



Think before you print

Numero 24 – Dicembre 2025



# Newsletter

---

## SOMMARIO

EDITORIALE .....	2
FLASH NEWS .....	4
IN LIBRERIA. ....	8
BACHECA.....	10
IN PRIMO PIANO .....	11
ARTICOLO.....	25
NON SOLO ATMOSFERA.....	27
APPROFONDIMENTO .....	30
BULLETIN OF ATMOSPHERIC SCIENCE AND TECHNOLOGY.....	34
SEZIONE PROFESSIONISTI.....	35
SEZIONE GIOVANI .....	37
EARLY CAREER SCIENTIST .....	43
LA PROCLAMO DOTTORE.....	48
IN RICORDO DI.....	63
QUATTRO CHIACCHIERE CON.....	65
I NOSTRI SOCI COLLETTIVI .....	68

## COMITATO EDITORIALE

**Brunetti Michele**  
Capozzi Vincenzo  
Davolio Silvio  
De Martin Francesco  
De Vecchis Eva  
Salvati Marta Rosa

Contatto: [newsletter@aisam.eu](mailto:newsletter@aisam.eu)

---

## EVENTI AISAM

- 9 ottobre 2025 – 29 maggio 2026 – **Corso di Previsione Meteorologica** Operativa – on-line con evento conclusivo 28-29 maggio 2026 a Bologna, presso ItaliaMeteo.
- 10-12 febbraio 2026 – **6° Congresso nazionale AISAM** – Brescia
- 23 marzo 2026 – **Giornata Mondiale della Meteorologia** – Roma

---

## NUOVI SOCI

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

*Alessia Amoruso, Matteo Avena, Federico Baggiani, Emanuele Bellezza, Giacomo Bruno, Riccardo Campagnaro, Saverio Campanella, Gianluca Cimadamore, Maurizio Confaloni, Maria Di Giovanni, Armand Effendi, Anna Gallotti, Margherita Garutti, Francesco Gennaridi, Leonardo Gori, Alessandro Lucia, Gaia Minorini, Federico Pavan, Federica Percario, Ludovica Perilli, Giacomo Rossini, Lorenzo Sacco, Piero Serafini, Leo Ilario Temperini, Benedetta Tomassoni, Maddalena Vian*

Ad oggi l'Associazione conta **259** soci individuali, **23** 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,

Quelle appena trascorse sono state settimane decisamente "PIENE" per la nostra Associazione.

Piene d'impegni, piene di riunioni, piene di lavori organizzativi, piene di telefonate, piene di E-mail, piene di...SODDISFAZIONI.

In tutta questa notevole attività si evidenzia la costante presenza dei numerosi **PROGETTI DI RICERCA** (nazionali ed internazionali) conclusi, in corso od in programma.

Per questo importante settore ringraziamo tutta la laboriosa squadra, guidata da Alessandro Ceppi, che sta consolidando la propria esperienza, affrontando nuove e stimolanti sfide.

Il 9 ottobre scorso ha preso il via il **Terzo Corso di Previsione Meteorologica Operativa**, che le nostre Sezioni Giovani e Professionisti hanno organizzato, potendo contare sul prezioso supporto dell'Agencia Nazionale per la Meteorologia e Climatologia "ItaliaMeteo".

Si tratta di un'iniziativa rivolta principalmente agli studenti e studentesse dei corsi di laurea magistrale in ambito meteorologico, allo scopo di integrare la formazione teorica attraverso l'apprendimento di metodi e tecniche della previsione meteorologica operativa e la conoscenza dell'attività previsionale svolta nelle sale meteo operative.

Si articolerà in 16 *Weather briefing* operativi settimanali on-line, tenuti da meteorologi esperti, distribuiti in 2 semi-periodi (da ottobre a dicembre e da fine marzo a maggio).

Il corso terminerà, in presenza, il 28-29 maggio 2026, a Bologna, presso l'Agencia ItaliaMeteo, con 2 distinti seminari, la visita al centro di supercalcolo del Centro Europeo per le Previsioni a medio termine (ECMWF) e la consegna degli attestati di partecipazione.

L'11 novembre, invece, ha preso il via una nuova iniziativa, messa in campo dalla Sezione Professionisti, denominata **AISAM SPRITZ** (Scambio Pratico di Riflessioni, Idee e Training in Zoom). Pensata per arricchire le

conoscenze dei meteorologi e delle meteorologhe vicini/e ad AISAM, e per favorire lo scambio professionale sia all'interno dell'Associazione sia, più in generale, della nostra comunità professionale. AISAM SPRITZ fornisce

un'occasione per aggiornarsi, confrontarsi ed allacciare nuove reti professionali.

Organizzata su un ciclo di seminari online, stavolta a cadenza mensile, gestiti in modalità collaborativa, AISAM SPRITZ si rivolge ai professionisti ed alle professioniste della meteorologia.

Gli incontri saranno dedicati all'aggiornamento sulle novità tecnico-scientifiche rilevanti per la meteorologia operativa, alla condivisione di strumenti e prassi di particolare efficacia, all'analisi di eventi meteorologici particolarmente interessanti.

Dal 20 al 23 novembre, infine, Rovereto è tornata ancora una volta sotto i riflettori nazionali, per lo svolgimento dell'XI edizione del **Festival Meteorologia**, che la nostra Associazione organizza unitamente al Comune di Rovereto, all'Università di Trento ed alla Fondazione Museo Civico di Rovereto.

Particolarmente intrigante il tema di quest'anno, "**GENERAZIONE METEO – Giovani alla guida del cambiamento**", che ha portato in Trentino l'aria nuova legata alle possibilità ed ai ruoli concepiti per i "nostri Giovani".

Pur essendo ancora presto per stilare un bilancio definitivo del Festival, possiamo di certo affermare che si è trattato di un evento ricco di contenuti e di proposte interessanti, fatto di relazioni, dibattiti, tavole rotonde, formazione per le scolaresche, concerti, spettacoli e presentazioni di gustose novità editoriali.

Particolarmente toccante è stato il ricordo che abbiamo riservato a Claudia Adamo e Paolo Sottocorona, 2 nostri Amici e Colleghi recentemente scomparsi.

A nome di Aisam desidero rivolgere un plauso ed un ringraziamento non solo a Dino Zardi, la vera "anima" del Festival, ma anche alla Segreteria Organizzativa (gestita ancora una volta dall'Agencia ORIKATA) ed alle nostre 2 preziose collaboratrici, Irena Jatro e Silvia Plotegher.

Un pensiero riconoscente anche a quanti hanno contribuito a sostenere e supportare l'ambizioso progetto, in tutte le sue fasi.

Quest'anno il Festival ha avuto un'interessantissima ed inedita sua coda: da sabato 22 pomeriggio a domenica 23 mattina, infatti, si è svolta la prima Conferenza Italiana degli Studenti in scienze dell'atmosfera e meteorologia, denominata "**AISAM Students' conference**", dal titolo "**È TEMPO PER I GIOVANI**".

Proposta, organizzata ed animata dalla nostra Sezione Giovani, con l'immane e prezioso contributo dell'Agencia Italia-Meteo, ha rappresentato un'apprezzata occasione d'incontro, che ha saputo creare





un clima di grande collaborazione e condivisione e che, per la prima volta in Italia, ha riunito gli studenti di scienze dell'atmosfera e meteorologia.

Nel rispetto dello slogan prescelto per rappresentarla, la Conferenza ha offerto agli studenti l'opportunità di presentare i propri lavori di tesi triennali, magistrali o progetti personali, di ascoltare alcuni interventi ad invito e di conoscere colleghi di altre Università.

Notevole il livello e l'interesse suscitato dai lavori presentati (23 presentazioni orali e 16 presentazioni poster), culminato con la premiazione degli elaborati più apprezzati e con la classica foto di gruppo.

Ricordiamo che l'intera registrazione video del Festival e della Students' Conference è disponibile on-line, sul canale YouTube del FestivalMeteorologia.

L'ultimo argomento è meno piacevole: **adeguamento delle quote sociali per il 2026.**

Come già anticipato con la lettera del 3 novembre scorso, dopo alcuni anni di importi invariati, il Consiglio Direttivo ha ritenuto di dover "metter mano" alle quote, in vista del nuovo anno.

Non si tratta di un aumento "sic et simpliciter"; si tratta, piuttosto, di una rimodulazione delle singole quote, tesa a

favorire i più giovani. Ad un aumento della quota per i Soci individuali (che passa da 40 a 50€) e di quella di quanti risultano iscritti ad altre Associazioni con noi convenzionate (da 30 a 40€), abbiamo mantenuto invariate la quota dei giovani Soci (30€), abbassando, invece, quella per gli STUDENTI ancora non laureati e che siano al di sotto del 30° anno d'età (scesa a 15€).

Con questo provvedimento riteniamo: da un lato, di poter contribuire ad un aumento complessivo degli introiti derivanti dalla campagna di tesseramento 2026; dall'altro, di riuscire ad inviare un segnale positivo ai numerosi studenti che decidono di entrare a far parte della nostra Associazione ed ai giovani entro il 30° anno di età.

Al link <https://aisam.eu/come-associarsi/> troverete tutte le indicazioni necessarie.

RingraziandoVi per la vicinanza e la disponibilità che sempre dimostrate nei confronti dell'Associazione, colgo l'occasione per augurare a Voi ed alle vostre Famiglie i miei sinceri auguri per le prossime Festività Natalizie.



*Il Presidente Sergio Pisani*

### Tutto pronto per il CN6



Meno di due mesi dal sesto Congresso Nazionale AISAM CN6, che si terrà a Brescia, ospitato dall'Università Cattolica del Sacro Cuore. E' appena uscita la prima versione del programma delle sessioni, ricco di interessanti contributi, interventi su invito, e due ampie sessioni poster. Si ricorda di registrarsi entro il 16 gennaio 2026 per usufruire delle quote suddivise per tipologia di partecipante e con scontistica riservata ai soci. Dopo tale data, è prevista un'unica quota di partecipazione. Informazioni:

<https://congresso2026.aisam.eu>

### Rinnovo quote associative AISAM per l'anno 2026



Dopo alcuni anni, nel corso dei quali le quote sociali sono rimaste invariate, il Consiglio Direttivo ha ritenuto di dover "metter mano" alle stesse, in vista del nuovo anno.

In particolare, è stato deciso di:

- aumentare a **50€** la quota relativa ai **Soci Individuali**;
- portare a **40€** quella dei **Soci Individuali** che risultano iscritti anche alle **Associazioni che siano Soci Collettivi di AISAM** (in regola con il pagamento delle rispettive quote sociali) e quella dei Soci Individuali che siano anche Soci di Associazioni che abbiano stipulato apposita **convenzione con AISAM**;
- fissare a **15€** la quota del **Socio Individuale "Studente"** (ovviamente fino al conseguimento della laurea magistrale ed entro il 30° anno di età);
- fissare a **30€** la quota del **Socio Individuale "giovane"**, inteso come entro il 30° anno di età.
- mantenere **invariata** la quota relativa alle **Associazioni** iscritte come **Soci Collettivi**, in misura di 1€ ogni loro Socio iscritto, fino ad un massimo di 120€;
- mantenere **invariata** la quota di 250€ per gli altri **Soci collettivi**.

Con questo adeguamento si ritiene, da un lato, di poter contribuire ad un aumento complessivo degli introiti derivanti dalla campagna di tesseramento 2026; dall'altro, però, di riuscire a fornire un segnale positivo ai numerosi studenti che decidono di entrare a far parte dell'Associazione ed ai giovani entro il 30° anno di età.

Pur rendendoci conto che il costo della vita stia aumentando per tutti, siamo fiduciosi che gli adeguamenti in questione

possano essere interpretati come un fattivo contributo che ciascuno di noi può fornire a favore dell'Associazione.

Per poter continuare a svolgere le numerose attività nelle quali siamo incessantemente coinvolti, infatti, AISAM necessita di un'adeguata struttura organizzativa (amministrativa, di segreteria, di comunicazione e di funzionamento), capace di poter supportare quanti operano, in maniera del tutto volontaria, in ogni ambito dell'Associazione.

Per rimanere Soci, basta semplicemente procedere al pagamento della quota con una delle modalità indicate nella nostra pagina web **entro il 31 marzo 2025**:

<https://aisam.eu/come-associarsi/>

### 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'innesco 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 Tazarek - Adam Mickiewicz University Poznan, Polonia** (Indici convettivi; Ambienti associati a forti temporali nel mondo; Strutture temporalesche)

Ulteriori dettagli presenti su:

<https://cism.it/en/activities/courses/C2611/>

Possibili agevolazioni verranno valutate scrivendo a:

[info@cism.it](mailto:info@cism.it)

---

### Outreach & Communication Award 2025



Il 10 settembre a Lubiana, Segnali dal Clima in FVG ha ricevuto l'[Outreach & Communication Award 2025](#), assegnato dalla Società Europea di Meteorologia (European Meteorological Society – EMS). Segnali dal clima in FVG si presenta come un “magazine”, ricco di immagini e con una veste grafica che invoglia alla lettura.

Raccoglie più di 40 articoli di decine di autori che operano con o presso gli enti che compongono il Gruppo Clima FVG: Regione, Arpa FVG, Università di Trieste, Università di Udine, ICTP, OGS e CNR con i due istituti di Scienze Marine e Scienze Polari.

Con uno stile divulgativo, gli esperti dei diversi enti raccontano e spiegano al pubblico il frutto delle loro attività di analisi e di ricerca: le conoscenze sui cambiamenti climatici progrediscono infatti continuamente anche in Friuli Venezia Giulia e rappresentano un patrimonio che è importante mettere a disposizione di tutta la popolazione.

Segnali dal clima in FVG è disponibile per la lettura e il download (libero e gratuito) sulla pagina dedicata:

<https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/sezioni-principali/cambiamenti-climatici/segnali-dal-clima-in-fvg/>

---

### IX EU Copernicus Ocean State Report



La IX edizione del Copernicus Ocean State Report dell'UE è ora disponibile online, pubblicato insieme a una sintesi interattiva che descrive in dettaglio gli aspetti chiave del rapporto per i responsabili politici, i membri della Blue Economy e il pubblico generalista. Il rapporto di quest'anno sottolinea la natura profondamente interconnessa degli impatti dei cambiamenti oceanici con i cambiamenti negli ecosistemi marini, nella società

umana, nella cultura e nell'economia, evidenziando i record del 2023 e del 2024 e gli eventi estremi.

Per consultare il Report e il Summary si rimanda al seguente link: <https://marine.copernicus.eu/osr9-summary>

---

### Master in “Comunicazione della scienza e della ricerca scientifica” (ComRis)

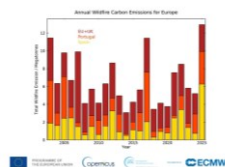


L'Università degli Studi Roma Tre organizza per il secondo anno il master in comunicazione della scienza e ricerca scientifica (ComRis). Tutti i laureati magistrali, i professionisti, i docenti delle scuole secondarie di secondo grado, i dipendenti pubblici, i ricercatori e tutti quelli che sono interessati alla comunicazione scientifica, possono fare domanda entro il 31 gennaio 2026.

Per tutte le informazioni, il sito da consultare è <https://mastercomris.uniroma3.it>

---

### Le emissioni di incendi boschivi più elevate in Europa negli ultimi 23 anni dopo un'estate estrema nella penisola iberica



I mesi estivi (giugno-luglio-agosto) del 2025 sono stati caratterizzati da un'intensa attività di incendi boschivi in Europa. In particolare, la Penisola Iberica ha registrato incendi estremi durante il mese di agosto. Secondo l'analisi del Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), le emissioni di carbonio totali annuali stimate per l'Unione Europea e il Regno Unito sono, dalla fine di agosto e con la stagione degli incendi ancora attiva, le più alte di qualsiasi anno nel set di dati CAMS, che copre gli ultimi 23 anni. Oltre agli incendi boschivi, incluso il trasporto di fumo a lungo raggio dal Canada, l'inquinamento da ozono e le intrusioni di polvere sahariana hanno contribuito a un'estate molto intensa per quanto riguarda il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico.

Per ulteriori dettagli si rimanda al seguente link:

[https://atmosphere.copernicus.eu/highest-wildfire-emissions-least-23-years-europe-after-hectic-summer?utm\\_source=press&utm\\_medium=referral&utm\\_campaign=highest-wildfire-emissions-least-23-years-europe-after-hectic-summer](https://atmosphere.copernicus.eu/highest-wildfire-emissions-least-23-years-europe-after-hectic-summer?utm_source=press&utm_medium=referral&utm_campaign=highest-wildfire-emissions-least-23-years-europe-after-hectic-summer)

## Melissa, un uragano da record di categoria 5



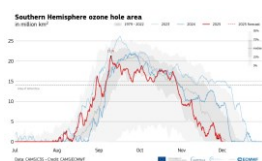
Classificato il 21 ottobre come tempesta tropicale dal National Hurricane Center (NHC), dal 25 ottobre la tempesta denominata Melissa si è intensificata rapidamente sulle acque

calde dell'oceano caraibico, fino a diventare il 27 ottobre uragano di categoria 5 (massimo livello nella scala Saffir-Simpson), raggiungendo la massima intensità il giorno seguente. Nel suo lento spostamento, Melissa ha fatto landfall in Giamaica prima e successivamente su Cuba, Bahamas e Bermuda. L'impatto è stato devastante, con decine di vittime e ingenti danni. Melissa è considerato il più intenso l'uragano al landfall per quanto riguarda l'area Atlantica, avendo raggiunto un minimo di pressione di 892 hPa e un'intensità media (in un minuto) del vento di poco inferiore a 300 km/h. Fortunatamente, le previsioni disponibili già sette giorni prima, avevano permesso di preparare la popolazione limitando almeno parzialmente i danni. Dalle analisi climatiche, il riscaldamento globale ha contribuito all'eccezionale intensità di precipitazioni e vento.

Si rimanda al seguente link per ulteriori approfondimenti:

<https://www.climameter.org/20251027-hurricane-melissa>

## Il buco nell'ozono più piccolo e di più breve durata degli ultimi 5 anni segnala la speranza di una ripresa



Nel 2025 il buco dell'ozono si è sviluppato relativamente presto, circa a metà agosto, seguendo una traiettoria simile a quella del grande buco

dell'ozono del 2023. All'inizio di settembre ha raggiunto la sua massima estensione stagionale, 21.08 milioni di km<sup>2</sup>, ben al di sotto del massimo storico di 26.1 milioni di km<sup>2</sup> osservato nel 2023.

Tra settembre e ottobre la sua estensione è rimasta considerevole, compresa tra 15 milioni di km<sup>2</sup>, all'incirca l'area dell'Antartide, e 20 milioni di km<sup>2</sup>. L'estensione del buco dell'ozono è poi diminuita rapidamente durante la prima metà di novembre, indicando la possibilità di una chiusura ozono anticipata. Tuttavia, una piccola area persistente di bassi livelli di ozono è rimasta nella seconda metà del mese, fino alla sua completa chiusura il 1° dicembre.

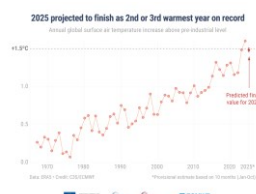
Rispetto agli anni recenti, il buco dell'ozono del 2025 ha mostrato un minimo della colonna di ozono superiore alla media e un deficit di massa di ozono inferiore, indicando

concentrazioni di ozono più elevate nella stratosfera antartica.

Leggi l'articolo completo al seguente link:

<https://atmosphere.copernicus.eu/smallest-and-shortest-lived-ozone-hole-5-years-closes>

## Copernicus: 2025 on track to be among three warmest years, with third-warmest October on record



Ottobre 2025 è stato il terzo ottobre più caldo a livello globale, con una temperatura media dell'aria superficiale di 15.14 °C, 0.70 °C in più rispetto alla media di ottobre

del periodo 1991-2020, secondo il set di dati ERA5.

Ottobre 2025 è stato di 0.16 °C più freddo rispetto all'ottobre più caldo mai registrato, quello del 2023, e di 0.11 °C in più rispetto a ottobre 2024.

Ottobre 2025 è stato di 1.55 °C superiore alla media stimata del periodo 1850-1900 utilizzata per definire il livello preindustriale, il primo mese al di sopra di 1.50 °C da aprile 2025.

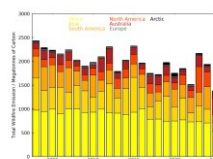
La temperatura media su 12 mesi, da novembre 2024 a ottobre 2025, è stata di 0.62 °C superiore alla media del periodo 1991-2020 e di 1.50 °C superiore al livello preindustriale.

È praticamente certo che il 2025 sarà il secondo o il terzo anno più caldo mai registrato, probabilmente a pari merito con il 2023, attualmente il secondo anno più caldo, e dietro al 2024, l'anno più caldo mai registrato.

Maggiori dettagli al seguente link:

<https://climate.copernicus.eu/third-warmest-october-record-2025-finish-among-three-warmest-years>

## Gli incendi boschivi aumentano nell'emisfero settentrionale: emissioni record in tutta Europa nel 2025



I significativi incendi boschivi verificatisi in Europa durante il periodo estivo hanno contribuito alle più alte emissioni totali annue degli ultimi due decenni per l'Unione Europea e il Regno

Unito, con poco meno di 13 megatonnellate di carbonio. Sebbene le emissioni di carbonio derivanti dagli incendi in

Europa non contribuiscano in modo significativo alle emissioni globali di CO<sub>2</sub>, i numeri possono essere utilizzati come indicatori delle emissioni di molti inquinanti che influiscono sulla qualità dell'aria nella regione, ad esempio PM2.5 e ossidi di azoto (NOx).

Nella Penisola Iberica, ondate di calore persistenti, condizioni di estrema siccità e forti venti hanno causato grandi incendi boschivi in Spagna e Portogallo. La Spagna ha registrato le più alte emissioni annuali di incendi degli ultimi 23 anni, passando da livelli inferiori alla media a livelli record in una sola settimana a metà agosto. Il fumo degli incendi ha raggiunto il Regno Unito e l'Europa nord-occidentale. Le concentrazioni superficiali di particolato fine (PM2.5), che ha effetti dannosi sulla salute umana, hanno superato di gran lunga le soglie indicate dalle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità per la media delle 24 ore.

Anche il Regno Unito ha registrato le più alte emissioni totali annuali di incendi boschivi nei 23 anni di raccolta dati CAMS, a causa di significativi incendi boschivi nella Scozia settentrionale tra fine giugno e inizio luglio.

L'attività estiva degli incendi boschivi è stata eccezionalmente intensa anche nel Mediterraneo orientale, con Grecia e Turchia che hanno entrambe registrato importanti focolai da fine giugno a luglio. Cipro ha subito i peggiori incendi boschivi di luglio in oltre cinquant'anni e ha registrato le più alte emissioni annuali mai registrate dopo soli due giorni di incendi.

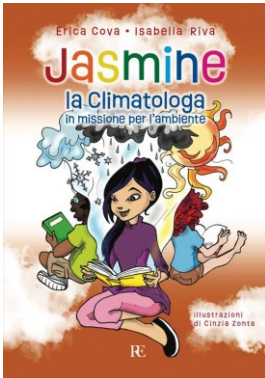
Si legga l'articolo completo al seguente link:

<https://atmosphere.copernicus.eu/2025-sees-intense-wildfire-year-northern-hemisphere>

---

## IN LIBRERIA.

### Jasmine la climatologa in missione per l'ambiente



**Autori Erica Cova, Isabella Riva, Edizioni Ronca**

Jasmine la climatologa - in missione per l'ambiente, scritto da Erica Cova e Isabella Riva, è il secondo volume della collana Le testoline, per Ronca Editore. Le testoline sono quattro amici, ciascuno dei quali ha una passione per una materia scientifica. Sono stati chiamati così dal nonno di uno di loro, che ha detto che "sono proprio delle belle testoline!". La prima a uscire col suo libro per ragazzi è stata Martina, con il suo Martina la meteorologa, sempre per i tipi di Ronca Editore. Sono in preparazione anche gli altri due, che racconteranno di Andrea piccolo astronomo e di Karim appassionato di natura.

Jasmine, dei quattro, è la più attenta all'ambiente; si è accorta che oggi l'ecologia ha uno stretto legame con la climatologia, perché non si può fare a meno dello studio e la consapevolezza del veloce cambiamento del clima per cercare soluzioni ai problemi ambientali. Così, in un frequente scambio con la sua amica Martina, Jasmine ci porta alla scoperta del clima della Terra, del perché delle fasce climatiche, delle stagioni, del ruolo dell'atmosfera e infine dei motivi dell'attuale cambiamento. Per poi passare ai "responsabili" e alle possibili soluzioni, alle conseguenze su aria, acqua, foreste e animali, al gigantesco problema della produzione di plastica, all'energia e così via fino alla ricerca di un'alternativa alla predominante economia dello spreco.

Il volume, così come il precedente, si sviluppa su 12 capitoli che corrispondono ai mesi dell'anno, suggerendo una consultazione lenta. Pieno di giochi, attività, laboratori, tutti semplici da riprodurre con materiale di risulta e di facile reperimento, è un libro da giocare più che da leggere. Gli approfondimenti sono box, e non spezzano il ritmo, lasciando libero il piccolo lettore di affrontarli o meno. In finale, un bellissimo gioco dell'oca della Comunità Europea, guida i ragazzi a comportamenti responsabili.

Adatto per un'età compresa tra 8 e 11 anni.

---

### IL TEMPO IN MONTAGNA – Manuale di meteorologia alpina



**Autori Giovanni Kappenberger, Jochen Kerkmann, Luca Panziera, Edizioni AINEVA**

Nuova edizione del libro *Il tempo in montagna* edito da Zanichelli nel 1997, questo libro è un manuale di meteorologia alpina che sarà utile non solo a tutti coloro che in montagna vivono e lavorano, ma anche a chi vi pratica attività a stretto contatto con la natura. L'approccio divulgativo e allo stesso tempo scientificamente solido dell'opera, inoltre, rende questo testo particolarmente indicato anche per chi è chiamato a prevedere il tempo nelle zone montuose. Dopo aver introdotto in modo approfondito concetti di base quali pressione, temperatura, umidità, sbarramento e favonio, brezze diurne, inversioni termiche, fronti, temporali, ecc., il testo passa ad illustrare le situazioni meteorologiche tipiche della regione alpina, con un occhio di riguardo a quelle che determinano il tempo sul versante italiano delle Alpi. Vengono introdotte e spiegate nel dettaglio le cartine meteorologiche rappresentative delle situazioni tipiche, senza tralasciare casi di studio recenti accompagnati da una descrizione dettagliata. La narrativa prosegue con un capitolo che spiega come nasce e come viene diffusa una previsione meteorologica, dai modelli matematici alle icone del tempo sugli smartphones, assieme ad utili consigli per elaborare una previsione personale durante un'escursione basandosi sull'osservazione delle nubi, del vento, e degli altri segni del cielo. Si trova poi un ampio capitolo sui pericoli in montagna connessi al tempo, particolarmente importante per chi frequenta le quote più alte. Un esaustivo capitolo curato da L. Mercalli e D. Cat Berro fornisce poi una panoramica approfondita sul clima di ieri, di oggi e del futuro delle zone montuose, mentre termina l'opera un capitolo dedicato alle curiosità meteorologiche e non solo, una raccolta fotografica che illustra una grande varietà di fenomeni naturali del tutto particolari che l'alpinista può trovare in montagna, ma che rischierebbero di passare inosservati.

*Il tempo in montagna* non fornisce solo definizioni accademiche, ma anche racconti vividi e consigli pratici fondati sull'esperienza. Insomma, un libro da non perdere!

Il testo può essere acquistato online e nelle migliori librerie.

---

## 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**.

### Una nuova classificazione di configurazioni sinottiche associate a precipitazioni estreme in Italia

Gli estremi di precipitazione rappresentano uno dei principali rischi naturali sia in termini di danni economici che di perdite umane. L'Italia ha visto il susseguirsi di eventi di notevole portata negli ultimi anni. Considerando, ad esempio, solo l'Emilia-Romagna, si sono registrati 4 eventi estremi in meno di 17 mesi (2-3 maggio 2023, 15-17 maggio 2023, 18-19 settembre 2024, 19-20 ottobre 2024). Sulla base della nostra comprensione fisica e delle proiezioni climatiche future, si ritiene che il riscaldamento globale antropico abbia un impatto sugli estremi di precipitazione sia in termini di frequenza che di intensità (Seneviratne et al. 2021). Tuttavia, la nostra conoscenza a riguardo rimane incompleta, soprattutto nella regione mediterranea. Tale incertezza è dovuta, oltre alle peculiarità della regione mediterranea – caratterizzata da una posizione di transizione tra la fascia temperata calda e quella subtropicale semiarida e da una complessa orografia (e.g., Giorgi et al. 2016) – alla elevata variabilità interna dei pattern di circolazione atmosferica che possono innescare questi eventi.

Gli effetti del cambiamento climatico sugli estremi di precipitazione si suddividono in due contributi: termodinamico e dinamico. Il primo (Trenberth 1999), è legato all'aumento di contenuto di vapor d'acqua dovuto al riscaldamento dell'atmosfera (secondo la relazione di Clausius-Clapeyron, i.e., aumento relativo del 7% per ogni grado di riscaldamento; Pall et al. 2007). Il contributo dinamico, invece, consiste in variazioni sistematiche della circolazione atmosferica dovute al riscaldamento globale e può avere effetti regionali e spazialmente eterogenei. L'incertezza nelle proiezioni degli estremi di precipitazione dipende soprattutto dalla risposta dinamica dei modelli climatici (Shepherd 2014; Pfahl et al. 2017).

Il concetto di tipo di circolazione atmosferica (o Weather Type, WT) è utile per studiare le condizioni atmosferiche alla larga scala che favoriscono eventi di precipitazione intensa e quindi per separare il rispettivo contributo termodinamico e dinamico del cambiamento climatico (Vautard et al. 2016, Yiou et al. 2017). Gli estremi di precipitazione di una data regione, infatti, sono legati a specifici WTs e condizioni termodinamiche che interagendo, producono questi eventi. Diversi studi recenti hanno studiato le configurazioni di circolazione associate a eventi di precipitazione estrema in Italia, considerando, tuttavia, o specifiche regioni italiane o dati da un numero limitato di stazioni meteorologiche (Grazzini et al. 2020; Capozzi et al. 2023; Federico et al. 2008; Mastrantonas et al. 2022; Iannuccilli et al. 2021).

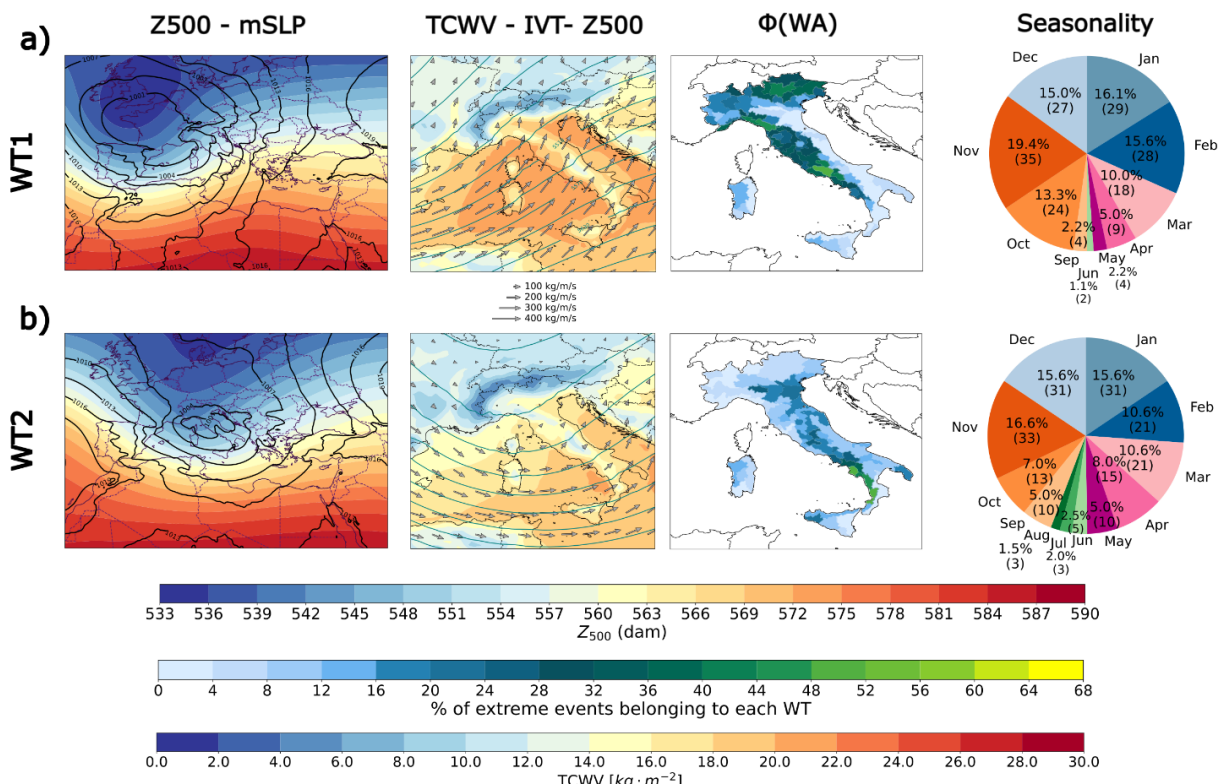
L'obiettivo del presente studio è quello di estendere queste analisi, fornendo una classificazione generale delle principali configurazioni di circolazione atmosferica a larga scala associati a estremi di precipitazione in tutt'Italia. In studi futuri, tale classificazione potrà essere applicata a simulazioni climatiche, per meglio comprendere il futuro degli estremi di precipitazione in Italia.

#### Approccio metodologico

Per identificare eventi di precipitazione estrema utilizziamo tre prodotti di precipitazione: ArCIS, CERRA e MSWEP. ArCIS (Archivio Climatologico per l'Italia Settentrionale; Pavan et al. 2013, 2019) è un dataset di precipitazione giornaliera ad alta risoluzione (5km x 5km) per il Centro-Nord Italia, si estende dal 1961 al presente e utilizza dati da più di 850 stazioni meteorologiche. È tra i principali dataset in Italia in termini di qualità e affidabilità. CERRA (the Copernicus European Regional ReAnalysis; Ridal et al. 2024) è una rianalisi regionale Europa ad alta risoluzione (5.5km x 5km) che utilizza condizioni al contorno da ERA5, l'ultima rianalisi atmosferica globale dell'ECMWF. Ha una copertura temporale da settembre 1984 a ottobre 2024 e combina dati da modello con osservazioni tramite uno schema di data assimilazione. MSWEP (GloH2O 2020) è un dataset ad alta risoluzione (0.1°x0.1°) con copertura globale. Coprendo dal 1979 al (quasi) presente, integra dati di rianalisi, stazione e satellite. Per questo dataset abbiamo considerato la porzione 1985 – 2019 della versione "Past", che include tutti i dati osservativi disponibili.

