Think before you print

BE GREEN KEEP IT ON THE SCREEN

Numero 25 – Marzo 2026

AISAM

Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia

Newsletter

SOMMARIO

EDITORIALE 2
FLASH NEWS 4
IN LIBRERIA. 8
BACHECA.....9
IN PRIMO PIANO 10
ARTICOLO.....23
NON SOLO ATMOSFERA.....28
APPROFONDIMENTO 33
BULLETIN OF ATMOSPHERIC SCIENCE AND TECHNOLOGY.....39
SEZIONE PROFESSIONISTI.....41
SEZIONE GIOVANI 44
EARLY CAREER SCIENTIST 50
LA PROCLAMO DOTTORE.....58
QUATTRO CHIACCHIERE CON... 64
I NOSTRI SOCI COLLETTIVI 68

COMITATO EDITORIALE

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

Contatto: newsletter@aisam.eu

EVENTI AISAM

- 23 marzo 2026 – **Giornata Mondiale della Meteorologia** – Roma
- 16-18 settembre – **ACRE Meeting** – Roma
- 19-22 novembre – **FestivalMeteorologia** – Rovereto (TN)
- 21-22 nove,bre – **Students' Conference** – Rovereto (TN)

NUOVI SOCI

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

Hadis ALLAHYARI, Riccardo BONANNO, Paolo CRISTOFANELLI, Leo Pio D'ADDERIO, Daniele D'ARMIENTO, Lauro D'ESPOSITO, Riccardo DONATO, Daniela FAMULARI, col. Luca GRANIERO, Davide MAGLIANO, Lorenzo MARINELLI, Gianluca PAPPACOGLI, Francesco PASI, Davide PLEBANI, Pierluigi RENAN GUAITA, Simona RINALDI, Sara RUBINETTI, Paolo STOCCHI, Sabrina VELTRI, Andrea FAGGI, Bruno VITALI.

Ad oggi l'Associazione conta **279** soci individuali, **25** 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

EDITORIALE

Care Associate e cari Associati,

il terzo ed ultimo anno del triennio di Presidenza della nostra Associazione si è aperto con il 6° **Congresso Nazionale**, svoltosi a Brescia, dal 10 al 12 febbraio scorsi.

Come sapete, stavolta l'onere e l'onore di organizzare questo importante appuntamento è toccato all'**Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia** e colgo volentieri l'occasione per ringraziare pubblicamente tutti i componenti dei 2 Comitati (quello locale e quello scientifico), che hanno sapientemente operato per riuscire ad offrire un programma decisamente di ottimo livello.

Un plauso particolare lo dobbiamo a Giacomo Gerosa ed Angelo Finco, ottimi anfitrioni di una kermesse che ha visto confluire a Brescia oltre 120 partecipanti, per più di 40 presentazioni orali ed oltre 80 poster.

Un vero e proprio successo, che ha raggiunto il suo culmine conviviale nella cena sociale di mercoledì 11, organizzata nel ristorante del prestigioso Hotel Vittoria, vero e proprio gioiello nel centro cittadino.

Preziosissime come sempre le nostre dinamiche collaboratrici, Irena e Silvia, che ci hanno supportato in tutte le fasi dell'organizzazione.

Come probabilmente già sapete, da quest'anno il nostro Congresso tornerà a celebrarsi con cadenza annuale. È una decisione che il Direttivo ha adottato nella consapevolezza che la Comunità scientifica nazionale (e non solo…) ha bisogno di frequenti occasioni di confronto e discussione.

Il prossimo anno ci ritroveremo a L'Aquila, ospiti della locale Università.

E rimanendo in tema di CONGRESSI, non posso fare a meno di ringraziare Silvio Davolio, nostro espertissimo consulente supervisore nell'organizzazione di eventi di questo tipo. Il suo documento *"chi fa cosa"* rappresenta ormai il vero e proprio vademecum intorno al quale ruotano tutte (ma proprio tutte) le attività connesse.

Marzo è notoriamente il mese della **Giornata Meteorologica Mondiale**. La novità della GMM2026 è che si svolgerà nell'Aula Magna del Rettorato dell'**Università ROMA TRE**.

Anche per questo, il Comitato Organizzatore si è arricchito della vivace presenza di Marcello Petitta, docente di quell'Ateneo, che ha portato una ventata d'entusiasmo in un gruppo che ormai contava solo su Anna Maria Siani ed il sottoscritto. Per fortuna, poi, a bordo della GMM2026 è salito al volo anche Dino Zardi, che tutti conosciamo per le notevoli capacità organizzative.

Ne è scaturito un programma variegato ed anche innovativo, che sviluppa il tema indicato dal WMO **"Observing Today, protecting Tomorrow"**. Ai 3 relatori-esperti, infatti, faranno seguito 7 brevi interventi di scienziate e scienziati all'inizio della loro carriera, provenienti da ambiti scientifici diversi, che mostreranno come le conoscenze meteorologiche dialoghino con discipline quali l'architettura e lo studio delle città, la comunicazione scientifica, la sociologia delle comunità colpite da eventi estremi, la conservazione del patrimonio culturale, l'energia rinnovabile e la fisiologia dello sport.

Anche per la GMM2026 abbiamo realizzato una cartolina e l'Annullo Postale dedicato, ideato da Samuele Giampietro e realizzato da Poste Italiane SpA, che potrà costituire un ricordo dell'evento ed un'occasione per appassionati e collezionisti filatelici.

A questo punto, lasciatemi rivolgere un sentito ringraziamento a quanti collaborano con noi nella realizzazione dei vari appuntamenti che mettiamo in campo; mi riferisco ai soci che si impegnano in prima persona, agli Enti, alle Istituzioni ed alle Associazioni che aderiscono e, soprattutto, alle Aziende che decidono di supportarci anche economicamente, consentendo di poter realizzare i numerosi progetti che si susseguono ormai a ritmo serrato.

Entro la fine di aprile andremo a convocare la nostra **Assemblea Ordinaria degli Associati**, nel corso della quale potremo prendere visione, discutere e, eventualmente, approvare il Bilancio di esercizio dell'anno 2025.

In vista di questo fondamentale appuntamento statutario, rammento che ciascun associato può intervenire in Assemblea personalmente o tramite delega. Il nostro Statuto prevede la possibilità di conferire al massimo 2 (due) deleghe per ciascun associato e che le stesse non possono essere rilasciate ai componenti degli organi sociali ed agli eventuali dipendenti dell'Associazione.

Ricordo che l'Assemblea è l'organo sovrano dell'Associazione ed è composta da tutti gli associati in regola con il versamento della quota associativa annuale (Art. 12 dello Statuto).

Sappiamo, infine, che per mantenere lo status di ASSOCIATO, è necessario procedere al versamento della quota sociale entro il 31 di marzo.

Un'ultima, importante, segnalazione riguarda la possibilità di poter **destinare il proprio 5x1000 ad AISAM**. Come sapete, destinare il 5x1000 ad un ente no profit è un gesto semplice ma fondamentale per sostenere in modo concreto le attività che lo stesso porta avanti.

📌 la procedura è davvero semplice e non comporta alcun costo aggiuntivo, dal momento che il 5X1000 rappresenta

una quota percentuale dell'IRPEF che ciascuno di noi già versa.

Si tratta, in definitiva, di voler destinare deliberatamente una quota delle proprie imposte a favore di AISAM, per contribuire a sostenere i progetti e le iniziative che decidiamo di realizzare, nonché per mantenere la struttura organizzativa di cui ci siamo dotati.

✎ **È sufficiente firmare nella sezione "Sostegno agli enti del Terzo Settore" e inserire il codice fiscale di AISAM: 97026990586.**

Per ultima, la segnalazione che il 27 luglio prossimo **AISAM festeggerà il 10° anniversario della sua costituzione**, scaturita dalla trasformazione dall'Associazione Geofisica Italiana in AISAM.

Stiamo valutando la possibilità di ricordare questa importante ricorrenza con un incontro che, presumibilmente, collocheremo nel periodo autunnale. Vi terremo certamente informati, coinvolgendovi.

Chiudo, ringraziando tutti coloro i quali donano volontariamente il proprio tempo e le proprie energie ad AISAM, contribuendo alla realizzazione delle numerose finalità perseguite dalla nostra Associazione.

A tutti l'augurio sincero per le ormai prossime festività Pasquali.

Un abbraccio fraterno.

Il Presidente Sergio Pisani

Il Presidente Sergio Pisani

FLASH NEWS

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

Scadenza al 31 marzo, affrettati!!!

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 2026**:

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

Giornata Meteorologica Mondiale AISAM – GMM2026

Quest'anno la Giornata Meteorologica Mondiale – GMM2026 si terrà a Roma, nella mattinata di lunedì 23 marzo p.v., nell'Aula magna del Rettorato dell'Università ROMA TRE.

L'evento, organizzato dall'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia-ETS (AISAM – www.aisam.eu) e dall'Università ROMA TRE si terrà in modalità "ibrida" (sia in presenza che on-line, su piattaforma informatica).

Sarà, come già accaduto nelle precedenti edizioni, un'occasione preziosa per promuovere una riflessione su tematiche attuali ed urgenti della meteorologia, del clima e delle loro implicazioni per la società, l'economia, lo sviluppo e l'ambiente, in linea con il tema proposto quest'anno dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale: "OBSERVING TODAY, PROTECTING TOMORROW" – Osservare Oggi, proteggere domani.

Tra le iniziative anche quest'anno è stato richiesto a Poste Italiane Spa l'emissione di un annullo postale con bollo speciale dedicato alla ricorrenza, che verrà apposto sul retro della cartolina realizzata per l'occasione.

La partecipazione sarà libera.

L'appuntamento è per lunedì 23 marzo 2026, dalle ore 09:00 alle ore 13:00, nell'Aula Magna del Rettorato dell'Università ROMA TRE.

Per conoscere il programma dettagliato il link è: https://aisam.eu/gmm2026/

Nuova governance per ItaliaMeteo, indirizzo affidato al Dipartimento della Protezione Civile

L'Agenzia ItaliaMeteo comunica sul suo sito che con l'entrata in vigore della legge di bilancio 2026 (legge 30 dicembre 2025, n. 199), sono state introdotte alcune importanti modifiche nella governance dell'Agenzia per la meteorologia e climatologia ItaliaMeteo allo scopo di snellire e velocizzare la struttura e permettere di acquisire rapidamente la stabilità che le consenta di svolgere

appieno le funzioni di servizio meteorologico pubblico nazionale.

A partire dal 1 gennaio 2026, per effetto della legge di bilancio, gli organi dell'Agenzia ItaliaMeteo sono decaduti e il capo del Dipartimento della Protezione Civile, Fabio Ciciliano, è stato nominato Commissario straordinario dell'Agenzia.

Ciciliano prende il posto di Carlo Cacciamani, in carica da maggio 2022.

Per ulteriori aggiornamenti si rimanda alle news dell'Agenzia: https://www.agenziaitaliameteo.it/agenzia/news-e-gallery/news/

Corso avanzato "Severe Convective Storms and hail"

Tra il 20 e il 24 lLuglio 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 mediterrana; Grandinate sul nord-est italiano; Precipitazioni intense nell'area mediterranea; Mediterranean tropical-like cyclones)

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

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

Ulteriori dettagli presenti su:

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

Possibili agevolazioni verranno valutate scrivendo a:

info@cism.it

Apertura delle iscrizioni alla Scuola Internazionale di Meteorologia Satellitare (ISSM)

Sono aperte le iscrizioni alle terza edizione della Scuola Internazionale di Meteorologia Satellitare (ISSM) che si terrà dal 31 agosto al 4 settembre 2026 a Lipari, nel paradisiaco arcipelago delle Eolie organizzato dal CNR-ISAC e dall'Università di Napoli Parthenope.

Le registrazioni sono aperte fino al 30 giugno. Tutte le informazioni sono al link: http://issm.isac.cnr.it

---

GMM2026 presso l'Università degli Studi di Messina

L'Università degli Studi di Messina e l'Aeronautica Militare, con il patrocinio di AISAM e con il supporto finanziario del Consorzio Interuniversitario Scienze Fisiche Applicate (CISFA), celebrano congiuntamente, il 23 marzo di ogni anno, la Giornata Meteorologica Mondiale, istituita per ricordare la costituzione dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (23 marzo 1950).

L'edizione 2026 si svolgerà:

23 marzo 2026 - Messina, Aula Magna del Polo Papardo dell'Università di Messina (Aula "Ricevuto"), e nel pomeriggio presso l'Osservatorio Meteorologico di Messina dell'Aeronautica Militare;

24 marzo 2026 - MuMa - Museo del Mare di Milazzo, presso il Castello di Milazzo.

Come nelle precedenti edizioni, l'iniziativa si configura quale momento di alto profilo scientifico, culturale e formativo, volto a promuovere una riflessione interdisciplinare sulle tematiche più attuali della meteorologia e della climatologia e sulle loro implicazioni per la società, l'economia, la tutela dell'ambiente e la

sicurezza del territorio, in piena coerenza con il tema proposto dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale per l'anno in corso: "Observing Today, Protecting Tomorrow" - Osservare oggi, proteggere domani.

L'edizione di quest'anno assume inoltre un significato particolarmente solenne, poiché ricorre il 150° anniversario dell'Osservatorio Meteorologico e Geodinamico di Messina, fondato nel 1876, storica istituzione scientifica che ha rappresentato e continua a rappresentare un presidio di eccellenza nello studio dei fenomeni atmosferici e geofisici.

Maggiori dettagli al sito dell'evento:

https://gmm26.sciencesconf.org

XII Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico PM2026

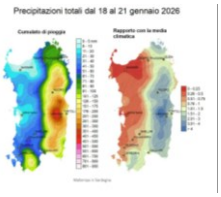
Nel cuore della città di Napoli, circondato dalla bellezza e dalla storia secolare del Complesso Monumentale di Santa Maria La Nova, si terrà dal 26 al 29 maggio 2026 la dodicesima edizione del Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico – PM2026.

Per quattro giorni, scienziati, tecnologi, enti regolatori, decisori pubblici e aziende si confronteranno sui temi più attuali e urgenti legati al particolato atmosferico: dalla composizione chimica alle dinamiche di trasformazione e trasporto, dai metodi di monitoraggio ai modelli di diffusione, dalle strategie di contenimento agli impatti sulla salute e sull'ambiente.

L'edizione 2026 si propone non solo come un appuntamento per la comunità scientifica nazionale, ma anche come uno spazio aperto al dialogo interdisciplinare con chi, a vario titolo, opera nella gestione e nella mitigazione dell'inquinamento atmosferico: enti normativi, amministrazioni locali, imprese tecnologiche, operatori della comunicazione ambientale.

Per registrarsi compilare il form dal sito dell'evento: https://pm2026.iasaerosol.it/

Analisi del ciclone Harry



Tra il 18 e il 21 gennaio il ciclone Harry ha portato precipitazioni eccezionali, venti molto forti e mareggiate intense su sud Italia e sulle isole maggiori; sul sito SNPA si trova una prima analisi dei dati prodotta da ARPA Sardegna e ARPA Calabria: https://www.snpambiente.it/notizie/snpa/arpa-sardegna/maltempo-in-sardegna-piogge-e-mareggiate-intense-sul-versante-orientale/

11th CNR ISAC Summer School – Lecce

L'11 Summer School CNR ISAC, organizzata in collaborazione con l'Università Politecnica delle Marche (UNIVPM) e l'Università dell'Aquila/CETEMPS, si terrà dal 28 settembre al 3 ottobre 2026 presso l'Hotel Orsa Maggiore (http://www.orsamaggiore.it/) a **Castro Marina**, un'incantevole località balneare vicino a Lecce.

La Summer School si propone di fornire una panoramica approfondita e completa dello stato attuale delle conoscenze sugli aerosol atmosferici in meteorologia e climatologia, integrando prospettive osservative e modellistiche. Particolare enfasi sarà data agli approcci emergenti di intelligenza artificiale applicati alla ricerca sugli aerosol.

La Scuola è rivolta principalmente a dottorandi e studenti di laurea magistrale in scienze dell'atmosfera, nonché a ricercatori post-dottorato e previsori operativi di agenzie meteorologiche regionali e nazionali.

Per l'iscrizione e qualsiasi ulteriore informazione contattateci a: ss2026@le.isac.cnr.it o consultate il sito web (https://ss2026.le.isac.cnr.it/). **Le iscrizioni si chiuderanno il 2 maggio 2025**. Saranno ammessi un massimo di 40 studenti.

112° Congresso annuale della SIF

Dal 7 all'11 settembre 2026, si terrà il 112° Congresso annuale della SIF (Società Italiana di Fisica). Quest'anno il Congresso si svolgerà a Firenze, ospitato presso il Campus Novoli dell'Università.

Come consueto, la Sezione 4 sarà dedicata a Geofisica e Fisica dell'Atmosfera, coordinata dal Prof. Mauro Giudici e dalla Prof.ssa Roberta Vecchi.

La scadenza per la presentazione degli abstract è il 15 aprile. Ulteriori informazioni sono al link:

https://www.sif.it/attivita/congresso/112

Intensi incendi boschivi colpiscono l'emisfero australe mentre l'Australia registra temperature record

Da una situazione piuttosto moderata in termini di emissioni per la stagione degli incendi boschivi 2025/2026 in Australia, alla fine di gennaio si è passati condizioni drammatiche, con una vittima e 900 edifici e circa 400.000 ettari bruciati dalle fiamme nello stato del Victoria.

Ciò è stato causato da condizioni meteorologiche favorevoli agli incendi altamente pericolose, paragonabili a quelle che hanno preceduto gli incendi boschivi del cosiddetto "Sabato nero" del 2009, come affermato dal World Weather Attribution. Secondo le osservazioni del Bureau of Meteorology (BOM), lo Stato di Victoria ha registrato temperature più elevate dal "Sabato nero" del 2009, quando gli incendi boschivi causarono la morte di almeno 173 persone.

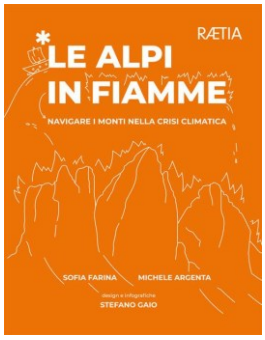
All'inizio di gennaio, a causa del fumo, è stata rilevata una scarsa qualità dell'aria a Melbourne e dintorni. È stato inoltre osservato un grande pennacchio che attraversava il Mar di Tasmania verso il Pacifico meridionale, con alcune parti che hanno raggiunto anche il Sud America.

Maggiori dettagli al seguente link:

https://atmosphere.copernicus.eu/copernicus-intense-wildfires-hit-southern-hemisphere-amidst-record-breaking-heat-australia

IN LIBRERIA.

Le alpi in fiamme – Navigare i monti nella crisi climatica



Autori ***Sofia Farina, Michele Argenta****, infografiche di* ***Stefano Gaio,*** Edizioni *Raetia*

Le Alpi in fiamme nasce da un'urgenza precisa: riportare il cambiamento climatico sul terreno dei fatti, della scienza e dell'esperienza diretta, in un contesto, quello montano, dove gli effetti del riscaldamento globale sono già evidenti e accelerati. Le terre alte diventano così una vera e propria cartina tornasole della crisi climatica, ma anche uno spazio privilegiato per interrogare il nostro rapporto con l'ambiente.

Il libro accompagna il lettore in un percorso che unisce basi fisiche del clima, osservazioni sul campo e analisi critica della disinformazione. Un'attenzione particolare è dedicata al contesto italiano, dove narrazioni distorte, polarizzazione del dibattito e scarsa alfabetizzazione scientifica ostacolano una comprensione condivisa del problema. Attraverso esempi concreti, dati aggiornati e infografiche commentate, il testo fornisce strumenti per riconoscere *fake news,* leggere correttamente grafici e distinguere tra evidenze scientifiche e opinioni.

Ampio spazio è riservato agli impatti del cambiamento climatico sulle terre alte: ritiro dei ghiacciai, perdita di copertura nevosa, instabilità dei versanti, trasformazioni degli ecosistemi e delle economie locali. Fenomeni che non vengono raccontati come eventi isolati, ma come segnali di un sistema in rapido mutamento, con conseguenze dirette su sicurezza, risorse idriche e gestione del territorio.

Le Alpi in fiamme non è solo un libro che spiega cosa sta accadendo, ma anche un invito ad assumersi una responsabilità informata. Un testo utile per chi si occupa di meteorologia, climatologia e comunicazione scientifica, ma anche per chi cerca chiavi di lettura solide per orientarsi nel dibattito pubblico sul clima.

Mi racconti la meteorologia? Una storia per tutti: dai presagi all'intelligenza artificiale

Autori ***Annalisa Venditti, Orazio Di Casola, Paolo Pagano.*** Edizioni *Giunti*

Come ci ricorda la prefazione, l'Aeronautica Militare e Giunti Editore con quest'opera hanno inteso celebrare un traguardo di eccezionale valore: i cento anni dalla fondazione dell'Ufficio Presagi.

Era il 2 luglio 1925 quando nasceva la prima struttura istituzionale dedicata alla meteorologia, al tempo ancora scienza pionieristica. Oggi, attraverso queste pagine, si vuole diffondere quell'enorme patrimonio acquisito e condividerlo con l'intera collettività del Paese, dando voce a tanti protagonisti che hanno contribuito ad accrescere un così vasto bagaglio scientifico e culturale.

L'opera vuole raccontare la meteorologia correndo su due binari paralleli. Da un lato il saggio storico, rigoroso e ricco di aneddoti, che ci porta a bordo dei dirigibili polari e in volo con i trasvolatori oceanici. Dall'altro, una suggestiva cornice narrativa fa da collante emotivo: il tenero dialogo tra un nonno, ex meteorologo dell'Arma Azzurra, e la giovane nipote Aurora.

Scopriamo così che dietro i vecchi bollettini stilati a mano e i moderni supercomputer ci sono sempre state vite vere, donne e uomini capaci di sacrifici e intuizioni lungimiranti e illuminate. La meteorologia si svela non come una fredda sequenza di equazioni, ma come una vera e propria avventura, fatta di passione, studio e umanità.

Dietro le quinte, posso confessare che dare vita a questa alchimia è stata la nostra sfida più impegnativa come autori. Per armonizzare la complessa ricostruzione storica curata insieme a Paolo Pagano, con l'anima della parte narrativa, affidata magistralmente ad Annalisa Venditti, ci siamo coordinati quasi quotidianamente. Scrivere a sei mani ha richiesto un confronto continuo affinché ogni dettaglio trovasse il suo equilibrio perfetto, garantendo che il necessario rigore scientifico non spegnesse mai la spontaneità e l'emozione del racconto.

Nell'era in cui basta uno sguardo allo smartphone per sapere se pioverà, questo lavoro ci invita a rialzare gli occhi al cielo. È una lettura che scorre fluida come un romanzo, ma che lascia l'impronta solida della divulgazione. Perché capire i segreti del tempo atmosferico significa, in fondo, imparare ad ascoltare, mai come oggi, il respiro del nostro pianeta.

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 5×1000.

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 Runts 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**.

IN PRIMO PIANO

Il 6° Congresso Nazionale AISAM

Foto di gruppo dei congressisti. Gli scienziati atmosferici non si smentiscono mai: anche nelle foto assumono istintivamente una posa che richiama il loro amato oggetto di ricerca. Qui si sono disposti come la *rain band* che si osserva frequentemente in un ciclone extratropicale maturo…☺

"Sono arrivato nel profondo Nord…" mi scrive un collega la sera prima del Congresso. E scoppio a ridere. È il profondo nord di Brescia, quello dove quest'anno si è tenuto il **6° Congresso AISAM** in staffetta ideale con quello dello scorso anno tenutosi nel profondo Sud.

Quest'anno il CN6 è stato ospitato dall'**Università Cattolica del Sacro Cuore** nella città di Brescia, una città conosciuta quasi esclusivamente per la sua industria pesante ma ricca di storia e di bellezza per chi prova ad addentrarsi nel suo centro storico d'impianto romano-veneto.

Quello ospitante è stato un piccolo gruppo eterogeneo di fisici dell'atmosfera ed ecologi che si occupa principalmente di meteorologia dello strato limite, ed in particolare della caratterizzazione dei processi di scambio di gas, momento ed energia tra la superficie vegetata e l'atmosfera. Per questo quest'anno è comparsa un'apposita sessione dedicata alla micrometeorologia, preceduta dalla lezione magistrale di Daniela Famulari, ricercatrice con un'esperienza di oltre 5 lustri in questo campo.

A giudicare dal numero e dalla qualità delle presentazioni proposte, si è trattato di una novità molto apprezzata che speriamo possa diventare una costante anche per i prossimi congressi. Ma in generale sono state davvero tante le presentazioni e i poster di qualità presentati a questo congresso, opera soprattutto di giovani ricercatori e di dottorandi, davvero bravissimi. A loro va la nostra ammirazione, unitamente alla soddisfazione di vedere che una nuova generazione si appassiona alle Scienze Atmosferiche e alla Meteorologia. Sono loro il nostro futuro e meritano il meglio, soprattutto da questa nazione troppo avara di posizioni permanenti. È stato un piacere anche constatare come padroneggino con disinvoltura la lingua inglese, altra novità di quest'anno dove – in segno di accoglienza nei confronti di qualche ospite straniero- si

Un tipico momento durante una delle sessioni orali

La squadra!

è deciso di incoraggiare l'uso dell'inglese nelle presentazioni e nei poster, pur lasciando la libertà ai relatori di parlare anche in italiano.

Grande è stato il lavoro del comitato scientifico e del comitato di valutazione e assegnazione premi per valutare tutti gli oltre 120 lavori sottomessi, 40 dei quali accettati come presentazioni orali e 80 come poster. È stata davvero un'impresa assicurare tre valutazioni indipendenti a ciascun lavoro dipanando i vincoli incrociati delle possibili co-authorship con i valutatori. Alla fine sono stati premiati la presentazione orale di Simona Rinaldi sulla modellazione della di diffusione di incendi forestali mediante WRF-SFIRE (con Adam Kochanski, Craig B Clements, Silvana Di Sabatino e Laura Sandra Leo come coautori) e il poster di Marco Burderi sull'evoluzione futura delle precipitazioni estreme in scenari di riscaldamento globale ottenute con simulazioni ad alta risoluzione in Italia (con Salvatore Pascale e Giuseppe Zappa come coautori). Si tratta di due splendidi lavori: uno, quello di Burderi, collocato nel solco delle scienze atmosferiche e del clima cosiddette "classiche", e l'altro, quello di Rinaldi, caratterizzato da una forte interdisciplinarietà, a suggerire come l'applicazione delle scienze atmosferiche ad ambiti diversi possa portare davvero lontano, in un processo di mutua fertilizzazione.

Per il resto, che dire… è stata una festa, una fiera della scienza e dell'amicizia senza competizioni. Una due giorni e mezzo molto intensa e faticosa, vero, ma piena di soddisfazioni. È stato bello re-incontrare colleghi e amici, bello sorseggiare il caffè nei locali dell'elegante Centro Congressi, bello vedere i giovani fare gruppo e scambiarsi indirizzi e collaborazioni, bello cenare insieme nel sontuoso salone liberty di un hotel del centro.

A tutti va il nostro ringraziamento: al comitato scientifico, al comitato organizzativo locale, al direttivo e alla segreteria Aisam. Senza la collaborazione di tutti non sarebbe stato possibile questo successo.

È stato proprio un bel congresso, fes!

E arrivederci al prossimo appuntamento!

Autore:

Giacomo A. Gerosa
(Università Cattolica del Sacro Cuore di Brescia)

Giornata Meteorologica Mondiale AISAM – GMM2026

Anche quest'anno Roma ospiterà un evento nazionale per celebrare la Giornata Meteorologica Mondiale, per la prima volta presso l'Aula Magna del Rettorato dell'Università Roma Tre.

L'iniziativa internazionale ogni anno celebra la nascita dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale OMM (World Meteorological Organization-WMO), l'agenzia delle Nazioni Unite fondata il 23 marzo 1950 per coordinare la cooperazione globale nel campo della meteorologia, della climatologia e dell'idrologia.

L'edizione 2026 riunirà meteorologhe e meteorologi, ricercatrici e ricercatori, studiose e studiosi, esperte ed esperti provenienti da servizi meteorologici, università, enti di ricerca ed istituzioni, con l'obiettivo di riflettere sul ruolo della meteorologia nelle grandi sfide contemporanee.

Il tema scelto per quest'anno dall'OMM – ***"Observing Today, Protecting Tomorrow"*** – richiama il valore delle osservazioni atmosferiche e climatiche come base scientifica per comprendere il presente e costruire politiche e strategie di adattamento per il futuro.

La meteorologia, infatti, non è soltanto la scienza delle previsioni del tempo.

È una disciplina che attraversa numerosi settori di attività ed ambiti della società: dalla gestione dei rischi naturali alla pianificazione urbana, dalla produzione di energia rinnovabile alla tutela del patrimonio culturale, fino alla salute pubblica ed allo sport.

Comprendere l'atmosfera e le sue dinamiche significa, oggi, comprendere una parte fondamentale del funzionamento, presente e futuro, della società contemporanea.

Il programma della mattinata sarà articolato in due momenti principali.

- Una prima sessione plenaria sarà dedicata ad alcuni temi centrali della ricerca meteorologica e climatica: dall'evoluzione del clima italiano negli ultimi due secoli, allo studio delle grandi serie osservative, fino alla modellistica climatica regionale del Mediterraneo.
- La seconda parte, invece, avrà un carattere fortemente interdisciplinare ed offrirà spazio a ricercatrici e ricercatori all'inizio della loro carriera, provenienti da ambiti scientifici diversi.

Gli interventi mostreranno come le conoscenze meteorologiche dialoghino con discipline quali l'architettura e lo studio delle città, la comunicazione scientifica, la sociologia delle comunità colpite da eventi estremi, la conservazione del patrimonio culturale, l'energia rinnovabile e la fisiologia dello sport.

Questa scelta riflette una convinzione sempre più condivisa nella comunità scientifica: la meteorologia e le scienze dell'atmosfera e del clima rappresentano oggi un nodo centrale di connessione tra saperi diversi.

Le sfide legate al clima richiedono, infatti, non solo conoscenze fisiche e modellistiche, ma anche competenze sociali, economiche e culturali.

L'iniziativa è promossa dall'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia (AISAM) in collaborazione con l'Università Roma Tre e Sapienza Università di Roma, con altre associazioni, servizi meteorologici, università, enti di ricerca ed imprese attive nel settore.
L'edizione di quest'anno assume un significato particolare anche perché segna l'avvio di una collaborazione ancora più stretta tra gli atenei romani e le istituzioni scientifiche impegnate nello studio del clima e dell'atmosfera.
La Giornata Meteorologica Mondiale rappresenta, quindi, non solo un momento di celebrazione della cooperazione scientifica internazionale, ma anche un'occasione per valorizzare il contributo delle nuove generazioni di scienziate e scienziati, chiamate e chiamati ad interpretare ed affrontare le sfide climatiche dei prossimi decenni.
Osservare e conoscere sempre meglio oggi l'atmosfera e il clima significa, più che mai, proteggere il futuro delle nostre società.

Valutazione dell'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia ETS sugli sviluppi dell'Agenzia Nazionale per la Meteorologia e la Climatologia "ItaliaMeteo".

L'Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia ETS (AISAM ETS), il cui scopo primo è la promozione, a beneficio di tutta la società, dello sviluppo in Italia delle Scienze dell'Atmosfera e della Meteorologia, e che riunisce al suo interno ricercatori, docenti, meteorologi ed appassionati, apprezza la rinnovata attenzione del Governo per la crescita ed il consolidamento dell'Agenzia Nazionale per la Meteorologia e Climatologia "ItaliaMeteo", ed auspica che l'apertura di una sede a Roma (disposta in attuazione del recente decreto legge 25 del 27 febbraio 2026) costituisca un fattore di crescita ed ulteriore radicamento dell'Agenzia stessa nel tessuto istituzionale italiano.

Esprime, altresì, preoccupazione per l'inattesa dismissione dell'attuale sede di Bologna, temendo che questa possa pregiudicare una serie di attività e di progetti già avviati, che beneficiavano della prossimità dei funzionari di ItaliaMeteo con operatori del Data Center di ECMWF, del centro di calcolo del CINECA, del CNR, dell'Università di Bologna, di ARPAE e del CMCC.

La rapidità del trasferimento della sede dell'Agenzia, contenuta nel citato provvedimento legislativo, appare difficilmente conciliabile con la volontà di potenziare l'azione della stessa, rendendo materialmente impossibile per il personale attivo nell'Agenzia il trasferimento nella nuova sede.

Oltre alle situazioni di oggettivo disagio che queste tempistiche comportano, infatti, preoccupa la possibile interruzione di progetti avviati, che potrebbero dover cessare senza arrivare a fruizione, con il rischio di vanificare tanti investimenti e sforzi per costruire un efficace Servizio Meteorologico Nazionale in Italia.

Tutto ciò premesso, AISAM ETS esprime la propria solidarietà al personale dell'Agenzia Nazionale per la Meteorologia e la Climatologia "ItaliaMeteo" per le oggettive difficoltà che si trova a dover affrontare in seguito al prossimo trasferimento della sede a Roma dichiarandosi, però, fiduciosa che l'azione di Governo possa portare ad una soddisfacente soluzione delle criticità esposte.

AISAM ETS si dichiara sin d'ora ampiamente disponibile a confrontarsi con le parti in causa, collaborando, nelle forme che si riterranno appropriate, per rendere meno traumatica la transizione in parola.

Rovereto, 12 marzo 2026

Analisi meteorologica dell'Alluvione di Versa e della frana di Brazzano

Nella notte tra il 16 e il 17 novembre 2025 la parte orientale del Friuli Venezia Giulia (FVG) ha assistito a un evento meteorologico davvero raro. Partiamo dai risultati e dai dati sul territorio per poi ricostruire le cause di questo evento.

La mattina del 17 novembre la popolazione di Versa, un piccolo paese al confine tra le province di Udine e Gorizia, confinato tra il torrente Torre e il torrente Judrio, si risveglia con 1-2 m di acqua nelle strade che costringono all'evacuazione circa 300 persone. Dai rilievi finali risulta allagata una superficie totale di 12.7 km^2. A pochi chilometri di distanza, a nord-est di Versa, il comune di Cormons è invece alle prese con il distacco da una collina di una frana di 1300 m^3 di materiale e 3150 m^2 di superficie (*fonte: report Idrogeo Protezione Civile FVG*) che determina la distruzione di 3 abitazioni e la morte di 2 persone.

Per capire l'eccezionalità dell'evento bisogna ricordare che l'ultimo evento meteo che aveva portato a un numero tale di fatalità sul territorio FVG era accaduto nel 2003, precisamente il 29 agosto con l'alluvione della Valcanale, ben 23 anni fa.

I dati misurati della stazione meteo di Cormons (vedi Figura 1) mostrano come per diverse ore abbia piovuto con intensità sempre superiore a 30 mm/h e picchi di oltre 50 mm/h. Queste intensità di pioggia non sono di per sé insolite: molti temporali nel semestre caldo le raggiungono, ma con fenomeni di durata più breve. Questi valori diventano invece eccezionalmente alti se si considera il fatto che ci troviamo nella seconda decade di novembre e che quest'intensità ha persistito per ben mezza giornata.

