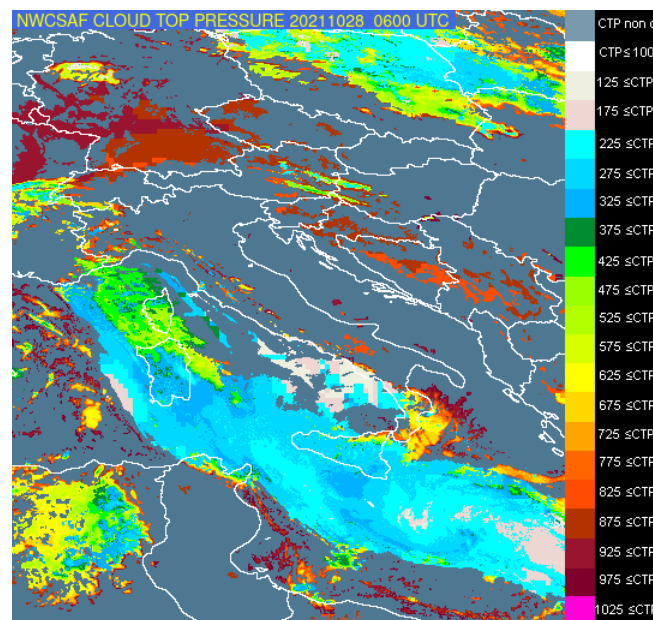
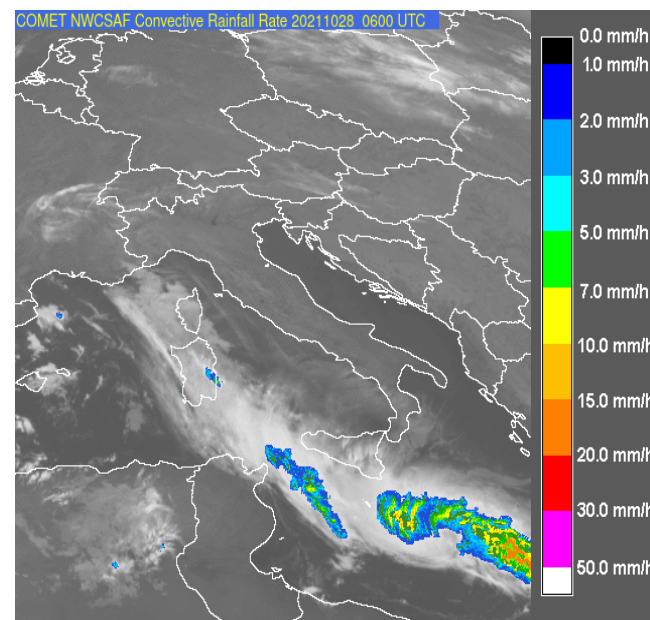
L'attività convettiva negli eventi legati ai TLC, può essere sia una concausa sia un effetto legato alla genesi. Nella genesi di questo evento è possibile individuare due zone convettive importanti: la prima



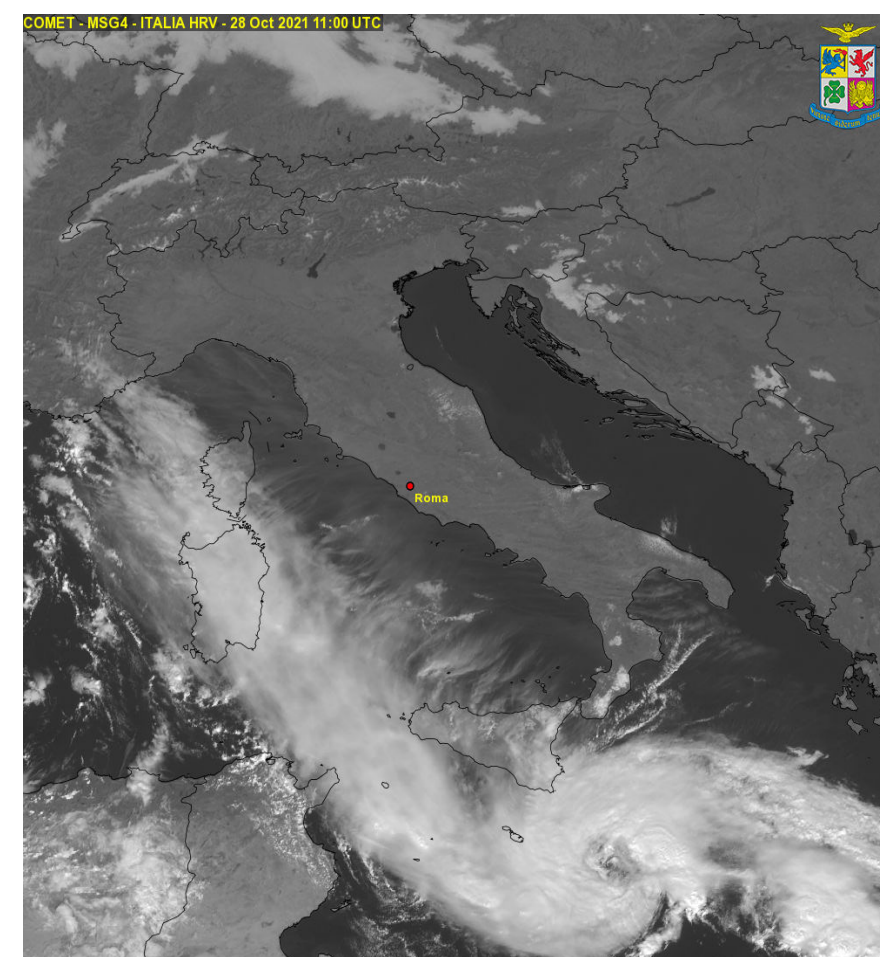
nel Canale di Sicilia (figg. in alto) in seno alle correnti in quota da nord-ovest in direzione del minimo barico; la seconda, invece, posizionata a est del minimo barico, presentava una limitata estensione verticale e probabilmente era da associare ai forti venti orientali che permettevano

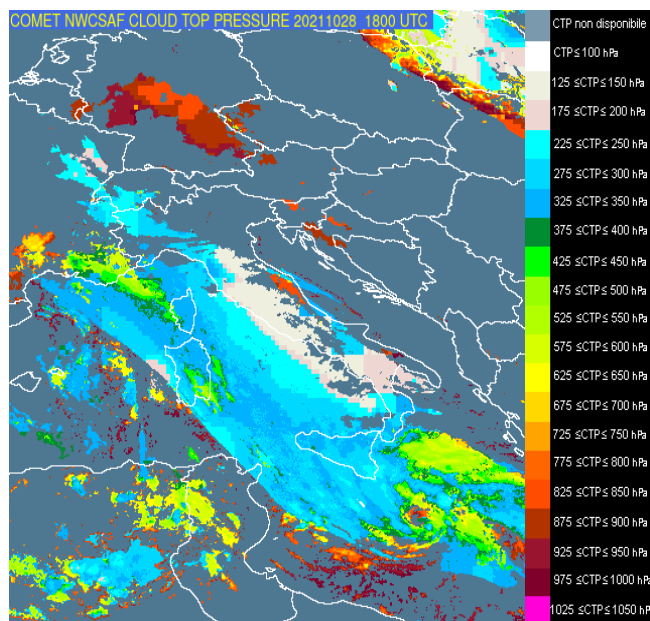
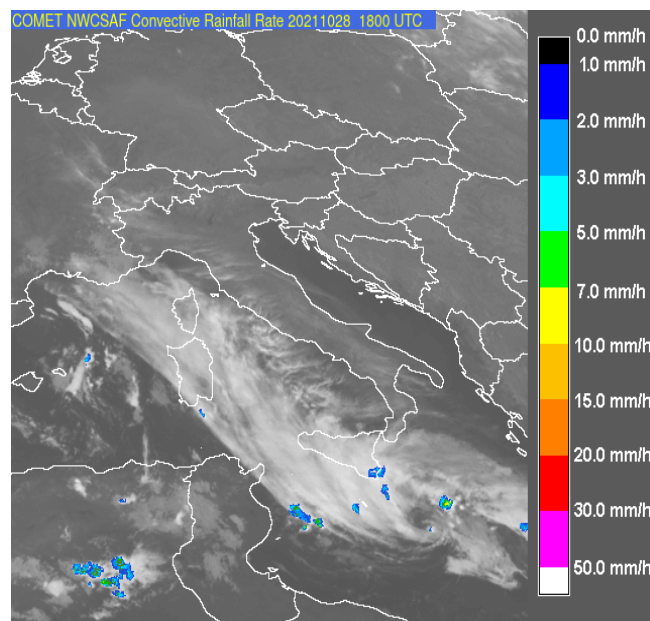
lo scambio di calore “mare-atmosfera”. Tra le 18.00 UTC del 27 ottobre e le 00.00 UTC del 28 ottobre il nucleo convettivo si è avvicinato velocemente al minimo barico e, alle 06.00 UTC (figg. in basso), i due nuclei convettivi si sono uniti generando la forma tipica a spirale e

un'intensificazione molto rapida dell'attività convettiva a est del minimo barico. Tra le 08.00 UTC e le 10.00 UTC ha avuto luogo la formazione dell'occhio: infatti, i due rami convettivi di partenza hanno continuato a muoversi attorno al minimo e, l'aumento dell'in-



stabilità verticale dovuto all'arrivo dell'aria da nord-ovest, ha aumentato la vorticità locale in maniera repentina. Nelle immagini satellitari in cui viene stimato il livello di pressione massimo delle nubi viene a determinarsi un improvviso abbassamento dei valori proprio al centro del minimo fino alle 11.00 UTC, quando è ben chiara la presenza dell'occhio dalle immagini satellitari nel canale del visibile (figura a fianco) e la pressione al livello del mare è diminuita drasticamente. Si noti che durante il termine della fase di genesi il rateo di precipitazioni convettive sia crollato improvvisamente. Fino alle 18.00 - 19.00 UTC il ciclone è rimasto stazionario a circa 100 - 150 km di distanza a sud-est della Sicilia e, improvvisamente, si è mosso verso nord di circa 50 km in senso antiorario puntando verso l'isola. Poi, fino