Per descrivere la circolazione atmosferica associata a precipitazione estrema consideriamo diverse variabili di ERA5: altezza geopotenziale a 500hPa (Z500), pressione a livello del mare (mSLP), colonna totale di vapore acqueo (TCWV) e trasporto di vapore integrato (IVT). I campi atmosferici vengono analizzati considerando due domini geografici: un esteso dominio europeo (60° N-25° N, 13°W-35°E), che permette di avere una visione a larga scala della circolazione atmosferica sul continente, e un dominio regionale italiano (5°E–19°E, 36° N–48° N) che permette una visione nel dettaglio del trasporto regionale di umidità.

Per la parte iniziale di questa analisi, che comprende la comparazione tra diversi dataset, consideriamo il periodo 1985-2019, su cui i tre dataset si sovrappongono temporalmente. Successivamente, l'analisi viene estesa a tutta Italia considerando il periodo più lungo disponibile e



**Figura 1.** Caratterizzazione di WT1 e (b) WT2 associati agli eventi di precipitazione estrema (EPEs) in Italia. La prima colonna mostra i campi medi di Z500 (colori, in dam) e della pressione al livello del mare (mSLP) (in contorni, in hPa). La seconda colonna riporta il contenuto totale di vapore acqueo (TCWV) (colori, in  $\text{kg}/\text{m}^2$ ), il trasporto integrato di vapore (IVT) (freccie grigie, in  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e Z500 (in contorni verdi, in dam). La terza colonna indica la percentuale di eventi di precipitazione estrema associata a ciascun tipo di tempo. La quarta colonna illustra la distribuzione stagionale degli EPEs, con percentuali codificate a colori: blu per DJF (inverno), rosa per MAM (primavera), verde per JJA (estate) e arancione per SON (autunno).

possibilmente più vicino al presente (novembre 1984 – ottobre 2024).

In questo studio utilizziamo la definizione di evento di precipitazione estrema (extreme precipitation event, EPE) fornita da Grazzini et al. 2020 definita utilizzando le aree di allerta (Warning Areas, WAs) della protezione civile. Si ha un evento estremo quando la precipitazione supera il 99mo percentile della climatologia di giorni bagnati 1985-2019 in almeno una delle 156 WAs e se l'evento interessa almeno un'estensione pari a  $1000 \text{ km}^2$ , per escludere eventi convettivi fortemente localizzati che potrebbero non essere associati a pattern atmosferici ben definiti.

Per identificare i Weather Types (WTs) associati agli EPEs sull'Italia, applichiamo le Self-Organising Maps (SOMs), una tecnica di machine learning ampiamente impiegata in meteorologia e climatologia, sui campi di anomalia di Z500 e mSLP. Nell'applicazione della SOM, consideriamo un array 2x2 per il Centro-Nord, mentre per l'intera penisola un array 3x2. Ad ogni punto dell'array, o nodo, della SOM corrisponde un singolo WT. Queste reti di dimensioni ridotte permettono una classificazione non ridondante dei pattern atmosferici e facilitano l'interpretazione fisica del legame tra le condizioni sinottiche e la localizzazione degli EPEs.

Per caratterizzare la dinamica atmosferica su larga scala e l'ambiente termodinamico associato ai diversi pattern, per ciascun nodo vengono calcolate mappe ottenute mediando i campi giornalieri di Z500, mSLP, TCWV e IVT relativi a tutti i giorni appartenenti a quel nodo. Analizziamo infine la stagionalità ed esaminiamo se la frequenza degli estremi di precipitazioni associati ai singoli WT presentano variabilità decadale o trend di lungo periodo. Inoltre, per distinguere se i cambiamenti osservati derivano da mutamenti dinamici (frequenza dei WTs) o termodinamici (maggiore contenuto di umidità atmosferica), vengono analizzati i trend nei giorni aventi configurazioni simili ai WTs, indipendentemente dal verificarsi di EPEs.

### Risultati principali dello studio

Nella parte di comparazione inter-dataset otteniamo un maggiore accordo tra CERRA e ArcCIS, sia in termini di 99mo percentile della precipitazione giornaliera sia in termini di pattern. In generale entrambi i dataset, CERRA e MSWEP, tendono a sottostimare il 99mo percentile, ma per MSWEP questi risultati sono nettamente più marcati, soprattutto nell'arco Nord-Est alpino dove MSWEP presenta bias fortemente negativi. Inoltre, quando si considerano le diverse liste di EPEs si ha una maggiore sovrapposizione tra CERRA ed ArcCIS (73%) rispetto a MSWEP e ArcCIS (58%). Infine, confrontando i pattern

ottenuti dalle SOMs applicate ai diversi dataset, si notano maggiori differenze, soprattutto per quanto riguarda il WT4, dove MSWEP mostra differenze sostanziali rispetto ad ArcGIS e il WT2, dove MSWEP presenta anomalie spostate verso est. Per questi motivi, si utilizza CERRA per estendere l'analisi per tutta Italia e consideriamo novembre 1984 – ottobre 2024 come periodo di studio. Dopo aver esplorato la sensitività della SOM rispetto al numero di nodi, constatiamo che la scelta migliore consiste in un array 3x2, ottenendo pertanto 6 WTs.

Il primo pattern (WT1) è un ciclone Atlantico posizionato sopra la Francia e associato ad una profonda saccatura in quota sopra le isole britanniche (Figura 1). Come conseguenza del forte flusso umido da sud a sud-ovest, le aree maggiormente interessate da questa circolazione sono le regioni tirreniche, la Liguria, il Centro-Est delle Alpi. WT1 è il pattern meno frequente ma presenta un grado elevato di coerenza spaziale (indicato nelle figure dalla variabile  $\rho$ , più alto è  $\rho$ , maggiore la coerenza spaziale). È un pattern principalmente tardo-autunnale e invernale e un evento noto che ricade all'interno di questo WT è la Tempesta Vaia (conosciuta anche come Adrian) (Davolio et al. 2020, Sioni et al. 2023)

Il secondo pattern (WT2) è un ciclone Mediterraneo posizionato sopra il Centro Italia e associato a una saccatura sopra l'Europa centro-settentrionale (Figura 2). I campi di trasporto di umidità (IVT) e di contenuto totale d'acqua (TCWV) presentano una circolazione ciclonica con un flusso nord-ovest che interessano principalmente le regioni tirreniche meridionali, e un flusso ricorsivo da est

che fa confluire l'umidità all'interno della Pianura Padana. Un noto evento che ricade all'interno di questa categoria è quello associato alle pesanti piogge che hanno interessato la località di Sarno (SA) in Campania del 4 e 5 maggio 1998 (Esposito et al. 2023), che, scatenando una serie di frane, hanno causato diverse vittime e considerevoli danni ad edifici.

WT3 è rappresentativo di un ciclone Mediterraneo occidentale associato con una saccatura sopra la penisola Iberica e presenta, inoltre, un promontorio di pressione atmosferica sull'Europa orientale (Figura 2). Questo pattern è associato ad un intenso flusso umido proveniente da Sud che impatta principalmente la Sardegna e il Nord-ovest e, in maniera secondaria, le regioni tirreniche centrali e il Nord-Est. È il secondo pattern più comune ed è più frequente in autunno e primavera. All'interno di questo WT ritroviamo l'alluvione che interessò il Piemonte tra il 13 e il 16 ottobre 2000 e che registrò oltre 600 mm di pioggia nell'arco di 96h e danni diffusi.

Il quarto pattern, WT4, è caratterizzato da un intenso flusso zonale occidentale associato con un'ampia saccatura in alta quota sopra il Nord Atlantico e una debole circolazione sopra il Nord Italia e il Mar Ligure (Figura 2), indicativa di una ciclogenesi secondaria (Bleck 1977; Trigo et al. 2002; Buzzi et al. 2020). Questo pattern presenta un flusso IVT da ovest a sud-ovest, con i valori più elevati di TCWV sul Mediterraneo tra tutti i WTs, con picchi sull'Adriatico, sull'Emilia-Romagna e sul Mar Tirreno. Questo pattern interessa principalmente l'Italia

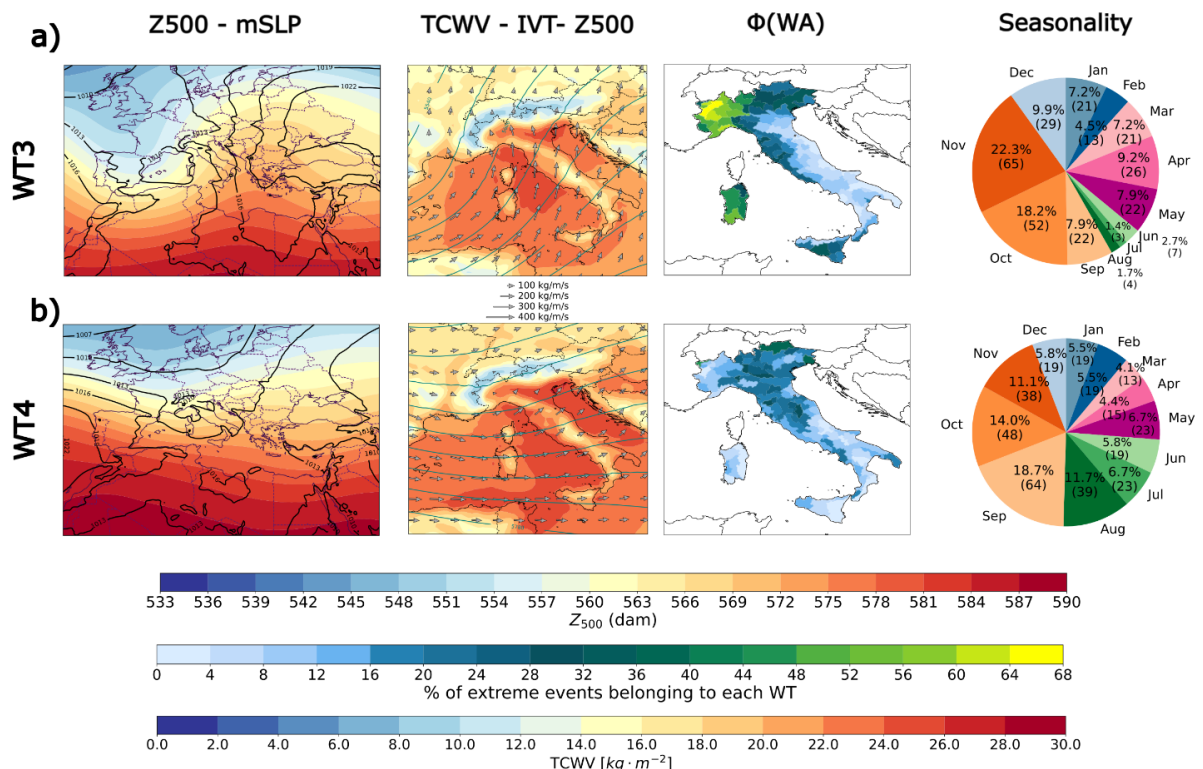


Figura 2. Come la Figura 1 ma per WT3 e WT4.

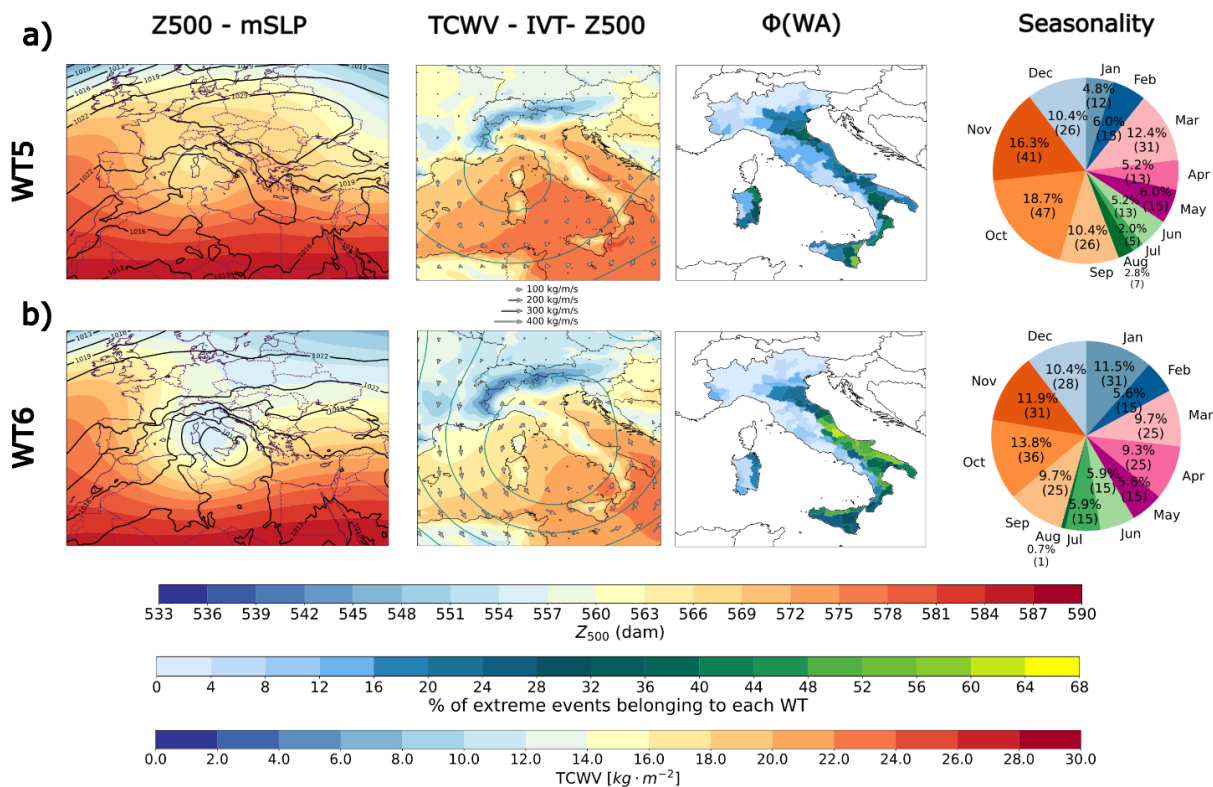


Figura 3. Come la Figura 2 ma per WT5 e WT6.

settentrionale e il versante tirrenico dell'Italia centrale, con picchi sulle Alpi nord-orientali, ed è particolarmente frequente in autunno ed estate. L'alluvione del 9 e 10 settembre 2017 di Livorno cade all'interno di questa categoria.

WT5 è rappresentativo di un upper-level cut off low che esibisce un flusso circolatorio antiorario, centrato sopra la Corsica, con alti valori di TCWV sopra il Mar Tirrenico (Figura 3). Di conseguenza, questo pattern impatta principalmente le regioni adriatiche del Centro-Nord e il lato orientale della Calabria, Basilicata, Sicilia e Sardegna. È il pattern più comune in autunno e primavera. L'alluvione in Calabria del 2015 che interessò in particolar modo il lato ionico tra il 30 di ottobre e il 2 novembre 2015 e i recenti eventi che hanno interessato l'Emilia Romagna tra il 1 e il 3 maggio 2023 e il 19 e 20 ottobre 2024, fanno tutti parte di questo pattern.

L'ultimo pattern, il WT6, presenta un ciclone Mediterraneo centrato sopra il Mar Tirrenico con circolazione antioraria di maggiore intensità rispetto al pattern precedente e spostata leggermente verso Est (Figura 3). Sono principalmente colpite le regioni adriatiche, la Calabria, la Sicilia e la Pianura Padana. È il secondo pattern più comune tra quelli associati ad EPEs ed è particolarmente frequente in autunno e primavera. All'interno di questa categoria ritroviamo quattro eventi che hanno avuto impatti significativi sulla penisola italiana: l'alluvione delle Marche e della Romagna del 7 e 9 ottobre 1996, causato dal Medicane Cornelia, l'alluvione di Soverato del 10 settembre 2000 e gli eventi dell'Emilia

Romagna del 16-18 maggio 2023 e del 17-19 settembre 2024.

L'analisi del trend ha invece riscontrato un generale aumento del numero degli EPEs nel periodo 1985-2023 con un trend statisticamente significativo ( $p$ -value = 0.01) di circa 2 eventi annuali aggiuntivi per decade (Figura 4). Considerando invece l'occorrenza degli EPEs associati ai diversi WT, riscontriamo che, nonostante si ottenga un singolo trend statisticamente significativo (WT4,  $p$ -value < 0.05), 5 su 6 pattern mostrano un aumento nella frequenza annuale degli EPEs. Il fatto che un trend positivo sia comune per la maggior parte degli EPEs suggerisce che il segnale sia principalmente di natura termodinamica.

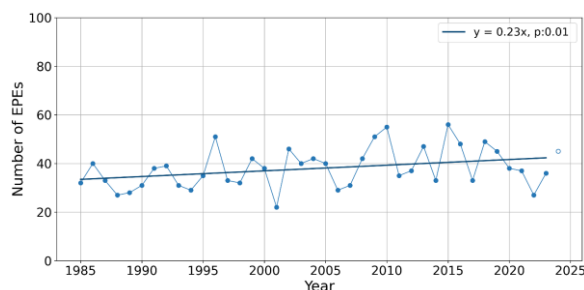


Figura 4. Numero annuale di eventi di precipitazione estrema (EPEs) associati a tutti i Weather Types (WTs). Il trend, calcolato utilizzando solo gli anni completi (1985–2023), è mostrata in blu scuro. Il dato relativo al 1984 non è mostrato, mentre il 2024 è rappresentato con un cerchio vuoto per indicare che l'anno non viene considerato nel calcolo. La significatività del trend è stata valutata mediante il test di Mann-Kendall, che evidenzia un aumento statisticamente significativo nella frequenza degli EPEs associati ai WT ( $p < 0.05$ ).

## Conclusioni

In questo studio è stata realizzata, mediante metodi di machine learning, una classificazione dei pattern atmosferici caratteristici degli eventi di precipitazione estrema in Italia, utilizzando la rianalisi CERRA per il periodo novembre 1984 – ottobre 2024. Per ciascun pattern sono stati analizzati la dinamica a larga scala, l'ambiente termodinamico sul dominio italiano, le regioni maggiormente interessate, la stagionalità e i trend temporali.

I risultati ottenuti sono coerenti con studi precedenti e forniscono una visione d'insieme sulla scala sinottica. All'interno delle diverse categorie di Weather Types vengono inoltre individuati numerosi eventi noti, come la tempesta Vaia e le alluvioni in Emilia-Romagna del maggio 2023 e dei mesi di settembre e ottobre 2024. Nel complesso, si osserva un aumento della frequenza degli eventi di precipitazione estrema pari a circa due eventi annui per decennio, e un incremento particolare degli eventi associati al WT4, caratterizzato da flusso zonale e da deboli anomalie di Z500 e mSLP rispetto agli altri pattern. Una possibile spiegazione di tale tendenza è che, nelle attuali condizioni di riscaldamento globale, anche configurazioni sinottiche che in passato producevano precipitazioni moderate possano oggi generare EPES, a causa del maggiore contenuto di umidità atmosferica che amplifica il potenziale precipitativo dei pattern simili a WT4.

L'identificazione delle cause di questo trend esula dagli obiettivi del presente studio. Tali analisi richiederebbero infatti l'impiego di ampie serie di simulazioni climatiche, indispensabili per distinguere l'influenza della variabilità naturale da quella antropica del cambiamento climatico. L'integrazione di tecniche di machine learning con metodi di classificazione (Davenport e Diffenbaugh, 2021) costituisce un approccio promettente da applicare alle simulazioni climatiche per stimare l'impatto del cambiamento climatico sui fattori che determinano gli estremi di precipitazione in Italia.

Questo rappresenterà il punto di partenza del prossimo lavoro, nel quale si prevede di utilizzare tecniche di deep learning per stimare la probabilità condizionata di eventi di precipitazione estrema per ciascun tipo di Weather Type individuato.

## Articolo completo

Iacomino, C., S. Pascale, G. Zappa, et al. 2025. "A Classification of High-Risk Atmospheric Circulation Patterns for Italian Precipitation Extremes." *International Journal of Climatology* e70118. <https://doi.org/10.1002/joc.70118>.

## Bibliografia

Seneviratne, S., X. Zhang, M. Adnan, et al. 2021. "Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate." In *Climate Change 2021: The*

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, and S. Berger, 1513–1766. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>.

Trenberth, K. E. 1999. "Conceptual Framework for Changes of Extremes of the Hydrological Cycle With Climate Change." *Climatic Change* 42: 327–339. <https://doi.org/10.1023/A:1005488920935>.

Pall, P., M. R. Allen, and D. A. Stone. 2007. "Testing the Clausius–Clapeyron Constraint on Changes in Extreme Precipitation Under Warming." *Climate Dynamics* 28, no. 4: 351–363. <https://doi.org/10.1007/s00382-006-0180-2>.

Shepherd, T. G. 2014. "Atmospheric Circulation as a Source of Uncertainty in Climate Change Projections." *Nature Geoscience* 7, no. 10: 703–708. <https://doi.org/10.1038/ngeo2253>.

Pfahl, S., P. A. O'Gorman, and E. M. Fischer. 2017. "Understanding the Regional Pattern of Projected Future Changes in Extreme Precipitation." *Nature Climate Change* 7, no. 6: 423–427. <https://doi.org/10.1038/nclimate3287>.

Giorgi, F., C. Torma, E. Coppola, N. Ban, C. Schär, and S. Somot. 2016. "Enhanced Summer Convective Rainfall at Alpine High Elevations in Response to Climate Warming." *Nature Geoscience* 9, no. 8: 584–589. <https://doi.org/10.1038/ngeo2761>.

Vautard, R., P. Yiou, F. Otto, et al. 2016. "Attribution of Human-Induced Dynamical and Thermodynamical Contributions in Extreme Weather Events." *Environmental Research Letters* 11, no. 11: 114009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114009>.

Yiou, P., A. Jézéquel, P. Naveau, F. E. L. Otto, R. Vautard, and M. Vrac. 2017. "A Statistical Framework for Conditional Extreme Event Attribution." *Advances in Statistical Climatology, Meteorology and Oceanography* 3: 17–31. <https://doi.org/10.5194/ascmo-3-17-2017>.

Grazzini, F., G. C. Craig, C. Keil, G. Antolini, and V. Pavan. 2020. "Extreme Precipitation Events Over Northern Italy. Part I: A Systematic Classification With Machine-Learning Techniques." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146, no. 726: 69–85. <https://doi.org/10.1002/qj.3635>.

Capozzi, V., C. Annella, and G. Budillon. 2023. "Classification of Daily Heavy Precipitation Patterns and Associated Synoptic Types in the Campania Region (Southern Italy)." *Atmospheric Research* 289: 106781. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106781>.

Federico, S., E. Avolio, L. Pasqualoni, and C. Bellecci. 2008. "Atmospheric Patterns for Heavy Rain Events in Calabria." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8, no. 5: 1173–1186. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-1173-2008>.

Mastrantonas, N., L. Furnari, L. Magnusson, et al. 2022. "Forecasting Extreme Precipitation in the Central Mediterranean: Changes in Predictors' Strength With Prediction Lead Time." *Meteorological Applications* 29, no. 6: e2101. <https://doi.org/10.1002/met.2101>.

Iannuccilli, M., G. Bartolini, G. Betti, et al. 2021. "Extreme Precipitation Events and Their Relationships With Circulation Types in Italy." *International Journal of Climatology* 41, no. 10: 4769–4793. <https://doi.org/10.1002/joc.7109>.

Pavan, V., G. Antolini, G. Agrillo, et al. 2013. "The ARCIS Project." *Italian Journal of Agrometeorology* 2: 51–55.

Pavan, V., G. Antolini, R. Barbiero, et al. 2019. "High Resolution Climate Precipitation Analysis for North-Central Italy, 1961–2015." *Climate Dynamics* 52, no. 5: 3435–3453. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4337-6>.

Ridal, M., E. Bazile, P. Le Moigne, et al. 2024. "CERRA, the Copernicus European Regional Reanalysis System." Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 150, no. 763: 3385–3411. <https://doi.org/10.1002/qj.4764>.

GloH2O. 2020. "MSWEP - Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation." <https://www.gloh2o.org/mswep/>.

Davolio, S., S. D. Fera, S. Laviola, M. M. Miglietta, and V. Levizzani. 2020. "Heavy Precipitation Over Italy From the Mediterranean Storm "Vaia" in October 2018: Assessing the Role of an Atmospheric River." Monthly Weather Review 148, no. 9: 3571–3588. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-20-0021.1>.

Sioni, F., S. Davolio, F. Grazzini, and L. Giovannini. 2023. "Revisiting the Atmospheric Dynamics of the Two Century Floods Over North-Eastern Italy." Atmospheric Research 286: 106662. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106662>.

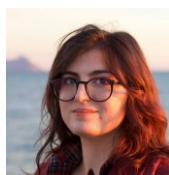
Esposito, G., P. Salvati, and C. Bianchi. 2023. "Insights Gained Into Geo-Hydrological Disaster Management 25 Years After the Catastrophic Landslides of 1998 in Southern Italy." International Journal of Disaster Risk Reduction 84: 103440. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103440>.

Bleck, R. 1977. "Numerical Simulation of Lee Cyclogenesis in the Gulf of Genoa." Monthly Weather Review 105: 428–445. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1977\)105%3C0428:NSOLCI%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105%3C0428:NSOLCI%3E2.0.CO;2).

Trigo, I. F., G. R. Bigg, and T. D. Davies. 2002. "Climatology of Cyclogenesis Mechanisms in the Mediterranean." Monthly Weather Review 130, no. 3: 549–569. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130%3C0549:COCMIT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130%3C0549:COCMIT%3E2.0.CO;2).

Buzzi, A., S. Davolio, and M. Fantini. 2020. "Cyclogenesis in the Lee of the Alps: A Review of Theories." Bulletin of Atmospheric Science and Technology 1, no. 3: 433–457. <https://doi.org/10.1007/s42865-020-00021-6>.

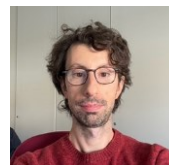
*Autori:*



*Cristina Iacomino*  
(Università di Trento)



*Salvatore Pascale*  
(Università di Bologna)



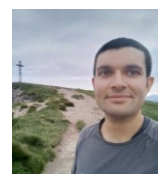
*Giuseppe Zappa*  
(CNR-ISAC)



*Marcello Iotti*  
(CMCC)



*Federico Grazzini*  
(ARPAE Emilia-Romagna)

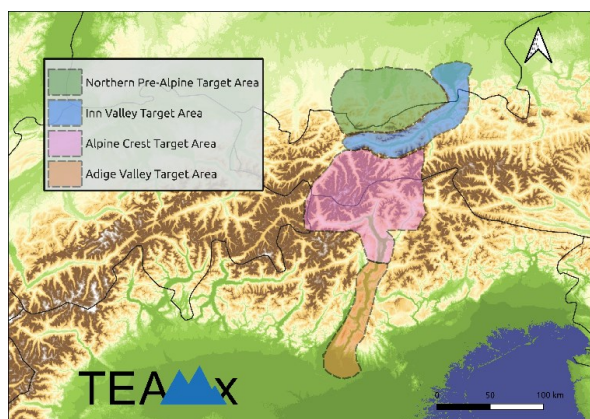


*Paolo Ghinassi*  
(CNR-ISAC)



*Alice Portal*  
(CNR-ISAC)

## TEAMx: campagna di misure terminata, al via l'analisi dei dati per migliorare la comprensione dei processi atmosferici in montagna



Aree target del programma di ricerca internazionale TEAMx (<https://www.teamx-programme.org/>).

La campagna di misure del programma di ricerca internazionale TEAMx (Multi-scale transport and exchange processes in the atmosphere over mountains – programme and experiment) si è conclusa ufficialmente il 15 settembre 2025 dopo un anno di misurazioni nelle quattro aree target: l'area prealpina tra il Tirolo e la Baviera, la valle dell'Inn, l'area della cresta alpina tra Italia e Austria e la val d'Adige.

TEAMx è un programma di ricerca internazionale che mira a migliorare la nostra comprensione dei processi atmosferici in terreno montuoso e a valutare quanto questi siano rappresentati in modo adeguato nei modelli meteorologici e climatici (<https://www.teamx-programme.org/>). TEAMx è un'iniziativa promossa da numerosi enti di ricerca, università e servizi meteorologici operativi europei e del Nord America, sostenuta da un ufficio di coordinamento con sede presso l'Università di Innsbruck. Numerosi progetti di ricerca nazionali e multinazionali concorrono al raggiungimento degli obiettivi scientifici di TEAMx.

La campagna di misure di TEAMx ha incluso due periodi, della durata di sei settimane ciascuno, durante i quali si sono concentrate la maggior parte delle attività sperimentali. Questi periodi sono stati uno in inverno, dal 20 gennaio al 28 febbraio 2025, e uno in estate, dal 16 giugno al 25 luglio 2025. Il dispiegamento di strumenti di misura durante questi due periodi è stato imponente, e ha compreso stazioni meteorologiche tradizionali, strumenti per la misura della turbolenza atmosferica e dei flussi di calore e massa tra la superficie e l'atmosfera, profilatori di vento, temperatura e aerosol, radar e palloni frenati per la profilazione dell'atmosfera. Inoltre, durante questi periodi sono stati effettuati circa 800 lanci di radiosonde a

Bolzano, Vipiteno e Kolsass (nella valle dell'Inn ad est di Innsbruck), misure con droni e più di 200 ore di volo con tre aerei di ricerca, messi a disposizione dal Centro Nazionale Britannico per la Scienza dell'Atmosfera (NCAS), il Centro Aerospaziale Tedesco (DLR) e l'Università di Braunschweig. L'utilizzo degli aerei di ricerca ha permesso di effettuare misure di dettaglio della struttura dell'atmosfera all'interno delle valli alpine e in prossimità delle vette.

I fenomeni di maggior interesse monitorati nella campagna di misure invernale sono stati le onde di gravità orografiche, la struttura dello strato limite atmosferico e la formazione di nebbia e nubi basse nelle valli alpine, e lo sviluppo dei venti catabatici lungo i versanti. Durante la campagna di misure invernale sono stati effettuati 18 periodi di misure intensive per monitorare nel dettaglio questi fenomeni, durante i quali le attività sperimentali si sono concentrate, soprattutto per quanto riguarda i voli con gli aerei di ricerca e i droni e i lanci delle radiosonde.



Valle dell'Inn vista dall'aereo di ricerca del Centro Aerospaziale Tedesco (DLR), durante la campagna di misure invernale di TEAMx. Credit: Beth Saunders, Università di Innsbruck.

Alcuni dei fenomeni studiati durante il periodo di misure invernale sono stati oggetto di attenzione anche durante la campagna estiva, come le onde di gravità orografiche e lo sviluppo dello strato limite atmosferico nelle valli alpine. L'interesse si è poi anche spostato verso i fenomeni tipici della stagione estiva, quali lo sviluppo delle circolazioni di valle e di pendio e la convezione orografica. Durante la campagna di misure estiva sono stati effettuati 24 periodi di misure intensive.

Entrambi i periodi di misura sono stati supportati da strumenti modellistici previsionali predisposti ad hoc per TEAMx dal Servizio Meteorologico Tedesco (Deutscher

Wetterdienst - DWD) e dal Servizio Meteorologico del Regno Unito (UK Met Office). Ad esempio, il Servizio Meteorologico Tedesco ha effettuato previsioni operative con il modello ICON con una risoluzione orizzontale di 500 m nelle aree di interesse, per poter fornire informazioni di dettaglio sui fenomeni studiati nelle campagne di misura.

L'organizzazione delle attività sperimentali e le decisioni riguardanti i periodi osservativi intensivi sono state coordinate durante riunioni giornaliere del personale coinvolto, svoltesi in modalità ibrida, in presenza presso l'Ufficio di coordinamento di TEAMx al Dipartimento di Scienze Atmosferiche e Criosferiche dell'Università di Innsbruck, e online. Durante queste riunioni i diversi gruppi di ricerca impegnati nelle campagne di misura analizzavano la situazione meteorologica prevista, per programmare al meglio le attività e le misure in base al possibile sviluppo dei fenomeni di interesse.

Per quanto riguarda la val d'Adige, sono stati due i progetti che hanno contribuito a TEAMx, entrambi coordinati dall'Università di Trento.

Il primo progetto, INTERFACE, finanziato dall'Euregio Tirolo-Alto Adige-Trentino, mira a valutare le incertezze legate alla misura sperimentale del bilancio energetico superficiale in diversi siti dell'area alpina, dove i processi legati alla mancata chiusura del bilancio energetico superficiale sono particolarmente significativi. Le misurazioni effettuate in siti posti in contesti e condizioni

climatiche diverse, e quindi influenzati in modo diverso dall'avvezione, consentono di studiare la relazione tra la non chiusura del bilancio energetico superficiale, l'eterogeneità superficiale e il conseguente sviluppo di diversi tipi di circolazioni locali e alla mesoscala. A questo progetto partecipano anche l'Università di Innsbruck e l'istituto di ricerca di Bolzano Eurac Research.

Nell'ambito di questo progetto è stata installata una torre eddy-covariance nei pressi del paese di Mezzolombardo, nella val d'Adige, in un vigneto. Gli strumenti installati presso questa torre comprendono un radiometro netto, due anemometri sonici tridimensionali e un analizzatore rapido di gas per la misura dei flussi di calore sensibile e latente, due anemometri sonici bidimensionali, termoigrometri, strumenti per la misura di temperatura e umidità del suolo a diverse profondità e piastre per la misura del flusso di calore nel suolo. Inoltre, durante l'estate 2025 sono state effettuate misure con uno scintillometro, per valutare la rappresentatività delle misure locali di flusso di calore sensibile effettuate presso la torre, e con un drone, per monitorare l'eterogeneità dei campi meteorologici intorno alla torre. Le misure con lo scintillometro sono state svolte in collaborazione con l'Università di Padova.

Il secondo progetto, DECIPHER, finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito della call PRIN 2022, ha l'obiettivo di studiare i processi che controllano lo scambio di quantità di moto, energia e sostanze tra la superficie terrestre e l'atmosfera in terreno complesso, in particolare valutando la struttura dinamica e termica delle circolazioni che si sviluppano lungo i pendii montani. I partner del progetto sono l'Università di Bologna e l'Istituto di Scienze Polari del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

Nell'ambito di questo progetto, in corrispondenza del periodo di misure estivo di TEAMx, è stata effettuata una campagna di misure sul Monte Baldo, con un ampio dispiegamento di strumenti, forniti non solo dai partner del progetto, ma anche da numerosi altri enti di ricerca e università italiane e internazionali che hanno contribuito al ricco setup sperimentale. Le istituzioni che hanno contribuito alla campagna di misure sono l'Università Ca' Foscari di Venezia, il Norwegian Institute for Air Research (NILU), l'Università degli Studi della Basilicata, il Politecnico di Torino, l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia, l'Università di Basilea, l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del CNR e l'Università Grenoble Alpes. L'area di interesse per la campagna di misure è stata un pendio regolare con prevalente vegetazione erbacea rivolto ad est nella parte meridionale della catena del Monte Baldo, con quota di 1320 m s.l.m. alla base e 1650 m s.l.m. in cresta. Durante la campagna di misure



Scintillometro installato presso la torre eddy-covariance di Mezzolombardo per il progetto INTERFACE durante l'estate 2025.



