



ACCADEMIA DEI GEORGOFILI

GIORNATA DI STUDIO

AGROMETEOROLOGIA E CAMBIAMENTI CLIMATICI: 50 ANNI DI RICERCA AL SERVIZIO DELL'AGRICOLTURA

Martedì 11 marzo 2025

Raccolta dei Riassunti

PRESENTAZIONE

Negli anni '70 in pochi sapevano cosa fossero i cambiamenti climatici e meno ancora ne parlavano, anche nel mondo scientifico. In 50 anni, la ricerca ha potuto dimostrare l'origine, l'entità e gli effetti dei cambiamenti che negli ultimi venti anni sono diventati evidenti anche alla maggior parte dei cittadini per i loro impatti a tutte le latitudini. La giornata di studio parte da questa considerazione per ripercorrere l'iperbole che il tema dei cambiamenti climatici ha assunto, con particolare attenzione al mondo rurale. Verrà anche ripercorso lo sviluppo di strategie di riduzione del rischio climatico in agricoltura, nei paesi sviluppati ed in quelli in via di sviluppo.

PROGRAMMA

Ore 9.30 - **Saluti e apertura dei lavori**

Ore 10.00 - **Relazioni**

MARCO BINDI - Accademia dei Georgofili, Università degli Studi di Firenze
Cambiamenti climatici e agricoltura

CHIARA PICCINI - CNR-IBE
La biodiversità agraria come strategia di adattamento al cambiamento climatico

SIMONE ORLANDINI - Accademia dei Georgofili, Università degli Studi di Firenze,
Fondazione Clima e Sostenibilità
L'agrometeorologia e la sostenibilità ambientale

VIERI TARCHIANI - CNR-IBE
Servizi agrometeorologici in Africa Occidentale: dall'allerta precoce per la sicurezza alimentare all'assistenza ai piccoli produttori rurali

ALESSANDRO MATESE - CNR-IBE
Agricoltura di precisione per l'adattamento ai cambiamenti climatici

Bernardo Gozzini - Accademia dei Georgofili, CNR-IBE, LaMMA
Meteorologia operativa per la mitigazione dei rischi agroclimatici

RAMONA MAGNO - CNR-IBE
Le nuove tecnologie per il monitoraggio climatico e delle condizioni di carenza idrica

Ore 12.30 - **Discussione e conclusione dei lavori**

CAMBIAMENTI CLIMATICI E AGRICOLTURA

Marco Bindi - Accademia dei Georgofili, Università degli Studi di Firenze

Lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici sull'agricoltura si è evoluto significativamente nel tempo, seguendo un percorso che va dall'osservazione empirica alle analisi basate su modelli sofisticati. Possiamo suddividere questa evoluzione in diverse fasi:

- Prime osservazioni (Anni '60-'70): Inizialmente, l'interesse era focalizzato sugli eventi climatici isolati, come siccità o gelate, e sui loro effetti diretti sulle rese agricole. Gli studi erano prevalentemente descrittivi e si concentravano su come le variazioni climatiche stagionali influenzassero le colture.

- Inizio della consapevolezza climatica (Anni '80): Con lo sviluppo della climatologia moderna e dei primi modelli climatici globali (GCM-Global Climate Models), gli scienziati hanno iniziato a correlare le emissioni di gas serra con il riscaldamento globale. I primi studi valutavano gli impatti potenziali a lungo termine sul settore agricolo, considerando variabili chiave come la temperatura, le precipitazioni e la concentrazione di CO₂.

- Sviluppo dei modelli previsionali (Anni '90): Durante questo decennio si è diffuso l'utilizzo dei modelli biofisici, capaci di simulare il comportamento delle colture in diversi scenari climatici. Questi strumenti hanno permesso di analizzare anche le possibili risposte agronomiche, come l'adozione di nuove pratiche colturali o la ridefinizione della distribuzione geografica delle colture. In questa fase nasce il concetto di vulnerabilità agricola e si inizia a discutere delle strategie di adattamento.

- Approccio integrato e multidisciplinare (Anni 2000): L'attenzione si sposta dai singoli impatti climatici a un'analisi sistemica, studiando le interazioni tra clima, economia, politiche agricole e sicurezza alimentare. Si rafforza l'uso di modelli integrati, che combinano dati climatici, economici e agronomici, fornendo una visione più complessa e accurata degli effetti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura.