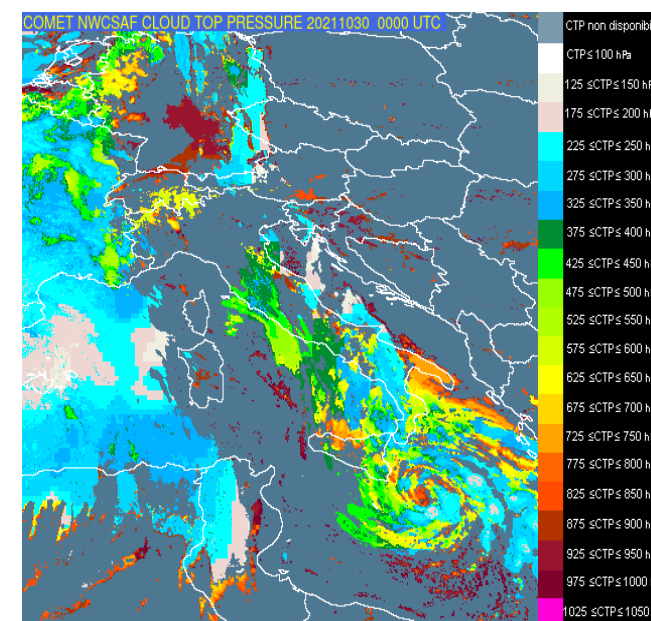
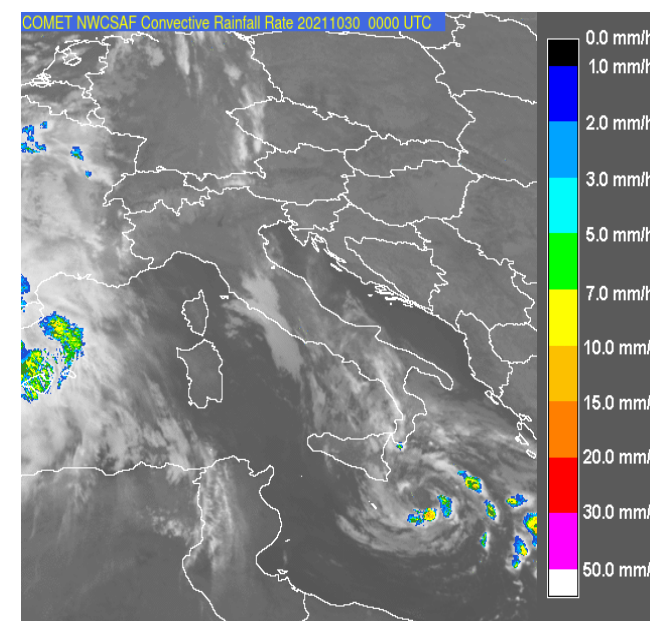
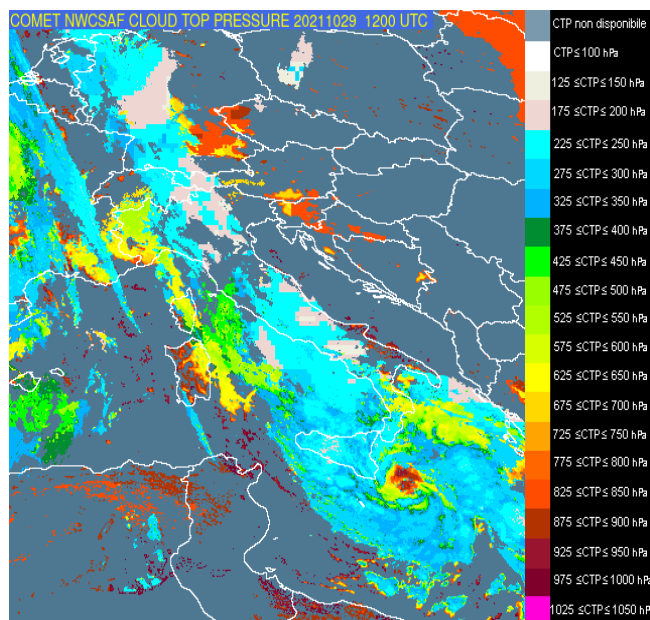
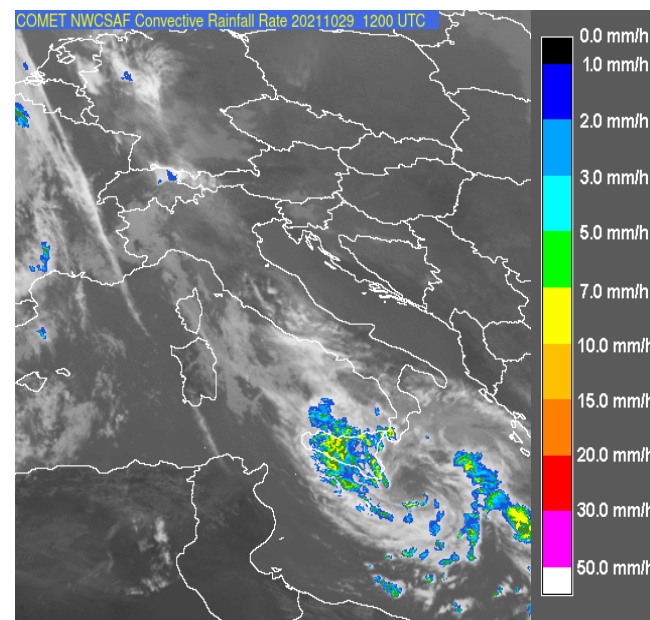
alle 12.00 UTC del 29 ottobre uno dei rami del ciclone interagisce con la Sicilia provocando forti piogge e accumuli elevati. Verso le 18.00 UTC il ciclone tende a spiralizzare sempre più diminuendo l'estensione della nuvolosità convettiva e la sua intensità e, dalle 00.00 UTC del

30 ottobre, il ciclone si è spostato velocemente verso sud-est in pieno Mar Mediterraneo, mentre da ovest è giunta nuova nuvolosità sull'Italia, Sicilia compresa.

Temperature superficiali marine

La temperatura superficiale

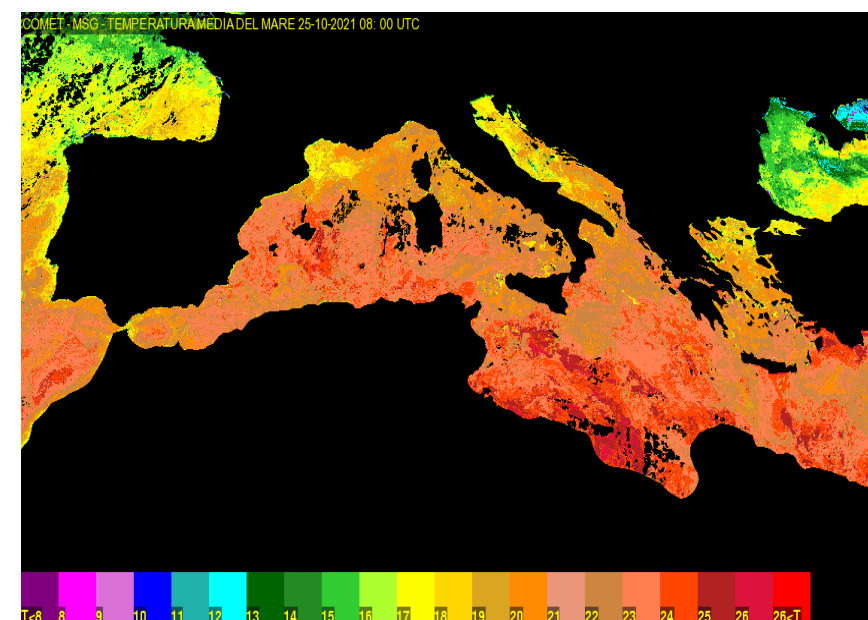
marina è un fattore fondamentale nella genesi dei cicloni tropicali; tuttavia, nel caso dei TLC può essere un fattore caratterizzante l'intensità ma può non essere determinante per la genesi e/o per il meccanismo di sostentamento (vedasi Riv. Met Aer. n. 3/2018 pp. 14-29).



Infatti, è ben nota la serie di eventi legati a TLC sviluppati su temperature superficiali marine inferiori a 26°C. In molti casi può essere particolarmente importante l'intensità e la durata dei venti sul mare e/o lo spessore dello strato termico superficiale che, raffreddandosi,

fornisce energia all'atmosfera. Nel caso di Apollo si può prendere in considerazione la distribuzione delle temperature superficiali marine del 25 ottobre per determinare l'ambiente nel quale il ciclone si è generato: partendo da ovest possiamo individuare tre zone con temperature diver-

se, ovvero la prima sul Canale di Sicilia con gradiente nord-sud da 20 a 26°C, la seconda sulla zona del minimo barico a sud-est della Sicilia tra 20 e 23°C e la terza tra 23 e 26°C a est del minimo barico dove le correnti da est sono state intense per più giorni. È interessante notare che il