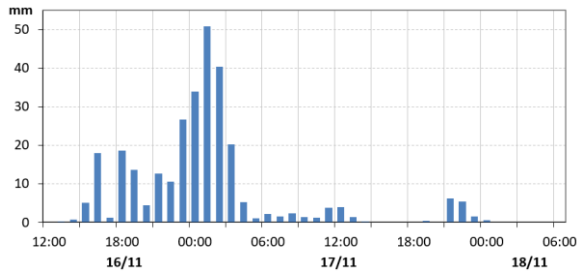


Figura 1. Andamento orario delle piogge nella stazione di Cormons

Andando a guardare nel dettaglio gli accumuli massimi registrati, a Cormons sono caduti 63 mm in 1 ora, 127 mm in 3 ore, 183 mm in 6 ore, 251 mm in 12 ore e 281 in 24 ore. A queste misure corrispondono tempi di ritorno di 20 anni per la cumulata in 1 ora, di 50 anni per quella in 3 ore, mentre le cumulate su tutti gli altri periodi più lunghi, in 6, 12 e 24 ore hanno tempo di ritorno superiore al secolo. Un evento veramente unico ed eccezionale che nei dati della serie storica di Cormons, disponibili dal 1919, non ha precedenti (vedi Figura 2): in 12 ore si sono avute un quinto delle precipitazioni medie annuali.

Ma come è potuto succedere?

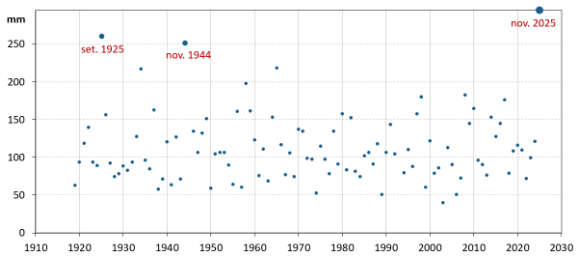


Figura 2. Piogge massime annuali registrate in due giorni consecutivi dal 1919 a Cormons

Partendo dalla situazione generale, a scala sinottica, possiamo dire che innanzitutto il 16 novembre una depressione atlantica, avanzando dal golfo di Biscaglia verso l'Italia settentrionale, convogliava in quota correnti sudoccidentali dal Mediterraneo occidentale verso il nord-est italiano. Sul Friuli Venezia Giulia affluivano quindi correnti molto umide sud-occidentali in quota e di Scirocco al suolo. La situazione climatologica tipica in queste situazioni sul Friuli Venezia Giulia è la penetrazione dello Scirocco dalla costa verso la pianura fino al raggiungimento della fascia prealpina che funge da sbarramento orografico. Con questa configurazione le piogge si verificano quindi sulle Prealpi che hanno un'ottima tenuta idrogeologica: infatti la pluviometria media annuale è tra 2500 e 3200 mm, contro i 1000-1400 mm in pianura. Ma cosa succede se lo Scirocco si solleva prima delle Prealpi o addirittura si ferma in prossimità della costa? Se ci sono le condizioni favorevoli, ed è esattamente ciò che si è verificato in questo evento, si possono sviluppare temporali stazionari autorigeneranti che scaricano quantitativi enormi di acqua sulle medesime zone con storm motion praticamente nullo.

Ma quali sono le condizioni favorevoli a temporali autorigeneranti sul FVG?

Per il caso qui presentato, un'iniziale convergenza tra Scirocco molto umido in arrivo dall'Adriatico e un richiamo molto debole da nord o nord-ovest dalla pianura friulana più interna è stato un primo elemento favorevole. La convergenza ha favorito l'innesco iniziale dal temporale, grazie a un'atmosfera potenzialmente instabile (secondo elemento favorevole); da quel momento in poi invece la

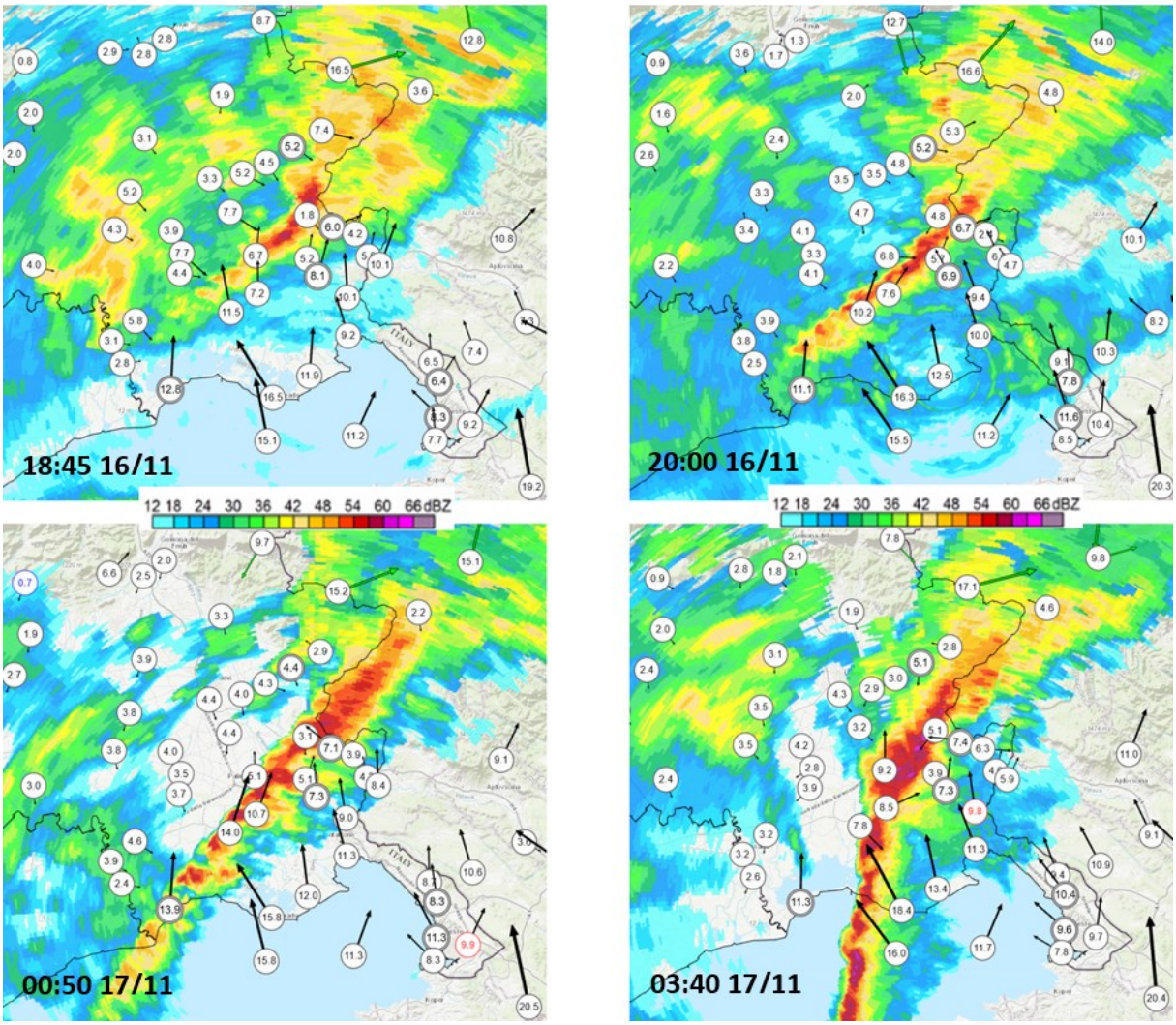


Figura 3. Mappe di riflettività massima del radar di Fossalon di Grado (gestione della Protezione Civile FVG) e raffiche di vento massime registrate nell'ora precedente (in m/s).

dinamica è stata governata da un perfetto bilanciamento tra il flusso da sud-ovest in quota, che garantiva l'avvezione delle celle verso nord-est, e l'equilibrio tra l'outflow dei temporali e lo Scirocco, capace di mantenere stazionaria la linea di rigenerazione delle celle (terza condizione, vedi Figura 3). Questo equilibrio non avrebbe potuto esistere se uno dei tre attori in gioco (flusso in quota da sud-ovest, Scirocco e outflow al suolo) avesse avuto intensità diversa. Sul territorio della bassa pianura friulana, essendo lontano dall'orografia, precipitazioni con questi quantitativi in breve tempo non si riescono a raggiungere nemmeno con fronti marcati e possono essere generate solo con questo tipo di dinamica ovvero con temporali autorigeneranti o linee di convergenza persistenti.

Oltre all'eccezionalità di questa situazione di equilibrio, un'ulteriore sfortuna è stata data dal posizionamento di questo temporale autorigenerante, che si è disposto lungo una linea da sud-ovest verso nord-est. Se si vanno a sovrapporre le cumulate totali dell'evento, e si evidenzia il bacino di cui fanno parte lo Judrio e i suoi affluenti (vedi Figura 4), si può notare come la maggior parte delle precipitazioni si sia concentrata proprio su quel bacino. Per intendersi, se il temporale avesse avuto disposizione nord-sud, la medesima quantità di acqua si sarebbe redistribuita su vari bacini idrografici determinando

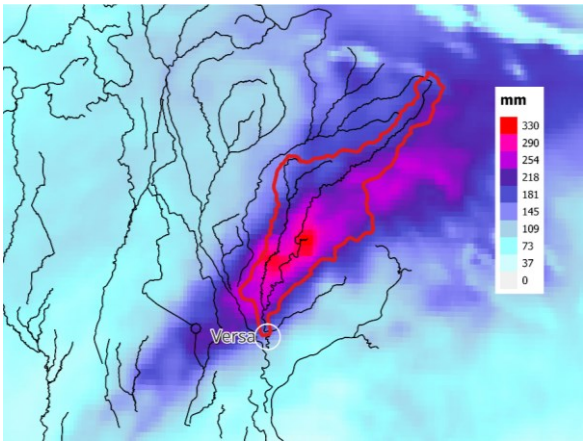


Figura 4. Cumulate totali dell'evento. La linea rossa racchiude il bacino del torrente Judrio a monte di Versa. La precipitazione media all'interno di questo bacino è stata di 233 mm.

problemi idraulici inferiori. Nella realtà invece il torrente Judrio ha esondato dall'argine destro poco a monte di Versa (argine che peraltro ha tenuto), dilagando progressivamente sul territorio e sui campi, fino ad essere bloccato dall'argine sinistro (paradossalmente dal lato esterno) del fiume Torre. L'acqua esondata è rimasta quindi intrappolata tra i due argini ed ha allagato l'intero paese.

L'ulteriore sfortuna è legata anche alla bassa predicibilità dell'evento che non era stato correttamente simulato nemmeno dagli ultimi run modellistici. In tutti i casi infatti

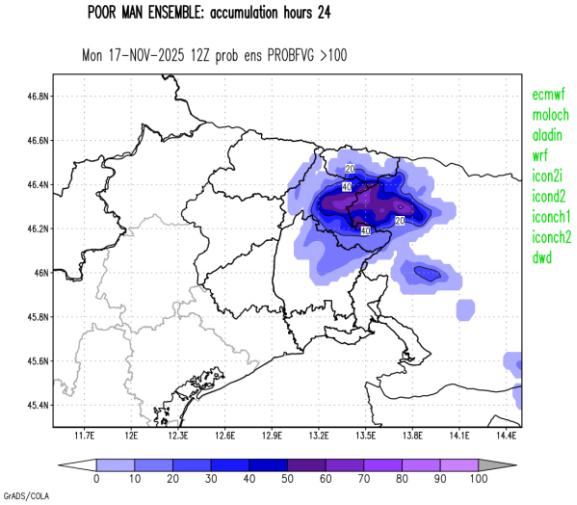


Figura 5. Approccio POOR MAN'S ENSMBLE che mostra la probabilità di superare i 100 mm in 24 ore calcolato su numerosi modelli (lista a destra in figura) per i run 00 del 16/11/2025 (il giorno dell'evento). In rosso indicate le zone delle precipitazioni effettive in cui la probabilità prevista di 100 mm era nulla.

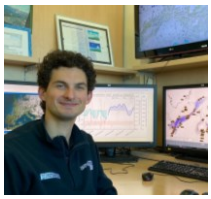
le previsioni numeriche avevano simulato la penetrazione dello Scirocco fino alle Prealpi con precipitazioni di natura orografica e solo parzialmente convettiva con conseguenze, in questo scenario, completamente diverse sul territorio. Le mappe del "Poor man's ensemble" (calcolo della probabilità di precipitazione basato su vari modelli che assumono tutti lo stesso peso) di quel giorno (vedi Figura 5), prodotte da Arpa FVG, confermano come le zone alluvionate fossero completamente disgiunte dalle località e dai bacini in cui erano previste piogge cumulate totali superiori ai 100 mm.

Un'ultima considerazione spetta alla stagionalità di eventi di questo tipo: normalmente la stagione convettiva esprime le sue potenzialità più aggressive tra maggio e settembre, quando l'elemento convettivo prevale su quello di flusso e dinamiche temporalesche caratterizzate da "internal forcing" e convezione organizzata non sono infrequenti. La peculiarità di questo evento sta anche nel fatto che si sia presentato dopo la metà di novembre, quando la climatologia temporalesca in Friuli Venezia Giulia non è più significativa e i rischi di tipo meteorologico legati alle piogge risiedono nei flussi e nelle piogge alluvionali di più giorni.

Purtroppo il surriscaldamento del mare Adriatico, che durava da due anni e mezzo salvo temporanei e risibili rientri in media climatica, ha presentato il conto: le settimane precedenti l'evento hanno restituito un mare Adriatico la cui temperatura a 2 m di profondità era diffusamente di 2 °C superiore alla norma: evidentemente le conseguenze termodinamiche sono state figlie anche di questa evidente anomalia.

Complessivamente possiamo quindi dire che i disastrosi effetti dati da questo evento meteorologico sono legati a una serie di fattori unici (temporali autorigeneranti, piogge tutte nel medesimo bacino, bassa predicibilità modellistica) che lo rendono molto raro. E noi previsori operativi di Arpa FVG lo speriamo tanto!

Autori:



Sioni Francesco, Pucillo Arturo, Bonaldo Federico

(ARPA Friuli Venezia Giulia)

Workshop "Estremi di precipitazione in Italia: comprensione, impatti e prospettive future", 5 febbraio 2026, CNR Bologna

Si è svolto il 5 febbraio a Bologna, presso la sede del CNR, il workshop **"Estremi di precipitazione in Italia: comprensione, impatti e prospettive future"**, organizzato nell'ambito del progetto PRIN 2022 **ENCIRCLE** (Evaluating the Changing Risk of Cyclones for Italian Precipitation Extremes), finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (Missione 4).

L'obiettivo dell'iniziativa è stato quello di riunire esperti di estremi idro-meteorologici in Italia, con l'intento di aggiornare la comunità scientifica e gli enti operativi che fanno parte del sistema di allerta sullo stato dell'arte della ricerca in questo ambito. Per arricchire il confronto con elementi applicativi, sono stati coinvolti non solo gli enti impegnati nella gestione delle emergenze, ma anche quelli coinvolti nella mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico e nella pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

La questione centrale, di grande rilevanza sia scientifica che operativa, riguarda come il cambiamento climatico stia modificando il rischio associato agli estremi di precipitazione in Italia. Nello specifico, emergono le seguenti domande:

- Quali aspetti del cambiamento climatico possono dirsi consolidati?
- Quali sono le questioni scientifiche ancora aperte?
- In che modo la ricerca può supportare i processi decisionali e la pianificazione territoriale in un contesto caratterizzato da incertezza climatica?

Durante il workshop, queste domande sono state affrontate inizialmente dagli interventi scientifici e, successivamente, nell'ambito di una tavola rotonda con enti pubblici e privati. I principali temi emersi dal confronto sono descritti nelle sezioni seguenti.

Interventi scientifici

Il workshop è stato aperto da **Alice Portal (CNR-ISAC)**, che ha introdotto i lavori delineando un quadro d'insieme sulle precipitazioni estreme in Italia e sul loro legame con il cambiamento climatico.

Mario Marcello Miglietta (CNR-ISAC) ha presentato una panoramica dei principali modelli concettuali associati agli eventi precipitativi intensi nel nostro Paese, con particolare attenzione ai diversi processi regionali che inducono questi eventi e al ruolo dell'orografia. Come casi studio, ha presentato gli eventi dell'ottobre 2014 in Liguria, del maggio 2023 in Emilia-Romagna, del settembre 2022 nelle Marche e dell'ottobre 2005 in Puglia.

Giorgia Fosser (IUSS, Pavia) ha illustrato i progressi nella rappresentazione degli estremi di precipitazione ottenuti grazie a modelli climatici ad alta risoluzione (convection-permitting) applicati all'Italia. Ha inoltre mostrato come le simulazioni da questi modelli possono essere utilizzate per dare indicazioni operative sui tempi di ritorno degli estremi, indicando anche i limiti di questo approccio.

Francesco Marra (Università di Padova) ha discusso i recenti sviluppi nella modellizzazione statistica dei tempi di ritorno di eventi precipitativi estremi di breve durata (scala oraria). Ha mostrato come, includendo la temperatura come covariata nel modello, sia possibile aggiornare le stime dei tempi di ritorno in un contesto di cambiamento climatico, presente e di scenario, nel quale

gli estremi si verificano con temperature progressivamente più elevate.

Alberto Viglione (Politecnico di Torino) ha approfondito la connessione tra estremi di precipitazione e alluvioni, evidenziando come il trend di aumento delle alluvioni nei bacini fluviali piccoli sia strettamente connesso con l'intensificazione degli estremi di precipitazione sub-giornaliera. Ha inoltre illustrato come le alluvioni nella macroregione delle Alpi siano legate alla circolazione atmosferica a larga scala.

Paolo Ruggieri (Università di Bologna) ha affrontato il tema del ruolo delle previsioni a medio/lungo termine nella stima dell'occorrenza degli estremi idro-meteorologici. Grazie ad alcune applicazioni sviluppate per impatti quali alluvioni e siccità, ha evidenziato come la disponibilità di enormi moli di dati previsionali può sopperire alla scarsità di serie temporali osservative per la valutazione del rischio di eventi catastrofici.

Giuseppe Zappa (CNR-ISAC) ha presentato i principali risultati del progetto ENCIRCLE, con particolare riferimento al contributo dei processi dinamici e termodinamici nella risposta al cambiamento climatico dei cicloni (sistemi di bassa pressione) che impattano il territorio italiano. Introducendo vari metodi per valutare l'impatto del cambiamento climatico, ha parlato di vari cicloni rinomati per il loro impatto in termini di precipitazione, e di come la frequenza e l'intensità di questi eventi potrebbe cambiare in un clima più caldo.

Tavola rotonda

A conclusione degli interventi scientifici si è tenuta una tavola rotonda, moderata da **Federico Grazzini** e **Salvatore Pascale**, dal titolo *"Come prepararsi agli estremi idro-meteorologici del futuro"*. Hanno partecipato alla discussione **Renata Pelosini** (ItaliaMeteo), **Renzo Giovanni Avesani** (Leithà – Gruppo Unipol), **Nicola Berni** (Protezione Civile Emilia-Romagna), **Andrea Colombo** (Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po – ADBPO) e **Barbara Turato** (ARPAL Liguria).

Il confronto ha evidenziato la necessità di una maggiore integrazione tra gli studi scientifici emergenti e le istituzioni responsabili della prevenzione e della pianificazione. In particolare, è necessario promuovere metodologie per la stima delle **precipitazioni di progetto** (soglie di precipitazione associate a specifici tempi di ritorno, utilizzate per la progettazione delle infrastrutture civili) che tengano conto dei diversi processi fisici sottostanti, che possono essere caratterizzati da trend climatici differenti. Ad esempio, è emersa l'urgenza di considerare l'aumento delle precipitazioni convettive a scala sub-giornaliera, analizzabile mediante strumenti modellistici e approcci statistici come quelli presentati all'interno del workshop, superando l'uso della statistica incondizionata basata sui massimi annuali di precipitazione nelle serie storiche. La sfida per gli enti coinvolti nella gestione del territorio consiste nel definire strumenti metodologicamente solidi e operativamente applicabili, al fine di gestire gli estremi idro-meteorologici in un contesto climatico in rapida evoluzione.

Il Comitato Organizzatore era composto da: Alice Portal (CNR-ISAC), Giuseppe Zappa (CNR-ISAC), Salvatore Pascale (Università di Bologna), Paolo Ghinassi (CMCC), Federico Grazzini (ARPAE), Cristina Iacomino (Università di Trento, Fondazione Bruno Kessler) e Marco Burderi (Università di Bologna).

Autori:

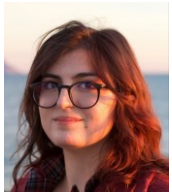
Alice Portal
(CNR-ISAC)

Giuseppe Zappa
(CNR-ISAC)

Salvatore Pascale
(Università di Bologna)

Paolo Ghinassi
(CMCC)

Federico Grazzini
(ARPAE)



Cristina Iacomino
(Università di Trento
Fondazione Bruno Kessler)

Marco Burderi
(Universitàdi Bologna)

La definizione di medicane pubblicata sul glossario dell'American Meteorological Society

Il verificarsi nel Mediterraneo di cicloni con caratteristiche simili a quelle dei cicloni tropicali (spesso identificati con il termine “medicane” o “Mediterranean tropical-like cyclone”) è noto da tempo. Le immagini da satellite, infatti, hanno evidenziato la presenza nel Mediterraneo di cicloni con un “occhio” centrale privo di nubi alte e bande di nubi a spirale che ricordano la struttura tipica di un ciclone tropicale. Inoltre, è stata evidenziata la presenza di un nucleo centrale caldo e simmetrico; pertanto, l’analogia con i cicloni tropicali non è limitata solo agli aspetti fenomenologici ma include anche a quelli strutturali.

Per quanto la frequenza dei medicane sia limitata a pochi casi per anno, il loro impatto devastante ha attratto un forte interesse. Ad esempio, il ciclone Ianos ha colpito la Grecia nel settembre 2020, causando quattro vittime e ingenti danni nelle sue regioni occidentali e centrali. Sull'isola di Cefalonia sono state registrate raffiche di vento fino a 54 m/s e 769 mm di pioggia in 48 ore nella stazione di Argostoli (si noti che la media annua è 812 mm). Il ciclone Daniel del settembre 2023 ha interessato inizialmente la Grecia, in particolare la pianura della Tessaglia (la stazione di Portaria ha registrato 762 mm nella sola giornata del 5 settembre e 1096 mm dal 5 all'8 settembre), causando 17 vittime, e devastando infrastrutture e produzione agricola. Anche Bulgaria e Turchia sono state colpite, con almeno 10 decessi segnalati. Successivamente, Daniel si è trasformato in un sistema di tipo tropicale che si è ulteriormente intensificato e ha colpito la Libia, causando inondazioni catastrofiche, aggravate dal crollo di due vecchie dighe nella città di Derna. Sono state 5951 le vittime confermate, mentre più di 8000 sono stati i dispersi, e 7031 i feriti. I danni ammontano a circa 20 miliardi di euro.

La comunità scientifica che studia i cicloni mediterranei ha discusso per diversi decenni la natura dei medicane. Alcuni scienziati hanno sostenuto che questi cicloni possono essere considerati, per un breve periodo del loro ciclo di vita, dei veri e propri cicloni tropicali. A motivare questo punto di vista è stato un articolo di Kerry Emanuel (2005), in cui è stato coniato il termine medicane (da “Mediterranean hurricane”) e si mostra come la forte intensità di questi cicloni possa essere spiegata esclusivamente applicando la teoria dei cicloni tropicali. Tuttavia, altri studi (ad esempio, Fita and Flaounas, 2018) hanno evidenziato come questi cicloni si sviluppino in un

Figura 1. Il ciclone Ianos nella fase di massima intensità sullo Ionio (17 settembre 2020). Dati NOAA.

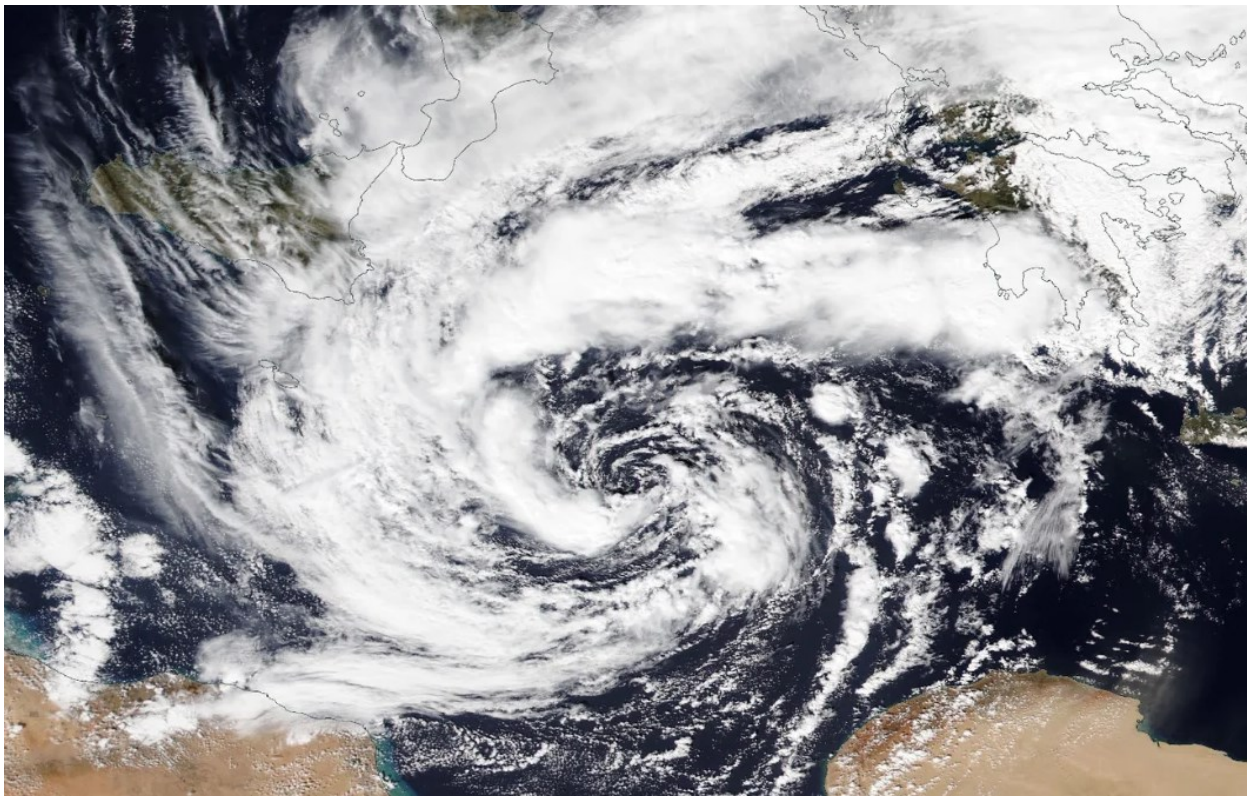


Figura 2. Il ciclone Zorbas nella fase di massima intensità sul Mediterraneo meridionale (28 settembre 2018). Dati NOAA.

ambiente baroclino, cioè caratterizzato da una forte variazione verticale del vento e da forti gradienti orizzontali di temperatura, per cui l'instabilità baroclina, che caratterizza lo sviluppo dei cicloni extratropicali, svolge un ruolo importante non solo nelle fasi iniziali ma anche nelle fasi mature dei medicane. Pertanto, il termine "medicane" è stato utilizzato in modo non uniforme nella letteratura scientifica, causando confusione sia nella comunità scientifica che nei servizi meteorologici. Inoltre, approcci fenomenologici (basati su osservazioni satellitari e dati empirici, utili per previsioni in tempo reale) e strutturali (basati su modelli numerici e diagrammi di fase dei cicloni) spesso portano a risultati incoerenti, rendendo difficile la classificazione uniforme dei medicanes.

I punto di vista di Emanuel (2025) e di Fita e Flaounas (2018) sono stati in parte riconciliati in un articolo di Miglietta e Rotunno (2019), in cui si mostra che il termine "medicane" in realtà sia stato attribuito a cicloni con meccanismi di sviluppo molto diversi: alcuni hanno per un breve periodo caratteristiche e meccanismi di intensificazione tipici dei cicloni tropicali, mentre altri sono caratterizzati da un contributo baroclino durante tutto il loro ciclo di vita, quindi più simili ai cicloni subtropicali; in altri casi, il nucleo centrale caldo è dovuto all'intrappolamento dell'aria proveniente del settore caldo in prossimità del centro di un ciclone extratropicale nella fase terminale del suo ciclo di vita ("warm seclusion" nel modello di Shapiro-Keyser dei cicloni extratropicali).

Per risolvere definitivamente questa ambiguità e identificare in modo univoco cosa sia un medicane, alcuni scienziati hanno proposto una definizione fenomenologica, ma consistente con un approccio strutturale basato su dati numerici.

La definizione è stata pubblicata sul Bulletin of the American Meteorological Society (Miglietta et al., 2025; https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0289.1) e ora accettata nel glossario dell'American Meteorological Society, diventando pertanto un riferimento per chi lavora nel settore della meteorologia: https://glossary.ametsoc.org/wiki/Medicane. Questo lavoro è stato possibile grazie ad alcuni importanti progetti internazionali, quali l'azione COST "Medcyclones" (https://www.cost.eu/actions/CA1910/) e il Progetto finanziato da ESA MEDICANES "Earth Observations as a cornerstone to the understanding and prediction of tropical-like cyclone risk in the Mediterranean" (https://medicanes.isac.cnr.it/project.html).

Secondo questa definizione, **un medicane è un ciclone a mesoscala che si sviluppa sul Mar Mediterraneo e presenta caratteristiche simili ai cicloni tropicali, cioè un nucleo caldo che si estende nell'alta troposfera, una struttura simile a un "occhio" al centro con bande di nubi a spirale intorno, un centro quasi privo di vento circondato da una circolazione alla superficie quasi-simmetrica con velocità massima a pochi chilometri dal centro.**

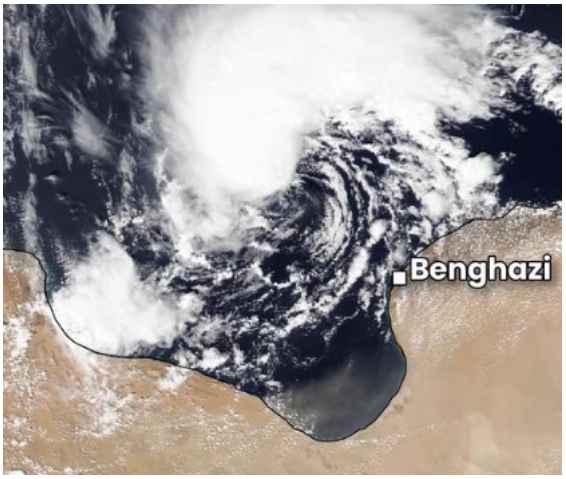


Figura 3. Il ciclone Daniel nella fase precedente all'intensificazione sulle coste della Libia (9 settembre 2023). Dati NOAA.

La definizione propone di utilizzare il termine "medicane" per descrivere qualsiasi sistema ciclonico nel Mediterraneo con le caratteristiche sopra elencate, indipendentemente dai meccanismi di sviluppo, garantendo consistenza nell'identificazione dei medicane usando vari approcci. La definizione fenomenologica garantisce coerenza e facilita l'analisi e la comunicazione tra la comunità scientifica e i servizi meteorologici.

In futuro sarebbe opportuno identificare dei parametri che consentano di differenziare in tempo reale le varie categorie di medicane, in particolare quelli più intensi, le cosiddette "transizioni tropicali", dalle altre tipologie di medicane (warm seclusion, cicloni subtropicali). In questo contesto, Emanuel et al. (2025) hanno evidenziato come queste ultime categorie si sviluppino in modo del tutto analogo a cicloni che si formano in altre parti del mondo ("polar lows", cicloni subtropicali, "Kona storm", e alcuni casi di cicloni della costa est dell'Australia), ma caratterizzati dallo stesso meccanismo di sviluppo, e hanno suggerito di chiamare tutti questi cicloni con il nome di "Cyclops" (acronimo per "CYClones from Locally Originating Potential intensity").

Bibliografia

Emanuel, K. A., 2005: Genesis and maintenance of "Mediterranean hurricanes". Adv. Geosci., 2, 217–220, https://doi.org/10.5194/adgeo-2-217-2005.

Emanuel, K., Alberti, T., Bourdin, S., Camargo, S. J., Faranda, D., Flaounas, E., Gonzalez-Aleman, J. J., Lee, C.-Y., Miglietta, M. M., Pasquero, C., Portal, A., Ramsay, H., Reale, M., and Romero, R., 2025: CYCLOPs: a Unified Framework for Surface Flux-Driven Cyclones Outside the Tropics, Weather and Climate Dynamics, 6, 901–926, https://doi.org/10.5194/wcd-6-901-2025

Fita, L., and Flaounas, E., 2018: Medicanes as subtropical cyclones: The December 2005 case from the perspective of surface pressure tendency diagnostics and atmospheric water budget. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 144, 1028–1044, https://doi.org/10.1002/qj.3273

Miglietta, M. M., Flaounas, E., González-Alemán, J. J., Panegrossi, G., Gaertner, M. A., Pantillon, F., Pasquero, C., Schultz, D. M., D'Adderio, L. P., Dafis, S., Husson, R., Ricchi, A., Carrió, D. S. C., Davolio, S., Fita, L., Picornell, M. A., Pytharoulis, I., Raveh-Rubin, S., Scoccimarro, E., Bernini, L., Cavicchia, L., Conte, D., Ferretti, R., Flocas, H., Gutiérrez-Fernández, J., Hatzaki, M., Santaner, V. H., Jansà, A., and Patlakas, P., 2025: Defining Medicanes: Bridging the Knowledge Gap Between Tropical and Extratropical Cyclones in the Mediterranean, Bulletin of the American Meteorological Society, 106, E1955–E1971, https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0289.1.

Miglietta, M. M., and Rotunno, R., 2019: Development mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (medicanes). Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 145, 1444–1460, https://doi.org/10.1002/qj.3503

Autori:

Mario Marcello Miglietta
(CNR-ISAC)

ARTICOLO

Tre decenni di dinamica dell'equivalente in acqua della neve nel Bacino del Po

La neve stagionale su Alpi e Appennini funziona come un serbatoio naturale: immagazzina le precipitazioni invernali e le rilascia in primavera e all'inizio dell'estate. Con un nuovo dataset ad alta risoluzione di 30 anni (1991–2021) abbiamo analizzato come l'"acqua nella neve", o equivalente in acqua della neve (SWE), sia variata all'interno del Bacino del Po. Il quadro è chiaro: sotto circa 2000 m di quota il serbatoio nivale si sta riducendo e la durata della neve si sta accorciando, mentre alle quote più alte emergono variazioni più complesse.

1. Perché l'"acqua nella neve" è importante per il Po

Il Bacino del Po è il più grande d'Italia ed è un pilastro dell'economia nazionale. Ospita circa 20 milioni di persone (all'incirca un terzo della popolazione italiana) e sostiene distretti agricoli e industriali di primaria importanza. Negli anni a basso apporto pluviometrico, quando le portate fluviali diminuiscono e la produzione idroelettrica cala, gli effetti si propagano su ecosistemi, città e filiere alimentari.

2. Un nuovo dataset SWE di 30 anni a 500 m di risoluzione

La superficie coperta dalla neve è un valore facile da rilevare tramite i satelliti, ma non dice quanta acqua sia effettivamente immagazzinata nel manto nevoso. Si rende quindi necessario l'utilizzo dell'SWE, ovvero lo spessore d'acqua che si otterrebbe se tutta la neve presente fondesse. In questo lavoro lo SWE è stato ricostruito a scala giornaliera e a risoluzione spaziale di 500m×500 m dal 1991 al 2021 usando il framework di modellazione "J-Snow", che combina un modello nivologico fisicamente basato (GEOtop) con l'assimilazione di osservazioni al suolo (altezza della neve) e di prodotti satellitari di copertura nevosa (MODIS).