- Focus su resilienza e sostenibilità (Anni 2010-2020): Cresce l'attenzione verso le strategie di adattamento e mitigazione, con un forte interesse per l'agricoltura rigenerativa, le tecniche di carbon farming e le colture geneticamente migliorate. Si consolidano le ricerche sull'agricoltura di precisione, grazie all'utilizzo di dati satellitari e sensori per monitorare le condizioni del suolo e delle piante, ottimizzando le risorse disponibili.

- Nuove frontiere (2020-oggi): L'intelligenza artificiale (IA) e il machine learning vengono integrati nei modelli predittivi per affinare le simulazioni climatiche e agronomiche. La ricerca si concentra sugli scenari climatici estremi, studiando come le colture possano adattarsi a ondate di calore, siccità prolungate e eventi atmosferici violenti. Parallelamente, cresce l'interesse verso la climate-smart agriculture (CSA), un approccio che mira a combinare la produttività agricola, l'adattamento climatico e la riduzione delle emissioni di gas serra.

Questa evoluzione testimonia come la ricerca scientifica abbia progressivamente abbandonato un approccio settoriale per adottarne uno integrato e multidisciplinare, indispensabile per affrontare le sfide complesse poste dai cambiamenti climatici.

Le nuove tecnologie, unite a strategie di adattamento sostenibili, rappresentano oggi una risorsa cruciale per garantire la sicurezza alimentare globale e la resilienza dei sistemi agricoli.

LA BIODIVERSITÀ AGRARIA COME STRATEGIA DI ADATTAMENTO AL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Chiara Piccini – Istituto per la Bioeconomia (CNR-IBE)

L'agricoltura globale si trova ad affrontare una sfida senza precedenti a causa del cambiamento climatico che sta trasformando profondamente le condizioni in cui coltiviamo. Le piante del futuro dovranno adattarsi a condizioni ambientali mutate, sviluppando resistenze a stress multipli.

La biodiversità agraria è fondamentale per affrontare queste sfide, garantendo un'agricoltura resiliente contro il cambiamento climatico. Strategie complementari come la sostituzione, che introduce nuove specie più resilienti contribuendo alla diversificazione delle colture, e la specializzazione adattiva, che migliora le colture esistenti selezionando varietà più resistenti a stress ambientali, sono di primaria importanza.

L'IBE CNR, da sempre impegnato nella conservazione e caratterizzazione del germoplasma arboreo presso la propria Azienda Agraria Sperimentale Santa Paolina di Follonica, affronta attivamente le sfide del cambiamento climatico su molteplici fronti. Nell'ambito della sostituzione e diversificazione, stiamo studiando una pianta polifunzionale, principalmente per la sua fibra, dotata di elevata resistenza agli stress ambientali e non ancora domesticata, con l'obiettivo di svilupparne la valorizzazione. Per quanto riguarda la specializzazione adattiva, abbiamo condotto e stiamo conducendo studi approfonditi sull'olivo, mirati alla selezione di varietà che dimostrano una maggiore resistenza a vari stress abiotici, tra cui lo stress idrico e le radiazioni UV-B.

Global agriculture is facing an unprecedented challenge due to climate change, which is profoundly transforming the conditions under which we cultivate. The plants of the future will have to adapt to changed environmental conditions, developing resistance to multiple stresses.

Agricultural biodiversity is fundamental to addressing these challenges, ensuring resilient agriculture against climate change. Complementary strategies such as substitution, which introduces new, more resilient species contributing to crop diversification, and adaptive specialization, which improves existing crops by selecting varieties more resistant to environmental stresses, are of primary importance.

The IBE CNR, which has always been committed to the conservation and characterization of tree germplasm at its Santa Paolina Experimental Farm in Follonica, is actively addressing the challenges of climate change on multiple fronts. In the area of substitution and diversification, we are studying a multifunctional plant, primarily for its fiber, with high resistance to environmental stresses and not yet domesticated, with the aim of developing its valorization. Regarding adaptive specialization, we have conducted and are conducting in-depth studies on olive trees, aimed at selecting varieties that demonstrate enhanced resistance to various abiotic stresses, including water stress and UV-B radiation.

L'AGROMETEOROLOGIA E LA SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Simone Orlandini – Accademia dei Georgofili, Università degli Studi di Firenze,
Fondazione Clima e Sostenibilità

L'agrometeorologia studia l'interazione tra le condizioni atmosferiche e l'agricoltura, contribuendo a ottimizzare la produzione e a ridurre l'impatto ambientale. Grazie a sistemi di monitoraggio sempre più precisi e all'applicazione di modelli previsionali, consente di prevedere gli eventi estremi e adottare misure di difesa, migliorare la gestione dell'irrigazione e ridurre l'uso di pesticidi e fertilizzanti. Nell'ottica della sostenibilità ambientale, l'agrometeorologia favorisce pratiche agricole più efficienti, riducendo lo spreco di risorse (acqua, energia) e le emissioni di gas serra. L'impiego di tecnologie avanzate, come sensori IoT e intelligenza artificiale, ottimizza ulteriormente la gestione delle risorse, contribuendo alla sicurezza alimentare e alla tutela degli ecosistemi. L'agrometeorologia svolge quindi un ruolo centrale nell'affrontare i cambiamenti climatici, rendendo l'agricoltura più resiliente e sostenibile.

