



Numero 26 – Giugno 2026



Newsletter

SOMMARIO

EDITORIALE	2
FLASH NEWS	4
IN LIBRERIA.	8
BACHECA.....	9
IN PRIMO PIANO	10
ARTICOLO.....	18
APPROFONDIMENTO	22
BULLETIN OF ATMOSPHERIC SCIENCE AND TECHNOLOGY.....	28
SEZIONE PROFESSIONISTI.....	30
SEZIONE GIOVANI	31
EARLY CAREER SCIENTIST	37
LA PROCLAMO DOTTORE.....	45
QUATTRO CHIACCHIERE CON... ..	50
I NOSTRI SOCI COLLETTIVI	54

COMITATO EDITORIALE

Brunetti Michele
Capozzi Vincenzo
Davolio Silvio
De Martin Francesco
Giuliani Giacomo
Grenzi Marcello
Salvati Marta Rosa

Contatto: newsletter@aisam.eu

EVENTI AISAM

- 16-18 settembre – **ACRE Meeting** – Roma
- 19-22 novembre – **FestivalMeteorologia** – Rovereto (TN)
- 21-22 novembre – **Students' Conference** – Rovereto (TN)
- 9-11 febbraio 2027 – **Settimo Congresso Nazionale AISAM - CN7** – L' Aquila

NUOVI SOCI

AISAM è lieta di dare un caloroso benvenuto ai **nuovi soci individuali**:

Franco COLOMBO; Roberto CRESTA; Alfredo CROSETTI; Marco GALLI; Juri IURATO; Claudio STEFANINI.

Ad oggi l'Associazione conta **267** soci individuali, **12** soci collettivi.

QUOTE SOCIALI



Ricordiamo che è possibile rinnovare la quota sociale mediante **bonifico** (IBAN: IT23X0200801804000104607581), utilizzando in modo sicuro **paypal** o **carta di credito**.

Il servizio è disponibile sul sito di AISAM alla pagina:

<https://www.aisam.eu/pagamento-quota-sociale.php>

Le quote sociali e le istruzioni per il rinnovo sono disponibili alla pagina:

<https://www.aisam.eu/come-si-diventa-soci.html>

Care Associate e cari Associati,

Scrivere l'editoriale della nostra Newsletter rappresenta sempre un momento di riflessione sulle attività dell'Associazione e sui rapporti tra le persone che la compongono.

Tra le iniziative che hanno caratterizzato quest'ultimo periodo, mi piace evidenziare la terza edizione del **Corso di Previsione Meteorologica Operativa**, organizzato dalle nostre Sezioni Giovani e Professionisti, unitamente all'Agenzia ItaliaMeteo. Più avanti, scorrendo le interessanti pagine della Newsletter, troverete il resoconto dell'evento, a firma di Marcello Grenzi.

A me piace evidenziare il clima gioioso e partecipato che ha caratterizzato le giornate finali del Corso stesso, trascorse presso il Dipartimento della Protezione Civile (ove si trova anche la nuova sede di ItaliaMeteo).

Per me, che sono più o meno il "veterano" di AISAM, è stato davvero un piacere condividere due mezze giornate tra i nostri meravigliosi giovani, oltretutto in un ambiente dove ho trascorso 8 tra gli anni più interessanti della mia vita professionale.

Notare l'attenzione che ha contraddistinto la visita alle varie Sale ed Uffici, l'interesse con il quale hanno seguito la tele-conferenza tra gli Enti Meteo nazionali e l'entusiasmo e la preparazione che hanno profuso nel presentare le loro esercitazioni pratiche, mi ha davvero emozionato.

Non ringrazierò mai abbastanza l'Associazione per la grande opportunità di poter svolgere questa presidenza trovandomi spesso tra i nostri brillanti giovani.

È in loro, nei nostri giovani, che dobbiamo riporre le nostre speranze per il futuro; è in loro che dobbiamo guardare per poter sperare di riuscire a proseguire nei nostri intenti attuali.

In quest'ottica si colloca il momento storico nel quale si trova anche AISAM. Il mandato dell'attuale Consiglio Direttivo, compreso il Presidente, è fissato al 3 febbraio del 2027; tuttavia, in linea con la lungimiranza che da sempre abbiamo provato a seguire, si è deciso di fissare la prossima Assemblea Elettiva nel mese di ottobre, per dar modo ai nuovi eletti di poter affiancare per un intero trimestre il Direttivo uscente e riuscire ad "entrare" più facilmente nei meccanismi che regolano la nostra vita associativa.

Tra l'altro, il **27 luglio AISAM compirà i suoi primi 10 anni di vita!** Ricorderete, infatti, che il 27 luglio del 2016 venne siglato l'atto notarile attraverso il quale l'Associazione Geofisica Italiana (AGI, costituita a Roma nel 1951 da personalità del calibro di Enrico Medi e Francesco Vercelli)



si trasformò in Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia-AISAM.

Per celebrare quest'importante ricorrenza, abbiamo deliberato di organizzare un evento a Roma, nel mese di ottobre, con quanti vorranno esserci. Ed è proprio in quell'occasione che avremmo pensato di indire l'Assemblea Elettiva per le cariche sociali.

L'inizio del secondo decennio potrebbe rappresentare l'avvio di una nuova fase dell'Associazione; in quest'ottica è bene che ciascuno di noi possa riflettere sulla possibilità di avanzare la propria candidatura sia per la Presidenza sia per i 4 componenti del Consiglio Direttivo. C'è senz'altro bisogno di forze nuove e diverse, capaci di proseguire nel solco tracciato in questo decennio, arricchendolo, però, di energie capaci di proporre nuove idee.

Ed ancora una volta è ai GIOVANI che rivolgo l'invito a riflettere sull'opportunità di entrare a far parte dei ruoli direttivi dell'Associazione, convinto che la loro freschezza e preparazione potranno tradursi in un'efficace spinta propulsiva.

Un grande plauso va esteso anche alla Sezione Professionisti, sempre impegnata a proporre occasioni di aggiornamento e formazione verso coloro che operano quotidianamente nel campo della meteorologia. Gli incontri, che si susseguono a ritmo piuttosto serrato, costituiscono preziose occasioni, offerte non solo ai nostri Associati. Oltre ai numerosi AISAM SPRITZ (appuntamento mensile con argomenti e personalità di spicco della Meteorologia), la Sezione ha organizzato un interessante incontro (in collaborazione con AMPRO) sulla *"Professionalità della meteorologia"*. Anche per questa lodevole iniziativa, rimando all'esauritivo articolo di Marta Salvati, che trovate più avanti.

Nell'immediato futuro di AISAM figura il Convegno internazionale **ACRE 2026** (*Atmospheric Circulation Reconstructions over the Earth*), che si terrà a Roma, dal 16 al 18 settembre 2026, presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, in via dei Taurini 19.

L'iniziativa ha respiro internazionale e si propone di ricostruire la storia climatica globale, attraverso l'opera di numerosi professionisti e volontari per recuperare osservazioni meteorologiche storiche terrestri e marine. Anche questo progetto prende le mosse dalla ricerca di milioni di documenti, generalmente cartacei, da convertire poi in immagini digitali, al fine di rendere disponibili i dati in essi contenuti.

La partecipazione è prevista sia in presenza che da remoto. La registrazione è comunque obbligatoria. Tutte le informazioni le trovate al link <https://aisam.eu/acre2026/>.

Tra il 19 ed il 22 Novembre ci ritroveremo ancora una volta a Rovereto, per la 12^a edizione del FestivalMeteorologia (<https://www.festivalmeteorologia.it/>), associata al quale ritroviamo la 2^a edizione della Students' Conference (<https://aisam.eu/students-conference-2026/>).

Di questi e di altri progetti futuri di AISAM avremo modo di parlarne prossimamente, nelle diverse occasioni che si presenteranno.

Mi piace chiudere questo appuntamento con Voi, ricordando la possibilità di **devolvere volontariamente l'aliquota del "5 per mille" dell'IRPEF a favore di AISAM**, contribuendo in modo del tutto anonimo (e senza alcun aggravio economico personale) al suo sostentamento.

Come prescritto dalla normativa, la scelta del soggetto a cui donare il proprio **"5 per mille"** va specificata al momento della presentazione della dichiarazione dei redditi (Redditi Persone Fisiche -ex Modello Unico-, il modello 730 o il modello CU-certificazione unica): ogni contribuente può inserire il codice fiscale dell'ente al quale donare il **"5 per mille"**.

Facciamo bene attenzione a **confermare la scelta**, apponendo la propria firma!

Diversamente, tanto la scelta quanto la donazione non saranno valide.

Ricordo che il **CODICE FISCALE DI AISAM è il seguente: 97026990586** (si rimanda alla Bacheca di questa Newsletter per ulteriori dettagli).

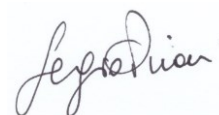
Un ringraziamento particolare va a quanti (e siete in tanti!) regalano il proprio tempo ad AISAM, impegnandosi attivamente, in maniera del tutto volontaria e spontanea, per dare corpo alle molteplici finalità che caratterizzano il cammino dell'Associazione.

Manteniamo attivi ed aperti tutti i mezzi di comunicazione di cui disponiamo, al fine di consolidare la nostra conoscenza e la nostra Amicizia.

Un grande abbraccio!



Il Presidente Sergio Pisani

A handwritten signature in dark ink, which appears to read 'Sergio Pisani'.

Seconda AISAM Students' Conference



Il 21 e 22 novembre 2026 si terrà a Rovereto (TN) la seconda edizione della Students' Conference, la conferenza rivolta agli studenti delle scienze dell'atmosfera, della meteorologia e del clima. Sulla scia del successo della prima edizione,

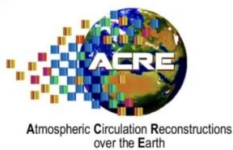
AISAM ha deciso di riproporre questo evento nell'ambito del 12° Festival Meteorologia. La conferenza rappresenta un'importante opportunità per le studentesse e gli studenti di esporre i propri lavori, di confrontarsi, di conoscere nuovi colleghi e di dialogare con professionisti e docenti presenti. La conferenza è altresì aperta agli studenti delle scuole superiori con contributi originali, che potranno partecipare anche per orientarsi nella scelta del percorso universitario.

La conferenza si svolgerà su tre mezze giornate, dalla mattina del sabato 21 al primo pomeriggio della domenica 22. Possono inviare un abstract le studentesse e gli studenti iscritti a lauree triennali, magistrali o laureati entro un anno dalla conferenza. I lavori saranno esposti come presentazioni orali o poster. Sarà il comitato organizzatore a decidere la modalità di presentazione in seguito alla valutazione degli abstract.

Maggiori informazioni sono disponibili nella *sezione giovani* di questa Newsletter.

Il bando per candidare il proprio abstract è già aperto: <https://aisam.eu/students-conference-2026/>

ACRE Meeting 2026



Il 16, 17 e 18 settembre 2026 si terrà il meeting ACRE 2026, promosso da AISAM, presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, in via dei Taurini 19 a Roma.

Il meeting è dedicato al tema dell'identificazione e del recupero delle osservazioni meteorologiche storiche, con particolare riferimento a nuove fonti di dati recentemente individuate, tecniche innovative di estrazione e digitalizzazione, oppure applicazioni basate su dataset recuperati. Quest'anno sono particolarmente incoraggiati contributi che impiegano flussi di lavoro automatizzati basati su tecniche di intelligenza artificiale e machine learning, iniziative di citizen science e buone pratiche operative, nonché studi che utilizzano dati storici per analizzare eventi climatici estremi, quali inondazioni, siccità e altri rischi naturali.

La scadenza per la sottomissione degli abstract si è appena conclusa lo scorso 15 giugno. Quella per iscriversi, invece, è fissata il 30 giugno 2026.

Tutte le informazioni sono reperibili sul sito:

<https://aisam.eu/acre2026>

Importanti risultati della rivalutazione dei tornado del passato



Importante aggiornamento sulla climatologia dei tornado italiani, merito del lavoro di [Federico Pavan](#)

di [Pretemp - Previsioni Temporal](#) e [European Severe Storms Laboratory](#).

Con la revisione del tornado di Catania del 7 ottobre 1884, l'Italia conta ora 3 tornado di grado IF5, risultando il secondo paese al mondo per numero di tornado di massimo grado dopo gli Stati Uniti.

Il 7 ottobre 1884 un tornado si formò sulla piana di Catania e si diresse verso nordest colpendo i sobborghi nord della città prima di entrare in mare, lasciando un percorso di circa 30 km di lunghezza, 28 morti e circa 600 feriti. Il vortice già all'epoca venne riconosciuto come di violenza eccezionale, dati alcuni danni che causò: alberi strappati da terra nelle campagne e trovati nelle acque del porto di Ognina, blocchi di lava dell'Etna solidificata rimossi da terra e trasportati via, abitazioni rase al suolo e alcune con muri spessi un metro completamente distrutte. Dall'analisi di alcune fotografie e di alcuni disegni dell'epoca, i danni sono stati valutati al grado IF5 della scala Fujita Internazionale.

I tre tornado classificati IF5 per il nostro Paese sono: 16 giugno 1957 – Valle Scuropasso; 24 luglio 1930 – Selva del Montello; 7 ottobre 1884 – Catania.

Si rimanda all'articolo della sezione *In Primo Piano* di questa Newsletter per una loro descrizione.

Per un approfondimento relativo ai tornado rivalutati dall'ESSL si rimanda al seguente link:

<https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/violent-tornadoes/>

Premio "Sergio Borghi"- 8a Edizione 2025/26



Il Premio alla memoria di Sergio Borghi, indetto da *Fondazione OMD*, socio collettivo AISAM, è

arrivato alla sua ottava edizione.

Sono ammessi gli studenti universitari laureati in qualsiasi area disciplinare (tecnico-scientifica, giuridica, economica, storica, filosofica, letteraria, sociologica, etc...) nel periodo compreso tra novembre 2024 e ottobre 2026, purché abbiano sviluppato il proprio elaborato finale su un argomento attinente alla meteorologia, alle scienze del clima e alle loro applicazioni.

Oltre al titolo della tesi e al relativo abstract, i partecipanti dovranno produrre un poster che illustri i contenuti della propria tesi, mettendo in luce gli aspetti attinenti alla meteorologia, alle scienze del clima e alle relative applicazioni, connessi al proprio lavoro e un video in cui l'autore presenti il proprio lavoro di tesi con l'obiettivo di massimizzare l'efficacia comunicativa di quanto esposto sul poster.

Quest'anno Fondazione OMD ha messo in palio la somma di € 2.000 da destinare ai primi tre classificati.

Il termine ultimo di iscrizione è il **1 novembre 2026 alle ore 23:00**.

La proclamazione e la cerimonia di premiazione si terranno a Rovereto nel contesto della seconda AISAM Students' Conference del 21 e 22 novembre 2026, durante la dodicesima edizione del Festival meteorologia 2026.

Maggiori dettagli nello spazio dedicato al Socio Collettivo *Fondazione OMD* in fondo a questa Newsletter.

A questo link, il regolamento e le modalità di partecipazione: <https://www.fondazioneomd.it/lancio-8a-edizione>

Rapporto Europeo sullo stato del clima 2025



Il rapido riscaldamento in Europa sta riducendo la copertura nevosa e glaciale, mentre temperature dell'aria pericolosamente elevate, siccità, ondate di calore e temperature oceaniche record stanno colpendo regioni dall'Artico al Mediterraneo. L'Europa, insieme a molte altre regioni del globo, è esposta a impatti in aumento – da ondate di calore record sulla terraferma e in mare, a incendi devastanti e alla continua perdita di biodiversità – con conseguenze per le società e gli ecosistemi in tutta Europa.

I risultati sono stati pubblicati nel rapporto *European State of the Climate* (ESOTC) 2025, prodotto dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), che gestisce il Servizio relativo ai cambiamenti climatici di Copernicus, e dall'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (OMM). Il rapporto raccoglie il lavoro di circa 100 collaboratori scientifici e fornisce una panoramica completa dei principali cambiamenti negli indicatori climatici per il continente che si sta riscaldando più rapidamente al

mondo, inclusi gli ambienti freddi, gli ecosistemi marini, i fiumi e i laghi, il rischio di incendi boschivi e altro ancora. È disponibile un'ampia selezione di grafici e immagini che mettono in evidenza i risultati principali emersi dai dati.

Il rapporto è consultabile al seguente link:

<https://climate.copernicus.eu/esotc/2025>

“SORBETTO: Solar Radiation Based Established Techniques for aTmospheric Observations”



Siamo lieti di annunciare la 4^a International Summer School: “SORBETTO: SOLar Radiation Based Established Techniques for aTmospheric Observations”

La scuola si terrà a Roma dal 14 al 18 settembre 2026 ed è aperta a ricercatori, dottorandi e professionisti interessati alle tecniche di telerilevamento atmosferico, indipendentemente dal livello di esperienza.

L'evento è organizzato dall'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR e da SERCO, in collaborazione con Sapienza Università di Roma, nell'ambito del progetto QA4EO-2 finanziato dall'ESA.

Gli argomenti principali includeranno:

Telerilevamento da terra e da satellite;

Attività di calibrazione e validazione (Cal/Val) per missioni satellitari;

Fotometria e spettrometria;

Esercitazioni pratiche a scopo didattico.

Maggiori informazioni sono disponibili sul sito web:

www.euroskyrad.net/sorbetto

Scadenza per la registrazione: 20 giugno 2026.

Per qualsiasi informazione, contattare:

sorbetto.isac@artov.isac.cnr.it

Corso avanzato “Severe Convective Storms and hail”



Tra il 20 e il 24 luglio 2026 a Udine si svolgerà un corso su **Severe Convective Storms and hail** presso la sede del CISM (Centro Internazionale di Scienze Meccaniche). Il corso riprenderà le basi della convezione e della termodinamica per poi evolvere velocemente agli argomenti di ricerca più attuali sulla grandine e la convezione severa. Il corso è aperto a tutti: ricercatori, studenti, previsori meteo e tutti gli interessati all'argomento.

I relatori saranno i seguenti:

Matthew Kumjian – Pennsylvania State University, USA
(Microfisica della grandine; Radar a doppia polarizzazione)

Michael Kunz - Karlsruhe Institute of Technology, Germania (Danni da grandine in Europa; Modellizzazione del rischio di grandine per applicazioni assicurative; Rischi da grandine con i cambiamenti climatici)

Kelly Lombardo – Pennsylvania State University, USA
(Gravity waves e bores per l'innescio della convezione; Impatto dei rilievi sull'organizzazione della convezione)

Agostino Manzato - CNR-ISAC Bologna, Italia
(Termodinamica atmosferica; Diagrammi termodinamici)

Mario Marcello Miglietta – CNR-ISAC Padova, Italia
(Tornado nell'area mediterranea; Grandinate sul nord-est italiano; Precipitazioni intense nell'area mediterranea; Mediterranean tropical-like cyclones)

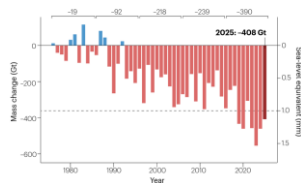
Francesco Sioni - ARPA FVG, Palmanova, Italia (Weather briefing giornalieri focalizzati sulla convezione)

Mateusz Taszarek - Adam Mickiewicz University Poznan, Polonia (Indici convettivi; Ambienti associati a forti temporali nel mondo; Strutture temporalesche)

Ulteriori dettagli presenti su:

<https://www.cism.it/event/severe-convective-storms-and-hail-6518>

Sintesi globale 2025 sul regresso dei ghiacciai



Lo studio è stato pubblicato sulla collana *Climate Chronicles* della rivista *Nature Reviews Earth & Environment* e nel rapporto European State of the

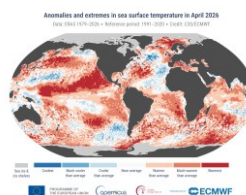
Climate 2025, elaborato dal Copernicus Climate Change Service (C3S) in collaborazione con l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO) e rappresenta il più completo lavoro di riferimento a livello mondiale sul bilancio di massa delle masse glaciali e sul loro contributo all'innalzamento del livello del mare.

Il lavoro documenta un'accelerazione significativa della perdita di massa dei ghiacciai a scala globale, confermando una tendenza ormai consolidata negli ultimi decenni. Nel solo anno idrologico 2025, i ghiacciai terrestri hanno perso 408 ± 132 gigatonnellate (Gt) di massa, contribuendo a un innalzamento del livello medio del mare di 1.1 ± 0.4 millimetri. Le perdite risultano particolarmente marcate in diverse regioni del pianeta, con contributi rilevanti dalle alte montagne dell'Asia, dall'Alaska e dall'Artico russo.

Di seguito il link all'articolo:

https://www.nature.com/articles/s43017-026-00777-z.epdf?sharing_token=swtR-MRwf16PoOq59QZl39RgN0jAjWel9jnR3ZoTv0Ne75_9z6PFR0OzCIDjFZlN5bMHWIBqUZtu05Hqbq4U4dZDv4Td52Xbiz5Sb0Fze53orlkqVz_dlmP-omoJ3IjSzCKKaQLydselr6P00ZUBTVf7uHP-nRt8WVral6PjMzc%3D

Registrata la seconda temperatura superficiale del mare più alta durante il terzo aprile più caldo a livello globale



Con lo sviluppo delle condizioni El Niño previste nei prossimi mesi, l'aprile 2026 ha registrato le seconde temperature superficiali del mare più elevate di sempre per gli oceani extrapolari, con temperature record in gran parte del Pacifico tropicale associate a forti ondate di calore marine. Il mese è stato anche il terzo aprile più caldo a pari livello mai registrato su scala globale, secondo il Servizio relativo ai cambiamenti climatici di Copernicus (C3S), implementato dal Centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (ECMWF).

Nel corso del mese di aprile, la temperatura superficiale del mare (SST) media giornaliera nell'oceano globale extrapolare ($60^{\circ}\text{S} - 60^{\circ}\text{N}$) si è avvicinata gradualmente ai valori record osservati nel 2024, riflettendo il passaggio da condizioni ENSO neutre a condizioni El Niño, ora previste per i prossimi mesi.

La temperatura superficiale del mare (SST) media per aprile 2026 nell'area compresa tra i 60°S e i 60°N è stata la seconda più alta mai registrata per quel mese, con un valore di $21,00^{\circ}\text{C}$. La SST più alta mai registrata in aprile è stata rilevata nel 2024 durante l'ultimo fenomeno El Niño.

Le SST hanno raggiunto livelli record per il mese in un'ampia regione che va dal Pacifico equatoriale centrale alla costa occidentale degli Stati Uniti e del Messico, corrispondenti a condizioni di "forti" ondate di calore marino.

Per approfondimenti si rimanda al seguente link:

<https://climate.copernicus.eu/copernicus-second-highest-sea-surface-temperatures-recorded-during-third-warmest-april-globally>

Scuola Internazionale di Meteorologia Satellitare (ISSM)

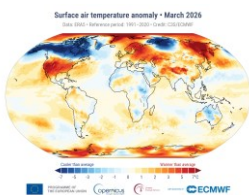


Il 30 giugno è il termine ultimo per registrarsi e partecipare alla International School on Satellite Meteorology (ISSM) 2026 si terrà a Lipari, Isole Eolie, dal 31 agosto al 4

settembre 2026 organizzata da CNR-ISAC in collaborazione con l'Università di Napoli Parthenope, col supporto tecnico-scientifico di ECMWF/Copernicus C3S e col patrocinio di AISAM, AMPRO, Società Italiana di Fisica (SIF). Le lezioni frontali e i laboratori di approfondimento per formare studenti di Dottorato e post-Dottorato in Scienze dell'Atmosfera e affini, Ricercatori e Meteorologi operativi, Ingegneri Aeronautici e Aerospaziali riguarderanno tematiche inerenti la meteorologia dallo spazio, le nuove frontiere aperte dalla missione EarthCARE, l'impatto degli eventi meteorologici estremi sul patrimonio culturale e naturale (CNH), le costellazioni di piccoli e nano satelliti, la tecnologia dei radiometri a microonde per l'osservazione della Terra, le promettenti missioni dell'ESA WIVERN e CAIRT.

Il programma completo e altre informazioni sono nella locandina allegata e al link <http://issm.isac.cnr.it> dove si trova anche il box per la registrazione

Quarto mese di marzo più caldo a livello globale ed estensione del ghiaccio marino artico più bassa mai registrata per marzo



“I dati di Copernicus per il mese di marzo 2026 raccontano una storia che fa riflettere: una temperatura di 1.48 °C superiore a quella dei livelli preindustriali, l'estensione del

ghiaccio marino artico più bassa mai registrata per marzo e temperature superficiali del mare che si avvicinano anch'esse ai massimi storici. Ogni dato è di per sé impressionante; nel loro insieme, dipingono il quadro di un sistema climatico sottoposto a una pressione costante e in accelerazione. Dati affidabili, prodotti operativamente con miliardi di misurazioni effettuate da satelliti, navi, aerei e stazioni meteorologiche, che non sono più un lusso scientifico, ma un elemento essenziale per qualsiasi seria risposta politica e di adattamento al clima” è quanto afferma il Direttore del Servizio relativo ai cambiamenti climatici di Copernicus presso l'ECMWF, Carlo Buontempo.

Per approfondimenti si rimanda al seguente link:

https://climate.copernicus.eu/copernicus-fourth-warmest-march-globally-sea-surface-temperatures-return-near-record-levels?utm_source=press&utm_medium=referral&utm_campaign=CB-03-2026

La stazione di Montevergine nella rete mondiale delle osservazioni meteorologiche



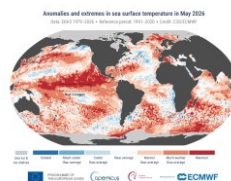
Grazie ad una proficua collaborazione con il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, l'Osservatorio di Montevergine è entrato a far parte della rete GTS (Global Telecommunication System), ossia della rete globale delle osservazioni meteorologiche, coordinata dalla World Meteorological Organization (WMO).

La stazione dell'Osservatorio, dunque, dal 07 maggio è tracciabile ed individuabile all'interno del database OSCAR della WMO con il seguente identificativo WIGOS: 0-380-300-16286.

Maggiori dettagli sono disponibili al seguente link:

<http://www.mvobsv.org/2026/05/14/la-stazione-di-montevergine-nella-rete-mondiale-delle-osservazioni-meteorologiche/>

Copernicus: il secondo maggio più caldo a livello globale fa registrare temperature record nel Pacifico e un'ondata di caldo precoce e intensa nell'Europa occidentale



Secondo il Servizio relativo ai cambiamenti climatici di Copernicus (C3S), maggio 2026 è stato il secondo maggio più caldo mai registrato a livello globale, sia sulla terraferma che in mare. Il

mese ha fatto registrare temperature superficiali del mare (SST) eccezionalmente elevate nel Pacifico tropicale, mentre il Pacifico equatoriale continua la sua transizione verso le condizioni di El Niño, che dovrebbero svilupparsi nei prossimi mesi – un fenomeno che probabilmente causerà condizioni meteorologiche estreme a livello globale.

In tutta Europa, il mese è stato caratterizzato da un rapido passaggio da condizioni molto più fredde della media a una delle ondate di calore più intense mai osservate così presto nell'anno nell'Europa occidentale. L'ondata di calore ha fatto rilevare numerosi record di temperatura per il mese di maggio, con Francia, Regno Unito, Irlanda e Portogallo che hanno subito condizioni particolarmente difficili. Sebbene sorprendente, l'evento è coerente con il rapido riscaldamento dell'Europa e con la tendenza a lungo termine verso ondate di calore più frequenti, più intense e che si verificano in periodi sempre più precoci nella stagione.

Il Progetto Dieci e Lode: Dati climatici delle Ex Colonie Italiane E LOro Digitalizzazione



Autori: Alessandro Ceppi, Marina Baldi, Maria Carmen Beltrano, Michele Brunetti, Eva De Vecchis, Samuele Giampietro, Luigi Iafrate, Fabio Leali, Veronica Manara, Sergio Pisani, Federico Stefanini, Francesco Sudati, Alessia Tadiello, Dino Zardi e Maurizio Maugeri,
Edizioni Ronca

Il volume documenta il Progetto «Dieci e Lode» – acronimo di Dati climatici delle Ex Colonie Italiane e Loro Digitalizzazione – un'operazione di recupero scientifico e culturale promossa da AISAM (Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia) e co-finanziata dal Ministero della Cultura nell'ambito del PNRR (ottobre 2023–aprile 2025).

Il progetto ha restituito alla comunità scientifica internazionale oltre 40.000 pagine di osservazioni meteorologiche storiche prodotte nei territori un tempo sotto il controllo italiano – Eritrea, Somalia, Etiopia, Libia, Dalmazia, Istria, Isole del Dodecaneso –

organizzandole in un archivio digitale ad accesso libero, al riparo dal rischio di deterioramento definitivo dei supporti cartacei originali.

Il testo si articola in otto capitoli. Dopo una ricostruzione del contesto storico coloniale italiano, ampio spazio è dedicato a Filippo Eredia e Amilcare Fantoli, le due figure centrali della meteorologia nazionale che edificarono le reti osservative nelle colonie. Seguono la descrizione delle singole reti territoriali, la narrazione delle fasi operative del progetto, il censimento del materiale già disponibile nelle principali banche dati internazionali (GHCNd, ISPD, Copernicus Climate Change Service) e la documentazione delle campagne di scansione condotte presso l'Archivio Meteorologico Nazionale del CREA, la Biblioteca Storica Centrale della Meteorologia Italiana, l'Accademia dei Lincei e la Biblioteca Statale di Cremona. Un capitolo illustra nel dettaglio la struttura del database – articolato per paese, stazione e anno – guidandone la navigazione.

Il progetto ha coinvolto ricercatori di Politecnico di Milano, Università degli Studi di Milano, Università di Trento, CNR-ISAC, CNR-IBE, CREA e Aeronautica Militare. I risultati sono stati presentati all'EMS 2024 (Barcellona), all'ACRE Drought and Flood Conference (Corfù), al Festivalmeteorologia di Rovereto e all'EGU 2025 (Vienna).

Un riferimento indispensabile per climatologi, meteorologi, archivisti e storici della scienza interessati alle ricostruzioni climatiche del Mediterraneo, del Corno d'Africa e del Nord Africa nel secolo scorso.

In vendita su Amazon: <https://www.amazon.it/Progetto-Dieci-Lode-climatici-Digitalizzazione-ebook/dp/B0H2J668XS>

BACHECA

In questa sezione pubblichiamo annunci relativi a richieste di collaborazioni e scambio di informazioni utili come supporto alla ricerca scientifica o operativa, e a progetti cooperativi di natura non commerciale che promuovano la missione di AISAM. Gli annunci devono essere contestualizzati agli obiettivi della ricerca/progetto in questione e compatibili con una cadenza trimestrale della Newsletter. Non troverete qui annunci di lavoro.



Il 5x1000 costituisce una quota dell'imposta fissa sui redditi delle persone fisiche (IRPEF) che puoi decidere di devolvere a un'organizzazione nonprofit o a un ente con la tua dichiarazione dei redditi: così come accade per l'8 per mille e per il 2 per mille, si tratta di una tua libera scelta.

Puoi destinarlo a una categoria di organizzazioni semplicemente firmando nell'apposito spazio o indicare il codice fiscale di una associazione, Onlus, Ong specifica. Oppure, puoi scegliere di non indicare una preferenza,

lasciando così che questa parte delle tue tasse vada allo Stato.

Il cinque per mille non ti costa nulla!

Non si tratta di una donazione, bensì è una quota delle tue tasse che tu hai comunque pagato e che in nessun modo può esserti rimborsata, nemmeno se eviti di indicare una preferenza per la sua destinazione.

Le organizzazioni non ricevono nessun dato di chi ha devoluto loro il 5x1000.

In molti credono che le organizzazioni sappiano i nominativi di chi ha destinato loro il 5x1000, ma non è così: ai beneficiari del contributo, l'Agenzia delle Entrate non trasmette alcun dato personale dei contribuenti che hanno firmato in loro favore.