Torre eddy-covariance installata lungo il pendio sul Monte Baldo nell'ambito del progetto DECIPHER.



Torre eddy-covariance installata in cresta sul Monte Baldo nell'ambito del progetto DECIPHER.

sono state installate due torri eddy-covariance con un'altezza di 9 m, dotate di anemometri sonici e analizzatori rapidi di gas, radiometri netti e strumentazione meteorologica convenzionale. Una torre è stata installata lungo il pendio e una in cresta. Inoltre, la campagna di misure è stata arricchita dalla presenza di strumenti per la misura del particolato atmosferico e dell'ozono, un rilevatore di neutroni per la misura dell'umidità del suolo, un pallone frenato e profilatori di vento, temperatura e aerosol. Il ricco dataset raccolto permetterà di analizzare nel dettaglio le caratteristiche e la struttura delle circolazioni di pendio, nonché la loro influenza sul trasporto di inquinanti.

L'analisi dei dati di questa campagna di misure, così come di tutte quelle che hanno contribuito a TEAMx, è ora in corso e continuerà probabilmente per i prossimi anni, vista l'imponente mole di dati raccolti, contribuendo al miglioramento delle nostre conoscenze per quanto riguarda numerosi processi che caratterizzano l'atmosfera delle regioni di montagna. Il protocollo per la condivisione dei dati di TEAMx prevede che i dati raccolti saranno messi

pubblicamente a disposizione dopo un anno dalla fine della campagna di misure, permettendo quindi il coinvolgimento di molti altri gruppi di ricerca nelle attività di analisi dati e interpretazione dei risultati.

I prossimi appuntamenti con TEAMx sono fissati per il 26 gennaio 2026 con un incontro online, prima occasione per condividere idee e informazioni dopo la fine della campagna di misure, e per il 17-19 giugno 2026, quando a Trento si terrà il 5° TEAMx Workshop, durante il quale la comunità di TEAMx si ritroverà per coordinare le attività di analisi dati, cercando di favorire collaborazioni e sinergie tra i gruppi di ricerca.

*Autori:*



**Lorenzo Giovannini**  
(Università di Trento)

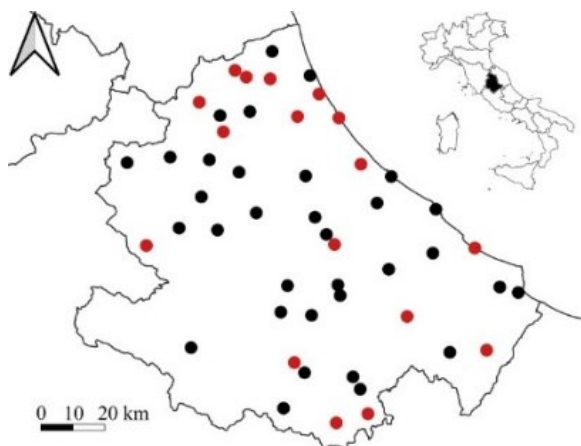
# Creazione di un dataset climatico locale su griglia: caso studio nella regione Abruzzo

## Introduzione

Temperatura e precipitazioni sono tra le variabili climatiche più essenziali per la loro importanza nel descrivere le condizioni atmosferiche e ambientali e, di conseguenza, per il loro significato per il benessere umano. Ottenere una mappa accurata di queste variabili non è facile, poiché i punti osservativi presentano spesso basse densità, con lacune temporali e spaziali che, insieme alle caratteristiche topografiche, hanno impatti sulla ricostruzione spaziale delle variabili stesse (Pepin et al. 2022).

Esistono diversi metodi per interpolare i dati osservativi e costruire queste mappe. Ad esempio, gli approcci geostatistici, come l'Ordinary Kriging, richiedono determinati presupposti di normalità e linearità, mentre i metodi non geostatistici non richiedono ipotesi a priori rigorose, come ad esempio le funzioni di base radiali e metodologie più recenti come gli alberi di regressione e di classificazione (Li & Heap 2008). Alcuni di questi metodi sono stati utilizzati per costruire database globali ad alta risoluzione spaziale (30 secondi d'arco, ~1 km) come Chelsa o WorldClim, diventando molto popolari e implementati. Tuttavia, questi database non offrono un'accuratezza omogenea in tutte le aree del mondo (Bobrowski et al. 2021).

L'obiettivo principale di questo studio è ottenere mappe giornaliere su griglia con un'alta risoluzione (~0,01°) di precipitazioni e temperature a scala regionale per la regione Abruzzo (Italia). Abbiamo confrontato diversi metodi di interpolazione utilizzando per la validazione un set di stazioni diverso da quello utilizzato per produrre il set di dati su griglia. Infine, abbiamo valutato l'accuratezza



**Figura 1.** Stazioni meteo utilizzato per questo studio in Abruzzo, Italia. Stazioni di addestramento (punti neri, 33), stazioni di convalida (punti rossi, 17).

dei database globali disponibili per la stessa area (Chelsa e WorldClim) rispetto a dati osservativi indipendenti.

## Dati e metodologia

L'area di studio corrisponde alla regione Abruzzo, con una superficie di 10.763 km<sup>2</sup> nella parte centro-orientale dell'Italia (Figura 1). La regione è caratterizzata da un significativo gradiente est-ovest di temperatura e precipitazioni. I dati delle stazioni, nel periodo 1994-2013, sono stati ottenuti dall'Ufficio Idrologico della regione e omogeneizzati seguendo la procedura descritta in Curci et al. (2021). Le variabili target sono la precipitazione giornaliera accumulata (RR) in millimetri, la temperatura massima giornaliera (TX) e la temperatura minima giornaliera (TN) in gradi Celsius. Un set di dati di riferimento primario comprende 33 stazioni (punti neri in Figura 1), mentre per la convalida e il confronto delle procedure di interpolazione, abbiamo selezionato 17 stazioni (punti rossi in Figura 1).

Dopo una analisi esplorativa preliminare, le variabili sono state normalizzate ove necessario. Per il calcolo delle medie è stata applicata una media mobile a 30 giorni. Come covariabile abbiamo utilizzato il modello digitale del terreno (DEM), che è risultato correlato positivamente con le precipitazioni ( $r = 0,476$ ) e negativamente con i valori delle temperature massime ( $r = -0,926$ ) e minime ( $r = -0,752$ ). Ogni set di dati delle variabili è stato organizzato in tre sottoinsiemi: dati giornalieri annuali, estivi (JJA) e invernali (DJF).

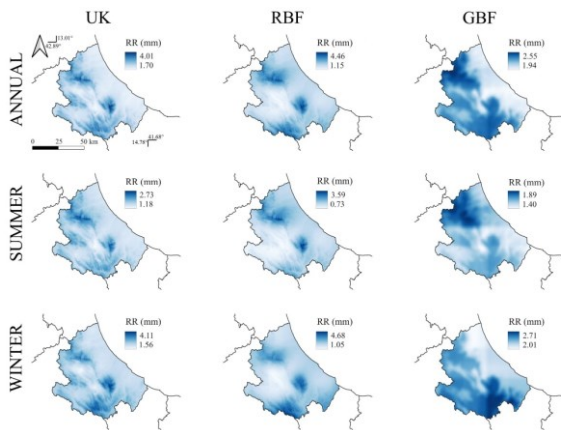
Abbiamo utilizzato tre approcci che abbracciano le principali categorie di interpolazione: (UK) Universal Kriging (anni '40-'50) è un metodo geostatistico classico che ha avuto origine da studi geologici. (RBF) Radial Basis Function (anni '60-'70), un metodo deterministico derivato dall'analisi multivariata che offre flessibilità con i dati di input. Infine, (GBF) Gradient Boosting Regression (anni '90-2000), un metodo di *Machine Learning* che seleziona i risultati ottimali in base alla valutazione della *loss function* (Li & Heap 2008).

Per convalidare i risultati (previsione), abbiamo confrontato la mappa per ciascun metodo e variabile con i dati osservati nello stesso periodo appartenenti a 17 stazioni di convalida. Abbiamo calcolato l'errore quadratico medio (RMSE) e confrontato eseguendo l'analisi ANOVA. Infine, abbiamo confrontato il set di dati di validazione con due set di dati spaziali globali ad alta risoluzione di temperatura (massima e minima) e precipitazioni: WorldClim v.2.1 e Chelsa v.2.1. Abbiamo confrontato le prestazioni di questi set di dati globali con

quelle del nostro prodotto più performante sviluppato in questo studio (ADAMO). Il confronto con i dati mensili osservati (17 stazioni di validazione) è stato effettuato calcolando l'RMSE medio tra i valori previsti e quelli osservati in ciascuna stazione.

## Risultati

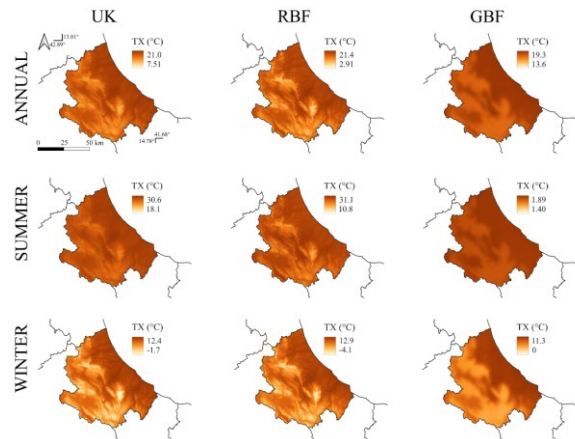
In Figura 2 l'andamento generale delle precipitazioni (RR) ottenuto con UK e RBF mostra una forte similarità in tutti e tre i set di dati, mentre GBF manca di definizione tra aree umide e secche nella regione di studio. Entrambi i metodi UK e RBF stimano precipitazioni più elevate sugli Appennini e identificano una zona umida nell'area di studio meridionale, corrispondente al Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise, e aree più secche lungo la costa adriatica.



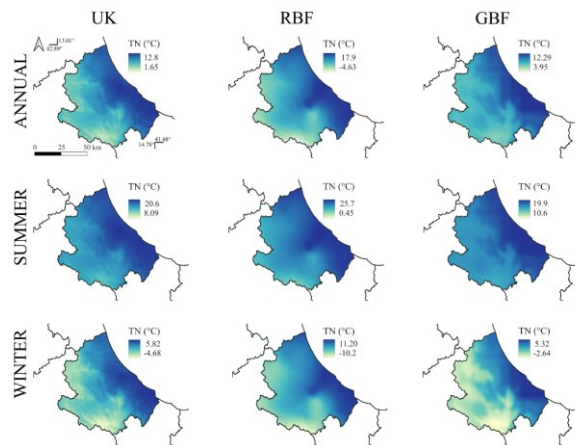
**Figura 2.** Precipitazione accumulata media giornaliera (RR) per ciascun periodo (righe). Le colonne mostrano il risultato di un metodo di interpolazione: Universal Kriging (UK), Radial Basis Function (RBF) e Gradient Boosting Forest (GBF). I riferimenti geografici sono inclusi nella prima figura (in alto a sinistra).

In Figura 3, l'andamento della temperatura massima (TX) osservata è fortemente influenzata dall'altitudine (DEM) in tutti e tre i metodi, con temperature massime più elevate nelle pianure costiere orientali o nelle valli tra gli Appennini. Le temperature massime assolute si registrano lungo la costa adriatica durante l'estate, raggiungendo 28-29.5 °C per UK, 27-29 °C per RBF e 27-28 °C per GBF. In Figura 4, l'andamento della temperatura minima (TN) mostra un gradiente crescente dagli Appennini verso la costa orientale. Tuttavia, i metodi mostrano notevoli differenze nelle loro previsioni a scale più fini. UK appare il più realistico, mostrando minimi evidenti nelle zone montuose (4.5-5 °C sul Gran Sasso) e temperature in aumento in pianura e nelle valli (ad esempio, 6.5 °C nella Piana del Fucino), mentre RBF e GBF mostrano ampie aree con valori prossimi a 0 °C, in particolare a sud e a ovest.

Durante la validazione, il metodo UK ha mostrato le migliori prestazioni su tutte le variabili e i set di dati, con valori significativamente inferiori a quelli ottenuti dagli



**Figura 3.** Come in Figura 2, ma per temperature massima giornaliera (TX).



**Figura 4.** Come in Figura 2, ma per temperature minima giornaliera (TN).

altri due metodi implementati. La Tabella 1 riporta i valori medi ottenuti per ciascun set di dati. Per le precipitazioni e la temperatura minima, le prestazioni peggiori sono state osservate con il metodo RBF, mentre per la temperatura massima, il GBF ha ottenuto le prestazioni

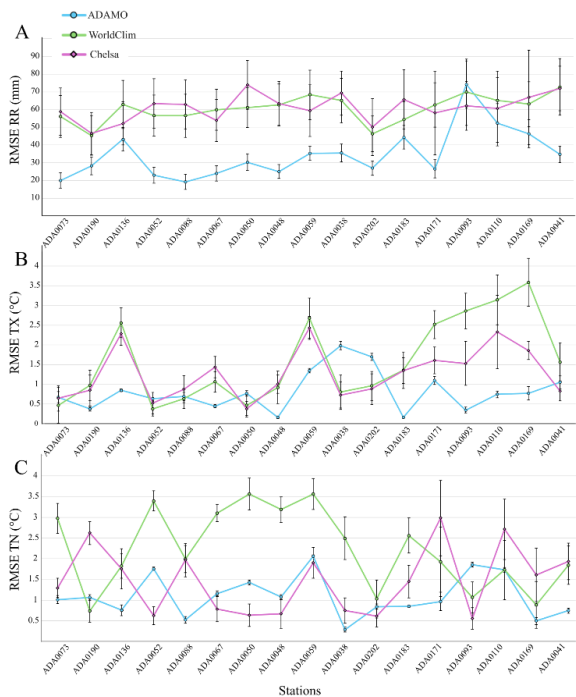
	Annual	Summer	Winter
RR	0.45±0.20	0.26±0.05	0.53±0.08
TX	1.00±0.07	1.07±0.07	0.98±0.01
TN	1.23±0.10	1.39±0.06	1.18±0.02

**Tabella 1.** Valore medio del RMSE ± SD per il metodo UK stimato sulle 17 stazioni di validazione. (RR) precipitazione cumulate giornaliera, (TX) temperature massima giornaliera, (TN) temperatura minima giornaliera.

peggiori.

I valori di precipitazione mensili per entrambi i database globali hanno mostrato  $RMSE_{WC} = 60 \pm 12$  mm e  $RMSE_{CHE} = 61 \pm 15$  mm. Questi valori sono significativamente più alti di quelli ottenuti con ADAMO,  $RMSE_{ADA} = 34.6 \pm 5.8$  mm (Figura 5-A). Per le temperature, i valori globali sono

generalmente in migliore accordo con le osservazioni per



**Figura 5.** Media mensile RMSE ( $\pm$  DS) presso le 17 stazioni di validazione, per i dataset locali (ADAMO) e globali (Chelsa, WorldClim). A - Precipitazioni (RR), B - Temperatura massima (TX) e C - Temperatura minima (TN). Le stazioni sono state disposte in ordine di altitudine crescente (da ADA0073 a 5 m s.l.m. ad ADA0041 a 1093 m s.l.m.). Riferimenti ai database in alto a sinistra.

quanto riguarda le precipitazioni. Per TX, il modello più accurato è ADAMO, con  $RMSE_{ADA} = 0.81 \pm 0.10$  °C, seguito da Chelsa,  $RMSE_{CHE} = 1.26 \pm 0.35$  °C, e WorldClim,  $RMSE_{WC} = 1.58 \pm 0.40$  °C. Sia Chelsa che WorldClim mostrano valori simili in tutte le stazioni, ed entrambi i prodotti mostrano un aumento di RMSE con l'altitudine (Figura 5-B). Questa tendenza è più pronunciata nel dataset WorldClim. I tre database mostrano una minore precisione nella stima della temperatura minima rispetto a quella massima. Il risultato migliore è stato ottenuto da ADAMO con  $RMSE_{ADA} = 1.09 \pm 0.07$  °C, seguito da  $RMSE_{CHE} = 1.46 \pm 0.40$  °C e  $RMSE_{WC} = 2.23 \pm 0.41$  °C (Fig. 5-C)

## Discussione

I risultati migliori per la nostra area di studio sono stati ottenuti utilizzando il classico metodo Universal Kriging. Questo metodo ha mostrato risultati coerenti per tutte e tre le variabili (TX, TN, RR). I nostri risultati sono coerenti con altri studi comparativi che hanno utilizzato UK (considerando variabili esplicative oltre al DEM) (Berndt & Haberlandt 2018, tra gli altri). In generale, i prodotti generati da tutti e tre i metodi, in particolare dal UK, sono coerenti con i precedenti studi che descrivono i modelli climatici per la regione Abruzzo di Scorzini e Leopardi (2019) e Curci et al. (2021).

Considerando che sia RBF che GBF sono stati svantaggiati nel nostro studio dal numero di stazioni disponibili, dal tipo di variabile e dalla risoluzione temporale, la modellazione delle precipitazioni o della temperatura minima a scale temporali fini (giornaliera o sub-giornaliera) comporta la gestione di dati altamente eterogenei, come numerosi zeri e valori estremi. Questa variabilità viene ridotta utilizzando scale temporali più grossolane, come quella mensile o annuale. Sebbene i dati siano stati pretrattati con la normalizzazione, sia RBF che GBF (metodi ML) non sono stati originariamente progettati per dati spaziali e nessuno dei due include approcci che integrano la correlazione spaziale dei dati di input, il che potrebbe aver rappresentato un vantaggio per UK (Vinicius da Silva et al. 2024).

Abbiamo ottenuto i risultati migliori con il prodotto su griglia sviluppato in questo studio (ADAMO), seguito da Chelsa e infine da WorldClim. Le differenze possono essere in parte spiegate dalle metodologie stesse, in quanto presentano notevoli differenze nel modo in cui vengono ottenuti i valori previsti e nella disponibilità e qualità delle risorse (Ahmed et al. 2019). Inoltre, tra i due database globali, i nostri risultati mostrano che Chelsa è risultato più accurato di WorldClim per le temperature massime e minime. Ciò è coerente con un altro studio di Bobrowski et al. (2021) nella regione himalayana, ma differisce da Fierke et al. (2024), i quali hanno riscontrato prestazioni equivalenti per entrambi i prodotti nell'Argentina meridionale. Al contrario, Bastidas Osejo et al. (2019) hanno segnalato prestazioni migliori di WorldClim rispetto a Chelsa in Colombia. Ahmed et al. (2019), in uno studio comparativo di database globali in diverse regioni climatiche, hanno scoperto che i database cambiano drasticamente le loro prestazioni a seconda della regione climatica; pertanto queste validazioni su scala locale sono estremamente rilevanti nella selezione delle fonti di dati per uno studio specifico.

## Conclusioni

Il nostro lavoro conferma che l'Universal Kriging rimane un metodo valido per l'interpolazione delle variabili climatiche (precipitazioni e temperatura) in aree di studio medio-piccole.

Il set di dati grigliato qui prodotto (ADAMO) è una solida media climatologica di riferimento di temperatura e precipitazioni per ogni giorno di calendario, con una precisione media di 1°C per la temperatura massima giornaliera, 1.2 °C per la temperatura minima giornaliera e 0.45 mm per la precipitazione giornaliera accumulata.

Infine, l'uso di database globali ad alta risoluzione in regioni con gradienti topografici pronunciati dovrebbe essere prima convalidato con dati a terra per approssimare meglio l'errore di precisione ed evitare così

di trasferire tali errori a modelli predittivi ecologici o climatici.

Il lavoro completo è stato recentemente pubblicato su *The International Journal of Climatology*, vedere Argañaraz et al. (2025), doi: 10.1002/joc.70153

### Riferimenti

Ahmed, K., Shahid, S., Wang, X., Nawaz, N. & Khan, N. (2019) Evaluation of gridded precipitation datasets over arid region of Pakistan. *Water*, 11, 210. <https://doi.org/10.3390/w11020210>

Bastidas Osejo, B., Betancur Vargas, T. & Martinez, J.A. (2019) Spatial distribution of precipitation and evapotranspiration estimates from WorldClim and Chelsa datasets: improving long-term water balance at the watershed-scale in the Urabá region of Colombia. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 14(2), 105–117.

Berndt, C. & Haberlandt, U. (2018) Spatial interpolation of climate variables in Northern Germany—Influence of temporal resolution and network density. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 184–202. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.002>

Bobrowski, M., Weidinger, J. & Schickhoff, U. (2021) Is new always better? Frontiers in global climate datasets for modeling treeline species in the Himalayas. *Atmosphere*, 12, 543. <https://doi.org/10.3390/atmos.12050.543>

Curci, G., Guijarro, J.A., Di Antonio, L., Di Bacco, M., Di Lena, B. & Scorzini, A.R. (2021) Building a local climate reference dataset: Application to the Abruzzo regio (Central Italy), 1930-2019. *International Journal of Climatology*, 41, 4414–4436. <https://doi.org/10.1002/joc.7081>

Fierke, J., Joelson, N.Z., Loguercio, G.A., Putzenlechner, B., Simon, A., Wyss, D., Kappas, M. & Walentowski, H. (2024) Assessing uncertainty in bioclimatic modelling: a comparison of two high-resolution climate datasets in northern Patagonia. *Regional Environmental Change*, 24, 110. <https://doi.org/10.1007/s10113-024-02278-5>

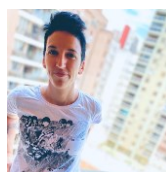
Li, J. & Heap, A.D. (2008) A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia*, Record 2008/23, 137 pp

Pepin, N.C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., et al. (2022). Climate changes and their elevational patterns in the mountains of the world. *Reviews of Geophysics*, 60, e2020RG000730. <https://doi.org/10.1029/2020RG000730>

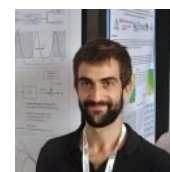
Scorzini, A.R. & Leopardi M. (2019) Precipitation and temperature trends over central Italy (Abruzzo region): 1951–2012. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 959–977. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2427-3>

Vinicius da Silva, M., et al. (2024). Geostatistical modeling of the rainfall patterns and monthly multiscale characterization of drought in the South Coast of the Northeast Brazilian via Standardized Precipitation Index. *Atmospheric Research*, 311, 107668. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107668>.

### Autori:



**Carina I. Argañaraz**  
(CETEMPS – Università dell'Aquila)



**Andreu Salcedo-Bosch**  
(CNR-IMAA)



**Simone Lollì**  
(CNR-IMAA)



**Gabriele Curci**  
(CETEMPS – Università dell'Aquila)

## Sentinelle Meteo/Climatiche a Nocera Inferiore (SA)

**CORSO SENTINELLE METEO/CLIMATICHE**  
Comune di Nocera Inferiore - Servizio Protezione Civile

**4 Lezioni Formative Aperte a Tutti**

Un percorso dedicato ai volontari di Protezione Civile e alla cittadinanza, per conoscere i fenomeni meteo e climatici, migliorare la prevenzione e adottare comportamenti consapevoli in caso di eventi estremi

**CALENDARIO INCONTRI 2025**  
ore 16:00 - 18:00

**Giovedì 20 novembre**  
**Giovedì 27 novembre**  
**Giovedì 4 dicembre**  
**Giovedì 11 dicembre**

**RELATORE**  
**Dott. Carlo Spista**  
Meteorologo - Ambasciatore Europeo "Patto per il Clima"

**CONTENUTI DEL CORSO**  
Nozioni di meteorologia, clima e cambiamento climatico  
Riconoscimento dei fenomeni atmosferici intensi  
Monitoraggio e osservazioni dal territorio  
Uso del kit della "Sentinella Meteo"  
Prevenzione, allerta e autoprotezione  
Come supportare la Protezione Civile con segnalazioni

**OBIETTIVI**  
Potenziare la cultura della prevenzione  
Rafforzare la rete delle sentinelle territoriali  
Coinvolgere attivamente i cittadini nel sistema di Protezione Civile  
Migliorare l'efficacia dell'allertamento e del monitoraggio meteo

Il Responsabile Terry per Protezione Civile  
Ing. Adele Stanzone

Città di NOCERA INFERIORE  
Servizio Protezione Civile  
Il Sindaco  
Avv. Paolo De Maio

**INGRESSO LIBERO E GRATUITO**  
Aperto a volontari e cittadini  
Aula Consiliare del Comune

**AISAM**  
Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia

Giovedì 11 dicembre, si è concluso il corso "Sentinelle Meteo/Climatiche" tenutosi a Nocera Inferiore (SA), patrocinato da AISAM e dall'European Climate Pact della Commissione Europea di Bruxelles, per divulgare la cultura Meteo/Climatica e la dottrina della prevenzione unendo scienza, istituzioni, volontari e cittadini al fine di contrastare il Cambiamento Climatico e gli eventi meteo estremi anche a livello locale.

Il nostro socio Dott. Carlo SPISTA, meteorologo e Ambasciatore Europeo Patto per il Clima, ha proposto il progetto al Comune di Nocera Inferiore che ne ha accolto con interesse le finalità. Il sindaco Avv. Paolo DE MAIO, il dirigente del C.O.C. (Centro Operativo Comunale), Ing. Adele STANZIONE ed il responsabile del Gruppo Comunale di Protezione Civile, Nicola SANTANIELLO, hanno coordinato il programma strutturandolo su 4 lezioni tenute dal nostro socio e che hanno avuto come argomenti i concetti base della meteorologia, del clima, del cambiamento climatico, delle pratiche di mitigazione e adattamento, delle norme europee SDG (Sustainable Development Goals), della cultura dell'autoprotezione e prevenzione, del riconoscimento dei pericoli



meteo/climatici, dell'organizzazione e degli organi dell'Allerta Meteo e dell'indottrinamento sull'uso del materiale in dotazione alle sentinelle.

Al termine del corso, a tutti i frequentatori, associazioni di Protezione Civile locali, volontari, studenti e cittadini, è stato rilasciato un attestato consegnato dal Presidente dell' AISAM, Col. Sergio PISANI che, esprimendo il proprio compiacimento per il vivo interesse riscontrato nella



comunità locale, ha incoraggiato a continuare il cammino intrapreso. L'occasione è stata anche motivo di divulgazione delle attività svolte da AISAM con l'invito ad associarsi.

*Autore:*



*Carlo Spista*

*(Ambasciatore Europeo per il Clima)*

## Inseguire le nuvole per capire il clima del passato

Ho sempre pensato che la scienza non fosse fatta solo di numeri e laboratorio, ma anche e forse soprattutto di paesaggi: di scarponi infangati, aria rarefatta, strumenti trasportati sulle spalle fino a 5000 metri di altitudine. Le nuvole, a cui ho dedicato la mia vita di ricercatore, non si lasciano conoscere in un'aula universitaria: per studiarle davvero, bisogna andarle a cercare.



Sono nato a Bergamo, cresciuto ai piedi delle Orobie. Da ragazzino amavo camminare in montagna, più che stare sui libri. Ma quando ho scelto di studiare chimica, ho scoperto che c'era un modo per unire le due cose: la chimica dell'atmosfera. Un campo che mi ha portato ben oltre le Alpi, dal campo base dell'Everest ai ghiacciai delle Ande, fino alle torbiere incontaminate della Finlandia. Oggi insegno all'Università di Helsinki e dirigo il gruppo di ricerca su criosfera e atmosfera. E continuo a rincorrere le nuvole.

### Le nuvole non sono solo vapore



Spesso pensiamo alle nuvole come semplici ammassi di vapore acqueo, ma in realtà, ogni gocciolina che le compone ha bisogno di un "seme" per formarsi: un minuscolo nucleo di condensazione (come li chiamiamo in

gergo), una particella sospesa nell'aria su cui il vapore può condensare. Senza quei semi, non ci sarebbe precipitazione, non ci sarebbe neve, non ci sarebbero fiumi, né vita come la conosciamo.

Il mio lavoro consiste proprio nello studiare questi semi invisibili: particelle ultrafini che possono provenire da foreste, incendi, vulcani, oceani, città. Alcune di esse raffreddano l'atmosfera riflettendo la luce del Sole, altre invece intrappolano il calore, contribuendo all'effetto serra. Capire da dove vengono, come si formano e cosa accade quando entrano in una nube, è uno degli aspetti meno conosciuti, ma più cruciali, del sistema climatico.

### Guardare al passato per capire il futuro

Per capire come il clima sta cambiando, dobbiamo confrontare il presente con il passato. Ma come si ricostruisce il passato dell'atmosfera? Una delle strade che seguiamo è quella delle misure in ambienti remoti e poco contaminati, dove l'influenza delle attività umane è minima. In questi luoghi, come le vette dell'Himalaya o le torbiere boreali della Finlandia, possiamo ancora osservare una composizione atmosferica simile a quella preindustriale. Confrontare questi dati con quelli raccolti in ambienti urbani o industrializzati ci aiuta a quantificare l'impatto delle attività antropiche sulla formazione delle particelle e, di conseguenza, sul comportamento delle nuvole.



Non solo: studiamo anche i processi di formazione delle particelle in laboratorio. Uno degli esperimenti più importanti a cui ho partecipato è CLOUD, al CERN di Ginevra, dove si riproducono le condizioni atmosferiche in una camera a nuvola controllata per capire come le molecole si aggregano e diventano nuclei di



condensazione. In parallelo, abbiamo condotto misure reali a 3600 metri di quota, sullo Jungfrauoch, per confrontare teoria e realtà.

#### **Come si inseguono le nuvole? Si va in alto.**

Negli ultimi dieci anni ho guidato e partecipato a campagne di misura nei luoghi più inhospitali e affascinanti della Terra. Portiamo con noi spettrometri di massa, sensori per la concentrazione delle particelle, rilevatori chimici portatili, camere di condensazione, flussi di aria filtrata, e anche se tutto è organizzato nei minimi dettagli, spesso l'imprevisto ci costringe a improvvisare.

In Bolivia, ad esempio, abbiamo lavorato sulle alture di Chacaltaya, una stazione meteorologica costruita sopra i 5200 metri. Sull'Everest abbiamo effettuato campionamenti al campo base, per capire l'impatto dell'inquinamento atmosferico anche in un ambiente che dovrebbe essere "puro". Sullo Jungfrauoch, abbiamo installato strumentazione in grado di funzionare anche in condizioni estreme. Non è solo una sfida scientifica: è una sfida logistica, umana, perfino filosofica.

Risulterà spontaneo chiedersi: ma perché tutto questo sforzo? Perché in alta quota, dove le interferenze sono minime, possiamo cogliere le dinamiche fondamentali dell'atmosfera. E quelle dinamiche, una volta comprese,

possono migliorare i modelli climatici, le previsioni meteo, la gestione delle risorse idriche, la nostra comprensione dei cicli globali.

#### **Feedback climatici e nuove sfide**

Uno dei temi che oggi ci interessa di più è il concetto di climate feedback, ovvero il modo in cui il sistema climatico reagisce (amplificando o attenuando) ai cambiamenti in atto. Un esempio: il riscaldamento globale accelera il degrado del permafrost, liberando in atmosfera nuovi composti organici volatili. Questi composti possono dar luogo alla formazione di nuove particelle, che influenzano la copertura nuvolosa e quindi la radiazione solare. È un meccanismo complesso, un "effetto domino" che cerchiamo di mappare passo dopo passo.

Anche le foreste, durante ondate di calore sempre più frequenti, rilasciano grandi quantità di composti volatili che alimentano questi processi. E non parliamo solo di zone tropicali: anche le foreste boreali, apparentemente tranquille, giocano un ruolo enorme nella chimica atmosferica. Per questo lavoriamo anche in Lapponia, dove le torbiere ci offrono una finestra su un'atmosfera "intatta".

#### **La scienza, tra ricerca e racconto**

Se c'è una cosa che ho imparato in questi anni, è che la scienza non parla da sola. Va raccontata. E per questo motivo ho iniziato a partecipare a festival, conferenze pubbliche, podcast, per condividere il senso del mio lavoro, e soprattutto i suoi limiti e le sue complessità. Quando diciamo che "una nube può raffreddare o riscaldare il pianeta", non stiamo facendo poesia: stiamo descrivendo uno degli aspetti più incerti del bilancio radiativo terrestre. Ma questa incertezza non è una debolezza. È ciò che ci spinge a fare meglio. È il motivo per cui saliamo su un ghiacciaio con zaini pieni di strumenti. Per cui passiamo settimane a cercare segnali quasi invisibili tra i rumori del mondo. Per cui continuiamo a inseguire le nuvole.

*Autore:*



*Federico Bianchi  
(University of Helsinki)*

## L'Impatto del Cambiamento Climatico sulla Produzione di Energia Solare in Italia

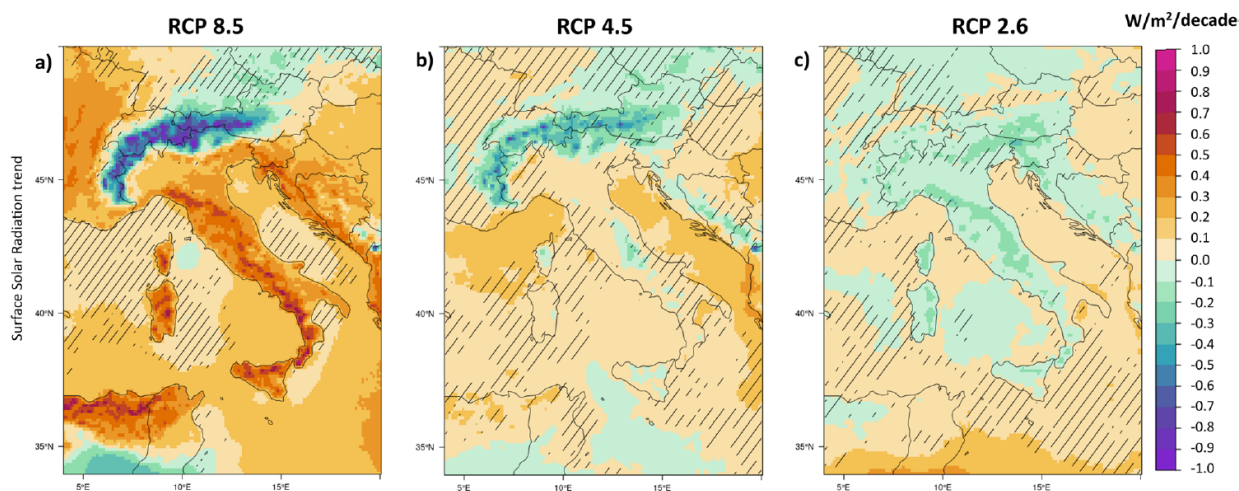
L'energia solare rappresenta un pilastro strategico per la transizione energetica italiana. Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) del 2024 [1], in linea con le direttive europee del pacchetto "FIT for 55", delinea un percorso ambizioso che prevede di incrementare la capacità fotovoltaica installata, a partire dai 21 GW installati al 2020 fino a raggiungere 80 GW al 2030. È pertanto in corso un massiccio investimento sul solare, che ha portato, già nel 2024, a raggiungere un installato di 37 GW. La sempre maggiore penetrazione di questa fonte rende il sistema energetico nazionale intrinsecamente più dipendente dalle condizioni meteorologiche e, su un orizzonte più lungo, potenzialmente impattato dal cambiamento climatico.