Questa serie di dati, lunga e coerente, consente a scienziati e gestori della risorsa idrica di andare oltre

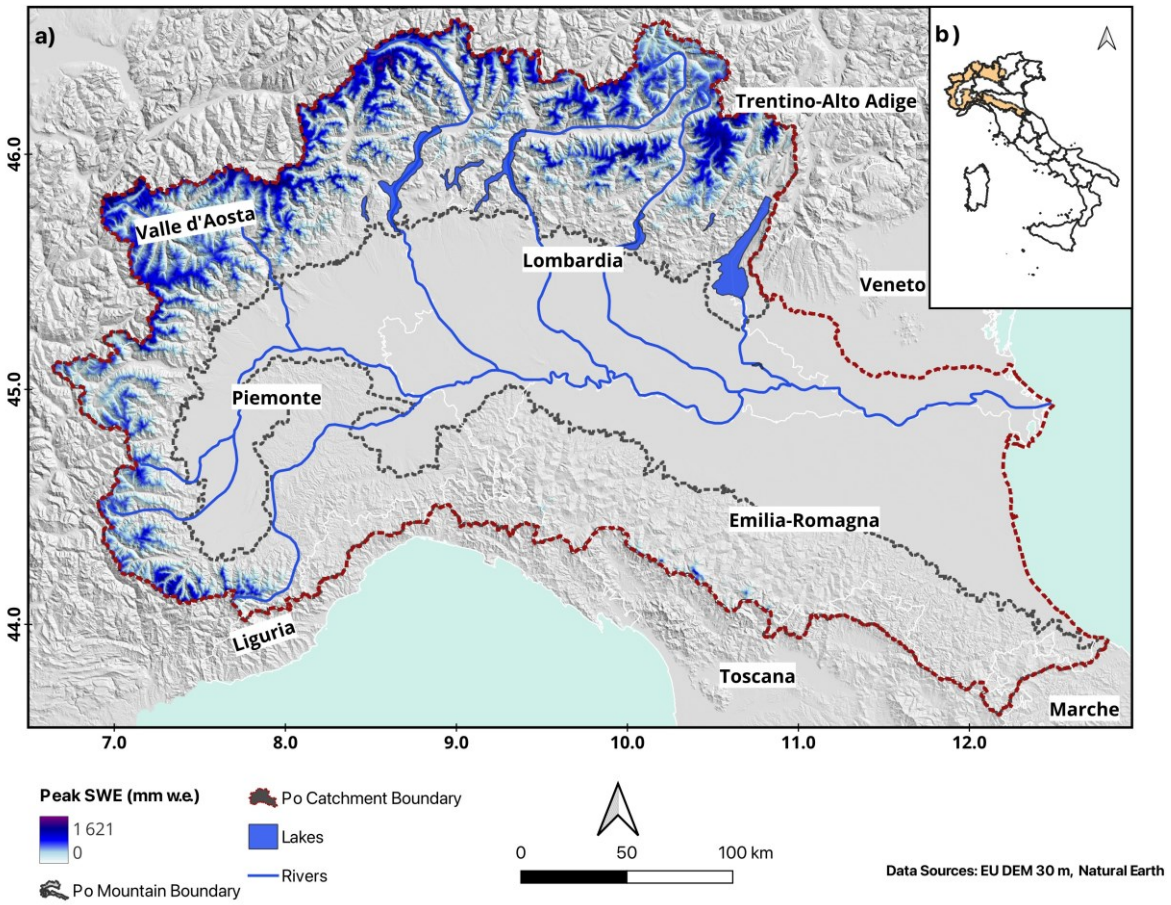


Figura 1: Il Distretto del Fiume Po e il dominio montano analizzato nello studio.

Fasce altimetriche	Variazione di SWE totale (decennio recente rispetto ai due di riferimento)	Variazione nel valore di picco dell'SWE (decennio recente rispetto ai due di riferimento)
0–500 m	−38.0%	−91.6%
500–1000 m	−36.6%	−55.6%
1000–1500 m	−28.5%	−26.4%
1500–2000 m	−6.1%	≈ −4%
2000–2500 m	+9.8%	≈ +10%
2500–4500 m	+19.4%	≈ +17%

Tabella 1: Variazione dello SWE per fasce altimetriche.

l'analisi degli anni estremi e chiedersi: esistono tendenze persistenti? E queste cambiano con la quota?

Per trasformare mappe giornaliere di SWE in un'analisi delle variazioni dello stesso SWE, gli autori hanno selezionato alcuni indicatori di facile interpretazione, calcolati per ogni "anno idrologico" (dall'autunno all'estate successiva) e poi analizzati in termini di trend per diverse fasce altimetriche.

Le tendenze sono state valutate con un metodo non parametrico standard (test di Mann–Kendall) applicato a 1.000 punti campione selezionati casualmente in ciascuna fascia di quota, così da distinguere meglio il cambiamento di lungo periodo dalla naturale variabilità interannuale.

Una domanda chiave per qualsiasi dataset ricostruito è: si comporta come prodotti indipendenti? Per il periodo 2011–2021 gli autori hanno confrontato i volumi di SWE con quelli ottenuti dalla rianalisi IT-SNOW per l'Italia (Avanzi et al., 2023). I due dataset riproducono lo stesso ciclo stagionale e la stessa variabilità interannuale, con un forte accordo complessivo su scala di bacino ($R^2 \approx 0{,}87$; differenze tipiche dell'ordine di ~0,6–0,8 Gm^3). Le differenze sono maggiori alle quote più basse, dove la neve è più effimera e più difficile da modellare, mentre la fascia 1500–2000m mostra una consistenza particolarmente elevata.

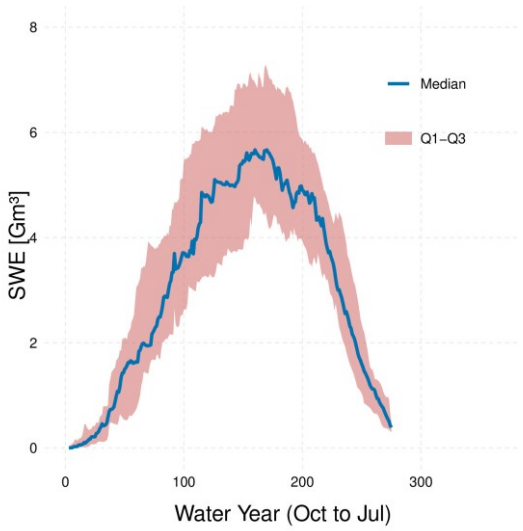


Figura 2: Ciclo stagionale ("nivogramma") del volume totale di SWE sull'intero bacino (1991–2021): un picco tipico intorno a metà marzo, con forte variabilità interannuale.

3. Come si sta comportando il serbatoio nivale: perdite al di sotto dei 2000 m

Alla scala di bacino, il volume mediano di SWE al picco stagionale è circa 5,6 Gm^3 e si verifica in genere a metà marzo. Ma la lettura più importante emerge quando si separa il bacino per fasce di quota. Attorno alla data mediana del picco, un anno "tipico" può spaziare da circa 4,7 Gm^3 (25° percentile) a 7,2 Gm^3 (75° percentile). Questa ampiezza mostra perché la pianificazione idrica non può basarsi solo sui valori medi e perché una serie lunga è essenziale.

Alle quote basse e intermedie il manto nevoso è diventato più esiguo e meno persistente. Confrontando l'ultimo decennio (2012–2021) con i due decenni precedenti (1992–2011), il volume totale di SWE si è ridotto di:

- ~38% tra 0 e 500 m di quota
- ~36,6% tra 500 e 1000 m
- ~28,5% tra 1000 e 1500 m
- ~6,1% tra 1500 e 2000 m

Il punto di svolta si colloca grosso modo tra i 1500 e i 2000 m di quota. Al di sotto il riscaldamento fa sì che una maggiore porzione delle precipitazioni totali cada sotto forma di pioggia e che la neve che si accumula si sciolga più facilmente durante i giorni invernali più miti. Al di

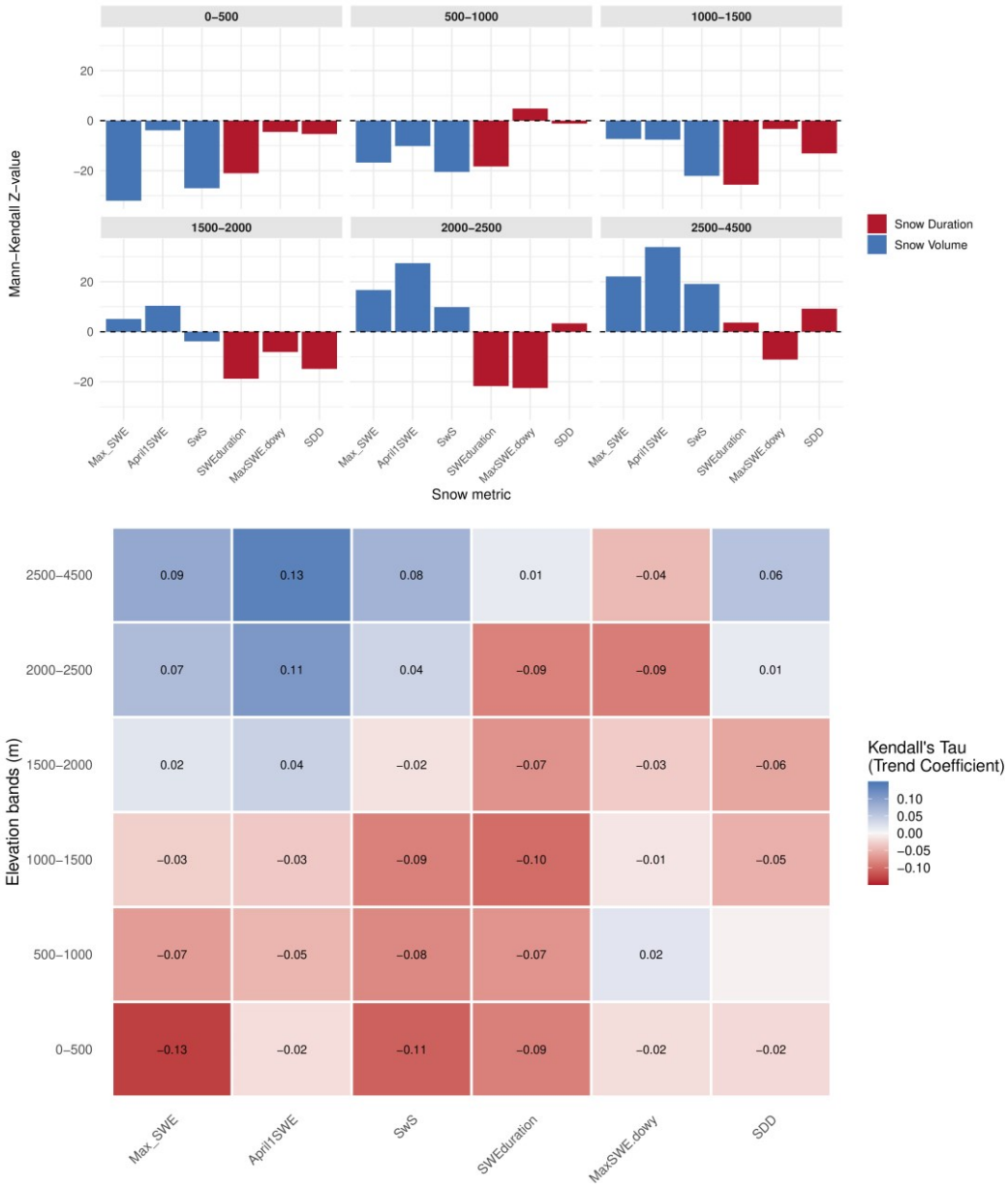


Figura 3: Trend dipendenti dalla quota dei volumi di neve e della durata della neve: forti diminuzioni sotto ~1500–2000 m e aumenti alle quote più alte.

sopra di questa fascia di quota, invece, le temperature più fredde favoriscono la formazione di neve e il dataset suggerisce incrementi moderati dello stoccaggio totale di acqua nella neve (+9,8% tra 2000–2500 m e +19,4% sopra 2500 m). Tuttavia, questo non significa che la neve alle quote più alte sia "al sicuro": la fusione può accelerare e le incertezze aumentano dove le osservazioni sono scarse.

Lo studio mostra, infatti, che la durata della stagione nivale (giorni con SWE persistente) continua a diminuire fino a circa 2500 m di quota e che diversi indicatori temporali suggeriscono un raggiungimento del picco più precoce in molte fasce altimetriche. Questa combinazione — valori di SWE più elevati ma concentrati in un periodo di tempo più limitato — è coerente con un regime in cui l'accumulo nivale può ancora avvenire alle quote più elevate, ma le velocità di fusione aumentano comunque con l'aumento delle temperature.

4. Una stagione della neve più corta e un inizio più tardivo

Anche dove il dataset mostra più acqua nella neve alle quote più elevate, le tempistiche dell'innevamento stanno cambiando. Diversi indicatori di "fenologia" della neve puntano verso una stagione più breve nella maggior parte delle fasce altimetriche.

Un esempio evidente è la fascia 1000–1500 m, dove nel decennio recente la stagione della neve si è accorciata di circa 20,8 giorni. Eppure la data in cui il territorio torna libero dalla neve dopo il picco stagionale (snow disappearance date) è cambiata solo di un paio di giorni in

molte fasce. Questo scarto suggerisce che il principale motore delle stagioni più brevi non sia soltanto una fusione primaverile più precoce, ma anche un inizio della presenza di neve persistente più tardivo e più irregolare tra autunno e inizio inverno.

Le anomalie mensili rafforzano questo concetto: tra dicembre e febbraio l'anomalia di SWE è sistematicamente negativa sotto i 1500 m, segnalando un accumulo più debole del manto nevoso durante l'inizio dell'inverno.

5. Perché sta succedendo?

La fisica è semplice: quando la temperatura dell'aria oscilla attorno a 0°C, un piccolo aumento può trasformare la neve in pioggia. Nelle montagne del Bacino del Po questo meccanismo di "passaggio di fase" è più determinante alle quote basse e intermedie, dove in inverno le temperature sono spesso prossime allo zero. Il riscaldamento, inoltre, accelera la fusione primaverile della neve, anticipandone il deflusso.

Lo studio sottolinea inoltre che i risultati osservati alle quote più alte vanno interpretati con cautela, dato che le osservazioni meteorologiche sono scarse in corrispondenza di queste aree. Dove mancano dati puntuali, da stazioni, si usano prodotti di rianalisi (come ERA5-Land) per forzare i modelli, e questi prodotti possono sovrastimare le precipitazioni alle alte quote

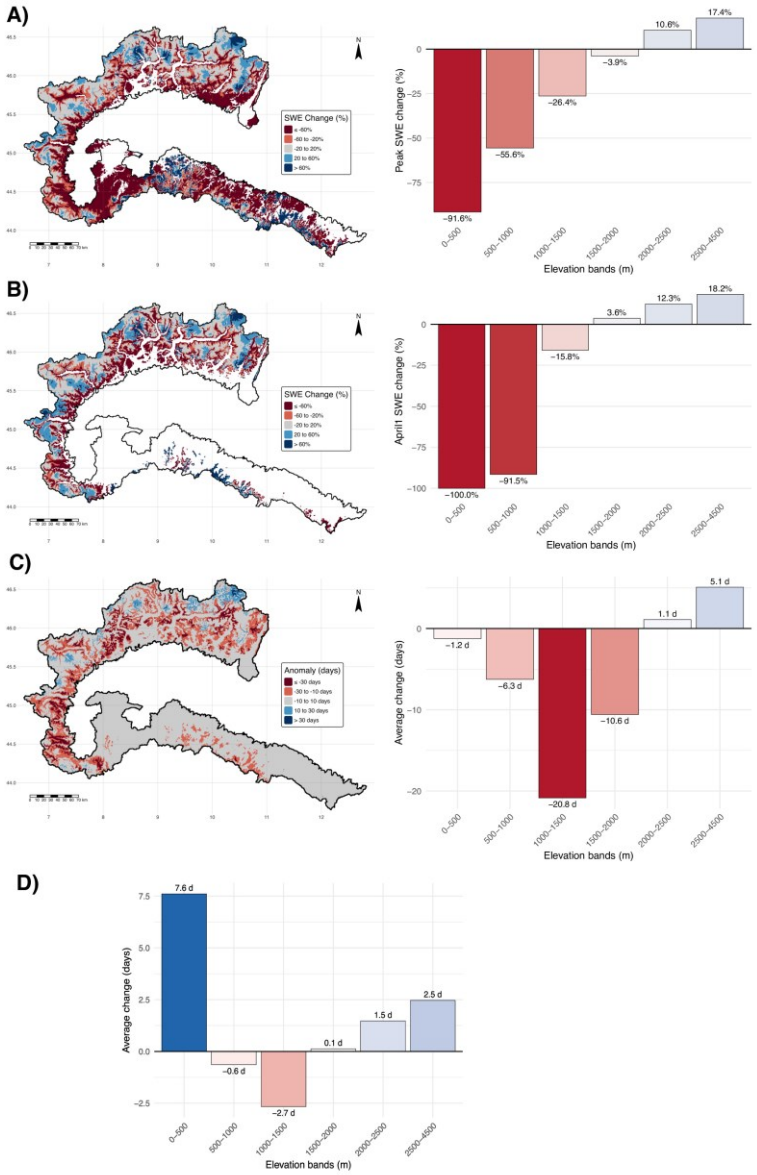


Figura 4: Variazioni del volume di neve e delle anomalie temporali della stagione nivale in base alla quota, con evidenza di ritardi dell'accumulo a inizio inverno e di scarso accumulo alle basse quote.

nelle Alpi. Di conseguenza, gli apparenti aumenti di SWE in alta quota potrebbero essere in parte influenzati da un bias negli input: un tema importante da approfondire in lavori futuri.

6. Implicazioni per siccità, piene e gestione dell'acqua

Un serbatoio nivale più esiguo, più precoce e più variabile modifica l'intero "calendario" idrologico. Una fusione anticipata, infatti, tende ad anticipare i picchi di portata primaverili e può ridurre la disponibilità d'acqua nelle successive fasi primaverili ed estive, quando la domanda irrigua e i fabbisogni idroelettrici sono spesso più elevati. Allo stesso tempo, inverni più miti possono aumentare la frazione di precipitazione che cade come pioggia, accrescendo il rischio di piene invernali (incluse le situazioni di "pioggia su neve") e lasciando meno acqua immagazzinata per le stagioni meno piovose.

In termini pratici, meno neve immagazzinata significa meno "effetto tampone". Quando più acqua cade sotto forma di pioggia in inverno, questa può defluire rapidamente, mentre si riduce il rilascio lento che storicamente sosteneva le portate di fine primavera ed estate. In un bacino intensamente gestito come quello del Po, dove agricoltura, idroelettrico, ecosistemi e produzione energetica competono per la stessa risorsa, uno spostamento anche di poche settimane può tradursi in deficit più marcati durante ondate di calore e periodi prolungati di siccità.

Negli ultimi anni il Nord Italia ha già sperimentato impatti severi legati a deficit nivali (in particolare il deficit 2021–2022 che ha preceduto la siccità socio-idrologica dell'estate 2022). Le tendenze di lungo periodo descritte qui suggeriscono che eventi di questo tipo potrebbero diventare più frequenti, a meno di limitare il riscaldamento e adattare la gestione dell'acqua.

Esempi possibili di adattamento includono:

- Usare previsioni migliorate di neve e deflusso per adeguare le regole di gestione degli invasi anticipatamente.
- Modificare la pianificazione irrigua e le misure di emergenza per tenere conto di una fusione nivale più precoce e di portate di fine stagione più basse.
- Ridurre le perdite (perdite di rete, trasporto) e aumentare l'efficienza dove possibile, dato che la disponibilità di risorsa diventa più variabile.
- Rafforzare i piani di preparazione alla siccità trattando la "snow drought" come segnale precoce di allerta.

7. Prossimi passi

Migliori e più numerose osservazioni alle alte quote (per meteorologia e neve) restano una priorità per ridurre le incertezze, insieme a nuove missioni di telerilevamento e a tecniche capaci di stimare lo SWE in modo più diretto. Nel frattempo, dataset liberi e ad alta risoluzione come questo possono supportare valutazioni di rischio, migliorare le previsioni idrologiche e aiutare i decisori a testare strategie di adattamento (regole di invaso, calendari irrigui, piani siccità) in un regime nivale che cambia.

Glossario (definizioni rapide):

SWE (Snow Water Equivalent): quantità d'acqua contenuta nel manto nevoso, espressa come spessore di acqua liquida dopo la fusione.

Gm^3: un miliardo di metri cubi (10^9 m^3) d'acqua, un'unità pratica per lo stoccaggio nivale su scala di bacino.

Water year (anno idrologico): anno di riferimento per gli studi su neve e deflussi (in genere dall'autunno all'estate successiva).

Snow drought: inverno con SWE insolitamente basso, che può tradursi in riduzioni dei deflussi primaverili/estivi e in carenze idriche.

Dati e riferimento

Dataset: il dataset di SWE è liberamente disponibile come file GeoTIFF nel repository: https://doi.org/10.5281/zenodo.11196628 ed è distribuito con licenza Creative Commons Attribution 4.0 International: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Riferimento suggerito:

Basato su: Wani, J.M., Gleason, K. E., Dall'Amico, M., Paolo, F., Tasin, S., Roati, G., Brian, M., Tornatore, F., and Rigon, R. (under Review, 2025) Three decades of snow water equivalent dynamics in the Po River Basin, Italy: Trends and Implications. egusphere-2025-5520, Submitted 07 Nov 2025, The Cryosphere. doi: https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-5520

Autori:

John Mohd Wani[1], Kelly E. Gleason[2], Matteo Dall'Amico[3], Federico Di Paolo[3], Stefano Tasin[3], Gaia Roati[1,4], Marco Brian[4], Francesco Tornatore[4], and Riccardo Rigon[1,5]

[1]C3A - Center Agriculture Food Environment, University of Trento, San Michele all'Adige, Trento, Italy

[2]Department of Environmental Science and Management, Portland State University, Portland, Oregon, USA

[3]Waterjade Srl, Pergine Valsugana (TN), Italy

[4]Po River Basin District Authority, Parma, Italy

[5]Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento, Trento, Italy

La potenza della *data visualization*: consigli e buone pratiche per comunicare i dati meteo-climatici

Se è vero che un'immagine vale più di mille parole, nel campo della comunicazione scientifica potremmo spingerci oltre e dire che **un buon grafico vale più di un intero articolo scientifico**.

Questa provocazione non vuole sminuire il rigore della ricerca accademica, ma evidenziare che la capacità di sintetizzare visivamente la complessità di temi complessi e di grande attenzione e urgenza, come nel caso della scienza del clima, può essere oggi la via d'elezione per comunicare il dato e trasformarlo in consapevolezza e, nel migliore dei casi, in "azione". Laddove il linguaggio testuale può risultare denso e i dataset numerici astratti, la rappresentazione visiva può aiutare a mappare ciò che è invisibile e rendere tangibili scale temporali e spaziali altrimenti fuori dalla portata dell'esperienza quotidiana. Nell'ambito dei cambiamenti climatici, l'esempio più celebre in questo senso è rappresentato dalle **"Climate Stripes"** (le strisce del clima) ideate dal climatologo Ed Hawkins dell'Università di Reading (Figura 1). Questo grafico minimalista elimina completamente i numeri, gli assi cartesiani e le legende testuali, lasciando che sia solo il colore a parlare. Ogni striscia verticale rappresenta un anno: le tonalità del blu indicano anni più freddi della media, mentre quelle del rosso indicano anni più caldi. Il passaggio visivo repentino dal blu al rosso scuro degli ultimi decenni comunica l'urgenza del riscaldamento globale in modo immediato, potente e comprensibile a chiunque a prescindere dal background scientifico. È la dimostrazione perfetta di come la *data viz* possa trasformare un dataset complesso in un simbolo culturale potente, capace di finire su copertine di riviste ma anche semplici cartoline diffuse a migliaia di persone.

Come riuscire a trasformare i dati in potenti elementi di comunicazione è un argomento di grande interesse anche in seno alla comunità scientifica. Di questo aspetto si è discusso lo scorso 13 novembre nel webinar **"La visualizzazione dei dati per il meteo e il clima"**, organizzato dall'**Agenzia ItaliaMeteo** e dal **Consorzio LaMMA che ha avuto come** relatrice dell'incontro la dottoressa **Anna Lombardi** (ECMWF – Copernicus Climate Change Service). Al webinar hanno partecipato oltre 220 persone provenienti da servizi meteo, università, enti di ricerca e agenzie private, un incontro molto partecipato, segno evidente di un interesse crescente verso un tema che riguarda da vicino il lavoro quotidiano dei ricercatori, anche quando non si occupano direttamente di comunicazione.

Nel webinar Anna Lombardi, con una formazione in fisica e un percorso successivo nella comunicazione della scienza, ha innanzitutto sottolineato e mostrato concretamente come la visualizzazione dei dati sia da considerarsi una disciplina a pieno titolo, situata all'intersezione tra scienza, design e comunicazione. Non si tratta semplicemente di "fare dei bei grafici", ma di **costruire strumenti che aiutino a comprendere i dati, a individuare pattern e trasmettere messaggi complessi in modo chiaro e responsabile**.

Una pratica antica perché il cervello capisce meglio i grafici dei testi

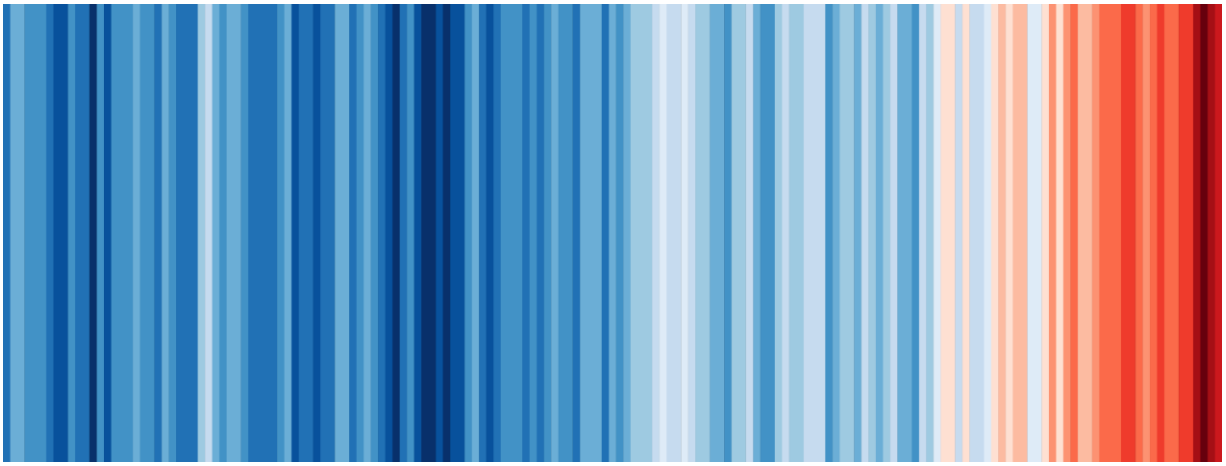


Figura 1: Climate stripes. Credits: By Ed Hawkins, climate scientist at University of Reading. CarlinMack created SVG version - https://web.archive.org/web/20190417024828/http://www.climate-lab-book.ac.uk/2018/2018-visualisation-update/states - https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=85801139

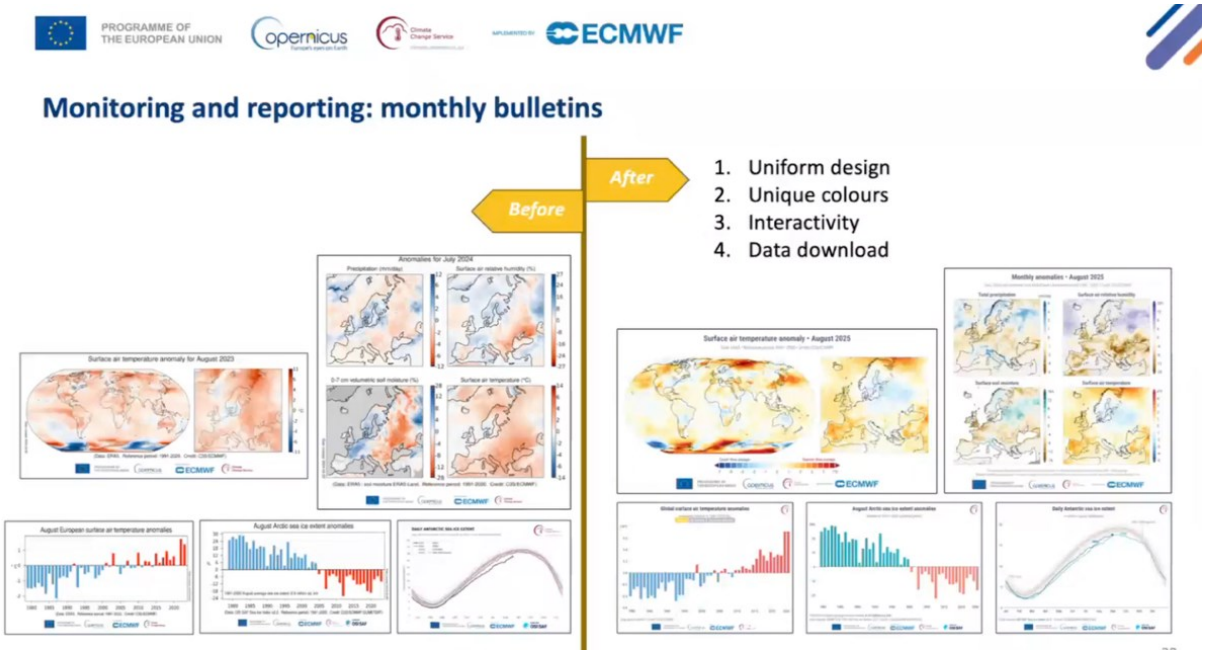


Figura 2: Rappresentazioni grafiche del Copernicus Climate Change Service per I monthly bulletins

Sebbene sia sorta alle attenzioni della cronaca negli ultimi decenni, la data visualization non è un'invenzione recente. Dalle tavolette mesopotamiche utilizzate per il conteggio delle risorse, alle mappe di navigazione delle isole Marshall costruite con conchiglie e bastoncini, la rappresentazione visiva dei dati accompagna la storia dell'umanità da millenni. Certo oggi è totalmente cambiata la **scala, sia per la** mole di dati che per la varietà e vastità dei pubblici che con questi dati entrano in contatto. Rapporti scientifici, dashboard interattive, applicazioni web, social media: lo stesso dato può vivere in contesti molto diversi e parlare a pubblici con competenze, aspettative e obiettivi differenti. La data visualization in questo contesto diventa un potenziale ponte tra comunità scientifica e decisori politici, tra ricerca e società.

Possiamo dire che un grafico può valere più di mille parole, perché dal punto di vista cognitivo l'informazione visiva viene elaborata più rapidamente di quella testuale.

Come sottolinea la dottoressa Lombardi, una immagine ben costruita attiva e coinvolge più aree del cervello e rende quindi ad esempio più intelleggibili e commensurabili anche numeri molto grandi. Se dico a qualcuno che ogni giorno vengono vendute "1,3 miliardi di bottiglie di plastica" questo numero resta astratto se non lo contestualizzo visivamente, potrei per far questo dare un ancoraggio concreto dicendo che questo numero corrisponde ad una quantità pari a riempire xx campi di calcio. Un grafico efficace, quindi, rende un dato non solo più comprensibile ma anche più ancorato nella memoria. Consente di individuare più facilmente pattern e valori anomali rispetto a una tabella numerica, diventando così uno strumento essenziale anche nella fase di analisi, non solo di divulgazione.

L'esperienza di Copernicus: coerenza visiva e identità scientifica

La dottoressa Lombardi ha condiviso molti esempi concreti tratti dal lavoro svolto all'interno del servizio C3S, ovvero il Copernicus Climate Change Service che mette a disposizione dati e informazioni sul clima passato, presente e futuro. Dai bollettini climatici mensili allo **European State of the Climate**, Lombardi ha mostrato come negli ultimi anni la visualizzazione sia diventata sempre più centrale nella produzione si prodotti scientifici.

Un passaggio chiave recente portato avanti proprio all'interno del C3S Copernicus è stato il lavoro di **standardizzazione e coerenza visiva**: ovvero lo sforzo guidato di definire linee guida comuni per scelta di colori, tipologie di grafici, proiezioni cartografiche e caratteri tipografici. Non per una questione puramente estetica, ma per migliorare leggibilità, confrontabilità e riconoscibilità delle informazioni. Un grafico coerente è più facile da leggere, ma è anche più facile da riutilizzare correttamente da parte di giornalisti, comunicatori e decisori. In questo senso, la visualizzazione contribuisce anche alla **tracciabilità e all'autorevolezza della fonte scientifica**.

Visualizzare bene i dati aiuta anche in fase di analisi

Ma un buon grafico può essere anche un efficace strumento di analisi per i ricercatori. Attraverso numerosi esempi, Lombardi ha mostrato come scelte apparentemente secondarie – una scala cromatica, l'ordine delle categorie, il tipo di grafico scelto– possano influenzare in modo significativo l'interpretazione dei dati, migliorare la leggibilità, far emergere tendenze o unicità che altrimenti non sarebbero percepibili così chiaramente (Figura 3).

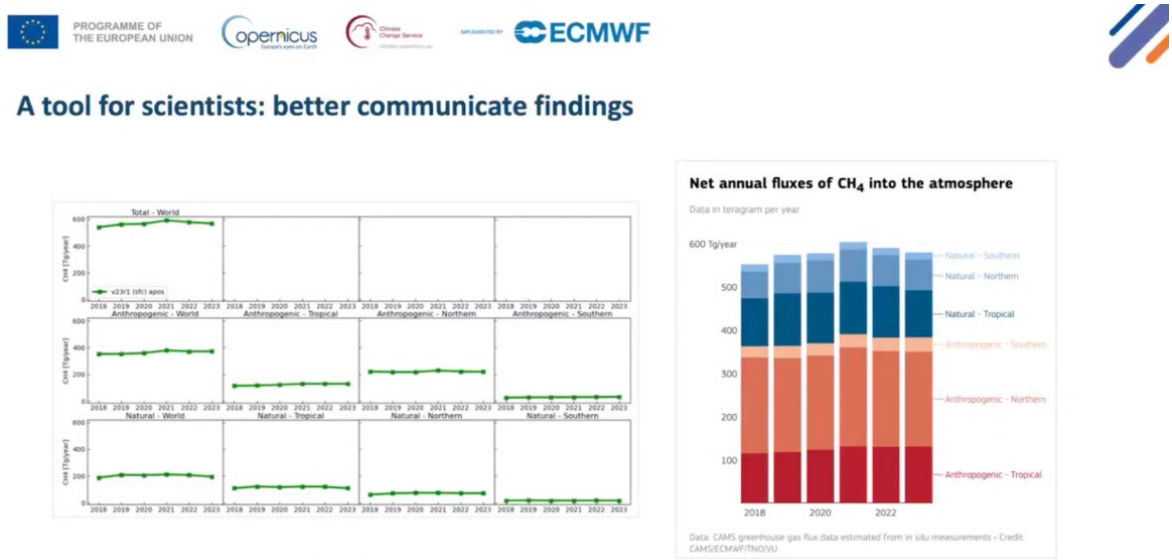


Figura 3: Un esempio di meno efficace (sinistra) e più efficace (destra) rappresentazione grafica.

Ridurre il "rumore visivo", mettere in secondo piano gli elementi non informativi, scegliere rappresentazioni coerenti con il messaggio scientifico: sono tutte operazioni che aiutano non solo il lettore, ma anche chi lavora quotidianamente con i dati. Scegliere una specifica tipologia di grafico, ad esempio, può essere cruciale per far emergere informazioni che sarebbero rimaste "invisibili" altrimenti.