L'unico dato che viene reso noto è il numero di preferenze ricevute e il contributo derivante dalle stesse, unitamente a quello che proviene dalla redistribuzione dei contributi di chi ha firmato senza indicare il codice fiscale di un ente specifico.

Devolvi il tuo 5x1000 ad AISAM!

Firma nel riquadro "Enti del Terzo Settore iscritti nel Runtts di cui all'art. 46, C. 1, del D.LGS. 3 Luglio 2017, N. 117, comprese le cooperative sociali ed escluse le imprese sociali costituite in forma di società, nonchè sostegno delle onlus iscritte all'anagrafe" e indica il **Codice Fiscale 97026990586**.

I tre tornado più intensi d'Italia

L'Italia è uno dei Paesi europei più soggetti ad eventi tornadici (Palmieri & Pulcini, 1979; Antonescu et al., 2017; Miglietta & Matsangouras, 2018), ma la loro intensità è spesso stata oggetto di valutazioni approssimative o incerte, se non del tutto assenti salvo per qualche isolata eccezione (ESSL, 2015; Miglietta & Rotunno, 2016), specialmente per quanto riguarda gli eventi "storici", ovvero eventi indicativamente collocabili prima dell'anno 2009. Di recente l'*European Severe Storms Laboratory* (ESSL) ha iniziato ad uniformare la classificazione dell'intensità delle trombe d'aria in tutta Europa mediante la *International Fujita scale* (scala IF; ESSL, 2023), a partire dagli eventi più gravi (tornado precedentemente di grado almeno F3 sulla scala Fujita o almeno T6 sulla scala TORRO, o ipotizzati essere di quelle intensità). I risultati hanno permesso la classificazione di 8 tornado in tutta Europa al grado più alto, **IF5, tre dei quali in Italia**, due sia in Francia che in Germania ed uno nei Paesi Bassi.

La classificazione mediante scala IF

La realizzazione della scala International Fujita è iniziata nel 2011, ma è stata presentata per la prima volta solo nel 2018, anche in seguito ad alcuni eventi tornadici rilevanti, tra cui l'IF4 dell'08 luglio 2015 nel veneziano, che hanno fornito grandi quantità di dati ed informazioni sui danni causati dai tornado. Lo scopo era quello di creare una scala di valutazione di danni associati a forte vento (convettivo o meno) applicabile alle strutture europee e potenzialmente del resto del mondo, dato che la scala *Enhanced Fujita* (scala EF, McDonald & Mehta, 2006) è stata realizzata partendo dalle strutture statunitensi e solo localmente riadattata in altre nazioni (Canada, Giappone e Cina). Il risultato è una scala a 9 gradi (IF0-IF5 con gradi intermedi nella prima metà, ovvero IF0.5, IF1.5 ed IF2.5) che permette di classificare i danni partendo da 23 indicatori di danno (D.I.) e loro sottoclassi, tutti contrassegnati da specifiche sigle, e assegnando ad ognuno di essi un grado di danno (D.o.D.) indicato da dei numeri, permettendo così di fornire una **stima della velocità del vento istantanea** che potrebbe aver causato quei danni. Questa è un'altra importante differenza con la scala EF, che fornisce stime di velocità del vento nell'arco di tempo di tre secondi. Tale stima è stata ritenuta non affidabile per tutti i danni, in quanto, ad esempio, un tornado di piccole dimensioni ed in rapido movimento causa danni in un lasso di tempo inferiore ai tre secondi. Quindi, per coerenza tra tutti gli eventi, è stata proposta una stima del vento istantanea che si assesta in maniera

IF scale class	Instantaneous wind speed			
	m/s	km/h	mph	knots
IF0	25	90	55	50
IF0.5	33	120	75	65
IF1	40	150	90	80
IF1.5	50	180	110	100
IF2	60	220	135	120
IF2.5	70	250	160	140
IF3	80	290	180	160
IF4	105	380	230	200
IF5	130	470	290	250

Figura 1. Gradi che compongono la scala IF con associate velocità del vento stimabili; ESSL, 2023.

fedele alle velocità proposte da Tetsuya Fujita nella sua scala originale (Fig. 1).

Il tornado del 07 ottobre 1884

Il primo evento in ordine cronologico ad aver ottenuto la massima classificazione possibile si verificò in Sicilia. Venne avvistato poco dopo mezzogiorno nella piana di Catania a sud-sudovest dell'Etna come un tornado relativamente sottile, ma che in breve tempo crebbe raggiungendo i 750 metri di ampiezza durante il suo



Figura 2. Edifici completamente distrutti a Catania; da L'Illustrazione Popolare del 09 novembre 1884

spostamento verso nordest. Il vortice transitò sulla parte nord della città di Catania, causando danni ingenti nei quartieri di San Nullo, Cibali, Borgo-Sanzio, Picanello e Ognina, per poi entrare in mare e dissolversi dopo circa 30 km percorsi. Da una pubblicazione di Damiano Macaluso, professore dell'epoca all'Università di Catania (Macaluso, 1885), si evincono dettagli che già allora lo fecero identificare come un evento di intensità eccezionale: alberi interi vennero strappati da terra nelle campagne e trasportati per chilometri, con alcuni ritrovati nelle acque del porto di Ognina, blocchi di lava di colate storiche vennero rimossi e scagliati contro gli edifici ed un'abitazione i cui muri erano spessi più di un metro venne completamente distrutta. Il bilancio umano fu tragico, con **28 vittime** e fino a **600 feriti**.

In alcune raffigurazioni (Fig. 2) e fotografie, tra cui una ritrovata da Paolo Torrisi nel libro *Una vita per l'Etna, Orazio Silvestri vulcanologo fiorentino (1835-1890)*, di Aldo Musumarra (2018), si nota la distruzione completa di numerose strutture, in alcuni casi quasi totalmente rase al suolo. Macaluso le descrisse come "assai solidamente costruite", anche se il preciso metodo di costruzione e quindi la loro resistenza effettiva sono fattori ignoti. L'ESSL ha identificato come D.I. più probabile per questi edifici un indicatore di classe BSE, sigla che indica un edificio (B – Building) con danni alla struttura (S – Structure), stimata di tipo E per la presenza di muri di almeno 40 cm con deboli connessioni tra gli elementi dei muri (*40-80 cm thickness, weak brick masonry*). Il D.o.D., data la distruzione totale o quasi di queste strutture, è il massimo, cioè 2 e permette la classificazione come IF5, supportata anche dalla distruzione dell'edificio con i muri spessi oltre

un metro. La classificazione in base agli edifici è riportata in Fig. 3.

Il tornado del 24 luglio 1930

Una supercella temporalesca attraversò parte di Veneto e Friuli Venezia Giulia portando grossa grandine nel vicentino ed una famiglia di quattro tornado tra trevigiano e pordenonese, frequentemente raccontata come un singolo tornado denominato "*Tromba del Montello*". Con le conoscenze attuali e basandosi sull'analisi realizzata da Agostino Puppo e Pietro Longo (Puppo & Longo, 1934), è possibile dividere il percorso di circa 80 km in quattro segmenti, di cui due paralleli, distinguibili da dei tratti di oltre 3 km senza danni o vortici osservati intervallati agli effettivi percorsi delle trombe d'aria osservate. Questo tipo di evoluzione è coerente con supercelle cicliche, che sono in grado di produrre più tornado in rapida successione.

Il primo dei quattro vortici si sviluppò nella zona di Castello di Godego (TV) e per i primi 10 km produsse danni relativamente contenuti. Ma, entrando nel territorio di Montebelluna, quattro tornado satelliti osservati dagli abitanti e riscontrati nei sopralluoghi dei danni, si unirono al vortice principale, che si allargò fino a circa 750 m di diametro e si intensificò immensamente, causando gravissimi danni nel tratto tra Montebelluna e la zona a sudest di Susegana, dove si dissipò dopo quasi 37 km. Soprattutto tra Montebelluna e Selva del Montello numerosi edifici vennero completamente distrutti o rasi al suolo, inclusa la chiesa di Selva. Un dettaglio interessante è la ricaduta tra le precipitazioni della supercella di detriti sollevati da questa zona su tutto il Montello a nord, con un quadro intero ritrovato a Piancavallo (PN) dopo che il tornado lo sollevò a circa 50 km di distanza. Questa prima tromba d'aria causò anche **21 morti** e almeno **102 feriti** su un totale di 23 vittime e almeno 117 feriti per tutta la famiglia.

Come per il tornado di Catania, i danni valutati al grado IF5 dall'ESSL sono stati riscontrati a edifici considerabili come

Sturdiness class of a building (in brackets: building with vulnerable 3D geometry)								
◀ Wall Quality	Wall Thickness →	10 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 80 cm	> 80 cm			
	stacked hollow masonry units without reinforcement and with little to no connections	AB (A)	B (AB)	C (B)	D (C)			
	stacked heavy masonry units such as solid brick or stones, with little to very poor connections	B (AB)	C (B)	D (C)	E (D)			
	weak brick masonry, unreinforced cast concrete	C (B)	D (C)	E (D)	F (E)			
	strong brick masonry, filled concrete masonry units	D (C)	E (D)	F (E)	F (E)			
	steel reinforced filled concrete blocks, or cast-in-place reinforced concrete	E (D)	F (E)	F (F)	F (F)			
Degree of Damage to walls or frame:		Rating for a given sturdiness class and DoD						
		A	AB	B	C	D	E	F
DoD 0 <i>Negligible damage to structure except to gables above highest ceiling</i>		≤IF0.5 ≤ 33 ≤ 120	≤IF1 ≤ 40 ≤ 150	≤IF1.5 ≤ 50 ≤ 180	≤IF2 ≤ 60 ≤ 220	≤IF2.5 ≤ 70 ≤ 250	≤IF3 ≤ 80 ≤ 290	*
DoD 1A <i>Some damage to structure destruction of less than 1/5th of all walls</i>		IF0.5 33 120	IF1 40 150	IF1.5 50 180	IF2 60 220	IF2.5 70 250	IF3 80 290	IF4 105 380
DoD 1B <i>Partial destruction but not more than 2/3</i>		IF1 40 150	IF1.5 50 180	IF2 60 220	IF2.5 70 250	IF3 80 290	IF4 105 380	IF5 130 470
DoD 2 <i>Near complete destruction more than 2/3</i>		≥IF1.5 ≥ 50 ≥ 180	≥IF2 ≥ 60 ≥ 220	≥IF2.5 ≥ 70 ≥ 250	≥IF3 ≥ 80 ≥ 290	≥IF4 ≥ 105 ≥ 380	IF5 130 470	IF6 135 470

Figura 3. Valutazione dei danni ad un edificio tramite scelta dell'indicatore di danno (sopra) e grado di danno (sotto); ESSL, 2023



Figura 4. Ciò che rimane della Sala Votiva della chiesa di Selva del Montello; fonte: pagina web della parrocchia di Selva del Montello

D.I. di classe BSE e con D.o.D. pari a 2. Questi edifici, più documentati rispetto all'evento precedente, includono almeno un'abitazione di Montebelluna e la Sala Votiva della chiesa di Selva di Montello (Fig. 4), di costruzione più recente e con probabilmente meno fragilità strutturali rispetto al resto della struttura.

Il tornado del 16 giugno 1957

Questo rimane tutt'ora uno degli eventi tornadici più singolari della storia italiana per magnitudo, evoluzione e zona interessata. Poco prima di mezzogiorno, un intenso tornado si abbatté sul paese di Robecco Pavese, nelle campagne dell'Oltrepò Pavese. Il vortice causò gravissimi danni e nessuna vittima, ma fu solo l'inizio. Pochi minuti dopo, una seconda tromba d'aria (ampiamente documentata per il periodo, Fig. 5) si formò sulle colline nella zona di Castana e discese parallelamente alla precedente verso nord-nordovest nella vallata dove è situato il paesino di Valle Scuropasso. Alcune parti dell'abitato vennero colpite in pieno dal tornado e fattorie e vegetazione di ogni tipo vennero rase al suolo. Infine, prima di dissolversi virò alla sua destra avvicinandosi pericolosamente al paese di Broni, completando un percorso di poco più di 3 km ma ristretto nel suo diametro. Il tornado, accompagnato da un terzo più debole sulle colline piacentine, causò **6 morti** e almeno altri **31 feriti** per un bilancio totale di 6 vittime e almeno 59 feriti. Questo evento è probabilmente il più intenso di cui si



Figura 5. Il tornado di Valle Scuropasso fotografato da Angelo Pietra

abbia notizia in Lombardia e l'unico di natura tornadica noto nel pavese meridionale.

Il tornado di Valle Scuropasso è stato valutato come IF5 dall'ESSL in base a diverse fotografie di un paio di fattorie completamente rase al suolo: una in particolare si stima avesse muri spessi anche oltre mezzo metro, ma per incertezze sulla sua struttura precedente all'evento e sui materiali di connessione per le pareti è stato catalogato come D.I. di classe BSE, con un D.o.D. massimo di 2, ma almeno altri due edifici potenzialmente rispettano questa stessa valutazione.

Cosa ci si può aspettare in futuro?

La climatologia dei tornado a livello mondiale, e nello specifico europeo ed italiano, rimane poco utile per comprendere quale sia la tendenza di questi fenomeni con il cambiamento climatico in atto, questo a causa della disomogeneità nell'identificazione degli eventi tornadici da nazione a nazione e della scala spaziale e temporale che questi occupano (IPCC, 2023). Quindi **risulta estremamente complicato indicare cosa riservi il futuro**. Inoltre, i metodi di valutazione dell'intensità dei tornado sono in continuo cambiamento e, anche in un Paese ad altissima frequenza come gli Stati Uniti, la conferma del grado massimo d'intensità su qualsiasi scala è un avvenimento estremamente raro. Negli USA, appunto, gli ultimi due EF5 verificati come tali stati separati tra loro da 12 anni ed un mese, questo perché è necessario che il tornado colpisca i giusti indicatori di danno nella sua fase di massima intensità, dato che sono poche le strutture capaci di resistere anche solo a tornado di grado 3 o 4 delle varie scale.

Non si sa quando verrà confermato il prossimo IF5 in Europa. Ad ora l'ultimo risale al 24 giugno 1967 in Francia. Ciò che non è cambiato molto da allora è la consapevolezza della popolazione del rischio di questi fenomeni in Europa (Antonescu et al., 2017). Nonostante la minor frequenza dei tornado in Europa rispetto all'America settentrionale, questi fenomeni sono presenti anche nel vecchio continente, occasionalmente di fortissima intensità come appunto mostrano queste rianalisi da parte dell'ESSL. C'è quindi bisogno di **riconoscere il rischio anche in Italia** e nel resto dei paesi europei, dato l'intrinseco pericolo per l'incolumità delle persone delle trombe d'aria, soprattutto nell'improbabile ma inevitabile caso di una di massima intensità in una zona densamente abitata.

Bibliografia

Antonescu, B., Schultz, D.M., Holzer, A.M., Groenemeijer, P., 2017. Tornadoes in Europe: An underestimated threat. *Bull. Am. Meteor. Soc.* **98** (4), 713-728. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0171.1>

- ESSL, 2015. Corporate Report on the 8 July 2015 Tornado of Mira (VE), Italy. <https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/20150902-Mira-Tornado-of-8-July-2015-Report.pdf>
- ESSL, 2023. The International Fujita (IF) Scale for tornado and wind damage assessments. https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/IF-scale_v1.0c.pdf
- ESSL, 2026. Violent Tornadoes. <https://www.essl.org/cms/european-severe-weather-database/violent-tornadoes/>
- IPCC, 2023. Weather and climate extreme events in a changing climate. *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 1513-1766. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Macaluso, D., 1885. Sul Tornado di Catania del giorno 7 Ottobre 1884. *Atti Accad. gioenia di Sci. nat.* **3** (18), 101-144. https://www.uni-met.it/trombedaria/documents/1884_Macaluso.pdf
- McDonald, J.R., Mehta, K.C., 2006. A recommendation for an Enhanced Fujita scale (EF-Scale). Wind Science and Engineering Research Center. <https://www.depts.ttu.edu/nwi/Pubs/EnhancedFujitaScale/EFScale.pdf>
- Miglietta, M.M., Rotunno, R., 2016. An EF3 Multivortex Tornado over the Ionian Region. *Bull. Am. Meteor. Soc.* **97** (3), 337-344. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00227.1>
- Miglietta, M.M., Matsangouras, I.T., 2018. An updated “climatology” of tornadoes and waterspouts in Italy. *Int. J. Climatol.* **38**, 3667-3683. <https://doi.org/10.1002/joc.5526>
- Musumarra, A., 2018. Una vita per l’Etna, Orazio Silvestri vulcanologo fiorentino (1835-1890)
- Palmieri, S., Pulcini, A., 1979. Trombe d’aria sull’Italia. *Riv. Meteorol. Aeronaut.* **39** (3-4), 263-277. https://www.uni-met.it/trombedaria/documents/197912_Palmieri.pdf
- Puppo, A., Longo, P., 1934. La tromba del 24 luglio 1930 nel territorio di Treviso-Udine. *Memorie del R. Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica.* **3** (4), 5-68. https://www.uni-met.it/trombedaria/documents/193412_Puppo_Longo.pdf
- Testori, R., 2007. Il tornado nei ricordi dei robecchesi

Autore:



Federico Pavan

(Pretemp)

IT-DPC-SRI: 16 anni di dati radar di precipitazione disponibili su tutta Italia

1. La sfida dei dati radar nel panorama nazionale

Sebbene la rete osservativa italiana sia di elevata qualità, la fruizione dei dati radar storici su scala nazionale è rimasta a lungo preclusa alla comunità scientifica. Per fare ricerca avanzata, specialmente nell'ambito dei Big Data, non basta avere accesso a mappe frammentate, serve un'infrastruttura che permetta di manipolare serie temporali lunghe, coerenti e ad alta risoluzione. In questo articolo presentiamo l'archivio dati IT-DPC_SRI, rilasciato nel contesto della *AI Factory Italiana – IT4LIA*: il dataset nasce per colmare questo divario, offrendo un archivio storico di dati radar su tutto il territorio nazionale, standardizzato, che funge da volano per sbloccare una vasta gamma di applicazioni, dalle previsioni di precipitazione a breve termine (**nowcasting**) e i sistemi di allerta per le piene, alla ricerca climatica e, sempre più spesso, all'addestramento di modelli di previsione meteorologica basati sui dati (**data-driven**).

2. La sorgente dati originale

2.1. La Rete Radar Nazionale Italiana

La rete radar meteorologica nazionale italiana è coordinata dal Dipartimento della Protezione Civile (DPC) sotto la Presidenza del Consiglio dei Ministri. I dati della rete vengono elaborati presso il Centro Funzionale Centrale (CFC) utilizzando catene operative sviluppate in collaborazione con la comunità scientifica nazionale e internazionale, con il supporto informatico di Leonardo S.p.A. Il sistema di elaborazione, noto come WIDE (*Weather Ingestion Data Engine*), acquisisce i dati grezzi volumetrici dai singoli radar e produce diversi prodotti derivati.

La rete, una fra le più dense d'Europa, comprende attualmente 26 sistemi radar — 20 in banda C e 6 in banda X — gestiti da 13 amministrazioni diverse. Il DPC gestisce direttamente 7 sistemi in banda C e 4 in banda X, tutti con doppia polarizzazione; i restanti radar sono gestiti da autorità regionali, dall'ENAV e dal CNMCA. La banda C è la banda di frequenza standard per la sorveglianza meteorologica operativa in Europa, mentre i sistemi in banda X forniscono una copertura a risoluzione più elevata in aree specifiche. Non tutti i radar sono stati operativi durante l'intero periodo di 16 anni coperto da questo archivio: la rete si è espansa in modo significativo a partire dal 2010.

2.2. I prodotti salvati

Il mosaico nazionale genera in tempo reale diversi prodotti grigliati proiettati: l'indicatore di posizione del

piano ad altitudine costante (CAPPI) ad altitudini da 2 a 8 km distanziate di 1 km, l'indicatore di massimo verticale (VMI), la *Surface Rainfall Intensity* (SRI) e la sua versione corretta con i pluviometri (SRIadj). Il prodotto SRI è una stima su griglia dell'intensità di precipitazione sulla superficie del suolo, espressa in millimetri all'ora (mm/h). A differenza di prodotti di riflettività radar più semplici (come il VMI, che mostra la riflettività massima in ogni colonna verticale), l'SRI incorpora ulteriori passaggi di elaborazione per fornire una stima più accurata della pioggia effettiva che raggiunge il suolo.

2.3. Formati dei dati, distribuzione e sfide

L'elaborazione dei dati radar storici italiani è stata complicata dall'evoluzione dei formati e delle specifiche di raccolta e salvataggio dei dati nel corso degli anni. Si possono identificare tre ere principali:

1. **2010–2020 formato BUFR**: Formato binario che segue la convenzione utilizzata dal programma EUMETNET OPERA per lo scambio di dati radar; richiede librerie software specializzate ed è poco compatibile per i moderni strumenti di data science.
2. **Dal 2020 formato HDF5**: Più accessibile del BUFR, segue le convenzioni dell'OPERA *Data Information Model* (ODIM); richiede codice specifico per la lettura e non supporta download e lettura parziali via cloud.
3. **Dal 2020 formato GeoTIFF**: messo a disposizione tramite *API Web* dal DPC; valido formato ma il download di file singoli non è scalabile per accedere a serie temporali lunghe, e l'API fornisce l'accesso ai dati in real-time e non all'archivio storico.

Oltre all'eterogeneità dei formati, sono cambiate anche le specifiche spaziali e temporali. L'estensione geografica, la spaziatura della griglia, la proiezione cartografica e la cadenza temporale delle osservazioni si sono evolute parallelamente all'aggiornamento della rete e dei sistemi di elaborazione. Ciò significa che una banale concatenazione dei file storici produrrebbe un dataset incoerente, con disallineamenti spaziali e con frequenze variabili nel tempo.

Infine, i dati storici del composito radar nazionale non sono mai stati rilasciati in modo open agli utenti: solamente a partire dal 2020, tramite le API del DPC, sono state messe a disposizione le osservazioni real-time.

3. Pre-processing dei dati

Il primo importante step per raggiungere l'obiettivo finale di questo lavoro è stato la **raccolta dei dati storici (2010-2023)**, in formato BUFR e HDF5, resa possibile grazie alla collaborazione tra DPC, ARPAE Emilia-Romagna e ItaliaMeteo. I dati dal 2024 in poi sono invece stati raccolti

in tempo reale tramite un server FTP della Protezione Civile.

I dati storici hanno necessitato di un importante pre-processing per uniformarli e prepararli alla distribuzione. Le operazioni eseguite sono le seguenti:

- **Armonizzazione Spaziale (Griglia Unica):** Poiché i dati storici presentavano proiezioni spaziali e griglie disomogenee, tutti i dati sono stati riproiettati sulla griglia attuale di 1200×1400 pixel, con risoluzione di 1 km e proiezione Transverse Mercator.
- **Allineamento Temporale (senzainterpolazione):** La risoluzione temporale variabile dei dati storici ha richiesto l'allineamento a una griglia temporale comune. È stato quindi adottato l'attuale intervallo di 5 minuti come target (00, 05, 10, . . . , 55 minuti dopo ogni ora): per i periodi caratterizzati da una risoluzione temporale meno fitta (intervalli di 15 minuti prima di giugno 2014; intervalli di 10 minuti da giugno 2014 a giugno 2020), le osservazioni disponibili sono state assegnate al passo temporale di destinazione più vicino, mentre i restanti passi temporali sono stati contrassegnati come dati mancanti (NaN).
- **Qualità dei Dati:** Il dataset non ha subito ulteriori filtri oltre a quelli già effettuati dalla Protezione Civile. Nell'utilizzazione del dato è importante tenere conto che le osservazioni recenti sono molto più precise e complete rispetto a quelle dei primi anni (2010), a causa del progressivo aumento del numero di radar sul territorio e del miglioramento dei software di pulizia del segnale.

4. Descrizione e Caratterizzazione del Dataset

Il dataset presentato in questo lavoro contiene, attualmente, il prodotto SRI, dal 2010 al 2025 (in continuo aggiornamento, vedi Sezione 6.3), che si basa esclusivamente sulle osservazioni radar e sulla loro catena di elaborazione, che include correzioni per noti artefatti radar come il *beam overshooting* (il raggio che passa sopra le nubi), gli effetti della banda luminosa (*bright band*) e l'attenuazione del segnale.

Nell'attuale configurazione operativa, il prodotto SRI viene aggiornato ogni 5 minuti. I dati storici hanno una risoluzione temporale variabile: prima del 2020, gli aggiornamenti avvenivano a intervalli da 10 minuti a 15-20 minuti a seconda del periodo. La risoluzione spaziale del dataset è di 1 km, sebbene i periodi precedenti utilizzassero specifiche di griglia differenti.

4.1. Copertura Spaziale e Sistema di Riferimento Geografico

Il dominio geografico del dataset abbraccia l'intera penisola italiana, le grandi isole (Sicilia e Sardegna), i mari circostanti e porzioni dei Paesi confinanti, estendendosi approssimativamente da 35°N a 48°N di latitudine e da 5°E a 20°E di longitudine (1200 pixel in larghezza e 1400 pixel

in altezza), con una risoluzione spaziale geometrica di 1 km per cella.

Per minimizzare le distorsioni geometriche sulla penisola, i dati sono stati riproiettati sulla proiezione standard trasversa di Mercatore, centrata nel cuore dell'Italia (meridiano centrale: 12.5°E, latitudine d'origine: 42°N, fattore di scala: 1.0, ellissoide di riferimento: WGS 84).

L'archivio include sia le coordinate proiettate (esprese in metri sull'asse x, y) sia le coordinate geografiche standard (latitudine e longitudine in gradi) come variabili ausiliarie bidimensionali.

4.2. Variabili, Unità di Misura e Standard Metadati

La variabile principale memorizzata nell'archivio si chiama RR (Rain Rate), che esprime l'intensità oraria della pioggia in millimetri all'ora (mm/h, equivalente di $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$).

Quando il radar non rileva segnale o l'osservazione è assente, il valore viene registrato come NaN (*Not a Number*). La variabile RR è arricchita con metadati conformi agli standard internazionali CF (Climate and Forecast). Grazie a questo accorgimento e alla variabile scalare crs (che descrive la proiezione cartografica), i software di geomatica come QGIS, GDAL o la libreria Python xarray possono leggere e sovrapporre istantaneamente queste mappe ad altri dataset territoriali senza bisogno di configurazioni manuali.

4.3. L'Architettura Informatica: il Formato Zarr

L'intera serie storica è organizzata in un formato nativo per il cloud chiamato **Zarr**. I dati grezzi originali occuperebbero circa 7 Terabyte, una dimensione proibitiva per la ricerca ordinaria. Applicando il meta-compressore *Blosc* con l'algoritmo *Zstd* (livello 9), gli autori hanno ridotto il peso sul disco a soli **51 Gigabyte**, senza alcuna perdita di precisione scientifica.

Zarr supporta letture parziali efficienti, il che significa che gli utenti possono caricare solo il sottoinsieme spaziale o temporale di cui hanno bisogno senza dover scaricare l'intero archivio.

La strategia di segmentazione (*chunking*) prevede che ogni istante temporale sia salvato come un unico blocco spaziale intero (1400×1200 pixel). Inoltre, per velocizzare le analisi, è stata creata la coordinata *missing_times*: un indice speciale che elenca i 15.530 timestamp privi di dati, permettendo agli utilizzatori di scartare i "buchi" temporali istantaneamente senza dover scansionare l'intero database.

4.4. Qualità e Densità della Copertura sul Territorio

Il dataset eredita i punti di forza e i limiti fisici della rete radar nazionale. Non tutte le zone d'Italia mostrano la stessa efficienza di rilevamento a causa dell'orografia e della geometria della distribuzione dei sensori (vedi Figura 1):

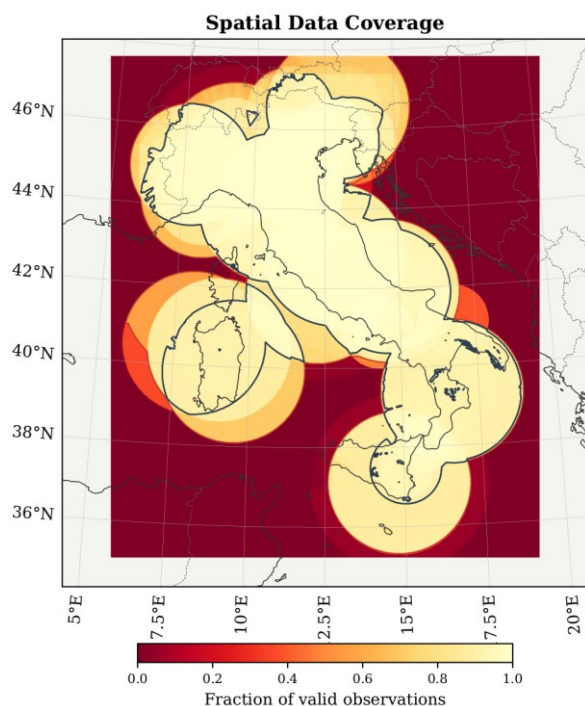


Figura 1. Frazione di osservazioni valide (non-NaN) per cella della griglia, calcolata su 1000 passi temporali uniformemente spazati. Le linee di contorno (isolinee) sono tracciate in corrispondenza di una copertura frazionaria pari a 0,5 e 0,9.

- **Copertura Massima (>90%):** Si registra sulla Pianura Padana e nelle regioni del Centro Italia. In queste aree, la presenza di più radar parzialmente sovrapposti garantisce una cattura dei fenomeni piovosi estremamente solida e continua.
- **Copertura Ridotta:** La qualità del dato degrada man mano che ci si allontana dalle coste verso il mare aperto, superando la portata tipica dei radar (circa 150 km). Inoltre, alcune vallate alpine profonde mostrano una copertura inferiore: ciò è dovuto o al fenomeno del *beam blockage*, dove le montagne agiscono come barriere fisiche schermano il raggio del radar e impedendogli di vedere cosa accade al suolo nelle valli sottostanti. Alcune aree, come ad esempio alcune zone della Sicilia, hanno copertura ridotta per effettiva mancanza di strumenti.

In generale, l'utente del dataset deve considerare che la qualità complessiva, la precisione e la densità dei dati migliorano in modo netto e progressivo muovendosi dal 2010 verso il 2025, di pari passo con l'espansione della rete radar sul territorio e il raffinamento degli algoritmi di pulizia del segnale.

4.5. Evoluzione Temporale e Completezza dell'Archivio

L'archivio spazia dal 1° gennaio 2010 al 31 dicembre 2025, contenendo 1.039.785 passi temporali con 15.530 mancanti (1,5%). La risoluzione temporale è cambiata due volte durante questo periodo: intervalli di 15 minuti dal 2010 a giugno 2014, intervalli di 10 minuti da giugno 2014 a giugno 2020 e intervalli di 5 minuti da luglio 2020 in poi.

La Figura 2 presenta due visualizzazioni della completezza temporale. Il pannello superiore mostra una mappa termica (*heatmap*) anno per mese della disponibilità dei dati, espressa come frazione dei passi temporali previsti che sono effettivamente presenti. Il pannello inferiore mostra il numero totale di passi temporali all'anno, colorati in base all'era della frequenza temporale. La transizione verso una frequenza temporale più elevata nel 2020 è chiaramente visibile come un netto aumento del conteggio dei passi temporali annuali."

5. Un Caso d'Uso: Nowcasting con l'Intelligenza Artificiale

La disponibilità di un dataset così ampio abilita, ad esempio, lo sviluppo di modellistica innovativa basata su intelligenza artificiale per il nowcasting, ovvero la previsione di pioggia a brevissimo termine (0-2 ore).

All'interno dell'AI-Factory italiana IT4LIA, grazie alla disponibilità del dataset IT-DPC-SRI, è stato sviluppato IRENE (Italian Radar Ensemble Nowcasting Experiment), un modello di Deep Learning per il nowcasting. IRENE è in grado di:

1. Ingerire le osservazioni radar degli ultimi 30 minuti.
2. Generare 10 possibili scenari futuri (ensemble) per le due ore successive.
3. Mantenere una struttura spaziale realistica anche in eventi estremi.