RSE, attraverso lo studio qui presentato e riportato sulla rivista *Regional Environmental Change* [2] ha voluto quantificare il possibile impatto del cambiamento climatico sulla producibilità fotovoltaica in Italia fino al 2100. L'analisi effettuata si è basata su un ensemble di modelli climatici regionali del progetto Euro-CORDEX e ha considerato diversi scenari di emissione di gas climalteranti, per offrire una visione quanto più completa possibile. Tra i modelli Euro CORDEX disponibili, sono stati selezionati solo quelli che includono l'evoluzione temporale degli aerosol rispetto all'uso di profili climatologici, in modo da conseguire stime più accurate della radiazione solare, alla base delle stime di producibilità. La scelta di utilizzare dei modelli regionali,

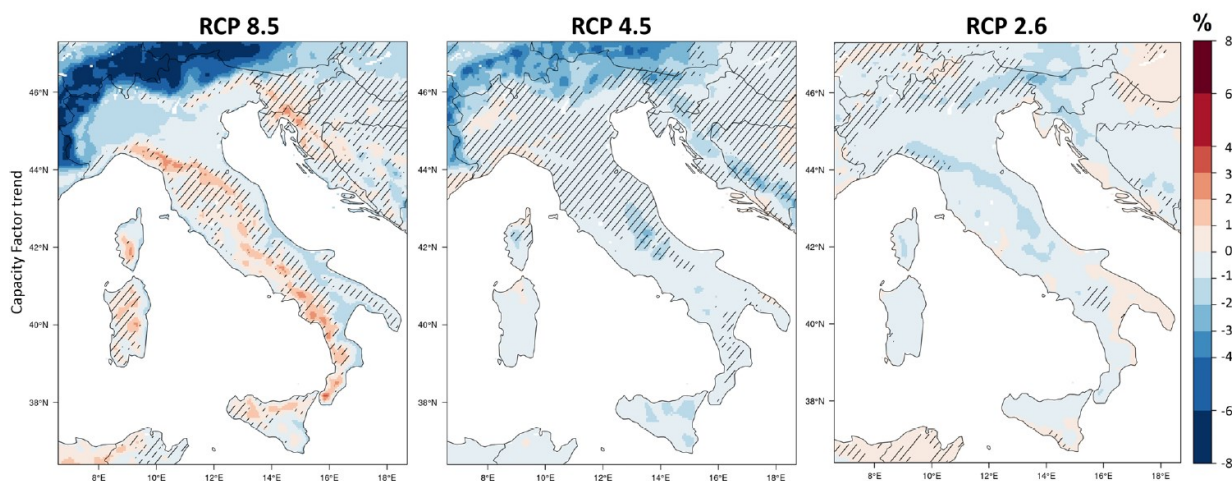
con risoluzione spaziale di circa 12 km, rispetto all'uso di modelli globali, deriva dalla volontà di avere una migliore rappresentazione orografica del nostro territorio.

L'analisi esplora l'evoluzione attesa secondo tre scenari emissivi, noti come *Representative Concentration Pathways* (RCP), che descrivono diverse traiettorie di evoluzione nella concentrazione di gas serra nell'atmosfera. Lo *scenario RCP 2.6* rappresenta lo scenario più ottimistico, in cui le emissioni di gas serra vengono drasticamente ridotte nel breve termine, portando a una stabilizzazione del riscaldamento globale; lo *scenario RCP 4.5* definisce uno scenario intermedio, in cui le politiche climatiche riescono a stabilizzare le emissioni di gas serra entro la fine del secolo; lo *Scenario RCP 8.5* è lo scenario più pessimistico, di tipo "*business as usual*" con emissioni di gas serra in continuo e rapido aumento fino a fine secolo.

La produttività di un impianto fotovoltaico dipende in modo cruciale da due variabili atmosferiche: la radiazione solare che raggiunge la superficie del pannello e la temperatura dell'aria. Benché la radiazione solare sia dominante, la temperatura influenza l'efficienza di produzione, con impatto negativo crescente all'aumentare della temperatura oltre i 25 °C. Un'analisi accurata degli impatti futuri attesi richiede la comprensione di come queste due variabili evolveranno nel corso del secolo secondo i diversi scenari climatici.



**Figura1.** Trend medio annuale cumulato su decennio dell'irraggiamento ( $W/m^2$ ) dell'ensemble dei modelli climatici regionali per i diversi scenari emissivi (a, RCP 8,5; b, RCP 4,5; e c, RCP 2,6) durante il periodo 2021–2100. Le linee diagonali indicano aree in cui il segnale non è statisticamente significativo.



**Figura 2.** Variazioni del Capacity Factor (%) cumulate nel periodo 2021–2100. Le barre diagonali indicano le aree in cui il segnale non è statisticamente significativo.

Le proiezioni per la radiazione solare globale, mostrate in Figura 1, evidenziano andamenti differenti in funzione degli scenari emissivi ipotizzati. Nelle ipotesi più pessimistiche, ovvero per RCP 4.5 e RCP 8.5, si prevede un *aumento significativo* della radiazione solare su gran parte del territorio nazionale, specialmente lungo la catena appenninica. Al contrario, nello scenario più ottimistico, RCP 2.6, si stima una leggera e generalizzata diminuzione della radiazione. Tuttavia, emerge un'eccezione di fondamentale importanza: la regione alpina. In quest'area, specialmente nello scenario RCP 8.5, i modelli prevedono una *marcata diminuzione* della radiazione solare. Questo fenomeno è attribuito alla progressiva riduzione del manto nevoso, che svolge un ruolo chiave per quanto riguarda la componente riflessa della radiazione solare. Una minore copertura nevosa riduce l'albedo, diminuendo così la radiazione complessiva disponibile per i pannelli fotovoltaici.

In relazione alla variabile temperatura, tutti gli scenari climatici concordano su un aumento della temperatura media dell'aria, sebbene con intensità diverse. Il

riscaldamento è particolarmente marcato nello scenario RCP 4.5 e, in misura ancora maggiore, nell'RCP 8.5. Ancora una volta, la regione alpina si distingue come l'area più colpita, dove l'incremento termico previsto raggiungerà i valori più elevati. Nello scenario RCP 8.5, si prevede un aumento fino a 1°C per decennio, un ritmo che potrebbe avere conseguenze profonde non solo sulla produzione energetica, ma sull'intero ecosistema montano.

Per la valutazione dell'impatto sulla producibilità, questa analisi si è concentrata sul *Capacity Factor*, che rappresenta il rapporto tra l'energia effettivamente prodotta in funzione delle condizioni meteorologiche e la massima energia che un impianto potrebbe generare in condizioni ottimali di irraggiamento e temperatura. Se da un lato una maggiore radiazione solare aumenta il potenziale di generazione elettrica, dall'altro temperature eccessivamente elevate riducono l'efficienza di produzione. Questo effetto contrastante è fondamentale per interpretare le proiezioni sulla producibilità fotovoltaica in un clima che cambia.

Scenario emissivo	Impatto Previsto sulla Produzione fotovoltaica entro il 2100
RCP 8.5	Diminuzione più significativa. Si prevede un calo superiore all'8% nella regione alpina (causato dalla ridotta radiazione) e una riduzione media di circa il 2% sulla maggior parte del territorio, dovuta all'impatto negativo delle alte temperature sull'efficienza.
RCP 4.5	Calo generalizzato, ma più contenuto. La diminuzione raggiunge il 4% nelle Alpi e si attesta intorno all'1% nel resto del Paese, con l'aumento delle temperature che controbilancia l'incremento della radiazione.
RCP 2.6	Diminuzione modesta. La riduzione è contenuta entro l'1% in gran parte del paese. In questo scenario, il calo è attribuito principalmente alla leggera diminuzione della radiazione solare, piuttosto che a un significativo aumento delle temperature.

**Tabella 1.** impatto previsto sulla produzione fotovoltaica fino al 2100 per ciascun scenario emissivo, evidenziando le differenze territoriali.

In Figura 2 vengono mostrate le variazioni del *Capacity Factor* previste a fine secolo dall'insieme dei modelli Euro-CORDEX secondo i diversi scenari RCP. La Tabella 1 riassume l'impatto previsto sulla produzione fotovoltaica cumulata fino al 2100 per ciascun scenario emissivo, evidenziando le differenze territoriali.

I risultati dell'analisi qui presentata hanno lo scopo di supportare decisioni informate per lo sviluppo energetico del nostro Paese, per aumentare la resilienza a lungo termine dell'intero sistema energetico e massimizzare l'efficacia degli sforzi verso la decarbonizzazione.

È importante osservare che, attualmente, la maggior parte degli impianti fotovoltaici italiani è concentrata nelle aree di pianura e nel centro-sud, dove le variazioni di producibilità previste sono relativamente limitate. Il calo atteso nella regione alpina deve però essere attentamente valutato nella pianificazione di impianti in alta quota, come le installazioni su dighe, in quanto potrebbero rivelarsi meno performanti del previsto in un clima futuro più caldo.

Lo studio ha lo scopo anche di guidare la ricerca verso nuove strategie di mitigazione e adattamento quali:

- **Tecnologie innovative:** Sviluppo di celle fotovoltaiche di nuova generazione meno sensibili all'aumento delle temperature o l'integrazione di sistemi di raffreddamento attivi o passivi.
- **Pannelli solari bifacciali:** Questi pannelli sono in grado di catturare la radiazione solare da entrambi i lati (diretta e riflessa), aumentando significativamente l'efficienza complessiva, specialmente su superfici riflettenti.
- **Sistemi a inseguimento solare (tracker):** Strutture motorizzate che orientano i pannelli per seguire il percorso del sole, massimizzando la cattura dell'irraggiamento disponibile e aumentando la resa energetica dal 15% al 35% per i sistemi a singolo asse e dal 25% al 50% per quelli a doppio asse. Tuttavia, queste tecnologie sono più costose e richiedono maggiore manutenzione a causa delle componenti motorizzate.
- **Diversificazione e accumulo:** L'integrazione del solare con altre fonti rinnovabili, come l'eolico e

l'idroelettrico, e l'abbinamento con sistemi di accumulo energetico (batterie) sono fondamentali per compensare le fluttuazioni di produzione e garantire la stabilità della rete elettrica.

In sintesi, questo studio evidenzia come il cambiamento climatico potrà avere un impatto anche sulla produzione di energia fotovoltaica in Italia nel corso di questo secolo, sebbene in modo generalmente modesto sulla maggior parte del territorio. Il messaggio chiave è che, negli scenari emissivi più pessimistici, sarà l'aumento delle temperature a giocare il ruolo predominante. Questo fattore avrà un effetto significativo sulla riduzione di efficienza degli impianti, controbilanciando e in molti casi annullando i benefici derivanti da un potenziale aumento di irraggiamento. La regione alpina rappresenta un'eccezione critica, dove si prevede un calo significativo della produzione a causa della diminuzione dell'irraggiamento, legata alla progressiva scomparsa del manto nevoso. Questo dato impone una riflessione strategica sulla localizzazione dei futuri impianti in alta quota. Assicurare il successo della transizione energetica richiederà un duplice approccio strategico: da un lato, l'adozione diffusa di tecnologie innovative capaci di mitigare il calo di efficienza dovuto alle alte temperature su scala nazionale; dall'altro, una ricalibrazione attenta dei piani di sviluppo in aree alpine, dove la sfida principale sarà la prevista diminuzione della risorsa solare stessa.

## Bibliografia

- [1] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), «Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima. Revisione 2024», Governo Italiano – MASE, Roma, 2024.
- [2] R. Bonanno e E. Collino, «Assessing the impact of climate change on solar energy production in Italy», *Regional Environmental Change*, 25: 78, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10113-025-02417-6>.

*Autori:*



*Riccardo Bonanno*



*Elena Collino*

*(RSE SpA - Ricerca sul Sistema Energetico)*

## APPROFONDIMENTO

### Un commento matematico sulla Decomposizione di Reynolds - Parte III

#### Un commento matematico sulla Decomposizione di Reynolds

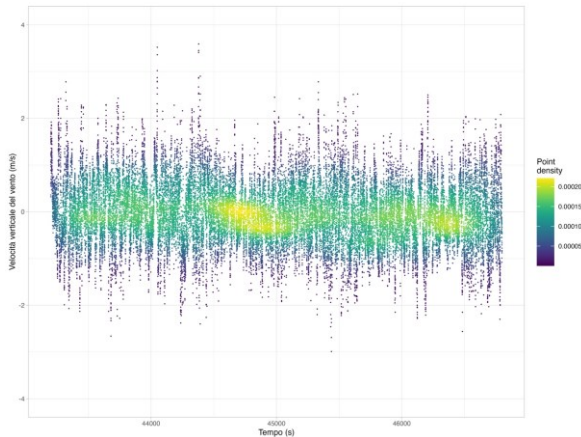
#### 1. Operatori di *smoothing*, e vere medie

Riprendiamo la promessa che avevo fatto alla fine della seconda puntata, e ripartiamo da una domanda: quante medie possibili esistono?

In effetti, le condizioni di Reynolds lasciano molta libertà – anche se, come vedremo, meno di tutta quella che a volte si vorrebbe.

E forse vale proprio la pena di fare un passo indietro e partire proprio da questo “si vorrebbe”.

Nella figura 1 vediamo il caso concreto di una misura di velocità *verticale* del vento.



**Figura 1.** Misure di velocità del vento rilevate dalle 12 alle 13 del 16. 07. 2025 dall'anemometro ultrasonico tri-assiale di Cinisello Parco Nord (rete SHAKEUP, ARPA Lombardia); il diagramma è uno “scatter plot” che evidenzia la densità dei punti sperimentali: il colore giallo indica che i punti rilevati sono più fitti

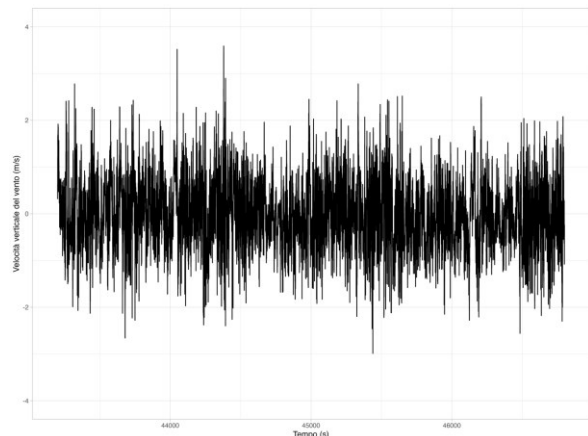
La mia scelta di usare uno “scatter plot” invece che una rappresentazione a linee non è casuale: se lo avessi fatto, avrei ottenuto un grafico come quello in figura 2, che in teoria vorrebbe dire la stessa cosa, ma in realtà racconta una storia molto diversa.

Vale la pena di capire *perché*. La differenza principale tra le figure 1 e 2 è che nella seconda vediamo in modo esplicito la “freccia del tempo”: se due punti sono connessi da una linea allora siamo assolutamente sicure che uno dei due (il primo in ordine di indice) precede immediatamente l'altro anche in termini di tempo.

Questo modo di mostrare le cose potrebbe apparire più ricco di quello che abbiamo incontrato in figura 1, ma, primo, con così tanti punti (36000: l'anemometro ultrasonico rilascia dati ad un rateo di 10 Hz) anche all'alta risoluzione che ho usato è impossibile cogliere la

pendenza delle singole linee, che appaiono tutte, senza eccezioni, come linee nere verticali.

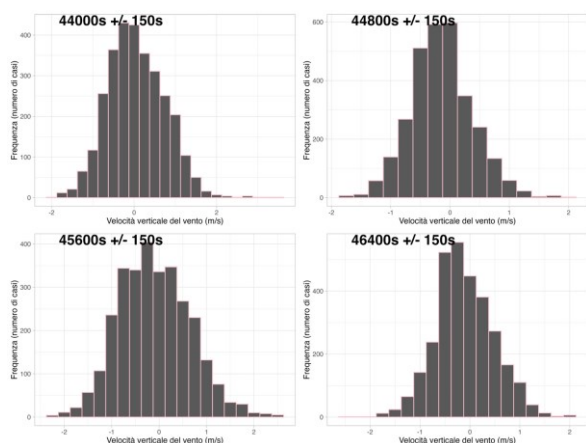
Secondo, e per certi aspetti più grave, è il fatto che se invece che a 10 Hz avessi chiesto all'anemometro di campionare a 40 Hz, tra due punti dei punti sperimentali che vediamo connessi da una singola linea nella figura 2 ce ne sarebbero stati altri 3, magari (non dimentichiamo che i moti dell'aria a ridosso della superficie terrestre avvengono praticamente solo in regime turbolento) con valori *molto* diversi di velocità verticale. In altre parole, la nostra “linea di congiunzione” dovrebbe essere una spezzata, tanto più complicata quanto più aumentiamo la frequenza di osservazione, su, su, sino al limite dell'agitazione termica delle molecole (con alcuni anemometri ultrasonici “da ricerca” si arriva al massimo a 100 Hz, ma il fenomeno in realtà continua sino ai kHz, e oltre...).



**Figura 2.** Gli stessi dati della figura 1, presentati questa volta per linee

La figura 2, *ma molto di più la figura 1*, si evocano immediatamente la sensazione di una sorta di “valore di vento più frequente”, che cambia nel tempo, ma lo fa con una certa calma e regolarità. Almeno, in modo molto più calmo rispetto alle singole misure.

Se avessimo un modo per costruire gli istogrammi “istantanei” delle letture di vento verticale, questo “valore più comune” coinciderebbe con la moda della distribuzione di probabilità empirica istantanea del vento. Appunto, sarebbe bello. Ma per poterla vedere avremmo necessità di misure raccolte con un passo temporale molto più fitto rispetto a 10 Hz. Il massimo che possiamo fare è di approssimarla, prendendo i dati a cavallo di un



**Figura 3.** Istogrammi della velocità del vento determinati su dati spazati nel tempo all'interno della stessa ora, per una lunghezza di 5 minuti

istante assegnato, per una profondità a sinistra e a destra di qualche secondo. Ed è quanto vediamo in figura 3.

Volendo, a livello di rappresentazione grafica potremmo fare ancora meglio, e andare per esempio a suddividere l'intera ora in blocchetti di 5 minuti di lunghezza, per poi associare a ciascun blocchetto un "box plot", un comodissimo tipo di grafico che presenta, in un certo senso, numerosi istogrammi a colpo d'occhio: ciò che possiamo vedere in figura 4.

Nella vita può essere sempre utile sapere come leggere i "boxplot": casomai qualcuno o qualcuna volesse adoperarli per tentare di convincerci di qualcosa.

Dunque. Le "scatole", i rettangoli con il bordo sottile, rappresentano la porzione di dati che va dal 25° al 75° percentile.

La linea orizzontale spessa all'interno di ogni scatola (la cosa che in questa sede ci interessa di più) rappresenta la *mediana*.

Quelle che se le scatole fossero figure di volti di gatto sarebbero le vibrisse stilizzate, cioè le linee verticali che partono da ogni scatola, e vanno verso l'alto e il basso, rappresentano visivamente la variazione che ci aspetteremmo dai dati se *tutti*, senza eccezioni, si conformassero alle ipotesi di chi ha inventato i diagrammi a scatole<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Per quanto non è frequente trovare diagrammi a scatole sui quotidiani (nella letteratura accademica si trovano invece come il prezzemolo), la loro storia è lunghissima.

La prima versione risale al 1950, inventata dalla professoressa Mary Eleanor Spear, che li aveva presentati per la prima volta alla pagina 166 del suo famoso (e, temo, dimenticato dai più) libro *Charting statistics*. La versione moderna dei "box plot" risale a un po' di anni dopo quando, nel 1977, John Tukey diede alle stampe il libro *Exploratory Statistics*. Ventisette anni: un terzo nella vita di una persona. Un tempo lungo, o

Le palline, infine, ci informano della presenza e del valore di eventuali "outlier", valori cioè che *non* si conformano alle aspettative (numeriche) del loro inventore.

Torniamo alle linee orizzontali spesse, che ho detto rappresentare le "mediane". La mediana, per inciso, è quel valore che separa in due un campione di dati: metà stanno sopra, metà sotto.

Come tale, è uno dei modi per farci un'idea della tendenza centrale di una distribuzione statistica.

È l'unico? Oh, no. Avessimo tra le mani un istogramma, come in figura 3, potremmo andare a cercare qual è la banda più alta, e dire che quella, la "moda maggiore" della distribuzione, rappresenta la tendenza centrale. (Acci: *peccato*, perché molte distribuzioni incontrate in pratica di bande che spiccano rispetto alle altre (di "mode") ne hanno spesso più di una, e in alcuni casi è difficile stabilire a occhio quale sia la maggiore; ed anche se ciò fosse possibile, l'esistenza di altre mode, e il modo in cui spiccano rispetto alle bande vicine, magari nasconde altre informazioni utili.)

Oppure, possiamo adoperare la media aritmetica. Facile da calcolare (a differenza della mediana, per esempio, non ci costringe a ordinare i dati, cosa *pesantissima* in termini computazionali: nel caso della media di  $n$  dati, e volendo fare la grezzona a tutti i costi, direi che ce la possiamo cavare con  $n-1$  somme e una divisione). Ma che però rappresenta la tendenza centrale in modo decente solo se la distribuzione dei dati è simmetrica (cosa che nelle misure di robe che hanno valori sempre non negativi non accade quasi mai).

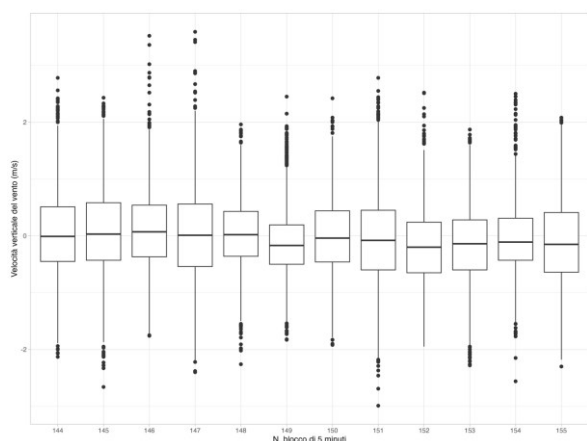
La cosa che però mi preme di più di far notare è che per determinare questa "tendenza centrale" ho a disposizione almeno tre modi diversi (in realtà ne esistono molti di più).

A questa varietà dobbiamo aggiungere un altro problema, molto più di fondo. Cos'è il vento medio, in senso fisico?

Pragmaticamente, potremmo intenderlo come l'andamento temporale della funzione che descrive il vettore vento una volta che da quello abbiamo tolto tutte le fluttuazioni, turbolente e non.

Ora, facciamo anche finta di ignorare l'ambiguità di fondo che c'è dietro tutti i metodi sino ad ora conosciuti, che dipendono dalla scelta di un parametro come il "tempo di

breve, o... Ma *quei* ventisette anni particolari hanno segnato una cesura storica nelle scienze sperimentali: nel 1950 il *computer* era una curiosità remota, conosciuta nei mondi militare e accademico, e che non era ancora chiaro fosse utile o no. Nel 1977 i *computer* erano già dilaganti nell'industria, negli Atenei, nei Centri di Ricerca. E nel giro di qualche mese l'ondata sarebbe arrivata nelle case private.



**Figura 4.** Diagramma a scatole delle distribuzioni di velocità verticale del vento dalle 12 alle 13 del 16. 07. 2025; ogni blocco temporale ha una durata pari a 5 minuti

mediazione” (prometto che su questo argomento ci torneremo).

Resta un problema interessante, e piuttosto di fondo.

## 2.Regolarità

In termini fisici, una “media” vorrebbe rappresentare l’andamento del vento, appunto, “medio” che, come abbiamo visto, potremmo definire come il moto di una massa d’aria al netto delle fluttuazioni turbolente e di quei “fenomeni a bassa frequenza” sui quali è in corso un’attiva investigazione.

Ma se togliamo le fluttuazioni, quello che rimane deve per forza di cose essere regolare. Può variare, ma deve farlo con continuità, ed in modo graduale.

Regolarità.

Variazioni continue e graduali.

Magari, e figuriamoci se non è così, differenziabili con continuità tutte le volte che vogliamo.

Queste sono *anche* le caratteristiche associate al moto in regime laminare.

Ma allora il vento medio è “laminare”?

Una risposta sensata in termini pragmatici è “no”. Per prevedere questo vento medio dovremmo applicando le equazioni della dinamica dei fluidi, e in particolare le equazioni “Reynolds-Averaged Navier-Stokes” (RANS per gli amici).

Queste on sono proprio esattamente la versione ottenuta prendendo le equazioni di Navier Stokes e sostituendovi tutte le variabili istantanee con le medie: ci sono infatti dei termini in più, proporzionali alle covarianze delle velocità nelle varie direzioni degli assi coordinati. Le soluzioni delle RANS sono, così, figlie *anche* di questi termini in più, e per questo devieranno da soluzioni “istantanee e laminari”.

Uhm. Quindi il vento medio ha una sua coerenza fisica... E però la sua definizione non è univoca, visto che dipende dalla media.

## 3.Medie, e medie, e medie ancora

Per ottenere le RANS partendo dalle equazioni di Navier-Stokes “normali” è necessario applicare una decomposizione di Reynolds, riferita ad un operatore media a priori ignoto, ma che *per permettere i passaggi della derivazione devono soddisfare a tutte le condizioni di Reynolds*. Insomma, niente condizioni, niente RANS, e niente previsioni.

Le condizioni di Reynolds, quindi, sono *indispensabili* se vogliamo ragionare in termini modellistici.

Nella scorsa puntata abbiamo visto il caso della “media a blocchi”, quello che al momento mi sembra il più in voga nella comunità scientifica, ed abbiamo veduto come di suo soddisfi le condizioni di Reynolds *entro un singolo tempo di mediazione*.

Ma nei libri di Monin & Yaglom, e nelle mie precedenti puntate, si diceva che le medie possono anche essere “molte”: *tutti* gli operatori che data una funzione la trasformano in un’altra, a condizione che soddisfino le condizioni di Reynolds.

Tra queste, vi dico subito che la più difficile è quella che, sulla carta, sembra la più innocua:

$$\overline{\dot{x}} = 0$$

o meglio, una sua conseguenza immediata:

$$\overline{\dot{x}} = \dot{\overline{x}}$$

In matematica: l’operatore media è una *involuzione*. Se lo applicate a una funzione che sia già passata nelle sue grinfie, ottenete esattamente la funzione di prima.

Possiamo anche dirla in un altro modo: la media è una proiezione dello spazio delle funzioni su un sottospazio, quello delle funzioni media-invarianti.

E magari tutte le “medie” che vengono in mente godessero di questa prerogativa...

Nella figura 5 possiamo vedere alcune medie, determinate a partire da uno stesso insieme di dati.

Della media a blocchi abbiamo già visto.

L’operatore LOESS è una regressione polinomiale locale, molto usata nella pratica dell’analisi dei dati per interpolare nubi di punti delle quali non si sappia granché. Molto spesso ci piglia. Dipende da due parametri arbitrari: il grado dei polinomi (che però quasi sempre è fissato a 2) e lo “span”, un valore che rappresenta (più o meno) l’ampiezza dell’intorno entro cui vengono cercati i punti di interpolazione.

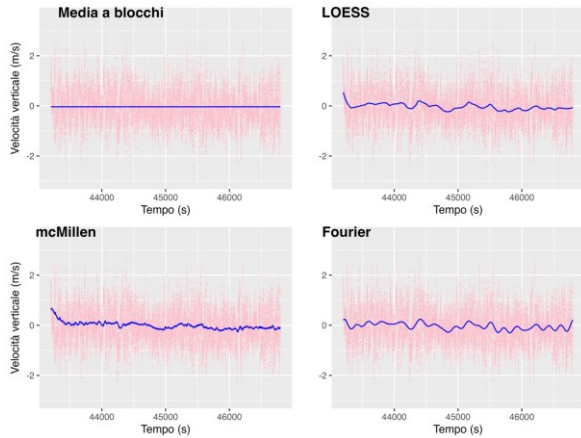


Figura 5. Alcune possibili funzioni-media calcolate a partire dalla stessa ora di Cinisello Parco Nord usata nelle altre figure

La “media di mcMillen”, usata tempo fa specialmente nella comunità della Ecosystems Ecology, definita così:

$$y_1 = x_1$$

$$y_i = \beta y_{i-1} + (1 - \beta)x_i \quad i = 2, \dots, n$$

( $0 \leq \beta \leq 1$ , con valori vicini ad 1 corrispondenti a un effetto di liscio molto aggressivo).

La “media di Fourier” è un filtro di tipo brutale nel dominio delle frequenze, definito dalla procedura

- Si pone  $z = DFT(x)$ , dove  $DFT$  è la trasformata di Fourier discreta.
- Si forzano a 0 tutte le componenti della trasformata che competono a frequenze maggiori o uguali della frequenza-soglia  $f_0$  (il parametro arbitrario!).
- Si antitrasforma il risultato, e si assume  $\bar{x}$  pari al risultato.

Bene: di queste quattro “medie”, solo la prima (media a blocchi) e l’ultima (media di Fourier) soddisfano alla condizione di involutorietà.

E di più: sono anche entrambe lineari nel loro argomento.

Le “medie” di mcMillen e LOESS, invece, non soddisfano alla condizione di involutorietà (provare per credere), e dunque non sono vere e proprie “medie”. Anche se, onestamente, sono visivamente molto attraenti.

(E se non sono “medie”, allora non è materialmente possibile usarle per costruirci sopra delle RANS e tutta la relativa modellistica del caso.)

Direi, basta così per adesso. Nella prossima puntata, se ci sarà, vedremo quali possono essere le conseguenze (nel male e nel bene) dell’arbitrarietà della scelta del parametro che definisce la particolare attuazione di media nella sua rispettiva famiglia.

Autore:



Patrizia Favaron

“Ve lo avevo detto, io!”

Era, credo, il 1986. E noi tre avevamo appena consegnato il risultato della tesina-di-gruppo che costituiva lo scritto dell’esame di Calcolo Numerico, che a quel tempo a Milano a Matematica era tenuto dal professor Cugiani e dai suoi assistenti, i prof. Bozzini e Tirani.

Bellissimo, quell’esame.

E bellissimo anche il nostro tema d’esame: “trovate un modo per moltiplicare matrici sparse”. Sparse, quanto? Ma sì: tanto, poco. Insomma, qualsiasi cosa. Utile, anche? Dài, sì, anche utile: le matrici sparse sono il pane e companatico di tutti i metodi iterativi noti per risolvere sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali (e ordinarie, volendo).

Solo che in quei casi le matrici sparse hanno forme molto particolari, di cui una persona sana di mente trarrebbe vantaggio per evitare che, iterazione dopo iterazione, la matrice del sistema da risolvere smetta di essere sparsa e faccia esplodere i tempi di calcolo.

Per noi dell’indirizzo Applicativo Calcolo Numerico era un esame importantissimo, uno di quelli grazie ai quali immaginavi di avere qualche chance nel trovare un lavoro diverso dall’insegnare alle Media (lo sbocco naturale e ovvio, a quei tempi).

E quanto a me, visto che il problema mi piaceva, assunsi immediatamente un ruolo di leadership tipo Geometra Filini. La soluzione fu... Ehm... Ecco... Un po’ troppo generale? Tanto che il carattere di sparsità, in alcuni casi particolarmente messi male, si perdeva già al primo passo. Peppola...

Ma purtroppo, il programma funzionava e così, con aiuto pressoché tendente a zero dai miei due amici, decisi di tirare diritto.

L’esame andò, diciamo, esattamente come doveva andare. Il prof. Tirani non fece, bontà sua, menzione sull’estrema inefficienza del “metodo”: ma ci chiese tutta una serie di cose sulla rapidità di convergenza dei metodi iterativi, sul numero medio di operazioni necessarie per risolvere un sistema lineare con il metodo di Gauss, e via così (con una sensazione preoccupante che ci stesse un po’ prendendo in giro, come il gatto che gioca con i topolini). Ho anche il vago ricordo che, primo, in molte occasioni fui io a rispondere alle domande che il prof aveva posto ai miei due amici a proposito del nostro Metodo (“Insomma, ma la pianti, una buona volta!”). Poi, ciliegina sulla torta, riuscii a litigare con la prof. Bozzini circa l’utilità delle approssimazioni razionali.

Passammo l’esame, tutti e tre. E fu solo alcuni anni dopo che realizzai quanto la nostra (vabbé, ecco, praticamente mia) soluzione fosse profondissimamente sbagliata.

Altri ancora, per realizzare che, primo, le approssimazioni razionali in realtà sono utilissime e a volte bellissime, e, secondo, che ne avrei adoperate anch’io tante, più o meno intenzionalmente...

Vorrei portare un fiorellino di scuse a tutti e due, il prof. Tirani e la prof. Bozzini. E, credo che lo farò. Magari, appena spedisco questo articolo al nostro fantastico redattore.

E dai, già che ci sono, estendo: Buon Natale 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.

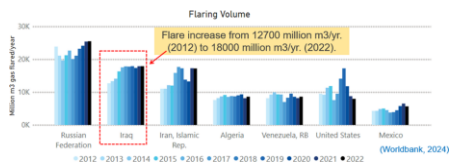
#### Editor-in-Chief

Silvana Di Sabatino, Paolo Di Girolamo

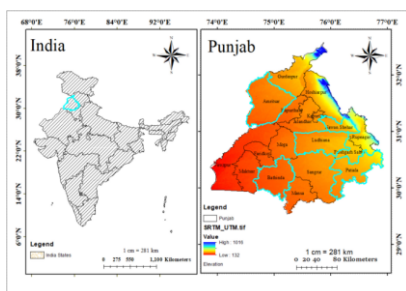
Il *Bulletin of Atmospheric Science and Technology* continua ad arricchirsi di nuovi articoli: nel corso degli ultimi tre mesi sono stati pubblicati quattro nuovi articoli.

