

RIVISTA di METEOROLOGIA AERONAUTICA



CENTO ANNI DELL'AERONAUTICA MILITARE

In volo verso il futuro

I PRINCIPI DELLA LIGHTNING DETECTION

I fulmini possono interferire con molteplici aspetti della vita quotidiana in ambito sociale e produttivo e gli effetti dell'attività elettrica sono in grado di comportare un rischio concreto per la vita umana

ANNO 77
N.3 LUG/SET 2023



English Abstract

LA TEMPERATURA
SUPERFICIALE DEL
MAR MEDITERRANEO
PARTE II

I SISTEMI GNSS PER LA
METEOROLOGIA E
LO SPACE WEATHER



Foto di: Marina Bonanni

Cari Lettori,
a termine della stagione estiva, eccoci
qui pronti a condividere con voi il nu-
mero autunnale della nostra Rivista.

Un'estate decisamente torrida, spesso afosa: lo testimoniano le due ondate di calore che abbiamo registrato nei mesi di luglio e agosto scorsi. Possiamo senz'altro affermare che l'ondata di caldo registrata tra l'8 e il 25 luglio può definirsi eccezionale soprattutto in termini di durata, persino trascurando i record di temperatura massima osservati in alcune zone del Paese. L'intensità e la persistenza rappresentano, quindi, i due parametri di riferimento su cui porre la maggiore attenzione. Sebbene negli ultimi cinquant'anni si siano verificati altri episodi analoghi, con picchi di temperature molto elevati, quanto accaduto lo scorso luglio desta preoccupazione proprio per la prolungata permanenza dell'anticiclone africano sul bacino del Mediterraneo e la conseguente intensità dei fenomeni temporaleschi verificatisi al suo ritiro. Con estrema violenza, i temporali hanno imperversato ancora una volta sulle regioni settentrionali, tra cui anche la Romagna, già profondamente scossa dagli eventi alluvionali dello scorso maggio. Insomma, due facce della stessa medaglia, ondate di caldo eccezionali contrapposte a manifestazioni del tempo estreme, con piogge e grandinate davvero straordinarie e spesso devastanti. Inevitabilmente, tutto ciò ha innescato un acceso dibattito sul *climate change*, sulle origini e sugli effetti da esso prodotti. L'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), d'altro canto, invita i Paesi membri - e l'Italia ne fa parte - a mettere in atto politiche idonee a contenere le cause del *climate change* e ad "attrezzarsi" per far fronte all'aumento dei fenomeni estremi, non tralasciando di curarne il conseguente impatto sociale sulle popolazioni. Senza andare molto lontano, basta soffermarci in Europa, dove

abbiamo visto come lo scenario socioeconomico, innescatosi a seguito della crisi Ucraina, abbia dato il via all'aumento dei costi energetici, a cui si è successivamente aggiunta una complicata congiuntura economica. Per molti, concedersi l'utilizzo di un condizionatore, durante il periodo di caldo asfissiante, si è tradotto in un "lusso" difficile da sostenere. Può sembrare un esempio banale, ma aiuta a comprendere non solo l'impatto economico dei cambiamenti climatici ma anche la sua incidenza sulla qualità della vita, soprattutto se queste considerazioni si estendono alle aree economicamente più deboli e depresse del globo. Orbene, di fronte a questo scenario, pensiamo che la ricetta più efficace sia educare la collettività al fine di renderla consapevole e stimolare così scelte assennate. Cultura e consapevolezza divengono allora gli ingredienti principali per mitigare gli effetti dei fenomeni estremi, a partire dall'adozione di ogni misura preventiva possibile, sia per il monitoraggio costante del territorio, sia per la salvaguardia dell'ambiente.

In tale contesto, il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare svolge la propria parte, contribuendo alle attività scientifiche che hanno luogo nei consessi internazionali e nazionali. Ampio spazio viene dedicato alle iniziative culturali, con particolare riguardo a quelle promosse verso i ragazzi in età scolare, a cui le donne e gli uomini del Servizio partecipano, favorendo, con un linguaggio semplice, la comprensione di meccanismi talvolta complessi, incluse le cause e gli effetti del cambiamento climatico. Ciò contribuisce ad instillare pazientemente in chi ascolta il seme della curiosità e del desiderio di sapere, per essere così protagonisti nel costruire un mondo migliore.

Buona lettura a tutti Voi amici lettori.

Orazio Di Casola

RIVISTA di METEOROLOGIA AERONAUTICA

anno LXXVII n. 3/2023

EDITORIALE..... 1

di Orazio Di Casola

SOMMARIO..... 2

ANTEPRIMA “NUBI...CHE PASSIONE!”... 4

I PRINCIPI DELLA LIGHTNING DETECTION..... 6

di Adriana Marcucci

LA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MAR MEDITERRANEO - PARTE II 24

di Adriana Marcucci, Fabrizio Ciciulla e Valentina Rosati

Collaborazione

La collaborazione è aperta a tutti. Gli articoli pubblicati rispecchiano esclusivamente le idee personali dell'autore e non riflettono necessariamente il pensiero ufficiale della Forza Armata. L'autore, inoltre, ne assume direttamente la responsabilità e garantisce il rispetto della normativa vigente per il testo e le immagini. Gli scritti, inediti ed esenti da vincoli editoriali, vanno inviati a: Stato Maggiore dell'Aeronautica, 5° Reparto - Rivista di Meteorologia Aeronautica - Viale dell'Università 4, 00185. Il materiale fornito, pubblicato o meno, non verrà comunque restituito. L'editore si dichiara disponibile a regolarizzare eventuali spettanze dovute a diritti d'autore per le immagini riprodotte di cui non sia stato possibile reperire la fonte o la legittima proprietà. Tutti i dati personali sono trattati secondo le vigenti norme sulla tutela della *privacy*.



I PRINCIPI DELLA LIGHTNING DETECTION

Gli effetti dell'attività elettrica in atmosfera sono ben noti e in grado di comportare un rischio concreto per la vita umana, non solo per le attività e i beni materiali coinvolti, ed è prioritario individuarla e monitorarla tempestivamente.

SOMMARIO

I SISTEMI GNSS PER LA METEOROLOGIA E LO SPACE WEATHER..... 40

di Roberto Bove

“NUBI...CHE PASSIONE!”..... 50

di Marco Ferrieri

GLI “OCCHI DEL TEMPO”..... 66

di Paolo Pagano

UNO SGUARDO AL CLIMA..... 92

di Alessio Canessa, Fabrizio Ciciulla, Davide Mancusi e Michele Castaldo

GUIDA PER GLI AUTORI..... 118



I SISTEMI GNSS PER LA METEOROLOGIA E LO SPACE WEATHER

L'analisi dei parametri caratterizzanti i segnali GNSS fornisce uno strumento per il monitoraggio delle tempeste geomagnetiche dovute agli effetti dello Space Weather.



Periodico fondato nel 1937

Proprietario



Direttore Editoriale

Urbano Floreani

Direttore responsabile

Orazio Di Casola

orazio.dicasola@aeronautica.difesa.it

Redazione

Vittorio Villasmunta

Guido Guidi

Iacopo Bonanni

Marco Ferrieri

Maurizio Cosco

Marina Bonanni

Italo Piattelli

rivista.meteo@aeronautica.difesa.it

Grafica e impaginazione

Redazione Rivista di Meteorologia
Aeronautica

Sede

Viale dell'Università, 4 - 00185

Roma

Tel. 0649867039 - 7046

[https://www.aeronautica.difesa.it/
home/media-e-comunicazione/edito-
ria/rivista-meteorologia-aeronautica/](https://www.aeronautica.difesa.it/home/media-e-comunicazione/editoria/rivista-meteorologia-aeronautica/)

ANTEPRIMA

“NUBI...CHE PASSIONE!”

*All'interno, tante immagini suggestive
proposte dai nostri lettori.*



Pisa

Foto scattata il 29 agosto 2023

Autore: Annamaria Vianello

In questa istantanea, i cumuli sembrano particolarmente carichi di umidità; questa situazione descrive visivamente quello che può accadere in corrispondenza e immediatamente dopo il passaggio di un fronte freddo, ovvero, quando una massa d'aria fredda irrompe su una massa d'aria più calda che staziona sulla stessa area: il rimescolamento dovuto all'incunearsi della massa fredda sotto quella calda genera di fatto i cumuli, la cui dimensione è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura delle due masse d'aria.



I PRINCIPI DELLA LIGHTNING DETECTION

La rete LAMPINET
dell'Aeronautica Militare

di Adriana Marcucci

Rivista 6
di Meteorologia
Aeronautica

I fulmini possono interferire con molteplici aspetti della vita quotidiana in ambito sociale e produttivo. Gli effetti dell'attività elettrica in atmosfera sono ben noti e in grado di comportare un rischio concreto per la vita umana, non solo per le attività e i beni materiali coinvolti, ed è prioritario individuarla e monitorarla tempestivamente. Queste pagine offrono una panoramica sul tema della lightning detection che, partendo da un'introduzione teorica sulla genesi dei fulmini e sulle tecniche per rilevarli nei sistemi convettivi, giunge ad illustrare, con un esempio specifico, le potenzialità di applicazione della rete di sensori dell'Aeronautica Militare denominata LAMPINET.

Il fulmine si definisce come una violenta scarica elettrica atmosferica (fig. in basso) che può originarsi, nella maggior parte dei casi, all'interno di una nube (*intracloud*, IC), tra due nubi (*cloud-to-cloud*, CC), tra la nube ed il suolo (*cloud-to-ground*, CG) o, infine, tra una nube e l'aria (*cloud-to-air*, CA).

Pur costituendo, mediamente, solo il 20% delle fulminazioni rilevate su scala globale, i fulmini CG costituiscono il pericolo maggiore per le attività sociali, sportive e produttive con le quali possono interferire. Solo nel 2020, la rete di rilevamento al suolo LAMPINET, dell'Aeronautica

Militare, che introdurremo nel dettaglio nelle sezioni successive, ha individuato sul territorio nazionale più di 2.000.000 di scariche nube-suolo, con valori tipici dell'intensità di corrente delle scariche registrate che vanno da qualche decina di kiloAmpère a valori superiori ai 150 kA. Il monitoraggio dell'attività elettrica in atmosfera acquisisce un ruolo fondamentale per la *early detection* dei fenomeni convettivi e la prevenzione dei rischi ad essa associata. Per meglio comprendere i metodi fondamentali della *lightning detection*, cominciamo con l'analizzare il processo alla base della formazione di un fulmine e,

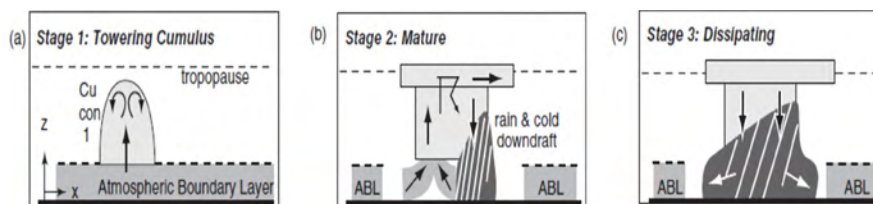
in particolar modo, di una scarica nube-suolo.

Elettrificazione di una nube

All'origine del processo di elettrificazione di una nube su larga scala occorre individuare i processi di interazione a livello microfisico tra le particelle componenti. In particolare, perché l'elettrificazione si renda possibile, è necessaria la presenza in nube di tre tipi di particelle:

- cristalli di ghiaccio di piccole dimensioni;
- presenza di acqua in stato soprafuso, cioè di particelle che, pur trovandosi ad una temperatura inferiore allo zero, si presentano in uno





stato metastabile liquido;
- presenza di *graupel*, ovvero idrometeore formate per accrescimento dovuto al ghiacciamento istantaneo di gocce d'acqua sopraffusa.

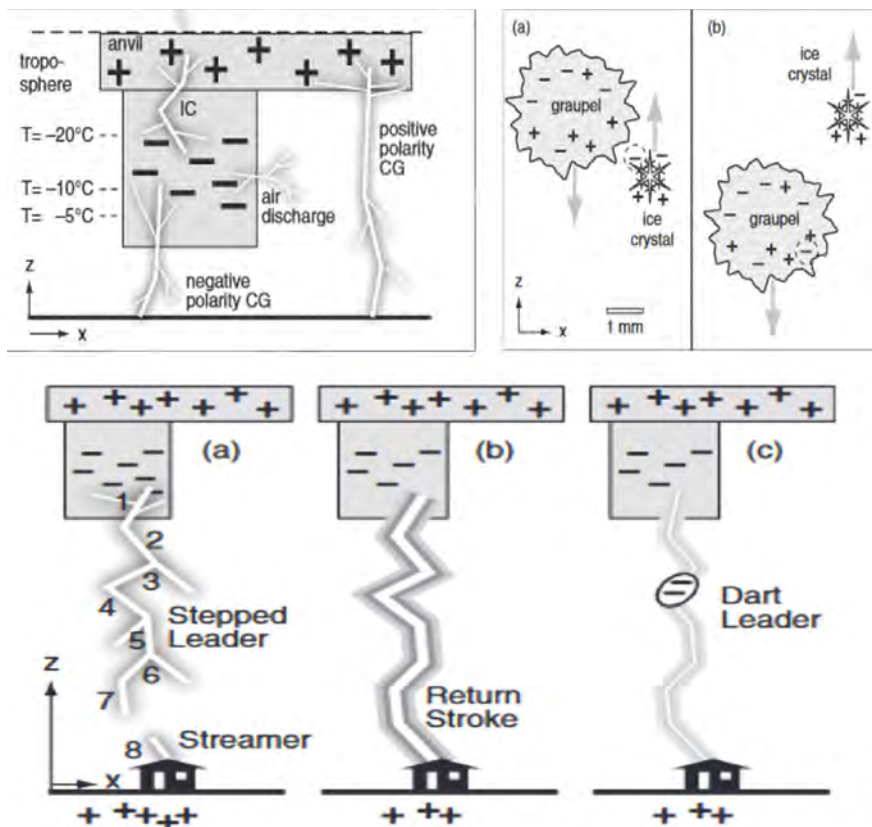
La coesistenza di questi tre tipi di idrometeore si verifica in cumulonembi con temperature comprese tra 0 °C e -40 °C. I processi di elettrificazione diventano tuttavia più probabili per temperature comprese tra -5 °C e -20 °C, alle quali è maggiore la presenza di acqua allo stato sopraffuso.

La separazione delle particelle più leggere dalle più pesanti è, inoltre, determinata dall'*updraft*, la corrente ascensionale calda e umida

responsabile dell'innesco della convezione. Il ruolo dell'*updraft* nelle diverse fasi di un temporale è schematicamente illustrato in alto nella figura in questa pagina. Si può notare come, nella fase di sviluppo (a), l'*updraft* determini la risalita dell'aria calda e umida presente nell'*Atmospheric Boundary Layer* (ABL). Salendo l'aria si raffredda dando origine, nella fase di maturità (b), ad una corrente discendente più fredda (*downdraft*) accompagnata da precipitazioni. Nella fase di dissolvimento (c), l'*updraft* si esaurisce; precipitazioni residue, sempre meno intense, continuano ad essere associate al *down-*

Nelle pagg. precedenti, in apertura, una intensa e spettacolare tempesta di fulmini notturna interessa un villaggio di campagna (autore Yuriy Stolytin - commons.wikimedia.org). Nella pag. precedente, vari esempi di fulminazione: tra nube e nube (o intracloud) e tra nube e suolo (o cloud-to-ground), tutti in grado di interferire direttamente sullo svolgimento, in sicurezza, di molte attività produttive e servizi. In questa pagina, in alto, lo schema delle fasi di sviluppo (a), maturità (b) e dissolvimento (c) di una cella convettiva e una nube temporalesca completamente sviluppata.

draft che, non più alimentato dall'*updraft*, tende a svanire. L'immagine mostra la cella convettiva nella sua fase matura, con il *top* della nube che, raggiunta la tropopausa, si schiaccia prendendo la forma di un'incudine (*anvil*), per effetto dell'inversione termica che impedisce un'ulteriore salita dell'aria calda. Nonostante le interazioni legate alla separazione delle cariche all'interno di una nube non siano ancora state descritte con certezza, una delle teorie più accreditate si basa sulle collisioni tra *graupel* e gocce d'acqua sopraffusa. L'impatto tra questi due tipi di idrometeore fa sì che l'acqua sopraffusa congeli



improvvisamente. Le molecole di ghiaccio si dispongono in modo casuale e non secondo un reticolo, come avviene invece per i cristalli di ghiaccio. La distribuzione delle cariche sui cristalli di piccole dimensioni risulta più ordinata, con le cariche negative sulla superficie esterna del cristallo. Quando dunque un cristallo di ghiaccio, più leggero e in ascesa per effetto dell'*updraft*, "incontra" un *graupel*, più pesante, cede una carica negativa, mediamente pari a 100.000 elettroni. Da elettricamente neutro, il cristallo riprenderà il suo cammino verso il *top* della nube con una carica

positiva (fig. in alto a destra in questa pagina). Il *graupel* si disporrà, invece, nella zona intermedia e più bassa della nube con una carica negativa. Durante un temporale si può osservare un numero di collisioni pari a 5×10^3 collisioni per km^3 con una generazione di differenza di potenziale, via via sempre maggiore, tra il *top* della nube (carico positivamente) ed il *bottom* (carico negativamente). Il processo di elettrificazione della nube è alla base del passaggio di corrente elettrica intra-nube (*intracloud lightning* - IC) finalizzato a ristabilire, all'interno del sistema, l'equilibrio nella distribuzio-

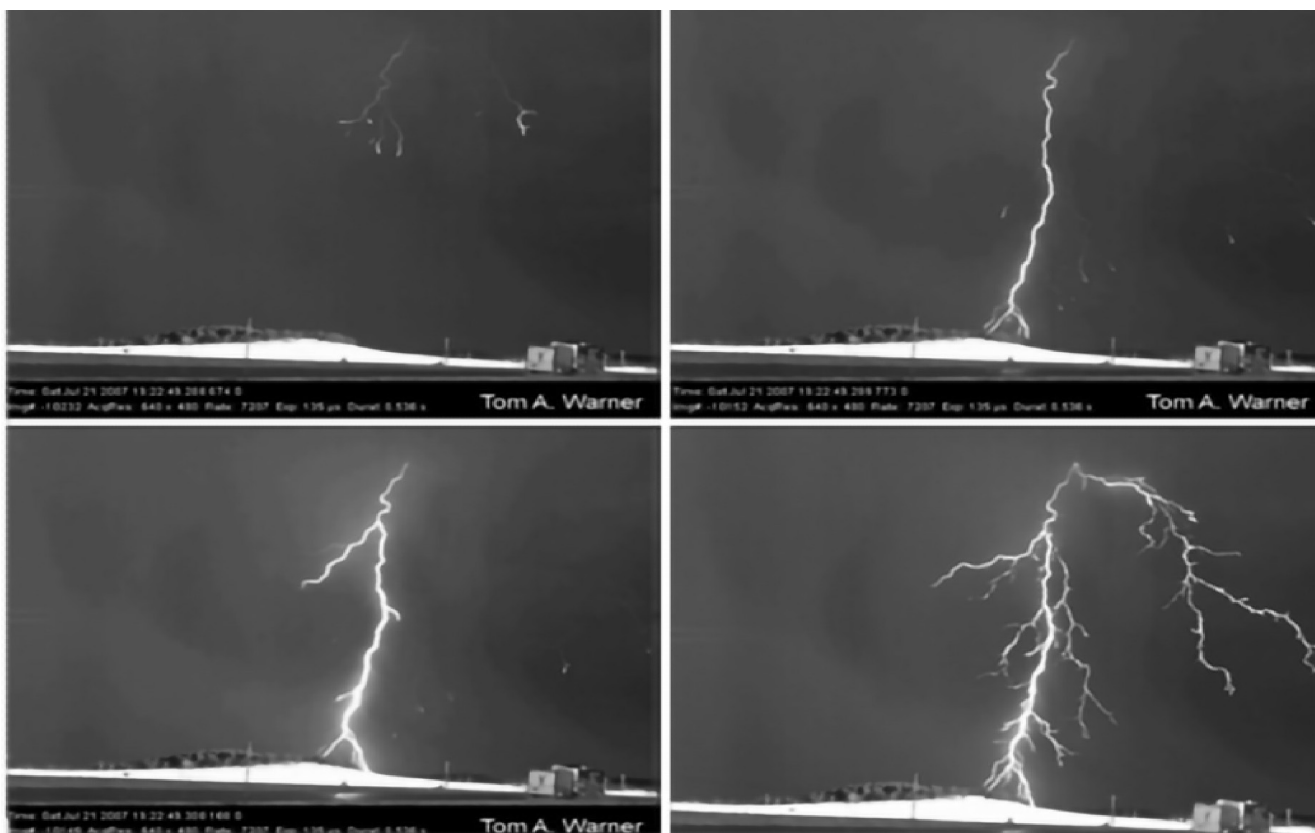
In questa pagina, in alto a sinistra, la schematizzazione del processo di separazione e distribuzione delle cariche elettriche all'interno di un cumulonembo; in alto a destra, è raffigurato il passaggio di cariche tra *graupel* e cristalli di ghiaccio in movimento all'interno di una stessa nube.

In basso, lo schema delle fasi di generazione ed evoluzione di una scarica elettrica nube-suolo.

Nella pag. successiva, la genesi di uno stroke CG a carica negativa: in alto, da sinistra verso destra, lo *stepped-leader* si avvicina al suolo fino a ricongiungersi allo streamer; in basso a sinistra, il *return stroke* originato dal trasferimento di cariche elettriche e, nell'ultima immagine, l'intero stroke.

ne delle cariche.

La genesi di una scarica nube-suolo (*cloud-to-ground*, CG) ha inizio quando la carica accumulata al *bottom* della nube supera un valore soglia di potenziale, sufficiente a innescare nell'atmosfera un processo di ionizzazione. Le cariche negative iniziano quindi il passaggio verso il suolo, con degli *step* successivi di circa cinquanta metri ciascuno (in basso nella fig. in questa pagina); ogni *step* ha una durata di circa $1 \mu\text{s}$ ed è intervallato dal successivo di circa $50 \mu\text{s}$. Per avvicinarsi al suolo la scarica, definita *stepped-leader*, può aver bisogno di centinaia di sposta-



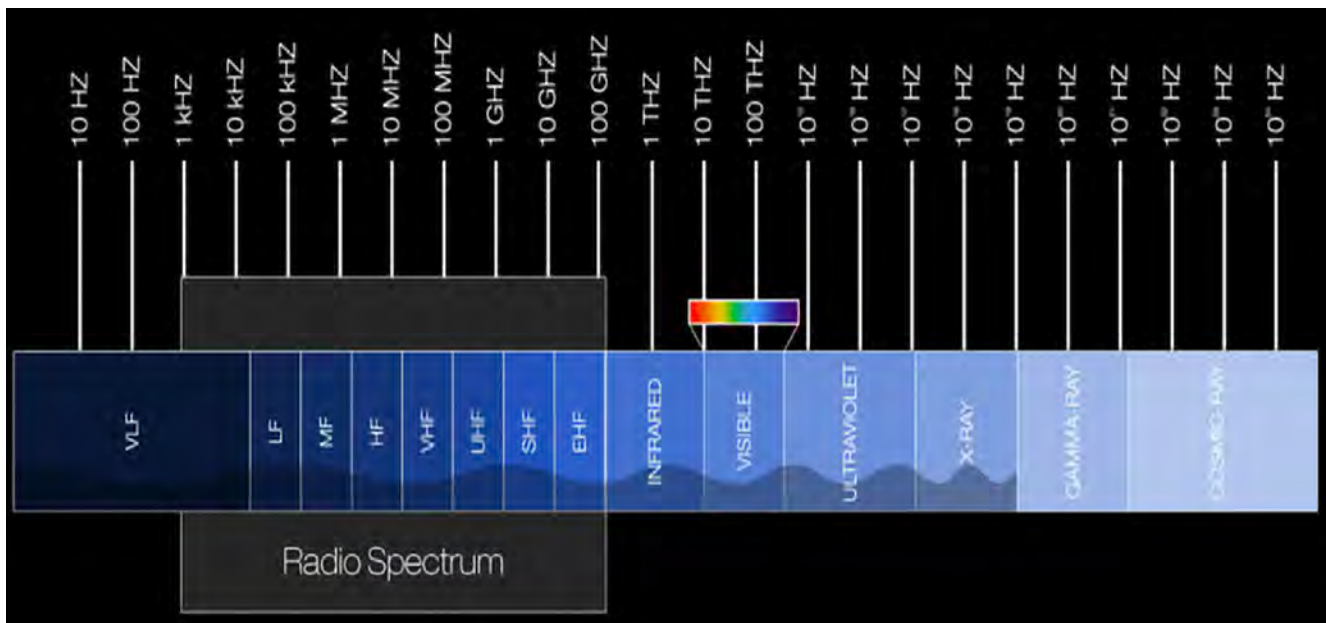
menti successivi. Quando gli elettroni si trovano a qualche decina di metri dal suolo (o da un oggetto su di esso), l'intenso campo elettrico da essi generato fa sì che gli elettroni liberi sulla superficie terrestre vengano repulsi. La superficie si carica quindi positivamente ed una scarica di cariche positive, detta *streamer*, lascia il suolo per ricongiungersi allo *stepped-leader*. Il canale nube-suolo è, a questo punto, completamente formato e consente il passaggio dell'intensa scarica elettrica che percepiamo visivamente, detta *return stroke*. Il fulmine CG, dunque formato dallo *stepped-leader* e dal

return stroke, è denominato, nella terminologia inglese, *stroke*. A seconda della carica ancora presente in nube, attraverso il canale apertosi nella formazione dello *stroke* possono passare più scariche successive (ciascuna delle quali denominata *dart leader*) che compongono, nella loro totalità, un *flash* (fig. in alto). Il meccanismo appena descritto determina il trasferimento di carica negativa e una scarica si definisce, in questo caso, a polarità negativa (CG-). Se, viceversa, il fulmine provoca un trasferimento di carica positiva si dice positivo (CG+). Come già sottolineato, i

fulmini nube-suolo rappresentano mediamente solo il 20% delle fulminazioni totali e, tra di essi, solo circa il 10% ha polarità positiva. Tuttavia i CG+, essendo generati dal *top* elettricamente positivo della nube convettiva (la parte che, in fase matura, assume la caratteristica forma ad incudine), percorrono distanze maggiori per giungere a toccare il suolo, ragion per cui sono spesso associati ai trasferimenti di corrente più intensi.

I principi della *lightning detection*

La variazione del campo elettrico associata ad una scarica

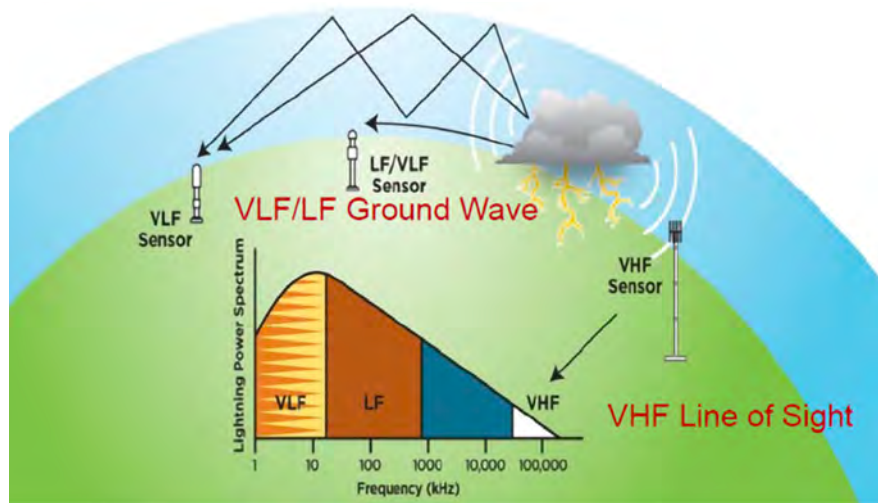


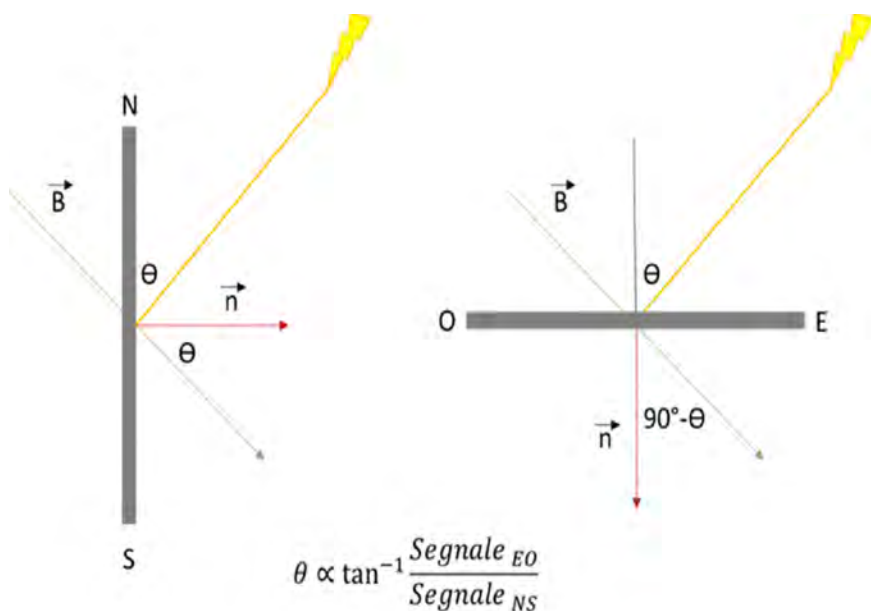
elettrica produce delle onde elettromagnetiche che si propagano in un ampio *range* di frequenze. Durante le fasi di ionizzazione dell'atmosfera le emissioni maggiori si verificano nelle alte frequenze (*Very High Frequency* - VHF) comprese tra 30 e 300 MHz e con lunghezze d'onda che vanno da 1 a 10 metri. Il passaggio di correnti più elevate, solitamente associate ai CG *strokes* produce, al contrario, emissioni ben individuabili alle basse e bassissime frequenze (rispettivamente *Low Frequency* - LF e *Very Low Frequency* - VLF), con un *range* che varia complessivamente dai 3 ai 300 kHz e dai 10 ai 100 km di lunghezza d'onda (fig. in alto).

I fulmini nube-nube producono nelle LF e VLF centinaia o addirittura migliaia di piccoli impulsi, che solo raramente

sono paragonabili ai segnali caratteristici di un CG *stroke*. Appare dunque evidente quanto la scelta dell'intervallo di funzionamento dei sensori che compongono una rete di rilevamento al suolo risulti determinante, a seconda del tipo di scariche che si vogliono rilevare. Il *range* di frequenze utilizzato influenza, inoltre, il *design* del

network. Sensori nelle VHF rileveranno il segnale solo se emesso nelle immediate vicinanze del sensore stesso (nella *Line of Sight*, ovvero l'orizzonte visivo, del sensore). Impulsi alle LF o VLF viaggiano, al contrario, per decine/centinaia di km sfruttando la riflessione tra suolo e ionosfera (fig. in basso). I sensori alle basse/bassissime





Nella pag. precedente, in alto, lo spettro elettromagnetico con, in evidenza, le frequenze associate alle onde radio; in basso, uno schema del range di funzionamento dei vari sensori per il rilevamento delle scariche elettriche, in funzione del tipo di frequenza rilevata. In questa pagina, in alto, il rilevamento scariche secondo la tecnica MDF (Magnetic Direction Finding), in cui l'angolo di azimuth formato dal Nord e dalla direzione di provenienza dello scarica dipende dal segnale misurato nelle due antenne, poste l'una secondo la direttrice Nord-Sud, l'altra in direttrice Ovest-Est; in basso, la tecnica MDF a tre sensori, che ottimizza la geolocalizzazione di uno stroke.

frequenze hanno dunque un *range* di rilevamento molto maggiore. Questo consente di progettare reti con un numero ridotto di sensori, distanziati tra di loro alcune centinaia di chilometri. Al fine di stabilire con precisione la posizione di una scarica elettrica occorre sfruttare due o più sensori. Il numero di sensori ottimale

per la geolocalizzazione dipende dalla tecnica utilizzata. Nelle pagine che seguono si concentrerà l'attenzione sui tre metodi principalmente utilizzati nel rilevamento delle scariche alle basse e bassissime frequenze.

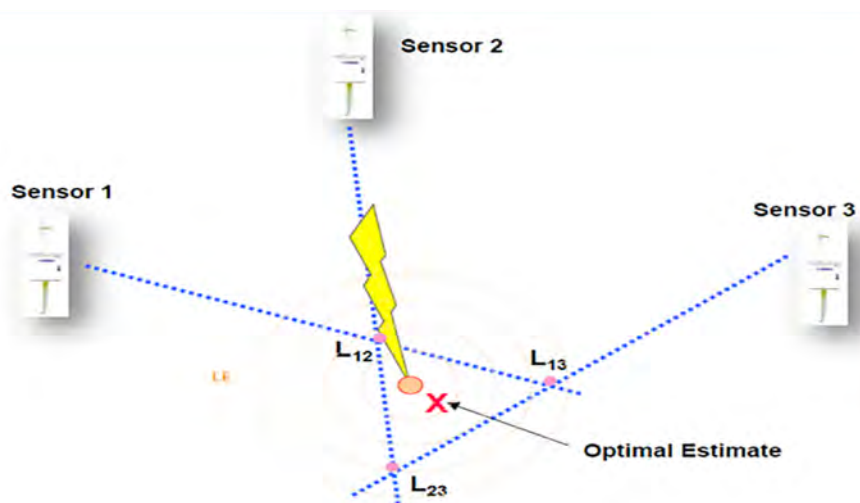
La tecnica denominata *Magnetic Direction Finding* (MDF) consente di stabilire la direzione di provenienza

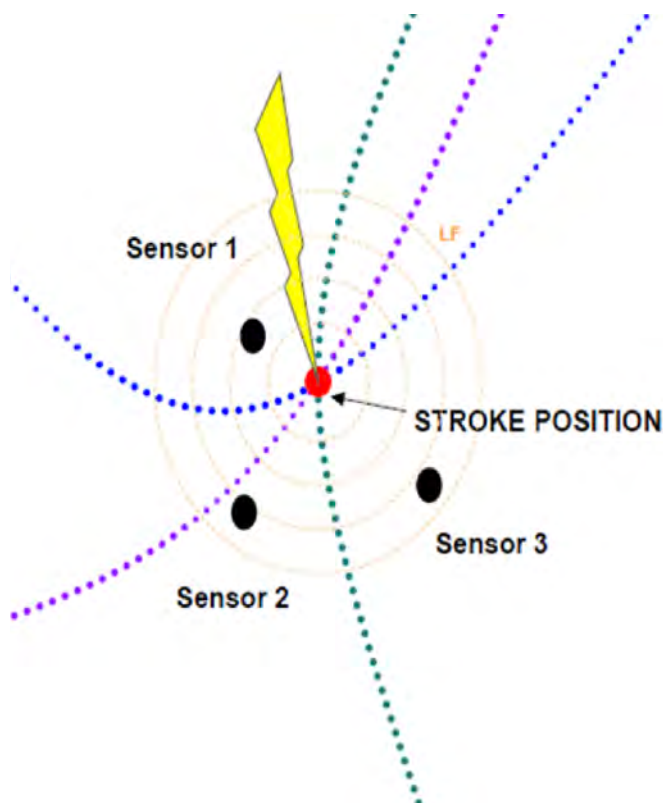
dell'impulso elettromagnetico generato dalla scarica elettrica, calcolando la variazione del campo elettrico in due antenne poste secondo le direttrici Nord-Sud ed Ovest-Est (fig. in alto).

Per geolocalizzare una scarica è necessario che intervengano nella misura almeno due sensori.

L'intervento contemporaneo di tre sensori consente, tuttavia, di minimizzare l'errore sull'angolo di *azimuth* calcolato da ciascun sensore (fig. in basso).

La tecnica del *Time-of-Arrival* (TOA), a differenza della MDF appena descritta, si basa sulla misurazione del tempo di arrivo di un segnale radio su più sensori, tra loro perfettamente sincronizzati. Per una scarica che sia rilevata contemporaneamente da due sensori, la differenza





nel tempo di arrivo a ciascuno dei due sensori deve mantenersi costante. Questa condizione fa sì che le possibili posizioni di partenza della scarica si distribuiscano lungo un'iperbole. Sebbene tre sensori siano sufficienti ad identificare la posizione della scarica con l'intersezione di tre iperboli (fig. in alto a sin.), solo quattro sensori garantiscono l'unicità della soluzione.

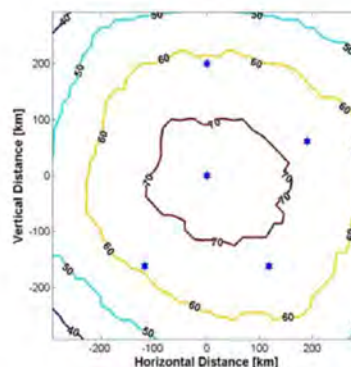
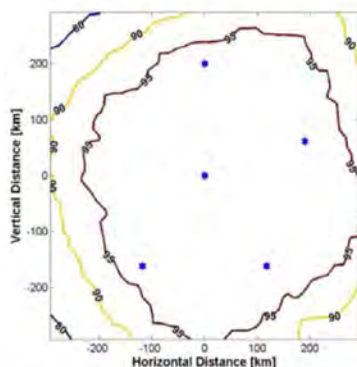
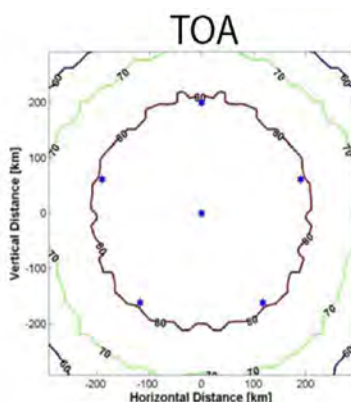
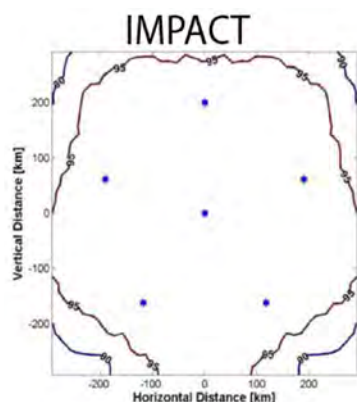
Le tecniche MDF e TOA possono essere combinate grazie alla tecnologia IMPACT (*Improved Accuracy Using Combined Technology*).

In questo caso, ciascun sensore contribuisce al *network* acquisendo informazioni

circa la direzione di arrivo dell'impulso elettromagnetico (MDF) ed il tempo assoluto di rilevamento (TOA). Come schematizzato nella fig. in alto a destra, la geolocalizzazione avviene grazie all'intersezione delle direzioni di provenienza, individuate da più sensori (MDF), e delle circonferenze ricostruite grazie alla tecnica del TOA. Combinare MDF e TOA consente di sfruttare anche solo due sensori per definire in maniera univoca la posizione della scarica. Il sistema risulta complessivamente più robusto, con una *Detection Efficiency* (DE) maggiore rispetto a quella raggiunta applicando le due tecniche

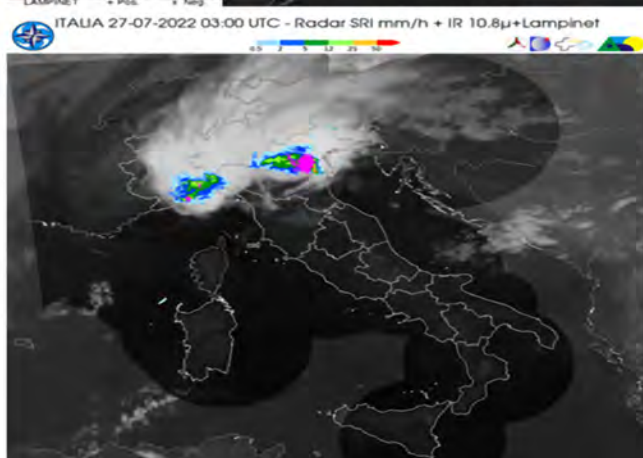
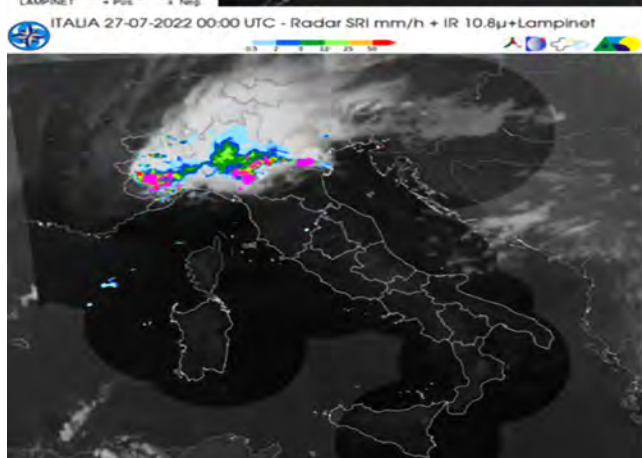
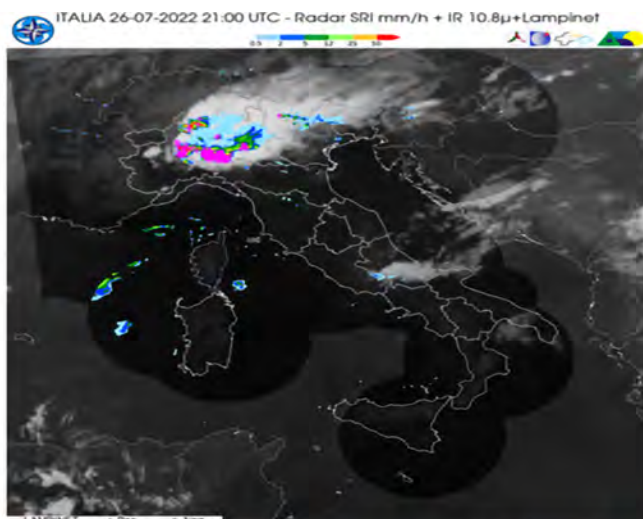
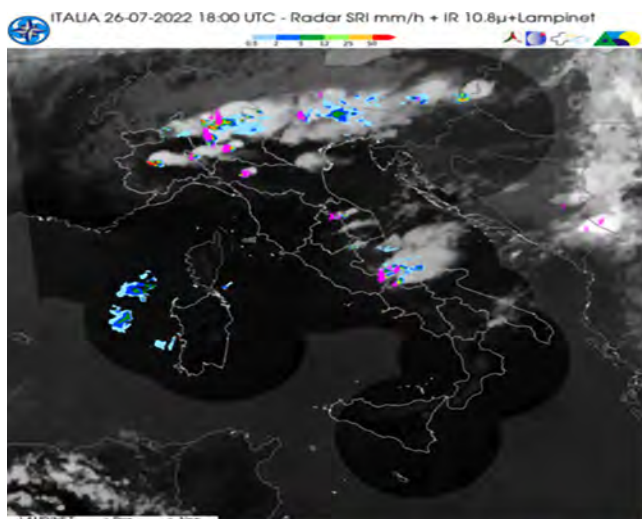
separatamente. Si veda, a titolo esemplificativo, lo schema (fig. in alto alla pag. successiva) che mette a confronto la *Detection Efficiency* di due *network*: uno sfrutta la tecnica IMPACT (a sinistra), l'altro la sola tecnica TOA (a destra). Si nota come la DE risulti sempre maggiore per il *network* a tecnica IMPACT, anche nel caso in cui da sei sensori (immagini in alto) si passi a cinque sensori (immagini in basso). In particolare, in un *network* a tecnica IMPACT, anche l'eventuale perdita di un sensore, come nell'esempio descritto, consente comunque una DE pari al 95%.

Dopo aver introdotto alcuni



Nella pag. precedente, a sinistra, la tecnica TOA (Time of Arrival) con la geolocalizzazione di uno stroke attraverso l'utilizzo di tre sensori; a destra, la tecnica IMPACT, nella quale ogni sensore individua una circonferenza, luogo dei punti di possibile caduta di uno stroke in base al tempo assoluto di arrivo del segnale, e una retta, che indica la direzione di provenienza della scarica, ottenuta con la tecnica MDF. L'intersezione simultanea di due o più rette e due o più circonferenze individua lo stroke. In questa pagina, in alto, il confronto tra le Detection Efficiency delle due tecniche, sempre migliore per la tecnica IMPACT, anche in caso di parziale degrado del numero dei sensori in uso. In basso, la mappa dei sensori che compongono la rete di rilevamento scariche elettriche LAMPINET dell'Aeronautica Militare.





elementi base relativi alla *lightning detection*, concentreremo la nostra attenzione sulla rete di rilevamento per le scariche elettriche LAMPINET dell'Aeronautica Militare.

La rete LAMPINET: un caso studio

LAMPINET nasce nel 2004 con l'installazione di quindici sensori, a tecnologia VAISALA, distribuiti su tutto il territorio nazionale (fig. in basso alla pag. precedente). Tutti i sensori risultano

collegati, tramite la rete LAN AERONET, ad un processore centrale situato presso il Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aerospaziale (CNMCA) di Pratica di Mare, che cura accentrimento ed elaborazione dei dati raccolti. La rete consta attualmente di dodici sensori IMPACT ESP e di tre sensori di ultima generazione LS7002. Entrambe le tipologie hanno un *range* di frequenze di funzionamento compreso tra 1 e 350 kHz (LF).