Questioni di etica, accessibilità e responsabilità

Un tema trasversale emerso con forza è quello dell'etica della visualizzazione. Mostrare solo una parte di una serie temporale, utilizzare scale cromatiche fuorvianti o non accessibili, sovraccaricare un grafico di informazioni: tutte queste scelte possono alterare la percezione del dato, anche involontariamente. L'accessibilità – in particolare per le persone con deficit nella percezione dei colori ma non solo – non è un aspetto opzionale, ma una componente essenziale della buona pratica scientifica. Esistono oggi strumenti che permettono di verificare la leggibilità dei grafici per diversi tipi di visione, e ignorarli significa escludere una parte del pubblico, anche all'interno della comunità scientifica.

Alcune regole valide per tutti per rendere più efficace la visualizzazione dei dati

Volendo riassumere alcune delle indicazioni condivise dalla dottoressa Lombardi, un **grafico efficace** è il risultato di un mix di **contenuto, design e user experience**, ovvero l'esperienza dell'utente. Si parte da alcuni principi di base:

- **Definire bene il pubblico:** è importante definire sempre *a chi* si sta parlando (esperti/e, policy maker, pubblico generale) e quindi quali possono essere le sue competenze o esigenze informative. Cosa gli interessa?
- **Puntare alla comprensibilità:** assicurarsi che il messaggio sia chiaro e facile da comprendere per chi non ha familiarità con i dati

Una volta **identificato il messaggio chiave** che vogliamo comunicare è necessario **scegliere il grafico migliore** per il tipo di dato, perché non tutti i grafici vanno bene per mostrare qualunque tipologia di dati.

I colori sono un altro elemento cardine a cui prestare attenzione; sia la **scelta del colore** che il numero di tonalità diverse. Meglio **evitare l'utilizzo di troppi colori** all'interno di un grafico, che possono risultare fuorvianti o non garantire la **massima accessibilità**. Stessa attenzione va riservata alla **dimensione dei caratteri** e alla **visualizzazione da smartphone.**

Ulteriori accorgimenti riguardano la **riduzione del rumore visivo**, ovvero porre in secondo piano tutto quello che non

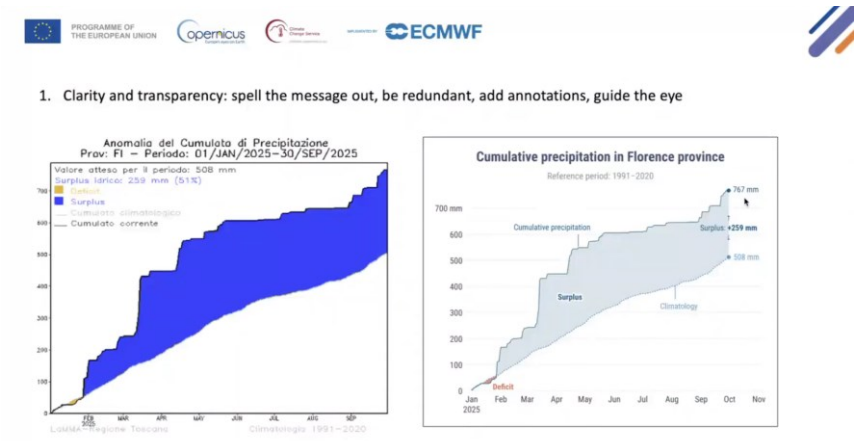


Figura 4: Due rappresentazioni grafiche dell'anomalia dei cumulati di precipitazione nella provincia di Firenze.

è un dato saliente, e la **ridondanza**, per esempio utilizzare gli stessi colori e ripetete il messaggio chiave sia nel titolo che nelle annotazioni.

Consigli pratici per migliorare un grafico

In chiusura è stato mostrato qualche esempio concreto di restyling partendo da alcuni grafici di serie climatiche, messi a disposizione dal LaMMA, servizio meteo della Toscana.

Ne vediamo qualche esempio utile.

Un primo esempio è rappresentato dalla Figura 4.

Il grafico mostra l'anomalia dei cumulati di precipitazione nella provincia di Firenze. Nella versione rielaborata, riportata a destra, si è scelto di scomporre la legenda e di avvicinare le annotazioni testuali direttamente ai dati rappresentati. Questa modifica risponde a un principio molto semplice ma fondamentale: evitare che l'occhio debba continuamente spostarsi dalla legenda al grafico per interpretare le informazioni. Quando le annotazioni sono collocate in prossimità dei dati cui si riferiscono, il passaggio informativo diventa più immediato e meno faticoso dal punto di vista cognitivo. Un ulteriore intervento ha riguardato l'uso di un codice colore coerente e univoco per identificare con chiarezza le diverse componenti del grafico senza introdurre ambiguità. Si possono inoltre integrare informazioni aggiuntive come i valori dei valori massimi registrati, per rafforzare la capacità interpretativa della figura e fornire al lettore elementi quantitativi espliciti che arricchiscono il messaggio complessivo.

Un secondo esempio riguarda un grafico a linee che mostra i dati di temperatura osservata a Firenze nell'estate 2022, in Figura 5. Per capire come migliorare il grafico a sinistra bisogna chiedersi e individuare quale sia l'elemento che, a colpo d'occhio, attira maggiormente l'attenzione. Questo elemento sembra essere svolto dalla linea rossa, più visibile rispetto alle altre. Tuttavia, la linea rossa rappresenta la deviazione standard, e non costituisce forse l'informazione chiave che si intende comunicare. È quindi necessario interrogarsi su quale informazione debba avere invece maggiore rilevanza visiva e probabilmente la risposta è la temperatura osservata, che è originariamente in grigio. Ridisegnare il grafico significa in primo luogo ridurre il rumore di fondo, eliminando o attenuando linee e colori superflui al fine mettere in risalto il messaggio centrale, che potrebbe essere l'andamento delle temperature osservate, messe in relazione alla climatologia di riferimento. La nuova versione a destra enfatizza dunque l'andamento delle temperature osservate, utilizzando un colore dominante e inserendo annotazioni coerenti con lo stesso codice cromatico. La climatologia e la deviazione standard vengono comunque rappresentate, ma attraverso un'area trasparente che delimita gli estremi senza introdurre elementi visivi eccessivamente invasivi. In questo modo si preserva l'informazione completa, ma si orienta l'attenzione del lettore verso ciò che realmente costituisce il cuore interpretativo del grafico.

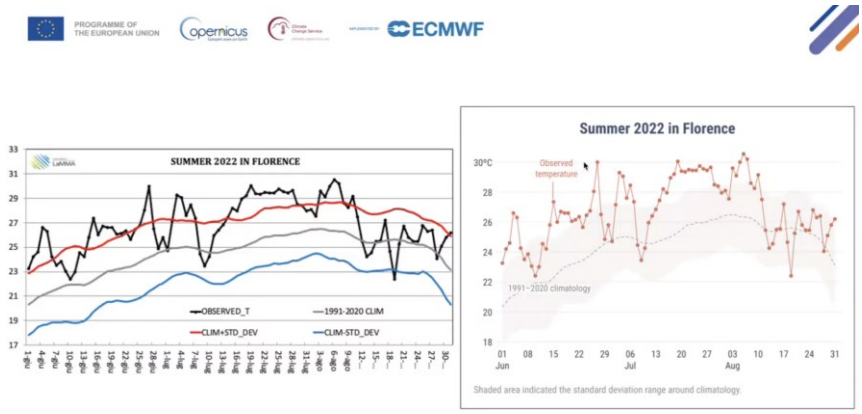


Figura 5: Dati di temperatura osservata a Firenze nell'estate 2022.

Un ulteriore esempio è quello relativo alle misure di precipitazione, riportato nella Figura 6.

Nel grafico originale i valori osservati sono rappresentati in azzurro, quelli climatologici in grigio, e sull'asse compaiono le diverse province della Toscana. Un primo miglioramento possibile riguarda la leggibilità delle informazioni territoriali: gli acronimi o le denominazioni

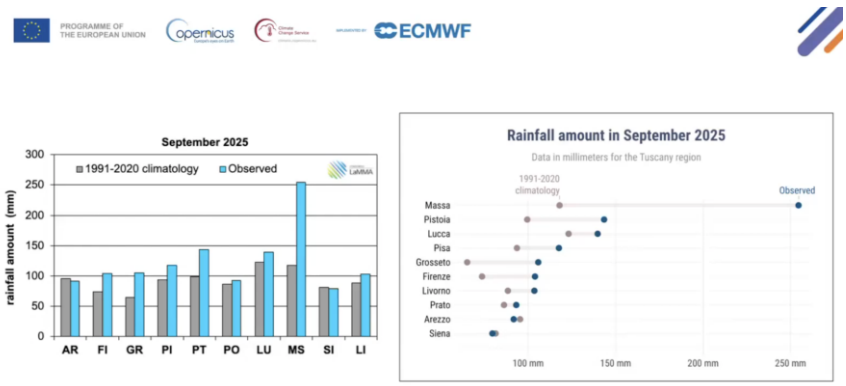


Figura 6: Valori di precipitazione osservati e climatologici delle diverse province della Toscana.

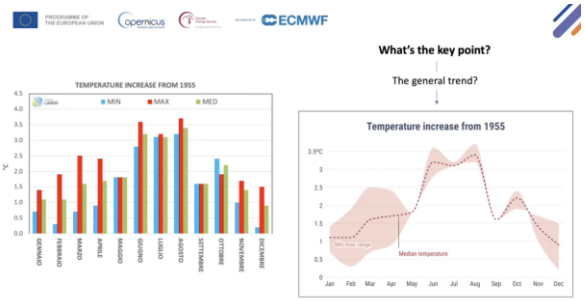


Figura 7: Andamento delle anomalie di temperatura (medie, massime e minime) mensili rispetto ai valori del 1955.

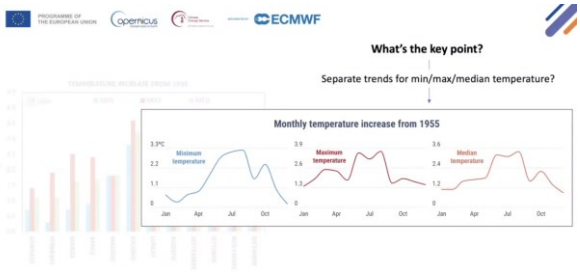


Figura 8: Stessa rappresentazione di Figura 7, ma adottando una soluzione a pannelli multipli.

abbreviate possono risultare immediatamente comprensibili per un pubblico locale, ma meno evidenti per chi osserva il grafico da fuori regione. È quindi importante mettersi nei panni del lettore e domandarsi quali informazioni richiedano uno sforzo interpretativo aggiuntivo. Il secondo livello di riflessione riguarda l'obiettivo comunicativo. In questo caso l'informazione rilevante è il divario tra il valore osservato e quello climatologico. Per rendere più evidente questa relazione si è scelto di modificare la tipologia di grafico, adottando una rappresentazione che permetta di visualizzare simultaneamente entrambe le dimensioni, ma che introduca anche un elemento di ordine nella lettura dei dati.

L'ordine è infatti un elemento fondamentale nell'interpretazione visiva: il nostro cervello tende spontaneamente a cercare una struttura ordinata, una sequenza, una gerarchia. Nel grafico originario non è presente né un ordine alfabetico né un ordinamento per grandezza dei valori, e questo rende più complesso individuare un punto di partenza nella lettura. Nella versione rielaborata, invece, le province sono ordinate dal valore osservato più alto al più basso, offrendo così una chiave di lettura esplicita e riducendo lo sforzo cognitivo richiesto al lettore.

Infine, nella Figura 7, è riportato un istogramma che mostra l'andamento delle anomalie di temperatura mensili rispetto ai valori del 1955, con tre serie di dati: temperature medie, massime e minime. In questo caso è già presente un primo livello di ordine, determinato dalla successione dei mesi dell'anno, e un secondo livello di ordine visivo, affidato ai colori che distinguono le tre serie. Anche qui, tuttavia, le possibilità di miglioramento dipendono dall'obiettivo comunicativo. Se l'interesse principale è mettere in evidenza la tendenza complessiva della temperatura nel corso dell'anno, può risultare più efficace adottare un grafico a linea che rappresenti l'andamento delle temperature medie, accompagnato da un'area chiara che mostri il range compreso tra minime e massime. Questa soluzione permette di visualizzare contemporaneamente sia la tendenza principale che l'ampiezza della variabilità, rendendo più chiara l'evoluzione stagionale.

Se invece si intende dare pari rilevanza all'andamento delle tre serie – medie, minime e massime – si può optare per una soluzione a pannelli multipli (Figura8), che separi le tre linee di tendenza mantenendo però la coerenza di scala. In questo modo ciascuna componente viene valorizzata senza sovraccaricare un unico grafico di informazioni concorrenti.

Non solo comunicare, ma costruire conoscenza

Il messaggio finale del webinar è chiaro: **la data visualization non serve a "semplificare" la scienza, ma a renderla comprensibile senza tradirla**. È uno strumento che può supportare la ricerca, migliorare la qualità delle analisi, rafforzare la trasparenza e ampliare l'impatto dei risultati scientifici.

Ancora di più in un contesto come quello del clima e della meteorologia, in cui i dati sono complessi e le implicazioni sociali e politiche rilevanti, investire nella qualità della visualizzazione significa investire nella qualità della scienza stessa. Non per rendere i risultati più "accattivanti", ma per renderli più solidi, leggibili e condivisibili.

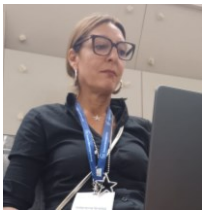
Il fine ultimo della visualizzazione non sono belle immagini, ma **un aumento di informazione e conoscenza**. Un obiettivo che interessa ciascuno di noi.

Risorse

Il **video completo del webinar** è su:

- canale Youtube di Agenzia ItaliaMeteo: YouTube: https://youtu.be/y9vFSDSI1HQ?si=p6WjAb7E8IKSklY5
- Link diretto al video "La data visualization per il mete e per il clima" https://www.youtube.com/watch?v=y9vFSDSI1HQ&t=3056s

Autore:



Valentina Grasso
(Consorzio LaMMA)

APPROFONDIMENTO

Ancora sulla Decomposizione di Reynolds: il suo ruolo nella tecnica di *eddy covariance*

1.Introduzione

Questa è l'ultima puntata sugli aspetti matematici della Decomposizione di Reynolds, e mi sembra giusto darle un taglio pratico, ma, allo stesso tempo, di respiro più ampio, e proiettata verso il futuro di, chissà, qualche altra cosa.

La Decomposizione di Reynolds, lo ricorderete, consiste nella ripartizione dei segnali naturali, che rappresentiamo come funzioni del tempo $x(t)$, nella somma di una "parte media" $\bar{x}(t)$ e di una "fluttuazione con media nulla" $x'(t)$.

Nelle altre puntate abbiamo veduto come questa cosa si possa fare per ogni grandezza naturale, e che però le applicazioni più concrete riguardano le tre componenti del vento, la temperatura istantanea, e le concentrazioni di sostanze importanti (gas serra, nutrienti dei vegetali (che a volte sono gas serra), spore, particelle di *black carbon*, spore, ragni nelle fasi giovanili, gas nervini, eccetera).

Abbiamo anche visto che l'operatore di "mediazione" si può in linea di principio definire in infiniti modi, ma che non tutte le "medie" che verrebbero in mente sono delle vere medie secondo Reynolds.

E tantissime altre cose.

Adesso, per chiudere, ci occupiamo di un'applicazione molto pratica, che non molti conoscono, e che però ha un'importanza fondamentale nelle applicazioni tecniche, sanitarie e agricole: la *eddy covariance*. Speriamo che in futuro la lista delle utilità si fermi qui, e che non si debba aggiungere anche quella militare, che pure c'è. (Ma speriamo, appunto, di non doverla usare a quel modo.)

Figura 1. Paesaggio un po' urbano e un po' rurale (Tainate, 25 Maggio 2025)

2.Flussi turbolenti

Partiamo da questa immagine (Figura 1):

Non è una delle mie foto migliori, anche se rappresenta, per me, un momento bello ricorrente (se abitate dalle parti di Milano, l'anello San Pietro Cusico – Cascina Torre – Tavernasco – Tainate – Copiago – Doresano – San Pietro Cusico un pomeriggio distensivo lo merita tutto).

Quello che vediamo, un paesaggio per lo più rurale con elementi urbani, è in fondo quanto di più anonimo si potrebbe immaginare.

E però presenta alcuni elementi comuni ad un'infinità di altre situazioni: c'è un sotto, con vegetazione; un cielo azzurro sopra (quanto riesce ad esserlo il cielo sopra la Città Metropolitana di Milano), e una bassa atmosfera nel mezzo, che poi era il mio soggetto principale (anche se del tutto invisibile).

Si dice che la vegetazione scambia con l'aria soprastante ossigeno, anidride carbonica, vapore acqueo, e un'infinità di altre sostanze in tracce.

Ed in termini generali è vero.

Il difficile è capire *quanto*, e qualcuna delle persone di AISAM dedica la vita a misurarlo in modo preciso.

La cosa interessante è che, appunto, la misura è possibile, e in vari modi. Uno, che ci interessa molto da vicino, è la *eddy covariance*. Appunto.

Questa tecnica si fonda su alcune ipotesi. Due, molto ragionevoli e facili da accettare:

- Su un terreno piatto, e "ugualmente rurale" in tutte le direzioni, tutti i gli scambi tra vegetazione ed atmosfera avvengono lungo la verticale (se il terreno è *davvero* uniforme, dai lati entra tanto quanto esce).
- La stessa cosa vale se il "sotto" è un ambiente ancora uniforme ma urbano, oppure il (vasto) sito di un disastro naturale, o un campo di battaglia, o … Se in tutti i punti del piano avvengono le stesse cose nello stesso modo (più o meno), allora l'unica direzione che rimane alle sostanze per andare da qualche parte è la verticale.

Qualcun'altra, invece, meno scontata:

- La diffusione verso l'alto o il basso avviene a causa di un mix di trasporto diretto perché il vento per accidente punta verso l'alto o il basso (cosa che possiamo benissimo trascurare, visto che il suolo, agendo come confine, frena molto questa possibilità), di diffusione turbolenta, diffusione molecolare, adsorbimento da parte di polveri e della superficie del suolo (inclusi i cuoi abitanti), deposizione umida per effetto delle precipitazioni, eccetera.

- Tra tutte queste possibilità, però, quella quantitativamente più importante è il *flusso turbolento*.

Ma cos'è questo "flusso turbolento"?

Matematicamente, è la covarianza tra la componente verticale del vento, w, e la concentrazione della cosa che si sposta verso l'alto, chiamiamola c.

Tralasciando tutti i dettaglini del caso in base al modo di campionamento dei segnali (ma se proprio ci tenete chiedetemeli, che qualcosa vi dico) la covarianza tra w e c è definita come la media del prodotto delle differenze di w e c rispetto alle rispettive medie.

Cioè, per fare la voce grossa,

$$\frac{1}{E}\int_E [w(t) - \overline{w}(t)] \cdot [c(t) - \overline{c}(t)] \cdot dt$$

dove E è l'intervallo temporale che ci interessa.

Ma nelle puntate precedenti avevamo visto che

$$w(t) = \overline{w}(t) + w'(t)$$

in cui $\overline{w}(t)$ rappresenta come al solito la media, e $w'(t)$ la fluttuazione.

Idem per $c(t)$. Allora, possiamo riscrivere l'integrale come

$$\frac{1}{E}\int_E w'(t)c'(t) \cdot dt$$

E addirittura, facendo un piccolo passaggio logico, sostituendo cioè la media temporale con l'operatore "media" tout court, in un modo ancora più semplice

$$\overline{w'c'}$$

E ridajje: rieccola, la Decomposizione di Reynolds!

Non vi ho detto proprio tutto: a dirla bene la covarianza non è un flusso. Ma gli è proporzionale:

$$F_c = K \cdot \overline{w'c'}$$

dove K è una opportuna costante "di scala", che fra tutte le cose belle che fa riesce anche a far tornare le unità di misura. Teniamola lì.

Quello che ho detto per il flusso di sostanze chimiche vale, anche, per l'energia. Nel caso, per esempio, il flusso turbolento di calore sensibile come

$$H_0 = \rho C_p \cdot \overline{w'\theta'}$$

dove questa volta ρ rappresenta la densità dell'aria, C_p il calore specifico dell'aria a pressione costante, e θ la temperatura virtuale (approssimata dalla temperatura prodotta dagli anemometri ultrasonici) – il prodotto ρC_p è pressappoco costante.

Bello, no?

Un conto, però, è esprimerle in una formuletta, tutte queste cose.

Un altro, *misurarle*.

3."Ma è tutto facilissimo!" Disse Satana.

Eh. Appunto. *Se ghe voeur*! Cosa ci vuole?

Basta prendere uno strumento bello veloce, per esempio un anemometro ultrasonico, per vento e temperatura. Poi un altro sensore, altrettanto rapido, per la concentrazione c. Farli funzionare simultaneamente e nello stesso posto, e prendere i dti da tutti e due.

Aspettare un certo tempo.

Poi, calcolare la covarianza (di per sé non è "difficile", richiede solo un mare di moltiplicazioni e somme e sottrazioni), moltiplicare per la costante (cosa ancora meno difficile: una divisione, ma però una sola), e finita lì.

Abbiamo il flusso.

Che però è *sbagliato*.

(I numeri hanno la sgradevole prerogativa di *sembrare* affidabili: capire quando *non* lo sono torna sempre utilissimo per non cadere in qualche truffa finanziaria, giudicare le affermazioni di qualche politico, e quant'altro.)

Il bello dei lavori degli altri è che, veduti dalla posizione nostra, che nella vita facciamo tutt'altro, ci sembrano sempre facilissimi.

Nella sua retorica tipica, il Diavolo è piuttosto bravo a convincere, suscitare invidie e risentimenti, e titillare ego più o meno solidi.

Ma (per dirla come avrebbe senza dubbio fatto il mio beniamino Frate Guglielmo da Baskerville, gli fosse mai accaduto di occuparsi, oltre che di libri, di eretici e *serial killer*), nella sua fiorita prosopopea tende ad omettere taluni piccoli dettagli. Ma *piccolissimi*, tanto da risultare del tutto trascurabili.

E qui, il dettaglio è che la "verticale" rispetto alla quale dobbiamo calcolare i flussi è quella *fluidodinamica*.

Che non è detto coincida con quella del campo gravitazionale.

(Spesso nemmeno le assomiglia.)

Questo, comunque, è solo l'aperitivo: poi c'è il fatto che il Mondo Reale non funziona praticamente mai in modo

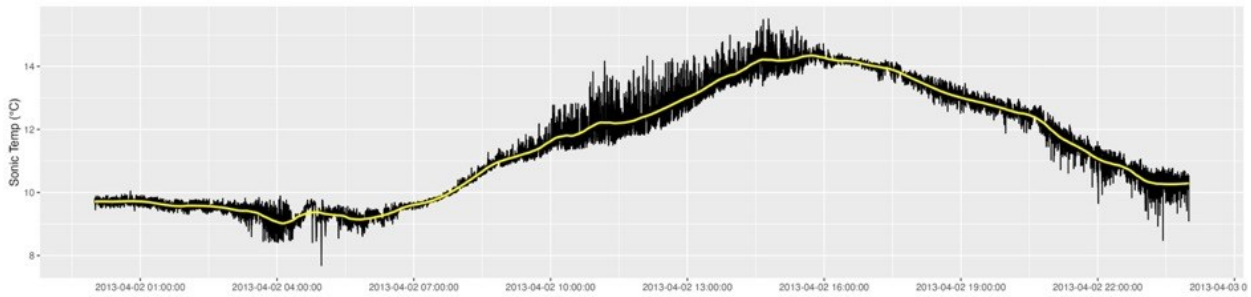


Figura 2. Temperatura sonica (decimata di un fattore 60) presso la stazione di Cinisello Parco Nord (rete SHAKEUP di ARPA Lombardia)

collaborativo, che molte costanti sono in realtà piuttosto variabili, gli strumenti proclivi ad ingannare i poveri utenti appena se ne presenta l'occasione.

E le ipotesi, appunto: tutte da prendere con le pinze.

Per esempio, amiamo dire che la "fluttuazione" w' è "turbolenta". Addirittura, nemmeno lo diciamo in modo esplicito: mettiamo direttamente insieme le due parole parlando di "fluttuazione turbolenta", così da trasmettere la naturalità dell'associazione tra le due – amici ed amiche del CNR e di vari atenei che si occupano della cosa, di fronte a questo mio consapevole abuso di linguaggio storcerebbero il naso, ed avrebbero il diritto di prendermi a male parole, ricordandomi titoletti quali "*low-frequency phenomena*", "*meandering*", e cose così. Ma in fondo, ormai, ve l'ho detto anch'io.

E, poi, ma questa è in effetti piuttosto grossa, che *davvero* le cose vanno sempre allo stesso modo, indipendentemente dal tempo e dalla direzione di provenienza del vento.

Però, se ammettiamo tutto questo (e mettiamo a punto un metodo che ci permetta di ricavare la verticale fluidodinamica dai dati – spoiler: c'è), possiamo veramente ridurre il problema di calcolo dei flussi ad un (bel) po' di operazioni statistiche.

Vediamo se è vero.

In Figura 2 vediamo la rappresentazione delle temperature misurate da una stazione micro-meteorologica in un intero giorno d'inizio primavera del 2013.

La linea gialla l'ho messa io, e rappresenta il valore dello stimatore *loess*[1] con valore del parametro *span* uguale a 0.03; il rateo di campionamento originale sarebbe stato di 10 Hz, ma dei 36000 campioni realmente disponibili in ogni ora ne ho rappresentati solo 600, tanto per far tornare il grafico più bello ed evocativo.

La cosa importante è che il suo valore, che non differisce granché rispetto a quello di medie determinabili in modo più rigoroso, *continua a cambiare*.

E la velocità verticale del vento?

Ok. La linea gialla di riferimento visivo cambia poco rispetto allo zero. Come dicevo.

Però, i valori individuali possono cambiare *moltissimo*!

Le Figure 2 e 3 rappresentano un intero giorno di dati. Visto che il pianeta Terra si riscalda globalmente, sì, ma pian piano, e che dalle nostre parti la temperatura è ancora tutto sommato confortevole, se io calcolassi la covarianza tra la w "strumentale" (che non è quella fluidodinamica) e la temperatura θ, un'approssimazione di $\frac{H_0}{\rho C_p}$ lo troverei anche, ma immagino tornerebbe vicina a

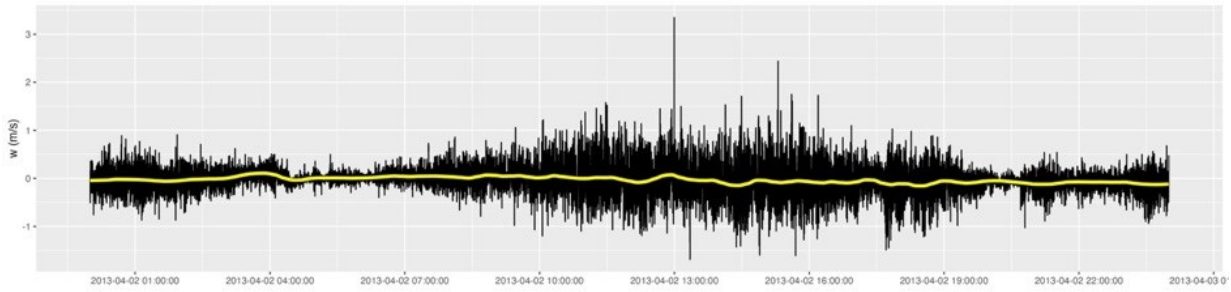


Figura 3. Velocità verticale del vento (collocazione nel tempo e nello spazio come nella Figura 2)

[1] Scusate la parolaccia, ma si chiama proprio così; la spiegazione non è meno appariscente: è una regressione polinomiale locale. Uno dei tanti metodi di "lisciamento dei dati", che si distingue per alcune proprietà matematiche che non vi dico, e perché, tra tutti i metodi, produce grafici belli da vedere.

Ora	$H_0\,(\mathrm{W/m^2})$	Ora	$H_0\,(\mathrm{W/m^2})$	Ora	$H_0\,(\mathrm{W/m^2})$	Ora	$H_0\,(\mathrm{W/m^2})$
00-01	-8.5	06-07	0.9	12-13	161.1	18-19	-30.2
01-02	-8.8	07-08	0.1	13-14	75.8	19-20	-14.6
02-03	-8.0	08-09	21.4	14-15	89.5	20-21	-3.4
03-04	-11.0	09-10	27.2	15-16	58.4	21-22	-20.7
04-05	-9.1	10-11	88.4	16-17	6.7	22-23	-10.8
05-06	-3.0	11-12	135.2	17-18	-4.5	23-24	-23.8

Tabella 1. Valori orari approssimati del flusso turbolento di calore sensibile lungo la verticale (Cinisello Parco Nord, 2 Aprile 2013); valore assunto per il prodotto di densità dell'aria e calore specifico a pressione costante pari a 1300

zero: bene o male, il calore sensibile che arriva dal Sole durante il giorno nella notte viene perduto, in una eterna danza di equilibrio dinamico.

Molto più produttivo, invece, andarci a calcolare la covarianza su un intervallo temporale ridotto. Per esempio, nelle singole 24 ore. Usando come definizione di "media" la media temporale a blocchi oraria (che nelle puntate precedenti avevamo scoperto essere una vera media, nel senso che soddisfa le condizioni di Reynolds).

Ci sta: vediamo una dinamica compatibile con quella presentata spesso in letteratura. Non saranno i valori veri, ma con buona probabilità non sono nemmeno troppo visivamente diversi.

Ma…

Il diavoletto milanese, quello del "*Ma cosa ci vuole!*", una cosa proprio non l'ha detta. Ma possiamo vederla direttamente anche noi. Prendiamo una fettina oraria della temperatura:

Di variazione istantanea ne vediamo anche a questa scala.

Ma:

- La linea gialla di riferimento *cambia col tempo*. E mica poco. Siamo in presenza di quello che una persona esperta di mercati finanziari chiamerebbe "*trend*".
- Il trend *aggiunge una quota di varianza*, per niente "turbolenta"; idem per la co-varianza.

Quanto pesa la varianza "in più"? Non necessariamente poco, e possiamo rendercene conto con un esperimento mentale.

Consideriamo una retta, di equazione $x = \alpha \cdot t$, con la pendenza α libera di assumere valori tra 0 e 1, ed immaginiamo che il tempo t varii tra 0 e 1 ora. La retta è, appunto, una retta, e al suo interno non contiene alcuna variazione intrinseca: se la varianza σ^2 (o la deviazione standard σ, radice quadrata della varianza) misura la "variabilità dei dati", allora sarebbe legittimo sperare fosse $\sigma = 0$.

Ma così non è, come possiamo vedere dalla Figura 5: al crescere della pendenza aumenta anche la deviazione standard.

Ragionandoci, capiamo subito che non potrebbe essere diversamente: la deviazione standard rappresenta lo

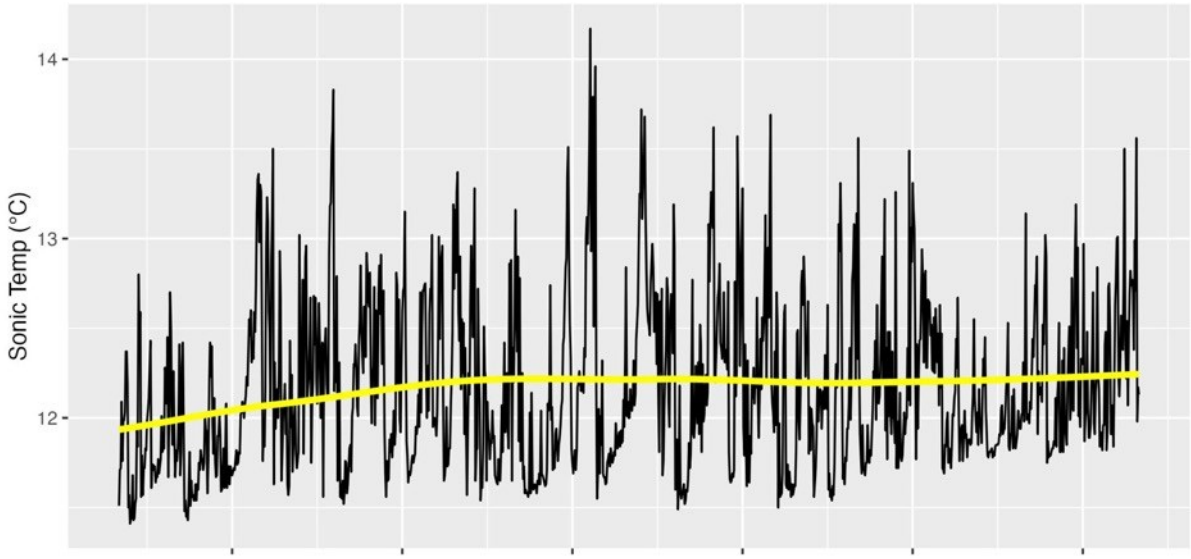


Figura 4. Andamento della temperatura sonica durante un'ora (scelta a casaccio nell'arco della giornata rappresentata in Figura 2)

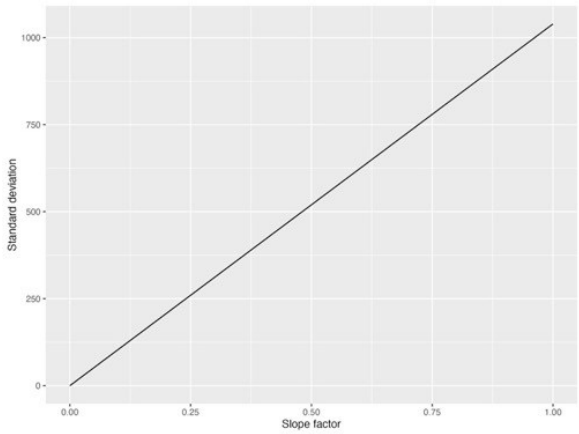


Figura 5. Andamento della deviazione standard in funzione della pendenza

scarto quadratico medio delle misure (le x) rispetto alla loro media, cioè al valore di x in corrispondenza della metà del segmento individuato dall'intervallo temporale da 0 a 3599s. Deviazione, quindi, diversa da zero, e che varia linearmente con t.

Volendo, con un po' di conti (che non dico) si può affermare che

$$\sigma(\alpha) = 1039.230445 \cdot \alpha$$

Il trend, quindi, deve essere tolto perché varianze e covarianze non vengano contaminate da un errore sistematico.

4.Il *detrending*: gioie, e dolori

Sì, bene, rimuoviamolo, questo benedetto trend.

Dato che le grandezze naturali che ci interessano variano con calma nell'arco di una giornata, se restringiamo l'attenzione ad una singola ora è ragionevolissimo aspettarci che lì dentro la variazione sia *lineare*. È un'approssimazione, ma tutto sommato non irragionevole.

E infatti, le procedure di *detrending* più gettonate usano approssimazioni, appunto, lineari.

La più semplice di tutte adopera una retta ottenuta con il metodo della regressione semplice: la vediamo in Figura 6.

Una volta che la retta di regressione è stata trovata, la si sottrae dai dati: quello che resta, privato del trend, rappresenta appunto la "fluttuazione turbolenta".

Una volta compiuta questa operazione è possibile calcolare le varianze e le covarianze tra le componenti del vento, la temperatura sonica, ed il valore "detrendato" di c. Da lì, applicando passaggi leggeri quanto a numero di operazioni, ma piuttosto complicati da spiegare, si riesce a portare il sistema di riferimento fisso con l'orientazione del sensore al riferimento delle linee di flusso – quello in cui la verticale è proprio quella fluidodinamica.

Adesso, però, torniamo un attimo indietro, alla Figura 3, che rappresenta l'andamento giornaliero della velocità verticale. E di restringere il nostro intervallo di mediazione, per esempio tra le 4:00 e le 4:30 della mattina, dove il trend sembra più intenso.