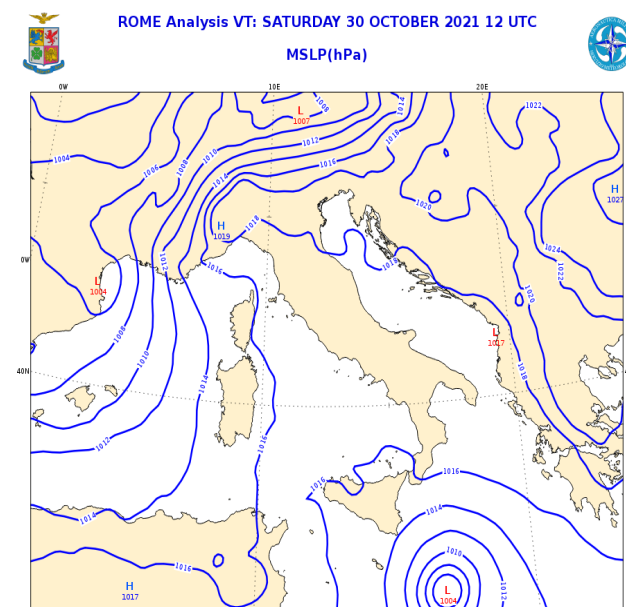
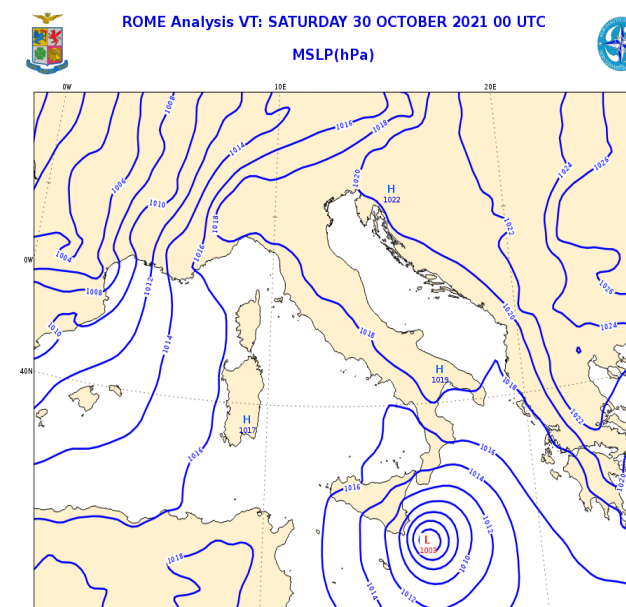
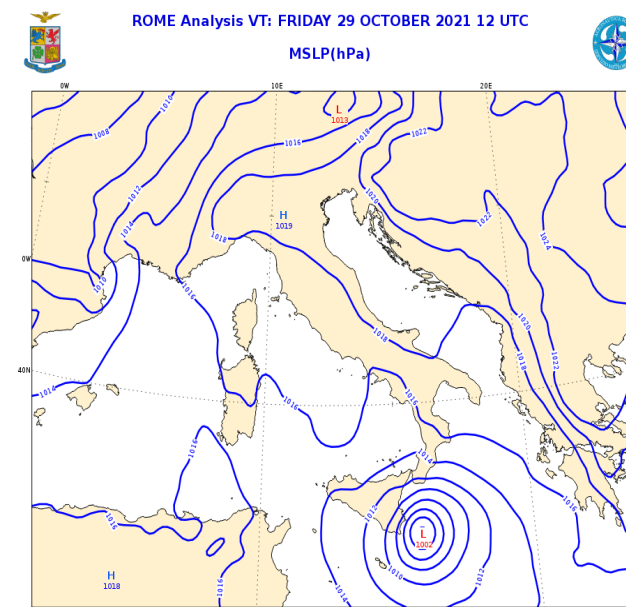
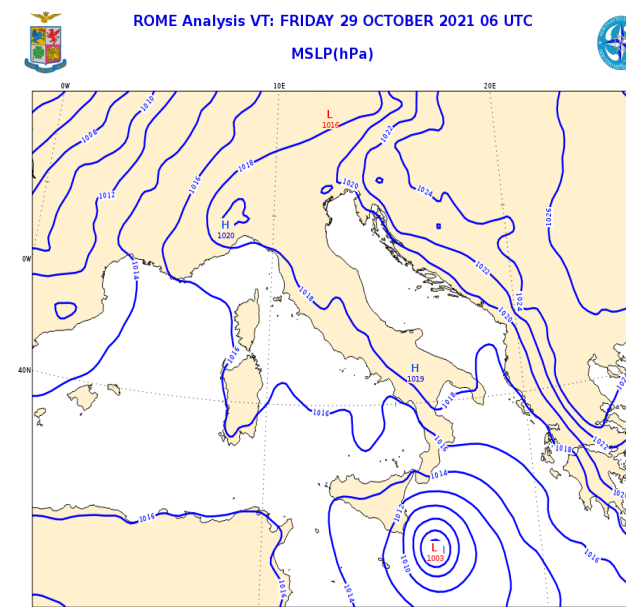
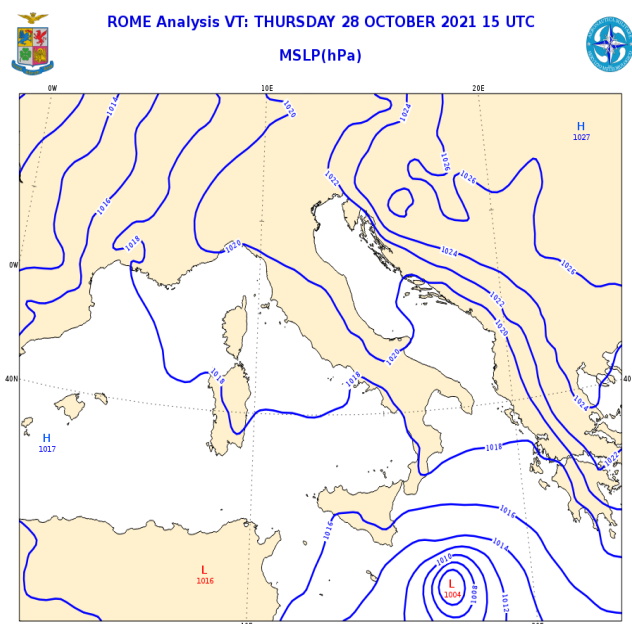
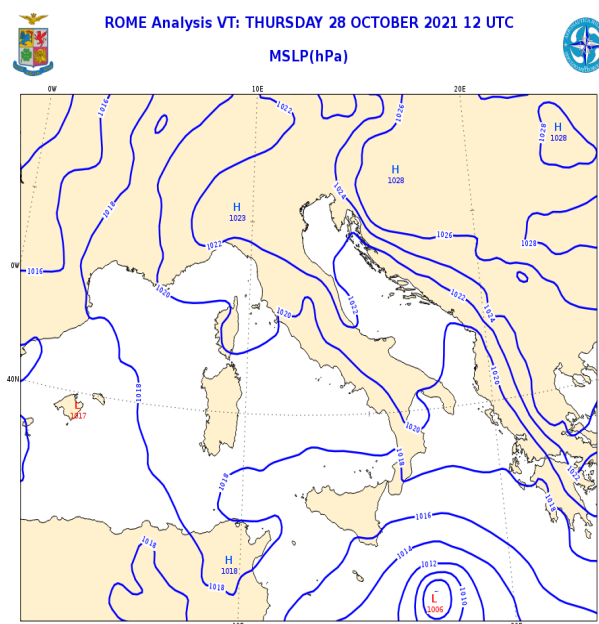
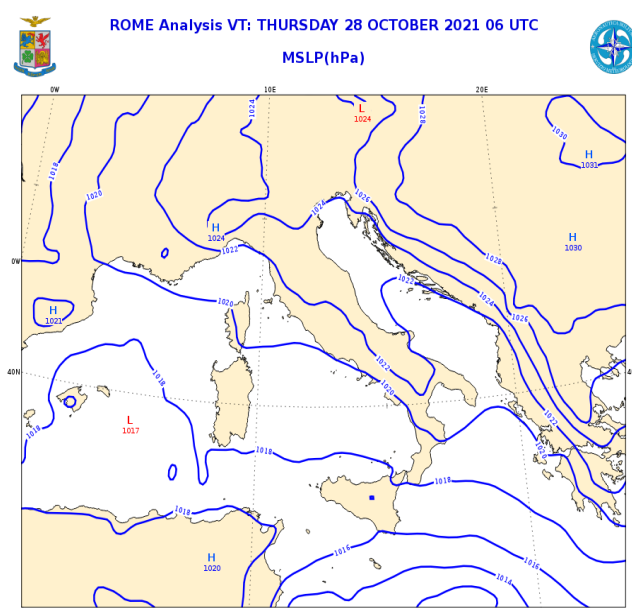
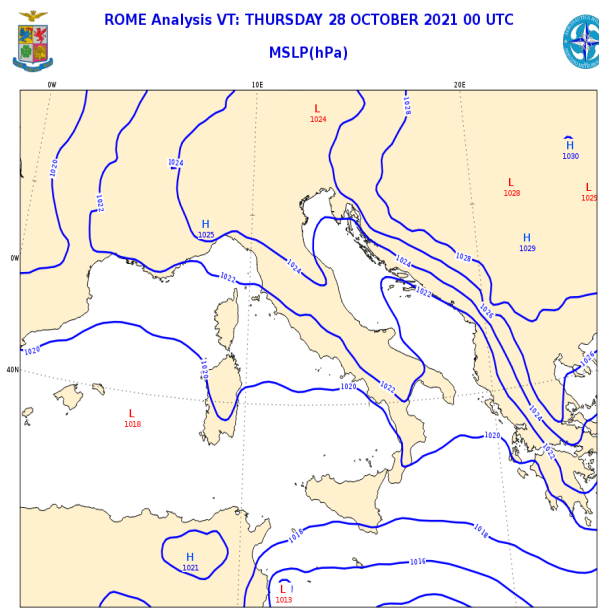


Nella pag. precedente il ratio di piogge convettive associato a nuvolosità nel canale dell'infrarosso e livello di pressione sulla cima delle nubi rispettivamente del 28 ottobre ore 18.00 UTC e del 29 ottobre ore 12.00 UTC. In questa pagina, in alto, il ratio di piogge convettive associato a nuvolosità nel canale dell'infrarosso e livello di pressione sulla cima delle nubi rispettivamente del 30 ottobre ore 00.00 UTC e in basso, le temperature superficiali marine alle 08.00 UTC del 25 ottobre. A seguire, nelle pagg. successive, l'evoluzione dell'analisi della pressione atmosferica sulla superficie del mare dal 28 al 30 ottobre.

minimo si sia formato e sia stato stazionario per alcuni giorni su temperature marine inferiori a 26°C ma, soprattutto, che il sistema convettivo instabile in arrivo da nord-ovest sul Canale della Sicilia abbia attraversato una zona con un forte gradiente termico orizzontale e valori di

per sé vicini ai 26°C, soprattutto nella fase di approfondimento del minimo barico al suolo. Nell'articolo "Importanza delle temperature superficiali marine" (Riv. Met. Aer. n. 1/2019 pp. 26-35) abbiamo argomentato quanto possano essere importanti anche piccole variazioni di temperature

superficiali marine nello sviluppo dell'attività convettiva. Ino al 28 e 29 ottobre non ci sono state particolari variazioni in queste tre zone tranne sulla terza, probabilmente a causa dei venti intensi che hanno di fatto raffreddato lo strato superficiale marino e riscaldato la bassa atmosfera.