Questa caratteristica rende

LAMPINET una rete ottimale per il rilevamento di scariche nube-suolo, con una *Detection Efficiency* pari circa al 90%. Gli impulsi prodotti dalle fulminazioni nube-nube nelle LF sono ugualmente rilevati dai sensori con una *Detection Efficiency* che raggiunge il 30%.

L'analisi del segnale ricevuto consente di distinguere il tipo di scarica rilevata (*cloud-to-ground* oppure *cloud-to-cloud*) e di localizzarla con un'accuratezza pari o inferiore ai 500 metri.



Nella pag. precedente, in alto, le immagini RADSATLAM riferite alle ore 18 e 21 UTC del 26/07/2022 e alle 00 e 03 UTC del 27/07/2022; il prodotto sfrutta la sovrapposizione dell'immagine nell'infrarosso da satellite geostazionario (frequenza di osservazione a 10.8 μm) con i dati di intensità di precipitazione al suolo stimati dalla rete radar nazionale e delle fulminazioni rilevate dalla rete LAMPINET. Le immagini, sempre aggiornate e disponibili giorno e notte, consentono il continuo tracciamento dei sistemi convettivi.

In questa pagina, la rappresentazione grafica di un messaggio di sicurezza per il volo (SIGMET) per temporali affogati, emesso il 26/07/2022 alle ore 23 UTC.

La tecnica utilizzata per la geolocalizzazione è la tecnica IMPACT che, come già descritto, combina le tecniche MDF e TOA, assicurando quindi prestazioni ottimali in termini di robustezza, *Detection Efficiency* e *location accuracy*.

Al fine di illustrare alcune delle potenzialità di impiego della rete consideriamo, a titolo di esempio, l'attività convettiva sviluppatasi sul Nord Italia tra il pomeriggio del 26 Luglio e le prime ore del 27 Luglio 2022, quando

eventi temporaleschi - caratterizzati da attività elettrica intensa - hanno interessato un'ampia porzione di territorio, come si può apprezzare nell'immagine alla pag. precedente. Il prodotto utilizzato è, in questo caso, un'utile sovrapposizione dell'immagine all'infrarosso dal satellite geostazionario, della *Surface Rainfall Intensity* (SRI) rilevata dalla rete radar nazionale e del dato LAMPINET, che ben evidenzia le zone con maggiore attività elettrica.

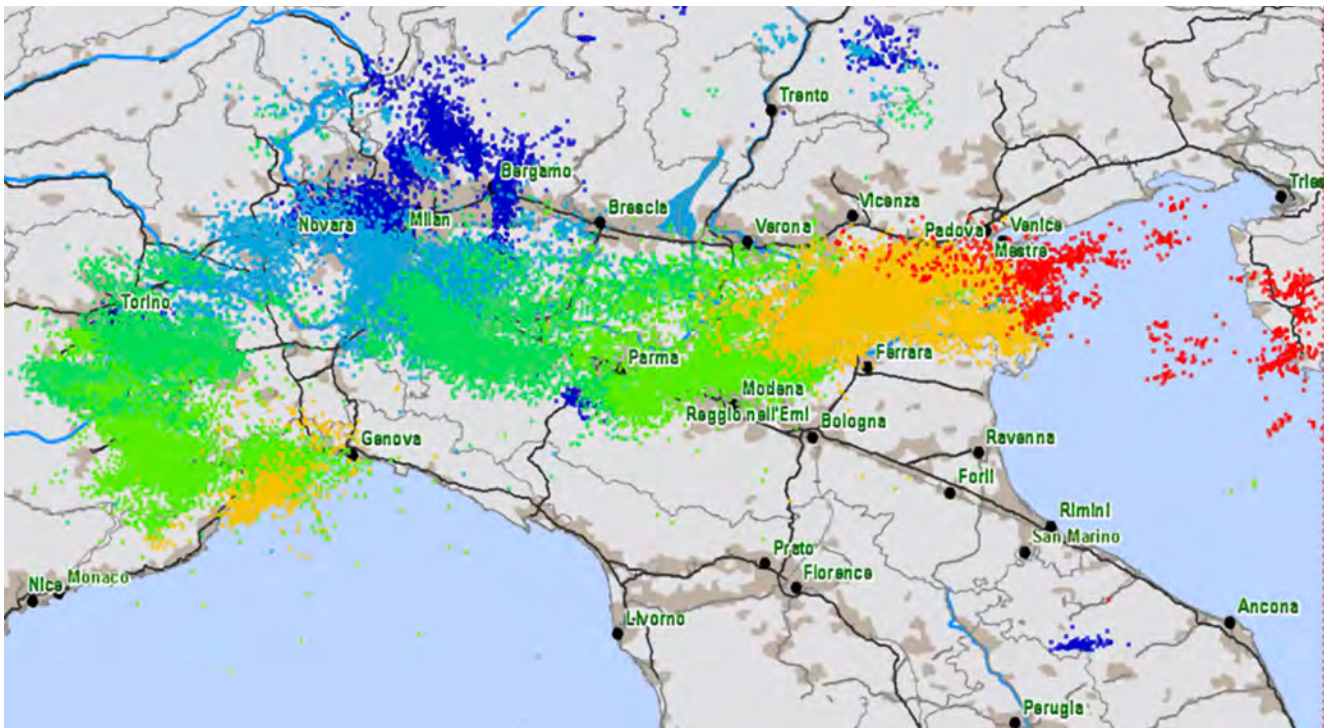
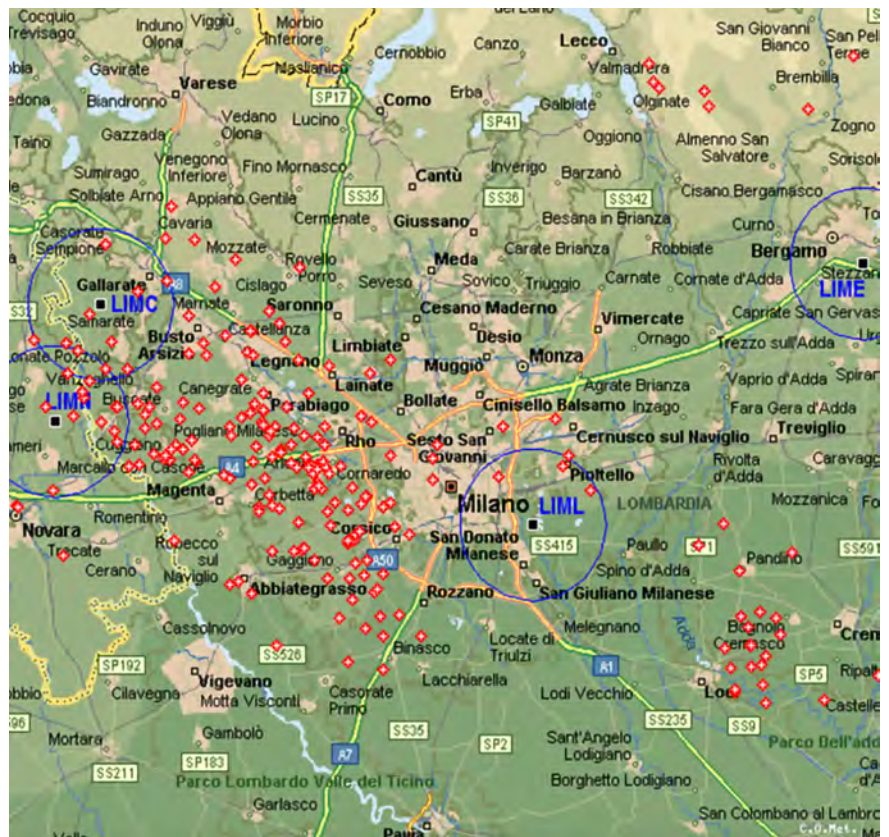
Le fulminazioni riportate

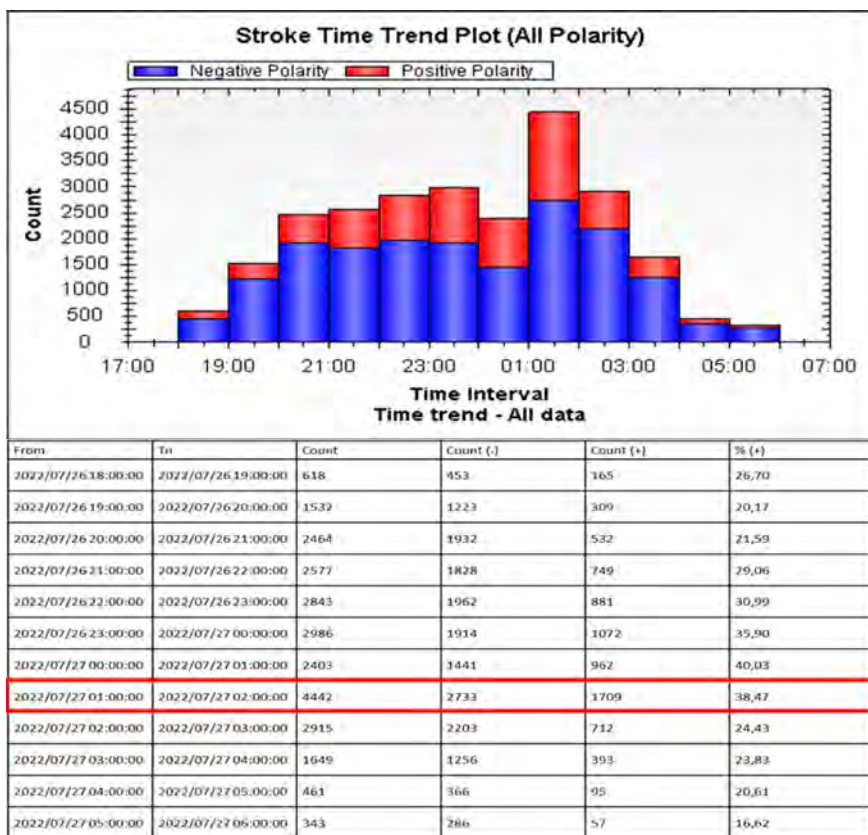
rappresentano la totalità delle scariche rilevate da LAMPINET, *cloud-to-ground* e *cloud-to-cloud*.

La disponibilità di quest'ultimo prodotto senza soluzione di continuità e la frequenza di aggiornamento ogni cinque minuti, rendono il LAMPINET uno strumento particolarmente completo ed efficace nel monitoraggio dell'attività temporalesca, consentendo la tempestiva emissione dei messaggi di sicurezza per il volo sullo spazio aereo nazionale, la cui

sorveglianza meteo è curata dal *Meteorological Watch Office* dell'AM, responsabile per le *Flight Information Region* (FIR) di Milano, Roma e Brindisi.

Si consideri, a titolo di esempio, il messaggio di sicurezza SIGMET (*Significant Meteorological Information*) per temporali affogati (fig. alla pag. precedente) emesso sulla FIR di Milano il 26/07/2022 e valido dalle ore 23:00 UTC; l'utilizzo delle rilevazioni LAMPINET consente di monitorare presenza ed evoluzione dell'attività elettrica su scala locale, come nell'esempio riportato qui a fianco: la mappa, aggiornata operativamente ogni 5 minuti, riporta le fulminazioni totali rilevate sull'area degli





aeroporti di Milano Linate (LIML), Cameri (LIMN), Milano Malpensa (LIMC) e Bergamo Orio al Serio (LIME) il 26/07/2022 alle 20:00 UTC. La *detection* di una o più scariche in prossimità degli aeroporti consente l'efficace monitoraggio del fenomeno, con l'emissione degli Avvisi di Aerodromo previsti. L'attività di fulminazione risulta, infatti, particolarmente pericolosa, ad esempio per le attività di rifornimento degli aeromobili, ed è pertanto necessario monitorare il verificarsi di scariche elettriche in *range* spaziali ben definiti; varie operazioni a terra vengono infatti del tutto interrot-

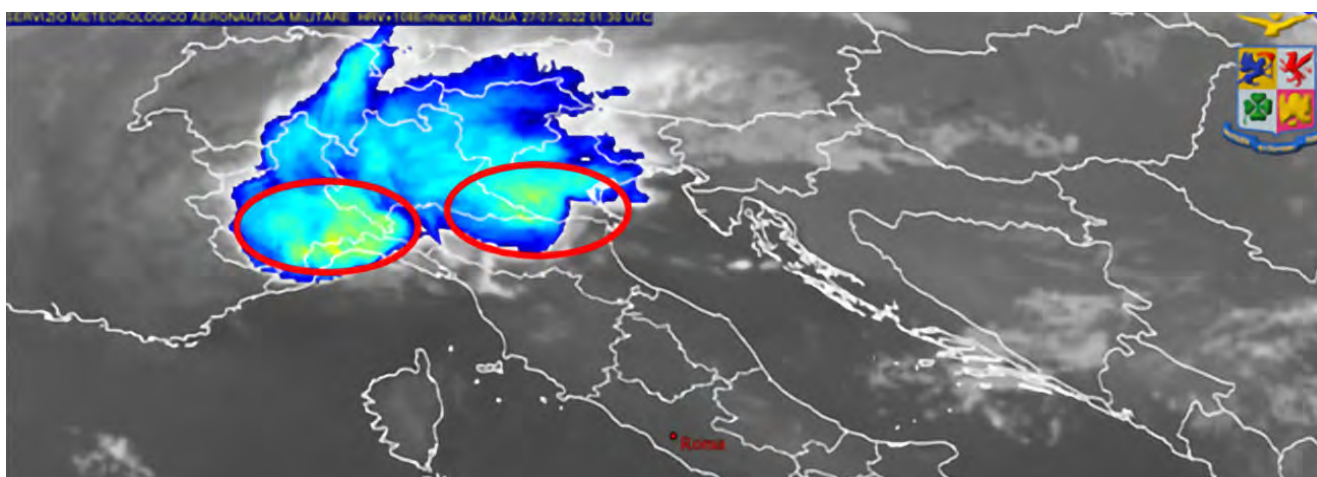
te qualora si rilevino fulmini ad una distanza inferiore ai 5 km dal sedime. Per distanze comprese tra i 5 km e gli 8 km si configura già, tuttavia, uno stato di allerta. Uno studio più estensivo e approfondito della disposizione delle fulminazioni sull'area può essere condotto grazie al software VAISALA FALLS (*Fault Analysis and Lightning Location System*). Il software consente di analizzare in maniera approfondita i dati raccolti dal processore centrale della rete LAMPINET; consideriamo, ad esempio, di voler visualizzare gli *stroke* CG caduti sull'area di nostro interesse in un las-

Nella pag. precedente, in alto, le fulminazioni totali cadute tra le 19:55 e le 20:00 UTC del 26/07/2022 nell'area di Milano: le circonferenze delimitano un'area di circa 8 km (5 mi) di diametro dagli aeroporti principali, distanza al di sotto della quale sono attivate specifiche procedure di sicurezza e di allerta per le attività aeroportuali.

In basso, la mappa elaborata dal software VAISALA FALLS, che localizza il complessivo degli *stroke* CG caduti tra le 18 UTC del 26/07/2022 e le 06 UTC del 27/07/2022.

In questa pagina, il grafico e la tabella riepilogativa riferiti all'immagine precedente, con la distribuzione oraria del numero di *stroke* CG (positivi e negativi) rilevati tra le 18 UTC del 26/07/2022 e le 06 UTC del 27/07/2022 (elaborazione VAISALA FALLS). In particolare, nella tabella, il riquadro in rosso evidenzia il picco di fulminazioni registrato tra le 01 e le 02 UTC.

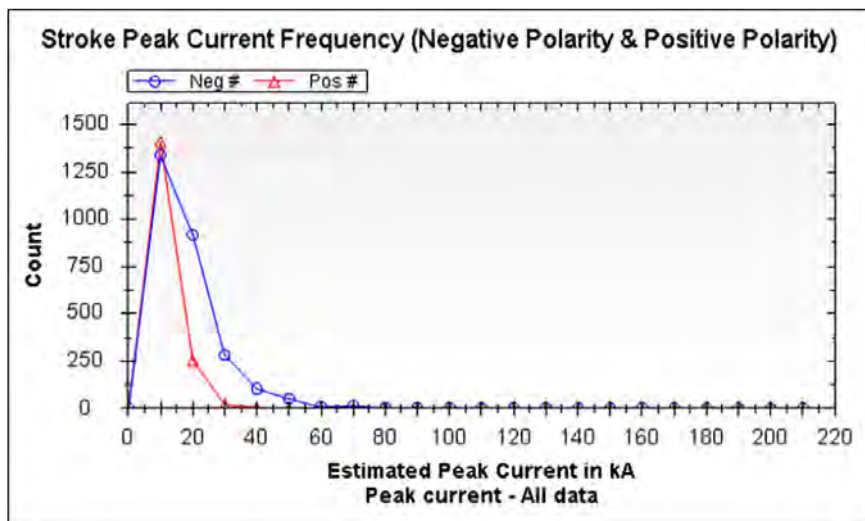
so temporale che va dal 26 Luglio alle ore 18:00 UTC al 27 Luglio alle ore 06:00 UTC. Otterremo come risultato l'immagine in basso alla pag. precedente. La scala colori si riferisce alla fascia oraria di rilevamento: dal rosso, per le fulminazioni più recenti (cadute tra le 04 e le 06 UTC), fino al blu per quelle individuate tra le 18 e le 20 UTC. Il sistema può poi elaborare grafici e riepiloghi, riportanti il numero di scariche cadute in ciascuna fascia oraria, distinguendo il tipo di scarica rilevata (fig. e tabella in alto). Come si può notare, la distribuzione presenta un picco tra le 01 e le 02 UTC, con un'alta



percentuale di CG+, solitamente associati ad eventi convettivi più intensi. Restrignendo il *range* temporale di analisi alla fascia oraria 01-02 UTC del 27 Luglio, si individuano, dalla disposizione delle fulminazioni, due nuclei temporaleschi attivi, che risultano ben visibili anche da un confronto con l'immagine satellitare all'infrarosso (fig. in alto). Il grafico permette poi di analizzare la distribuzione delle scariche rilevate ogni minuto

e la distribuzione della corrente di picco (fig. in alto alla pag. successiva). I dati analitici indicano che l'82,55% degli *stroke* CG- e il 97,48% degli *stroke* CG+ hanno intensità di picco comprese tra 0 e 20 kA. Si osserva, tuttavia, una scarica CG+, di intensità compresa tra 180 e 190 kA. Applicando alla ricerca un filtro di intensità e considerando solo i valori di picco superiori a 150 kA, si individuano posizione e istante di caduta

dello *stroke* CG+, evidenziato nella fig. al centro alla pag. successiva. Allo *stroke* viene inoltre associata un'ellisse di confidenza, che delimita l'area in cui la scarica è caduta con una probabilità del 90%. L'ellisse tiene conto dell'incertezza associata alla misura, legata, ad esempio, al numero di sensori del *network* che partecipano alla localizzazione; maggiore sarà questo numero, maggiore sarà la *location accuracy*.



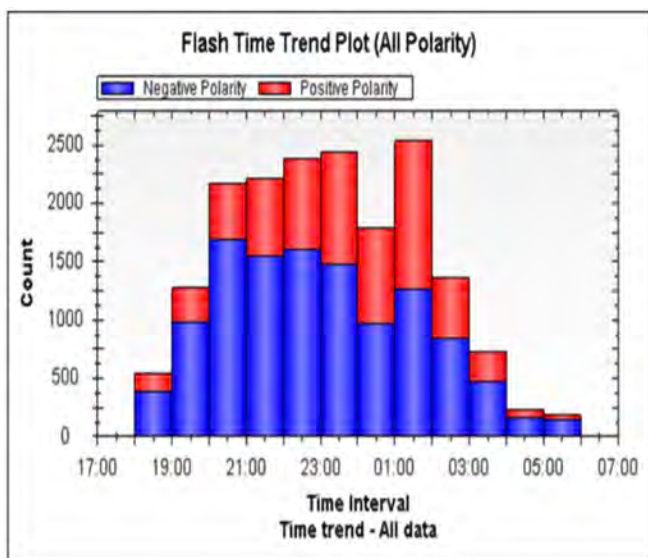
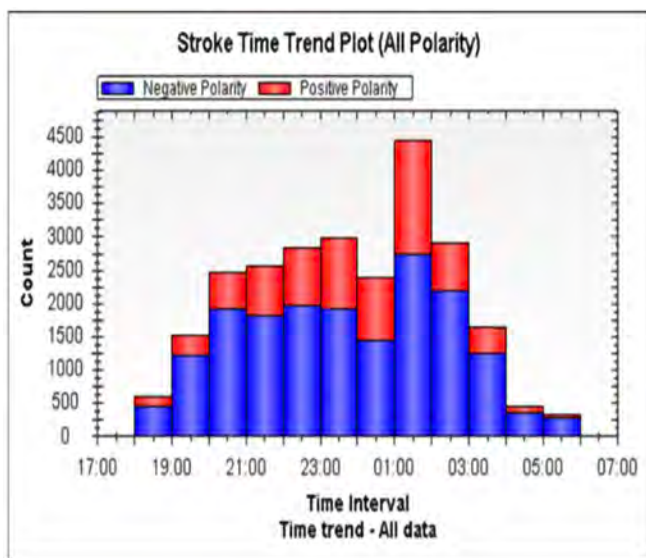
Date and time	Latitude	Longitude	Discrimination	Signal (kA)
2022/07/27 01:23:20.194	45,183281	10,376187	CG+	189

Nella pag. precedente, gli stroke caduti tra le 01 e le 02 UTC del 27/07/2022 (elaborazione VAISALA FALLS) e la corrispondente immagine IR-enhanced da satellite geostazionario; la scala di colori, associata alla temperatura di brillanza misurata alla frequenza di 10.8 μm , evidenzia in giallo le aree più fredde del sistema convettivo, corrispondenti al top di nube e più elettricamente attive.

In questa pagina, il diagramma di distribuzione delle intensità di corrente di picco, rilevate tra le 01 e le 02 UTC del 27/07/2022, che evidenzia una scarica di circa 190kA d'intensità. A seguire, la posizione e l'orario dello stroke (CG+) di intensità di picco massima, rilevato nella stessa fascia oraria e geolocalizzato con il software VAISALA FALLS.

In basso, un'altra elaborazione, con i grafici di comparazione tra gli stroke e i flash rilevati dalla rete LAMPINET, tra le 18 UTC del 26/07 e le 06 UTC del 27/07; risulta evidente il picco di attività elettrica sull'area di interesse tra le 01 e le 02 UTC.

In chiusura, uno spettacolare evento di fulminazione su Berlino (foto: Matt Biddulph - commons.wikimedia.org).



Concludiamo la panoramica sulle applicazioni della rete LAMPINET e del *software* VAISALA FALLS richiamando la definizione di *flash* introdotta in precedenza. Poiché tutte le rilevazioni sin qui inserite si riferiscono al rilevamento di *stroke*, ovvero di ogni singolo passaggio di corrente elettrica all'interno di un canale ionizzato, è possibile considerare il passaggio, all'interno del medesimo canale di ionizzazione, dei vari *stroke* che compongono un *flash*.

Dal confronto dei grafici (fig. in basso alla pag. precedente), risulta che il numero di *flash* rilevato tra le 18 UTC del 26/07 alle 06 UTC del 27/07/2022 è inferiore al numero di *stroke* misurati durante il medesimo intervallo.

Conclusioni

Il lavoro proposto ha voluto così offrire una panoramica sui principi fondamentali della *lightning detection*. Dopo un'introduzione teorica, incentrata sui meccanismi alla base della formazione

delle scariche elettriche e sulle loro caratteristiche elettromagnetiche, si sono illustrate le principali tecniche utilizzate per la geolocalizzazione delle fulminazioni attraverso reti di rilevamento al suolo. Infine, ci si è concentrati sulla rete LAMPINET dell'Aeronautica Militare per evidenziarne il potenziale operativo, sia nel *tracking* dei sistemi convettivi sia nell'analisi approfondita del dato di fulminazione. ■

© Riproduzione riservata



ENGLISH ABSTRACT

Lightning strikes can interfere with many aspects of everyday life, in the social and productive spheres. Their effects are well known and they can entail a real risk for human life, not only for the activities and material goods involved. Therefore it is a priority to identify and monitor promptly the electrical activity in the atmosphere. These pages offer an overview of the theme of lightning detection that, starting from a theoretical introduction on the genesis of lightning and techniques to detect them in convective systems, comes to illustrate, with a specific example, the capabilities and effectiveness of the Italian Air Force's lightning detection network called LAMPINET.

BIBLIOGRAFIA

"Practical Meteorology - An Algebra-based Survey of Atmospheric Science", Stull R.B., UBC EOAS, 2017;

"Lightning Detection Methods and Meteorological Applications", Cummins K.L., Murphy M.J., Tuel J.V., IV International Symposium on Military Meteorology, Hydro-Meteorological Support of Allied Forces and PFP Members Tasks Realization, 26th-28th September 2000, Malbork, Poland;

"Lightning Location System (LLS)", Diendorfer G., IX International Symposium on Lightning Protection, 26th-30th November 2007 - Foz do Iguaçu, Brazil;

"Vaisala Lightning Detection Network (LDN) Overview", Nardolillo C., Lampinet LDS Overview Training, 2015;

"Lightning Detection Methodology: Overview", Nag A., Italian Air Force Lightning Workshop, 2014;

"LAMPINET - Lightning Detection in Italy, Lightning: Principles, Instruments and Applications" pp. 141-159, Biron D., Springer Dordrecht, 2009;

http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring13/atmo589/lecture_notes/apr18/apr18.html

<https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/lightning/types/>

<https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>



LA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MAR MEDITERRANEO

PARTE II

**Analisi e possibili effetti sullo sviluppo delle
celle temporalesche**

di Adriana Marcucci, Fabrizio Ciciulla e Valentina Rosati

Nello studio delle complesse interazioni oceano-atmosfera, l'analisi correlata del comportamento - e l'eventuale trend climatologico - della temperatura superficiale del Mar Mediterraneo con l'attività temporalesca osservata, risulta essere un efficace strumento di indagine; essa consente infatti di valutare se il contrasto termico tra superficie marina e aria sovrastante sia un fattore significativo nel favorire l'insorgere di condizioni d'instabilità atmosferica. L'articolo, in due parti, ha dapprima descritto gli esiti preliminari di tale studio analitico, basato sui dati di reanalisi ERA5 dell'ECMWF e della rete per la rilevazione delle fulminazioni LAMPINET dell'Aeronautica Militare e, in questa seconda parte, si conclude con la disamina di specifici "case studies" relativi ad eventi temporaleschi intensi, relazionabili alle anomalie stagionali di SST (Sea Surface Temperature).

In questa seconda parte dell'indagine sulle possibili interazioni oceano-atmosfera nell'insorgenza di aree di instabilità atmosferica e nello sviluppo di strutture temporalesche, saranno analizzati alcuni casi-studio relativi ad eventi temporaleschi intensi, posti in relazione alle anomalie stagionali riscontrate della temperatura superficiale del Mar Mediterraneo - detto anche SST (*Sea Surface Temperature*) - e all'andamento pluridecennale di questo parametro.

Come si ricorderà, lo studio si avvale dei dati del modello di reanalisi ERA5 dell'ECMWF, il Centro Eu-

ropeo per le previsioni meteorologiche a media scadenza, e dei dati della rete per la rilevazione delle fulminazioni LAMPINET dell'Aeronautica Militare.

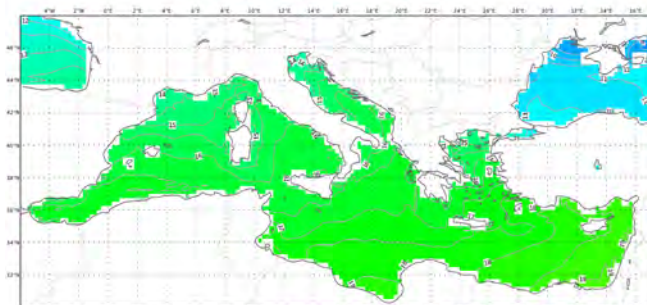
SST del Mediterraneo sotto il profilo climatologico

Prima di addentrarci nel tema della relazione tra instabilità atmosferica e temperatura del mare appare opportuno iniziare questa seconda parte dell'articolo fornendo lo scenario climatologico del comportamento, negli ultimi decenni, della grandezza fisica SST riferita al Mar Mediterraneo; tale *outlook* sarà incentrato, stavolta, sulle medie di lungo periodo, in-

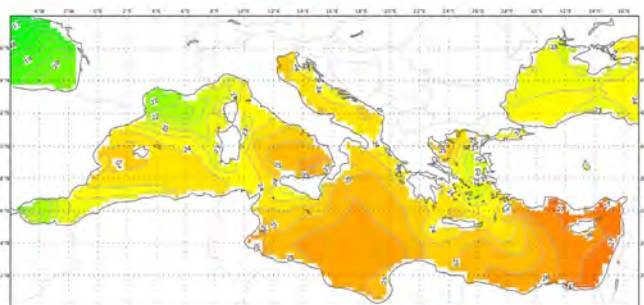
formazione complementare a quella fornita nella prima parte dell'articolo, in cui erano state pubblicate elaborazioni relative al *trend* multi-decadele della stessa grandezza.

Le mappe che seguiranno (realizzate mediante una post-elaborazione dei dati di ERA5, modello di reanalisi di ECMWF/*Copernicus*) consentono di avere un'idea quantitativa dei seguenti parametri: - dei valori medi e dei *pattern* stagionali della SST dell'ultimo trentennio valutato, 1991-2020 (fig. in basso); - delle sue differenze rispetto al trentennio 1961-1990 (fig. alla pag. successiva), che l'Organizzazione Meteorologica Mondiale assume come

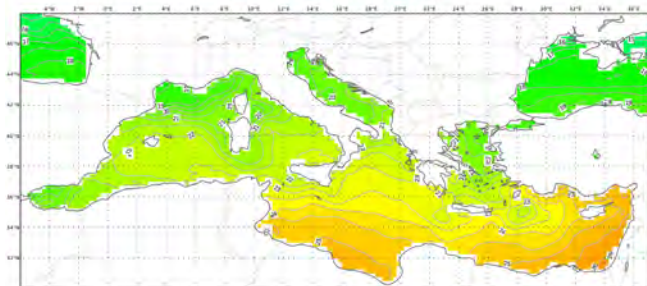
Mean Sea Surface Temperature - Spring Season (degrees Celsius)
ECMWF Analysis Dataset
Period = 1991-2020 - Season = MAM



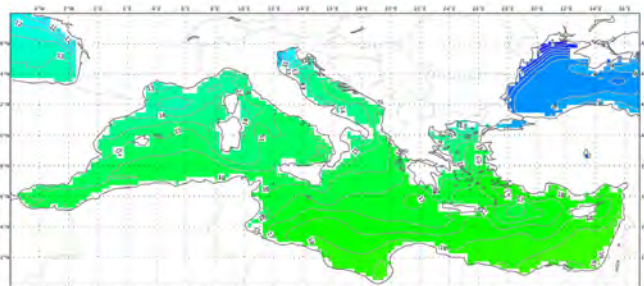
Mean Sea Surface Temperature - Summer Season (degrees Celsius)
ECMWF Analysis Dataset
Period = 1991-2020 - Season = JJA

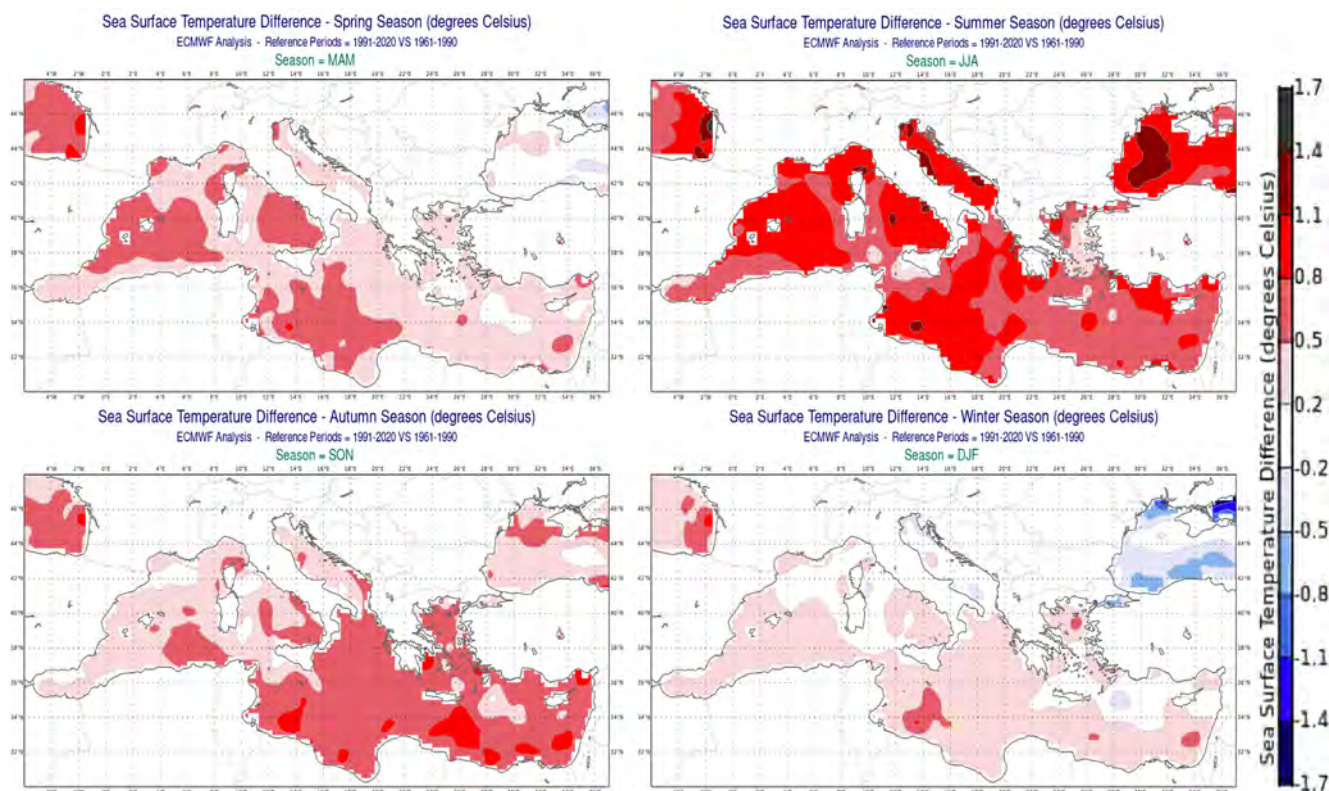


Mean Sea Surface Temperature - Autumn Season (degrees Celsius)
ECMWF Analysis Dataset
Period = 1991-2020 - Season = SON



Mean Sea Surface Temperature - Winter Season (degrees Celsius)
ECMWF Analysis Dataset
Period = 1991-2020 - Season = DJF





standard temporale di riferimento per analisi e valutazione del *Climate Change* (CC); - delle anomalie stagionali del 2022 (ovvero l'ultimo anno completo della serie storica) rispetto al riferimento standard 1961-1990 (fig. in alto alla pag. successiva).

In particolare le mappe che mostrano la differenza tra medie trentennali permettono di individuare agevolmente le stagioni e le aree geografiche in cui più marcato si è manifestato l'effetto del CC, oltre a quantificarlo in maniera alquanto dettagliata.

Temporalmente a supercella

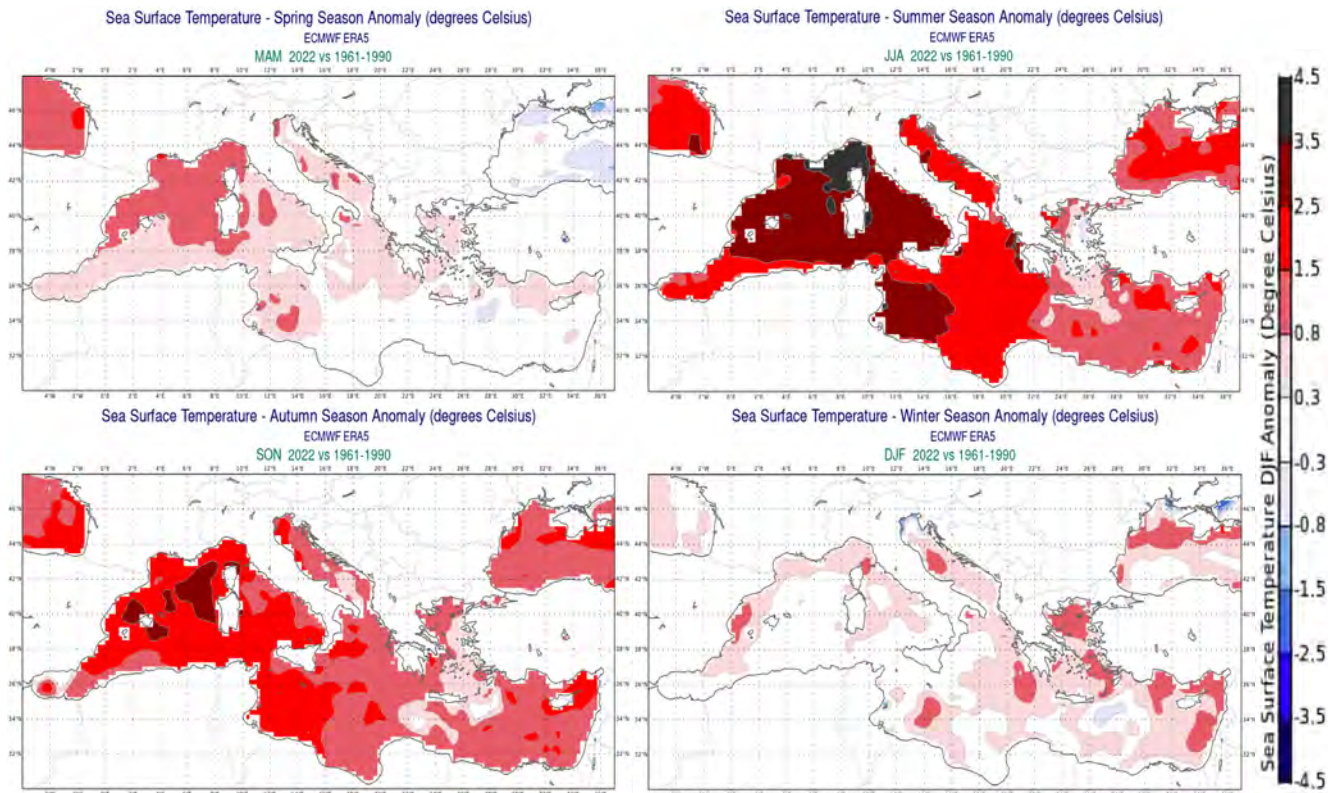
Riprendiamo adesso a parlare di instabilità atmosferica e di

formazioni nuvolose convettive che possono dare origine a precipitazioni temporalesche, anche di forte intensità. Si è già accennato al fatto che gli oceani, i quali per varie ragioni si comportano come un serbatoio di energia, contribuiscono al riscaldamento della colonna d'aria sovrastante e all'innalzamento del suo contenuto di umidità. Talvolta accadono eventi in cui la convezione profonda, alimentata dagli intensi flussi di calore e umidità provenienti dal mare e dal grande *surplus* di energia in esso contenuto, può dare origine a strutture imponenti - i temporali a supercella - e a fenomeni tra i più violenti tra quelli di natura meteorologica quali i tornado, piuttosto rari in Italia e sicura-

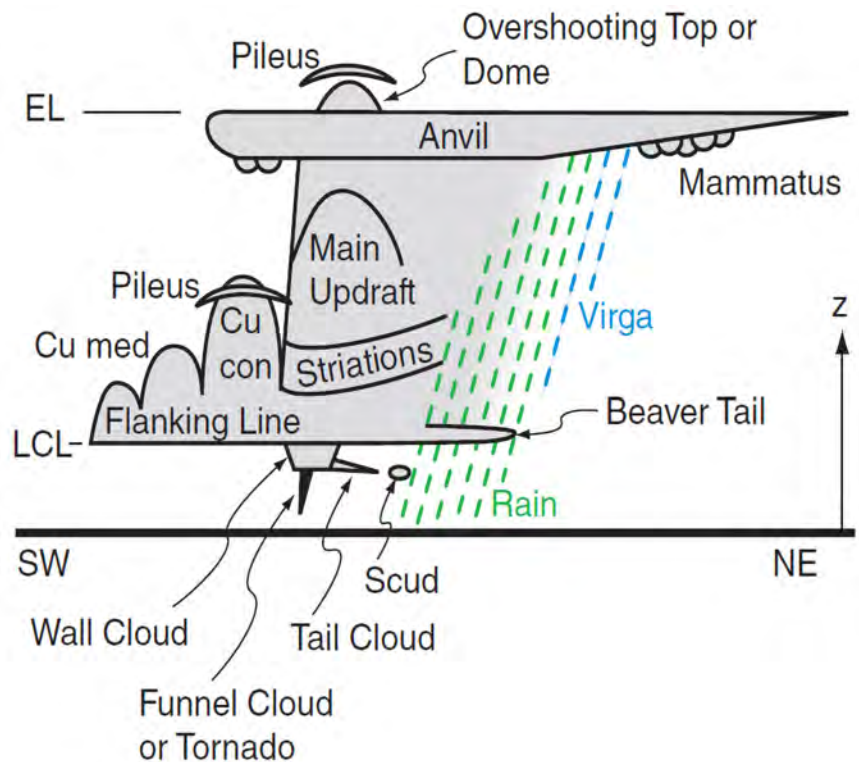
mente un utile termometro per monitorare le modalità di rilascio dell'energia del sistema terra-atmosfera viene rilasciata, nonché delle eventuali correlazioni con il cambiamento climatico.

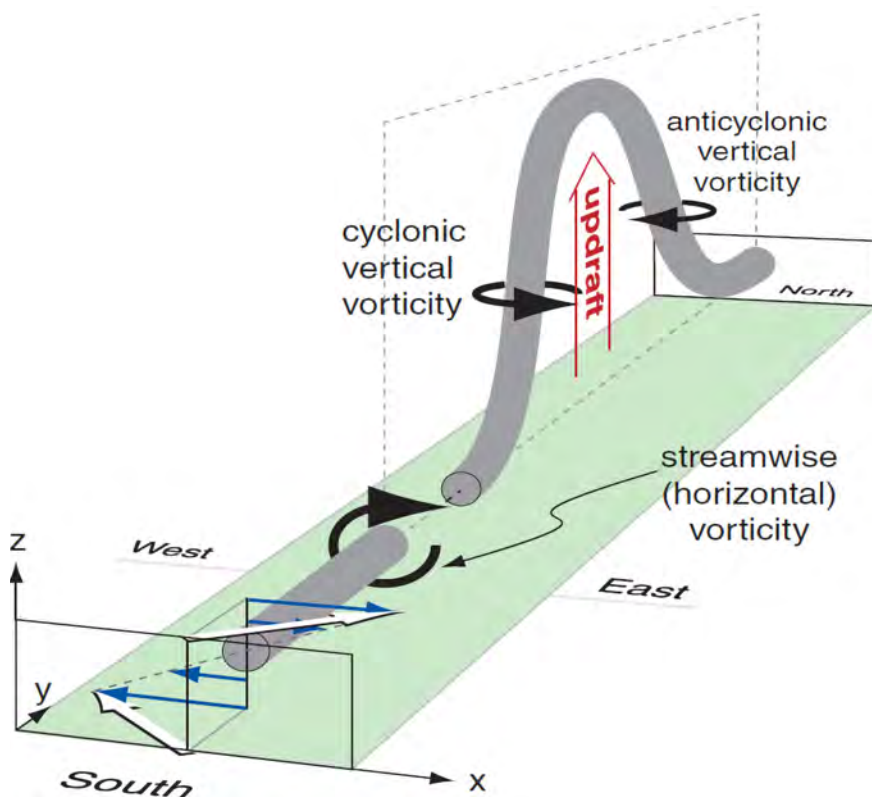
Vale la pena, dunque, di soffermare la nostra attenzione sulla descrizione di questa tipologia di struttura e di fenomeni, per poi passare all'analisi di alcuni casi concreti che hanno interessato la nostra penisola nel recente passato.

Una supercella consiste in una nube temporalesca, particolarmente pericolosa, caratterizzata da un *updraft* rotante, cioè una corrente ascensionale calda che ruota all'interno del sistema (nel nostro emisfero in senso antiorario). Al verificarsi di particolari



condizioni termodinamiche, infatti, l'*updraft* può assumere un moto rotatorio che, andando a sovrapporsi al moto ascensionale convettivo, genera un mesociclone, alla cui estremità inferiore normalmente si forma una minacciosa *wall cloud* (o cosiddetto “muro di nubi”), posta ad un livello altimetrico inferiore rispetto alla base originaria del cumulonembo (CB); la *wall cloud* tipicamente precede l'arrivo dei tornado, ossia dei violenti vortici d'aria ascendente, a scala locale, che si estendono dalla base della nube fino al suolo. Quando il cumulonembo assume tali connotazioni si parla, in termini tecnici, di supercella (fig. a fianco) in quanto, sebbene la sua struttura abbia le dimensioni





di un temporale a multicella, le precipitazioni, i moti delle masse d'aria e le caratteristiche morfologiche interne sono modulate da un'unica coppia di correnti *updraft-downdraft* (ascendente e discendente), la prima delle quali è dotata di rotazione. A motivo di ciò, la corrente ascendente principale del temporale a supercella a volte mostra al suo esterno striature di nuvole curve ed elicoidali (scanalature o creste) simili alla filettatura di una vite. La supercella è un sistema autoalimentato, in quanto la rotazione favorisce la convezione e viceversa; il mesociclone è sostenuto da una caduta di pressione, dovuta al flusso di moti ascendenti all'interno della struttura, che ne aumenta la velocità di rotazione.