Si coglie l'occasione per ricordare che è tuttora aperta la raccolta di articoli in diverse collezioni tematiche, consultabili all'indirizzo:

<https://link.springer.com/journal/42865/collections?filter=Open>



Khoshnaw, F.A.H., Hamoudi, M.R. & Jaf, P. *Remote sensing and algorithmic methods for GOR monitoring to improve gas production allocation in hydrocarbon production for an oil field in North of Iraq.* Bull. of Atmos. Sci. & Technol. 6, 27 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42865-025-00114-0>



Krishna, A.B., Prabhjyot-Kaur, Kaur, S. et al. *Multi-decadal annual and seasonal temperature variability from 1951 to 2095 over Indian Punjab— A non-parametric statistical approach.* Bull. of Atmos. Sci. & Technol. 6, 26 (2025). <https://doi.org/10.1007/s42865-025-00113-1>

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

### L'ordine professionale dei fisici e dei chimici: riguarderà i meteorologi?



Da quest'estate ci sono novità nella intricata normativa che - almeno sulla carta - regola le attività professionali dei laureati in fisica...e quindi, forse, anche dei meteorologi e delle meteorologhe che operano in Italia.

A che punto eravamo? Una storia più completa sulla nascita e la natura dell'ordine dei fisici si può trovare nell'articolo di questa stessa sezione della [newsletter AISAM 4/2021](#), ma riassumo brevemente qui: nel 2018 è nato, dal vecchio ordine dei chimici, l'ordine dei chimici e dei fisici, con due nuovi albi professionali "Fisico" e "Fisico junior", e da allora la professione di fisico è diventata riservata ai soli iscritti all'albo. Ma qual è la *professione di Fisico*? Quella con la F maiuscola?

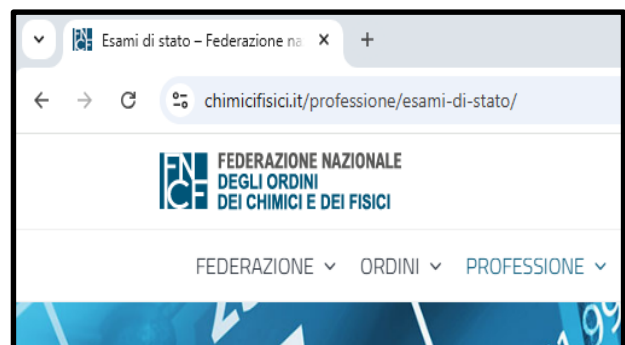
La legge **3/2018** non lo spiega, e rimanda a successivi decreti ministeriali e regolamenti futuri i due temi fondamentali:

- le modalità di accesso agli albi dei professionisti;
- l'elenco delle professioni riservate agli iscritti all'albo.

Alla fine del 2021, in affannosa uscita dalla pandemia covid, i decreti e i regolamenti previsti dalla legge 3/2018 non erano ancora arrivati. È però intervenuta la legge **163/2021**: "*Disposizioni in materia di titoli universitari abilitanti*", scritta con l'obiettivo di rendere più veloci le procedure di accesso e abilitazione professionale; grazie a questa ultima legge, molte professioni ordinarie diventano accessibili semplicemente con il titolo universitario. Purtroppo, anche la legge 163/2021 si appoggia a successivi decreti interministeriali per adeguare i corsi di laurea e permettere che con il titolo

accademico arrivi anche l'abilitazione professionale, ma prevede che nelle more dell'adeguamento dell'esame di laurea ai nuovi requisiti si possa formulare un esame di stato "con modalità semplificate" grazie a cui i/le neolaureati/e possano ottenere l'abilitazione.

E, finalmente, a fine novembre 2025, è stato pubblicato il [decreto interministeriale 609/2025](#) che spiega come si dovrà svolgere l'esame di stato a "modalità semplificate" per l'accesso all'albo dei fisici: "... *un'unica prova orale volta ad accertare l'acquisizione delle nozioni e abilità [...]: legislazione e deontologia professionale; misura di grandezze fisiche e relativi strumenti e apparecchiature; analisi e trattamento di dati sperimentali; propagazione delle onde meccaniche e acustica; propagazione della luce e strumentazione ottica; osservazione, analisi e simulazione di fenomeni fisici meccanici, termici ed elettromagnetici; efficienza energetica; [...] propagazione di campi elettromagnetici e di particelle cariche e neutre, loro interazioni con la materia, relative spettroscopie e loro applicazioni; dosimetria e protezione da radiazioni ionizzanti e non ionizzanti; modellizzazione, simulazione e validazione fisico-matematica di variabili e processi; trattamento di grandi quantità di dati.* "



Quasi risolta l'*impasse*. Resta, però, ancora un "piccolo" nodo da sciogliere, e per la nostra comunità è un nodo importante: quali sono, tra le varie professioni a cui si può dedicare un/una laureato/a in fisica, quelle riservate solo ai professionisti regolarmente iscritti all'Ordine? I Ministeri che hanno redatto nel D.l. 609/2025, indicano il Presidente della Repubblica, previa deliberazione del Consiglio dei ministri, come soggetto istituzionale competente a prendere questo ultimo provvedimento necessario ad applicare in modo univoco e limpido la l. 3/2018.



**Che probabilità c'è che la meteorologia previsionale, o la fisica dell'atmosfera, o la climatologia,** rientrino tra le professioni riservate? Se così fosse, molti professionisti che attualmente operano in Italia non potrebbero più fare il loro lavoro: chi è laureato in ingegneria, geofisica, scienze nautiche non potrebbe - nemmeno volendo - iscriversi all'Ordine, e quindi i colleghi non potrebbero più esercitare la loro professione.

Conviene alla nostra comunità professionale questa rigidità?

Le opinioni sono diverse, ma qui ricordiamo che, sì, rendere la meteorologia una professione riservata potrebbe tutelare il pubblico da informazioni scorrette, ma è solo una delle possibili strade per farlo: esiste anche la **strada associativa**, formalizzata con la **legge 4/2013** sulle professioni non regolamentate in ordini e collegi. E in Italia esiste un'associazione professionale riconosciuta

dal Ministero dell'Economia che applica la legge 4/2013 al nostro settore ([AMPRO](#)), ed esistono anche sistemi di certificazione terza delle competenze.

La Sezione Professionisti di AISAM guarda con attenzione al tema della professione del meteorologo, e a breve organizzerà, in collaborazione con gli altri enti interessati, una serie di incontri per chiarire e condividere il tema con la nostra comunità professionale.

Nel frattempo, aspettiamo (con pazienza) gli aggiornamenti normativi...

Stay tuned!

*Autore*



*Marta Salvati*  
(Sezione Professionisti)

## SEZIONE GIOVANI

### *Prima AISAM students' conference*



Figura 1. Foto di gruppo dei partecipanti alla students' conference.

Il 22 e 23 novembre 2025 si è svolta, durante l'11° *Festival della Meteorologia*, la prima conferenza italiana degli studenti in scienze dell'atmosfera e meteorologia a Rovereto (TN), denominata "*AISAM Students' conference*". La conferenza ha offerto un'importante occasione di incontro per i giovani studenti di scienze dell'atmosfera e meteorologia, che hanno potuto conoscere i colleghi di altre università, dialogare tra pari, ma anche con i professionisti e docenti presenti, e presentare i risultati di un loro progetto tramite presentazione orale o poster in una conferenza scientifica. Gli studenti hanno partecipato con entusiasmo, presentando lavori di elevato livello scientifico, e costruendo un clima cordiale e di amicizia tra di loro. C'è stata anche una partecipazione sopra le aspettative di pubblico non iscritto alla conferenza, tanto che l'aula Magna del Palazzo Piomarta dove si è svolta la conferenza è stata spesso riempita.

43 studenti hanno inviato i loro contributi alla conferenza, che sono stati distribuiti in 23 presentazioni orali da 8 minuti (più due minuti di domande) e 16 presentazioni

posters. Gli argomenti delle presentazioni erano molto diversificati, spaziando dallo studio degli aerosol e qualità dell'aria, agli eventi meteo estremi e alla dinamica del clima, con numerosi contributi anche di analisi climatiche dei dati di osservatori meteo storici.

Ci sono stati 3 interventi ad invito. Il primo intervento è stato del prof. Silvio Davolio dell'Università Statale di Milano, il quale ha illustrato i vari corsi di laurea in scienze dell'atmosfera in Italia. La ricercatrice Beatriz Monge-Sanz dell'Università di Oxford ha invece raccontato la sua esperienza di ricerca internazionale, delineando le sfide maggiori che questa disciplina sta affrontando in questi ultimi anni. Il Tenente Raffaele Stefano Cattolico ha dunque presentato l'Aeronautica Militare agli studenti e ha descritto le possibilità di impiego all'interno di quell'istituzione. Infine, il Direttore dell'Agenzia ItaliaMeteo Carlo Cacciamani ha fatto il quadro della professione del meteorologo nel servizio pubblico in Italia, presentando anche l'Agenzia agli studenti. L'Agenzia ItaliaMeteo è stato un partner fondamentale per questa prima edizione della conferenza, perché ha offerto agli

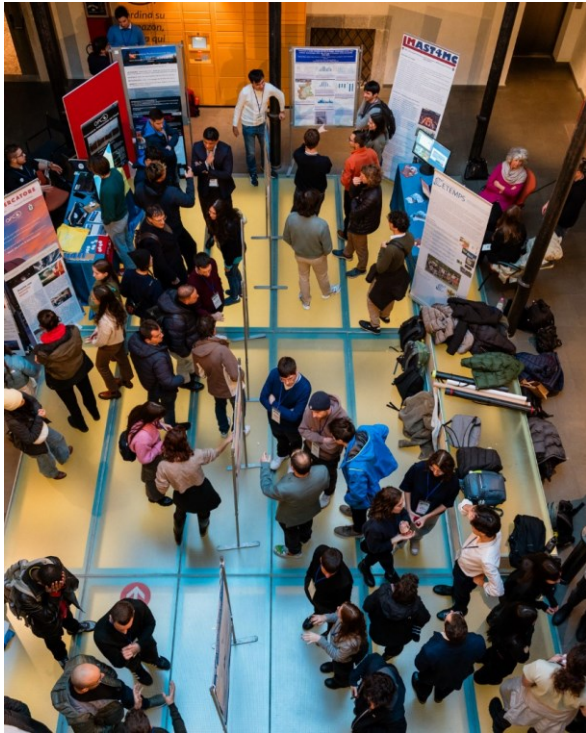


Figura 2. sessione poster della students' conference

studenti l'alloggio all'ostello di Rovereto e un'apericena la sera del sabato, in cui gli studenti hanno potuto continuare a fare networking e conoscersi tra di loro.

A fine conferenza sono stati premiati i migliori contributi secondo la giuria scientifica, presieduta dal prof. Marcello Petitta dell'Università Roma 3, e secondo il voto del pubblico. Il premio di miglior presentazione orale per la giuria scientifica è stato assegnato ad Arianna Magagna dell'Università di Bologna, che ha presentato *"Simulating NAO-Driven AMOC Collapse Using a Rare Event Algorithm in the PlaSim-LSG Climate Model"*. Giulio La Rovere di INAF-IAPS Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali ha vinto il premio di miglior presentazione poster per la giuria scientifica, con un contributo intitolato *"Identification of the principal characteristics of an Ionospheric Langmuir Probe for future satellite space missions"*. Federico Pavan dell'Università di Bologna ha vinto il premio di miglior presentazione orale per il pubblico con un contributo dal titolo *"Un aggiornamento della climatologia dei tornado in Italia"*. Infine, Lorenzo Sacco dell'Università dell'Aquila - La Sapienza ha vinto il premio di miglior presentazione poster per il pubblico, con un contributo intitolato *"Numerical analysis of the flash-flood DANA in the 29th of October 2024 in the Valencia region"*.

A fine conferenza è stato sottoposto un questionario agli studenti per aiutare noi organizzatori a capire se l'iniziativa fosse stata apprezzata e per raccogliere suggerimenti su come migliorare la conferenza in futuro. Alla domanda se la students' conference fosse stata considerata un'iniziativa valida è stato attribuito un



Figura 3. intervento ad invito del Direttore dell'Agenzia ItaliaMeteo Carlo Cacciamani

punteggio medio di 4,76 su un massimo di 5. Alla domanda se la conferenza avesse soddisfatto le aspettative, invece, è stato attribuito un punteggio medio di 4,46 su 5. Dunque, gli studenti hanno apprezzato molto l'iniziativa, incoraggiandoci a organizzare la prossima edizione. Inoltre, ben 20 studenti hanno lasciato i loro indirizzi e-mail per essere ricontatti al fine di contribuire ad organizzare la prossima edizione, confermando l'entusiasmo che l'iniziativa ha raccolto tra gli studenti!

Questa iniziativa, promossa dalla sezione studenti di AISAM, vuole fare il paio con il corso di previsione meteorologica operativa, sempre organizzato da AISAM in collaborazione con l'Agenzia ItaliaMeteo. Mentre il corso di previsione meteorologica operativa offre la possibilità



Figura 4. comitato organizzatore della conferenza. Da sinistra Francesco Sioni, Erika Brattich, Marcello Grenzi, Annalina Lombardi, Dino Zardi, Francesco De Martin, Silvia Plotgher, Giacomo Giuliani, Marcello Petitta e Carlo Cacciamani. Manca Chiara Ventrucci, che si trovava negli Stati Uniti per motivi di studio.



**Figura 5.** premiazione dei migliori contributi. Con l'attestato si riconoscono da sinistra Giulio La Rovere, Arianna Magagna, Federico Pavan e Lorenzo Sacco.

agli studenti universitari di migliorare e testare le loro capacità di previsione meteo, la conferenza vuole dare l'opportunità agli studenti di presentare i propri primi risultati di ricerca scientifica. Entrambe le iniziative mirano a favorire il networking tra studenti di scienze dell'atmosfera in Italia, e a connetterli con il mondo accademico, dei servizi e del privato. Con l'ambizione a medio e lungo termine di produrre una comunità di professionisti coesa e intraprendente.

Un ringraziamento finale è dovuto a tutto il comitato organizzativo, composto da Erika Brattich, Francesco De Martin, Giacomo Giuliani, Marcello Grenzi, Annalina Lombardi, Marcello Petitta, Francesco Sioni, Chiara Ventrucci e Dino Zardi. Un grande grazie all'Agenzia ItaliaMeteo per il supporto economico agli studenti.

Inoltre, la presenza del Direttore Carlo Cacciamani durante la conferenza ha dato prestigio all'iniziativa e per questo gli siamo grati. Grazie a tutta la macchina organizzativa del festival, guidata da Dino Zardi, che è stata di grande aiuto per tutti gli aspetti legati alla logistica dell'evento.

*Autore:*



*Francesco De Martin  
(Sezione Studenti)*

## La sezione studenti intervista...

### Samuele Giampietro

In questo numero della Newsletter intervistiamo **Samuele** Giampietro, ex studente Triennale in "Fisica" presso l'Università di Roma Tor Vergata e attualmente modellista presso 3Bmeteo.



#### Qual è stato il tuo percorso di studi?

Il mio percorso di studi è cominciato con la musica, dapprima con la scuola media ad indirizzo musicale, proseguito con il Liceo Musicale a Pescara e concluso con la laurea triennale in Pianoforte presso il Conservatorio di Pescara. Vicissitudini varie mi hanno portato, poi, da musica a fisica, scegliendo il curriculum di Fisica dell'Atmosfera e Meteorologia presso l'Università di Roma Tor Vergata.

#### Sei riuscito a inserire la tua passione nello studio mettendo qualcosa di strettamente meteorologico in un esame/nella tesi? Se sì, come hanno reagito i tuoi professori a questo tuo interesse?

Assolutamente sì, anzi è stato proprio lo studio a creare una stretta unione con la passione per la meteorologia. Da amante dell'informatica e soprattutto della programmazione, una delle lezioni tenuta dal mio professore di laboratorio informatico era legata alla risoluzione dei sistemi di equazioni differenziali in Python. Incuriosito dal tema della lezione, ho avuto modo di approfondire l'argomento sia sul manuale consigliato dal docente, sia riprendendo tracce d'esame degli anni precedenti. Riuscii a fare simulazioni sia sull'Attrattore di Lorenz per poterlo collegare in merito alla teoria del caos nei modelli meteorologici e climatici, sia sul Diagramma di

biforcazione e sulla mappa logistica, argomenti che mi sarebbero tornati utili più in là per l'esame di climatologia. Ricordo bene che il professore fu particolarmente entusiasta di ricevere questi codici di programmazione ben strutturati, articolati e funzionanti tanto che, per una giornata, ci scambiammo di ruolo: io in cattedra a spiegare i risultati, lui tra i banchi ad ascoltare. Ne conservo tutt'oggi un bellissimo ricordo, oltre che un fantastico esame.

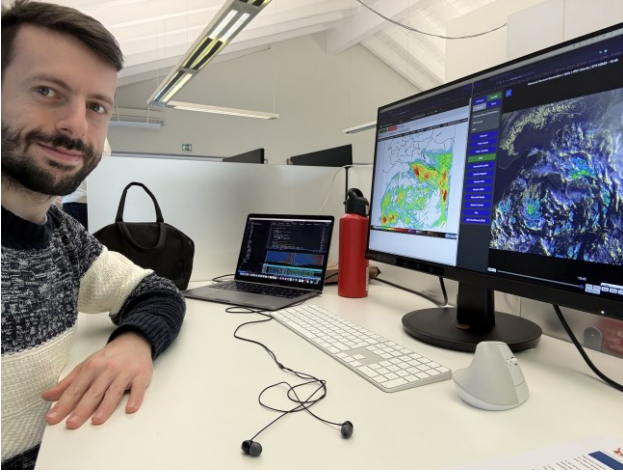
#### In cosa consiste il tuo attuale lavoro?

Il mio attuale lavoro, in 3Bmeteo, consiste nell'installare e impostare modelli meteorologici preconfigurati (WRF, ICON, ...) e fornire al reparto meteo tutti i dati meteo utili per poter rilasciare previsioni all'intero bacino di utenza del sito e dell'app. Oltre a questo, mi occupo anche della gestione dei dati e immagini satellitari e della programmazione di script per altri servizi.

#### Nel tuo lavoro di modellista, qual è l'aspetto più appagante, e allo stesso tempo quali sono le difficoltà che si possono incontrare nello sviluppo/manutenzione di un modello?

Vedere il software "girare". Può sembrare strano - e chi è informatico conosce bene questa sensazione - ma il fatto di vedere che l'installazione è andata a buon fine, che tutto è stato configurato correttamente e che le procedure filino lisce senza bug, è un qualcosa che probabilmente va oltre anche il risultato stesso della simulazione del modello. Poi chiaramente ci sono le sfide dello sviluppo, quindi dopo aver messo a punto il modello base, ci sono gli step successivi che ti portano a migliorare





il modello e/o ad aggiungere un codice che ti consenta di interagire con il modello stesso. Insomma, non si finisce mai di imparare, compilare e programmare. C'è sempre una sfida nuova ogni giorno. E se oggi hai risolto un bug, ricorda che domani dovrai risolverne almeno altri 14.

**Raccontaci come sei finito a lavorare in 3Bmeteo, che cosa ti ha spinto a scegliere questa realtà così lontana dal tuo Abruzzo?**

Sono stato uno tra 35 candidati ad essere stato scelto per l'Academy di 3Bmeteo nell'estate del 2024. Il tema, per l'occasione, era proprio legato a tutte le sfumature dei dati meteo e al loro utilizzo nei sistemi, database e server dell'omonima azienda. Mostrai sin da subito il mio interesse e qualche mese dopo ricevetti la chiamata per entrare a far parte del team Modellisti di 3Bmeteo. La scelta di una realtà così lontana è stata dettata dal fatto di voler scoprire un nuovo ambiente, di fare nuove conoscenze, di provare una nuova esperienza soprattutto in ambiente lavorativo, scoprire una città nuova e unire appieno le passioni per la meteorologia e l'informatica con il lavoro.

**Quali sono le prime mansioni che vengono date ai ragazzi che vogliono entrare nel mondo del lavoro nel campo della meteorologia: che cosa fa un giovane modellista/meteorologo?**

Nel mio caso, la prima mansione che mi è stata assegnata è stata quella di configurare il modello ICON. Fino a qualche anno fa non era "Open-Source" quindi non vi erano possibilità di sviluppo. Si è trattato del primo passo che mi ha aperto le porte a diverse fasi di sviluppo interno tuttora in corso.

**Ho letto che hai iniziato a studiare da solo la meteorologia ben prima dei 18 anni; perciò, vorrei chiederti qual è stata la scintilla che ha fatto scattare questa tua passione.**

La neve. Senza troppi giri di parole! A dir la verità, sin da bambino ho avuto una certa ammirazione e stupore di

qualsiasi fenomeno meteorologico. Se dalla finestra vedevo il cielo grigio, tutto nuvoloso che lasciava presagire l'imminente arrivo di uno scroscio di pioggia, stavo lì a osservare anche la più piccola goccia d'acqua. I temporali all'inizio mi facevano paura ma col tempo lo "spavento" si è trasformata in adrenalina quando, ogni tanto, mi capita di andare a caccia di qualche temporale. E infine c'è la neve: l'ho sempre amata e l'evento del febbraio 2012 segnò l'inizio della passione per la meteorologia, il fatto di voler conoscere e comprendere il processo di tutti i fenomeni atmosferici.

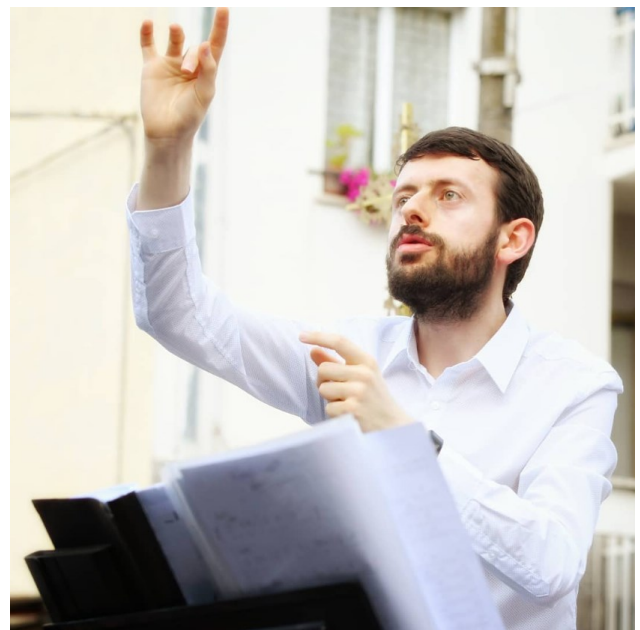
**Qual è il tuo fenomeno meteo preferito? Racconta un evento meteorologico che ti ha particolarmente colpito.**

Come già anticipato nelle domande precedenti, la neve è sicuramente il fenomeno meteo che metto al primo posto della mia classifica. La nevicata del 2012 ha segnato l'inizio della mia passione per la meteorologia ma l'evento che, ad oggi, rimane quasi indelebile fu la nevicata del 15-16 gennaio 2017: mai mi sarei aspettato che poco fuori la città di Chieti, e in poco meno di 36 ore, potessero venire giù circa 87cm di neve. Fu un evento a dir poco eccezionale.

**Come ti sei avvicinato ad AISAM? Qual è il tuo ruolo nell'associazione?**

Mi sono avvicinato ad AISAM nel 2018, in occasione del Festivalmeteorologia, quando ebbi il piacere e l'onore di conoscere il nostro attuale Presidente, Sergio Pisani, che mi invitò ad iscrivermi all'Associazione vista la forte passione per le scienze dell'atmosfera. Ad oggi sono responsabile del WebTeam di AISAM e curo gli aspetti legati al Blog e al sito dell'associazione.

**Se incontrassi delle persone per strada che non sanno nulla di meteorologia, come gli spiegheresti il lavoro che fai?**





Direi: "Ha presente quando apre l'app e trova tutti i simboli meteo, ora per ora, con temperatura, vento, umidità e tanto altro ancora e poi legge pioggia proprio nell'ora in cui ha organizzato il suo evento con un anno di anticipo? Il responsabile è qui davanti ma, attenzione: fornisco solo i dati che vede sul telefono... In merito al tempo, interroghi i piani alti!"

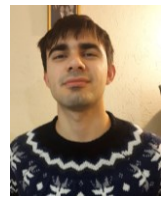
**Se succede un evento meteo estremo (tornado, grandine, neve forte) a Ponte San Pietro mentre voi di 3b**

**state lavorando uscite ad osservarlo, oppure sapete resistere?**

Bisognerebbe resistere, il lavoro è sempre il lavoro. Tuttavia, ho già sperimentato più di una volta che il mio grado di resistenza ad eventi meteo estremi è pari a 0. Per cui, quando c'è stata occasione, sono uscito a vedere il fenomeno e poi sono rientrato, recuperando dopo i minuti/ore in cui in quel momento non ho lavorato.

**Grazie mille Samuele e in bocca al lupo per il tuo futuro!**

*A cura di:*



*Federico Negro  
(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 **Giorgio Doglioni**.

Giorgio Doglioni è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Meccanica dell'Università di Trento. Attualmente è attivamente coinvolto nella campagna di misura DECIPHER (Disentangling mechanisms controlling atmospheric transport and mixing processes over mountain areas at different space- and timescales), che investiga la dinamica dei venti di pendio e dei fenomeni di trasporto associati.

Giorgio si è formato come fisico presso il dipartimento di fisica dell'università di Trento dove ha conseguito la laurea magistrale nel 2021 con una tesi sugli effetti dinamici delle iniezioni di aerosol carboniosi da incendi in stratosfera (Doglioni et al., 2022). Ha proseguito la sua formazione svolgendo un dottorato presso il Centro Agricoltura, Alimenti, Ambiente (C3A) dell'Università di Trento durante il quale ha valutato l'impatto sulle previsioni meteorologiche a scala locale dell'assimilazione di osservazioni da stazioni alla superficie, con la supervisione del prof. Dino Zardi e del Dr. Stefano Serafin (Università di Vienna). Questo progetto di dottorato è stato cofinanziato da [Hypermeteo S.r.l.](#) e dall'Università di Trento. L'articolo seguente è un estratto dell'attività svolta durante il dottorato e riassume quanto riportato nell'articolo (Doglioni et al., 2025).

### L'impatto dell'assimilazione dei dati delle stazioni di superficie sulle previsioni meteorologiche a scala regionale nel Nord Italia

#### Introduzione

Previsioni meteorologiche accurate sono di cruciale importanza in numerosi settori sociali ed economici, dalla quantificazione dell'energia prevista dagli impianti a fonti rinnovabili all'emissione di allerte per le condizioni di maltempo.

Negli ultimi trent'anni l'affidabilità delle previsioni meteorologiche è aumentata in modo significativo grazie ai continui miglioramenti delle catene modellistiche utilizzate per generarle (*The Quiet Revolution*, (Bauer et al., 2015)), sia alla scala globale sia alla scala locale. Tali progressi hanno riguardato i modelli numerici (miglioramento delle parametrizzazioni fisiche, aumento della risoluzione spaziale), il sistema osservativo, che fornisce un numero crescente di misure sempre più accurate e dense, e le tecniche di assimilazione dei dati osservati, che consentono di sfruttare in modo più efficace le osservazioni per costruire condizioni iniziali più consistenti con lo stato reale dell'atmosfera.

L'assimilazione dei dati consiste nella combinazione ottimale tra un precedente risultato previsionale (il cosiddetto *first guess o background*, ovvero una previsione inizializzata qualche ora prima) e le

osservazioni più recenti, al fine di ottenere un'analisi, cioè una stima aggiornata dello stato dell'atmosfera che tenga conto di entrambe le fonti di informazione. Quest'ultima viene poi utilizzata, in genere, come condizione iniziale per una nuova integrazione del modello

In questo lavoro mostreremo come l'integrazione, all'interno di una catena modellistica a scala regionale, di uno step di assimilazione delle osservazioni provenienti da stazioni meteorologiche al suolo non comunemente utilizzate nelle catene operative, possa migliorare significativamente le previsioni delle variabili meteorologiche prossime alla superficie.

Tale studio è stato svolto nell'ottica di migliorare le previsioni fornite dalla catena modellistica operativa di Hypermeteo, basata sul downscaling dinamico del modello ICON-EU (ICOsahedral-Nonhydrostatic model, (Zängl et al., 2015)) tramite il modello WRF (Skamarock et al., 2019). È stato introdotto uno step di assimilazione dei dati al suolo, utilizzando un insieme di osservazioni non assimilate nel modello ICON-EU o non disponibili al momento dell'inizializzazione di quest'ultimo. Poiché questo step non deve introdurre ulteriore latenza (ossia ritardi) nella produzione delle previsioni, è stato adottato l'algoritmo di assimilazione variazionale 3DVAR (Lorenç,

1986), che consente di limitare l’impatto computazionale sulla catena previsionale.

Le osservazioni considerate per l’assimilazione provengono da stazioni al suolo convenzionali (SYNOP) e da osservazioni non convenzionali (crowd-sourced e provenienti da servizi meteorologici regionali). Questa scelta consente di sfruttare l’elevata densità di stazioni non convenzionali presenti sul territorio italiano (Giazzi et al., 2022).

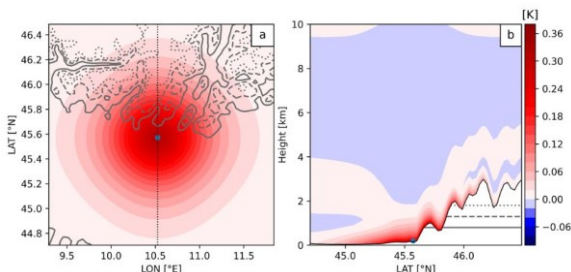
L’assimilazione di osservazioni al suolo in modelli a scala regionale è già stata oggetto di diversi studi. Ad esempio, (Demortier et al., 2025; Sgoff et al., 2022) hanno valutato l’impatto dell’assimilazione di osservazioni di temperatura e umidità da stazioni Netatmo rispettivamente nei sistemi KENDA e AROME, ottenendo risultati complessivamente positivi, ma evidenziando anche delle limitazioni legate alla presenza di differenze sistematiche tra first guess e osservazioni. Tali differenze sono indicative sia di errori sistematici nel first guess e/o nelle osservazioni, sia di limiti di rappresentatività del modello per i processi che avvengono nello strato superficiale.

Gli obiettivi di questo studio sono quindi due: (i) valutare se e in quale misura l’assimilazione di un set di osservazioni al suolo migliori le previsioni meteorologiche fornite dalla catena modellistica di Hypermeteo e (ii) identificare possibili margini di miglioramento del sistema di assimilazione e del modello, al fine di incrementare ulteriormente la skill previsionale.

## Materiali e metodi

### WRF

L’Advanced Research WRF (ARW) è un modello numerico ampiamente utilizzato per la produzione di previsioni meteorologiche e per la ricerca in fisica dell’atmosfera. In questo studio si utilizza la versione 4.5 del modello,



**Figura 1.** Incremento di analisi dovuto all’assimilazione di una singola innovazione di temperatura di 1 K nei pressi del Lago di Garda. Nel pannello a è rappresentato l’incremento di temperatura al primo livello verticale del modello e nel pannello b un profilo verticale dell’incremento in corrispondenza della linea a puntini nel pannello a. I contorni e le linee grigie nei pannelli a e b corrispondono alle quote di 800 m (linee continue), 1300 m (linee tratteggiate) e 1800 m (linee puntinate).

applicata a una regione centrata sul Nord Italia (Figura 1), con una risoluzione orizzontale di 3,5 km e 38 livelli verticali. Le condizioni iniziali e al contorno provengono dal sistema previsionale ICON-EU del DWD (Deutscher Wetterdienst).

### WRF 3DVAR

L’algoritmo 3DVAR utilizzato è quello implementato nel sistema WRFDA (Barker et al. 2003). Tale algoritmo permette di ottenere l’analisi ( $\mathbf{x}$ ) tramite la minimizzazione della seguente funzione di costo:

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}_b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}))^T \mathbf{R}^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{H}(\mathbf{x}))$$

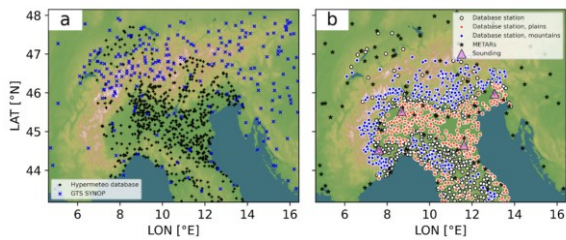
dove  $\mathbf{x}$  è il vettore di analisi,  $\mathbf{x}_b$  è il vettore di *first guess* o background,  $\mathbf{y}$  è il vettore delle osservazioni,  $\mathbf{H}$  è l’operatore di osservazione (cioè l’operatore che calcola l’equivalente delle osservazioni a partire dallo stato del modello) e  $\mathbf{B}$  e  $\mathbf{R}$  sono, rispettivamente, le matrici di covarianza dell’errore di background e dell’errore di osservazione.

L’analisi è pertanto il vettore che minimizza la distanza dal background e dalle osservazioni, pesate rispettivamente con l’inverso delle matrici di covarianza degli errori di background e di osservazione. La differenza tra un’osservazione e il suo equivalente calcolato dal background è detta innovazione.

La matrice di covarianza dell’errore di background  $\mathbf{B}$  è costruita tramite il metodo NMC (National Meteorological Center, Parrish e Derber, 1992). In tale algoritmo si utilizza un insieme di differenze tra previsioni valide allo stesso istante ma inizializzate in momenti diversi per stimare la covarianza dell’errore di background.  $\mathbf{B}$  fornisce quindi una stima climatologica della covarianza dell’errore di background ed è orizzontalmente omogenea, isotropica e univariata. In questo lavoro abbiamo scelto la versione CV7 della matrice  $\mathbf{B}$ . La matrice  $\mathbf{R}$  segue invece le specifiche standard di WRFDA per le stazioni alla superficie.

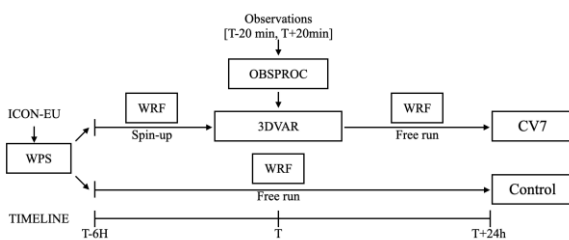
Per valutare l’effetto dell’assimilazione, nelle condizioni considerate in questo lavoro, analizziamo l’incremento di analisi (differenza tra analisi e background), prodotto da un’innovazione di temperatura al suolo di 1 K nei dintorni del Lago di Garda. La struttura di tale incremento, determinata dalle caratteristiche di  $\mathbf{B}$ , mostra come il modello di errore di background, che controlla la forma dell’incremento, sia orizzontalmente omogeneo e isotropico, oltre a seguire i livelli *terrain-following* del modello.

## I dati osservativi



**Figura 2.** Distribuzione spaziale delle stazioni assimilate (a) e delle stazioni di verifica (b) nel dominio di calcolo.

Sono state utilizzate le osservazioni di pressione, umidità, componenti del vettore del vento e temperatura da tre insiemi osservativi: osservazioni al suolo trasmesse tramite il Global Telecommunication System (GTS, SYNOP per l'assimilazione e METAR per la verifica, National Center for Environmental Prediction) e dal database di osservazioni alla superficie di Hypermeteo S.r.l., e radiosondaggi dell'Integrated Global Radiosonde Archive (IGRA, Durre et al. 2018), questi ultimi impiegati solo per la verifica.