Più l'intervallo di osservazione è ristretto, e meno sono i punti sperimentali disponibili: campionando a 10 Hz, ne abbiamo 36000 in un'ora, 18000 in mezz'ora, 6000 in dieci minuti…

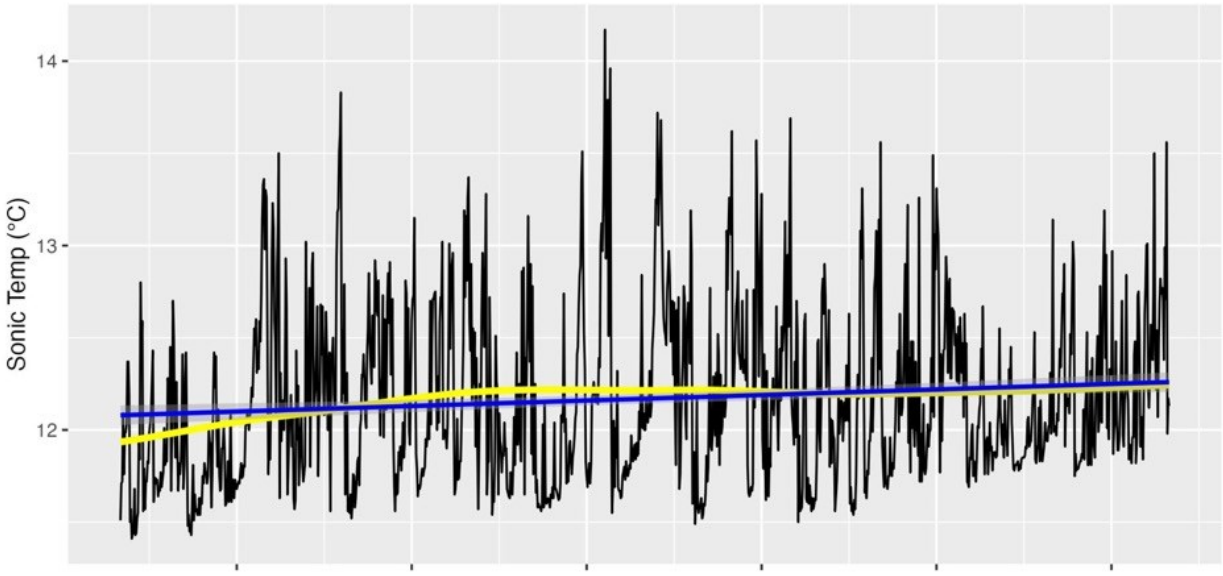


Figura 6. La linea di riferimento gialla, che rappresenta la stima "loess" dell'andamento delle temperature, si scosta poco dalla retta di regressione semplice, in blu: almeno visivamente, in questo caso l'approssimazione è venuta bene

Stiamo sempre parlando di quantitativi molto grandi. Ma meno ne abbiamo, più ognuno di questi peserà, nel calcolo della retta di regressione.

E qui, ci scontriamo con un problema strutturale grosso come un macigno, anche se osservandolo dalla grande distanza suggerita dal Diavolo poteva apparirci alla stregua di un granello di sabbia: la regressione lineare semplice – l'algoritmo che ho impiegato ciecamente nella mia spiegazione – si basa sull'ipotesi che la distribuzione dei residui (dei valori "detrendati") sia normale, cosa che però *non è*.

In molti casi, la distribuzione dei residui ha, direbbe una persona più brava di me in statistica, delle "code grasse" rispetto alla normale (gaussiana).

E questo si traduce in una gran quantità di *outlier*, punti sperimentali lontani dalla linea di regressione che, in teoria, nelle ipotesi impegnate per il calcolo, non dovrebbero esserci.

Purtroppo, la regressione lineare semplice sì, ha appunto il pregio della semplicità numerica, ma è sensibilissima agli *outlier*. Se questi tendono a stare equamente sotto o sopra la linea di regressione, vabbé, i loro effetti con un po' di fortuna tenderanno a compensarsi, e l'errore complessivo sarà modesto.

Ma se stanno tutti o quasi da una parte sola – se una delle due "code" della distribuzione dei dati è più grassa dell'altra…

Lascio a te tirare le conclusioni: basta un poco di fantasia, ed una prudente inclinazione al pessimismo.

Ci sono metodi migliori? Certo, sulla carta sì. Si può usare una regressione "robusta", che è un po' meno sensibile agli *outlier*. Ottima strategia di mitigazione, negli ultimi tempi popolare nella comunità degli *ecosystems ecologists* che usano tecniche di eddy covariance.

Oppure, usare tecniche di filtraggio (per esempio eleggendo la linea gialla delle mie figure a rappresentazione super-bellissima del trend, oppure usare altre tecniche come quella di McMillen, popolare tanti anni fa).

E sarebbe davvero splendido potessimo fare così: i filtri sono semplici da calcolare, di solito. Sono disponibili già in R e Matlab, senza dover nemmeno scrivere una riga di codice.

Peccato, però, che queste tecniche di filtraggio non soddisfano a tutte le condizioni di Reynolds, e che usarle per identificare ciecamente l'andamento medio rischia di strappare via dai dati qualche informazione essenziale, e di mettercene qualche altra.

5.Morale, infine

Nella prima puntata di questa serie sulla Decomposizione di Reynolds avevamo incontrato un argomento che, concedetelo persino a me, sembrava un po' astratto.

Poi ne abbiamo vedute alcune ramificazioni, matematiche e non.

Magari mi avevate dato retta, quando dicevo che no, in realtà erano tutte considerazioni di importanza *pratica*.

E in quest'ultima puntata della serie vediamo che, acci, sono anche una cosa piuttosto pericolosa.

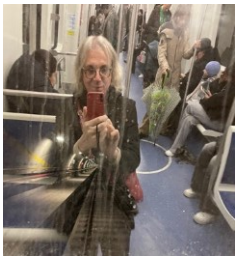
Che fare calcoli alla cieca (ChatGPT, scusami…) può dare l'illusione di ottenere dei risultati.

Che non tutto, anzi, la minima parte, è stato scoperto.

Che quello della micrometeorologia è senz'altro un lavoro ed un interesse di ricerca affascinante, ma che è, anche, un po' un mestiere e un po' un'arte.

Che, dopotutto, i tempi di Benvenuto Cellini non sono mai finiti.

Autore:



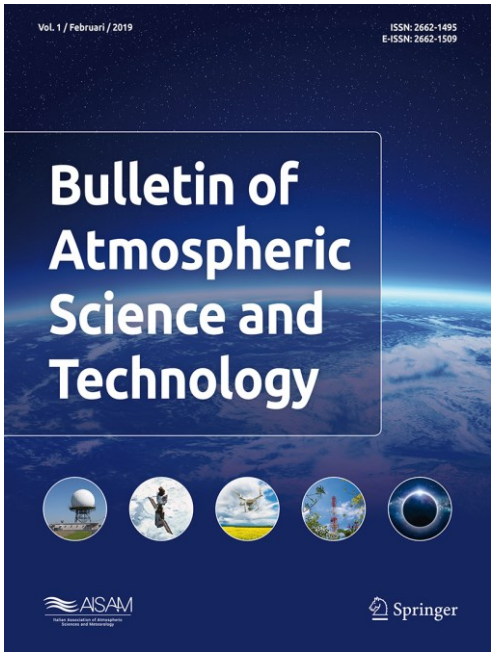
Patrizia Favaron

Uno dei campi più fascinosi della micrometeorologia è quello che riguarda i flussi di energia e materia negli ambienti confinati. Per esempio, in una stazione della metro. O in una sala concerti. In una chiesa. Dentro una fabbrica. Nelle nostre case, nelle scuole. Nelle grotte naturali. Nelle grotte non del tutto naturali usate nella stagionatura dei formaggi e nell'affinamento dei vini.

In questi ambienti chiusi gli scambi con l'esterno sono in certa misura limitati, e la maggior parte di ciò che vi viene rilasciato rimane lì. Energia inclusa!

Mi torna in mente il caso dell'aumento delle temperature nella metro di Montreal – una copia quasi esatta della Linea Rossa di Milano – dovuto alle frenate dei convogli: la temperatura divenne intollerabile, obbligando a settimane di chiusura dell'impianto, e inducendo l'adozione di fretta di tecniche di frenata a recupero elettromagnetico di energia. Problema che avevamo avuto anche a Milano, e che avevamo risolto allo stesso modo, a dimostrazione del fatto che in alcuni casi sostenibilità ambientale ed efficienza vanno a braccetto.

BULLETIN OF ATMOSPHERIC SCIENCE AND TECHNOLOGY



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

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

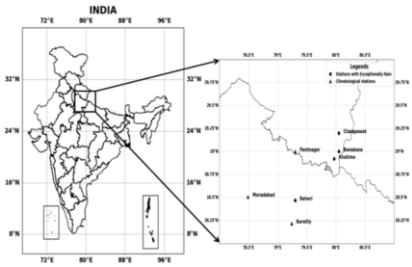
BAST si concentra su metodologie e tecniche di osservazione innovative, campagne internazionali sul campo, modelli numerici, tecniche computazionali, analisi dei dati, tecniche di recupero e tecnologie dei sensori.

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

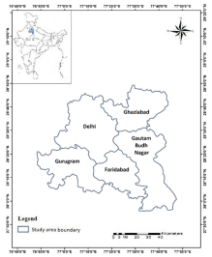
Editor-in-Chief

Silvana Di Sabatino, Paolo Di Girolamo

Il *Bulletin of Atmospheric Science and Technology* continua ad arricchirsi di nuovi articoli: nel corso degli ultimi tre mesi sono stati pubblicati i seguenti nuovi articoli.
Ricordiamo che è sempre attivo il Topical Issue "AISAM Conferences and Workshops" che raccoglie articoli anche brevi di contributi presentati agli eventi AISAM (ultimo dei quali il 6° Congresso nazionale a Brescia): https://link.springer.com/collections/jbhgibicai

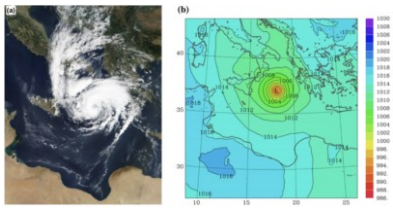


Kant, S., Ahmed, R., Kumar, N. et al. *Case study on exceptionally heavy rainfall episode over Northwest Uttar Pradesh & adjoining Uttarakhand (India) during Monsoon 2024.* Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 6, 28 (2025). https://doi.org/10.1007/s42865-025-00115-z

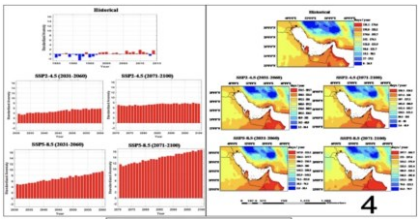


Singh, B., Venkatramanan, V. *Spatio-temporal analysis of surface urban heat island and thermal variability in relation to LULC patterns: a case study of Delhi, India*. Bull. of Atmos. Sci.& Technol. 6, 29 (2025). https://doi.org/10.1007/s42865-025-00116-y

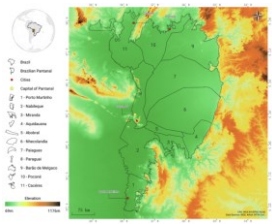
Eken, A. Heatwave *Analysis and Identification in Relation to Convective Development and Precipitation*. *Bull. of Atmos. Sci.& Technol.* **7**, 1 (2026). https://doi.org/10.1007/



Silva, L., Davolio, S. *Assimilation of satellite-derived rainfall estimates to improve numerical simulations of medicanes. Bull. of Atmos. Sci.& Technol.* **7**, 2 (2026). https://doi.org/10.1007/s42865-025-00119-9



Zarei, A., Khoorani, A. *Rising frequency and intensification of tropical nights: historical changes and future projections for the Persian Gulf and Gulf of Oman regions. Bull. of Atmos. Sci.& Technol.* **7**, 4 (2026). https://doi.org/10.1007/s42865-026-00120-w



Neto, J.B.F., Shen, S., de Cássia Ramos, R. *et al. Towards a new climate regime: heatwaves proliferate and reshape seasonality in the world's largest tropical wetland*. *Bull. of Atmos. Sci.& Technol.* **7**, 5 (2026). https://doi.org/10.1007/s42865-026-00122-8

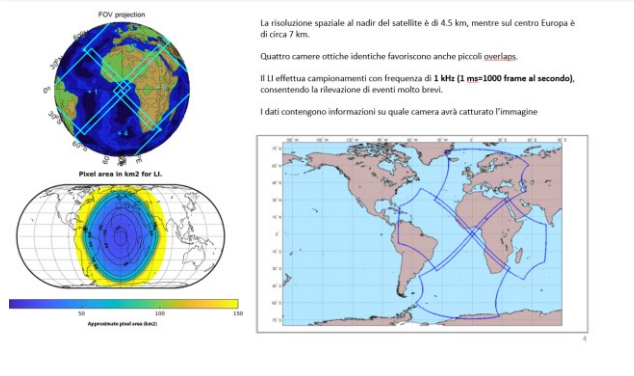
Per chi volesse rimanere sempre aggiornato, ricordiamo infine che al seguente link

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

AISAM SPRITZ: I primi incontri e il calendario completo

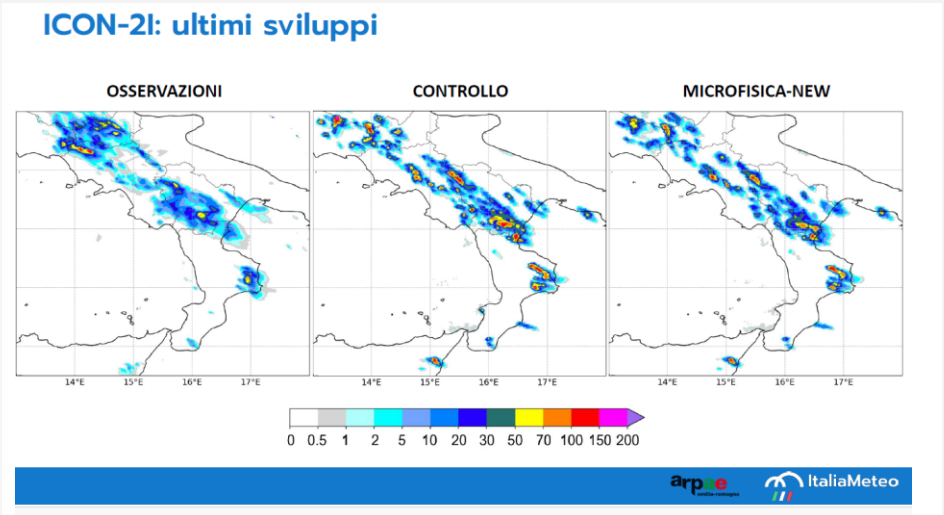


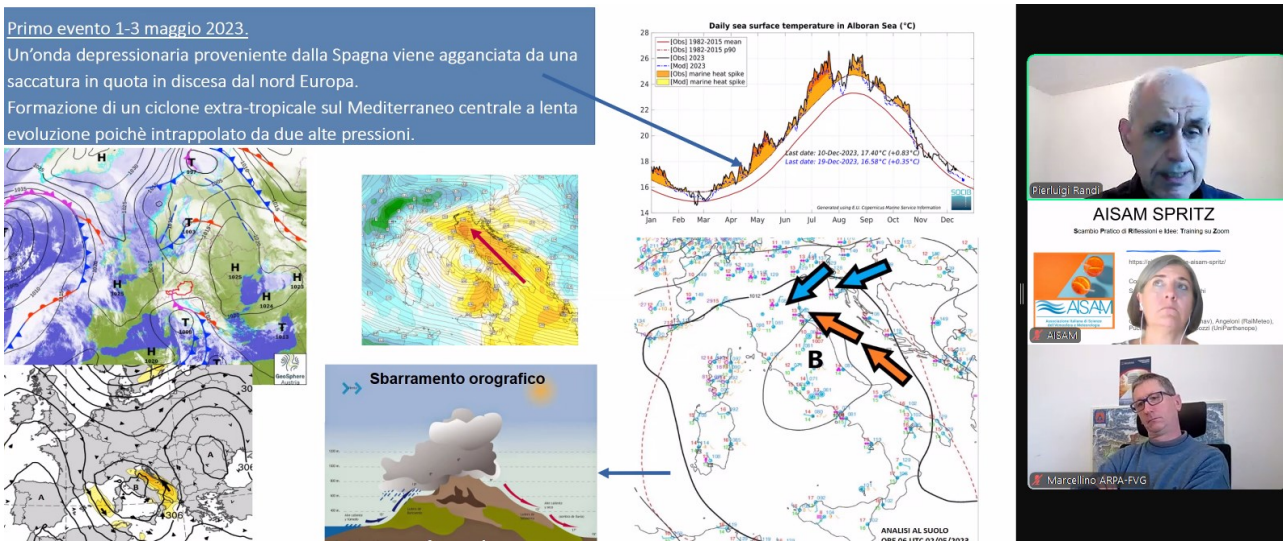
Lo scorso autunno, a novembre, la Sezione Professionisti di AISAM ha dato il via al ciclo di seminari online AISAM **SPRITZ** (**S**cambio **P**ratico di **R**iflessioni e **I**dee - **T**raining su **Z**oom), pensati per creare uno spazio dedicato alla meteorologia operativa, ma con il tono informale di un aperitivo tra colleghi. L'idea è semplice: **il secondo martedì di ogni mese**, ci sediamo virtualmente intorno a un tavolo, e, senza formalità ma con competenza, ci immergiamo nel "bello e complicato" lavoro del meteorologo operativo: si discute di eventi intensi, di casi di difficile previsione, di nuovi strumenti a disposizione per la previsione o l'osservazione meteorologica, delle innovazioni modellistiche, degli approfondimenti e delle analisi che ci arrivano dalla ricerca.

Lo spirito è quello della condivisione della conoscenza e dell'arricchimento reciproco: i relatori di un seminario possono essere o essere già stati il pubblico di un'altra data del calendario. Chiunque può proporre un intervento, è sufficiente compilare un form descrivendo la proposta e le proprie disponibilità (qui il link per le proposte SPRITZ 26/27). Il comitato scientifico valuterà poi le proposte e darà il suo ok al calendario. Sabrina Angeloni (RAImeteo), VIncenzo Capozzi (UniParthenope), Paolo Ciolli (ENAV), Roberto Grimaldelli (AIM), Arturo Pucillo (ARPA FVG) hanno infatti dato la loro disponibilità a vagliare le proposte, spontanee o sollecitate dal Comitato Organizzatore, in base alla loro utilità per la meteorologia previsionale operativa.

A **novembre**, i colleghi Federico Buscemi e Antonio Iengo (ARPA Liguria) hanno iniziato il ciclo di seminari presentando il **Lightning Imager MTG**. Hanno descritto i principi di funzionamento, mostrandone le caratteristiche e l'utilizzo operativo in alcuni casi recenti di convezione sul territorio ligure, approfittando dell'occasione anche per mostrare "in opera" il visualizzatore ESSL.

Nell'incontro di **dicembre**, Thomas Gastaldo ha presentato una overview dell'implementazione italiana **ICON-2I** presso il CINECA, frutto della collaborazione





Agenzia ItaliaMeteo e ARPAE: il seminario ha toccato le caratteristiche del modello ICON, gli ultimi sviluppi di ICON 2I, il sistema di assimilazione dati ICON-2I-KENDA e ICON-EPS, facendo anche un rapido cenno alle implementazioni di ICON a MeteoSvizzera e al DWD.

A **gennaio** Arturo Pucillo - ARPA FVG ha analizzato insieme ai colleghi le condizioni che hanno portato alla **flash flood del 17/11** in Friuli Venezia Giulia, un evento meteorologico fuori stagione e fuori statistica, mostrando come i modelli di simulazione operativi abbiano (mal)interpretato lo scenario previsto, ed evidenziando il ruolo dello Scirocco nel generare la stazionarietà della convezione.

Anche l'incontro di **febbraio** ha avuto per oggetto l'analisi di eventi meteorologici significativi: Pierluigi Randi - AMPRO ha presentato ai colleghi un'analisi degli **eventi alluvionali del 2023 e 2024 in Romagna**: questi episodi rappresentano un caso emblematico di precipitazioni estreme in un contesto climatico caratterizzato da una crescente frequenza di dinamiche atmosferiche persistenti. L'analisi delle evidenze osservative, che Pierluigi ha condiviso durante l'incontro, suggerisce un'interazione complessa tra variabilità naturale e segnali di lungo termine attribuibili al cambiamento climatico. Restano aperti interrogativi sulla quantificazione del contributo climatico alla persistenza degli eventi, sul ruolo delle condizioni idrologiche antecedenti e sulla capacità degli attuali modelli previsionali di rappresentare scenari di saturazione progressiva del territorio, argomento di cui si è discusso in coda alla presentazione.

Martedì 10 **marzo**, Francesco Battaglioli - ESSL ha presentato i modelli **Additive Regression Convective Hazard Models** (AR-CHaMo) sviluppati per prevedere il verificarsi di pericoli associati a forti temporali (SCS). Questi modelli sono addestrati utilizzando osservazioni di fulmini, segnalazioni di eventi meteorologici intensi e parametri convettivi derivanti dalla rianalisi ERA5 in Europa, Stati Uniti e Australia.

I prossimi seminari

Il calendario dei prossimi incontri, ogni secondo martedì del mese fino a giugno, è ora completo e ricco di interventi interessanti per i meteorologi operativi:

- martedì 13 **aprile**, Andrea Piazza - Meteotrentino parlerà di nowcasting, descrivendo il sistema **SAMET** (Sistema di Avvisi METeo), in uso ormai da qualche anno al Servizio Meteorologico Provinciale, descrivendone sia i principi di funzionamento che l'esperienza operativa di uso di questi anni.
- martedì 12 **maggio**, Umberto Pellegrini e Silvia Monti - CF VdA mostreranno ai colleghi principi di funzionamento e risultati del **Multimodel per la Previsione Quantitativa delle Precipitazioni** in uso al Centro Funzionale, utilizzato sia per definire

AISAM
Associazione Italiana di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia

quantitativamente i valori numerici medi e massimi per ciascuna delle piccole e montuose aree di allertamento della Valle d'Aosta, sia per inizializzare la modellistica idrologica regionale.

- martedì 9 **giugno**, Francesco De Martin terrà un seminario sulla **convezione intensa**, riassumendo i risultati più rilevanti degli studi recenti, suoi e dei colleghi, per fornire indicazioni pratiche utili ai meteorologi per affinare le loro previsioni operative.

Come iscriversi e come partecipare

Il link del collegamento Zoom viene inviato pochi giorni prima di ogni seminario all'elenco degli iscritti all'iniziativa AISAM SPRITZ: chi è interessato a riceverlo può inserirsi in elenco tramite il form di iscrizione. L'iniziativa è aperta ai soci AISAM, ai soci collettivi AISAM e ai colleghi di coloro che collaborano all'iniziativa in qualunque forma.

Chi lo desidera può ricevere l'attestato di partecipazione all'incontro scrivendo a professionisti@aisam.eu.

Vi attendiamo numerosi agli incontri, e aspettiamo le vostre proposte di seminario per il prossimo ciclo, che partirà ad ottobre 2026 per concludersi a giugno 2027.

Il Comitato Organizzatore

AISAM - SPRITZ

Autore

Marta Salvati
(Sezione Professionisti)

SEZIONE GIOVANI

Novità dalla sezione Giovani (ex-sezione studenti)

A partire dall'estate 2025 la Sezione Studenti di AISAM è stata rinominata in "Sezione Giovani". Ci si è resi conto che i criteri di ammissione nella sezione erano troppo stretti, considerato che tipicamente in Italia un ragazzo è studente in scienze dell'atmosfera solo nei due anni della laurea magistrale. Pertanto, è stato deciso di rilassare il criterio di ammissione coinvolgendo tutti gli studenti di qualunque età e tutti i ragazzi di età inferiori a 30 anni associati ad AISAM. Inoltre, la quota associative per gli studenti è stata abbassata a 15€, mentre per il socio giovane non studente la quota è stata mantenuta a 30€. Questa decisione è stata presa per andare incontro agli studenti che tipicamente non hanno uno stipendio e che devono già fronteggiare ingenti spese per la frequentazione dell'università.

Infine, a gennaio 2026 c'è stato un avvicendamento alla leadership della sezione. Francesco De Martin (precedentemente dottorando all'università di Bologna e ora ricercatore postdoc all'Università dell'Oklahoma), da 3 anni referente della sezione, ha passato l'incarico a Marcello Grenzi, dottorando all'Università di Bologna. Inoltre, Francesco ha lasciato l'incarico anche di coordinatore del comitato organizzatore della AISAM students' conference a Giacomo Giuliani (dottorando all'Università di Reading). Riportiamo qui di seguito le dichiarazioni dei protagonisti di questo passaggio di consegne.

Francesco De Martin

Già referente della sezione Giovani e coordinatore dell'AISAM students' conference

Nel 2020 fu fondata la Sezione Studenti di AISAM. Un'iniziativa molto meritevole di Gaetano Genovese e di altri colleghi, che ha creato in AISAM uno spazio dedicato specificamente agli studenti, come avviene in tutte le grandi associazioni di scienze dell'atmosfera nel mondo. Tuttavia, tra il 2021 e il 2022 la sezione ha progressivamente ridotto le proprie attività, poiché molti dei suoi membri avevano completato il percorso di studi.

Nel dicembre 2022 ho avuto quindi l'onere di rilanciare le attività della sezione. Mi sono reso conto che AISAM non era particolarmente conosciuta tra gli studenti di scienze dell'atmosfera, che quindi generalmente non erano soci. Per far conoscere AISAM tra gli studenti e incentivarne l'adesione era necessario offrire un motivo concreto. Notando la carenza di preparazione specifica nella previsione meteorologica operativa tra gli studenti, a fronte di un'ottima preparazione teorica, nel 2023 abbiamo proposto il primo corso di previsione meteorologica operativa, in collaborazione con la sezione Professionisti di AISAM guidata da Marta Salvati e con l'Agenzia ItaliaMeteo diretta da Carlo Cacciamani. Il corso è stato un successo, con 35 candidati a fronte di 20 posti disponibili.

Nel frattempo, la Sezione Studenti ha avviato due rubriche nella newsletter AISAM: "Studente intervista ex-studente" ed "Early Career Scientists". La prima è pensata per i neoassunti negli enti meteorologici e nelle aziende private che operano nelle scienze dell'atmosfera; la seconda è dedicata ai giovani ricercatori. L'obiettivo è garantire uno spazio di visibilità ai giovani professionisti all'interno del periodico dell'associazione. Abbiamo quindi formulato una proposta di modifica al regolamento della Sezione Studenti per trasformarla in Sezione Giovani, con l'obiettivo di superare le problematiche legate alla permanenza troppo breve dei membri nella sezione. La proposta è stata approvata dal Direttivo AISAM nel giugno 2025.

Dopo la prima edizione del corso di Previsione Meteorologica Operativa sono seguite la seconda e la terza edizione, nel 2024 e nel 2025, rendendolo un appuntamento fisso di AISAM, in una collaborazione sempre più stretta con l'Agenzia ItaliaMeteo. La domanda degli studenti è ulteriormente cresciuta, raggiungendo le 45 domande di iscrizione nel 2025. Incoraggiati da questi successi, abbiamo ritenuto maturi i tempi per recuperare una vecchia idea di AISAM: la Students' Conference. Grazie a un intenso lavoro di squadra del comitato organizzatore, siamo riusciti a proporre, nell'ambito del Festival della Meteorologia 2025 a Rovereto, la Prima

Figura 1. Foto di gruppo del primo corso AISAM-ItaliaMeteo di Previsione Meteorologica Operativa presso la sede CAE a San Lazzaro di Savena a giugno 2024.

AISAM Students' Conference. Anche questa iniziativa è stata accolta molto positivamente, con 43 presentazioni orali e poster realizzati dagli studenti, che hanno presentato lavori di elevata qualità a un pubblico numeroso, rappresentando la principale novità dell'11° Festival della Meteorologia.

Un passaggio fondamentale per la maturità della sezione è la continuità delle attività, indipendentemente dalle singole persone coinvolte. Questo non significa mantenere le attività avviate in questi anni in modo identico, ma garantire che la sezione resti viva, evolvendosi secondo la visione della leadership della sezione e di AISAM. Per questo motivo ho deciso di lasciare l'incarico di referente della Sezione Giovani, con l'obiettivo di favorire la crescita di altri giovani talentuosi, capaci di portare nuove idee e di sviluppare le attività avviate nel modo che ritengono più efficace. Marcello e Giacomo sono due giovani particolarmente brillanti, che sapranno far crescere ulteriormente la sezione e le sue attività, garantendo un'importante rappresentanza delle nuove generazioni nella vita dell'associazione.

Il mio contributo ad AISAM non verrà meno. Rimarrò attivo nel comitato editoriale della newsletter e nei comitati organizzatori del corso di Previsione Meteorologica Operativa e della Students' Conference, lasciando però piena iniziativa ai nuovi leader. Il mio impegno per coltivare una comunità italiana delle scienze dell'atmosfera coesa, inclusiva, dinamica e competitiva, continuerà.

Marcello Grenzi

referente della sezione Giovani e del Corso di Previsione Meteorologica Operativa

Nel panorama meteorologico nazionale, AISAM è a pieno titolo un punto di riferimento per la comunità accademica e operativa. L'offerta delle iniziative scientifiche, divulgative e di formazione proposte da AISAM ha attirato il mio interesse un paio di anni fa, a conclusione del mio percorso di laurea magistrale. Mi presento, sono Marcello Grenzi, dottorando presso il Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna, in collaborazione con l'Agenzia ItaliaMeteo. Prima ancora di diventare l'argomento principale della mia ricerca, la meteorologia è stata per me una passione coltivata nel corso degli anni a livello amatoriale. Ed è con questa passione sempre viva che mi sono interessato a prendere attivamente parte alle iniziative della Sezione Giovani di AISAM.

La mia attività ha avuto inizio a febbraio 2025, contribuendo all'interno del Comitato Organizzatore del Terzo Corso di Previsione Meteorologica Operativa, in qualità di coordinatore del comitato. Per questo, un sincero ringraziamento al mio amico e collega Francesco De Martin per avermi coinvolto nell'organizzazione e per aver promosso con tanto spirito di iniziativa le attività della Sezione nel corso degli anni. Per l'edizione 2025/2026, grazie anche al significativo coinvolgimento dell'Agenzia ItaliaMeteo nell'organizzazione, il Corso ha assunto una struttura più ampia e complessa con il coinvolgimento di 18 enti italiani, operativi nel campo della meteorologia. Per arricchire il panorama dei temi trattati, per la prima volta si è deciso di coordinare le lezioni del Corso affidando ad ogni ente un focus su una specifica tematica previsionale, funzionale alle caratteristiche della situazione meteorologica in atto, dell'ente o della specializzazione del relatore.

La significativa adesione al Corso da parte di studenti provenienti da numerosi atenei italiani è stata motivo di grande soddisfazione, e una conferma di quanto sia sentito da parte degli studenti il bisogno di apprendere nozioni di meteorologia operativa, spesso inevitabilmente ridotte all'interno dei corsi universitari. Il nostro impegno si rinnoverà nell'organizzazione della prossima edizione 2026/2027, fiduciosi di riconfermare i numeri importanti dell'edizione di quest'anno.

A seguito di questa positiva esperienza, ho confermato il mio interesse a prendere parte nel comitato organizzatore della Prima AISAM Students' Conference. Nonostante le complessità nella programmazione di un simile evento, il successo della conferenza in termini di adesioni e contributi è stato superiore alle aspettative. Oltre a ciò, si

Figura 2. Francesco De Martin e Marcello Grenzi alla prima AISAM students' conference a Rovereto a novembre 2025.

Figura 3. Foto di gruppo della prima AISAM students' conference a novembre 2025 a Rovereto.

è trattato di un evento particolarmente emozionante e di grande orgoglio anche sul piano personale, vedendo giovani ricercatori e studenti da tutta Italia riunirsi per condividere esperienze, promuovere il networking e discutere di scienza ad alto livello. Al fianco di Giacomo, nuovo coordinatore del comitato organizzatore, stiamo già lavorando attivamente alla pianificazione dell'edizione 2026.

Raccogliendo l'importante eredità del lavoro di Francesco, da gennaio 2026 ho accettato l'incarico di nuovo referente della Sezione Giovani. Si tratta di un ruolo di particolare responsabilità che ho accolto positivamente con grande piacere. Spero di riuscire a portare avanti con lo stesso spirito di iniziativa le attività della Sezione, cercando sempre nuovi spunti per migliorare e portare nuove idee. La comunità italiana di giovani ricercatori e studenti è in continua crescita ed è la base per il futuro della meteorologia e climatologia: AISAM Giovani è parte di questa comunità, e l'impegno per favorirne lo sviluppo e la coesione sarà sempre alla base delle nostre attività.

Giacomo Giuliani

coordinatore della students' conference

"Conferenza soleggiata, conferenza fortunata". Forse il proverbio non faceva proprio così, ma il contenuto non potrebbe essere più vero. La prima AISAM Students' Conference è stata un vero successo, e non solo per le spettacolari giornate di sole e il contorno delle prealpi innevate. Più di quaranta contributi, altrettanti studenti-ricercatori presenti e un'infinità di argomenti affrontati: dalla fisica spaziale a quella degli aerosol, dalle proiezioni degli estremi di precipitazioni a fine secolo al nowcasting basato su metodi di machine learning. E ciò che conta ancora di più è stata la passione di tanti giovani, entusiasti di discutere e confrontarsi su temi affascinanti legati alla fisica dell'atmosfera e del clima.

Prima di entrare nei dettagli della prossima edizione, mi presento: mi chiamo Giacomo Giuliani e sono uno studente di dottorato all'Università di Reading, nel Regno Unito. La mia ricerca si concentra principalmente su cicloni tropicali e sulla modellistica ad alta risoluzione su

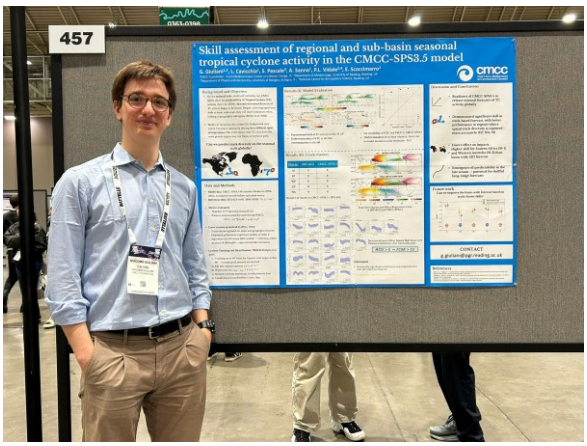


Figura 4. Giacomo Giuliani, nuovo coordinatore della AISAM students' conference.

scala climatica, ma la mia curiosità spazia ampiamente su temi legati alla fisica del clima. Avrò l'onore di presiedere l'organizzazione della prossima edizione perché credo davvero nell'importanza di uno spazio di condivisione e perché Francesco De Martin, con il suo entusiasmo contagioso, mi ha coinvolto in questa meravigliosa avventura. Un enorme ringraziamento a Dino Zardi e al FestivalMeteorologia che ospita la conferenza, e a tutto il comitato scientifico.

Ora parliamo della conferenza. La seconda edizione della Students' Conference si svolgerà di nuovo a Rovereto, il 21 e 22 novembre. Rispetto allo scorso anno, ci sarà più spazio dedicato al confronto tra studenti, sia durante le sessioni orali che con i poster. La conferenza partirà sabato mattina e si concluderà domenica mattina. Nei prossimi mesi verranno annunciati tre relatori senior che terranno presentazioni su invito, una per ogni sessione. L'obiettivo principale sarà sempre quello di favorire il dialogo tra i giovani ricercatori e offrire spunti per un futuro promettente nella fisica dell'atmosfera, del resto *è tempo per i giovani!*

Vi invito fin da ora a diffondere la voce e vi aspetto con il resto del comitato organizzatore fra qualche mese a Rovereto!