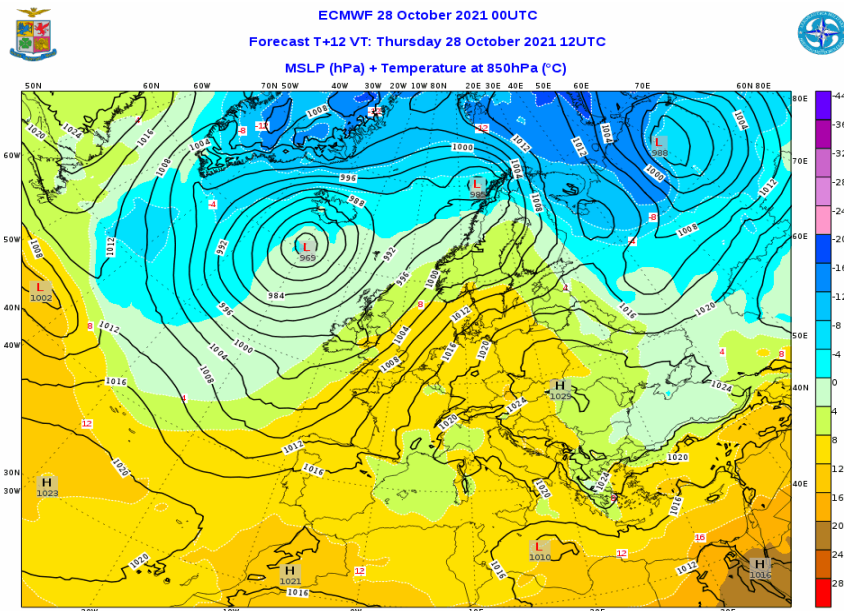


Analisi della pressione al suolo

Nelle analisi al suolo sopra riportate è possibile analizzare l'evoluzione del minimo barico al suolo a partire dal 28 ottobre, giorno di transizione dalla genesi fino alla maturazione del giorno 30 ottobre.

Particolarmente interessante è il passaggio da 1013 hPa del minimo a sud-est della Sicilia a circa 1006 hPa nell'arco di 6 ore, fino a 1004 hPa alle 15 UTC del 28 ottobre: infatti, questo è il momento in cui la ciclogenese del TLC "esplode" grazie all'arrivo della convezione da nord-ovest

e dell'aria più fresca in quota. Il rapido abbassamento della pressione al suolo nella zona del minimo è uno dei fattori caratterizzanti la maturazione dei TLC, il quale determina una serie di effetti a catena tra i quali un aumento importante dell'intensità del vento e della vorticità relativa



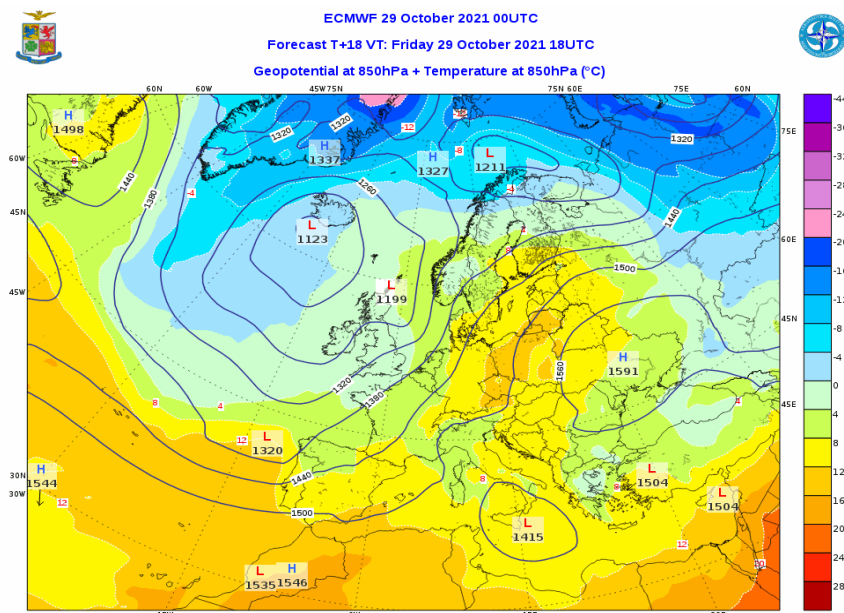
nei bassi strati. Successivamente si nota un valore di circa 1002 hPa il 29 ottobre quando il minimo è nella zona della sua traiettoria più vicina alla Sicilia e, il 30 ottobre, è evidente l'allontanamento del ciclone verso sud-est. Si segnala infine che le misurazioni di una nave passata nei pressi del minimo hanno riportato 999 hPa.

Nucleo caldo

Il nucleo caldo o *warm core* in quota è uno dei fattori indispensabili per la discriminazione dei TLC. L'indisponibilità di dati di radiosondaggi rende necessario affidarsi alle simulazioni numeriche, in particolare alle previsioni sulla superficie isobarica di 850 hPa.

Il modello numerico COSMO-ME ha correttamente interpretato sia la presenza sia il meccanismo di formazione del

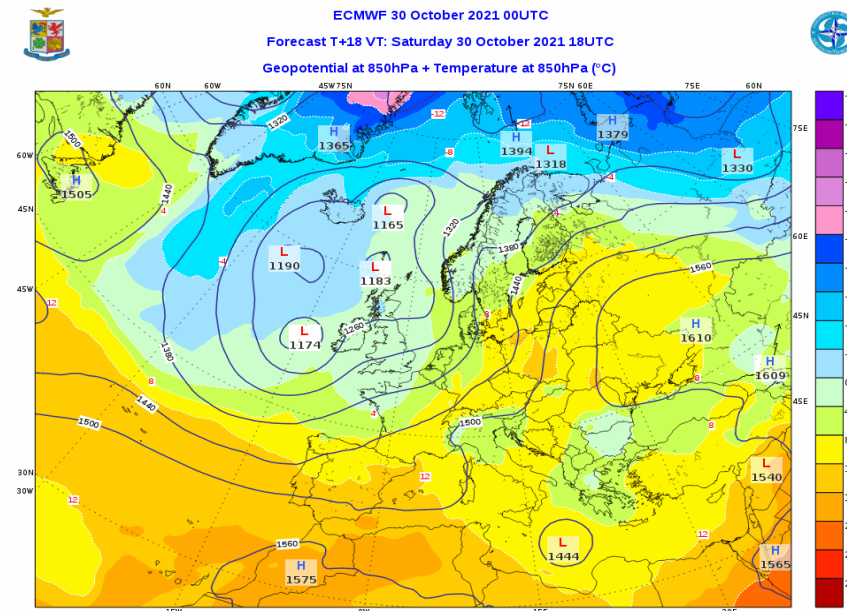
nucleo caldo: nella figura in alto e nelle due seguenti, possiamo individuare una circolazione depressionaria sul Mediterraneo centro-meridionale e una massa d'aria caratterizzata da valori superiori a 12°C che si estende dal largo della Libia fino all'entroterra africano. Questa circolazione



avrebbe permesso di convogliare aria più fresca da nord-est verso le coste della Libia, così da isolare la massa d'aria calda proprio sul minimo di pressione al suolo: si parla in questi casi di *warm seclusion* ovvero isolamento di aria calda da una massa d'aria più o meno estesa all'interno di una circolazione chiusa. Il nucleo caldo è sempre presente attorno al minimo con un diametro di circa 50 km ma diventa molto esteso il 30 ottobre, probabilmente a causa dell'energia scambiata dal mare all'atmosfera.

Osservazioni della velocità del vento

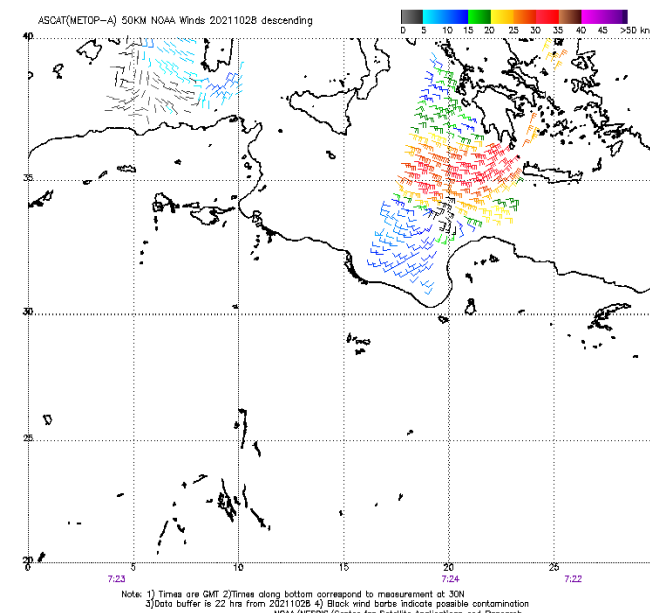
Le misurazioni legate ai TLC sono sempre molto scarse in quanto questi eventi si generano e passano gran parte del loro ciclo di vita sul mare. È quindi importante poter considerare tutte le misurazioni disponibili. Secondo l'attuale letteratura