Le supercelle hanno un ciclo di vita della durata media di diverse ore, un'estensione spaziale orizzontale che può raggiungere dimensioni fino a 20 km e la più alta probabilità, tra tutte le nubi di natura convettiva, di generare trombe d'aria o tornado. Le condizioni atmosferiche favorevoli allo sviluppo di una supercella possiamo riassumerle, schematicamente, come segue:

- un forte gradiente termico tra una massa d'aria fredda in quota e una massa caldo-umida, meno densa, nei bassi strati; il contrasto tra le masse d'aria è all'origine dell'elevata instabilità atmosferica ed è solitamente demarcato anche dalla rotazione dei venti con la quota, dovuta al cambio di direzione, lungo la

Nelle pagg. precedenti, in apertura, un rovescio temporalesco sul Golfo di Gaeta (foto di Marcello De Meo), a largo dell'Isola di Ventotene.

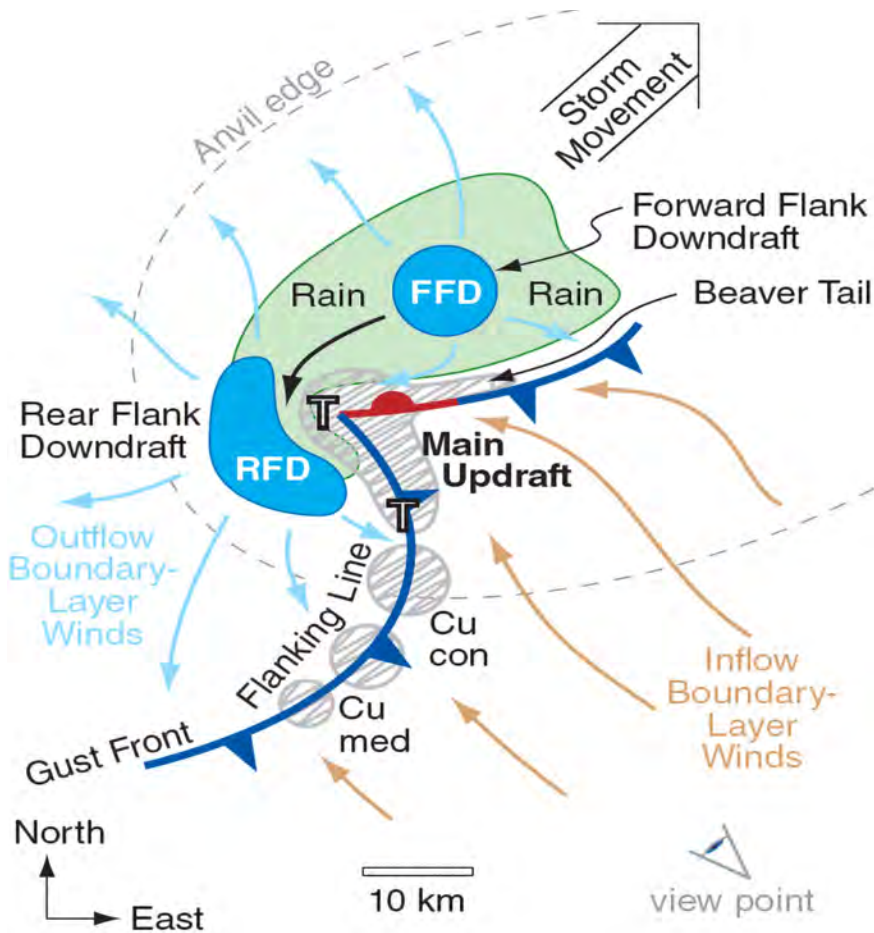
A seguire, la Media climatologica 1991-2020 della SST stagionale sul Mediterraneo e la Differenza tra le medie climatologiche della SST stagionali del medesimo periodo, rispetto al trentennio 1961-1990.

Nella pag. precedente, in alto, l'Anomalia stagionale della SST del 2022 rispetto alla media climatologica 1961-1990 e, in basso, una sezione verticale della struttura di una supercella temporalesca. In questa pagina, lo schema di un flusso di vorticità orizzontale (in grigio), dovuto ad uno shear verticale del vento (freccie bianche) che, deformato da una forte corrente ascendente convettiva (*updraft*), porta allo sviluppo di due mesocicloni controrotanti, con opposti contributi di vorticità verticale.

verticale, del flusso di provenienza;

- una corrente a getto nei bassi strati (LLJ, *Low Level Jet*) che favorisca la ciclogenese;
- uno *shear* verticale del vento che, per effetto dell'intenso *updraft*, contribuisca ad alimentare il moto rotazionale intorno al flusso di aria ascendente (fig. in alto).

A differenza delle normali celle, le correnti discendenti non divergono verso l'esterno come *outflow*, ma vengono richiamate dal mesociclone all'interno della cella stessa; perciò l'aria richiamata dall'*updraft* proviene sia dal lato caldo (*inflow*) sia da quello freddo (*outflow*): ne consegue che l'aria più fresca, risucchiata dall'*updraft*, condenserà ad una



quota inferiore rispetto alla base originaria del CB, dando origine al cosiddetto *lowering*. La *wall cloud* consiste, infatti, in un vistoso e persistente *lowering*; questo si genera in funzione dell'umidità dell'aria presente nei bassi strati, è individuabile mediante il classico "scalino", può raggiungere un diametro di alcuni chilometri e si forma, in genere, nel settore sud-occidentale della supercella. La corrente di *updraft* della supercella difficilmente interferisce con quella di *downdraft*, poiché inclinata rispetto alla verticale; questa caratteristica comporta una più lunga durata

del sistema rispetto ai normali temporali a cella singola. Gli elementi caratteristici di una supercella, rappresentati schematicamente in precedenza secondo una sezione verticale, tendono a strutturarsi, in sezione orizzontale, secondo lo schema descritto nelle figure in alto e alla pag. successiva:

a. la *flanking line*, che consiste in una fascia di nubi cumuliformi che vanno dal *Cumulus mediocris* (Cu med), di media-grandezza e più lontano dal nucleo della cella, al *Cumulus congestus* (Cu con), detto anche cumulo torreggiante (TCu), più vicino alla corrente

ascensionale principale;

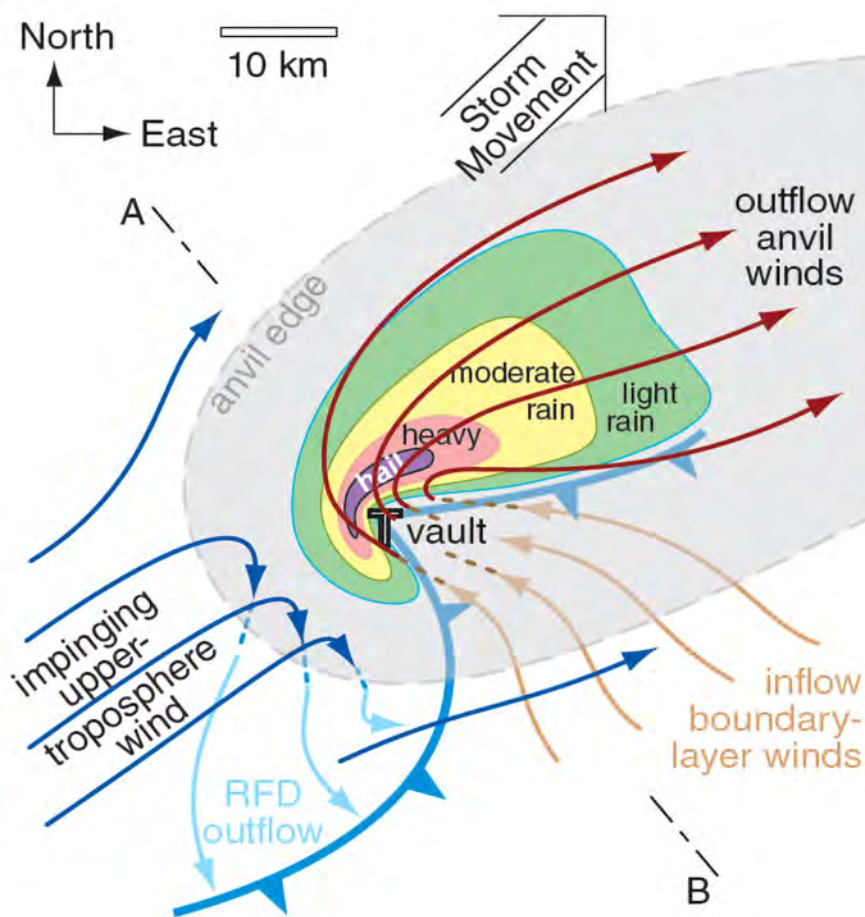
b. il *forward flank downdraft* (FFD), che è la regione del *downdraft* dove sono presenti le precipitazioni e le forti raffiche di vento, dovute proprio alla discesa dell'aria fredda verso il suolo;

c. il *rear flank downdraft* (RFD), ovvero la regione in cui aria più secca scende verso il suolo dietro al mesociclone, si scalda e, risalendo, si avvolge a spirale attorno alla corrente di *updraft*; tale zona è solitamente a ridotta copertura nuvolosa.

Una caratteristica della supercella è quella di contenere un ciclone alla mesoscala, struttura in cui è possibile ben distinguere:

1. uno pseudo-fronte caldo (*pseudo warm front*), consistente nella linea di separazione tra l'*inflow* (l'area dove la supercella richiama aria dall'ambiente) e il FFD;
2. uno pseudo-fronte freddo (*pseudo cold front*), consistente nella linea di separazione tra la RFD e l'*inflow* e che demarca l'avanzamento dell'*outflow* verso l'*inflow*.

I tornado si formano solitamente tra la RFD e la FFD, nelle zone indicate in figura con una "T", che è anche il settore in cui affluisce la maggior parte dell'*inflow*. Per stimare l'intensità dei tornado si utilizza la classificazione riferita alla scala "Enhanced Fujita" (EF), i cui livelli si basano sull'entità dei danni causati (da EF1 per i danni minori ad EF5 per i danni catastrofici). A differenza, infatti, della scala Saffir-Simpson (SSHS), riferita



Nella pag. precedente, una sezione orizzontale della struttura di una supercella; le regioni di updraft sono tratteggiate in grigio, le zone di downdraft sono in blu, mentre le zone con precipitazioni sono in verde. In questa pagina, ancora una sezione orizzontale della struttura di una supercella; i venti a bassa quota sono indicati con frecce di colore chiaro, i venti ad alta quota con frecce più scure e l'aria ascendente/discendente con linee tratteggiate corte. In entrambe le figure la zona indicata con la "T" indica l'area dove è più alta la possibilità di formazione di un tornado o tromba d'aria.

all'intensità degli uragani, in cui l'elemento principale è l'intensità dei venti, in quella utilizzata per i tornado il vento è stimato solo a posteriori, in base all'entità del danno prodotto.

La scala EF, adottata a partire dal 2007, va a sostituire l'originale scala Fujita, a seguito di studi che hanno evidenziato come le velocità dei venti attribuiti ad ogni livello della vecchia scala fossero notevolmente sovrastimate; inoltre, la scala Fujita si riferiva ai danni che i tornado producevano quando si abbatterono sulle tipiche case in legno che dominano le grandi pianure

americane; essa nasceva, quindi, in riferimento ad un contesto assai specifico, che la rendeva non facilmente generalizzabile.

Analisi di eventi estremi nel recente passato

In questa sezione verranno presentati alcuni casi di studio relativi ad eventi meteorologici severi, che hanno avuto anche un impatto in termini sia economici che di vite umane. L'anomalia positiva della SST (*Sea Surface Temperature*) emerge come un possibile fattore comune tra gli eventi in esame; tale condizione di fondo, come

abbiamo già anticipato, va però di volta in volta accompagnata da almeno un meccanismo che aiuti ad innescare e sostenere la convezione profonda, la quale può, in alcuni casi, sfociare nello sviluppo di supercelle tornadiche.

Una prima analisi dei dati, in corrispondenza degli eventi temporaleschi a cui adesso faremo riferimento, conferma il simultaneo verificarsi di alcune condizioni che hanno consentito il trasferimento di energia dal mare all'atmosfera, con generazione di convezione profonda. Ovviamente, sarà necessario

condurre indagini più approfondite e sistematiche, estese auspicabilmente ad un campione più ampio di eventi, per ricavare informazioni utili anche da un punto di vista operativo.

1. Taranto, 28 Novembre 2012

La mattina del 28 Novembre 2012 un sistema convettivo poco a largo del golfo di Taranto ha generato una tromba marina che, come riportato da molte testimonianze, si è poi abbattuta sulla terraferma nei pressi dello stabilimento siderurgico dell'Ilva, diventando un vero e proprio tornado: il fenomeno cagionava ingentissimi danni, riuscendo addirittura ad accartocciare una ciminiera, alta quasi 50 metri, e due gru sottostanti, mentre molti macchinari venivano sollevati da terra e scaraventati in mare. Lungo la sua traiettoria il tornado ha sradicato decine di alberi e divelto tetti di abitazioni, fino a quando non è giunto alla comple-

ta dissipazione della sua energia sulla terraferma, dopo aver percorso circa 10 km.

L'analisi della situazione meteorologica del 28 Novembre 2012 sulla zona di Taranto ha messo in evidenza i seguenti elementi:

- flusso di aria calda nei bassi strati, in contrasto con una massa d'aria più fredda e secca presente alla media troposfera (fig. in basso); tale configurazione accentua il gradiente termico verticale e le condizioni d'instabilità atmosferica;
- venti superiori ai 40 kts già alla quota di 950 hPa; la rotazione dei venti con la quota è messa in evidenza dalla ricostruzione del profilo verticale (tabella in alto alla pag. successiva), ricavato dai dati del modello di reanalisi ERA5, interpolati in corrispondenza della località dell'evento;
- anomalia stagionale positiva della SST nel Mar Ionio, con valori intorno a 1,75 °C (fig. alla pag. successiva).

Il contrasto termo-igrometrico tra le masse d'aria determina una condizione di potenziale instabilità, mentre l'elevata SST determina un incremento del contenuto di umidità ed il riscaldamento dei bassi strati atmosferici, come confermato dai valori di T e Td, nella ricostruzione del profilo verticale dai dati di reanalisi in tabella.

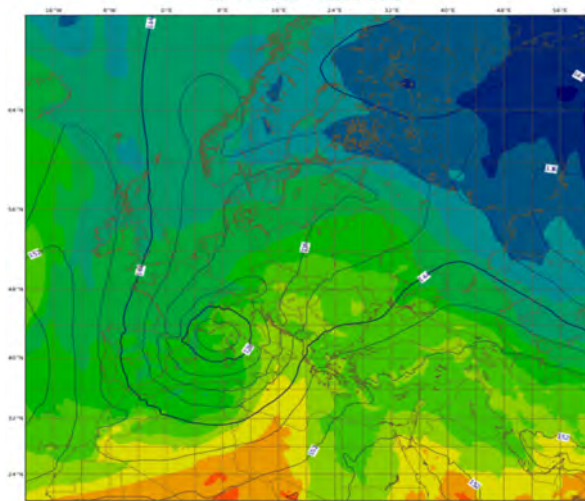
Infine, l'orografia dei monti della Sila forza un sollevamento meccanico dei flussi orizzontali, favorendo condizioni per l'innescio della convezione, con il *wind shear* verticale del vento che agevola la rotazione della supercella. In tale contesto si è sviluppato un sistema convettivo che ha dato origine ad un tornado di classe 3 della scala *Enhanced Fujita*, con raffiche di vento registrate fino a 200 km/h, in grado di provocare una vittima e danni stimati intorno ai 60 milioni di Euro.

L'articolo "*Effect of a positive Sea Surface Temperature anomaly on*

850 hPa Geopotential and Temperature

ECMWF Re-Analysis ERA5

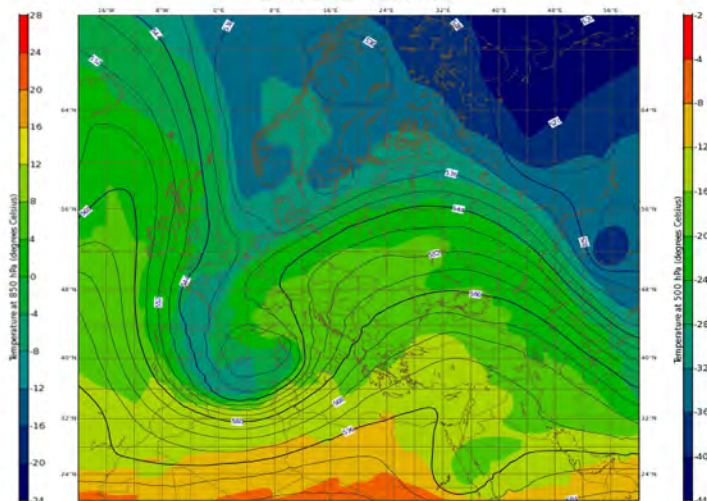
28-11-2012 - 12.00 UTC



500 hPa Geopotential and Temperature

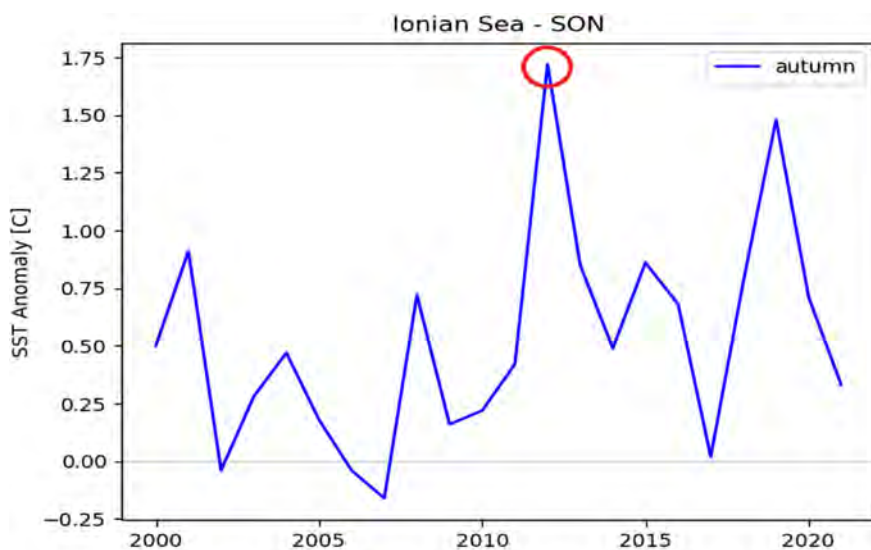
ECMWF Re-Analysis ERA5

28-11-2012 - 12.00 UTC



Press. Level [hPa]	T [°C]	Td [°C]	Wind dir	Wind speed [kt]
975.0	16.2	15.3	165.0	32
950.0	15.0	14.0	170.0	43
925.0	13.8	12.7	175.0	53
875.0	11.6	8.3	180.0	50
800.0	6.8	2.2	195.0	50
750.0	3.2	-1.6	200.0	51
700.0	-0.5	-5.4	205.0	53
600.0	-8.8	-17.4	205.0	55
500.0	-17.0	-30.5	205.0	57
400.0	-28.0	-46.5	215.0	60
300.0	-44.6	-60.4	230.0	66

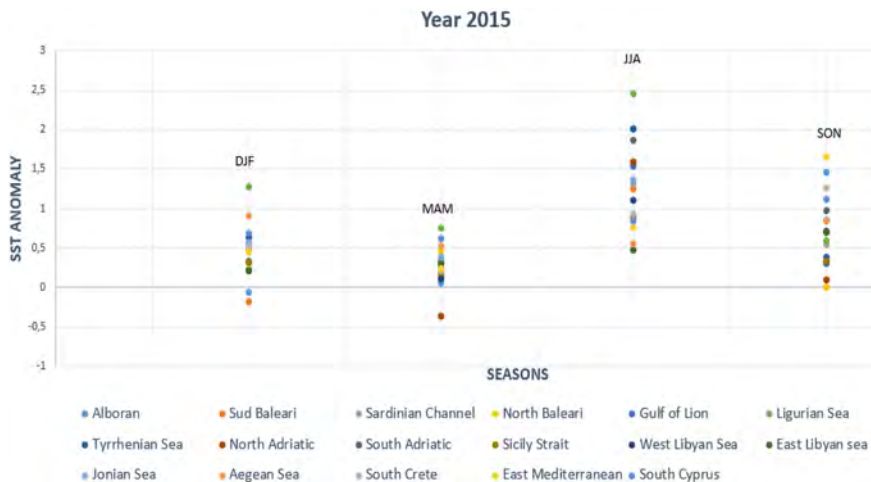
Nella pag. precedente, le mappe di Altezza geopotenziale e Temperatura a 850 hPa e 500 hPa del 28/11/2012 (dati di reanalisi ERA5). In questa pagina, la tabella riepilogativa dei valori di Temperatura, Temperatura di rugiada e Vento in quota (velocità e direzione) per le 12.00 UTC del 28/11/2012 sull'area dell'evento (rielaborazione ERA5) e il grafico di anomalia della SST stagionale (Settembre-Ottobre-Novembre) sul Mar Ionio, con in evidenza lo scostamento rilevato nel 2012.



a Mediterranean tornadic super-cell” di Miglietta *et al.* analizza come un’anomalia calda di SST, sia essa dovuta ad una fluttuazione del campo locale o indotta dal riscaldamento associato ad un cambiamento climatico più generale, può favorire la formazione di supercelle nel Mediterraneo. In particolare, gli autori hanno preso in considerazione lo stesso evento del Novembre 2012, studiandolo, anche dal punto di vista quantitativo e con l’ausilio delle simulazioni numeriche, in modo da poterne valutare gli

effetti al variare della SST di ± 1 °C e lasciando invariati tutti gli altri parametri termodinamici riferiti al giorno dell’evento. Nella fattispecie, sono state analizzate le variazioni dell’*updraft helicity* (UH), parametro diagnostico che permette di valutare la rotazione dell’eventuale supercella, calcolato tenendo in considerazione la vorticità verticale e la velocità di *updraft* tra i 2 ed i 5 km di quota nell’area in cui si è sviluppata la supercella. I risultati delle simulazioni hanno mostrato come, nel caso in cui

la temperatura superficiale del mare fosse stata più fredda - e quindi nella media del periodo - il flusso di calore latente rilasciato dal mare ai primi strati di atmosfera non sarebbe stato sufficiente per l’innesco della supercella. Nel caso, invece, in cui l’anomalia della *Sea Surface Temperature* fosse stata ancora superiore a quella rilevata, l’aumento dell’intensità della relativa supercella collegata sarebbe risultato altamente non lineare (e di conseguenza anche quello del tornado ad essa associato).



In questa pagina, in alto, l'anomalia di SST stagionale osservata nel 2015: è evidente il picco rilevato in estate per ciascun bacino del Mar Mediterraneo. In basso, le mappe di Altezza geopotenziale e Temperatura a 850 hPa e 500 hPa del 08/07/2015. Nella pag. successiva, in alto, la corrispondente tabella coi valori di Temperatura, Temperatura di rugiada e direzione/velocità del Vento in quota; in basso, la mappa mostra i tre flussi di masse d'aria con caratteristiche diverse che, convergenti nei bassi strati sulla zona di Dolo, hanno originato l'evento.

2. Dolo, 8 Luglio 2015

Nel pomeriggio dell'8 luglio del 2015 è stata osservata sulla provincia di Venezia una supercella che ha determinato notevoli impatti meteo su diversi comuni della Riviera del Brenta: un tornado, con raffiche fino a 300 km/h, ha investito il territorio e i centri abitati di Dolo, Mira e Sambruson; sono state danneggiate moltissime abitazioni, molte auto sono state sollevate

e scaraventate nelle vicinanze, i tralicci dell'alta tensione sono stati piegati, con interruzione dell'energia elettrica, ed una villa settecentesca è stata letteralmente rasa al suolo.

La SST dell'estate 2015 è stata molto elevata in tutto il Mar Mediterraneo (fig. in alto), con punte di anomalia rispetto alle medie stagionali del trentennio 1981-2010 fino a +2,5 °C. In particolare, nell'Adriatico setten-

trionale è stata osservata un'anomalia di circa +2 °C, indice di una grande quantità di energia immagazzinata dal mare.

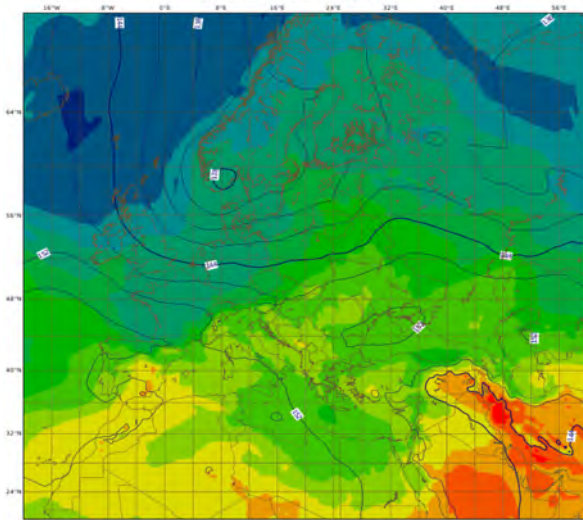
L'analisi della situazione meteorologica dell'8 luglio 2015 sull'area in questione ha messo in evidenza i seguenti elementi:

- una saccatura proveniente dal Nord Europa determina avvezione di aria fredda (-16 °C a 500 hPa) su una massa d'aria caldo-umida presente nei bassi strati e

850 hPa Geopotential and Temperature

ECMWF Re-Analysis ERA5

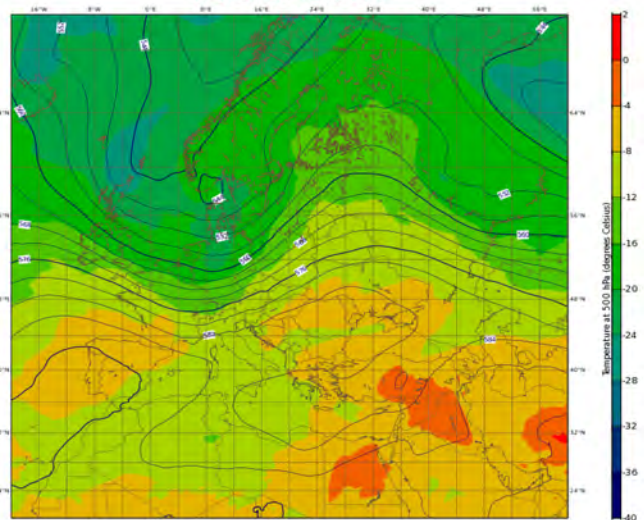
08-07-2015 - 12.00 UTC



500 hPa Geopotential and Temperature

ECMWF Re-Analysis ERA5

08-07-2015 - 12.00 UTC



Press. Level [hPa]	T [°C]	Td [°C]	Wind dir	Wind speed [kt]
925.0	24.7	18.7	175.0	4
900.0	22.4	17.2	195.0	7
850.0	17.7	14.1	210.0	12
825.0	16.2	12.5	215.0	15
800.0	14.8	10.9	220.0	18
775.0	13.3	9.3	225.0	21
750.0	11.8	7.7	230.0	23
725.0	10.3	6.1	230.0	27
675.0	6.5	2.2	235.0	31
650.0	4.2	-0.2	235.0	33
625.0	1.9	-2.6	240.0	35
600.0	-0.4	-4.9	240.0	36
500.0	-9.6	-14.3	245.0	44
400.0	-21.3	-21.9	250.0	39

che risente dell'influenza di un mare già piuttosto caldo (fig. in basso alla pag. precedente);

- uno *wind shear* verticale nei pressi della zona di formazione della supercella, come si evince dai dati del profilo ricostruito con l'aiuto della reanalisi (tabella in alto), con i venti degli strati atmosferici inferiori caratterizzati da una direzione di provenienza sud-orientale e in progressiva rotazione da sud-ovest in quota;

- convergenza al suolo di tre masse d'aria di caratteristiche molto diverse (fig. in basso): un flusso caldo e secco da sud, uno caldo e umido dal Mar Adriatico e uno più freddo proveniente dalle Alpi.

In tale contesto si è sviluppato un sistema di convezione profonda, che ha innescato uno degli eventi meteorologici più distruttivi mai registrati in Italia: un tornado classificato come EF4 che

ha provocato, oltre agli ingenti danni materiali, un morto, circa 100 feriti e costretto all'evacuazione di quasi 200 persone.

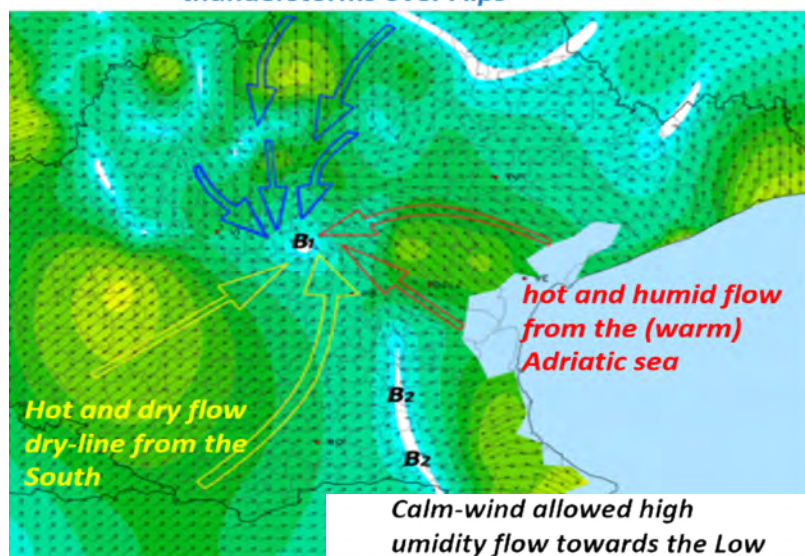
3. Terracina, 5 Novembre 2017

Il 5 Novembre 2017 sul basso Lazio, ad ovest di Terracina (LT) e ai piedi del Monte Circeo, si è formato un tornado, classificato EF3, che durante il suo spostamento con direttrice nord-orientale ha provocato danni ingenti lungo un tratto di circa 10 km, nel corso del quale è andato via via dissipando tutta la propria energia, fino ad esaurirsi ai piedi dei Monti Ausoni.

L'analisi della situazione meteorologica ha messo in evidenza i seguenti elementi:

- irruzione di aria fredda in quota associata ad una profonda saccatura sul settore tirrenico centrale a 500 hPa, con aria calda e umida presente nei bassi strati, come evidente anche dai campi di geopotenziale e temperatura in (fig. in alto alla pag. successiva): a 850 hPa i valori di temperatura raggiungono infatti i 10 °C lungo le coste dell'Italia occidentale, con ordini di grandezza tipici del mese di Settembre. Lo scontro tra queste due masse d'aria, con temperature e contenuto di vapore acqueo alquanto differenti, ha sicuramente contribuito ad incrementare il grado di instabilità, dando così origine ai primi sistemi temporaleschi in concomitanza con la formazione del minimo di bassa pressione nei pressi della Corsica. I temporali si sono quindi organizzati

Cold and humid outflow from thunderstorms over Alps

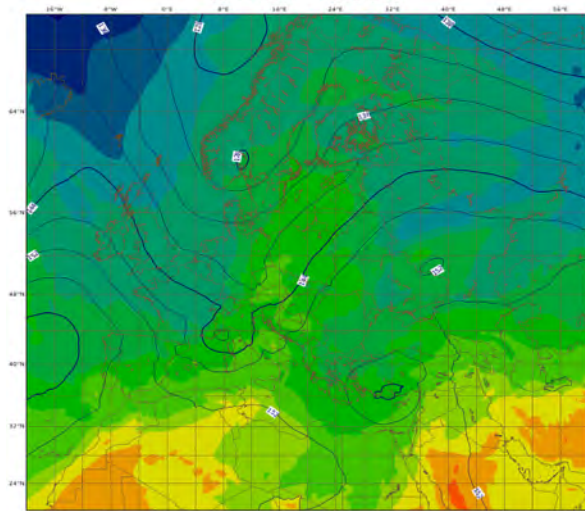


Calm-wind allowed high humidity flow towards the Low

850 hPa Geopotential and Temperature

ECMWF Re-Analysis ERA5

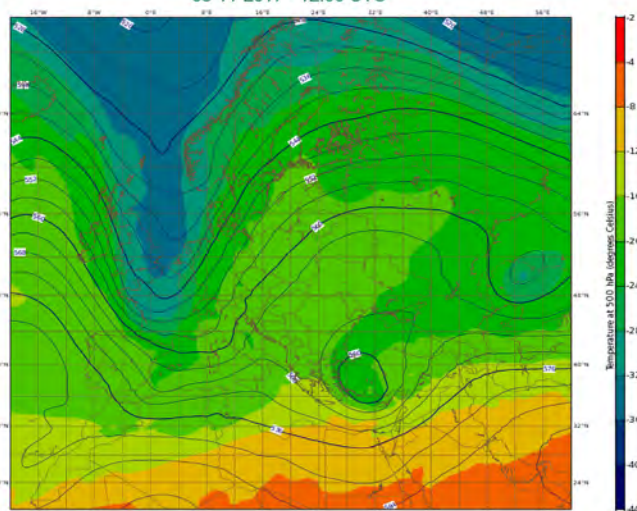
05-11-2017 - 12.00 UTC



500 hPa Geopotential and Temperature

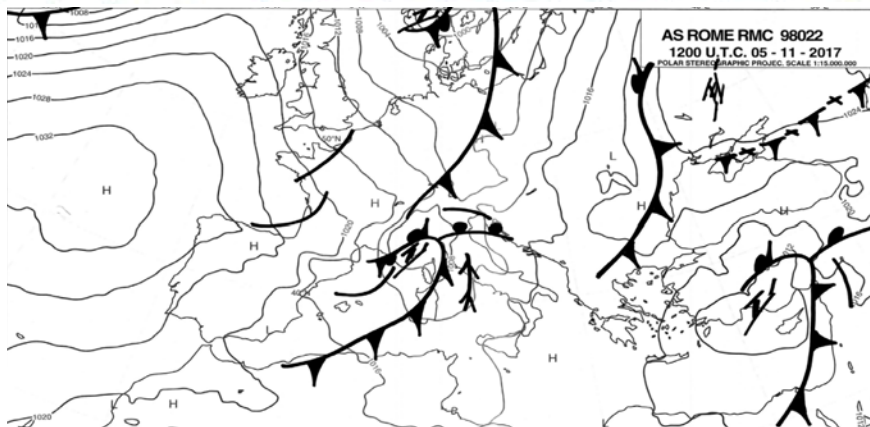
ECMWF Re-Analysis ERA5

05-11-2017 - 12.00 UTC



lungo una linea in rapido movimento verso sud-est, come identificato nell'analisi sinottica al suolo (fig. a fianco);

- velocità sostenuta del vento (circa 30 kt) negli strati bassi della troposfera. La direzione inoltre ruota progressivamente da sud ad ovest-sud ovest salendo con la quota, come mostrano sia l'aerosondaggio osservato sulla verticale di Pratica di Mare, sia la ricostruzione dai dati di reanalisi sulla stessa area (fig. in alto e tabella al centro alla pag. successiva). Tali elementi delineano condizioni di *wind shear* verticale, che sappiamo essere fattore importante per l'innescio della rotazione del mesociclone;
- massa d'aria con altissimo contenuto di umidità presente nello strato tra i 1400 e i 2500 metri, (ben evidente dal sondaggio), sospinta da correnti dai quadranti meridionali ed associata ad un sistema nuvoloso.

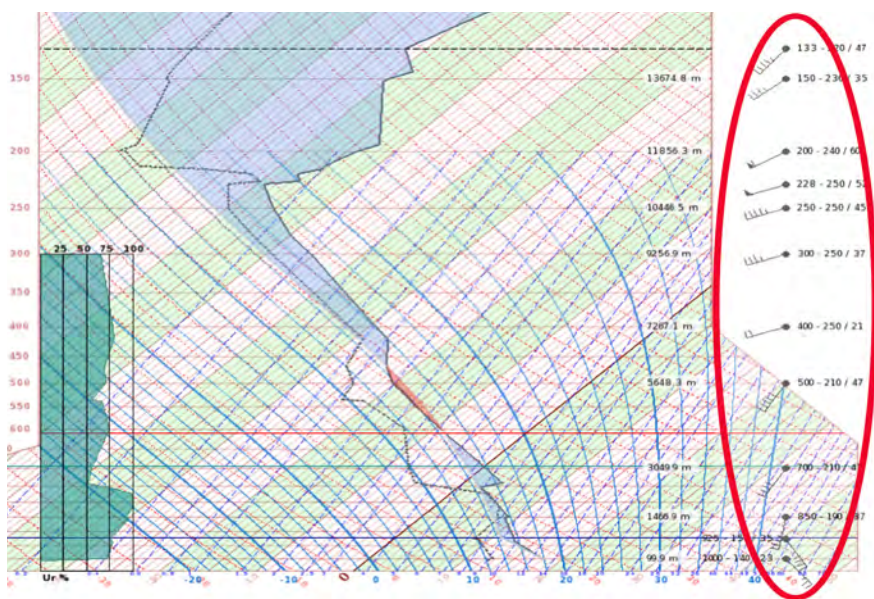


Un altro aspetto da mettere in evidenza è che nei mesi che hanno preceduto l'evento, il Mar Tirreno ha accumulato molta energia: è infatti netta un'anomalia positiva di SST di 2-4 °C, proprio nei mesi estivi dello stesso anno (fig. in basso alla pag. successiva).

Questa condizione, all'arrivo di una delle prime perturbazioni autunnali, ha certamente influito sul gradiente termo-igrometrico verticale e sul livello di instabilità atmosferica.

Conclusioni e prospettive future

La crescente quantità di energia disponibile in atmosfera e accumulata nelle masse oceaniche ha fatto sorgere l'interesse di analizzare il comportamento della SST del Mar Mediterraneo, delle sue anomalie stagionali e del suo *trend* pluridecennale; ciò al fine di valutare, anche con l'ausilio di specifici *case studies*, come le fluttuazioni di questa grandezza possano, in alcuni frangenti, essere messe in relazione con



Nella pag. precedente, le mappe di Altezza geopotenziale e Temperatura a 850 hPa e 500 hPa del 08/07/2015 e la corrispondente analisi della Pressione al suolo.

In questa pagina, in alto, Il profilo verticale dell'atmosfera riferito al radiosondaggio su Pratica di Mare osservato alle 12.00 UTC del 05/11/2017; in evidenza, nell'ellisse, il profilo verticale del vento.

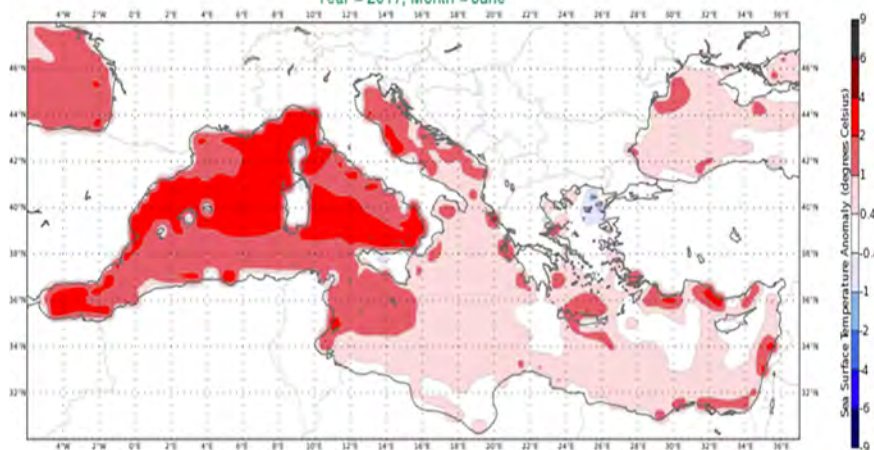
A seguire, la corrispondente tabella di riepilogo dei valori di Temperatura, Temperatura di rugiada e direzione/velocità del Vento in quota e, in basso, la mappa mensile della SST che evidenzia una anomalia positiva per il Mar Tirreno nel Giugno 2017 rispetto al trentennio 1981-2010. In chiusura, l'immagine di una supercella temporalesca sul mare.

Press. Level [hPa]	T [°C]	Td [°C]	Wind dir	Wind speed [kt]
975.0	15.7	11.4	135.0	19
950.0	13.8	10.6	135.0	21
925.0	11.8	9.6	140.0	22
900.0	10.6	8.7	165.0	21
875.0	9.5	7.8	185.0	23
850.0	8.4	6.8	200.0	28
800.0	5.7	1.8	205.0	31
725.0	1.6	-6.3	210.0	35
700.0	0.3	-9.3	215.0	37
600.0	-9.5	-16.2	215.0	39
500.0	-19.3	-23.7	215.0	41
300.0	-45.4	-45.8	250.0	39

Sea Surface Temperature Anomaly (degrees Celsius)

ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010

Year = 2017, Month = June



lo sviluppo di celle convettive e sistemi temporaleschi. Il tema è tanto interessante quanto complesso, a causa degli sfasamenti temporali e spaziali con cui possono manifestarsi gli effetti del rilascio dell'energia.

La severità degli eventi presi a riferimento in questo lavoro conferma e sottolinea l'importanza di condurre un'analisi approfondita, sistematica e quantitativa circa le relazioni tra la SST, le caratteristiche della circolazione atmosferica e delle masse

d'aria e gli eventi meteorologici estremi riconducibili ad intensi sistemi temporaleschi. Congiuntamente ai sistemi di monitoraggio atmosferico, incentrati su assetti di *remote sensing* (satelliti, radar, rete di rilevazione fulmini) e di previsione numerica (modelli non idrostatici ad alta risoluzione), il *know-how* acquisito mediante un tale processo di analisi potrebbe condurre ad un miglioramento delle tecniche di correlazione fenomenologica e alla messa a punto di procedure operative di *nowcasting* ed *early warning* per i sistemi meteorologici caratte-

rizzati da convezione profonda, a beneficio dei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo. L'analisi e la verifica sistematica dei campi previsionali di modelli non idrostatici ad alta risoluzione potrebbe, peraltro, condurre ad un perfezionamento degli schemi fisici di simulazione dei processi che avvengono al livello di interfaccia atmosfera-oceano e, quindi, ad un aumento della capacità predittiva di eventi di *deep-convection*. Infine, un approccio basato sul *reforecast* ad alta risoluzione - guidato dai *dataset* di reanalisi oggi disponibili e che in futuro

saranno sempre più risolti e rappresentativi - e sull'utilizzo di una vasta gamma di dati osservativi multi-piattaforma (*land, sea, upper-air, space*) raccolti su un lungo periodo (*big-data*), potrebbe gettare le basi per l'implementazione di sistemi statistici di correzione dell'errore prognostico, o semplicemente di interpretazione e utilizzo di segnali precursori, attraverso algoritmi di *machine learning*, in grado di auto-apprendere dagli eventi stessi i modi per meglio prevederli. ■

© Riproduzione riservata





ENGLISH ABSTRACT

The present work, in two parts, illustrates some preliminary results of a study that took into account the behavior of the Sea Surface Temperature (SST), in order to evaluate whether this variable can favor the onset of atmospheric instability conditions.

As a part of the complex mechanisms of ocean-atmosphere interaction, the thermal contrast between the sea surface and the air above can lead, in certain circumstances, to develop locally big cumulonimbus clouds and very heavy storms.

In the second - and last - part of the article shows the Mediterranean Sea Surface Temperature behavior over the last few decades and describes how a "supercell" is vertically and horizontally structured. Some case studies, referred to intense storm and tornadic events of the recent past, occurred in Italy between 2012 and 2017, are then analyzed, also in their possible relation to seasonal positive anomalies of mean Mediterranean Sea Surface Temperature.

The full study uses data from ECMWF ERA5 Reanalysis and from the Italian Air Force network for lightning detection (LAMPINET).