Autore:

Francesco De Martin
(Sezione Giovani)

La sezione giovani intervista…

Giuseppe Visalli

*In questo numero della Newsletter intervistiamo **Giuseppe Visalli**, ex studente Triennale in Fisica presso l'Università degli Studi di Messina, poi studente magistrale in Fisica del Sistema Terra all'Università di Bologna. Attualmente previsore dell'Osservatorio Meteorologico dell'ARPA FVG.*

Buongiorno Giuseppe, com'è nato il tuo interesse per la meteorologia?

Buongiorno a tutti. Il mio interesse per la meteorologia nasce da una passione che posso definire innata. Fin da piccolo, infatti, amavo osservare il cielo e rimanevo profondamente affascinato dai fenomeni naturali. In età scolare ho iniziato ad approfondire queste tematiche attraverso libri divulgativi, per poi consolidare le mie conoscenze teoriche con lo studio della fisica all'università. Parallelamente, questa passione mi ha spinto già durante il periodo scolastico ad avvicinarmi all'aspetto operativo della disciplina, iniziando a elaborare previsioni meteorologiche e a condividerle sui social network.

Qual è stato il tuo percorso di studi?

Dopo aver frequentato la specializzazione in elettronica presso l'Istituto Tecnico e Tecnologico di Milazzo, mi sono iscritto al corso di laurea triennale in Fisica presso l'Università degli Studi di Messina. Successivamente mi sono trasferito a Bologna, dove ho conseguito la laurea magistrale in Fisica del Sistema Terra. Il percorso triennale mi ha permesso di acquisire una visione ampia dei principali ambiti teorici e sperimentali della fisica; durante la magistrale, invece, ho avuto l'opportunità di approfondire in modo più mirato i fenomeni atmosferici, che rappresentano l'ambito di mio maggiore interesse.

Come si svolge la tua giornata tipo al lavoro?

Da circa due anni faccio parte dell'osservatorio meteorologico di ARPA FVG. Non esiste una vera e propria "giornata tipo" per un meteorologo, poiché l'attività operativa dipende in larga misura dalle condizioni meteorologiche in atto. L'osservatorio meteorologico, in quanto settore meteo del Centro Funzionale Decentrato della Protezione Civile, si occupa della redazione dei bollettini che quantificano l'estensione e l'intensità dei fenomeni meteorologici attesi. Durante i turni operativi redigo inoltre i bollettini pubblicati sul sito ufficiale e diffusi al pubblico. In presenza di condizioni meteorologiche avverse, insieme ai colleghi, svolgo attività di monitoraggio presso la sede della Protezione Civile regionale. Nei periodi non operativi, la mia attività si concentra sulla ricerca scientifica e sullo sviluppo di nuovi strumenti di analisi e visualizzazione di dati osservativi e modellistici, finalizzati a rendere più efficiente il lavoro del previsore. Parallelamente, svolgo anche attività di divulgazione scientifica, ad esempio nelle scuole, e partecipo a conferenze scientifiche.

Dalla Sicilia hai deciso di spostarti per studio a Bologna e poi per lavoro in Friuli Venezia Giulia, dall'altra parte d'Italia. È stata una scelta difficile? Perché proprio in Friuli?

Lasciare il luogo in cui si è nati e cresciuti non è mai una scelta semplice; nel mio caso, tuttavia, si è rivelata quasi obbligata per poter trasformare una passione in una professione. Nel Sud Italia, e in particolare in Sicilia, le opportunità in questo ambito sono purtroppo limitate, a

partire dall'offerta formativa universitaria. La scelta del Friuli Venezia Giulia è avvenuta inizialmente in modo casuale: pochi giorni dopo la mia laurea magistrale è stato pubblicato il bando di concorso e, incoraggiato da alcuni pareri positivi, ho deciso di candidarmi. L'esito è stato molto favorevole e ha segnato l'inizio di un nuovo percorso professionale e personale. Inoltre, il Friuli Venezia Giulia si è rivelato un territorio in cui si vive e si lavora molto bene.

Per alcuni anni hai fatto le previsioni per PRETEMP: è stata un'esperienza utile per il tuo attuale lavoro?

Sì, è stata un'esperienza molto utile. Prima dell'attività in PRETEMP avevo elaborato previsioni quasi esclusivamente per la Sicilia e osservato solo in modo superficiale ciò che accadeva nel resto del Paese. Successivamente, dovendo produrre previsioni su scala nazionale, ho necessariamente approfondito le numerose e differenti dinamiche meteorologiche che caratterizzano le varie regioni italiane, incluso il Friuli Venezia Giulia. Trattandosi di una regione particolarmente soggetta a fenomeni temporaleschi, mi è capitato più volte di redigere previsioni specifiche per il Nord-Est; questo mi ha consentito, tra le altre cose, di acquisire una conoscenza più approfondita dell'orografia e delle sue interazioni con i fenomeni atmosferici.

Qual è il fenomeno meteorologico che più ti piace del Friuli Venezia Giulia e cosa invece più ti manca della meteorologia siciliana.

La mia principale passione è sempre stata la convezione; di conseguenza, il fenomeno atmosferico che preferisco osservare in Friuli Venezia Giulia è sicuramente il temporale, che qui raramente delude. Ciò che mi manca maggiormente della Sicilia sono invece le mareggiate: le onde dell'Adriatico non possono essere paragonate a quelle del Tirreno o dello Ionio.

Hai deciso di non fare il dottorato e iniziare invece una carriera come meteorologo in un servizio meteo regionale: perché? Hai qualche suggerimento per gli attuali studenti indecisi tra iniziare un dottorato e invece proseguire subito con una carriera più operativa?

La decisione di non intraprendere il dottorato è stata complessa e sofferta, ma tra i diversi fattori ha prevalso la mia passione. Ho sempre amato le previsioni operative e non volevo precludermi la possibilità di occuparmene nel corso delle fasi iniziali della mia carriera. Presso ARPA FVG ho l'opportunità di coniugare l'attività operativa con quella di ricerca. Dare consigli validi in modo universale è impossibile, ma il principale è seguire il proprio istinto. Se la ricerca vi appassiona e vi trovate a vostro agio nell'ambiente accademico, il dottorato rappresenta una scelta preziosa; se invece prediligete un approccio operativo e l'ambiente accademico non vi soddisfa pienamente, esistono molte altre strade altrettanto valide da esplorare.

Dopo 2 anni di lavoro ritieni che il percorso universitario ti abbia formato in maniera adeguata per affrontare l'esperienza lavorativa?

Sì, ma non completamente. La passione costituisce sicuramente il motore che permette di andare oltre le mansioni di base e di non fermarsi di fronte alle prime difficoltà. Tuttavia, una solida preparazione teorica, che può essere acquisita principalmente attraverso l'università, rimane lo strumento fondamentale per svolgere l'attività con professionalità. L'aspetto operativo, invece, è raramente trattato nei percorsi accademici: personalmente, l'ho appreso nei miei anni da appassionato e poi l'ho affinato sul lavoro.

A cura di:

Francesco De Martin
(School of Meteorology, University of Oklahoma)

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 ***Francesco Cavalleri.***

Francesco Cavalleri è ricercatore borsista presso l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Ha conseguito la laurea triennale e la laurea magistrale in Fisica presso l'Università degli Studi dell'Insubria, e ha successivamente ottenuto un dottorato in Scienze Ambientali presso l'Università degli Studi di Milano, svolto in collaborazione con Ricerca sul Sistema Energetico (RSE) e con il Norwegian Meteorological Institute, dove ha trascorso un periodo di visiting.

Durante il dottorato si è occupato dell'analisi, del confronto e della validazione di rianalisi meteorologiche ad alta risoluzione sul territorio italiano. Il suo lavoro ha riguardato in particolare la valutazione dei campi di temperatura e precipitazione, confrontando molteplici prodotti di rianalisi con dati osservativi e sviluppando nuovi metodi di validazione a diverse scale spaziali e temporali. Inoltre, ha sviluppato metodi per utilizzare le rianalisi nell'identificazione degli eventi di precipitazione estrema e l'evoluzione di tali fenomeni in un contesto di cambiamento climatico.

Attualmente collabora anche con l'Università degli Studi di Milano e con l'Agenzia ItaliaMeteo, contribuendo al coordinamento del sottogruppo di lavoro dedicato alle rianalisi meteorologiche. È autore e coautore di diversi articoli scientifici internazionali dedicati allo studio delle precipitazioni, delle temperature e degli eventi meteorologici estremi.

Validazione e comparazione di rianalisi regionali in Italia per lo studio di eventi meteorologici estremi

1. Introduzione

Le rianalisi meteorologiche rappresentano uno degli strumenti più utilizzati nelle scienze climatiche e dell'atmosfera per studiare le condizioni meteorologiche passate. Le rianalisi sono dataset spazialmente distribuiti su griglia e su più livelli verticali, prodotti mediante modelli numerici simili a quelli impiegati per le previsioni meteorologiche, ma utilizzati per ricostruire retrospettivamente lo stato dell'atmosfera e del suolo su periodi pluridecennali. La loro realizzazione si basa sull'integrazione tra simulazioni modellistiche e un'ampia gamma di osservazioni meteorologiche provenienti da diverse piattaforme, tra cui stazioni a terra, radiosondaggi e satelliti.

L'inserimento delle osservazioni nel modello avviene tramite una procedura chiamata data assimilation (Kalnay, 2002). Questo processo permette di riallineare continuamente i risultati delle simulazioni numeriche alle osservazioni, riducendo così lo scarto tra i campi riprodotti e le misure disponibili. In questo modo il modello resta costantemente vincolato alle osservazioni, producendo una ricostruzione coerente e fisicamente consistente dello stato dell'atmosfera e la sua evoluzione nel tempo.

Le rianalisi possono essere distinte in globali e regionali. Le rianalisi globali descrivono la circolazione atmosferica su scala planetaria, ma operano generalmente con una risoluzione spaziale relativamente grossolana, tipicamente superiore ai 30 km. Le rianalisi regionali, invece, si concentrano su domini geografici più limitati ma con una risoluzione molto più elevata, che consente di rappresentare con maggiore dettaglio i processi atmosferici locali. Poiché simulare l'intero globo a risoluzioni molto elevate comporterebbe costi computazionali proibitivi, le rianalisi regionali vengono generalmente ottenute tramite un processo noto come downscaling dinamico, in cui una rianalisi globale fornisce le condizioni iniziali e al contorno per un modello regionale ad alta risoluzione.

L'aumento della risoluzione spaziale rappresenta uno dei principali vantaggi delle rianalisi regionali. Una griglia più fine permette infatti di descrivere meglio processi atmosferici che avvengono su scale ridotte, come quelli associati alla convezione, responsabile della formazione di

temporali e precipitazioni intense. Nei modelli globali questi processi devono essere rappresentati tramite parametrizzazioni, mentre alcuni modelli regionali ad alta risoluzione sono in grado di simularli esplicitamente, con potenziali miglioramenti nella rappresentazione di precipitazioni intense ed eventi estremi.

Negli ultimi anni le rianalisi sono diventate uno strumento fondamentale non solo per la ricerca meteorologica e climatologica, ma anche per numerose applicazioni (Buizza et al, 2018). Esse vengono utilizzate, ad esempio, nella pianificazione energetica, nello studio della domanda di riscaldamento e raffrescamento, nella progettazione urbana e infrastrutturale, nello sviluppo delle energie rinnovabili, nella gestione delle risorse idriche e in ambito agricolo. La disponibilità di dataset atmosferici continui nello spazio e nel tempo rappresenta infatti un elemento chiave per analizzare la variabilità climatica, valutare il rischio associato agli eventi estremi e supportare strategie di adattamento ai cambiamenti climatici.

Tra i principali punti di forza delle rianalisi vi è la loro coerenza fisica interna: essendo prodotte mediante modelli basati sulle leggi della fisica dell'atmosfera, le diverse variabili meteorologiche risultano tra loro dinamicamente consistenti. Inoltre, esse forniscono campi atmosferici completi e continui nello spazio e nel tempo, includendo anche variabili difficilmente osservabili direttamente. Allo stesso tempo, tuttavia, le rianalisi presentano alcune limitazioni che rendono necessaria una loro attenta valutazione (Bandhauer et al 2022).

L'accuratezza delle rianalisi può infatti essere influenzata da diversi fattori. In primo luogo, la disponibilità e la qualità delle osservazioni assimilate non sono uniformi nello spazio e nel tempo, e le eventuali disomogeneità nelle serie osservative possono riflettersi nei campi ricostruiti. Inoltre, la discretizzazione della superficie terrestre nei modelli numerici comporta una rappresentazione semplificata dell'orografia, che può differire dalla realtà e influenzare la simulazione di alcune variabili atmosferiche. Infine, la natura intrinsecamente caotica della dinamica atmosferica fa sì che le simulazioni possano discostarsi dallo stato reale, soprattutto alle scale spaziali più piccole, nonostante il continuo riallineamento garantito dall'assimilazione delle osservazioni.

Alla luce di queste limitazioni, una fase accurata di validazione e interconfronto delle rianalisi rispetto ai dataset osservativi rappresenta un passaggio fondamentale per comprenderne punti di forza e criticità e per sfruttarne pienamente il potenziale nelle applicazioni scientifiche e operative.

2. Dati

Per l'analisi sono stati utilizzati diversi dataset di rianalisi meteorologica, sia globali sia regionali, insieme a dati osservativi grigliati e a osservazioni puntuali provenienti da stazioni meteorologiche.

Nome	Sviluppato da	Modello usato	Condizioni al contorno	Griglia (km)	Estensione spaziale	Estensione temporale	Convezione esplicita
ERA5	ECMWF	IFS	/	31	globale	1940 - 5 giorni prima del presente	No
ERA5-Land	ECMWF	IFS	/	9	globale	1950 - 5 giorni prima del presente	No
CERRA	ECMWF	ALADIN	ERA5	5.5	Europa	1986-2022	No
COSMO-REA6	DWD	COSMO	ERA-Interim	6	Europa	1984-2021	No
BOLAM	LaMMA	BOLAM	ERA5	7	sud Europa	1979-2024	No
MERIDA	RSE	WRF-ARW	ERA5	7	Italia	1986-2024	No
MERIDA-HRES	RSE	WRF	ERA5	4	Italia	1986-2024	Si
MOLOCH	LaMMA	MOLOCH	BOLAM	2.5	Italia	1979-2024	Si
VHR-REA_IT	CMCC	COSMO	ERA5	2.2	Italia	1981-2024	Si
SPHERA	ARPAE	COSMO	ERA5	2.2	Italia	1995-2020	Sì
MORE	ISAC-CNR	MOLOCH	ERA5	1.7	Italia	1990-2024	Sì

Tabella 1. Elenco e specifiche delle reanalisi globali e regionali prese in esame.

Tra le rianalisi globali, il prodotto di riferimento più utilizzato a livello internazionale è ERA5 (Hersbach et al., 2020), sviluppato da ECMWF mediante il modello atmosferico IFS. ERA5 fornisce una ricostruzione dello stato dell'atmosfera a scala globale con una risoluzione spaziale dell'ordine di 30 km e con un'elevata risoluzione temporale. A partire da questo dataset è stato inoltre sviluppato ERA5-Land (Munoz-Sabater et al., 2021), una versione dedicata alle sole superfici continentali che offre una rappresentazione più dettagliata (9 km) delle variabili di suolo.

A scala europea sono disponibili diverse rianalisi regionali. Tra queste si collocano COSMO-REA6 (Bollmeyer et al., 2015), sviluppata dal servizio meteorologico tedesco (DWD), e CERRA (Ridal et al., 2024), prodotta nell'ambito del programma Copernicus Climate Change Service dell'Unione Europea. Questi dataset permettono di descrivere con maggiore dettaglio la variabilità atmosferica sul continente europeo rispetto alle rianalisi globali.

Negli ultimi anni sono state inoltre sviluppate diverse rianalisi regionali specificamente dedicate al territorio italiano, ottenute mediante downscaling dinamico di ERA5. Tra queste si distinguono le rianalisi MERIDA (Bonanno et al., 2019) e MERIDA-HRES (Viterbo et al., 2024), prodotte da RSE con il modello WRF, con risoluzioni rispettivamente di circa 7 km e 4 km. Analogamente, le rianalisi realizzate dal consorzio LaMMA con i modelli BOLAM (Vannucchi et al., 2021) e MOLOCH (Capecchi et al., 2023), effettuano il downscaling di ERA5 raggiungendo risoluzioni rispettivamente di 7 km e 2.2 km. La rianalisi MORE (Stocchi et al., 2026, submitted), anch'essa sviluppata con il modello MOLOCH da ISAC-CNR, raggiunge gli 1.7 km di passo griglia. Altri prodotti disponibili sono SPHERA (Giordani et al., 2023) e VHR-REA_IT (Raffa et al., 2021), sviluppati rispettivamente da ARPAE e CMCC, ambedue mediante il modello COSMO e ad una risoluzione di 2.2 km circa.

Un aspetto peculiare del contesto italiano è che diverse istituzioni di ricerca — tra cui RSE, CNR-ISAC, CMCC, LaMMA e ARPAE — hanno sviluppato in modo indipendente rianalisi regionali basate su modelli atmosferici differenti e, in alcuni casi, sull'assimilazione di ulteriori dati osservativi. Questo ha portato alla disponibilità di numerosi prodotti per lo stesso dominio geografico. Tale varietà rappresenta una risorsa importante, poiché dataset diversi possono mostrare prestazioni differenti a seconda delle configurazioni modellistiche adottate e risultare più adatti alla rappresentazione di specifici fenomeni atmosferici o applicazioni, anche in dipendenza della stagione o della regione in esame. Il confronto sistematico tra tali rianalisi consente quindi di comprenderne meglio le caratteristiche e di valutarne l'affidabilità.

Per la validazione delle rianalisi sono stati utilizzati dataset osservativi grigliati di temperatura dell'aria a 2 metri dal suolo e precipitazione sviluppati dall'Università degli Studi di Milano e dal CNR-ISAC (Brunetti et al., 2006; Brunetti et al., 2014). Questi dataset sono costruiti a partire da osservazioni provenienti da reti di stazioni meteorologiche italiane e dei paesi limitrofi e successivamente interpolati sulle griglie di ciascuna delle rianalisi da validare. In particolare è stato seguito il metodo delle anomalie (Mitchell e Jones, 2005) per cui i campi mensili vengono ricostruiti combinando valori climatologici di lungo periodo con anomalie temporali rispetto a tali medie. Le climatologie sono ottenute interpolando tutte le osservazioni disponibili tramite regressioni locali che tengono conto di diversi fattori geografici, tra cui quota, distanza dal mare e caratteristiche morfologiche del territorio (Crespi et al., 2018), mentre i campi di anomalia sono calcolati utilizzando le stazioni con serie temporali più lunghe e pesi spaziali che considerano la distribuzione non uniforme delle stazioni (González-Hidalgo et al., 2011). Infine i campi osservativi giornalieri possono essere ottenuti da quelli mensili con il metodo descritto da Di Luzio et al., 2008.

Oltre ai dataset grigliati, per l'analisi della precipitazione sono state utilizzate anche osservazioni puntuali provenienti da stazioni meteorologiche delle Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale, integrate con altre reti nazionali (Hanachi et al., 2014). Queste osservazioni consentono di confrontare direttamente i valori simulati dalle rianalisi con le misure effettuate in specifiche località. Prima dell'analisi, i dati osservativi sono stati sottoposti a controlli di qualità e a criteri di consistenza temporale e spaziale.

3. Metodi e Risultati

La validazione dei campi giornalieri di temperatura a 2 metri (t2m) è stata condotta confrontando le rianalisi con osservazioni su griglia nel periodo 1991-2020 (Cavalleri et al., 2024a). Le principali difficoltà nel validare la t2m derivano dalla rappresentazione dell'orografia nei modelli: poiché la t2m ha una forte dipendenza dall'elevazione, in aree ad orografia complessa le rianalisi tendono a riprodurre t2m differenti rispetto ai valori osservati, a causa della discrepanza tra la quota media della cella della rianalisi e la quota reale di misura (Luo et al., 2019). Per minimizzare questo effetto, i dati osservativi sono stati proiettati sui nodi e le elevazioni delle rianalisi.

Gli scostamenti sono stati separati in bias climatologico e correlazione delle anomalie giornaliere. ERA5 presenta

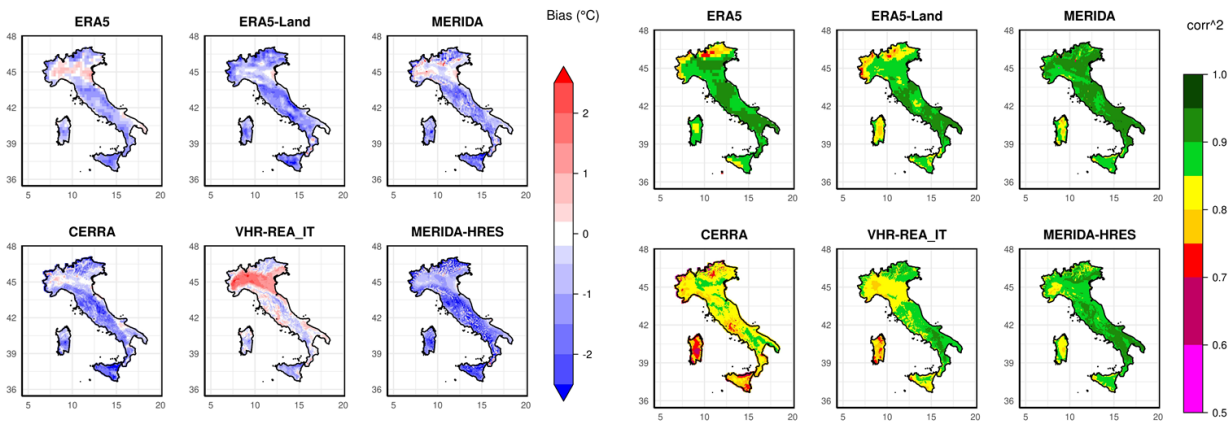


Figura 1. Bias climatologici (sinistra) e frazione di varianza comune (destra) dei campi di temperatura di alcune rianalisi nel periodo 1991-2020. Figura adattata da Cavalleri et al., 2024a, e Viterbo et al., 2024

valori sistematicamente più freddi (tra −0,5 e −1°C), con lievi bias positivi in pianura. Le rianalisi ad alta risoluzione (ERA5-Land, MERIDA, CERRA, MERIDA-HRES) mostrano intensificazione locale dei bias freddi, mentre VHR-REA_IT evidenzia un bias caldo fino a +2°C nelle pianure e picchi estivi fino a +3°C. Le aree alpine registrano il maggior bias freddo in inverno.

Il confronto tra le anomalie giornaliere delle rianalisi e le rispettive anomalie osservative mostra che i downscaling sviluppati specificatamente per il territorio italiano (MERIDA, MERIDA-HRES, VHR-REA_IT) presentano correlazioni più omogenee e generalmente superiori rispetto ai prodotti globali o europei. Gli errori nelle anomalie giornaliere risultano mediamente del 30% inferiori rispetto a quelli climatologici e si riducono ulteriormente passando alle anomalie mensili, confermando che la componente maggiore degli errori è sistematica (legata alla climatologia).

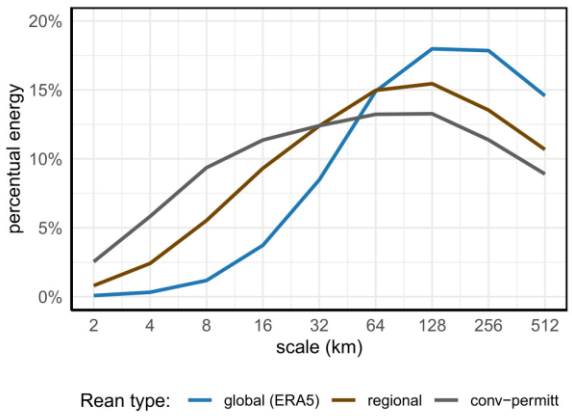


Figura 2. Spettro energetico dei campi di precipitazione a diverse scale spaziali per alcune categorie di rianalisi.

La validazione della precipitazione (tp) è stata condotta confrontando le rianalisi sia con osservazioni da stazioni che interpolate su griglia (Cavalleri et al., 2024b). La risoluzione effettiva dei modelli è stata valutata tramite una tecnica di decomposizione wavelet: i campi giornalieri di tp sono stati interpolati su griglie più fini e successivamente aggregati spazialmente, ricavandone così lo spettro energetico. Questo valore si può interpretare come quanti eventi vengono riprodotti alle diverse scale spaziali. L'analisi evidenzia che ERA5 rappresenta bene solo eventi su scale > 50 km, mentre i modelli regionali descrivono meglio eventi tra 10–30 km e solo quelli convettivi rappresentano anche i fenomeni sotto i 10 km.

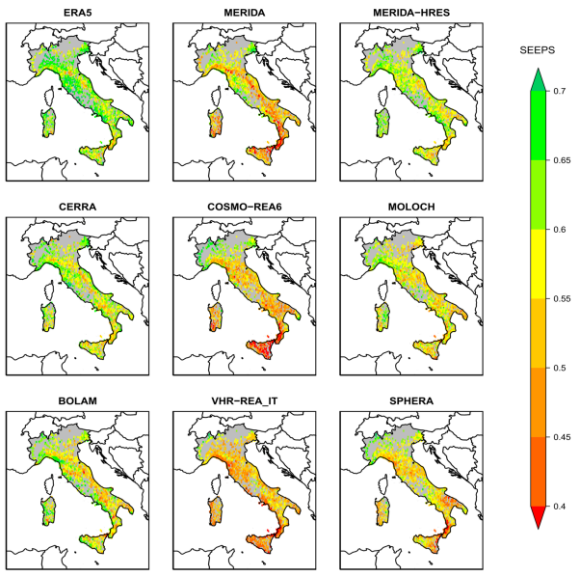


Figura 3. Valori dell'indicatore categorico SEEPS per il periodo 2016-2020 per diverse rianalisi. Figura adattata da Cavalleri et al., 2024b.

Successivamente, i campi giornalieri di tp sono stati analizzati tramite un indicatore categorico (SEEPS, Lavers et al. 2022), che assegna un punteggio migliore quando una stazione e il più vicino punto griglia della rianalisi registrano la stessa categoria di tp: nessuna (<1 mm), lieve o intensa, distinte su base percentile osservativa locale.

L'analisi mostra che ERA5 offre prestazioni buone su larga scala, mentre alcuni modelli ad alta risoluzione risultano penalizzati quando le precipitazioni locali non coincidono esattamente con le stazioni. Considerando un intorno di 15 km dalla stazione, i punteggi SEEPS dei modelli ad alta risoluzione superano quelli di ERA5, evidenziando che i modelli catturano correttamente la categoria di precipitazione, ma con una incertezza spaziale. Gli errori di posizionamento aumentano in estate, quando i fenomeni sono generalmente più localizzati.

Un'analisi dei bias climatologici relativi (1995-2019) ha evidenziato una tendenza generale alla sovrastima delle tp in Nord Italia e alla loro sottostima nel Centro-Sud. Il bias secco relativo rimane stabile intorno al −20% durante l'anno, mentre il bias umido relativo aumenta tra aprile e settembre, con picchi fino al +60%, indicando che in estate l'errore di sovrastima dei modelli tende a crescere in percentuale.

L'analisi dell'andamento nel tempo dei totali annuali ha mostrato che la discrepanza tra i totali annuali di tp ottenuti da rianalisi e osservazioni non è costante nel tempo, con alcuni prodotti (SPHERA, COSMO-REA6, BOLAM, MOLOCH) che registrano trend relativi di scostamento al 7–10% per decennio, mentre VHR-REA_IT e prodotti globali mostrano variazioni più modeste. Questo evidenzia un'incertezza dei dataset di rianalisi nella stima dei trend di tp sull'Italia.

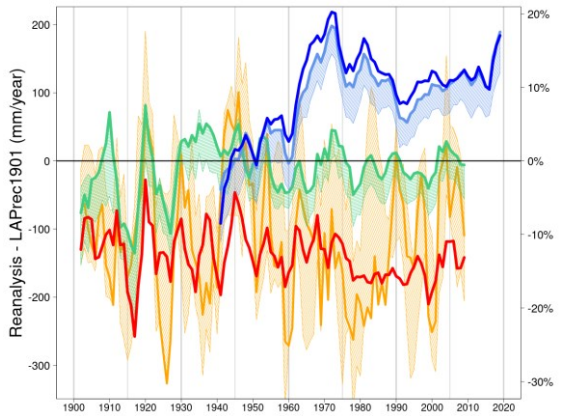


Figura 4. Andamento delle differenze annuali nei totali di tp per ERA5 ed altre rianalisi globali. Figura adattata da Lussana et al., 2024.

In aggiunta, sono state esaminate anche alcune rianalisi globali precedenti ad ERA5, per valutare la stabilità temporale dei totali annuali di tp in relazione agli schemi utilizzati per assimilare le osservazioni (Lussana et al., 2024). I risultati mostrano che le variazioni nei sistemi osservativi possono influenzare le precipitazioni, rendendo talvolta difficile distinguere il segnale climatico da variazioni dovute a modifiche del sistema osservativo. Ad esempio, i trend di ERA5 tra il 1940 e il 1970, in particolare sulle Alpi, si discostano dai trend osservati e da alcune precedenti rianalisi di ECMWF prese in esame. Questo suggerisce che, per migliorare l'interpretabilità dei trend climatici estratti dalle future rianalisi, potrebbe essere utile affiancare ai prodotti più accurati delle versioni con una assimilazione dati limitata ma coerente nel tempo, isolando così l'effetto delle variazioni del sistema osservativo.

Infine, basandosi su quanto appreso rispetto all'incertezza dei campi di precipitazione e dei relativi trend, l'ultima parte del dottorato si è concentrata sugli estremi di precipitazione su scala oraria (Cavalleri et al., 2026). La motivazione risiede nella necessità crescente di comprendere l'evoluzione di tali eventi, spesso responsabili di grossi danni su infrastrutture, trasporti, sistemi di drenaggio urbano e sicurezza pubblica. La base fisica di un possibile aumento di precipitazioni risiede nella relazione di Clausius-Clapeyron: in un'atmosfera più calda, la capacità dell'aria di trattenere vapore acqueo aumenta con la temperatura, con conseguente aumento delle precipitazioni (Hardwick et al., 2010). Tuttavia, rilevare variazioni nella frequenza e nell'intensità di questi fenomeni risulta complesso, soprattutto in Italia, dove la disponibilità di osservazioni orarie è generalmente limitata nella copertura spaziale e nel tempo. Per questo, sono state impiegate rianalisi ad alta risoluzione e a convezione esplicita, in grado di modellare la dinamica responsabile dei temporali.

In particolare, sono stati utilizzati i campi orari di precipitazione della rianalisi MERIDA HRES per il periodo 1986-2022. Da questi dati sono stati identificati centinaia di migliaia di eventi di precipitazione, tramite una tecnica di clustering basata su soglie percentili, creando un database di eventi orari. Poi, in ciascun punto griglia è stato estratto il valore di precipitazione dell'ora più piovosa di ogni anno (RX1hour) e la media di questi massimi è stata utilizzata come soglia locale per selezionare gli eventi estremi (Lavers et al., 2025). Questo approccio consente di tenere conto delle differenze climatiche regionali e di individuare eventi rappresentativi delle condizioni più pericolose in ciascuna area.

L'analisi ha mostrato un aumento significativo della frequenza degli eventi di precipitazione oraria estrema in specifiche stagioni e regioni. Durante l'estate, l'occorrenza di estremi orari è aumentata di circa il 20–30% in diverse zone alpine e prealpine, oltre che in alcune aree del Sud Italia. In autunno, gli incrementi più marcati, fino al 40%, si riscontrano nelle aree costiere e marittime, tra cui la costa ligure, la Sardegna, il basso Adriatico e la regione ionica. Questi risultati evidenziano come gli eventi di precipitazione intensa a breve durata, spesso legati a fenomeni convettivi, stiano diventando più frequenti, con implicazioni dirette per la gestione del rischio

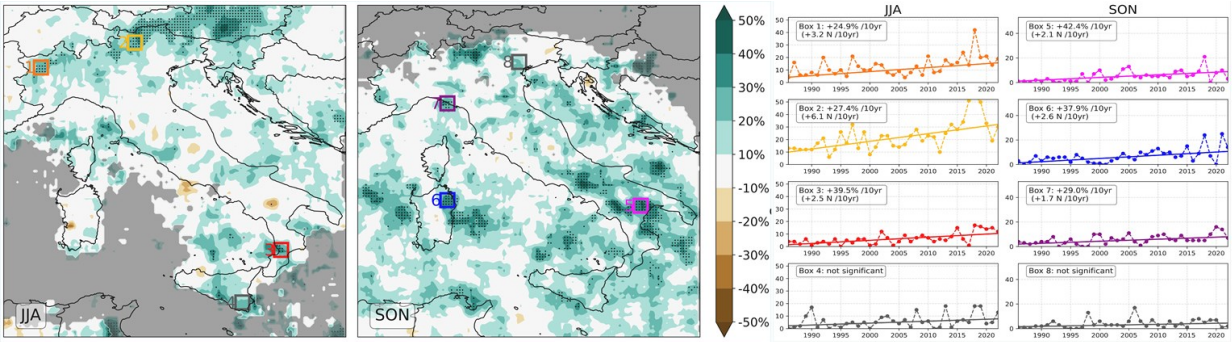


Figura 5. Mappa dei trend della variazione relativa del numero di eventi di precipitazione estrema (sinistra), nei riquadri colorati è calcolato il numero di eventi riportato nei grafici (destra). Figura adattata da Cavalleri et al., 2026.

idrogeologico e la pianificazione di infrastrutture resilienti.

4. Conclusioni

La ricerca condotta durante questo dottorato ha consolidato e ampliato le conoscenze sulle rianalisi meteorologiche, ponendo l'attenzione sulla loro valutazione critica, sulla validazione rispetto a dati osservativi e sul confronto tra prodotti diversi. Lo studio ha coperto diverse scale spaziali e temporali, concentrandosi sulle variabili atmosferiche di temperatura e precipitazione. Questa prospettiva ha permesso di identificare i punti di forza specifici di ciascun dataset, favorendo un uso più consapevole dei prodotti disponibili e fornendo indicazioni utili per il miglioramento nelle rianalisi che verranno prodotte in futuro.

Dall'insieme degli studi condotti emergono alcuni messaggi generali e rilevanti:

- Separare gli errori relativi a scale temporali diverse, per distinguere problematiche legate alle medie a lungo termine da quelle associati alla variabilità giornaliera. Identificare gli scostamenti sistematici nelle rianalisi non solo consente correzioni dei bias prima di applicazioni ulteriori, ma fornisce anche una base per indagare le cause e migliorare i modelli futuri.

- Indagare la risoluzione spaziale effettivamente rappresentata: per i campi di precipitazione, l'uso di decomposizione wavelet ha evidenziato la capacità superiore delle rianalisi a convezione esplicita nel rappresentare le scale fini, dimostrando come questa caratteristica sia essenziale per rappresentare campi di precipitazione realistici.

- Considerare le le differenti rappresentazioni orografiche, adottando metodi in grado di valutare le rianalisi alla loro risoluzione nativa. Aumentare la risoluzione migliora la rappresentazione della variabilità spaziale dei campi e riduce gli errori nelle anomalie di temperatura.

- Valutare la coerenza temporale prima della stima dei trend: confronti con dataset osservativi omogeneizzati hanno mostrato come differenze nelle architetture di assimilazione possano influenzare la stabilità temporale dei campi di precipitazione globale, sottolineando l'importanza di riconoscere tali deviazioni quando le rianalisi sono impiegate per l'analisi dei trend.