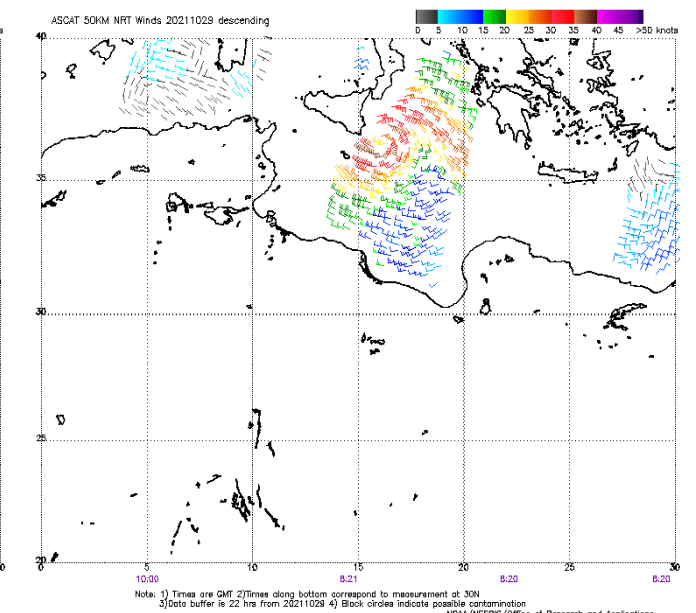
scientifica, la misurazione dell'intensità del vento è fondamentale per poter discernere in quale casistica inserire il TLC una volta che sia strutturalmente conformato a quanto ci si aspetta, ovvero che ci siano almeno la forma a spirale, l'occhio, la convezione e il nucleo caldo; una

volta che queste condizioni sono verificate, è possibile identificare il TLC e, a seconda della soglia massima di vento medio, è possibile stabilire se si tratti di depressione di tipo tropicale, tempesta mediterranea (minimo 17 m/s) o *Medicane* (minimo 33 m/s). Tra le fonti di dati più utilizzate si

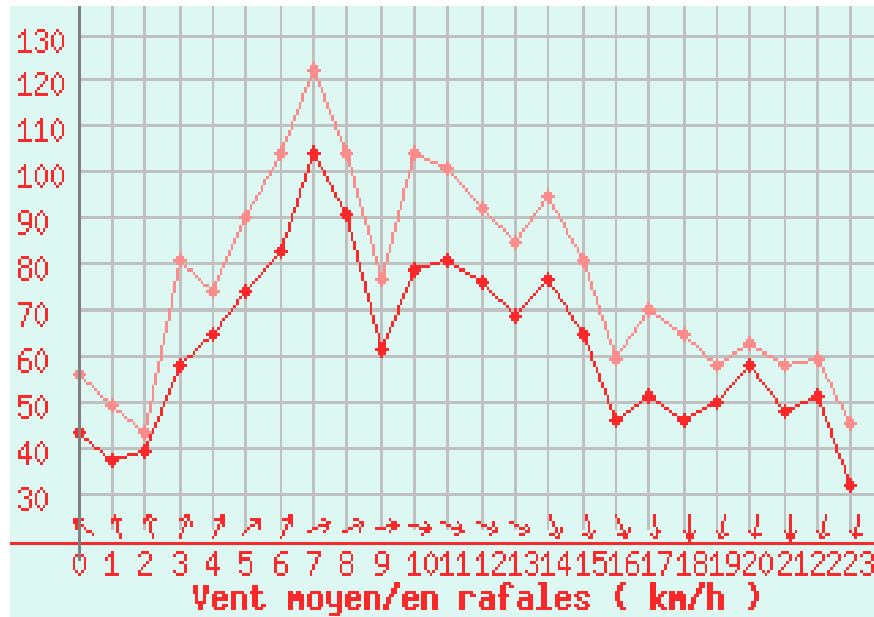
ricorre alle misurazioni tramite scatterometro, ovvero misure indirette del vento mediante strumentazione satellitare, comunque disponibili con due misurazioni giornaliere a basse risoluzioni (25 e 50 km). Lo scatterometro è un dispositivo di misurazione di precisione che trasmette energia a microonde e legge i riflessi della luce dispersa da una superficie *target* al fine di ottenerne dati dimensionali. Nelle figure in basso è possibile notare a sud-est della Sicilia la forte circolazione chiusa e depressionaria, nonché i forti venti da est / sud-est presenti sui mari a ovest dell'isola di Creta. In particolare, nella giornata del 29 ottobre (risoluzione 25 km, traiettoria discendente del satellite) la circolazione appare più intensa con venti stimati di 45-50 kt (23-25 m/s), ovvero valori sufficienti per classificare Apollo come tempesta mediterranea ma



Note: 1) Times are GMT 2) Times along bottom correspond to measurement at 30N 3) Data buffer is 22 km from 20211028 4) Black wind bars indicate possible contamination NOAA/NESDIS/Center for Satellite Applications and Research

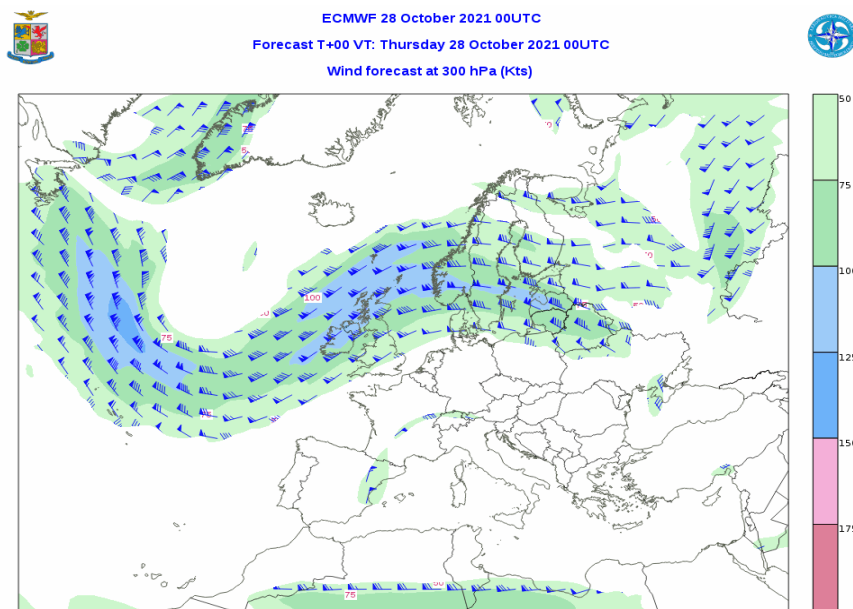


Note: 1) Times are GMT 2) Times along bottom correspond to measurement at 30N 3) Data buffer is 22 km from 20211029 4) Black circles indicate possible contamination NOAA/NESDIS/Office of Research and Applications



inferiori alla soglia dei *Medicane*. Non sono tuttavia disponibili dati a più alta frequenza temporale e a scala spaziale inferiore. Ad ogni modo, è possibile fare qualche speculazione affiancando le immagini dell'analisi della pressione al suolo: attorno alle 12.00 UTC del 29 ottobre si nota che il minimo barico è nella zona più vicina alla Sicilia e che il gradiente barico orizzontale aumenta improvvisamente a causa della presenza dell'orografia dell'isola, rimanendo tale fino alle 00.00 UTC del 30 ottobre, per poi diminuire. Di conseguenza è possibile ipotizzare che non vi siano altre fasi in cui il minimo si approfondisca ulteriormente, quindi possiamo considerare 25 m/s (90 km/h) come limite superiore relativamente ai dati stimati mediante scatterometro. Tuttavia, questa ipotesi non può essere confermata in maniera

assoluta. Inoltre, considerando che mancano pochi valori alla soglia della categoria 1 dei cicloni tropicali, non è da escludere che sia diventato un *Medicane*. Un'ulteriore misurazione significativa è quella effettuata da una nave in transito nell'area del minimo barico: nella figura in alto

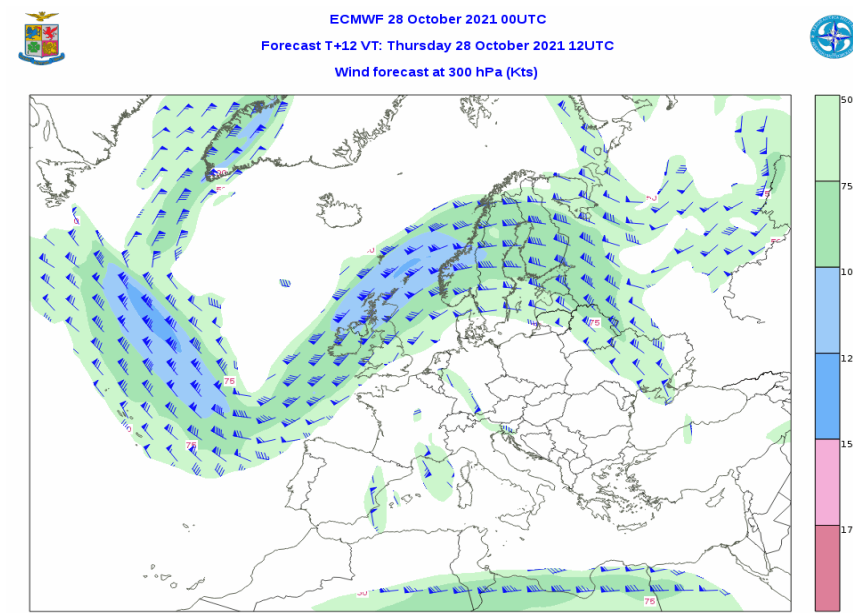


Nelle pagg. precedenti, la pressione al suolo e la Temp. a 850 hPa prevista per le 12.00 UTC del 28 ottobre e le previsioni della temperatura e geopotenziale a 850 hPa per il 29 e 30 ottobre. A seguire, la misura indiretta del vento mediante scatterometro ASCAT del 28 e 29 ottobre. In questa pagina, a sinistra, le misurazioni di una nave nei pressi di Apollo del vento medio e delle raffiche e in basso, analisi della corrente a getto del 28 ottobre. Nella pag. a fianco, la previsione della corrente a getto del 29 ottobre e il CAPE previsto rispettivamente alle ore 12.00 UTC dei giorni 28 e 29 ottobre.

è possibile notare il vento massimo di 100 km/h con raffiche di 120 km/h intorno alle 7 del 29 ottobre mentre la pressione misurata è di 999 hPa.