BIBLIOGRAFIA

"The ERA5 Global Atmospheric Reanalysis at ECMWF as a comprehensive dataset for climate data homogenization, climate variability, trends and extremes" H. Hersbach et al., *Geophys. Research Abstracts Vol. 21*, 2019;

"Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns" F. Pastor, J.A. Valiente, J.L. Palau, *Pure Appl. Geophys.* 175: 4017-4029, 2018;

"Rising Mediterranean Sea Surface Temperatures Amplify Extreme Summer Precipitation in Central Europe" C. Volosciuk et al., *Sci. Rep.* 6, 32450; doi: 10.1038/srep32450, 2016;

"The ERA5 Atmospheric Reanalysis" H. Hersbach, *American Geophys. Union, Fall Meeting*, 2016;

"Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea" M. Shaltout, A. Omstedt, *Oceanologia*, 56 (3), 2014;

"A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database" P. Groenemeijer, T. Kühne, 2014;

"An updated climatology of tornadoes and waterspouts in Italy" M.M. Miglietta, I.T. Matsangouras, *Int J. Climatol.* 1-17, 2018;

"Il tornado di Pianiga, Dolo e Mira dell'8 luglio 2015" V. Abinanti et al.;

"Effect of a positive Sea Surface Temperature anomaly on a Mediterranean tornadic supercell" M.M. Miglietta et al., *Scientific Reports* 7, 2017;

"Observations: Atmosphere and surface" D.L. Hartmann et al., In: *"Climate change 2013: The physical science basis"* T.F. Stocker et al., *WGI Contribution to 5.th Assessment Report (AR5) of the UN-IPCC*, 2013;

"Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospheric Science" R. Stull, *Univ. of British Columbia*, 2017;

"Cloud Dynamics" R.A. Houze, *Academic Press*, 1993;

"Synthesis Report", 5.th Assessment Report (AR5) of the UN-IPCC, 2014;

"Rappresentazione delle caratteristiche spaziali di eventi temporaleschi di elevata intensità attraverso l'uso combinato di misure da pluviometro e da radar" I. Grandicelli, *Tesi di Laurea, Univ. di Bologna*, 2013/2014;

"Struttura nuvolosa del temporale" D. Santini, *Tesi di Laurea, Univ. di Bologna*, 2012/2013;

"Climate Change 2021 - The Physical Science Basis", WGI Contribution to 6.th Assessment Report (AR6) of the UN-IPCC, 2021;



I SISTEMI GNSS PER LA METEOROLOGIA E LO SPACE WEATHER

di Roberto Bove

La rifrazione atmosferica è un argomento di grande interesse nella geodesia satellitare, in quanto la rifrazione del segnale di navigazione in banda L di un sistema GNSS (Global Navigation Satellite Systems) si manifesta sotto forma di ritardo troposferico. L'analisi dei parametri chiave caratterizzanti i segnali GNSS fornisce inoltre, un utile strumento diagnostico per il monitoraggio delle tempeste geomagnetiche dovute agli effetti dello Space Weather.

I sistemi di navigazione satellitari basati sui sensori di posizionamento GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) sono la base per molteplici applicazioni in campo aeronautico, marino e terrestre. Oltre a fornire coordinate di precisione, i sistemi di geolocalizzazione vengono utilizzati per diversi scopi, sia militari che civili: dalla navigazione satellitare ai servizi mobili, dai sistemi per il controllo del territorio all'effettuazione di misure di precisione per rilievi topografici e cartografici. I due principali sistemi di navigazione satellitare attualmente disponibili sono il GPS (*Global Positioning System*) e il GLONASS (*Global Navigatsionnaja Sputnikovaja System*), gestiti rispettivamente

da USA e Russia, ai quali si aggiunge la costellazione di satelliti cinesi BeiDou. La costellazione del nuovo sistema di navigazione satellitare dell'Unione Europea, denominato GALILEO (fig. in questa pagina) e sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA), consisterà, a regime, di 30 satelliti (27 operativi e tre di riserva), orbitanti su 3 piani inclinati sull'equatore (MEO, *Medium Earth Orbit*, circolare) a 23.222 km quota. Sono stati fatti molti passi avanti dalla nascita del GPS; le prestazioni e i segnali di navigazione satellitare - che con GALILEO offriranno un'accuratezza di posizionamento dell'ordine di pochi centimetri - sono migliorati notevolmente, tanto da incoraggiare l'industria dell'*auto-*

motive e dei trasporti a sostenere cospicui investimenti per la crescita del settore, dando un nuovo impulso al comparto industriale europeo.

La maggiore precisione di tali sistemi, accompagnata ad elevati requisiti di sicurezza contro attacchi intenzionali, è necessaria per il controllo a distanza dei droni e per il trasporto di persone e merci. Altri benefici sono previsti nei settori finanziario e bancario, assicurativo, delle telecomunicazioni, dell'ingegneria civile, dell'agricoltura, dell'aiuto alle disabilità e altro.

Oltre ai citati campi di impiego vi sono anche alcune applicazioni scientifiche che traggono vantaggio dall'uso dei segnali GNSS.

In campo meteorologico,





ad esempio, i segnali a microonde diffusi dai satelliti GNSS sono influenzati da effetti nella ionosfera e nella troposfera durante il transito verso i sistemi di ricezione a terra. Sfruttando una fitta rete di ricevitori a terra, il ritardo nella trasmissione del segnale GNSS, può essere stimato come un sottoprodotto di elaborazione del segnale geodetico.

Nel campo dello *Space Weather*, l'attività solare, in termini di eruzioni solari e tempeste magnetiche, può influire sui sistemi GNSS (fig. in questa pagina), inducendo

le apparecchiature ad eseguire misure meno accurate, con un errore anche dell'ordine dei 10 metri. Conoscere quindi la natura del disturbo, sulla base di una tomografia 3D della ionosfera, ottenuta mediante misure indirette ricavate dai sensori GNSS, può essere di estrema utilità anche per i sistemi in dotazione all'Aeronautica Militare; basti pensare, ad esempio, all'utilizzo dei sistemi d'arma a pilotaggio remoto (APR). In campo meteorologico, il ritardo troposferico può essere sfruttato per il monitoraggio e la correzione dell'umidità

relativa, parametro utilizzato per l'implementazione dei modelli di previsione numerica in uso nel settore. Inoltre, l'utilizzo di sensori GNSS in meteorologia permetterebbe di realizzare una rete di ricevitori *low cost* per il miglioramento della qualità delle osservazioni.

Il 23 marzo 2019 l'Aeronautica Militare ha stipulato un accordo esecutivo con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), allo scopo di ospitare alcune stazioni GNSS (nella fig. alla pag. successiva, un ricevitore dell'ASI installato sul sedime AM di Vigna di Valle, VT) per la realizzazione della "nuova rete fiduciale nazionale GNSS"; l'obiettivo è di ampliare l'attuale rete di sensori di geolocalizzazione ad alta precisione di altre 31 unità, da dislocare uniformemente sul territorio nazionale, in base a specifici criteri di natura geologica e di *policy* dei dati.

L'ASI, in ambito internazionale, partecipa all'*International GNSS Service* (IGS), contribuendo al mantenimento della *EUREF Permanent Network* (EPN) di ricevitori GNSS di elevata precisione; questa rete costituisce l'infrastruttura geodetica di riferimento per progetti multinazionali basati su una precisa georeferenziazione, per studi di geodinamica, per il monitoraggio climatico sul lungo periodo e per i servizi



di navigazione satellitare. In un'ottica di sinergia istituzionale, l'Aeronautica Militare costituisce, per questo progetto, un cosiddetto *local NTRIP broadcaster* per la rete EPN italiana, contribuendo così al mantenimento della infrastruttura geodetica nazionale e traendone vantaggio per scopi meteorologici, climatologici e, soprattutto, nel settore dello *Space Weather*.

La meteorologia GNSS

La nozione di "meteorologia GNSS" (GNSS = GPS + GLO-NASS + Galileo) è una nuova disciplina, in fase di sviluppo ormai abbastanza avanzata, che copre tutto il settore che va dall'assimilazione dei dati operativi provenienti dai sistemi GNSS, fino al loro utilizzo nei modelli numerici di previsione meteorologica (es. NOAA). I sistemi GNSS

terrestri sono utilizzati principalmente per il monitoraggio dell'umidità relativa atmosferica, che gioca un ruolo chiave in diversi processi atmosferici rilevanti per la previsione meteorologica mediante modelli di simulazione numerica.

L'osservazione meteorologica più facilmente elaborabile con i sistemi GNSS è lo *Zenith Total Delay* (ZTD), che è una stima del ritardo troposferico per un segnale che giunga al ricevitore GNSS dalla direzione zenitale locale. L'elaborazione dello ZTD si avvale di specifiche "funzioni di mappatura", che definiscono il rapporto tra ritardo troposferico allo *zenith* rispetto a qualsiasi altro angolo di elevazione. Utilizzando ulteriori dati meteorologici di superficie, lo ZTD può essere ulteriormente elaborato in *Ze-*

Nelle pagg. precedenti, in apertura, il sistema satellitare Galileo (<https://www.telespazio.com/it/programmi/galileo>); a seguire, un'altra immagine di Galileo (<https://galileognss.eu>), la cui costellazione prevede, a regime, 30 satelliti.

Nella pag. precedente, alcuni esempi degli impatti derivanti dall'attività solare e dallo *Space Weather* sui sistemi GNSS e sulle apparecchiature elettromagnetiche e a radiofrequenza in genere.

In questa pagina, la stazione GNSS dell'ASI, installata presso il Centro Tecnico per la Meteorologia dell'AM di Vigna di Valle (VT).

nith Hydrostatic Delay (ZHD), *Zenith Wet Delay* (ZWD) e *Integrated Water Vapor* (IWV) (Bevis *et al.*, 1992). Le metodologie di elaborazione geodetica e di assimilazione dei dati meteorologici per lo ZTD sono entrambe attualmente utilizzate nelle tecniche di implementazione numerica dei modelli di previsione. In Europa, ad esempio, c'è un flusso continuo di osservazioni ZTD elaborate, quasi in tempo reale, da oltre 500 stazioni riceventi e da più di 10 centri di analisi geodetica, tra i quali - in Italia - il centro ASI di Matera. L'impatto dell'assimilazione ZTD sulle previsioni numeriche è stato ampiamente studiato mediante esperimenti di assimilazione dati. In media, questi esperimenti mostrano impatti prevalentemente neutri, o leggermente positivi, sulle

previsioni delle precipitazioni. Tuttavia, nei casi di elevata attività convettiva, il vantaggio dell'assimilazione dei dati ZTD sembra essere più significativo (Vedel *et al.*, 2004). Dal punto di vista dell'assimilazione dei dati, lo ZTD è un'osservazione alquanto problematica a causa della pesante procedura di pre-elaborazione: le statistiche riguardo gli errori di osservazione, necessarie per rendere ottimale l'assimilazione dei dati, si sono rivelate infatti di difficile determinazione. Inoltre le osservazioni di ZTD non sono sempre coerenti tra loro, poiché i dati di ZTD a scala continentale derivano da una miscela di analisi, elaborate secondo differenti modalità e strategie, da parte dei diversi istituti geodetici.

Un altro approccio di elaborazione è rappresentato dalla stima del ritardo troposferico lungo l'effettivo percorso inclinato di propagazione del segnale, ovvero la cosiddetta *Slant Total Delay* (STD). Le metodologie di elaborazione e le tecniche di assimilazione dei dati per la STD sono ancora in fase di sviluppo e, in generale, l'accuratezza dell'osservazione della STD è peggiore rispetto all'osservazione della ZTD. Il potenziale vantaggio delle osservazioni di STD risiede nella loro capacità di catturare, su scala fine, le caratteristiche atmo-

sferiche anisotrope, ovvero lungo specifiche direzioni, come i forti gradienti di umidità orizzontali. Tali caratteristiche sono più tipicamente associate ai sistemi convettivi a mesoscala, su distanze di griglia dell'ordine di 5 km o inferiori, spesso accompagnati da grandi quantità di precipitazioni. Essendo la troposfera costituita da una miscela di gas secchi e vapore acqueo, ZTD può essere scomposto in due componenti, una idrostatica (*Zenith Hydrostatic Delay*, ZHD) e una umida (*Zenith Wet Delay*, ZWD), attraverso opportune relazioni che coinvolgono pressione, latitudine e quota. Ulteriori relazioni, dipendenti dalla temperatura, permettono di ottenere un'importante variabile meteorologica difficilmente modellabile e predicibile: si tratta del contenuto d'acqua potenzialmente precipitabile (PWV, *Precipitable Water Vapour*, anche indicato altrove come IPW, *Integrated Precipitable Water vapour*), ossia il quantitativo equivalente (in mm) di acqua che può condensare a causa del vapore acqueo presente nella colonna atmosferica, di base unitaria, sovrastante una stazione di riferimento. Se i valori di pressione e temperatura superficiali nei pressi della stazione GNSS sono noti, è possibile ricavare, dal ritardo stimato e in termini di PWV, la quantità di vapore acqueo

presente in atmosfera.

La maggior parte dei dati meteorologici diretti per calcolare la PWV sono i radiosondaggi (RAOB) effettuati da 1 a 4 volte al giorno, in alcuni casi in punti vicini alla stazione GNSS.

Studi recenti confermano una buona concordanza tra i valori di vapore acqueo ricavati da GNSS e quelli ottenuti dalle radiosonde, con differenze dell'ordine di 2 mm di scarto quadratico medio in termini di PWV e di *bias* positivo vicino a 1 (Kruczyk *et al.*, 2013).

Impatti dello Space Weather sui sistemi GNSS

I segnali dei satelliti di navigazione globale devono transitare nella ionosfera per raggiungere i ricevitori sulla superficie terrestre. Nella ionosfera i segnali satellitari sono influenzati dagli elettroni liberi, strappati agli atomi e alle molecole dalla ionizzazione; i segnali vengono rifratti da questo plasma, che cambia la loro velocità di viaggio.

L'effetto varia principalmente in funzione del numero di elettroni liberi presenti, quindi della densità elettronica. Sul lato notturno della Terra gli elettroni, gli atomi e le molecole ionizzate tendono a ricombinarsi; questo processo di ionizzazione e ricombinazione, insieme alle interazioni delle particelle con il campo magnetico terre-



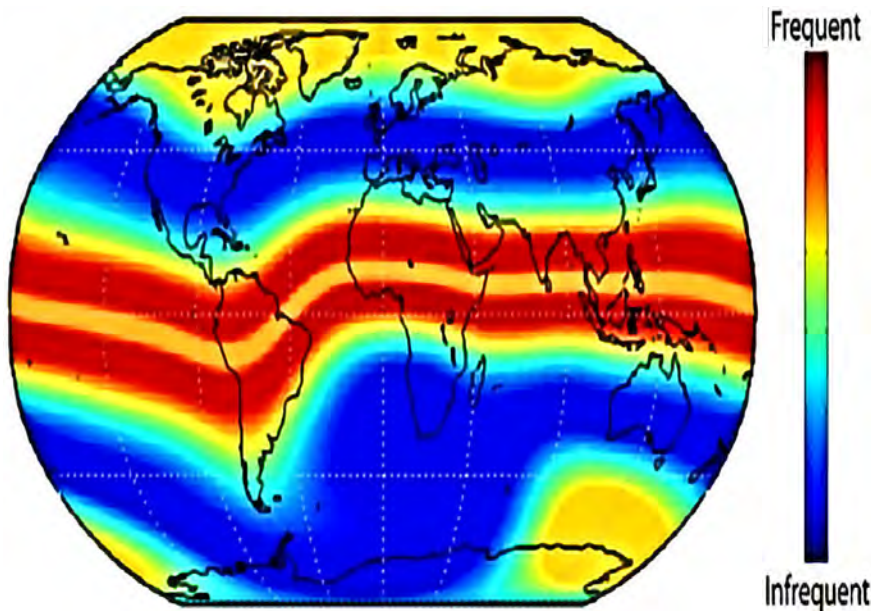
stre, governa la densità degli elettroni in un determinato luogo ed in un certo tempo. Anche la ionosfera è influenzata dal vento solare e dal suo campo magnetico associato, ma il “guscio” costituito dal campo magnetico terrestre (la magnetosfera) tende a deviare il vento solare, in modo che esso abbia poca influenza sulla ionosfera.

Normalmente, il Sole è quiescente: l'emissione di radiazione elettromagnetica e di particelle è, quindi, abbastanza costante e i suoi effetti sulla ionosfera sono in genere “benigni”.

Il ritardo nelle osservazioni del codice GNSS e la fase del segnale possono essere facilmente stimati e rimossi utilizzando una varietà di modelli e metodi; tuttavia, gli effetti dello *Space Weather* possono dare origine a occa-

sionali emissioni violente di radiazione elettromagnetica e di particelle energetiche cariche. Queste causano, indirettamente, perturbazioni nella densità elettronica della ionosfera su ampie porzioni del globo e causano variabilità, su larga scala (10-1000 km), in termini di densità elettronica. Tali variazioni di gradiente possono essere così rapide che un ricevitore GNSS può perdere l'aggancio dei segnali satellitari, specie sul lato illuminato della Terra (fig. in questa pagina). Sebbene la variazione della velocità del segnale sia l'effetto ionosferico diretto più importante sui segnali GNSS, le scintillazioni ionosferiche sono uno dei primi effetti conosciuti della meteorologia spaziale e rappresenta un effetto rilevante; sono infatti gradienti elettronici su pic-

cola scala (meno di 1 km) a provocare la scintillazione (ovvero i rapidi cambiamenti di ampiezza e di fase) dei segnali di navigazione. Precedenti studi relativi agli effetti di scintillazione sui segnali di comunicazione riguardavano principalmente le bande radio VHF (frequenza molto alta) e UHF (frequenza ultra-alta). Tuttavia, negli ultimi decenni e con lo sviluppo di sistemi GNSS, sono state osservate - sia da terra che nello spazio - anche scintillazioni sulla banda L (1 - 2 GHz) da essi utilizzata. Dal punto di vista globale, le scintillazioni sui sistemi GNSS sono più intense e frequenti alle basse latitudini, in particolare nelle ore dopo il tramonto e durante fasi di spiccata attività solare. Alle elevate latitudini le scintillazioni si verificano in misura minore, mentre sono raramente sperimentate alle medie latitudini, salvo in casi eccezionali (fig. alla pag. successiva). Gli effetti della scintillazione possono essere ampiamente classificati come rifrazione e diffrazione. Entrambi i tipi derivano dal ritardo di velocità di gruppo e dall'anticipo di fase dell'onda, in quanto il segnale GNSS interagisce con gli elettroni liberi lungo il suo percorso di trasmissione; quando l'onda radio GNSS attraversa le irregolarità del plasma ionosferico, la fase lungo il fronte



Nella pag. precedente, un satellite della costellazione di Galileo (<https://galileognss.eu>).

In questa pagina, le aree di distribuzione globale della scintillazione (P. Kintner, 2009).

Nelle pagg. successive, i grafici dell'indice ROT sulla stazione di Ny-Alesund (Isole Svalbard) nei giorni 26 e 27 settembre 2011: i diversi colori corrispondono ai satelliti in vista durante l'osservazione.

A seguire, in alto, il grafico di Sigma-phi del 26 e 29 settembre 2011 sulla stessa stazione; in basso, i diagrammi del 27 settembre 2011, con gli orari di Loss of Lock del segnale GNSS: ogni segmento verticale rappresenta un singolo evento di LoL, riferito ad ogni singolo satellite GPS (fonte eSWua, INGV).

d'onda varia. In conseguenza della rifrazione, la propagazione delle onde attraverso la ionosfera avviene in modo che esse emergano da diversi punti lungo il percorso trasmissivo; questo effetto produce fluttuazioni dell'ampiezza dell'onda, che può provocare la degradazione della qualità o, addirittura, la totale perdita del segnale.

Tale processo di perdita di 'aggancio' del segnale satellitare è chiamato *Loss of Lock* (LoL), ed è responsabile degli errori di posizione o, in alcuni casi, della totale interruzione del segnale di navigazione.

L'analisi dei segnali GNSS nel monitoraggio dello Space Weather

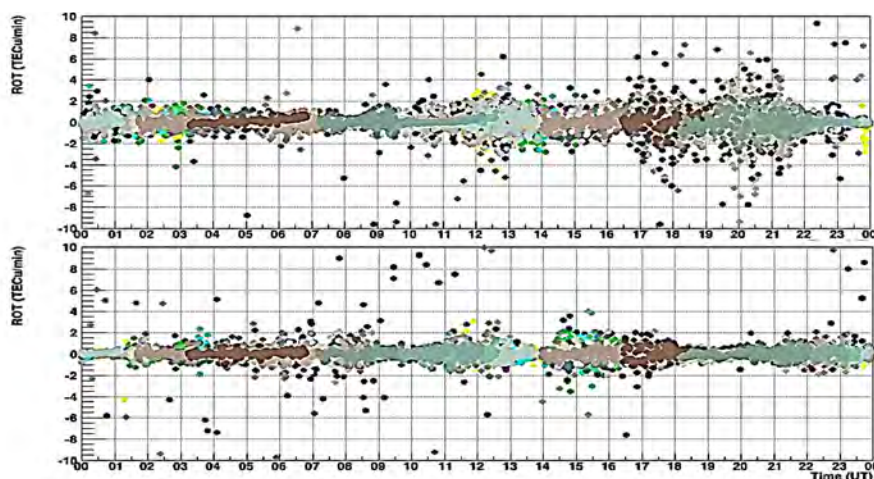
Il ritardo totale subito da un'onda radio che si propaga attraverso la ionosfera

dipende sia dalla frequenza dell'onda radio che dal TEC (per convenzione, 1 unità TEC TECU = 10^{16} elettroni/m²) tra il trasmettitore e il ricevitore; tale valore viene ottenuto integrando il numero di elettroni liberi lungo il percorso del segnale per unità di superficie (1 m²). Il TEC dipende, quindi, dalla densità degli elettroni, che raggiunge il suo massimo ad un'altitudine di circa 350-400 km. Questo valore può essere convertito in un TEC calcolato lungo un percorso zenitale, definito come TEC verticale (VTEC).

Trascurare i cambiamenti di TEC nella ionosfera può introdurre decine di metri di errore nei calcoli della posizione. La quantità di ritardo che colpisce un segnale nelle frequenze portanti di banda utilizzate dal GNSS è, infatti,

inversamente proporzionale al quadrato della sua frequenza portante, ma proporzionale al TEC lungo il percorso; per due frequenze portanti in banda L (L1 = 1.575,42 MHz e L2 = 1.227,60 MHz), il ritardo di fase ionosferico (detto anche *pseudo-range error*) viene espresso come distanza corrispondente all'apparente aumento della lunghezza del percorso ed è stimato, con un'approssimazione del primo ordine, come segue:

$d = K \cdot \text{TEC} / f^2$, dove d è espresso in metri, K è una costante pari a $40,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ e f è la frequenza del segnale portante in Hz. La costante 40,3 deriva dai valori della carica dell'elettrone, della massa dell'elettrone e della permittività dello spazio libero. L'errore di portata causato da 1 TECU alla frequenza L1 è di circa 0,162 m.



Pertanto, il TEC viene spesso utilizzato come *proxy* per stimare gli effetti dello *Space Weather* sulla determinazione dell'errore di posizione dei sistemi GNSS.

I valori di VTEC possono variare, infatti, da poche a diverse centinaia di TECU, con conseguenti ritardi di segnale nella ionosfera ed errori di posizione dell'ordine delle decine di metri. Il TEC dipende dall'area geografica, dalla stagione, dalle condizioni geomagnetiche, dal ciclo e dall'attività solare e dalle condizioni della troposfera. Inoltre, vi è un rapido e significativo aumento del TEC in condizioni di massima attività solare.

Per il monitoraggio delle scintillazioni si utilizzano ricevitori GNSS di precisione; questi consentono di rilevare gli effetti transitori, così come per le scintillazioni ionosferiche, campionando i segnali delle costellazioni GNSS - sia in ampiezza che in

fase - con una frequenza di almeno 50Hz, permettendo così misure molto affidabili.

La misurazione avviene attraverso due indici: S4 e sigma-phi ($\sigma\phi$), che sono, rispettivamente, deviazioni standard (al minuto) di ampiezza e di fase del segnale GNSS. L'aumento di questi valori indica una diminuzione del rapporto segnale/rumore e una maggiore probabilità di perdita del segnale. La determinazione dell'accuratezza e dell'integrità del segnale GNSS permette di definire le relative contromisure.

L'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), gestisce un *network* di sensori GNSS per il monitoraggio della ionosfera - posti a diverse latitudini, dalle regioni polari a quelle equatoriali - i cui dati vengono elaborati, da remoto, da un *software* dedicato e gestiti, quasi in tempo reale, dal sistema eSWua (*electronic Space Weather upper atmosphere*) presso la

sede dell'INGV.

Il database eSWua mette a disposizione degli utenti i dati e i prodotti scientifici (tra cui, indice di scintillazione di ampiezza, indice di scintillazione di fase, *Total Electron Content*, mappe di scintillazione, ecc.), armonizzati tra i diversi ricevitori e distribuiti in formato aperto. Nel caso di studio presentato nel prossimo paragrafo si fa riferimento all'indice $ROT = \Delta TEC$, cioè la variazione di TEC, espressa in TECU, indicante gradienti ionosferici che causano irregolarità. Tipicamente, i valori di $ROT < -0,5$ e $> 0,5$ sono significativi per rilevare i gradienti di TEC.

Caso di studio

Il 26 settembre del 2011 si verificò sul Sole un'importante espulsione di massa coronale (CME, *Coronal Mass Ejection*) che determinò l'emanazione, da parte dello *Space Weather Prediction Center* del NOAA, di un avviso di tempesta geomagnetica forte di categoria G3, su una scala che va da 1 a 5 a seconda dell'intensità del fenomeno. Una tale tempesta può avere conseguenze deleterie sulle centrali di alimentazione energetica, sulle operazioni satellitari e sui sistemi di comunicazione e navigazione, oltre che rappresentare un pericolo per la salute umana. Diversi picchi nel profilo temporale di ROT (fig. alla

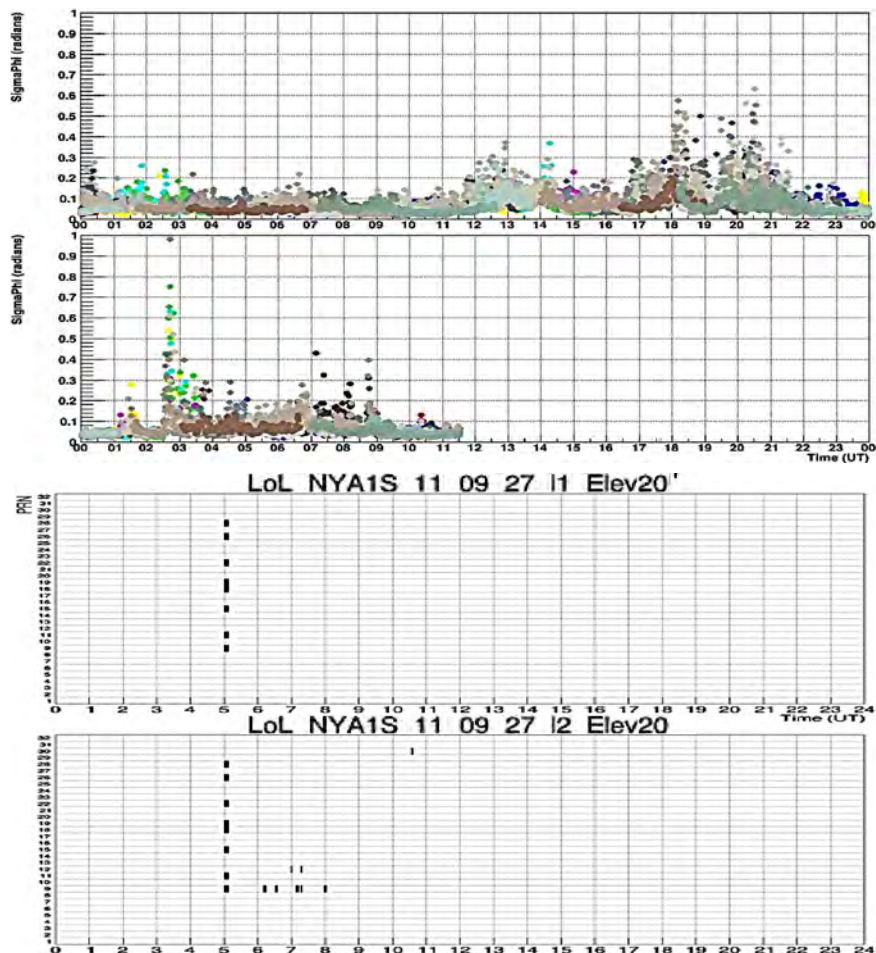
pag. precedente) indicano la presenza di gradienti ionosferici ed irregolarità durante il periodo dell'evento. I profili temporali di scintillazione di fase rilevati su Ny-Alesund (fig. a fianco, in alto) indicano che il livello di scintillazione raggiunse condizioni da moderate a forti ($\sigma_\phi > 0,25$ rad) per molte ore, con i valori di scintillazione più elevati registrati intorno alle 03 UTC del 29 settembre 2011. Inoltre, anche l'analisi del *tagging* relativamente al *Loss of Lock* (LoL) del ricevitore di Ny-Alesund durante l'evento (fig. a fianco, in basso), mette in evidenza, intorno alle 05 UTC del 27 settembre 2021, una simultanea perdita di segnale proveniente da 8 satelliti, sia per la frequenza portante L1, sia per la portante L2 ■

© Riproduzione riservata



ENGLISH ABSTRACT

Atmospheric refraction is a topic of great concern in satellite geodesy. Refraction of Global Navigation Satellite System (GNSS) L-band navigational signal manifests itself in the form of Tropospheric Delay. The analysis of the key parameters characterizing the GNSS signals provides a useful diagnostic tool for monitoring geomagnetic storms, due to the effects of the Space Weather.



BIBLIOGRAFIA

Bevis, M., and coauthors (1992): GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System. *J. Geophys. Res.*, 97, D14, 15787-15801;

Immel TJ, Mende SB, Hagan ME, Kintner PM, England SL (2009): Evidence of tropospheric effects on the ionosphere *Eos*. 90: 69-70. DOI: 10.1029/2009

Kruczyk, M., and Mazur A. (2013): Tropospheric Delay (ZTD) and Precipitable Water data from COSMO model vs. geodetic GPS network data. *COSMO Newsletter No. 13: April 2013*;

Vedel, H. et al. (2004): Impact of GPS Zenith Tropospheric Delay data on precipitation forecasts in Mediterranean France and Spain. *Geophys. Res. Lett.*, 31, 2, L02102 10.1029/2003GL017715

“NUBI... ...CHE PASSIONE!”

di Marco Ferrieri

Uno “spazio” che la Redazione pone a disposizione di tutti coloro che condividono una forte passione per la meteorologia e la fotografia, destinato ad ospitare loro riproduzioni, inedite ed originali, aventi naturalmente come oggetto le nubi!

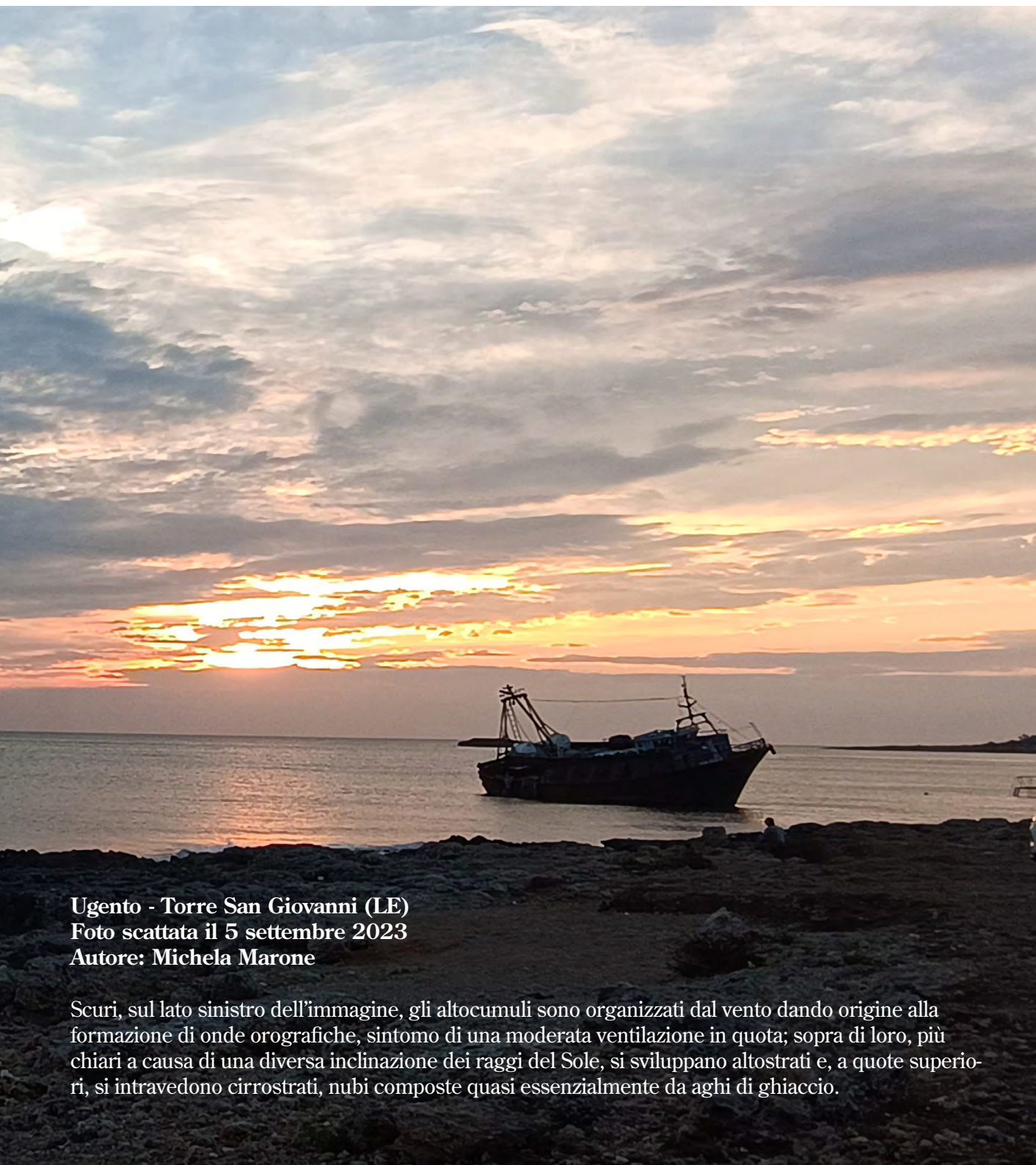
Le fotografie devono giungere alla Redazione corredate di una sintetica descrizione delle nubi fotografate - anche associate a fenomeni o altri elementi della natura - complete di data e luogo degli scatti. E' gradita anche una breve presentazione dell'autore.

Agli autori si richiede inoltre, di non correggere le immagini mediante l'uso di filtri.



© Severin Manuel Baerlocher
Punjab, India
Latitude: 30° 17' 49" N
Longitude: 74° 26' 36" E
19 December 2010 0213 (Local Time)
Camera direction: towards NE
Image P/S code: S.14.1 21
Image I.D.: 5569
CL = 9, CM = 6, CH = 1





Ugento - Torre San Giovanni (LE)
Foto scattata il 5 settembre 2023
Autore: Michela Marone

Scuri, sul lato sinistro dell'immagine, gli altocumuli sono organizzati dal vento dando origine alla formazione di onde orografiche, sintomo di una moderata ventilazione in quota; sopra di loro, più chiari a causa di una diversa inclinazione dei raggi del Sole, si sviluppano altostrati e, a quote superiori, si intravedono cirrostrati, nubi composte quasi essenzialmente da aghi di ghiaccio.





Marina di Ugento (LE)

Foto scattata il 5 settembre 2023

Autore: Michela Marone

La gran parte del cielo è pervasa da cirrostrati derivanti probabilmente dall'innalzamento di quota di altostrati precedentemente presenti in quell'area: ne sono indizio alcuni di questi ultimi rimasti sul lato destro dell'immagine. Data la presenza di qualche altocumulo lenticolare (nubi più scure appena a sinistra del Sole), non si esclude una moderata ventilazione in quota.





Ligosullo (UD)

Foto scattata il 7 settembre 2023

Autore: Paolo Marchetti

Le nubi inquadrare sono un insieme di cumuli e stratocumuli che stanno attraversando le valli nei pressi dei colli. La loro forma e la loro distribuzione suggerisce uno stato di forte rimescolamento dell'aria: in quelle zone, infatti, le montagne innescano rotori nei bassi strati che, sommando il loro movimento in direzione parallela al terreno con quello verso quote più alte, favoriscono la genesi di un moto turbolento dell'aria.



Alberobello (BA)

Foto scattata il 5 agosto 2023

Autore: Marina Bonanni

Gli stratocumuli ripresi nello scatto sono, in questo caso, nubi accessorie di una nuvolosità convettiva che si sviluppa sul lato sinistro dell'immagine: il loro colore scuro è dovuto all'alta concentrazione di umidità presente in esse, associata ad una temperatura relativamente bassa; questa situazione può dare origine ad un'improvvisa precipitazione anche a carattere di rovescio o temporale.



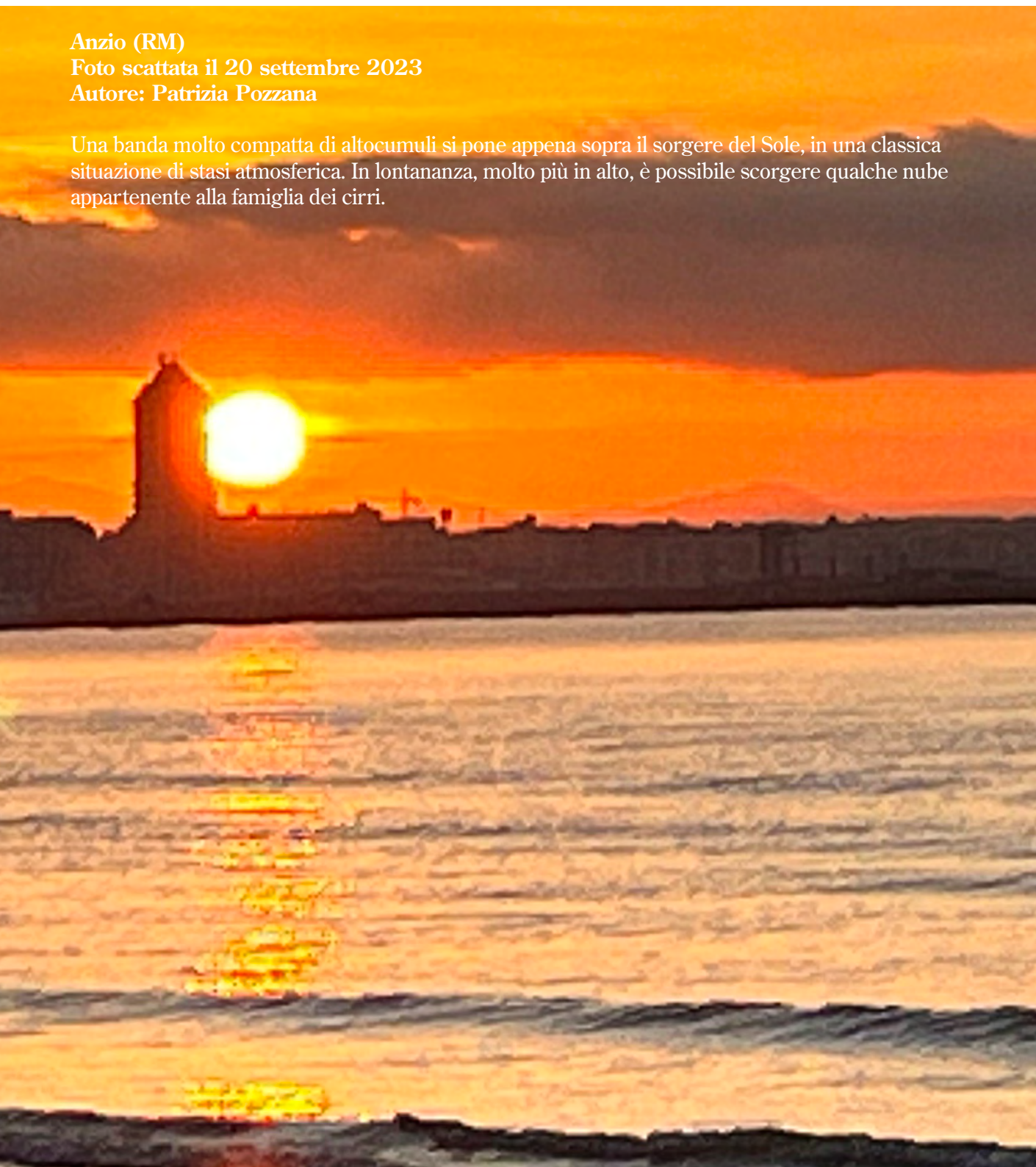


Anzio (RM)

Foto scattata il 20 settembre 2023

Autore: Patrizia Pozzana

Una banda molto compatta di altocumuli si pone appena sopra il sorgere del Sole, in una classica situazione di stasi atmosferica. In lontananza, molto più in alto, è possibile scorgere qualche nube appartenente alla famiglia dei cirri.

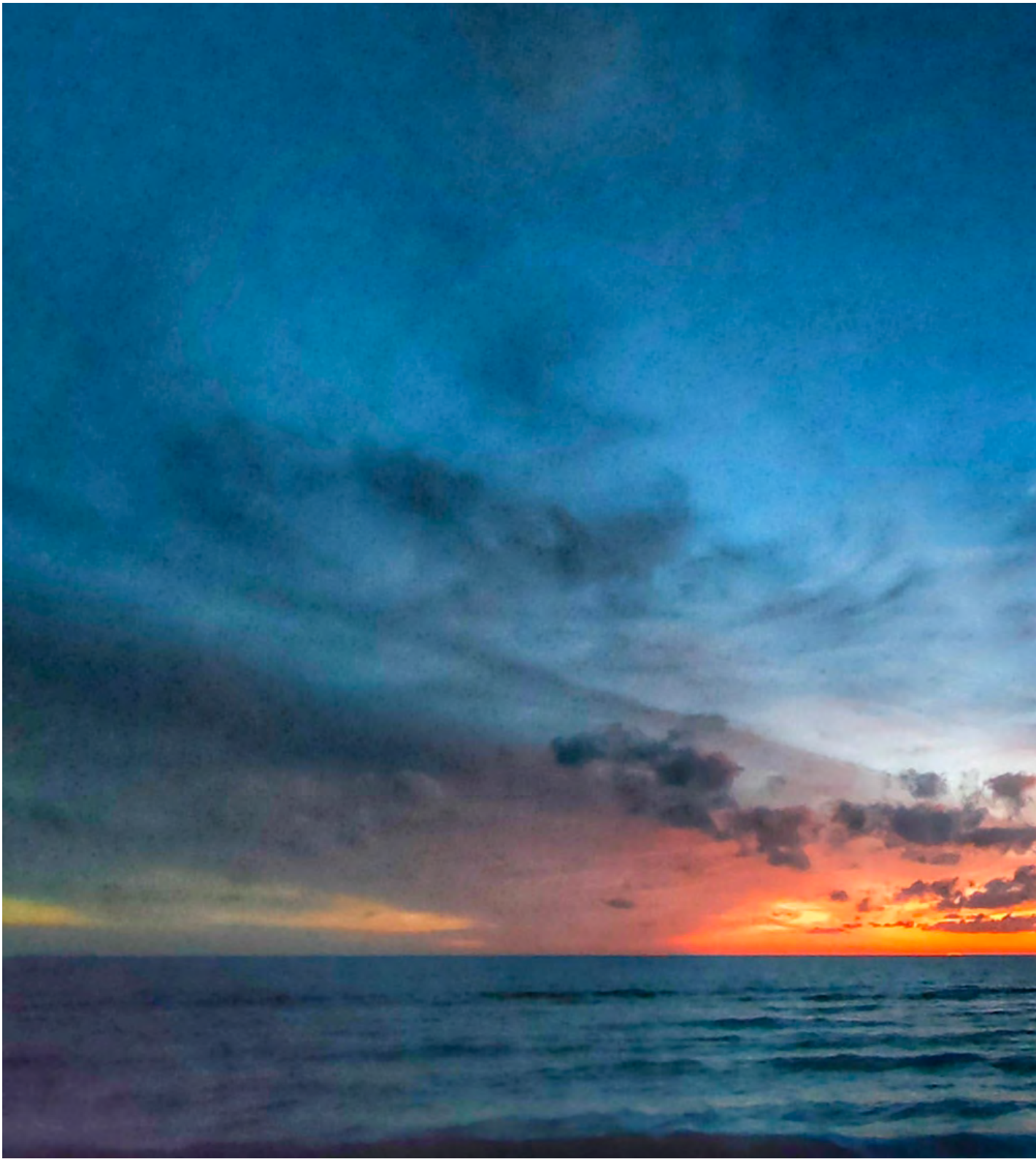






Val Canneto e Monti Settefrati (FR)
Foto scattata il 2 settembre 2023
Autore: Angelina Iannarelli

Le nubi inquadrare in questo scatto sono cumuli che, limitatamente alla porzione di immagine proposta, potremmo definire di “bel tempo”; sono così chiamati perché in genere non si associano a nessun fenomeno precipitativo e la loro formazione è dovuta a un relativo abbassamento della temperatura ad una determinata quota.



Marina di Pisa (PI)

Foto scattata il 17 settembre 2023

Autore: Giorgio Tognetti

Con il Sole oramai sotto la linea dell'orizzonte, il cielo appare azzurro scuro, per diventare poi blu notte alle spalle di chi scatta. In questa porzione di cielo, gli stratocumuli compaiono di colore nero e con un contorno molto ben definito a causa del contrasto; a sinistra, si possono distinguere invece dei cirrostrati, di colore grigio scuro molto più omogeneo.