I test effettuati dimostrano che questo approccio basato sull'IA supera in precisione i metodi statistici tradizionali, offrendo una stima più affidabile dell'incertezza. Anche il modello IRENE è stato recentemente rilasciato all'interno di IT4LIA, ed è accessibile a tutti su [HuggingFace](https://huggingface.co/IT4LIA/IRENE).

6. Modalità di accesso ai dati

Fra le caratteristiche distintive del progetto non vi sono solo l'unicità e quantità intrinseca dei dati, ma la filosofia di accessibilità che li accompagna. Il sistema di distribuzione è "multi-livello", pensato per soddisfare esigenze diverse: dal ricercatore che necessita di un dataset statico per una pubblicazione, allo sviluppatore di Intelligenza Artificiale che richiede flussi di dati ad alte prestazioni in cloud. L'accesso è possibile attraverso le tre seguenti modalità.

6.1. Repository Statico su Zenodo

Per garantire la riproducibilità degli studi scientifici, è fondamentale che i dati utilizzati in una ricerca rimangano fissi nel tempo. Per questo motivo, una versione statica del dataset che include osservazioni dal 2010 al 2025, è stata depositata su **Zenodo** (in formato compresso tar). La versione caricata è provvista di DOI, che permette di citare il dataset in modo univoco nelle bibliografie scientifiche.

6.2. Accesso interattivo tramite European Weather Cloud (EWC)

Lo stesso archivio è disponibile anche sulla **European Weather Cloud**, infrastruttura di calcolo congiunta di

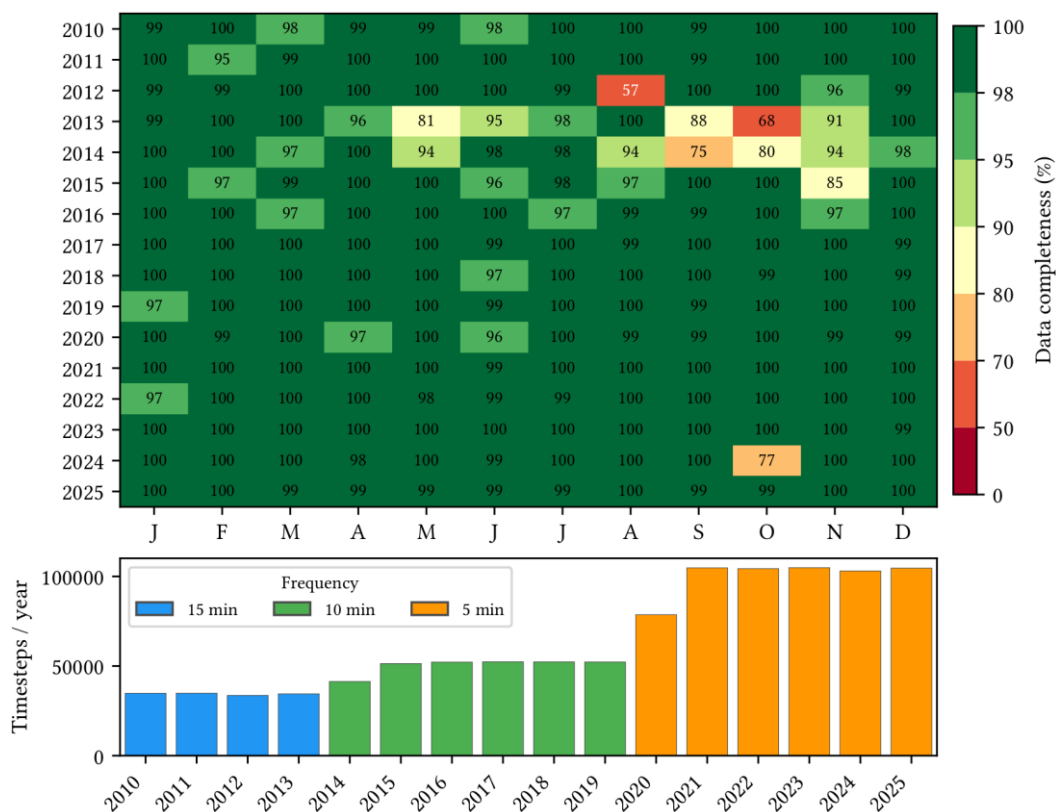


Figura 2. Copertura temporale del dataset. In alto: mappa termica (heatmap) della completezza anno per mese (frazione dei passi temporali previsti effettivamente presenti). In basso: passi temporali totali all'anno, colorati in base all'era della frequenza temporale (15 minuti in blu, 10 minuti in arancione, 5 minuti in verde).

ECMWF ed EUMETSAT, come S3 object storage, che consente accesso interattivo partizionato, senza richiedere il download completo del dataset. Ciò significa che grazie a librerie Python come xarray e fsspec un utente può collegarsi all'archivio remoto e leggere solo il subset desiderato, nello spazio e nel tempo, con una latenza minima. In alternativa, il modo più semplice per sfruttare le potenzialità di questo archivio, è utilizzare il pacchetto Python [mlcast-datasets](#) che fornisce accesso diretto ad un catalogo di datasets di compositi radar europei. Tale libreria e i dataset connessi, sono stati sviluppati e curati dalla comunità scientifica dell'EUMETNET E-AI Optional Programme, per lo sviluppo di modellistica nowcasting bastata su deep learning.

6.3. Versione in continuo aggiornamento: ArcoDataHub e la fornitura dati interattiva in Real-Time

Il dataset zarr analysis-ready non è accessibile solo come archivio storico, ma è una risorsa in continua evoluzione. Attraverso la piattaforma **ArcoDataHub**, sviluppata e messa a disposizione all'interno della AI-Factory IT4LIA, i dati SRI vengono aggiornati con una latenza di pochi minuti rispetto all'osservazione radar effettiva, mano a mano che questi vengono messi a disposizione dal sistema operativo della Protezione Civile. L'accesso richiede un'autenticazione (username a API key) che è possibile ottenere gratuitamente e senza restrizioni attraverso la registrazione sul portale ArcoDataHub.

7. Licenze e Trasparenza

In linea con le direttive europee sugli "Open Data" ad alto valore, il dataset è distribuito con licenza **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**. Questa scelta promuove il riutilizzo dei dati anche per scopi commerciali, a patto che venga riconosciuta la paternità del lavoro (il Dipartimento della Protezione Civile come sorgente dei dati e Fondazione Bruno Kessler per il processing e l'armonizzazione dei dati).

Tratto dal preprint:

Franch, G., Tomasi, E., Azhel, U., Tomezzoli, G., Camilletti, A., Poli, V., Pelosini, R., Vulpiani, G., Scipione, G., Trotta, G., Angelinelli, M., Denby, L., Kruse, I. L., & Cristoforetti, M. (2026). *IT-DPC-SRI: A Cloud-Optimized Archive of Italian Radar Precipitation (2010-2025)*. arXiv preprint arXiv:2602.15088. <https://arxiv.org/abs/2602.15088>

Autore:



Elena Tomasi
(Fondazione Bruno Kessler)

Il ciclone Jolina: nuove tecniche satellitari per l'identificazione e il monitoraggio dei medicanes

1. Introduzione

Negli ultimi anni i cicloni mediterranei a caratteristiche tropicali, comunemente noti come *medicane* (*Mediterranean Hurricanes*), hanno attirato crescente attenzione da parte della comunità scientifica per la loro capacità di produrre precipitazioni estreme, forti venti e impatti severi sulle regioni costiere del Mediterraneo.

Un importante avanzamento nel loro inquadramento scientifico è stato recentemente proposto da Miglietta et al. (2025) nel *Bulletin of the American Meteorological Society*, dove viene introdotta una nuova definizione di medicane adottata nel proprio *Glossary of Meteorology* (<https://glossary.ametsoc.org/wiki/medicane/>) basata principalmente su caratteristiche osservabili del sistema, ovvero:

- la presenza di un nucleo caldo (*warm core*) che si estende fino all'alta troposfera;
- una struttura simile all'occhio del ciclone, circondata da bande nuvolose spiraliformi attorno a una regione centrale quasi priva di vento;
- una circolazione dei venti prossimi alla superficie marina quasi simmetrica, con velocità massime localizzate entro poche decine di chilometri dal centro del sistema.

Sebbene il loro sviluppo sia generalmente influenzato da processi sia baroclini sia diabatici, queste caratteristiche distintive e comparabili ai cicloni tropicali rappresentano criteri chiave per la loro identificazione e monitoraggio operativo, indipendentemente dai processi fisici che ne determinano la formazione. Le osservazioni satellitari rivestono un ruolo fondamentale nell'identificazione e nel monitoraggio di queste caratteristiche consentendo oggi un'analisi quasi in tempo reale dell'evoluzione dei medicane e dei loro potenziali impatti severi.

In questo contesto, il medicane Jolina (15-19 marzo 2026), che ha raggiunto le coste della Sicilia e della Libia causando condizioni meteorologiche estreme con impatti significativi sulle zone costiere, ha rappresentato un importante caso di studio per applicare e validare nuove tecniche dedicate all'identificazione, caratterizzazione e monitoraggio dei cicloni mediterranei sviluppate nell'ambito del progetto ESA MEDICANES (<https://medicanes.isac.cnr.it/>) coordinato dall'Istituto di

Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISAC).

L'evoluzione di Jolina ha fornito un esempio particolarmente significativo dell'applicabilità in tempo quasi reale (*near real time*, NRT) degli strumenti satellitari sviluppati nell'ambito del progetto per l'identificazione, il tracking e la caratterizzazione dinamica e termodinamica dei medicane mediante osservazioni satellitari multi-sensore. Ciò ha consentito per la prima volta di monitorare e di identificare in NRT la transizione del sistema verso una struttura pienamente compatibile con la nuova definizione di medicane utilizzando esclusivamente dati satellitari.

2. Osservazioni satellitari della struttura interna di Jolina

L'analisi del ciclone Jolina ha integrato dati acquisiti da differenti piattaforme satellitari e sensori, tra cui osservazioni scatterometriche (ad esempio ASCAT sui satelliti MetOp di EUMETSAT), radar ad apertura sintetica (SAR) della missione Sentinel-1 di ESA, misure da radiometri a microonde (AMSU-A/MHS a bordo dei satelliti MetOp e ATMS della NOAA), oltre a immagini multispettrali provenienti dai satelliti geostazionari Meteosat Second Generation (MSG) e Meteosat Third Generation (MTG).

Le osservazioni satellitari multispettrali hanno evidenziato la progressiva organizzazione simmetrica del sistema e la formazione di una struttura assimilabile all'occhio del ciclone. In particolare, i dati dei satelliti geostazionari di nuova generazione *Meteosat Third Generation* (MTG) hanno consentito di monitorare l'evoluzione della struttura nuvolosa e dell'attività di fulminazione grazie alle misure del radiometro VIS/IR Flexible Combined Imager (FCI) e del Lightning Imager (LI). È stata evidenziata l'assenza di attività di fulminazione in prossimità del centro del ciclone, una caratteristica tipica dei medicanes nella loro fase matura (e.g., D'Adderio et al., 2022, Marra et al., 2019) (Fig. 1).

Per l'identificazione del *warm core* (WC) vengono utilizzate osservazioni da radiometri passivi a microonde (PMW) AMSU-A, ATMS e SSMIS (Panegrossi et al., 2023, Di Francesca et al., 2025). In particolare, vengono sfruttati canali di sounding della temperatura nella banda intorno ai 54 GHz, che consentono di investigare la struttura termica della media e alta troposfera. Nel caso di Jolina, si è rilevata l'occorrenza e la simmetria (orizzontale e verticale) del WC misurate tramite anomalie positive di

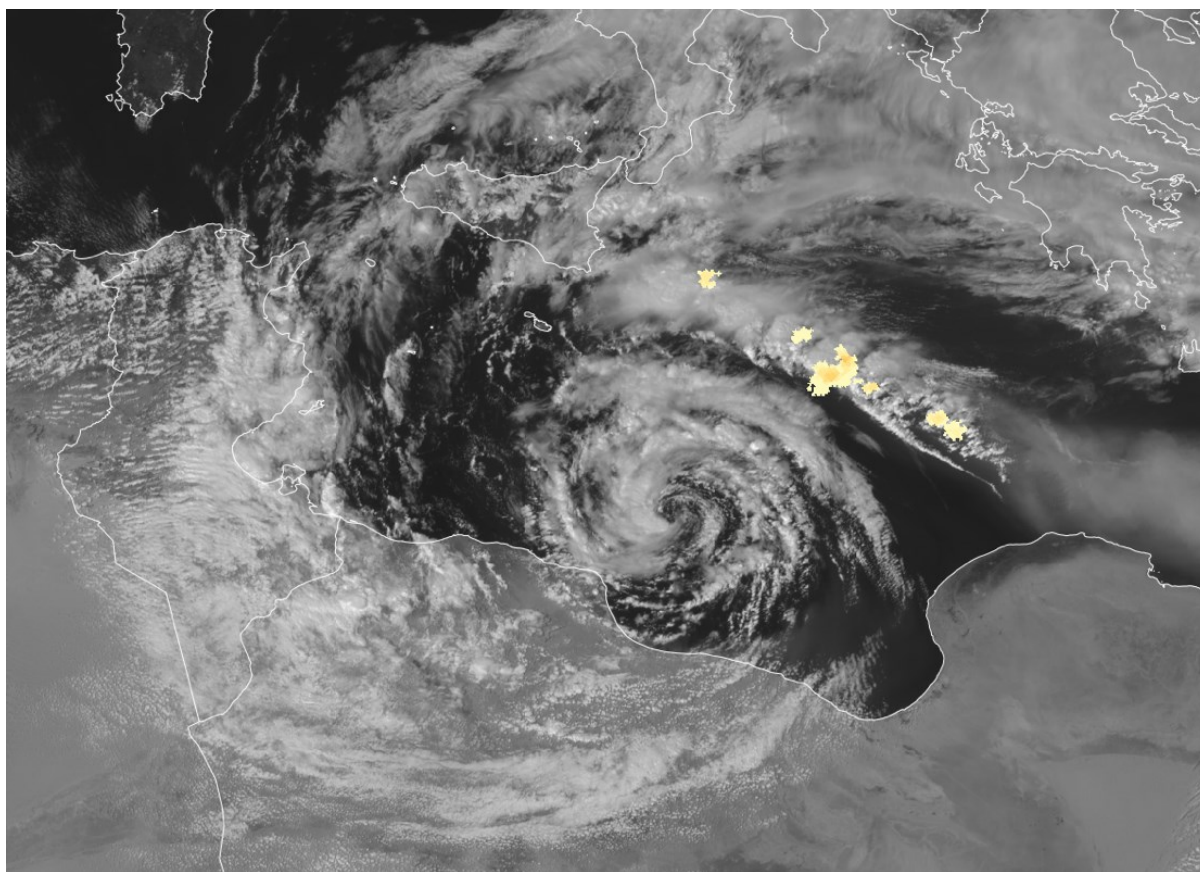


Figura 1. Immagine del Meteosat Third Generation (VIS image da FCI e lightning flash density misurata dal LI in giallo) del medicane Jolina osservato durante la fase di organizzazione del sistema (17/03/2026 13:00 UTC). Sono evidenti la struttura quasi simmetrica della copertura nuvolosa, la presenza di una struttura centrale assimilabile all'occhio del ciclone e l'assenza di attività di fulminazione in prossimità del centro del ciclone.

temperatura di brillantezza (TB) nei quattro canali sensibili alla temperatura a differenti livelli verticali della troposfera (Fig. 2a).

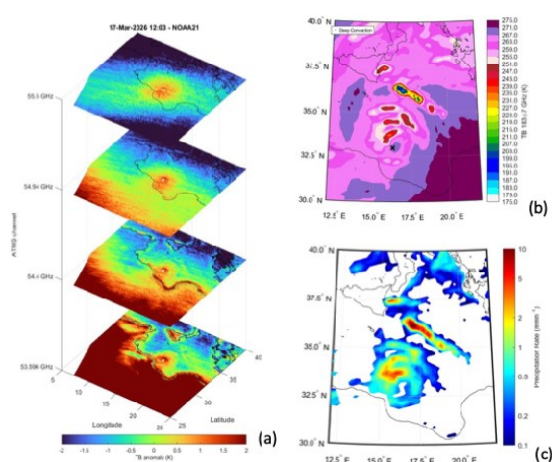


Figura 2. Struttura termodinamica e della precipitazione del medicane Jolina derivate da osservazioni satellitari a microonde del radiometro ATMS a bordo del satellite NOAA-21 il 17/03/26 12:03 UTC: (a) Anomalie positive di temperatura di brillantezza associate al warm core, che evidenziano la sua struttura assialsimmetrica nella media e alta troposfera; (b) mappa di temperatura di brillantezza a 190 GHz, e aree interessate da convezione profonda (punti neri nel pannello (b)); (c) mappa del tasso di precipitazione (mm/h) stimato dalle misure del radiometro ATMS (prodotto operativo EUMETSAT H SAF).

L'utilizzo degli altri canali dei radiometri PMW ha permesso non solo di caratterizzare in maggior dettaglio la struttura termodinamica del sistema (ad esempio i canali di sounding del vapor d'acqua a 183.31 GHz evidenziando intrusione di aria stratosferica nelle fasi di iniziali di sviluppo del WC), ma anche di analizzare l'intensità della precipitazione e della convezione associata all'evento (Fig. 2b e 2c). L'utilizzo di più radiometri PMW a bordo di diversi satelliti ad orbita bassa (LEO) ha consentito di monitorarne l'evoluzione dalla fase di sviluppo alla fase matura del ciclone Jolina in avvicinamento sulle coste della Libia.

3. Venti superficiali e struttura dinamica

Un ulteriore contributo fondamentale è derivato dalle osservazioni SAR della missione Sentinel-1, che hanno permesso di ricostruire con elevata risoluzione i campi di vento prossimi alla superficie marina. Inoltre la struttura e l'intensità dei venti superficiali sono state caratterizzate utilizzando prodotti EUMETSAT derivati da misure dello scatterometro ASCAT (Fig. 3). L'analisi automatica mediante l'algoritmo *Medicane Rotational Center Automated Detection* (MeRCAD) (Sebastianelli et al., 2025) applicato ai dati di vento consente di identificare il centro di rotazione, il raggio dei venti massimi, e di valutare la simmetria del campo di vento, caratteristiche tipiche dei medicane maturi.

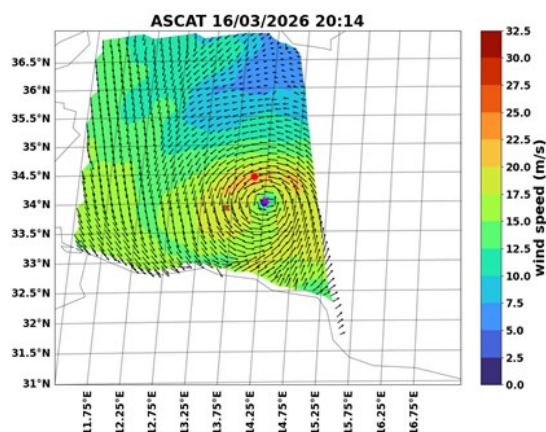


Figura 3. Campo di vento superficiale del medicane Jolina derivato da osservazioni ASCAT a bordo del satellite MetOp-C il 16/03/2026 20:14 UTC. Sono visibili la struttura vorticoso del sistema in formazione, il centro di rotazione e i massimi di vento localizzati in prossimità della parete dell'occhio e identificati dall'algoritmo MeRCAD.

Le osservazioni dei venti superficiali da ASCAT e delle immagini SAR hanno evidenziato:

- una circolazione vorticoso quasi simmetrica;
- massimi di vento concentrati entro poche decine di chilometri dal centro del ciclone;
- forti gradienti di vento in prossimità dell'occhio.

4. Nuovi strumenti di identificazione e tracking

Uno degli aspetti più innovativi del progetto ESA MEDICANES Project riguarda lo sviluppo di tecniche automatiche di identificazione e tracking in NRT dei medicane basate su algoritmi avanzati e tecniche di intelligenza artificiale di analisi delle immagini satellitari.

Al fine di poter individuare il WC in modo automatizzato, si utilizza un framework semi-supervisionato di *deep learning* per il rilevamento di anomalie, basato su *autoencoder* convoluzionali. Le mappe di anomalia di TB nei canali intorno a 54 GHz vengono utilizzate come input, e il WC viene riconosciuto come una anomalia rispetto agli stati atmosferici dominanti (non-WC). L'addestramento viene effettuato utilizzando casi non-WC non etichettati, con un numero limitato di eventi WC etichettati. Il sistema è stato addestrato e valutato su circa 30.000 passaggi satellitari relativi a circa 900 cicloni mediterranei occorsi negli anni 2000-2020 (Flaounas et al., 2023). I risultati preliminari mostrano che il modello consente un apprendimento robusto anche in condizioni di dataset limitati e fortemente sbilanciati, dimostrando prestazioni affidabili nella discriminazione degli eventi WC.

Il rilevamento del medicane, del centro di rotazione, e il relativo tracking vengono effettuati utilizzando immagini IR del servizio Rapid Scan Service (RSS) MSG SEVIRI disponibili ogni 5 minuti (in futuro si utilizzeranno immagini di MTG FCI). L'approccio DeMeTra (D'Armiento et al., 2026) si basa su una metodologia di apprendimento

semi-supervised che utilizza un *VideoMAE vision transformer* per apprendere rappresentazioni spazio-temporali della dinamica delle nubi a partire da grandi volumi di sequenze temporali di immagini Airmass RGB del SEVIRI RSS non etichettate. Il modello pre-addestrato viene successivamente raffinato (*fine-tuning*) su un dataset etichettato di dimensioni ridotte dedicato all'identificazione dei medicane e alla localizzazione del centro del ciclone, ottenendo prestazioni robuste nel tracking nonostante il numero limitato di campioni positivi disponibili e la presenza di altri sistemi convettivi (Fig. 4).

5. Conclusioni e prospettive future

L'integrazione di osservazioni provenienti da differenti piattaforme satellitari consente di superare alcune limitazioni dei tradizionali approcci basati esclusivamente su parametri dinamici o termodinamici derivati dai modelli atmosferici, permettendo un monitoraggio più continuo e dettagliato dell'evoluzione dei medicanes.

Il caso studio di Jolina dimostra come le moderne tecnologie di osservazione della Terra consentano oggi di monitorare i medicane quasi in tempo reale, permettendo simultaneamente di:

- seguire l'evoluzione temporale del sistema;
- monitorare la progressiva organizzazione della convezione;
- identificare la formazione dell'occhio del ciclone;
- analizzare l'evoluzione spaziale e temporale del *warm core*;
- analizzare la distribuzione dei venti prossimi alla superficie marina;

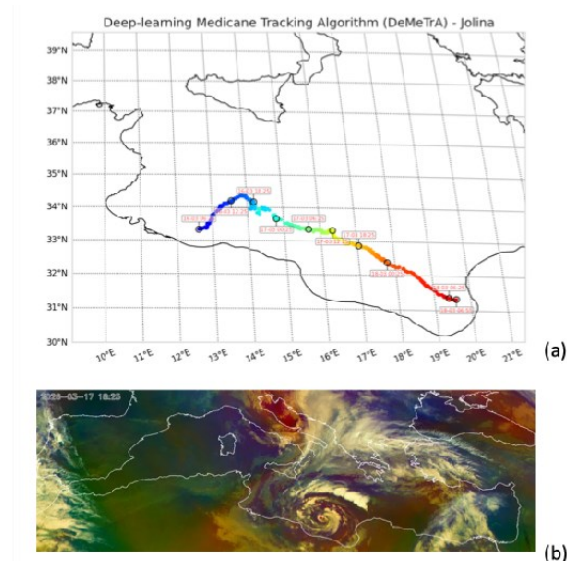


Figura 4. Esempio di identificazione del centro di rotazione e tracking in NRT del medicane Jolina mediante il modello di deep learning DeMeTra. La figura mostra: (a) l'evoluzione temporale del sistema tramite monitoraggio automatico in NRT della posizione del centro, e (b) un esempio di immagine SEVIRI Airmass RGB con la posizione del centro (in rosso) del 17 marzo 2026 18:25 UTC.

- identificare la transizione del sistema verso una struttura pienamente compatibile con la definizione osservativa di medicane;

Particolare importanza riveste l'utilizzo combinato di osservazioni multi-canale provenienti da satelliti geostazionari e polari, con metodologie basate su *machine learning* e *deep learning*, che rappresentano un importante passo avanti verso lo sviluppo di sistemi automatici per il monitoraggio operativo dei medicane. L'integrazione tra osservazioni satellitari avanzate, tecniche automatiche di identificazione e tracking e modellistica numerica rappresenta un elemento chiave per migliorare la comprensione dei processi fisici che regolano questi sistemi e incrementarne la predicibilità.

Le future missioni satellitari europee, tra cui MTG, MetOp-SG e EPS-Sterna, offriranno ulteriori opportunità per rafforzare le capacità osservative e sviluppare nuovi strumenti dedicati al monitoraggio operativo dei fenomeni meteorologici estremi nel Mediterraneo.

La recente pubblicazione della [web story ESA](#) dedicata a Jolina rappresenta inoltre un importante riconoscimento del lavoro svolto dal team ESA MEDICANES e dai ricercatori coinvolti nello sviluppo di nuove metodologie osservative e modellistiche per lo studio dei cicloni mediterranei.

Il progetto MEDICANES è finanziato dalla EUROPEAN SPACE AGENCY (Contract No. 4000144111/23/I-KE)

Bibliografia

D'Armiento, et al., Detection and Tracking of Medicanes Through DeMeTrA Self-Supervised Vision Transformer. Preprints 2026, 2026051494. <https://doi.org/10.20944/preprints202605.1494.v1>

Flaounas et al., A composite approach to produce reference datasets for extratropical cyclone tracks: application to Mediterranean cyclones, Weather Clim. Dynam., 4, 639–661, 2023 <https://doi.org/10.5194/wcd-4-639-2023>

Miglietta, M. M., et al., 2025: Defining medicanes: Bridging the knowledge gap between tropical and extratropical cyclones in the Mediterranean. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **106**, E1955–E1971, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0289.1>

Sebastianelli S., et al., Near-surface wind field characterization of Medicanes using satellite observations, *Atmos. Res.*, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.108734>, 2025

D'Adderio, et al., GPM-CO observations of Medicane Ianos: comparative analysis of precipitation structure between development and mature phase, *Atmos. Res.*, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106174>, 2022

Di Francesca V., et al., Passive microwave-based diagnostics of medicanes over the period 2000–2021, *Atmospheric Research*, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.107922>, 2025

Marra, A. C., et al., The Precipitation Structure of the Mediterranean Tropical-Like Cyclone Numa: Analysis of GPM Observations and Numerical Weather Prediction Model Simulations, *Remote Sens.* 2019, 11, 1690; doi:10.3390/rs11141690, 2019

Panegrossi, G. et al., Warm core and deep convection in Medicanes: a passive microwave-based investigation, *Rem. Sens.*, 15(11), 2838 DOI: 10.3390/rs15112838, 2023.

Autori:

The ESA Medicanes project Team



[\(https://medicanes.isac.cnr.it/\)](https://medicanes.isac.cnr.it/)

APPROFONDIMENTO

Piante, e Resistenza

1.Introduzione

No, non parlerò di Storia (anche se a volte mi verrebbe voglia di farlo – non qui, ad ogni modo). E neppure di Biologia, o almeno, non nel senso stretto.

Racconterò, invece, un fenomeno che si colloca a cavallo del confine tra mondi, differenti scale dimensionali, strutture viventi e non, regimi di moto diversi, ed altro ancora.

Personalmente non smetto di provare meraviglia constatando ogni volta quante e quanto sorprendenti siano le connessioni tra “oggetti” naturali che apparentemente non c’entrano nulla.

Ma forse, come vedremo, farei bene a dire *soggetti*, dietro ai quali fanno capolino, davvero, miliardi di anni di mutazioni casuali, selezione naturale, e accidenti naturali vari (tettonica a zolle, asteroidi vaganti poco collaborativi, eccetera).

Ma comincio subito, con una domanda: le piante, lo sappiamo sin dalla scuola primaria, “respirano ed espirano”.

Però non hanno polmoni, e di più: sono creature piuttosto rigide (in termini meccanici).

E allora, *come fanno?*

2.Un fenomeno interessante

La risposta prima alla mia domanda, in realtà, la sappiamo già, e ce l’avevano detta alle medie, o alle superiori. Le piante non inspirano né espirano, ma scambiano sostanze con l’atmosfera grazie a meravigliose strutture a scala cellulare, gli *stomi*, capaci di aprirsi e chiudersi permettendo o impedendo il passaggio di gas tra l’interno delle foglie e l’atmosfera.

In Figura 1 ne vediamo uno, verso il centro dell’immagine.

La Figura 2, invece, ne illustra struttura e funzionamento.

Quanto a quest’ultimo, possiamo constatare come il meccanismo sia davvero ingegnoso. Le due “cellule di guardia” che, insieme, aprono o chiudono lo stoma, non sono normali cellule vegetali. Una forma molto particolare della loro parete e del citoscheletro fanno sì che, a differenza di tutte le altre cellule vegetali, quando l’acqua al loro interno cambia in volume, invece di avvizzire, cambiano forma, con un meccanismo a scatto. Quando le cellule di guardia sono turgide, la loro forma è più “cicciettella”, ma in quella condizione lo stoma si trova

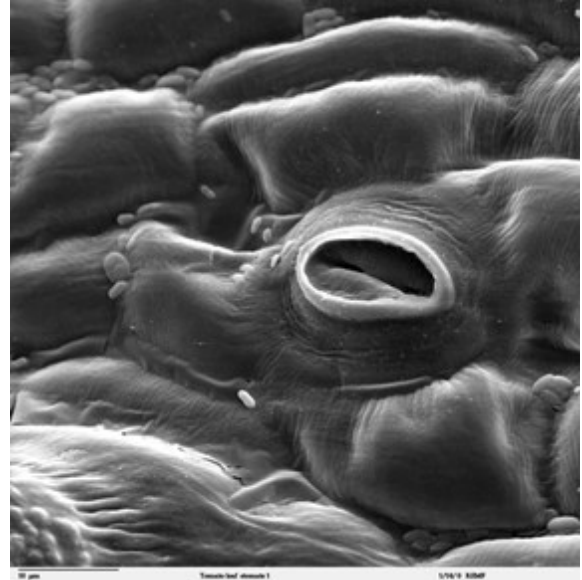


Figura 1. Esempio di stoma in pagina inferiore di foglia di pomodoro (fotografia ottenuta con microscopio elettronico a scansione, e rilasciata nel pubblico dominio; autore, o autrice, sconosciuto/a)

nella condizione di “aperto” (con vari gradi di apertura, a seconda del volume di acqua conservato nei vacuoli).

Ma quando il volume di acqua nei vacuoli si riduce, e le cellule di acqua perdono turgore, ad un certo punto le microscopiche fibre di cellulosa orientate in modo astuto, insieme alla forma stessa delle pareti cellulari, comportano sì una loro riduzione del volume. Accompagnata, però, da un cambiamento di forma grazie al quale lo stoma si chiude.