- Comprendere e quantificare l'incertezza dei campi di precipitazione: il confronto tra rianalisi e osservazioni puntuali ha evidenziato che gli eventi di precipitazione rappresentati dalle rianalisi sono spesso spostati nello spazio, con errori che possono arrivare in media fino a 15 km. Questo tipo di valutazione è fondamentale per utilizzare pienamente le rianalisi pur rimanendo consapevoli dei loro limiti.

- Adottare un approccio di studio degli estremi basato sugli eventi, sviluppando metodi in grado di incorporare le incertezze nella stima della posizione.

In conclusione, le ricerche condotte durante questo percorso di dottorato hanno contribuito alla valutazione e all'interpretazione dei dataset di rianalisi, fornendo analisi dei bias sistematici e degli errori di variabilità e dimostrando l'importanza delle scelte metodologiche per la comprensione dei pattern di tali errori. Essere pienamente consapevoli dei punti di forza e delle incertezze associate a questi prodotti permette di sfruttarne al massimo il potenziale per applicazioni scientifiche e operative, dalla climatologia alla valutazione degli impatti di singoli eventi. Inoltre, la comprensione approfondita delle rianalisi esistenti fornirà un supporto prezioso per lo sviluppo di nuove rianalisi, fondamentali per sostenere la transizione ecologica e la pianificazione resiliente in diversi settori.

Nota: *Il dottorato di Francesco Cavalleri è stato attivato ai sensi del DM 352/2022 e cofinanziato dai fondi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (implementazione in Italia del fondo europeo NextGenerationEU) e da Ricerca sul Sistema Energetico S.p.A., nello specifico grazie al Fondo per la Ricerca di Sistema Elettrico nell'ambito del Piano Triennale della Ricerca 2022–2024 (DM MITE n. 337 del 15.09.2022), in conformità con il Decreto del 16 aprile 2018.*

Articoli pubblicati in relazione al dottorato:

Cavalleri, F., Viterbo, F., Brunetti, M., Bonanno, R., Manara, V., Lussana, C., Lacavalla, M., & Maugeri, M. (2024). Inter-comparison and validation of high-resolution surface air temperature reanalysis fields over Italy. International Journal of Climatology, 44(8), 2681–2700. https://doi.org/10.1002/joc.8475

Cavalleri, F., Lussana, C., Viterbo, F., Brunetti, M., Bonanno, R., Manara, V., Lacavalla, M., Sperati, S., Raffa, M., Capecchi, V., Cesari, D., Giordani, A., Cerenzia, I. M. L., & Maugeri, M. (2024). Multi-scale assessment of high-resolution reanalyses precipitation fields over Italy. Atmospheric Research, 312, 107734. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107734

Cavalleri, F., Lussana, C., Viterbo, F., Brunetti, M., Bonanno, R., Manara, V., Lacavalla, & Maugeri, M. (2026), Hourly Precipitation Patterns and Extremization over Italy using convection-permitting reanalysis data, Natural Hazards and Earth System Sciences, 26, 279–297, https://doi.org/10.5194/nhess-26-279-2026

Cavalleri, F., Viterbo, F., Manara, V., & Maugeri, M. (2025). Meteorological reanalyses: An effective tool for studying the evolution of temperature and precipitation across Italy. Rivista di Meteorologia Aeronautica, 2, 2025. https://www.meteoam.it/rivista-di-meteorologia-aeronautica/edizione-aprilegiugno-2025

Lussana, C., Cavalleri, F., Brunetti, M., Manara, V., & Maugeri, M. (2024). Evaluating long-term trends in annual precipitation: A temporal consistency analysis of ERA5 data in the Alps and Italy. Atmospheric Science Letters, 25(9), e1239. https://doi.org/10.1002/asl.1239

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

Stocchi, P., Cavalleri, F., Tariq, M., Brunetti, M., Camici, S., Mastrangelo, D., Di Sante, F., & Davolio, S. (2025). MORE: MOLOCH-downscaled ERA5 reanalysis – Validation and applications in weather, climate, and hydrology. Earth System Science Data (submitted), 2025-587.

Bibliografia

Kalnay, E. (2002). Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/cbo9780511802270

Buizza, R., Poli, P., Rixen, M., Alonso-Balmaseda, M., Bosilovich, M. G., Brönnimann, S., et al. (2018). Advancing global and regional reanalyses. Bulletin of the American Meteorological Society, 99(8), ES139–ES144. https://doi.org/10.1175/bams-d-17-0312.1

Bandhauer, M., Isotta, F., Lakatos, M., Lussana, C., Båserud, L., Izsák, B., Szentes, O., Tveito, O. E., & Frei, C. (2022). Evaluation of daily precipitation analyses in E-OBS (v19.0e) and ERA5 by comparison to regional high-resolution datasets in European regions. International Journal of Climatology, 42, 727–747. https://doi.org/10.1002/joc.7269

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.3803

Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., et al. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. Earth System Science Data, 13(9), 4349–4383. https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021

Bollmeyer, C., Keller, J. D., Ohlwein, C., Wahl, S., Crewell, S., Friederichs, P., Hense, A., Keune, J., Kneifel, S., Pscheidt, I., Redl, S., & Steinke, S. (2015). Towards a high resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 141, 1–15. https://doi.org/10.1002/qj.2486

Ridal, M., Bazile, E., Le Moigne, P., Randriamampianina, R., Schimanke, S., Andrae, U., et al. (2024). CERRA, the Copernicus European Regional Reanalysis system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 150(763), 3385–3411. https://doi.org/10.1002/qj.4764

Bonanno, R., Lacavalla, M., & Sperati, S. (2019). A new high-resolution meteorological reanalysis Italian dataset: MERIDA. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 145, 1756–1779. https://doi.org/10.1002/qj.3530

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, e70011. https://doi.org/10.1002/met.70011

Vannucchi, V., Taddei, S., Capecchi, V., Bendoni, M., & Brandini, C. (2021). Dynamical downscaling of ERA5 data on the North-Western Mediterranean Sea: From atmosphere to high-resolution coastal wave climate. Journal of Marine Science and Engineering, 9. https://doi.org/10.3390/jmse902020

Capecchi, V., Pasi, F., Gozzini, B., & Brandini, C. (2023). A convection-permitting and limited-area model hindcast driven by ERA5 data: Precipitation performances in Italy. Climate Dynamics, 61, 1411–1437. https://doi.org/10.1007/s00382-022-06633-2

Giordani, A., Cerenzia, I. M. L., Paccagnella, T., & Di Sabatino, S. (2023). SPHERA, a new convection-permitting regional reanalysis over Italy: Improving the description of heavy rainfall. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 149, 781–808. https://doi.org/10.1002/qj.4428

Raffa, M., Reder, A., Marras, G. F., Mancini, M., Scipione, G., Santini, M., & Mercogliano, P. (2021). VHR-REA_IT dataset: Very high resolution dynamical downscaling of ERA5 reanalysis over Italy by COSMO-CLM. Data, 6(8), 88. https://doi.org/10.3390/data6080088

Crespi, A., Brunetti, M., Lentini, G., & Maugeri, M. (2017). 1961–1990 high-resolution monthly precipitation climatologies for Italy. International Journal of Climatology, 38(2), 878–895. https://doi.org/10.1002/joc.5217

Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., Simolo, C., & Spinoni, J. (2014). High-resolution temperature climatology for Italy: Interpolation method intercomparison. International Journal of Climatology, 34(4), 1278–1296. https://doi.org/10.1002/joc.3764

Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., & Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. International Journal of Climatology, 26(3), 345–381. https://doi.org/10.1002/joc.1251

Lentini, G., Maugeri, M., Nanni, T., Simolo, C., & Spinoni, J. (2012). Projecting north eastern Italy temperature and precipitation secular records onto a high-resolution grid. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 40–41, 9–22. https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.12.005

New, M., Hulme, M., & Jones, P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. International Journal of Climatology, 25(6), 693–712. https://doi.org/10.1002/joc.1181

González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & De Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005). International Journal of Climatology, 31(5), 715–731.

Di Luzio, M., Johnson, G. L., Daly, C., Eischeid, J. K., & Arnold, J. G. (2008). Constructing retrospective gridded daily precipitation and temperature datasets for the conterminous United States. Journal of Applied

Meteorology and Climatology, 47(2), 475–497. https://doi.org/10.1175/2007jamc1356.1

Hanachi, C., Benaben, F., & Charoy, F. (2014). The Dewetra Platform: A multi-perspective architecture for risk management during emergencies. In C. Hanachi, F. Benaben, & F. Charoy (Eds.), Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11818-5_15

Luo, H., Ge, F., Yang, K., Zhu, S., Peng, T., Cai, W., et al. (2019). Assessment of ECMWF reanalysis data in complex terrain: Can the CERA-20C and ERA-Interim datasets replicate the variation in surface air temperatures over Sichuan, China? International Journal of Climatology, 39(15), 5619–5634. https://doi.org/10.1002/joc.6175

Simmons, A., Vamborg, F., Rodwell, M. J., & D. A. (2022). An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 148, 3152–3165. https://doi.org/10.1002/qj.4351

Hardwick Jones, R., Westra, S., & Sharma, A. (2010). Observed relationships between extreme sub-daily precipitation, surface temperature, and relative humidity. Geophysical Research Letters, 37, L22805. https://doi.org/10.1029/2010GL045081

Lavers, D. A., Villarini, G., Cloke, H. L., Simmons, A., Roberts, N., Lombardi, A., Burgess, S. N., & Pappenberger, F. (2025). How bad is the rain? Applying the extreme rain multiplier globally and for climate monitoring activities. Meteorological Applications, 32, e70031. https://doi.org/10.1002/met.70031

Autore:

Francesco Cavalleri
(CNR-ISAC)

LA PROCLAMO DOTTORE…

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

Nowcasting Radar-basato delle Alluvioni Utilizzando Algoritmi di Machine Learning: Un'Applicazione sul 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

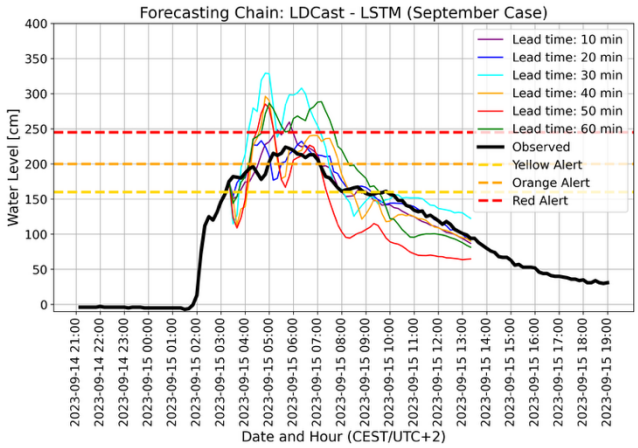
Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

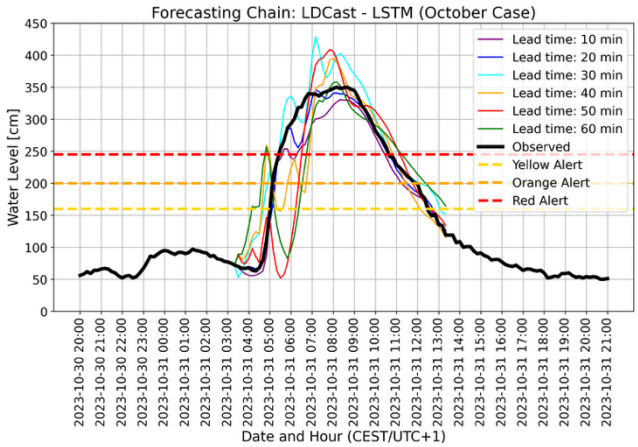
Relatore: *Prof. Alessandro Ceppi*

Co-Relatori: *Dr. Enrico Gambini, Dr. Gabriele Franch, Dr. 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 rispettivamente da MeteoSwiss e 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 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 nel nodo idraulico di Milano.

Valutazione Di Algoritmi Basati Sulla KDP Per La Stima Quantitativa Della Precipitazione Utilizzando Due Radar in Banda-X a Doppia Polarizzazione In Lombardia

(Assessing KDP-based Algorithms for Quantitative Precipitation Estimation Using Two Dual-Polarization X-band Radars in Lombardy)

Dott.ssa Federica Biffi

Politecnico di Milano

Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Relatore: *Prof. Alessandro Ceppi*

Co-Relatori: Dr. Carlo De Michele, Dr. Giovanni Ravazzani, Dr. Nicolás Andrés Chaves González

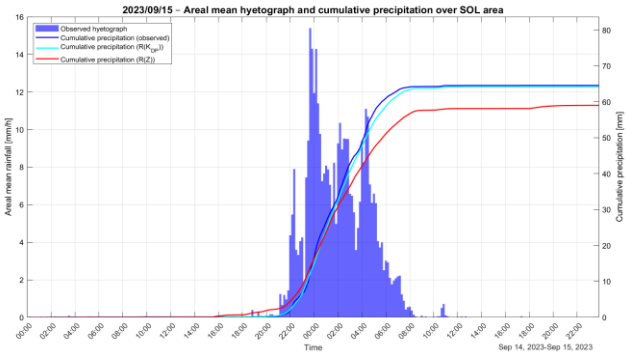
Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Un'accurata stima quantitativa della precipitazione è essenziale per un monitoraggio meteorologico efficace e per la mitigazione del rischio idrologico.

Molti metodi di stima radar della precipitazione sono basati sulla relazione *Z–R*, che soffre tuttavia di diverse limitazioni, tra cui l'attenuazione del segnale in presenza di tassi di precipitazione elevati. L'effetto diventa sempre più evidente al diminuire della lunghezza d'onda del radar, diventando un limite alle frequenze della banda X ($\lambda \approx 3$ cm).

Per potenziare il sistema di monitoraggio regionale, ARPA Lombardia ha recentemente installato due nuovi radar a doppia polarizzazione a Desio (MI) e Flero (BS). Sebbene entrambi operino in banda X, essi possono sfruttare la trasmissione e ricezione di onde elettromagnetiche polarizzate ortogonalmente per ottenere variabili aggiuntive, utili a mitigare tale limitazione. Tra queste, la differenza di fase specifica (K_{DP}) assume particolare importanza in quanto, diversamente dalla riflettività, dipende dalla fase e non dalla potenza del segnale ricevuto, risultando quindi meno soggetta all'attenuazione. La K_{DP}, non è una misura radar diretta, ma è la derivata rispetto alla distanza dello sfasamento differenziale (ϕ_{DP}), che quantifica la differenza di fase tra la polarizzazione orizzontale e verticale del segnale ricevuto. La K_{DP}, in °/km, rappresenta quindi il tasso di variazione di questo sfasamento per unità di distanza, indicando quanto rapidamente aumenta lungo il percorso del segnale.



Lo studio è focalizzato sul nodo idraulico di Milano, comprendente i bacini dei fiumi Seveso, Olona e Lambro, con l'obiettivo di calibrare relazioni R(K_{DP}) per quattro eventi selezionati e valutarne l'applicazione.

La calibrazione è stata svolta utilizzando due diversi dataset. Nel primo sono stati associati dati pluviometrici con i valori di K_{DP} forniti dai due radar, mentre il secondo utilizza esclusivamente dati disdrometrici, con R misurata direttamente e K_{DP} stimata tramite una simulazione di scattering. Sebbene in fase di calibrazione il dataset disdrometrico abbia mostrato migliori performance statistiche, l'applicazione dei coefficienti a dati radar reali, anziché simulati, ha prodotto una sottostima sistematica della precipitazione, non riflettendo i disturbi tipici delle misure operative. I coefficienti ottenuti dal primo dataset si sono invece dimostrati più efficaci nelle applicazioni pratiche. La valutazione dal punto di vista idrologico, tramite il calcolo della precipitazione cumulata sull'area di studio, ha mostrato la capacità dell'algoritmo R(K_{DP}) di riprodurre adeguatamente la precipitazione totale. In particolare, durante un evento convettivo (Figura 1), la stima ha evidenziato un andamento molto simile a quello osservato dai pluviometri, migliorando la sottostima generata dalla relazione Z-R.

I risultati mostrano che la K_{DP} può essere uno strumento efficace per stimare le precipitazioni anche durante fenomeni convettivi, supportando i sistemi di allertamento. In prospettiva, è necessario espandere il dataset per definire relazioni standard univoche che semplifichino l'applicazione operativa e il monitoraggio in tempo reale.

Validazione e comparazione di rianalisi globali e regionali in Italia per lo studio di eventi meteorologici estremi

(Validation and inter-comparison of global and regional reanalyses over Italy for the study of extreme weather events)

Dr. Francesco Cavalleri

Università degli Studi di Milano

Dottorato di Ricerca in Scienze Ambientali

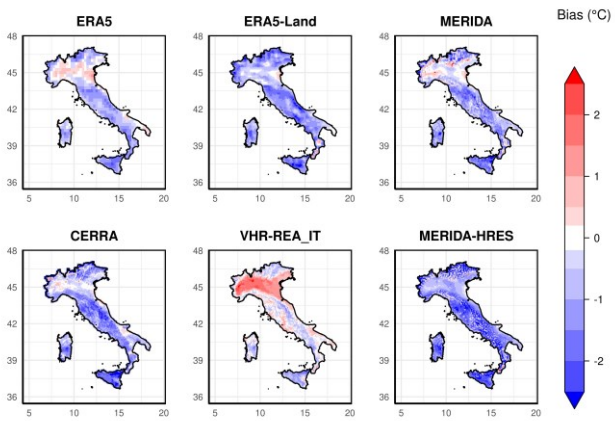
Relatore: *Prof. Maurizio Maugeri*

Co-Relatori: *Dott.ssa Veronica Manara, Dott.ssa Francesca Viterbo*

XXXVIII ciclo di Dottorato

Abstract

Gli impatti sempre più gravi degli eventi meteorologici estremi, aggravati dal cambiamento climatico, rendono urgente la disponibilità di strumenti affidabili per comprendere, monitorare e prevedere l'evoluzione dei fenomeni atmosferici. Le rianalisi meteorologiche, che integrano osservazioni e modelli dinamici, rispondono a questa esigenza fornendo dataset su griglia in grado di ricostruire le condizioni atmosferiche passate con elevata risoluzione temporale, tipicamente oraria, su periodi di diversi decenni. Questi prodotti sono fondamentali per pianificare strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici e degli eventi estremi in settori chiave quali lo sviluppo delle energie rinnovabili, la resilienza dei sistemi elettrici, la gestione delle risorse idriche, la pianificazione urbana e molti altri. Tuttavia, considerata l'ampia gamma di dataset di rianalisi sviluppati negli ultimi anni per l'Italia, risultano essenziali attività di confronto e validazione rispetto alle osservazioni, al fine di favorirne un utilizzo consapevole sia nella ricerca scientifica sia in ambito applicativo.



Nel corso del dottorato, l'attività di ricerca si è concentrata sui campi di temperatura e di precipitazione. Sono state confrontate e validate rispetto alle osservazioni le temperature ricostruite da diverse rianalisi disponibili sull'Italia nel periodo 1991–2020, valutandone le prestazioni sia in termini di medie climatologiche sia di anomalie giornaliere. In questo contesto è stato sviluppato un nuovo metodo di validazione in grado di tenere conto dei bias derivanti dalle differenti rappresentazioni dell'orografia tra rianalisi e osservazioni, consentendo di valutare separatamente le capacità dinamiche delle rianalisi dalla loro descrizione statica del territorio.

È stata poi analizzata la capacità delle rianalisi di riprodurre i campi di precipitazione a diverse scale spaziali e temporali, attraverso la validazione rispetto sia a osservazioni puntuali da stazione sia a dataset osservativi su griglia. L'applicazione di una decomposizione in wavelets ha permesso di indagare il ruolo delle scale spaziali più fini e il potenziale delle rianalisi ad alta risoluzione nel descrivere le precipitazioni convettive. Parallelamente, è stato condotto uno studio sui trend di lungo periodo delle precipitazioni derivati da rianalisi globali sull'Italia e sulla regione alpina, valutandone la stabilità temporale rispetto a osservazioni omogeneizzate.

I risultati di questi dottorato sono stati diffusi in numerose pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali, riscuotendo particolare interesse sia tra gli sviluppatori sia tra gli utilizzatori delle rianalisi. In questo contesto, è stata fornita una collaborazione attiva nella validazione di nuovi prodotti di rianalisi come MERIDA HRES (R.S.E.) e MORE (CNR-ISAC).

Infine, le conoscenze relative alle incertezze delle rianalisi hanno permesso di sviluppare un metodo per identificare eventi di precipitazione estremi a partire dai loro campi orari. La comprensione di tali estremi è particolarmente rilevante per i loro impatti socio-economici, soprattutto nel contesto della gestione del rischio e delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. Lo studio ha evidenziato un aumento della frequenza degli eventi di precipitazione estrema su scala oraria durante le stagioni estiva e autunnale in alcune regioni italiane.

Risposta delle precipitazioni estreme al riscaldamento globale antropogenico: un'analisi storyline sull'Italia tramite simulazioni Destination Earth

(Extreme Precipitation Response to Anthropogenic Global Warming: A Storyline Analysis over Italy using Destination Earth Simulations)

Dott. Marco Burderi

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Laurea Magistrale in Science of Climate

Relatore: *Prof. Salvatore Pascale*

Co-Relatore: *Dr. Giuseppe Zappa*

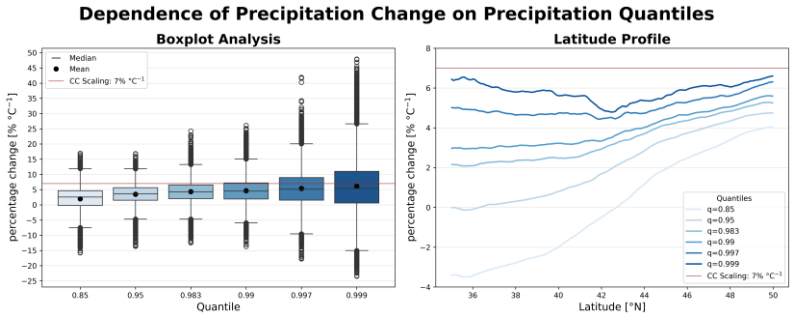
Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Il cambiamento climatico antropogenico sta alterando il ciclo idrologico globale e si prevede che aumenterà la frequenza e l'intensità degli eventi di precipitazione estrema in molte regioni del mondo. Questo problema è particolarmente critico nel bacino del Mediterraneo, riconosciuto come hotspot del cambiamento climatico, dove le precipitazioni intense e le alluvioni rappresentano già gravi rischi per la società, come dimostrato dagli eventi di piogge estreme e inondazioni verificatisi in Emilia-Romagna nel maggio 2023 e a Bologna nell'ottobre 2024. Questo studio valida e applica le recenti simulazioni climatiche spectrally-nudged IFS–FESOM di Destination Earth per investigare il contributo termodinamico del riscaldamento globale alle precipitazioni medie ed estreme sull'Italia.

In primo luogo, esamina come il riscaldamento globale influenzi l'intensità delle precipitazioni, valutando se gli eventi di pioggia intensa si stiano intensificando a tassi coerenti con le aspettative termodinamiche. In secondo luogo, analizza come la circolazione atmosferica su larga scala moduli tale intensificazione, esaminando come le risposte delle precipitazioni varino tra diversi weather types associati agli eventi di precipitazione estrema in Italia. Infine, lo studio analizza come il riscaldamento antropogenico influenzi l'intensità e la struttura spaziale di due recenti eventi alluvionali, Emilia-Romagna (maggio 2023) e Bologna (ottobre 2024).

In particolare, sono state analizzate due simulazioni del dataset Destination Earth IFS–FESOM: Control, rappresentativa del clima degli anni '50 del XX secolo, quando la temperatura media superficiale globale era circa 1°C inferiore rispetto a oggi, e Historical, rappresentativa delle condizioni attuali. Entrambe sono state prodotte utilizzando il nudging spettrale verso la reanalisi ERA5, garantendo una circolazione su larga scala coerente e consentendo al contempo ai processi su piccola scala di evolvere liberamente. Le simulazioni sono state validate rispetto a diversi benchmark (ERA5, CERRA e ArCIS), confermando la loro capacità di riprodurre realisticamente il clima e la variabilità delle precipitazioni nel Mediterraneo.



Le analisi delle variazioni delle precipitazioni hanno impiegato diagnostiche complementari, tra cui il comportamento dei quantili, compositi per weather type e studi di caso basati su storyline. I risultati rivelano una chiara amplificazione termodinamica delle precipitazioni in condizioni di riscaldamento, in particolare nel Nord Italia e durante l'autunno. La risposta delle precipitazioni dipende dal quantile, ovvero varia in funzione dell'intensità delle precipitazioni, con gli aumenti maggiori osservati negli eventi più estremi. Questa risposta è ulteriormente modulata dai pattern di circolazione atmosferica associati a specifici weather types.

Nel complesso, questo lavoro conferma che le precipitazioni estreme si stanno intensificando in risposta al riscaldamento antropogenico e dimostra il potere esplicativo del framework storyline nell'attribuire l'intensità delle alluvioni osservate al cambiamento climatico. Questi risultati evidenziano l'urgente necessità, per la società, di anticipare e adattarsi ai crescenti rischi idrologici nella regione mediterranea.

Analisi dell'alluvione delle Marche del settembre 2022 mediante simulazioni con il modello numerico WRF

(Investigating the September 2022 Marche Flood with WRF numerical model simulations)

Dott. Matteo Berton

Università del Salento – Università degli Studi di Napoli "Parthenope"

Laurea Magistrale II livello in Meteorologia e Oceanografia Fisica

Relatore: *Prof. Mario Marcello Miglietta*

Co-Relatori: *Dr. Elenio Avolio, Dr. Alessandro Tiesi*

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Questo studio analizza l'alluvione catastrofica che ha colpito la regione Marche il 15 settembre 2022, attraverso simulazioni ad alta risoluzione con il modello Weather Research and Forecasting (WRF). L'evento è stato caratterizzato da un sistema convettivo V-shaped quasi-stazionario che ha generato precipitazioni estreme (>400 mm/24h). Il lavoro mira a diagnosticare i precursori atmosferici multiscala e i meccanismi dinamici responsabili dell'innesco e del mantenimento di tale sistema stazionario.

I risultati della simulazione evidenziano l'interazione tra il flusso sinottico e la topografia locale. La deflessione del flusso nei bassi strati da parte degli Appennini ha generato una linea di convergenza persistente a 950 hPa (Figura 1). Originatasi sottovento al Monte Amiata, tale discontinuità ha agito come principale meccanismo di sollevamento per la massa d'aria umida (umidità specifica > 15 g/kg) trasportata dal Mar Tirreno. L'ambiente termodinamico ha svolto un ruolo cruciale. L'analisi rivela un profilo verticale di tipo "Loaded Gun", in cui l'elevata instabilità convettiva (MU-CAPE > 3000 J/kg) era inizialmente inibita da un'inversione termica (CIN).

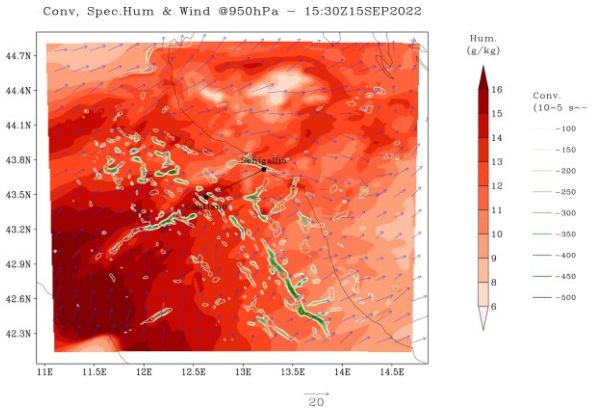


Figura 1. Convergenza a 950 hPa (contorni verdi), umidità specifica (shading rosso) e vettori del vento (blu)

L'afflusso di umidità nei bassi strati è stato necessario per erodere l'inibizione e rilasciare l'instabilità. Ciò è confermato dal campo di temperatura potenziale equivalente (theta-e), che mostra una stratificazione potenzialmente instabile con aria ad alta theta-e nei bassi strati sormontata da aria più secca in quota. Dinamicamente, il forzante orografico è evidenziato dal calcolo del numero di Froude, che ha costantemente superato la soglia critica di 1 (variando da 1.5 a 3). Ciò indica un regime di tipo "flow-over", che ha permesso all'aria instabile di sormontare la barriera anziché aggirarla. Di conseguenza, l'interazione ha innescato onde orografiche, visibili nel campo della velocità verticale a 700 hPa. Queste onde hanno rinforzato l'updraft verticale, contribuendo al mantenimento delle celle convettive sottovento all'orografia.

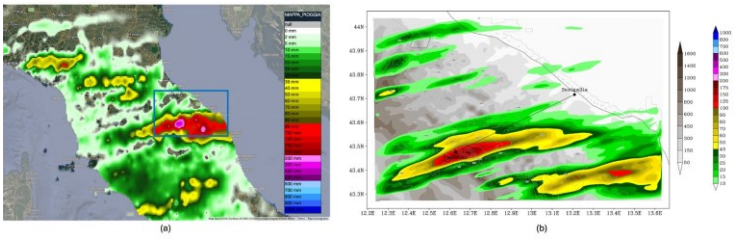


Figura 2. Confronto della precipitazione cumulata nelle 24 ore con termine alle 00:00 UTC del 16 settembre 2022. (a) Mappa delle isoiete derivata dalla rete pluviometrica del Dipartimento della Protezione Civile; il rettangolo blu indica il dominio d03. (b) Precipitazione cumulata simulata dal modello WRF sul dominio d03.

Il confronto tra le osservazioni e la simulazione WRF (Figura 2) dimostra la capacità del modello di riprodurre la localizzazione e l'orientamento del sistema, confermando il ruolo dell'orografia nel determinare la stazionarietà del sistema. Sebbene il modello abbia sottostimato i picchi di pioggia cumulata (~180 mm simulati vs >400 mm osservati), esso ha identificato correttamente i precursori strutturali — come la linea di convergenza e il flusso di umidità — essenziali per la genesi di questo evento estremo.

Osservazioni microclimatiche e modellazione di un archivio cinematografico a Roma

(Microclimate observations and modelling of a cinematographic archive in Rome)

Dott.ssa Marianna Bourgioti

Sapienza Università di Roma

Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie per la Conservazione dei Beni Culturali (Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage)

Relatore: *Prof.ssa Francesca Frasca*

Co-Relatore: *Prof.ssa Anna Maria Siani*

Anno Accademico 2024/2025

Abstract

Gli archivi cinematografici sono edifici ad alto fabbisogno energetico, nei quali è necessario mantenere costantemente condizioni termoigrometriche rigorose (T < 15°C e UR = 30-50%) per la conservazione a lungo termine delle pellicole. Negli edifici con molte stanze, il monitoraggio microclimatico a lungo termine (> 1 anno) genera grandi quantità di dati, rendendo difficile la loro elaborazione per interpretare pattern microclimatici ricorrenti e impiegarli efficacemente nella valutazione del rischio di conservazione indotto dal microclima. Uno degli scopi di questa tesi è stato quello di studiare diverse tecniche di analisi dei dati microclimatici raccolti in 28 stanze di un archivio cinematografico a Roma, al fine di: a) identificare pattern termoigrometrici ricorrenti e b) valutare se tali pattern possano essere ragionevolmente usati per la valutazione del rischio. Tra le tecniche usate, si presentano i risultati ottenuti con la k-means Cluster Analysis applicata ai dati orari di temperatura (T) e umidità relativa (UR). I centroidi dei cluster sono stati successivamente usati per stimare il rischio chimico per pellicole in acetato di cellulosa attraverso una funzione dose-response (Preservation Index, ossia l'aspettativa di vita della pellicola a specifiche condizioni di T e UR), consentendo un confronto tra le condizioni estratte con i centroidi e quelle a livello delle singole stanze. Le stanze sono state raggruppate in due cluster dominanti, differenziati principalmente dalle condizioni di umidità relativa, mentre la temperatura è risultata relativamente uniforme. Dal punto di vista della conservazione, la valutazione del rischio ha evidenziato una chiara separazione tra condizioni secche e umide, con aspettative di vita delle pellicole significativamente più brevi associate a condizioni persistentemente umide. Si osserva inoltre che a stanze molto umide (UR > 70%) è associato anche il rischio di proliferazione biologica, mentre in condizioni molto secche (UR < 15%) può aumentare il rischio di infragilimento della pellicola (Figura 1). L'errore relativo, calcolato considerando i dati microclimatici misurati nelle singole stanze e quelli corrispondenti ai centroidi, è inferiore al 5% se la Distanza Euclidea tra il centroide e la stanza è < 3 e il Silhouette Index è > 0.90. L'errore aumenta con i dati raccolti nelle stanze appartenenti a cluster caratterizzati da maggiore variabilità interna. Ciononostante, la valutazione del rischio basata sui cluster ha catturato la categorizzazione relativa delle stanze e delle aspettative di vita delle pellicole, fornendo un'affidabile approssimazione di primo livello. Nel complesso, sebbene l'analisi dei cluster sia computazionalmente efficace nel semplificare grandi e complessi dataset tipici di questa tipologia di archivi, l'incertezza aumenta con l'aumentare dell'eterogeneità intra-cluster. Quando i centroidi dei cluster sono usati quantitativamente per la valutazione del rischio, le metriche di clustering dovrebbero pertanto essere riesaminate ed eventualmente rese più restrittive al fine di garantire una migliore coerenza tra i proxy a livello di cluster e il comportamento dei singoli ambienti.

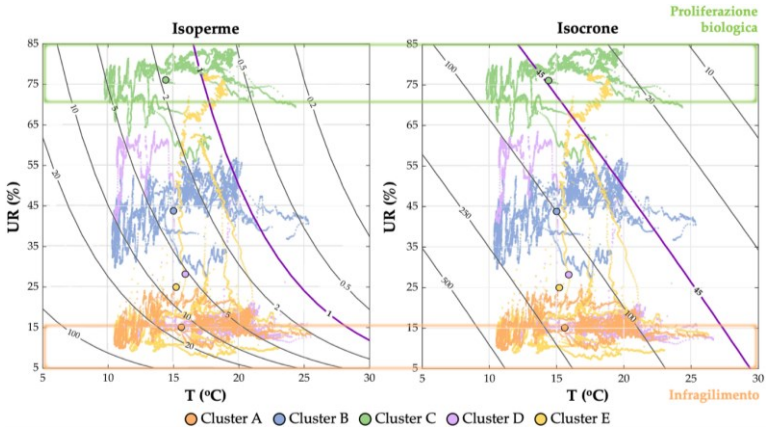


Figura 1. . Valori di temperatura (T in °C) e umidità relativa (UR in %) corrispondenti ai centroidi dei cluster annuali (contorno nero) e orari (senza contorno) rappresentati sui diagrammi delle isoperme (sinistra) e delle isocrone (destra) corrispondenti al rischio di degrado chimico indotto da T e UR.

QUATTRO CHIACCHIERE CON…

Intervista a Alberto Carrassi

In questo numero abbiamo incontrato Alberto Carrassi, fisico e professore all'Università di Bologna dove ricopre anche il ruolo di direttore dell'Alma Climate Institute. Ne è nata una conversazione che tocca formazione, esperienze di ricerca a livello internazionale e il significato del mestiere di scienziato al giorno d'oggi.

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

Mi chiamo Alberto Carrassi, anagraficamente Natale Alberto Carrassi, ma ho sempre usato il secondo nome nella mia professione. Sono di Bari, dove ho studiato fisica, per poi proseguire con l'ultimo anno all'Università di Ferrara con un percorso assimilabile all'attuale laurea magistrale in fisica dell'atmosfera.

In realtà, però, non mi sono mai sentito un meteorologo in senso stretto. Ciò che mi ha affascinato fin da subito è stato lo studio dei **sistemi dinamici**: l'atmosfera rappresenta un esempio straordinario di sistema complesso, ma l'interesse per me era soprattutto matematico e fisico, legato alla comprensione della prevedibilità e del caos. E il primo amore, si sa, non si dimentica: ancora oggi questo approccio permea gran parte delle mie attività.