MONTE GRAPPA (TV) 1759 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

01.09.1936	Apertura della stazione	27.05.1898
25.07.1943	Sospensione del servizio per eventi bellici	
10.10.1946	Riapertura della stazione con servizio di 2 ^a classe	
26.11.1954	Spostamento della stazione in nuovo fabbricato	
24.11.1961	Spostamento della stazione a Campo Solagna	
23.12.1968	Riattivazione della stazione a Cima Grappa	
21.01.1977	Chiusura della stazione	



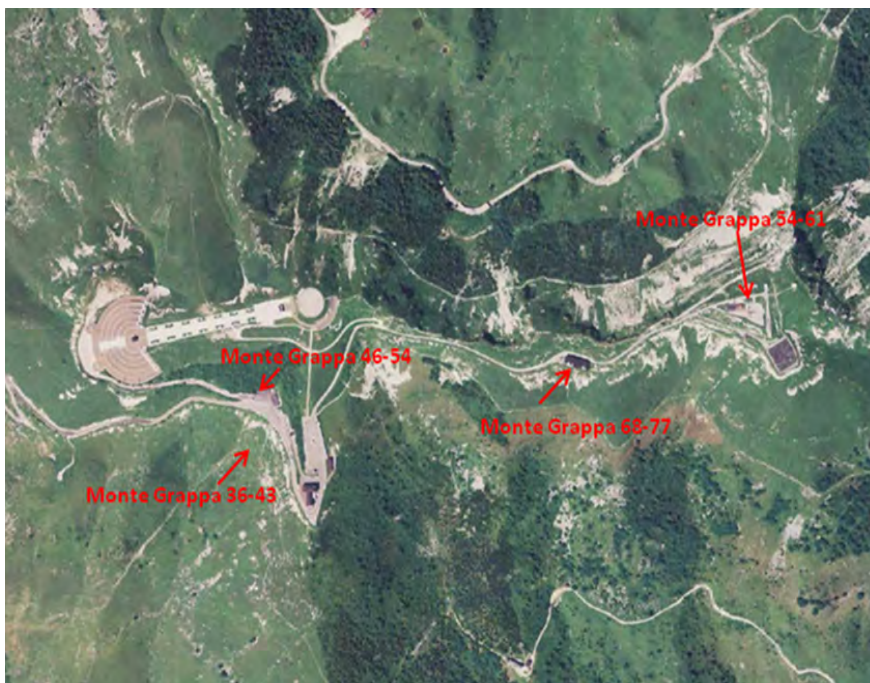
DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16092 (760)	Indicativo OACI	LIVG
Stato attuale	Chiusa	Tipologia	Manuale
Operatività	1936-43; 46-61; 68-77	Altitudine s.l.m.	1759 m s.l.m.
Latitudine Nord	45°52'39"	Longitudine Est	11°48'02"
Comune	Pieve del Grappa (ex Crespano)	Località	Cima Grappa
Ubicazione	Ex base NATO	Logistica	3 locali
Accessibilità	Area militare	Ambientazione	Di alta montagna
Ostacoli	Coperto 3° e 4° quadrante	Capannina	Su prato e a finestra
Classe stazione	2 ^a	Servizi espletati	S2-A2-SPECI-MON-VAL-PRE
Orario servizio UTC	H24	Archivio	40-43; 46-48; 53-61; 69-76

Il massiccio del Grappa, situato nelle Prealpi venete, al punto di congiunzione tra la pianura veneta e le Alpi orientali, durante la Prima

Guerra Mondiale costituì uno dei punti cardine dello schieramento difensivo italiano dopo la ritirata di Caporetto. Fu pertanto fortemente forti-

ficato e fu protagonista delle battaglie del novembre 1917 e soprattutto della battaglia d'arresto avvenuta nel giugno-luglio 1918. Già alla fine del 1935,



Nella pagg. precedenti, in apertura, il Monte Grappa con le posizioni della stazione meteo (Google Earth). In questa pagina, una veduta aerea di Cima Grappa con le posizioni della stazione meteo (Onorcaduti). Nella pag. a fianco, la caserma Milano e l'edificio sede della stazione meteo (Google Streetview). Nelle pagg. successive, la stazione meteo nel 1955: a sinistra, il lato Sud e, a destra, il lato Nord (Archivio Svz. Meteo); in chiusura, l'edificio Comando del Centro di Controllo, sede della stazione meteo (Pagano 2013).

subito dopo la costruzione del Sacrario del Monte Grappa, era stata progettata l'installazione di una stazione meteorologica sul monte.

Questa fu impiantata il 1° settembre 1936, contestualmente alla ristrutturazione della rete osservativa del servizio meteorologico. Non è nota l'ubicazione esatta della stazione, che probabilmente era installata al Piazzale della Vittoria (coord. 45°52'20"N, 11°48'07"E alt. 1700 m), in uno degli edifici adiacenti la Caserma Milano, poi andati distrutti durante la Seconda guerra mondiale. La stazione effettuava servizio di 2^a classe con osservazioni sinottiche triorarie ed aeronautiche ogni 90 minuti dalle 04 alle 18 UTC (dalle 07 alle 16 in inverno), che venivano trasmesse al centro trasmittente di Venezia. L'indicativo di stazio-

ne fu variato da V72, nel 1936, a MGR nel 1938.

Dopo la costituzione del Centro Radio Telegrafico Meteorico di Bologna, nel 1939, l'indicativo aeronautico di Monte Grappa fu nuovamente variato in V47 (prima assegnato a Monte Venda) ed il servizio portato a osservazioni ogni tre ore.

Quindi, nel 1940, fu introdotta la nuova numerazione unificata e fu assegnato l'indicativo 760. Tuttavia, il servizio fu ridotto a tre osservazioni sinottiche al giorno (07-13-18 UTC) e ad osservazioni aeronautiche a richiesta.

Il servizio venne sospeso dopo il 25 luglio 1943 e la stazione fu poi distrutta a causa degli eventi bellici.

Il 10 ottobre 1946 la stazione meteorologica di Monte Grappa fu riaperta al servizio. La stazione fu installata nell'edificio

adiacente alla Caserma Milano, in Piazzale della Vittoria, (coord. 45°52'22"N, 11°48'04"E alt. 1720 m), in due locali del Ministero Difesa (Onorcaduti), mentre la capannina fu posta sul limite del piazzale. La stazione effettuava servizio di 2^a classe, con osservazioni sinottiche triorarie dalle 03 alle 18 ed aeronautiche orarie dalle 04 alle 17 UTC.

Il 26 novembre 1954 la stazione fu spostata in un nuovo fabbricato, di proprietà dell'A.M., costruito sul punto più alto della dorsale denominata la "Nave" (coord. 45°52'50"N, 11°47'56"E alt. 1776 m). Il fabbricato, di due piani con una torretta per le osservazioni, assicurava un'ottima visuale su tutti i settori, dalle Dolomiti alla Laguna veneta.

Alla fine degli anni '50, nel quadro della Guerra Fredda, fu deciso di installare nella pianura





veneta ed in alcune località montane 12 postazioni per il lancio di missili Intercettori Teleguidati (I.T.), a difesa di eventuali attacchi aerei provenienti da Nord-Est.

Le basi missilistiche di lancio erano tipicamente costituite da un'area logistica, un centro di controllo ed una base di lancio. Sul Monte Grappa venne realizzato il Centro di Controllo del 64° Gruppo Intercettori Teleguidati di Bassano del Grappa (la base di lancio era situata in località Forcelletto), e il 24 agosto 1961, al fine di permettere i lavori di realizzazione della base, la stazione meteo fu spostata a

Campo Solagna, ad 8 km circa di distanza ma 700 m più in basso, e successivamente, il 28 ottobre 1964, presso la base logistica di Bassano del Grappa.

Il 23 dicembre 1968, con l'attivazione operativa della base missilistica, la stazione meteo fu nuovamente riportata a Cima Grappa, in locali interni al Comando del Centro (coord. 45°52'39"N, 11°48'02"E alt. 1759 m), tuttavia con una visuale limitata verso il terzo e quarto quadrante. La capannina e l'anemometro erano installati sulla dorsale soprastante la stazione.

Una capannina a finestra rivolta ad E assicurava le osservazioni

in inverno. La stazione iniziò con osservazioni solo aeronautiche orarie H24.

Dal 1° febbraio 1975 ripresero anche le osservazioni sinottiche dalle 03 alle 18 UTC.

Il 21 gennaio 1977, con la soppressione del 64° Gruppo I.T., la stazione fu chiusa e spostata nuovamente a Bassano del Grappa. Il sito della base missilistica, smantellato, fu poi ceduto all'E-NAV ed è in fase di completa demolizione e riconversione a fini turistici.

Riferimenti:

- Comitato Regionale Veneto Centenario Grande Guerra -



Commissariato Generale Onoranze Caduti in Guerra - Sacrali militari della Prima Guerra Mondiale - Roma 2002
 - Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 1 - I Servizi Radiometeorici d'Aeronautica - Roma 1936
 - Ministero dell'Aeronautica - Monografia della Stazione Meteorologica di Monte Grappa - Ed. 1950
 - Ministero dell'Aeronautica - Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - Organizzazione e funzionamento dei servizi Radioelettrici e meteorologici per l'Assistenza al

Volo - Roma 1939
 - Ministero dell'Aeronautica - Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - U.T. 5 - Servizio Meteorologico - Roma 1937, agg. 1938
 - Ministero della Difesa - MET R.S. 3 - Enti del Servizio Meteorologico dell'A.M. - Roma 1975
 - Ministero della Difesa-Aeronautica - Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - I.T. 5 - Regolamento del Servizio Meteorologico - Roma 1952, agg. 1959
 - Ministero dell'Aeronautica - Diario storico Direzione comunicazioni 1944-1953
 - Ministero dell'Aeronautica -

Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - U.T. 5 - Regolamento del Servizio Meteorologico - Roma 1943
 - Ministero Difesa-Aeronautica - Monografia della Stazione Meteorologica di Monte Grappa - Ed. 1965
 - Presidenza del Consiglio dei ministri - Lavori di restauro conservativo del Sacralio militare di Cima Grappa e valorizzazione degli edifici annessi, degli apprestamenti militari, della ex base NATO e delle relative aree contermini - Roma 2010

Contatti (pagano1578@gmail.com)

GOVONE (CN) 315 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

01.10.1947 Apertura della stazione
01.03.1986 Chiusura della stazione



DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16116	Indicativo OACI	LIMQ
Stato attuale	Chiusa	Tipologia	Manuale
Operatività	1947-85	Altitudine s.l.m.	315 m
Latitudine Nord	44° 48'18"	Longitudine Est	08° 06'00"
Comune	Govone	Località	Govone
Ubicazione	Castello di Govone	Logistica	2 stanze all'ultimo piano
Accessibilità	Stazione isolata	Ambientazione	Semirurale - In città
Ostacoli	Nessuno	Capannina	Su terrazzo
Classe stazione	2 ^a	Servizi espletati	S2-A3
Orario servizio UTC	03-18	Archivio	1973-86



Nella pag. precedente, in apertura, Govone e il suo castello, ubicazione della stazione meteo (Google Earth). In questa pagina, il castello di Govone con la torretta della stazione meteo (Wikipedia).

Il Castello di Govone, situato in cima alla collina del comune cuneese, fu una delle residenze della casa reale dei Savoia dal 1792 al 1870.

Dal 1997 è uno degli edifici parte del sito residenze sabaude, iscritto alla lista del patrimonio dell'umanità UNESCO. Attualmente è adibito a sede comunale.

Il 1° ottobre 1947 vi fu installata una stazione meteorologica, in sostituzione della stazione di Asti, distante 17 km, chiusa in pari data. La

stazione, di 2ª classe, indicativo OMM 16116, occupava due locali all'ultimo piano del castello.

La strumentazione era posta sulla terrazza della torretta, da dove si effettuavano anche le osservazioni, con un orizzonte, ovunque libero, di 150 km.

La stazione fu chiusa il 1° marzo 1986.

Riferimenti:

- Ministero dell'Aeronautica
- Monografia della Stazione Meteorologica di Govone -

Ed. 1947

- Ministero della Difesa - MET R.S. 3 - Enti del Servizio Meteorologico dell'A.M. - Roma 1980

- Ministero della Difesa-Aeronautica - Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - I.T. 5 - Regolamento del Servizio Meteorologico - Roma 1952, agg. 1959

- Ministero dell'Aeronautica - Diario storico Direzione comunicazioni

Contatti (pagano1578@gmail.com)

LIDO DI ROMA (RM) 5 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

1928	Apertura della stazione a servizio dell'Idroscalo di Ostia Nuova (ind. 64)
1931	Assegnazione indicativo 78 (poi X78)
06.05.1933	Nominativo stazione cambiato in Lido di Roma
01.04.1934	Stazione elevata a 1 ^a classe con indicativo 311
1936	Indicativo stazione variato in 322
08.09.1943	Interruzione servizio per eventi bellici
11.11.1948	Riapertura stazione con la compilazione di METAR semiorari con indicativo 754
08.02.1949	Sospensione del servizio
10.06.1950	Riattivazione del servizio. Compilazione di METAR orari con indicativo 16239
23.04.1952	Assegnazione dell'indicativo 16240, già utilizzato da Roma Ciampino
01.08.1955	Chiusura della stazione. L'indicativo 16240 verrà poi utilizzato per la stazione di Roma EUR



DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16235 (322)	Indicativo OACI	== (R22)
Stato attuale	Chiusa	Tipologia	Manuale
Operatività	1928-43; 1948-55	Altitudine s.l.m.	5 m
Latitudine Nord	41° 44'33"	Longitudine Est	12° 15'08"
Comune	Roma	Località	Lido di Roma
Ubicazione	Torre S. Michele	Logistica	Otto locali a p.t. e terrazzo
Accessibilità	Stazione isolata - via degli Atlantici, 69	Ambientazione	In area umida, alla foce del Tevere
Ostacoli	Nessuno	Capannina	Su prato
Classe stazione	3 ^a	Servizi espletati	S2-A3
Orario servizio UTC	04-18	Archivio	34-43

Tor San Michele è un fortilizio che faceva parte del sistema difensivo litoraneo, voluto dai pontefici Pio IV e Pio V, a salvaguardia della navigazione e dell'entroterra dalle incursioni

dei pirati barbareschi. La torre, progettata da Michelangelo, fu costruita fra il 1564 e 1568 e ultimata sotto il pontificato di Pio V. La torre prende il nome proprio dal papa Pio V, che la chiamò così in onore del suo santo pro-

tettore, San Michele Arcangelo. La torre, composta da tre piani, è costruita in laterizio ed ha la forma di un poliedro ottagonale di 18 metri di lato e di pari altezza. Anticamente era circondata da un fossato. In particolare,



Nella pag. precedente, in apertura, il Lido di Roma con la foce del Tevere e l'ex idroscalo (Google Earth).

In questa pagina, la Torre San Michele, sede della stazione meteo (Google Earth).

Nella pagg. successive, la Torre San Michele nel 1954: sulla torretta è visibile il faro di aerodromo (Archivio Svz. Meteo); a fianco, la stessa Torre nel 2011, dove l'area - seppur recintata - appare invasa dalla vegetazione (Pagano 2011); in basso, una planimetria della stazione meteo (Archivio Svz. Meteo).

A seguire, alcune immagini dell'interno della stazione meteo, della strumentazione e della capannina (Archivio Svz. Meteo).



negli anni Venti, l'Idroscalo di Ostia "Carlo Del Prete", che fu il più importante scalo del Mediterraneo, teatro, ad esempio, delle imprese dell'aeronautica italiana grazie alle "Trasvolate Atlantiche" compiute negli anni '20 e '30 del XX secolo.

In tal quadro, la Torre S. Michele fu utilizzata come faro di Aerodromo e stazione meteo per l'Idroscalo.

La stazione meteorologica di Ostia Nuova fu aperta nel 1928 come stazione per le "Rotte Aeree", con il nominativo "Ostia" ed indicativo 64.

Con la ristrutturazione della rete meteorologica del 1931 alla stazione di Ostia fu assegnato l'indicativo 78 (in seguito X78).

La stazione effettuava osservazioni ogni due ore dalle 05:30 alle 15:30 UTC (in estate anche

alle 03:30), più osservazioni a richiesta per le esigenze dell'Idroscalo. Il 6 maggio 1933 Ostia venne rinominata ufficialmente Lido di Roma e, quindi, anche la stazione meteo assunse tale denominazione.

Il 1° aprile 1934 entrò in vigore la nuova struttura del Servizio meteorologico: l'Ufficio meteorologico di Lido di Roma divenne Ufficio Meteorologico Regionale e Centro Radiotelegrafico Meteorologico.

La stazione meteo, elevata a 1ª classe con indicativo internazionale 311 e variato nel 1936 in 322 (ind. aeronautico R22), effettuava osservazioni sinottiche triorarie h24 (01-04-07-10-13-16-19-22) ed aeronautiche semiorarie dalle 06:30 alle 17:30 UTC (in estate dalle 05:00 alle 18:30).

La stazione effettuava anche

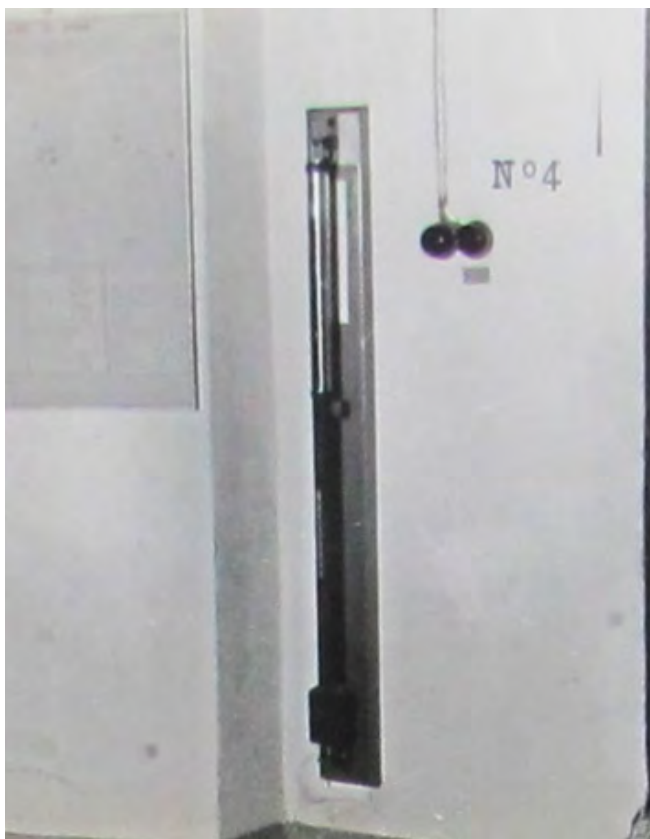
osservazioni in quota mediante lancio di palloni PILOT.

Dopo l'interruzione del servizio per gli eventi bellici, la stazione fu riaperta l'11 novembre 1948, con osservazioni solo aeronautiche semiorarie ed indicativo provvisorio 754.

L'8 febbraio 1949 il servizio venne sospeso. Il 10 giugno 1950 il servizio fu ripreso con osservazioni aeronautiche orarie per le esigenze del nuovo Centro Meteorologico Regionale di Ciampino, con l'indicativo 16239 (che sarà poi utilizzato per la stazione di Roma Ciampino). Il 15 settembre 1951 la stazione iniziò regolare servizio come stazione di 3ª classe, con orario dalle 04 alle 18 UTC.

Il 23 aprile 1952 la stazione assunse l'indicativo 16240 (prima assegnato a Ciampino).





La stazione fu chiusa il 1° agosto 1955, con l'indicativo 16240 che sarà poi utilizzato per la stazione di Roma EUR.

La stazione meteo era ubicata al piano terra, con accesso attraverso un ponte levatoio. All'interno erano stati ricavati gli uffici e gli alloggi per il personale. Una scala a chiocciola consentiva l'accesso alla terrazza per le osservazioni a vista.

Riferimenti:

- Ministero dell'Aeronautica - Annuario dell'Ufficio Presagi - Vol. 1926-1932 - Roma
- Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 1 - I Servizi Radiometeorici

- d'Aeronautica - Roma 1931
- Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 1 - I Servizi Radiometeorici d'Aeronautica - Roma 1936
- Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 9 - Manuale Annuario Radiometeorico - Roma 1934, agg. 1936
- Ministero dell'Aeronautica - Monografia della Stazione Meteorologica di Lido di Roma - Ed. 1948
- Ministero dell'Aeronautica - Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - Organizzazione e funzionamento dei servizi Radioelettrici e

- meteorologici per l'Assistenza al Volo - Roma 1939
- Ministero dell'Aeronautica - Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - U.T. 5 - Servizio Meteorologico - Roma 1937, agg. 1938
- Ministero dell'Aeronautica - Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - U.T. 5 - Regolamento del Servizio Meteorologico - Roma 1943
- Ministero della Difesa-Aeronautica - Ispettorato Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - I.T. 5 - Regolamento del Servizio Meteorologico - Roma 1952, agg. 1959

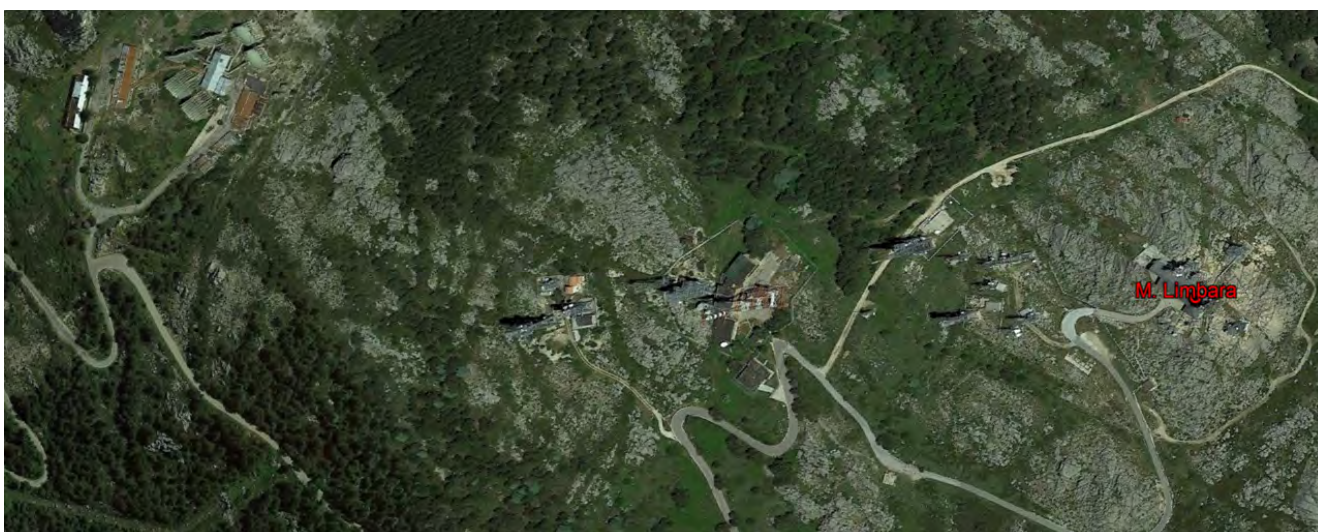
Contatti (pagano1578@gmail.com)



MONTE LIMBARA (SS) 1363 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

26.01.2004 Installazione di una stazione automatica DCP
2017 Sostituzione della stazione DCP con una stazione SWS



DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16532	Indicativo OACI	LIEW
Stato attuale	Aperta	Tipologia	Automatica
Operatività	2004-	Altitudine s.l.m.	1363 m s.l.m.
Latitudine Nord	40° 51' 09"	Longitudine Est	09° 10' 35"
Comune	Tempio Pausania	Località	Punta Balistreri
Ubicazione	Teleposto Monte Limbara	Logistica	N.N.
Accessibilità	Zona militare	Ambientazione	Alta montagna
Ostacoli	Numerose antenne circostanti	Capannina	Su prato
Classe stazione	SWS	Servizi espletati	S0-A2
Orario servizio UTC	H24	Archivio	N.N.

Il Monte Limbara è un massiccio granitico della Sardegna settentrionale. Per la sua posizione è un punto privilegiato per l'installazione di apparati di radio

comunicazione. Infatti, sulla vetta del monte sussistono numerose installazioni per telecomunicazioni, sia militari che civili, e collegamenti radio televisivi, in ponte radio,

con Monte Amiata, Argentario ecc..

Inoltre, poco sotto la vetta del monte esistono tuttora le enormi antenne della rete Troposcatter, impiantata dagli



Nella pag. precedente, in apertura, Tempio Pausania e le stazioni del Monte Limbara (in giallo le stazioni chiuse, in rosso la stazione operativa); in basso, la vetta del M. Limbara; risultano ben visibili le antenne di comunicazione e, in alto a sinistra, la base Troposcatter USA (Google Earth). In questa pagina, una veduta parziale della vetta di Monte Limbara, irta di antenne (Greuel 2018).

Nella pag. successiva, la capannina, il pluviometro e il visibilimetro della stazione di Monte Limbara (Foti 2021).

USA negli anni '60 e dismessa nel 1993, dopo l'avvento dei sistemi satellitari di telecomunicazione.

In particolare, sulla Punta Balistreri l'Aeronautica Militare gestisce un Teleposto per comunicazioni e radioassistenze dove, il 26 gennaio 2004, è stata installata una stazione automatica DCP, che ha ripreso l'indicativo 16532, già in precedenza utilizzato dalla stazione di Tempio Pausania. Nel 2017 la vecchia stazione DCP è stata sostituita dalla nuova generazione di stazioni SWS (Standard Weather Station).

Quest'ultime, sostanzialmente, sono dotate di sensori più avanzati; inoltre, non usano più il satellite per trasmissioni e comunicazioni ed emetto-

no, oltre al bollettino sinottico orario, anche il bollettino METAR automatico.

Riferimenti:

- Ciotti C., De Leonibus L., Galliani A., Gambuzza C., Tedesco S. - *The new Standard Weather Station (SWS)* - WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO 2008) - St. Petersburg 27-29 November 2008
- WMO/TD n. 1462 - Geneve 2008.
- De Leonibus L., Pagano P., Raspanti A., Galliani A. - *A New Standard Observation Network for Italian Meteorological Service* - WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental

Instuments and Methods of Observations (TECO 2002) - Bratislava 23th-25th September 2002 - WMO/TD n. 1123 - Geneve 2002

- Pagano P., Avenali F., De Leonibus L. - *The implementation of the DCP network at the Italian Meteorological Service Proc. 2nd International Conference on Experiences with Automatic Weather Stations* - 27th-29th September 1999 - ZAMG - Wien, 1999
- Pagano P., De Vecchi A. (1993) *The Second Generation Italian DCP Network Proc. 10th Meteosat Scientific User Meeting, 15th-19th September 1993, pp. 137-148* - EUMETSAT P13, Darmstadt 1993

Contatti (pagano1578@gmail.com)



SERRALTA S. VITO (CZ) 997 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

07.02.2002 Installazione di una stazione automatica



DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16364	Indicativo OACI	==
Stato attuale	Aperta	Tipologia	Automatica
Operatività	2002-	Altitudine s.l.m.	997 m
Latitudine Nord	38° 45'20"	Longitudine Est	16° 22'06"
Comune	S. Vito sullo Ionio	Località	Serralta S. Vito
Ubicazione	Teleposto A.M.	Logistica	Area recintata
Accessibilità	SP 145	Ambientazione	Montagna
Ostacoli	Nessuno	Capannina	Su prato
Classe stazione	AUTO	Servizi espletati	S0-SOLRA-SUNDUR
Orario servizio UTC	00-24	Archivio	2005-

La Serralta di San Vito è una montagna delle Serre calabresi settentrionali, ubicata al confine tra le provincie di Catanzaro e Vibo Valentia.

Sulla sua cima è situato un Teleposto dell'Aeronautica Militare, dove sono installati un VOR *doppler* ed altri apparati per l'assistenza alla navigazione aerea. Tutto intorno è stato realizzato un grande parco eolico, con

decine di antenne che ormai dominano il paesaggio. Presso il Teleposto è stata installata, il 7 febbraio 2002, la stazione automatica di Serralta S. Vito.

La stazione è una DCP automatica che, oltre ai parametri meteorologici classici, misura anche durata ed intensità della radiazione solare.

Alla stazione è stato assegnato l'indicativo OMM 16364, già precedentemente utilizzato dalla

stazione di Caraffa di Catanzaro.

Riferimenti:

- Pagano P., De Vecchi A. (1993) *The Second Generation Italian DCP Network Proc. 10th Meteosat Scientific User Meeting, 15th-19th September 1993, pp. 137-148*
- EUMETSAT P13, Darmstadt 1993

Contatti (pagano1578@gmail.com) ■

Nella pag. precedente, in alto, la Serralta di San Vito, con le posizioni delle stazioni meteo (in giallo la stazione chiusa e, in rosso, la stazione operativa); in basso, l'ubicazione della DCP (Google Earth).

In questa pagina, il paesaggio della Serralta di San Vito (Pagano 2013).



CAPO GALLO (PA) 535 m.s.l.m.

CRONOLOGIA:

01.01.1914	Stazione già attiva presso il Semaforo della R. Marina
1928	Inserimento della stazione nella rete del Meteo Marina
01.09.1936	Inserimento della stazione nella lista delle stazioni ausiliarie
01.03.1938	Inserimento della stazione nella lista delle stazioni sussidiarie
08.09.1943	Sospensione del servizio per eventi bellici
09.05.1947	Riapertura stazione
31.05.1953	Chiusura stazione e trasferimento della stessa a Monte Pellegrino



DATI STAZIONE:

Indicativo OMM	16406 (871)	Indicativo OACI	==
Stato attuale	Chiusa	Tipologia	Manuale
Operatività	1914-43; 47-53	Altitudine s.l.m.	535 m s.l.m.
Latitudine Nord	38° 13'04"	Longitudine Est	13° 18'39"
Comune	Palermo	Località	Monte Gallo
Ubicazione	Semaforo R. Marina	Logistica	Stanza al 1° piano
Accessibilità	Stazione isolata. Mula- tieria di 6 km	Ambientazione	Promontorio sul mare
Ostacoli	Nessuno	Capannina	Su terrazzo
Classe stazione	2 ^a	Servizi espletati	S2-A3
Orario servizio UTC	04-18	Archivio	1951-53

Capo Gallo, ultima propaggine del Monte Gallo, è un promontorio che divide i due golfi di Mondello e di Sferracavallo, all'estremità Nord della Conca d'Oro.

Sul Monte Gallo fu costruita dal Governo borbonico, nel 1854, una stazione semaforica. Passata alla Regia Marina è stata poi utilizzata dall'Aeronautica come stazione meteorologica fino al 1953.

Il Semaforo, oggi inserito nella riserva naturale di Capo Gallo, è dal 1997 rifugio di un eremita-artista, Isravele, che ha restaurato l'edificio e lo ha decorato con mosaici. Dal 1° gennaio 1914 il Semaforo





di Capo Gallo, operante anche come Osservatorio meteorologico, fu incluso nella rete delle stazioni semaforiche che inviavano all'Ufficio Presagi il telegramma quotidiano delle osservazioni meteorologiche. La stazione effettuava osservazioni alle 07 e 18 UTC.

Nel 1928 fu iniziato il servizio radiotelegrafico per la navigazione marittima (Meteo Marina) ed il Semaforo di Capo Gallo fu inserito nella lista delle stazioni contribuenti, con l'indicativo GAL.

Con la ristrutturazione del 1931 il Semaforo non fu inserito nell'elenco delle stazioni della rete sinottica, mentre rimase nella rete del Meteo Marina.

Dal 1° settembre 1936 la stazione semaforica fu inserita nella

rete del Servizio meteorologico come stazione ausiliaria (2^a classe), con tre osservazioni al giorno (07-13-16 UTC). Nel 1938 la stazione venne inclusa anche tra le stazioni sussidiarie per l'aviazione, con osservazioni a richiesta per l'assistenza alla linea aerea Napoli-Palermo.

Nel 1940 l'indicativo di stazione fu cambiato in 860, con osservazioni sinottiche estese ad osservazioni prioritarie, dalle 04 alle 18 UTC, ed aeronautiche a richiesta.

Nel 1942 sulla vetta di Monte Gallo fu installato dalla *Luftwaffe* un radar *FuMG 80 Freya*.

Dopo l'interruzione a seguito degli eventi bellici, la stazione riprese l'attività il 9 maggio 1947, con servizio di 2^a classe, sinottico ed aeronautico, comprese

Nelle pagg. precedenti, in apertura, la Conca d'Oro, con i siti delle stazioni meteo (Google Earth) e, a seguire, il semaforo di Capo Gallo (NOAA - US Navy).

In questa pagina, l'interno del semaforo, restaurato da Isravele (Balarm).

Nella pag. a fianco, il semaforo di Capo Gallo nel dopoguerra (Archivio Svz. Meteo) e, in chiusura, il Monte Gallo con il Semaforo (Pagano 2020).

le osservazioni dello stato del mare.

Nel 1949 alla stazione fu assegnato l'indicativo OMM 16506; la stazione meteo A.M. era ospitata nel torrione del Semaforo.

La stazione fu chiusa il 31 maggio 1953 e sostituita con quella di Monte Pellegrino.

Riferimenti:

- Bellomo A. - 1943 Il martirio di un'isola - Italia Storica 2016
- Ministero dell'Aeronautica - Annuario dell'Ufficio Presagi - Vol. 1926-1932 - Roma
- Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 1 - I Servizi Radiometeorici d'Aeronautica - Roma 1936
- Ministero dell'Aeronautica - Direzione Generale dei Servizi

del Materiale e degli Aeroporti - M.A. 9 - Manuale Annuario Radiometeorico - Roma 1934, agg. 1936

- Ministero dell'Aeronautica

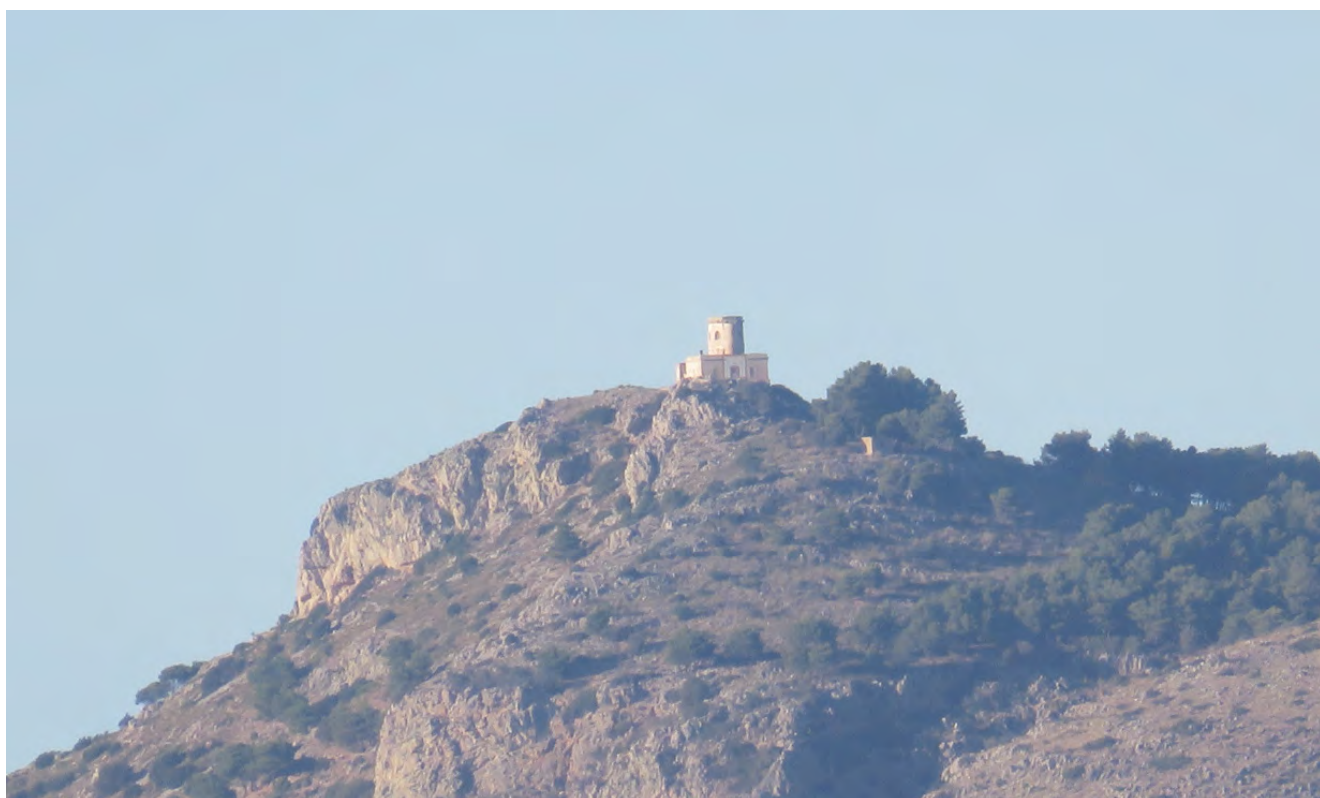
- Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo - Organizzazione e funzionamento dei servizi Radioelettrici e meteorologici per l'Assistenza al Volo - Roma 1939

- Ministero dell'Aeronautica - Ufficio Centrale delle Telecomunicazioni ed Assistenza al Volo

- U.T. 5 - Servizio Meteorologico - Roma 1937, agg. 1938

- Rocca R. - Chiamatemi Isravele: storia di un monte, un tempio e il suo eremita - L'Indiscreto 2018

Contatti (pagano1578@gmail.com)



GUIDA ALLA LETTURA DEI DATI DI STAZIONE

Informazioni generali:

Nelle tabelle riportanti i dati di stazione sono indicate le informazioni disponibili per identificare le caratteristiche della stazione stessa con la data di riferimento.

Le informazioni di dubbia o arbitraria attribuzione sono riportate in *VERDE corsivo*.

Indicativo OMM:

È riportato l'indicativo OMM, per le stazioni sinottiche qualora disponibile. Gli indicatori OMM attuali (per l'Italia 16xxx, da 16001 a 16599) sono stati introdotti dopo il 1951. Prima di tale data le stazioni di osservazione avevano un indicativo internazionale, in accordo con quanto stabilito dalla Conferenza di Copenhagen del 1929, o indicatori nazionali.

Per l'Italia le stazioni principali (1^a classe) avevano un indicativo di tre cifre (da 300 a 699), le stazioni ausiliarie (2^a o 3^a classe) un indicativo di tre lettere o una lettera e due cifre.

Indicativo ICAO:

È riportato l'indicativo ICAO, per le stazioni aeronautiche qualora disponibile. Gli indicatori ICAO attuali (per l'Italia LIXx) sono stati introdotti dopo il 1955 sperimentalmente ed ufficialmente nel 1967. Prima di tale data le stazioni di osservazione (sussidiarie per l'aviazione di 3^a classe) avevano un indicativo composto da una lettera e due cifre.

Stato operazioni:

È riportato lo stato della stazione (aperta/chiusa).

Tipologia:

È riportata la tipologia della stazione (manuale/automatica). In caso di stazioni miste (con osservazioni automatiche integrate da osservazioni manuali) la stazione è classificata come manuale o semiautomatica.

Le stazioni completamente automatiche, di norma, non forniscono i dati di osservazione a vista (visibilità generale, nuvolosità, tempo in atto).

Operatività:

È riportato il periodo di operatività della stazione, in accordo alle informazioni disponibili. Ciò non esclude che la stazione sia stata operativa anche in periodi differenti o che sia tuttora operativa, ma non facente parte delle liste OMM (es. la stazione di Roma Collegio Romano ha una serie storica che data dal 1700 ad oggi, ma non contribuisce alla rete meteorologica nazionale ai sensi OMM).

Altitudine:

È riportata l'altezza del pozzetto barometrico, ove disponibile. Altrimenti la quota della stazione.

Latitudine, Longitudine:

È riportata la posizione della stazione al minuto secondo, ove nota con buona confidenza. Altrimenti la cifra dei secondi è arbitrariamente ipotizzata ed indicata in celeste corsivo.

In caso di sensoristica dislocata in posizioni differenti si è cercato di fare riferimento alla posizione del sensore barometrico.

Comune:

È riportato il Comune su cui insiste la stazione.

Località:

È riportata la località di localizzazione della stazione, qualora questa non coincida con il nucleo principale del Comune o in caso di localizzazioni particolari (es. Milano Brera, Roma EUR...).

Ubicazione:

È riportato il luogo di installazione della stazione, ove noto (es. edificio di proprietà A.M., Aeroporto xx, Istituto scolastico yy...).

Logistica:

È riportato il tipo di logistica disponibile per la stazione meteo, ove nota (es. palazzina 3 piani, stanza al 1° piano, ecc.).

Accessibilità:

È riportato il grado di accessibilità della stazione (Aeroporto militare, stazione isolata, ecc.).

Ambientazione:

È riportata la tipologia dell'ambiente circostante (in città, rurale, montagna, ecc.).

Ostacoli:

È riportata, ove nota e sostanziale, la presenza di ostacoli atti a influenzare alcune osservazioni.

Capannina:

È riportata, ove nota, la posizione della capannina meteorologica, di norma contenente i sensori di temperatura (su prato, a finestra, su terrazzo, ecc.)

Classe stazione:

È riportata la classe della stazione (o tipologia equivalente) secondo lo schema indicato nella pagina "Servizi di stazione".

Servizi espletati:

Sono riportati i servizi forniti dalla stazione secondo lo schema indicato nella pagina "Servizi di stazione".

Orario di servizio:

È riportato l'orario UTC della prima e dell'ultima osservazione, indipendentemente dal numero delle osservazioni effettuate durante la giornata.

Archivio:

È riportato il periodo di disponibilità dei dati di osservazione della stazione nell'archivio, cartaceo o informatico, del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica.

CLASSIFICAZIONE E SERVIZI DELLE STAZIONI METEOROLOGICHE

S0	Osservazioni sinottiche orarie 00-24 – 24 osservazioni/giorno
S1	Osservazioni sinottiche triorarie 00-24 – 8 osservazioni/giorno
S2	Osservazioni sinottiche triorarie 03-18 – 6 osservazioni/giorno
S3	Osservazioni sinottiche triorarie 06-18 – 5 osservazioni/giorno
S2*	Osservazioni sinottiche triorarie 06-21 – 6 osservazioni/giorno
S3*	Osservazioni sinottiche triorarie 09-21 – 5 osservazioni/giorno
S3**	Osservazioni sinottiche – <5 osservazioni/giorno
A1	Osservazioni aeronautiche semiorarie 00-24 – 48 osservazioni/giorno
A2	Osservazioni aeronautiche orarie 00-24 – 24 osservazioni/giorno
A3	Osservazioni aeronautiche orarie 04-18 – 15 osservazioni/giorno
A3*	Osservazioni aeronautiche semiorarie 04-18 – 30 osservazioni/giorno
A4	Osservazioni aeronautiche 06-18 – 12 osservazioni/giorno
1° classe	Stazioni che effettuano servizio S0 o S1 o S2 (osservatori principali)
2° classe	Stazioni che effettuano servizio S2 o S3 o S3** (complementari/ausiliarie)
3° classe	Stazioni che effettuano solo osservazioni aeronautiche (sussidiarie)
CLIMA	Stazione solo climatologica

ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI

OMI (IMO)	Organizzazione Meteorologica Internazionale
OMM (WMO)	Organizzazione Meteorologica Mondiale
OACI (ICAO)	Organizzazione Aviazione Civile Internazionale
RBSN	<i>Regional Basic Synoptic Network</i>
RBCN	<i>Regional Basic Climatological Network</i>
GCOS	<i>Global Climate Observing System</i>
EUCOS	<i>European Composite Observing System</i>
UTC	<i>Universal Time Coordinated</i> (Tempo Coordinato Universale)

SYNOP	Messaggio per le osservazioni sinottiche
METAR	Messaggio per le osservazioni aeronautiche
AERO	Messaggio aeronautico simile ma antecedente al METAR
CLIMAT	Medie climatologiche mensili
LIT	Conteggio scariche elettriche
MON	Informazioni supplementari relative alla presenza di nubi sulle montagne
MONT	Osservazioni di nubi con base inferiore al livello della stazione
MTM	Osservazioni per il METEOMAR
OZONE	Osservazioni dell'ozono atmosferico
PH	Valori del QNH osservato
PILOT	Lancio di palloni pilota per la determinazione del vento in quota
PRE	Dati relativi alle precipitazioni
Q	Valori del QNH per la determinazione del minimo livello di volo
RADSAMP	Osservazioni della radioattività dell'aria
SEA/SWELL	Osservazioni dello stato del mare e del mare lungo
SOILTEMP	Misurazioni della temperatura del suolo
SOLRA	Misurazioni della radiazione solare globale
SPECI	Messaggio aeronautico tipo METAR emesso in caso di variazione significativa del tempo (vento, visibilità...)
SUNDUR	Misurazioni della durata dell'insolazione
SYREP	Messaggio riepilogativo giornaliero, nel quale sono riportati i principali valori registrati nell'arco delle 24 ore.
TA	Messaggio riepilogativo della temperatura dell'aria
VAL	Informazioni supplementari relative alle condizioni nuvolose nelle vallate
VB	Variazioni brusche (messaggio simile ma antecedente allo SPECI)
VIS	Informazioni supplementari per la visibilità

UNO SGUARDO AL CLIMA

*di Alessio Canessa, Fabrizio Ciciulla, Davide Mancusi
e Michele Castaldo*

Il clima è il complesso delle condizioni meteorologiche che caratterizzano una località o una regione nel corso dell'anno, mediato su un lungo periodo di tempo. La Rivista di Meteorologia Aeronautica, da sempre attenta alle tematiche di grande interesse ambientale come quelle legate ai cambiamenti climatici, dedica questo spazio alla sintesi dei principali elementi meteo-climatici relativi al trimestre passato, attraverso l'elaborazione di grafici e tabelle riassuntive. Vengono inoltre riportate le tendenze previste (stagionali) di cui si disponeva prima dell'inizio del trimestre analizzato. Infine, una serie di mappe mensili chiudono il quadro complessivo climatico del trimestre esaminato.