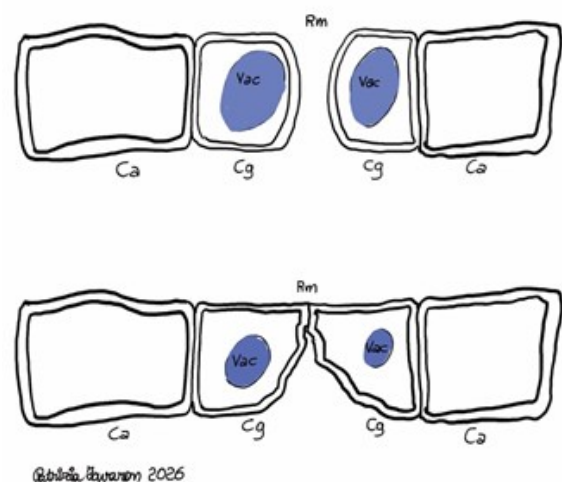


Figura 2. Stoma aperto (sopra) e chiuso (sotto); Rm: rima stomatica; Cg: cellule di guardia; Ca: cellule accessorie; Vac: vacuoli

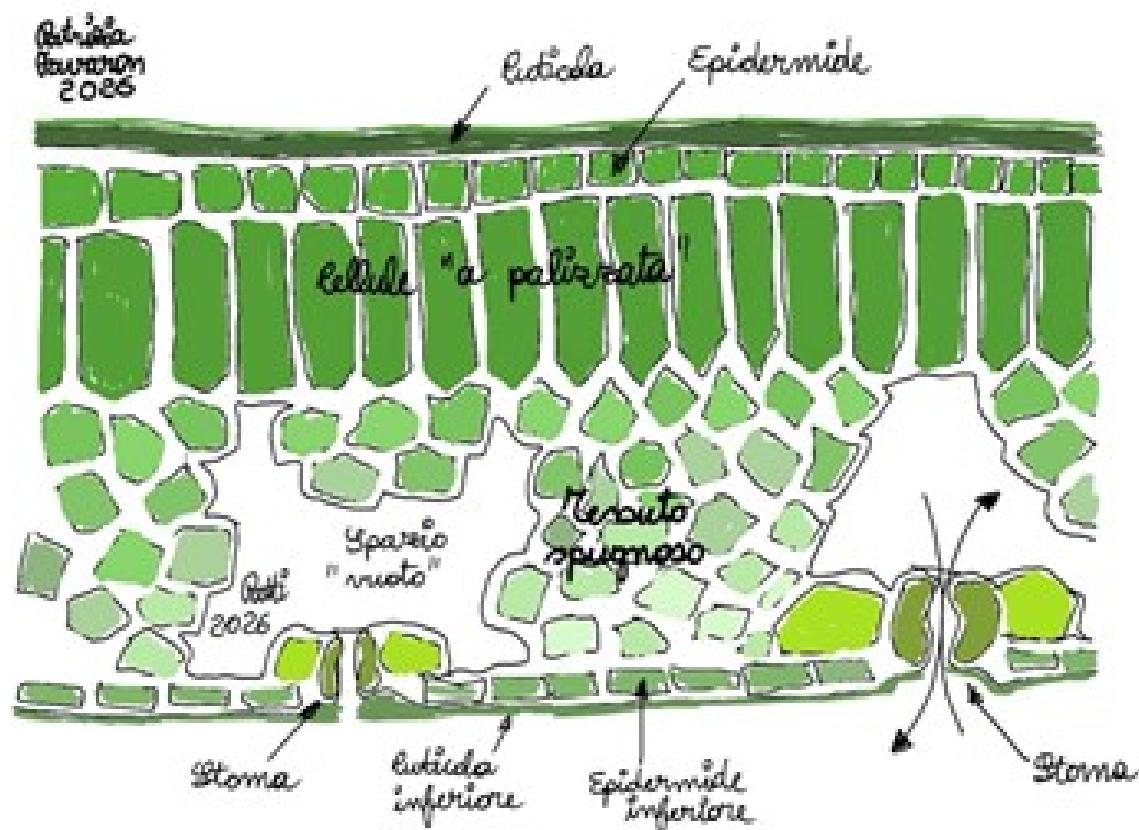


Figura 3. Sezione ingrandita di una foglia d'insalata (molto semplificata)

Il turgore delle cellule di guardia non è regolato dalla mera quantità di acqua presente nei tessuti della pianta – se le cose funzionassero così, gli stomi si chiuderebbero quando la maggior parte dell'acqua è già uscita dalla pianta, e questa difficilmente avrebbe modo di superare il momento di stress.

Invece la regolazione del turgore è compiuta in modo attivo dalla pianta: in condizioni di stress incipiente, le cellule di guardia fanno uscire ioni potassio dal citoplasma, ed a seguire l'acqua viene espulsa dai vacuoli e dal citoplasma a ripristinare la pressione osmotica. Lo stoma scatta, e si chiude.

Ad allarme rientrato, le cellule di guardia il potassio invece lo fanno entrare, cosa che richiama acqua nei vacuoli; questa gonfia le cellule, e le induce ad aprire la rima stomatica.

Il passaggio del potassio nell'una direzione o nell'altra avviene per effetto di pompe molecolari attive, che consumano energia nella solita forma di scambio cellulare di adenosin-tri-fosfato (ATP). Nella fornitura del potassio e degli ormoni che attivano e disattivano le pompe del potassio giocano un ruolo importante le cellule accessorie – e, in vari modi in larga parte non ancora conosciuti, tutte le altre parti della pianta.

Ma se gli stomi si aprono e si chiudono, al di là di loro dentro la foglia che cosa c'è?

Se tagliamo una foglia d'insalata, quello che vediamo ad occhio nudo è un volume molto sottile, di colore verde, che nervature a parte ci appare uniforme, e bello compatto. Ma osservando la stessa sezione ad un ingrandimento maggiore, con un microscopio abbastanza potente, ci rendiamo conto che le cose non stanno esattamente così.

In Figura 3 vediamo lo schema semplificato di una sezione di "insalata" molto ingrandita, e possiamo notare come in corrispondenza degli stomi vi siano degli spazi vuoti. Il disegno, a due dimensioni, non rende giustizia al fatto che questi spazi vuoti in realtà formano una rete tridimensionale delimitata in modo complicato da cellule vegetali disposte a formare un tessuto d'aspetto spugnoso.

La situazione è rappresentata, come al solito in modo molto semplificato, in Figura 3, dove però possiamo vedere gli stomi calati nel loro contesto.

Quindi, riassumendo: la pianta non ha polmoni, e nemmeno le finissime trachee degli Insetti. Non può inspirare, né espirare, e nemmeno espandere o contrarre l'addome.

Però, ha stomi che può aprire e chiudere in base alle necessità, e al di sotto di questi si trova un tessuto spugnoso con ampi spazi “vuoti” (in realtà, pieni d’aria).

Che l’apertura e la chiusura degli stomi determini il grado di evapotraspirazione, e di rilascio di anidride carbonica, non solo lo sappiamo, ma possiamo addirittura misurarlo in modo preciso (usando una tecnica conosciuta come *eddy covariance* grazie alla quale, combinando le misure compiute da un anemometro ultrasonico con quelle di un sensore veloce di H_2O e CO_2 , i miei amici ed amiche distribuiti in vari Atenei ed Istituti di Ricerca riescono a misurare i flussi verticali di acqua ed anidride carbonica; una parte di loro “abita” in AISAM, e così, se volete sapere qualcosa di più, potete chiedere direttamente a loro).

Ma adesso, vi chiedo di seguirmi ed assumere insieme a me un’attitudine riflessiva.

3. “Forme di mirabile perfezione”, racconti, ed illusioni

Nel mio racconto ho omissso alcuni particolari, come la disposizione a palizzata delle cellule deputate alla fotosintesi, e la presenza sulle pagine inferiore e superiore di una spessa cuticola, che si interrompe solo in corrispondenza delle rime stomatiche.

Se considero anche queste, tutte insieme, non riesco a non farmi cogliere da un senso di profonda meraviglia. E mi torna in mente quella frase, ripetuta da generazioni di naturalisti del passato, a proposito di “strutture dalla mirabile perfezione”. Tutto, nella Figura 3, ha una funzione precisa, chiaramente rappresentata nella forma e nelle proprietà di ogni parte.

La complessità degli stomi non avrebbe alcun senso, se le foglie fossero prive di cuticola – l’acqua, nel caso, uscirebbe dalle pareti cellulari esposte all’aria sia a stomi aperti che chiusi. E viceversa, una cuticola impermeabile non avrebbe un significato comprensibile, se gli stomi non ne interrompessero la continuità. Il tessuto spugnoso non direbbe nulla, se non vi fossero le aperture degli stomi a garantirne la continuità (a stomi aperti) con l’ambiente esterno.

Nei panni di un’ipotetica progettista cui fosse chiesto di fare una macchina che si comporti come una foglia, bé, ammetto che non mi verrebbe in mente nulla di meglio.

Senso. Significato. Progetto. Perfezione. Lo stesso è stato detto dell’occhio umano, o delle ali dei Dinosauri aviani.

Pure, tutto questo è illusione. Quanto vediamo è frutto di un lungo, lunghissimo processo di evoluzione le cui concause includono i mutamenti dell’ambiente, le mutazioni casuali, la selezione naturale.

I significati che crediamo di cogliere sono, in realtà, proiezioni del nostro innato desiderio di ordine, e

dell’umana passione per i racconti. Quanto al fatto che il funzionamento apparente di una foglia, spiegato come ho appena fatto nel mio modo molto approssimato, sia un *bel* racconto, non credo vi siano molti dubbi – parlo, naturalmente, per me.

La corrispondenza apparentemente ovvia tra forma e funzione porta con sé la tentazione di cercare spiegazioni riduzionistiche: individuato il “sistema” soggetto della nostra attenzione, immaginiamo di poterlo scomporre nelle sue parti costitutive (gli stomi, gli spazi “vuoti”, il tessuto spugnoso, le cellule a palizzata, la cuticola). E una volta compiuto questo primo passaggio, riteniamo di poter comprendere senza fallacia alcuna il funzionamento preciso d’ogni parte. Indi, con un atto d’ingegno supremo, possiamo compiere una sintesi e derivare dal funzionamento delle parti individuali il comportamento complessivo del tutto.

Che il risultato finale di questo comportamento complessivo abbia un rapporto accurato con la realtà, bé, dipende dal grado di accuratezza delle nostre premesse, dalla sensatezza della sintesi, dal grado di dettaglio delle nostre analisi funzionali sui singoli pezzi, dall’accortezza con cui abbiamo compiuto la nostra sintesi finale...

E si fonda su alcuni presupposti *di ordine filosofico*: che l’interazione tra le parti si possa descrivere in modo esatto, o quantomeno accurato, tramite funzioni *lineari* dei loro argomenti; che viga senza riserve il principio di sovrapposizione, in base al quale l’effetto complessivo di più parti sia la somma degli effetti delle parti separate; che, infine, nessuna delle parti sia stata trascurata.

Quanto poi alla “mirabile perfezione”, un ragionamento semplice ci suggerisce che nel caso delle foglie delle piante “superiori” ne siamo ben lungi. Tanto per cominciare, non esiste una forma ideale di foglia (se le foglie fossero perfette, sarebbero tutte uguali tra loro). Anzi, ce ne sono moltissime – e qui torna alla mente un’altra frase, questa volta molto centrata: quella sulle “infinite forme bellissime” con cui si chiude l’Origine delle Specie di Charles Darwin.

E di più: tutte queste forme, così meravigliose a vedersi, sono il risultato di un delicato compromesso. Le foglie devono restare ragionevolmente rigide anche a velocità del vento piuttosto alte; non possono limitarsi a scambiare gas con l’esterno, ma devono assicurare flussi di acqua e prodotti della fotosintesi verso le altre parti della pianta, grazie ad un intricato sistema circolatorio; devono liberarsi, anche, di un pericoloso veleno, l’ossigeno, che in concentrazioni elevate interrompe la fotosintesi e scatena reazioni chimiche dall’effetto mortale.

Lo spessore della maggior parte delle foglie degli alberi, poi, è limitato, nel senso che non ha modo di superare un dato valore (le foglie non possono essere eccessivamente pesanti). Ma non può nemmeno essere troppo piccolo (le cellule vegetali sono relativamente grandi, e la loro dimensione è un presupposto necessario al loro funzionamento).

Di generazione in generazione, tutti questi parametri sono suscettibili di mutare, ed alcuni lo fanno. Cambiano la densità degli stomi, e persino la loro forma. Mutano i meccanismi interni. In ogni momento, tutti gli organismi e i loro organi (incluse le foglie delle piante) sono ragionevolmente adattati all'ambiente che li circonda, in continuo cambiamento.

Che l'adattamento non sia perfetto è garantito, alla fin fine, dalla casualità dei meccanismi di mutazione, genetica e non. Ma è proprio grazie a questa imperfezione, ed alla varietà nell'imperfezione, che l'evoluzione ha modo di avvenire.

Uno dei guai più comuni dell'approccio riduzionistico è che, molto spesso, dimentica qualcosa.

4. Dove finisce una foglia?

Nel mio racconto non l'ho detto in modo esplicito, ma sono andata avanti diritta dando per scontato che la foglia abbia un "interno" ed un "esterno", e che quest'ultimo sia collocato immediatamente al di là della superficie fogliare.

Mi perdonerete il disegno impreciso, ma le cose non stanno esattamente così. Nella Figura 4 ho provato ad evidenziare l'aria dentro la foglia ("interstiziale"), e al di fuori. Già che c'ero, ho distinto gli strati in cui Re , il Numero di Reynolds, ha un valore più basso e più alto di 3000.

Il Numero di Reynolds è una grandezza adimensionale, che possiamo esprimere usando la formula

$$Re = \frac{\rho \cdot U \cdot L}{\mu}$$

dove ρ rappresenta la densità del fluido (dell'aria, nel nostro caso), U la sua velocità, L una lunghezza caratteristica (qui, la distanza tra un punto al di sopra o sotto la superficie della foglia, e la foglia "geometrica"), e μ la viscosità dinamica. Non è proprio vero, ma facciamo finta che i valori dei parametri ρ , U e μ rimangano invariati¹. Invece, cambiamo L spostandoci vicino o lontano dalla superficie esterna della foglia.

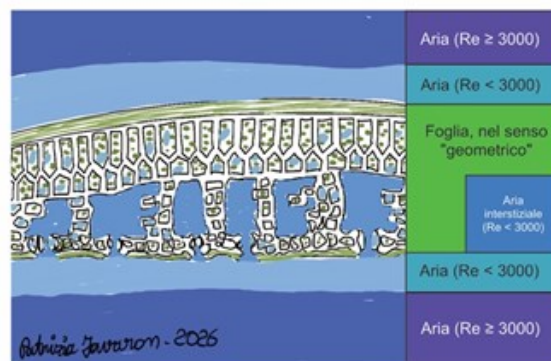


Figura 4. Rapporti tra una foglia e l'atmosfera (spessori non in scala)

Per com'è scritta la formula, il Numero di Reynolds diminuirà con il decrescere della distanza L dalla foglia, in modo direttamente proporzionale.

Ora. Nei suoi esperimenti del 1883, Osborne Reynolds aveva scoperto come il moto di un fluido avvenisse in modo molto regolare se il valore di Re è minore di circa 2100 ("regime di moto laminare"), mentre è decisamente irregolare per valori di Re maggiori di circa 5000.

Il mio limite, un po' arbitrario, a $Re = 3000$ è un po' una via di mezzo tra i due valori dell'ultima tabella, e possiamo assumerlo in prima approssimazione come quello in corrispondenza del quale avviene la transizione tra un regime di moto laminare, ed uno invece turbolento.

Di turbolenza ne ho parlato anche troppo nei miei articoli passati della *Newsletter*: così, non starò a ripetermi. Mi limito ad osservare un aspetto per noi importante: in un fluido in moto turbolento assistiamo ad un intenso e continuo rimescolamento dovuto ai moti irregolari. Mentre nel moto laminare di rimescolamento non ce n'è.

Queste due modalità danno luogo ad una differenza che per la nostra foglia assume un significato importantissimo: il passaggio di gas tra l'"esterno" e l'interno geometrico della foglia, nella zona laminare, avviene solo per mezzo di un fenomeno conosciuto come *diffusione molecolare*, mentre nella zona con Numero di Reynolds maggiore o uguale a 3000 il passaggio avviene principalmente grazie alla diffusione turbolenta.

Ora: è vero che diffusione molecolare e turbolenta sempre diffondono, e come tali tendono a livellare i gradienti di concentrazione. La diffusione turbolenta, però, è circa 10^5 volte più veloce di quella molecolare: più "efficiente", se proprio vogliamo metterla in termini da ingegneri/e.

La diffusione, poi, molecolare o turbolenta che sia, avviene con intensità inversamente proporzionale al

¹ Sarebbe più corretto dire che la velocità tende a zero mano a mano che ci si avvicina ad una superficie solida (la "no slip condition" della fluidodinamica). Ma, facciamo finta per semplicità di non averlo notato.

La viscosità, invece, dipende dalla temperatura assoluta, e la densità dalla pressione: tralasceremo tutto ciò, nell'interesse della semplicità del nostro esperimento mentale.

rapporto tra l'area della superficie che unisce le due regioni attraverso le quali sussiste il gradiente, e l'area *attraverso cui i gas possono effettivamente diffondere*.

Tra lo strato caratterizzato da Numero di Reynolds elevato, e quello più basso, la superficie di separazione (o di unione – è la stessa cosa) è *tutta quella possibile* – ed il rapporto vale 1.

Tra l'interno della foglia, negli spazi “vuoti” del tessuto spugnoso, e l'esterno con $Re < 3000$, invece, i gas possono passare solo attraverso le rime stomali, quando queste sono aperte.

Ma qual è la superficie delle rime stomali per centimetro quadrato di foglia? Gli stomi non sono mai moltissimi, anche se la loro densità cambia molto da una specie all'altra. Quanto all'area della sezione di una singola rima stomale, questa è condizionata dalle dimensioni delle cellule vegetali: anche in questo caso le differenze tra specie e specie possono essere grandi, ma l'ordine di grandezza è quasi sempre dei centesimi di millimetro. In più, le cellule di guardia che delimitano la rima stomale non hanno una forma ottimale: i singoli stomi aperti, visti dall'alto, ricordano molto delle minuscole bocche umane, con labbra (la parola *stoma* viene dal Greco, in effetti, e vuol dire proprio “bocca”).

La conseguenza?

Un gradiente piuttosto intenso tra l'interno e l'esterno della foglia geometrica. Mantenuto dal fatto che le rime stomali, aperte, sono “troppo piccole” per assicurare uno scambio veloce tra interno ed esterno. Entro la foglia, così, avremo una concentrazione piuttosto alta di vapore acqueo (tanto meglio: se ne perde di meno), ma anche di ossigeno e anidride carbonica prodotti dai processi metabolici di fotosintesi e respirazione. Entrambi questi gas sono, in diversa misura, tossici per le piante (l'ossigeno molto peggio).

Quando dicevo “imperfezione”...

Un modo molto da ingegneri per descrivere questo fenomeno è introducendo il concetto di “resistenza stomale”, cioè la tendenza degli stomi ad *opporsi* al flusso libero di gas.

L'intenso gradiente tra interno ed esterno “geometrici” delle foglie sarebbe ancora maggiore, se lo straterello laminare non esistesse. Ma c'è, e con la sua relativa tranquillità ci mette del suo ad opporsi al passaggio dei gas tra la regione laminare e quella turbolenta. Anche questa tendenza possiamo rappresentarla come una resistenza, più piccola di quella stomale. Queste due resistenze, cosa molto comoda, si combinano in serie, come accade per quelle dell'elettrotecnica.

Da quanto precede, deriva anche un'altra constatazione: in un certo senso, la foglia non finisce al suo limite geometrico, ma arriva a comprendere l'intera zona d'atmosfera laminare. Lo spessore di quest'ultima, dell'ordine del centimetro secondo le indicazioni di letteratura, non sarà costante, ma cambierà in funzione della velocità del vento, della temperatura, della pressione, e della composizione chimica dell'aria entro e fuori dalla “foglia geometrica”.

E così, il mio bel racconto dal sentore riduzionistico incomincia a traballare...

5. Elogio (appunto) dell'imperfezione

Il meccanismo degli stomi, e la sua resistenza, come dicevo sono imperfetti, il classico risultato di un delicato compromesso.

Da un lato, la pianta deve liberarsi dei gas tossici che ha prodotto nei suoi processi metabolici – l'ossigeno in primissimo luogo². Ma dall'altro, deve anche evitare di perdere acqua.

Una resistenza totale (stomale + “laminare”) piuttosto elevata va quindi piuttosto bene, o non malaccio, per trattenere acqua.

Non altrettanto, però, per fare uscire le tossine.

Con ogni evidenza, il punto di equilibrio che le piante hanno mediamente trovato oggi non sarà lo stesso tra qualche milione di anni, e segni di evoluzione non ne mancano nemmeno adesso – per esempio, le poacee (un gruppo piuttosto “recente”, un tempo chiamato “graminacee”) hanno oggi degli stomi “a manubrio” invece che “a forma di bocca”. E, in più, sono moltissimi,

² Nella nostra visione animalocentrica, noi umani siamo usi raccontarci l'ossigeno come il gas vitale per eccellenza, la cosa “prodotta dalle piante”, “trasportata dal sangue”, eccetera. Ma faremmo bene a non dimenticare che circa due miliardi di anni fa di ossigeno in aria non ce n'era: la sua accumulazione nell'atmosfera e nell'acqua fu causata dai primi cianobatteri fotosintetici, minuscoli organismi marini comparsi alcune centinaia di milioni di anni prima. A quei tempi, i processi metabolici che portavano a scomporre i nutrienti erano anaerobici (il “ciclo di Krebs” si sarebbe fatto più comune solo molto tempo dopo), e l'ossigeno, la sostanza in assoluto più reattiva della tavola periodica, era semplicemente una sostanza di scarto. E, un tremendo veleno. Infatti,

la sua accumulazione in atmosfera comportò una delle prime, e più catastrofiche, estinzioni di massa conosciute nella storia della vita. Poco ci mancò, che quest'ultima finisse quasi del tutto cancellata dalla faccia del pianeta.

Per fortuna le cose sono andate diversamente, ed alcuni gruppi (tra cui i lontani antenati di noi “eucarioti”) riuscirono a sviluppare vie metaboliche capaci di usare l'ossigeno. A tutte queste piccole forme di vita, il mio grazie. Accade spesso, comunque, in Natura che la caccia prodotta da A divenga il nutrimento più ricercato di B. Potenza dei sistemi viventi, e dell'evoluzione.

lungo tutto lo sviluppo delle foglie, a brevissima distanza l'uno dall'altro.

Ma questa imperfezione è proprio la leva su cui possono agire i processi di evoluzione.

Benissimo, dunque, così.

E speriamo, in prospettiva, che la perfezione non sia raggiunta mai: sarebbe, questa, cosa propria del Paradiso, più che per noi creature felici e contente di zampettare su questa Terra.

6. Dal micro, attraverso la resistenza, al macro

Tutto quanto ho detto avviene a scale spaziali dell'ordine del centesimo di millimetro. Ma è ripetuto tantissime volte, e per tempi lunghissimi, e di conseguenza il suo impatto (positivo ☺) è a dir poco enorme.

Anche al livello macro della scala globale.

Per esempio: la concentrazione di ossigeno in atmosfera è circa del 21%. Ovunque. Entro tutta la troposfera, come minimo.

Che non sia, che so, il 25% *dipende dai meccanismi di regolazione delle piante*. E dalla loro disperata necessità di non avvelenarsi da sole: il gradiente al momento adatto prevede una concentrazione di ossigeno del 21%. Certo, cambierà – in passato, nel tempo profondo, è stata anche molto più alta, o bassa, rispetto ad oggi. Le piante si adatteranno per prime.

E noi animali seguiremo a ruota, come abbiamo sempre fatto, e come non possiamo evitare di fare: per nostra costituzione, noi viviamo (direttamente o no) al traino delle piante.

Quanto ho detto per l'ossigeno vale anche per l'acqua. L'anidride carbonica. E un'infinità di altre sostanze.

Massimi sistemi. Dei quali ripareremo.

Chiudo qui, ma solo per il momento.

Autore:



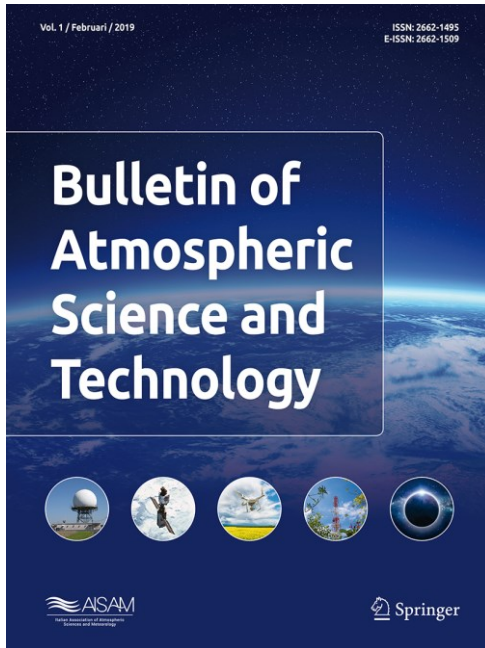
Patrizia Favaron

Due metri. Dalla foto non parrebbe, ma ero a circa due metri di distanza dall'enorme tronco che vedete alla mia destra.

Siamo a San Vito, frazione di Gaggiano, un Comune dell'Ovest Milanese. E questo luogo in particolare è il Bosco dei Cento Passi, un angolo incantevole sopravvissuto alla speculazione edilizia.

Perché "dei 100 passi"? Con la meteorologia non c'entra molto, ma è bello saperlo. 100 era il numero di passi che separava la casa di Peppino Impastato da quella di Gaetano Badalamenti, mandante della sua esecuzione mafiosa. Il luogo dove oggi sorge il bosco ha rischiato d'essere coperto di cemento, per iniziativa di un boss locale legato a Cosa Nostra. E non fosse stato per un provvidenziale sequestro, oggi non sarei stata qui a fianco di questo grande albero.

In questo articolo ho parlato di piante, loro relazione intima con l'atmosfera, grandi cicli della Natura... Tutte creature, e processi, fondamentali, ma delicatissimi, e minacciati più del solito in tempi di "Antropocene". Che le piante possano continuare ad "erogare i loro servizi" a noi umani ed al resto degli animali subaerei, oggi dipende dalla nostra cura. E dalla capacità e coraggio di non compiere atti sconsiderati. A presto, e, intanto, giorni sereni a tutte e tutti.



Il *Bulletin of Atmospheric Science and Technology (BAST)* è la rivista ufficiale dell'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia (AISAM)

BAST copre le discipline relative alle vaste aree delle scienze dell'atmosfera e della meteorologia.

BAST si concentra su metodologie e tecniche di osservazione innovative, campagne internazionali sul campo, modelli numerici, tecniche computazionali, analisi dei dati, tecniche di recupero e tecnologie dei sensori.

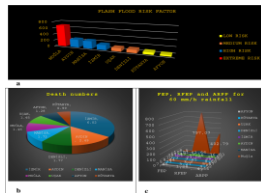
In quanto periodico interdisciplinare, *BAST* promuove la scienza dell'atmosfera e il progresso tecnologico con rilevanza sia per gli utenti accademici, industriali e governativi.

Editor-in-Chief

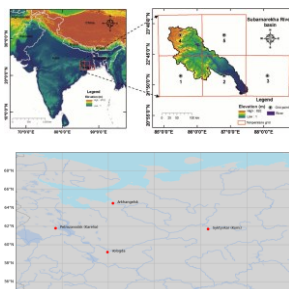
Silvana Di Sabatino, Paolo Di Girolamo

Il *Bulletin of Atmospheric Science and Technology* continua ad arricchirsi di nuovi articoli: nel corso degli ultimi tre mesi sono stati pubblicati i seguenti nuovi articoli.

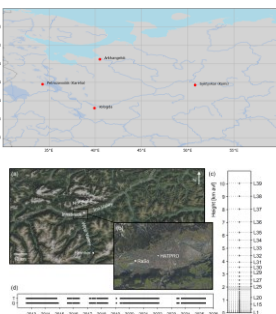
Ricordiamo che è sempre attivo il Topical Issue "AISAM Conferences and Workshops" che raccoglie articoli anche brevi di contributi presentati agli eventi AISAM (ultimo dei quali il 6° Congresso nazionale a Brescia): <https://link.springer.com/collections/jbhgibicai>



Eken, A. *The identification and ranking of climatologically flash-flood risky cities in Türkiye and the climate change trend rankings for flash floods.* Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 16 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00125-5>

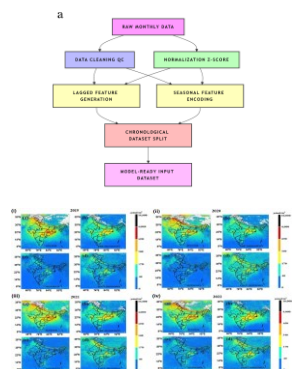
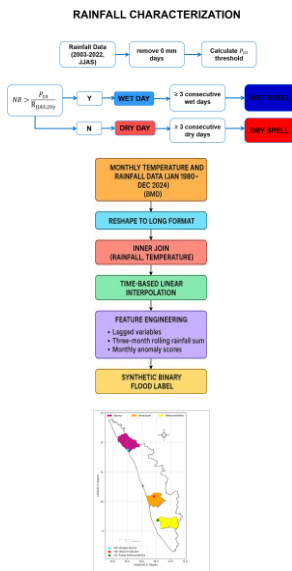


Mondal, S., Mondal, A., Pandey, A. et al. *Investigation of long-term extreme temperature indices in a Humid subtropical climatic zone of the Subarnarekha river from 1951 to 2024.* Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 15 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00128-2>



Gubenko, I.M. *Characteristics of convective clouds during thunderstorms for the Northern Regions of Russia based on numerical modeling.* Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 14 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00133-5>

Scheiber, H., Rotach, M.W. & Ward, H.C. *Characterising the mountain boundary layer using a passive microwave radiometer.* Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 13 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00131-7>



Kumar, P., Upadhyay, E. & Yadav, A. *Spatiotemporal assessment and machine learning-based prediction of PM2.5 Emissions from biomass combustion in Rural India*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 12 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00124-6>

Dey, T., Datta, T., Mandal, A. et al. *Advancements in AI-based weather forecasting: A review of models, applications and challenges in the Indian context*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 11 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00129-1>

S, K., Mallik, C., Mohbey, K.K. et al. *Investigating the impact of aerosol-cloud interactions on precipitation patterns in India*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 10 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00130-8>

Melon, M.M.H., Raihan, M.Z.U., Maruf, S.M.A. et al. *Risk-informed flood management under climate variability: A hybrid temporal-ensemble artificial intelligence framework*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 9 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00126-4>

Priamvada, A., Shukla, B.P. *Pattern discovery in early monsoon rainfall across Kerala using data mining techniques*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 8 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00123-7>

Alif, H.A., Halder, U. *Development of robust statistical and machine learning ensemble models for long-term temperature forecasting in central Ethiopia*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 7 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-025-00118-w>

J S, P., V, K. & Rahim, S. *Seasonal dynamics of Sulfur dioxide and Sulfate aerosols over India: Insights from Sentinel-5P and MERRA-2 datasets*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 7, 6 (2026). <https://doi.org/10.1007/s42865-026-00121-9>

Per chi volesse rimanere sempre aggiornato, ricordiamo infine che al seguente link

<https://www.springer.com/alerts-frontend/subscribe?journalNo=42865>

è possibile attivare un servizio di *alert*, che avvisi sulle nuove pubblicazioni del *Bulletin of Atmospheric Science and Technology*.

SEZIONE PROFESSIONISTI

AMiCERT: quali prospettive per i meteorologi non aeronautici?



Durante il Festivalmeteorologia 2024 si è tenuta una sessione sulla professione del meteorologo: quali studi portano alle conoscenze necessarie, quali enti e quali aziende assumono meteorologi, con che ruoli operano... ma si è discusso anche di come è possibile riconoscere pubblicamente la competenza dei meteorologi professionisti.

In particolare, ha suscitato grande interesse il sistema di certificazione AMiCERT: sia per l'uso attuale del sistema di certificazione da parte dei meteorologi aeronautici, sia per le potenzialità che il sistema di accreditamento potrebbe avere anche per la meteorologia civile....ma quali sarebbero i passi necessari?

La **Sezione Professionisti di AISAM** e l'Associazione Meteo Professionisti **AMPRO** hanno invitato il **Col. Angelo Romito, Stato Maggiore A.M.** – Ufficio Generale Aviazione Militare e Meteorologia, a presentare nuovamente il sistema AMiCERT sviluppato dall'Aeronautica Militare non al pubblico generico, ma ai professionisti della meteorologia e a tutti gli attori istituzionali o imprenditoriali interessati alla possibilità di una certificazione terza ed indipendente delle competenze meteorologiche. Il seminario si è tenuto online lo scorso **mercoledì 11 marzo alle 15:30**, e ha riscosso grande interesse e partecipazione sia da parte dei colleghi liberi professionisti, sia da parte dei meteorologi impiegati in enti pubblici e società private.