Corrente a getto

La presenza della corrente a getto su un'area ciclonica favori-



sce l'intensificazione del sistema depressionario; tuttavia, nella climatologia dei TLC ci sono casi in cui la corrente a getto era presente e in altre assenti. Ciò dimostra che al più, la presenza del getto rappresenta una forzante aggiuntiva ma non determinante per la genesi del TLC.

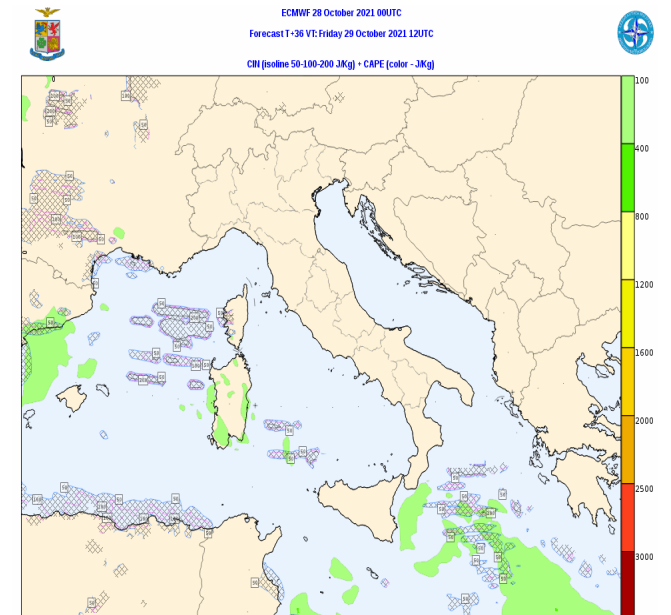
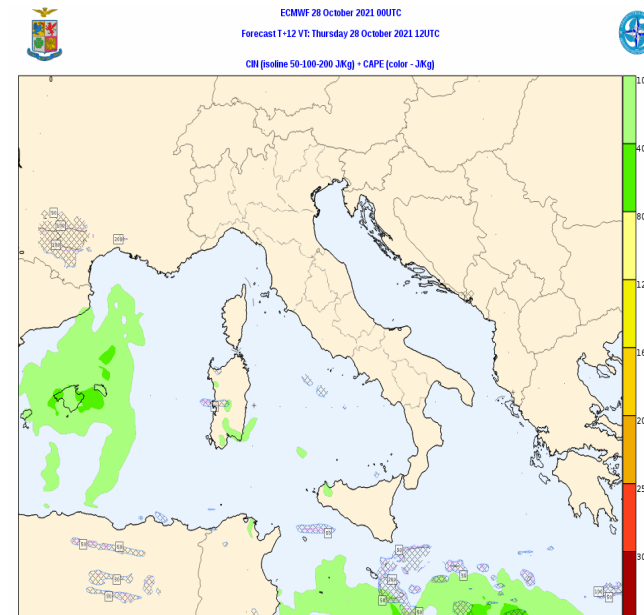
Nel caso di Apollo le simulazioni numeriche hanno mostrato la presenza della corrente a getto a sud della zona della sua genesi, abbastanza vicina per poterne influenzare la genesi ma non perfettamente al di sopra del minimo di pressione al livello del mare.

CAPE (*Convective Available Potential Energy*)

Come mostrato nelle figure in basso, la previsione dell'energia disponibile per la convezione (CAPE), non ha riportato particolari segnali durante la fase di genesi e durante la fase di ulteriore approfondimento.

Orografia e flussi di calore superficiali sul mare

I TLC riescono a formarsi anche su superfici marine con temperature al di sotto dei 26°C e il fenomeno principale che può determinare la sua formazione di solito è l'instabilità baroclina, ovvero un notevole contrasto termico tra masse d'aria. Tuttavia, se l'instabilità baroclina rappresenta l'innescò, allora è nella disposizione dei flussi caldi e umidi che si deve andare a cercare il carburante necessario per il sostentamento di questo



tipo di cicloni. Nel caso del TLC *Rolf* del 2011 è stato dimostrato, per esempio, che è stata la particolare orografia tra Pirenei e Montagna Nera a determinare un flusso di correnti intense in uscita sul Golfo del Leone: questo flusso era tale da riuscire a far scambiare per molte ore una notevole quantità di calore e umidità dal mare all'interno del minimo depressionario, il quale a sua volta si è generato sottovento all'orografia come è consueto nella zona occidentale del Mar Mediterraneo. Nel caso di Apollo, è stato evidenziato che l'orografia ha giocato un ulteriore ruolo nella fase di maturazione quando il minimo di pressione si è avvicinato alla Sicilia sud-orientale, incrementando localmente il gradiente di pressione orizzontale. Il concetto importante da ribadire, anche nell'analisi di Apollo, è che l'instabilità baroclina può essere associata a una combinazione di correnti d'aria nei bassi strati utili alla genesi del TLC. Nel caso di Apollo, il minimo sottovento nasce in seno alla catena dell'Atlante (situazione tipica per molti TLC, come per esempio il *Medicane* Maria del 2006) ma il flusso intenso di venti tra 25 e 35 kt lo ritroviamo a est, proveniente dalla zona tra Creta e il Peloponneso (effetto tubo di Venturi) e persistente per molte ore su una vasta zona (un rettangolo di circa 100 km x 50 km).

Considerazioni

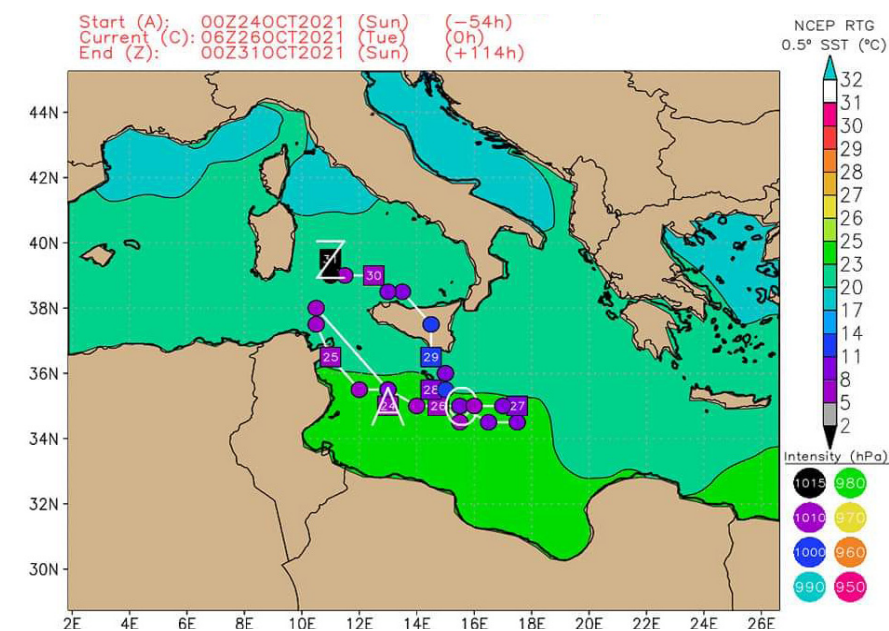
Fermo restando che i requisiti

per dichiarare Apollo un ciclone di tipo tropicale sono stati documentati, è necessario affidarsi ai cosiddetti studi di sensibilità per poter stabilire in *primis* quale tipo di fenomeno effettivamente sia stato fondamentale per l'innesco del sistema e, in secondo luogo, se accentuando o meno i valori modellistici di alcune variabili (per esempio la temperatura superficiale marina oppure la ventilazione intensa a est del minimo) si possa rispettivamente incrementare o diminuire l'intensità del ciclone. Nella tabella sotto riportata si schematizzano i principali fattori necessari per la caratterizzazione del fenomeno rispetto al TLC Apollo.

Predicibilità della traiettoria

La predicibilità dei TLC è sempre un grande problema meteorologico. In generale, abbiamo visto che sono i fenomeni concomitanti

che determinano nella loro complessità la genesi del fenomeno; di conseguenza, un basso livello di predicibilità anche su un solo fattore, magari quello predominante per la genesi e/o per la relativa intensificazione del minimo, può portare a una previsione nettamente errata su genesi e/o traiettoria; questo può avvenire a prescindere che l'evento sia più vicino dal punto di vista temporale o meno: infatti, anche per casi di cicloni extratropicali, può capitare che una corsa modellistica precedente risulti più attendibile di una corsa più recente. Ulteriore importante considerazione è che non tutti gli schemi fisici utilizzati nei modelli ad alta risoluzione operativi possono risultare idonei a descrivere questo tipo di fenomenologia. La figura in alto a sinistra, alla pagina successiva, mostra la traiettoria prevista mediante il modello GFS il giorno 26 ottobre: fin dai primi segnali di possibile



formazione (dal 24-25 ottobre) e, fino al giorno prima, la traiettoria più probabile mostrata dai vari modelli era pressoché simile, ovvero un possibile attraversamento dello Stretto di Messina per una successiva dissipazione sulle coste campane o a largo nel Medio Tirreno.

Inoltre, con il diagramma di *Hart* era chiaramente possibile individuare una struttura di tipo tropicale (figure in basso), con la collocazione della traiettoria tra il 28 e 29 ottobre nella parte rossa del grafico.