**Figura 3.** Rappresentazione schematica del flusso della catena previsionale testata.

Per l'assimilazione sono stati selezionati 830 punti osservativi (631 Hypermeteo e 199 SYNOP), scelti tramite controlli di qualità e di stabilità effettuati su diverse corse di test. Le restanti stazioni nel database di Hypermeteo non assimilate sono state utilizzate esclusivamente per la verifica delle previsioni.

Gli esperimenti sono stati condotti dal 10 aprile al 10 maggio 2024, con previsioni di 24 ore iniziate due volte al giorno (00 e 12 UTC) dopo 6 ore di spin-up inizializzato con le corse del modello ICON-EU svolte 6 ore prima (come mostrato nello schema di Figura 1). In parallelo sono state effettuate corse di controllo (cioè senza assimilazione dei dati) per valutare il contributo dei dati superficiali, seguendo lo schema in Figura 3

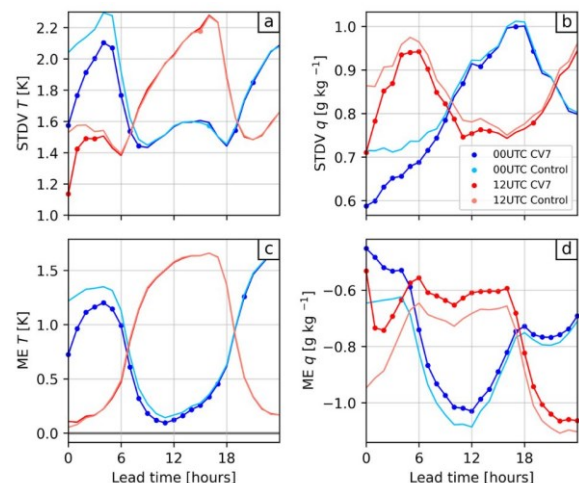
## Verifica degli esperimenti

La verifica delle previsioni è stata effettuata utilizzando radiosondaggi, osservazioni nel database di Hypermeteo S.r.l. non assimilate e osservazioni METAR, distribuiti nel dominio di studio come in Figura 2. Le previsioni sono state valutate tramite analisi statistica dei valori

osservazione–meno–previsione (OMF). Per ogni stazione e per ogni variabile sono state ottenute serie temporali orarie di OMF, utilizzate per calcolare metriche di verifica come errore medio (ME), deviazione standard (STDV) e valore quadratico medio (RMS). La significatività statistica delle differenze tra esperimenti è stata valutata tramite bootstrapping a blocchi di 3 giorni.

## Risultati

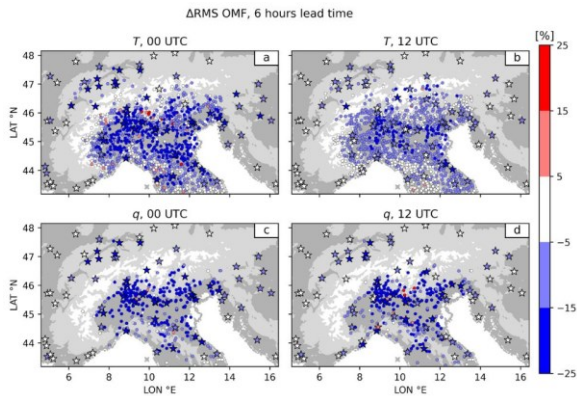
La verifica delle previsioni con le stazioni METAR, riportata in Figura 4 dimostra l'impatto positivo e duraturo dell'aggiunta dello step di assimilazione rispetto agli esperimenti di controllo. In particolare, l'errore della previsione (stimato qui tramite la media e la deviazione standard delle differenze tra previsioni e osservazioni) è minore negli esperimenti con l'assimilazione (CV7) rispetto agli esperimenti senza (Control). Anche l'analisi delle metriche relative alle altre variabili interessate dall'assimilazione (pressione e componenti del vento, non qui riportate) dimostra un miglioramento della skill previsionale, seppur limitato.



**Figura 4.** Metrica di verifica con stazioni METAR delle previsioni con assimilazione (CV7) e senza (Control) per gli esperimenti alle 00 UTC (linee blu) e alle 12 UTC (linee rosse). Nei pannelli a e b sono riportate le deviazioni standard, mentre nei pannelli c e d gli errori medi, per temperatura (pannelli a e c) e umidità specifica (pannelli b e d). I punti sono riportati in corrispondenza di differenze statisticamente significative tra gli esperimenti, e solo per l'esperimento che presenta il miglior risultato.

L'impatto dello step di assimilazione, inoltre, non è omogeneo in tutto il dominio. La differenza di scarto quadratico medio delle differenze tra osservazioni e previsioni nelle prime 6 ore, riportata per ogni stazione di verifica in Figura 5, mostra che l'assimilazione porta ad avere previsioni più vicine alle osservazioni specialmente nelle zone in cui il numero di stazioni assimilate è maggiore.

Tuttavia, questa verifica non è sufficiente a dimostrare che le previsioni siano effettivamente migliorate a seguito

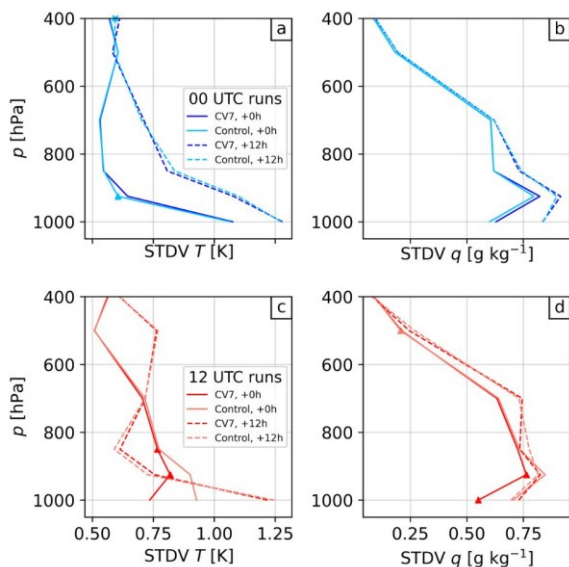


**Figura 5.** Media, nelle prime sei ore di previsione, della differenza tra i valori quadratici medi (RMS) degli scarti previsione–osservazione per l’esperimento CV7 e per il controllo, espressa in percentuale rispetto al valore RMS del controllo. I valori negativi indicano un miglioramento. I cerchi indicano le stazioni del database Hypermeteo S.r.l., mentre le stelle indicano le stazioni METAR. I pannelli a/c e b/d mostrano i risultati delle corse delle 00 e delle 12 UTC, rispettivamente per la temperatura (a e b) e per l’umidità specifica (c e d).

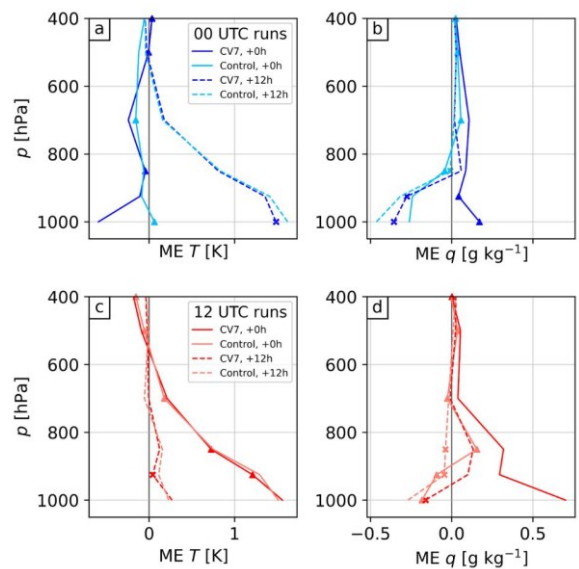
dell’introduzione dello step di assimilazione, poiché prende in considerazione solo osservazioni prossime al suolo.

Per valutare l’impatto dell’assimilazione sulle previsioni anche ai livelli atmosferici superiori, abbiamo confrontato le previsioni con misure provenienti da radiosondaggi.

La verifica con i radiosondaggi, presentata qui tramite le metriche di errore medio e deviazione standard, mostra



**Figura 6.** Deviazione standard delle differenze tra esperimenti e radiosondaggi, per le corse 00 UTC (linee blu) e 12 UTC (linee rosse) riferiti alla temperatura (pannelli a/c) e all’umidità specifica (pannelli b/d). Le linee piene e tratteggiate indicano rispettivamente i risultati all’ora dell’analisi e a 12 ore dall’analisi. I simboli riportati sulle curve indicano differenze statisticamente significative tra gli esperimenti; sono riportati solo sulla curva dell’esperimento che presenta la miglior metrica di verifica.



**Figura 7.** Come per Figura 6, per l’errore medio.

che l’assimilazione ha un effetto eterogeneo sull’errore di previsione lungo la verticale.

Considerando la deviazione standard delle differenze tra previsioni e radiosondaggi, alle 00 UTC non si osservano variazioni significative né per l’umidità (Figura 6b) né per la temperatura (Figura 6a), né all’ora dell’analisi né a 12 ore di lead time. Gli esperimenti iniziati alle 12 UTC mostrano invece un miglioramento all’ora dell’analisi e un impatto trascurabile a 12 ore di lead time (Figure 6 c-d).

L’errore medio di temperatura alle 00 UTC (Figura 7a), all’ora dell’analisi, risulta invece leggermente degradato dall’assimilazione al di sotto dei 925 hPa, indicando un raffreddamento degli strati atmosferici più vicini al suolo eccessivo rispetto ai radiosondaggi. Alle 12 UTC (Figura 7c), invece, non si riscontrano differenze significative tra l’esperimento di controllo e quello con lo step di assimilazione.

Per quanto riguarda l’umidità, l’assimilazione tende ad aumentare il contenuto medio di vapore acqueo in atmosfera, soprattutto vicino al suolo. Questo rende le previsioni delle 00 UTC più in accordo con i radiosondaggi (Figura 7b), mentre le previsioni iniziate alle 12 UTC vengono spostate verso uno stato con un contenuto di vapore acqueo maggiore rispetto a quanto osservato dai radiosondaggi (Figura 7d).

### Conclusioni e sviluppi futuri

Gli esperimenti presentati mostrano un impatto complessivamente positivo dell’assimilazione di osservazioni al suolo provenienti da reti osservative ufficiali e non ufficiali. Allo stesso tempo, evidenziano come questa assimilazione possa generare inconsistenze rispetto ad altri tipi di osservazioni, in particolare i radiosondaggi.

Ciò è dovuto ad alcune caratteristiche peculiari delle osservazioni al suolo, che devono essere considerate con attenzione per massimizzare il beneficio derivante dalla loro assimilazione.

Le osservazioni al suolo hanno un impatto sistematico sulle previsioni, come dimostra la variazione degli errori medi rispetto all'esperimento di controllo. Questo accade perché le innovazioni associate a tali osservazioni contengono una componente di bias (cioè non hanno media nulla), dovuta sia a errori non casuali nelle osservazioni e/o nel modello, sia a problemi di rappresentatività: le osservazioni catturano processi che il modello riproduce con difficoltà a causa dei limiti di risoluzione e delle parametrizzazioni adottate.

L'assimilazione di questa componente di bias tende a rendere le previsioni più vicine ad altre osservazioni affette da un bias analogo, in particolare a quelle al suolo.

Nel processo di assimilazione, però, tale correzione viene propagata dal suolo verso gli strati atmosferici superiori secondo le strutture imposte dalla matrice di covarianza degli errori di background **B**. Con il metodo di assimilazione adottato e con la specifica di **B** utilizzata in questo lavoro, questa propagazione verticale del bias contenuto nelle innovazioni porta a una degradazione delle metriche di verifica basate sui radiosondaggi.

In sintesi, il modello di covarianza dell'errore, combinato con le differenze sistematiche tra previsioni e osservazioni, limita l'efficacia complessiva dell'assimilazione delle osservazioni al suolo.

Sono in corso studi per mitigare gli effetti sopra descritti, che includono la correzione a priori della componente sistematica delle innovazioni e una revisione della matrice **B**.

#### **Bibliografia:**

- Bauer, P., Thorpe, A., & Brunet, G. (2015). The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 525(7567), 47–55. <https://doi.org/10.1038/nature14956>
- Demortier, A., Mandement, M., Pourret, V., & Caumont, O. (2025). Assimilation of temperature and relative humidity observations from

personal weather stations in AROME-France. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(1), 429–449. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-429-2025>

Dogliani, G., Aquila, V., Das, S., Colarco, P. R., & Zardi, D. (2022). Dynamical perturbation of the stratosphere by a pyrocumulonimbus injection of carbonaceous aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(17), 11049–11064. <https://doi.org/10.5194/acp-22-11049-2022>

Dogliani, G., Serafin, S., Weissmann, M., Ferrari, G., & Zardi, D. (2025). Impact of the assimilation of surface observations on limited-area forecasts over complex terrain. *Meteorological Applications*, 32(5). <https://doi.org/10.1002/met.70107>

Giazzi, M., Peressutti, G., Cerri, L., Fumi, M., Riva, I. F., Chini, A., Ferrari, G., Cioni, G., Franch, G., Tartari, G., Galbiati, F., Condemi, V., & Ceppi, A. (2022). Meteonetwork: An open crowdsourced weather data system. *Atmosphere*, 13(6), 928. <https://doi.org/10.3390/atmos13060928>

Lorenz, A. C. (1986). Analysis methods for numerical weather prediction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Royal Meteorological Society (Great Britain)*, 112(474), 1177–1194. <https://doi.org/10.1002/qj.49711247414>

Sgoff, C., Acevedo, W., Paschalidi, Z., Ulbrich, S., Bauernschubert, E., Kratzsch, T., & Potthast, R. (2022). Assimilation of crowd-sourced surface observations over Germany in a regional weather prediction system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Royal Meteorological Society (Great Britain)*, 148(745), 1752–1767. <https://doi.org/10.1002/qj.4276>

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J. G., Duda, M. G., Barker, D. M., & Huang, X.-Y. (2019). A description of the advanced research WRF model version 4. UCAR/NCAR. <https://doi.org/10.5065/1DFH-6P97>

Zängl, G., Reinert, D., Rípodas, P., & Baldauf, M. (2015). The ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(687), 563–579. <https://doi.org/10.1002/qj.2378>

*Autore:*



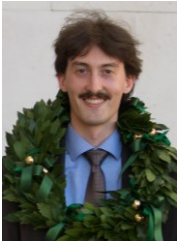
*Giorgio Dogliani  
(Università di Trento)*

## LA PROCLAMO DOTTORE...

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

### Image Super-Resolution per il Climate Downscaling (Image Super-Resolution for Climate Downscaling)

Dott. Cera Guido



Università degli Studi di Trieste

Laurea Magistrale in Data Science and Scientific Computing

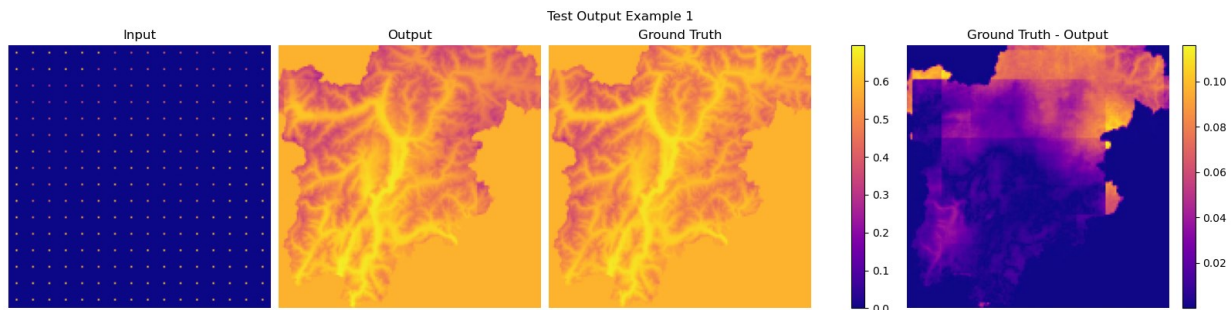
Relatore: Prof. Fabio Anselmi

Co-Relatore: Prof. Petitta Marcello

Anno Accademico 2024/2025

#### Abstract

Questa tesi indaga l'applicazione di metodi di machine learning al downscaling statistico dei dati climatici, sfruttando tecniche di super-risoluzione per immagini. Lo studio si concentra sulla regione Trentino-Alto Adige, un'area alpina geograficamente complessa in cui le variazioni climatiche a piccola scala sono fortemente influenzate dall'orografia. Utilizzando l'architettura Unet come base, vengono esplorate diverse estensioni del modello, tra cui l'integrazione di predittori climatici e topografici ausiliari, l'ingrandimento del dataset tramite aggregazione temporale, una modellizzazione dedicata per l'orografia ad alta risoluzione e l'uso di strati a convoluzione parziale. La valutazione sperimentale considera sia il downscaling della temperatura che quello delle precipitazioni, utilizzando i dati di rianalisi ERA5-Land come input e un dataset regionale ad alta risoluzione come riferimento.



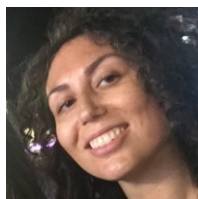
Esempio di Unet + convoluzione parziale. Immagini in ordine da sinistra a destra: input da ERA5-Land mascherato, output del modello, verità ad alta risoluzione e differenza tra verità e output del modello. Si noti che l'ultima immagine ha una scala diversa rispetto alle altre. L'output del modello presenta un pattern irregolare causato dall'algoritmo di convoluzione parziale; ciononostante la qualità dell'output è superiore a Unet base.

I risultati dimostrano che l'inclusione di variabili ausiliarie, in particolare quelle che catturano le caratteristiche topografiche, migliora le prestazioni del modello per il downscaling della temperatura, sebbene gli input orografici ad alta risoluzione non migliorino le previsioni rispetto alle versioni ridotte. L'aggregazione temporale si rivela vantaggiosa, mitigando la scarsità di dati e consentendo ai modelli di cogliere strutture spaziali più ampie. La convoluzione parziale, adattata dall'inpainting di immagini ai dati climatici, produce miglioramenti nella qualità percettiva e nella similarità strutturale, a scapito dell'accuratezza a livello di singolo pixel. Al contrario, il downscaling delle precipitazioni rimane complesso: i risultati evidenziano sostanziali discrepanze tra i dataset a bassa e alta risoluzione, che ostacolano l'efficacia dell'apprendimento del modello.

Le conclusioni mettono in luce sia il potenziale sia i limiti degli approcci basati su convoluzioni per il downscaling statistico in terreni complessi.

## Analisi dei dati di pressione della Stazione meteorologica storica dell'Istituto di Fisica dell'Università di Torino

Dott.ssa Erica Bruera



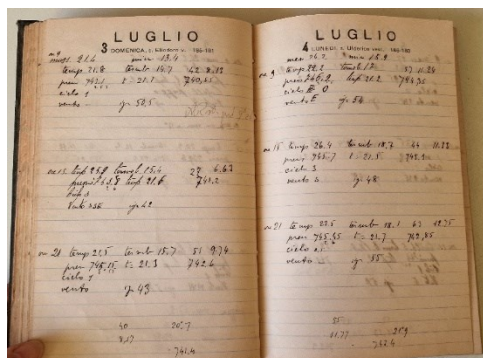
Università degli Studi di Torino

Laurea triennale in Fisica

Relatore: Prof. Claudio Cassardo

Anno Accademico 2023/2024

### Abstract



Agenda su cui venivano registrati quotidianamente i dati meteorologici.

storico, sono anche stati recuperati gli strumenti d'epoca per la rilevazione dei dati meteorologici ancora reperibili presso il Dipartimento di Fisica: un anemografo, parte del pluviografo e alcuni barometri.



Componenti dell'anemografo e del pluviografo ora conservati nel Museo del Dipartimento di Fisica

meteorologiche, che, per Torino, vanta quasi 300 anni di storia.

L'analisi dei dati digitalizzati è solo all'inizio, ma i riscontri ottenuti sono ben promettenti.

Dal ritrovamento, presso l'Archivio Storico del Dipartimento di Fisica di Torino, di agende giornalieri risalenti a 95 anni fa, su cui erano stati registrati quotidianamente i dati di temperatura, pressione, umidità, vento e nuvolosità, ha preso il via il lavoro di un team di studenti del Dipartimento di Fisica di Torino. L'obiettivo è riscoprire la storia e analizzare i dati raccolti in un Osservatorio Meteorologico attivo dal 1929 al 1953 presso tale Istituto. Per completare il lavoro di ricerca relativo a questo Osservatorio



Finestra del primo piano dell'edificio storico del Dipartimento di Fisica di Torino, a cui era ancorata la capannina meteorologica dell'Osservatorio. I segni degli ancoraggi, cerchiati in rosso, sono ben visibili sulla finestra centrale della facciata nord.

La ricerca storica ha permesso di identificare i personaggi principali che, nel corso degli anni, hanno contribuito alla registrazione dei dati dell'Osservatorio; sono quindi iniziate la digitalizzazione e l'analisi di tali dati, che sono stati validati attraverso il confronto con serie note per Torino.

Per i dati di pressione del periodo 1929-1933, dopo aver ricostruito la metodologia di raccolta dati e le formule correttive utilizzate all'epoca, si è proceduto alla analisi dei dati ed alla loro correlazione con temperatura, venti e precipitazioni.

Il recupero e la validazione di tutti i dati registrati nelle agende permetteranno di completare la serie delle rilevazioni

## Indagine sulla deposizione non stomatica negli ecosistemi forestali (Investigation on non stomatal deposition in forest ecosystems)

Dott. Alessandro Marzo



Università Cattolica del Sacro Cuore

Laurea Magistrale in Fisica

Relatore: Prof. Giacomo A. Gerosa

Relatore: Dr. Davide Plebani

Anno Accademico 2025/2026

### Abstract

L'obiettivo della tesi è quello di investigare il percorso di deposizione non-stomatico dell'ozono. Clifton (cit) propone un modello meccanicistico di deposizione non stomatica dell'ozono, basato sui possibili meccanismi di interazione che l'ozono ha con le cuticole delle foglie e col suolo. Il modello pertanto propone delle formule per  $R_{soil}$ ,  $R_{cut,wet}$  e  $R_{cut,dry}$  utili a modellare il percorso di deposizione non-stomatico all'interno della rete resistiva. Tuttavia, il modello proposto non tiene conto del sink chimico in aria. Clifton sottolinea come sia auspicabile che l'affidabilità di queste formule venga testata confrontandole con le resistenze misurate sul campo all'interno dell'implementazione di una rete resistiva di deposizione dell'ozono. L'affidabilità delle formule proposte da Clifton, come lei stessa sottolinea, è strettamente legata al fatto che esse rappresentino tutti i maggiori fenomeni che intervengono nella deposizione dell'ozono e al fatto che questi siano rappresentati in maniera corretta.

All'interno della tesi vengono discussi più confronti su diverse parti del network resistivo implementato e su differenti scale temporali. I confronti sono stati implementati in Python utilizzando anche tecniche di machine learning per ottimizzare la stima dei coefficienti di interazione presenti nelle formule di Clifton. Le misure utilizzate per la validazione sono ottenute dal sito di misurazione per la deposizione dell'ozono di Bosco Fontana tramite tecniche di eddy covariance e misurazione tramite camere dinamiche aperte sul suolo.

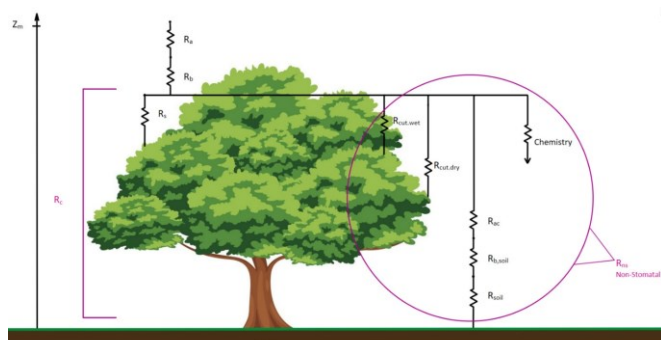


Figura 1. Network resistivo per la deposizione di ozono, in evidenza le componenti della resistenza non stomatica

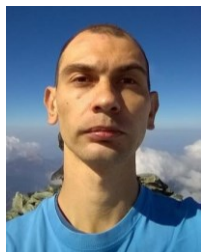
Confrontando parti di network resistivo sempre più piccole si evidenziano le limitazioni del modello nel descrivere la deposizione a Bosco Fontana. In particolare, si nota come le componenti aerodinamiche della resistenza costituiscono il contributo principale alla resistenza non stomatica complessiva, pertanto le resistenze modellate da Clifton passano in secondo piano nella stima della stessa.

Per il percorso di deposizione al suolo la resistenza modellata da Clifton non sembra rappresentare in maniera corretta la deposizione misurata dalle

camere dinamiche. Tuttavia, la formula di  $R_{soil}$  indicata da Clifton si basa su studi precedenti che avevano sottolineato determinate correlazioni tra alcune variabili ambientali, come la temperatura del suolo e il contenuto idrico, e la resistenza di deposizione al suolo. Da un confronto dei dati misurati con le stesse variabili ambientali si osserva che la correlazione per i dati di Bosco Fontana si discosta fortemente da quanto osservato in bibliografia. Questo spiega perché la formulazione proposta da Clifton per  $R_{soil}$  sia in contrasto con quanto osservato a Bosco Fontana. Supponiamo che il suolo del sito, il quale presenta uno spesso strato di lettiera, sia soggetto a fenomeni di deposizione non considerati da Clifton. In particolare, riteniamo che l'ozono tenda a reagire con i soluti organici rilasciati dalla lettiera nell'acqua, il suolo si comporterebbe pertanto in maniera simile alla cuticola di una foglia. In conclusione, si suggeriscono altri test del modello proposto da Clifton in ambienti diversi per evidenziare ulteriori fenomeni di deposizione che potrebbero non essere stati rappresentati nelle formule oltre ad ulteriori test sull'ipotesi della lettiera.

## Valutazione dei cambiamenti climatici nella regione Alpina Europea basata sul nuovo dataset EEAR-Clim (Assessment of climate change in the Extended European Alpine Region based on the novel EEAR-Clim dataset)

Dott. Giulio Bongiovanni



Istituto Universitario di Studi Superiori (IUSS) Pavia

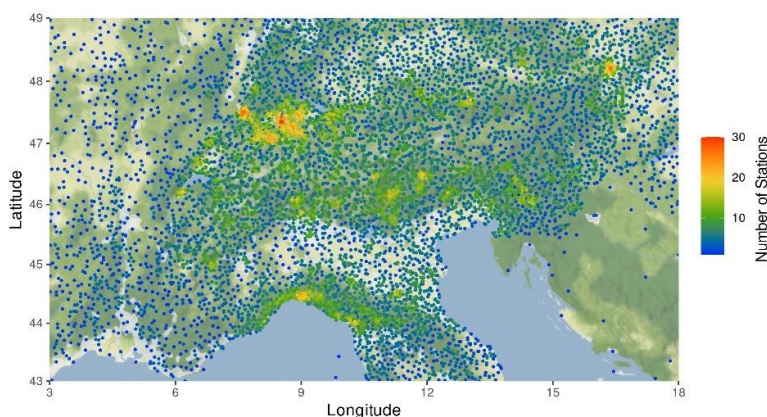
Dottorato di Ricerca in Sviluppo sostenibile e cambiamenti climatici

Relatore: Prof. Dino Zardi

Co-Relatore: Prof. Bruno Majone

XXXVII Ciclo di Dottorato

### Abstract



La regione Alpina Europea rappresenta un importante hotspot del cambiamento climatico, con un riscaldamento più rapido rispetto ad altre regioni del mondo. Tuttavia, la complessa morfologia del territorio alpino e le incertezze nei dati osservativi rendono difficile comprendere accuratamente i cambiamenti climatici nelle Alpi e la loro distribuzione spaziale e con la quota.

Questo studio presenta EEAR-Clim, un nuovo dataset di osservazioni giornaliere di temperatura e precipitazione per la Regione

Alpina Europea Estesa (EEAR). Sfruttando EEAR-Clim, viene presentata un'analisi approfondita delle variazioni nei valori medi ed estremi di temperatura e precipitazione nel periodo 1961-2020 a scala regionale e sub-regionale, anche sfruttando una nuova regionalizzazione dell'area Alpina sviluppata in questo lavoro.

Il nuovo dataset osservativo EEAR-Clim comprende circa 9000 serie storiche da osservazioni meteorologiche giornaliere in-situ di temperatura e precipitazione fino al 2020, migliorando significativamente la copertura dei dati ad alta quota e raggiungendo una densità spaziale media di una stazione ogni 6,8 km<sup>2</sup>. I dati raccolti sono stati sottoposti ad approfonditi controlli di qualità e a verifiche di omogeneità, confrontando le discontinuità rilevate con i metodi Climatol, ACMANT e RH Test, e utilizzando il metodo del quantile matching per correggere i periodi non omogenei. L'elevata qualità, omogeneità, e la densità spaziale senza precedenti, rendono EEAR-Clim un potente strumento per comprendere meglio i cambiamenti climatici e la variabilità climatica nelle Alpi europee.

L'analisi dei trend di temperatura e precipitazione evidenzia un forte riscaldamento nella regione Alpina pari a circa +2°C in media nel periodo 1961-2020, circa il doppio della media globale, con un aumento significativo della frequenza di temperature e precipitazioni estreme. La stagione estiva è il periodo in cui si concentra gran parte del riscaldamento osservato, con un incremento delle precipitazioni intense soprattutto alle quote più elevate. Tuttavia, si è osservato anche un significativo aumento delle temperature invernali ed un'amplificazione del riscaldamento e delle condizioni più estreme con la quota, soprattutto da febbraio a maggio, con importanti ripercussioni sulle risorse criosferiche alpine. Temperatura e precipitazione mostrano anche una chiara correlazione con diversi modi di circolazione a larga scala come la North Atlantic Oscillation, il Greenland Blocking Index, l'Arctic Oscillation, e il Mediterranean Oscillation Index.

I trend osservati su scala Alpina sono stati quindi approfonditi, sfruttando la nuova regionalizzazione della regione Alpina che identifica cinque aree con distinte caratteristiche climatiche: Nord-Ovest, Nord-Est, Sud-Ovest, Centro-Sud, Sud & Sud-Est (S&SE). Le variazioni di temperatura e precipitazione a scala sub-regionale hanno evidenziato un riscaldamento disomogeneo sull'area Alpina, con un più rapido aumento a Nord-Est, Sud-Ovest e nell'area più meridionale della regione. In particolare il versante italiano delle Alpi è risultata essere l'area più vulnerabile ai cambiamenti climatici in corso ed agli eventi estremi associati, con condizioni più calde e secche (+2.4°C dal 1961), ondate di calore più durature, ed una maggiore frequenza delle precipitazioni più estreme ed intense (+14 giorni).

## Simulazione del collasso dell'AMOC indotto dalla NAO utilizzando un algoritmo per eventi rari nel modello climatico PlaSim-LSG

(*Simulating NAO-Driven AMOC Collapse Using a Rare Event Algorithm in the PlaSim-LSG Climate Model*)

Dott.ssa Arianna Magagna



Alma Mater Studiorum – Università degli studi di Bologna

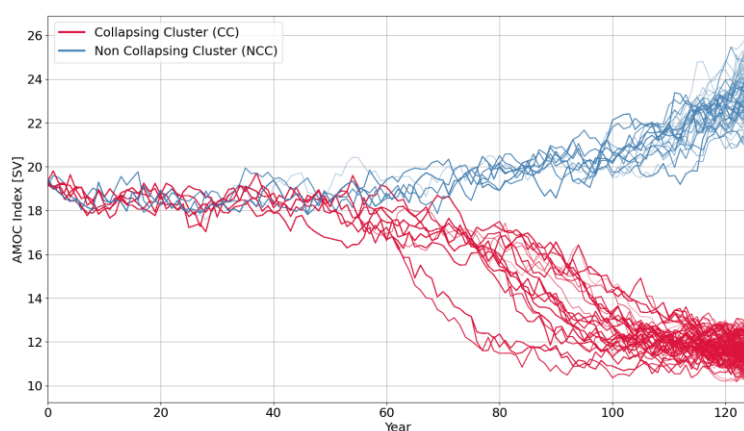
Laurea Magistrale in Science of Climate

Relatore: Prof. Salvatore Pascale

Co-Relatore: Dott. Giuseppe Zappa, Dott. Matteo Cini, Dott.ssa Susanna Corti

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract



Serie temporali dell'indice AMOC relative alle traiettorie ricostruite, raggruppate in due cluster. Il cluster in collasso (CC, rosso) include le Simulazioni 2-5 e il ramo indebolito della Simulazione 1, mentre il cluster non in collasso (NCC, blu) comprende la Simulazione 6 e il ramo rafforzato della Simulazione 1.

La *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC) è una componente cruciale del sistema climatico globale e la sua potenziale interruzione improvvisa rappresenta un punto critico significativo. Questa tesi indaga se una fase negativa persistente della *North Atlantic Oscillation* (NAO), il modo predominante di variabilità atmosferica nel settore Nord Atlantico, possa indurre il collasso dell'AMOC in assenza di perturbazioni esterne. Viene utilizzato il modello climatico accoppiato PlaSim-LSG, di complessità intermedia. Una simulazione di controllo stabilisce una climatologia di riferimento, confermando che la variabilità della NAO precede le fluttuazioni dell'AMOC di circa un anno. Per

superare le limitazioni computazionali nella simulazione di eventi rari, viene implementato un *rare event algorithm* (GKLT) che indirizza efficacemente il modello verso traiettorie con condizioni NAO negative in simulazioni di 125 anni. I risultati rivelano una bistabilità fondamentale nel sistema. Sebbene una forzante negativa persistente della NAO possa innescare un collasso dell'AMOC, l'esito è probabilistico: su sei simulazioni indipendenti, quattro sono evolute completamente verso uno stato collassato ( $\sim 12$  Sv), una è rimasta vigorosa ( $\sim 23$  Sv) e una ha mostrato entrambi gli esiti. Un'analisi basata su cluster attribuisce questa divergenza all'amplificazione precoce di piccole differenze nei flussi di calore del Nord Atlantico, nella convezione e nella copertura di ghiaccio marino. Questo lavoro dimostra che la sola variabilità atmosferica interna può svolgere un ruolo significativo nel forzare l'AMOC oltre un punto critico.