Durante il dottorato ho iniziato a lavorare su quello che sarebbe diventato il filo conduttore della mia carriera: **l'assimilazione dati**. Si tratta dell'insieme di tecniche con cui cerchiamo di stimare lo stato di un sistema - l'atmosfera, l'oceano, ma anche sistemi biologici o economici - combinando leggi evolutive note con osservazioni inevitabilmente limitate, indirette e rumorose. Il caso della previsione meteorologica è emblematico: vogliamo conoscere lo stato dell'atmosfera su scala globale con misure sparse e imperfette. È un problema scientifico profondamente interdisciplinare, dove si incontrano matematica applicata, statistica, informatica e fisica.

Quali sono stati i passaggi fondamentali della tua carriera?

Mi considero una persona molto fortunata perché ho incontrato grandi maestri, e soprattutto grandi maestre. Una figura decisiva è stata Anna Trevisan, ricercatrice del CNR di Bologna, che mi ha guidato non solo scientificamente ma anche nel modo di intendere questo lavoro. Dopo il dottorato è arrivato il momento, inevitabile, di "staccare il cordone ombelicale". Ho svolto periodi di ricerca come postdoc in Francia, poi quattro anni al Royal Meteorological Institute di Bruxelles, dove ho lavorato nel gruppo di Catherine Nicolis e collaborato con Stéphane Vannitsem, oggi tra i miei principali partner scientifici.

Un passaggio importante è stato vincere una Marie Curie e trasferirmi in un gruppo guidato da *Francisco Doblas-Reyes che lavora nell'ambito* dell'*ensemble prediction, presso il Barcelona Supercomputing Center*. È stato un cambio piuttosto radicale: uscivo da un ambiente molto teorico e mi confrontavo con una ricerca più strutturata, fortemente legata a progettazione, finanziamenti e responsabilità verso la società. Scrivere un progetto significa chiedere risorse pubbliche, e questo comporta un dovere etico di grande serietà.

Successivamente ho lavorato al Nansen Center di Bergen, in Norvegia. Lì ho trovato un contesto dove l'assimilazione dati era riconosciuta come disciplina centrale: è stato un periodo di vera fioritura scientifica. La collaborazione, l'ascolto reciproco, la possibilità di lavorare con competenze complementari hanno fatto la differenza. Quell'esperienza mi ha poi portato a una cattedra

EGU 2016

all'Università di Reading, storicamente il primo dipartimento al mondo ad avere una posizione accademica dedicata all'assimilazione dati, un segnale di quanto questa disciplina fosse già considerata strategica.

In cosa consiste oggi il tuo lavoro e come si svolge una tua giornata tipo?

Essere professore universitario significa avere una duplice missione. Da un lato c'è la formazione: insegno nelle lauree magistrali in *Science of Climate* e *Fisica del Sistema Terra* all'Università di Bologna e seguo studenti di dottorato, che rappresenta uno dei momenti più delicati e formativi della carriera scientifica.

Dall'altro lato, però, io mi sento prima di tutto uno scienziato. La mia vocazione è cercare di andare a fondo nelle domande. Una parte essenziale del lavoro consiste nel capire se una domanda è davvero nuova, rilevante, ben posta. Questo richiede lettura, studio continuo e partecipazione alla comunità scientifica. Oggi coordino un gruppo di ricerca numeroso: circa il 70% del mio tempo è dedicato a guidare giovani ricercatori, aiutarli a individuare le domande giuste, accompagnarli nella scrittura dei primi articoli, sostenerli nei momenti di incertezza. Ogni persona è diversa, e la leadership scientifica è prima di tutto un lavoro umano.

Qualche volta ti capitano situazioni difficili da gestire?

Sì, e non tanto per ragioni tecniche quanto per la natura profondamente relazionale di questo mestiere. Il lavoro accademico è un lavoro di contatto continuo con altre persone: studenti, dottorandi, colleghi, revisori, istituzioni. Questo significa confrontarsi quotidianamente con aspettative diverse, sensibilità diverse e talvolta anche con

ICTS Bangalore 2014

IHP (Insitute Henry Poincare, Paris) 2019

tensioni inevitabili. Nell'insegnamento, ad esempio, il rapporto non è davvero gerarchico come può sembrare dall'esterno. Il docente è costantemente osservato, valutato, messo alla prova. Questo equilibrio tra autorevolezza e responsabilità può generare momenti di attrito che bisogna imparare a gestire con attenzione.

C'è poi un aspetto più sottile: la ricerca è un'attività creativa, e come tutte le attività creative porta con sé una forte identificazione con le proprie idee. Gli scienziati tendono a volte a difendere le proprie intuizioni come "figli", che rappresentano risultati di un lavoro che non smettiamo mai di fare, con tentativi ed errori. Con il tempo si impara, non sempre in modo lineare, a prendere distanza dal proprio lavoro, ma non è un processo automatico. Anche nella maturità professionale si attraversano fasi alterne. La gestione di queste dinamiche umane è parte integrante della professione

Hai lavorato in molti Paesi: hai notato differenze nel modo di fare ricerca?

Molte. La mia generazione si è spesso formata in Italia per poi costruire la carriera all'estero, anche perché il nostro sistema fatica ad assorbire nuove competenze con la stessa rapidità di altri Paesi. Nel Nord Europa ho trovato strutture molto solide e risorse più ampie, che permettono una maggiore continuità e la possibilità di concentrarsi sulla ricerca senza troppe interruzioni. In Italia, invece, la scarsità relativa di finanziamenti rende tutto più complesso: si deve dedicare più energia a superare ostacoli organizzativi o amministrativi. Per questo sento una responsabilità particolare verso i giovani del mio gruppo: cercare di proteggerli, per quanto possibile, da queste difficoltà e lasciare loro lo spazio per fare ricerca vera nel momento più fertile della loro vita intellettuale, tra i 25 e i 35 anni.

Un aspetto che mi ha colpito molto del sistema britannico è la forte connessione tra università e mondo produttivo. Questa vicinanza facilita l'accesso ai finanziamenti e aiuta l'accademia a non chiudersi in una torre d'avorio. Problemi nati in contesti applicativi o industriali possono

rivelare la stessa profondità teorica di questioni più tradizionalmente accademiche. Ogni sistema ha naturalmente anche i suoi limiti: la grande capacità di adattamento dei modelli anglosassoni, per esempio, può talvolta tradursi in cambiamenti molto rapidi, mentre il sistema italiano, pur più lento, conserva una certa capacità di riflessione.

Qual è la cosa che preferisci del tuo mestiere?

La risposta è semplice: **essere pagato per studiare**. È un privilegio enorme. Se si affronta questo lavoro con passione, diventa una finestra sul mondo: scopri che dall'altra parte del pianeta ci sono persone che si pongono le stesse domande. Si entra in una comunità unita dal desiderio di comprendere la natura. La scienza, per sua stessa struttura, è uno strumento di condivisione e costruzione collettiva.

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

Ne racconto uno, legato a un momento di "lezione". Risale al 2008, quando presentai il mio primo lavoro post-dottorale a un importante congresso al Max Planck Institute di Dresda. Ero emozionatissimo, all'epoca non avevo affatto idea, cosa che invece dico sempre ai miei studenti adesso, quanto importante fosse saper presentare. Dopo la presentazione, mi viene incontro una grande scienziata, Eugenia Kalnay, che avevo conosciuto durante il dottorato avendo fatto quasi un anno da lei all'Università del Maryland. Con la sua energia tutta argentina, mi disse senza mezzi termini che non mi dovevo mai più permettere di buttare all'aria un lavoro così bello con delle presentazioni fatte in maniera così approssimativa. Fu una critica durissima, ma salutare. Da allora ho cambiato completamente modo di comunicare la ricerca, capendo che presentare bene significa aver compreso davvero ciò che si fa.

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

A cura di

Marcello Grenzi
(Università di Bologna)

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

Ecosearch

IoTopon

ENTI PUBBLICI

ARPAL

ARPA-Piemonte
Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

ARPA Valle d'Aosta

CETEMPS

Consorzio LaMMA

UNITN

A LORO LA PAROLA…

Il Vento del Cambiamento soffia sul Lago Turkana: Quando la Meteorologia incontra la Solidarietà

Un Battito d'Ali tra Cielo e Terra: La 15° Giornata della Meteorologia porta la scienza (e il cuore) in Africa

Un'alleanza straordinaria tra Datameteo Educational, la Comunità Papa Giovanni XXIII e gli agronomi di Cascina Ca Granda Busca sfida il clima estremo del Kenya. L'obiettivo? Trasformare dati satellitari e tecnologie idriche in ortaggi freschi per una scuola in Kenya. E abbiamo bisogno di voi.

Dalle mongolfiere di Busca al deserto del Turkana: quest'anno la celebrazione della meteorologia diventa un ponte di solidarietà. Scienziati, agronomi e volontari uniti per trasformare l'acqua salata in ortaggi per 1000 studenti kenioti.

La meteorologia non è solo la previsione del tempo che farà domani. È la scienza che ci permette di capire il mondo, di proteggerlo e, quando unita alla solidarietà, di cambiare il destino di intere comunità. È con questo spirito che si apre la **15° Giornata della Meteorologia 2026**, un evento, patrocinato anche da AISAM, che quest'anno promette di volare alto, non solo metaforicamente. Sotto il titolo *"Busca vola ed innova il clima a Km Zero"*, la manifestazione crea un asse strategico tra i territori di Busca, Saluzzo e Verzuolo, unendo divulgazione scientifica, tecnologia e un potente afflato umanitario.

Ma l'edizione 2026 non si limita a guardare il cielo del Piemonte. Essa batte le sue ali per spingere un vento di cambiamento fino al cuore dell'Africa, lanciando un progetto ambizioso dove la scienza climatica diventa pane quotidiano per i bambini del Kenya.

PARTE 1: La 15° Giornata della Meteorologia – Innovazione e Territorio

Il cuore pulsante dell'evento sarà **Busca**, trasformata per l'occasione in un vero e proprio "Meteolab". Qui, tra il 10 e il 12 aprile, il Parco-Museo dell'Ingenio ospiterà l'evento "Busca Vola", un contenitore unico che mescola scienza e spettacolo.

L'obiettivo è creare un ecosistema digitale per la sostenibilità. Non a caso, uno dei pilastri dell'edizione è il potenziamento della rete **"Clima Km Zero"**: a Verzuolo, presso l'Istituto di Istruzione Superiore Rivoira, verranno installati una stazione meteo e un pluviometro intelligente. Questi strumenti non saranno semplici oggetti passivi, ma diverranno il fulcro della didattica STEM, permettendo agli studenti di toccare con mano le dinamiche del cambiamento climatico.

Ospiti d'Eccezione e Inclusione

La 15° Giornata vedrà alternarsi sul palco figure di spicco come il **Colonnello Guido Guidi** dell'Aeronautica Militare e **Adele Gesso**, la prima donna pilota di mongolfiera con disabilità al mondo. La loro presenza sottolinea i due temi cardine: l'autorevolezza scientifica e l'abbattimento di

ogni barriera, fisica o emozionale. Spazio anche alla memoria con il "Talk Meteo" dedicato a Paolo Sottocorona con il Presidente AISAM Sergio Pisani e a momenti spettacolari come la *Vertical Evening Dance* sulla facciata dell'ex Convento.

Anche **Saluzzo** giocherà un ruolo chiave dal 13 al 15 marzo, ospitando il *Terres Outdoor Festival* e laboratori didattici come "I Ciceroni del Clima", per insegnare ai più giovani il rispetto per il pianeta.

I Due "Battiti d'Ali" della Solidarietà

Tuttavia, come recita il sottotitolo dell'evento, tutto questo avviene *"in un battito d'ali tra astronauti, piloti e meteorologi veri"*. E questo battito d'ali ha una doppia direzione solidale. Il primo è rivolto alle Filippine, con il concerto "Music nel Balon" a Saluzzo che sosterrà la "Scuola della Gioia" a Manila tramite la Onlus "Una Mano per i Bambini". Il secondo battito, potente e urgente, ci porta in Kenya, per un progetto di micro-agricoltura che rappresenta la vera sfida di quest'anno.

PARTE 2: Il Progetto in Kenya – Meteorologia e Agronomia al servizio di 1000 Studenti

L'evento piemontese diventa trampolino di lancio per un intervento umanitario senza precedenti nella regione del **Lago Turkana**. Qui, nel villaggio di **Moite**, Il Ramo cooperativa sociale facente parte della galassia associativa della **Comunità Papa Giovanni XXIII** collabora con la realtà Keniota dell'associazione che tra le tante attività vje gestice si occupa di una scuola che è un faro di speranza per **oltre 1000 alunni**.

La Sfida: Coltivare dove la Natura dice "No"

Moite si trova in un contesto ambientale estremo. La *Valutazione Preliminare di Fattibilità Climatica*, elaborata appositamente da **Datameteo Educational OdV**, dipinge un quadro severo: temperature che superano costantemente i 37°C, venti impetuosi tra i 25 e i 50 km/h che disidratano il suolo, e precipitazioni scarse (appena 200 mm annui) che stanno perdendo il loro carattere alluvionale. Ma il problema più grande è l'acqua. Il Lago Turkana è uno dei corpi idrici più alcalini al mondo; la sua acqua, pur abbondante, non è adatta al consumo umano né all'agricoltura tradizionale. Inoltre, l'agricoltura convenzionale in campo aperto è stata dichiarata *"in gran parte impraticabile"* a causa dell'evaporazione e del suolo vulcanico.

Come garantire dunque verdure fresche e nutrienti a 1000 bambini in crescita, in un luogo dove sembra impossibile far crescere anche solo un filo d'erba?

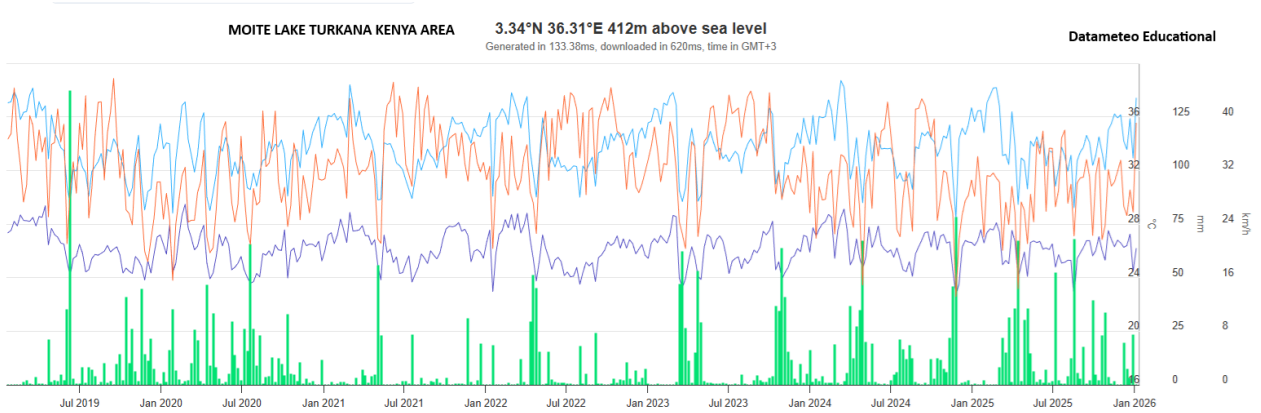
La Soluzione: Tecnologia, Dati e Competenze

La risposta nasce dall'unione di tre eccellenze.

1. **La cooperativa Il Ramo emanazione dell' Associazione Papa Giovanni XXIII** poserà prima pietra fondamentale: l'installazione di un **dissalatore ad osmosi inversa**. Questa tecnologia trasforma l'acqua alcalina del lago in acqua dolce. L'acqua ora c'è, ma è una risorsa preziosa e costosa ("oro blu") che non può essere sprecata in irrigazioni inefficienti.
2. **Datameteo Educational OdV** ha fornito l'intelligenza climatica. Analizzando i dati di rianalisi ECMWF dal 2019 al 2025, ha mappato le ore di stress termico e i profili del vento, indicando che la coltivazione deve avvenire in ambienti protetti.
3. **Gli Agronomi di Cascina Ca Granda Busca** entrano in gioco ora per chiudere il cerchio. Basandosi sui dati meteo, hanno progettato l'intervento agronomico. A Moite non si faranno orti a terra che consumano troppa acqua. Grazie al web si è identificata una associazione che in Uganda si occupa di micro-agricoltura in ambienti "difficili" Si useranno sistemi innovativi come le **"Garden Towers"** (torri di coltivazione verticale).

Il Progetto Pilota: Scienza Applicata al Bene

Grazie alle competenze degli agronomi di Busca, e alle tecnologie meteo e alle sinergie messe in campo verranno implementati sistemi di coltivazione controllata combinati con ombreggiamento per proteggere le piante dal sole cocente e dal vento. L'acqua prodotta dal dissalatore verrà utilizzata goccia a goccia, massimizzando la resa. A **Gatab**,



una località vicina ma situata a 1686 metri di altitudine, dove il clima è più clemente (massime di 29°C), si potranno invece sperimentare colture più estese, sempre sotto la guida tecnica degli esperti piemontesi, in collaborazione con agronomi volontari che potranno seguire il progetto in loco, con l'aiuto della ONG africana che porterà la sua esperienza operativa.

Questo progetto non porta solo cibo, ma **conoscenza**. Prevede la formazione della comunità locale, affinché gli studenti e le famiglie imparino a gestire queste tecnologie, creando una vera *local ownership*.

LANCIAMO IL FUTURO: Campagna di Crowdfunding

Tutto questo è tecnicamente fattibile. I dati lo confermano, il dissalatore è pronto, la scuola attende. Manca solo l'ultimo tassello: il carburante per far decollare questo "secondo battito d'ali".

In occasione della 15° Giornata della Meteorologia, lanciamo una **campagna di Crowdfunding** per finanziare l'acquisto delle infrastrutture necessarie:

- Moduli per le "Garden Towers" verticali per fare una sperimentazione in due villaggi con 10 garden towers per villaggio, al fine di trovare il miglior assetto agronomico, relativamente al clima estremo o alla presenza di acqua salmastra.
- Reti ombreggianti e frangivento resistenti al vento del Turkana.
- Coltivazioni selezionate dagli agronomi per resistere al clima di Moite.

Non chiediamo solo una donazione, ma di diventare partner di un'impresa scientifica e umana. Vogliamo dimostrare che quando la meteorologia (Datameteo Educational), l'agricoltura d'eccellenza (Cascina Ca Granda) e la solidarietà concreta (Il Ramo cooperativa sociale-Papa Giovanni XXIII) si uniscono, nessun deserto è invincibile.

Aiutaci a portare la pioggia dove non cade. Sostieni il progetto Turkana.

Dona su https://giornatameteo.com/cooperativa-il-ramo.php Donazione liberale per Moite

Terna Forward e BF Educational investono nell'innovazione meteo-climatica di Hypermeteo. Nasce l'European Hub for Reanalysis and Industrial Climate Scenarios (EHRICS)

Terna Foward, la società del Gruppo Terna dedicata al Corporate Venture Capital, ha guidato un aumento di capitale in Hypermeteo, in partecipazione con il socio BF Educational, società del gruppo Bonifiche Ferraresi, con un investimento, rispettivamente di 1 milione e di 300 mila €. Muove i primi passi l'European Hub for Reanalysis and Industrial Climate Scenarios (EHRICS)

L'operazione rappresenta una conferma del percorso tecnologico e di business sviluppato da Hypermeteo: trasformare dati meteo-climatici di qualità e scientificamente robusti in strumenti operativi concreti per la gestione del rischio climatico e per il supporto ai processi di adattamento climatico nei diversi settori industriali, dall'energia alle infrastrutture, dalle assicurazioni all'agricoltura.

Alla base delle tecnologie e soluzioni sviluppate da Hypermeteo e Radarmeteo vi è infatti un approccio fortemente orientato ai dati osservativi e alla valorizzazione di un ampio patrimonio di dati storici, integrati con modelli deterministici e algoritmi di Intelligenza Artificiale proprietari. Questo consente di produrre dataset e scenari meteo-climatici ad alta risoluzione, rappresentativi delle reali condizioni locali e utilizzabili in modo diretto nei processi decisionali delle organizzazioni.

La collaborazione tra Hypermeteo e Terna è già attiva da tempo e si esplica nella fornitura di dati, modelli e scenari ad alta risoluzione a supporto delle previsioni sulla domanda, sulla produzione elettrica e sui rischi meteo-climatici che possono interessare l'infrastruttura elettrica nazionale. L'ingresso di Terna Forward nel capitale rafforza ulteriormente questa visione condivisa dal gruppo di lavoro Radarmeteo ed Hypermeteo, orientata a rendere il clima una variabile sempre più misurabile, anticipabile e integrata nei processi decisionali delle imprese.

Il potenziamento della presenza di BF Educational conferma una collaborazione consolidata nelle matrici agroambientali e nel supporto alla PA.

La fase di crescita del gruppo è accompagnata anche da un rilevante investimento organizzativo e infrastrutturale. Radarmeteo e Hypermeteo hanno recentemente completato il trasferimento nella nuova sede di Pontemanco (PD), un borgo fluviale di origine medievale. La struttura, progettata secondo criteri di sostenibilità e basso impatto energetico, nasce dalla riqualificazione di un edificio storico ed è destinata ad ospitare entrambe le società, favorendo una maggiore integrazione operativa, il coordinamento delle competenze e lo sviluppo sinergico delle attività.

In questo contesto si inserisce la creazione dell'European Hub for Reanalysis and Industrial Climate Scenarios (EHRICS), iniziativa volta ad istituire un polo europeo di riferimento nel campo della meteorologia e della climatologia applicata ai sistemi industriali.

Le nuove risorse, e la nuova sede, consentiranno di accelerare lo sviluppo di soluzioni verticali sui principali settori di riferimento, di migliorare la qualità dei dataset (anche grazie all'integrazione di nuove fonti osservative) e di avviare il processo di estensione dei dataset a livello globale, consolidando al contempo una presenza tecnico-commerciale nel mercato italiano ed europeo.

Nei prossimi mesi verranno condivisi i principali sviluppi di questo percorso, con l'obiettivo di costruire, insieme ai nostri partner e clienti, soluzioni sempre più utili per gestire la complessità climatica attraverso dati di valore ed altamente rappresentativi.

«L'ingresso di Terna Forward, il rafforzamento della partnership con il gruppo BF e la costituzione della nuova sede rappresentano per noi un primo, cruciale, passaggio strategico nel nostro ambizioso percorso di crescita», ha affermato Francesco Dell'Orco, co-fondatore e CEO di Hypermeteo. «Queste operazioni consolidano le collaborazioni industriali già attive, consentendoci di accelerare con lo sviluppo di soluzioni sempre più integrate nei processi decisionali dei nostri interlocutori».

Agenda 2030 - Contributo di RSE in ambito ASviS

Figura 1. Sustainable Development Goals dell'Agenda 2030

Nel settembre 2015 i governi dei 193 Paesi Membri dell'Organizzazione delle Nazioni Unite (ONU) hanno sottoscritto all'unanimità **l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile** da realizzare entro il 2030, individuando **17 obiettivi comuni**, i cosiddetti Sustainable Development Goals (SDGs), declinati in **169 target** da realizzare attraverso programmi nazionali e azioni di cooperazione internazionale. Mediante gli SDGs è stato tracciato il cammino necessario per portare il mondo sulla strada della sostenibilità e sradicare, quindi, la povertà in tutte le sue forme. Sono detti "obiettivi comuni" perché essi hanno carattere universale, si rivolgono cioè a tutti i Paesi, sia ai paesi in via di sviluppo, sia a quelli avanzati e sono fondati sull'integrazione tra quattro dimensioni dello sviluppo sostenibile: la sostenibilità ambientale, la sostenibilità sociale (educazione, salute, parità di opportunità, ecc.), la sostenibilità economica e la sostenibilità istituzionale. Anche questo quarto pilastro non va trascurato per garantire la pace, i diritti civili e politici, la protezione delle minoranze e l'applicazione dello stato di diritto.

Gli SDGs sono obiettivi ad ampio raggio (Figura1):

1. sconfiggere la povertà;
2. sconfiggere la fame;
3. assicurare salute e benessere per tutti;
4. garantire a tutti un'istruzione di qualità, libera ed equa;
5. raggiungere la parità di genere, ponendo fine ad ogni forma di discriminazione;
6. garantire a tutti la disponibilità di acqua e strutture igienico-sanitarie;
7. assicurare l'accesso universale a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni;
8. sostenere la crescita economica inclusiva e sostenibile, l'occupazione piena e produttiva e un lavoro dignitoso per tutti;
9. sviluppare infrastrutture di qualità e promuovere l'industrializzazione inclusiva e sostenibile;
10. ridurre le disuguaglianze e promuovere l'inclusione sociale, economica e politica di tutti;
11. garantire a tutti l'accesso ad un alloggio e aumentare l'urbanizzazione inclusiva;

12. garantire modelli sostenibili di produzione e consumo;
13. lottare contro il cambiamento climatico, integrando nelle politiche nazionali misure di contrasto alle sue conseguenze;
14. ridurre l'inquinamento marino e proteggere gli ecosistemi marini;
15. proteggere l'ecosistema terrestre, contrastando la desertificazione e favorendo la diversità biologica;
16. promuovere società pacifiche e più inclusive, eliminando le forme di violenza e promuovendo la parità di accesso alla giustizia;
17. rafforzare il sostegno internazionale ai Paesi in via di sviluppo, rafforzando la cooperazione mondiale.

A inizio del 2016 c'è stato l'avvio ufficiale degli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile per guidare il mondo sulla strada da percorrere nell'arco dei prossimi 15 anni e, in tale occasione, i Paesi si sono impegnati a raggiungere gli SDGs entro il 2030 senza lasciare indietro nessuno lungo il cammino necessario per portare il mondo sulla strada della sostenibilità.

Nata il 3 febbraio 2016, l'**ASviS (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile)** è un'associazione che riunisce oltre 320 soggetti impegnati nell'attuazione dell'Agenda 2030, con azioni finalizzate ad aumentare la consapevolezza sull'importanza dello sviluppo sostenibile nella società italiana e a mobilitare le istituzioni e i soggetti economici per realizzare gli SDGs.

Il **Rapporto ASviS 2025 "Pace, giustizia e diritti: pilastri della sostenibilità"** (https://asvis.it/rapporto-asvis-2025) documenta come, a dieci anni dall'adozione dell'Agenda 2030 e dalla pubblicazione del primo Rapporto ASviS, i progressi globali verso gli SDGs appaiono decisamente insufficienti, in quanto solo il 18% dei target verranno raggiunti, mentre una quota rilevante è in stallo o in regressione. Povertà estrema, insicurezza alimentare, carenze nell'accesso ad acqua, servizi igienici, energia e alloggi dignitosi restano diffuse, così come disuguaglianze di genere e lavoro informale. Il Rapporto ci restituisce, dunque, un quadro complesso e, spesso, preoccupante del mondo, dell'Europa e del nostro Paese.

Riguardo l'Italia, nel documento si evidenzia come la situazione sia peggiorata relativamente agli obiettivi alimentazione, salute, acqua, disuguaglianze, ecosistemi terrestri e partnership, e sia migliorata solo per quanto riguarda istruzione, parità di genere e clima e, soprattutto, l'economia circolare. Tuttavia, in un quadro alquanto

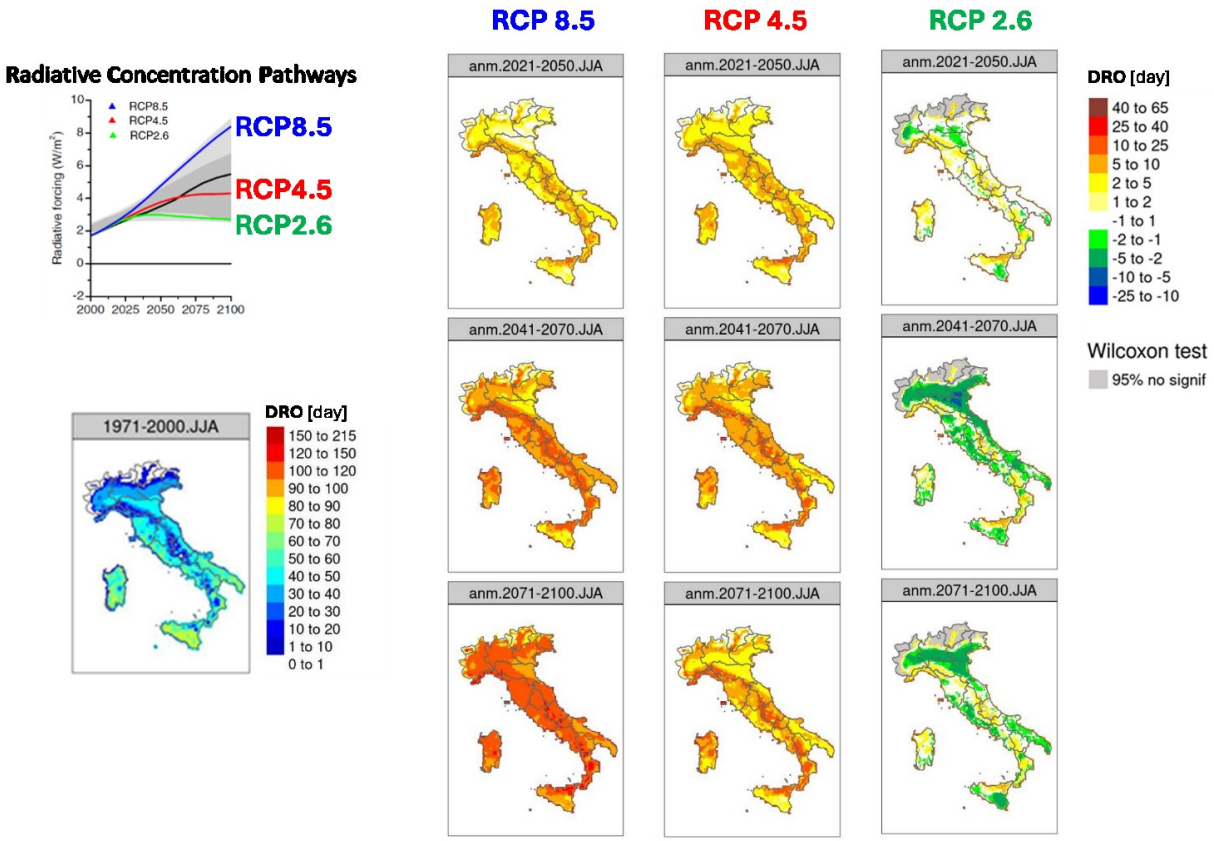


Figura 2. Proiezioni climatiche relative all'indice RSE DRO che descrive le giornate caratterizzate da temperature elevate e assenza di precipitazioni per la stagione estiva (JJA) nel periodo di riferimento 1971-2000 (a sinistra) e nei periodi futuri (a destra) per il breve (2021-2050), medio (2041-2070) e lungo termine (2071-2100) nelle tre ipotesi di forzanti emissive RCP8.5, RCP4.5 e RCP2.6, rappresentate nel pannello in alto a sinistra.

deludente, sono proposte soluzioni ed esperienze concrete per costruire un futuro diverso, a testimoniare quanto la sostenibilità rappresenti un investimento sul presente e sul futuro. In particolare, nel 2025 ASviS ha dato vita a "**Ecosistema Futuro"**, una partnership che affonda le sue radici nell'art. 9 della Costituzione italiana, in cui sono riconosciuti gli interessi delle "future generazioni" tra i principi fondamentali della nostra Repubblica. Trovando ispirazione nel "**Patto sul Futuro"**, approvato dall'Assemblea Generale dell'ONU a settembre 2024, Ecosistema Futuro ha l'obiettivo di *mettere il futuro – o meglio, i futuri - e il pensiero a lungo termine al centro della riflessione culturale, politica, economica e sociale del Paese, e confrontarsi sugli scenari che possono garantire benessere e qualità della vita per tutti e tutte, nel rispetto dei confini planetari da qui al 2100.*

Da sei anni l'ASviS pubblica anche un Rapporto dedicato alla dimensione territoriale, uno strumento fondamentale che offre ai decisori pubblici e alla società civile una base informativa unica, indispensabile per operare quotidianamente a livello locale nel campo della sostenibilità.

Il **Rapporto 2025 "Obiettivi globali, soluzioni locali"** (https://asvis.it/rapporto-territori-2025) descrive un quadro accurato del nostro Paese attraverso una ricca serie di indicatori statistici, elementari e compositi, che analizzano il posizionamento, rispetto agli SDGs, di Regioni e Province autonome e Città metropolitane: si conferma che il nostro Paese non solo evidenzia un'evoluzione decisamente insoddisfacente per gran parte degli SDGs, ma mostra anche forti diseguaglianze territoriali, in contrasto con il motto dell'Agenda 2030 di "non lasciare nessuno indietro".

In questo quadro, l'ASviS, così come l'ONU e altre organizzazioni internazionali, sottolinea l'urgenza di **accelerare l'attuazione dell'Agenda 2030**, puntando su politiche coerenti, partenariati e governance multilivello, come già indicato nel 2023 dal vertice dei Capi di Stato e di Governo dei Paesi ONU dedicato agli SDGs e nel 2024 dal "Patto sul Futuro".

Paola Faggian di RSE partecipa al Gruppo di lavoro 11 (Città e comunità sostenibili) e ha dato un contributo alla realizzazione del Rapporto 2025 "**Obiettivi globali, soluzioni locali"**, descrivendo in modo sintetico gli scenari climatici attesi in Italia a breve, medio e lungo termine relativi a eventi climatici estremi quali:

- SU (SUmmer days). Indice WMO [1]: numero di giorni con temperatura massima giornaliera > 25°C;
- TR (TRopical night). Indice WMO [1]: numero di giorni con temperatura minima giornaliera >20°C;
- DRO (DROughts). Indice RSE [2]: numero di giorni SU senza precipitazione.

Attraverso l'analisi delle proiezioni climatiche presentate, sottolinea come l'aggravarsi degli eventi estremi sia fortemente legato alle emissioni antropogeniche di gas serra. In particolare, evidenzia come le condizioni descritte dall'indice DRO siano attese in significativo aumento già a breve termine in RCP4.5 e RCP8.5, principalmente sull'Appennino, sulla Pianura Padana occidentale e sulle isole, e sottolinea l'intensificazione particolarmente forte di DRO in estate con anomalie positive che potranno raggiungere i 40 giorni. Inoltre, segnala che la tendenza in crescita non è trascurabile nemmeno in primavera e in autunno, poiché anche in queste due stagioni sono previsti aumenti di 25-40 giorni su gran parte dell'Italia. Tali situazioni sono fortemente contenute nell'ipotesi emissiva RCP2.6. (Figura 2).

L'esacerbazione di peridi caldi e siccitosi, sono motivo di preoccupazione su tutti i settori (sociali, ambientai ed economici). Infatti, possono danneggiare la salute pubblica, concorrere alla perdita di biodiversità, alla perdita di prodotti agroalimentari e aumentare il rischio di incendi boschivi, con conseguenti gravi danni all'ambiente e alle infrastrutture del Paese. In realtà, creano situazioni critiche per tutte le attività economiche a causa delle difficoltà derivanti dallo stress idrico, inevitabilmente associato alle siccità.

Per l'analisi dell'indice DRO nelle altre stagioni e/o di altri indici di estremi climatici (indici WMO e indici RSE) si rinvia a [2] e al sito web CLIMED (https://climed.rse-web.it/).

Bibliografia

[1] WMO (World Meteorological Organisation) (2009) Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 7

[2] Faggian, P., Trevisiol, A. Climate extreme scenarios affecting the Italian energy system with a multi-hazard approach. *Bull. of Atmos. Sci.& Technol.* **5**, 4 (2024). https://doi.org/10.1007/s42865-024-00067-w

Autore:

Paola Faggian
(RSE)

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

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