Alla fine, invece, il ciclone è stato stazionario nei pressi della Sici-

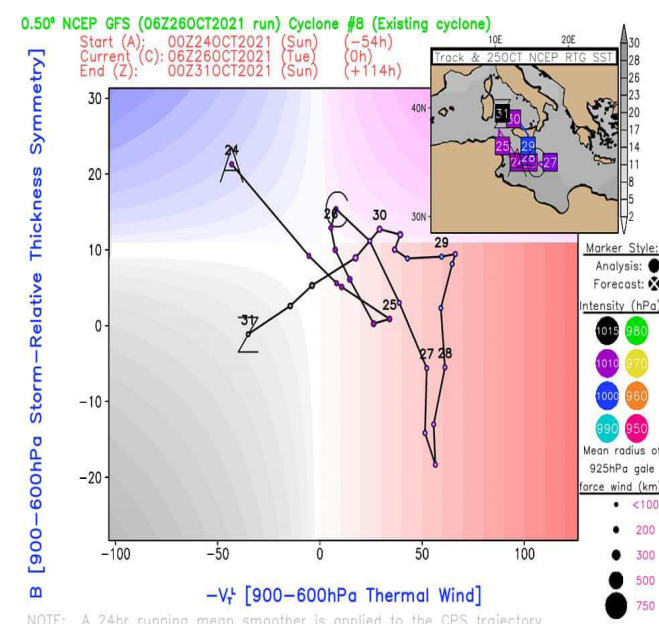
lia, avvicinandosi leggermente per poi spostarsi molto velocemente verso la Libia, dimostrando quanto sia difficile poter fare previsioni con questi fenomeni meteorologici.

Nelle figure alla pagina successiva, sono messe a confronto le elaborazioni del modello ECMWF a 500 hPa del *run* 00.00 UTC dei giorni 25 e 26 (precedenti alla genesi) rispetto a quella del 28 ottobre ma in scadenze diverse, ovvero quella in cui il ciclone inizia a mostrare un cambio di previsione rispetto alla traiettoria.

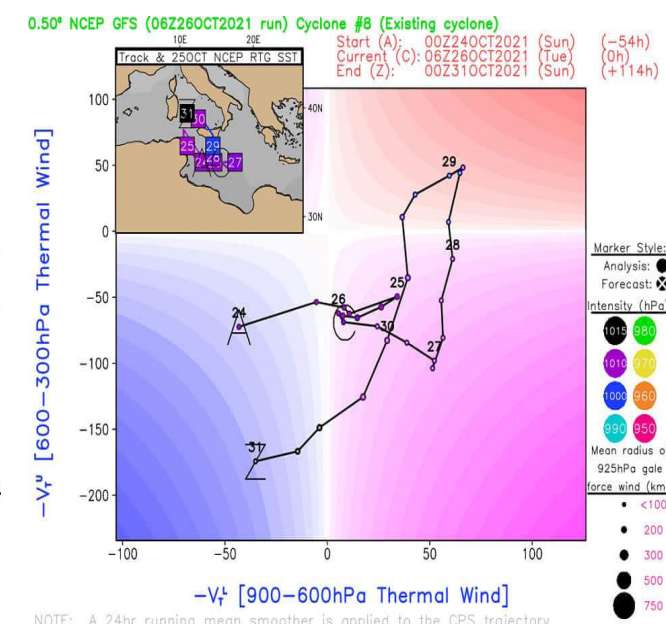
Come c'è da aspettarsi, il cambio di traiettoria viene previsto ogni giorno in una scadenza diversa. Si sottolinea che le traiettorie individuate dal modello ECMWF a evento terminato sia per il 28 che per il 29 ottobre sono molto attendibili.

A seguire, sono mostrate la previsione del vento a 10 m dei mo-

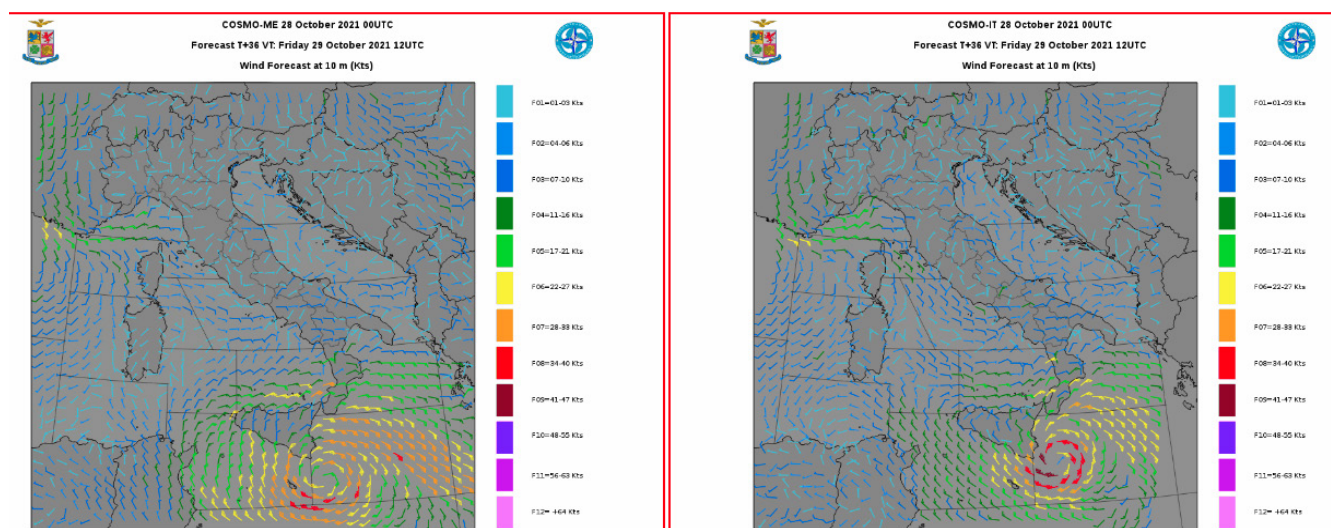
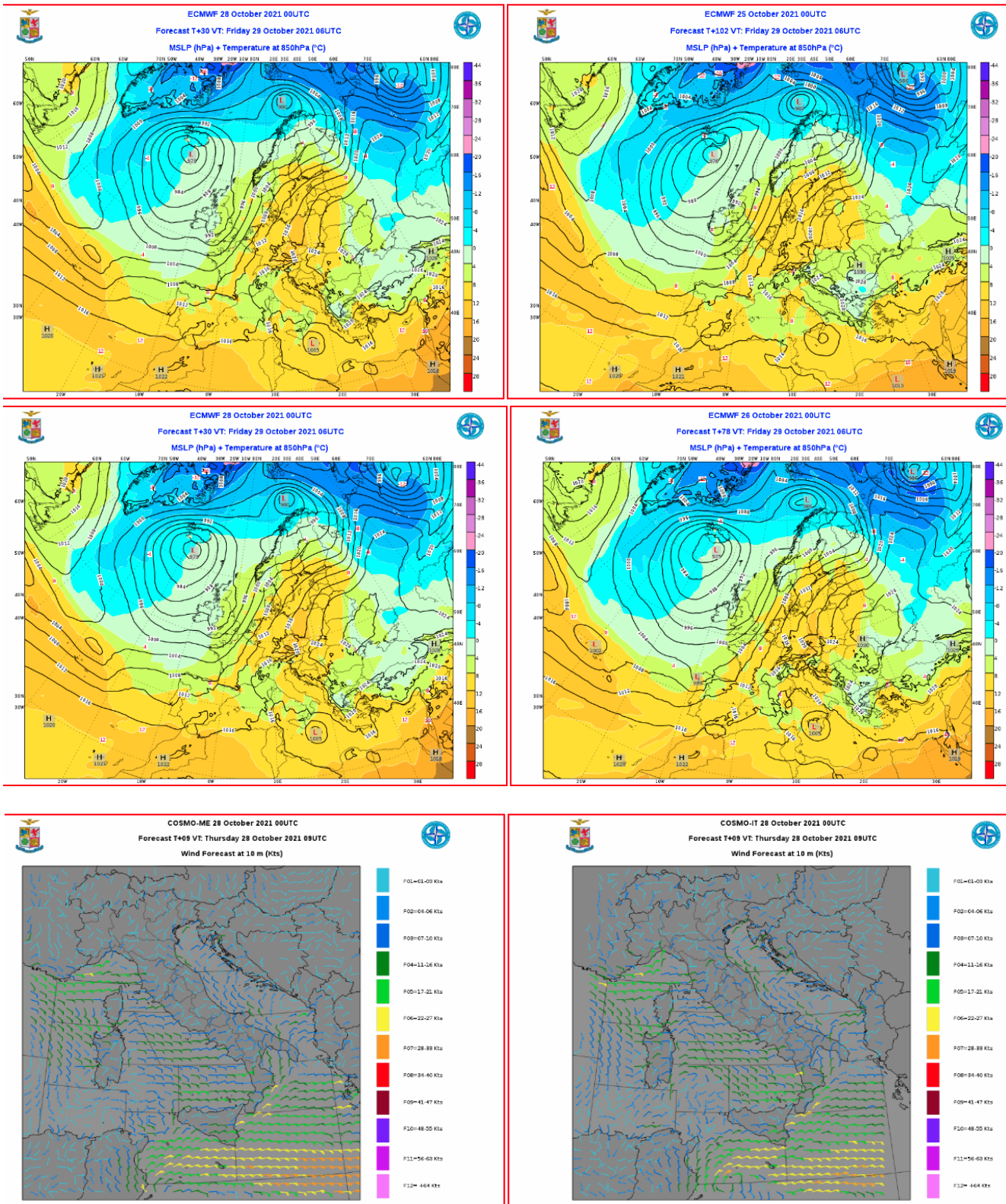
Fattore	Presenza
Occhio	si
Convezione attorno all'occhio	si
Venti superiori ai 17 m/s	si
Venti superiori ai 33 m/s	non osservato
nucleo caldo a 850 hPa	si
Minimo barico sottovento a orografia	solo per il ciclone di partenza non nella genesi del TLC
Approfondimento barico rapido	si
Correnti forti nei bassi strati (flussi di calore latente e sensibile)	si, a est del minimo tra Grecia e mar Ionio
Cape elevato nei bassi strati	no
Corrente a getto	no
Precipitazioni convettive attorno al nucleo	si



NOTE: A 24hr running mean smoother is applied to the CPS trajectory.



NOTE: A 24hr running mean smoother is applied to the CPS trajectory.



delli COSMO-ME e COSMO-IT rispettivamente per le 09.00 UTC del 28 ottobre e per le 12.00 UTC del 29 ottobre dove possiamo notare che il modello a più alta risoluzione ha individuato bene la presenza del minimo di pressione nei pressi della Sicilia.