## Prevedibilità stagionale di Dunkelflauten in Europa usando il German Climate Forecast System (Seasonal predictability of compounded variable renewable energy droughts in Europe using the German Climate Forecast System)

Dott.ssa Beatrice Ciancarella



Alma Mater Studiorum – Università degli studi di Bologna

Laurea Magistrale in Science of Climate

Relatore: Prof. Salvatore Pascale

Co-Relatore: Dott. Leonard Borchert, Dott.ssa Marlene Klockmann

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract

Periodi di scarsa disponibilità di energia solare ed eolica simultaneamente sono indicati come siccità composite di variabili energie rinnovabili (Variable Renewable Energy – VRE) o eventi di *Dunkelflaute* (dal tedesco, *buio e senza vento*). Con la transizione energetica in atto, questi eventi costituiscono una minaccia significativa per la stabilità e la resilienza della rete elettrica europea. Mentre la climatologia e le cause sinottiche di questi eventi sono relativamente ben studiate, la loro prevedibilità su scala stagionale rimane inesplorata. Questa tesi cerca di colmare questa lacuna valutando le capacità previsive del German Climate Forecast System (GCFS) 2.2 in Europa. Abbiamo sviluppato nuovi indici operativi per la produzione di energia solare, eolica e composita, basati non su modelli tecnologici complessi, ma su dati meteorologici facilmente disponibili (radiazione solare e velocità del vento), pesati in base alle capacità energetiche nazionali. La validazione di questo approccio rispetto eventi realmente verificatisi, come l'episodio che ha colpito Germania e Belgio nel gennaio 2017, ne conferma l'efficacia nell'identificare *Dunkelflaute*. I risultati rivelano un quadro complesso: l'abilità del modello nel prevedere la frequenza mensile locale degli eventi è spazialmente eterogenea (Figura 1). E dove è statisticamente significativa, la capacità predittiva delle due componenti (solare ed eolica) non influenza quella dell'evento di *Dunkelflaute*, rivelando dinamiche non additive. Tuttavia, il modello dimostra un'abilità significativa nel prevedere l'estensione spaziale di *Dunkelflauten* quando i dati sono aggregati su macroregioni. I coefficienti di correlazione delle anomalie (ACC) raggiungono 0.59 per l'Europa Centrale e 0.65 per l'Europa Meridionale. Questo significa che il modello può indicare con buona affidabilità la porzione territoriale in Europa colpita da una siccità energetica in una data stagione. Questa ricerca conferma il potenziale dei modelli di previsione stagionale nel fornire indicazioni operative per la gestione del rischio energetico. Sapere in anticipo che un inverno avrà un'alta probabilità di estesi periodi di *Dunkelflaute* è cruciale per la pianificazione strategica, la gestione della rete e l'ottimizzazione degli stoccaggi. I prossimi passi includeranno la correzione dei bias del modello, test di sensibilità e l'esplorazione di metodi di sotto-campionamento dell'ensemble che sfruttino teleconnessioni come l'Oscillazione Nord Atlantica (NAO) per affinare ulteriormente l'abilità predittiva.

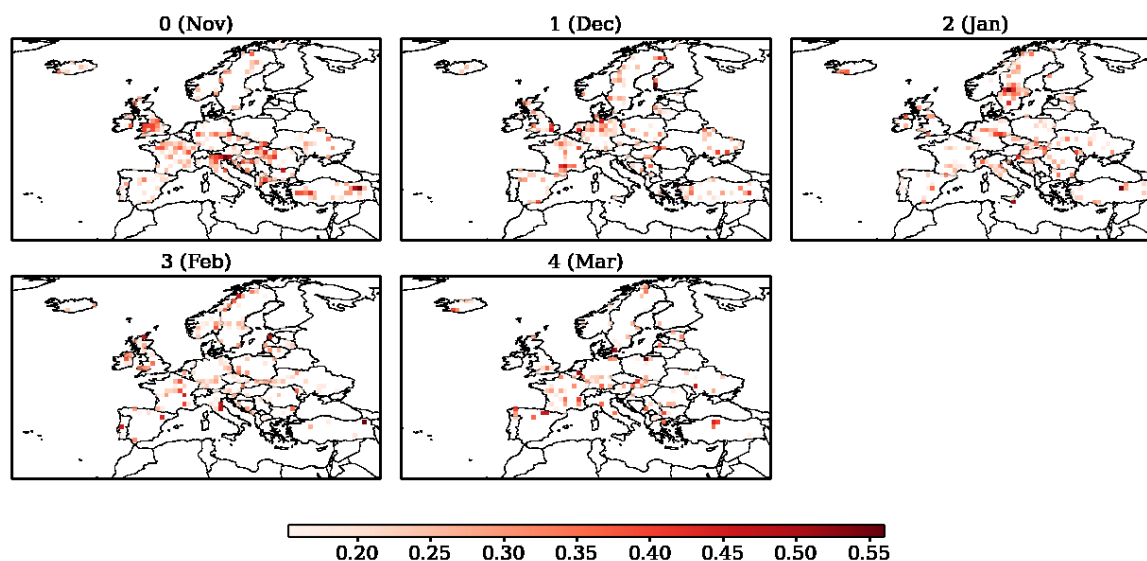


Figura 1. valori ACC significativi e positivi per conteggi mensili di gironi di *Dunkelflaute* (per mesi di anticipo dall'inizializzazione del modello a novembre).

Dott.ssa Ilaria Cicolella



Sapienza Università di Roma

Laurea triennale in Fisica

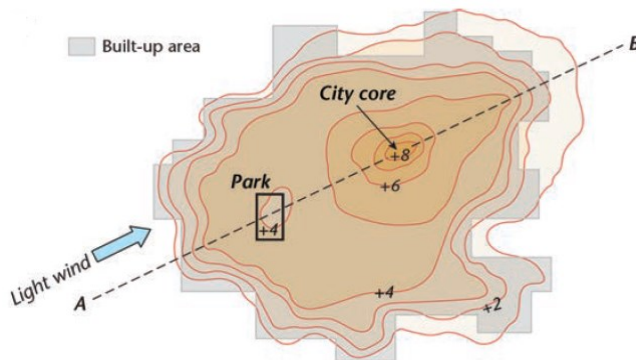
Relatore: Prof.ssa Anna Maria Siani

Relatore Esterno: Dott.ssa Serena Falasca

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract

Negli ultimi decenni si è osservato che la temperatura media dell'aria nelle aree urbane, in particolare nelle medie e grandi città, è sistematicamente più alta di quella nelle aree circostanti. Questo fenomeno, noto come isola urbana di calore (Figura1), porta a incrementi di temperatura tali da provocare diversi effetti negativi sulla qualità della vita degli abitanti delle città, specialmente in presenza di eventi estremi quali le ondate di calore. Questi effetti includono l'aumento della mortalità associata al caldo, l'aumento del consumo energetico per raffreddare gli edifici ed il peggioramento del comfort termico.



**Figura 1.** Rappresentazione dell'isola urbana di calore attraverso una mappa delle isoterme. Immagine presa da T. R. Oke et al., *Urban Climates*. Cambridge:Cambridge University Press, 2017.

non costruite, i materiali impiegati nelle città favoriscono l'assorbimento di calore, il cui rilascio nelle ore notturne ostacola il raffreddamento dell'aria. Anche la struttura geometrica a canyon delle città, limitando la dispersione del calore rilasciato, pone un ulteriore freno al raffreddamento. Inoltre, la ridotta presenza di aree verdi e umidità, tipiche invece delle aree rurali, riduce i processi di evapotraspirazione, che sottraggono calore all'assorbimento delle superfici ed al riscaldamento dell'aria.

Le tecniche di mitigazione dell'isola urbana di calore intervengono proprio su questi aspetti, cercando di ridurre l'assorbimento di calore e l'aumento di temperatura dell'aria; ciò può avvenire ad esempio attraverso l'uso dei materiali ad alta albedo e l'aumento del verde urbano. Ho quindi mostrato l'effetto di queste due tecniche di mitigazione nel caso specifico della città di Melbourne attraverso l'analisi di due studi basati su simulazioni con il Weather Research and Forecasting model (WRF), in cui si è visto che l'incremento di albedo riduce la temperatura ambiente fino a  $\approx 1,6^{\circ}\text{C}$  e l'aumento di aree verdi fino a  $\approx 0,8^{\circ}\text{C}$ .

Tuttavia è stato osservato in entrambi gli studi un peggioramento della dispersione degli inquinanti. Nel caso dell'aumento di albedo, il fenomeno deriva dall'effetto combinato della riduzione di altezza del PBL e della diminuzione della velocità del vento associate alla riduzione della forzante termica. Nel caso dell'incremento di aree verdi, invece, è stato osservato un aumento della velocità del vento dovuto all'incremento esclusivo di bassa vegetazione nelle simulazioni, e quindi l'aumento di stagnazione degli inquinanti deriva interamente dalla diminuzione di altezza dello strato limite. La presenza di questo fenomeno mostra che l'applicazione delle tecniche di mitigazione non è priva di rischi e va valutata caso per caso.

Tali problematiche sono ulteriormente aggravate dal cambiamento climatico in atto, rendendo ancora più necessario lo sviluppo di tecniche di mitigazione.

Nella mia tesi ho analizzato il fenomeno dell'isola urbana di calore, a partire dalla descrizione dello strato limite atmosferico (PBL), di cui costituisce un effetto anomalo, e le tecniche di mitigazione per contrastarne gli effetti. Dalle fonti utilizzate ho potuto dedurre che l'isola urbana di calore è un fenomeno prevalentemente notturno, derivante dalla diversa risposta delle superfici urbane alla radiazione solare rispetto alle superfici rurali. In particolare, rispetto a quanto avviene per le aree

## Analisi di downburst simulati sperimentalmente a grande scala in una galleria del vento climatica: confronto tra impinging jet e gravity current

Dott. Andrea Delle Site



Università degli studi di Genova

Laurea triennale in Scienze Ambientali e Naturali

Relatori: Prof. Massimiliano Burlando, Dott. Federico Canepa

Co-Relatore: Prof. Marco Capello

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract

Il lavoro analizza il fenomeno meteorologico del downburst attraverso uno studio sperimentalmente condotto in laboratorio. La ricerca si basa sui dati raccolti durante una campagna sperimentalmente svolta nel Giugno 2024 presso il Jules Verne Climatic Wind Tunnel di Nantes, riportata in Canepa et al. (2025). Gli esperimenti sono stati eseguiti nell'ambito del progetto CLIMATHUNDERR – CLIMatic investigation of THUNDERstorm winds, sviluppato all'interno del programma Engineering Research Infrastructures for European Synergies (ERIES) ([www.eries.eu](http://www.eries.eu)), finanziato dall'Unione Europea attraverso il programma Horizon Europe Framework Programme.

L'obiettivo del lavoro è stato il confronto tra downburst generati meccanicamente mediante la tecnica dell'impinging jet e downburst riprodotti, per la prima volta in una galleria del vento, attraverso una forzante di tipo buoyancy-driven. Il confronto è stato condotto a partire dai dati sperimentalmente acquisiti con la tecnica Particle Image Velocimetry (PIV), successivamente elaborati e rappresentati graficamente.

Gli esperimenti sono stati realizzati progettando un box di volume pari a 8 m<sup>3</sup>, installato all'interno della camera di prova ad un'altezza di 3 m dal suolo. All'interno del box, l'aria è stata raffreddata a temperature prefissate tramite un sistema di refrigerazione; l'apertura improvvisa di un'apertura circolare sul fondo consentiva la fuoriuscita del getto verticale, rappresentante la corrente discendente temporalesca. Sono state investigate tre condizioni sperimentalmente, corrispondenti a gradienti di temperatura crescenti tra il getto e l'ambiente circostante (0 °C, 10 °C e 25 °C).

L'elaborazione dei dati è avvenuta tramite software MATLAB, utilizzato per la generazione di rappresentazioni grafiche e animazioni GIF che descrivono l'evoluzione spazio-temporale del campo di flusso.

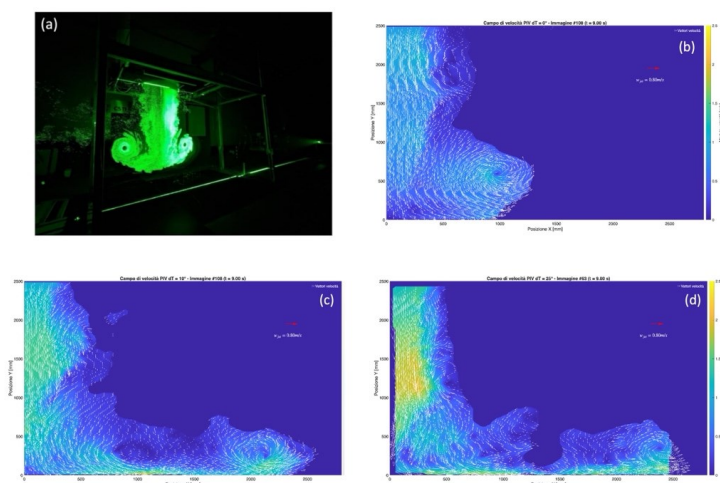
Come mostrato in Figura 1, all'aumentare del gradiente termico, cresce la spinta di galleggiamento della massa d'aria fredda e, di conseguenza, l'intensità del getto, con velocità del flusso temporalesco più elevate. Viceversa, gradienti di temperatura più contenuti producono una minore spinta di galleggiamento e velocità inferiori, con ridotto entrainment e vortici primari più omogenei e di dimensioni minori.

In conclusione, il lavoro ha evidenziato la relazione tra la differenza di temperatura tra il getto discendente e l'ambiente circostante e le dinamiche di formazione del downburst, dimostrando come tale parametro influenzi significativamente la velocità, la stabilità e la morfologia dei vortici primari.

In conclusione, il lavoro ha evidenziato la relazione tra la differenza di temperatura tra il getto discendente e l'ambiente circostante e le dinamiche di formazione del downburst, dimostrando come tale parametro influenzi significativamente la velocità, la stabilità e la morfologia dei vortici primari.

### Bibliografia

Canepa, F. et al., 2025. CLIMATHUNDERR: Experimental database of buoyancy-driven downbursts. Earth System Science Data Discussion. Preprint. <https://doi.org/10.5194/essd-2025-11>



**Figura 1.** (a) registrazione del flusso temporalesco tramite tecnica PIV. (b-d) ricostruzione campo di flusso tramite MATLAB a  $t = 9$  s da apertura box per gradienti termici  $\Delta T = 0$  °C, 10 °C e 25 °C, rispettivamente.

# Indicatori meteorologici caratterizzanti i Medicanes mediante ERA5: applicazione di nuovi criteri sulla base del Cyclone Phase Space Diagram

Dott. Emanuele Nunzio Tedesco



Università degli Studi di Napoli "Parthenope"

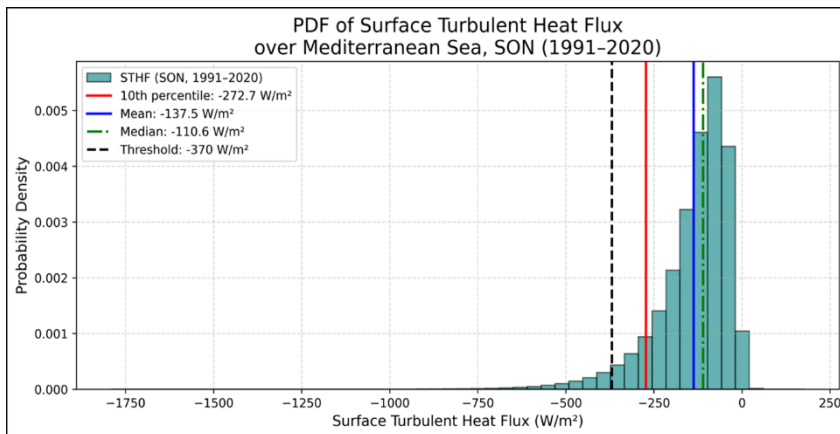
Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie della Navigazione

Relatore: Prof. Vincenzo Capozzi

Co-Relatori: Prof.ssa Paola Mercogliano, Dott.ssa Giusy Fedele

Anno Accademico 2024/2025

## Abstract



I Medicanes sono sistemi ciclonici rari ma intensi che si sviluppano sul Mar Mediterraneo, e che presentano caratteristiche simili ai cicloni tropicali. L'interesse scientifico verso questi fenomeni è cresciuto negli ultimi decenni grazie alla possibilità di osservarli sistematicamente mediante dati satellitari e re-analisi atmosferiche. In questo lavoro si propone un nuovo indicatore meteorologico per la caratterizzazione delle fasi di massima intensificazione

dei Medicanes, basato sul flusso di calore turbolento superficiale (STHF). L'analisi è stata condotta su cinque casi studio (Qendresa, Numa, Ianos, Apollo e Daniel) verificatisi tra il 2014 e il 2023, utilizzando il dataset ERA5 dell'ECMWF, che fornisce re-analisi globali a una risoluzione di  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  con passo temporale orario. La metodologia adottata ha previsto un approccio Lagrangiano, ricostruendo le traiettorie cicloniche a partire dai minimi di pressione al suolo e calcolando, in accordo con la convenzione ECMWF secondo cui i flussi diretti dall'oceano verso l'atmosfera sono negativi, i valori minimi di STHF (in modulo i massimi) all'interno di maschere circolari di raggio pari a 200 km. La classificazione delle fasi evolutive è stata realizzata tramite il Cyclone Phase Space diagram (Hart, 2003), integrato dalle definizioni ufficiali di NOAA e WMO. Per ogni passo temporale sono stati valutati cinque criteri diagnostici in accordo con Cavicchia et al., 2014, e, gli intervalli in cui almeno tre criteri risultavano soddisfatti sono stati classificati come "Medicane-Step".

L'analisi statistica (ROC Curve, indice di Youden e matrice di confusione) ha identificato una soglia di STHF pari a  $-370 \text{ W/m}^2$  (in valore assoluto) come discriminante per le fasi più intense. Tale soglia risulta coerente con il 90° percentile dei valori di STHF durante le fasi cicloniche classificate e superiore al 10° percentile della climatologia autunnale ERA5 (1991-2020). La validazione sui casi di Rolf (2011) e Zorbas (2018) ha confermato la robustezza del criterio.

Nonostante i limiti associati alla risoluzione del dataset ERA5, i risultati suggeriscono che un valore di  $\text{STHF} \geq |-370| \text{ W/m}^2$  costituisce un indicatore affidabile per l'individuazione delle fasi di massima intensificazione dei Medicanes, offrendo una base per future applicazioni su dati ad alta risoluzione e su proiezioni climatiche

# Nowcasting Radar-basato delle Alluvioni Utilizzando Algoritmi di Machine Learning: Un'Applicazione nel Nodo Idraulico di Milano

(Radar-based Flood Nowcasting Using Machine Learning Algorithms: An Application in the Hydraulic Node of Milan)

Dott. Manuel Mazza



Politecnico di Milano

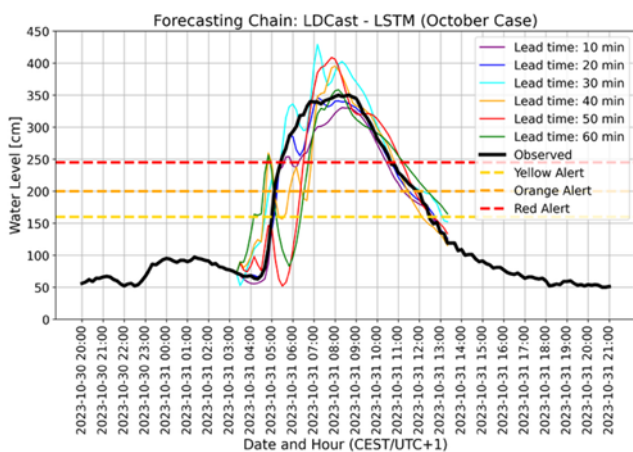
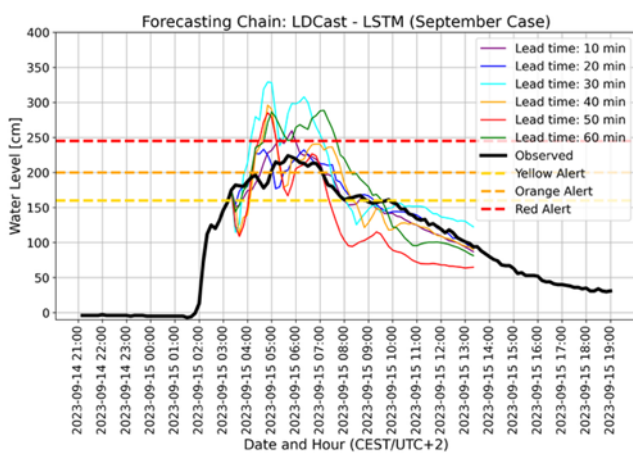
Laurea Magistrale in Environmental and Land Planning Engineering

Relatore: Prof. Alessandro Ceppi

Co-Relatore: Dott. Enrico Gambini, Dott. Gabriele Franch, Dott. Rishabh Wanjari

Anno Accademico 2024/2025

## Abstract



Negli ultimi decenni, il cambiamento climatico ha portato a un aumento significativo della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi con conseguente incremento del rischio idrogeologico e della vulnerabilità di ecosistemi e infrastrutture. Tali fenomeni, spesso caratterizzati da forte variabilità spaziale e temporale, risultano particolarmente impattanti nelle aree urbane. Il nodo idraulico di Milano rappresenta un caso emblematico: le piene del fiume Seveso causano allagamenti ricorrenti nel quartiere Niguarda, a nord della città, provocando danni diffusi a infrastrutture e mobilità. In questo scenario, la capacità di prevedere con precisione variabili meteorologiche e idrologiche a brevissimo termine risulta fondamentale per gestire il rischio e sviluppare sistemi di allerta tempestivi. Il presente studio propone l'impiego di modelli di machine learning, come LDCast e GPTCast, sviluppati dalla Fondazione Bruno Kessler di Trento, per la previsione radar in chiave nowcasting, con un lead time di interesse che si estende fino a 2 ore. Le stime prodotte da questi modelli vengono poi utilizzate come input per un modello idrologico basato su intelligenza artificiale sviluppato dal Politecnico di Milano, con il fine ultimo di valutare le prestazioni complessive del sistema previsionale. I risultati mostrano che LDCast e GPTCast presentano prestazioni complessivamente simili. Si osserva una lieve superiorità di LDCast nella localizzazione spaziale delle celle

precipitative, mentre dal punto di vista idrologico entrambe le catene predittive garantiscono simulazioni di piena comparabili e mantengono una buona capacità predittiva fino a un lead time di circa 40-60 minuti. Pertanto, lo studio conclude che l'integrazione di sistemi di nowcasting radar basati sull'intelligenza artificiale con modelli idrologici è in grado di fornire previsioni affidabili e accurate nel breve termine, con risultati promettenti che suggeriscono una sostanziale possibilità di migliorare l'efficacia degli attuali sistemi di allerta operativi e la gestione dinamica dei sistemi strutturali.

## Il progetto ReData e la valorizzazione degli antichi dati meteorologici italiani

Dott.ssa Maria Di Giovanni



Università degli Studi di Milano

Laurea Triennale in Scienze e Politiche Ambientali

Relatore: Dot.ssa Veronica Manara

Co-Relatori: Prof. Maurizio Maugeri

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract

The image shows a page from the 'Bollettino Meteorico' (Meteorological Bulletin) of the Central Office of Meteorology in Rome, dated 1882. The page is a grid with columns for various meteorological observations and rows for different stations. The stations listed include Belluno, Ancona, Milano, Vicenza, Venezia, Treviso, Parma, Modena, Genova, Savona, Porto Maurizio, Firenze, Udine, Cuneo, Livorno, Perugia, Cambrino, and Portofino. The columns include temperature (maximum, minimum, mean), wind direction and force, cloud cover, and other observations. The data is handwritten in ink.

Figura. Esempio di Bollettino Meteorologico Giornaliero redatto dal Regio Ufficio Centrale di Meteorologia nel 1882.

Il recupero e la conservazione degli antichi dati meteorologici e climatici, noto come Climate Data Rescue (CDR), riveste un ruolo fondamentale per lo studio dei cambiamenti climatici, la gestione dei rischi e le relative implicazioni socioeconomiche. Gran parte di questo patrimonio di dati è conservato unicamente su supporto cartaceo, facilmente deteriorabile e poco accessibile. In particolare, gli archivi meteorologici italiani, ancora parzialmente in formato cartaceo, limitano la presenza dell'Italia nei dataset globali di rianalisi, riducendo l'accuratezza degli studi climatici dell'intero Bacino del Mediterraneo. Questi dati, se digitalizzati e integrati con quelli già disponibili sui supporti online, consentirebbero di migliorare le rianalisi climatiche e di ricostruire, e studiare, il clima passato, di conseguenza, orientare con maggiore consapevolezza le politiche di mitigazione relative ai cambiamenti climatici.

Per questo motivo, negli ultimi decenni, sono stati avviati numerosi progetti e iniziative volti alla raccolta, conservazione e digitalizzazione delle fonti storiche meteorologiche, rendendole maggiormente accessibili.

In questo contesto si colloca il progetto ReData e l'attività di tirocinio descritta nella mia tesi, finalizzata alla conservazione e digitalizzazione dei Bollettini Meteorologici Giornalieri (BMG), al fine di renderli accessibili sulla piattaforma online Zooniverse e

disponibili per gli studi climatici. Con il mio lavoro ho contribuito alla valorizzazione del patrimonio meteorologico italiano attraverso tre attività principali: l'analisi della struttura dei BMG (1879–1940) e la gestione operativa dei workflows su Zooniverse per garantire ai volontari un processo di digitalizzazione continuo; la progettazione dell'iniziativa di PCTO "ReData@School 2025/2026" con l'obiettivo

di coinvolgere gli studenti delle scuole superiori italiane sia nel processo di digitalizzazione sia nella formazione su tematiche ambientali e climatiche; la preparazione, mediante l'utilizzo di R, di un dataset completo, verificando la presenza di eventuali errori, files mancanti o danneggiati, e contribuendo, così, alla stesura del paper "The ReData project: involving citizen scientists in the digitization of historical daily weather bulletins" (sottomesso a PLOS Climate nel luglio 2025) con la Dott.ssa Veronica Manara, il Prof. Maurizio Maugeri, il Dott. Alessandro Ceppi e numerosi altri ricercatori coinvolti.

In conclusione, il progetto ReData, che coinvolge un numero in crescita di volontari, dimostra la rilevanza della Citizen Science nella ricerca climatica.

## Analisi delle aree soggette a inondazioni utilizzando il modello HEC-RAS (Caso di studio: città di Semarang, Central Java)

(Analysis of Flood Inundation Areas Using HEC-RAS Model (Case Study: Semarang City, Central Java))

Dott. Arman Effendi



Bogor Agricultural University, Indonesia

Bachelor's Degree in Applied Meteorology

Relatore: Prof. Bambang Dwi Dasanto

Co-Relatore: Dott. Akhmad Faqih

Anno Accademico 2023

### Abstract

Many hydrometeorological disasters are caused by climate change, such as floods, landslides, tidal waves. Semarang City is included in the low coastal elevation zone, because its elevation is below 10m above mean sea level and close to coastal area. Geographically, Semarang City is crossed by seven watersheds (DAS), one of which is the DAS Garang with the upstream located in Semarang Regency and the downstream in North Semarang District. Flood events in Semarang City can be analyzed and identified using technological developments based on geographic information systems (GIS) to provide solutions for future flood mitigation. One of the applications that can be used to view flood inundation is HEC-RAS, which provides a combination of 1D and 2D models. This study aims to see the extent of flooding in the past that often occurred and became a problem for residents in Semarang City.

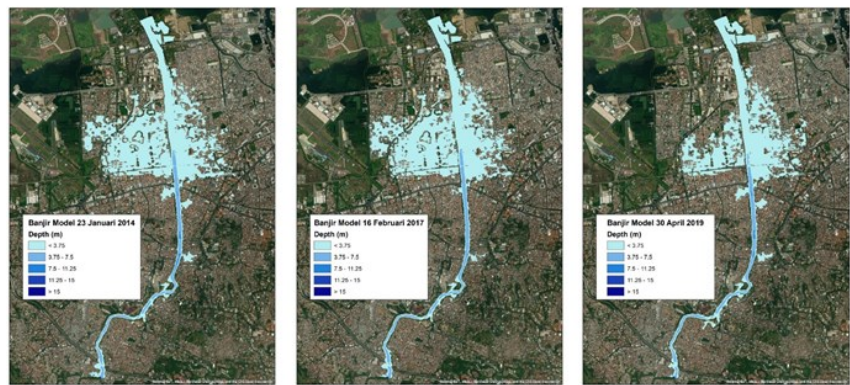


Figure 1. Flood date (a) 23 January 2014, (b) 16 February 2017, and (c) 30 April 2019.

Watershed development of study areas includes watershed creation using terrain data with hydrological tools in ArcMap. Flood discharge selection (before and after flood) uses recorded observation discharge data from PUSDATARU, Central Java, both before and after flood events, with the selection made by choosing discharge data a few days before and after the flood. Flood area modelling in HEC-RAS 2D is carried out through pre-processing, run-processing, and post-processing. Flood inundation identification is conducted by analyzing the flood distribution shown in HEC-RAS 2D using ArcMap to calculate the extent and depth of floods that occur using raster data, and this identification is carried out to see which areas are affected by flood inundation.

No	Region	Territory Size (ha)	Flooded Area (ha)		
			23 January 2014	16 February 2017	30 April 2019
1	Ngaliyan	4,452.70	2.65	1.77	1.17
2	Gajahmungkur	971.22	23.27	22.97	24.79
3	Semarang Utara	1,131.34	107.11	111.60	122.37
4	Semarang Tengah	536.07	25.27	20.05	22.40
5	Semarang Selatan	617.16	14.44	10.17	15.21
6	Semarang Barat	2,267.62	205.51	211.04	124.59
<b>Total</b>			<b>378.25</b>	<b>377.61</b>	<b>310.53</b>

Table 1. Flood coverage on 23 January 2014, 16 February 2017, and 30 April 2019.

and 30 April 2019. The model results confirm flooding on these dates, with light blue indicating flood depths of less than 3.75 meters and dark blue representing depths greater than 15 meters. Flooding in the upper reaches occurred along the river channel, while in the lower reaches, the low elevation caused the entire area within the 2D flow area grid to be inundated. Flood inundation mapping shows that several subdistricts were affected, and the area of flood inundation was calculated by intersecting the flood model with the flooded subdistricts. Table 1 presents the extent of flooding for the recorded dates. The affected areas generally have low topography and are drained by the Garang River.

## Validazione e analisi climatica dei dati di pioggia, temperatura e neve della stazione meteorologica della diga del lago di Sampeyre (CN) nel periodo 1941-2023.

Dott. Federico Negro



Università degli Studi di Torino

Laurea triennale in Scienze Geologiche

Relatore: Prof.ssa Fiorella Acquaotta

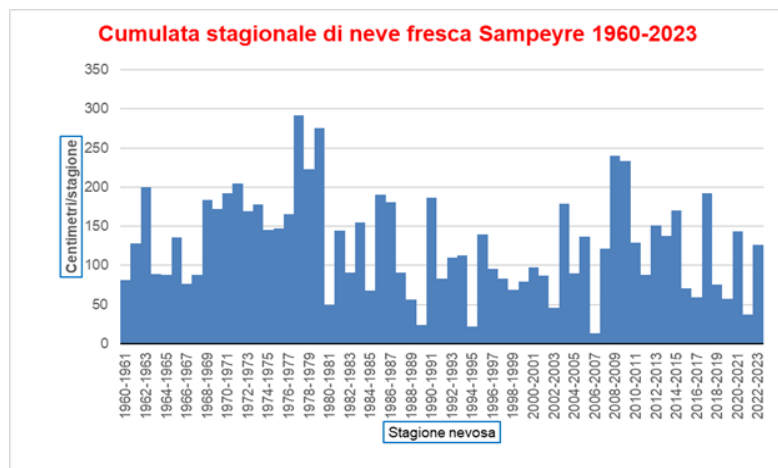
Co-Relatore: Dott. Daniele Catberro

Anno Accademico 2023/2024

### Abstract

La tesi analizza, valida e armonizza una lunga serie di dati meteorologici della stazione di Sampeyre, situata in Valle Varaita (CN) nelle Alpi Occidentali a 930 m, per il periodo 1941–2023. Le variabili esaminate sono temperatura, precipitazione, neve fresca e neve al suolo. Il lavoro ha richiesto l'integrazione di due serie contigue ma eterogenee: la serie storica del Servizio Idrografico Italiano, avviata nel 1941 in concomitanza con la costruzione della diga e basata su strumentazione manuale (capannina a 1 m con termometro a massima/minima, pluviografo e misure nivometriche dirette), e la serie ARPA, attiva dal 1990 circa, ottenuta tramite sensori automatici posti a 2 m. Le differenze strumentali e di posizione hanno generato discontinuità, soprattutto nelle temperature e nelle precipitazioni, rendendo necessaria una validazione puntuale e un confronto sistematico tramite elaborazioni grafiche.

Una parte centrale del lavoro riguarda il confronto tra la misura diretta della neve fresca su tavoletta (HN) e la stima ottenuta come differenza tra l'altezza del manto nevoso al suolo in giorni consecutivi ( $\Delta$ HS). L'analisi svolta sulle stazioni di Sampeyre e Pontechianale mostra una differenza media del 17–18% a favore del metodo diretto, principalmente a causa dell'assessamento del manto nevoso al suolo, più marcato rispetto a quello sulla tavoletta, e di fenomeni di fusione differenziale e trasporto eolico. Circa il 45% delle misure risulta concorde, mentre nella maggior parte dei restanti casi prevale la misura su tavoletta. Questo risultato fornisce indicazioni utili per la rivalutazione delle serie nivometriche alpine storiche, generalmente basate su misure dirette del manto, nel confronto con le serie recenti realizzate mediante tavolette standard o sensori automatici come i nivometri a ultrasuoni.



Parallelamente sono state svolte analisi climatiche di temperatura, precipitazione e neve: curve termiche mensili e stagionali, regimi pluviometrici, medie annuali delle precipitazioni e dei giorni piovosi, curva ombrotermica, cumulate mensili e stagionali di neve fresca, giorni con neve al suolo e giorni con nevicata. In base ai parametri ottenuti, il clima di Sampeyre è stato classificato come temperato fresco secondo Pinna.

Il risultato più rilevante è la costruzione di una serie continua di neve fresca stagionale (ottobre–maggio) dal 1960 al 2023, basata su  $\Delta$ HS. Nel periodo analizzato emerge una diminuzione della neve fresca invernale pari al 33%, corrispondente a una perdita media di circa mezzo metro rispetto agli anni Sessanta. Anche i giorni con manto nevoso risultano in calo, passando da 80 giorni medi nel trentennio 1961–1990 a 68 giorni nel periodo 1991–2020. Il confronto con i valori nivometrici attesi per le Alpi Occidentali, secondo la bibliografia scientifica, mostra infine che Sampeyre, pur trovandosi 500 m più in alto del capoluogo Cuneo, presenta una nevosità solo lievemente superiore e inferiore a quella registrata nei comuni dell'Alta Langa. Tale evidenza conferma l'esistenza di un gradiente positivo di nevosità da nord verso sud, con incremento avvicinandosi alle Alpi Marittime e alla Liguria, caratteristico di questo settore del basso Piemonte.