In questa uscita, si andrà ad analizzare il trimestre Aprile, Maggio e Giugno 2023 (AMJ 2023). I parametri considerati sono:

- temperatura a 2 m ($^{\circ}\text{C}$);
- precipitazione (mm).

Le rappresentazioni statistiche considerate si riferiscono alle medie e alle anomalie.

Sommario delle osservazioni meteorologiche del trimestre

Come di consueto, ai fini dell'a-

nalisi del trimestre in esame iniziamo col proporvi alcuni grafici relativi alle misure, effettuate presso le stazioni meteorologiche della rete osservativa dell'Aeronautica Militare e dell'ENAV, di due grandezze tra le più importanti per il monitoraggio climatico tra quelle definite dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale come ECV - *Essential Climate Variables*: parliamo, evidentemente, della temperatura e della precipitazione cumulata.

I grafici riportati alla pagina successiva mostrano gli scostamenti - di stazione e complessivi - dei valori di Temperatura media a 2 metri del trimestre Aprile - Maggio - Giugno 2023 (AMJ 2023) dai riferimenti climatici (ovvero, le anomalie rispetto al trentennio 1981-2010). In tali grafici (in alto e al centro) si possono notare valori di anomalia positivi per la maggior parte delle stazioni dell'area settentrionale e per un significativo numero di stazioni

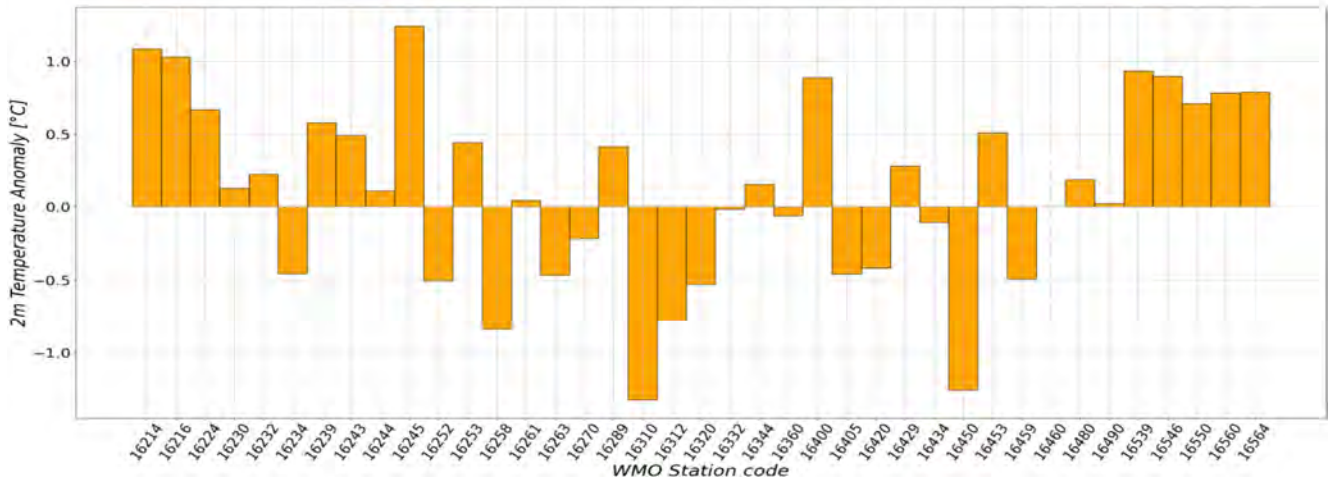
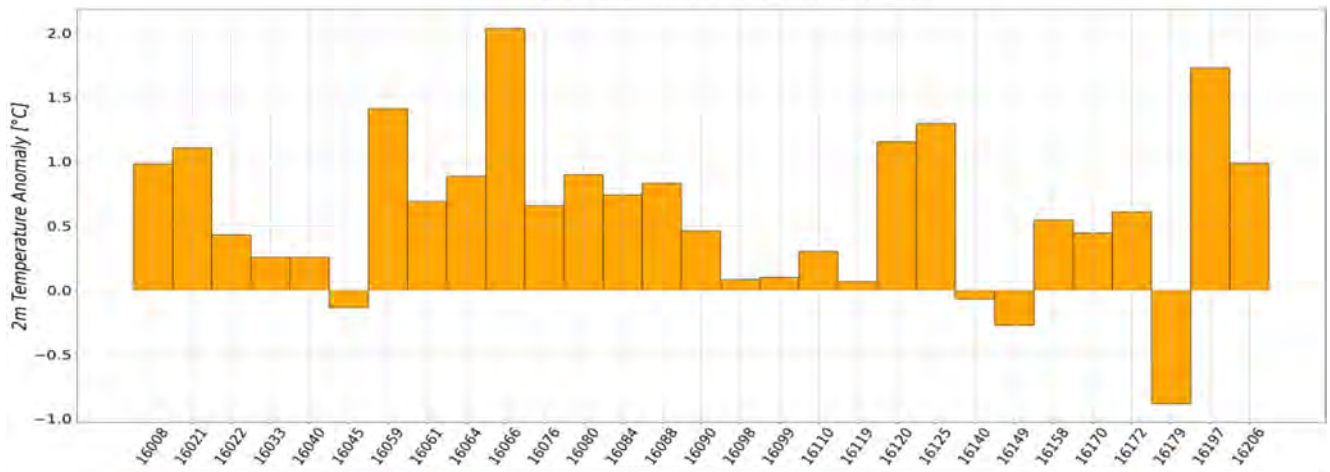
Station name	Station code
San Valentino alla Muta	16008
Passo Rolle	16021
Paganella	16022
Dobbiaco	16033
Tarvisio	16040
Udine Rivolto	16045
Pian Rosa'	16052
Torino Caselle	16059
Torino Bric della Croce	16061
Novara Cameri	16064
Milano Malpensa	16066
Bergamo	16076
Milano Linate	16080
Piacenza	16084
Brescia Ghedi	16088
Verona Villafranca	16090
Treviso Istrana	16098
Treviso Sant'Angelo	16099
Trieste	16110
Mondovì	16114
Passo dei Giovi	16119
Genova Sestri	16120
Sarzana	16125
Monte Cimone	16134
Ferrara	16138
Bologna	16140
Punta Marina	16146
Rimini Miramare	16149
Pisa	16158
Monte Argentario	16168
Firenze Peretola	16170
Arezzo	16172
Frontone	16179
Monte Calamita	16197
Grosseto	16206

Station name	Station code
Civitavecchia	16214
Viterbo	16216
Monte Terminillo	16219
Vigna di Valle	16224
Pescara	16230
Termoli	16232
Guidonia	16234
Roma Urbe	16235
Roma Ciampino	16239
Latina	16243
Frosinone	16244
Pratica di Mare	16245
Campobasso	16252
Grazzanise	16253
Monte S. Angelo	16258
Amendola FOGGIA	16261
Treviso	16263
Bari Palese	16270
Ponza	16280
Napoli Capodichino	16289
Capo Palinuro	16310
Gioia del Colle	16312
Latronico	16316
Brindisi	16320
Marina di Ginosa	16325
Lecce	16332
Monte Scuro	16344
Santa Maria di Leuca	16360
Ustica	16400
Palermo Punta Raisi	16405
Messina	16420
Trapani Birgi	16429
Prizzi	16434
Enna	16450
Gela	16453
Catania Sigonella	16459
Catania Fontanarossa	16460
Cozzo Spadaro	16480
Lampedusa	16490
Capo Caccia	16522
Capo Frasca	16539
Capo S. Lorenzo	16542
Decimomannu	16546
Capo Bellavista	16550
Cagliari Elmas	16560
Capo Carbonara	16564

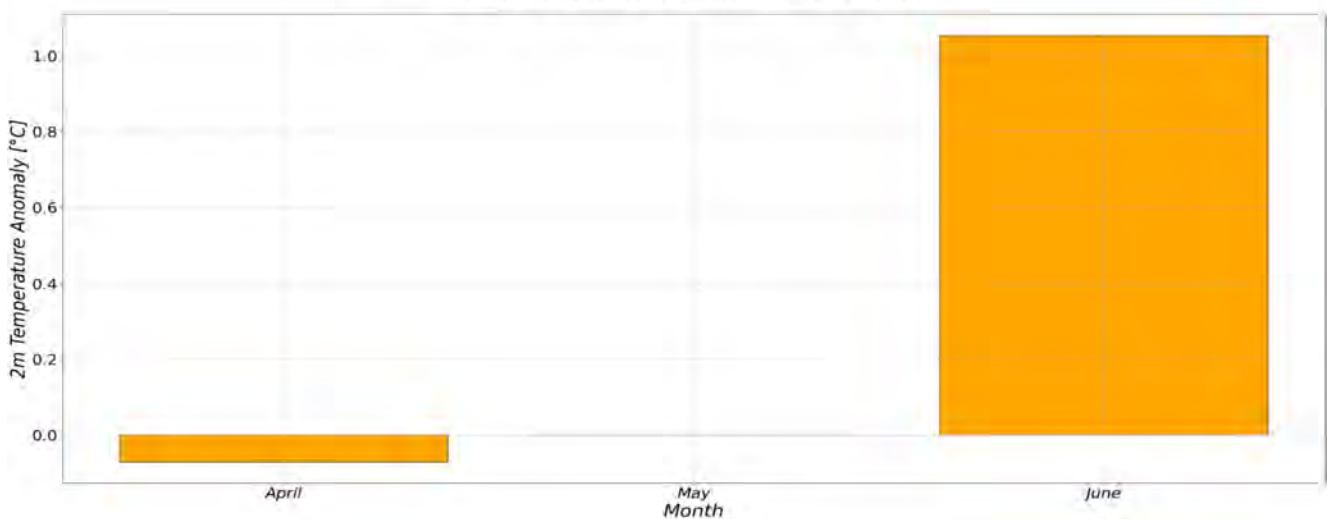
In questa pagina, la Tabella con l'elenco delle stazioni meteorologiche considerate nelle elaborazioni statistiche.

Nella pag. a fianco, in alto e al centro, gli istogrammi di anomalia della Temperatura a 2 metri (grafici di stazione - trimestre AMJ 2023) e (in basso) quello di anomalia mensile della Temperatura a 2 metri, calcolata sull'insieme delle stazioni riportate in tabella.

2m Temperature - Station-based Mean Anomaly - April-May-June
 - Period 1961-2023 - Reference (CINo) 1981-2010 -



2m Temperature - National Mean Anomaly - April-May-June
 - Period 1961-2023 - Reference (CINo) 1981-2010 -



Station Code	Maximum of Daily Mean Temperature Anomaly [°C]	Date	Maximum of Daily Temperature [°C]	Date	Minimum of Maximum Daily Temperature [°C]	Date	Maximum of Minimum Daily Temperature [°C]	Date
16008	5,7	1998-Feb	20,0	1989-Mar	1,5	1964-Jan	-4,0	1997-Mar
16021	5,3	1989-Feb	13,7	1999-Feb	-1,4	2010-Jan	-6,8	2012-Mar
16022	5,3	1998-Feb	11,4	1968-Jan	-2,1	1986-Feb	-7,0	2007-Feb
16033	4,3	2012-Mar	19,1	1987-Jan	1,0	2009-Jan	-4,6	1997-Mar
16040	4,7	1990-Feb	22,7	1989-Mar	2,8	2010-Jan	-2,0	2014-Mar
16045	3,7	2014-Jan	25,6	1977-Mar	9,2	1987-Jan	1,6	2014-Mar
16052	6,0	1991-Feb	22,4	2006-Mar	-11,0	2013-Feb	-13,4	2011-Mar
16059	3,9	2020-Feb	30,1	2007-Feb	7,4	1961-Jan	1,6	2017-Mar
16061	5,1	1997-Mar	24,6	1997-Mar	6,4	2018-Feb	3,0	1997-Mar
16064	3,5	2018-Jan	27,6	2005-Mar	7,0	2010-Jan	2,6	2014-Mar
16066	3,7	2020-Feb	27,7	2002-Mar	7,8	1961-Jan	0,0	2007-Jan
16076	3,5	1961-Feb	27,1	2002-Mar	7,7	1963-Feb	3,0	2014-Mar
16080	3,6	1998-Feb	27,3	1997-Mar	7,4	1969-Jan	3,0	2014-Mar
16084	4,2	2020-Feb	28,0	2002-Mar	6,1	1963-Feb	1,4	2014-Mar
16088	3,7	2018-Jan	27,3	1997-Mar	5,0	1985-Jan	1,3	1994-Mar
16090	4,3	2014-Feb	27,2	2008-Mar	8,1	1964-Jan	3,0	2002-Mar
16098	3,9	2014-Feb	25,9	1977-Mar	8,5	1987-Jan	2,6	2014-Mar
16099	3,9	2014-Feb	25,8	1977-Mar	8,8	1966-Jan	3,6	2014-Mar
16110	3,9	2014-Feb	23,8	2019-Mar	8,9	1967-Jan	6,4	2014-Mar
16114	4,6	1990-Feb	27,0	2015-Mar	7,0	1961-Jan	5,0	1997-Mar
16119	4,1	2007-Jan	20,4	1977-Mar	6,2	2010-Jan	1,0	2017-Mar
16120	3,0	2007-Jan	24,2	2017-Mar	13,0	1963-Jan	7,7	2017-Mar
16125	3,0	2007-Feb	24,4	2021-Mar	12,6	1993-Jan	4,8	2023-Mar
16134	4,7	1990-Feb	11,8	2022-Jan	-2,2	1965-Feb	-5,6	1966-Feb
16138	3,2	2023-Jan	27,6	2008-Mar	7,4	2011-Jan	3,5	1967-Mar
16140	3,8	1998-Feb	32,9	2002-Mar	7,8	1964-Jan	3,4	1989-Mar
16146	4,0	2014-Feb	25,4	1997-Mar	7,6	1987-Jan	4,0	2014-Mar
16149	4,5	2014-Feb	26,6	1977-Mar	8,5	1967-Jan	3,0	2014-Mar
16158	3,7	2014-Feb	24,5	2021-Mar	13,8	2010-Jan	2,8	1972-Mar
16168	4,0	2012-Mar	23,6	2017-Mar	8,2	1980-Jan	6,8	1994-Mar
16170	4,0	2014-Feb	28,5	1995-Mar	13,2	1961-Jan	3,2	1991-Mar
16172	3,8	2001-Mar	24,6	2001-Mar	11,0	1967-Jan	0,2	1997-Feb
16179	4,5	1994-Mar	24,4	1989-Mar	9,0	1964-Jan	4,0	1966-Feb
16197	3,4	2020-Feb	22,4	1961-Feb	10,2	2010-Jan	7,4	1994-Mar
16206	3,4	1966-Feb	25,6	1989-Mar	14,2	1961-Jan	2,6	2017-Mar

dell'area centro-meridionale. Il grafico relativo al valore dell'anomalia mensile della Temperatura media nazionale (in basso alla pag. precedente) indica che valori di anomalia positiva maggiormente significativi sono stati registrati nel solo mese di

Giugno 2023.

Allo scopo di valutare in senso prospettico l'entità di tali anomalie termiche, è stata effettuata l'analisi delle serie storiche dell'anomalia della Temperatura a 2 metri per tutte le stazioni prese in esame, mediata sul tri-

mestre AMJ e relativa a un lungo periodo (1961-2023). In particolare, dal grafico relativo ai valori dell'anomalia della temperatura media del trimestre AMJ 2023 delle stazioni dell'area settentrionale (fig. in alto alla pag. precedente), risultano significativi il dato dell'anomalia positiva registrata dalla stazione di Milano Malpensa (identificativo WMO 16066), superiore a 2 °C, ed il dato dell'anomalia positiva registrata dalla stazione di Monte Calamita (WMO 16197), superiore a 1,5 °C. Tali valori risultano i più elevati tra le stazioni dell'area settentrionale esaminate ma non si tratta di dati di tutto rilievo, in quanto collocati al di sotto dei valori del 95-esimo percentile delle serie storiche corrispondenti. Analogamente, riguardo l'area centro-meridionale (fig. al centro alla pag. precedente), risulta essere particolarmente significativo il dato di anomalia positiva di circa 1,5 °C della temperatura media del trimestre AMJ 2023 registrata su Pratica di Mare (WMO 16245). Lo stesso grafico permette di notare che le stazioni di Lazio e Sardegna risultano essere state caratterizzate dai valori di anomalia positiva maggiormente elevati.

A conferma dei risultati precedenti, dall'analisi dell'archivio storico dei valori estremi della Temperatura a 2 metri (periodo 1961-2023, trimestre AMJ) risulta che, nel mese di Giugno 2023, è stato registrato dalla stazione di Pratica di Mare (WMO 16245) il record storico superiore della

Station Code	Maximum of Daily Mean Temperature Anomaly [° C]	Date	Maximum of Daily Temperature [° C]	Date	Minimum of Maximum Daily Temperature [° C]	Date	Maximum of Minimum Daily Temperature [° C]	Date
16214	2,6	2016-Feb	22,8	2017-Mar	14,8	1989-Jan	7,2	2001-Jan
16216	3,7	2020-Feb	26,5	1991-Mar	11,4	1961-Jan	1,9	1966-Feb
16219	4,9	1994-Mar	30,0	2009-Mar	0,4	1972-Jan	-3,1	1977-Mar
16224	3,1	1990-Feb	23,8	1991-Mar	12,8	2010-Jan	5,4	1989-Mar
16230	4,8	2007-Feb	28,9	2003-Feb	11,8	1964-Jan	3,1	2007-Mar
16232	5,5	2001-Mar	40,0	2010-Mar	10,6	1965-Feb	8,0	2012-Mar
16234	3,7	2016-Feb	27,8	1991-Mar	14,7	1978-Jan	1,8	1989-Mar
16239	3,4	1966-Feb	26,6	1981-Mar	13,0	1989-Jan	3,4	2023-Mar
16243	3,6	2016-Feb	25,4	1981-Mar	14,0	2004-Jan	5,0	1991-Mar
16244	3,2	2020-Feb	26,8	1981-Mar	12,6	2012-Jan	2,2	2023-Mar
16245	3,8	2016-Feb	25,0	1991-Mar	14,0	1981-Jan	5,4	2001-Jan
16252	4,2	1990-Feb	42,0	2019-Mar	8,6	1972-Jan	2,4	1966-Feb
16253	3,8	1966-Feb	44,0	2023-Mar	14,4	2017-Jan	4,8	1991-Mar
16258	4,3	2001-Mar	24,6	2001-Mar	7,4	2006-Jan	2,0	1972-Mar
16261	4,9	2001-Mar	32,0	2001-Mar	14,2	1964-Jan	3,8	2001-Mar
16263	4,9	2014-Feb	21,0	1981-Mar	2,4	1966-Jan	0,4	2014-Feb
16270	4,4	2014-Feb	27,2	1977-Mar	13,0	1964-Jan	5,3	2014-Feb
16280	2,9	2001-Mar	21,3	2023-Mar	12,4	1981-Jan	10,0	2014-Feb
16289	3,6	2016-Feb	27,8	1981-Mar	13,4	1981-Jan	6,0	1991-Mar
16310	3,3	1994-Mar	26,2	1994-Mar	13,4	1981-Jan	8,8	2018-Jan
16312	4,1	2001-Mar	25,6	2001-Mar	11,2	2017-Jan	2,0	1972-Jan
16316	4,1	2001-Mar	24,8	2001-Mar	7,0	2017-Jan	2,2	2014-Feb
16320	4,0	2001-Mar	27,0	2001-Mar	14,2	1993-Feb	6,0	2001-Mar
16325	3,8	2016-Feb	40,0	2020-Feb	14,2	1972-Jan	6,0	2017-Mar
16332	3,9	2001-Mar	28,6	2001-Mar	14,2	1964-Jan	4,2	1972-Mar
16344	4,7	2016-Feb	22,0	2001-Mar	3,2	1969-Jan	-1,0	1991-Mar
16360	3,3	2016-Feb	21,6	2001-Mar	13,0	2003-Feb	9,4	2017-Mar
16400	2,6	2001-Mar	24,0	2001-Mar	12,8	1981-Jan	10,0	2017-Mar
16405	2,9	1977-Feb	31,4	2002-Mar	13,8	2012-Feb	10,0	1964-Mar
16420	2,8	2001-Mar	32,0	2001-Mar	15,4	1981-Jan	11,0	1991-Mar
16429	2,8	2001-Mar	29,4	1981-Mar	15,2	1981-Jan	8,2	2001-Mar
16434	4,6	2001-Mar	26,2	2001-Mar	6,4	1981-Jan	3,0	1994-Mar
16450	3,7	2001-Mar	24,2	2001-Mar	7,6	2005-Feb	3,6	1995-Feb
16453	3,1	2001-Mar	27,6	2001-Mar	15,2	2005-Feb	10,4	2023-Mar
16459	3,2	2001-Mar	34,4	2001-Mar	16,2	1982-Feb	5,4	2001-Mar
16460	2,9	1990-Feb	27,8	2018-Mar	15,8	2003-Feb	4,4	2018-Mar
16480	2,4	2001-Mar	29,4	2001-Mar	15,4	2003-Feb	10,0	1991-Mar
16490	2,5	1990-Feb	25,0	1989-Feb	16,0	1983-Jan	12,0	1990-Feb
16522	3,0	1990-Feb	26,6	2001-Mar	13,2	1978-Jan	8,8	1989-Mar
16539	3,1	2016-Feb	27,2	2001-Mar	14,0	2005-Jan	8,0	1978-Mar
16542	4,6	2017-Feb	29,8	1981-Mar	14,2	2012-Feb	8,4	2017-Mar
16546	3,1	2001-Mar	31,8	2001-Mar	15,4	1981-Jan	4,4	1991-Mar
16550	4,6	2001-Mar	31,4	2001-Mar	15,4	1992-Jan	8,2	1966-Feb
16560	3,2	2001-Mar	26,2	2001-Mar	15,4	1973-Feb	6,2	1972-Mar
16564	2,9	1990-Feb	25,2	2001-Mar	15,4	1972-Jan	10,8	1997-Mar

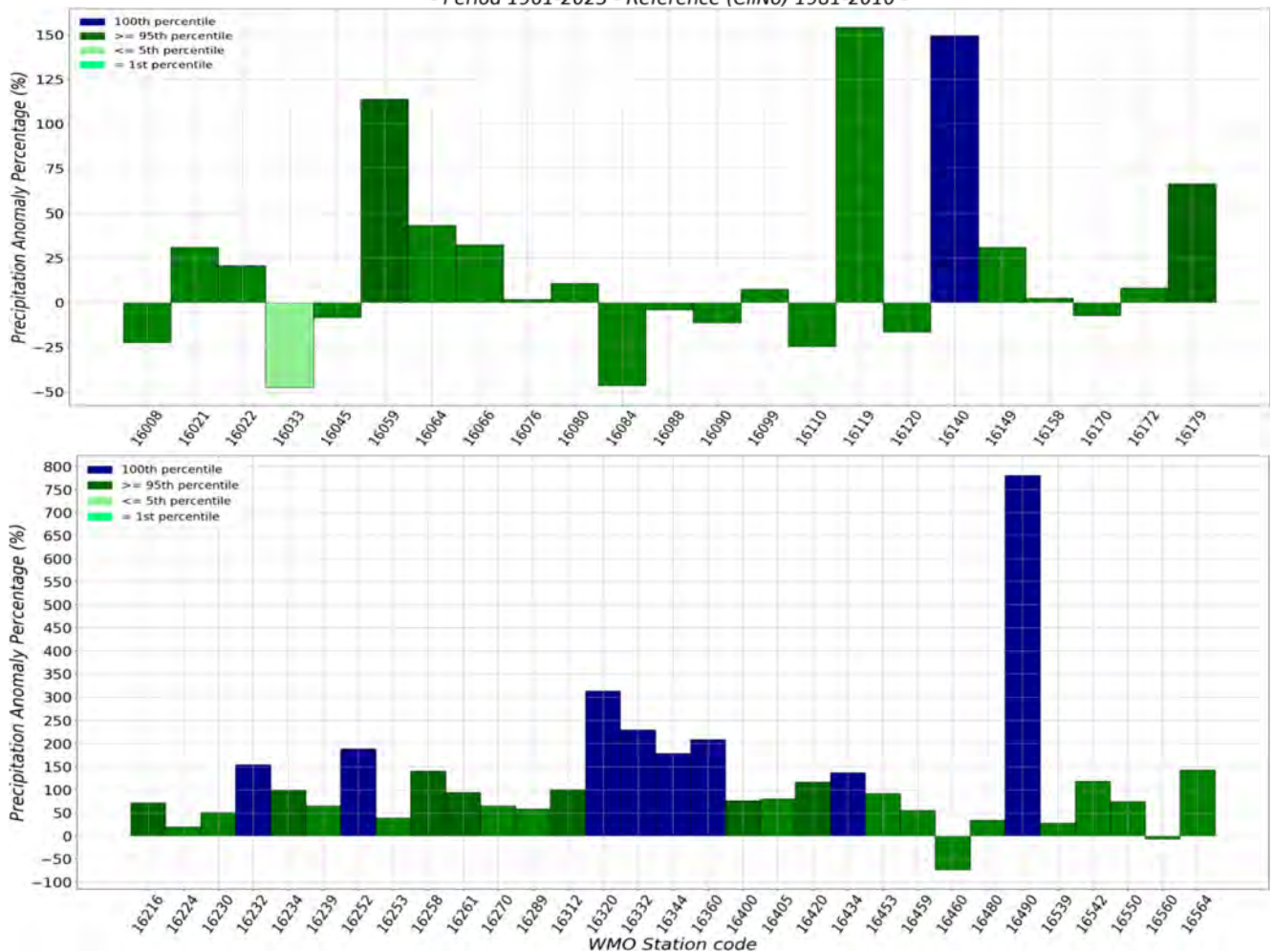
Temperatura Minima del periodo, pari 16,4 °C. Altrettanto significativo è stato il valore di 6,8 °C della Temperatura Minima del periodo, registrato a Giugno dalla stazione di Monte Terminillo (WMO 16219), corrispondente al record storico superiore per

la stazione. I due grafici riportati alla pag. successiva mostrano gli scostamenti percentuali dei valori di Precipitazione Cumulata del trimestre Aprile - Maggio - Giugno 2023 (AMJ 2023) rispetto ai riferimenti climatici (ovvero, le

Nella pag. precedente e in questa pagina, le tabelle con gli estremi storici della Temperatura a 2 metri e della relativa anomalia rispetto al trentennio 1981-2010 misurati dalle stazioni riportate nella tabella con l'elenco - trimestre AMJ 1961-2023. Nelle pagg. successive, l'anomalia della Precipitazione Cumulata - grafici di stazione - del trimestre AMJ 2023, l'anomalia mensile della Precipitazione Cumulata calcolata sull'insieme delle stazioni considerate e l'anomalia della Precipitazione Cumulata (annua e massima nelle 24 ore, in termini percentuali) per la stazione di Bologna e quella (annua) riferita alla stazione di Lampedusa. A seguire, per il trimestre considerato, gli istogrammi di probabilità per le tendenze stagionali di temperatura e precipitazione, la rappresentazione geografica delle tendenze stagionali di temperatura e precipitazione e le mappe di Temperatura e Geopotenziale a 500 hPa, di Temperatura a 2 metri e di SST (Sea Surface Temperature) con le relative mappe di anomalia.

anomalie, in percentuale, rispetto al trentennio 1981-2010). Dal grafico in alto si nota uno scostamento positivo per un numero significativo di stazioni dell'area settentrionale, che per alcune delle stazioni in esame è superiore al 100%, mentre per le

Precipitation - Station-based Mean Anomaly - April-May-June 2023 -
 - Period 1961-2023 - Reference (ClnNo) 1981-2010 -



stazioni dell'area centro-meridionale (grafico in basso in questa pagina) si osserva uno scostamento positivo superiore al 100% (in alcuni casi superiore anche al 200%) per la maggior parte delle stazioni considerate.

Allo scopo di valutare in senso prospettico l'entità di tali anomalie è stata effettuata l'analisi delle relative serie storiche (trimestre AMJ) sul periodo 1961-2023 per tutte le stazioni prese in esame; pertanto nei grafici in alto sono stati evidenziati i dati relativi

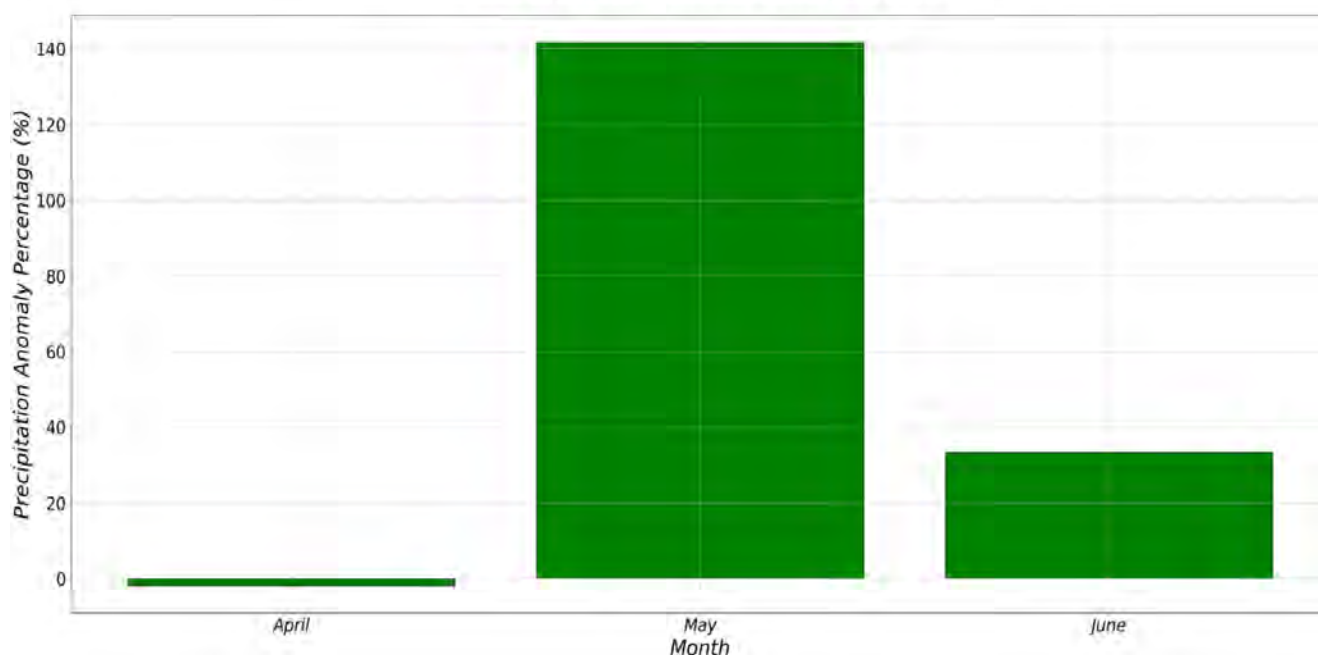
ad eventi che si possono considerare di tutto rilievo (ovvero, quelli che si collocano al di sopra del 95-esimo percentile o al di sotto del quinto percentile della serie corrispondente) o del tutto eccezionali poiché collocati esattamente al 100-esimo percentile o al primo percentile della serie stessa.

Dall'analisi delle serie storiche relative al trimestre AMJ, il valore di anomalia positiva di precipitazione registrato quest'anno dalla stazione di Torino Caselle

(WMO 16059), superiore al 100%, ed il valore di anomalia positiva di precipitazione registrato dalla stazione di Frontone (WMO 16179), costituiscono un dato di tutto rilievo tra le stazioni dell'area settentrionale. Si può inoltre notare il valore di anomalia percentuale positiva di precipitazione (pari a circa il 150%) registrato nel trimestre AMJ 2023 dalla stazione di Passo dei Giori (WMO 16119). Tale valore non rappresenta, tuttavia, un dato di rilievo, poiché collocato di sotto

Precipitation - National Mean Monthly Anomaly - April-May-June 2023

- Period 1961-2023 - Reference (ClnNo) 1981-2010 -



del 95-esimo percentile della serie storica corrispondente. In relazione all'alluvione avvenuto in Emilia-Romagna nel mese di Maggio u.s., è utile soffermarsi sul dato di anomalia della precipitazione registrata nel trimestre AMJ 2023 dalla stazione di Bologna (WMO 16140); la provincia di Bologna è stata, infatti, interessata dal 1 al 16 Maggio 2023 da diversi eventi di precipitazione caratterizzati da durata e quantitativi cumulati particolarmente significativi. L'anomalia positiva di precipitazione, di circa il 150%, relativo alla stazione di Bologna ed evidenziata nel grafico della pag. precedente, rappresenta un dato eccezionale, collocato al 100-esimo percentile della relativa serie storica del periodo 1961-2023, come indicato dai rispettivi grafici (fig. alla pag.

successiva).

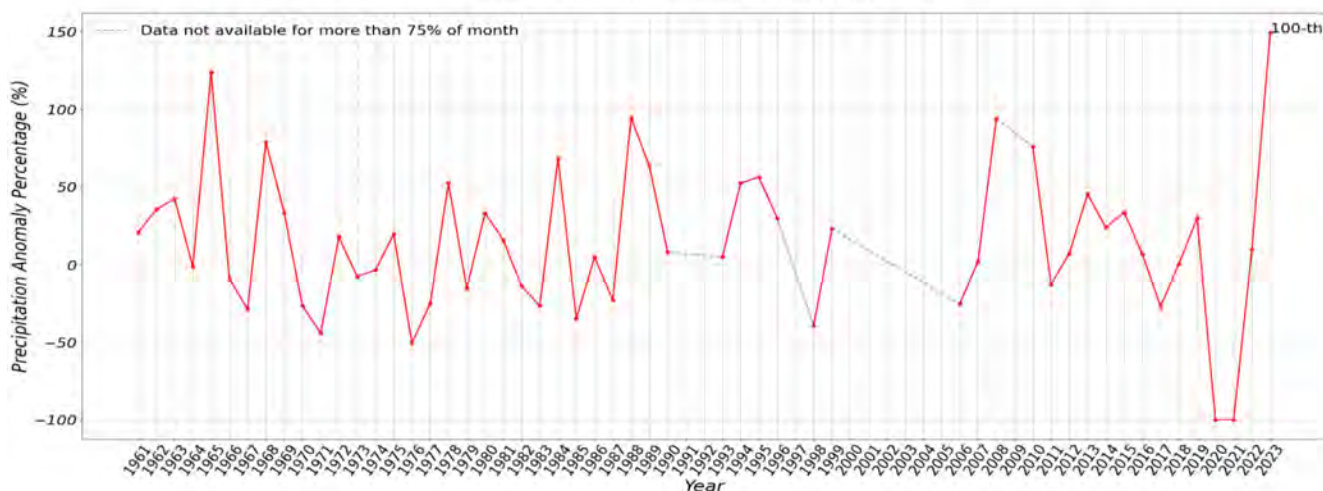
Dai dati da archivio della rete osservativa AM risulta che, a partire dal 1 Maggio 2023, si sono effettivamente susseguiti 3 giorni dal cumulo complessivo di precipitazione di circa 136 mm ed un cumulo giornaliero compreso tra 18 mm e 93 mm circa. Quest'ultimo può essere considerato per Bologna un dato eccezionale, in quanto collocato al 100-esimo percentile della serie storica del valore massimo di Precipitazione Cumulata in 24 ore (trimestre AMJ, periodo 1961-2023). Successivamente a tale evento sono stati registrati circa 38 mm e 28 mm di precipitazione cumulata in 24 ore, rispettivamente nei giorni 10 e 12 Maggio 2023, fino ad arrivare ad un evento di precipitazione di 6 giorni consecutivi, a partire dal

16 Maggio 2023, caratterizzato da un cumulo di precipitazione registrato, in 24 ore, di circa 38 mm e 45 mm nei primi due giorni e da un cumulo complessivo sui 6 giorni di circa 107 mm.

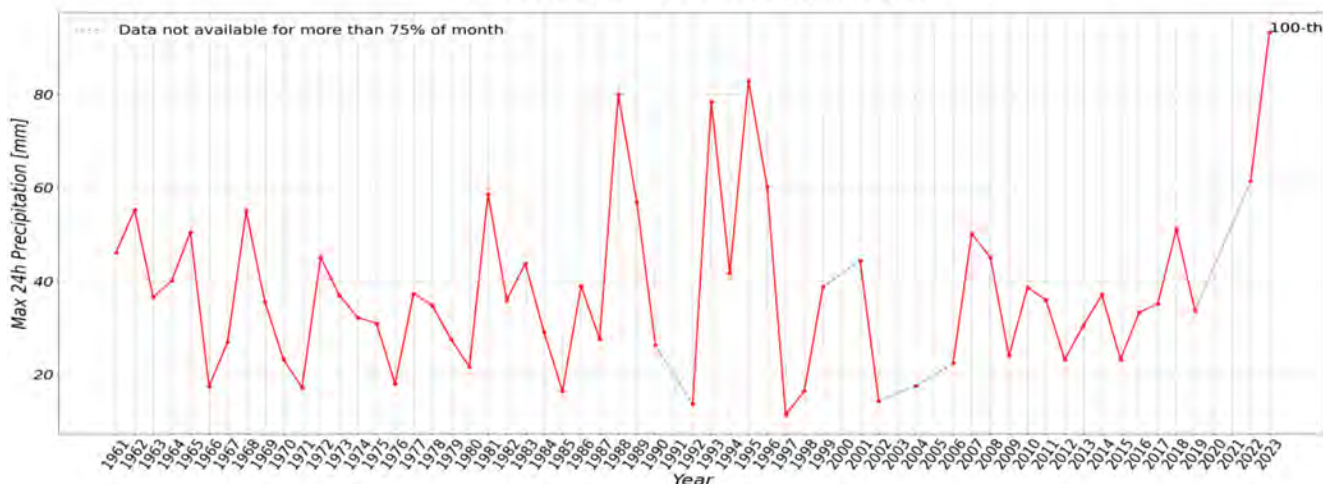
Un'analisi analoga, condotta per l'area centro-meridionale, indica che gli scostamenti positivi del valore di Precipitazione Cumulata nel trimestre AMJ 2023 risultano essere un dato di tutto rilievo per un numero significativo di stazioni, con riscontri al di sopra del 95-esimo percentile delle serie storiche corrispondenti, ad eccezione delle stazioni della Sardegna.

Per alcune di tali stazioni, i valori positivi di anomalia di precipitazione registrati possono essere considerati eccezionali, collocandosi esattamente al 100-esimo percentile delle serie storiche

Precipitation - Station Anomaly Time Series - April-May-June 2023 - 16140 -
- Period 1961-2023 - Reference (CINo) 1981-2010 -



Precipitation - Station Monthly Max 24h Precipitation Time Series - April May June 2023 - 16140 -
- Period 1961-2023 - Reference (CINo) 1981-2010 -

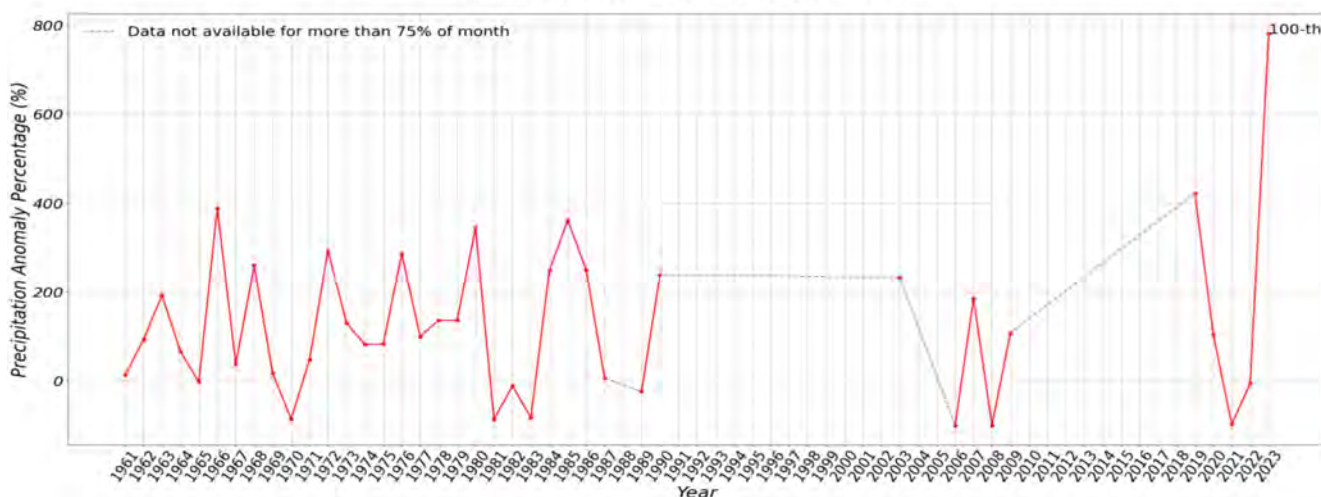


corrispondenti. I valori maggiormente significativi sono quelli relativi alle stazioni della Puglia sud-orientale - tra cui le stazioni di Brindisi (WMO 16320), Lecce (WMO 16332) e Santa Maria di Leuca (WMO 16344) - ed il dato relativo alla stazione di Lampedusa (WMO 16490). Quest'ultimo raggiunge uno scostamento di circa l'800% del cumulato complessivo percentuale delle precipitazioni mensili di Aprile, Maggio e Giugno 2023 (pari,

nell'ordine, a circa 23 mm, 44 mm e 26 mm), rispetto ai corrispondenti riferimenti climatici del trentennio 1981-2010, tutti inferiori ai 2 mm. Tale risultato è confermato dal grafico (in alto alla pag. successiva) della serie storica del valore di Precipitazione Cumulata del trimestre AMJ 2023, nel periodo 1961-2023. Nell'analisi descritta finora, ci siamo concentrati sui dati relativi a valori positivi degli scostamenti della Precipitazione Cumulata

nel trimestre AMJ 2023. Tuttavia, nei grafici di anomalia delle aree settentrionale e centro-meridionale, visti in precedenza, occorre notare anche il dato di anomalia negativa, di circa il 50%, relativo alle stazioni di Dobbiaco (WMO 16033) e Piacenza (WMO 16084) e alla stazione di Catania Fontanarossa (WMO 16460). In particolare, solamente il dato relativo alla stazione di Dobbiaco può considerarsi di tutto rilievo, collocandosi al di sotto del quin-

Precipitation - Station Anomaly Time Series - April-May-June 2023 - 16490 -
 - Period 1961-2023 - Reference (CINo) 1981-2010 -



to percentile della serie storica corrispondente.

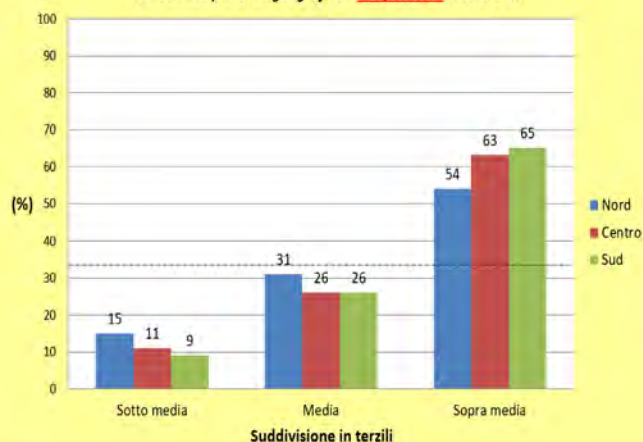
Tendenze stagionali

Oggigiorno le previsioni meteorologiche, con indicazioni sull'evoluzione del tempo in singole località, si limitano a coprire solo pochi giorni. Ciò è dovuto al carattere caotico dell'atmosfera: piccole, ma inevitabili, incertezze sulla misurazione dello stato iniziale dell'atmosfera si amplifi-

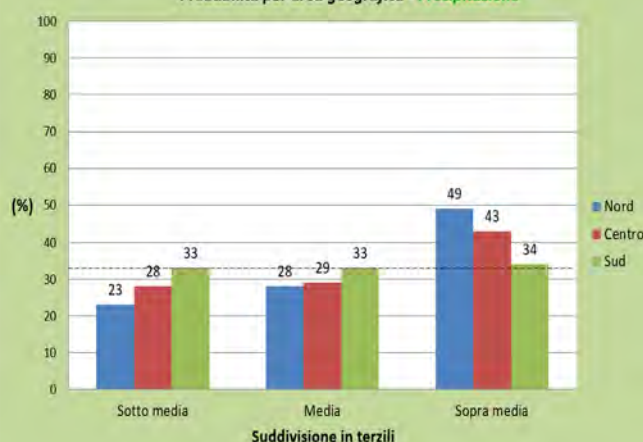
cano in maniera spesso esponenziale, determinando l'impossibilità di prevedere con sufficiente precisione lo stato futuro dell'atmosfera già oltre pochi giorni soltanto. Non è quindi possibile elaborare previsioni meteorologiche di dettaglio per settimane o mesi. Tuttavia, in funzione della situazione, si possono prevedere dei *trend* delle condizioni meteorologiche medie. La tecnica che si è perfezionata negli ultimi anni

mira a ridurre l'influenza dei processi atmosferici caotici a breve termine, a fronte di un aumento di quella esercitata da altri fattori, più rilevanti in termini climatici, con il risultato complessivo di ampliare considerevolmente il periodo utile di previsione che può, così facendo, raggiungere più mesi. Tra questi fattori climatici, detti *drivers*, ricordiamo l'umidità del suolo, l'innevamento dei continenti e, soprattutto, le

Previsioni Stagionali - trimestre AMJ 2023 (ECMWF - SEAS5)
 Probabilità per area geografica - **Temperatura** media a 2m



Previsioni Stagionali - trimestre AMJ 2023 (ECMWF - SEAS5)
 Probabilità per area geografica - **Precipitazione**





condizioni degli oceani.