Agrometeorology studies the interaction between atmospheric conditions and agriculture, helping to optimize production and reduce environmental impact. Thanks to increasingly precise monitoring systems and the application of predictive models, it allows for anticipating extreme weather events and adopting protective measures, improving irrigation management, and reducing the use of pesticides and fertilizers. From a sustainability perspective, agrometeorology promotes more efficient agricultural practices by reducing resource waste (water, energy) and greenhouse gas emissions. The use of advanced technologies, such as IoT sensors and artificial intelligence, further optimizes resource management, contributing to food security and ecosystem protection. Agrometeorology thus plays a central role in addressing climate change, making agriculture more resilient and sustainable.

**SERVIZI AGROMETEOROLOGICI IN AFRICA OCCIDENTALE:
DALL'ALLERTA PRECOCE PER LA SICUREZZA ALIMENTARE
ALL'ASSISTENZA AI PICCOLI PRODUTTORI RURALI**

Vieri Tarchiani – Istituto per la Bioeconomia (CNR-IBE)

In Africa Occidentale, l'agrometeorologia si è sviluppata a valle delle gravi siccità e conseguenti crisi alimentari degli anni '70 ed '80 secondo due assi principali: i) la produzione d'informazione a supporto dei decisori politici e l'aiuto pubblico allo sviluppo per la prevenzione delle crisi alimentari e ii) la produzione d'informazioni e servizi a supporto dei produttori per la riduzione dei rischi e l'aumento dei rendimenti. Queste due linee si sono sviluppate parallelamente ma con dinamiche differenti. Fino agli anni '90, il massimo sforzo si è concentrato sui sistemi di allerta precoce per la previsione e prevenzione delle crisi alimentari, implementati a livello sopra-nazionale con grande sforzo internazionale e progressiva introduzione di strumenti innovativi come telerilevamento, modellistica e GIS. Negli anni successivi la tecnologia avanzava ma la comunicazione con gli utilizzatori sul terreno soffriva di un divario drammatico. Nel frattempo, gli impatti evidenti e la consapevolezza dei cambiamenti climatici trasformavano la missione dell'agrometeorologia dalla mera riduzione dei rischi all'adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici ed alla sostenibilità dell'agricoltura. Negli ultimi vent'anni è anche cambiato il paradigma da "informazione" a "servizio" agrometeorologico indirizzato ad un utente specifico, l'agricoltore, che ritrova un ruolo centrale grazie all'impulso generale verso il co-sviluppo dei servizi. Oggi il dibattito tecnico scientifico in Africa occidentale è concentrato sulla sostenibilità dei servizi agrometeorologici tra digitalizzazione della divulgazione agrometeorologica e partenariati pubblico-privati per il supporto agli agricoltori.

In West Africa, agrometeorology developed in response to the severe droughts and resulting food crises of the 1970s and 1980s along two main axes: (i) the production of information to support policymakers and public development aid for food crisis prevention, and (ii) the production of information and services to assist farmers in risk reduction and yield improvement. These two approaches evolved in parallel but followed different dynamics. Until the 1990s, efforts were primarily focused on early warning systems for forecasting and preventing food crises, implemented at a supranational level with significant international support and the gradual introduction of innovative tools such as remote sensing, modeling, and GIS. In the following years, technology advanced, but communication with users in the field suffered from a dramatic gap. Meanwhile, the visible impacts and growing awareness of climate change shifted the mission of agrometeorology from merely reducing risks to adapting to and mitigating climate change, as well as ensuring agricultural sustainability. Over the past two decades, the paradigm has also shifted from agrometeorological "information" to "service" targeted at a specific user—the farmer—who has regained a central role thanks to a general push toward co-developing services. Today, the technical and scientific debate in West Africa focuses on the sustainability of agrometeorological services, including the digitalization of agrometeorological extension and public-private partnerships to support farmers.