## Verso il gemello digitale della qualità dell'aria (Towards air quality digital twin)

Dott.ssa Margherita Garutti



Alma Mater Studiorum – Università degli Studi di Bologna

Laurea Magistrale in Fisica del sistema Terra

Relatore: Prof.ssa Erika Brattich

Co-Relatore: Prof.ssa Silvana di Sabatino, Prof. Mirko degli Esposti

Anno Accademico 2024/2025

### Abstract

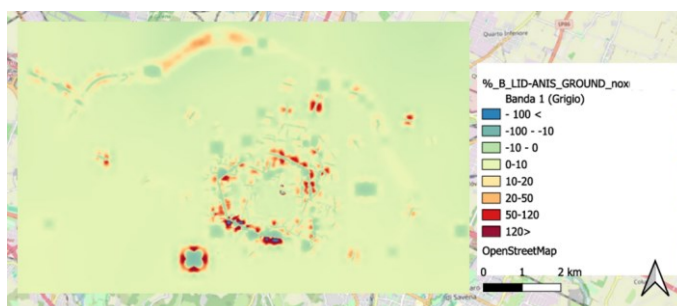


Figura 1. Variazione percentuale della concentrazione di NOx al variare della geometria del sito di dispersione.

Al giorno d'oggi molte città stanno sviluppando il proprio gemello digitale: una replica virtuale della città che mira alla realizzazione di un modello omnicomprensivo con cui valutare lo stato della città in tempo reale e fare previsioni sull'impatto delle politiche adottate. L'effettiva realizzazione di questo strumento, e l'inclusione in esso di un modulo relativo allo stato dell'atmosfera, permetterebbero di valutare le concentrazioni locali di inquinanti all'interno di una riproduzione iperrealistica del sito di interesse.

Dal 2023 la città di Bologna sta lavorando al progetto "Bologna Digital Twin", e questa tesi si inserisce in tale contesto come una valutazione preliminare della compatibilità tra i modelli di qualità dell'aria attuali, che estraggono il valore di altezza aerodinamica di rugosità da parametri morfometrici aggregati, e i valori quasi continui di rugosità aerodinamica estrapolati da DEM. L'obiettivo finale è quello di valutare l'impatto che l'utilizzo di dati geometrici ad alta risoluzione ha sulle previsioni di qualità dell'aria. Per fare ciò è stato utilizzato il modello di dispersione ADMS-Urban in diverse configurazioni variando l'approccio metodologico e la risoluzione spaziale della geometria urbana considerata. Sebbene sia stato già osservato che la variazione nella risoluzione della geometria urbana influenzi la rugosità aerodinamica, e che tali cambiamenti inducano variazioni nella dispersione degli inquinanti atmosferici; questo studio si distingue dai precedenti per la definizione dei dati alternativi utilizzati.

In questo lavoro l'effetto sulla concentrazione di inquinanti atmosferici della variazione del valore di rugosità aerodinamica è stata valutata in un breve periodo dell'estate 2023 sovrapponibile con una campagna sperimentale intensiva, in cui sono state misurate le concentrazioni di inquinanti nell'area di interesse, e con il periodo di raccolta di ortofoto e nuvole di punti mediante LiDAR.

Complessivamente si osserva che la rugosità aerodinamica basata su dati LiDAR risulta più elevata rispetto a quella derivata da dati aggregati e che la variazione di concentrazione di inquinanti non risulta omogenea in tutto il territorio. La presenza di aree di aumento di concentrazione accostate ad aree di calo, in Fig.1, sottolinea che la variazione di rugosità aerodinamica, risultante principalmente dalla variazione del dato geometrico sul sito di dispersione, influenza in più larga misura il contributo diffusivo rispetto a quello avvevivo.

Il confronto tra i valori di concentrazioni di inquinanti atmosferici modellati e osservati ha mostrato che l'utilizzo dell'informazione geometrica dettagliata non fa aumentare sistematicamente l'accuratezza del risultato. Nei siti puntuali studiati si alternano casi di calo e di aumento di accuratezza del risultato al variare dell'inquinante e della stazione; tuttavia, si osserva un complessivo miglioramento.

Il metodo proposto in questo studio non costituisce un modello alternativo per la valutazione della qualità dell'aria urbana pronto all'uso; tuttavia, l'aver osservato che un aumento della variabilità spaziale modifichi le concentrazioni di inquinanti anche all'interno di un modello fortemente approssimato può incoraggiare la ricerca di una convergenza tra i due approcci concorrenti.

## I cicloni simil-tropicali (TLC) nel Mar Mediterraneo: il caso peculiare del Ciclone Daniel (4–12 settembre 2023).

Dott. Riccardo Cangoli



Università degli Studi di Torino

Laurea triennale in Fisica

Relatore: Prof. Claudio Cassardo

Co-Relatore: Prof.ssa Silvia Ferrarese

Anno Accademico 2022/2023

### Abstract

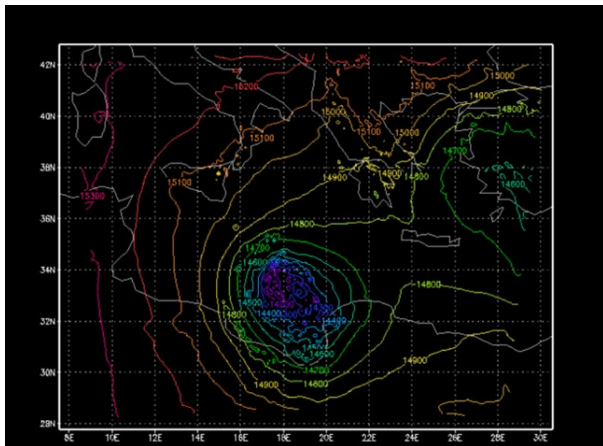


Figura 1. Simulazione WRF del geopotenziale a 850 hPa (in  $m^2/s^2$ ) alle ore 2100 UTC del 9 settembre 2023.

estreme e impatti rilevanti. Un primo obiettivo del lavoro è il confronto tra cicloni tropicali e TLC mediterranei, evidenziando similitudini (presenza di nucleo caldo, occhio, convezione organizzata) e differenze legate alla scala spaziale, al ruolo dell'orografia e all'interazione con le strutture barocline extratropicali. Un secondo obiettivo è l'analisi sinottica e strutturale di Daniel mediante simulazioni numeriche con il modello WRF, l'utilizzo dei

Il bacino del Mediterraneo è una regione caratterizzata da una ciclogenesi complessa, in cui possono svilupparsi cicloni simil-tropicali (TLC, tropical-like cyclones) con caratteristiche ibride tra sistemi tropicali ed extratropicali. In questo contesto, la tesi analizza sia il quadro teorico dei TLC, sia un caso di studio recente: il ciclone Daniel, che ha interessato il Mediterraneo tra il 4 e il 12 settembre 2023, producendo precipitazioni

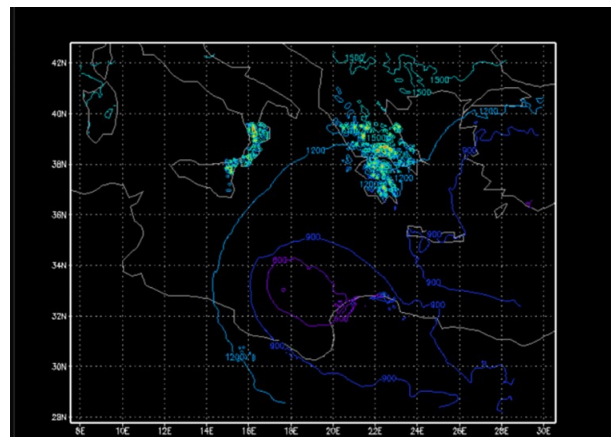


Figura 2. Simulazione WRF del geopotenziale a 1000 hPa (in  $m^2/s^2$ ) alle ore 2100 UTC del 9 settembre 2023.

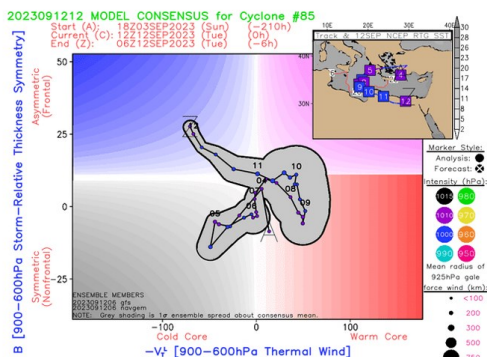


Figura 3. Diagramma di Hart inerente alla correlazione tra vento termico tra 900 e 600 hPa e il parametro B (Fonte: rielaborato da Hart (2003)).

diagrammi di fase di Hart e il confronto con prodotti satellitari e campi di precipitazione. I risultati mostrano che Daniel si è originato da un ciclone extratropicale associato a configurazione a cut-off in quota e SST insolitamente elevate (circa 27–28 °C), evolvendo verso una struttura più simmetrica e quasi barotropica nelle ore precedenti al landfall in Libia (come mostrato in Figura 1 e 2). I parametri del diagramma di Hart (in Figura 3) indicano la comparsa di un “warm core” poco profondo e di breve durata, compatibile con un sistema ibrido subtropicale, mentre per la maggior parte del ciclo di vita Daniel mantiene caratteristiche prevalentemente extratropicali. L'analisi suggerisce quindi che Daniel non possa essere classificato come TLC “puro”, ma rappresenti un caso intermedio tra ciclone extratropicale e medicane, evidenziando la difficoltà di definire criteri univoci di classificazione per i cicloni mediterranei simil-tropicali.

## IN RICORDO DI...

### Paolo Sottocorona

(Firenze, 17 dicembre 1947 – Nazzano 8 ottobre 2025)



Se è vero, com'è vero, che *“chi trova un Amico...trova un tesoro”*, è altrettanto vero che *“chi perde un Amico rimane più povero”*.

Conoscevo Paolo da quasi 50 anni ed il nostro rapporto era maturato nel tempo, passando da una rispettosa colleganza ad una fraterna Amicizia.

Di qualche anno più grande di me, era entrato in Aeronautica 2 anni prima, anche lui come Ufficiale Meteo di Complemento.

Dopo aver frequentato il Liceo Classico, si era iscritto alla facoltà di Ingegneria. Nel '72 vinse il concorso in Aeronautica, venendo assegnato all'Aeroporto di Guidonia, a 2 passi da Roma.

Lo conobbi nel '77, preparando insieme il concorso per transitare nel Servizio Permanente Effettivo (era il mio CapoCorso).

Nel 1986 iniziò la sua collaborazione in RAI, nella trasmissione UnoMattina, e nel '90 ci trovammo a condividere la stessa scrivania presso il Centro Nazionale Di Meteorologia e Climatologia Aeronautica.

È lì che nacque la nostra Amicizia, condividendo turni H24 e trascorrendo insieme molto tempo.

Nel '93, rinunciando alla promozione al grado di Maggiore, lasciò l'Arma azzurra per abbracciare l'avventura televisiva sugli schermi di Tele MonteCarlo, dove iniziò a curare proprie rubriche meteorologiche, riscuotendo molto successo per il suo tratto garbato e semplice.

Amante del mare e della barca a vela, per lungo tempo si è occupato, per conto della Federazione Italiana Vela, anche della formazione di docenti ed istruttori.



L'altra sua grande passione erano le moto di grossa cilindrata, con le quali ha compiuto numerosi viaggi.

Nel 2001 Tele MonteCarlo mutò in LA7 e Paolo ne divenne l'esclusivo punto di riferimento per la meteorologia, che trattò sempre con un linguaggio semplice e rispettoso, mai cedendo alle lusinghe dei titoloni roboanti.

Da allora ha sempre curato i diversi spazi meteo della rete, dall'alba sino alle 13:00.

Durante le sue meritate vacanze mi ha spesso chiesto di sostituirlo nella preparazione delle grafiche e nei commenti in voce, rafforzando la nostra già provata Amicizia.



È stato autore di numerosi articoli per alcune testate radiofoniche e giornalistiche ed ha pubblicato un gustoso volumetto per ragazzi, intitolato "Cosa sanno le nuvole?".

È morto mercoledì 8 ottobre 2025, nel tardo pomeriggio, dopo aver riempito tutta la mattinata con le sue previsioni nelle diverse rubriche.

Paolo ha lasciato un vuoto molto profondo in quanti lo seguivano: la pagina Facebook **Paolo Sottocorona fan club (ufficiale)** mantiene ben vivo il suo ricordo, con quotidiane testimonianze di affetto e di stima da parte dei suoi

numerosi Amici (virtuali e reali).

Nei confronti della nostra Associazione è stato sempre molto generoso, intervenendo personalmente alla prima edizione del Festivalmeteorologia e, soprattutto, lanciando sempre molto efficacemente in TV ogni successiva edizione del Festival e, sin dal 2017, le varie Giornate Meteorologiche Mondiali.



*(Sergio Pisani per AISAM)*

## QUATTRO CHIACCHIERE CON...

### Intervista a Sofia Söderberg

*In questo numero abbiamo chiesto a Sofia Söderberg, meteorologa ora operativa in ARPA Lombardia ma recentemente arrivata dal Nord Europa, di raccontarci il suo percorso, sia formativo che lavorativo.*



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

Buongiorno

Sono Sofia Söderberg, meteorologa e graphic designer, vengo dalla Svezia

Dopo il liceo sono andata in Francia per studiare francese per un anno. Oltre ad aver imparato a parlare fluentemente il francese, ho anche scoperto quanto mi piacesse il sud dell'Europa; il clima, la cultura e la gente.

Di ritorno in Svezia ho iniziato la mia carriera professionale come grafica e animatore presso una società di produzione a Stoccolma, dove sono stata impiegata durante il mio ultimo anno di studi in arte, progettazione computazionale e animazione 3D.

Ho lavorato lì per diversi anni prima di trovare ciò che desideravo studiare a livello universitario. Nel 2009 ho iniziato gli studi per conseguire una laurea triennale in Fisica/meteorologia presso l'Università di Lund e ho scoperto quanto interessante e stimolante fosse la meteorologia e non mi sono mai pentita della mia scelta di studi. Poi ho iniziato a lavorare come meteorologa e grafica presso SMHI, l'Istituto nazionale svedese di meteorologia e idrologia, nel 2013.

L'impressione dell'Europa meridionale non è mai svanita e poiché i nostri sistemi meteorologici sono globali, anche la possibilità di lavorare a una latitudine più meridionale sembrava ragionevole.

Dopo 5 anni di esperienza ho iniziato a cercare una posizione in Francia, ma poi durante un viaggio in Italia ho scoperto che questo paese mi piaceva di più. Ho perso alcuni anni a causa della pandemia, dopo di che ho iniziato un corso serale in italiano e un anno dopo ho fatto domanda per una posizione aperta presso ARPA Lombardia a Milano, dove ho iniziato a lavorare all'inizio di marzo 2025.

Sono molto felice e grata per questa opportunità e sono ancora un po' sopraffatta dal fatto di vivere il mio sogno qui in Italia.

**In che cosa consisteva il tuo lavoro in Svezia?**

Presso la SMHI mi occupavo di previsioni e allerte meteorologiche per il pubblico e per la protezione civile. In genere, due giorni a settimana, iniziavo alle 5 del mattino per preparare le previsioni regionali per le stazioni radio regionali nazionali, e dalle 6 le presentavo in diretta.

Uno o due giorni a settimana avevo il turno di allerta e, se necessario, il compito di emettere avvisi per vari eventi meteorologici che avrebbero potuto avere conseguenze in diverse parti della Svezia.

Uno o due giorni a settimana registravo un video con le previsioni meteo per i successivi 1-3 giorni, oppure un video informativo per diversi fenomeni meteorologici,





come fulmini o nebbia. I brevi video venivano pubblicati sul sito web di SMHI e su altri canali digitali come X, Instagram e Facebook.

Un giorno alla settimana avevo il turno serale: intervista con la radio al pomeriggio, scrittura dei testi per il sito web. Il turno si concludeva con un monologo di 10 minuti alle 22 sul canale radio nazionale e una reperibilità fino al mattino successivo.

E durante il giorno restava disponibile una linea telefonica per i giornalisti, che potevano chiamare per domande sul meteo.

In alcuni giorni al mese, quando non ero di turno alla sala meteo, mi occupavo di grafica per le presentazioni meteorologiche: sia per la presentazione delle previsioni, sia per le presentazioni informative e didattiche. Realizzavo immagini fisse e animazioni in 2D e 3D utilizzando la suite Adobe e TriVis.

### **Come si svolgeva una tua giornata tipo?**

Con questo scenario variabile nel corso di una settimana le mie giornate erano molto diverse, non solo per la situazione meteorologica in continuo cambiamento. Nel contesto più ampio il lavoro era principalmente incentrato sulla situazione meteorologica effettiva e sulla previsione per i giorni 0-5 e sullo sviluppo previsto per i giorni 5-10; analisi seguita dalla valutazione dell'output dei diversi modelli meteorologici. Nel dettaglio la mia attività era incentrata sul comunicare le previsioni, locali e nazionali, in versione testuale e orale, e nel rispondere alle domande sulla situazione meteo in corso, sulle osservazioni e sulle previsioni. Quando si emettevano allerte bisognava anche tenere conto di altre conoscenze locali per valutare il rischio di conseguenze.

### **Quando hai deciso di spostarti in Italia? È stato facile entrare nel sistema meteorologico italiano?**

Da diversi anni desideravo lavorare nel sud Europa. Dato che parlavo già francese, ho iniziato a cercare lavoro in Francia, ma dopo un viaggio in Italia mi sono resa conto

che mi piaceva di più questo Paese. Così, un anno e mezzo fa, ho iniziato a studiare italiano attraverso corsi serali e due settimane di corsi di lingua in Italia. Ho anche cercato posizioni aperte per meteorologi e dopo circa un anno è stato annunciato questo concorso. Quando mi è stata offerta una posizione, ovviamente ho dovuto accettare per vivere il mio sogno, anche se è stata una grande decisione lasciare SMHI dopo undici anni!

### **In cosa consiste ora il tuo lavoro?**

Anche qui all'ARPA ho un programma variabile durante la settimana, anche se meno che in Svezia. Circa 1-2 giorni a settimana sono di turno nella sala meteo e finora ho redatto previsioni e bollettini meteorologici per il sito web, ad esempio Meteo Lombardia e Meteo Giorno. Questo è stato un ottimo modo per conoscere l'evoluzione meteorologica più locale e variabile del Nord Italia.

Uno o due giorni alla settimana faccio la presentazione meteo per la Rai, un aggiornamento in diretta dal nostro ufficio per Buongiorno Regione Lombardia. Questo autunno mi occuperò anche dei bollettini di vigilanza per la Protezione Civile, con reperibilità durante il fine settimana. Nei giorni in cui non sono in turno ho anche fatto un po' di grafica, ad esempio per il convegno RadMet e EFAS, e ho anche iniziato a plottare alcune mappe delle previsioni del tempo per uso interno.

Mi sto preparando anche per le previsioni durante i giochi olimpici.

### **Hai lavorato come meteorologa in paesi diversi: hai notato delle differenze di approccio?**

Oltre a lavorare per l'istituto meteorologico nazionale svedese, ho anche seguito corsi di formazione presso il DMI in Danimarca e presso MeteoFrance. Naturalmente le basi teoriche e l'approccio sono le stesse, tutti utilizzano un modello regionale collegato a uno globale; i sistemi di visualizzazione e le risorse, sia economiche che umane, differiscono leggermente. Inoltre, per l'Europa settentrionale i sistemi meteorologici sono lievemente diversi, con i tipici fronti caldi e freddi che differiscono dall'Europa meridionale, dove i sistemi meteorologici in



via di sviluppo sono più locali e di dimensioni ridotte, e possono svilupparsi più rapidamente e anche rafforzarsi.

Ho lavorato anche con l'adattamento ai cambiamenti climatici nell'Africa occidentale, dove il clima è molto diverso e il modo in cui si lavora con le allerte e la comunicazione è una sfida più grande, soprattutto per raggiungere le comunità più piccole e aiutarle a gestire gli estremi tra periodi di caldo e siccità e quelli di piogge molto intense.

#### **Qualche volta ti capitano situazioni difficili da gestire?**

Mi è capitato una o due volte in Svezia di avere previsioni con spread molto ampio, con forti temporali locali nel sud della Svezia. Ma non era possibile sapere dove sarebbero stati attivati, quindi la decisione su come emettere le allerte è stata molto difficile.

#### **Qual è la cosa che preferisci del tuo mestiere?**

Mi piace ancora tanto andare al lavoro ogni giorno. Sono così affascinata da come possiamo calcolare l'evoluzione del tempo e prevedere tutto con tanta precisione: temperatura, pioggia, nuvole ecc., quando si conoscono i numerosi parametri coinvolti.

La prima cosa che faccio è guardare le ultime immagini satellitari, solo questa parte è incantevole... poi guardo le altre osservazioni e l'output del modello per l'evoluzione. Durante il giorno si può seguire l'evoluzione e il più delle volte verificare le previsioni meteo, il che è molto soddisfacente.

Anche lavorare con la grafica è molto stimolante per me. Entro in un altro mondo dove trovo un flusso naturale e facile per raggiungere i risultati che cerco.

#### **Raccontaci un aneddoto della tua esperienza lavorativa che ti è rimasto particolarmente impresso.**

L'estate del 2018 è stata molto speciale in Svezia, con un periodo estremamente caldo e secco da giugno ad agosto. Sono scoppiati diversi grandi incendi boschivi che sono durati a lungo. L'alta pressione responsabile non ha mai voluto allentare la presa e le previsioni a lungo termine, 5-10 giorni in anticipo, si basavano troppo sulle statistiche e promettevano sempre un cambiamento verso una pressione più bassa e piogge che non sono mai arrivate.

#### **Puoi raccontarci qualcosa di personale sulla tua nuova vita in Italia?**

Il viaggio in Italia che mi ha fatto scoprire il mio nuovo Paese è stato in realtà causato da un evento piuttosto insolito. Un giorno, 2-3 anni fa, sono stata contattata da una galleria d'arte di Venezia che stava allestendo una mostra incentrata sul meteo e sul cambiamento climatico.



Avevano trovato online uno dei miei video sulle previsioni del tempo e volevo usarlo per un'installazione all'ingresso. Naturalmente ho dato il mio consenso e poi sono stata invitata a venire e anche a partecipare a una giornata di presentazioni a tema. Così ho preso il treno da Norrköping a Milano e Desenzano del Garda, dove ho soggiornato prima di andare a Venezia per la giornata. Viaggiare dalle Alpi nord-occidentali alla costa adriatica è stata un'esperienza bellissima, ma la cultura italiana e la gente molto simpatica mi hanno colpito di più. Ho sentito di avere sempre un amico ovunque andassi e mi sono sentita come a casa.

#### **Grazie mille Sofia, e in bocca al lupo per la tua avventura italiana!**

*A cura di*



*Marta Salvati*

## I NOSTRI SOCI COLLETTIVI

### ASSOCIAZIONI

ASNACODI



Estremi Meteo4



Meteonetwork



Meteotrentinoaltoadige



Datameteo Educational  
OdV- ETS



### PRIVATI

AmigoClimate srl



CODIPRA



Eurelettronica ICAS



Fondazione CIMA



Fondazione OMD ETS



HIMET



HYPERMETEO srl



Hortus



Lombard & Marozzini



RADARMETEO srl



RSE



3BMeteo



### ENTI PUBBLICI

ARPAL



ARPA-Piemonte  
Dipartimento Rischi Naturali e  
Ambientali



ARPA Valle d'Aosta



CETEMPS



Consorzio LaMMA



UNITN



A LORO LA PAROLA...

## Quaderni di Meteorologia Aperta, nuova uscita del progetto editoriale di Radarmeteo e Hypermeteo: «Cambiamento climatico. Cause non antropiche e postverità»



Il sesto numero della collana *Quaderni di Meteorologia Aperta*, intitolato «**Cambiamento climatico. Cause non antropiche e postverità**», affronta uno dei temi più discussi ed attuali del nostro tempo. Lo fa adottando un punto di vista originale sul cambiamento climatico con un'indagine sulle **cause naturali** delle variazioni del clima, sulle **distorsioni comunicative** che accompagnano il dibattito pubblico su questo tema e sul ruolo che il **pensiero critico e la cultura** possono offrire per interpretare una realtà sempre più complessa.

Il testo è frutto della collaborazione tra Massimo Crespi e i climatologi Gianluca Ferrari e Tullio Degiacomi, rispettivamente Presidente, Chief Data Analysis Officer e Weather Data Scientist di Hypermeteo - startup che dal 2021 sviluppa dati, indici e scenari meteo-climatici ad alta risoluzione.

Il lavoro affronta tre nuclei principali di analisi.

Il primo nucleo tematico è dedicato al **sistema climatico** e alle sue dinamiche: vengono ricostruiti i grandi cicli climatici del Cenozoico e viene valutato l'impatto delle principali **forzanti naturali** – radiazione solare, eruzioni vulcaniche, aerosol e gas serra di origine non antropica. L'esame dei dati paleoclimatici dimostra che: il clima terrestre è sempre cambiato, ma **con tempi lunghi**, spesso di milioni di anni; anche gli eventi più drastici del passato – come il Massimo Termico del Paleocene-Eocene – hanno avuto dinamiche **molto più lente** rispetto all'aumento attuale della CO<sub>2</sub>; le forzanti naturali non giustificano in alcun modo l'eccezionale rapidità del riscaldamento moderno.

L'analisi conduce dunque ad una considerazione: le variazioni naturali del clima sono fondamentali per comprendere la storia del pianeta, ma **non possono spiegare l'aumento osservato negli ultimi due secoli**, che risulta invece coerente con l'incremento antropico dei gas serra.

Il testo affronta poi un nodo cruciale del dibattito contemporaneo: la difficoltà di comunicare il clima in un contesto dominato da semplificazioni, slogan, narrazioni mediatiche e conflitti ideologici.

Nel volume viene mostrato come la confusione tra **clima** e **meteorologia**, l'amplificazione dei social media, la ricerca di consenso immediato e la frammentazione culturale, tipica della società "liquida", contribuiscano a creare una "Velo di Maja comunicativo" che ostacola la reale comprensione del cambiamento climatico.

Il risultato è un sovraccarico di informazioni che rende difficile distinguere interpretazioni scientifiche solide da ricostruzioni distorte, alimentando la cosiddetta **postverità**: non ciò che è vero, ma ciò che "funziona" nella comunicazione. Il volume tenta quindi di offrire strumenti per riconoscere questo meccanismo e recuperare il senso critico necessario per orientarsi.

Differenziandosi dalle trattazioni scientifiche sul clima, questo Quaderno n. 6 dedica la terza sezione alla riflessione filosofica e culturale, proponendo una selezione ragionata di contributi di filosofi, antropologi e pensatori.

L'obiettivo è di mostrare come le grandi trasformazioni – tecnologiche, climatiche, sociali – richiedano una lettura che vada oltre i numeri della conoscenza dell'atmosfera e includa: la dimensione etica, il rapporto tra uomo e natura, la capacità di dare significato e responsabilità

all'agire umano in un'epoca segnata da instabilità e frammentazione.

La crisi climatica non è solo un fenomeno fisico: è anche una **sfida culturale**.

Il QMA n. 6 è pensato per chi desidera comprendere cosa stia accadendo al clima del pianeta, senza cedere né al sensazionalismo né al negazionismo, e desidera strumenti per districarsi tra dati scientifici, comunicazione pubblica e responsabilità sociale.

Il sesto numero della collana *Quaderni di Meteorologia Aperta* è scaricabile al seguente link:

<https://www.hypermeteo.com/wp-content/uploads/2025/11/Quaderno-di-meteorologia-aperta-6.pdf>

*Autore:*



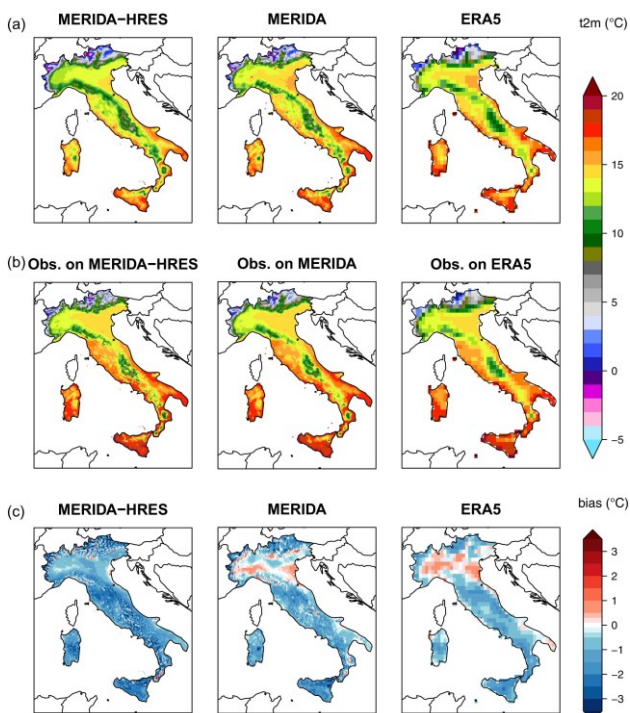
*Massimo Crespi*

*(Presidente Radarmeteo e Hypermeteo)*

## Recenti pubblicazioni scientifiche coordinate da RSE

Vi segnaliamo, tra le recenti pubblicazioni RSE comparse sulla bibliografia scientifica internazionale, due articoli che potrebbero interessare la comunità AISAM.

### MERIDA HRES: A new high-resolution reanalysis dataset for Italy



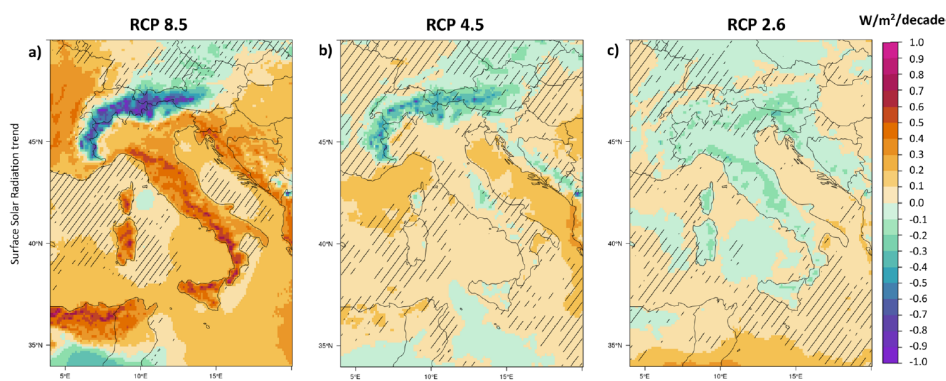
La nuova rianalisi MEteorological Reanalysis Italian DATaset (MERIDA) High-RESolution (HRES), un dataset con risoluzione di 4 km e convezione esplicita specificamente progettato per l'Italia. Questo dataset, disponibile al pubblico dal 1986 a oggi, è stato valutato e confrontato con il dataset di rianalisi MERIDA precedentemente sviluppato sempre da RSE (risoluzione di 7 km sull'Italia) e con ERA5, il driver di rianalisi globale. La validazione viene condotta su diverse scale (ad esempio, dalla climatologia ai singoli eventi estremi) e per più variabili (temperatura a 2 metri, precipitazione totale giornaliera e velocità del vento a 10 metri, tra le tante disponibili). Per illustrare il potenziale del dataset nel catturare gli estremi di precipitazione e vento vengono analizzati casi specifici, come una tempesta convettiva nel luglio 2016 nell'Italia settentrionale vicino a Bergamo e la tempesta Vaia, con un andamento più sinottico, nell'ottobre 2018. Inoltre, l'incendio boschivo di Arbus in Sardegna viene esaminato per presentare un'applicazione multivariabile per la valutazione del rischio di incendi.

Attraverso mappe di performance e analisi statistiche, viene evidenziata la capacità di MERIDA HRES di rappresentare sia statistiche a lungo termine che eventi estremi. Nonostante un bias negativo sulle temperature in tutta Italia, con picchi più elevati nelle regioni montuose, le prestazioni di precipitazioni e vento superano quelle di MERIDA ed ERA5 in tutti i casi analizzati. Questi risultati dimostrano il significativo potenziale di questo prodotto per molteplici applicazioni.

Viterbo, F., Sperati, S., Vitali, B., D'Amico, F., Cavalleri, F., Bonanno, R., & Lacavalla, M. (2024). MERIDA HRES: A new high-resolution reanalysis dataset for Italy. *Meteorological Applications*, 31(6), e70011. <https://doi.org/10.1002/met.70011>

### Assessing the impact of climate change on solar energy production in Italy

In questo studio si valuta l'impatto del cambiamento climatico sulla produzione di energia solare in Italia fino al 2100, concentrandosi su radiazione solare, temperatura e produzione di energia fotovoltaica (FV) attraverso il fattore di capacità. I modelli climatici regionali (RCM) provenienti dalla sezione europea del Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Euro-CORDEX), che incorporano anche aerosol in evoluzione temporale, sono stati utilizzati per stime accurate del trend futuro della radiazione solare in vari scenari di evoluzione della concentrazione di gas serra, il cosiddetto Representative Concentration Pathway (RCP). La correzione del bias, utilizzando la terza edizione del Surface Solar Radiation Data Set—Heliosat (SARAH-3) e il MEteorological Reanalysis Italian DATaset (MERIDA) per i dati di temperatura, migliora l'accuratezza del fattore di capacità.



La radiazione solare mostra un leggero calo nello scenario di emissione più ottimistico RCP 2.6, ma un aumento significativo in altri RCP, in particolare nelle montagne dell'Italia centrale, con le Alpi che mostrano un trend opposto, soprattutto con RCP 8.5. Si prevede un aumento della

temperatura, in particolare con RCP 4.5 e RCP 8.5, con potenziali ripercussioni sull'efficienza produttiva e sulla copertura nevosa nelle Alpi. La diminuzione della copertura nevosa potrebbe influire sulla componente diffusa della radiazione solare, con una conseguente diminuzione prevista dagli scenari RCM Euro-CORDEX.

L'analisi delle tendenze rivela significative diminuzioni della produzione fotovoltaica con RCP 8.5, soprattutto nelle Alpi, a causa della riduzione della radiazione solare che interessa particolarmente queste zone. Per la maggior parte dell'Italia, nonostante si preveda un aumento della radiazione solare, la produzione fotovoltaica mostra un calo a causa dell'aumento delle temperature, che determina una potenziale riduzione dell'efficienza dei pannelli solari.

Per maggiori dettagli si rimanda all'articolo "*L'Impatto del Cambiamento Climatico sulla Produzione di Energia Solare in Italia*" nella sezione *Non Solo Atmosfera* di questa Newsletter.

R. Bonanno e E. Collino, Assessing the impact of climate change on solar energy production in Italy, *Regional Environmental Change*, 25: 78, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10113-025-02417-6>.



***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](mailto:newsletter@aisam.eu).***

***L'uscita della prossima Newsletter è prevista per marzo 2026.***