AMiCERT è l'Organismo di Certificazione (OdC) dell'Aeronautica Militare, che nel 2019 ha ottenuto l'accREDITamento dall'Ente Unico Nazionale (ACCREDIA) che attesta la competenza, l'indipendenza e l'imparzialità

dell'OdC che opera senza scopo di lucro. Attualmente è possibile certificare con il sistema AMiCERT il proprio sistema di gestione di qualità e le figure professionali di Project Manager, Auditor di Sistemi di Gestione Qualità e di **Meteorologo Aeronautico**.

Si potrebbe certificare tramite AMiCERT anche la figura professionale del meteorologo (non aeronautico)? Cosa mancherebbe?

La professione del Meteorologo aeronautico è normata da regolamenti europei e italiani in modo abbastanza preciso: AMiCERT, quindi, può fare riferimento a quelle norme universalmente riconosciute per costruire uno **schema di certificazione** oggettivo e imparziale. Per la figura del meteorologo queste norme non esistono (la linea guida WMO-1083 si riferisce infatti solo alle conoscenze dei meteorologi, non alle loro competenze professionali).

Come compensare questa mancanza, e fornire al sistema AMiCERT la norma che manca? Una possibilità è la creazione e approvazione di una **norma tecnica UNI sulla figura professionale del meteorologo**, un processo collaborativo che coinvolge tutte le parti interessate: Università, Enti meteo, stakeholders privati, addetti e professionisti del settore, per arrivare tramite un processo ben codificato e guidato dall'**UNI (Ente Italiano di Normazione)** alla definizione della figura professionale del meteorologo. Un esempio tematicamente vicino è la ormai decaduta norma UNI 11683:2017 sul fisico professionista.

La Sezione Professionisti di AISAM esprime il suo interesse a facilitare il più possibile la nascita di un **gruppo di lavoro** sull'argomento. Chi fosse interessato all'argomento e/o ad essere inserito in una mailing list dedicata può lasciare i propri riferimenti e indirizzi di contatto in **[questo form dedicato](#)**, o, come sempre, scriverci all'indirizzo mail **professionisti@aisam.eu**.

Autore



Marta Salvati
(Sezione Professionisti)

SEZIONE GIOVANI

Seconda AISAM Students' Conference



The poster for the AISAM students' conference features a central graphic of a globe with a circular inset showing a group of students. The text is in Italian and provides details about the event, including the location (Rovereto), dates (November 21-22, 2026), and the call for abstracts deadline (August 31, 2026). It also lists the topics of the conference: Meteorology, Climatology, and Applications. A QR code is provided for more information, and social media handles for the festival and the conference are listed at the bottom.

AISAM
students' conference

Seconda Edizione della Conferenza Italiana delle Studentesse e degli Studenti in Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia

Rovereto, 21-22 novembre 2026

Call for Abstracts
Scadenza: 31 agosto 2026

Possono inviare un abstract

- Studentesse e studenti iscritti a lauree triennali o magistrali
- Laureate/i triennali o magistrali fino a un anno dal conseguimento del titolo
- Studentesse e studenti delle scuole superiori con contributi originali

Temi della conferenza

- Meteorologia
- Climatologia
- Applicazioni

La conferenza si terrà in italiano e includerà presentazioni orali e poster.

La partecipazione è gratuita.

Le studentesse e gli studenti soci AISAM che verranno ammessi a presentare un contributo, potranno fare richiesta di un rimborso per le spese di viaggio. In base alla disponibilità economica, l'organizzazione cercherà di soddisfare quante più richieste possibile, a partire dai partecipanti che provengono da più lontano.

Tutte le informazioni sul sito

@festivalmeteorologia
@festivalmeteorologia

INFO SU: info@studentsconference.aisam.eu | aisam.eu/students-conference-2026

Il 21 e 22 novembre 2026 si terrà a Rovereto (TN) la seconda edizione della Students' Conference, la conferenza rivolta agli studenti delle scienze dell'atmosfera, della meteorologia e del clima. Sulla scia del successo della prima edizione, in cui sono stati presentati 43 contributi e circa 60 studenti hanno partecipato da tutta Italia, AISAM ha deciso di riproporre questo evento nell'ambito del 12° FestivalMeteorologia. La conferenza rappresenta un'importante opportunità per le studentesse e gli studenti di esporre i propri lavori, di confrontarsi, di conoscere nuovi colleghi e di dialogare con professionisti e docenti presenti. La conferenza è altresì aperta agli studenti delle scuole superiori con contributi originali, che potranno partecipare anche per orientarsi nella scelta del percorso universitario.

Un po' di informazioni utili. La conferenza si svolgerà su tre mezze giornate, dalla mattina del sabato 21 al primo pomeriggio della domenica 22. Possono inviare un abstract le studentesse e gli studenti iscritti a lauree triennali, magistrali o laureati entro un anno dalla

conferenza. I lavori saranno esposti come presentazioni orali o poster. Sarà il comitato organizzatore a decidere la modalità di presentazione in seguito alla valutazione degli abstract. A titolo esemplificativo, si potranno inviare gli abstract di tesi di laurea triennali o magistrali, elaborati svolti all'interno di corsi universitari, come relazioni di laboratorio particolarmente originali, oppure progetti personali. Non devono essere necessariamente lavori già pubblicati o con la prospettiva di essere inviati a riviste scientifiche. Saranno considerati tutti i contenuti che riguardano le scienze dell'atmosfera e del clima e le loro applicazioni. La conferenza è aperta al pubblico; pertanto, anche coloro che non avessero presentato un abstract possono assistere alle sessioni di presentazioni orali e poster.

Quest'anno il comitato organizzatore si impegna a contribuire economicamente alle spese di viaggio, dando la precedenza ai relatori che provengono da più lontano. Rovereto rimane infatti in una posizione decentrata all'interno del territorio nazionale. In questo modo, si mira a ridurre le disparità nelle spese di viaggio e a garantire la possibilità di partecipare a tutti gli interessati. La richiesta di rimborso potrà essere presentata una volta ricevuta la conferma di ammissione a presentare un lavoro. Le studentesse e gli studenti partecipanti sono incoraggiati ad arrivare il venerdì pomeriggio, così da poter partecipare ad un evento divulgativo organizzato per la sera all'interno del FestivalMeteorologia. L'evento si terrà al Teatro Rosmini e prevede l'incontro con il professore Carlo Barbante.

La conferenza manterrà una struttura simile alla prima edizione, ma con importanti novità. Innanzitutto, l'evento inizierà il sabato mattina e terminerà la domenica nel primo pomeriggio. Nonostante la durata delle singole presentazioni orali rimarrà invariata, questo allungamento consente di avere più spazio per le domande e più tempo per la sessione poster. Durante ogni sessione, è previsto un intervento su invito da parte della Prof.ssa Simona Bordoni (Università di Trento), del Dr. Emanuele Bevacqua (Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Germania) e della Dr.ssa Alice Portal (CNR-ISAC). Questi interventi offriranno una panoramica sulle attuali linee di ricerca nel campo delle scienze dell'atmosfera e del clima, delineando i contesti di ricerca italiani e internazionali.

Il programma del sabato pomeriggio si concluderà con una tavola rotonda con rappresentanti del settore pubblico e privato, dedicata alle prospettive di impiego e carriera al termine degli studi universitari. Forti del generale gradimento delle giovani relatrici e relatori per la prima edizione, sono giunte molte richieste di ampliare le sessioni di orientamento post-laurea. Allo stesso tempo, questa iniziativa permetterà ai rappresentanti delle aziende e degli enti pubblici di capire le necessità degli studenti e incontrare potenziali collaboratori.

Sebbene i processi atmosferici rimangano il cuore della conferenza, la multidisciplinarietà è un tema centrale di questo evento. Lo scorso anno i contributi hanno spaziato dalla fisica spaziale a quella degli aerosol, dalle proiezioni degli estremi di precipitazioni in Italia a fine secolo al nowcasting di valanghe basato su metodi di machine learning. Dato il forte interesse riscontrato, la speranza è di ripetere la varietà di argomenti presentati nella scorsa edizione. Questo va anche nella direzione di dare la possibilità agli studenti di orientarsi per il futuro e di rispondere alla comune domanda “in quali settori posso lavorare con un diploma in meteorologia, scienze dell’atmosfera e del clima?”

Questa iniziativa rientra nella visione di AISAM di offrire opportunità e aprire orizzonti ai giovani appassionati di meteorologia, scienze dell’atmosfera e del clima. In quest’ottica rientra il corso di previsione meteorologica operativa, organizzato da AISAM in collaborazione con ItaliaMeteo. L’ultima edizione si è chiusa con un workshop

di due giorni presso la sede di ItaliaMeteo a Roma, e una nuova edizione è in fase di organizzazione per il prossimo anno. Sempre all’interno della conferenza si svolgerà la cerimonia di consegna del [premio Sergio Borghi](#), il cui bando scade il 1° novembre 2026. Questo premio è riservato a tesi su argomenti attinenti alla meteorologia, alle scienze del clima e alle loro applicazioni, ma è aperto a qualsiasi disciplina, umanistica o scientifica, con l’obiettivo di promuovere e valorizzare la comunicazione scientifica in ambito meteo-climatico.

Per concludere, anche quest’anno le finalità principali della Students’ Conference sono l’incontro e il confronto tra studentesse e studenti di diverse università. Nel lungo termine, l’intento è la costruzione di una comunità di professionisti interdisciplinare, coesa e intraprendente. Il bando per candidare il proprio abstract è già aperto: <https://aisam.eu/students-conference-2026/> e vi invitiamo a diffonderlo nella comunità italiana delle scienze dell’atmosfera, della meteorologia e del clima. Ci vediamo a Rovereto!

Autore:



*Giacomo Giuliani
(Sezione Giovani)*

Si conclude il Terzo Corso di Previsione Meteorologica Operativa!

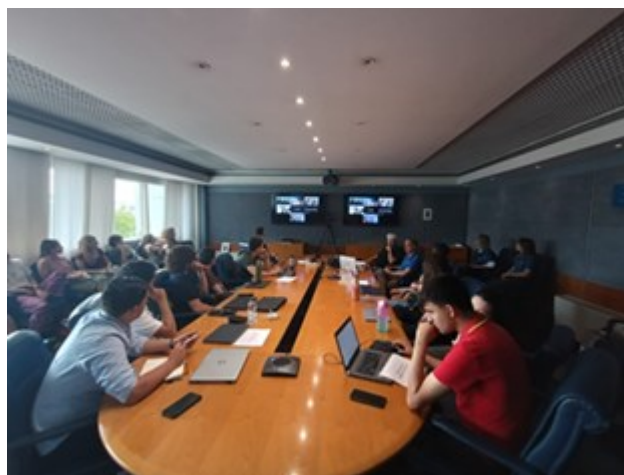


Con le giornate finali del 28 e 29 maggio 2026, svolte a Roma presso la sede del Dipartimento della Protezione Civile (DPC), si è conclusa la terza edizione del Corso di Previsione Meteorologica Operativa, organizzato dalla Sezione Giovani e Sezione Professionisti di AISAM e dall'Agenzia ItaliaMeteo (AIM). Quest'anno il Corso ha contato 24 studenti partecipanti, provenienti da numerose università su tutto il territorio italiano. Il numero di candidature ricevute, oltre 60, ha costituito un record per il Corso ed è stata una conferma di quanto sia sentito da parte degli studenti il bisogno di apprendere nozioni di meteorologia operativa, spesso inevitabilmente ridotte all'interno dei corsi universitari. Un comitato scientifico composto da Silvio Davolio (Università di Milano – La Statale), Chiara Marsigli (Arpae Emilia-Romagna), Mario Marcello Miglietta (CNR-ISAC) e Virginia Poli (Arpae Emilia-Romagna), si è occupato della selezione dei candidati, privilegiando gli studenti di laurea magistrale ai quali è rivolto in primis il Corso.

Rispetto alle passate edizioni, quest'anno sono state introdotte numerose novità, riguardanti sia la struttura che l'organizzazione del Corso stesso. Quest'anno la Giornata Introduttiva si è svolta online il 9 ottobre 2025, con i seminari di Marcello Miglietta (CNR-ISAC) e Silvia Puca (DPC), rispettivamente a tema *“Precipitazioni orografiche intense in Italia”* e *“Telerilevamento e remote sensing”*. Si sono dunque susseguiti 18 weather briefings online a cura di esperti provenienti da 18 diversi enti italiani, pubblici e privati, operativi nel campo della meteorologia: Sabina Angeloni e Margherita Erriu (RAI

Meteo), Roberto Cremonini e Giovanni Paesano (Arpa Piemonte), Umberto Pellegrini (Centro Funzionale Valle d'Aosta), Giuseppe Visalli (Arpa FVG), Maria Stefania Tesini (Arpae Emilia-Romagna), Valentina Grasso e Gianni Messeri (LAMMA), Francesco Del Francia (3Bmeteo), Flavio Galbiati (Meteo Expert), Andrea Piazza (Meteotrentino), Alessio Canessa (Aeronautica Militare), Marco Lazzeri, Francesco Iocca e Francesco Boccanera (Centro Funzionale Regione Marche), Davide Dalla Libera (Arpa Veneto), Sara Bloise e Sabrina Veltri (Arpa Calabria), Paolo Ciolli e Federico Galato (ENAV), Paola Carnevale e Antonio Iengo (Arpa Liguria), Michele Valentini (Radarmeteo), Marta Salvati e Matteo Zanetti (Arpa Lombardia), Salvatore Natale (Arpa Sardegna). Un sentito ringraziamento a tutti i relatori che hanno contribuito con grande professionalità e competenza alla realizzazione di questa iniziativa. Di fondamentale importanza è stato il supporto organizzativo dell'Agenzia ItaliaMeteo, che quest'anno ha co-organizzato il Corso insieme ad AISAM, particolarmente negli aspetti logistici (organizzazione delle giornate finali e del calendario di weather briefings).

Tra le novità introdotte in questa terza edizione del corso, i weather briefings sono stati suddivisi in due blocchi (ottobre-dicembre, marzo-maggio), pensati per coprire la variabilità stagionale dei fenomeni dall'autunno fino alla tarda primavera. Inoltre, la struttura dei weather briefings è stata modificata rispetto alle precedenti due edizioni: oltre alla descrizione della configurazione alla scala sinottica e un focus particolare sull'Italia, ogni esperto è stato chiamato a presentare un approfondimento su una particolare tematica previsionale, diversa per ogni briefing. Questo ha permesso di allargare significativamente l'offerta formativa del corso, in modo da coprire una vasta gamma di aspetti della meteorologia operativa. Per questo un grande ringraziamento a Roberto Grimaldelli (AIM) per aver coordinato con efficienza l'organizzazione con i relatori dai vari enti, in modo da





evitare sovrapposizioni tematiche e garantire una continuità negli approfondimenti. Inoltre, per stimolare la partecipazione attiva dei partecipanti e per mettere in pratica le competenze acquisite, agli studenti è stato chiesto a rotazione un contributo di pochi minuti nei vari weather briefings, a scelta tra: risposta ad uno specifico quesito previsionale a breve termine; verifica della previsione della settimana precedente; analisi della configurazione meteorologica in atto.

A conclusione del Corso, si sono svolte le giornate finali in data 28 e 29 maggio, in presenza presso il Centro Funzionale Centrale del Dipartimento della Protezione Civile a Roma, dove attualmente è collocata l'Agenzia ItaliaMeteo. Il cambio di sede di AIM da Bologna a Roma nel mese di marzo ha comportato una revisione del programma delle giornate finali, originariamente previste a Bologna. Questo non ha comunque impedito di offrire agli studenti un'esperienza di alto livello formativo. I partecipanti hanno preso parte ad una visita guidata alle sale del DPC adibite al monitoraggio e alla gestione delle emergenze, e hanno assistito allo svolgimento della conferenza sinottica quotidiana tra DPC, Aeronautica Militare, Arpae Emilia-Romagna e Arpa Piemonte. Il programma delle giornate finali ha incluso inoltre i seminari di Chiara Marsigli (Arpae Emilia-Romagna) e Alexander Toniazzo (DPC), rispettivamente a tema *"Struttura di un servizio meteo operativo"* e *"Allertamento per temporali"*.

Gli studenti hanno anche avuto l'opportunità di mettere in pratica le nozioni di previsione meteorologica operativa acquisite durante il Corso. Sono stati infatti organizzati lavori a gruppi di 4 persone, nei quali è stato richiesto di rispondere a specifici quesiti, diversi per ciascun gruppo: in particolare, la simulazione di una previsione per il "Buongiorno Italia" per le due giornate seguenti; la compilazione di un bollettino di vigilanza su due regioni di particolare interesse; la previsione per le due tappe

conclusive del Giro d'Italia 2026. A questi lavori è seguita una fase di discussione moderata dagli organizzatori, per valutare la metodologia utilizzata e favorire il confronto tra i vari gruppi. Al termine delle due giornate conclusive, il Presidente AISAM Sergio Pisani insieme al Dr. Roberto Grimaldelli hanno consegnato gli attestati di frequenza agli studenti, a firma dello stesso Presidente Pisani e del Commissario Straordinario dell'Agenzia ItaliaMeteo Fabio Ciciliano.

La realizzazione di questa edizione non sarebbe stata possibile senza il contributo fondamentale di tutti i membri del Comitato Organizzatore del Corso, in particolare Marta Salvati (Arpa Lombardia), Francesco De Martin (Università dell'Oklahoma), Francesco Sioni (Arpa FVG), Andrea Vuolo (RAI Meteo), Alessandra De Savino (già responsabile della comunicazione ItaliaMeteo) e, come già citato, Roberto Grimaldelli (AIM). È grazie al lavoro di tutti che i numeri e le novità introdotte nell'edizione 2025/2026 hanno consolidato il Corso di Previsione Meteorologica Operativa come una delle iniziative principali della comunità di AISAM. Per molti di noi l'impegno si rinnoverà con l'organizzazione della prossima edizione 2026/2027, della quale stiamo iniziando ad occuparci. I feedback ricevuti dagli studenti ci aiuteranno a riproporre gli aspetti più positivi e correggere quelli che hanno riscontrato maggiori criticità, fiduciosi di poter riconfermare l'interesse da parte di candidati provenienti da tutto il territorio nazionale.



Autore:



Marcello Grenzzi
(Sezione Giovani)

La sezione giovani intervista...

Ludovico Mattavelli

*In questo numero della Newsletter intervistiamo **Ludovico Mattavelli**, attualmente collaboratore esterno nell'unità Modellistica presso l'Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia (Arpae) dell'Emilia-Romagna, ed ex studente di laurea magistrale in Fisica del Sistema Terra all'Università di Bologna.*



Ciao Ludovico, puoi raccontarci com'è nato il tuo interesse per la meteorologia o per le scienze dell'atmosfera in generale?

Durante il liceo, sia a scuola che a casa sono stato sensibilizzato sull'importanza dell'impatto che il cambiamento climatico ha sulla società e ne sono rimasto particolarmente colpito, tanto da portare con me il desiderio di dare un contributo. La mia passione per la scienza atmosferica vera e propria, però, è arrivata più tardi: all'università, quando, durante la magistrale, ho approfondito per la prima volta questi argomenti. L'applicazione delle leggi fisiche per spiegare e prevedere i processi atmosferici mi ha affascinato.

Qual è stato il tuo percorso di studi?

Al liceo scientifico le materie che mi hanno appassionato di più sono state fisica e matematica. Spinto da queste passioni e da un genuino interesse per il funzionamento della natura, mi sono iscritto al corso di laurea in Fisica a Padova. Dopo una triennale dall'approccio molto teorico, ho sentito il bisogno di passare a qualcosa di più applicato e mi sarebbe piaciuto conciliare questa esigenza con lo studio dell'atmosfera o del clima, al tempo non conoscevo bene la differenza tra le due. Tra le varie possibilità, quella che mi ha convinto di più è stata la magistrale in Fisica del Sistema Terra a Bologna.

Dopo i tuoi studi in fisica a Padova e Bologna, ritieni oggi che questo tuo percorso sia stato adeguato per la tua attuale formazione professionale?

Sono molto soddisfatto del mio percorso, che è in sintonia con la mia occupazione attuale. Non solo la magistrale, il che potrebbe sembrare scontato, ma anche le basi di fisica e informatica ottenute in triennale mi sono tornate decisamente utili. Tuttavia, sono convinto che anche altri percorsi di studio possano preparare adeguatamente a questo tipo di professione.

Attualmente lavori presso Arpae Emilia-Romagna. Come sei venuto in contatto con questa realtà? L'università ha avuto un ruolo da questo punto di vista?

Il mio primo contatto con Arpae è avvenuto durante il Corso di Formazione in Previsione Meteorologica Operativa AISAM, che ho seguito tra il 2023 e il 2024 e che mi è stato molto utile per capire di cosa si occupasse l'agenzia. Successivamente, dopo la mia laurea, il mio relatore di tesi mi ha informato che Arpae cercava una posizione interinale con competenze di modellistica. Mi interessava molto come posizione, così ho fatto il colloquio e alla fine sono entrato dentro l'agenzia.

Al momento di cosa ti occupi in Arpae? Qual è il bilancio di questa tua esperienza finora?

Ad Arpae faccio parte dell'Unità di Modellistica Numerica Previsionale Meteorologica, dove mi occupo principalmente di simulazioni ad altissima risoluzione. È un lavoro prevalentemente di ricerca, in cui cerco di ottenere la migliore configurazione possibile del modello meteorologico che utilizziamo operativamente, il modello ICON, ad una risoluzione di 500 m. Mi occupo anche della



fisica del modello, in particolare della parametrizzazione urbana e dell'impatto delle città su diversi fenomeni meteorologici. Questo primo anno ad Arpaè è stato molto positivo: mi piace ciò di cui mi occupo e l'ambiente è molto cordiale e accogliente, con una grande disponibilità e collaborazione che rende tutto molto più stimolante.

Arpaè è un servizio meteorologico regionale. Nel tuo lavoro riesci a beneficiare della collaborazione con altri servizi meteo del territorio oppure pensi che sia opportuno migliorare su certi aspetti?

In generale direi di sì. La mia unità si interfaccia principalmente con i membri del consorzio COSMO (CONsortium for Small-scale MOdelling), che comprende alcuni servizi meteorologici italiani e diversi servizi meteorologici nazionali esteri. L'obiettivo comune è di sviluppare, migliorare e mantenere il modello utilizzato dai membri del consorzio e su questo fronte la collaborazione è molto solida. Anche con l'Università di Bologna abbiamo un ottimo rapporto, che viene

rafforzato da periodi in cui di tirocinanti e dottorandi lavorano con noi. Non me la sento di sbilanciarmi su eventuali lacune collaborative, poiché questo varia a seconda dell'unità in questione e riconosco di non avere ancora un quadro completo. Di certo, in un periodo di crisi climatica come quello attuale, la collaborazione verso il raggiungimento di obiettivi comuni è di massima importanza.

A cura di:



Marcello Grenzi
(Università di Bologna)

EARLY CAREER SCIENTIST

A cura della Sezione Giovani

Questa sezione della Newsletter è dedicata ai giovani ricercatori, che hanno da pochi anni concluso il loro percorso formativo, per dare loro l'opportunità di illustrare le proprie attività di ricerca alla comunità AISAM.

*In questo numero della Newsletter dedichiamo questo spazio a **Ilenia Manco**.*

Ilenia Manco è Junior Scientist presso la Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), nell'ambito della divisione Regional Models and Geo-Hydrological Impacts (REMHI). Ha conseguito la laurea triennale in "Scienze Nautiche e Aeronautiche", con curriculum "Meteorologia e Oceanografia", e la laurea magistrale in "Scienze e Tecnologie della Navigazione", con indirizzo "Scienze del Clima", presso l'Università degli Studi di Napoli "Parthenope". Ha successivamente conseguito il dottorato di ricerca in "Future Earth, Climate Change and Societal Challenges" presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Alma Mater Studiorum – Università di Bologna.

Ha avviato la propria attività scientifica presso il CMCC occupandosi di modellistica atmosferica ad area limitata, con particolare riferimento al modello WRF e all'analisi di sensitività rispetto alle parametrizzazioni dello strato limite planetario, della microfisica delle nubi e dei processi superficiali. Durante il dottorato ha orientato la propria attività di ricerca verso lo sviluppo di una Conditional Generative Adversarial Neural Network per il downscaling climatico. Nell'ambito di tale attività ha svolto un periodo di ricerca presso il National Center for Atmospheric Research (NCAR) di Boulder, Colorado, estendendo l'applicazione del modello sviluppato al territorio degli Stati Uniti.

Attualmente coordina, all'interno della divisione REMHI, la linea di ricerca dedicata allo sviluppo e all'applicazione di modelli di machine learning per la meteorologia e la climatologia, nonché le attività progettuali a essa collegate. È inoltre coinvolta in diversi progetti di ricerca europei dedicati all'assimilazione dei dati nei modelli WRF e ICON.

L'intelligenza artificiale come supporto avanzato alle scienze atmosferiche: metodologie avanzate e applicazioni operative sul territorio italiano

1. Introduzione

La sinergia tra le scienze atmosferiche e l'intelligenza artificiale (AI) sta ridefinendo i confini della modellistica meteo-climatica. Come riportato nell'introduzione del mio recente lavoro di Dottorato (Manco, 2025), sebbene le radici teoriche di questi algoritmi risalgano alla metà del XX secolo (Mamalakos et al., 2022), il consolidamento del *machine learning* (ML) e del *deep learning* (DL) è avvenuto a partire dagli anni Duemila, spinto dall'aumento della potenza di calcolo e dalla disponibilità di grandi moli di dati. Sul piano concettuale, l'evoluzione dell'AI ha visto il passaggio da un approccio esplicito o simbolico, basato su regole rigide e sistemi esperti (Russell e Norvig, 1995; Newell e Simon, 1972), a un paradigma implicito e *data-driven*, inaugurato dai lavori pionieristici sulle reti neurali e sulla *back-propagation* (Hinton e Bengio, 1986). In ambito meteorologico e climatologico, l'integrazione del ML risponde alla necessità di ridurre i costi computazionali e migliorare la rappresentazione dei processi fisici di sottogriglia. Come evidenziato da de Burgh-Day e Leeuwenburg (2023), l'applicazione di tali algoritmi è estremamente versatile: essi possono sia ottimizzare

specifiche sottocomponenti dei modelli numerici convenzionali, sia sostituire integralmente i framework tradizionali in compiti che spaziano dall'assimilazione dati, al downscaling fino al post-processing. La letteratura recente mostra l'efficacia di questi strumenti in contesti cruciali. Nelle previsioni a breve termine, ad esempio, l'uso di reti neurali convoluzionali (CNN) ha permesso di estrarre pattern spaziali complessi per migliorare la stima delle precipitazioni (Wang J. et al., 2024), mentre approcci analoghi vengono impiegati nel post-processing per correggere i bias sistematici dei modelli (Haupt S. E. et al., 2021). Sul fronte della modellistica climatica, l'AI supporta la comprensione di feedback dinamici complessi, come le interazioni delle calotte glaciali (Sadai S. et al., 2020) o la formazione delle nubi (Barnes E. A. et al., 2019). Inoltre, l'applicazione del *deep learning* si rivela fondamentale nel contesto del cambiamento climatico per identificare e classificare in modo efficiente i pattern associati agli eventi meteorologici estremi (Reichstein M. et al., 2019). Un ruolo altrettanto centrale è rivestito dalle tecniche di *downscaling* statistico, dove il machine learning dimostra notevoli potenzialità nel tradurre gli output dei modelli globali a bassa risoluzione in scale locali ad alta risoluzione

spazialmente coerenti (Baño-Medina J. et al., 2020). In questo contesto, l'emergere di architetture ibride vincolate da leggi fisiche (Physics-Informed Neural Networks, PINNs) garantisce che le soluzioni algoritmiche rispettino rigorosamente i principi di conservazione di massa ed energia (Kashinath K. et al., 2021). L'integrazione sinergica e metodologicamente rigorosa dell'AI è quindi concepita per supportare la modellistica numerica tradizionale, ottimizzandone l'efficienza computazionale e preservando l'accuratezza e la fedeltà fisica delle simulazioni dinamiche. I capitoli successivi forniranno una panoramica dettagliata sull'impiego del *machine learning* nelle scienze atmosferiche, focalizzandosi su tre ambiti applicativi: la caratterizzazione del regime degli estremi precipitativi associati al *climate change* mediante tecniche di clustering; il *downscaling* climatico tramite modelli generativi per la ricostruzione di campi atmosferici ad alta risoluzione spaziale; ed infine, l'ottimizzazione del *latency time* in contesti di catena operativa per l'elaborazione tempestiva di dataset ad alta risoluzione.

2. Analisi dei regimi precipitativi estremi nel contesto del cambiamento climatico mediante tecniche di clustering

La caratterizzazione spaziale e temporale degli eventi precipitativi estremi (EPEs) sulla Penisola Italiana è fortemente condizionata da fattori geografici complessi, quali la complessa orografia (Alpi e Appennini) e la marcata influenza dei bacini marittimi circostanti. Per mappare in modo omogeneo e rigoroso tali regimi e la loro evoluzione sotto l'influenza del cambiamento climatico, nello studio di Manco et al. (2026), viene applicato un approccio *data-driven* basato sull'algoritmo di clusterizzazione non supervisionata *K-means* (MacQueen, J. 1967). L'analisi utilizza i dati ad altissima risoluzione (~ 2.2 km) del dataset VHR-PRO_IT (Raffa M., et al., 2023) prodotti mediante il modello COSMO-CLM. Tale risoluzione *convection-permitting* è fondamentale in meteorologia per risolvere esplicitamente i fenomeni a mesoscala e le forzanti topografiche locali che non sono rappresentate dai modelli globali. La finestra temporale analizzata confronta il periodo storico (1981-2005) con le proiezioni future a medio termine (2035-2065) sotto due scenari di concentrazione IPCC: RCP4.5 (scenario moderato) e RCP8.5 (scenario ad alte emissioni). A monte della clusterizzazione viene strutturato un catalogo degli estremi attraverso una procedura robusta a due step, finalizzata a garantire la coerenza fisica e la solidità statistica del dataset prima dell'applicazione dell'algoritmo *K-means*. Durante la prima fase (Event Identification) il processo si basa sul calcolo indipendente del 98° percentile per ciascun punto della griglia computazionale ad alta risoluzione, stimato sull'intera serie storica (o stagionale). Successivamente, una data viene formalmente inclusa nel catalogo preliminare degli eventi se in quel giorno almeno un punto dell'intero dominio spaziale supera la propria soglia critica. Questo criterio inclusivo permette di mappare gli eventi con

un'elevata granularità, garantendo che anche i fenomeni intensi ma geograficamente molto circoscritti vengano intercettati e memorizzati nel dataset. Nel secondo step (*Intensity Thresholding*), si applica un affinamento spaziale per isolare i reali nuclei intensi della precipitazione ed eliminare il rumore di fondo delle piogge deboli o moderate. Per le sole date individuate nella prima fase, vengono conservati esclusivamente i valori che superano il rispettivo 95° percentile locale, calcolato sempre sull'intera serie temporale (o stagionale). Questo duplice filtraggio basato sulla combinazione di percentili differenziati si inserisce in una procedura consolidata negli studi climatici per l'estrazione e la classificazione sistematica di eventi ad alto impatto (Grazzini et al., 2020; Mastrantonas et al., 2020), e ricalca l'efficacia di approcci stagionali a soglie variabili raccomandati in ambito europeo (Khaiter et al., 2021). La procedura consente così di impiegare l'algoritmo di clustering solo sulle porzioni di territorio colpite dal nucleo severo dei fenomeni.