Una corretta stima dello stato di questi ed altri fattori a rilevanza climatologica può consentire di elaborare tendenze meteorologiche a lungo termine, di tipo mensile o stagionale.

La possibilità reale di elaborare prodotti previsionistici a lungo termine è legata alla disponibilità di sofisticati modelli numerici, in genere di tipo *Ensemble Atmospheric Model* (ENS - ECMWF). A differenza delle previsioni meteorologiche classiche, le previsioni a lungo termine sono realizzate con un approccio probabilistico e si esprimono in termini di anomalia di ciascun parametro considerato, rispetto al valore medio climatologico, calcolata su un periodo più o meno lungo (settimana, mese, trimestre).

Il modello ECMWF per le previsioni stagionali è chiamato

semplicemente *Seasonal Forecast* (SEAS) e copre fino a 7 mesi, con corsa mensile (il giorno 5 del mese) o fino a 13 mesi, con corsa trimestrale.

In sintesi, le previsioni a lungo termine rappresentano delle tendenze di massima dell'andamento atmosferico atteso e, pertanto, costituiscono solo delle indicazioni medie di ciò che possiamo ragionevolmente aspettarci nel periodo indicato. Hanno quindi lo scopo di fornire, per quanto possibile e nei limiti del reale stato dell'arte in questo settore, uno sguardo generale probabilistico sulle prossime settimane, mesi e/o trimestri, spesso indicando valori di probabilità, per un dato parametro, di trovarsi o meno in uno specifico terzile statistico.

Di seguito vengono riportate le tendenze stagionali relative al trimestre Aprile - Maggio - Giugno 2023 (AMJ 2023) elaborate il 15

marzo 2023, per finalità di protezione civile, attraverso l'impiego del modello stagionale ECMWF SEAS5.

Gli istogrammi di probabilità di cui sopra rappresentano in maniera completa e oggettiva l'informazione di cui si dispone, ad ogni corsa dei modelli stagionali, per ciascuno dei due parametri considerati e per ciascuna delle aree geografiche selezionate. Infatti, ogni colonna rappresenta, per una determinata area, la probabilità di trovare il parametro considerato in uno specifico terzile, permettendo così di stimare a priori possibili anomalie. La linea nera tratteggiata segna il valore di probabilità del 33,3%, che rappresenta la soglia sotto la quale l'informazione non risulta significativa. La situazione estrema in cui le barre indicano approssimativamente tale valore sui tre terzili (equa probabilità)

si considera come assenza di segnale, ovvero l'impossibilità di disporre di informazioni potenzialmente utili.

Un'altra rappresentazione possibile è quella su geografia, che offre una migliore localizzazione del parametro atteso rispetto al territorio, ma limita il contenuto complessivo dell'informazione rappresentata. In pratica, con questa rappresentazione, viene segnalata esclusivamente la probabilità più alta tra i tre terzi, tralasciando quella degli altri. In analogia a quanto già mostrato con gli istogrammi, di seguito vengono riportate le tendenze stagionali elaborate in rappresentazione geografica, lo stesso giorno per lo stesso trimestre AMJ 2023.

Sintesi delle condizioni atmosferiche medie relative al trimestre considerato

Completiamo la descrizione sintetica delle condizioni atmosferiche medie del trimestre AMJ 2023 con l'ausilio dei campi di Analisi del modello dell'ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), che consente, attraverso elaborazioni complesse dei dati meteorologici osservati a livello del suolo e in quota, di ricostruire con buona approssimazione lo stato dell'atmosfera, in termini delle grandezze fisiche principali (Temperatura, Pressione, Umidità, Vento, ecc.).

Nelle pagine che seguono vengono riportate le mappe dei valori mensili medi e delle relative

anomalie (rispetto al riferimento climatico, calcolato sul trentennio 1981-2010) dei mesi di Aprile - Maggio - Giugno 2023 per le seguenti grandezze meteorologiche:

- Temperatura e Geopotenziale a 500 hPa;

- Temperatura a 2 metri;

- SST (*Sea Surface Temperature*).

Tali mappe di anomalia (ovvero, degli scostamenti positivi o negativi) consentono di caratterizzare climaticamente il periodo in esame, offrendo ulteriori spunti di analisi utili a collegare le configurazioni dei campi di Temperatura e Geopotenziale alla media troposferica (500 hPa) con quelle dei campi in superficie (T2m, SST).

In particolare:

- la Temperatura a 2 metri nel mese di Aprile ha fatto registrare valori di anomalia leggermente negativi sui rilievi alpini e appenninici, come su buona parte delle regioni meridionali. Altrove la temperatura si è attestata su valori in linea con la media del periodo, ad eccezione delle zone pianeggianti e pedemontane settentrionali che, al contrario, hanno fatto registrare valori lievemente superiori ai normali climatici. Nel mese di Aprile l'anomalia della temperatura superficiale dei mari intorno all'Italia non ha mostrato valori significativi, seppur di lieve segno positivo quasi ovunque, tranne il Tirreno centrale, l'Adriatico settentrionale e meridionale, lo Ionio e parte dello stretto di Sicilia, settori ove i valori di

SST sono in linea con le medie del periodo;

- situazione termica non dissimile a quella del mese di Aprile, con anomalie negative su rilievi e su alcune parti delle regioni meridionali, ed anomalie positive sulle pianure e le zone pedemontane del settentrione. Nel mese di Maggio su gran parte dei bacini italiani la temperatura superficiale ha mostrato valori nella media o lievemente inferiori ai valori climatici del periodo, tranne che per Mar Ligure, Mare di Corsica, Mare di Sardegna e, localmente, su aree del Tirreno settentrionale e meridionale e sull'Adriatico centrale, dove sono stati osservati valori di anomalia dell'SST lievemente positivi;

- nel mese di Giugno si consolida l'anomalia positiva di temperatura al nord, tranne che sulle estreme regioni alpine, e su ampie zone del centro.

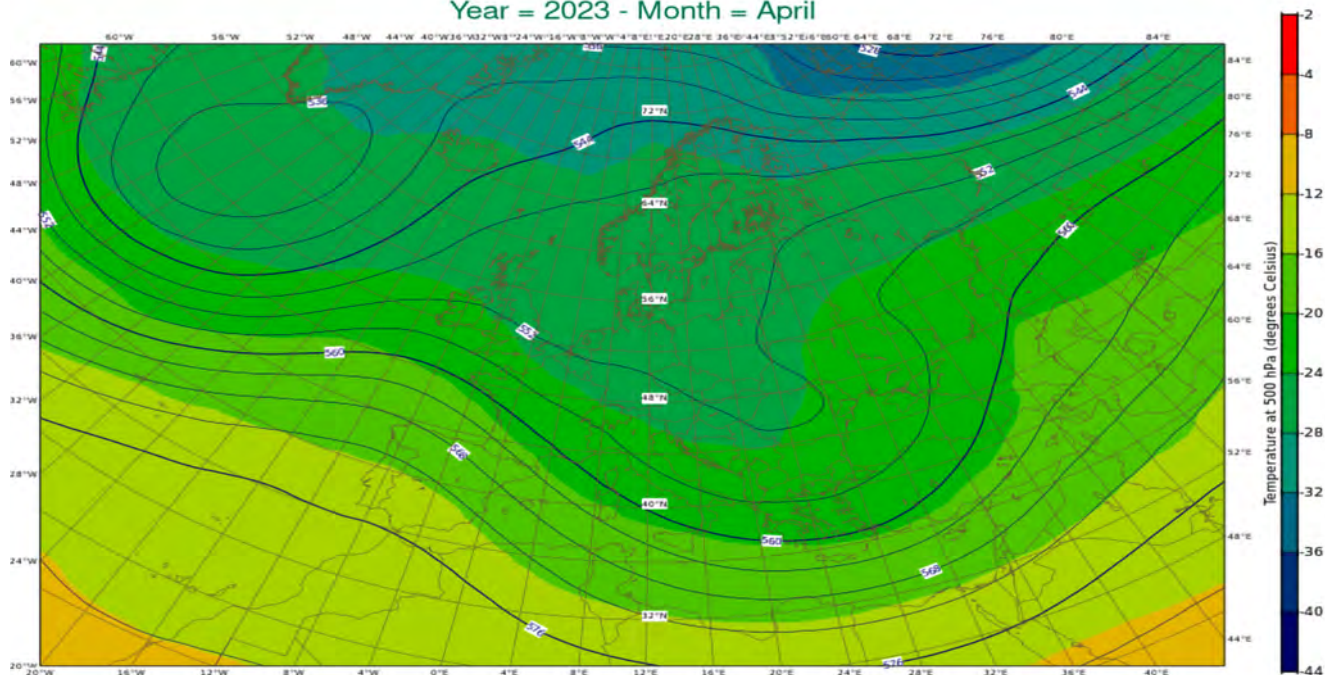
Anomalia lievemente negativa sui rilievi appenninici, mentre al sud prevalgono condizioni in linea con le medie del periodo, ovvero ad anomalia sostanzialmente nulla. Nel mese di Giugno, i valori di anomalia dell'SST sono stati ovunque positivi rispetto ai valori climatici 1981-2010, con eccezione di buona parte dello Stretto di Sicilia e dello Ionio meridionale; gli scostamenti più marcati si sono verificati sui bacini occidentali ed, in particolare, su Mar Ligure, Tirreno settentrionale, Mare di Corsica e Mare di Sardegna. ■

© Riproduzione riservata

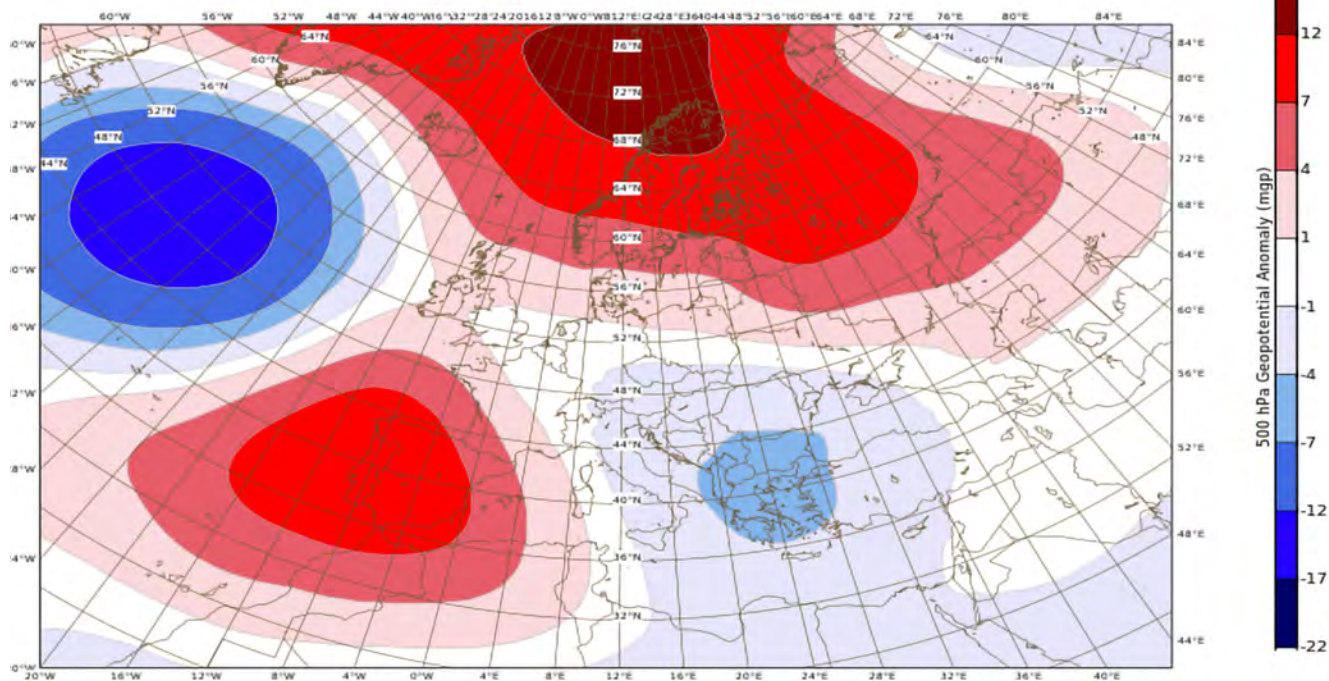
500 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

ECMWF Analysis Dataset

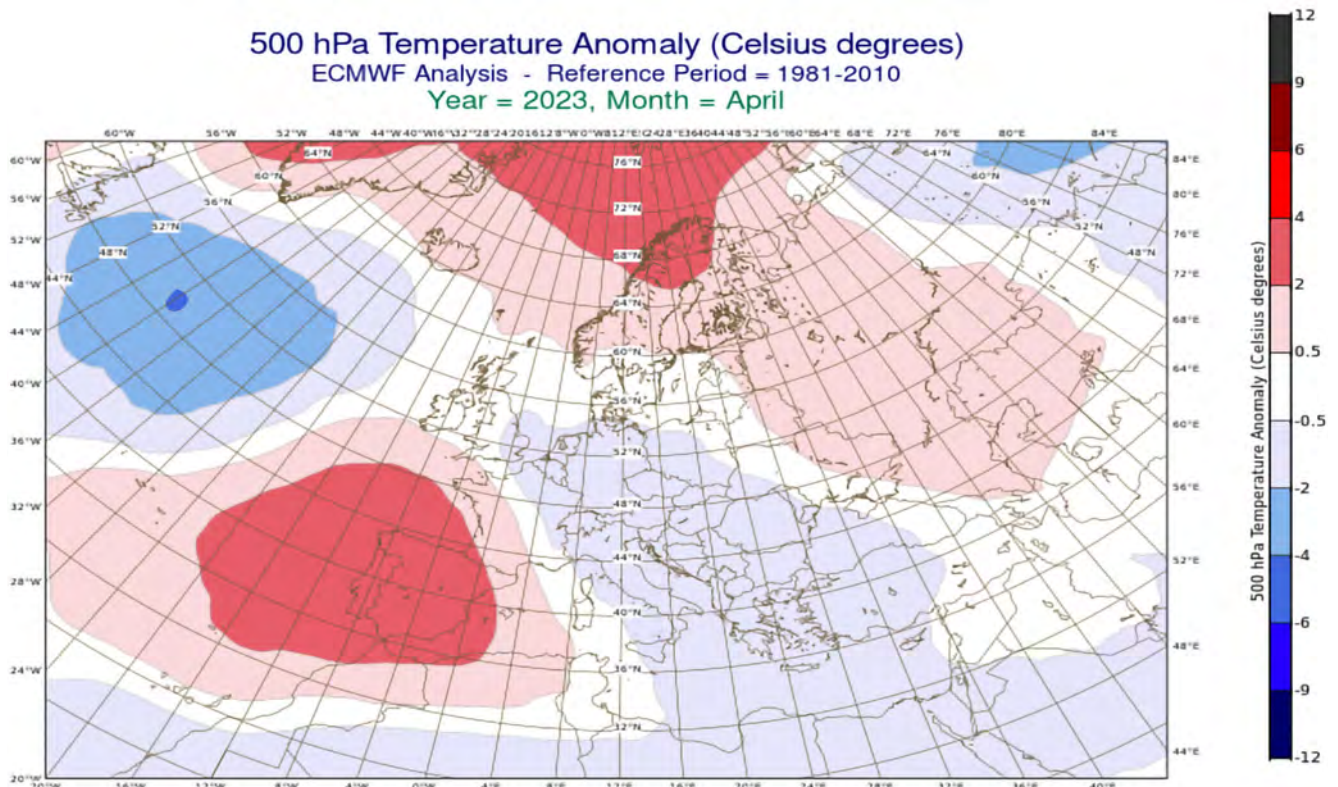
Year = 2023 - Month = April



500 hPa Geopotential Anomaly (mcp) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = April



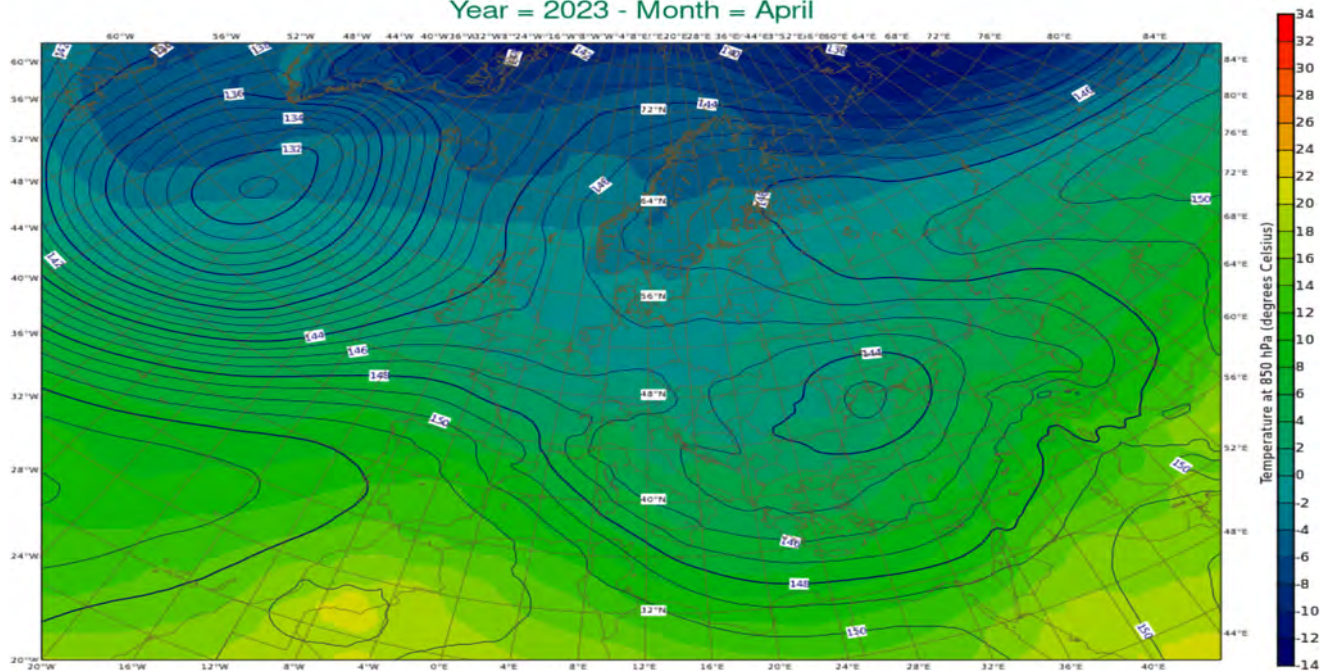
500 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = April



850 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

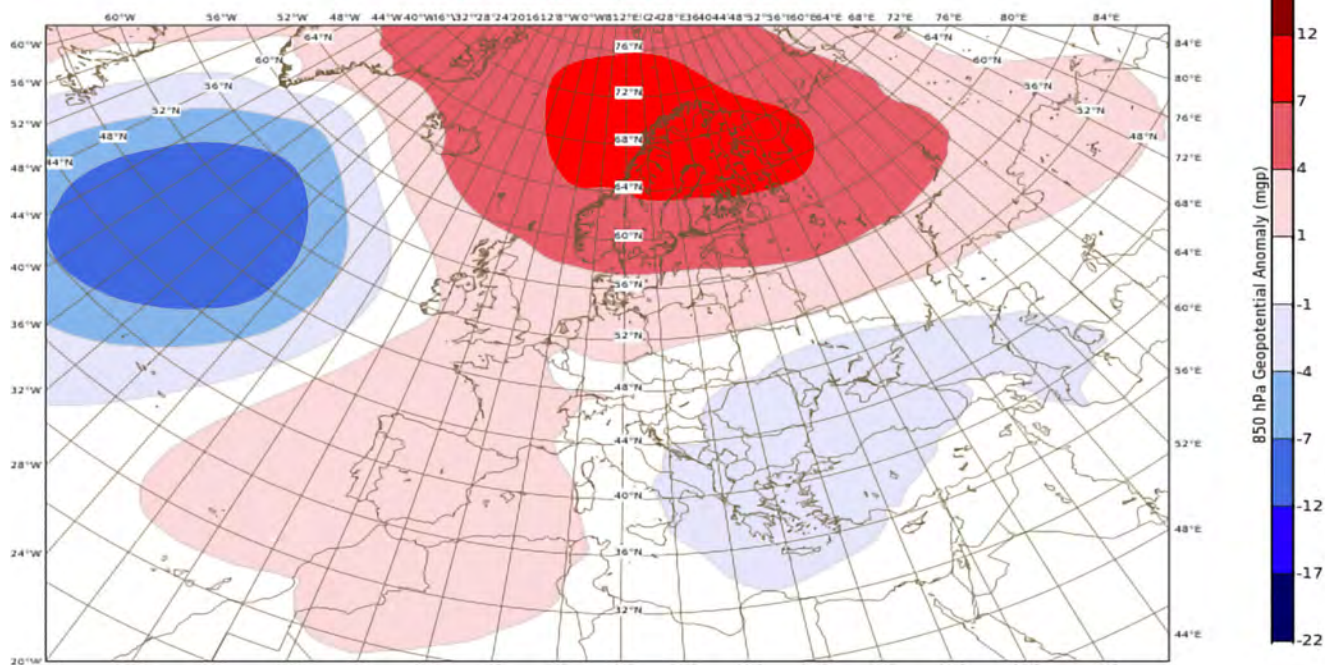
ECMWF Analysis Dataset

Year = 2023 - Month = April



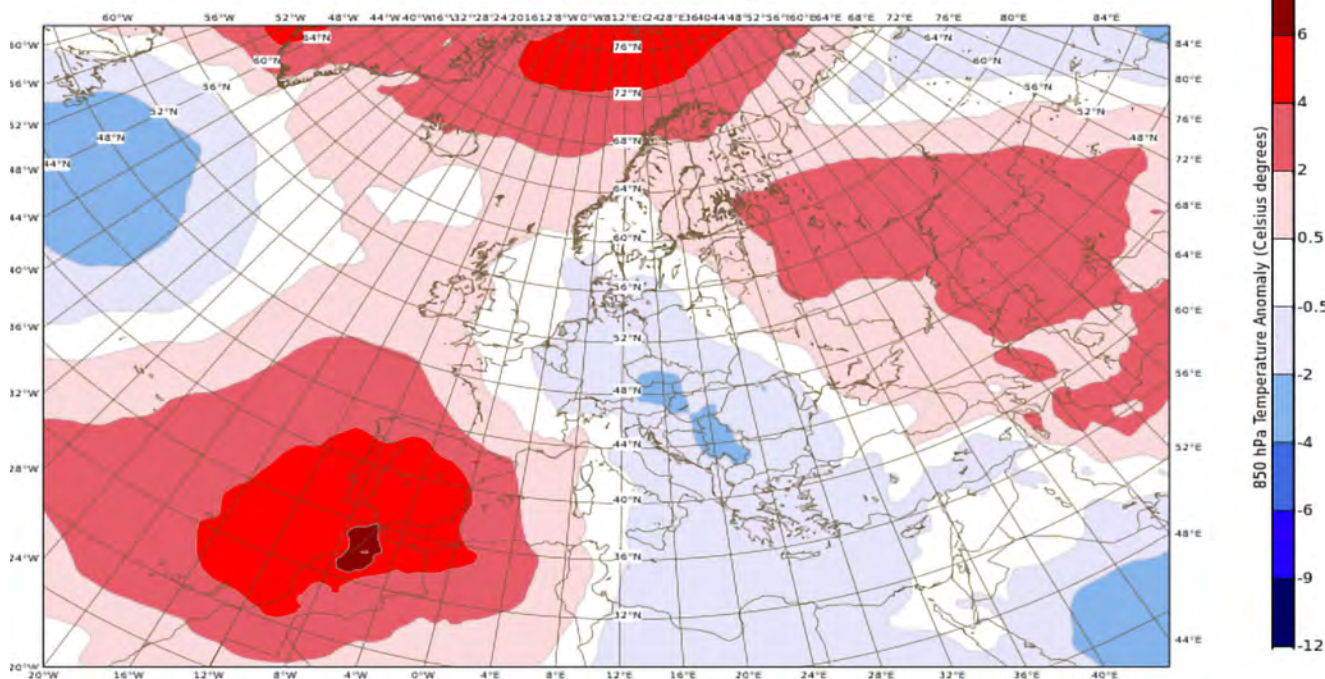
850 hPa Geopotential Anomaly (mcp)

ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = April



850 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees)

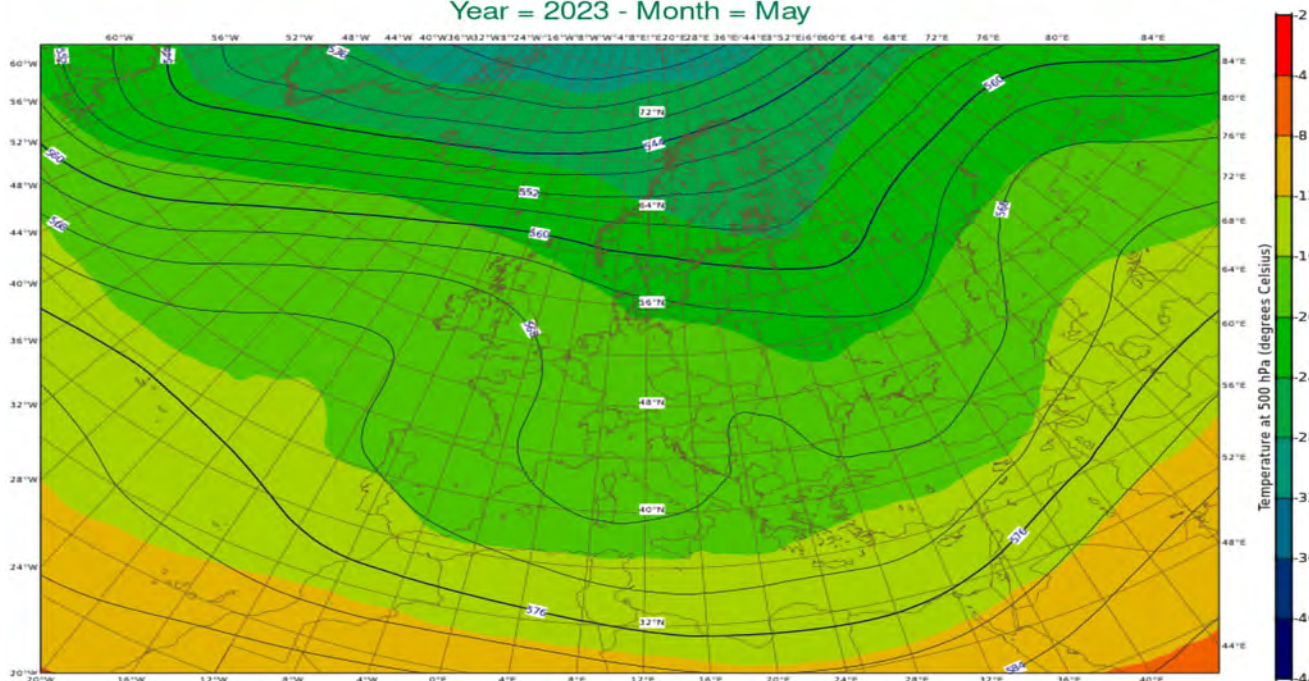
ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = April



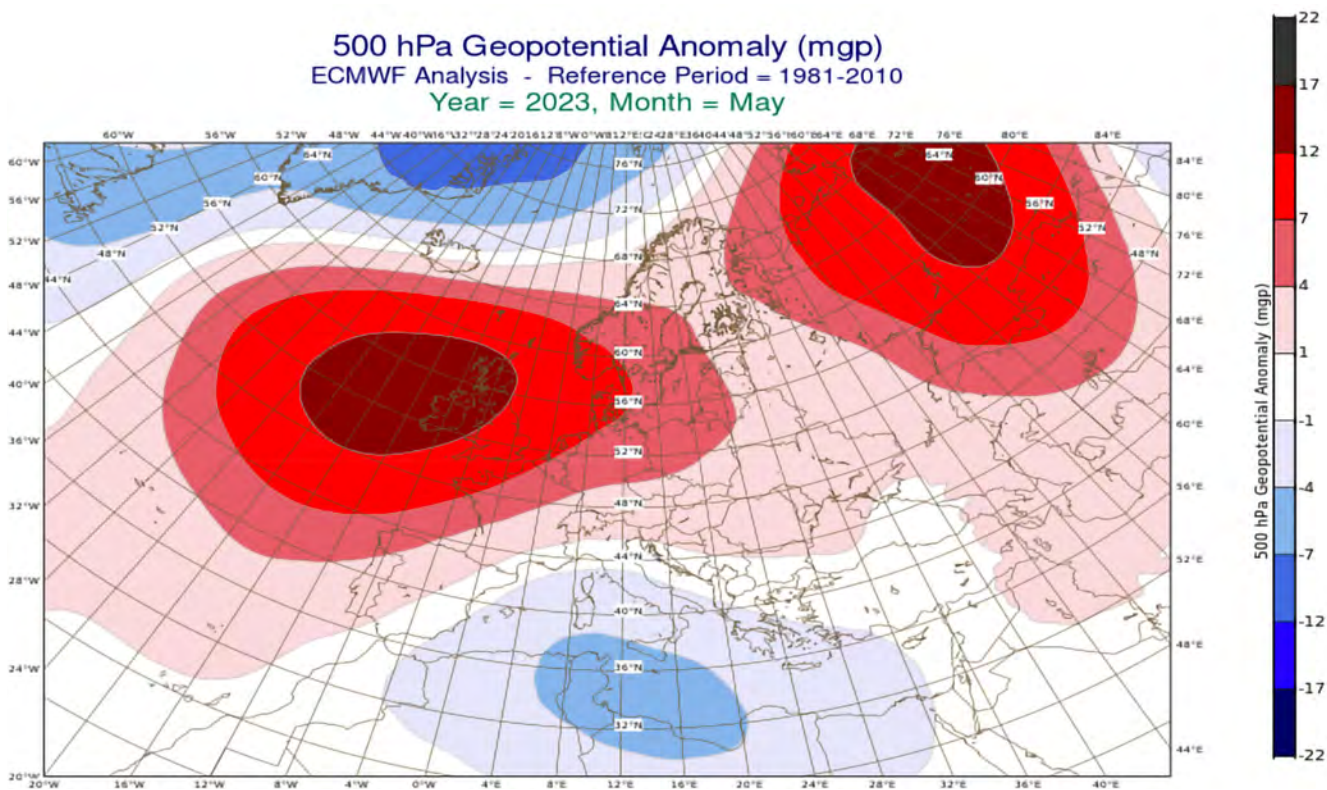
500 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

ECMWF Analysis Dataset

Year = 2023 - Month = May

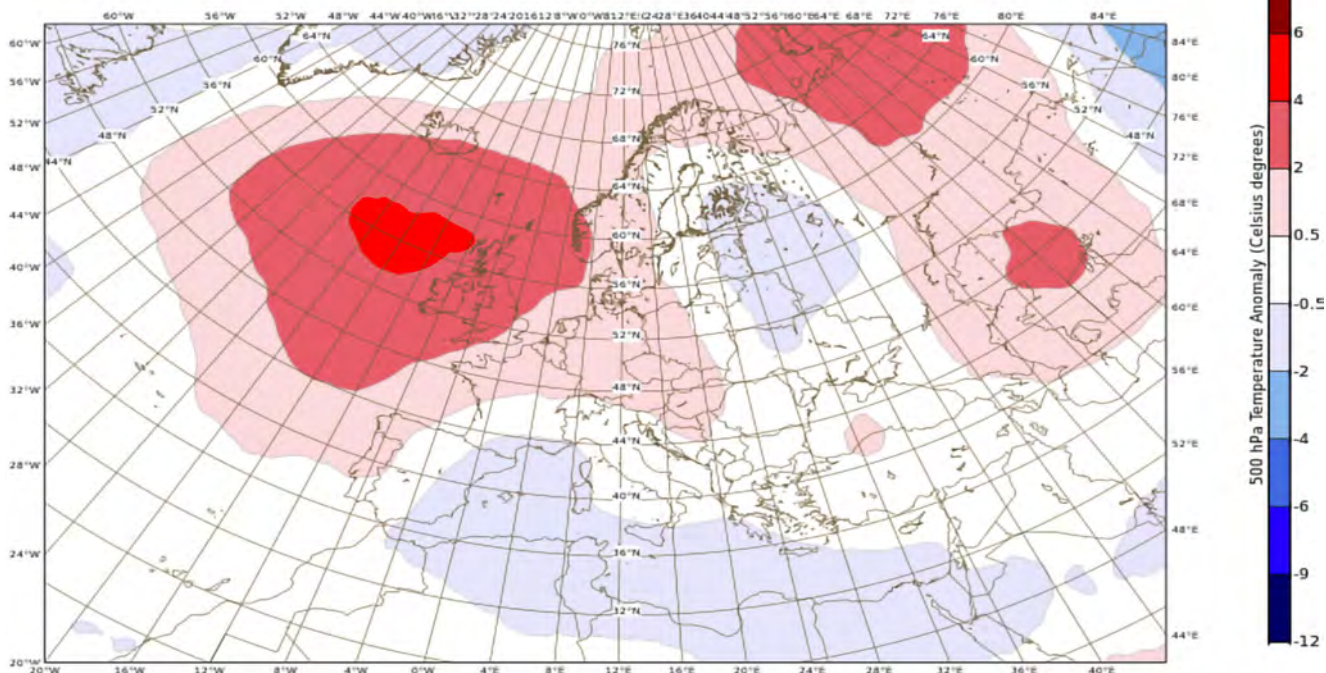


500 hPa Geopotential Anomaly (mvp)
ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = May



500 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees)

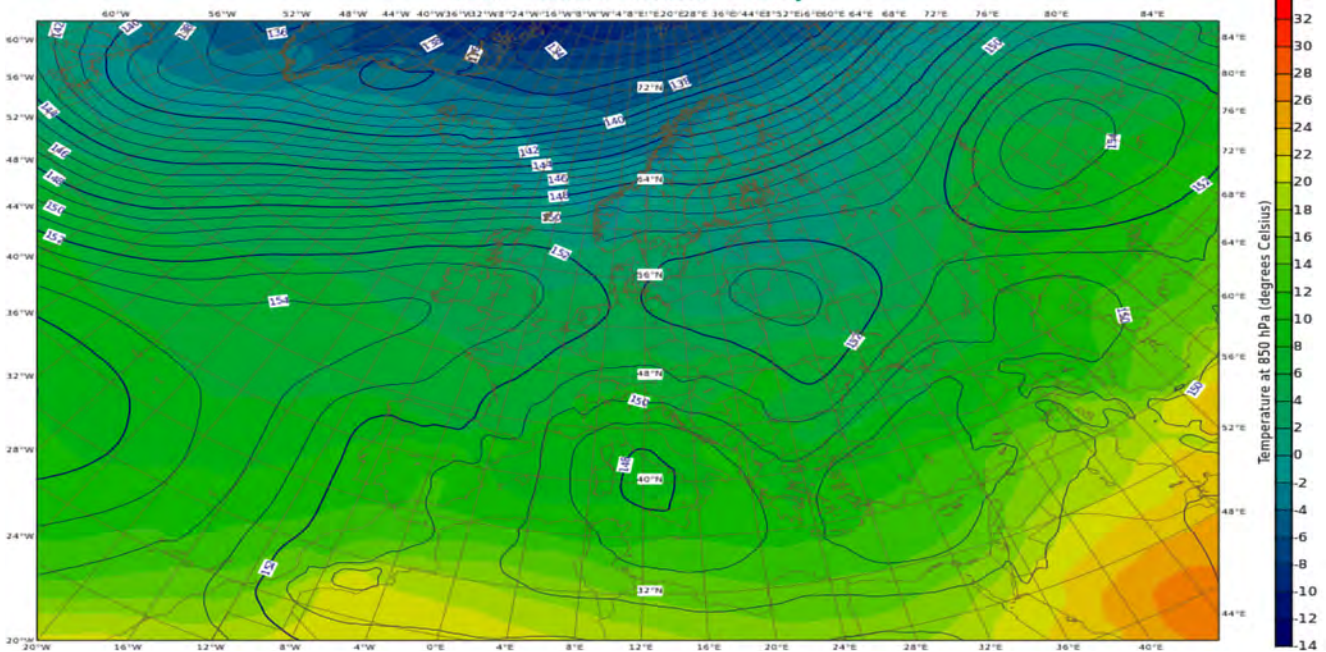
ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = May



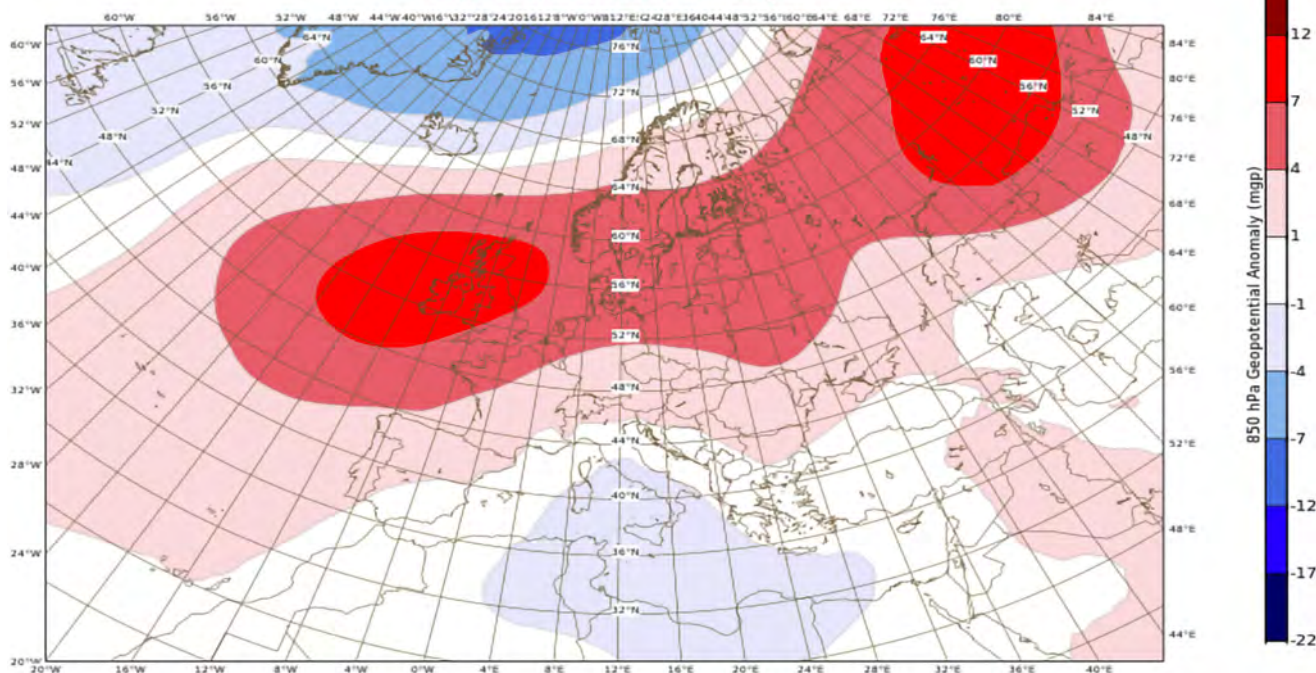
850 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

ECMWF Analysis Dataset

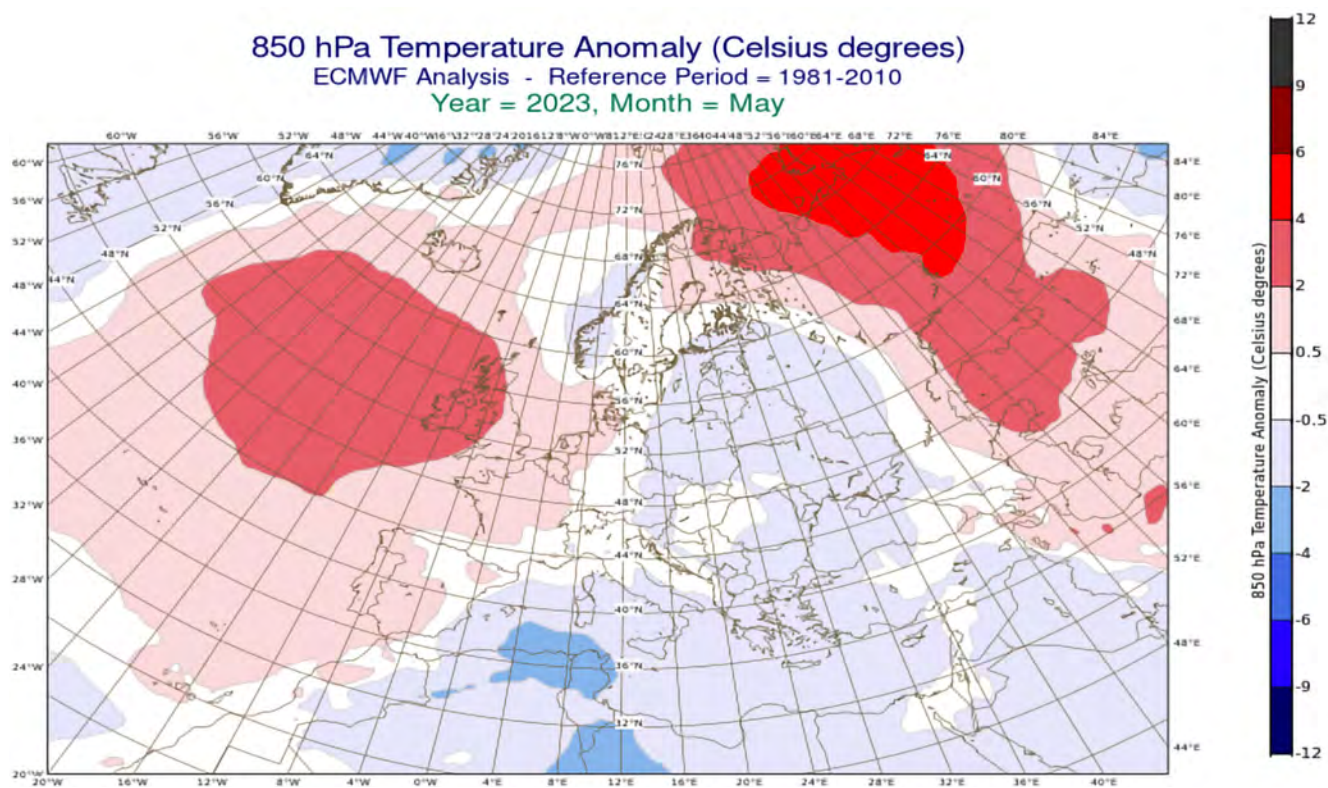
Year = 2023 - Month = May



850 hPa Geopotential Anomaly (mcp)
 ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
 Year = 2023, Month = May



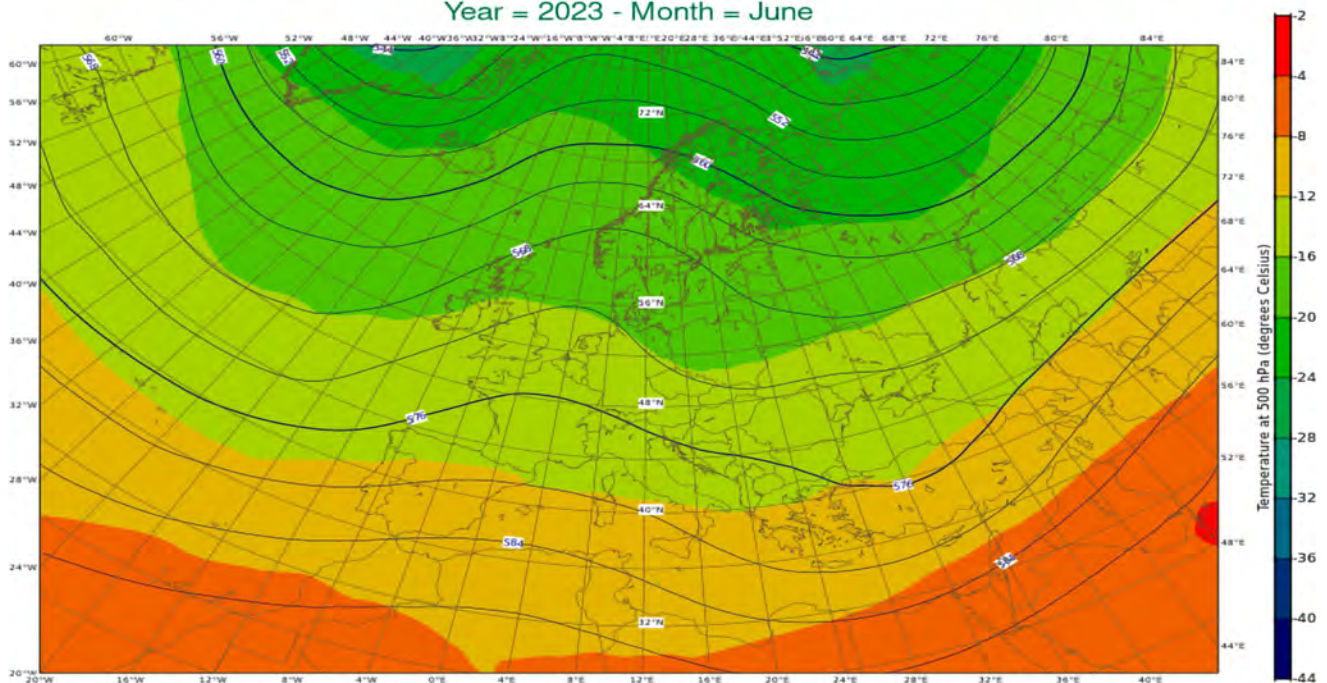
850 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees)
 ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
 Year = 2023, Month = May