AGRICOLTURA DI PRECISIONE PER L'ADATTAMENTO AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Alessandro Matese - Istituto per la Bioeconomia (CNR-IBE)

L'interesse per l'agricoltura di precisione nasce dalla crescente necessità di aumentare la produttività agricola in risposta all'incremento della popolazione mondiale, prevista oltre i 9 miliardi entro il 2050. Tuttavia, garantire maggiore produzione senza aggravare le risorse naturali impone un cambiamento radicale nei metodi agricoli, puntando su sostenibilità e competitività. L'agricoltura di precisione, in questo contesto, rappresenta un approccio innovativo che sfrutta dati e tecnologie avanzate per modulare gli interventi produttivi in base alla variabilità spaziale e temporale. Strumenti come sensori prossimali e remoti, software di analisi, GPS e robotica permettono una gestione sito-specifica, ottimizzando l'uso di risorse come acqua, fertilizzanti e fitofarmaci. I benefici sono tangibili: maggiore efficienza produttiva e qualitativa, riduzione dei costi aziendali, minore impatto ambientale e nuove opportunità imprenditoriali. L'agricoltura di precisione si afferma così come un modello moderno e sostenibile per il futuro del settore.

The growing interest in precision agriculture stems from the increasing need to boost agricultural productivity in response to the rising global population, projected to exceed 9 billion by 2050. However, ensuring higher production without further depleting natural resources requires a radical shift in agricultural methods, focusing on sustainability and competitiveness. In this context, precision agriculture represents an innovative approach that leverages data and advanced technologies to adjust production interventions based on spatial and temporal variability. Tools such as proximal and remote sensors, analytical software, GPS-guided machinery, and robotics enable site-specific management, optimizing the use of resources like water, fertilizers, and pesticides. The benefits are tangible: increased production efficiency and quality, lower operational costs, reduced environmental impact, and new business opportunities. Precision agriculture thus emerges as a modern and sustainable model for the future of the agricultural sector.

METEOROLOGIA OPERATIVA PER LA MITIGAZIONE DEI RISCHI AGROCLIMATICI

Bernardo Gozzini - Accademia dei Georgofili, CNR - IBE, LaMMA

Il 19 giugno 1996 avvenne l'alluvione della Versilia, un evento molto localizzato forte e persistente che fece segnare valori di precipitazione superiori ai 400 mm in meno di 8 ore provocando 14 vittime e danni per circa 200 miliardi di lire. E' stato il primo potente segnale del clima che cambiava sulla Toscana e sull'Italia.

Il 12 aprile 1997 dietro l'impulso del Prof. Giampiero Maracchi la Regione Toscana inaugura il LaMMA, un Laboratorio per il monitoraggio e la modellistica per lo studio dei segnali di cambiamento del clima e lo sviluppo di informazioni più dettagliate per prevedere questi nuovi eventi estremi. Il LaMMA si è poi consolidato in un Consorzio fra la Regione Toscana ed il CNR vale a dire un luogo d'incontro fra competenze di ricerca ed obiettivi di pubblica utilità.

Dal 1996 ad oggi questi eventi sono aumentati in numero ed intensità, ultimi in ordine di tempo le alluvioni in Emilia Romagna del maggio 2023 con 1 miliardo di euro di danni solo per il settore agricolo e l'alluvione di Campi del 2 novembre 2023 con 8 vittime e più di 2 miliardi di euro di danni.

Le cause climatiche che caratterizzano questi fenomeni sono dovute al riscaldamento climatico, il 2024 è stato l'anno più caldo in Italia con un'anomalia di $+1,47^{\circ}$ rispetto al clima calcolato sul periodo 1991-2020, al secondo posto c'è il 2022 ed al terzo il 2023. Le anomalie di questi 3 anni sono superiori al grado con uno scarto notevole rispetto al 2018 che è al 4 posto con appena un $+0,75^{\circ}$. Sembra quindi mostrare una accelerazione negli ultimi 3 anni rispetto ai precedenti.

La distribuzione delle piogge non sembra variare nel corso dell'anno ma si evidenzia una maggiore intensità piove molto in poche ore occorre quindi trattenere l'acqua ed utilizzarla nei periodi di siccità. Questi ultimi mostrano una ricorrenza ogni 5 anni. Temperature dell'aria più alte aumentano l'evapotraspirazione. La sfida dell'emergenza climatica in corso è proprio quella della gestione della risorsa idrica.

La meteorologia operativa si è sviluppata moltissimo negli ultimi 50 anni, dai satelliti Meteosat ormai alla terza generazione con numerosi sensori a bordo che permettono di avere un numero impressionante di dati ed informazioni a sempre maggior dettaglio. Adesso a bordo c'è anche un sensore per rilevare i fulmini di estrema utilità per monitorare i fenomeni temporaleschi.