Poiché l'algoritmo *K-means* appartiene alla classe dei modelli di apprendimento non supervisionato e richiede l'inizializzazione esplicita dell'iperparametro k (numero di clusters), la configurazione ottimale è stata vincolata a priori a $k=13$ mediante un'analisi di sensitività multi-diagnostica (inerzia, Fig. 1a; varianza spiegata, Fig. 1b e *silhouette score*, Fig.1c) condotta nello spazio ridotto della PCA (100 componenti principali, $\approx 76\%$ della varianza totale), applicando poi il clustering definitivo direttamente sui campi bidimensionali nativi ad alta risoluzione.

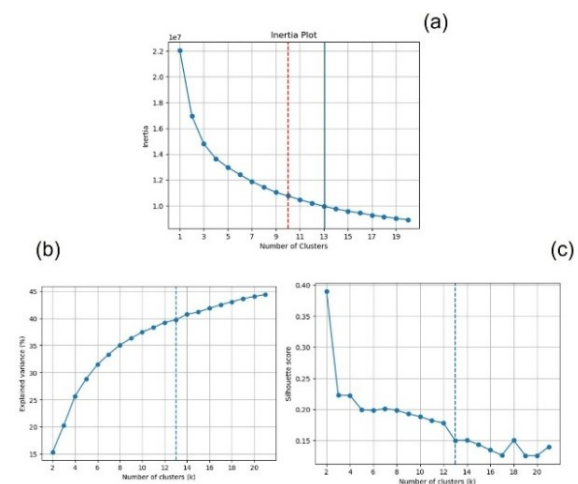


Figura 1. Diagnostiche per l'analisi di sensitività sul numero di cluster nello spazio delle features ridotto tramite PCA. (a) Grafico dell'inerzia. La linea rossa tratteggiata indica il punto medio dell'intervallo di valori k testati. (b) Varianza spiegata in funzione di k . (c) Silhouette score in funzione di k . La linea verticale blu evidenzia il valore selezionato $k = 13$.

2.1. Climatologia statistica degli estremi meteo-climatici nel periodo storico (1981-2005)

L'analisi di clustering applicata al benchmark climatologico storico (1981-2005) ha permesso di isolare 13 regimi precipitativi distinti. I settori alpini e l'Appennino

Settentrionale si confermano i distretti più vulnerabili a causa dei forcing orografici; in queste aree, il sollevamento forzato di masse d'aria umida e instabile determina medie di cluster pari a 37.4 mm, con picchi di accumulo localizzati che superano i 60 mm (Fig.2a,b,c,d colonna sinistra). Al contrario, la Pianura Padana e i bacini interni del Meridione, parzialmente schermati dalle barriere montuose e soggetti a differenti regimi di circolazione, mostrano una fenomenologia significativamente più ridotta, con accumuli medi racchiusi tra i 13 e i 16 mm. L'analisi stagionale rivela una forte specificità climatica:

- Inverno (DJF): Massimi accumuli legati a ciclogenese mediterranea e perturbazioni atlantiche, con forte impatto sui rilievi e sulla costa ligure (Cinque Terre).
- Primavera (MAM): Espansione spaziale delle aree instabili a causa dell'incremento dell'attività convettiva transizionale.
- Estate (JJA): Drastica riduzione generalizzata delle precipitazioni; gli eventi estremi si presentano isolati e spiccatamente convettivi, confinati prevalentemente alle aree prealpine e alpine.
- Autunno (SON): Intensificazione dei fenomeni su tutto il territorio (medie fino a 44 mm nei cluster più

esposti), innescata dall'interazione tra flussi marittimi caldi e barriere orografiche.

2.2. Risposta degli estremi precipitativi agli scenari emissivi e riorganizzazione spaziale dei pattern (2035–2065)

L'analisi comparativa tra il periodo storico e le proiezioni future evidenzia una riconfigurazione spaziale dei regimi precipitativi estremi. Tale segnale emerge chiaramente sia dallo spostamento geografico dei baricentri dei cluster, sia dallo shift delle relative metriche di tendenza centrale e dispersione (media e deviazione standard). Il segnale più robusto, comune a entrambi gli scenari (RCP4.5 e RCP8.5), è l'aumento della variabilità, evidenziato da un incremento della deviazione standard media nazionale di circa il 18.8% (RCP4.5) e del 17.2% (RCP8.5) rispetto al

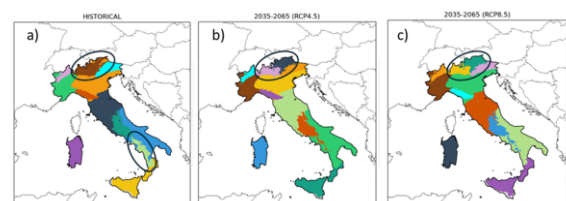


Figura 3. Mappe degli eventi di precipitazione giornaliera estrema basate sull'analisi del dataset VHR-PRO_IT durante: (a) il periodo storico (1981–2005); il periodo futuro (2035–2065) sotto lo scenario (b) RCP4.5 e (c) RCP8.5, con le rispettive analisi di clustering. I cerchi evidenziano le regioni che mostrano le variazioni più significative.

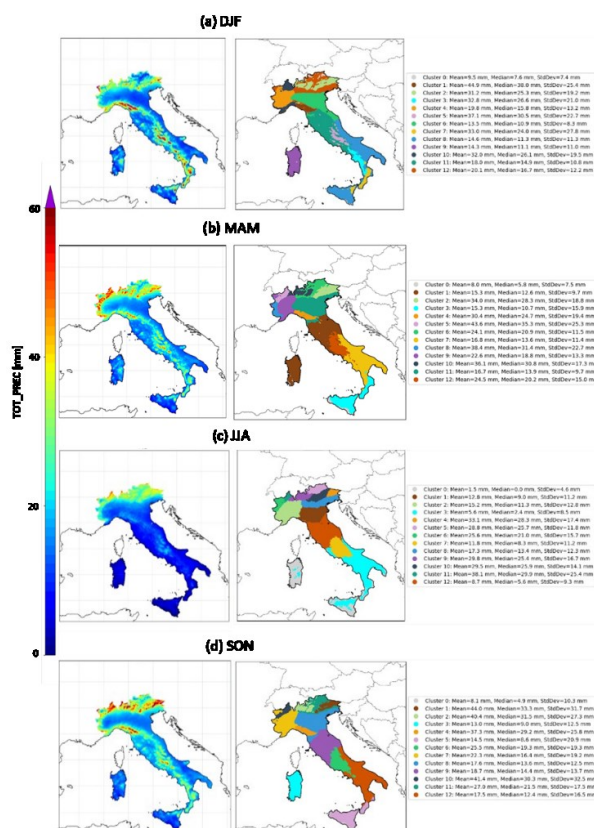


Figura 2. Mappe stagionali degli eventi di precipitazione giornaliera estrema ottenute dall'analisi del dataset VHR-PRO_IT durante il periodo storico (1981–2005) e relativa analisi di clustering. (a) DJF, stagione invernale; (b) MAM, stagione primaverile; (c) JJA, stagione estiva e (d) SON, stagione autunnale.

Clusters colours			Mean (mm)			Median (mm)			Standard Deviation (mm)		
Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5
1	1	1	29.2	33.4	34.5	24.1	26.5	28.0	17.4	22.4	21.6
2	2	2	24.0	NA	NA	18.4	NA	NA	18.5	NA	NA
3	3	3	33.8	36.0	36.6	27.1	27.8	28.9	21.3	26.3	24.8
4	4	4	16.3	16.8	17.2	13.1	13.1	13.6	10.7	12.0	12.0
5	5	5	37.4	40.1	39.1	29.3	29.7	29.7	25.4	31.9	30.1
6	6	6	22.6	23.5	23.4	17.8	17.8	17.5	16.7	19.6	19.7
7	7	7	13.5	12.5	12.8	8.7	7.4	7.4	16.5	17.4	17.7
8	8	8	13.7	14.6	14.1	10.2	10.4	10.1	11.5	13.7	12.9
9	9	9	12.0	12.2	12.5	8.7	8.0	8.2	10.6	13.0	13.3
10	10	10	15.4	15.7	16.5	12.1	12.1	12.7	11.1	11.9	12.5
11	11	11	24.2	24.2	25.8	18.9	18.5	19.7	17.2	18.9	20.2
12	12	12	32.0	31.6	33.3	25.0	23.7	24.9	22.5	25.4	26.1
NA	NA	NA	NA	25.9	25.9	NA	21.4	21.8	NA	15.6	14.7

Tabella 1. Metriche statistiche (media, mediana e deviazione standard) per i cluster comparabili (in termini di centroidi ed estensione geografica) nei dati storici e futuri, sotto gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

passato (Fig. 3 e Tab. 1).

L'analisi stagionale ha permesso di tipizzare i *pattern* spaziali in stretta coerenza con la climatologia locale e la stagionalità dei fattori d'innescio. Durante la stagione invernale, ad esempio, si osserva un incremento generalizzato dei valori medi e della deviazione standard (Tab. 2), con segnali più strutturati nello scenario RCP8.5 rispetto all'RCP4.5, a conferma di una transizione verso eventi più intensi e caratterizzati da una maggiore variabilità intrinseca.

A livello spaziale, il quadrante nord-occidentale mostra una netta riconfigurazione (Fig. 4): in RCP4.5, il cluster piemontese (arancione nello storico) viene assorbito dal regime meno intenso della Pianura Padana (giallo). Al contrario, durante l'estate si osserva una riduzione

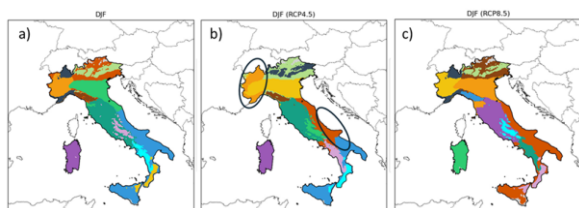


Figura 4. Mappe degli eventi di precipitazione giornaliera estrema durante la stagione invernale basate sull'analisi del dataset VHR-PRO_IT nel corso del: (a) periodo storico (1981–2005); periodo futuro (2035–2065) sotto lo scenario (b) RCP4.5 e (c) scenario RCP8.5, con le rispettive analisi di clustering. I cerchi evidenziano le regioni che mostrano le variazioni più significative.

Clusters colours			Mean (mm)			Median (mm)			Standard Deviation (mm)		
Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5
1	1	1	9.5	10.8	9.8	7.6	8.8	7.6	7.4	8.7	8.9
2	2	2	44.9	43.3	47.9	38.0	34.9	38.2	25.4	28.1	31.6
3	3	3	31.2	34.4	40.1	25.3	26.5	32.2	19.2	25.0	25.9
4	4	4	32.8	28.6	28.7	26.6	23.5	23.5	21.0	17.7	18.6
5	5	5	19.8	NA	22.0	15.8	NA	17.1	13.2	NA	16.0
6	6	6	37.1	34.8	39.7	30.5	28.0	31.9	22.7	23.4	26.2
7	7	7	13.5	14.2	16.1	10.9	11.2	13.4	8.3	9.7	9.2
8	8	8	33.0	27.1	28.5	24.0	19.1	20.0	27.8	28.5	28.1
9	9	9	14.6	13.4	14.0	11.3	9.8	10.4	11.3	11.8	11.8
10	10	10	14.3	15.3	15.8	11.1	11.3	11.7	11.0	13.3	13.1
11	11	11	32.0	27.7	34.2	26.1	21.0	27.5	19.5	22.3	22.1
12	12	12	18.0	18.0	20.5	14.9	14.9	17.0	10.8	10.9	12.3
13	13	13	20.1	21.7	23.8	16.7	17.2	19.9	12.2	14.8	14.1
14	14	14	NA	NA	15.7	NA	NA	12.5	NA	11.0	NA

Tabella 2. Metriche statistiche (media, mediana e deviazione standard) per i cluster comparabili (in termini di centroidi ed estensione geografica) nei dati storici e futuri, sotto gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

dell'intensità degli estremi lungo la fascia tirrenica (Fig. 5 e Tab. 3), in Calabria, Sicilia e Sardegna, mentre Puglia e Campania non mostrano una tendenza altrettanto definita. La risposta risulta quindi fortemente dipendente dalla stagione, dallo scenario emissivo e dalle caratteristiche locali. Per un'analisi approfondita dei risultati relativi alle singole stagioni, si rimanda a Manco et al. (2026).

Sebbene l'approccio permetta di localizzare efficacemente le variazioni dei regimi estremi, presenta alcune limitazioni legate alla scelta delle soglie percentile, all'ipotesi di stazionarietà e alla struttura geometrica imposta dal metodo k-means. Analisi future potrebbero integrare tecniche di clustering gerarchico o density-based, soglie variabili nel tempo e diagnostiche dei processi atmosferici, quali flussi di umidità, CAPE e configurazioni sinottiche. Nel complesso, la metodologia proposta costituisce uno strumento robusto ed utile per

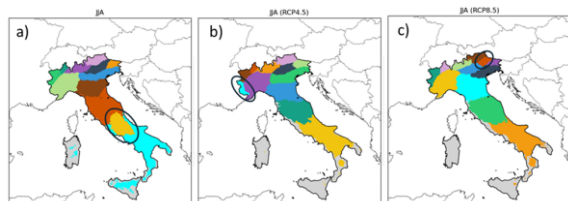


Figura 5. Mappe degli eventi di precipitazione giornaliera estrema durante la stagione estiva basate sull'analisi del dataset VHR-PRO_IT nel corso del: (a) periodo storico (1981–2005); periodo futuro (2035–2065) sotto lo scenario (b) RCP4.5 e (c) scenario RCP8.5, con le rispettive analisi di clustering. I cerchi evidenziano le regioni che mostrano le variazioni più significative.

Clusters colours			Mean (mm)			Median (mm)			Standard Deviation (mm)		
Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5	Historical	RCP 4.5	RCP 8.5
1	1	1	1.5	0.6	0.5	0.0	0.0	0.0	4.6	2.9	3.0
2	2	2	12.8	9.2	9.8	9.0	5.1	5.9	11.2	11.3	11.1
3	3	3	15.2	10.9	12.3	11.3	6.9	8.0	12.8	12.7	12.9
4	4	4	5.6	6.4	6.1	2.4	2.7	2.5	8.5	9.8	9.4
5	5	5	33.1	31.1	29.8	28.3	26.3	25.3	17.4	16.9	16.1
6	6	6	28.8	28.9	28.6	25.7	25.4	25.3	11.8	13.0	12.7
7	7	7	25.6	26.0	23.9	21.0	20.5	18.7	15.7	18.5	17.3
8	8	8	NA	NA	11.8	NA	NA	NA	11.2	NA	NA
9	9	9	17.3	13.3	15.1	13.4	9.5	11.3	12.3	11.7	12.5
10	10	10	29.8	25.3	28.7	25.4	21.0	24.5	16.7	16.3	15.7
11	11	11	29.5	24.7	23.6	25.9	20.7	19.4	14.1	14.4	14.5
12	12	12	38.1	32.5	30.7	29.9	24.6	23.7	25.4	25.0	22.6
13	13	13	8.7	7.7	8.4	5.6	4.1	4.3	9.3	9.8	10.8
14	14	14	NA	NA	20.4	NA	NA	15.6	NA	16.5	NA
15	15	15	NA	NA	32.6	NA	NA	28.4	NA	NA	14.2

Tabella 3. Metriche statistiche (media, mediana e deviazione standard) per i cluster comparabili (in termini di centroidi ed estensione geografica) nei dati storici e futuri, sotto gli scenari RCP4.5 e RCP8.5.

supportare strategie di adattamento climatico, definizione delle zone di allerta, pianificazione di protezione civile e valutazione del rischio assicurativo, offrendo una classificazione omogenea e basata su dati climatologici pluridecennali.

3. Modelli generativi per la produzione di dataset ad altissima risoluzione attraverso il downscaling climatico

La necessità di dati climatici ad alta risoluzione spaziale per valutare gli impatti climatici locali (in settori chiave come agricoltura, idrologia ed ecologia) si scontra con i costi computazionali proibitivi dei modelli dinamici e con le risoluzioni troppo grossolane (100-200 km) dei Modelli di Circolazione Generale (GCM). In questo contesto, il downscaling statistico rappresenta un'alternativa flessibile ed economica. Tuttavia, le tecniche tradizionali, quali il Downscaling Statistico Empirico (ESD), i weather generators, il quantile mapping e i metodi bayesiani, presentano limiti intrinseci dovuti a rigide ipotesi di linearità e stazionarietà climatica, che ne compromettono l'efficacia, soprattutto nella stima degli eventi estremi. Per superare tali limitazioni, i modelli generativi e, in particolare, le Generative Adversarial Networks (GAN) si sono affermati come un approccio data-driven particolarmente promettente. A differenza dei metodi statistici tradizionali, le GAN non richiedono l'assunzione a priori di una specifica distribuzione probabilistica e sono in grado di apprendere relazioni non lineari complesse, preservando al contempo le strutture spaziali a scala fine.

In questo contesto si colloca lo studio di Manco et al. (2025), finalizzato allo sviluppo di una Conditional Generative Adversarial Neural Network (cGAN) ottimizzata per applicazioni di super-risoluzione atmosferica sulla penisola italiana. Rispetto alle architetture generative convenzionali, in cui la generazione è guidata principalmente da rumore stocastico, il modello proposto è condizionato mediante campi atmosferici reali a bassa risoluzione. Tale configurazione consente di vincolare il processo generativo a una forzante fisicamente coerente, favorendo la ricostruzione di campi ad alta risoluzione spazialmente realistici e dinamicamente compatibili con l'informazione disponibile alla scala più grossolana.

3.1. Dati

Il presente paragrafo descrive i due dataset a differente risoluzione spaziale impiegati per lo sviluppo dell'architettura cGAN mirata al downscaling della temperatura giornaliera a 2 metri sulla Penisola Italiana (Fig. 6), dettagliando al contempo le cruciali procedure di preelaborazione dei dati. Nello specifico, come input a bassa risoluzione è stato utilizzato il dataset di rianalisi globale ERA5 (Hersbach, H. et al., 2023), caratterizzato da una risoluzione orizzontale di 0.25° . Il dataset di riferimento ad alta risoluzione (target), introdotto esclusivamente nella fase di addestramento, è invece il dataset di rianalisi regionale VHR-REA_IT (Raffa et al. 2021), alla scala convection-permitting di 0.02° . L'orizzonte temporale analizzato copre un quindicennio suddiviso secondo una strategia di hold-out per ottimizzare i costi computazionali, identificando una finestra di addestramento (01/1990–12/2000), in cui sono sfruttati entrambi i dataset, e una finestra di test (01/2001–12/2005), durante la quale l'algoritmo elabora unicamente l'input a bassa risoluzione per poi validare i campi sintetici generati (ERA5-DownGAN) tramite il rispettivo record VHR-REA_IT. In questo contesto, la fase di normalizzazione dei dati gioca un ruolo cruciale per la convergenza e la stabilità della cGAN, poiché bilancia le distribuzioni statistiche facilitando il riconoscimento dei pattern fisici sottostanti. I dati sono stati scalati nell'intervallo -1 e 1, una scelta ottimizzata per l'adozione della funzione di attivazione tangente iperbolica (tanh) nello strato finale del generatore. Per una disamina esaustiva dei dettagli strutturali e dei parametri di configurazione dell'architettura sviluppata, si rimanda a Manco et al. (2025).

3.2. Risultati

In questa sezione, le prestazioni della cGAN nel processo di downscaling del campo di temperatura a 2 metri (T_{2M}) sulla Penisola Italiana vengono valutate confrontando il dataset sintetico ad alta risoluzione (ERA5-DownGAN), generato dalla cGAN, con il dataset

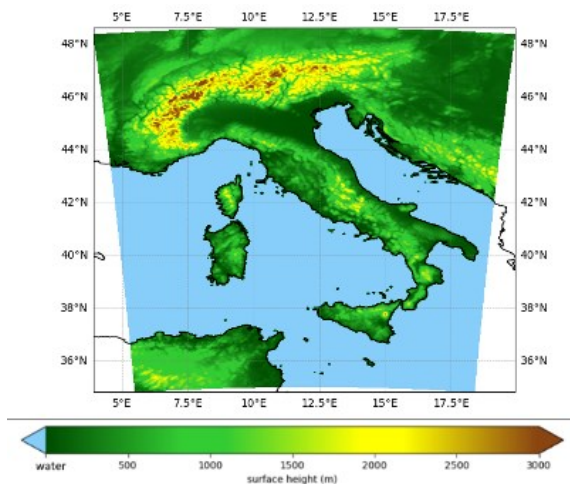


Figura 6. Dominio geografico.

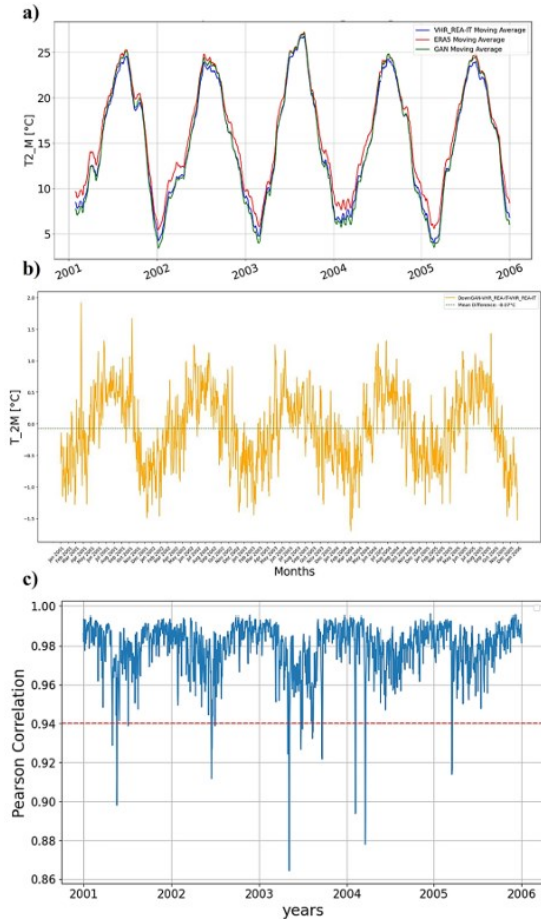


Figura 7. Evoluzione temporale della temperatura a 2 m (T_{2M}): (a) media mobile giornaliera della temperatura a 2 m durante il periodo di test, calcolata su una finestra di 30 giorni. Sono riportate le medie spaziali giornaliere dei dati reali a bassa risoluzione (ERA5), dei dati reali ad alta risoluzione (VHR-REA_IT) e dei dati artificiali sottoposti a downscaling (ERA5-DownGAN), generati mediante la cGAN. (b) Differenze giornaliere tra il dataset generato dalla Conditional Generative Adversarial Network (cGAN), ERA5-DownGAN, e il dataset reale VHR-REA_IT. (c) Correlazione giornaliera tra ERA5-DownGAN e VHR-REA_IT.

reale ad alta risoluzione (VHR-REA_IT), prodotto tramite downscaling dinamico nel periodo di test specificato (01/2001-12/2005).

Le serie temporali della media mobile giornaliera della temperatura a 2 metri mostrano una notevole correlazione con il dataset prodotto dal downscaling dinamico, con valori che rientrano nel medesimo intervallo, mostrando una maggiore vicinanza al dataset VHR-REA_IT rispetto a ERA5, soprattutto durante i mesi più freddi, variando da circa 4°C a circa 28°C (Fig. 7). La valutazione spaziale delle prestazioni della cGAN (Fig. 8) evidenzia che le maggiori discrepanze rispetto al dataset di riferimento ad alta risoluzione VHR-REA_IT si concentrano in corrispondenza di domini a orografia complessa. Il BIAS spaziale oscilla tra -0.5°C e $+0.5^\circ\text{C}$, con un bias negativo localizzato sull'Europa centrale, mentre il MAE e l'RMSE si attestano rispettivamente negli intervalli $0.5\text{--}1.5^\circ\text{C}$ e $0.5\text{--}2^\circ\text{C}$. Il coefficiente di correlazione mantiene un trend prossimo all'unità sull'intero dominio,

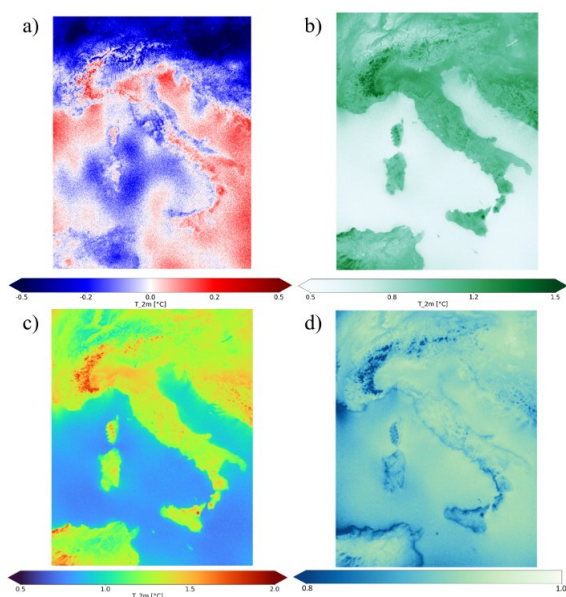


Figura 8. Bias medio (BIAS), (b) errore quadratico medio (RMSE), (c) errore assoluto medio (MAE) e (d) coefficienti di correlazione (CORR), ottenuti confrontando ERA5-DownGAN con VHR_REA_IT durante il periodo di test (2001–2005).

mostrando lievi flessioni esclusivamente in corrispondenza delle aree ad orografia complessa e di specifiche aree costiere.

L'analisi statistica regionale (Tab. 4) conferma l'elevata capacità esplicativa del modello generativo nel riprodurre i valori minimi, massimi, medi e mediani, e la varianza del modello dinamico. Le mappe stagionali riportate in Fig. 9 evidenziano la capacità del modello di ricostruire la variabilità termica alla scala spaziale più fine e di riprodurre con elevata accuratezza sia i principali pattern geografici sia il ciclo stagionale del dataset target ad alta risoluzione.

Le differenze residue risultano complessivamente contenute e sono associate principalmente a una lieve sottostima della temperatura, circoscritta ad alcune aree dell'Europa centrale e dell'Italia nord-occidentale.

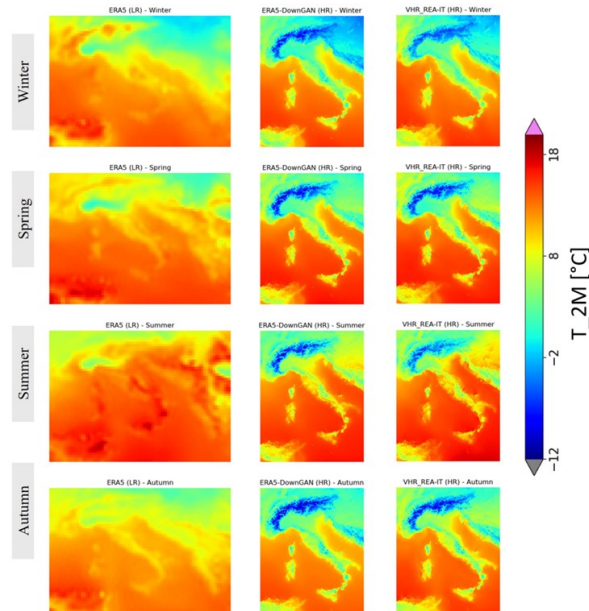


Figura 9. Confronto stagionale della temperatura a 2 m (T_{2M}) tra i dati reali a bassa risoluzione (ERA5), i dati reali ad alta risoluzione (VHR-REA_IT) e i dati artificiali sottoposti a downscaling (ERA5-DownGAN), generati mediante la cGAN.

Per una disamina approfondita ed estesa dei risultati in termini di destagionalizzazione, funzioni di densità di probabilità (PDFs) e analisi statistica dei valori estremi, si rimanda al lavoro di Manco et al. (2025) ed al lavoro di Dottorato

(<https://amsdottorato.unibo.it/id/eprint/11928/?template=default>).

Region	Dataset	MAX [°C]	MIN [°C]	MEAN [°C]	MEDIAN [°C]	$\sigma_{cGAN}/\sigma_{VHR}$	$\sigma_{ERA5}/\sigma_{VHR}$
Domain	VHR-REA_IT	42.25	-30.81	14.98	15.42	1.05	0.88
	ERA5-DownGAN	38.40	-25.38	14.91	15.32		
	ERA5	41.74	-16.29	16.01	16.12		
Italy (Land Only)	VHR-REA_IT	36.66	-27.55	13.98	14.14	1.06	0.79
	ERA5-DownGAN	35.48	-24.38	13.95	13.99		
	ERA5	36.01	5.84	16.09	15.93		
North-East Italy	VHR-REA_IT	36.53	-24.46	13.18	12.97	1.05	0.76
	ERA5-DownGAN	35.48	-21.59	13.17	12.92		
	ERA5	33.34	-5.00	14.71	14.59		
North-West Italy	VHR-REA_IT	36.59	-27.55	11.08	10.62	1.05	0.72
	ERA5-DownGAN	35.44	-24.38	11.03	10.62		
	ERA5	35.02	-5.84	14.96	14.79		
Central Italy	VHR-REA_IT	35.37	-16.33	13.94	13.90	1.07	0.82
	ERA5-DownGAN	34.34	-16.28	13.89	13.74		
	ERA5	34.56	-4.19	15.90	15.74		
South Italy	VHR-REA_IT	36.66	-20.44	15.04	15.18	1.06	0.85
	ERA5-DownGAN	34.61	-18.60	15.05	15.05		
	ERA5	35.19	-3.76	16.85	16.64		
Insular Italy	VHR-REA_IT	36.24	-9.66	16.65	16.54	1.05	0.92
	ERA5-DownGAN	33.56	-10.68	16.61	16.39		
	ERA5	36.01	2.45	17.70	17.39		

Tabella 4. Analisi della temperatura superficiale giornaliera durante il periodo di test 2001–2005, sulla base dei dataset VHR-REA_IT, ERA5-DownGAN ed ERA5. I dati sono aggregati sull'intero dominio italiano e sulle cinque sottoregioni riportate nella Fig. 1b di Raffa et al. (2021). La tabella riporta i valori massimo, minimo, medio e mediano, nonché i rapporti tra le deviazioni standard.

4. Il prodotto operativo FAIR (Fast AI-Reanalysis)

La disponibilità operativa di dataset climatici ad alta risoluzione, aggiornati in *near real-time*, rappresenta ancora una delle principali criticità nello sviluppo dei servizi climatici (Hersbach et al., 2020). La maggior parte dei prodotti di downscaling attualmente disponibili è infatti elaborata in modalità retrospettiva e resa accessibile con ritardi che possono variare da alcuni mesi a diversi anni rispetto al tempo reale. Tali latenze ne limitano significativamente l'impiego nel monitoraggio climatico operativo e nella valutazione tempestiva degli eventi estremi (Harris et al., 2022). Per colmare tale divario, il framework sviluppato da Manco et al. (2025) è stato successivamente esteso a un contesto operativo. Da questa evoluzione è nato, nel 2025, il sistema FAIR (Fast AI-Reanalysis), progettato per operare in modalità *near-real-time*, aggiornando automaticamente il dataset climatico ad alta risoluzione non appena i nuovi dati ERA5 vengono resi disponibili attraverso il Copernicus Climate Data Store (<https://www.copernicus.eu/en>). Questa procedura consente di contenere la latenza temporale del prodotto a circa sei giorni. L'intero dataset sarà a breve liberamente accessibile in formato grigliato NetCDF4 attraverso il Data Delivery System (DDS) del CMCC, mentre le mappe e i relativi indicatori giornalieri saranno consultabili mediante la dashboard Dataclime (<https://www.dataclime.com/>).

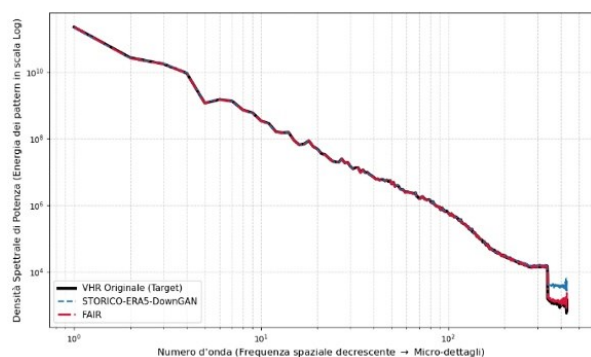


Figura 10. Spettro di potenza.