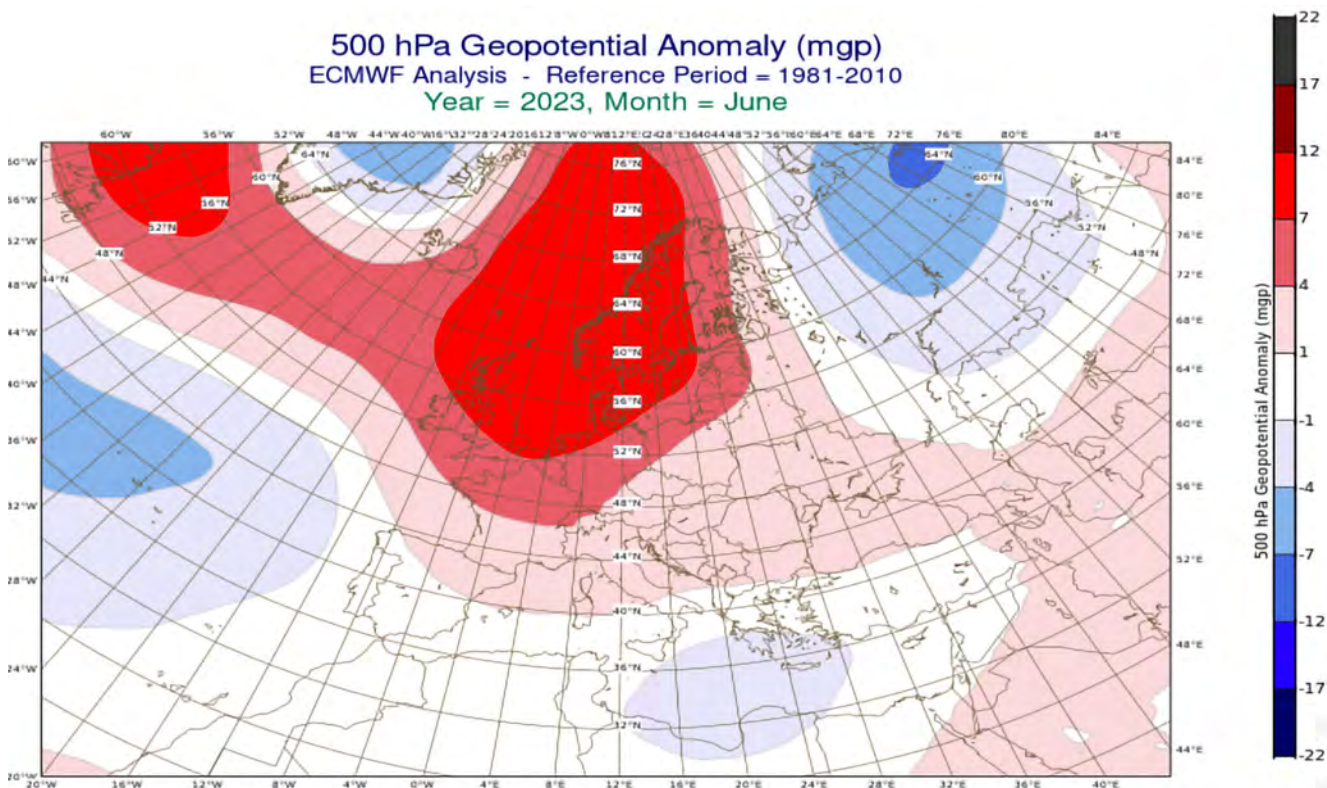
500 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

ECMWF Analysis Dataset

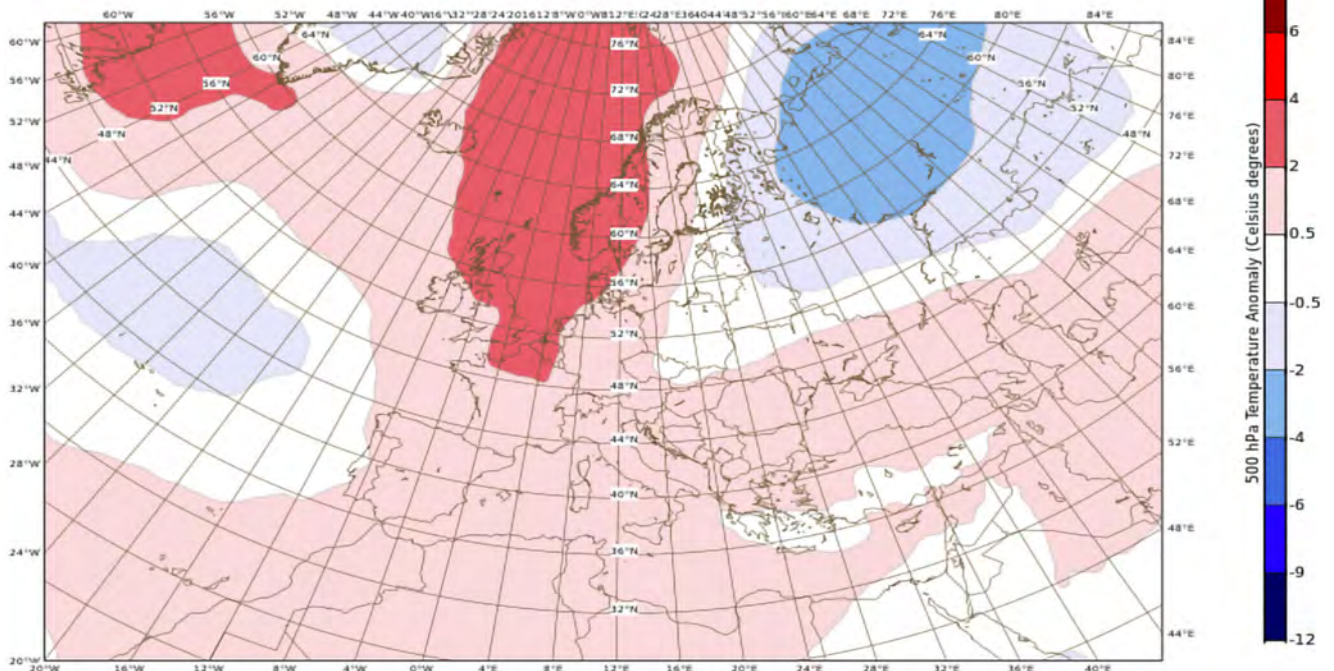
Year = 2023 - Month = June



500 hPa Geopotential Anomaly (mvp) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = June



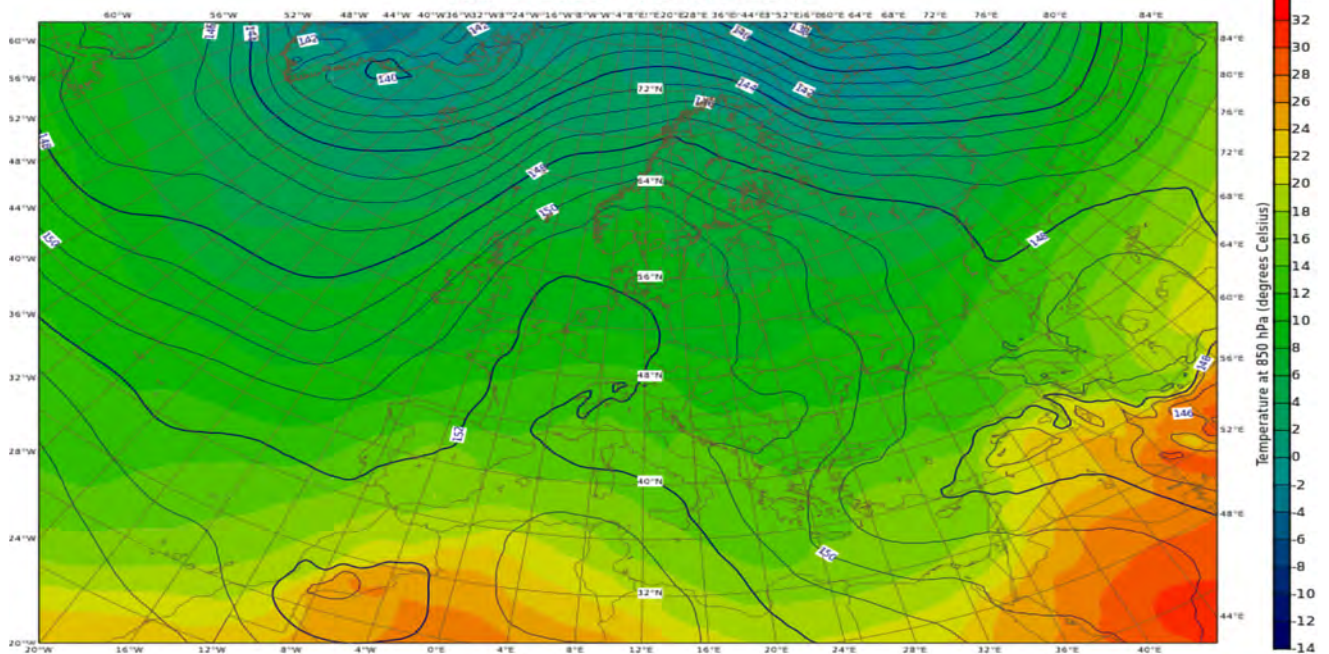
500 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = June



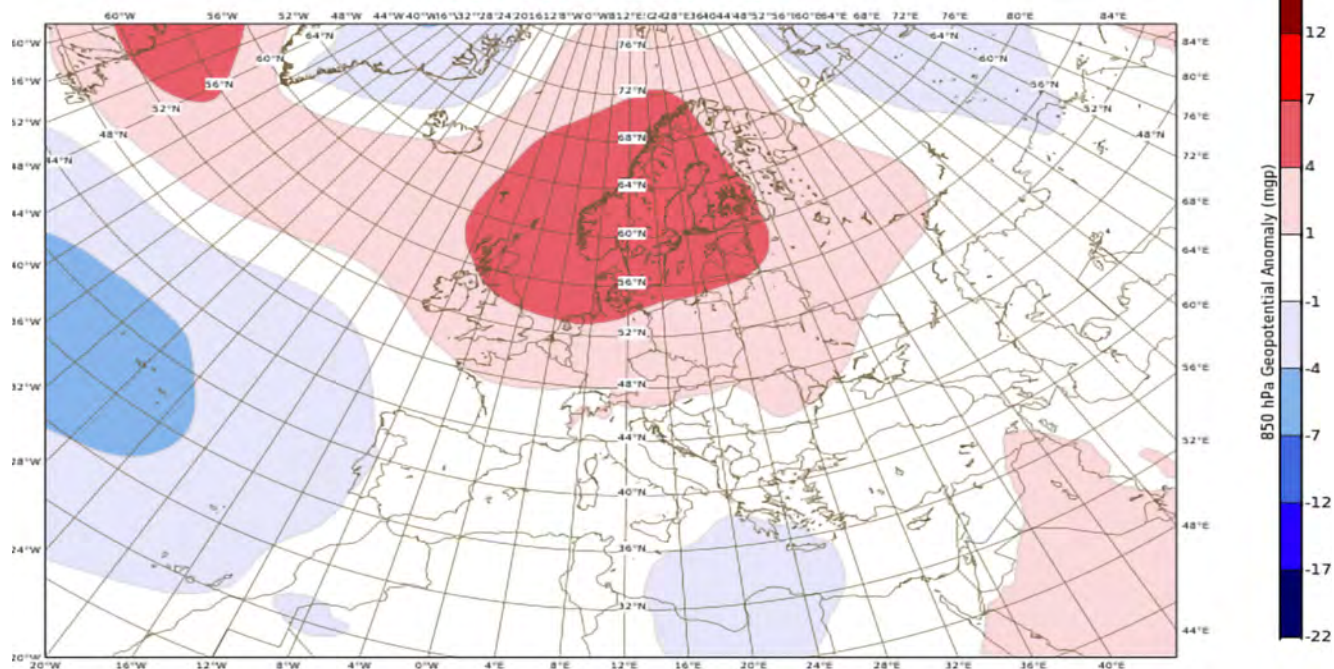
850 hPa Geopotential and Temperature - Monthly Mean Fields

ECMWF Analysis Dataset

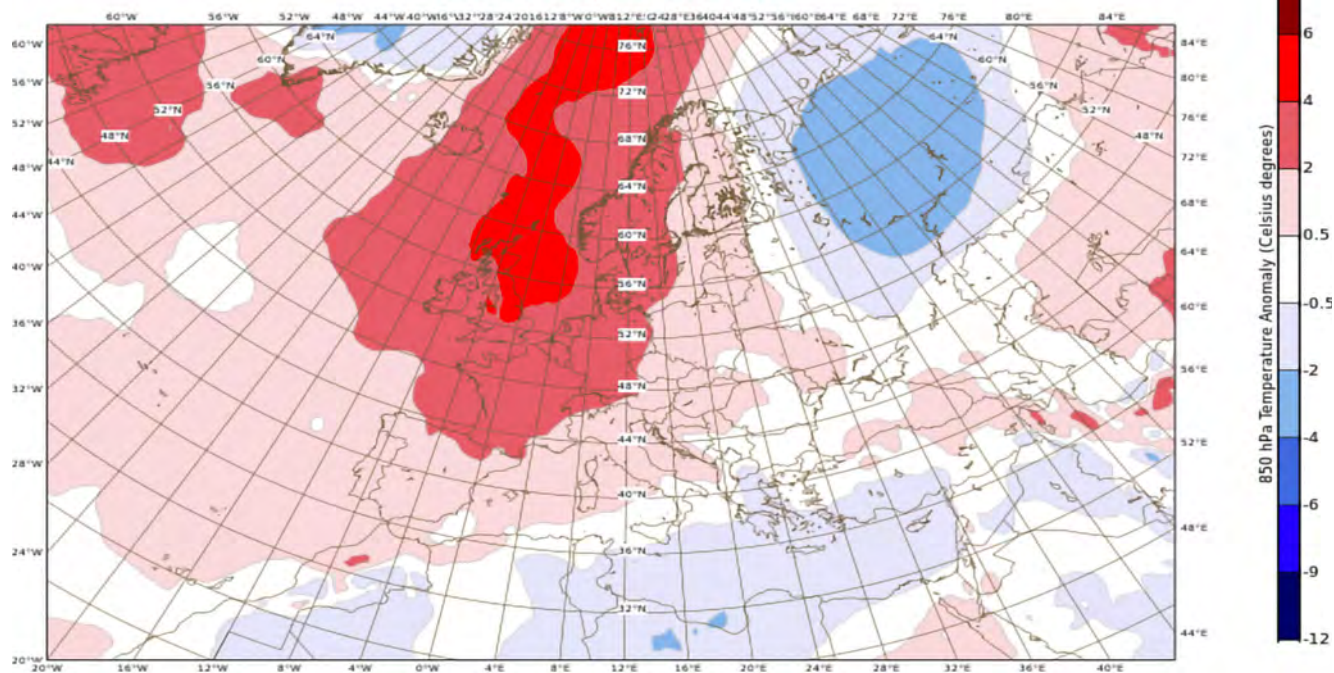
Year = 2023 - Month = June



850 hPa Geopotential Anomaly (mcp) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = June



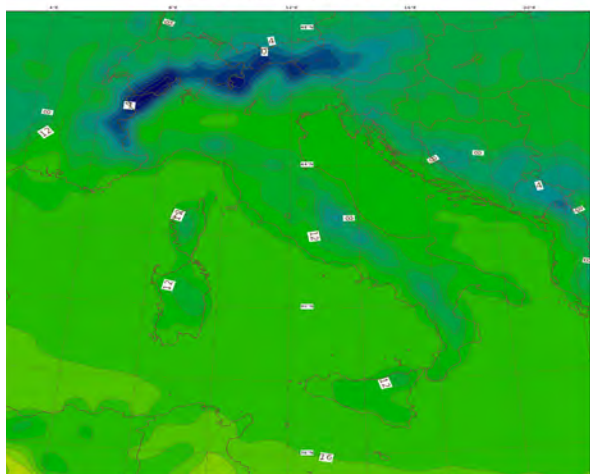
850 hPa Temperature Anomaly (Celsius degrees) ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010 Year = 2023, Month = June



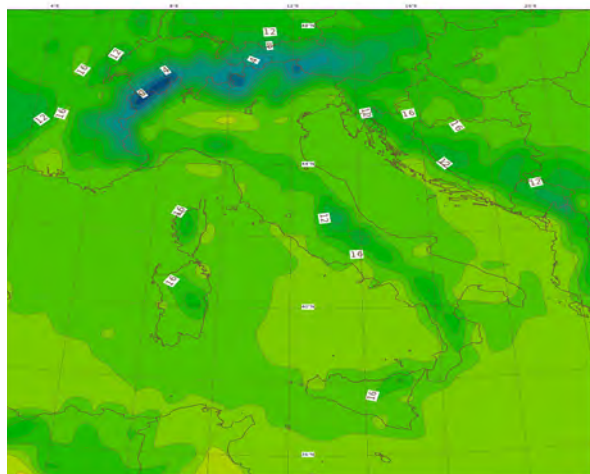
Mean 2-meter Temperature (degrees Celsius)

ECMWF Analysis Dataset

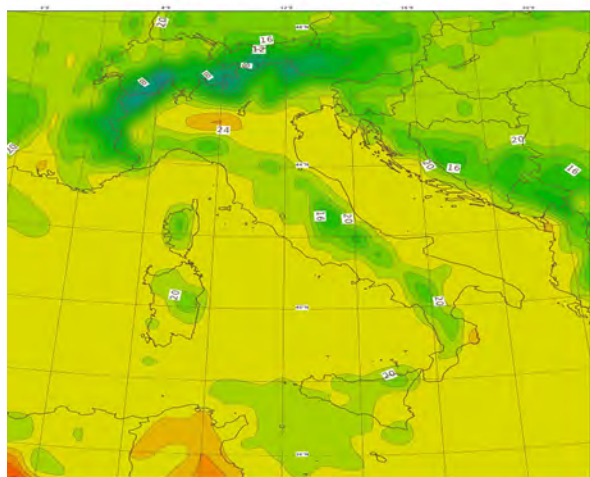
Year = 2023 - Month = April



Year = 2023 - Month = May



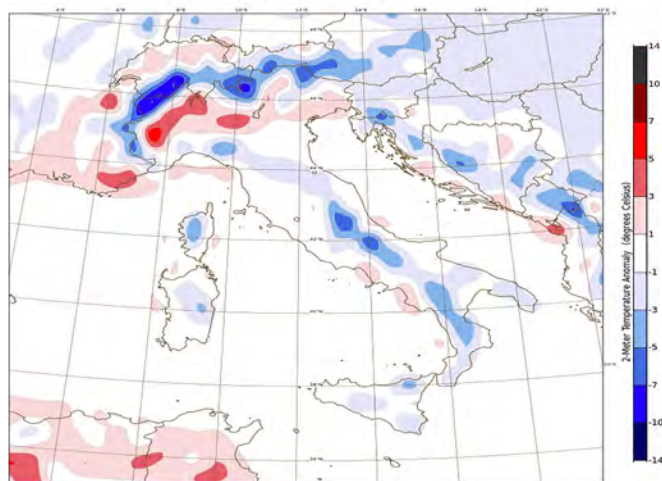
Year = 2023 - Month = June



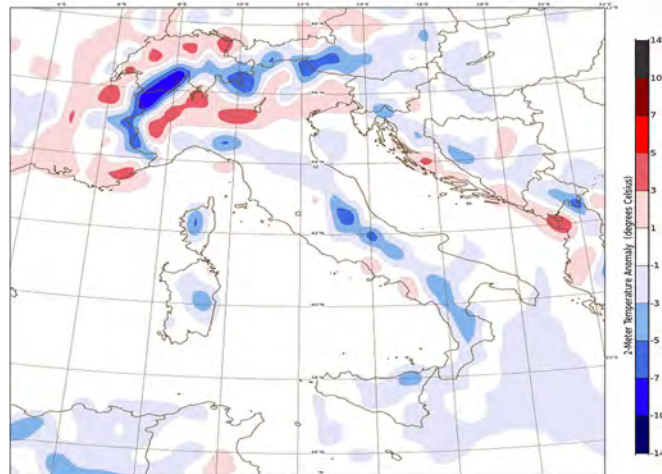
2-Meter Temperature Anomaly (degrees Celsius)

ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010

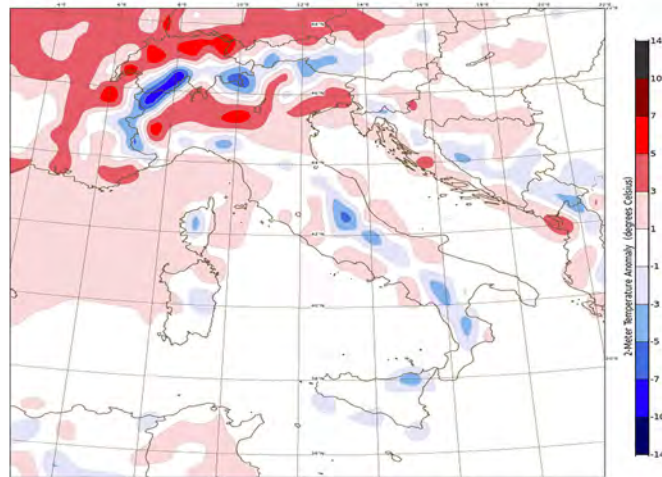
Year = 2023, Month = April



Year = 2023, Month = May

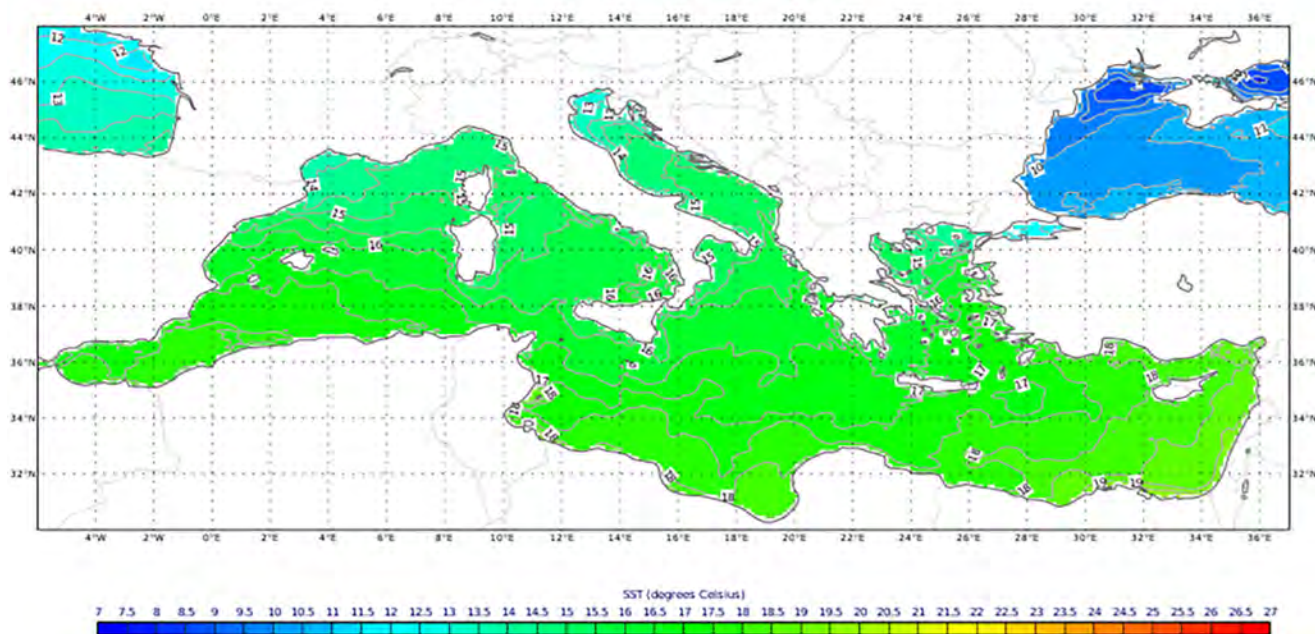


Year = 2023, Month = June



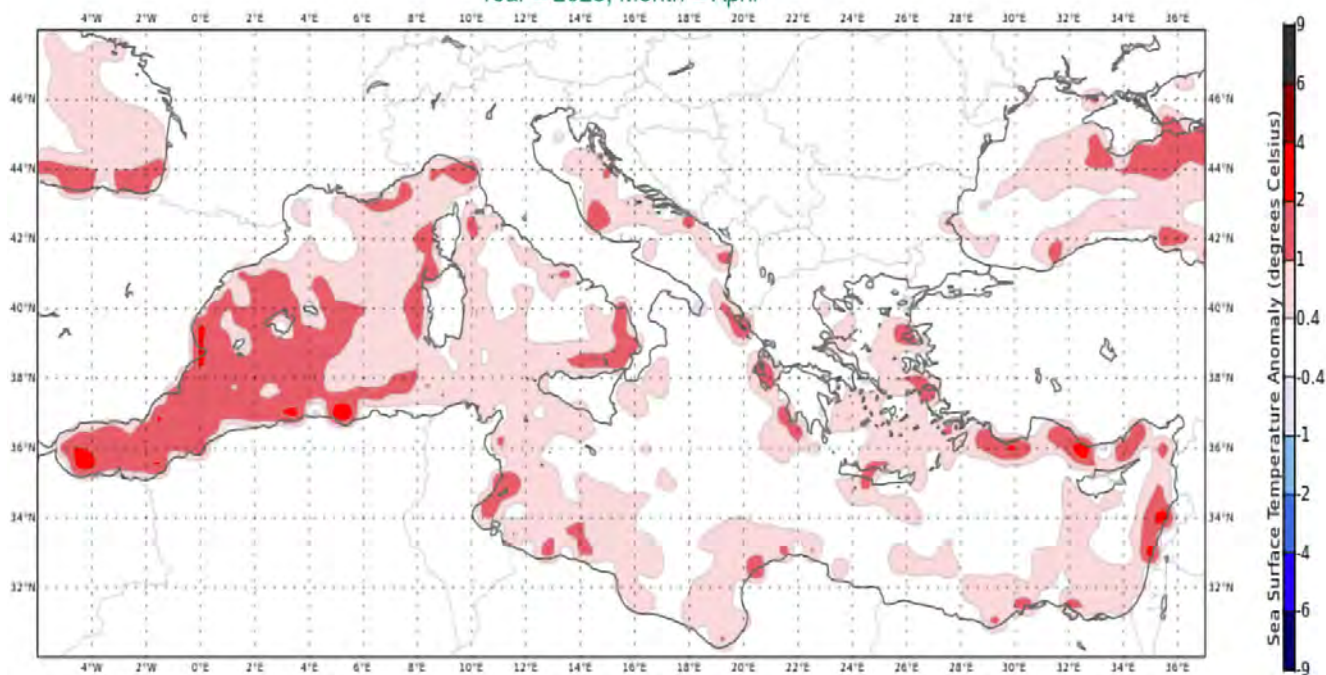
Mean Sea Surface Temperature (degrees Celsius)

ECMWF Analysis Dataset
Year = 2023 - Month = April



Sea Surface Temperature Anomaly (degrees Celsius)

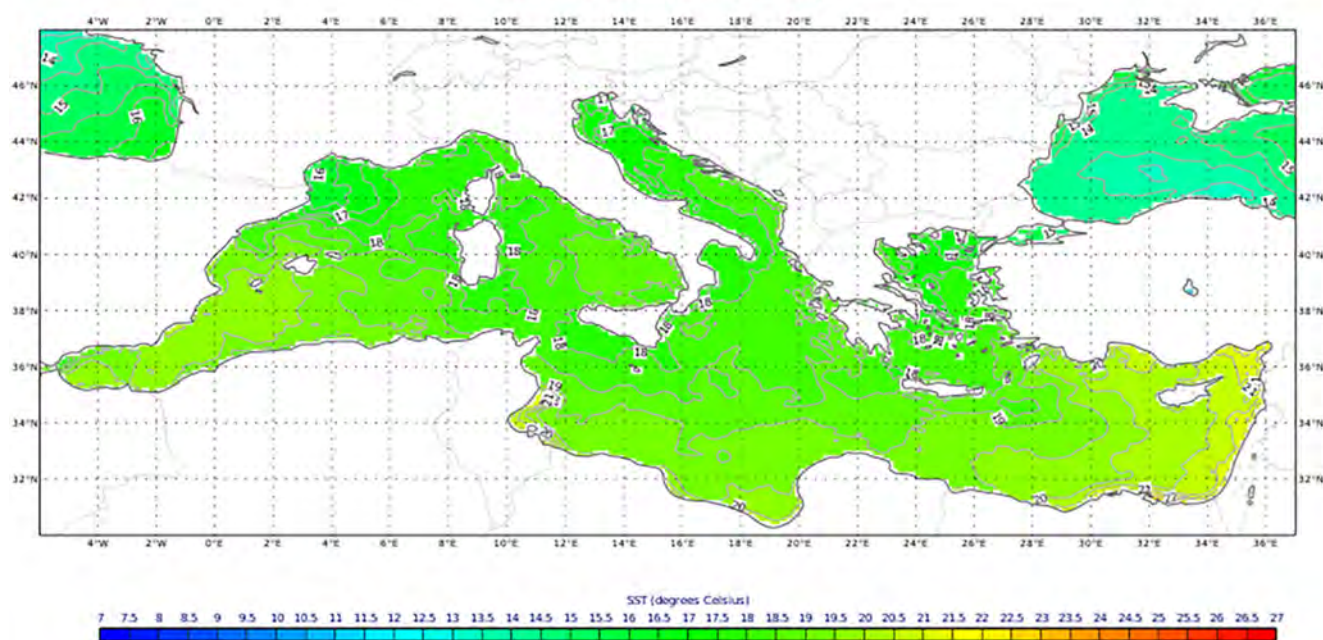
ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = April



Mean Sea Surface Temperature (degrees Celsius)

ECMWF Analysis Dataset

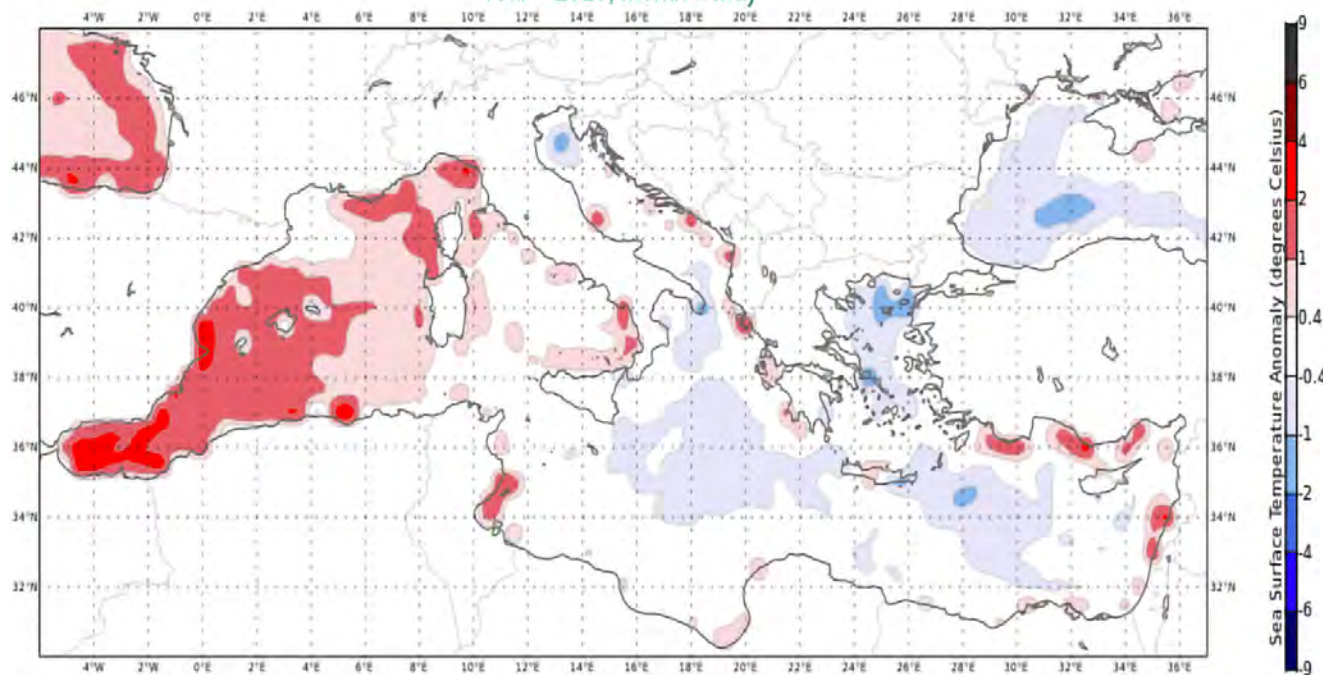
Year = 2023 - Month = May



Sea Surface Temperature Anomaly (degrees Celsius)

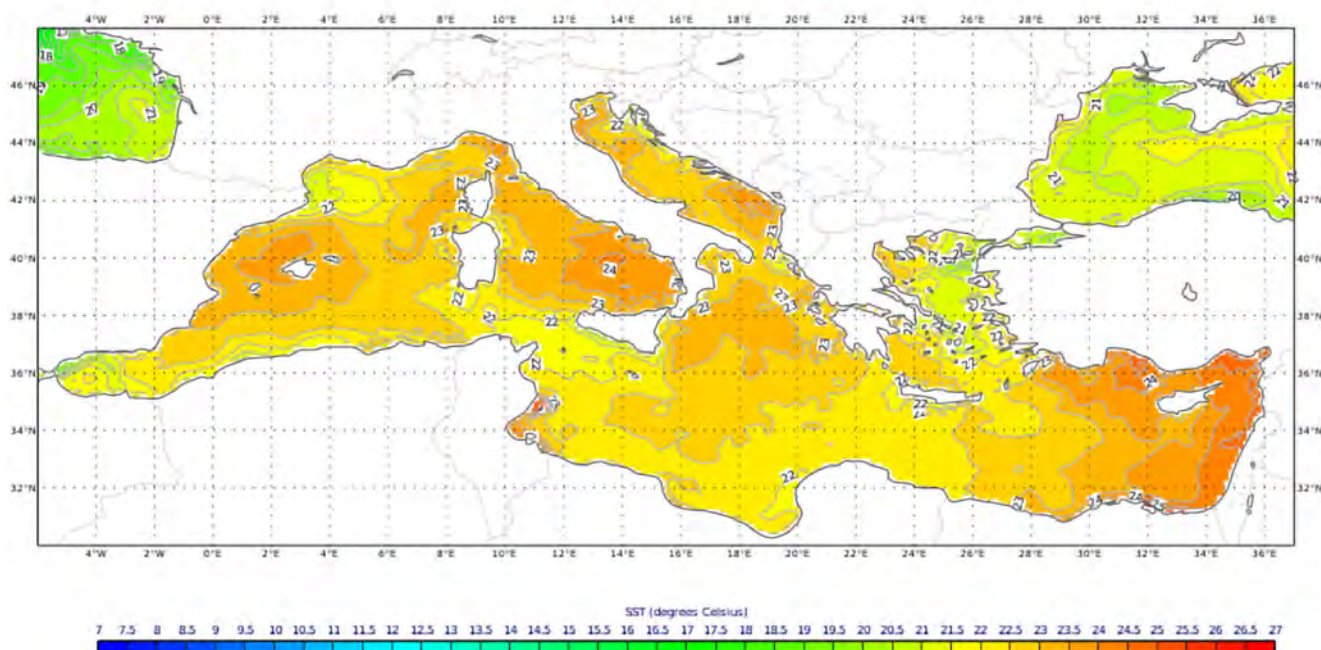
ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010

Year = 2023, Month = May



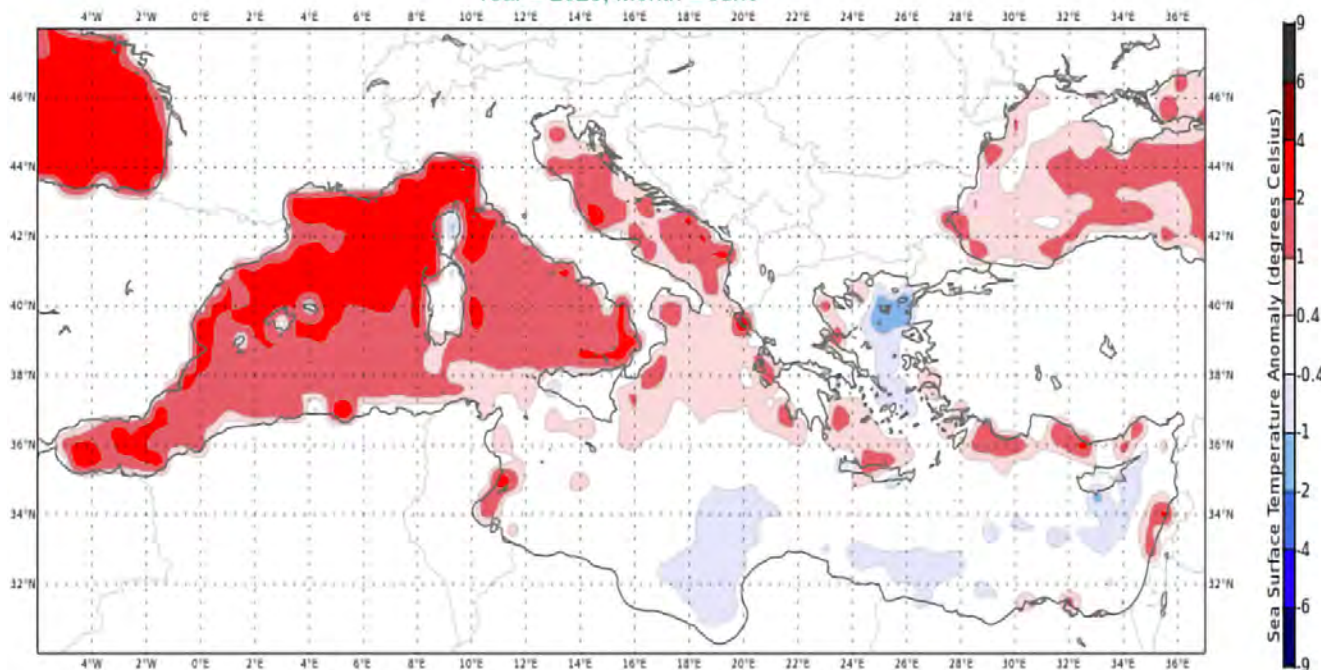
Mean Sea Surface Temperature (degrees Celsius)

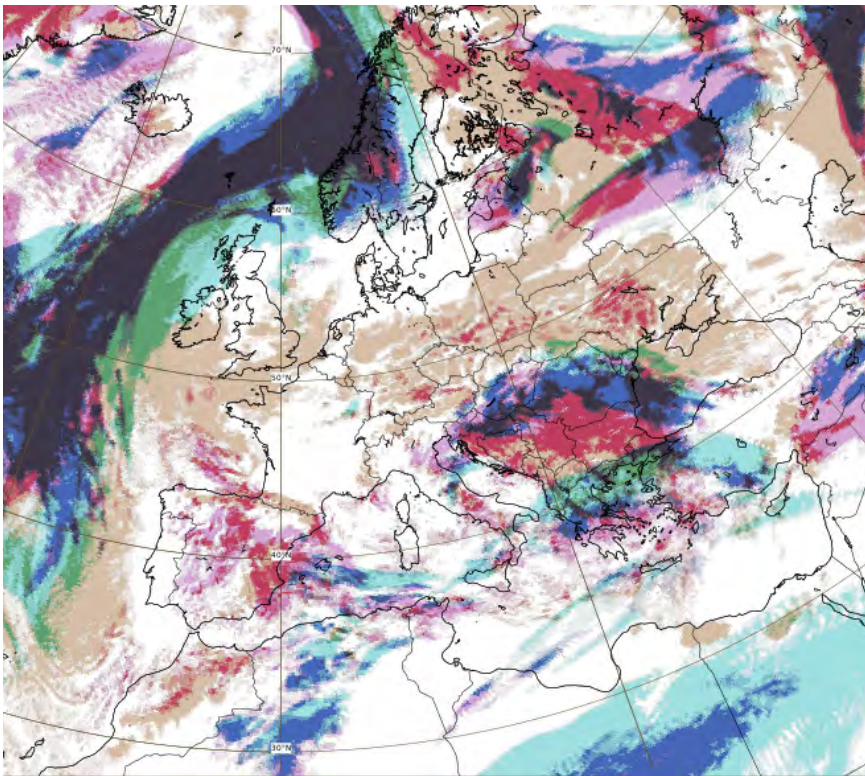
ECMWF Analysis Dataset
Year = 2023 - Month = June



Sea Surface Temperature Anomaly (degrees Celsius)

ECMWF Analysis - Reference Period = 1981-2010
Year = 2023, Month = June





ENGLISH ABSTRACT

Climate is the complex of meteorological conditions that characterize a location or a region in the course of the year, averaging over a long period of time. This magazine, is always been attentive to the issues of great environmental interest, dedicates this space to summarize the significant weather-climatic factors relating to the previous quarter. The seasonal trends expected before the beginning of the analyzed quarter are also reported with the maps of averages and anomalies of some meteorological variables.

GUIDA PER GLI AUTORI

La Rivista di Meteorologia Aeronautica pubblica trimestralmente articoli di meteorologia e climatologia con riguardo alle applicazioni in campo aeronautico. La collaborazione è aperta a tutti gli studiosi italiani e stranieri, a coloro che operano nel settore e agli appassionati della materia.

Si accettano articoli redatti in lingua italiana e, occasionalmente, in lingua inglese. I lavori devono essere originali e inediti. Gli Autori sono responsabili del contenuto degli scritti e delle illustrazioni pubblicate.

Le opinioni espresse negli articoli della Rivista di Meteorologia Aeronautica rappresentano l'esclusivo pensiero dei loro Autori e non riflettono necessariamente lo spirito del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Gli elaborati sono pubblicati ad insindacabile giudizio del Comitato di Redazione. I lavori proposti, anche se non pubblicati, non verranno restituiti. Nella redazione degli articoli, gli Autori sono invitati a seguire le indicazioni sotto riportate. I lavori proposti alla Redazione (testo e immagini) devono essere inviati su supporto informatico [un singolo *file* per il testo e un singolo *file* (almeno 300 dpi) per ogni immagine] e

devono essere redatti con i più comuni *software* attualmente in uso. L'elaborato deve essere stilato in forma chiara e concisa e non superare sedici pagine di stampa della Rivista (circa trenta cartelle A4). Ogni copia deve riportare la data e la firma autografa dell'Autore (o degli Autori). Occasionalmente possono essere accettati lavori manoscritti, per i quali valgono le regole sopra riportate. La Redazione potrà stabilire di scindere uno stesso lavoro in due parti, pubblicandolo su fascicoli consecutivi.

Il titolo dell'articolo deve essere breve, possibilmente contenuto in una sola riga. Se ritenuto utile sarà possibile utilizzare un sottotitolo. Il nome dell'Autore (o degli Autori) deve essere riportato sulla riga successiva (nome e cognome devono essere scritti per esteso e senza abbreviazioni), eventualmente preceduto dal grado militare. Per esigenze editoriali il titolo potrà essere modificato. Il testo del lavoro deve essere preceduto da un breve ed esauriente riassunto (massimo 300 parole) redatto sia in lingua italiana, sia in lingua inglese (*abstract*). Le illustrazioni, le tabelle e le figure, devono essere numerate e riportare un titolo o una breve didascalia.

La Redazione si riserva di sposta-

re, ingrandire, ridurre, ecc. ogni singola illustrazione, al fine di conseguire una armonica impaginazione del periodico.

Le formule matematiche, ridotte al minimo indispensabile, devono essere scritte chiaramente e con ampio spazio intorno.

I simboli devono risultare facilmente identificabili. Una distinzione dovrà essere fatta tra lettere greche e simboli inusuali, tra lettere maiuscole e minuscole, tra la lettera "o" e lo zero, tra la lettera "i" e il numero 1 o il numero primo (1°).

I simboli e le unità non devono mai essere seguiti dal punto di abbreviazione.

Le unità di misura devono essere espresse secondo il Sistema Internazionale di Misura (SI).

La bibliografia posta alla fine dell'articolo è ordinata alfabeticamente nella forma *standard*. Nell'articolo, i riferimenti alla bibliografia devono essere fatti mediante il cognome del primo degli autori in parentesi. Il lavoro deve concludersi con l'indicazione dell'Ente di appartenenza e di un recapito dell'Autore (*e-mail*, telefono, *fax*) per favorire il contatto con i lettori interessati.

Per ulteriori informazioni:

Rivista di Meteorologia Aeronautica - Viale dell'Università 4, 00185 Roma - Tel.0649867046.



Foto di: Giorgio Tognetti



Foto di: Angelina Iannarelli