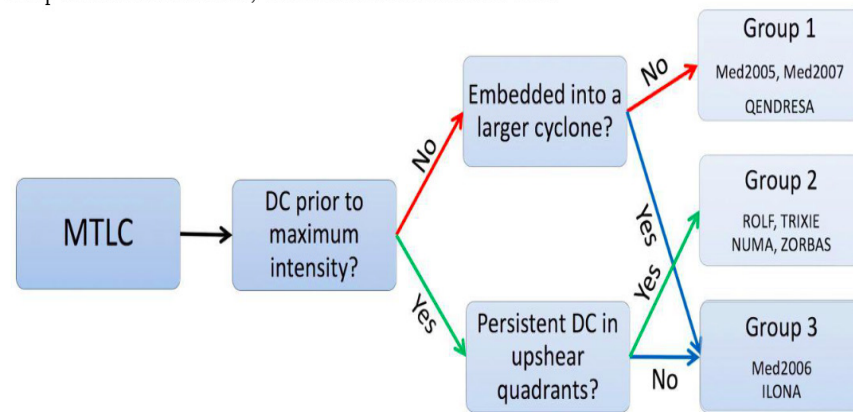
Medicane o non Medicane?
Per quanto detto sin'ora, è necessario più di un criterio per poter stabilire se questo tipo di fenomeno possa essere classificato solo TLC o anche *Medicane* o addirittura se basti *Medicane*. Il termine deriva da *Mediterranean Hurricane*; pertanto, la comunità scientifica ha ritenuto esaustivo per anni considerare l'analogia con il metodo con cui si differenziano le categorie dei cicloni tropicali, utilizzando di fatto la soglia minima e massima del vento medio: depressioni tropicali, tempeste tropicali e uragani e quindi in analogia *Tropical Like Cyclone*, *Medistorm* (*Mediterranean Storm*) e *Medicane*. In questa

trattazione è stata considerata questa analogia e sono state mostrate le difficoltà legate alle osservazioni sul vento, variabile fondamentale per l'attribuzione della giusta categoria. La presenza di poche misurazioni in occasione di questi eventi è un punto fondamentale da dover prendere in considerazione per una serie di riflessioni. Per questo è nata l'azione *COST MedCyclones*, un gruppo di ricercatori che si occupa di cicloni Mediterranei in vari paesi che si affacciano sul bacino, con lo scopo di approfondire le conoscenze sui cicloni mediterranei e di migliorare la capacità di prevederne sviluppo e impatti sul territorio. La varietà di situazioni in cui questi cicloni nascono, i diversi fattori meteorologici in gioco, la quantità di dati osservati e le difficoltà legate ai particolari processi fisici nei modelli numerici sono alla base delle discussioni di questo gruppo di lavoro.

Riprendendo in considerazione il paragrafo relativo alle osservazioni della velocità del vento, per esempio, possono sorgere alcune perplessità:
- non avendo dati sufficienti e precisi nello spazio e nel tempo ha senso giustificare una classificazione che si basi sulla soglia minima e massima del vento?
- qualora questi dati fossero disponibili per quanto tempo è necessario che le soglie vengano superate? Quanto devono essere grandi le aree interessate da questi venti?
Di conseguenza, sebbene la comunità scientifica abbia di fatto considerato per anni la suddivisione analoga ai cicloni tropicali, sono in atto discussioni secondo le quali potrebbe essere possibile che si utilizzi esclusivamente e direttamente il termine *Medicane* indicando per l'appunto i TLC, ovvero strutture meteorologiche con caratteristiche di sviluppo di tipo tropicale. Per esempio, tenendo conto del

SATELLITE-BASED CLASSIFICATION

Deep Convection evolution, Vortex tilt and vertical wind shear



fatto che in letteratura scientifica il nome *Medicane* è stato attribuito anche a cicloni in cui il cuore caldo è dovuto a una *warm seclusion*, (Miglietta 2019 - vedi bibliografia) si propone una suddivisione in tre categorie a seconda dei differenti meccanismi di sviluppo possibili di questo tipo di cicloni. I cicloni di categoria “A” sono quelli in cui domina il meccanismo WISHE (*Wind-Induced Surface Heat Exchange*) nella fase di maturazione, ovvero un meccanismo con *feedback* positivo legato allo scambio di calore tra oceano e atmosfera, in modo del tutto analogo ai cicloni tropicali; per i cicloni di categoria “B”, invece, sono importanti sia i meccanismi legati all’instabilità baroclinica sia quelli legati all’interazione aria-mare, in modo simile ai cicloni sub-tropicali. Infine, nella categoria “C” possono essere inseriti cicloni come quello del 2006 (Maria), nei quali la transizione tropicale e l’intensificazione improvvisa

della circolazione depressionaria avvengono dopo una breve ma intensa interazione del ciclone con la vorticità potenziale agli alti livelli della troposfera, associata a un’ulteriore forte intensificazione dovuta al passaggio al di sotto della zona sinistra di uscita di una corrente a getto. Anche per una maggiore chiarezza comunicativa, nell’azione *COST Medcyclones* si sta decidendo di separare le due categorie e lasciare il nome *Medicane* solo ai cicloni *tropical-like* (quindi, della prima categoria).

Conclusioni

Una vasta area di instabilità è transitata sul Mediterraneo centro occidentale il 24 ottobre, determinando un minimo di pressione sottovento a largo della Tunisia. I forti venti orientali e umidi sul mare a est e l’arrivo di attività convettiva intensa da nord-ovest sul ciclone hanno causato un improvviso approfondimento del

Nelle pagg. precedenti, la traiettoria prevista mediante il modello GFS il giorno 26 ottobre, a seguire i diagrammi di Hart elaborati alle 06.00 UTC del 26 ottobre. A seguire il modello ECMWF a 500 hPa del run 00.00 UTC dei giorni 25 e 26 ottobre rispetto a quella del giorno 28 Ottobre e vento a 10 m dei modelli COSMO-ME e COSMO-IT rispettivamente per le 09.00 UTC del 28 ottobre e per le 12.00 UTC del 29 ottobre. In questa pagina, lo schema decisionale delle categorie dei TLC.

minimo di pressione e successivamente ulteriore forte convezione, la forma a spirale e il tipico occhio delle strutture simili ai cicloni tropicali. Ribattezzato Apollo, il ciclone di tipo tropicale o TLC si è mosso verso la Sicilia aumentando l’intensità dei venti fino a una stima massima mediante scatterometro di 40 - 50 nodi, valore che classificherebbe il ciclone come una Tempesta Mediterranea (*Medistorm*) in base alla letteratura scientifica. L’analisi dei modelli matematici e delle elaborazioni satellitari ha permesso di individuare il nucleo caldo e di descrivere la possibile interazione tra il ciclone e i principali flussi di calore responsabili della nascita del TLC. La lacuna di osservazioni non permette di stabilire definitivamente la natura dell’intensità della tempesta, onde poter escludere di aver raggiunto la soglia di uragano in analogia alla nomenclatura dei cicloni tropicali. Inoltre, sono state mostrate le

mappe meteorologiche di previsione dei giorni precedenti alla maturazione del fenomeno per valutarne la possibile traiettoria, mostrando come solo le elaborazioni del giorno della fine della genesi siano state più accurate e, di conseguenza, si è messo in evidenza il basso livello di predicibilità dell’evento stesso. Infine, sono state effettuate delle considerazioni sulla possibilità o meno di considerare il TLC come *Medicane* alla luce della letteratura più recente sull’argomento. ■

© Riproduzione riservata



ENGLISH ABSTRACT

On 28th October 2021 the cyclone in the Central Mediterranean called Apollo took on the characteristics of Tropical Like Cyclone. Weather conditions before and after the genesis of the event led to severe weather events on the southern Italian coasts and on the coasts of Algeria and Tunisia, causing numerous inconveniences and casualties. This article analyzes the synoptic situation, some physical processes and structural elements that determined the birth of the cyclone and characterized it. Finally, some considerations are proposed on the predictability of the event and on the problem linked to the definition in the literature of Tropical Like Cyclone and *Medicane*.

BIBLIOGRAFIA

Craig GC, Gray SL, CISK or WISHE as the Mechanism for Tropical Cyclone Intensification, AMS 1996 pages 3528 - 3540 https://journals.ametsoc.org/view/journals/atms/53/23/1520-0469_1996_053_3528_cowatm_2_0_co_2.xml

Miglietta MM, Rotunno R, Development mechanism for Mediterranean tropical-like cyclones (*medicane*). Q J R Meteorol Soc 2019; 1-17. <http://doi.org/10.1002/qj.3503>

Modugno G, Teoria del Tropical Like Cyclone - Valutazioni numeriche di un TLC in Italia - Rolf 2011, Rivista di Meteorologia Aeronautica nr 3 del 2018 http://www.aeronautica.difesa.it/comunicazione/editoria/rivmeteorologia/orainedicola/Documents/03_2018/RM_03_2018.pdf

Modugno G, Importanza delle temperature superficiali marine. Alcuni eventi meteorologici estremi nel Mar Mediterraneo, Rivista di Meteorologia Aeronautica nr 1 del 2019. http://www.aeronautica.difesa.it/comunicazione/editoria/rivmeteorologia/orainedicola/Documents/01_2019/RIVISTA_FIN_1_2019-cpr.pdf

Tesi di Laurea “Simulazioni numeriche di un Tropical – Like Cyclone nel Mar Mediterraneo” - Dottor Giancarlo Modugno, Relatore Prof. Claudio Cassardo, Correlatore Dott. Marcello Miglietta.

SITOGRAFIA

CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche) <https://www.isac.cnr.it/en/news/un-ciclone-mediterraneo-sud-della-sicilia>

CGruppo MedCyclones <https://medcyclones.utad.pt/wg1-kick-off-meeting/>

Notizia stato di emergenza in Sicilia https://www.lasicilia.it/economia/news/maltempo_la_regione_ha_dichiarato_lo_stato_di_emergenza_in_86_comuni-1377297/

Fondazione CIMA (Centro Internazionale in Monitoraggio Ambientale) <http://www.cimafoundation.org/>