Al fine di estendere la copertura della serie storica fino al 2024 e supportare un set di variabili atmosferiche (comprendente temperatura media, massima e minima a 2 metri, precipitazione totale cumulata, umidità relativa e campo di vento a 10 m attualmente in fase di sviluppo) l'architettura originaria di Manco et al. (2025) è stata oggetto di importanti upgrade metodologici. Per ottimizzare la consistenza fisica dei campi simulati, specialmente in corrispondenza di regioni caratterizzate da orografia complessa, è stata introdotta una loss spettrale nel dominio delle frequenze. Le funzioni di costo tradizionali nel dominio dello spazio, come l'errore quadratico medio, tendono infatti a generare un effetto di smoothing sui rilievi montuosi, fallendo nel catturare i dettagli ad alta frequenza spaziale; l'integrazione di un vincolo spettrale forza invece il generatore a preservare la

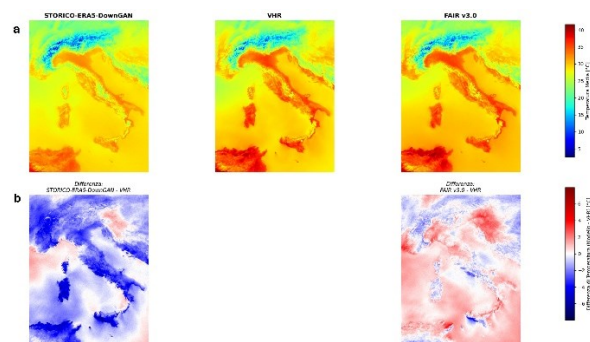


Figura 11. Comparazione ERA5-DownGAN; FAIR e VHR-REA-IT. (a) valore assoluto della temperatura massima a 2 m; (b) Mean BIAS.

corretta cascata energetica e le strutture a piccola scala, riducendo gli artefatti visivi e garantendo un elevato realismo geometrico lungo i gradienti topografici. Parallelamente, la precedente normalizzazione Min-Max è stata sostituita dallo Z-score per limitare l'influenza degli outlier meteorologici che comprimevano artificialmente la varianza. Questa standardizzazione stabilizza i gradienti in fase di backpropagation, garantendo una convergenza numerica più efficiente e una superiore sensibilità della cGAN nel modellare le code distributive degli eventi estremi. La Fig. 10 evidenzia il miglioramento introdotto dalla nuova versione del modello nella rappresentazione dello spettro di potenza della temperatura media a 2 m rispetto a ERA5-DownGAN. La Fig. 11 presenta invece un confronto del campo di temperatura massima a 2 m, per un caso di studio relativo a un'ondata di calore, tra il modello proposto da Manco et al. (2025), l'upgrade dello stesso all'interno del sistema FAIR e il dataset di riferimento ad alta risoluzione VHR-REA_IT.

Bibliografia

- Baño-Medina, J., Manzanar, R., & Gutiérrez, J. M. (2020). Configuration and intercomparison of deep learning neural models for statistical downscaling. *Geoscientific Model Development*, 13(4), 2109–2124. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-2109-2020>.
- Barnes, E. A., Hurrell, J. W., Ebert-Uphoff, I., Anderson, D., & others. (2019). Viewing forced climate patterns through an AI lens. *Geophysical Research Letters*, 46(4), e2019GL084944. <https://doi.org/10.1029/2019GL084944>.
- de Burgh-Day, C. O., & Leeuwenburg, T. (2023). Machine learning for numerical weather and climate modelling: A review. *Geoscientific Model Development*, 16(22), 6433–6477. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-6433-2023>.
- Duminuco, P. F., Feitosa, O. M., Manco, I., Fedele, G., Giugliano, G., Ceci, G., Morale, D., Bonfiglio, A., Raffa, M., Barbato, G., Schiano, P., & Mercogliano, P. (2025). A convolutional neural network for lightning strikes detection over the Italian territory using SEVIRI@MSG data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 63, 1–13, Article 4114513. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2025.3641256>.
- Grazzini, F., Craig, G.C., Keil, C., Antolini, G., Pavan, V., 2020. Extreme precipitation events over northern Italy. Part I: a systematic classification with machine-learning techniques. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146 (726), 69–85. <https://doi.org/10.1002/qj.3635>.
- Harris, L., McRae, A. T. T., Chantry, M., Dueben, P. D., and Palmer, T. N. (2022). A generative deep learning approach to stochastic downscaling

- of precipitation forecasts. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 14(10), e2022MS003120. <https://doi.org/10.1029/2022MS003120>.
- Haupt, S. E., Chapman, W., Adams, S. V., Kirkwood, C., Hosking, J. S., Robinson, N. H., Lerch, S., & Subramanian, A. C. (2021). Towards implementing artificial intelligence post-processing in weather and climate: proposed actions from the Oxford 2019 workshop. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2194). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0091>.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N., 2023. ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>.
- Hinton, G. E., & Bengio, Y. (1986). Learning representations by back-propagating errors. In *Proceedings of the IEEE 1986 Workshop on Neural Networks for Signal Processing* (pp. 1–7).
- Kashinath, K., Mustafa, M., Albert, A., Wu, J. L., Jiang, C., Esmaeilzadeh, S., Azzizadenesheli, K., Wang, R., Chattopadhyay, A., Singh, A., Manepalli, A., Chirila, D., Yu, R., Walters, R., White, B., Xiao, H., Tchelepi, H. A., Marcus, P., Anandkumar, A., Hassanzadeh, P., & Prabhat. (2021). Physics-informed machine learning: Case studies for weather and climate modelling. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2194), 20200093. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0093>.
- Khaiter, P.A., et al., 2021. An ML-based study of extreme weather events incorporating seasonality factor. In: *Proceedings of MODSIM2021*. Sydney, NSW, Australia, 5-10 December 2021. mssanz.org.au/modsim2021/papers/F5/khaiter.pdf.
- Mamalakis, A., Barnes, E. A., & Ebert-Uphoff, I. (2022). Investigating the Fidelity of Explainable Artificial Intelligence Methods for Applications of Convolutional Neural Networks in Geoscience. *Artificial Intelligence for the Earth Systems*, 1(4), e220012. <https://doi.org/10.1175/AIES-D-22-0012.1>.
- Manco, I., Riviera, W., Zanetti, A., Briscolini, M., Mercogliano, P., & Navarra, A. (2025). A new conditional generative adversarial neural network approach for statistical downscaling of the ERA5 reanalysis over the Italian Peninsula. *Environmental Modelling & Software*, 188, 106427. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2025.106427>.
- Manco, Ilenia (2025) AI-assisted climate downscaling for rapid assessment of ERA5 reanalysis across different geographical domains, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Il futuro della terra, cambiamenti climatici e sfide sociali, 37 Ciclo. DOI 10.48676/unibo/amsdottorato/11928.
- Manco, I., Feitosa, O. M., Raffa, M., Schiano, P., Rianna, G., & Mercogliano, P. (2026). Identifying recurring patterns of extreme daily precipitation using K-means algorithm: Uncovering spatial shift driven by climate change over the Italian Peninsula. *Weather and Climate Extremes*, 51, 100849. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2025.100849>.
- Mastrantonas, N., Herrera-Lormendez, P., Magnusson, L., Pappenberger, F., Matschullat, J., 2020. Extreme precipitation events in the Mediterranean: spatiotemporal characteristics and connection to large-scale atmospheric flow patterns. *arXiv preprint arXiv:2009.00912*.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Prentice Hall.
- Raffa, M., Reder, A., Marras, G.F., Mancini, M., Scipione, G., Santini, M., Mercogliano, P., 2021. VHR-REA_IT dataset: very high resolution dynamical downscaling of ERA5 reanalysis over Italy by COSMO-CLM. *Data* 6 (8), 88. <https://doi.org/10.3390/data6080088>.
- Raffa, M., Adinolfi, M., Reder, A., Marras, G.F., Mancini, M., Scipione, G., Santini, M., Mercogliano, P., 2023. Very high resolution projections over Italy under different CMIP5 IPCC scenarios. *Sci. Data* 10 (1), 238. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02144-9>.
- Reichstein, M., Camps-Valls, G., Stevens, B., Prabhat, & others. (2019). Deep learning and process understanding for data-driven Earth system science. *Nature*, 566(7743), 195. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0912-1>.
- Russell, S., & Norvig, P. (1995). *Artificial intelligence: A modern approach*. Prentice Hall.
- Sadai, S., Condrón, A., DeConto, R., & Pollard, D. (2020). Future climate response to Antarctic Ice Sheet melt caused by anthropogenic warming. *Science Advances*, 6(39), eaat1169. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz1169>.
- Wang J., Wang X., Guan J., Zhang L., Zhang F., Chang T. STPF-Net: Short-Term Precipitation Forecast Based on a Recurrent Neural Network. *Remote Sensing*. 2024; 16(1):52. <https://doi.org/10.3390/rs16010052>.

Autore:



Ilenia Manco
(CMCC)

LA PROCLAMO DOTTORE...

AISAM si congratula con i neo-laureati/dottorati....e che una nuova avventura abbia inizio!

Scarsità idrica in ambiente periglaciale nel contesto del cambiamento climatico: indagini e strategie di adattamento per la resilienza idrica del Rifugio Longoni

Dott. Federico Bolis



Politecnico di Milano

Laurea Magistrale in Civil Engineering for Risk Mitigation

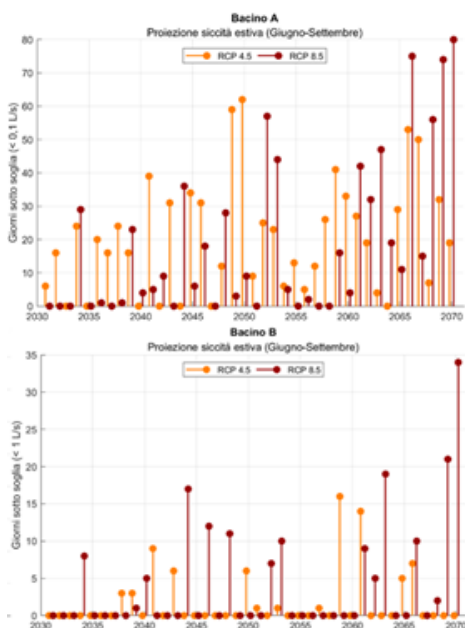
Relatore: Prof. Alessandro Ceppi

Co-Relatore: Prof. Alberto Bianchi

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Negli ultimi decenni, il cambiamento climatico ha profondamente alterato i regimi idrologici alpini, dove l'innalzamento termico procede a velocità doppia rispetto alla media globale. Tale fenomeno causa una precoce fusione della criosfera e prolungati periodi di siccità estiva minacciando direttamente l'autonomia idrica delle infrastrutture d'alta quota. Ne è esempio il Rifugio Longoni (2435 m s.l.m., Valmalenco) che ha sperimentato nelle estati 2022 e 2023 gravi criticità idriche. La ricerca ha, in primo luogo, valutato la vulnerabilità dell'attuale sistema (Bacino A) e, successivamente, è stata caratterizzata una nuova potenziale sorgente in un bacino periglaciale limitrofo (Bacino B). Il metodo di ricerca si compone di tre fasi: monitoraggio in sito, calibrazione del modello idrologico HBV-light e proiezione climatica. Durante l'estate 2025, sono state eseguite misure di portata (prove volumetriche e diluizione con tracciante), indagini termiche e chimico-fisiche. Rilievi fotogrammetrici da drone hanno identificato un rock glacier nel Bacino B. I dati di campo hanno permesso di calibrare il modello idrologico tramite algoritmi genetici (GAP) e l'ottimizzazione della metrica KGE. Le simulazioni idrologiche fino al 2070 hanno impiegato le proiezioni climatiche ad altissima risoluzione CMCC VHR-PRO IT (2,2 km), correggendo il bias tramite confronto con il dataset osservato dell'ISAC-CNR.



I risultati mostrano una netta dicotomia. Il Bacino A (3,5 ettari) è altamente reattivo agli eventi meteorici e inadeguato a sostenere la domanda, registrando portate minime captate di soli 0,11 l/s. Le proiezioni climatiche indicano un innalzamento termico estivo (fino a +3,30 °C nello scenario RCP 8.5) e un netto calo delle precipitazioni estive (-22,5%). L'anticipo di un mese della completa fusione nivale causerà, nel ventennio 2051-2070, uno stress idrico strutturale con una media di 25-27 giorni annui di deflussi sotto la soglia critica operativa (0,1 l/s) per entrambi gli scenari emissivi.

Al contrario, il Bacino B ha dimostrato un'eccezionale resilienza, garantendo portate di base costantemente superiori di un ordine di grandezza (minimo 5,87 l/s). Tale stabilità deriva da un maggior accumulo nevoso e potenzialmente anche dalla presenza del rock glacier, il cui nucleo di permafrost funge da riserva idrica solida termicamente isolata, dinamica confermata dalle temperature dell'acqua di fusione costanti tra 0,5 °C e 0,9 °C. Anche negli scenari simulati più avversi, il Bacino B manterrà la totale continuità del servizio idrico.

In conclusione, per l'adattamento ai cambiamenti climatici del Rifugio Longoni si propone di incrementare lo stoccaggio idrico ad almeno 4.000 litri effettivi e di spostare la captazione primaria sul Bacino B. Sfruttando l'abbondante deflusso di quest'ultimo e il salto idraulico a disposizione (~100 m), si evidenzia la fattibilità tecnica per un impianto pico-idroelettrico (potenze tra 2,5 kW e 10,5 kW).

Analisi di indici derivati da radiosondaggi sulla pianura Padana Occidentale (Analysis of sounding-derived indices over the western Po Valley)

Dott.ssa Gaia Minorini



Università degli studi di Milano

Laurea Magistrale in Geophysics

Relatore: Prof. Silvio Davolio

Co-Relatori: Dr. Marta Rosa Salvati, Dr. Agostino Manzato

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Il quadro scientifico della presente tesi riguarda i meccanismi di innesco e sviluppo della convezione nella Pianura Padana. Considerando le attuali ricerche sul clima (ad esempio, Manzato et al., 2025), lo studio valuta l'affidabilità diagnostica di vari indici termodinamici in un ambiente caratterizzato da un aumento dell'energia termica. L'obiettivo è determinare come i parametri ambientali, solitamente sfruttati per descrivere l'attività convettiva, la severità e la probabilità di sviluppo, cambino in risposta al riscaldamento globale e se, e fino a che punto, queste variazioni siano associate a modifiche dell'attività convettiva. La tesi rappresenta un primo passo in questa direzione e valuta i trend di numerosi indici di instabilità.

La ricerca si basa sull'analisi statistica di oltre 15.000 osservazioni da radiosondaggio della stazione di Milano Linate durante le stagioni convettive (aprile-settembre) per il periodo 1999-2020. Il set di dati integra le osservazioni sia delle

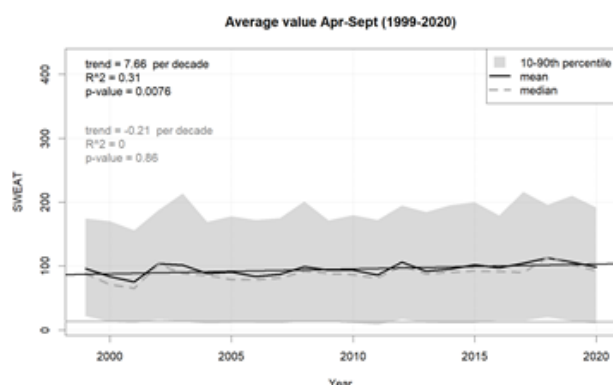


Figura 1. trend dell'indice di minaccia di maltempo severo

aumento dell'energia convettiva (fig. 1), in accordo con altre aree della Pianura Padana. Ciò significa che l'ambiente termodinamico (temperatura e umidità) sta probabilmente diventando più favorevole a temporali convettivi intensi, sebbene i possibili effetti sulla frequenza e sull'intensità dei sistemi convettivi restino da studiare in lavori futuri, sfruttando osservazioni relative ai temporali (ad esempio, precipitazioni, fulmini).

Lo studio conferma che la relazione tra riscaldamento climatico, parametri ambientali e sviluppo dei temporali è molto complessa, né lineare né immediata. Sebbene non sempre supportati da una forte significatività statistica, i trend calcolati per i principali indici mostrano un andamento simile a quello dei sondaggi di Udine e Cuneo, indicando così un comportamento analogo in tutta la Pianura Padana. Tuttavia, sono emerse alcune differenze che richiedono ulteriori approfondimenti.

00:00 UTC sia delle 12:00 UTC per fornire una visione completa dell'evoluzione dei profili atmosferici, indipendentemente dalla fase diurna. I trend sono calcolati per molteplici parametri ambientali e indici di instabilità, e vengono confrontati con analisi simili eseguite recentemente in altre aree della Pianura Padana, al fine di stabilire se l'intera regione sia caratterizzata dallo stesso comportamento in termini di ambiente e attività convettiva. Inoltre, viene intrapreso anche un confronto con gli indici di stabilità forniti da un set di dati di rianalisi grigliato all'avanguardia (ERA5).

I risultati evidenziano una differente significatività statistica dei parametri calcolati e non tutti gli indici permettono di trarre conclusioni robuste. Tuttavia, i trend calcolati suggeriscono un generale potenziale

Analisi di dati di fulminazioni sul territorio campano nel periodo 2015-2024

Dott.ssa Lorenza Sammarco



Università degli studi di Napoli "Parthenope"

Laurea di II Livello in Scienze e Tecnologie della Navigazione - Indirizzo: Scienze del Clima

Relatore: Prof. Vincenzo Capozzi

Co-Relatore: Dr. Federico Vermi

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

L'analisi dei fulmini è cruciale per la sicurezza civile, le infrastrutture, l'aviazione e la comprensione dei sistemi temporaleschi. Questo lavoro di tesi analizza l'evoluzione spaziale e temporale dell'attività elettrica atmosferica in Campania nel decennio 2015-2024 tramite i dati della rete di monitoraggio LAMPINET, correlando la distribuzione delle scariche con l'orografia e le condizioni meteorologiche alla scala sinottica e alla mesoscala.

Dopo un'introduzione sulla descrizione fisica della scarica elettrica, sui sensori e sulle tecniche di geolocalizzazione, sono stati presentati i risultati dell'analisi condotta sul database decennale, passando dall'analisi annuale e mensile fino al dettaglio delle variazioni orarie e della distribuzione spaziale tra mare e terraferma.

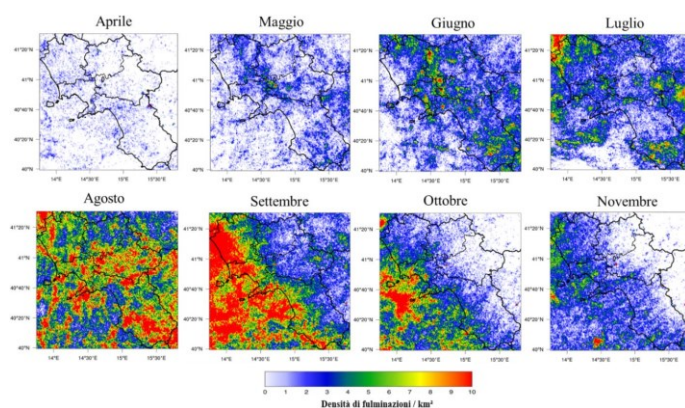


Figura 1. Distribuzioni mensili della densità di fulminazione verificatesi nel periodo 2015-2024. Le mappe mostrano l'andamento del fenomeno nell'intervallo temporale aprile-novembre.

I risultati evidenziano una spiccata attività convettiva in Campania, modulata costantemente dall'interazione tra la complessa orografia appenninica e il bacino del Tirreno. Dall'analisi spaziale emerge chiaramente una maggiore frequenza di fulminazioni lungo il settore costiero, l'adiacente settore marino e la fascia appenninica. In particolare, sono stati individuati hotspot con un'attività elettrica mediamente 10 volte superiore rispetto alle zone circostanti, come Montevergine (AV), il Parco Eolico Monte Muoio di San Gregorio Magno (SA) e Le Chiancolelle (SA), dove l'orografia complessa si combina con la presenza di infrastrutture antropiche come le antenne radiotelevisive. Sotto il profilo temporale, l'analisi oraria mostra una

netta prevalenza pomeridiana (12:00-18:00 UTC) per via del massimo riscaldamento diurno. A livello stagionale, i fenomeni si concentrano sulla terraferma in primavera ed estate per l'instabilità convettiva da riscaldamento del suolo; in tardo-estate e autunno l'attività si sposta sul mare, sostenuta dai gradienti termici verticali generati dall'inerzia termica delle acque (Figura 1). In inverno, infine, i fulmini rimangono confinati sul mare con un'attività nel complesso molto blanda

Un focus specifico è stato dedicato al confronto tra due casi studio: agosto 2017 e agosto 2022, rispettivamente il minimo (578 fulmini) e il massimo (156.568 fulmini) registrati per tale mese nel decennio. Il confronto evidenzia come, la fenomenologia estrema sia legata alla configurazione sinottica, confermata dall'analisi delle mappe di anomalia della quota di geopotenziale a 500 hPa. Mentre nel 2017 la presenza di un promontorio sub-tropicale ha inibito i temporali, nel 2022 infiltrazioni di aria fresca in quota hanno convertito l'energia accumulata nei bassi strati in eventi convettivi record.

Il lavoro si conclude con una prospettiva sui sistemi di monitoraggio futuri, come il Lightning Imager (LI) a bordo del Meteosat Third Generation (MTG), essenziale per la prevenzione in un territorio esposto a eventi meteorologici estremi.

Fattori stagionali e sinottici che regolano le popolazioni di aerosol nella Pianura Padana: implicazioni per la qualità dell'aria

(Seasonal and Synoptic Drivers of Aerosol Populations in the Po Valley: Implications for Air Quality)

Dott.ssa Alice Comani



Alma Mater Studiorum – Università degli studi di Bologna

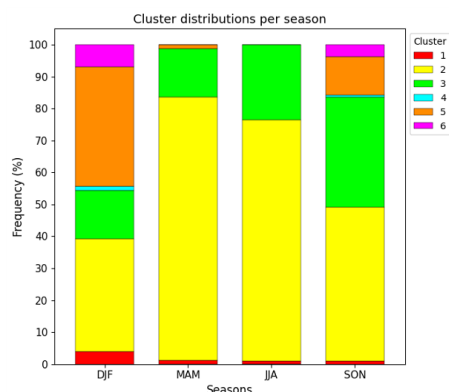
Laurea Magistrale in Science of Climate

Relatore: Prof.ssa Erika Brattich

Co-Relatori: Dr. Alessandro Zappi, Dr.ssa Roberta Amorati

Anno Accademico 2024/2025

Abstract



Gli aerosol atmosferici influenzano sia la qualità dell'aria urbana sia il clima globale, influenzando sul bilancio radiativo terrestre e sulla formazione delle nubi e precipitazioni. Inoltre, rappresentano un rischio per la salute umana, poiché le frazioni fini ed ultrafini penetrano in profondità nel sistema respiratorio. Nonostante le rigorose linee guida stabilite dall'OMS sulla qualità dell'aria, i limiti imposti vengono frequentemente superati in molte aree critiche come la Pianura Padana, dove la ridotta ventilazione e il limitato rimescolamento verticale favoriscono l'accumulo di inquinanti. In questo contesto, il presente lavoro di tesi investiga le dinamiche atmosferiche e la stagionalità dei regimi di aerosol nell'area urbana di Bologna. Lo studio si basa sull'analisi di un dataset triennale (2019-2022), che integra le distribuzioni dimensionali di particelle con i principali parametri meteorologici che descrivono la capacità dispersiva dell'atmosfera, quali velocità del vento, altezza dello strato di rimescolamento, indici di ventilazione, stagnazione e ricircolo. A questo scopo, la valutazione iniziale della stagionalità e delle correlazioni bivariate ha fornito la base e la giustificazione metodologica per l'adozione di un approccio multivariato. Di conseguenza, è stato applicato un approccio di clustering a due livelli, basato sulle Self-Organizing Maps e l'algoritmo K-means. Ciò ha permesso di proiettare i dati in griglia esagonale di 672 unità per identificarne i pattern ricorrenti. Sono stati così individuati sei distinti regimi di aerosol. Nello specifico il Cluster 1 definisce un regime di inquinamento urbano misto, che riflette l'accumulo di emissioni antropiche.

Il Cluster 2, più presente nelle stagioni calde, rappresenta le condizioni di fondo pulite e alta capacità dispersiva atmosferica, mentre il Cluster 3 individua un regime di moderato inquinamento di background. Il Cluster 4 definisce il regime associato alla frazione grossolana e a fenomeni specifici come il trasporto di polveri sahariane. Invece, i Cluster 5 e 6, più presenti nelle stagioni fredde, descrivono due diversi regimi di forte stagnazione e conseguenti elevate concentrazioni di particelle fini. La frequenza stagionale di questi cluster riflette le condizioni stagnanti che dominano in autunno e inverno e la maggiore capacità dispersiva atmosferica che prevale in primavera ed estate. I risultati confermano l'efficacia del clustering avanzato nel caratterizzare le dinamiche atmosferiche e i regimi di aerosol urbani ricorrenti, ponendo le basi per valutare l'impatto dei futuri scenari climatici sulla frequenza e l'intensità degli episodi di inquinamento nella Pianura Padana.

Indagine sulla sinergia tra osservazioni attive e passive da terra collocate per il miglioramento dell'accuratezza nella stima del contenuto di acqua liquida nelle nubi.

(Investigating the synergy of collocated ground-based active and passive observations for improving the accuracy of cloud liquid water content retrievals)

Dott. Davide Rossi



Università degli studi dell'Aquila

Laurea Magistrale in Atmospheric Science and Technology (LMAST)

Relatore: Prof. Domenico Cimini

Co-Relatore: Dr. Mario Montopoli

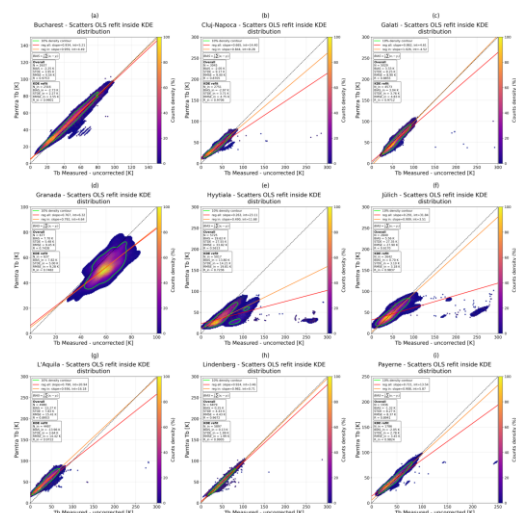
Anno Accademico 2024/2025

Abstract

La conoscenza accurata della distribuzione verticale del LWC è fondamentale per comprendere il budget radiativo terrestre e per ridurre l'incertezza nei modelli climatologici e di previsione. Il lavoro di tesi esplora in tal senso la sinergia di osservazioni collocate da terra con i due canali attivo (94 GHz) e passivo (89 GHz) del cloud radar RPG FMCW 94

all'interno dell'infrastruttura di ricerca ed osservazione atmosferica europea ACTRIS, presentando una procedura di monitoraggio della calibrazione per il canale a 89 GHz impiegando osservazioni routinarie collocate da radiosondaggi (RAOBS) e successivamente reanalisi ERA5. I profili ottenuti da RAOBS e da ERA5 sono processati con il forward model PAMTRA per ottenere simulazioni di temperatura di brillantezza in cielo sereno ($T_{b,sim}$).

Tramite una regressione lineare di tali confronti si ottengono i coefficienti di correzione (pendenza S ed intercetta I) specifici per ciascuno dei 9 osservatori e per mese. Il monitoraggio mensile della calibrazione basata su reanalisi ERA5 è stato applicato su un intervallo di 25 mesi (Luglio 2023 – Luglio 2025), mentre quello basato su RAOBS indipendenti ha impiegato lanci effettuati tra il 2021-2025; la calibrazione vicaria basata su RAOBS effettuata ad esempio per L'Aquila ha dimostrato una riduzione del RMSE da 11.94 K fino 1 K circa dopo la correzione di T_b , mentre quella basata su reanalisi ERA5 ha rivelato stati di calibrazione dipendenti dalla stazione e dal periodo (e.g: cold bias a L'Aquila tra 16 K e 23 K).



Temperatura di brillantezza misurata e simulata tramite il dataset ERA5 per nove stazioni dell'infrastruttura di ricerca europea ACTRIS.

In ambiente controllato composto da sole simulazioni PAMTRA su profili ERA5 contenenti anche LWC è stato possibile ricavare i coefficienti di stima del Liquid Water Path (LWP), cioè il LWC integrato verticalmente, usando tre metodi diversi (SEN - Cimini et al. 2007, KUC-1VAR e KUC-2VAR da Küchler et al. 2017). Quest'ultimo è quello che più si avvicina alla stima di LWP effettuata con approccio Neural Network del costruttore ed implementato nel software dello strumento ($R^2 > 0.9$ per la maggior parte delle stazioni e dei mesi). Limpatto della correzione di T_b sulla stima di LWP ragginge ad esempio per Hyttälä l'89%.

I profili verticali di LWC sono ottenuti combinando le stime di LWP con la riflettività radar Z_e attraverso la relazione di Atlas 1954 ($Z = 0.048 \cdot LWC^2$), scalata così da far combaciare il LWC integrato sulla colonna verticale con la stima di LWP. Alcuni casi studio evidenziano differenze oltre il 200% tra le stime di LWC con T_b corretta e non corretta.

I risultati dello studio hanno dimostrato come la calibrazione vicaria del canale passivo sia una procedura fondamentale per migliorare la qualità dei dati, che di fatto influenza la stima delle caratteristiche delle nubi. La natura delle correzioni fortemente legata agli osservatori ed ai mesi di osservazione evidenzia la necessità di un monitoraggio continuo della calibrazione del canale passivo all'interno di ACTRIS.

QUATTRO CHIACCHIERE CON...

Intervista a Gianmaria Sannino

*In questo numero abbiamo incontrato **Gianmaria Sannino**, Dottorato in Scienze e Ingegneria del Mare all'Università Federico II di Napoli, attualmente climatologo dell'ENEA dove ricopre il ruolo di Direttore della Divisione Modelli, Osservazioni e Scenari per il Cambiamento Climatico e la Qualità dell'Aria. Emerge la grande passione con la quale, nel suo ricco percorso professionale, ha applicato le competenze in oceanografia fisica e modellistica numerica, allo studio del clima e del Mediterraneo in particolare.*



Raccontaci chi sei, da dove vieni e come sei arrivato a fare questo mestiere.

Sono nato a Napoli e cresciuto a Torre del Greco, una cittadina ai piedi del Vesuvio, nel Golfo di Napoli, dove il mare non è un panorama da cartolina, ma una presenza fisica, quotidiana e concreta. Mio nonno era un mastro carpentiere; mio zio e mio padre, capitani di lungo corso. In casa nostra del mare si parlava in termini di rotte, di tempeste, di settimane in cui si vedevano soltanto cielo e acqua, e di luoghi molto lontani da noi. Da bambino frequentavo il porto e i cantieri. Di quel mondo conservo soprattutto immagini e odori precisi, come la pece, il legno bagnato, le barche tirate in secca per essere calafatate, i pescherecci che rientravano con le reti cariche.

Credo che questa dimensione abbia contato molto nella mia formazione, anche se l'ho capito soltanto più tardi. Il passaggio verso l'oceanografia fisica è arrivato attraverso gli studi. Mi sono laureato all'Istituto Universitario Navale di Napoli, oggi Università Parthenope, dove ho scoperto che quel mare che osservavo da anni aveva anche un'altra faccia, quella delle equazioni, della fluidodinamica e della fisica. Le stesse onde che vedevo rompersi sugli scogli

potevano essere rappresentate matematicamente, descritte e comprese.