La modellistica meteorologica con le nuove risorse di calcolo può arrivare a risoluzioni spaziali anche inferiori al chilometro. Rimangono ancora delle incertezze nella localizzazione e nella tempistica dei fenomeni temporaleschi ed anche nella stima dei quantitativi di precipitazione che possono causare. Si cerca di stimare questa incertezza attraverso l'ensemble, i cosiddetti "spaghetti", che aggiungono informazioni alle previsioni arrivando a dare una percentuale di affidabilità, una probabilità di accadimento. La difficoltà è nel comunicare il concetto di probabilità sia al sistema di protezione civile sia ai cittadini.

La nuova frontiera è rappresentata dall'utilizzo dell'Intelligenza Artificiale per le previsioni meteo che diventa sempre più importante visto l'interesse ad investire per colossi quali Google, Nvidia e Huawei. Anche l'ECMWF, il Centro di riferimento Europeo per le previsioni sta sviluppando un sistema basato su AI diventato operativo il 25 febbraio 2025

che sembra avere skill molto performanti ed in alcuni casi migliori del modello deterministico.

Un elemento decisamente interessante sono i tempi di calcolo di questi modelli AI, dell'ordine dei secondi su processori GPU avendo quindi aggiornamenti molto rapidi utilissimi per i servizi operativi ed inoltre può produrre ensemble di 50 membri nell'ordine di pochi minuti. Una vera rivoluzione della previsione del tempo.

LE NUOVE TECNOLOGIE PER IL MONITORAGGIO CLIMATICO E DELLE CONDIZIONI DI CARENZA IDRICA

Ramona Magno - Istituto per la Bioeconomia (CNR-IBE)

La siccità, fra gli eventi climatici estremi, è forse la più complessa, perché caratterizzata da un inizio lento e difficile da definire, ed un'evoluzione spesso duratura e cumulativa. L'intensità e l'estensione spaziale di un evento siccitoso sono estremamente variabili e gli impatti sull'ambiente e le attività umane possono manifestarsi in ritardo, sommarsi e persistere anche dopo che l'evento è terminato, determinando così ritardi nelle azioni di risposta e costi elevati.

Sempre più spesso, inoltre, la scarsità di precipitazione viene accompagnata da alte temperature che aumentano i processi traspirativi delle piante, l'evaporazione da fiumi, laghi e bacini, nonché la perdita di umidità del suolo.

L'uso intensivo dell'acqua ed una sua cattiva gestione, inoltre, possono esacerbare la scarsità idrica di un territorio affetto da siccità, aumentandone la vulnerabilità non solo ambientale, ma anche socioeconomica, e innescando processi di degrado del suolo.

Per questo è sempre più impellente lo sviluppo di sistemi integrati di monitoraggio e previsione della siccità e degli impatti che siano flessibili e adatti a supportare i diversi bisogni degli utenti con informazioni semplici e tempestive.

La disponibilità di dataset sempre più dettagliati, l'integrazione di strumenti da remoto e in situ e le nuove tecnologie di analisi sono certamente un elemento chiave nel processo di potenziamento delle capacità di adattamento. Ma affrontare un problema così complesso richiede anche un approccio olistico, che sia basato sull'Open Science e sul dialogo più stretto fra settore scientifico e stakeholders.

Ed è su queste basi che nasce il Drought Central CNR-IBE, un servizio operativo a supporto delle decisioni.

Among extreme climatic events, drought is probably the most complex, as it is characterised by a slow and difficult-to-define onset, along with an often prolonged and cumulative evolution. The intensity and spatial extent of a drought event are extremely variable, and the impacts on the environment and human activities can manifest with delays, accumulate, and persist even after the event has ended, leading to delays in response actions and high costs.

Increasingly, precipitation scarcity is also accompanied by high temperatures that intensify plant transpiration processes, evaporation from rivers, lakes, and reservoirs, as well as soil moisture reduction. Moreover, intensive use of water and its mismanagement can exacerbate the water scarcity of a drought-affected area, increasing environmental and socio-economic vulnerability, and triggering land degradation processes.

For this reason, the development of integrated drought monitoring and forecasting systems is becoming increasingly urgent. These systems must be flexible and able to support different user needs with simple and timely information.

The availability of increasingly detailed datasets, the integration of remote and in-situ tools, and new analytical technologies are key elements in strengthening adaptation capacities. However, addressing such a complex problem also requires a holistic approach based on Open Science and closer dialogue between the scientific sector and stakeholders.

It is on these foundations that the Drought Central CNR-IBE was established as an operational service to support decision-making.

[illegible]