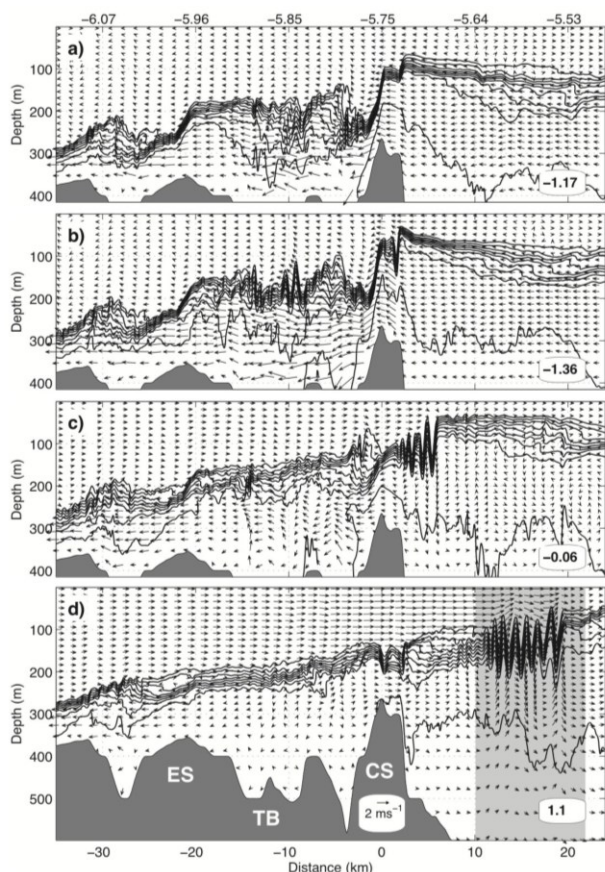
Dopo la laurea ho conseguito il dottorato in Scienze e Ingegneria del Mare all'Università Federico II di Napoli. La mia tesi riguardava la dinamica dello Stretto di Gibilterra, un tema al quale sarei tornato molte volte negli anni successivi. Gli stretti occupano uno spazio minimo sulle carte geografiche, ma possono governare gli scambi e la dinamica di interi bacini.

Durante il dottorato la modellistica è entrata gradualmente nel mio lavoro, fino a diventarne uno degli strumenti principali. Mi attraeva la possibilità di usare un modello come un laboratorio, dove cambiare una condizione, aumentare la risoluzione, isolare un processo, verificare un'ipotesi e confrontarla con le osservazioni.

Anche le prime esperienze professionali hanno contribuito a definire questo approccio. Ho lavorato come ufficiale presso l'Accademia Navale di Livorno, nell'Istituto di Scienze Nautiche, Meteorologia e Oceanografia, e successivamente nel gruppo di fluidodinamica computazionale del Consorzio Interuniversitario di Supercalcolo CASPUR di Roma, oggi confluito nel CINECA.

Poi sono entrato in ENEA, dove ho trovato lo spazio per ampliare questa traiettoria. Il mare è rimasto al centro del mio lavoro, ma le domande si sono moltiplicate, dalla circolazione mediterranea all'interazione fra atmosfera e oceano, dagli scenari climatici regionali al livello del mare, dagli impatti sulle coste all'oceanografia operativa, fino all'energia delle onde e delle correnti.





Quali sono stati i passaggi fondamentali della tua formazione scientifica?

I passaggi più importanti sono stati legati soprattutto agli incontri scientifici. Ho lavorato con persone che sono state riferimenti nel loro campo e, al tempo stesso, maestri nel modo di intendere questo mestiere.

Prima delle esperienze internazionali, per me è stata decisiva la scuola italiana. All'università e durante il dottorato ho incontrato Giancarlo Spezie, Stefano Pierini, Enrico Zambianchi, Giorgio Budillon e Maurizio Ribera d'Alcalà. Con loro ho mosso i primi passi nel mondo della fisica dell'atmosfera e dell'oceano, imparando che un processo fisico può essere compreso soltanto tenendo insieme osservazioni, teoria e capacità di interpretazione.

In ENEA un ruolo fondamentale lo ha avuto Vincenzo Artale. È stato lui a introdurmi in modo profondo alla modellistica numerica. Da lui ho imparato l'importanza della coerenza fisica dei modelli, la necessità di conoscerne i limiti e, forse soprattutto, la passione per la ricerca.

Su questa base si sono innestate le collaborazioni internazionali. Uno dei temi centrali della mia attività è stato lo Stretto di Gibilterra, il punto in cui Mediterraneo e Atlantico si incontrano. È un luogo straordinario per un oceanografo fisico. Vi si osservano dinamiche idrauliche complesse, onde interne, soglie e processi di

mescolamento che influenzano l'intero bacino mediterraneo.

Tra le collaborazioni a cui sono più legato c'è quella nata a Málaga con il professor Jesús García-Lafuente, un riferimento internazionale per lo studio osservativo dello Stretto di Gibilterra. Abbiamo unito la grande mole di osservazioni raccolte nello Stretto alla modellistica numerica ad alta risoluzione. A Jesús mi lega non soltanto una profonda stima scientifica, ma anche un rapporto umano al quale tengo molto. A Málaga ho avuto inoltre l'occasione di seguire diversi studenti, molti dei quali sono diventati nel tempo colleghi e amici. A quel periodo è associato anche un ricordo personale. La prima volta arrivai con mio figlio, che aveva appena dieci mesi. Oggi studia Fisica alla Sapienza e ogni tanto mi chiedo, sorridendo, se quel viaggio così precoce in un ambiente scientifico internazionale abbia lasciato in lui qualche traccia.

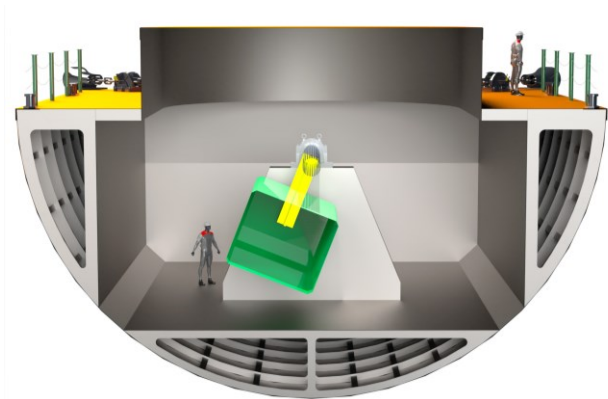
Un'altra tappa importante è stata la Turchia, dove ho collaborato con il professor Emin Özsoy, scomparso nel 2025. Aveva una conoscenza profonda del Mar Nero, del Mediterraneo orientale e degli Stretti Turchi. Anche in questo caso il ricordo scientifico è inseparabile da quello umano. Ricordo le lunghe discussioni nel suo ufficio a Erdemli davanti al tè turco, il centro di ricerca a pochi metri dal mare. Si lavorava intensamente; poi si staccava e si andava a nuotare.

E poi c'è il MIT, a Boston. Lì ho lavorato con Paola Malanotte-Rizzoli e sono entrato in contatto diretto con il MITgcm, uno dei modelli numerici di riferimento della comunità oceanografica internazionale. A Boston fui accolto non soltanto da Paola, ma da un intero gruppo di ricerca. Ricordo il Green Building, dove lavoravano oceanografi e fisici dell'atmosfera, le lunghe discussioni davanti alle lavagne, la disponibilità al confronto, la libertà intellettuale e un modo molto concreto di affrontare problemi complessi. Anche fuori dal lavoro conservo ricordi molto belli, legati al New England, alle arrampicate, alle ciaspolate e a un paesaggio così diverso dal Mediterraneo. Ma per raccontare davvero l'esperienza di Boston ci vorrebbe almeno un'altra newsletter.

In che cosa consiste oggi il tuo lavoro?

In ENEA dirigo la Divisione "Modelli, Osservazioni e Scenari per il Cambiamento Climatico e la Qualità dell'Aria". La denominazione riflette l'ampiezza delle attività che svolgiamo. Studiamo il clima attraverso modelli numerici e sistemi osservativi, elaboriamo dati e scenari, analizziamo la qualità dell'aria e valutiamo gli impatti dei cambiamenti in corso.

Il mio lavoro personale si colloca all'incrocio tra modellistica climatica e oceanografia fisica. Una parte importante consiste nel costruire, utilizzare e interpretare



Rendering 3D interno prototipo PeWEC in scala reale

modelli numerici del sistema atmosfera-oceano, soprattutto alla scala regionale mediterranea, integrandoli con osservazioni, rianalisi e scenari climatici.

Il Mediterraneo è un bacino piccolo rispetto all'oceano globale, ma dinamicamente molto complesso. Gli scambi attraverso gli stretti, i gradienti termoclinici, la circolazione profonda e l'interazione con l'atmosfera convivono in uno spazio relativamente limitato, circondato da coste densamente abitate. È un luogo nel quale la separazione tradizionale tra meteorologia, climatologia e oceanografia diventa sempre meno netta, perché i processi sono accoppiati e devono essere studiati come tali.

Per rappresentare questi processi servono modelli regionali con una risoluzione adeguata. La risoluzione non è soltanto un parametro tecnico. Nel Mediterraneo può determinare la qualità stessa della rappresentazione e la possibilità di descrivere in modo credibile uno stretto, una corrente costiera o un processo convettivo. Per questo utilizziamo CRESCO, l'infrastruttura di supercalcolo dell'ENEA, indispensabile per sostenere simulazioni sempre più complesse e ad alta risoluzione.

Negli anni ho seguito anche una seconda direttrice di ricerca, legata al mare come risorsa energetica. In ENEA lavoriamo sulla conversione dell'energia delle onde e delle correnti in energia elettrica. In collaborazione con il Politecnico di Torino abbiamo sviluppato il PeWEC, Pendulum Wave Energy Converter, un convertitore che sfrutta il moto ondoso attraverso un sistema pendolare inerziale. È prevista la costruzione di un prototipo in scala reale, destinato a essere installato al largo dell'isola di Pantelleria nel 2027.

Come si svolge una tua giornata tipo?

Non esiste una vera giornata tipo. Ci sono giorni dedicati al coordinamento scientifico, alla discussione dei progetti, alla gestione dei gruppi di lavoro e al confronto con istituzioni nazionali ed europee. Altri sono più tecnici e riguardano l'analisi dei risultati modellistici, la discussione delle simulazioni, la verifica dei dati, la preparazione di articoli o di proposte progettuali.

Può capitare di passare dal chiedersi come parametrizzare la convezione profonda in un modello, come descrivere gli scambi di densità alle soglie degli stretti o come trattare il bilancio idrologico di un bacino semi-chiuso, a un confronto sull'adattamento climatico, sui servizi climatici, sull'energia dal mare o sull'uso del supercalcolo. È una continua oscillazione tra dettaglio fisico e visione sistemica.

Una parte crescente del lavoro consiste anche nel rendere i risultati utilizzabili, costruendo dataset affidabili, catene modellistiche riproducibili e scenari leggibili. La scienza del clima è ormai una grande infrastruttura conoscitiva, nella quale ciò che produce un gruppo diventa spesso il punto di partenza per il lavoro di altri.

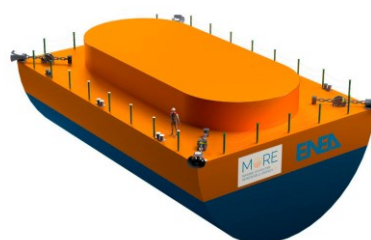
Hai trascorso periodi di ricerca in diversi Paesi. Hai notato differenze di approccio?

Sì, naturalmente. Ogni Paese ha una propria cultura scientifica e un diverso modo di organizzare il lavoro. Eviterei però la consueta contrapposizione tra un'Italia che arranca e un'estero nel quale tutto funziona perfettamente. È una rappresentazione semplicistica e, per molti aspetti, ingiusta. Sul piano della qualità scientifica, l'Italia non ha nulla da invidiare agli altri Paesi. Abbiamo scuole di grande tradizione, in particolare nell'oceanografia e nella climatologia del Mediterraneo, e ricercatori molto apprezzati anche all'estero.

La differenza emerge più spesso nelle condizioni che circondano il lavoro scientifico. In alcuni contesti internazionali ho trovato maggiore continuità nella programmazione, infrastrutture più stabili e una più chiara capacità di investire nel medio e lungo periodo. La ricerca, soprattutto quando richiede osservazioni sistematiche, modelli complessi, grandi capacità di calcolo e gruppi interdisciplinari, non può essere costruita su orizzonti temporali troppo brevi. Ha bisogno di tempo, memoria e continuità.

In Italia accade ancora troppo spesso che gruppi molto competenti siano costretti a ricostruire periodicamente le condizioni minime per lavorare, inseguendo bandi e cercando di preservare competenze che rischiano di disperdersi alla fine di un progetto. Il problema non è la mancanza di talento. È la difficoltà di creare intorno al talento un ambiente sufficientemente stabile da consentirgli di maturare e produrre risultati duraturi.

Qual è la cosa che preferisci del tuo mestiere?



La cosa che preferisco è la possibilità di lavorare su problemi scientificamente complessi che hanno conseguenze molto concrete. Studiare il clima e il mare significa occuparsi di fisica, dinamica dei fluidi e modellistica numerica, ma anche misurarsi con questioni che riguardano direttamente la vita delle persone, dalla vulnerabilità delle coste alla sicurezza delle infrastrutture, dall'adattamento delle città alla disponibilità delle risorse e alla transizione energetica. Mi interessa proprio questo passaggio, che consiste nel comprendere un processo e provare a trasformare quella conoscenza in uno strumento utile.

Come si fa a diventare climatologo e oceanografo in una struttura come ENEA?

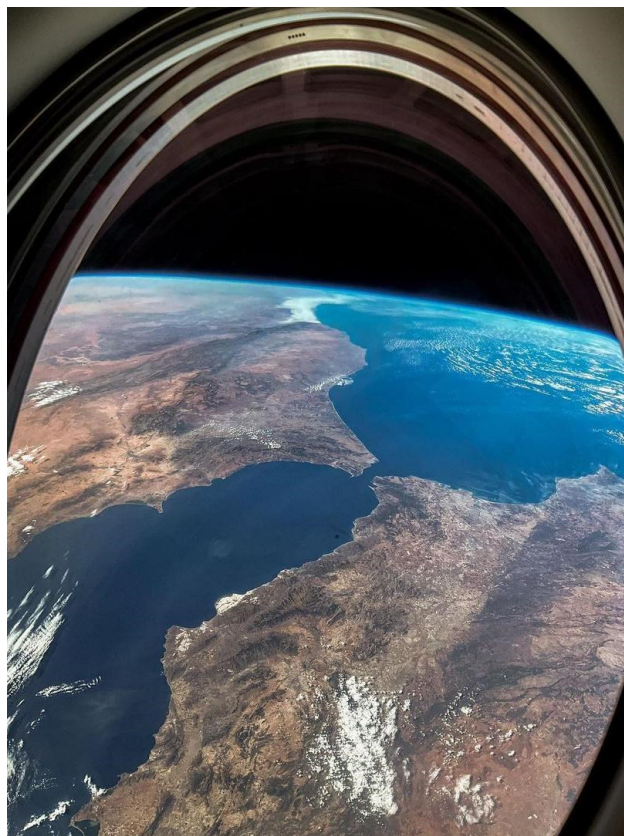
Non esiste un unico percorso. Si può arrivare a questo mestiere dalla fisica, dalle scienze della Terra, dall'oceanografia, dalla meteorologia, dalle scienze ambientali o dall'ingegneria. Un dottorato di ricerca è spesso un passaggio naturale, perché consente di affrontare un problema complesso con continuità e di acquisire un metodo di lavoro.

La base teorica è ovviamente essenziale. Servono matematica, statistica, familiarità con i metodi numerici e, sempre più spesso, capacità di lavorare con grandi quantità di dati. Per chi si occupa di modellistica, anche la programmazione scientifica è uno strumento quotidiano. Lavorare in ENEA significa inoltre collocare la ricerca all'interno di una missione pubblica. La qualità scientifica rimane il presupposto essenziale, ma deve tradursi anche in conoscenze e strumenti utili alla società. Questo richiede competenze specialistiche, apertura interdisciplinare e la capacità di collaborare con università, centri di ricerca, istituzioni e imprese.

Hai lavorato soprattutto nella ricerca pubblica, ma anche su temi vicini all'innovazione tecnologica. Che rapporto vedi tra ricerca e applicazioni?

La ricerca pubblica deve anzitutto produrre conoscenza indipendente, rigorosa e verificabile, orientata all'interesse generale. Questo principio non implica una distanza dalle applicazioni. Al contrario, soprattutto in settori come il clima e l'energia, una parte importante del lavoro consiste nel trasformare la conoscenza scientifica in strumenti e soluzioni concretamente utilizzabili.

L'energia dal mare è un buon esempio. Per sviluppare un convertitore come il PeWEC non basta progettare un dispositivo efficiente. Bisogna conoscere la risorsa ondosa, la variabilità stagionale e interannuale, gli eventi estremi, le caratteristiche del sito e l'interazione con l'ambiente costiero. Occorre inoltre capire come la tecnologia possa inserirsi nel sistema energetico. In questo caso ricerca scientifica, ingegneria e sperimentazione devono procedere insieme.

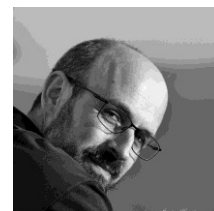


In questo ambito trovo particolarmente stimolante anche il lavoro che svolgo a livello europeo. Dal 2018 rappresento l'Italia nei tavoli dedicati all'energia dal mare e, dal 2021, presiedo l'Implementation Working Group "Ocean Energy" del SET Plan europeo. È un ruolo che mi permette di contribuire alla definizione di una strategia comune, mettendo in dialogo Stati membri, Commissione europea, industria e comunità scientifica.

Lo stesso principio vale per il clima. Gli scenari climatici, i modelli oceanografici e le analisi degli impatti non dovrebbero rimanere confinati nella letteratura scientifica. Devono diventare strumenti per pianificare l'adattamento, progettare infrastrutture più resilienti e ridurre i rischi. La ricerca conserva la propria indipendenza proprio quando mantiene il rigore del metodo; ma quel rigore deve servire anche a costruire soluzioni.

Grazie mille Gianmaria, e in bocca al lupo per la prosecuzione della tua carriera!

A cura di



Silvio Davolio
(Università di Milano)

I NOSTRI SOCI COLLETTIVI

ASSOCIAZIONI

Estremi Meteo4



Datameteo Educational
OdV- ETS



PRIVATI

CODIPRA



Ecosearch



Fondazione OMD ETS



Hortus



IoTopen



Lombard & Marozzini



RADARMETEO srl



ENTI PUBBLICI

ARPAL



ARPA-Piemonte
Dipartimento Rischi Naturali e
Ambientali



UNITN



A LORO LA PAROLA...

Busca capitale della meteorologia: scienza, tecnologia e solidarietà

La 15ª Giornata della Meteorologia chiude con un bilancio straordinario

Un weekend di divulgazione, innovazione e impegno sociale ha animato Busca (CN) dal 10 al 12 aprile 2026 con la 15ª edizione della Giornata della Meteorologia, organizzata da Datameteo Educational OdV-ETS.



Foto del 10 aprile durante l'inaugurazione del MeteoLab

Per tre giorni la città di Busca, in provincia di Cuneo, si è trasformata nella capitale italiana della meteorologia applicata, ospitando la 15ª Giornata della Meteorologia. L'iniziativa, dal titolo **"Busca vola ed innova – Il clima a km zero"**, ha unito divulgazione scientifica, tecnologia e impegno sociale, registrando una partecipazione importante di cittadini, studenti e professionisti del settore.

Scienza sul palco

Il momento clou dei tre giorni di lavori è stato sicuramente il Talk Meteo del 10 aprile al Teatro Civico, una serata a

ingresso libero, alle ore 21:00, dedicata al ricordo di Paolo Sottocorona, volto noto e amato de La7, e di Angelo Bertozzi, esperto di modellistica meteorologica: due figure che hanno segnato profondamente la divulgazione e la ricerca meteorologica italiana.

Moderati da Dorian Mandrile, sul palco si sono confrontati i maggiori esperti nazionali, in un dibattito sul ruolo del meteorologo moderno in una fase di profonda trasformazione della meteorologia, spinta dall'avanzare delle nuove tecnologie come intelligenza artificiale,



modelli ad alta risoluzione, big data e comunicazione digitale:

- **Col. Guido Guidi**, Ufficiale dell'Aeronautica Militare e volto storico del meteo in TV
- **Dott. Carlo Cacciamani**, già Direttore dell'Agenzia Italia Meteo
- **Col. Sergio Pisani**, Presidente di AISAM (Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia)
- **Pierluigi Randi**, Presidente dell'Associazione Meteo Professionisti (AMPRO)
- **Prof. Claudio Cassardo**, meteo-climatologo di fama internazionale e Vice Presidente della Società Meteorologica Italiana

Il confronto, articolato come un dialogo a più voci, ha intrecciato memoria e prospettiva. Ad aprire la serata è stato il Col. Guido Guidi, che ha condiviso un ricordo personale di Paolo Sottocorona e ha lanciato la domanda destinata a fare da filo conduttore all'intero talk: chi è,



Il panel del Talk Meteo "Un meteorologo del nostro tempo" al Teatro Civico di Busca, davanti a una sala gremita.

oggi, il meteorologo del nostro tempo? Il ricordo dei due scomparsi ha attraversato gli interventi di tutti gli ospiti, tra cui il bel racconto dell'amicizia tra il Cap. Paolo Sottocorona e il Col. Sergio Pisani, nata ai tempi del servizio in Aeronautica Militare. In rappresentanza dell'AMPRO, Pierluigi Randi ha tracciato un ritratto delle grandi figure che hanno segnato la meteorologia italiana — Sottocorona, volto della divulgazione per milioni di italiani, e Angelo Bertozzi, punto di riferimento della modellistica — riflettendo su quanto abbiano contribuito a definire e valorizzare la professionalità del settore e sull'eredità che lasciano a chi oggi si avvicina alla disciplina. Dall'altro lato, lo sguardo in avanti: il ruolo dell' AISAM nel promuovere una divulgazione corretta anche sui media e la trasformazione impressa da intelligenza artificiale, modelli ad alta risoluzione e big data, terreno su cui Carlo Cacciamani ha guidato Italia Meteo. A chiudere, il tema della formazione, con l'interrogativo posto al Prof. Cassardo su quali competenze e quale percorso accademico servano davvero per esercitare oggi questa professione.



Un momento del dibattito: il Col. Guido Guidi al microfono accanto al moderatore Dorian Mandrile e al Col. Pisani.

La manifestazione ha avuto anche una valenza formativa riconosciuta a livello professionale: Datameteo Educational ha proposto un corso di formazione dedicato agli ingegneri, accreditato con 3 crediti formativi professionali (CFP) e realizzato con il patrocinio e la collaborazione dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo. Il convegno, dedicato alla meteorologia applicata, si è svolto al Parco-Museo dell'Ingenio durante la giornata di sabato 11 aprile.

Inclusione e giovani protagonisti

La serata ha regalato momenti di forte emozione con la consegna del premio per il volo inclusivo "Correre con il



La strumentazione del MeteoLab: La stazione Quido, il fulminometro e il nuovo rilevatore per la grandine donato da Nesa.

Vento” a Matteo Busso, accompagnato dalla sorella Stefania. Il riconoscimento è stato consegnato da Adele Gesso, prima pilota di mongolfiera al mondo diversamente abile, e dal campione John Aimò. Spazio anche all’innovazione accademica con l’intervento di Alessandro Maranta, fresco di titolo conseguito al Master



di II livello in Meteorologia e Oceanografia Fisica, che ha sviluppato la propria tesi con Datameteo Educational analizzando l'inversione termica sulla Pedemontana Buschese a partire dai dati di due stazioni IoT della rete "Clima Km Zero" di Datameteo. Un plauso è andato anche agli studenti dell'Istituto Cigna di Mondovì e del Liceo Musicale Ego Bianchi di Cuneo per i loro progetti su meteorologia, ambiente e tecnologia.

Il nuovo “MeteoLab” e la ricerca applicata

Tra le novità di questa edizione, l'inaugurazione del MeteoLab presso il Parco-Museo dell'Ingenio: un laboratorio permanente equipaggiato con una stazione meteorologica, un fulminometro e un grandinometro,



Studenti in visita alla mostra “Clima, Spazio, Volo”, allestita nel tendone del Parco-Museo dell'Ingenio.

ovvero il rilevatore di grandine donato da Nesa srl.

La stazione installata all'Ingenio dispone di un sistema avanzato alimentato a energia solare, utile per il monitoraggio atmosferico, lo studio del microclima locale e l'indagine sull'inquinamento da polveri sottili. La stazione meteorologica non necessita di alimentazione elettrica in quanto funziona con un pannello solare e adotta un protocollo di trasmissione dati con tecnologia radio LoRaWAN (supporta anche Sigfox), che non richiede connessione a internet per l'invio delle misure.

I dati sono open e restituiscono informazioni su direzione e intensità del vento, temperatura dell'aria, umidità relativa, bagnatura fogliare e precipitazioni. Il monitoraggio meteo-climatico risulta utile per programmare i voli in mongolfiera, supportare il settore agricolo e valorizzare le attrattive turistiche e outdoor della zona.

Il nuovo spazio fungerà da hub per la formazione scientifica e il monitoraggio ambientale, in collaborazione con ordini professionali e università.



Il gonfiaggio di una mongolfiera durante i "Balloon Days".

Un viaggio tra clima, spazio e volo

Cuore espositivo della manifestazione è stata la mostra "Clima, Spazio, Volo anche in 3D", un viaggio tra astronauti, piloti e meteorologi: grazie alla collaborazione

con il Cral Altec e il Centro Modellistico Torinese era presente anche un vero addestratore di astronauti, affiancato da una sezione dedicata alla fantascienza. Non sono mancati l'Open Day esperienziale e i laboratori, con mongolfiera e parapendio. Molto apprezzato dai ragazzi delle scuole il laboratorio meteorologico organizzato dall'Associazione Datameteo Educational, con la presentazione di alcuni strumenti come il termigrometro, l'anemometro, il pluviometro e il sensore Per@. Tra le attività anche l'introduzione al mondo delle mongolfiere, con la possibilità per i ragazzi di entrare in una vera navicella o cesta: un'esperienza che ha suscitato grande interesse e curiosità.

Meteorologia per la solidarietà

Le giornate dell'11 e 12 aprile hanno animato il territorio con un ricco programma capace di coinvolgere famiglie, appassionati e curiosi: i suggestivi "Balloon Days", con il gonfiaggio e il volo delle mongolfiere al cospetto del Monviso; la passeggiata culturale "Tra Sacro e Profano – Arte e Natura" dal Castelletto di Busca, con l'accompagnatore storico-naturalistico Marco Sarale e una degustazione di prodotti tipici in un'azienda agricola sostenibile; l'escursione "Terres Bike del Monviso" all'insegna della mobilità dolce, insieme a guida cicloturistica e meteobiker; e il mozzafiato Vertical Dance Show for Moite Kenya.



A bordo della cesta prima dell'involò, tra autorità e ospiti della manifestazione.



Le mongolfiere in volo nel cielo di Busca.

Proprio il Vertical Dance Show, l'11 aprile alle 19:30, ha visto tre artisti certificati di Evoluzionaria esibirsi in una performance di danza verticale di circa 45 minuti, con le funi vincolate a una facciata dell'ex Convento dei Cappuccini: coreografie sospese che hanno trasformato la verticalità dell'edificio in un linguaggio visivo potente e suggestivo.

Tutte le attività hanno sostenuto il vero traguardo della manifestazione: la raccolta fondi a favore del progetto di microagricoltura per il villaggio di Moite, in Kenya, a conferma della missione di Datameteo Educational: usare la scienza come strumento di sviluppo solidale e di contrasto agli effetti del cambiamento climatico.

Un messaggio condiviso dalla comunità

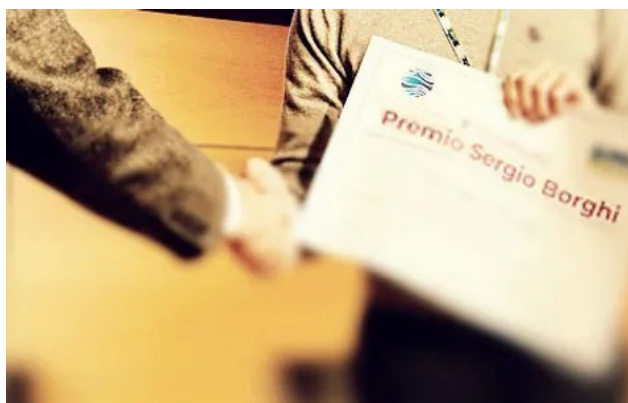
«Come amministrazione abbiamo sempre sostenuto questa iniziativa, capace di coinvolgere le nuove generazioni e avvicinarle a temi importanti come l'ambiente – ha dichiarato la vicesindaca e assessora ai Servizi Sociali Beatrice Aimar –. Queste giornate mettono al centro anche valori fondamentali come la solidarietà e l'inclusione».

Soddisfazione anche da Paolo Caraccio, presidente di Datameteo Educational: «La meteorologia di oggi non è solo previsione, ma educazione e consapevolezza. Vedere oltre 200 studenti partecipare ai laboratori e ricevere l'applauso di oltre 900 persone è la prova che la scienza può ispirare e unire».

Il successo dell'evento, sostenuto da Regione Piemonte, Comune di Busca, Associazione Ingenium e numerosi partner tecnici, segna un punto di riferimento per la divulgazione meteorologica in Italia.

L'Organizzazione Datameteo Educational OdV-ETS dà appuntamento alla prossima edizione, per continuare a guardare il cielo con occhi nuovi.

Premio "Sergio Borghi"- 8a Edizione 2025/26



Il Premio alla memoria di Sergio Borghi, indetto da Fondazione OMD, socio collettivo AISAM, è arrivato alla sua ottava edizione.

Quest'anno Fondazione OMD ha messo in palio la somma di € 2.000 da destinare ai primi tre classificati; sono ammessi gli studenti universitari laureati in qualsiasi area disciplinare (tecnico-scientifica, giuridica, economica, storica, filosofica, letteraria, sociologica, etc., ...) nel periodo compreso tra novembre 2024 e ottobre 2026, purché abbiano sviluppato il proprio elaborato finale su un argomento attinente alla meteorologia, alle scienze del clima e alle loro applicazioni. A titolo esemplificativo, rientrano in questo ambito temi quali l'adattamento ai cambiamenti climatici, la comunicazione e divulgazione meteo-climatica, la climate fiction, la storia della

meteorologia, gli impatti sociali ed economici del clima, la meteorologia applicata a settori come agricoltura, energia, mobilità, salute o protezione civile.

Obiettivo del premio è sottolineare l'importanza della comunicazione in ambito scientifico e valorizzare la capacità di comunicare efficacemente il proprio operato: per tale motivo, oltre al titolo della tesi e al relativo abstract, i partecipanti dovranno produrre un poster che illustri i contenuti della propria tesi, mettendo in luce gli aspetti attinenti alla meteorologia, alle scienze del clima e alle relative applicazioni, connessi al proprio lavoro e un video in cui l'autore presenti il proprio lavoro di tesi con l'obiettivo di massimizzare l'efficacia comunicativa di quanto esposto sul poster.

Il termine ultimo di iscrizione è il 1 novembre 2026 alle ore 23:00.

La proclamazione dei vincitori avverrà nel corso della cerimonia di premiazione, che si terrà a Rovereto nel contesto della seconda AISAM Students' Conference del 21 e 22 novembre 2026, durante la dodicesima edizione del Festivalmeteorologia 2026.

A questo link, il regolamento e le modalità di partecipazione: <https://www.fondazioneomd.it/lancio-8a-edizione>



Caro Socio, se sei interessato a partecipare al comitato di redazione della Newsletter, o se vuoi segnalare notizie o avvenimenti di interesse da pubblicare, scrivici a newsletter@aisam.eu.

L'uscita della prossima Newsletter è prevista per settembre 2026.

